


15 ปี สนข

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร

# มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ

มกราคม 2561




สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร

# มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ

# มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ

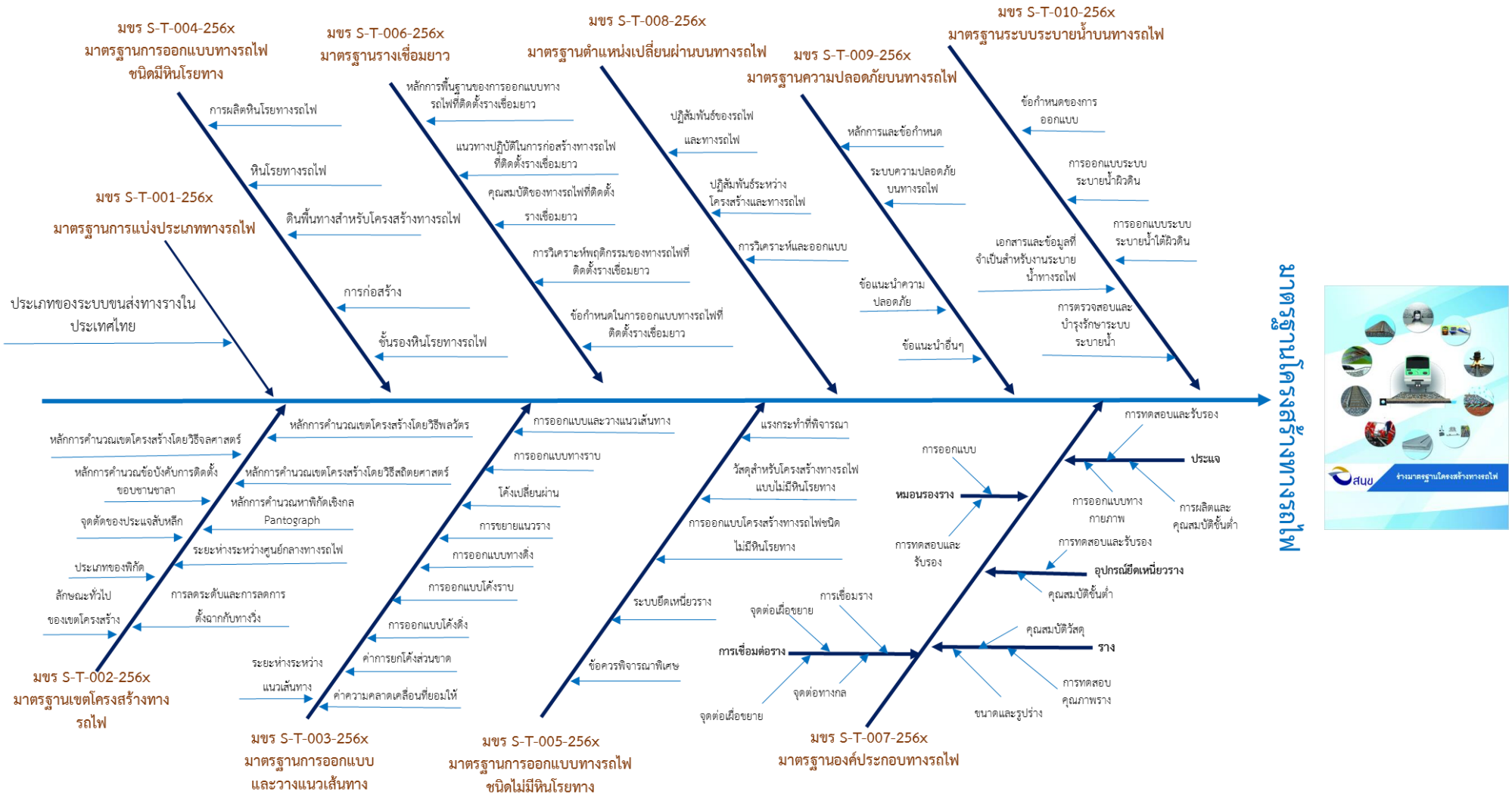
ISBN xxx-xxxx-xxxx
สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2558
โดย สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.)
35 ถนนเพชรบุรี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี
กรุงเทพมหานคร 10400
โทรศัพท์ 02-2151515 โทรสาร 02-2155500

# คำนำ

มาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ ฉบับ พ.ศ. 256x จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในเป็นแนวทางในการออกแบบ ก่อสร้างและบำรุงรักษาทางโครงสร้างรถไฟในประเทศไทย มีขอบเขตการใช้งานสำหรับทางรถไฟระหว่างเมือง ทางรถไฟชานเมือง ทางรถไฟสำหรับรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในเมือง

ทั้งนี้มาตรฐานฉบับนี้จะมีเนื้อหาครอบคลุมองค์ประกอบของโครงสร้างทางรถไฟ (Track Structural Component) ทั้งทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง (Ballasted Track) และทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทาง (Balastless Track) ซึ่งมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ ราง (Rail) แผ่นรองราง (Rail Pad) อุปกรณ์ยึดรั้ง (Fastener) หมอนรองราง (Sleeper) หินโรยทาง (Ballast) แผ่นพื้น (Slab) และคันทางรวมไปถึงองค์ประกอบสำคัญอื่นๆที่เกี่ยวข้องอาทิ ขนาดโครงสร้างทางรถไฟ รางเชื่อมยาว การระบายน้ำ ความปลอดภัยและตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟเป็นต้น โดยมาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟของประเทศไทยฉบับนี้ประกอบด้วยมาตรฐานย่อยจำนวน 10 ฉบับคือ 1) มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification) 2) มาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ (Structural Gauge) 3) มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง (Track Alignment Design) 4) มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง (Ballasted Track Design) 5) มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง (Ballastless Track Design) 6) มาตรฐานรางเชื่อมยาว (Continuous Welded Rail) 7) มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ (Track Components) 8) มาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ (Railway Track Transition Zone) 9) มาตรฐานความปลอดภัยบนทางรถไฟ (Track Safety) 10) มาตรฐานระบบระบายน้ำบนทางรถไฟ (Track Drainage System) ทั้งนี้มาตรฐานทั้ง 10 ฉบับได้จัดทำขึ้นโดยใช้มาตรฐานจากสหภาพยุโรป (European Norm, EN) เป็นแนวทางหลักร่วมกับ มาตรฐานจาก International Union of Railway (UIC) มาตรฐานจากประเทศสหรัฐอเมริกา (CFR & AREMA) มาตรฐานจากประเทศออสเตรเลีย (AS) มาตรฐานจากประเทศสาธารณรัฐเกาหลี (KR) มาตรฐานจากประเทศจีน (TB) และมาตรฐานและข้อกำหนดภายในประเทศ อาทิเช่น ข้อกำหนดของการรถไฟแห่งประเทศไทยและมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเป็นต้น การหาค่าพิกัดตลอดจนตัวแปรต่างๆจะเน้นไปที่การออกแบบตามสมรรถนะที่ใช้งาน (Performance Based Design) สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามคุณลักษณะเฉพาะที่จะนำไปใช้งานจริง

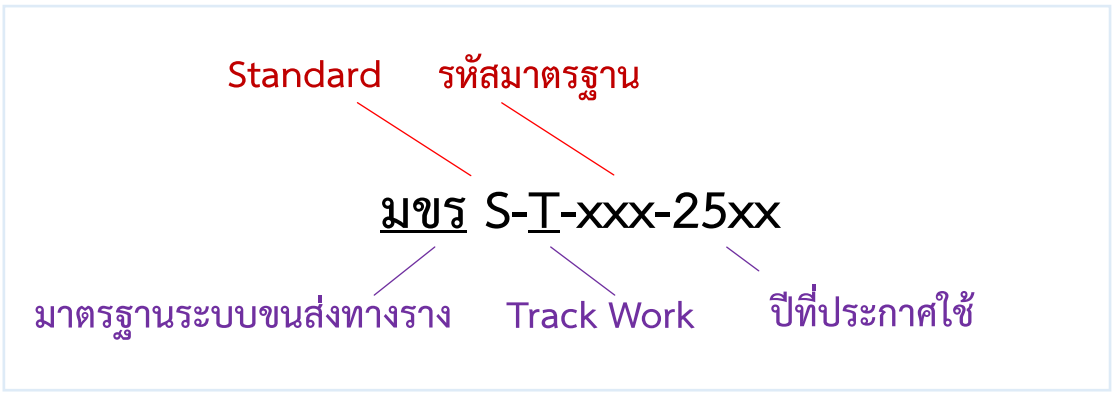
อย่างไรก็ตามหากรายละเอียดอื่นใดที่มาตรฐานที่จัดทำขึ้นไม่ได้ครอบคลุม ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในสัญญาหรือผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณาโดยคำนึงถึงความปลอดภัยและสมรรถนะในการใช้งานเป็นสำคัญ เช่นระบบขนส่งมวลชนระบบรอง (Monorail, light rail, Tram) รวมถึงจุดตัดทางรถไฟต่าง ๆ องค์ประกอบของมาตรฐานแต่ละฉบับสามารถแสดงรายละเอียดโดยสังเขปได้ตามแผนภาพองค์ประกอบมาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟของประเทศไทย




**แผนภาพแสดงองค์ประกอบมาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ ทั้ง 10 มาตรฐาน**

# สัญลักษณ์และนิยามมาตรฐาน

## สัญลักษณ์มาตรฐาน




## นิยามมาตรฐาน

| | |
|---|---|
| มขร S-T-001-25xx | **มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ**<br>Track Classification |
| มขร S-T-002-25xx | **มาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ**<br>Structural Gauge |
| มขร S-T-003-25xx | **มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง**<br>Track Alignment Design |
| มขร S-T-004-25xx | **มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง**<br>Ballasted Track Design |
| มขร S-T-005-25xx | **มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง**<br>Ballastless Track Design |
| มขร S-T-006-25xx | **มาตรฐานรางเชื่อมยาว**<br>Continuous Welded Rail |
| มขร S-T-007-25xx | **มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ**<br>Track Components |
| มขร S-T-008-25xx | **มาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ**<br>Railway Track Transition Zone |
| มขร S-T-009-25xx | **มาตรฐานความปลอดภัยบนทางรถไฟ**<br>Track Safety |
| มขร S-T-010-25xx | **มาตรฐานระบบระบายน้ำบนทางรถไฟ**<br>Track Drainage System |

# สารบัญ

หน้า


## มขร S-T-001-256x มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ

1. ทั่วไป ..... 1-1

1.1 วัตถุประสงค์ ..... 1-1

1.2 ขอบเขต ..... 1-1

2. นิยามและสัญลักษณ์ ..... 1-1

2.1 นิยาม ..... 1-1

2.2 สัญลักษณ์ ..... 1-2

3. ประเภทของระบบขนส่งทางรางในประเทศไทย ..... 1-2

3.1 ทั่วไป ..... 1-2

3.2 ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางในเมือง (Urban Passenger Rail, UPR) ..... 1-2

3.3 ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางชานเมือง (Commuter Passenger Rail, CPR) ..... 1-3

3.4 ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระหว่างเมือง (Intercity Rail, IR) ..... 1-3

3.5 ทางรถไฟสำหรับการปฏิบัติการในย่าน (Yard Operations) ..... 1-4

บรรณานุกรม

## มขร S-T-002-256x มาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ

1. ทั่วไป ..... 2-1

1.1 วัตถุประสงค์ ..... 2-1

1.2 ขอบเขต ..... 2-1

1.3 มาตรฐานอ้างอิง ..... 2-1

2. นิยามและสัญลักษณ์ ..... 2-1

2.1 นิยาม ..... 2-1

2.2 สัญลักษณ์ ..... 2-3

3. พิกัดเขตโครงสร้าง (Structure Gauge) ..... 2-7

3.1 เส้นแนวอ้างอิงและข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง ..... 2-7

3.2 เหตุการณ์ทางขวางแบบสุ่ม (Random transverse phenomena) ..... 2-8

# สารบัญ (ต่อ)

**หน้า**


4. การยกระดับและการลดลงตั้งฉากกับผิวทางวิ่ง ..... 2-10

4.1 บทนำ ..... 2-10

4.2 การยกระดับในแนวดิ่งหรือการลดลงสำหรับ longitudinal profile transition curves ..... 2-10

4.3 ผลกระทบในแนวดิ่งของการหมุน (Vertical effect of the roll) ..... 2-11

4.4 การยกตัวขึ้น ..... 2-12

4.5 เหตุการณ์แบบสุ่มในแนวดิ่ง ..... 2-12

4.6 ส่วนที่ยอมให้เพิ่มเติม ..... 2-12

5. ประเภทของพิกัด ..... 2-12

5.1 ระเบียบวิธีทางพิกัด ..... 2-12

5.2 ประเภทของพิกัดโครงสร้าง ..... 2-13

5.3 Uniform Gauge ..... 2-13

6. ตัวเลือกพิกัด ..... 2-14

6.1 ตัวเลือกพิกัดและระเบียบวิธี ..... 2-14

6.2 ตัวเลือกพิกัดโครงสร้าง ..... 2-15

6.3 การพิจารณาค่ายอมให้ ..... 2-15

6.4 รายการพิกัด (Gauge Catalogue) ..... 2-15

7. ข้อกำหนดในการหาพิกัดสถิตศาสตร์ ..... 2-16

7.1 ทั่วไป ..... 2-16

7.2 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง ..... 2-16

7.3 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้ ..... 2-17

7.4 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้ $\sum_j$ ..... 2-18

7.5 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้ในแนวดิ่ง $\sum_v$ ..... 2-18

8. ข้อบังคับในการหาพิกัดเชิงจลน์ ..... 2-19

8.1 ทั่วไป ..... 2-19

8.2 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง ..... 2-19

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


8.3 ค่าที่ยอมให้ตามขวางสำหรับเหตุการณ์แบบสุ่ม ..... 2-20

8.4 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้ตามขวาง $\sum_j$ ..... 2-20

8.5 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้ในแนวดิ่ง $\sum_v$ ..... 2-21

9. ข้อบังคับในการหาพิกัดเชิงพลวัต ..... 2-22

9.1 ทั่วไป ..... 2-22

9.2 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง ..... 2-22

9.3 ค่าที่ยอมให้ตามขวางสำหรับเหตุการณ์แบบสุ่ม ..... 2-22

9.4 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้ตามขวาง $\sum_j$ ..... 2-23

9.5 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้ในแนวดิ่ง $\sum_v$ ..... 2-23

10 ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางทางรถไฟ ..... 2-24

10.1 ทั่วไป ..... 2-24

10.2 การหาระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขตของทางรถไฟ ..... 2-24

10.3 ผลกระทบของผลต่างของค่ายกโค้ง $\Delta b_{\delta D}$ ..... 2-25

10.4 ค่าที่ยอมให้ที่พิจารณาเหตุการณ์แบบสุ่ม ..... 2-26

10.5 การคำนวณหาระยะทางระหว่างศูนย์กลางทางรถไฟระบุ ..... 2-28

11 องค์ประกอบของผังแปรปรวน (Variable layout) ..... 2-29

11.1 บทนำ ..... 2-29

11.2 ความแปรผันของพิกัด ..... 2-30

11.3 การเปลี่ยนแปลงโค้งแบบราบเรียบ (Smooth transition of curvature) ..... 2-31

12 จุดตัดของประแจสับหลีก ..... 2-32

12.1 บทนำ ..... 2-32

12.2 การแปรผันของการล้มคว่ำเพิ่มเติม ..... 2-33

12.3 ความแปรผันของผลกระทบกึ่งสถิต ..... 2-34

12.4 ผลลัพธ์ ..... 2-34

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


13 การหาพิกัดทางผ่านอิสระของ pantograph ..... 2-34

13.1 ทั่วไป ..... 2-34

14 การหาพิกัดเชิงกลของทางผ่านอิสระของ pantograph (ในกรณีของพิกัดเชิงจลน์) ..... 2-36

14.1 การหาความกว้างของพิกัดเชิงกล ..... 2-36

14.2 การหาความสูงมากที่สุดของพิกัดเชิงกล $h_{eff}$ ..... 2-39

15 พิกัดเชิงไฟฟ้าของ Pantograph (ในกรณีของพิกัดเชิงจลน์) ..... 2-39

15.1 บทนำ ..... 2-39

15.2 ความกว้างของพิกัดเชิงไฟฟ้าของ Pantograph ..... 2-40

15.3 ความสูงของพิกัดเชิงไฟฟ้า ..... 2-40

15.4 ระยะฉนวน ..... 2-40

16 การหาพิกัด Pantograph (ในกรณีของพิกัดเชิงพลวัต) ..... 2-40

16.1 สายสัมผัสเหนือรถ ..... 2-41

17 ข้อบังคับการติดตั้งขอบชานชาลา ..... 2-42

17.1 ทั่วไป ..... 2-42

17.2 ระยะช่องว่าง $b_{Iac}$ และ $h_{Iac}$ ..... 2-44

17.3 มิติของการติดตั้ง ..... 2-45

17.4 การติดตั้งเทียบกับแนวราบ $(x_q, y_q)$ ..... 2-46

17.5 ความคลาดเคลื่อนของการติดตั้ง ..... 2-47

17.6 การทวนสอบและความคลาดเคลื่อน ..... 2-47

18 Tilting trains ..... 2-47

18.1 ทั่วไป ..... 2-47

18.2 ช่วงเข้าโค้ง ..... 2-49

18.3 ภาวะเสื่อมถอย ..... 2-49

18.4 ข้อบังคับสำหรับการข้ามฟาก ..... 2-49

19 ส่วนประกอบเพิ่มเติมของราง ..... 2-50

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


19.1 บทนำ ..... 2-50

19.2 Contact ramp ..... 2-50

19.3 Active check rails ..... 2-50

19.4 การวางแผ่นจุดตัดระดับ ..... 2-50

19.5 รางจ่ายไฟ (Electric third rail) ..... 2-50

20 การทวนสอบและซ่อมบำรุงพิกัด ..... 2-51

20.1 พิกัดโครงสร้าง ..... 2-51

20.2 ระยะทางระหว่างศูนย์กลาง ..... 2-51

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

**มขร S-T-003-256x มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง**

1. ทั่วไป ..... 3-1

2. นิยามและสัญลักษณ์ ..... 3-1

2.1 นิยาม ..... 3-1

2.2 สัญลักษณ์ ..... 3-3

3. การออกแบบและวางแนวเส้นทาง ..... 3-4

3.1 ทั่วไป ..... 3-4

3.2 หลักการออกแบบทางเรขาคณิต (Geometric Design Concept) ..... 3-5

3.3 ตัวแปรที่ใช้ออกแบบแนวเส้นทาง (Track Alignment Design Parameters) ..... 3-5

3.4 ตัวแปรในการวัดปริมาณ (Parameter Quantification) ..... 3-5

3.5 การออกแบบทางราบ (Horizontal Profile) ..... 3-5

3.6 โค้งเปลี่ยนผ่าน (Transition Curves) ..... 3-9

3.7 การขยายแนวราง (Widening of Track) ..... 3-10

3.8 ประแจหลีก (Turnout Profile) ..... 3-10

3.9 การออกแบบทางดิ่ง (Vertical Profile) ..... 3-11

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.10 ระยะห่างระหว่างแนวเส้นทาง ..... 3-12
3.11 เกณฑ์ความคาดเคลื่อนของทางรถไฟ ..... 3-13
บรรณานุกรม

## มขร S-T-004-256x มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง

1. ทั่วไป ..... 4-1
1.1 ขอบเขต ..... 4-1
2. มาตรฐานอ้างอิง ..... 4-1
3. การออกแบบโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง ..... 4-1
3.1 คำนิยาม ..... 4-1
3.2 ขนาด และ มิติ ของหน้าตัดโครงสร้างทางส่วนล่าง ..... 4-3
4. หินโรยทางรถไฟ ..... 4-5
4.1 คำนิยาม ..... 4-5
4.2 ข้อกำหนดด้านสมบัติทางวิศวกรรม ..... 4-6
4.3 การผลิตหินโรยทางรถไฟ ..... 4-10
4.4 การสุ่มตัวอย่างทดสอบ ..... 4-11
4.5 การวัดปริมาณหินโรยทาง ..... 4-12
4.6 การระบุรายละเอียดหินโรยทาง ..... 4-12
5. ดินพื้นทางสำหรับโครงสร้างทางรถไฟ ..... 4-13
5.1 การออกแบบคันดินทางรถไฟ ..... 4-13
5.2 การก่อสร้าง ..... 4-18
6. ชั้นรองหินโรยทางรถไฟ ..... 4-22
6.1 การออกแบบ ..... 4-22
6.2 วัสดุสำหรับก่อสร้างชั้นรองหินโรยทาง ..... 4-23
6.3 การก่อสร้างชั้นรองหินโรยทาง ..... 4-23
6.4 การผลิตและการขนย้าย ..... 4-24
6.5 การตรวจสอบการผลิต ..... 4-24

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บรรณานุกรม

## มขร S-T-005-256x มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง

1. ทั่วไป (General) ..... 5-1
    1.1 วัตถุประสงค์ ..... 5-1
    1.2 ขอบเขต ..... 5-3
    1.3 มาตรฐานอ้างอิง ..... 5-3
2. นิยามและสัญลักษณ์ ..... 5-3
    2.1 นิยาม ..... 5-3
    2.2 สัญลักษณ์ ..... 5-4
3. แรงกระทำที่พิจารณา (Load Condition) ..... 5-4
    3.1 องค์ประกอบของน้ำหนักบรรทุกที่ต้องพิจารณา ..... 5-4
4. วัสดุสำหรับโครงสร้างทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทาง ..... 5-6
    4.1 คอนกรีต ..... 5-6
    4.2 เหล็กเสริม ..... 5-6
5. การออกแบบโครงสร้างทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง ..... 5-6
    5.1 ข้อควรพิจารณาในการออกแบบ ..... 5-6
    5.2 หลักการออกแบบแผ่นพื้น ..... 5-6
6. ระบบยึดเหนี่ยวราง (Rail Fastening System) ..... 5-8
7. ข้อควรพิจารณาพิเศษ ..... 5-8
    7.1 จุดเชื่อมต่อ (Transition Areas) ..... 5-8
    7.2 จุดสิ้นสุดของทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทาง ..... 5-8
    7.3 ความต่อเนื่องของทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทางและคานของสะพาน ..... 5-8

บรรณานุกรม

## มขร S-T-006-256x มาตรฐานรางเชื่อมยาว

1. ทั่วไป (General) ..... 6-1

# สารบัญ (ต่อ)

**หน้า**


1.1 วัตถุประสงค์ (Objective) ..... 6-1

1.2 ขอบเขต ..... 6-1

1.3 มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง (Normative References) ..... 6-1

2. สัญลักษณ์ ..... 6-2

3. หลักการพื้นฐานของการออกแบบทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว ..... 6-2

4. แนวทางปฏิบัติในการก่อสร้างทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว ..... 6-3

5. คุณสมบัติของทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว ..... 6-3

6. การวิเคราะห์พฤติกรรมของทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว ..... 6-4

6.1 ทางรถไฟบนพื้นดินคันทาง ..... 6-4

6.2 ทางรถไฟบริเวณอุโมงค์ ..... 6-4

6.3 ทางรถไฟบริเวณสะพาน ..... 6-4

7. ข้อกำหนดในการออกแบบทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว ..... 6-5

7.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ..... 6-5

7.2 แรงจากการเร่งและเบรกของรถไฟ ..... 6-5

7.3 แรงกระทำแนวดิ่งบนสะพาน ..... 6-5

7.4 ค่าหน่วยแรงเพิ่มเติมที่ยอมให้เกิดในรางเชื่อมยาว ..... 6-6

7.5 ค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ยอมให้ ..... 6-6

7.6 การเคลื่อนที่บริเวณปลายของคานสะพาน ..... 6-6

7.7 การคลายความเค้นของราง (Destressing) ..... 6-7

บรรณานุกรม

**มขร S-T-007-256x มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ**

1. ทั่วไป (General) ..... 7-1

1.1 วัตถุประสงค์ ..... 7-1

1.2 ขอบเขต ..... 7-1

1.3 มาตรฐานอ้างอิง ..... 7-1

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


2. นิยามและสัญลักษณ์ ..... 7-1

2.1 นิยาม ..... 7-1

2.2 สัญลักษณ์ ..... 7-4

3. ราง ..... 7-5

3.1 ทั่วไป ..... 7-5

3.2 ชนิดเหล็กกล้า ..... 7-5

3.3 มาตรฐานหน้าตัดราง ..... 7-6

3.4 การผลิตราง ..... 7-6

3.5 การทดสอบคุณภาพราง ..... 7-6

3.6 การออกแบบเพื่อเลือกขนาดราง ..... 7-13

4. เชื่อมต่อราง ..... 7-14

4.1 ทั่วไป ..... 7-14

4.2 วัตถุประสงค์ ..... 7-14

4.3 ขอบเขต ..... 7-14

4.4 การเชื่อมราง ..... 7-15

4.5 รอยต่อทางกล (Mechanical Rail Joints) ..... 7-19

4.6 จุดต่อเผื่อขยาย (Expansion Joints) ..... 7-22

5. อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (Fastener) ..... 7-27

5.1 ทั่วไป ..... 7-27

5.2 ข้อกำหนดขั้นต่ำของการออกแบบ ..... 7-28

5.3 คุณสมบัติของส่วนประกอบในชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยว ..... 7-29

5.4 คุณภาพการผลิต (Manufacture Qualities) ..... 7-31

5.5 การทดสอบและการรับรอง ..... 7-31

6. หมอนรองราง (Sleeper) ..... 7-34

6.1 ทั่วไป ..... 7-34

6.2 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับหมอนรองราง ..... 7-35

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


6.3 หมอนคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว ..... 7-44

6.4 การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว ..... 7-46

6.5 หมอนคอนกรีตเสริมเหล็กแท่งคู่ ..... 7-51

6.6 หมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับประแจ ..... 7-55

6.7 หมอนคอนกรีตอัดแรงฝังในแผ่นพื้นคอนกรีต ..... 7-55

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

**มขร S-T-008-256x มาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ**

1. ทั่วไป (General) ..... 8-1

1.1 วัตถุประสงค์ (Objective) ..... 8-2

1.2 ขอบเขต (Scope) ..... 8-2

1.3 มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง (Normative References) ..... 8-2

2. นิยามและสัญลักษณ์ ..... 8-2

3. ปฏิสัมพันธ์ของรถไฟและทางรถไฟ ..... 8-2

4. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและทางรถไฟ ..... 8-4

4.1 หลักการเบื้องต้น ..... 8-4

4.2 จุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนหินโรยทางและทางรถไฟบนพื้นคอนกรีต ..... 8-4

4.3 จุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนพื้นคอนกรีตต่างชนิดกัน ..... 8-6

4.4 จุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนคันดินและทางรถไฟบนสะพาน ..... 8-6

4.5 จุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนคันดินและทางรถไฟในอุโมงค์ ..... 8-6

4.6 จุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนคันดินและท่อลอด ..... 8-7

บรรณานุกรม

**มขร S-T-009-256x มาตรฐานความปลอดภัยบนทางรถไฟ**

1. ทั่วไป (General) ..... 9-1

1.1 วัตถุประสงค์ ..... 9-1

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


1.2 ขอบเขต ..... 9-1

1.3 มาตรฐานอ้างอิง ..... 9-1

2. นิยาม ..... 9-1

3. ระบบความปลอดภัยบนทางรถไฟ ..... 9-2

3.1 ระบบการเตือนบนทางรถไฟ (Track Warning Systems) ..... 9-2

3.2 เครื่องกั้น (Barriers) ..... 9-3

4. หลักการและข้อกำหนด ..... 9-3

4.1 ความเสี่ยงบนทางรถไฟ ..... 9-4

4.2 มาตรการรักษาความปลอดภัยบนทางรถไฟ ..... 9-4

5. ข้อแนะนำความปลอดภัย ..... 9-4

5.1 การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานบนทางรถไฟ ..... 9-4

5.2 เอกสารความปลอดภัยบนทางรถไฟ ..... 9-5

5.3 ความปลอดภัยของพนักงานระหว่างปฏิบัติหน้าที่บนทางรถไฟ ..... 9-5

6. ข้อแนะนำอื่น ๆ ..... 9-5

6.1 การทำงานในอุโมงค์คร่อมทางรถไฟ ..... 9-5

6.2 เหตุฉุกเฉินหรือเหตุอันตรายบนทางรถไฟ ..... 9-6

บรรณานุกรม

ภาคผนวก


หน้า

## มขร S-T-010-256x มาตรฐานระบบระบายน้ำบนทางรถไฟ


1. ทั่วไป ..... 10-1

1.1 วัตถุประสงค์ ..... 10-2

1.2 ขอบเขต ..... 10-2

1.3 มาตรฐานอ้างอิง ..... 10-2

2. นิยามและสัญลักษณ์ ..... 10-2

2.1 นิยาม ..... 10-2

# สารบัญ (ต่อ)

**หน้า**


2.2 สัญลักษณ์ ..... 10-4

3. ข้อกำหนดของการออกแบบ ..... 10-4

3.1 ประเภทของระบบระบายน้ำทางรถไฟ ..... 10-4

3.2 ช่วงชีวิตของระบบระบายน้ำที่ออกแบบ ..... 10-5

3.3 รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ยที่ออกแบบ ..... 10-5

3.4 อัตราการไหลหลากสูงสุด ..... 10-5

3.5 ข้อพิจารณาทั่วไปในการออกแบบ ..... 10-6

4. การออกแบบระบบระบายน้ำผิวดิน ..... 10-6

4.1 รางระบายน้ำด้านข้าง ..... 10-7

4.2 รางดักน้ำ (Catch Drains) ..... 10-8

4.3 รางระบายน้ำรวมออกนอกพื้นที่ ..... 10-8

5. การออกแบบระบบระบายน้ำใต้ผิวดิน (Subsurface Drainage) ..... 10-9

5.1 การระบายน้ำด้วยท่อ ..... 10-9

5.2 การระบายน้ำโดยใช้วัสดุมวลรวม ..... 10-10

5.3 ทางน้ำเข้าและทางน้ำออก ..... 10-10

5.4 บ่อตรวจ ..... 10-11

5.5 แผ่นใยสังเคราะห์ ..... 10-11

6. การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบระบายน้ำ ..... 10-12

7. เอกสารและข้อมูลที่จำเป็นสำหรับงานระบายน้ำทางรถไฟ ..... 10-12

7.1 แบบรายละเอียด ..... 10-12

7.2 รายงานด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ (Hydrology/Hydraulic Reports) ..... 10-13

บรรณานุกรม

# สารบัญตาราง

**หน้า**


ตารางที่ 2-1 สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ ..... 2-3
ตารางที่ 2-2 แสดงดัชนีล่างที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ ..... 2-7
ตารางที่ 2-3 มุมทางลาดสูงสุด $a^{"}$ ..... 2-49
ตารางที่ 3-1 สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง ..... 3-3
ตารางที่ 3-2 ข้อจำกัดของการยกโค้งส่วนที่ขาด ..... 3-7
ตารางที่ 3-3 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายกโค้ง สำหรับความลาดชันของค่ายกโค้ง ..... 3-8
ตารางที่ 3-4 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าส่วนขาดของการยกโค้ง $(DI/dt)_{lim}$ ..... 3-9
ตารางที่ 3-5 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของทางรถไฟสำหรับการเปลี่ยนรางและการวางรางใหม่ ..... 3-13
ตารางที่ 3-6 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนทางรถไฟสำหรับการซ่อมบำรุง ..... 3-13
ตารางที่ 4-1 เกณฑ์การคละขนาดอนุภาคของหินโรยทาง ..... 4-6
ตารางที่ 4-2 เกณฑ์การคละขนาดอนุภาคของหินโรยทาง ..... 4-6
ตารางที่ 4-3 เกณฑ์ปริมาณอนุภาคมวลละเอียดในหินโรยทาง ..... 4-7
ตารางที่ 4-4 เกณฑ์ดัชนีความเพรียวหินโรยทาง ..... 4-7
ตารางที่ 4-5 เกณฑ์ดัชนีรูปร่างของหินโรยทาง ..... 4-8
ตารางที่ 4-6 เกณฑ์ความยาวของอนุภาคหินโรยทาง ..... 4-8
ตารางที่ 4-7 เกณฑ์สำหรับกำหนดกลุ่มค่าลอสแองเจลิส ..... 4-9
ตารางที่ 4-8 เกณฑ์สำหรับกำหนดกลุ่มค่าไมโครเดวาลของหินโรยทาง ..... 4-9
ตารางที่ 4-9 หน้าที่ของส่วนประกอบหลุมหรือลาดที่ได้จากการขุดและการถม ..... 4-13
ตารางที่ 4-10 หน้าที่ของส่วนประกอบลาดที่ได้จากการขุดในหินและความกว้างสำหรับออกแบบ ..... 4-15
ตารางที่ 4-11 ข้อแนะนำสำหรับการออกแบบลาดหินในกรณีทั่วไป ..... 4-16
ตารางที่ 4-12 ความเอียงแนะนำสำหรับการขุดหรือตัดทางในดินหรือหินในกรณีที่การขุดหรือตัดทางลึก ..... 4-19
ตารางที่ 4-13 สมบัติของดินถมสำหรับก่อสร้างชั้นดินถมโครงสร้าง ..... 4-20
ตารางที่ 4-14 ข้อกำหนดสำหรับการบดอัดดินคันทาง ..... 4-21
ตารางที่ 4-15 ข้อกำหนดสำหรับการบดอัดดินในส่วนต่าง ๆ ของคันทาง ..... 4-21
ตารางที่ 4-16 การทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของดินพื้นทาง ..... 4-22
ตารางที่ 4-17 การทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นรองหินโรยทางและค่าแนะนำการออกแบบ ..... 4-23
ตารางที่ 6-1 สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการศึกษา ..... 6-2
ตารางที่ 7-1 สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษามาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ ..... 7-4
ตารางที่ 7-2 ชนิดของเหล็กรางรถไฟ ..... 7-5

# สารบัญตาราง (ต่อ)

**หน้า**


ตารางที่ 7-3 ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกล ..... 7-9
ตารางที่ 7-4 ปริมาณไฮโดรเจน ..... 7-10
ตารางที่ 7-5 ตำแหน่งทดสอบความแข็งและค่าความแข็ง ..... 7-11
ตารางที่ 7-6 ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะต่าง ๆ ..... 7-22
ตารางที่ 7-7 คุณสมบัติและการทดสอบของชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ..... 7-31
ตารางที่ 7-8 พิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดของขนาดหมอนคอนกรีต ..... 7-39
ตารางที่ 7-9 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก ..... 7-39
ตารางที่ 7-10 ความเค้นแบกทานบนหินโรยทาง ..... 7-40
ตารางที่ 7-11 ตำแหน่งและแรงของเหล็กอัดแรง ..... 7-40
ตารางที่ 7-12 ความเค้นคอนกรีตที่ยอมให้สำหรับคอนกรีตอัดแรง ..... 7-41
ตารางที่ 7-13 น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรง ..... 7-45
ตารางที่ 7-14 การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนคอนกรีตอัดแรง ..... 7-45
ตารางที่ 7-15 การทดสอบประจำสำหรับหมอนคอนกรีตอัดแรง ..... 7-46
ตารางที่ 7-16 ระยะ $L_r$ สำหรับการทดสอบหมอนคอนกรีตแท่งคู่ ..... 7-48
ตารางที่ 7-17 น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนคอนกรีตแท่งคู่ ..... 7-48
ตารางที่ 7-18 การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนคอนกรีตแท่งคู่ ..... 7-48
ตารางที่ 7-19 การทดสอบประจำสำหรับหมอนคอนกรีตแท่งคู่ ..... 7-49
ตารางที่ 7-20 องค์ประกอบทางเคมีของแท่งเหล็กต่อหมอน ..... 7-49
ตารางที่ 7-21 คุณสมบัติทางกลของแท่งเหล็กต่อหมอน ..... 7-49
ตารางที่ 7-22 พิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดของตำแหน่งอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางบนหมอนรองประแจ ..... 7-51
ตารางที่ 7-23 น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง ..... 7-54
ตารางที่ 7-24 การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง ..... 7-54
ตารางที่ 7-25 การทดสอบประจำสำหรับหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง ..... 7-54
ตารางที่ 8-1 ค่าพิกัดสูงสุดที่ยอมให้สำหรับรถไฟและทางรถไฟบริเวณจุดเปลี่ยนผ่าน ..... 8-3
ตารางที่ 10-1 ความเร็วของการไหลสูงสุดที่ยอมให้ในรางน้ำเปิด ..... 10-8

# สารบัญรูป

หน้า


รูปที่ 2-1 ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางทางรถไฟ ..... 2-2
รูปที่ 2-2 แสดงการล้มคว่ำเชิงเรขาคณิตในแนวดิ่ง ..... 2-10
รูปที่ 2-3 ผลกระทบในแนวดิ่งของการหมุน ..... 2-11
รูปที่ 2-4 ระยะระหว่างศูนย์กลาง ..... 2-25
รูปที่ 2-5 ระยะระหว่างศูนย์กลางในกรณีของค่ายกโค้งที่แตกต่างกัน ..... 2-26
รูปที่ 2-6 ผลกระทบของช่วงเข้าโค้ง ..... 2-29
รูปที่ 2-7 ผลกระทบของการเปลี่ยนรัศมีความโค้งแบบฉับพลัน ..... 2-31
รูปที่ 2-8 ผลกระทบของการเปลี่ยนส่วนโค้งแบบราบเรียบ ..... 2-32
รูปที่ 2-9 ผลกระทบของมุมเข้าช่วงการสับเปลี่ยน ..... 2-33
รูปที่ 2-10 การล้มคว่ำเชิงเรขาคณิตของประแจสับหลีก ..... 2-34
รูปที่ 2-11 พิกัด pantograph เชิงกลและเชิงไฟฟ้า ..... 2-35
รูปที่ 2-12 พิกัดทางผ่านอิสระ ..... 2-37
รูปที่ 2-13 การติดตั้งชานชาลา ..... 2-43
รูปที่ 2-14 ขอบชานชาลา ..... 2-44
รูปที่ 2-15 ช่องว่างชานชาลา ..... 2-45
รูปที่ 4-1 รูปตัดปกติของทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง ..... 4-2
รูปที่ 4-2 รูปตัดของทางรถไฟแบบมีหินโรยทางแบบทางเดี่ยวมีการยกโค้ง ..... 4-2
รูปที่ 4-3 รูปตัดของทางรถไฟแบบมีหินโรยทางแบบหลายทาง ..... 4-3
รูปที่ 4-4 รูปตัดของทางรถไฟแบบมีหินโรยทางแบบหลายทางและมีการยกโค้ง ..... 4-3
รูปที่ 4-5 องค์ประกอบหลุมหรือลาดที่ได้จากการขุดและการถม ..... 4-13
รูปที่ 4-6 องค์ประกอบสำหรับกำหนดความกว้างของการขุดในหิน ..... 4-15
รูปที่ 5-1 องค์ประกอบโครงสร้างทางแบบไม่มีหินโรยทาง องค์ประกอบหลัก ..... 5-1
รูปที่ 5-2 โครงสร้างทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทางแบบระบบรางฝัง ..... 5-2
รูปที่ 5-3 รูปแบบทั่วไปของพื้นทางคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่อเนื่องที่มีระบบยึดเหนี่ยวราง ..... 5-3
รูปที่ 5-4 น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งสำหรับรถไฟในสภาพการจราจรปกติ ..... 5-4
รูปที่ 6-1 แผนภาพการทำ Destressing ..... 6-9
รูปที่ 6-2 ความยาวช่องว่างรวมทั้งหมด ..... 6-9
รูปที่ 7-1 ร่องทางบังใบล้อ ..... 7-4
รูปที่ 7-2 ตำแหน่งของรางเพื่อทดสอบหาปริมาณออกซิเจน ..... 7-7

# สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า


รูปที่ 7-3 ตำแหน่งของรางเพื่อทดสอบแรงดึงและโครงสร้างจุลภาค ..... 7-8
รูปที่ 7-4 โครงสร้างจุลภาคแสดงปริมาณเฟอร์ไรท์ที่ขอบเกรนสำหรับรางทุกเกรด ..... 7-10
รูปที่ 7-5 ตำแหน่งทดสอบความแข็ง (หน่วย มิลลิเมตร) ..... 7-11
รูปที่ 7-6 พื้นที่ทดสอบบริเวณฐานราง 60 E 1 ..... 7-11
รูปที่ 7-7 รางรถไฟที่ชุบแข็งที่หัวราง ..... 7-13
รูปที่ 7-8 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและค่าความแข็งบริเวณหัวราง เอวราง และฐานราง ..... 7-13
รูปที่ 7-9 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเหล็กประกับราง ..... 7-14
รูปที่ 7-10 ค่า Tensile Strength ..... 7-20
รูปที่ 7-11 ตัวอย่างเส้นโค้งฮีสเทอรีซิสการเคลื่อนที่ของ ..... 7-24
รูปที่ 7-12 การปรับประแจโดยไม่มีการตรวจสอบราง (ปรับด้านเดียว) ..... 7-25
รูปที่ 7-13 ลิ้นประแจปรับได้ที่ไม่มีรางกัน (ปรับทั้งด้านเดียว) ..... 7-25
รูปที่ 7-14 ลิ้นประแจปรับได้ที่มีรางกัน (ปรับทั้งสองด้าน) ..... 7-26
รูปที่ 7-15 ลิ้นประแจปรับได้ที่มีรางกัน (ปรับทั้งด้านเดียว) ..... 7-26
รูปที่ 7-16 ลิ้นประแจส่วนขยายและรางประธานที่เคลื่อนที่ได้ ..... 7-27
รูปที่ 7-17 ลิ้นประแจส่วนขยายและรางลิ้นที่เคลื่อนที่ได้ ..... 7-27
รูปที่ 7-18 การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง ..... 7-47
รูปที่ 7-19 การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบที่พื้นที่รองรับราง ..... 7-47
รูปที่ 7-20 การไหม้ที่ผิวเหล็ก (Superficial Burn) ..... 7-50
รูปที่ 7-21 ความยาวของแท่งเหล็กต่อหมอน ..... 7-50
รูปที่ 7-22 การตรวจสอบตำแหน่งอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางบนหมอนรองประแจ ..... 7-51
รูปที่ 7-23 การตรวจสอบความตรงของหมอนรองประแจ ..... 7-52
รูปที่ 7-24 การทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง ..... 7-53
รูปที่ 8-1 ปัญหาการทรุดตัวของดินบริเวณคอสะพาน ..... 8-1
รูปที่ 8-2 ค่าความแข็งเกร็งของทางรถไฟที่มีการเปลี่ยนแปลงบริเวณจุดเปลี่ยนผ่าน ..... 8-1
รูปที่ 8-3 แผนภูมิแสดงค่าอัตราส่วนของค่าความแข็งเกร็งที่เหมาะสมบริเวณจุดเปลี่ยนผ่าน ..... 8-3
รูปที่ 8-4 การใช้แผ่นรอง และ Ballast Mat เพื่อลดค่าความแข็งเกร็ง ..... 8-5
รูปที่ 8-5 ตัวอย่างการก่อสร้างบริเวณจุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนหินโรยทางและพื้นคอนกรีต ..... 8-5
รูปที่ 8-6 รูปแบบการศึกษาวิธีเสริมค่าความแข็งเกร็งของตำแหน่งเปลี่ยนผ่านระหว่างสะพานและคันดิน ..... 8-6
รูปที่ 8-7 ตัวอย่างการก่อสร้างบริเวณจุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนหินโรยทาง ..... 8-7

# สารบัญรูป (ต่อ)

**หน้า**

รูปที่ 8-8 ภาคตัดขวางของทางรถไฟในกรณีที่ผ่านท่อลอด ..... 8-7
รูปที่ 9-1 ตัวแปรในเขตอันตรายบนทางรถไฟโดย ..... 9-2
รูปที่ 9-2 รั้วกันรางแบบ (ก) ติดตั้งบนราง และ (ข) ติดตั้งแบบฝังพื้น ..... 9-3
รูปที่ 10-1 ประเภทของระบบระบายน้ำผิวดิน ..... 10-7
รูปที่ 10-2 ขนาดมิติขั้นต่ำสำหรับรางน้ำเปิด (ไม่ตามมาตราส่วน) ..... 10-7
รูปที่ 10-3 กำแพงปากท่อคอนกรีต ..... 10-11

# มขร S-T-001-256x

## มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ

## Track Classification



สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร พ.ศ. xxxx

# คำนำ

มาตรฐานเล่มนี้ เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการแบ่งประเภททางรถไฟในประเทศไทย และกำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

- AS 7630:2010: Railway Infrastructure - Track Classification
- 49 CFR 213.9: 2011 Classes of track: operating speed limit
- การรถไฟแห่งประเทศไทย: คู่มือปฏิบัติการบำรุงทางตามวาระ: พ.ศ. 2558
- UIC Code 714 R, 3rd: 1989: Classification of lines for the purpose of track maintenance



# มขร S-T-001-256x มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ

## 1 ทั่วไป

### 1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อใช้ในการจำแนกและอธิบายรายละเอียดประเภทของทางรถไฟที่ใช้ในประเทศไทย

### 1.2 ขอบเขต

- มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับระบบขนส่งทางรางในประเทศไทย
- มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมสายทางระบบรางที่เปิดให้บริการแล้วและสายทางใหม่
- มาตรฐานนี้ครอบคลุมระบบรางชนิดรถไฟระหว่างเมืองรถไฟชานเมืองและระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในเมืองที่มีขนาดทาง 1.000 เมตร และ 1.435 เมตร
- มาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิงขอบเขตของมาตรฐานอื่น ๆ

## 2. นิยามและสัญลักษณ์

### 2.1 นิยาม

**เส้นทางรถไฟระหว่างเมือง (Intercity Lines)** คือ เส้นทางรถไฟขนส่งสินค้า และผู้โดยสารที่มีระยะทางยาวกว่าขบวนรถไฟฟ้าชานเมือง ได้แก่ ทางรถไฟของการรถไฟแห่งประเทศไทย

**เส้นทางรถไฟชานเมือง (Commuter Lines)** คือ เส้นทางรถไฟให้บริการแก่ผู้โดยสารในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รัศมีไม่เกิน 160 กม.

**เส้นทางรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในเมือง (Urban Lines)** คือ เส้นทางรถไฟฟ้าที่ให้บริการแก่ผู้โดยสารภายในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่เป็นระบบขนส่งมวลชนหลัก (Heavy Rail)

**เส้นทางรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนระบบรอง (Feeder Lines)** คือ เส้นทางรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในเมือง (Urban Transit System) ทำหน้าที่ขนส่งผู้โดยสารไปยังระบบขนส่งหลัก มีระบบเทคโนโลยีที่แตกต่างกัน เช่น รถไฟฟ้ารางเบา (Light Rail) รถไฟฟ้ารางเดี่ยว (Mono Rail) และระบบรถไฟฟ้าอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกัน

**ขนาดทางรถไฟ (Track Gauge)** คือ ระยะระหว่างรางรถไฟที่วัดจากหัวรางรถไฟที่ผิวบนลงมา 14 มิลลิเมตร

**ความเร็วสูงสุด (Maximum Speed)** คือ ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ มีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง

**น้ำหนักลงเพลา (Axle Load)** คือ น้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่กดลงเพลารถไฟจำนวน 1 เพลา มีหน่วยเป็นตัน



### 2.2 สัญลักษณ์

- **UPR (Urban Passenger Rail)** คือ ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางในเมือง
- **UPHR (Urban Passenger Heavy Rail)** คือ ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางหลักในเมือง
- **UPFR (Urban Passenger Feeder Rail)** คือ ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระบบรอง
- **CPR (Commuter Passenger Rail)** คือ ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางชานเมือง
- **IR (Intercity Rail)** คือ ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระหว่างเมือง
- **IFR (Intercity Freight Rail)** คือ ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งสินค้าระหว่างเมือง
- **IPR (Intercity Passenger Rail)** คือ ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งมวลชนระหว่างเมือง
- **IRPR (Intercity Rapid-Speed Passenger Rail)** คือ ทางรถไฟความเร็วสูงปานกลาง
- **IHPR (Intercity High-Speed Passenger Rail)** คือ ทางรถไฟความเร็วสูง

## 3 ประเภทของระบบขนส่งทางรางในประเทศไทย

### 3.1 ทั่วไป

การแบ่งประเภทของทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางในประเทศไทยจะทำการแบ่งออกเป็น 4 ประเภทหลัก คือทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางในเมือง ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางชานเมือง ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระหว่างเมืองและชานเมืองและทางรถไฟในย่าน โดยในแต่ละระบบหลักจะทำการแบ่งเป็นระบบย่อยตามคุณลักษณะของ 1) ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ 2) ประเภทของระบบขนส่ง 3) น้ำหนักลงเพลา และ 4) ขนาดทาง

ทั้งนี้ มาตรฐานนี้จะไม่รวมถึงระบบขนส่งอื่น ๆ ที่นอกเหนือไปจากที่นิยามไว้ในมาตรฐานฉบับนี้

### 3.2 ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางในเมือง (Urban Passenger Rail, UPR)

ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางหลักในเมือง (Urban Passenger Heavy Rail, UPHR) คือทางรถไฟที่รองรับระบบขนส่งทางรางที่ให้บริการผู้โดยสารในเส้นทางรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในเมืองโดยมีคุณลักษณะสำคัญ ดังนี้

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ประเภทของการขนส่ง รถขนส่งผู้โดยสาร
- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 25 ตัน
- ขนาดทาง 1.435 เมตร

ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระบบรอง (Urban Passenger Feeder Rail, UPFR) คือทางรถไฟที่รองรับระบบขนส่งทางรางที่ให้บริการผู้โดยสารในเส้นทางรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนระบบรอง เช่น รถไฟฟ้ารางเบา และรถไฟรางเดี่ยวเป็นต้น โดยมีคุณลักษณะสำคัญ ดังนี้

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



- ประเภทของระบบขนส่ง รถขนส่งผู้โดยสาร
- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 12 ตัน
- ขนาดทาง เป็นไปตามคุณลักษณะของผู้ผลิต (Product Specifications)

### 3.3 ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางชานเมือง (Commuter Passenger Rail, CPR)

ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางชานเมือง คือ ทางรถไฟที่รองรับระบบขนส่งทางรางที่ให้บริการผู้โดยสารในแนวเส้นทางรถไฟชานเมืองโดยมีคุณลักษณะสำคัญ ดังนี้

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ 160 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ประเภทของระบบขนส่ง รถขนส่งผู้โดยสาร
- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 25 ตัน
- ขนาดทาง มีสองขนาดทางคือ 1.000 เมตร และ 1.435 เมตร

### 3.4 ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระหว่างเมือง (Intercity Rail, IR)

ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระหว่างเมือง คือทางรถไฟที่รองรับระบบขนส่งทางรางที่ให้บริการขนส่งสินค้าและผู้โดยสารในแนวเส้นทางรถไฟระหว่างเมือง โดยสามารถแบ่งประเภทของทางรถไฟย่อยลงได้อีกตามข้อกำหนดของการรถไฟแห่งประเทศไทย และแนวเส้นทางรถไฟความเร็วปานกลาง และรถไฟความเร็วสูง ดังนี้

#### 3.4.1 ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งสินค้าระหว่างเมือง (Intercity Freight Rail, IFR)

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ประเภทของระบบขนส่ง รถขนส่งสินค้า
- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 25 ตัน
- ขนาดทาง 1.000 เมตร

#### 3.4.2 ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งมวลชนระหว่างเมือง (Intercity Passenger Rail, IPR)

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ประเภทของระบบขนส่ง รถขนส่งผู้โดยสาร
- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 25 ตัน
- ขนาดทาง 1.000 เมตร

#### 3.4.3 ทางรถไฟความเร็วสูงปานกลาง (Intercity Rapid-speed Passenger Rail, IRPR)

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ ระหว่าง 140 ถึง 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ประเภทของระบบขนส่ง รถขนส่งผู้โดยสาร
- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 25 ตัน หรือเป็นไปตามมาตรฐาน EN1991-2 Eurocode 1: Actions on Structures - Part 2: Traffic Loads on Bridges (Load Model 71)
- ขนาดทาง 1.435 เมตร



### 3.4.4 ทางรถไฟความเร็วสูง (Intercity High-speed Passenger Rail, IHPR)

- ความเร็วสูงสุดในการให้บริการ มากกว่า 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ประเภทของระบบขนส่ง รถขนส่งผู้โดยสาร
- น้ำหนักลงเพลาสูงสุดไม่เกิน 25 ตัน หรือเป็นไปตามมาตรฐาน EN1991-2 Eurocode 1: Actions on Structures - Part 2: Traffic Loads on Bridges (Load Model 71)
- ขนาดทาง 1.435 เมตร

## 3.5 ทางรถไฟสำหรับการปฏิบัติการในย่าน (Yard Operations)

ทางรถไฟสำหรับการปฏิบัติการในย่านสำหรับทางรถไฟทุกประเภทกำหนดความเร็วสูงสุดไม่เกิน 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

# บรรณานุกรม


[1] 49 CFR 213.9. (2011). Classes of track: operating speed limit

[2] AS 7630. (2010). Railway Infrastructure - Track Classification

[3] EN1991-2 Eurocode 1. Actions on structures - Part 2. Traffic loads on bridges (Load Model 71)

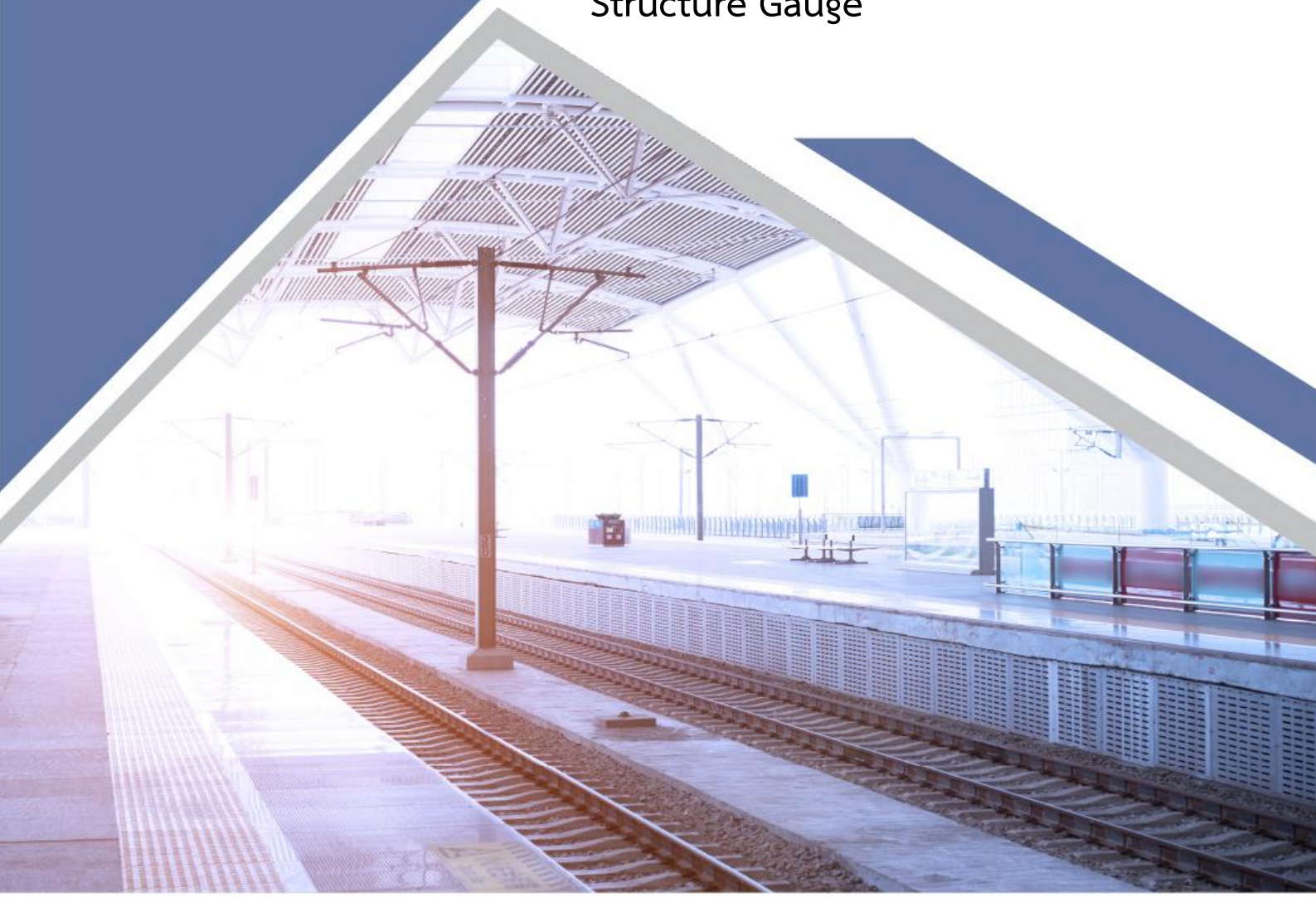
[4] UIC Code 714 R, 3rd. (1989). Classification of lines for the purpose of track maintenance

[5] การรถไฟแห่งประเทศไทย.(2558). คู่มือปฏิบัติการบำรุงทางตามวาระ

# มขร S-T-002-256x

## มาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ

## Structure Gauge



สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร พ.ศ. xxxx

# คำนำ

มาตรฐานเล่มนี้ จัดทำขึ้นโดยมีมาตรฐาน EN 15273-1 และ EN 15273-3 เป็นแนวทาง เพื่อมุ่งเน้นการมาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ ให้เกิดความปลอดภัย และประสิทธิภาพสูงสุดในประเทศไทย



# มขร S-T-002-256x มาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ

## 1 ทั่วไป

### 1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อที่จะกำหนดระยะเขตโครงสร้าง (Structure gauge) เพื่อการดำเนินการเดินรถอย่างปลอดภัย และระบุข้อกำหนด การคำนวณ และการตรวจสอบ เขตโครงสร้างเพื่อที่จะกำหนดขนาดของรถไฟให้สามารถดำเนินการได้โดยปราศจากความเสี่ยงต่าง ๆ

### 1.2 ขอบเขต

- มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับระบบขนส่งทางรางในประเทศไทย
- มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมสายทางระบบรางที่เปิดให้บริการแล้วสายทางที่ปรับปรุงและสายทางใหม่
- มาตรฐานนี้ครอบคลุมระบบรางชนิดรถไฟระหว่างเมืองรถไฟชานเมืองและระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนในเมืองที่มีขนาดทาง 1.000 เมตร และ 1.435 เมตร
- มาตรฐานระยะเขตโครงสร้างนี้ สามารถนำไปพิจารณาการออกแบบได้ทั้งทางลอดอุโมงค์และทางลอดใต้สะพาน

### 1.3 มาตรฐานอ้างอิง

- มขร S-T-001-256X มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ
- มขร S-T-003-256X มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง

## 2 นิยามและสัญลักษณ์

### 2.1 นิยาม

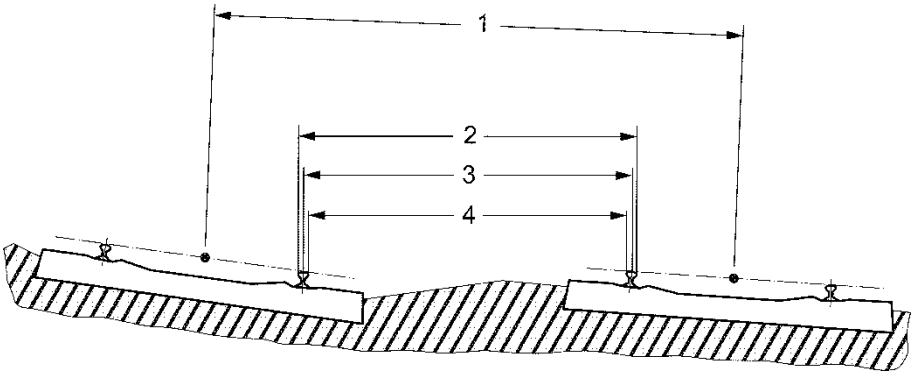
พิกัดโครงสร้าง (Structure gauge) หมายถึง เขตพื้นที่ทางเดินรถไฟซึ่งห้ามไม่ให้ วัตถุหรือส่วนของโครงสร้างใด ๆ รวมถึงส่วนของรถไฟที่วิ่งอยู่บนรางคู่ขนาน ยื่นล้ำเข้ามาในบริเวณนี้ เพื่อให้การเดินรถเป็นไปได้อย่างปลอดภัย พิกัดโครงสร้างสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 3 ประเภท ตามคำนิยาม ได้แก่

1) **พิกัดโครงสร้างขอบเขต (Structure limit gauge)** คือ บริเวณที่ห้ามมีสิ่งใดล้ำเข้าไป ไม่ว่าจะเวลาใด ๆ เพื่อให้แน่ใจว่าโครงสร้างมีระยะห่างจากรางเพียงพอต่อการเดินรถ

2) **พิกัดโครงสร้างบำรุงทาง (Structure installation limit gauge)** คือ บริเวณที่ห้ามมีสิ่งใดล้ำเข้าไปเมื่อคำนึงถึงการเข้าไปซ่อมบำรุง ดังนั้นไม่อนุญาตให้มีการติดตั้งโครงสร้างใด ๆ ถ้าต้องการให้เดินรถได้อย่างปลอดภัยหลังจากการซ่อมบำรุงตามปกติ

3) **พิกัดโครงสร้างระบุ (Structure installation nominal gauge)** คือ บริเวณที่ห้ามมีสิ่งใดล้ำเข้าไปเพื่อที่ทำให้รถไฟสามารถดำเนินการและซ่อมบำรุงระบบรางได้บริเวณนี้อาจรวมไปถึงการขนส่งสินค้าพิเศษและเงื่อนไขอื่น ๆ

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางราง (Distance between track centers) หมายถึง ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของทางรถไฟสองทางที่กำลังพิจารณา วัดขนานกับผิวทางวิ่งของทางรถไฟที่มีค่ายกโค้งน้อยที่สุด แสดงดัง**รูปที่ 2-1**




**รูปที่ 2-1 ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางทางรถไฟ**

โดยในทางปฏิบัติ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางรางมักจะนิยามเป็นระยะของรางที่อยู่ใกล้กัน (ระยะอ้างอิง “2” หรือ “3” หรือ “4” ที่แสดงใน**รูปที่ 2-1**) ระยะอ้างอิงที่ใช้นั้นแตกต่างกันไปในระบบโครงข่ายรถไฟต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับความถนัดของบุคลากร อุปกรณ์การตรวจวัด ฯลฯ)

และคำจำกัดความของระยะห่างระหว่างศูนย์กลางที่นำมาใช้ในมาตรฐานนี้ อาจมีความแตกต่างกันกับระยะห่างระหว่างศูนย์กลางที่นำมาใช้ในกรณีอื่น เช่น การติดตั้ง เป็นความรับผิดชอบของผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานในการเลือกใช้จากข้อกำหนดที่แตกต่างกัน

**ระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขต (Limit distance between centers)** หมายถึง ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางรางน้อยที่สุดของทางเดินรถคู่ขนาน ซึ่งทำให้รถไฟวิ่งสวนกันได้อย่างปลอดภัย โดยที่ระยะห่างนี้ไม่ใช่ค่าตายตัวแต่เปลี่ยนแปลงไปตามพารามิเตอร์ของระบบรางแต่ละพื้นที่ เช่น ค่ายกโค้ง รัศมีความโค้งของทางรถไฟ เป็นต้น

**ระยะระหว่างศูนย์กลางบำรุงทาง (Installation limit distance between centers)** หมายถึง ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางรางของทางเดินรถคู่ขนาน ซึ่งทำให้รถไฟวิ่งสวนกันได้อย่างปลอดภัย และได้เผื่อระยะเพิ่มเติมสำหรับการบำรุงทาง

**ระยะระหว่างศูนย์กลางระบุ (Installation nominal distance between centers)** หมายถึง ระยะระหว่างศูนย์กลางที่มีระยะเผื่อเหมาะสม ซึ่งทำให้ง่ายต่อการออกแบบ วางผัง เฝ้าระวัง ซ่อมบำรุง การดำเนินการขนส่งพิเศษ หรือข้อพิจารณาอื่น ๆ นอกพื้นที่ที่รัศมีความโค้งน้อย ๆ ระยะระหว่างศูนย์กลางระบุนี้มักจะคงที่ (หาได้จากพารามิเตอร์ที่คงที่)



## 2.2 สัญลักษณ์

สัญลักษณ์และคำย่อที่เกี่ยวข้องกับเขตโครงสร้างทาง แสดงดัง**ตารางที่ 2-1** และ**ตารางที่ 2-2**

**ตารางที่ 2-1 สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ**

| สัญลักษณ์ | การระบุ | หน่วย | เลขที่สัญลักษณ์ |
|---|---|---|---|
| $a$ | ระยะระหว่างเพลาปลายของตู้รถไฟที่ไม่พอดีกับแคร่รถไฟ หรือระยะระหว่างศูนย์กลางของแคร่รถไฟ | เมตร | 1.001 |
| $b$ | ความกว้างกึ่งหนึ่ง หรือระยะทางที่ขนานกันของผิวทางวิ่งเทียบกับศูนย์กลางของรางหรือของตู้รถไฟ | เมตร | 1.007 |
| $b'$ | ความกว้างกึ่งหนึ่งของ pantograph | เมตร | 3.001 |
| $b'_q$ | ระยะติดตั้งจริงของชานชาลาวัดจากขอบทางวิ่งของรางรถไฟ | เมตร | 1.008 |
| $b_{RP}$ | ความกว้างกึ่งหนึ่งของตำแหน่งอ้างอิง | เมตร | 3.002 |
| $b_{elec}$ | ระยะของฉนวนไฟฟ้า | เมตร | 3.003 |
| $b_{gap}$ | ความกว้างมาตรฐานของช่องว่างระหว่างชานชาลาและการก้าว | เมตร | 1.019 |
| $b_{structure}$ | ระยะทางที่ขนานกันของผิวทางวิ่งระหว่างโครงสร้างและศูนย์กลางของราง | เมตร | 3.004 |
| $b_q$ | ความกว้างกึ่งหนึ่งของการติดตั้งชานชาลา | เมตร | 1.021 |
| $\Delta b$ | ความแตกต่างของความกว้างกึ่งหนึ่งของ $b$ | เมตร | 3.005 |
| $b_{veh}$ | ความกว้างกึ่งหนึ่งของตู้รถไฟ | เมตร | 1.030 |
| $b_w$ | ความกว้างกึ่งหนึ่งของหัว pantograph | เมตร | 1.033 |
| $C_0$ | (อ้างอิง) ศูนย์กลางการหมุน | เมตร | 3.006 |
| $C_W$ | Semi-width of the pantograph head insulating horn | เมตร | 3.007 |
| $dg$ | การล้มคว่ำเชิงเรขาคณิต | เมตร | 3.008 |
| $dg_a$ | การล้มคว่ำเชิงเรขาคณิตของตู้รถไฟนอกเส้นโค้ง | เมตร | 1.038 |
| $dg_i$ | การล้มคว่ำเชิงเรขาคณิตของตู้รถไฟในเส้นโค้ง | เมตร | 1.041 |
| $D$ | ค่ายกโค้ง | เมตร | 1.044 |
| $D_0$ | ค่ายกโค้งคงที่ซึ่งได้พิจารณาค่าที่ยอมรับได้ระหว่างตู้รถไฟและโครงสร้างพื้นฐาน | เมตร | 1.045 |
| $D'_0$ | ค่ายกโค้งอ้างอิงซึ่งได้พิจารณาค่าที่ยอมรับได้ระหว่างตู้รถไฟและพิกัด pantograph | เมตร | 3.009 |
| $D'_L$ และ $D''_L$ | ค่ายกโค้งขอบเขตที่ใช้ในการคำนวณค่ายอมให้ทั้งหมด | เมตร | 3.010 |
| $D_{\max,0}$ | ค่ายกโค้งตามมาตรฐานสูงสุดที่อนุญาตสำหรับการขยายตัวของพิกัดทางจลศาสตร์ | เมตร | 1.050 |
| $\delta D$ | ผลต่างของค่าค่ายกโค้ง (ระหว่างรางรถไฟ 2 ราง) | เมตร | 3.011 |
| $e_p$ | ระยะออฟเซตของ pantograph เนื่องจากลักษณะของตู้รถไฟ | เมตร | 1.067 |
| $e_{pi}$ | ระยะออฟเซตของ pantograph เนื่องจากลักษณะของตู้รถไฟในเส้นโค้ง | เมตร | 3.012 |
| $e_{pa}$ | ระยะออฟเซตของ pantograph เนื่องจากลักษณะของตู้รถไฟนอกเส้นโค้ง | เมตร | 3.013 |



| สัญลักษณ์ | การระบุ | หน่วย | เลขที่สัญลักษณ์ |
|---|---|---|---|
| $e_{po}$ | ระยะออฟเซตของ pantograph ที่ขอบเขตบนของจุดทวนสอบ | เมตร | 1.068 |
| $e_{pu}$ | ระยะออฟเซตของ pantograph ที่ขอบเขตล่างของจุดทวนสอบ | เมตร | 1.071 |
| $e_v$ | Lowering of track components | เมตร | 1.073 |
| $EA$ | ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางทางรถไฟ | เมตร | 3.014 |
| $f_s$ | ค่าที่ยอมให้ที่ได้พิจารณาการยกขึ้นของ contact wire | เมตร | 1.079 |
| $f_{dyn}$ | ค่าที่ยอมให้ที่ได้พิจารณาการเคลื่อนตัวทางพลศาสตร์ของบริเวณที่สัมผัสกับสายส่ง | เมตร | 3.015 |
| $f_{wa}$ | Allowance to take into account the overrun by the pantograph head of the contact surface because of pantograph contact strip wear | เมตร | 1.083 |
| $f_{ws}$ | Allowance to take into account the overrun by the pantograph head of the contact surface because of pantograph skewing | เมตร | 1.084 |
| $h$ | ความสูงที่มีความสัมพันธ์กับผิวทางวิ่ง | เมตร | 1.088 |
| $h'$ | ความสูงอ้างอิงในการคำนวณพิกัด pantograph | เมตร | 3.016 |
| $h'_o$ | ความสูงในการทวนสอบสูงสุดของพิกัด pantograph ในตำแหน่งที่ถูกยกขึ้น | เมตร | 1.089 |
| $h'_u$ | ความสูงในการทวนสอบต่ำสุดของพิกัด pantograph ในตำแหน่งที่ถูกยกขึ้น | เมตร | 1.090 |
| $h_{Co}$ | ค่าของ $h_c$ ที่ใช้สำหรับค่าที่ยอมรับได้ระหว่างตู้รถไฟและโครงสร้างพื้นฐาน | เมตร | 1.092 |
| $h'_{Co}$ | (อ้างอิง) ความสูงของศูนย์กลางการหมุนสำหรับพิกัด pantograph | เมตร | 3.017 |
| $h_{RP}$ | ความสูงของตำแหน่งอ้างอิง | เมตร | 1.093 |
| $h_{eff}$ | ความสูงประสิทธิผลของ pantograph ในตำแหน่งที่ถูกยกขึ้น | เมตร | 1.094 |
| $h_{eff,elec}$ | ความสูงประสิทธิผลของ pantograph ในตำแหน่งที่ถูกยกขึ้นรวมกับฉนวนไฟฟ้า | เมตร | 1.095 |
| $h_f$ | ความสูงของบริเวณที่สัมผัสกับสายส่ง | เมตร | 1.096 |
| $h_{\min,RP}$ | ความสูงต่ำสุดของผิวด้านข้างของตำแหน่งอ้างอิง (ที่ระดับชานชาลา) | เมตร | 1.101 |
| $h_{ec}$ | ความสูงของส่วนครอบบริเวณมุมของชานชาลา | เมตร | 1.102 |
| $h_{structure}$ | ความสูงของโครงสร้างที่อยู่ด้านบนผิวทางวิ่ง | เมตร | 3.018 |
| $h_P$ | ความสูงของจุด $P$ | เมตร | 3.019 |
| $h_q$ | ความสูงของชานชาลาที่อยู่ด้านบนผิวทางวิ่ง | เมตร | 1.103 |
| $\Delta h$ | ความแตกต่างของความสูงของ $h$ | เมตร | 3.020 |
| $I$ | การยกโค้งขาด | เมตร | 1.107 |
| $I'_C$ | การยกโค้งขาดเฉพาะที่สูงสุดใช้สำหรับพิจารณารถไฟดั้งเดิม | เมตร | 1.108 |
| $I'_P$ | การยกโค้งขาดเฉพาะที่สูงสุดใช้สำหรับพิจารณา tilting trains | เมตร | 1.109 |



| สัญลักษณ์ | การระบุ | หน่วย | เลขที่สัญลักษณ์ |
|---|---|---|---|
| $I_C$ | การยกโค้งขาดสูงสุดใช้สำหรับวางเส้นทางของผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐาน | เมตร | 1.110 |
| $I_L$ | ขอบเขตการยกโค้งขาดที่ใช้ในการคำนวณทางจลศาสตร์ | เมตร | 3.021 |
| $I_0$ | ค่าการยกโค้งขาดคงที่ซึ่งได้พิจารณาค่าที่ยอมรับได้ระหว่างตู้รถไฟและโครงสร้างพื้นฐาน โดยเกี่ยวข้องกับพิกัดทางจลน์ศาสตร์ | เมตร | 1.116 |
| $I'_0$ | การยกโค้งขาดอ้างอิงซึ่งได้พิจารณาตู้รถไฟสำหรับพิกัดของ pantograph | เมตร | 3.022 |
| $I_p$ | การยกโค้งขาด ของตัวรถที่เอียง | เมตร | 1.117 |
| $k, k'$ | สัมประสิทธิ์ความปลอดภัยที่ได้พิจารณาความไม่สม่ำเสมอของราง | | 1.123 |
| K | สัมประสิทธิ์เพิ่มค่าสำหรับการคำนวณส่วนที่ยอมให้ | | 3.023 |
| $l$ | ความกว้างของราง ระยะระหว่างขอบทางวิ่งของราง | เมตร | 1.126 |
| $l_{nom}$ | ความกว้างของรางระบุ | เมตร | 1.129 |
| $L$ | ระยะทางมาตรฐานระหว่างศูนย์กลางของรางที่ทางรถไฟเดียวกัน | เมตร | 1.134 |
| $M_j$ | (แนวราบ) ส่วนที่ยอมให้ปลอดภัย สำหรับพิกัดโครงสร้าง ครอบคลุมเหตุการณ์แบบสุ่มที่แน่นอน (j = 1, 2 หรือ 3) | เมตร | 3.024 |
| $M_{EAj}$ | ส่วนที่ยอมให้ปลอดภัย สำหรับระยะทางระหว่างศูนย์กลาง ครอบคลุมเหตุการณ์แบบสุ่มที่แน่นอน (j = 1, 2 หรือ 3) | เมตร | 3.025 |
| $n_a$ | $n$ สำหรับหน้าตัดนอกเพลารถ หรือศูนย์กลางของแคร่รถไฟ | เมตร | 1.158 |
| $P$ | จุดขอบเขตบนของตำแหน่งผิวด้านข้างอ้างอิงซึ่งเป็นปัจจัยในการหาระยะทางระหว่างศูนย์กลาง | | 3.026 |
| $q$ | ช่องว่างตามขวางระหว่างชุดล้อรถไฟฟ้าและโครงของแคร่รถไฟ หรือระหว่างชุดล้อรถไฟฟ้าและตัวรถสำหรับตู้รถไฟที่ไม่เข้ากับแคร่รถไฟ | เมตร | 1.172 |
| $Q$ | จุดปลายด้านข้างของตำแหน่งอ้างอิงของผิวด้านบน | เมตร | 3.027 |
| $qs$ | ผลกระทบของกึ่งสถิต | เมตร | 3.028 |
| $qs_a$ | ระยะกระจัดเนื่องจากการหมุนกึ่งสถิตซึ่งได้พิจารณาโครงสร้างพื้นฐานนอกตำแหน่งอ้างอิงที่อยู่นอกเส้นโค้ง | เมตร | 1.174 |
| $qs_i$ | ระยะกระจัดเนื่องจากการหมุนกึ่งสถิตซึ่งได้พิจารณาโครงสร้างพื้นฐานนอกตำแหน่งอ้างอิงที่อยู่ในเส้นโค้ง | เมตร | 1.175 |
| $qs'_i$ | ผลกระทบของกึ่งสถิตสำหรับพิกัด pantograph ที่อยู่ในเส้นโค้ง | เมตร | 3.029 |
| $qs'_a$ | ผลกระทบของกึ่งสถิตสำหรับพิกัด pantograph ที่อยู่นอกเส้นโค้ง | เมตร | 3.030 |
| $R$ | รัศมีความโค้งแนวราบ | เมตร | 1.178 |
| $R_V$ | รัศมีการเคลื่อนตัวแนวดิ่งของหน้าตัดตามแนวยาว | เมตร | 1.185 |
| $S_0$ | สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นที่ได้พิจารณาค่าที่ยอมรับได้ระหว่างตู้รถไฟและโครงสร้างพื้นฐาน | | 1.188 |
| $S'_0$ | สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นที่ได้พิจารณาค่าที่ยอมรับได้ระหว่างตู้รถไฟและโครงสร้างพื้นฐานสำหรับพิกัด pantograph | | 1.189 |
| $S$ | การล้มคว่ำเพิ่มเติมที่ยอมให้ | เมตร | 1.192 |
| $S_a$ | การล้มคว่ำเพิ่มเติมที่ยอมให้อยู่นอกเส้นโค้ง | เมตร | 1.197 |
| $S_i$ | การล้มคว่ำเพิ่มเติมที่ยอมให้อยู่ในเส้นโค้ง | เมตร | 1.204 |



| สัญลักษณ์ | การระบุ | หน่วย | เลขที่สัญลักษณ์ |
|---|---|---|---|
| $T_{load}$ | มุมของการไม่สมมาตร ซึ่งพิจารณาใน $\eta_{0r}$ สำหรับการกระจายน้ำหนักบรรทุกที่ไม่ดี | ๐ | 1.212 |
| $T_D$ | ความคลาดเคลื่อนของจุดตัดรางรถไฟระหว่างช่วงซ่อมบำรุง 2 ช่วง | เมตร | 1.213 |
| $T_N$ | ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของรางในแนวดิ่ง | เมตร | 1.214 |
| $T_{OSC}$ | ความไม่สม่ำเสมอของจุดตัดรางรถไฟที่มีสาเหตุมาจากการสั่นแบบสุ่ม | เมตร | 1.215 |
| $T_{susp}$ | มุมของการไม่สมมาตรซึ่งพิจารณาใน $\eta_{0r}$ สำหรับการปรับตำแหน่งรองรับที่ไม่ดี | ๐ | 1.217 |
| $T_{track}$ | ระยะกระจัดตามขวางของรางรถไฟระหว่างช่วงซ่อมบำรุง 2 ช่วง | เมตร | 1.218 |
| $V_c$ | อัตราเร็วสูงสุดของตู้รถไฟรุ่นดั้งเดิม | กม./ชม. | 3.031 |
| $V_p$ | อัตราเร็วสูงสุดของตู้รถไฟที่เอียง | กม./ชม. | 3.032 |
| $V'_c$ | อัตราเร็วเฉพาะที่ของตู้รถไฟรุ่นดั้งเดิม | กม./ชม. | 1.221 |
| $V'_P$ | อัตราเร็วเฉพาะที่ของตู้รถไฟที่เอียง | กม./ชม. | 1.222 |
| $w$ | ระยะช่องว่างตามขวางระหว่างแคร่รถไฟและตัวถังรถไฟ | เมตร | 1.228 |
| $x_{qi}$ | ระยะช่องว่างตามขวางระหว่างแคร่รถไฟและตัวถังรถไฟอยู่ในระหว่างโค้งใน แปรผันเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับรัศมีส่วนโค้งของราง | เมตร | 1.231 |
| $x_{qa}$ | ระยะพิกัดตามแนวราบของขอบชานชาลาที่อยู่นอกส่วนโค้ง | เมตร | 3.033 |
| $x$ | ระยะทางที่พิจารณาจากจุดเริ่มต้น O สำหรับการคำนวณ $e_v$ | เมตร | 1.233 |
| $y$ | ระยะพิกัดตามแนวดิ่ง | เมตร | 3.034 |
| $y_{qi}$ | ระยะพิกัดตามแนวดิ่งของขอบชานชาลาที่อยู่ในส่วนโค้ง | เมตร | 3.035 |
| $y$ | ส่วนหนึ่งของการหมุนกึ่งสถิตที่พิจารณาจากตู้รถไฟ | เมตร | 1.234 |
| $z_0$ | ค่าคงที่สำหรับตู้รถไฟที่อยู่นอกตำแหน่งสถิตอ้างอิงที่ยอมให้ตู้รถไฟหมุนกึ่งสถิต | เมตร | 1.237 |
| $\alpha$ | มุมที่เพิ่มขึ้นของการหมุนของตัวถังรถไฟเนื่องจากระยะห่างของหมอนรองด้านข้าง | องศา | 1.242 |
| $\alpha_Q$ | มุมสูงสุดของมุมหมุนรอบศูนย์กลางสำหรับส่วนบน | องศา | 3.036 |
| $\alpha''$ | มุมที่เกิดจากทางเดินรอยต่อตู้รถไฟระหว่างชานชาลาและ Ferry | องศา | 1.245 |
| $\gamma$ | มุมเข้าของประแจสับหลีก | เรเดียน | 1.246 |
| $\delta_{q,a}$ | ค่าสำหรับระยะทางถึงชานชาลาที่อยู่นอกส่วนโค้งที่มีความสำคัญกับพิกัดสำหรับโครงสร้างในตำแหน่งเอียงของค่า $\delta$ | เมตร | 1.256 |
| $\Sigma_j$ | ผลรวมของค่าความปลอดภัยที่ยอมให้ (แนวราบ) สำหรับพิกัดโครงสร้างที่ครอบคลุมเหตุการณ์แบบสุ่มที่แน่นอน (j = 1, 2 หรือ 3) | เมตร | 3.037 |
| $\Sigma'_j$ | ผลรวมของค่าที่ยอมให้สำหรับคำนวณขอบเขตทางจลศาสตร์(j = 1, 2 หรือ 3) | เมตร | 3.038 |
| $\Sigma''_j$ | ผลรวมของค่าที่ยอมให้สำหรับคำนวณขอบเขตทางพลศาสตร์ (j = 1, 2 หรือ 3) | เมตร | 3.039 |
| $\Sigma_{EAj}$ | ผลรวมของค่าความปลอดภัยที่ยอมให้สำหรับระยะทางระหว่างศูนย์กลางที่ครอบคลุมเหตุการณ์แบบสุ่มที่แน่นอน (j = 1, 2 หรือ 3) | เมตร | 3.040 |



| สัญลักษณ์ | การระบุ | หน่วย | เลขที่สัญลักษณ์ |
|---|---|---|---|
| $\Sigma_V$ | ผลรวมของค่าที่ยอมให้ที่ได้พิจารณาในโครงสร้างพื้นฐานในแนวดิ่ง | เมตร | 1.278 |
| $\eta_0$ | มุมของการไม่สมมาตรของตู้รถไฟเนื่องจากความคลาดเคลื่อนในการก่อสร้างถึงจุดปรับตำแหน่งรองรับและถึงจุดที่มีการกระจายน้ำหนักที่ไม่เท่ากัน | องศา | 1.281 |
| $\eta_{0r}$ | มุมอ้างอิง $\eta_0$ ที่ได้พิจารณาค่าที่ยอมรับได้ | องศา | 1.283 |
| $\theta$ | มุมที่เป็นผลจากความคลาดเคลื่อนการปรับตำแหน่งรองรับ | เรเดียน | 1.284 |
| $\tau$ | การก่อสร้าง pantograph และความคลาดเคลื่อนจากการติดตั้ง | เมตร | 1.286 |

**หมายเหตุ:** อ้างอิงจากมาตรฐาน EN-15273-1

**ตารางที่ 2-2 แสดงดัชนีล่างที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ**

| ดัชนีล่าง | คำอธิบาย |
|---|---|
| ดัชนีล่าง a | ส่วนโค้งนอก |
| ดัชนีล่าง i | ส่วนโค้งใน |
| ดัชนีล่าง 0 | ค่าที่ยอมรับได้ระหว่างตู้รถไฟและโครงสร้างพื้นฐาน |
| ดัชนีล่าง st | ข้อบังคับการคำนวณด้านสถิตศาสตร์ ดัชนีล่างนี้สามารถเว้นไว้ได้ก็ต่อเมื่อ บริบทได้แสดงไว้อย่างชัดเจนว่าเป็นพารามิเตอร์ทางด้านสถิตศาสตร์ |
| ดัชนีล่าง kin | ข้อบังคับการคำนวณด้านจลศาสตร์ ดัชนีล่างนี้สามารถเว้นไว้ได้ก็ต่อเมื่อ บริบทได้แสดงไว้อย่างชัดเจนว่าเป็นพารามิเตอร์ทางด้านจลศาสตร์ |
| ดัชนีล่าง act | ค่าเฉพาะจุดที่แท้จริง เช่น ค่าที่วัดได้บนราง |
| ดัชนีล่าง RP | ตำแหน่งอ้างอิง |
| ดัชนีล่าง gap | ช่องว่างที่ระดับของชานชาลา |
| ดัชนีล่าง q | มิติการติดตั้งของชานชาลา |
| ดัชนีล่าง nom | ค่าระบุหรือค่าออกแบบ หรือพิกัดโครงสร้างระบุ |
| ดัชนีล่าง lim | พิกัดโครงสร้างบำรุงทาง |
| ดัชนีล่าง ver | พิกัดโครงสร้างขอบเขต |
| ดัชนีล่าง o | ขอบเขตบนของระดับการทวนสอบของพิกัด pantograph |
| ดัชนีล่าง u | ขอบเขตล่างของระดับการทวนสอบของ pantograph |
| ดัชนีล่าง P | ความเอียงของรถไฟ |
| ดัชนีล่าง C | รถไฟดั้งเดิม (Classic trains) |
| ดัชนีล่าง veh | ตู้รถไฟจริง |
| ดัชนีล่าง elec | ค่าฉนวนไฟฟ้า |

**หมายเหตุ:** อ้างอิงจากมาตรฐาน EN-15273-1

# 3 พิกัดเขตโครงสร้าง (Structure Gauge)

## 3.1 เส้นแนวอ้างอิงและข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

ข้อกำหนดนี้อธิบายกฎเกณฑ์โดยทั่วไปสำหรับการคำนวณขนาดและระยะต่าง ๆ ของพิกัดโครงสร้าง (ดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ใน EN 15273-1)



การคำนวณขนาดและระยะต่าง ๆ ของพิกัดโครงสร้างให้เริ่มต้นจากการกำหนดเส้นแนวอ้างอิง (Reference profile) หมายถึง ขอบเขตปลอดภัยสำหรับการเดินรถไฟบนทางตรง ราบ และไม่มีการยกโค้ง เนื่องจากขอบเขตปลอดภัยนี้ไม่ได้เผื่อระยะช่องว่างเพื่อรองรับการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของรถไฟเทียบกับรางที่เกิดจากปรากฏการณ์แบบสุ่มชนิดต่าง ๆ (Random phenomena) รวมไปถึงระยะช่องว่างสำหรับการบำรุงทาง ดั้งนั้น จึงต้องทำการขยายระยะในแนวราบและดิ่งของเส้นแนวอ้างอิงออกไปอีก การขยายระยะดังกล่าวจะกระทำโดยสูตรและสมการต่าง ๆ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง (Associated rules) ทั้งนี้ การขยายระยะจากเส้นแนวอ้างอิงจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของช่วงทางรถไฟที่กำลังพิจารณา เช่น รัศมีความโค้งราง ค่ายกโค้ง ความเร็วของการเดินรถ เป็นต้น ข้อบังคับที่เกี่ยวข้องสำหรับการขยายระยะในแนวราบและดิ่งเป็นไปตามที่แสดงดังนี้

### 3.1.1 การขยายตามขวาง

ความแตกต่างของพิกัดขึ้นอยู่กับสถานการณ์เฉพาะที่ หมายถึง ขนาดของการขยายระยะตามแนวขวางออกจากเส้นแนวอ้างอิงขึ้นอยู่กับประเภทของพิกัดที่เลือกใช้ (พิกัดขอบเขต พิกัดบำรุงทาง หรือพิกัดระบุ) การคำนวณระยะขยายตามขวางขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประการดังต่อไปนี้

1) **การล้มคว่ำเพิ่มเติม (Additional overthrow)** ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ต้องขยายระยะตามขวางของพิกัดโครงสร้างในช่วงทางโค้ง

2) **ผลกระทบกึ่งสถิต (Quasi-static effect)** ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ต้องขยายระยะตามขวางของพิกัดโครงสร้างเนื่องจากการตะแคงตัวของรถไฟ

โดยการล้มคว่ำเพิ่มเติม หมายความรวมถึงผลของเหตุการณ์ต่าง ๆ เช่น ผลกระทบของการขยายความกว้างรางรถไฟ และผลกระทบเชิงเรขาคณิตในโค้งของรถไฟอ้างอิงสมการคำนวณทั่วไปให้ไว้ใน EN 15273-1 สมการคำนวณที่ใช้คำนวณค่าพิกัดได้แสดงอยู่ในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ

สำหรับผลกระทบกึ่งสถิต ทำให้เกิดการหมุนของตัวตู้ของรถไฟอ้างอิงในโค้งสำหรับส่วนบนให้เส้นแนวอ้างอิงของตัวรถไฟต้องการระยะเผื่อเพิ่มขึ้นที่ด้านบนเมื่อตัวรถอยู่ในโค้ง (นอกส่วนโค้ง ภายใต้ผลกระทบของ cant deficiency จะได้ค่าสูงสุดเมื่อรถไฟวิ่งถึงความเร็วสูงสุดที่อนุญาตให้วิ่ง, ในส่วนโค้ง ภายใต้ผลกระทบของการยกโค้ง จะได้ค่าสูงสุดเมื่อรถไฟหยุดนิ่ง) ขึ้นอยู่กับประเภทของพิกัดรถไฟได้พิจารณาผลกระทบนี้แล้ว หากค่าที่ใช้ไม่เกิน $I_0$ และ $D_0$ โครงสร้างพื้นฐานนำมาพิจารณาเป็นค่าเพิ่มเติมเท่านั้น สมการคำนวณทั่วไปให้ไว้ใน EN 15273-1 สมการคำนวณที่ใช้คำนวณค่าพิกัดได้แสดงอยู่ในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ

## 3.2 เหตุการณ์ทางขวางแบบสุ่ม (Random transverse phenomena)

การพิจารณาเหตุการณ์แบบสุ่มขึ้นอยู่กับพิกัดที่ใช้ และเป็นความรับผิดชอบของผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐาน โดยมีการพิจารณา ดังนี้



**1) การสั่นของตัวรถที่เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของราง ($T_{OSC}$)**

ความไม่สม่ำเสมอของรางชนิดที่รองรับด้วยหินโรยทางเป็นสาเหตุทำให้รถไฟเกิดการสั่น ขนาดการสั่นขึ้นอยู่กับสภาพของรางรถไฟ ลักษณะของจุดรองรับและความเร็ว ตราบเท่าที่เหตุการณ์เหล่านี้ได้พิจารณาสิ่งที่เกิดจากโครงสร้างพื้นฐาน การสั่นนี้แสดงในรูปของค่าความคลาดเคลื่อนของจุดตัดเสมอระดับ ($T_{OSC}$) การสั่นนี้อยู่ที่ฐานบริเวณเอียงของจุดหมุนรอบศูนย์กลาง ขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของตัวรถไฟ ดัง**สมการที่ (2.1)**

$$\frac{S_0}{L} T_{osc} (h - h_{c0})_{>0} \tag{2.1}$$

**หมายเหตุ:** วิธีการอื่นที่มีอยู่ในการพิจารณาเหตุการณ์นี้ ตัวอย่างเช่น ในกรณีของพิกัดเชิงพลวัต เหตุการณ์นี้ได้ถูกรวมเข้าไปในตัวรถไฟ

**2) ระยะกระจัดของราง ($T_{track}$)**

ตำแหน่งของรางนั้นเปลี่ยนไปมาระหว่างการตรวจสอบราง 2 ราง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจากการจราจร และการซ่อมบำรุงราง ระยะกระจัดตามขวางสูงสุด ($T_{track}$) ขึ้นอยู่กับแรงที่กำหนดในการซ่อมบำรุง และความถี่ที่ดำเนินการในกรณีที่มีมาตรการป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างรางกับโครงสร้างที่อยู่ข้างเคียง ไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของระยะกระจัดของรางในการคำนวณพิกัดโครงสร้างก็ได้

**3) Cant deviation ($T_D$)**

เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของการซ่อมบำรุงและการจราจร ค่ายกโค้งของรางแปรผันกับค่ายกโค้งระบุ การเปลี่ยนแปลงของค่ายกโค้งนี้ส่งผลกระทบ 2 แบบ คือ

**แบบที่ 1** เส้นแนวพิกัดหมุนรอบศูนย์กลางของรางที่มุมหมุนสอดคล้องกับค่าแตกต่างสูงสุด ดัง**สมการ (2.2)**

$$S_0 \bullet \frac{T_D}{L} (h - h_{c0})_{>0} \tag{2.2}$$

**แบบที่ 2** ความยืดหยุ่นของจุดรองรับ รถไฟจะมีแนวโน้มหมุนรอบศูนย์กลางของจุดหมุน ดัง**สมการ (2.3)**

$$\Delta b = s_0 \bullet \frac{T_D}{L} (h - h_{c0}) \tag{2.3}$$

เหตุการณ์ทั้ง 2 แบบนี้ ไม่เพียงแต่มีผลกระทบต่อด้านในและด้านนอกของส่วนโค้ง ยังมีผลกระทบต่อรางทางตรง (ในปริมาณที่น้อยกว่า) ควรสังเกตว่าเหตุการณ์ทั้งสองนี้เกิดขึ้นพร้อมกันเสมอ ดังนั้นไม่เป็นอิสระต่อกัน

**4) ความไม่สมมาตร ($\eta_O$)**

รถไฟไม่มีทางที่จะสมมาตรได้อย่างสมบูรณ์ สาเหตุหลักเนื่องจาก (ขึ้นอยู่กับประเภทของพิกัด คือ 1) การปรับจุดรองรับไม่ดีเป็นผลให้โครงรถหมุน ($T_{susp}$) และ 2) ความไม่สมมาตรของน้ำหนักบรรทุก ซึ่งทำให้ตัวถังรถไฟหมุนใน suspension gear และเป็นผล ทำให้เกิดการหมุนของรถไฟ ($T_{load}$)

ทั้งสองกรณีนั้น โครงรถหมุนรอบศูนย์กลางการหมุน ($C_0$) ผลรวมของมุมทั้งสองสอดคล้องกับมุมอ้างอิง $\eta_O$ ดัง**สมการ (2.4)**

$$T_{dis} = T_{load} + T_{susp} \tag{2.4}$$

# 4 การยกระดับและการลดลงตั้งฉากกับผิวทางวิ่ง

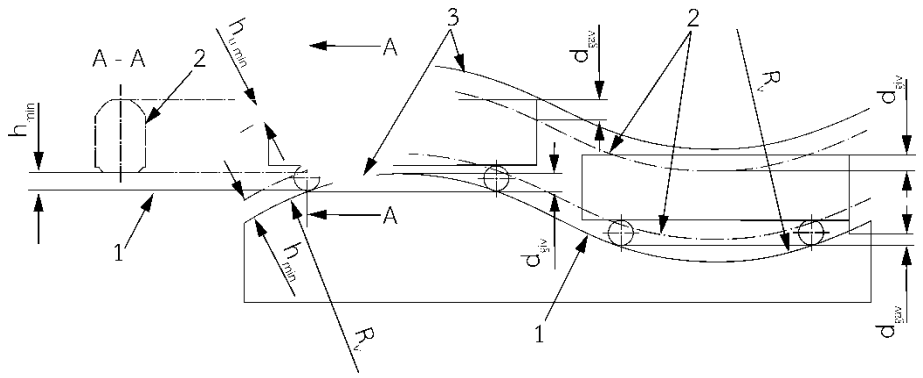
## 4.1 บทนำ

ในกรณีส่วนมากนั้น ถ้าไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่น รถไฟได้มีการพิจารณาถึงระยะกระจัดในแนวดิ่ง (รวมค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้) ระยะกระจัดในแนวดิ่งต่อไปนี้ควรจะถูกพิจารณาโดยผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐาน

## 4.2 การยกระดับในแนวดิ่งหรือการลดลงสำหรับ longitudinal profile transition curves

ความชันของรางมีความเชื่อมโยงกับส่วนโค้งแนวดิ่งที่มีรัศมี $R_V$ ระดับอ้างอิงนั้นขยายเข้าไปในส่วนบน และส่วนล่างเพื่อที่พิจารณาระยะกระจัดในแนวดิ่งหน้าตัดกลาง หรือหน้าตัดที่ยื่นออกมาของตัวโครงรถเทียบกับศูนย์กลางของราง ขณะที่รัศมีในแนวดิ่งค่อนข้างมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับรัศมีในแนวราบ เหตุการณ์นี้พิจารณาแต่เพียงจุดระดับสูงสุดและต่ำสุด สมการคำนวณทั่วไปให้ไว้ใน EN 15273-1 สมการคำนวณที่ใช้คำนวณค่าพิกัดได้แสดงอยู่ในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ แสดงดัง

**รูปที่ 2-2**

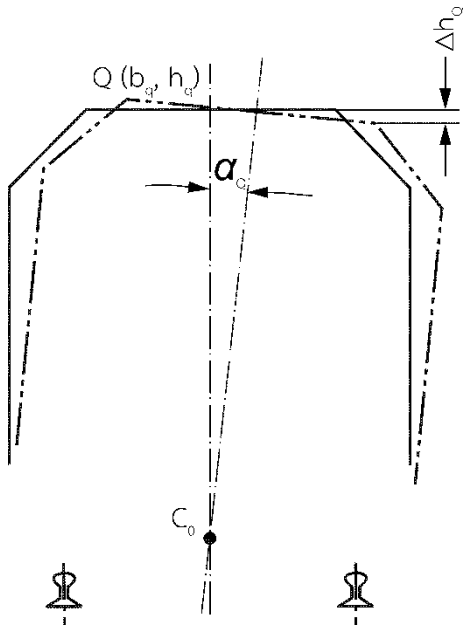



**รูปที่ 2-2 แสดงการล้มคว่ำเชิงเรขาคณิตในแนวดิ่ง**

## 4.3 ผลกระทบในแนวดิ่งของการหมุน (Vertical effect of the roll)

### 4.3.1 ส่วนบน

สำหรับพิกัดที่มีขนาดแบนราบในโครงสร้างส่วนบนในแนวนอน อย่างในกรณีของพิกัดที่ใช้สำหรับการขนส่งตู้บรรจุสินค้า การหมุนอาจทำให้เกิดการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของโครงสร้างส่วนนี้ เป็นผลให้พิกัดมีการยกระดับของส่วนที่อยู่ในแนวดิ่ง แสดงดัง**รูปที่ 2-3**




**รูปที่ 2-3 ผลกระทบในแนวดิ่งของการหมุน**

การหมุนที่เป็นผลมาจากเหตุการณ์ต่อไปนี้ควรจะนำมาพิจารณาผลกระทบกึ่งสถิต (ทั้งหมดหรือไม่ขึ้นกับประเภทของพิกัด) (ดู**หัวข้อ 3.1.1**), การเบี่ยงเบนของความลาด $T_D$ (**หัวข้อ 3.2**), การสั่นเนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของราง $T_{OSC}$ (**หัวข้อ 3.2**) และความไม่สมมาตร $\eta_0$ (**หัวข้อ 3.2**) ซึ่งการยกระดับหาได้จาก**สมการ (2.5)**

$$\Delta h_Q = b_Q \bullet \alpha_Q \sqrt{\left(\frac{b_Q}{h_Q - h_{C0}}\right)^2 + 1} \tag{2.5}$$

**โดยที่** $\alpha_Q$ คือ การหมุนของพิกัดเนื่องจากผลกระทบกึ่งสถิต

$h_Q, b_Q$ คือ ระยะพิกัดของจุดที่พิจารณา $Q$

โดยมุมหมุนที่พิจารณาขึ้นอยู่กับประเภทของพิกัด และการหมุนเนื่องจากพารามิเตอร์แบบสุ่มต่าง ๆ จะพิจารณาเมื่อต้องการหา $\Sigma_V$



#### 4.3.2 ส่วนล่าง

หลักการที่อธิบายในหัวข้อก่อนหน้าสามารถนำมาใช้ในการคำนวณผลกระทบในแนวดิ่งของการหมุนต่อระยะต่าง ๆ ในส่วนล่างของพิกัดโครงสร้างได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม ระยะเผื่อเนื่องจากผลกระทบดังกล่าวได้ถูกพิจารณาไปแล้วในการคำนวณพิกัดตัวรถ (Vehicle gauge) ดังนั้น จึงไม่มีความจำเป็นต้องทำการขยายระยะในส่วนล่างของพิกัดโครงสร้างแต่อย่างใด

### 4.4 การยกตัวขึ้น

สำหรับพิกัดสถิตศาสตร์ โครงสร้างพื้นฐานจะต้องพิจารณาผลของการยกตัวขึ้นของตัวรถไฟที่ตำแหน่งรองรับ ส่วนที่ยอมให้นี้เพิ่มเข้าไปในส่วนบนของพิกัดเท่านั้น

### 4.5 เหตุการณ์แบบสุ่มในแนวดิ่ง

ผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานสามารถเพิ่มส่วนที่ยอมให้โดยพิจารณาเหตุการณ์ดังต่อไปนี้

1) การลดระดับของรางเนื่องจากการทรุดตัวของหินโรยทาง
2) การยกตัวของรางในขณะที่ดำเนินการซ่อมบำรุง

### 4.6 ส่วนที่ยอมให้เพิ่มเติม

นอกจากส่วนที่ยอมให้ที่ครอบคลุมเหตุการณ์แบบสุ่ม ผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานสามารถตัดสินใจอนุญาตให้ใช้ส่วนที่ยอมให้เพิ่มเติมได้ คือ

- การเพิ่มความเร็ว
- การส่งสินค้าพิเศษ
- การเปิดประตูและความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่รถไฟในบางสถานการณ์ (เช่น ชานชาลา การควบคุมรางแยกสำหรับหยุดรถไฟเป็นต้น)
- การแก้ไขผังหรือพิกัดในอนาคต
- นิยามของ Invariable gauge ซึ่งสามารถจัดการได้อย่างง่ายโดยทีมซ่อมบำรุงและเฝ้าตรวจสอบโดยที่ส่วนที่ยอมให้นั้นเพียงพอ
- การพิจารณาผลกระทบด้านอากาศพลศาสตร์และลมตามขวาง

โดยค่าที่ยอมให้เหล่านี้สามารถพิจารณาได้ทั้งแนวดิ่งและแนวขวาง

## 5 ประเภทของพิกัด

### 5.1 ระเบียบวิธีทางพิกัด

การจำกัดความของพิกัดโครงสร้างนั้นอยู่บนพื้นฐานของเส้นแนวอ้างอิงและข้อบังคับที่เกี่ยวข้องซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ร่วมกันระหว่างโครงสร้างพื้นฐานและรถไฟ จะเห็นได้ว่าแยกพิจารณาออกจากกันไม่ได้ ส่วนที่ยอมรับได้ร่วมกันนั้นควบคุมการกระจัดที่เป็นไปได้ของรถไฟบนรางมีการกระจายตัวและถูกนำมาพิจารณา โดยมีระเบียบวิธีการคำนวณหลากหลายวิธี ซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ แสดงอยู่ใน EN 15273-1 การระบุระเบียบวิธีที่ใช้นั้นเป็นสิ่งจำเป็น ระเบียบวิธีหลักที่ใช้กันในทวีปยุโรปและได้ระบุในรายละเอียดที่อยู่ในมาตรฐานนี้ คือ



- วิธีการทางสถิตศาสตร์ใช้สำหรับกรณีเฉพาะเจาะจง ใช้งานประเภทที่ไม่มีการปฏิบัติงานร่วมกันระหว่างโครงข่าย

- วิธีการทางจลศาสตร์ ใช้กันในทวีปยุโรป เป็นสิ่งจำเป็นบนโครงข่ายที่ปฏิบัติงานร่วมกัน

- วิธีการทางพลศาสตร์ ใช้สำหรับบางโครงข่าย ที่มีวัตถุประสงค์ในการจัดพื้นที่ที่มีอยู่ให้เหมาะสมสำหรับขนาดรถไฟที่ไม่มีการปฏิบัติงานร่วมกันระหว่างโครงข่าย

## 5.2 ประเภทของพิกัดโครงสร้าง

สำหรับพิกัดแต่ละประเภทนั้น (ที่แสดงอยู่ในรายการ) พิกัดโครงสร้างแต่ละประเภทที่แตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับการใช้งานที่ต้องการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- **พิกัดโครงสร้างขอบเขต (Structure limit gauge)** พิจารณาการขยายและส่วนที่ยอมให้แน่นอนเท่านั้น เพื่อที่จะให้มั่นใจว่ามีความปลอดภัยในการทำงาน ระหว่างการควบคุมด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้จากหน้างาน กลุ่มของค่าที่ยอมให้เรียกว่า $M_1$

- **พิกัดโครงสร้างบำรุงทาง (Structure installation limit gauge)** พิจารณาขอบเขตพิกัดโครงสร้างและระยะการกระจัดทั้งหมด และการสึกกร่อนที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการซ่อมบำรุงสองช่วงเวลา โดยเพิ่มค่าที่ยอมให้ $M_2$ การใช้พิกัดที่เหมาะสมนั้นทำให้มั่นใจได้ว่าช่องว่างได้รักษาไว้ระหว่างช่วงบำรุงรักษาต่าง ๆ และการตรวจสอบการปฏิบัติงาน

- **พิกัดโครงสร้างระบุ (Structure installation nominal gauge)** นอกจากพิจารณาค่าที่ยอมให้ $M_1$ และ $M_2$ แล้ว ยังได้พิจารณาค่าที่ยอมให้เพิ่มเติม $M_3$ ซึ่งการใช้พิกัดที่เหมาะสมนั้น ทำให้มั่นใจได้ว่าช่องว่างได้รักษาไว้ได้ในการปฏิบัติจริง และยอมให้มีการใช้งานที่เป็นไปได้มากขึ้นสำหรับการขนส่งสินค้าพิเศษต่าง ๆ หรือแม้แต่การติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว

  โดยค่าที่ยอมให้ $M_1$ ขึ้นอยู่กับ $\sum_1$, ผลรวมของค่าที่ยอมให้ของ $M_1$ และ $M_2$ หาได้จาก $\sum_2$, และผลรวมของค่าที่ยอมให้ตั้งแต่ $M_1$ ถึง $M_3$ หาได้จาก $\sum_3$

## 5.3 Uniform Gauge

เมื่อผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานพิจารณาแล้วว่ามีพื้นที่เพียงพอ สามารถกำหนดค่าระยะ non-variable ด้วยการออกแบบที่ต้องคำนึงถึงความสะดวกสำหรับการดำเนินการ เพื่อการบำรุงรักษา โดยค่าระยะเหล่านี้รวมกับค่าที่ยอมให้ต่าง ๆ คือ ค่าขนาดโครงสร้างที่เรียกว่า uniform gauge ที่เป็นค่าขนาดโครงสร้างที่มีการใช้กันมากหลายโครงข่ายในทวีปยุโรป โดยพิกัดนี้ได้แสดงอยู่ในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ ข้อบังคับการใช้งานนั้นอาจแตกต่างกันตามแต่ละโครงข่าย ดังแสดงตัวอย่างได้แสดงดังนี้

**ตัวอย่างที่ 1** ผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานได้เลือกที่จะนิยามพิกัดสม่ำเสมอให้สอดคล้องกับกรณีที่แย่ที่สุด ตัวอย่างเช่น รัศมีที่เล็กที่สุด หรือค่ายกโค้งที่มาก



ที่สุด หรือการยกโค้งขาด ประเภทพิกัดนี้บ่อยครั้งใช้ในเมืองสำคัญเมื่อหน้าตัดขวางของอุโมงค์เป็นค่าคงที่ และหาได้จากสถานการณ์ที่แย่ที่สุด

**ตัวอย่างที่ 2** ผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานหลายท่านนั้นได้เลือกที่จะนิยามพิกัดจากเส้นแนวสองเส้นแนวนี้ คือ

1) เส้นแนวแรกนำไปปรับใช้กับรางตรงหรือรางโค้งที่มีรัศมีความโค้งมากและไม่มีค่ายกโค้ง
2) เส้นแนวที่สองนี้นำไปปรับใช้กับรางโค้งที่ได้ออกแบบบนพื้นฐานของกรณีค่ายกโค้งและรัศมีความโค้งที่แย่ที่สุด

โดยเส้นแนวแรกนำไปปรับใช้กับรางตรงหรือรางโค้งที่มีรัศมีความโค้งมากและไม่มีค่ายกโค้ง สำหรับเส้นแนวที่สองนี้นำไปปรับใช้กับรางโค้งที่ได้ออกแบบบนพื้นฐานของกรณีค่ายกโค้งและรัศมีความโค้งที่แย่ที่สุด

ซึ่งวิธีการนี้ได้ก่อให้เกิดค่าที่ยอมให้เพิ่มเติมเมื่อเทียบกับพิกัดพื้นฐานที่ใช้ และเป็นไปได้กับระยะช่องว่างที่เพียงพอที่มีหน้างานเท่านั้นผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานจะต้องหมั่นตรวจสอบเงื่อนไขของพิกัด ว่าพิกัดนี้ยังอยู่บนพิกัดพื้นฐาน เมื่อเงื่อนไขต่าง ๆ ไม่ได้ใช้งานแล้ว

ดังนั้น เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องไม่ลืมตัวเลือกของพิกัดที่ใช้ และเงื่อนไขของพิกัดว่าอยู่บนพื้นฐานใด ซึ่ง uniform gauge นั้นบางครั้งเป็นพิกัดที่ใช้ เส้นแนวอ้างอิงใหม่สามารถหาได้จากการหักลบค่าที่ยอมให้ทั้งหมดและส่วนขยาย/ส่วนลดจากวิธีที่ใช้ บ่อยครั้งจะได้ค่าที่มากกว่าค่าดั้งเดิม ซึ่งทำให้รถไฟใช้งานได้

# 6 ตัวเลือกพิกัด

## 6.1 ตัวเลือกพิกัดและระเบียบวิธี

การเลือกพิกัดขึ้นอยู่กับผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐาน ผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานพิจารณาสิ่งต่อไปนี้

1) การบังคับใช้การทำงานร่วมกันในแต่ละหน่วยงาน
2) การยอมรับร่วมกันสองทางหรือหลายฝ่าย
3) ข้อกำหนดในทางเทคนิคที่เป็นสากล
4) ประเภทของรถขนส่งสินค้าที่อนุญาตให้วิ่งบนโครงข่าย
5) พื้นที่ที่ว่างในบริเวณที่เกี่ยวข้อง
6) ข้อจำกัดที่ถูกกำหนดโดยโครงสร้างพื้นฐาน

พิกัดที่ถูกเลือกนั้นเรียกว่าพิกัดที่ใช้ ซึ่งผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานเป็นผู้รับผิดชอบการบำรุงรักษาของพิกัดที่ใช้ตลอดเวลา โดยระเบียบวิธีการเลือกขึ้นอยู่กับการเชื่อมโยงกับตัวเลือกทางพิกัด เพื่อให้ระบบโครงข่ายทำงานร่วมกันได้ให้ใช้พิกัดจลศาสตร์เท่านั้น



## 6.2 ตัวเลือกพิกัดโครงสร้าง

สำหรับพิกัดที่ใช้นั้นผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานอาจเลือกพิกัดโครงสร้างหนึ่งพิกัดหรือมากกว่าตามที่แสดงใน**หัวข้อ 6.1** ขึ้นอยู่กับความจำเป็น เมื่อสร้างเส้นทางใหม่ การต่อเติมหรือติดตั้งครั้งใหญ่ จำเป็นที่จะต้องดำเนินการให้พิกัดระบุไม่มีสิ่งใดล้ำเข้ามาในกรณีของเส้นทางที่มีอยู่เดิม ให้ดำเนินการกำจัดสิ่งที่รุกล้ำเข้ามาในพิกัดในช่วงที่จำเป็นและมีที่ว่างเพียงพอ ขึ้นอยู่กับความจำเป็นหรือสถานการณ์เฉพาะที่ ทำให้ไม่สามารถกำจัดสิ่งที่รุกล้ำเข้ามาในพิกัดระบุได้ อาจนำพิกัดโครงสร้างบำรุงทางมาใช้แทนพิกัดขอบเขตอาจต้องถูกกำหนดขึ้นใหม่ เมื่อต้องการให้รถไฟเดินทางผ่านได้ ในสถานการณ์ที่โครงสร้างและรางทรุดโทรม

## 6.3 การพิจารณาค่ายอมให้

- **พิกัดโครงสร้างขอบเขต**

  เหตุการณ์ที่นำมาพิจารณาและระเบียบวิธีการคำนวณสำหรับผลรวมของค่าที่ยอมให้ $\sum_1$ และ $\sum_2$ ขึ้นอยู่กับระเบียบวิธีของการเลือกพิกัด ดังนั้น จึงนิยามภายหลังในมาตรฐาน

  สำหรับระเบียบวิธีการคำนวณของพิกัดขอบเขตและพิกัดโครงสร้างบำรุงทางมีความคล้ายกัน ในขณะที่เหตุการณ์ที่นำมาพิจารณาได้ถูกนิยามไว้อย่างชัดเจนในมาตรฐาน การคำนวณยังคงเป็นหน้าที่ของผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐาน มาตรฐานนี้ระบุระเบียบวิธีการคำนวณและค่าที่แนะนำให้ใช้ไว้สำหรับผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐาน

- **พิกัดระบุ (Nominal gauge)**

  ค่าที่ยอมให้เนื่องจากเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในการกำหนดพิกัดระบุจะถูกกำหนด โดยผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐาน (ค่าที่ยอมให้หนึ่ง ๆ อาจถูกนำมาใช้ในการกำหนดหรือไม่ก็ได้) เนื่องด้วยเหตุผลนี้ จึงไม่มีวิธีการมาตรฐานสำหรับการคำนวณพิกัดระบุ ในทางปฏิบัติการกำหนดพิกัดระบุจะอาศัยผลลัพธ์จากการศึกษาความเหมาะสม (Feasibility study) ทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์

  การคำนวณค่าที่ยอมให้ (เพื่อวัตถุประสงค์ในการจัดการกับโครงสร้างที่อยู่ใกล้กับพิกัดโครงสร้าง) อาจกระทำโดยการรวมค่าที่ยอมให้แบบสุ่มทั้งหมดเข้าด้วยกันโดยตรง แทนที่การใช้รากที่สองของกำลังสองของค่าเฉลี่ย (ความถูกต้องของวิธีการนี้เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป แต่ไม่นิยมใช้กันในทางปฏิบัติ)

## 6.4 รายการพิกัด (Gauge Catalogue)

เงื่อนไขทางด้านเทคนิคสำหรับการทำงานร่วมกันของระบบโครงข่ายระหว่างประเทศ (Interoperability) ได้ถูกกำหนดไว้ใน EN 15273-1 การเลือกใช้งานพิกัดโครงสร้างที่สามารถทำงานร่วมกันได้ระหว่างระบบโครงข่าย ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างประเทศของระบบโครงข่ายต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยความแตกต่างขึ้นอยู่กับ 1) พิกัดที่ใช้ในการทำงานร่วมกันระดับนานาชาติ และ 2) พิกัดอื่น ๆ สำหรับการยอมรับร่วมกันสองทางหรือหลายทางหรือการประยุกต์ใช้ในระดับชาติ ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้ในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ



# 7 ข้อกำหนดในการหาพิกัดสถิตศาสตร์

## 7.1 ทั่วไป

เมื่อเป็นไปได้ โครงสร้างพื้นฐานใช้การคำนวณทางจลศาสตร์ที่สอดคล้องกัน เมื่อไม่มีข้อมูลของพิกัดนี้หรือมีค่าที่ยอมให้เพียงพอ วิธีการพร้อมข้อกำหนดได้แสดงไว้ข้างล่างดังนี้ คือ พิกัดโครงสร้างสถิตศาสตร์ได้นิยามไว้ขึ้นอยู่กับระดับอ้างอิงเชิงสถิต และข้อบังคับที่เกี่ยวข้องในรูปแบบของการยอมรับร่วมกันระหว่างโครงสร้างพื้นฐานและรถไฟ ซึ่งไม่สามารถแยกกันพิจารณาได้ แต่ระยะกระจัดแนวขวางและแนวดิ่งพิจารณาแยกออกจากกัน

เส้นแนวอ้างอิงเชิงสถิตของพิกัดรางระบุ (Nominal rail gauge) ที่ไม่มีค่ายกโค้งหาได้สำหรับทางรถไฟตรงและเรียบ พิกัดนี้เป็นค่าที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสถานการณ์ของทางรถไฟเฉพาะที่ (ค่ายกโค้ง รัศมีความโค้ง และพิกัดราง) มักจะถูกพิจารณาโดยค่าที่ยอมให้แบบตายตัว พารามิเตอร์ทั้งหมดนั้นถูกพิจารณาให้มีค่าเป็นบวกทางด้านขวาหรือซ้ายของเส้นศูนย์กลางในแนวดิ่งขึ้นอยู่กับแต่ละกรณี

## 7.2 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

เมื่อขาดข้อมูลของพิกัดเชิงจลน์เทียบเท่า พิกัดโครงสร้างนั้นหาได้โดยอาศัยเส้นแนวอ้างอิงเชิงสถิต ซึ่งแสดงระยะในแนวราบของพิกัดสถิตศาสตร์หาได้จาก**สมการ (2.6)**

$$b_{structure} \geq b_{RP} + S_{i/a} + qs_{i/a} + \sum_j \tag{2.6}$$

**โดยที่**

$b_{RP}$ คือ ความกว้างกึ่งหนึ่งของเส้นแนวอ้างอิงเชิงสถิต

$S_{i/a}$ คือ การล่มคว่ำเพิ่มเติม

$qs_{i/a}$ คือ ผลกระทบกึ่งสถิต

โดยผลกระทบกึ่งสถิต สามารถคำนวณได้จาก**สมการ (2.7)** ถึง **สมการ (2.10)** ดังนี้

**ด้านในโค้ง**
$$qs_i = z_0 + \frac{S_0}{L} \cdot [D - D_0]_{>0} \times [h - h_{c0}]_{>0} \tag{2.7}$$

**ด้านนอกโค้ง**
$$qs_a = z_0 + \frac{}{L} \cdot [I - I_0]_{>0} \times [h - h_{c0}]_{>0} \tag{2.8}$$

**โดยที่** เป็นค่าคงที่
$$z_0 = \frac{s_0(D_0 or I_0)}{L} (h_{\max} - h_{c0}) \tag{2.9}$$

หรือความสูงแปรผัน
$$z_0 = \frac{s_0(D_0 or I_0)}{L} (h - h_{c0}) \tag{2.10}$$

โดยผลรวมของค่าที่ยอมให้ $\sum_j$ ครอบคลุมเหตุการณ์แบบสุ่ม



สำหรับระยะในแนวดิ่งของพิกัดสถิตศาสตร์หาได้จาก**สมการ (2.11)**

$$h_{structure} \geq h_{RP} + \Delta h_{R_V} + \Delta h_{susp} + \Delta h_Q + \sum_V \tag{2.11}$$

**โดยที่** $h_{RP}$ คือ เส้นแนวความสูงอ้างอิง

$\Delta h_{R_V}$ คือ การยก/การลดระดับในแนวดิ่งในช่วงเข้าโค้ง

$\Delta h_{susp}$ คือ การยกตัวของรถไฟเนื่องจากความยืดหยุ่นของจุดรองรับ

$\Delta h_Q$ คือ การยกตัวของส่วนบนเนื่องจากผลกระทบในแนวดิ่งของการหมุนตัว

**โดยที่**

$$\alpha_Q = \frac{s_0}{L} \bullet \max(D, I) \tag{2.12}$$

โดยผลรวมของค่าที่ยอมให้เพิ่มเติม $\sum_V$ สำหรับเหตุการณ์แบบสุ่ม

## 7.3 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้

### 7.3.1 ค่าที่ยอมให้ตามขวาง

เหตุการณ์ที่พิจารณาค่าที่ยอมให้ได้นิยามไว้ เพื่อที่จะพิจารณาถึงเหตุการณ์แบบสุ่ม เหตุการณ์ทั้งหลายได้ถูกจัดกลุ่มตามข้างล่าง ดังนี้

$M_1$ รวมผลกระทบของเหตุการณ์แบบสุ่มทั้งหมด เนื่องจากการเคลื่อนตัวจริงของรถไฟ ค่าที่ยอมให้กำหนดขอบเขตการเดินรถ

โดยที่ $M_1$ หาได้จากพื้นฐานของการสั่นที่ถูกจัดประเภทโดยค่าความคลาดเคลื่อน $T_{osc}$ และความไม่สมมาตร ($\eta_0$) เนื่องจากการปรับจุดรองรับไม่ดี และการกระจายน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่า 1 องศา

$M_2$ รวมผลกระทบแบบสุ่มที่ทำให้มีการใช้ที่ดีที่สุดของค่ายอมให้ทำให้มั่นใจได้ว่าการซ่อมบำรุงที่ความถี่และทรัพยากรที่ได้เลือกไว้ โดย $M_2$ หาได้จากพื้นฐานของการขยายความกว้างเพื่อที่จะพิจารณาระยะกระจัดของราง $T_{track}$ ระหว่างช่วงการซ่อมบำรุงสองช่วง และส่วนของเรขาคณิตและผลกระทบกึ่งสถิตที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดของจุดตัดระดับของราง $T_D$

$M_3$ คือ ค่าที่ยอมให้ที่ทำให้มีการจัดการพิกัดได้ง่ายในระยะยาว และพิจารณาถึงความเป็นไปได้อื่น ๆ ที่เพิ่มเข้ามาสำหรับการขนส่งสินค้าพิเศษ การติดตั้งชั่วคราว หรืออื่น ๆ



### 7.4 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้ $\sum_j$

ค่าประสิทธิผลของ $\sum_j$ อาจเลือกได้จากค่าที่เป็นไปได้ทั้งค่าตายตัว หาได้จากพื้นฐานของประสบการณ์จากผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานที่มีบนโครงข่าย หรือค่าที่คำนวณจากพื้นฐานของค่าความคลาดเคลื่อนของการซ่อมบำรุง

เมื่อทำการหาพิกัดโครงสร้างขอบเขต ควรจะพิจารณาการเกิดพร้อมกันของค่าสุดโต่ง ที่เกิดขึ้นได้ยากมาก สิ่งนี้เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมผลรวมเชิงตัวเลขถึงไม่เป็นที่ยอมรับ สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าระดับที่ยอมรับได้สามารถหาได้จาก การใช้**สมการ (2.13)** ดังนี้

$$\sum_j = k\sqrt{\sum_{j'} \Delta b_{T_{j'}}{}^2} \tag{2.13}$$

**โดยที่** $T_j$ คือ ค่าที่ยอมให้ของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ทำการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ไม่เป็นอิสระเชิงสถิติต่อกันควรจะนำมาพิจารณาร่วมกัน เช่น ผลรวมเชิงตัวเลข

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ $k$ หาได้จากระดับความปลอดภัย ( $k \geq 1$) โดยคำอธิบายโดยรายละเอียดแสดงไว้ใน EN 15273-1 และแสดงตัวอย่างการคำนวณ และค่าที่แนะนำสำหรับความคลาดเคลื่อนได้แสดงไว้ในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ

#### 7.4.1 ค่าที่ยอมให้ในแนวดิ่งของเหตุการณ์แบบสุ่ม

เหตุการณ์ที่พิจารณาค่าที่ยอมให้ได้นิยามเพื่อที่พิจารณาความคลาดเคลื่อนดังต่อไปนี้

1) ผลกระทบในแนวดิ่งของการหมุนเนื่องจากเหตุการณ์แบบสุ่ม (สำหรับส่วนบนเท่านั้น)
2) ความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งของราง $T_n$
3) ความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่ง
4) ค่าที่ยอมให้เพิ่มเติม

### 7.5 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้ในแนวดิ่ง $\sum_V$

ค่าประสิทธิผลของ $\sum_V$ อาจเลือกได้จากค่าที่เป็นไปได้ทั้งค่าตายตัว หาได้จากพื้นฐานของประสบการณ์จากผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานที่มีบนโครงข่าย หรือค่าที่คำนวณจากพื้นฐานของค่าความคลาดเคลื่อนของการซ่อมบำรุง

เมื่อทำการหาพิกัดโครงสร้างขอบเขต ควรจะพิจารณาการเกิดพร้อมกันของค่าสุดโต่ง ที่เกิดขึ้นได้ยากมาก สิ่งนี้เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมผลรวมเชิงตัวเลขถึงไม่เป็นที่ยอมรับ สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าระดับที่ยอมรับได้สามารถหาได้จาก การใช้**สมการ (2.14)** ดังนี้

$$\sum_V = k\sqrt{\sum_{j'} \Delta h_{T_{j'}}{}^2} \tag{2.14}$$

**โดยที่** $T_j$ คือ ค่าที่ยอมให้ของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ทำการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ไม่เป็นอิสระเชิงสถิตต่อกันควรจะนำมาพิจารณาร่วมกัน เช่น ผลรวมเชิงตัวเลข

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ $k$ หาได้จากระดับความปลอดภัย ( $k \geq 1$ ) โดยคำอธิบายโดยรายละเอียดแสดงไว้ใน EN 15273-1 และแสดงตัวอย่างการคำนวณ และค่าที่แนะนำสำหรับความคลาดเคลื่อนได้แสดงไว้ในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ

# 8 ข้อบังคับในการหาพิกัดเชิงจลน์

## 8.1 ทั่วไป

เส้นแนวอ้างอิงเชิงจลน์ของพิกัดรางระบุ (Nominal rail gauge) ที่ไม่มีค่ายกโค้งหาได้สำหรับทางรถไฟตรงและเรียบ พิกัดนี้เป็นค่าที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสถานการณ์ของทางรถไฟเฉพาะที่ (ค่ายกโค้ง รัศมีความโค้ง และพิกัดราง) เหตุการณ์แบบสุ่ม มักจะถูกพิจารณาโดยผลรวมของค่าที่ยอมให้ $\sum_j$ พารามิเตอร์ทั้งหมดนั้นถูกพิจารณาให้มีค่าเป็นบวกทางด้านขวาหรือซ้ายของเส้นศูนย์กลางในแนวดิ่งขึ้นอยู่กับแต่ละกรณี

## 8.2 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

ระยะในแนวราบของพิกัดเชิงจลน์หาได้จาก**สมการ (2.15)**

$$b_{structure} \geq b_{RP} + S_{i/a} + qs_{i/a} + \sum_j \tag{2.15}$$

$S_{i/a}$ คือ การล่มคว่ำเพิ่มเติม
$qs_{i/a}$ คือ ผลกระทบกึ่งสถิต

โดยผลกระทบกึ่งสถิต สามารถคำนวณได้จาก**สมการ (2.16)** ถึง **สมการ (2.17)** ดังนี้

**ด้านในโค้ง**
$$qs_i = \frac{s_0}{L} \bullet [D - D_0]_{>0} \bullet [h - h_{c0}]_{>0} \tag{2.16}$$

**ด้านนอกโค้ง**
$$qs_a = \frac{s_0}{L} \bullet [I - I_0]_{>0} \bullet [h - h_{c0}]_{>0} \tag{2.17}$$

ระยะในแนวดิ่งของพิกัดเชิงจลน์หาได้จาก**สมการ (2.18)**

$$h_{structure} \geq h_{RP} + \Delta h_{R_V} + \Delta h_Q + \sum_V \quad (2.18)$$

**โดยที่** $h_{RP}$ คือ ระดับเส้นแนวอ้างอิงเชิงจลน์

$\Delta h_{R_V}$ คือ การยก/การลดระดับในช่วงเข้าโค้ง

$\Delta h_Q$ คือ การยกตัวของส่วนบนเนื่องจากผลกระทบในแนวดิ่งของการหมุนตัว

**โดยที่**

$$\alpha_Q = \frac{s_0}{L}.\max(D, I) \quad (2.19)$$

### 8.3 ค่าที่ยอมให้ตามขวางสำหรับเหตุการณ์แบบสุ่ม

เหตุการณ์ที่พิจารณาค่าที่ยอมให้ได้นิยามไว้เพื่อที่จะพิจารณาถึงเหตุการณ์แบบสุ่ม เหตุการณ์ทั้งหลายได้ถูกจัดกลุ่มตามข้างล่างนี้

$M_1$ คือ รวมผลกระทบของเหตุการณ์แบบสุ่มทั้งหมด เนื่องจากการเคลื่อนตัวจริงของรถไฟ ค่าที่ยอมให้กำหนดขอบเขตการเดินรถ $M_1$ หาได้จากพื้นฐานของการสั่นที่ถูกจัดประเภทโดยค่าความคลาดเคลื่อน $T_{osc}$ และความไม่สมมาตร ($\eta_0$) เนื่องจากการปรับจุดรองรับไม่ดี และการกระจายน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่า 1 องศา

$M_2$ คือ รวมผลกระทบแบบสุ่มที่ทำให้มีการใช้ที่ดีที่สุดของค่ายอมให้ทำให้มั่นใจได้ว่าการซ่อมบำรุงที่ความถี่และทรัพยากรที่ได้เลือกไว้ $M_2$ หาได้จากพื้นฐานของการขยายความกว้างเพื่อที่จะพิจารณาระยะกระจัดของราง $T_{track}$ ระหว่างช่วงการซ่อมบำรุงสองช่วง และส่วนของเรขาคณิตและผลกระทบกึ่งสถิตที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดของจุดตัดระดับของราง $T_D$

$M_3$ คือ ค่าที่ยอมให้ที่ทำให้มีการจัดการพิกัดได้ง่ายในระยะยาว และพิจารณาถึงความเป็นไปได้อื่น ๆ ที่เพิ่มเข้ามาสำหรับการขนส่งสินค้าพิเศษ การติดตั้งชั่วคราว หรืออื่น ๆ

### 8.4 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้ตามขวาง $\sum_j$

ค่าประสิทธิผลของ $\sum_j$ อาจเลือกได้จากค่าที่เป็นไปได้ทั้งค่าตายตัว หาได้จากพื้นฐานของประสบการณ์จากผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานที่มีบนโครงข่าย หรือค่าที่คำนวณจากพื้นฐานของค่าความคลาดเคลื่อนของการซ่อมบำรุง

เมื่อทำการหาพิกัดโครงสร้างขอบเขต ควรจะพิจารณาการเกิดพร้อมกันของค่าสุดโต่ง ที่เกิดขึ้นได้ยากมาก สิ่งนี้เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมผลรวมเชิงตัวเลขถึงไม่เป็นที่ยอมรับ สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าระดับที่ยอมรับได้สามารถหาได้จาก การใช้**สมการ (2.20)** ดังนี้

$$\sum_j = k\sqrt{\sum_{j'} \Delta b_{T_{j'}}{}^2} \qquad (2.13)$$

**โดยที่** $T_j$ คือ ค่าที่ยอมให้ของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ทำการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ไม่เป็นอิสระเชิงสถิติต่อกันควรจะนำมาพิจารณาร่วมกัน เช่น ผลรวมเชิงตัวเลข

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ $k$ หาได้จากระดับความปลอดภัย ($k \geq 1$) โดยคำอธิบายโดยรายละเอียดแสดงไว้ใน EN 15273-1 และแสดงตัวอย่างการคำนวณ และค่าที่แนะนำสำหรับความคลาดเคลื่อนได้แสดงไว้ในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ

### 8.4.1 ค่าที่ยอมให้ในแนวดิ่งของเหตุการณ์แบบสุ่ม

เหตุการณ์ที่พิจารณาค่าที่ยอมให้ได้นิยามเพื่อที่พิจารณาความคลาดเคลื่อนดังต่อไปนี้

1) ผลกระทบในแนวดิ่งของการหมุนเนื่องจากเหตุการณ์แบบสุ่ม (สำหรับส่วนบนเท่านั้น)
2) ความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งของราง $T_n$
3) ความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่ง
4) ค่าที่ยอมให้เพิ่มเติม

## 8.5 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้ในแนวดิ่ง $\sum_V$

ค่าประสิทธิผลของ $\sum_V$ อาจเลือกได้จากค่าที่เป็นไปได้ทั้งค่าตายตัว หาได้จากพื้นฐานของประสบการณ์จากผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานที่มีบนโครงข่ายหรือค่าที่คำนวณจากพื้นฐานของค่าความคลาดเคลื่อนของการซ่อมบำรุง

เมื่อทำการหาพิกัดโครงสร้างขอบเขต ควรจะพิจารณาการเกิดพร้อมกันของค่าสุดโต่ง ที่เกิดขึ้นได้ยากมาก สิ่งนี้เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมผลรวมเชิงตัวเลขถึงไม่เป็นที่ยอมรับ สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าระดับที่ยอมรับได้สามารถหาได้จาก การใช้**สมการ (2.21)** ดังนี้

$$\sum_V = k\sqrt{\sum_{j'} \Delta h_{T_{j'}}{}^2} \qquad (2.13)$$

**โดยที่** $T_j$ คือ ค่าที่ยอมให้ของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ทำการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ไม่เป็นอิสระเชิงสถิติต่อกันควรจะนำมาพิจารณาร่วมกัน เช่น ผลรวมเชิงตัวเลข

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ $k$ หาได้จากระดับความปลอดภัย ($k \geq 1$) โดยคำอธิบายโดยรายละเอียดแสดงไว้ใน EN 15273-1 และแสดงตัวอย่างการคำนวณ และค่าที่แนะนำสำหรับความคลาดเคลื่อนได้แสดงไว้ในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ



# 9 ข้อบังคับในการหาพิกัดเชิงพลวัต

## 9.1 ทั่วไป

เส้นแนวอ้างอิงเชิงพลศาสตร์ของพิกัดรางระบุ (Nominal rail gauge) ที่ไม่มีค่ายกโค้งหาได้สำหรับทางรถไฟตรงและเรียบ พิกัดนี้เป็นค่าที่ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสถานการณ์ของทางรถไฟเฉพาะที่ (ค่ายกโค้ง รัศมีความโค้ง และพิกัดราง)

เหตุการณ์แบบสุ่ม มักจะถูกพิจารณาโดยผลรวมของค่าที่ยอมให้ $\sum_j$ พารามิเตอร์ทั้งหมดนั้นถูกพิจารณาให้มีค่าเป็นบวกทางด้านขวาหรือซ้ายของเส้นศูนย์กลางในแนวดิ่งขึ้นอยู่กับแต่ละกรณี

## 9.2 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

ระยะในแนวราบของพิกัดเชิงพลวัตหาได้จาก**สมการ (2.22)**

$$b_{structure} \geq b_{RP} + S_{i/a} + \sum_j \tag{2.22}$$

**โดยที่** $b_{RP}$ คือ ความกว้างกึ่งหนึ่งของเส้นแนวอ้างอิงทางพลศาสตร์
$S_{i/a}$ คือ การล่มคว่ำเพิ่มเติม

ระยะในแนวดิ่งของพิกัดเชิงพลวัตหาได้จาก**สมการ (2.23)**

$$h_{structure} \geq h_{RP} + \Delta h_{R_V} + \sum_V \tag{2.23}$$

**โดยที่** $h_{RP}$ คือ ระดับความสูงของเส้นแนวอ้างอิงทางพลศาสตร์
$\Delta h_{R_V}$ คือ การยก/การลดระดับในช่วงเข้าโค้ง

## 9.3 ค่าที่ยอมให้ตามขวางสำหรับเหตุการณ์แบบสุ่ม

เหตุการณ์ที่พิจารณาค่าที่ยอมให้ได้นิยามไว้ เพื่อที่จะพิจารณาถึงเหตุการณ์แบบสุ่ม เหตุการณ์ทั้งหลายได้ถูกจัดกลุ่มตามข้างล่างนี้

$M_1$ คือ รวมผลกระทบของเหตุการณ์แบบสุ่มทั้งหมด เนื่องจากการเคลื่อนตัวจริงของรถไฟ ค่าที่ยอมให้กำหนดขอบเขตการเดินรถ $M_1$ หาได้จากพื้นฐานของการสั่นที่ถูกจัดประเภทโดยค่าความคลาดเคลื่อน $T_{osc}$ และความไม่สมมาตร ($\eta_0$) เนื่องจากการปรับจุดรองรับไม่ดี และการกระจายน้ำหนักบรรทุกน้อยกว่า 1 องศา

$M_2$ คือ รวมผลกระทบแบบสุ่มที่ทำให้มีการใช้ที่ดีที่สุดของค่ายอมให้ทำให้มั่นใจได้ว่าการซ่อมบำรุงที่ความถี่และทรัพยากรที่ได้เลือกไว้ $M_2$ หาได้จากพื้นฐานของการขยายความกว้างเพื่อที่จะพิจารณาระยะกระจัดของราง $T_{track}$ ระหว่างช่วงการซ่อมบำรุงสองช่วง และส่วนของเรขาคณิตและผลกระทบกึ่งสถิตที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากความผิดพลาดของจุดตัดระดับของราง $T_D$



$M_3$ คือ ค่าที่ยอมให้ที่ทำให้มีการจัดการพิกัดได้ง่ายในระยะยาว และพิจารณาถึงความเป็นไปได้อื่น ๆ ที่เพิ่มเข้ามาสำหรับการขนส่งสินค้าพิเศษ การติดตั้งชั่วคราว หรืออื่น ๆ

## 9.4 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้ตามขวาง $\sum_j$

ค่าประสิทธิผลของ $\sum_j$ อาจเลือกได้จากค่าที่เป็นไปได้ทั้งค่าตายตัว หาได้จากพื้นฐานของประสบการณ์จากผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานที่มีบนโครงข่าย หรือค่าที่คำนวณจากพื้นฐานของค่าความคลาดเคลื่อนของการซ่อมบำรุง

เมื่อทำการหาพิกัดโครงสร้างขอบเขต ควรจะพิจารณาการเกิดพร้อมกันของค่าสุดโต่ง ที่เกิดขึ้นได้ยากมาก สิ่งนี้เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมผลรวมเชิงตัวเลขถึงไม่เป็นที่ยอมรับ สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าระดับที่ยอมรับได้สามารถหาได้จากการใช้**สมการ (2.24)** ดังนี้

$$\sum_j = k\sqrt{\sum_{j'} \Delta b_{T_{j'}}{}^2} \tag{2.24}$$

**โดยที่** $T_j$ คือ ค่าที่ยอมให้ของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ทำการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ไม่เป็นอิสระเชิงสถิติต่อกันควรจะนำมาพิจารณาร่วมกัน เช่น ผลรวมเชิงตัวเลข

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ $k$ หาได้จากระดับความปลอดภัย ($k \geq 1$) โดยคำอธิบายโดยรายละเอียดแสดงไว้ใน EN 15273-1 และแสดงตัวอย่างการคำนวณ และค่าที่แนะนำสำหรับความคลาดเคลื่อนได้แสดงไว้ในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ

### 9.4.1 ค่าที่ยอมให้ในแนวดิ่งของเหตุการณ์แบบสุ่ม

เหตุการณ์ที่พิจารณาค่าที่ยอมให้ได้นิยามเพื่อที่พิจารณาความคลาดเคลื่อนดังต่อไปนี้

1) ผลกระทบในแนวดิ่งของการหมุนเนื่องจากเหตุการณ์แบบสุ่ม (สำหรับส่วนบนเท่านั้น)
2) ความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งของราง $T_n$
3) ความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่ง
4) ค่าที่ยอมให้เพิ่มเติม

## 9.5 การหาผลรวมของค่าที่ยอมให้ในแนวดิ่ง $\sum_V$

เนื่องจากไม่มีลำดับของพารามิเตอร์แบบสุ่มดังเช่นในกรณีของความกว้างกึ่งหนึ่ง ความสูงนั้นหาได้จากผลรวมเชิงตัวเลขขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่พิจารณาค่าประสิทธิผลของ $\sum_V$ อาจเลือกได้จากค่าที่เป็นไปได้ทั้งค่าตายตัว หาได้จากพื้นฐานของประสบการณ์จากผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานที่มีบนโครงข่าย หรือค่าที่คำนวณจากพื้นฐานของค่าความคลาดเคลื่อนของการซ่อมบำรุง



เมื่อทำการหาพิกัดโครงสร้างขอบเขต ควรจะพิจารณาการเกิดพร้อมกันของค่าสุดโต่ง ที่เกิดขึ้นได้ยากมาก สิ่งนี้เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมผลรวมเชิงตัวเลขถึงไม่เป็นที่ยอมรับ สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าระดับที่ยอมรับได้สามารถหาได้จาก การใช้**สมการ (2.25)** ดังนี้

$$\sum_V = k\sqrt{\sum_{j'} \Delta h_{T_{j'}}{}^2} \tag{2.25}$$

**โดยที่** $T_j$ คือ ค่าที่ยอมให้ของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ทำการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ไม่เป็นอิสระเชิงสถิติต่อกันควรจะนำมาพิจารณาร่วมกัน เช่น ผลรวมเชิงตัวเลข

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ $k$ หาได้จากระดับความปลอดภัย ( $k \geq 1$ ) โดยคำอธิบายโดยรายละเอียดแสดงไว้ใน EN 15273-1 และแสดงตัวอย่างการคำนวณ และค่าที่แนะนำสำหรับความคลาดเคลื่อนได้แสดงไว้ในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ

# 10 ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางทางรถไฟ

## 10.1 ทั่วไป

ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางทางรถไฟได้ถูกกำหนดไว้เพื่อทำให้รถไฟบนทางที่ติดกันสามารถสัญจรผ่านในเวลาเดียวกันได้ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางทางรถไฟถูกกำหนดโดยการเลือกพิกัดและพิจารณาเหตุการณ์เดียวกันกับที่ได้พิจารณาในพิกัดโครงสร้างของจริง โดยให้ผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานกำหนดระยะทางระหว่างศูนย์กลางทางรถไฟขึ้นมา หนึ่งระยะหรือมากกว่า เพื่อทำแน่ใจได้ว่าระยะช่องว่างของพิกัดที่เลือกไว้เพียงพอสำหรับ 1) การทวนสอบระยะระหว่างศูนย์กลางจะต้องทำการหาระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขต 2) สำหรับการติดตั้งราง (Track installation) ต้องทำการหาระยะระหว่างศูนย์กลางบำรุงทาง แลในทุก ๆ กรณีต้องแนะนำให้รักษาค่าที่ยอมให้เพิ่มเติม ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางระบุ (nominal distance between centers) ได้ถูกกำหนดไว้ เพื่อให้เกิดการจัดการได้อย่างยืดหยุ่น โดยเฉพาะการซ่อมบำรุงรางและการทวนสอบ เมื่อจำเป็นต้องมีการอนุญาตให้มีการขนส่งสินค้าพิเศษ

## 10.2 การหาระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขตของทางรถไฟ

### 10.2.1 บทนำ

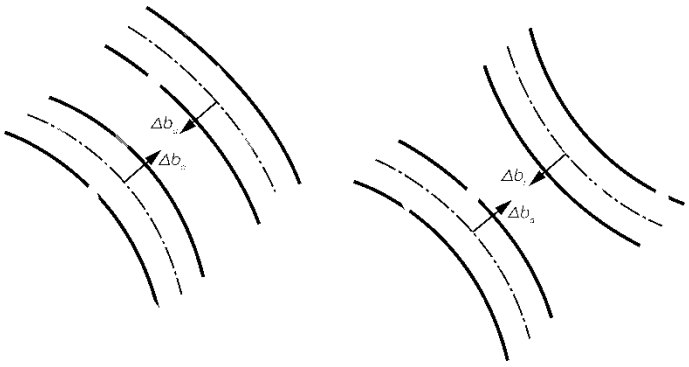
ระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขตของทางรถไฟมีไว้เพื่อป้องกันการซ้อนทับของพิกัดของทางสองทางที่อยู่ติดกันโดยได้พิจารณาทั้งเส้นแนวอ้างอิงและข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง และผลรวมของค่าที่ยอมให้ $\sum_{AEj}$ ซึ่งหาโดยวิธีเดียวกันกับพิกัดขอบเขต โดยทั่วไป ระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขตของทางรถไฟหาได้จากจุดของส่วนบน $P$ แสดงดัง**รูปที่ 2-4** มีเพียงการขยายความกว้าง EN 15273-1 เท่านั้น ที่กระทบต่อการหาระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขต โดยค่าต่อไปนี้ให้นำมาพิจารณาทางรถไฟแต่ละทาง

- การล่มคว่ำเพิ่มเติม $S_{i/a}$
- ผลกระทบกึ่งสถิต $qs_{i/a}$

- ผลกระทบของผลต่างของค่ายกโค้งระหว่างสองทางรถไฟ $\Delta b_{\delta h}$
- ค่าที่ยอมให้ $M_j$ ที่ได้พิจารณาความคลาดเคลื่อนของทางรถไฟและความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักบรรทุกที่แน่นอน

สมการสำหรับสองจุดแรก และเหตุการณ์แบบสุ่มที่พิจารณาขึ้นอยู่กับประเภทของพิกัดที่ใช้ตามที่ระบุไว้ในข้อความข้างต้น โดยผลกระทบของระยะห่างระหว่างศูนย์กลางไม่ว่าจะเป็นด้านในหรือด้านนอกของโค้งของทางที่พิจารณานั้นจะต้องนำมารวมด้วยเสมอ

ตัวอย่าง ในกรณีของทางที่มีส่วนโค้งร่วมศูนย์ เหตุการณ์ทั้งหมดบนโค้งด้านในนำมาพิจารณาสำหรับทางที่อยู่ด้านนอก และเหตุการณ์ของโค้งด้านนอกนำมาพิจารณาสำหรับทางที่อยู่ด้านใน กรณีของทางสองทางที่มีส่วนโค้งตรงข้ามกัน เหตุการณ์ทั้งหมดด้านนอกของแต่ละทาง นำข้อมูลของทางตัวเองมาพิจารณาของใครของมันทั้งรัศมี ค่ายกโค้งและ ความเร็วที่วิ่ง



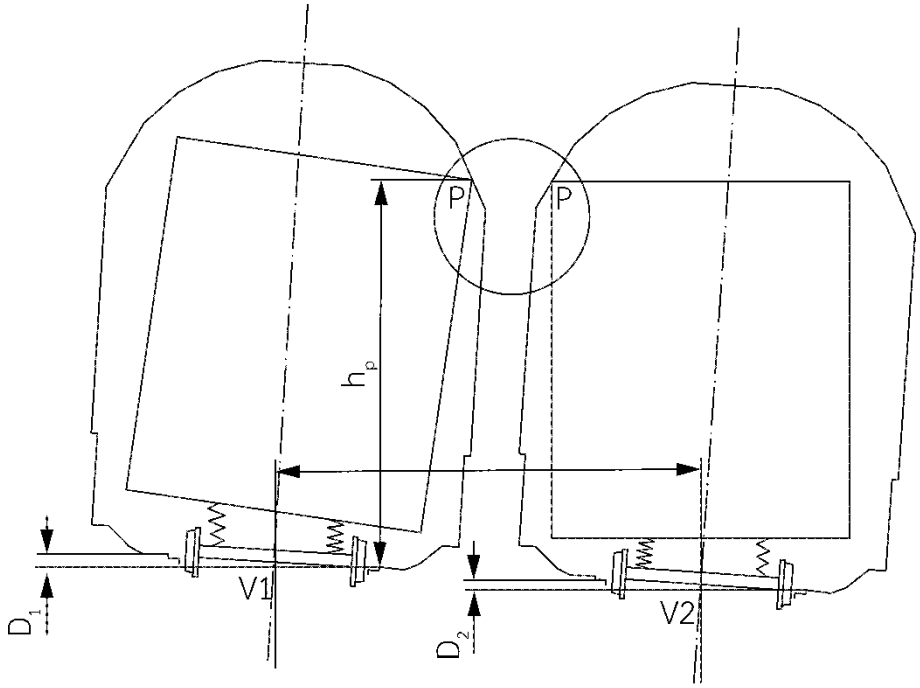

**รูปที่ 2-4 ระยะระหว่างศูนย์กลาง**

### 10.3 ผลกระทบของผลต่างของค่ายกโค้ง $\Delta b_{\delta h}$

เมื่อทางรถไฟสองทางที่พิจารณามีค่ายกโค้งหรือจุดตัดระดับตามขวางที่แตกต่างกัน พิกัดของทางทั้งสองนี้มีแนวโน้มที่จะเข้ามาใกล้กัน หรือไกลออกห่างจากกันที่ด้านบนสุดของส่วนในแนวดิ่ง ทำให้มีผลกระทบอย่างมากที่ระยะทางระหว่างศูนย์กลางที่วัดจากผิวทางวิ่ง ถ้าความแตกต่างของค่ายกโค้งทำให้จุด $P$ เข้ามาใกล้กันแสดงดัง**รูปที่ 2-5** ระยะทางระหว่างศูนย์กลางจะเพิ่มขึ้น ถ้าพิกัดสองพิกัดเคลื่อนออกห่างจากกันที่จุด $P$ การลดลงของระยะทางระหว่างศูนย์กลางสามารถยอมให้ได้ถึงจุดที่พิกัดสัมผัสผิวล่าง การลดลงนี้มักจะละเว้นภายใต้เงื่อนไขข้างต้น ผลกระทบนี้สามารถคำนวณดัง**สมการ (2.26)** ดังนี้

$$\Delta b_{\delta D} = \frac{h_p}{L}\left[D_1 - D_2\right]_{>0} \tag{2.26}$$

ทาง 1 คือ ทางด้านซ้าย และทาง 2 คือ ทางด้านขวา ค่ายกโค้งจะต้องนำมาพิจารณาในทิศทางเดียวกันเสมอ ดัง**รูปที่ 2-5**




**รูปที่ 2-5 ระยะระหว่างศูนย์กลางในกรณีของค่ายกโค้งที่แตกต่างกัน**

**หมายเหตุ:** V1 คือ ทาง 1
V2 คือ ทาง 2

### 10.4 ค่าที่ยอมให้ที่พิจารณาเหตุการณ์แบบสุ่ม

ผลกระทบบนทางรถไฟทั้งสองทางจะต้องนำมาพิจารณาพร้อมกัน อย่างไรก็ดีควรสังเกตว่าเหตุการณ์ของทางทั้งสองไม่ขึ้นต่อกันซึ่งหมายความว่าผลรวมเชิงตัวเลขของค่าที่ยอมให้ของทางแต่ละทางที่พิจารณาแยกกันดูมีค่ามากเกินไป ค่าที่ยอมให้ได้นิยามไว้เพื่อที่จะพิจารณาถึงเหตุการณ์แบบสุ่มเพื่อทำการหาระยะทางระหว่างศูนย์กลาง เหตุการณ์ทั้งหลายได้ถูกจัดกลุ่มดังนี้

- ระยะทางระหว่างศูนย์กลางขอบเขตพิจารณาถึงการเพิ่มความกว้างและค่าที่ยอมให้แน่นอนเท่านั้น ซึ่งทำให้มั่นใจในความปลอดภัยเมื่อมีการจราจรตัดกันระหว่างการควบคุมด้วยพารามิเตอร์ที่บันทึกที่หน้างาน การจัดกลุ่มของพารามิเตอร์นี้เรียกว่า $M_{EA1}$

- ระยะทางระหว่างศูนย์กลางบำรุงทางพิจารณาถึงระยะระหว่างศูนย์กลางและการกระจัดทั้งหมดและการสึกกร่อนที่อาจเกิดขึ้นได้ในช่วงการซ่อมบำรุงสองช่วง (two maintenance periods) ด้วยวิธีการของค่าที่ยอมให้ $M_{EA2}$ การรักษาระยะทางระหว่างศูนย์กลางนี้ทำให้มั่นใจว่าระยะช่องว่างสำหรับการซ่อมบำรุงที่ต่างกัน และการทวนสอบการปฏิบัติงานมีค่าเท่าเดิม

- ระยะการติดตั้งระหว่างศูนย์กลางระบุ เพิ่มเติมจากค่าที่ยอมให้ $M_{EA1}$ และ $M_{EA2}$ และพิจารณาถึงค่าที่ยอมให้ เรียกว่า $M_{EAB}$ การรักษาช่องว่างระหว่างศูนย์กลางนี้ไว้ทำให้มั่นใจว่าการก่อสร้างทางและการบำรุงรักษาทำได้ง่ายขึ้น โดยที่
  1) ค่าที่ยอมให้ $M_{EA1}$ ขึ้นอยู่กับ $M_{EA2}$



2) ผลรวมของค่าที่ยอมให้ $M_{EA1}$ และ $M_{EA2}$ หาได้จาก $M_{EA2}$

3) ผลรวมของค่าที่ยอมให้ $M_{EA1}$ ถึง $M_{EAB}$ หาได้จาก $M_{EAB}$

### 10.3.1 การคำนวณ

ผลกระทบ ขึ้นอยู่กับสถานการณ์เฉพาะที่ของแต่ละราง (ค่ายกโค้ง รัศมีส่วนโค้ง และพิกัดราง) และจะต้องพิจารณาการรวมกันของความกว้างกึ่งหนึ่งสองความกว้างบนเส้นแนวอ้างอิง ผลกระทบแบบสุ่ม จะถูกพิจารณาโดยค่าที่ยอมให้ค่าเดียว $M_{EAj}$ ระยะทางระหว่างศูนย์กลางจะครอบคลุมผลรวมเชิงตัวเลขของผลกระทบเหล่านี้ ดัง**สมการ (2.27)**

$$EA \geq (b_{RP} + S_{i/a} + qs_{i/a})_{Track1} + (b_{RP} + S_{i/a} + qs_{i/a})_{track2} + \Delta b_{\delta D} + \sum_{EAj} \tag{2.27}$$

**1) การคำนวณหาค่าที่ยอมให้ $M_{EAj}$**

ขึ้นอยู่กับการใช้ที่ให้ไว้สำหรับระยะทางระหว่างศูนย์กลางขอบเขตที่ทำการคำนวณค่าที่ยอมให้ $M_{EAj}$ จะพิจารณาถึงผลที่แต่ละส่วนแตกต่างกันของผลกระทบนั้น ๆ ค่าประสิทธิผลของ $M_{EAj}$ สามารถเลือกได้จาก ค่าที่เป็นไปได้ทั้งค่าตายตัว หาได้จากพื้นฐานของประสบการณ์จากผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานที่มีบนโครงข่าย หรือค่าที่คำนวณจากพื้นฐานของค่าความคลาดเคลื่อนของการซ่อมบำรุง และเหตุการณ์ที่นำมาพิจารณาขึ้นอยู่กับระเบียบวิธีการคำนวณและประเภทของระยะทางระหว่างศูนย์กลางที่ทำการพิจารณา

**2) ระเบียบวิธีการคำนวณ**

สำหรับพิกัดเชิงสถิตไม่มีข้อบังคับทั่วไปควบคุมระเบียบวิธีการคำนวณสำหรับระยะทางระหว่างศูนย์กลางขอบเขต บ่อยครั้งระยะทางระหว่างศูนย์กลางขอบเขตหาได้จากผลรวมของพิกัดความกว้างกึ่งหนึ่งระบุ เมื่อมีพิกัดเชิงจลน์ที่สอดคล้องกัน ระยะทางระหว่างศูนย์กลางขอบเขตสามารถหาได้จากวิธีการทางจลศาสตร์

สำหรับพิกัดเชิงจลน์ เมื่อคำนวณหาระยะทางระหว่างศูนย์กลางขอบเขต ควรจะพิจารณาว่าเหตุการณ์ที่เกิดพร้อมกันของค่าสุดโต่งนั้นเกิดขึ้นได้ยากมาก สิ่งนี้เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมผลรวมเชิงตัวเลขถึงไม่เป็นที่ยอมรับ สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าระดับที่ยอมรับได้ของความแน่นอนหาได้จาก การใช้**สมการ (2.28)** ดังนี้

$$\sum_{EA} = k\sqrt{\left(\sum_{j'} \Delta b_{T_{j'}}{}^2\right)_{track1} + \left(\sum_{j'} \Delta b_{T_{j'}}{}^2\right)_{track2}} \tag{2.28}$$

**โดยที่** $T_j$ คือ ค่าที่ยอมให้ของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ทำการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ไม่เป็นอิสระเชิงสถิตต่อกันควรจะนำมาพิจารณาร่วมกัน เช่น ผลรวมเชิงตัวเลขควรสังเกตว่าเหตุการณ์ชนิดเดียวกันบนทาง



สองทางนั้นถูกพิจารณาให้เป็นเหตุการณ์แบบอิสระเชิงสถิติต่อกัน

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ $k$ หาได้จากระดับความปลอดภัย ( $k \geq 1$) โดยคำอธิบายโดยรายละเอียดแสดงไว้ใน EN 15273-1 และแสดงตัวอย่างการคำนวณ และค่าที่แนะนำสำหรับความคลาดเคลื่อนได้แสดงไว้ในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ

- สำหรับพิกัดเชิงพลวัต ยังไม่มีวิธีมาตรฐานสำหรับการคำนวณระยะทางระหว่างศูนย์กลางขอบเขตสำหรับกรณีของพิกัดเชิงพลวัตในกรณีนี้ให้ใช้หลักการคำนวณของพิกัดเชิงจลน์

## 10.5 การคำนวณหาระยะทางระหว่างศูนย์กลางทางรถไฟระบุ

### 10.5.1 บทนำ

ค่าที่ยอมให้ทั้งหมดที่ระบุในการคำนวณระยะทางระหว่างศูนย์กลางขอบเขตข้างต้นนั้นถูกครอบคลุมโดยระยะทางระหว่างศูนย์กลางระบุ ระยะทางระหว่างศูนย์กลางระบุมีค่าที่ยอมให้เพิ่มเติมตามรายการที่แสดงข้างล่างซึ่งถูกเลือกโดยผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐาน ประกอบด้วย

1) ค่าที่ยอมให้ที่เพิ่มระดับความปลอดภัย
2) ค่าที่ยอมให้เพิ่มเติมสำหรับการซ่อมบำรุง
3) ค่าที่ยอมให้ที่ครอบคลุมอากาศพลศาสตร์
4) ค่าที่ยอมให้ในการอำนวยความสะดวกในการติดตั้งประแจสับหลีก
5) ค่าที่ยอมให้ในการอนุญาตให้มีการวิ่งของการขนส่งสินค้าพิเศษ
6) การสำรองช่องว่างสำหรับการวางผังในอนาคตหรือการปรับเปลี่ยนพิกัด
7) ค่าที่ยอมให้ทำให้ได้ระยะทางระหว่างศูนย์กลางที่ไม่แปรผัน (non-variable distance between centers) ที่ทำให้การจัดการง่ายขึ้นสำหรับการซ่อมบำรุงและการทวนสอบที่ค่าที่ยอมให้จริงมีมาก
8) ค่าที่ยอมให้เพิ่มเติมสำหรับความปลอดภัยของบุคคลซึ่งอยู่นอกขอบเขตของมาตรฐานนี้ ต้องถูกกำหนดโดยบุคคลที่เกี่ยวข้อง

### 10.5.2 การคำนวณ

โดยปกติแล้ว ค่าของระยะทางระหว่างศูนย์กลางระบุเป็นค่าคงที่ ถูกนิยามสำหรับช่วงของรัศมีที่ถูกเลือกเพื่อที่จะทำให้การออกแบบทางรถไฟ การวางผังและการบำรุงรักษาสะดวกขึ้น

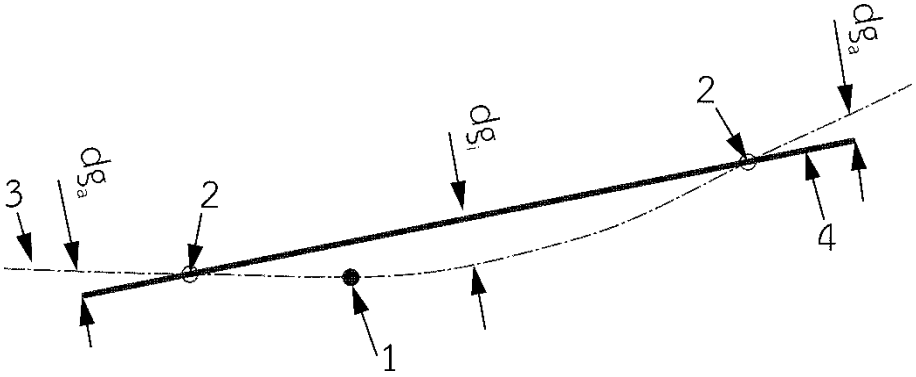
อย่างไรก็ดี ไม่มีระเบียบวิธีการปกติสำหรับโครงข่ายทั้งหมดในการคำนวณหาระยะทางระหว่างศูนย์กลางระบุ เนื่องจากค่าที่ยอมให้แตกต่างกัน จะพิจารณาหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐาน ดังนั้นระยะทางระหว่างศูนย์กลางระบุหาได้ในเวลาเดียวกันกับพิกัดระบุ ตามด้วยการศึกษาความเป็นไปได้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่วางไว้ และผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์และเทคนิค

และทางหนึ่งที่ทำให้ได้มาซึ่งค่าความปลอดภัยที่ยอมให้สูงขึ้นพร้อมด้วยวัตถุประสงค์ในการอำนวยความสะดวกในการจัดการระยะทางระหว่างศูนย์กลาง คือ การรวมค่าที่ยอมให้แบบสุ่มที่กล่าวไว้ในกรณีของระยะทางระหว่างศูนย์กลางขอบเขตเข้าด้วยกันเชิงตัวเลข แทนที่จะใช้รากที่สองของผลรวมของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ควรสังเกตว่าระเบียบวิธีการนี้ยอมรับกันโดยทั่วไป แต่ใช้กันน้อยบนโครงข่ายต่าง ๆ

# 11 องค์ประกอบของผังแปรปรวน (Variable layout)

## 11.1 บทนำ

หลักการคำนวณและข้อบังคับต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นให้ข้อมูลที่เพียงพอในการคำนวณหาช่องว่างที่สำรองไว้สำหรับทางรถไฟตรงและโค้ง บริเวณช่วงทางเข้าโค้ง ให้สังเกตว่า รถไฟเกี่ยวข้องกับช่องว่างที่ผันแปรอย่างต่อเนื่องมีความสัมพันธ์กับคุณลักษณะขององค์ประกอบสององค์ประกอบของผังที่พิจารณา บริเวณทางเข้าโค้งนี้ขึ้นอยู่กับทั้งคุณลักษณะของผังและความยาวของตัวรถไฟที่วิ่งอยู่บนทางที่พิจารณา ดังแสดงใน**รูปที่ 2-6**




**รูปที่ 2-6 ผลกระทบของช่วงเข้าโค้ง**

**หมายเหตุ:** 1 คือ จุดเริ่มต้นโค้ง (จุดสัมผัสส่วนโค้ง)
2 คือ ศูนย์กลางของแคร่หรือเพลา
3 คือ ศูนย์กลางของทางรถไฟ
4 คือ ศูนย์กลางของรถไฟ

และข้อบังคับสำหรับการล้มคว่ำเพิ่มเติมและสำหรับผลกระทบกึ่งสถิตไม่ต้องรวมผลของจุดปลายของโครงของส่วนโค้ง เมื่อรถไฟเข้ามาในโค้ง ผลกระทบหลายอย่างเริ่มเห็นทันทีที่เพลาแรกเข้ามาในโค้ง จุดศูนย์ถ่วงและจุดที่กำหนดตำแหน่งที่รถไฟเข้ามาถึงคือ จุดเริ่มต้นโค้ง ข้อบังคับที่นำมาพิจารณาหาการแปรผันของพิกัดเมื่อข้ามเข้าสู่ผังบริเวณช่วงเข้าโค้งอธิบายตามด้านล่างนี้

### 11.1.1 คุณลักษณะของผังช่วงเข้าโค้ง

ผังช่วงเข้าโค้งมักประกอบไปด้วย **1) การเปลี่ยนแปลงของรัศมีส่วนโค้ง** และ **2) การเปลี่ยนแปลงของค่ายกโค้งหรือการยกโค้งขาด รัศมีส่วนโค้งสามารถเปลี่ยนอย่างราบรื่นหรือกะทันหัน** ขณะที่การเปลี่ยนแปลงของค่ายกโค้งขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่ายกโค้งที่ต้องการระยะทางที่น้อยที่สุดเสมอ (ดู ENV 13803-1 เพิ่มเติม) โดยปกติส่วนโค้งและ gradient transitions ถูกรวมเข้าด้วยกัน ถึงแม้ว่าจะแยก



ออกจากกันได้ และส่วนโค้งของช่วงเข้าโค้งในแนวดิ่งไม่มีการเพิ่มส่วนโค้งของช่วงเข้าโค้ง (ดู ENV 13803-1) เหตุการณ์เดียวกันเกิดขึ้นที่ระนาบของโค้งเท่านั้น ด้วยความจริงที่ว่าประแจสับหลีกเป็นองค์ประกอบที่มีความเฉพาะเจาะจง จึงพิจารณาแยกจากกัน

## 11.2 ความแปรผันของพิกัด

ความแปรผันของพิกัดขึ้นอยู่กับประเภทของพิกัด ข้อบังคับทั่วไปนั้น องค์ประกอบของพิกัดที่มีค่าความกว้างแปรผัน ได้แก่ 1) การล้มคว่ำ และ 2) ผลกระทบกึ่งสถิต

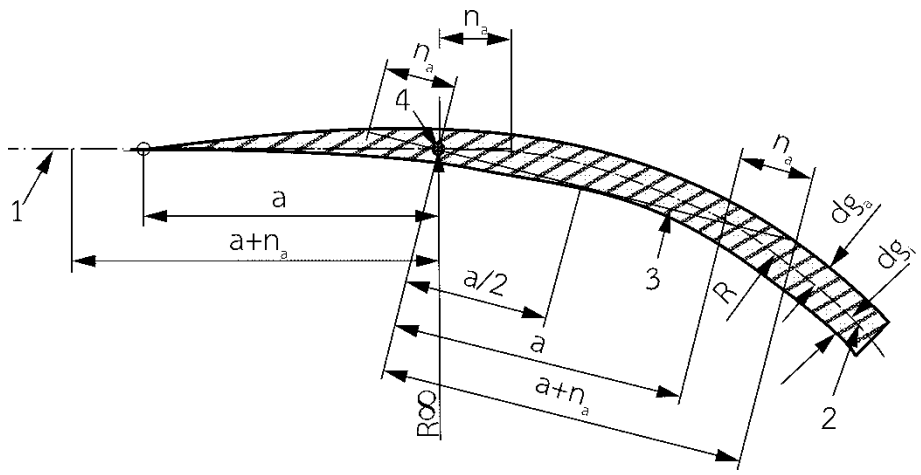
ควรสังเกตว่าการล้มคว่ำขึ้นอยู่กับรัศมีความโค้งและพิกัดทางรถไฟเฉพาะที่เท่านั้น เมื่อพิจารณาพิกัดเทียบกับรางที่ใกล้ที่สุด ส่วนของพิกัดรางได้รวมพิจารณาไปแล้ว ดังนั้นสามารถละเว้นได้ เมื่อพิจารณาส่วนในของโค้ง ผลกระทบกึ่งสถิตขึ้นอยู่กับค่ายกโค้งและ transition step เท่านั้น ควรสังเกตว่าจุดสูงสุดที่รถไฟเข้าถึงได้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของส่วนโค้ง เมื่อพิจารณาส่วนนอกของโค้ง ผลกระทบกึ่งสถิตมีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับการยกโค้งขาด ซึ่งขึ้นอยู่กับทั้งค่ายกโค้งเฉพาะจุดที่ใช้ และรัศมีส่วนโค้งและความเร็ว ส่วนนอกของโค้งนี้ จุดสูงสุดของรถไฟอยู่ในตำแหน่งปลายของส่วนโค้ง และเหตุการณ์คล้ายกันนี้เกิดขึ้นในทิศทางในแนวดิ่ง มีสิ่งที่พิจารณาแยกกันดังหัวข้อถัดไป

### 11.2.1 การเปลี่ยนแปลงผัง (Layout transition)

- **การเปลี่ยนรัศมีความโค้งแบบฉับพลัน**

**1) ความแปรผันของการล้มคว่ำเพิ่มเติม**

เมื่อรถไฟอยู่ในตำแหน่งเริ่มต้นของส่วนโค้ง ด้านหน้าของรถไฟได้มีการล้มคว่ำเมื่อเทียบกับศูนย์กลางรางแล้ว ก่อนที่แคร่หรือเพลาตัวแรกเข้ามาที่ส่วนโค้งทันที ที่แคร่หรือเพลาตัวแรกเข้ามาที่ส่วนโค้ง ด้านท้ายของรถไฟจะเริ่มมีการล้มคว่ำ สิ่งนี้หมายถึงว่าการล้มคว่ำเพิ่มเติมด้านนอก (outside additional overthrows) เป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาจากระยะ ( $n_a + a$ ) จากการเปลี่ยนแปลงผัง การล้มคว่ำเชิงเรขาคณิตเกิดขึ้นทั้งหมดเมื่อรถไฟเข้ามาอยู่ในโค้งทั้งหมด ดังนั้นเมื่อด้านท้ายของรถไฟอยู่ที่ตำแหน่ง $n_a$ จากจุดเริ่มต้นของส่วนโค้ง การเปลี่ยนแปลงแบบเรียบเกิดขึ้นมาระหว่างสถานการณ์สุดโต่งสองสถานการณ์นี้ คือ 1) สถานการณ์ที่คล้ายกันนี้เกิดขึ้นที่ส่วนในของโค้งทันทีที่จุดวิกฤตอยู่ในตำแหน่งระหว่างแคร่สองตัว การเปลี่ยนแปลงของการล้มคว่ำเพิ่มเติม เริ่มที่ระยะ $a$ จากจุดเริ่มของช่วงเข้าโค้งถึงถึงจุดปลายที่ระยะ $a/2$ ในส่วนโค้ง และ 2) การเปลี่ยนแปลงของการล้มคว่ำเพิ่มเติมเกิดขึ้นตลอดระยะทางซึ่งเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับฐานล้อของรถไฟ $a$ และระยะยื่น $n_a$ เนื่องจากความยาวของรถไฟเป็นสิ่งที่ไม่ทราบค่า จึงต้องทำการหาความยาวสูงสุดที่ยอมให้ รายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงนี้หาได้จากการให้รถไฟอ้างอิงทั้งหมดวิ่งผ่านช่วงเข้าโค้ง แสดงดัง**รูปที่ 2-7**




**รูปที่ 2-7 ผลกระทบของการเปลี่ยนรัศมีความโค้งแบบฉับพลัน**

**หมายเหตุ:** 1 คือ องค์ประกอบของผังทางตรง
2 คือ องค์ประกอบของผังทางโค้งมีรัศมี $R$
3 คือ รถไฟอ้างอิง
4 คือ จุดช่วงเข้าโค้ง (เริ่มต้นโค้ง)

2) **ผลกระทบกึ่งสถิตช่วงเข้าโค้ง** คือ การเปลี่ยนของส่วนโค้งช่วงเข้าโค้งทำให้ผลกระทบกึ่งสถิตเปลี่ยนแปลงในเวลาเดียวกันกับการเปลี่ยนขั้นค่ายกโค้ง ผลกระทบกึ่งสถิตจะต้องตรวจสอบที่จุดศูนย์ถ่วงซึ่งปกติจะอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ส่วนโค้งที่พิจารณาเป็น “ค่าเฉลี่ย” ระหว่างศูนย์กลางของแคร่หรือเพลา จุดสุดท้ายที่รถไฟมาถึงอยู่ระหว่างศูนย์กลางแคร่สำหรับโครงสร้างบนส่วนในของส่วนโค้ง และที่ปลายของโครงรถสำหรับโครงสร้างบนส่วนนอกของส่วนโค้ง โดยปกติรถไฟได้พิจารณาบางส่วนของการหมุนแล้ว ในกรณีของจุดเริ่มต้นโค้งเหตุการณ์การหมุนเกิดขึ้นได้น้อยมากก่อนถึงผังช่วงเข้าโค้ง

การทำให้ง่ายในการคำนวณช่องว่างที่ใช้ของรถไฟอ้างอิงขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของโค้งเป็นอย่างมาก การคำนวณจะทำซ้ำในช่วงเข้าโค้ง อย่างไรก็ตามจุดเริ่มต้นและจุดปลายมักจะเป็นเช่นเดิมดังที่แสดงข้างบน เพื่อที่จะทำให้ง่ายนี้ การล้มคว่ำเพิ่มเติมสามารถเปลี่ยนเป็นเชิงเส้นตรงระหว่างสองจุด

### 11.3 การเปลี่ยนแปลงโค้งแบบราบเรียบ (Smooth transition of curvature)

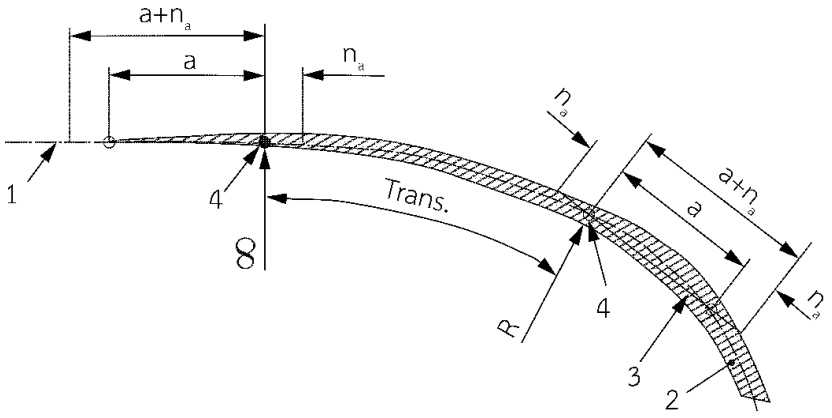
การเปลี่ยนแปลงโค้งแบบราบเรียบใช้เมื่อความเร็วรถสูงเพียงพอเท่านั้น (ดู ENV 13803-1 เพิ่มเติม) หลักการเหมือนกันทั้งหมดยกเว้นผลลัพธ์มีการเปลี่ยนเล็กน้อย คือ

- จุดเริ่มต้นเหมือนกรณีก่อนหน้านี้ ระยะ ($n_a + a$) ก่อนจุดเริ่มของช่วงเข้าโค้ง บนส่วนนอกของโค้งและระยะ $a$ จากจุดเดียวกันบนด้านในของส่วนโค้ง

- จุดปลายของช่วงการเปลี่ยนแปลงโค้งอยู่ในตำแหน่งระยะเดียวกันกับกรณีก่อนหน้านี้ แต่วัดเทียบกับปลายของการเปลี่ยนแปลงโค้งที่ ( $n_a$ ) เกินจุดนี้ออกไปบนด้านนอกของโค้ง และที่ระยะ ( $a/2$ ) หลังจากจุดเดียวกันนี้บนด้านในของโค้ง

- การเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นราบเรียบกว่าเพราะรัศมีส่วนโค้งเปลี่ยนอย่างราบเรียบ

การทำให้ง่ายคล้ายกันนี้สามารถนำมาใช้ บ่อยครั้งที่พิจารณาว่าบริเวณช่วงเข้าโค้งเป็นเส้นตรงตามความยาว แต่เคลื่อนตัวออกจากแนวเส้นตรง แสดงดัง**รูปที่ 2-8**




**รูปที่ 2-8 ผลกระทบของการเปลี่ยนส่วนโค้งแบบราบเรียบ**

**หมายเหตุ:** 1 คือ องค์ประกอบของผังทางตรง
2 คือ องค์ประกอบของผังทางโค้งมีรัศมี $R$
3 คือ รถไฟอ้างอิง
4 คือ จุดช่วงเข้าโค้ง (เริ่มต้นโค้ง) Trans ช่วงเข้าโค้ง

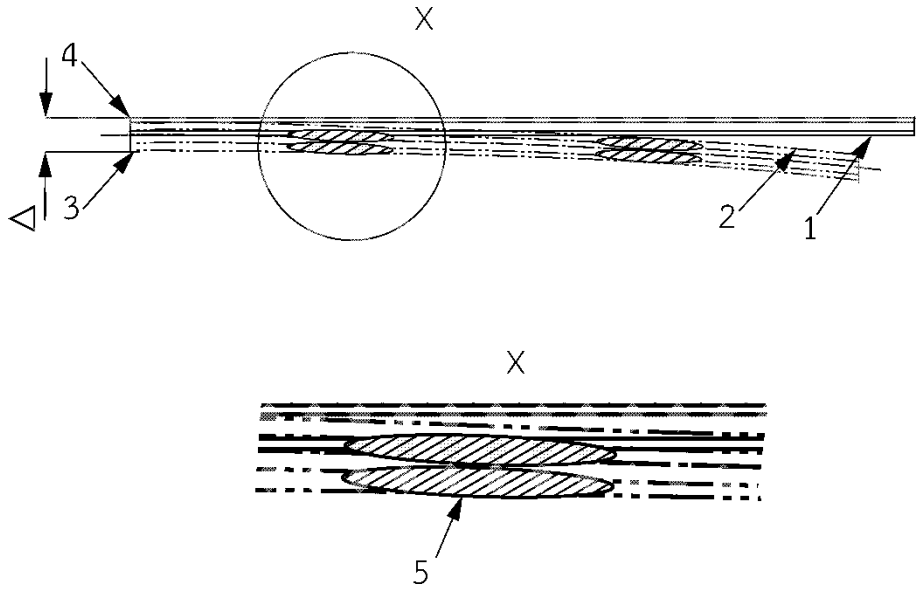
# 12 จุดตัดของประแจสับหลีก

## 12.1 บทนำ

โดยปกติประแจสับหลีกประกอบไปด้วยทางรถไฟหลักทางตรงและเส้นทางโค้งช่วงเปลี่ยน เพื่อที่ทำให้สามารถติดตั้งโครงสร้างได้อย่างถูกต้อง ต้องพิจารณาถึงผลของการจราจรบนทางทั้งสองนี้ ช่องว่างที่ชัดเจนสำหรับเส้นทางช่วงเปลี่ยนต้องการการพิจารณาเป็นพิเศษ ผังของประแจสับหลีกเป็นสิ่งเฉพาะเจาะจงมาก คือ

1) มุมเข้าช่วงการสับเปลี่ยน (the switch entry angle) เป็นเส้นทางของการเดินรถที่จุดเริ่มต้นของประแจสับหลีก มุมเข้าช่วงการสับเปลี่ยนนี้มีอยู่แม้กระทั่งกรณีของการสับเปลี่ยนที่มีโค้งทางออก (ดู ENV 13232-1 เพิ่มเติม) มุมนี้บังคับเพลาและรถไฟให้ออกจากโค้งทางออกทางทฤษฎีมาด้านนอกของโค้ง แสดงดัง**รูปที่ 2-9**

2) รัศมีส่วนโค้งอาจแปรผกผันกว้างมากตามแนวของประแจสับหลีกโดยมีบางส่วนของโค้งน้อยกว่าความยาวของรถไฟ ส่วนของผังนี้ไม่เป็นเส้นตรงเสมอ โดยผลกระทบนี้มีมากขึ้นในประแจสับหลีกที่มีรัศมีน้อย

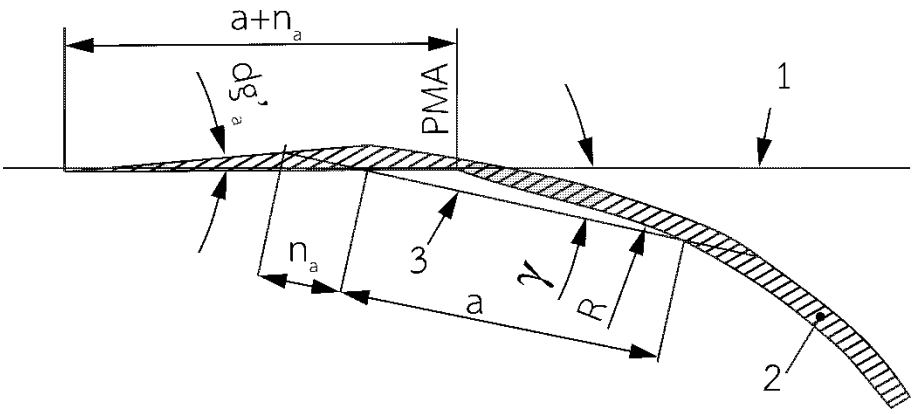



**รูปที่ 2-9 ผลกระทบของมุมเข้าช่วงการสับเปลี่ยน**

**หมายเหตุ:** 1 คือ ผังตามจริง
2 คือ ผังตามทฤษฎี (เส้นสัมผัส)
3 คือ ตำแหน่งรถไฟตามทฤษฎี
4 คือ ตำแหน่งรถไฟตามจริง
5 คือ บังใบล้อ
Δ คือ การล้มคว่ำเพิ่มเติมเนื่องจากมุมเข้าช่วงการสับเปลี่ยน

### 12.2 การแปรผันของการล้มคว่ำเพิ่มเติม

เป็นเพราะมุมเข้าช่วงการสับเปลี่ยน ที่ส่วนปลายของ mathematical switch toe ของประแจสับหลีก รถไฟที่กำลังเดินทางจากฝั่งตรงข้ามของเส้นทางสับหลีกสัมพัทธ์กับผังทางทฤษฎี เพื่อที่จะพิจารณาเหตุการณ์นี้ ระยะกระจัดของรถไฟอ้างอิงจะต้องถูกตรวจสอบโดยการจำลองทีละกรณี และใช้ช่องว่างสูงสุดที่เกิดจากรถไฟอ้างอิงจุดต่อกับจุดเริ่มต้นของประแจสับหลีกสามารถทำให้ง่ายได้โดยวิธีการเดียวกันกับส่วนโค้งช่วงเข้าโค้ง และสังเกตว่าการขยายให้กว้างขึ้นที่จุดเริ่มต้นของประแจสับหลีกมีมากขึ้นในโครงของส่วนโค้ง แสดงดัง**รูปที่ 2-10**




**รูปที่ 2-10 การล้มคว่ำเชิงเรขาคณิตของประแจสับหลีก**

**หมายเหตุ:** 1 คือ ผังทางตรงของทางรถไฟ
2 คือ ผังทางของประแจสับหลีก
3 คือ รถไฟอ้างอิง
*PMA* คือ mathematical switch toe
$\gamma$ คือ มุมเข้าช่วงการสับเปลี่ยนของประแจสับหลีก
$dg'_a$ คือ การล้มคว่ำเชิงเรขาคณิตของประแจสับหลีก

### 12.3 ความแปรผันของผลกระทบกึ่งสถิต

เนื่องจากผังของประแจสับเปลี่ยนสามารถแปรผันได้ ผลกระทบกึ่งสถิตทางทฤษฎีจึงแปรผันอย่างต่อเนื่องโดยหลักการ นอกจากนี้มุมเข้าช่วงการสับหลีกก่อให้เกิดผลกระทบทันทีซึ่งสอดคล้องเฉพาะที่กับการยกโค้งขาดสูง ส่วนที่สั้นมาก ๆ ของผังบ่อยครั้ง พบอยู่ในประแจสับหลีก ซึ่งรัศมีความโค้งมีค่ามาก

### 12.4 ผลลัพธ์

เนื่องจากความเร็วจุดตัดของประแจสับหลีกเป็นค่าคงที่ จึงเป็นไปได้ที่จะตรวจสอบประแจสับหลีกหนึ่งครั้งให้ครอบคลุมทุกกรณี ผลลัพธ์นี้แสดงในรูปในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ แสดงตัวอย่างการคำนวณสำหรับประแจสับหลีกที่กำหนด

## 13 การหาพิกัดทางผ่านอิสระของ pantograph

### 13.1 ทั่วไป

#### 13.1.1 ช่องว่างไร้สิ่งกีดขวางสำหรับสายไฟฟ้า

ในกรณีของสายไฟฟ้าที่มีสายสัมผัสเหนือรถ (overhead contact wires) ช่องว่างเพิ่มเติมต้องไม่มีสิ่งใดรุกล้ำเข้ามา เพื่อการติดตั้งสายเหนือรถ และการผ่านอิสระของ pantograph

โดยการติดตั้งสายเหนือรถขึ้นอยู่กับการออกแบบสายไฟ ดังนั้นจึงอยู่นอกขอบเขตของมาตรฐานนี้ และการผ่านอิสระของ pantograph โดยมีรายละเอียดด้านล่าง

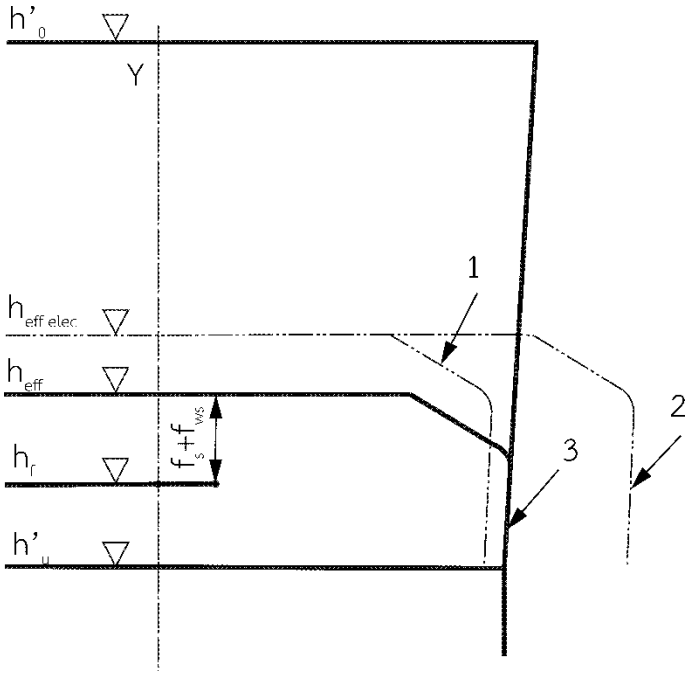
- ลักษณะเฉพาะพิกัดของ pantograph ต่างจากพิกัดโครงสร้างดังนี้

1) pantograph บางส่วนมีกระแสไฟ ดังนั้นจะต้องมีช่องห่างฉนวนไฟฟ้า (electrical insulating clearance) ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้างว่าหุ้มฉนวนหรือไม่

2) จะต้องพิจารณารวมผลของการมี insulated horn อย่างเหมาะสม ดังนั้นเส้นแนวอ้างอิงคู่จะต้องถูกระบุไว้เพื่อพิจารณาผลทางด้านการรบกวนระหว่างเครื่องกลและไฟฟ้าพร้อมกัน

3) ในขั้นตอน collection phaseนั้น pantograph สัมผัสถาวรกับสายสัมผัส ดังนั้นความสูงของสายสัมผัสจึงมีความแปรผัน ซึ่งเป็นจริงเช่นกันสำหรับพิกัด pantograph

ซึ่งแสดงหลักการพื้นฐานของ**พิกัด pantograph เชิงกลและเชิงไฟฟ้า** แสดงดัง**รูปที่ 2-11**




**รูปที่ 2-11** พิกัด pantograph เชิงกลและเชิงไฟฟ้า

**หมายเหตุ:** Y คือ ศูนย์กลางทางรถไฟ
1 คือ พิกัดไฟฟ้า (มี insulated horn)
2 คือ พิกัดไฟฟ้า (ไม่มี insulated horn)
3 คือ พิกัดเชิงกล

สิ่งจำเป็นสำหรับ pantograph บรรจบกันได้เมื่อสิ่งจำเป็นสำหรับพิกัดเชิงกลและไฟฟ้าบรรจบกันพร้อมกัน คือ **1) โครงสร้างที่มีกระแสไฟฟ้าและมีความต่างศักย์เช่นเดียวกันกับสายไฟที่อยู่ด้านบนจะต้องอยู่นอกพิกัดเชิงกล 2) โครงสร้างที่หุ้ม**



**ฉนวนจะต้องอยู่นอกพิกัดเชิงกลเช่นกัน** และ **3) โครงสร้างที่ไม่หุ้มฉนวน (ต่อลงดิน หรือมีศักย์ไฟฟ้าต่างจากสายไฟด้านบน) จะต้องอยู่นอกพิกัดเชิงไฟฟ้าและเชิงกล** ซึ่งใน**รูปที่ 2-11** แสดงพิกัด pantograph เชิงไฟฟ้าและเชิงกล สำหรับพิกัดเชิงไฟฟ้า รูปนี้แสดงทั้งกรณีที่มีและไม่มี insulated horn โดยระยะช่องว่างของฉนวนขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าและการควบคุมที่ใช้ตามแต่ละโครงข่ายที่พิจารณา ดังนั้น พิกัดเชิงไฟฟ้าจะแปรผันไปแต่ละโครงข่าย คำจำกัดความของระยะช่องว่างของฉนวนไฟฟ้าอยู่นอกขอบเขตของมาตรฐานนี้

# 14 การหาพิกัดเชิงกลของทางผ่านอิสระของ Pantograph (ในกรณีของพิกัดเชิงจลน์)

## 14.1 การหาความกว้างของพิกัดเชิงกล

### 1) บทนำ

ความกว้างของพิกัด pantograph หาได้จากความจำเป็นจากความกว้างของพิกัด pantograph ที่พิจารณา และระยะกระจัดของตัวมันเอง เหตุการณ์คล้ายกับที่พิจารณาในพิกัดโครงสร้างนั้นพบเพิ่มเติมได้ในเหตุการณ์เฉพาะเจาะจง เนื่องจาก pantograph ในตำแหน่ง collection ตามสายสัมผัส ความสูงของ pantograph ขึ้นอยู่กับตำแหน่ง collection ของสายสัมผัส ดังนั้น พิกัด pantograph จะถูกตรวจสอบที่ความสูงต่าง ๆ ที่สมมติไว้ ให้นำสถานการณ์สุดโต่งมาตรวจสอบที่ความสูงต่อไปนี้ คือ **1) ความสูงทวนสอบส่วนบน** $h'_0$ และ 2) **ความสูงทวนสอบส่วนล่าง** $h'_u$

ระหว่างความสูงทั้งสองนี้ สามารถพิจารณาได้ว่าความกว้างของพิกัดแปรผันเป็นเส้นตรง ซึ่งช่องว่างดังกล่าวเรียกว่า “pantograph chimney” แสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ แสดงอยู่ใน**รูปที่ 2-12**

### 2) ความกว้างกึ่งหนึ่ง $b_w$ ของ pantograph head

ขึ้นอยู่กับประเภทของ pantograph ที่ใช้ EN 50367 นิยามมิติของ pantograph บางประเภทที่ใช้ในยุโรป เป็นหน้าที่ของผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานในการหาประเภทของ pantograph ที่จะรวมเข้ามาในการพิจารณาในการหาพิกัด pantograph ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของการให้กระแสไฟฟ้า ซึ่งควรสังเกตว่า อำนาจการควบคุมระบบ pantograph ไม่ได้ขึ้นกับประเภทเท่านั้น แต่ยังขึ้นกับรถไฟที่วิ่งอยู่

### 3) ออฟเซตของ Pantograph $e_p$

โดย Pantograph ไม่ได้ถูกติดตั้งที่ศูนย์กลางของ the traction unit bogie centers ระยะออฟเซตขึ้นอยู่กับเหตุการณ์หลัก ๆ ดังนี้

(1) ระยะช่องว่างระหว่าง the axle boxes and body/bogies $q + w$

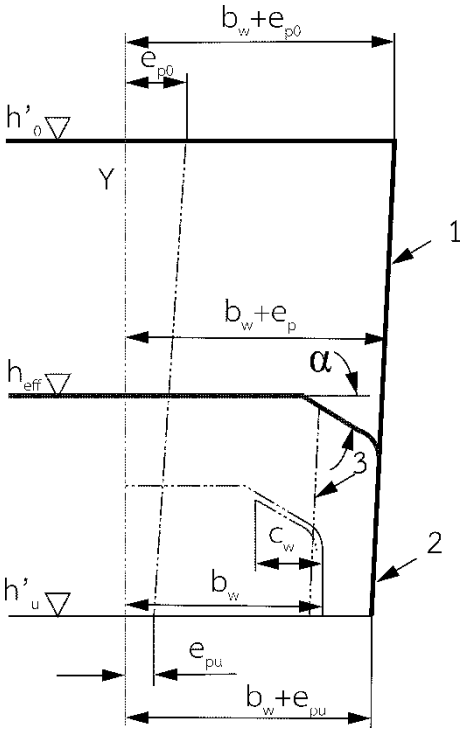
(2) ขนาดของการหมุนของตัวถังที่ได้พิจารณาไปในรถไฟ (ขึ้นอยู่กับ $S'_0$ $I'_0$ และ $D'_0$)

(3) the pantograph mounting tolerance บนหลังคา $\theta$

(4) ความยืดหยุ่นตามขวางของ pantograph mounting device บนหลังคา $\tau$

(5) ความสูงที่พิจารณา $h'$

ผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐานนิยามค่าขอบเขตออฟเซต $e_{po}$ และ $e_{pu}$ สำหรับความสูงทวนสอบ $h'_0$ และ $h'_u$ ค่าความสูงปานกลางหาได้จากการเทียบบัญญัติไตรยางศ์




**รูปที่ 2-12 พิกัดทางผ่านอิสระ**

**หมายเหตุ:** Y คือ ศูนย์กลางทางรถไฟ

1 คือ pantograph chimney

2 คือ เส้นแนวเชิงกล

3 คือ เส้นแนวเชิงไฟฟ้า

**4) การล้มคว่ำเพิ่มเติม $S$**

พิกัด pantograph มีการล้มคว่ำเพิ่มเติมที่เฉพาะเจาะจง

**5) ผลกระทบกึ่งสถิต**

ขณะที่กำลังติดตั้ง pantograph บนหลังคา ผลกระทบกึ่งสถิตมีส่วนสำคัญในการคำนวณพิกัด pantograph ผลกระทบนี้คำนวณจากพื้นฐานของความยืดหยุ่นที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจงค่ายกโค้ง และการยกโค้งขาดอ้างอิง ดัง**สมการ (2.29)** และ**สมการ (2.30)**



**ด้านในโค้ง** $$qs'_i = \frac{s_0'}{L} \bullet [D - D'_0]_{>0} \bullet [h - h'_{c0}]_{>0} \quad (2.29)$$

**ด้านนอกโค้ง** $$qs'_a = \frac{s_0'}{L} \bullet [I - I'_0]_{>0} \bullet [h - h'_{c0}]_{>0} \quad (2.30)$$

**6) ค่าที่ยอมให้ตามคำนิยามของพิกัด** โดยเหตุการณ์ดังต่อไปนี้จะต้องถูกพิจารณา ดังนี้

(1) ความไม่สมมาตรของน้ำหนักบรรทุก

(2) การสั่นที่เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของทางรถไฟ

(3) ระยะกระจัดตามขวางของทางรถไฟระหว่างการซ่อมบำรุงสองช่วงที่ต่อเนื่องกัน

(4) ความผันผวนของค่ายกโค้งที่เกิดขึ้นระหว่างการซ่อมบำรุงสองช่วงที่ต่อเนื่องกัน

(5) ค่าที่ยอมให้ $M_j$ และผลรวมของค่าที่ยอมให้ $\sum_j$ ตามที่นิยามไว้

ระเบียบวิธีการคำนวณใช้หลักการเดียวกันกับพิกัดโครงสร้าง เนื่องจาก pantograph incident นั้นถูกประเมินแล้วว่ามีความรุนแรงน้อย การใช้ระดับค่าความปลอดภัยที่ต่ำกว่านั้นยอมรับโดยในกรณีทั่ว ๆ ไป ดังคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ อธิบายวิธีการคำนวณพร้อมด้วยค่าที่แนะนำให้ใช้

**7) ระเบียบวิธีการคำนวณความกว้างของพิกัด pantograph**

ระเบียบวิธีการคำนวณความกว้างของพิกัด pantograph นั้นหาได้จากผลรวมของพารามิเตอร์ที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นในกรณีของทางรถไฟที่ใช้pantograph หลายชนิดให้ใช้ pantograph ที่มีค่าความกว้างสูงสุดในการคำนวณดังนี้

สำหรับจุดทวนสอบล่างด้วย $h = h_u'$ ดัง**สมการ (2.31)**

$$b'_{ui/a,mec} = (b_w + e_{pu} + S'_{i/a} + qs'_{i/a} + \sum_j)_{\max} \quad (2.31)$$

สำหรับจุดทวนสอบบนด้วย $h = h_o'$ ดัง**สมการ (2.32)**

$$b'_{ui/a,mec} = (b_w + e_{pu} + S'_{i/a} + qs'_{i/a} + \sum_j)_{\max} \quad (2.32)$$

สำหรับความสูงปานกลาง ความกว้างหาได้จากจากการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ **ดัง<u>สมการ</u> (2.33)**

$$b'_h = b'_u + \frac{h - h_u}{h_o - h_u} \bullet (b'_o - b'_u) \quad (2.33)$$

### 14.2 การหาความสูงมากที่สุดของพิกัดเชิงกล $h_{eff}$

ความสูงของพิกัดหาได้เฉพาะที่จากความสูงของสายสัมผัส $h_f$ พารามิเตอร์ต่อไปนี้จะต้องทำการพิจารณาการยกตัว $f_s$ ของสายสัมผัสที่เกิดจาก pantograph thrust และ pantograph skew ที่เกิดจาก offset contact pointและ pantograph frameที่ยกตัวขึ้นเนื่องจากการสึกกร่อนของหน้าสัมผัส ค่าทั้งสองนี้เรียกว่า $f_{ws} + f_{wa}$

ค่าของพารามิเตอร์เหล่านี้ขึ้นอยู่กับประเภทของสายที่อยู่ข้างบนและความต้องการในการซ่อมบำรุง ซึ่งเป็นหน้าที่ของผู้รับผิดชอบด้านโครงสร้างพื้นฐานเป็นผู้กำหนด ความสูงของพิกัดเชิงกลหาได้จาก **สมการ (2.34)**

$$h_{eff} = h_f + h_s + f_{ws} + f_{wa} \tag{2.34}$$

## 15 พิกัดเชิงไฟฟ้าของ Pantograph (ในกรณีของพิกัดเชิงจลน์)

### 15.1 บทนำ

พิกัดเชิงไฟฟ้าของ Pantograph หาได้แบบเดียวกันกับกรณีของพิกัดเชิงกล ยกเว้นสิ่งที่เป็นคุณลักษณะเฉพาะดังนี้

- พิกัดเชิงไฟฟ้าหาได้จากส่วนที่มีกระแสไฟฟ้า (ไม่หุ้มฉนวน) ของ Pantograph ดังนั้น นำเส้นแนวเชิงไฟฟ้าที่แสดงใน**รูปที่ 2-11** มาใช้เป็นพื้นฐาน เส้นแนวนี้มีความกว้างต่างจากเส้นแนวเชิงกลเท่ากับค่า $c_w$ ซึ่งเป็นความกว้างในแนวราบของ insulated horn

- ต้องพิจารณารวมผลของระยะของฉนวนไฟฟ้า $b_{elec}$ เข้าไปกับเส้นแนวเชิงกล

- เนื่องจากระยะฉนวน $b_{elec}$ มีความแตกต่างกันกับมิติเชิงสถิตและเชิงพลวัต การศึกษาสภาวะรถไฟหยุดนิ่งและการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดต้องดำเนินการแยกจากกัน พิกัดเชิงไฟฟ้านั้นได้มาจากการรวมผลของสองกรณีนี้
  1) สภาวะหยุดนิ่ง ซึ่งค่าเชิงสถิตของพารามิเตอร์ต่อไปนี้จะต้องพิจารณา ระยะฉนวน ผลกระทบกึ่งสถิต เนื่องจากค่ายกโค้งที่อยู่ด้านในของโค้ง และการยกตัว $f_s$ ของสายสัมผัส

  2) สภาวะวิ่ง ซึ่งค่าเชิงพลวัตของพารามิเตอร์ต่อไปนี้จะต้องพิจารณา ระยะฉนวน ผลกระทบกึ่งสถิตเนื่องจากการยกโค้งขาดที่อยู่ด้านนอกของโค้ง และการยกตัว $f_s$ ของสายสัมผัส

- เมื่อทำการหาค่าที่ยอมให้ จะต้องระวังค่าความคลาดเคลื่อนสะสม ดังนั้น ค่าของ $M_j$ สามารถลดลงหรือไม่ต้องนำมาคิดก็ได้ เหตุการณ์อื่น ๆ ทั้งหมดหาได้ในกรณีเดียวกันกับที่กล่าวไว้ข้างต้น



### 15.2 ความกว้างของพิกัดเชิงไฟฟ้าของ Pantograph

ความกว้างของพิกัดเชิงไฟฟ้าของ Pantograph หาได้จากผลรวมของพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ข้างล่างนี้ ในกรณีของทางรถไฟที่ใช้ Pantograph หลายชนิด ให้ใช้ pantograph ที่มีค่าความกว้างสูงสุดในการคำนวณ

สำหรับจุดทวนสอบล่างด้วย $h = h'_u$ ดัง**สมการ (2.35)**

$$b'_{u,elec} = (b_w - c_w + e_{pu} + b_{elec} + S'_{i/a} + qs'_{i/a} + \sum_j)_{\max} \quad (2.35)$$

สำหรับจุดทวนสอบบนด้วย $h = h'_u$ ดัง**สมการ (2.36)**

$$b'_{o,elec} = (b_w - c_w + e_{po} + b_{elec} + S'_{i/a} + qs'_{i/a} + \sum_j)_{\max} \quad (2.36)$$

สำหรับความสูงปานกลาง ความกว้างหาได้จากจากการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ ดัง**สมการ (2.37)**

$$b'_{h,elec} = b'_{u,elec} + \frac{h - h_u}{h_o - h_u} \bullet (b'_{o,elec} - b'_{u,elec}) \quad (2.37)$$

### 15.3 ความสูงของพิกัดเชิงไฟฟ้า

ความสูงของพิกัดเชิงไฟฟ้าหาได้จาก**สมการ (2.38)** โดยพิกัดเชิงไฟฟ้า $h_{eff,elec}$ จะอยู่สูงกว่าพิกัดเชิงกลเสมอ

$$h_{eff,elec} = h_f + h_s + f_{ws} + f_{wa} + b_{elec} \quad (2.38)$$

### 15.4 ระยะฉนวน

ระยะฉนวน $b_{elec}$ ขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ไฟฟ้าและการควบคุมที่ใช้โดยเฉพาะในแต่ละโครงข่าย ค่าระยะฉนวนนี้เมื่อพิจารณาที่สถานการณ์รถหยุดนิ่งและเคลื่อนตัวมีความแตกต่างกัน นิยามของค่าและการคำนวณ $b_{elec}$ ไม่ได้ระบุอยู่ในมาตรฐานนี้

## 16 การหาพิกัด Pantograph (ในกรณีของพิกัดเชิงพลวัต)

เมื่อพิกัด Pantograph ถูกระบุโดยวิธีการทางพลศาสตร์ ให้นำหลักการพื้นฐานเดียวกันกับกรณีวิธีทางจลน์ศาสตร์มาใช้ อย่างไรก็ตามพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ระบุไว้ในวิธีการทางพลศาสตร์ จะต้องนำมารวมในการพิจารณาเส้นแนวอ้างอิงเชิงพลวัตของ Pantograph และ Specific additional overthrow rules สำหรับพิกัด Pantograph สามารถนิยามได้ เส้นแนวนี้ถูกเลือกจาก pantograph ที่ใช้ สำหรับวิธีการทางจลศาสตร์ หรือด้วยวิธีการคงที่ ซึ่งโครงสร้างทุกชนิดจะต้องสอดคล้องกับ**สมการ (2.39)** ดังนี้

$$b_{structure} > b'_{RP} + S'_i \text{ or } S_a + \sum_{j,dyn} \quad (2.39)$$

และโครงสร้างทุกชนิดที่หุ้มฉนวนจะต้องสอดคล้องกับ**สมการ (2.40)** ดังนี้

$$b_{structure} > b'_{RP} + S'_i \text{ or } S_a + \sum_{j,dyn} + b_{elec} \quad (2.40)$$

ความสูงของพิกัดเชิงกลและเชิงไฟฟ้าอาจหาได้จากวิธีที่ใช้สำหรับพิกัดเชิงจลน์ หรือการเลือกความสูงคงที่อย่างใดอย่างหนึ่ง สำหรับการหาค่า $\sum_{j,dyn}$ ให้ใช้ข้อบังคับตามระเบียบวิธีการคำนวณสามารถแตกต่างกันระหว่างวิธีการของพิกัดโครงสร้าง และวิธีการของพิกัดทางผ่านอิสระของ Pantograph

**16.1 สายสัมผัสเหนือรถ**

สายสัมผัสเหนือรถเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเฉพาะเจาะจงมาก เป็นส่วนจ่ายไฟที่สำคัญให้กับระบบไฟฟ้าขับเคลื่อน ซึ่งจะอยู่ใกล้พิกัดโครงสร้างแต่ไม่ได้ล้ำเข้ามา เพื่อป้องกันไม่ให้โครงสร้างมีความต่างศักย์ไฟฟ้าโดยไม่ได้ตั้งใจ สายสัมผัสเหนือรถจะต้องมีระยะห่างฉนวนเพียงพอ นอกจากนี้ตำแหน่งในแนวดิ่งของสายไฟมีความแปรผันเนื่องจากผลกระทบต่อไปนี้

- การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิของสายสัมผัส อุณหภูมิของสายไฟนี้แปรผันตามอุณหภูมิโดยรอบ แสงแดด ลมและกระแสไฟในสาย ควรจะสังเกตว่าการขยายตัวนี้จะถูกรวมเข้าไปในกรณีของ tension-regulated overhead lines

- การสั่นตัวในแนวดิ่ง $f_{dyn}$ ของสายสัมผัส

- ผลกระทบที่เกี่ยวกับลม

- ระยะแอ่นตัวของสายไฟตามยาวที่ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างจุดรองรับ

มากไปกว่านั้น ความสูงของ Vehicle pantograph มีความแปรผันเนื่องจากการสั่นตัวในแนวดิ่งซึ่งขึ้นอยู่กับความยืดหยุ่นของจุดรองรับ

ความสูงของสายสัมผัส และส่วนที่มีกระแสไฟของสายที่อยู่ด้านบน จะต้องให้มีระยะห่างฉนวนเทียบกับหลังคารถไฟเพียงพอเสมอ โดยระยะห่างของฉนวน $b_{elec}$ ซึ่งปกติแล้วจะแตกต่างกันแล้วแต่กรณีระหว่างกรณีเชิงสถิตและเชิงพลวัตร การแปรผันเชิงพลวัตรนั้นจะยิ่งมากขึ้นเมื่อรถไฟวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด ดังนั้นจะต้องพิจารณาสภาวะรถไฟหยุดนิ่งและการวิ่งที่ความเร็วสูงสุดแยกออกจากกัน ความสูงนี้จะต้องทวนสอบทั้งกรณีเชิงสถิตและเชิงพลวัตร ในกรณีเชิงพลวัตร ความสูงต่ำสุดของสายสัมผัสหาได้จาก**สมการ (2.41)**

$$h_{f,\min,dyn} = h_{RP} + h_{elec,dyn} + f_{dyn} \quad (2.41)$$

ในกรณีเชิงสถิตนั้นขึ้นอยู่กับความสูงของรถไฟเป็นสำคัญ ความสูงต่ำสุดของสายสัมผัสหาได้จาก **สมการ (2.41)** เมื่อไม่ทราบค่าความสูงของรถไฟ ให้พิจารณาจากเส้นแนวความสูงอ้างอิงลบด้วยระยะการยกตัว (Uplift)

$$h_{f,\min,stat} = h_{ve'h} + b_{elec,stat} \quad (2.42)$$

**โดยที่** $$h_{f,\min} = \min(h_{f,\min,stat}, h_{f,\min,dyn}) \quad (2.43)$$

โดยความสูงนี้ได้ครอบคลุมช่วงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นทั้งหมดแล้วสำหรับการคำนวณหา $b_{elec}$

# 17 ข้อบังคับการติดตั้งขอบชานชาลา

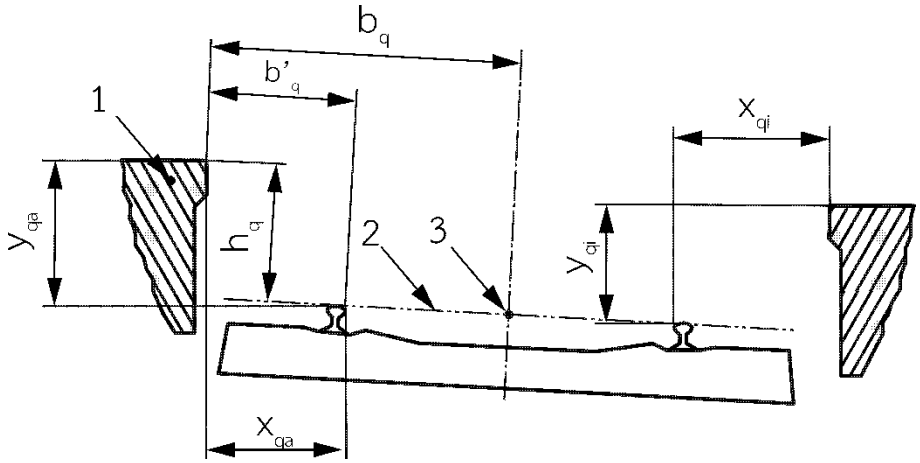
## 17.1 ทั่วไป

ขอบชานชาลาเป็นโครงสร้างที่มีรายละเอียดเฉพาะ ขอบชานชาลานี้จะต้องติดตั้งให้ใกล้ตู้โดยสารรถไฟให้มากที่สุดที่เป็นไปได้ และรักษาระดับความปลอดภัยขณะมีการเดินรถ เป็นสิ่งสำคัญมากที่จะจำกัดระยะห่างระหว่างรถไฟและขอบชานชาลา เพื่อที่จะให้ผู้โดยสารเข้าออกได้อย่างถูกต้อง ดังนั้นควรจะติดตั้งขอบชานชาลาตามพิกัดโครงสร้างบำรุงทาง

ผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐานกำหนดความคาดเคลื่อนในการติดตั้งเพื่อที่ทำให้แน่ใจว่าการติดตั้งนั้น ทำได้ใกล้เคียงกับพิกัดโครงสร้างบำรุงทาง โดยพื้นฐานแล้ว การติดตั้งถูกกำหนดเทียบกับผิวทางวิ่งและศูนย์กลางราง ($b_q, h_q$) ถ้าการติดตั้งนั้นวัดเทียบกับแนวราบ ($x_q, y_q$) (ไม่ได้เทียบกับผิวทางวิ่ง) จะต้องพิจารณารวมผลของการเอียงของพิกัดเทียบกับแนวราบ ในกรณีนี้การติดตั้งนั้นทำเทียบกับรางที่ใกล้ที่สุด

โดยทั่ว ๆ ไป ด้วยเหตุผลการใช้งานจริง การติดตั้งและการทวนสอบของมิติการติดตั้งตามขวางวัดเทียบกับขอบด้านในของรางที่ใกล้ที่สุด จะได้ว่ามิติขนานกับผิวทางวิ่ง ดัง**สมการ (2.44)** และ**รูปที่ 2-13**

$$b'_q = b_q - \frac{I_{actual}}{2} \quad (2.44)$$




**รูปที่ 2-13 การติดตั้งชานชาลา**

**หมายเหตุ:** 1 คือ ชานชาลา
2 คือ ผิวทางวิ่ง
3 คือ ศูนย์กลางทางรถไฟ

ซึ่งการออกแบบขอบชานชาลาสำเร็จรูปจะต้องพิจารณาผลของการใช้ในกรณีรางที่มีการยกโค้ง กรณีนี้ควรสังเกตว่า ขอบชานชาลาที่ติดตั้งในแนวรอบมีค่าเท่ากับรางมีการยกโค้ง เพื่อที่ทำให้พิกัดยังสอดคล้องกับขอบชานชาลาให้ลบมุมขอบชานชาลาหรือทำผิวของชานชาลาให้มีความเอียงในแนวดิ่ง ด้วยวิธีการดังกล่าวจะทำให้ส่วนล่างสามารถเข้ากับด้านล่างของส่วนที่ลบมุมได้ ควรจะต้องระวังความคลาดเคลื่อนจากการผลิต

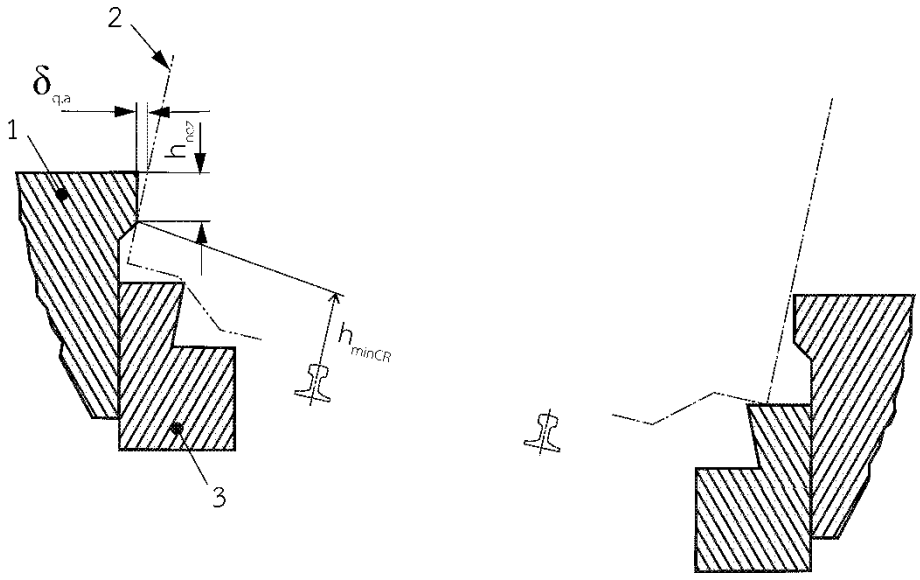
โดยชานชาลาที่อยู่บนโค้งนอกจะต้องถูกดึงเข้ามาเทียบกับขีดจำกัดโดยค่า $(\delta_{q,a})$ ถ้ามีการลบมุมดัง**สมการ (2.45)**

$$\delta_{q,a} = \left(\frac{D}{L}\right) \cdot h_{coping} \tag{2.45}$$

ถ้ามีชานชาลาในแนวดิ่ง ดัง**สมการ (2.46)**

$$\delta_{q,a} = \left(\frac{D}{L}\right) \cdot \left(h_q - h_{\min\ RP}\right) \tag{2.46}$$

ซึ่งจะต้องแน่ใจว่า เมื่อมีการยกโค้ง ความปลอดภัยของผู้โดยสารขณะก้าวออกจากรถไฟจะต้องพิจารณาพิกัดในส่วนที่ต่ำกว่าเสมอ แสดงดัง**รูปที่ 2-14**

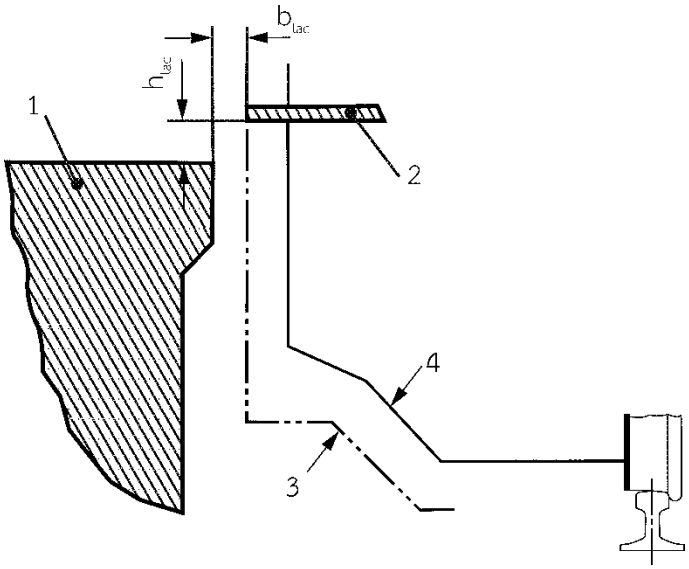



**รูปที่ 2-14 ขอบชานชาลา**

**หมายเหตุ:** 1 คือ ชานชาลา
2 คือ พิกัดบนรางที่ยกโค้ง
3 คือ ขั้นบันไดปลอดภัยสำหรับผู้โดยสาร

### 17.2 ระยะช่องว่าง $b_{1ac}$ และ $h_{1ac}$

ระยะช่องว่างเป็นระยะระหว่างขอบชานชาลาและขั้นบันไดของรถไฟ ซึ่งมารถแบ่งย่อยได้เป็นระยะแนวดิ่ง $h_{gap}$ และ ระยะแนวราบ $b_{gap}$ ค่าระบุของระยะนี้ขึ้นอยู่กับค่าที่เลือกไว้ $b_q$ และ $h_q$ บนระยะที่อยู่ตรงขั้นบันไดเทียบกับตำแหน่งศูนย์กลางของแคร่ ลักษณะเชิงเรขาคณิตของรถไฟและเส้นของชานชาลา (ส่วนเว้า ส่วนนูน หรือ ส่วนตรงของชานชาลา) แสดงดัง**รูปที่ 2-15**




**รูปที่ 2-15 ช่องว่างชานชาลา**

**หมายเหตุ:** คือ 1 ชานชาลา
คือ 2 ขั้นบันได
คือ 3 พิกัดขอบเขต
คือ 4 รถไฟ

การคำนวณช่องว่างนี้แสดงอยู่ใน EN 15273-1 พารามิเตอร์ของทางรถไฟหลายค่ามีผลกระทบอย่างมากกับช่องว่างนี้ โดยเฉพาะ 1) ผังเฉพาะที่ (รัศมีความโค้ง การยกโค้งขาด การมีประแจสับหลีกและ local track gauge 2) ความคลาดเคลื่อนและค่าที่ยอมให้ที่ได้เลือกไว้ในการกำหนดพิกัดขอบเขต และ 3) ความคลาดเคลื่อนในการติดตั้งชานชาลา

ผู้รับผิดชอบด้านงานโครงสร้างพื้นฐานสั่งให้ผู้ดำเนินการก่อสร้างทำตามข้อแนะนำต่อไปนี้เพื่อที่จะอำนวยความสะดวกในการก่อสร้าง โดยเฉพาะในกรณีติดตั้งใหม่ การติดตั้งชานชาลาบนหน้าตัดตรงโดยไม่มีประแจสับหลีก การจำกัดความค่ายกโค้ง เพื่อให้มีความสูงระหว่างผู้โดยสารก้าวขึ้นลงได้เพียงพอ ทำให้มีความคลาดเคลื่อนของพิกัดรางน้อยและการติดตั้งชานชาลาน้อย ลดค่าที่ยอมให้ และจัดให้มีการยึดรั้งทางรถไฟอย่างเหมาะสมซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัยการยึดทางโดยตรงหรือการยึดหมอนรองราง เพื่อป้องกันไม่ให้รางเคลื่อนที่เข้าหาชานชาลาเป็นต้น โดยการก่อสร้างให้ชานชาลาให้มีระดับพื้นเดียวกันกับพื้นรถไฟ

## 17.3 มิติของการติดตั้ง

### 17.3.1 การติดตั้งเทียบกับผิวทางวิ่ง

- มิติของการติดตั้งตามขวาง $b_q$ เพื่อที่ให้มีรถไฟผ่านชานชาลาได้อย่างอิสระ ขั้นบันไดไม่ติดขัดอะไร และสามารถเปิดประตูเข้าได้ (ในกรณีของชานชาลาสูง) ชานชาลาจะถูกติดตั้งที่ระยะ $b_q$ จากศูนย์กลางทางรถไฟ การเลือกค่านี้ขึ้นอยู่กับพิกัดที่ใช้และความคลาดเคลื่อนในการติดตั้ง ข้อบังคับในประเทศหรือระดับสากลทำให้มีข้อจำกัดมากขึ้น



สำหรับพิกัดเชิงสถิต ดัง**สมการ (2.47)**

$$b_q \geq b_{RPst} + S_{i/a,st} + z_0 + \left[qs_i \text{ or } qs_a\right] + \sum_{2kin} + \delta_{q,a} \tag{2.47}$$

สำหรับพิกัดเชิงจลน์ ดัง**สมการ (2.48)**

$$b_q \geq b_{RPkin} + S_{kin} + \left[qs_i \text{ or } qs_a\right] + \sum_{2kin} + \delta_{q,a} \tag{2.48}$$

สำหรับพิกัดเชิงพลวัต ดัง**สมการ (2.49)**

$$b_q \geq b_{RPdyn} + S_{dyn} + \sum_{2dyn} + \delta_{q,a} \tag{2.49}$$

ในโค้งที่มีการยกโค้ง ต้องพิจารณาผลของการล้มคว่ำเพิ่มเติม การทวนสอบเทียบกับรางที่ใกล้ที่สุดทำให้กำจัดผลกระทบของการขยายความกว้างของพิกัดรางได้โดยทั่วไป ผลกระทบกึ่งสถิตไม่ได้พิจารณาเนื่องจากในทางปฏิบัตินั้น ชานชาลาอยู่ที่ระดับของ vehicle body roll center ซึ่งถ้ามีประแจสับหลีก จะต้องพิจารณาถึงผลของการขยายความกว้างของพิกัด เมื่อรถไฟต้องวิ่งผ่านเส้นทางประแจสับหลีก ทำให้จำเป็นต้องถอยขอบชานชาลาออกมา และเพิ่มระยะช่องว่างระหว่างชานชาลาและรถไฟโดยพิจารณาการล้มคว่ำเพิ่มเติมและผลกระทบกึ่งสถิต

- มิติ $h_q$ สำหรับการติดตั้ง ตั้งฉากกับผิวทางวิ่งชานชาลาถูกติดตั้งที่ความสูง $h_q$ เหนือผิวทางวิ่งผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐานมีหน้าที่ในการเลือกค่านี้บนพื้นฐานของข้อบังคับที่บังคับใช้ในระดับสากล หรือข้อตกลงระหว่างประเทศเป็นตัวกำหนดค่าที่ใช้นี้ ความสูงมาตรฐานที่ใช้ในทวีปยุโรปคือ 550 มิลลิเมตร และ 760 มิลลิเมตร

  ถ้าพิกัดพาดผ่านด้านบนของชานชาลา จะต้องพิจารณาลดระดับพิกัดลงโดยพิจารณาช่วงเข้าโค้งในแนวดิ่งและค่าที่ยอมให้ในแนวดิ่ง ทำให้เกิดผลลัพธ์ดัง**สมการ (2.50)**

$$h_q \leq h_{RP} - \frac{50.000}{R_V} - M_V + .... \tag{2.50}$$

### 17.4 การติดตั้งเทียบกับแนวราบ ($x_q, y_q$)

ถ้าชานชาลาถูกติดตั้งหรือทวนสอบในระนาบแนวราบ/แนวดิ่ง (และไม่ได้สัมพัทธ์กับผิวทางวิ่ง) การหมุนของพิกัดจะต้องนำมาพิจารณาตามสมการดังนี้



ด้านในโค้ง ดัง**สมการ (2.51)**

$$x_{qi} \geq b_{RP} + S_i + \sum_{ij} + \frac{D}{L}(h_q - \frac{l}{2}) \tag{2.51}$$

และดัง**สมการ (2.52)**

$$y_{qi} = h_q - \frac{D}{L}(b_q - \frac{l}{2}) \tag{2.52}$$

ด้านนอกโค้งดัง**สมการ (2.53)**

$$x_{qa} \geq b_{RP} + S_i + \sum_{ij} + - \frac{D}{L}(h_q - \frac{l}{2}) \tag{2.53}$$

และดัง**สมการ (2.54)**

$$y_{qa} = h_q + \frac{D}{L}(b_q - \frac{l}{2}) \tag{2.54}$$

### 17.5 ความคลาดเคลื่อนของการติดตั้ง

การติดตั้งและการซ่อมบำรุงของชานชาลา และความคลาดเคลื่อนเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก เพราะว่ามีผลกระทบกับระยะห่างระหว่างชานชาลาและรถไฟจริง สิ่งนี้เป็นจริงทั้งทิศตามขวางและตั้ง ดังนั้นควรพิจารณาข้อชี้แนะในการติดตั้ง

การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนไม่ได้อยู่ในขอบเขตของมาตรฐานนี้ ขึ้นอยู่กับโครงข่ายที่ใช้ในการกำหนดค่าบนพื้นฐานของความเฉพาะตัวนี้ ขณะที่ยังได้พิจารณาข้อบังคับในระดับสากลที่บังคับใช้อยู่ด้วย

### 17.6 การทวนสอบและความคลาดเคลื่อน

Verification Gauge สามารถนำมาใช้ได้ยกเว้นมีข้อบังคับให้ยกเว้น การทวนสอบและความคลาดเคลื่อนจะต้องกำหนดไว้ในข้อบังคับ

## 18 Tilting trains

### 18.1 ทั่วไป

Tilting trains ได้ถูกออกแบบให้เพิ่มความเร็วขณะวิ่งบนรางดั้งเดิมด้วย winding routes ขณะเดียวกันก็ได้ปรับปรุงความสบายของผู้โดยสารโดยการลดความรู้สึกของการสั่นตามขวางลง ในการนี้ตัวรถไฟจะเอียงในช่วงโค้ง เพื่อชดเชยการยกโค้งขาดในบางส่วน

พิกัดนี้ได้กำหนดความเร็วของ conventional trains ในบริบทนี้ ควรสังเกตได้ว่าหน่วยขับเคลื่อน (traction unit) และยานพาหนะรถไฟอื่น ๆ ที่วิ่งด้วยความเร็วสูงกว่าความเร็วปกติจะต้องทำตาม



ค่าพิกัดและจะต้องถูกทวนสอบ รถไฟจะต้องรวมมาตรการต่าง ๆ ที่จำเป็นเพื่อให้แน่ใจว่า การเอียงของรถไฟนี้ทำตามค่าพิกัดที่ใช้ในพื้นที่ต่อไปนี้

- รางตรงและส่วนโค้งของวงกลม
- ช่วงเข้าโค้ง
- ในภาวะเสื่อมถอยหลังจากที่ Tilting system นี้เสียหาย

รถไฟจะต้องแน่ใจว่าเมื่อวิ่งอยู่บนเส้นทางได้พิจารณารวมมาตรการต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับ tilting train และอยู่ในอัตราส่วนขีดจำกัด $\left(\frac{I_C}{I_P}\right)_{\min}$ ที่กำหนดโดยผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐานของแต่ละโครงข่าย ดัง**สมการ (2.55)**

$$\frac{I'_C}{I'_P} = \left(\frac{I_C}{I_P}\right)_{\min} \tag{2.55}$$

**ตัวอย่างเช่น** $\left(\frac{I_C}{I_P}\right)_{\min} = 0.6$

ถ้าอัตราส่วนของรถไฟนี้น้อย ให้ใช้ค่าที่ผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐานเป็นผู้กำหนดเป็นหน้าที่ของผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐานที่จะดำเนินการตรวจสอบเส้นทางเพื่อที่คำนวณหาความเร็ววิ่งสูงสุดเฉพาะที่ จาก**สมการ (2.56)**

$$V'_p \le \sqrt{\left(\frac{I_p}{I_c} I'_c + D'\right)\frac{R}{c}} \tag{2.56}$$

**โดยที่** ค่าคงที่ $c = \frac{L}{3.6^2(g)}$

$$c = 0.0118$$

แรงโน้มถ่วง $g = 9.81$ m/s$^2$

ความกว้างราง 1.5 เมตร

ถ้า**สมการ (2.56)** เงื่อนไขนี้สอดคล้อง**สมการ (2.57)**

$$\frac{I_p}{I'_p} = \frac{I_c}{I'_c} = \frac{D}{D'} \tag{2.57}$$

ซึ่งจะอยู่ในกรณีปกติ จะได้**สมการ (2.58)**



$$V'_p = V'_c \sqrt{\frac{I_p + D}{I_c + D}}, \quad (2.58)$$

สมการนี้ยอมให้ใช้อัตราส่วนค่าคงที่ที่ต้องถูกกำหนดระหว่างความเร็วดั้งเดิมและ tilting train การทวนสอบสมการเหล่านี้จะต้องยอมรับกันระหว่างโครงสร้างพื้นฐานและรถไฟ

### 18.2 ช่วงเข้าโค้ง

เมื่อ Tilting trains วิ่งเข้าช่วงเข้าโค้ง อุปกรณ์ของระบบเอียงจะทำงานประสานกัน ขึ้นอยู่กับระบบและ module ในการปรับ การเคลื่อนตัวในแนวเอียงเริ่มเกิดไม่ว่าจากจุดเริ่มต้นของช่วงเข้าโค้งหรือ upstream or downstream of start of the transition curve นอกจากนี้การแปรผันของการเอียงขึ้นอยู่กับระบบเอียงที่ได้การติดตั้งเข้าไป เนื่องจากปฏิกิริยาของระบบเอียงไม่ได้ถูกกำหนดไว้ก่อนในช่วงเข้าโค้ง การทำตามพิกัดจะต้องทำการศึกษาในแต่ละกรณีและแต่ละความเร็ว ดังนั้น รถไฟเอียงสามารถใช้ได้หลังจากผ่านการทวนสอบปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนเส้นทางที่พิจารณา

### 18.3 ภาวะเสื่อมถอย

การวิ่งในภาวะเสื่อมถอยหลังจากความเสียหายของระบบเอียงก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการขัดกันระหว่างพิกัดโครงสร้างและพื้นที่ว่างระหว่างราง สถานการณ์นี้อาจเจอได้บนรางตรงและรางโค้งความเร็วรถวิ่งสามารถลดลงมาที่ระดับอัตราเร็วปกติเพื่อให้แน่ใจว่าพิกัดเป็นไปตามมาตรฐานให้เร็วที่สุดที่เป็นไปได้ ผู้รับผิดชอบด้านรถไฟต้องวิเคราะห์ความเสี่ยงของโครงสร้างพื้นฐานที่ทำการพิจารณาและการจราจรบนรางข้างเคียง การปฏิบัติตามด้านความปลอดภัยที่กำหนดสำหรับความเสี่ยงนี้เป็นส่วนหนึ่งในข้อตกลงระหว่างโครงสร้างพื้นฐานและรถไฟ

### 18.4 ข้อบังคับสำหรับการข้ามฟาก

สำหรับการติดตั้งทางเข้าไปเรือข้ามฝากมุม secant ระหว่างสิ่งที่ติดตั้งถาวรกับ mobile platform และระหว่าง platform นี้กับทางลาดลงเรือข้ามฟากเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้แน่ใจว่ารถไฟสามารถผ่านไปได้ มุมดังกล่าวจะต้องมีค่าไม่มากเกินไป นอกจากนี้ต้องไม่มีโครงสร้างใด ๆ ยื่นออกมาด้านบนของผิวทางวิ่งตลอดความกว้างของส่วนล่างค่ามุมสูงสุด $a''$ ขึ้นอยู่กับเรือข้ามฟากที่กำลังพิจารณา ดังแสดงใน**ตารางที่ 2-3**

**ตารางที่ 2-3 มุมทางลาดสูงสุด $a''$**

| เส้นทาง | ค่ามุมสูงสุด |
|---|---|
| Korsør–Nyborg | สงวนไว้ |
| Gedser- Warnemünde | 2° 30’ |
| | สงวนไว้ |
| RødbyFærge-Puttgarden | สงวนไว้ |
| SassnitzHafen-Trelleborg | 2° 30’ |
| Villa S.G. - Messina | 1° 30’ |
| Reggio C. - Messina | 1° 30’ |
| Stockholm – Abo | สงวนไว้ |
| Ystad– Swinoujscie | สงวนไว้ |



| เส้นทาง | ค่ามุมสูงสุด |
|---|---|
| Trelleborg - Rostock | สงวนไว้ |
| Malmö - Travemünde | สงวนไว้ |

# 19 ส่วนประกอบเพิ่มเติมของราง

## 19.1 บทนำ

โครงสร้างเฉพาะที่บางโครงสร้างมีความพิเศษมาก โดยที่โครงสร้างนั้นสามารถหรือควรจะสัมผัสกับบางส่วนของรถ เพื่อที่ทำให้มั่นใจในความปลอดภัยของระบบราง ระบบหลักที่ใช้กันในทวีปยุโรปแสดงข้างล่างนี้

ข้อยินยอมที่ต้องการสำหรับการปฏิบัติงานของระบบเหล่านี้โดยปกติขึ้นอยู่กับระบบที่พิจารณา อย่างไรก็ดี ควรจะระลึกว่าระบบเหล่านี้นั้นอาจกระทบต่อการทำงานร่วมกันระหว่างโครงข่าย

## 19.2 Contact ramp

Contact ramp เป็นโครงสร้างที่ใช้ในการดำเนินการของระบบอาณัติสัญญาณและจะต้องสัมผัสกับ the brushes ที่ติดตั้งอยู่กับตัวรถไฟ การมีข้อตกลงทำให้ระบบเหล่านี้ทำงานได้อย่างเหมาะสม สำหรับโครงสร้างพื้นฐาน ข้อตกลงเหล่านี้รวมไปถึงมิติการติดตั้งของระบบและความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้อง มีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับรัศมีโค้งในแนวราบ $R$ และ รัศมีโค้งในแนวดิ่ง $R_V$ และขีดจำกัดของการประยุกต์ใช้รัศมีส่วนโค้งเหล่านี้ โดยปกติแล้ว ระบบเหล่านี้ถูกติดตั้งที่ศูนย์กลางทางรถไฟอยู่เหนือผิวทางวิ่งเล็กน้อย โดยการกำหนดตำแหน่งสัมผัส brushes ให้ใกล้กับศูนย์กลางของเพลาจะทำให้ค่าการล้มคว่ำเชิงเรขาคณิตมีค่าน้อยมาก หรือ ไม่ต้องนำมาคิด

## 19.3 Active check rails

Active check rails เหมือน contact ramp, active check rail เป็นโครงสร้างพิเศษ เนื่องจากล้อสามารถสัมผัสกับปีกรางภายในได้ ช่วงปฏิสัมพันธ์ในแนวราบ (horizontal interaction range) จะต้องถูกกำหนดจากองค์ประกอบสองอย่างนี้ โดยหาได้จาก EN 13232-3 และ EN 13232-9 ในแนวดิ่ง the check rail ไม่ควรจะยื่นออกมานอกพิกัดที่ใช้
พึงระวังว่าห้ามใช้ super elevated check rails ในช่วงทางเดินรถที่มีความโค้งแนวดิ่ง

## 19.4 การวางแผ่นจุดตัดระดับ

ยกเว้นที่ระดับของ flange way แผ่นจุดตัดระดับนี้จะต้องไม่ล้ำเข้าไปในพิกัดของส่วนที่อยู่ต่ำกว่า

## 19.5 รางจ่ายไฟ (Electric third rail)

รางจ่ายไฟเป็นโครงสร้างชนิดพิเศษเช่นเดียวกันกับกรณีของ contact ramp ควรสังเกตว่าบ่อยครั้งที่รางจ่ายไฟถูกรวมเข้าไปกับตัวรางรถไฟ นอกจากนี้จะต้องพิจารณาถึงระยะห่างฉนวนไฟฟ้าระหว่างส่วนที่มีกระแสกับโครงสร้างอื่น ๆ

### 19.6 รางสำหรับหยุดรถไฟ (Rail brakes)

รางสำหรับหยุดรถไฟใช้สำหรับการหยุดตู้สินค้าวิ่งลงมาจาก เนินที่มีความลาดชันการเบรกเป็นผลมาจากแรงเสียดทานระหว่างผิวด้านในและด้านนอกของล้อ เพื่อให้อุปกรณ์เหล่านี้ทำงานได้อย่างเหมาะสม พิกัดส่วนล่างจะต้องมีช่องว่างในการรองรับระบบเหล่านี้และพื้นที่บริเวณล้อ เนื่องจากรัศมีช่วงเข้าโค้งแนวดิ่งบนเนินมีค่าน้อยมาก ควรเอาใจใส่ขีดจำกัดของช่วงเข้าโค้งเป็นพิเศษ เนื่องจากความจริงที่ว่าระบบเหล่านี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ การทำงานร่วมกันระหว่างโครงข่ายบนรางที่มีอุปกรณ์เหล่านี้จึงเป็นไปไม่ได้โดยบ่อยครั้ง

## 20 การทวนสอบและซ่อมบำรุงพิกัด

### 20.1 พิกัดโครงสร้าง

- พิกัดประเภทต่าง ๆ จะต้องมีพื้นที่ให้บุคคลผู้รับผิดชอบเข้าไปทำการทวนสอบและซ่อมบำรุงพิกัดโครงสร้างได้

- Uniform gauge ทำให้วิเคราะห์ได้ง่ายและเร็ว และมีส่วนเผื่อค่าความปลอดภัยมาก

- พิกัดโครงสร้างระบุ ทำให้การติดตั้งโครงสร้างและการทวนสอบของพิกัดมีส่วนเผื่อค่าความปลอดภัยเพียงพอ วิธีการนี้ไม่ต้องการวิธีซับซ้อนในการปฏิบัติตามข้อบังคับทางพิกัด

- พิกัดโครงสร้างบำรุงทาง ทำให้การติดตั้งโครงสร้างมีส่วนเผื่อค่าความปลอดภัยเพียงพอ ขณะที่พิกัดนี้ยังรักษาพื้นที่สำหรับการปฏิบัติงานซ่อมบำรุง ถ้าทำตามค่าที่กำหนดไว้ เมื่อพิกัดนี้มีค่าเกิน การซ่อมบำรุงควรจะต้องวางแผนหรือหาวิธีการมารองรับเพิ่มเติมเพื่อไม่ให้มีความเสียหายเพิ่มมากขึ้น สามารถทำได้โดยการยืดทางรถไฟหรือการลดช่องว่างระหว่างการทวนสอบของตำแหน่งรางสัมพัทธ์เทียบกับโครงสร้าง

- พิกัดโครงสร้างขอบเขตทำให้ประเมินได้ว่าจะให้รถวิ่งอยู่หรือไม่ แม้พิกัดโครงสร้างบำรุงทางมีค่าเกินที่กำหนด

ผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐานเป็นผู้รับผิดชอบในการกำหนดคาบและวิธีการตรวจสอบการติดตั้งโครงสร้าง คาบการตรวจสอบนี้จะต้องสอดคล้องกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ใช้ในการหาค่า $M_2$ รายละเอียดอธิบายเพิ่มเติมและแนวทางแสดงอยู่ในคู่มือออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟ

### 20.2 ระยะทางระหว่างศูนย์กลาง

หลักการที่ใช้ในการทวนสอบและซ่อมบำรุงของพิกัดโครงสร้างสามารถนำมาใช้กับระยะทางระหว่างศูนย์กลางได้ ซึ่งระยะทางระหว่างศูนย์กลางคงที่จะช่วยทำให้ขีดจำกัดระยะระหว่างศูนย์กลางนั้นเป็นไปตามข้อบังคับและทำให้การซ่อมบำรุงทางรถไฟง่าย ตรวจสอบพื้นที่ว่างระหว่างทางรถไฟง่าย และการติดตั้งประแจสับหลีกมาตรฐานที่มีค่าพื้นที่ว่างระหว่างทางรถไฟคงที่

# บรรณานุกรม

.


[1] EN 13232-3, Railway applications — Track — Switches and crossings — Part 3: Requirements for wheel/rail interaction

[2] EN 13232-9, Railway applications — Track — Switches and crossings — Part 9: Layouts

[3] EN 15273-1, Railway applications — Gauges — Part 1: General — Common rules for infrastructure and rolling stock

[4] EN 15273-2, Railway applications — Gauges — Part 2: Rolling stock gauge

[5] EN 50119, Railway applications — Fixed installations — Electric traction overhead contact lines

[6] EN 50367, Railway applications — Current collection systems —Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access)

# ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก ระเบียบวิธีการคำนวณสำหรับค่าที่ยอมให้ของพิกัดโครงสร้าง

### ก.1 บทนำ

การกำหนดค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ของขนาดและระยะต่างๆ เทียบกับทางรถไฟให้ถือเป็นหน้าที่รับผิดชอบของผู้จัดการงานด้านโครงสร้างพื้นฐาน โดยการกำหนดค่าดังกล่าวให้กระทำโดยอาศัยประสบการณ์ของผู้จัดการงานด้านโครงสร้างพื้นฐานเอง หรือโดยอาศัยวิธีการคำนวณที่เป็นที่ยอมรับกันโดยสากล หรือโดยอาศัยวิธีการคำนวณที่ให้ไว้ในภาคผนวกนี้

วิธีการคำนวณค่าที่ยอมให้ที่จะอธิบายดังต่อไปนี้เป็นวิธีการคำนวณเชิงสถิติชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันโดยแพร่หลาย วิธีการดังกล่าวกำหนดให้คำนวณค่าที่ยอมให้ตามแสดงใน**สมการที่ ก.1**

$$\Sigma = k\sqrt{\sum_i \Delta b_{Ti}{}^2} \qquad \text{(ก.1)}$$

ค่า k ในสมการข้างต้นคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัย โดยที่ค่าดังกล่าวคำนึงถึงโอกาสที่พิกัดชนิดต่างๆ จะเกินค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้พร้อมๆ กันแล้ว

**หมายเหตุ:** 1 คือ ดูตัวอย่างการคำนวณ และค่าคงที่ที่แนะนำในภาคผนวก ข

**หมายเหตุ:** 2 คือ ดัชนีล่างต่างๆในสมการ เช่น “st” “kin” หรือ “dyn” จะถูกละออกจากสมการในภาคผนวกนี้ เพื่อความสะดวกในการอ่าน

### ก.2 สมการสำหรับพิกัดสถิตและเชิงจลน์

### ก.2.1 สำหรับ พิกัดโครงสร้างระบุ

#### ก.2.1.1 ตามแนวขวาง

ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ $\Sigma_3$ ให้คำนวณจาก**สมการที่ ก.2**

$$\Sigma_{3,i/a} = T_{track} + \frac{T_D}{L}h + s_0\frac{T_D}{L}[h-h_{C0}]_{>0} + tg(T_{susp})[h-h_{C0}]_{>0} + tg(T_{load})[h-h_{C0}]_{>0} + \frac{S_0}{L}T_{osc}[h-h_{C0}]_{>0} + Supl. \qquad \text{(ก.2)}$$

ค่าของพจน์ *Supl* ที่แสดงในสมการข้างต้นให้กำหนดโดยผู้จัดการงานด้านโครงสร้างพื้นฐาน ค่าความกว้างกึ่งหนึ่งของพิกัดโครงสร้างระบุ ให้คำนวณโดย

$$b_{nom,i} = b_{RP} + S_i + \Sigma_{3,i} + K[D-D_0]_{>0} \qquad \text{(ก.3)}$$

และ

$$b_{nom,a} = b_{RP} + S_a + \Sigma_{3,a} + K[I-I_0]_{>0} \qquad \text{(ก.4)}$$

โดยที่

$$K = \frac{s_0}{L}\left[h - h_{c0}\right]_{>0} \qquad \text{(ก.5)}$$

**ก.2.1.2 ตามแนวดิ่ง**

ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ $\sum_3$ ที่จุด Q ให้คำนวณจาก

$$\sum_{V3,Qa} = \left(b_Q + \frac{L}{2} + s_0 b_Q\right)\frac{T_D}{L} + b_Q\frac{s_0}{L}T_{osc} + b_Q tg(T_{load}) + b_Q tg(T_{susp}) + T_N + Supl \qquad \text{(ก.6)}$$

$$\sum_{V3,Qi} = \left(b_Q - \frac{L}{2} + s_0 b_Q\right)\frac{T_D}{L} + b_Q\frac{s_0}{L}T_{osc} + b_Q tg(T_{load}) + b_Q tg(T_{susp}) + T_N + Supl \qquad \text{(ก.7)}$$

สำหรับการคำนวณค่า $\sum_3$ ที่จุดอื่นๆ นอกเหนือจากจุด Q ให้กำหนดค่าของ 4 พจน์แรกในสมการข้างต้นเป็นศูนย์

**ก.2.2 สำหรับ พิกัดโครงสร้างบำรุงทาง**

**ก.2.2.1 ตามแนวขวาง**

**ก.2.2.1.1 สมการพื้นฐาน**

ตามหลักการของเหตุการณ์ที่อธิบาย จะได้ว่า

$$\Sigma'_{2,i/a} = k\sqrt{T_{Track}^2 + \left[\frac{T_D}{L}h + s_0\frac{T_D}{L}\left[h - h_{C0}\right]_{>0}\right]^2 + \left[tg(T_{susp})\left[h - h_{C0}\right]_{>0}\right]^2 + \left[tg(T_{load})\left[h - h_{C0}\right]_{>0}\right]^2 + \left[\frac{s_0}{L}(T_{osc})\left[h - h_{C0}\right]_{>0}\right]^2} \qquad \text{(ก.8)}$$

และ

$$\Sigma''_2 = k\sqrt{T_{Track}^2 + \left[\frac{T_D}{L}h + s_0\frac{T_D}{L}\left[h - h_{C0}\right]_{>0}\right]^2 + \left[tg(T_{susp})\left[h - h_{C0}\right]_{>0}\right]^2 + \left[tg(T_{load})\left[h - h_{C0}\right]_{>0}\right]^2} \qquad \text{(ก.9)}$$

**ก.2.2.1.2 การหาค่าความกว้างกึ่งหนึ่งสำหรับด้านในของแนวโค้ง**

ความกว้างกึ่งหนึ่งของพิกัด สำหรับด้านในโค้งสามารถหาค่าได้จาก

$$b_{\lim,i} = b_{RP} + S_i + \max\left[\sum_{3,i} + K\left[D - D_0\right]; \Sigma''_2; (\Sigma'_{2,a} - K.I_0)\right] \qquad \text{(ก.10)}$$

โดยที่

$$K = \frac{s_0}{L}\left[h - h_{c0}\right]_{>0} \qquad \text{(ก.11)}$$

ให้สังเกตว่ารูปแบบของ**สมการที่ ก.10** จะเปลี่ยนไปตามค่าของค่ายกโค้ง D ตามที่แสดงในตารางด้านล่าง

**ตารางที่ ก.1 ความกว้างกึ่งหนึ่งที่ช่วงค่ายกโค้งต่างๆ**

| ค่ายกโค้งD | ความกว้างกึ่งหนึ่ง |
|---|---|
| $0 \le D < D_L^{'}$ | $b_{\lim,i} = b_{RP} + S_i + \sum{}'_{2,a} - K..I_0$ |
| $D_L^{'} \le D \le D_L''$ | $b_{\lim,i} = b_{RP} + S_i + \sum{}''_2$ |
| $D_L^{'} < D$ | $b_{\lim,i} = b_{RP} + S_i + \sum{}'_{2,i} - K.\left(D - D_0\right)$ |

โดยที่

$$D'_L = \frac{\sum{}'_{2,a} - \sum{}'_{2,i}}{K} + D_0 - I_0 and D_L'' = D_0 + \frac{\sum{}''_2 - \sum{}'_{2,i}}{K} \quad \text{(ก.12)}$$

**ก.2.2.1.3 การหาค่าความกว้างกึ่งหนึ่งสำหรับด้านนอกโค้ง**

ความกว้างกึ่งหนึ่งของพิกัดสำหรับด้านนอกโค้งจะมีค่าแปรผันตามการยกโค้งขาด ตามที่แสดงในสมการด้านล่าง

$$b_{\lim,a} = b_{RP} + S_a + \max\left[\sum{}'_{2,a} + K\left[I - I_0\right]; \sum{}''_2\right] \quad \text{(ก.13)}$$

จะสามารถสังเกตได้ว่ารูปแบบของ**สมการที่ ก.13** จะเปลี่ยนไปตามค่าของการยกโค้งขาด ตามที่แสดงในตารางด้านล่าง

**ตารางที่ ก.2 ความกว้างกึ่งหนึ่งที่ช่วงค่าของการยกโค้งขาดต่างๆ**

| **การยกโค้งขาด, I** | **ความกว้างกึ่งหนึ่ง** |
|---|---|
| $0 \le I < I_L$ | $b_{\lim,a} = b_{RP} + S_a + \sum{}''_2$ |
| $I_L < I$ | $b_{\lim,a} = b_{RP} + S_a + \sum{}'_{2,a} - K.\left(I - I_0\right)$ |

โดยที่

$$I_L = I_0 + \frac{\sum{}''_2 - \sum{}'_{2,a}}{K} \quad \text{(ก.14)}$$

**ก.2.2.2 ตามแนวดิ่ง**

ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ $\sum_{V2}$ ที่จุด Q ให้คำนวณจาก

$$\sum_{V2,Qa} = k\sqrt{\left(\left(\left(1+s_0\right)b_Q + \frac{L}{2}\right)^2 \frac{T_D}{L}\right)^2 + \left(b_Q \frac{s_0}{L} T_{osc}\right)^2 + b_Q^2 tg^2 tg(T_{total}) + b_Q^2 tg^2 tg(T_{susp}) + T_N^2}$$

(ก.15)

$$\sum_{V2,Qi} = k\sqrt{\left(\left(\left(1+s_0\right)b_Q - \frac{L}{2}\right)^2 \frac{T_D}{L}\right)^2 + \left(b_Q \frac{s_0}{L} T_{osc}\right)^2 + b_Q^2 tg^2 tg(T_{total}) + b_Q^2 tg^2 tg(T_{susp}) + T_N^2}$$

(ก.16)

สำหรับการคำนวณค่า $\sum_{V2}$ ที่จุดอื่นๆ ของส่วนบนและส่วนล่างนอกเหนือจากจุด Q ให้กำหนดค่าของ 4 พจน์แรกในสมการข้างต้นเป็นศูนย์ ดังนั้น ค่าที่ยอมให้จะเป็นค่าคงที่

**ก.2.3 พิกัดขอบเขต**

**ก.2.3.1 ตามแนวขวาง**

ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้สำหรับ พิกัดขอบเขต ให้คำนวณดังต่อไปนี้

$$\sum'_{1,i/a} = k\sqrt{\left[tg(T_{susp})\left[h-h_{C0}\right]_{>0}\right]^2 + \left[tg(T_{load})\left[h-h_{C0}\right]_{>0}\right]^2 + \left[\frac{s_0}{L}(T_{osc})\left[h-h_{C0}\right]_{>0}\right]^2} \qquad \text{(ก.17)}$$

$$\sum''_{1,i/a} = k\sqrt{\left[tg(T_{susp})\left[h-h_{C0}\right]_{>0}\right]^2 + \left[tg(T_{load})\left[h-h_{C0}\right]_{>0}\right]^2} \qquad \text{(ก.18)}$$

และให้คำนวณความกว้างกึ่งหนึ่งของพิกัดตามสมการด้านล่าง

$$b_{ver,i} = b_{RP} + S_i + \max\left[\sum'_{1,i} + K.(D-D_0); \sum''_1; (\sum'_{1,a} - K..I_0)\right] \qquad \text{(ก.19)}$$

$$b_{ver,a} = b_{RP} + S_a + \max\left[\sum'_{1,a} + K\left[I-I_0\right]; \sum''_1\right] \qquad \text{(ก.20)}$$

**ก.2.3.2 ตามแนวดิ่ง**

ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ $\sum_{V1}$ ที่จุด Q ให้คำนวณจาก

$$\sum_{V1,Qa} = k\sqrt{\left(b_Q\frac{s_0}{L}T_{osc}\right)^2 + b_Q^2 tg^2 tg(T_{total}) + b_Q^2 tg^2 tg(T_{susp}) + T_N^2} \qquad \text{(ก.21)}$$

$$\sum_{V1,Qi} = k\sqrt{\left(b_Q\frac{s_0}{L}T_{osc}\right)^2 + b_Q^2 tg^2 tg(T_{total}) + b_Q^2 tg^2 tg(T_{susp}) + T_N^2} \qquad \text{(ก.22)}$$

สำหรับการคำนวณค่าคลาดเคลื่อนที่จุดอื่นๆ ของส่วนบนและส่วนล่างนอก ให้กำหนดค่าของ 3 พจน์แรกในสมการข้างต้นเป็นศูนย์ ดังนั้นค่าที่ยอมให้จะเป็นค่าคงที่

**ก.2.4 ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางระบุ**

เมื่อเปรียบเทียบกับพิกัดโครงสร้าง ผลของเหตุการณ์แบบสุ่มของทางรถไฟทั้งคู่จะต้องถูกพิจารณาพร้อมกัน สมการต่างๆ ที่จะกล่าวถึงถัดไปใช้ได้ที่ระดับความสูงเดียวกันกับจุด P เท่านั้น

สำหรับระยะห่างระหว่างศูนย์กลางระบุ

$$\sum_{EA3} = \left(\sum_{3,i/a}\right)_{track1} + \left(\sum_{3,i/a}\right)_{track2} \qquad \text{(ก.23)}$$

ค่าของพจน์ทั้งสองทางขวามือของสมการข้างต้นสามารถหาได้จากสมการที่ให้ไว้ใน ก2.1 ดัชนีล่างของพจน์ทางขวามือของสมการจะเป็นตัว i หรือ a ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของรางที่กำลังพิจารณาดังนี้ ถ้ารางที่กำลังพิจารณาอยู่นอกโค้งให้ใช้ $\sum_{3,a}$ และถ้ารางที่กำลังพิจารณาอยู่ในโค้งให้ใช้ $\sum_{3,i}$

ในกรณีของรางร่วมศูนย์ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางระบุ สามารถหาได้จาก

$$EA_3 = 2.b_{RP} + S_a + S_i + \sum_{EA3} + \left[K(I - I_0)\right]_{>0} + \left[K(D - D_0)\right]_{>0} + \Delta b_{\delta D} \qquad \text{(ก.24)}$$

**ก.2.5 ระยะระหว่างศูนย์กลางบำรุงทาง**

สมการสำหรับ ระยะระหว่างศูนย์กลางบำรุงทาง เป็นไปตามที่แสดงด้านล่าง

$$\sum'_{EA2} = \sqrt{\left(\sum'^{2}_{2,i/a}\right)_{track1} + \left(\sum'^{2}_{2,i/a}\right)_{track2}} \qquad \text{(ก.25)}$$

และ

$$\sum''_{EA2} = \sqrt{\left(\sum''^{2}_{2,i/a}\right)_{track1} + \left(\sum''^{2}_{2,i/a}\right)_{track2}} \qquad \text{(ก.26)}$$

ค่าของพจน์ทางขวามือของสมการข้างต้นสามารถหาได้ตามที่แสดงใน ก.2.2

ในกรณีของทางรถไฟร่วมศูนย์ ระยะระหว่างศูนย์กลางบำรุงทาง สามารถหาได้จาก

$$EA_2 = 2.b_{RP} + S_a + S_i + \max\left[\sum'_{EA2} + K(I - I_0) + K(D - D_0); \sum''_{EA2}\right] + \Delta b_{\delta D} \qquad \text{(ก.27)}$$

**ก.2.6 ระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขต**

สมการสำหรับระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขต เป็นไปตามที่แสดงด้านล่าง

$$\sum'_{EA1} = \sqrt{\left(\sum'^{2}_{1,i/a}\right)_{track1} + \left(\sum'^{2}_{1,i/a}\right)_{track2}} \qquad \text{(ก.28)}$$

และ

$$\sum''_{EA1} = \sqrt{\left(\sum''^{2}_{1,i/a}\right)_{track1} + \left(\sum''^{2}_{1,i/a}\right)_{track2}} \qquad \text{(ก.29)}$$

ค่าของพจน์ทางขวามือของสมการข้างต้นสามารถหาได้ตามที่แสดงใน ก.23

ในกรณีของทางรถไฟร่วมศูนย์ ระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขต สามารถหาได้จาก

$$EA_1 = 2.b_{RP} + S_a + S_i + \max\left[\sum'_{EA1} + K(I - I_0) + K(D - D_0); \sum''_{EA1}\right] + \Delta b_{\delta D} \qquad \text{(ก.30)}$$

ให้แทนค่าค่ายกโค้ง และการยกโค้งขาดในสมการข้างต้นเมื่อทางที่กำลังพิจารณาอยู่ด้านในและนอกของโค้งตามลำดับ

**ก.2.7 พิกัด Pantograph**

การคำนวณพิกัด pantograph ให้ใช้สมการเดียวกับ พิกัดโครงสร้างบำรุงทาง หรือ พิกัดขอบเขต ขึ้นอยู่กับระยะความสูงที่กำลังทำการคำนวณ

**ก.3 สมการสำหรับ พิกัดเชิงพลวัต**

**ก.3.1 ทั่วไป**

การคำนวณระยะต่างๆ ของ พิกัดเชิงพลวัต สามารถกระทำได้โดยอาศัยชุดของสมการเดียวกันกับพิกัดเชิงสถิตและเชิงจลน์ ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการคำนวณระยะต่างๆ ของ พิกัดเชิงพลวัต เป็นค่าเดียวกับกับพิกัดเชิงสถิตและเชิงจลน์ สมการหลักๆ ที่ใช้ในการคำนวณระยะต่างๆ ของ พิกัดเชิงพลวัต มีดังต่อไปนี้

**ก.3.2 สำหรับพิกัดโครงสร้างระบุ**

**ก.3.2.1 ตามแนวขวาง**

ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ $\sum_3$ ให้คำนวณจาก

$$\sum_{3,i/a} = T_{track} + \frac{T_D}{L}h + tg(T_{susp})[h - h_{C0}]_{>0} + tg(T_{load})[h - h_{C0}]_{>0} + Supl. \qquad \text{(ก.31)}$$

ค่าของพจน์ *Supl* ที่แสดงในสมการข้างต้นให้กำหนดโดยผู้จัดการงานด้านโครงสร้างพื้นฐาน ค่าความกว้างกึ่งหนึ่งของพิกัดโครงสร้างระบุ ให้คำนวณโดย

$$b_{nom,i} = b_{RP} + S_i + \sum_{3,i} \qquad \text{(ก.32)}$$

และ

$$b_{nom,a} = b_{RP} + S_a + \sum_{3,a} \qquad \text{(ก.33)}$$

**ก.3.2.2 ตามแนวดิ่ง**

ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ $\sum_3$ ที่จุด Q ให้คำนวณจาก

$$\sum_{V3,Qa} = \left(b_Q + \frac{L}{2}\right)\frac{T_D}{L} + b_Q tg(T_{load}) + b_Q tg(T_{susp}) + T_N + Supl \quad \text{(A.34)}$$

$$\sum_{V3,Qi} = \left(b_Q - \frac{L}{2}\right)\frac{T_D}{L} + b_Q tg(T_{load}) + b_Q tg(T_{susp}) + T_N + Supl \quad \text{(A.35)}$$

สำหรับการคำนวณค่าที่จุดอื่นๆ ของส่วนบนและส่วนล่าง ให้กำหนดค่าของ 3 พจน์แรกในสมการข้างต้นเป็นศูนย์ ดังนั้นค่าที่ยอมให้จะเป็นค่าคงที่

**ก.3.3 สำหรับพิกัดโครงสร้างบำรุงทาง**

**ก.3.3.1 ตามแนวขวาง**

**ก.3.3.1.1 สมการพื้นฐาน**

ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ $\sum_2$ ให้คำนวณจาก

$$\sum_{2,i/a} = k\sqrt{T_{Track}^2 + \left[\frac{T_D}{L}h\right]^2 + \left[tg(T_{susp})[h - h_{C0}]_{>0}\right]^2 + \left[tg(T_{load})[h - h_{C0}]_{>0}\right]^2} \quad \text{(ก.36)}$$

ให้สังเกตว่าค่าสัมประสิทธิ์ในสมการข้างต้นไม่เท่ากันสำหรับการคำนวณที่ด้านในและนอกโค้ง

**ก.3.3.1.2 การหาค่าความกว้างกึ่งหนึ่งสำหรับด้านในโค้ง**

ความกว้างกึ่งหนึ่งของพิกัดสำหรับด้านในโค้งสามารถหาค่าได้จาก

$$b_{\lim,i} = b_{RP} + S_i + \sum_{2,i} \quad \text{(ก.37)}$$

**ก.3.2.1.3 การหาค่าความกว้างกึ่งหนึ่งสำหรับด้านนอกโค้ง**

ความกว้างกึ่งหนึ่งของพิกัดสำหรับด้านนอกโค้งจะมีค่าแปรผันตามการยกโค้งขาด ดังแสดงในสมการด้านล่าง

$$b_{\lim,a} = b_{RP} + S_a + \sum_{2,a} \quad \text{(ก.38)}$$

**ก.3.3.2 ตามแนวดิ่ง**

ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ $\sum_{V2}$ ที่จุด Q ให้คำนวณจาก

$$\sum_{V2,Qa} = k\sqrt{\left(\left(b_Q + \frac{L}{2}\right)^2 \frac{T_D}{L}\right)^2 + b_Q^2 tg(T_{total}) + b_Q^2 tg(T_{susp}) + T_N^2} \quad \text{(ก.39)}$$

$$\sum_{V2,Qi} = k\sqrt{\left(\left(b_Q - \frac{L}{2}\right)^2 \frac{T_D}{L}\right)^2 + b_Q^2 tg(T_{total}) + b_Q^2 tg(T_{susp}) + T_N^2} \quad \text{(ก.40)}$$

สำหรับการคำนวณค่าที่จุดอื่นๆ ของส่วนบนและส่วนล่าง ให้กำหนดค่าของ 3 พจน์แรกในสมการข้างต้นเป็นศูนย์ ดังนั้นค่าที่ยอมให้จะเป็นค่าคงที่

**ก.3.4 พิกัดขอบเขต**

**ก.3.4.1 ตามแนวขวาง**

ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ $\sum_1$ ที่จุด Q ให้คำนวณจาก

$$\sum_{1,i/a} = k\sqrt{\left[tg\left(T_{susp}\right)\left[h - h_{C0}\right]_{>0}\right]^2 + \left[tg\left(T_{load}\right)\left[h - h_{C0}\right]_{>0}\right]^2} \qquad \text{(ก.41)}$$

และให้คำนวณความกว้างกึ่งหนึ่งของพิกัดตามสมการด้านล่าง

$$b_{\lim,i} = b_{RP} + S_i + \sum_{1,i} \qquad \text{(ก.42)}$$

และ

$$b_{\lim,a} = b_{RP} + S_a + \sum_{1,a} \qquad \text{(ก.43)}$$

**ก.3.4.2 ตามแนวดิ่ง**

ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ $\sum_{V1}$ ที่จุด Q ให้คำนวณจาก

$$\sum_{V1,Qa} = k\sqrt{b_Q^2 T_{total}^2 + b_Q^2 T_{susp}^2 + T_N^2} \qquad \text{(ก.44)}$$

$$\sum_{V1,Qi} = k\sqrt{b_Q^2 T_{total}^2 + b_Q^2 T_{susp}^2 + T_N^2} \qquad \text{(ก.45)}$$

สำหรับการคำนวณค่าที่จุดอื่นๆ ของส่วนบนและส่วนล่าง ให้กำหนดค่าของ 2 พจน์แรกในสมการข้างต้นเป็นศูนย์ ดังนั้นค่าที่ยอมให้จะเป็นค่าคงที่

**ก.3.5 ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางระบุ**

โดยอาศัยหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับเหตุการณ์ประเภทต่างๆ ตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.2.2 สมการสำหรับการคำนวณพิกัดต่างๆ ของระยะห่างระหว่างศูนย์กลางระบุสามารถเขียนได้ดังแสดงต่อไปนี้

เมื่อเปรียบเทียบกับพิกัดโครงสร้าง ผลของเหตุการณ์แบบสุ่มของทางรถไฟทั้งคู่จะต้องถูกพิจารณาพร้อมกัน สมการต่างๆ ที่จะกล่าวถึงถัดไปใช้ได้ที่ระดับความสูงเดียวกันกับจุด P เท่านั้น สำหรับระยะห่างระหว่างศูนย์กลางระบุ

$$\sum_{EA3} = \left(\sum_{3,i/a}\right)_{track1} + \left(\sum_{3,i/a}\right)_{track2} \qquad \text{(ก.46)}$$

ค่าของพจน์ทั้งสองทางขวามือของสมการข้างต้นสามารถหาได้จากสมการที่ให้ไว้ใน ก.3.2

ดัชนีล่างของพจน์ทางขวามือของสมการจะเป็นตัว i หรือ a ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของทางที่กำลังพิจารณา ดังนี้

ถ้าทางที่กำลังพิจารณาอยู่บนด้านนอกโค้งให้ใช้ $\sum_{3,a}$ และถ้าทางที่กำลังพิจารณาอยู่บนด้านในโค้งให้ใช้ $\sum_{3,i}$ ในกรณีของทางร่วมศูนย์ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางระบุ สามารถหาได้จาก

$$EA_3 = 2.b_{RP} + S_a + S_i + \sum_{EA3} \qquad \text{(ก.47)}$$

**ก.3.6 ระยะระหว่างศูนย์กลางบำรุงทาง**

สมการสำหรับ ระยะระหว่างศูนย์กลางบำรุงทาง เป็นไปตามที่แสดงด้านล่าง

$$\sum_{EA2} = \sqrt{\left(\sum\nolimits^2_{2,i/a}\right)_{track1} + \left(\sum\nolimits^2_{2,i/a}\right)_{track2}} \qquad \text{(ก.48)}$$

ค่าของพจน์ทางขวามือของสมการข้างต้นสามารถหาได้ตามที่แสดงใน ก.3.3

ในกรณีของทางร่วมศูนย์ ระยะระหว่างศูนย์กลางบำรุงทางสามารถหาได้จาก

$$EA_2 = 2.b_{RP} + S_a + S_i + \sum_{EA2} \qquad \text{(ก.49)}$$

**ก.3.7 ระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขต**

สมการสำหรับระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขตเป็นไปตามที่แสดงด้านล่าง

$$\sum'_{EA1} = \sqrt{\left(\sum\nolimits'^2_{1,i/a}\right)_{track1} + \left(\sum\nolimits'^2_{1,i/a}\right)_{track2}} \qquad \text{(ก.28)}$$

และ

$$\sum''_{EA1} = \sqrt{\left(\sum\nolimits''^2_{1,i/a}\right)_{track1} + \left(\sum\nolimits''^2_{1,i/a}\right)_{track2}} \qquad \text{(ก.29)}$$

ค่าของพจน์ทางขวามือของสมการข้างต้นสามารถหาได้ตามที่แสดงใน ก.2.3

ในกรณีของทางร่วมศูนย์ระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขตสามารถหาได้จาก

$$EA_1 = 2.b_{RP} + S_a + S_i + \max\left[\sum'_{EA1} + K(I - I_0) + K(D - D_0); \sum''_{EA1}\right] + \Delta b_{\delta D} \qquad \text{(ก.30)}$$

ให้แทนค่า ค่ายกโค้ง และการยกโค้งขาดในสมการข้างต้นเมื่อทางที่กำลังพิจารณาอยู่ด้านในและนอกของโค้งตามลำดับ

## ภาคผนวก ข ค่าคงที่ที่แนะนำให้ใช้ในการคำนวณพิกัดโครงสร้าง และตัวอย่างการคำนวณ

### ข.1 ค่าสัมประสิทธิ์ที่แนะนำ

**ตารางที่ ข.1 สัมประสิทธิ์ที่แนะนำให้ใช้สำหรับพิกัดเชิงสถิตและเชิงพลวัต**

| พารามิเตอร์ | | สัญลักษณ์ | ทางรถไฟที่ใช้หินรองทาง | | แผ่นพื้น | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ด้านในโค้ง | ด้านนอกโค้ง | ด้านในโค้ง | ด้านนอกโค้ง |
| ตำแหน่งทางรถไฟ | | $T_{track}$ | 0.025 ม. | 0.025 ม. | 0.005 ม. | 0.005 ม. |
| ความผิดพลาดของจุดตัดระดับ | $V \le 80km/h$ | $T_D$ | 0.020 ม. | 0.020 ม. | 0.005 ม. | 0.005 ม. |
| | $V > 80km/h$ | | 0.015 ม. | 0.015 ม. | 0.005 ม. | 0.005 ม. |
| การสั่น | คุณภาพทางดีเยี่ยม | $T_{osc}$ | 0.007 ม. | 0.039 ม. | 0.007 ม. | 0.039 ม. |
| | ถึงอื่น ๆ | | ถึง | ถึง | | |
| | | | 0.013 ม. | 0.065 ม. | | |
| ความไม่สมมาตรของน้ำหนักบรรทุก | | $T_{load}$ | 0.77° | 0.77° | 0.77° | 0.77° |
| ความไม่สมมาตรของการปรับแต่งจุดรองรับ | | $T_{susp}$ | 0.23° | 0.23° | 0.23° | 0.23° |
| ความคลาดเคลื่อนในแนวดิ่งของทาง | | $T_N$ | ขึ้นอยู่กับผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐาน | | | |
| ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยของพิกัดโครงสร้าง | | $k$ | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 |
| ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยของพิกัด Pantograph | | $k'$ | 1 | 1 | 1 | 1 |
| หมายเหตุ 1 เป็นค่าแนะนำเท่านั้น ไม่ใช่ข้อบังคับ สามารถปรับลดได้ ตัวอย่างเช่น การกีดขวางของทางรถไฟที่ชานชาลา ในโค้งที่ความเร็วต่ำ เป็นต้น<br>หมายเหตุ 2 คุณภาพของรางให้เป็นไปตามผลของการวัดจากรถวัดคุณภาพ | | | | | | |

ค่าสัมประสิทธิ์ในตารางข้างต้นสามารถใช้กับสมการของพิกัดเชิงพลวัตในภาคผนวก ก. ได้เช่นกัน

### ข.2 ตัวอย่างการคำนวณเชิงจลน์

#### ข.2.1 พิกัดขอบเขตและพิกัดบำรุงทาง

เพื่อแสดงตัวอย่างการคำนวณ กำหนดให้

- ใช้พิกัด G1 (ดู EN 15273-1)
- ใช้ทางรถไฟที่ใช้หินรองทาง
- สภาพราง : แย่ (“คุณภาพทางรถไฟอื่น ๆ”)
- ความเร็วรถ V > 80 กม./ชม.
- ใช้รางที่มีในท้องที่ : กว้าง 1435 มิลลิเมตร
- รางตรงไม่มีค่ายกโค้ง

**สมการที่ ข.1** แสดงการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ ทางด้านนอกโค้ง ที่ตำแหน่ง 3250 มิลลิเมตร โดยคำนึงถึงผลกระทบเนื่องจากค่าที่ยอมให้ของการซ่อมบำรุง

$$\Sigma'_{2a} = 1.2\sqrt{0.025^2 + \left[\frac{0.015}{1.5}3.25 + 0.4\frac{0.015}{1.5}\left[3.25 - 0.5_c\right]_{>0}\right]^2 + \left[tg(0.23^o)\left[3.25 - 0.5_c\right]_{>0}\right]^2 + \left[tg(0.77^o)\left[3.25 - 0.5\right]_{>0}\right]^2 + \left[\frac{0.4}{1.5}(0.065)\left[3.25 - 0.5\right]\right]^2} \quad \text{(ข.1)}$$

โดยอาศัยวิธีการเดียวกันกับที่แสดงข้างต้น จะสามารถคำนวณตลอดเส้นแนวได้ดังแสดงในตารางที่ ข.2 ตารางนี้ยังแสดงค่าความกว้างกึ่งหนึ่งของเส้นแนวอ้างอิง ความกว้างกึ่งหนึ่งของพิกัดบำรุงทาง และความกว้างกึ่งหนึ่งของของพิกัดขอบเขต

**ตารางที่ ข.2 พิกัดโครงสร้าง G1 (ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร)**

| $b_{CR}$ | $h_{CR}$ | $b_{nom}$ | $b_{\lim}$ | $b_{ver}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1520 | 400 | 1550 | 1551 | 1520 |
| 1620 | 400 | 1650 | 1651 | 1620 |
| 1620 | 1170 | 1677 | 1660 | 1631 |
| 1645 | 1170 | 1702 | 1685 | 1656 |
| 1645 | 3250 | 1782 | 1735 | 1698 |
| 1425 | 3700 | 1579 | 1527 | 1479 |
| 1120 | 4010 | 1286 | 1231 | 1180 |
| 525 | 4310 | 703 | 644 | 590 |
| 0 | 4310 | -178 | -199 | -65 |
| -525 | 4310 | -703 | -644 | -590 |
| -1120 | 4010 | -1286 | -1231 | -1180 |
| -1425 | 3700 | -1579 | -1527 | -1479 |
| -1645 | 3250 | -1782 | -1735 | -1692 |
| -1645 | 1170 | -1702 | -1685 | -1656 |
| -1620 | 1170 | -1677 | -1660 | -1631 |
| -1620 | 400 | -1650 | -1651 | -1620 |
| -1520 | 400 | -1650 | -1651 | -1520 |

### ข.2.2 ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางระบุ บำรุงทาง และขอบเขต

การคำนวณระยะศูนย์ถึงศูนย์สำหรับพิกัดG1 สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

กำหนดให้

$h_p$ = 3250 มิลลิเมตร

$b_{RP}$ = 1645

สำหรับกรณีรางคู่แบบร่วมศูนย์

$R_1$ = 450 เมตร

$R_2$ = 450 เมตร

$D_1$ = 120 มิลลิเมตร

$D_2$ = 120 มิลลิเมตร

$V_1$ = 0 กม./ชม.

$V_2$ = 80 กม./ชม.

$l_1$ = 1,435 เมตร

$I_2$ = 1,445 เมตร

สมการทั่วไปสำหรับพิกัด G1 สามารถเขียนได้ดังแสดงด้านล่าง

$$EA \geq 1{,}645 + \frac{3{,}75}{R_1} + \frac{\ell - 1{,}435}{2} + \frac{0{,}4}{1{,}5}[D_1 - 0{,}05][3{,}25 - 0{,}5]$$
$$+1{,}645 + \frac{3{,}75}{R_2} + \frac{\ell - 1{,}435}{2} + \frac{0{,}4}{1{,}5}[I_2 - 0{,}05][3{,}25 - 0{,}5] + \frac{3{,}25}{1{,}5}[D_1 - D_2] + \sum_{EA} \quad \text{(ข.2)}$$

โดยอาศัยข้อบังคับทั่วไปของการยกโค้งขาดจะได้ว่า

$I_2$ = 79 มิลลิเมตร

โดยอาศัยสมการที่ ก.2 จะคำนวณค่าที่ยอมให้ $\sum_{EA1}$ ถึง $\sum_{EA3}$ ได้ดังแสดงด้านล่าง

$\sum_{EA1}$ = 80 กม./ชม.

$\sum_{EA2}$ = 1,435 เมตร

$\sum_{EA3}$ = 1,435 เมตร

ดังนั้น

$$EA_1 > 1{,}645 + (0{,}008 + 0{,}000 + 0{,}052) + 1{,}645 + (0{,}008 + 0{,}005 + 0{,}022) + 0{,}065 + 0{,}074 = 3524$$
$$EA_1 > 1{,}645 + (0{,}008 + 0{,}000 + 0{,}052) + 1{,}645 + (0{,}008 + 0{,}005 + 0{,}022) + 0{,}065 + 0{,}132 = 3{,}582$$
$$EA_1 > 1{,}645 + (0{,}008 + 0{,}000 + 0{,}052) + 1{,}645 + (0{,}008 + 0{,}005 + 0{,}022) + 0{,}065 + 0{,}309 = 3809$$

*ตัวเลขที่แสดงข้างต้นมีหน่วยเป็น เมตร

**ข.2.3 พิกัด Pantograph**

**ข.2.3.1 บทนำ**

โครงสร้างระบบรางสามารถแบ่งตามคุณสมบัติทางไฟฟ้าออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่ โครงสร้างระบบรางที่ไม่สามารถก่อให้เกิดอันตรายจากการรบกวนทางไฟฟ้า และโครงสร้างระบบรางที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายจากการรบกวนทางไฟฟ้า การติดตั้งโครงสร้างระบบรางประเภทแรกให้กระทำโดยอาศัยขอบเขตของพิกัดเชิงไฟฟ้า ส่วนการติดตั้งโครงสร้างระบบรางประเภทหลังให้กระทำโดยคำนึงถึงระยะฉนวนไฟฟ้า $b_{elec}$ ที่กำหนดโดยผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐาน

ตัวอย่างการคำนวณที่จะกล่าวถึงถัดไปในภาคผนวกนี้เป็นไปตามแสดงด้านล่าง โดยกำหนดให้พิกัด Pantograph มีคุณสมบัติดังนี้

- GE1 ตามภาคผนวก ค
- ความกว้างของพิกัด Pantograph เท่ากับ 1600 มิลลิเมตร
- ความกว้างของ insulated horn ($c_w$) เท่ากับ 265 มิลลิเมตร
- ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เป็นไปตามที่แสดงในตารางที่ ข.1
- ระยะฉนวนเชิงพลวัต ($b_{elec,dyn}$) และเชิงสถิต ($b_{elec,stat}$) มีค่าเท่ากับ 170 มิลลิเมตร และ 270 มิลลิเมตร ตามลำดับ
- รัศมีความโค้งรางเท่ากับ 350 เมตร
- ค่ายกโค้ง ($D$) เท่ากับ 100 มิลลิเมตร
- ระยะห่างรางเฉพาะที่เท่ากับ 1445 มิลลิเมตร
- ความเร็วรถ 70 กม./ชม. ซึ่งทำให้ค่าการยกโค้งขาด ($I$) เท่ากับ 66 มิลลิเมตร
- ความสูงประสิทธิผล $h_{ef}$ เท่ากับ 5500 มิลลิเมตร

**ข.2.3.2 ตัวอย่างการคำนวณPantograph พิกัดบำรุงทางในกรณีที่รางเป็นเส้นตรง**

**ข.2.3.2.1 ตามแนวขวาง**

ค่าที่ยอมให้ ($\sum$) ที่คำนวณตามระเบียบวิธีในภาคผนวก ก.1. ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ ข.4

การคำนวณระยะฉนวนไฟฟ้าชนิดต่างๆ จะต้องคำนึงถึงกรณีที่รถไฟหยุดนิ่งและกรณีที่รถไฟวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด โดยค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเร็วของรถไฟได้แก่ $b_{elec}$ และ $\sum_j$ (สัญลักษณ์ $\sum_{j,i}$ และ $\sum_{j,a}$ ให้หมายถึงค่าที่ยอมให้สำหรับกรณีที่รถไฟหยุดนิ่งและวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดตามลำดับ) ดังนั้นการคำนวณค่าที่ยอมให้สำหรับด้านในโค้งให้คิดกรณีที่รถไฟหยุดนิ่ง ในขณะเดียวกันการคำนวณค่าที่ยอมให้สำหรับด้านนอกโค้งให้คิดกรณีที่รถไฟวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด สำหรับกรณีของรางตรงให้ใช้ค่าที่มากกว่า

**ตารางที่ ข.3 พิกัด Pantograph (ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร)**

| ความสูง | พิกัดขอบเขต | | พิกัดบำรุงทาง | |
|---|---|---|---|---|
| $H'$ | $\sum'_{li}$ | $\Sigma'_{1A}$ | $\sum'_{2i}$ | $\sum'_{2a}$ |
| 5000 | 76 | 95 | 138 | 149 |
| 6500 | 102 | 126 | 180 | 195 |

โดยอาศัยค่าที่ยอมให้สำหรับพิกัดขอบเขตที่แสดงในตารางข้างต้น จะทำให้สามารถคำนวณความกว้างของpantograph ได้ดังแสดงในตารางด้านล่าง

**ตาราง ข.4 พิกัด Pantograph – จุดทวนสอบบนที่จุด $h'_o$ (ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร)**

| | $b_w$ | $-c_w$ | $e_p$ | $b_{elec}$ | $S'$ | $qs$ | $\sum_j$ | Total b’ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $b'_{oi,mec}$ | 800 | 0 | 170 | 0 | 0 | 0 | 102 | 1072 |
| $b'_{oa,mec}$ | 800 | 0 | 170 | 0 | 0 | 0 | 126 | 1096 |
| $b'_{oi,elec}$ | 800 | -265 | 170 | 270 | 0 | 0 | 102 | 1077 |
| $b'_{oa,elec}$ | 800 | -265 | 170 | 170 | 0 | 0 | 126 | 1001 |

**ตารางที่ ข.5 พิกัด Pantograph– จุดทวนสอบล่างที่จุด $h'_u$ (ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร)**

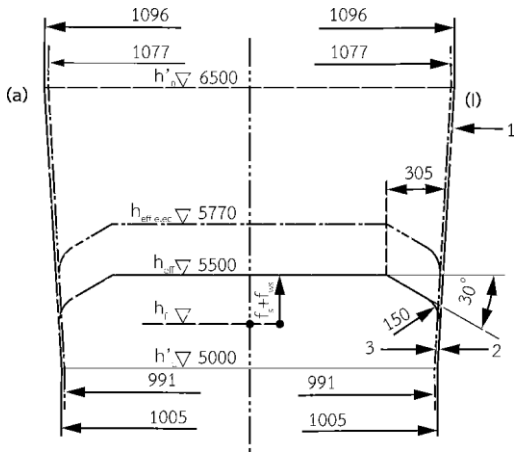
| | $b_w$ | $-c_w$ | $e_p$ | $b_{elec}$ | $S'$ | $qs$ | $\sum_j$ | Total b’ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $b'_{ui,mec}$ | 800 | 0 | 110 | 0 | 0 | 0 | 75 | 986 |
| $b'_{ua,mec}$ | 800 | 0 | 110 | 0 | 0 | 0 | 95 | 1005 |
| $b'_{ui,elec}$ | 800 | -265 | 110 | 270 | 0 | 0 | 76 | 991 |
| $b'_{ua,elec}$ | 800 | -265 | 110 | 170 | 0 | 0 | 95 | 910 |

โดยอาศัยผลการคำนวณข้างต้น จึงสามารถสรุปได้ว่าการคำนวณค่าของพิกัดเชิงกลและเชิงไฟฟ้าในกรณีของทางตรงจะถูกควบคุมโดยกรณีที่รถไฟวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดและหยุดนิ่งตามลำดับ

**ข.2.3.2.2 ตามแนวดิ่ง**

การคำนวณระยะในแนวดิ่งของพิกัด Pantograph จะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ เช่นเดียวกันกับกรณีของระยะในแนวราบที่กล่าวถึงในบทก่อนหน้า ในกรณีของแนวดิ่ง ขนาดของการสั่นไหวของสายไฟจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของรถ ในขณะที่ระยะฉนวนลดลง เนื่องจากการคำนวณตามเกณฑ์ข้อแรกถือว่าอยู่เหนือขอบเขตของมาตรฐานฉบับนี้ ดังนั้นจึงกำหนดให้กรณีควบคุมการคำนวณระยะในแนวดิ่งของพิกัด Pantograph เกิดขึ้นที่ค่าสูงสุดของพารามิเตอร์ทั้งสอง ดังนั้นการคำนวณหลังจากนี้จะใช้ค่าระยะฉนวนเชิงพลวัต ($b_{elec,dyn}$)

ในกรณีที่พิกัดถูกกำหนดโดย pantograph ชนิดเดียว จะทำให้สามารถหาระยะในแนวดิ่งของพิกัด Pantograph ได้ดังแสดงในรูปด้านล่าง




**คำสำคัญ**

1 pantograph chimney

2 พิกัดเชิงกล

3 พิกัดเชิงไฟฟ้า

**รูปที่ ข.1 ค่าครอบคลุมสูงสุดของพิกัดทวนสอบเชิงกลและเชิงไฟฟ้าบนทางเส้นตรง**

**ข.2.3.3 ตัวอย่างการคำนวณ Pantograph พิกัดบำรุงทาง ในกรณีที่ทางโค้ง**

เนื่องจากการคำนวณในกรณีของรางโค้งจะต้องคำนึงถึงผลของการล้มคว่ำเพิ่มเติม และผลกระทบกึ่งสถิต จึงกำหนดค่าต่างๆ ที่แสดงด้านล่างเพิ่มเติมสำหรับตัวอย่างการคำนวณ

$S_a = S_i = 350/2.5 + (1445 - 1435)/2$ = 12 มิลลิเมตร

$qs_s$ = 0

$qs_{iu}$ = 25.5 มิลลิเมตร

$qs_{i0}$ = 33.1 มิลลิเมตร

การคำนวณค่าระยะฉนวนไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงกรณีรถไฟหยุดนิ่งและรถไฟวิ่ง สำหรับการคำนวณในกรณีที่รถไฟหยุดนิ่งให้ใช้ค่า $qs_i$ และ $\sum_{j,i}$ ซึ่งเป็นค่าด้านในโค้งจะได้ผลลัพธ์ตามที่แสดงในตารางที่ ข. 6 และ ข.7 สำหรับการคำนวณในกรณีที่รถไฟวิ่งให้ใช้ค่าระยะฉนวนเชิงพลวัตในการคำนวณ

**ตารางที่ ข.6 พิกัด Pantograph –สำหรับ V = 0 ที่ความสูง $h'_o$ (ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร)**

| | $b_w$ | $-c_w$ | $e_p$ | $b_{elec}$ | $S'$ | $qs$ | $\sum_j$ | Total b’ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $b'_{oi,mec}$ | 800 | 0 | 170 | 0 | 12 | 33 | 102 | 1117 |
| $b'_{oa,mec}$ | 800 | 0 | 170 | 0 | 12 | 0 | 102 | 1084 |
| $b'_{oi,elec}$ | 800 | -255 | 170 | 270 | 12 | 33 | 102 | 1122 |
| $b'_{oa,elec}$ | 800 | -255 | 170 | 270 | 12 | 0 | 102 | 1089 |

**ตารางที่ ข.7 พิกัด Pantograph –สำหรับ V = 0 ที่ความสูง $h'_u$ (ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร)**

| | $b_w$ | $-c_w$ | $e_p$ | $b_{elec}$ | $S'$ | $qs$ | $\sum_j$ | Total b’ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $b'_{ui,mec}$ | 800 | 0 | 110 | 0 | 12 | 25 | 76 | 1023 |
| $b'_{ua,mec}$ | 800 | 0 | 110 | 0 | 12 | 0 | 76 | 998 |
| $b'_{ui,elec}$ | 800 | -255 | 110 | 270 | 12 | 25 | 76 | 1028 |
| $b'_{ua,elec}$ | 800 | -255 | 110 | 270 | 12 | 0 | 76 | 1003 |

ตารางที่ ข.8 พิกัด Pantograph –สำหรับ V > 0 ที่ความสูง $h'_o$ (ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร)

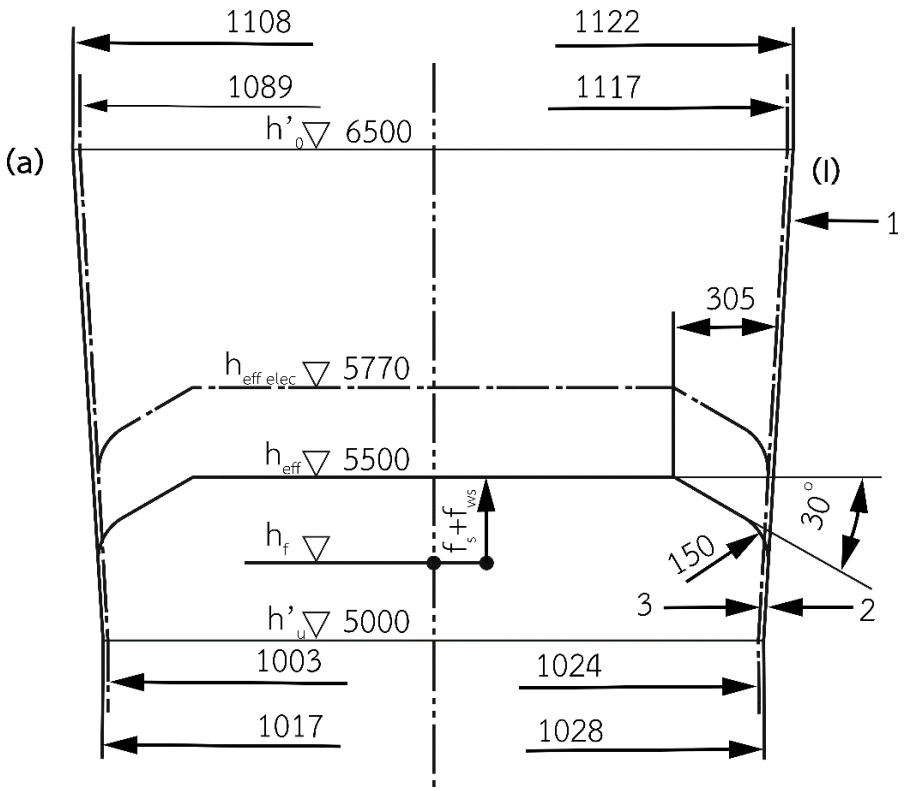
| | $b_w$ | $-c_w$ | $e_p$ | $b_{elec}$ | $S'$ | $qs$ | $\sum_j$ | Total b’ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $b'_{oi,mec}$ | 800 | 0 | 170 | 0 | 12 | 33 | 102 | 1117 |
| $b'_{oa,mec}$ | 800 | 0 | 170 | 0 | 12 | 0 | 126 | 1108 |
| $b'_{oi,elec}$ | 800 | -265 | 170 | 170 | 12 | 33 | 102 | 1022 |
| $b'_{oa,elec}$ | 800 | -265 | 170 | 170 | 12 | 0 | 126 | 10013 |

ตารางที่ ข.9 พิกัด Pantograph –สำหรับ V > 0 ที่ความสูง $h'_u$ (ตัวเลขในตารางมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร)

| | $b_w$ | $-c_w$ | $e_p$ | $b_{elec}$ | $S'$ | $qs$ | $\sum_j$ | Total b’ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $b'_{ui,mec}$ | 800 | 0 | 110 | 0 | 12 | 26 | 76 | 1024 |
| $b'_{ua,mec}$ | 800 | 0 | 110 | 0 | 12 | 0 | 95 | 1017 |
| $b'_{ui,elec}$ | 800 | -265 | 110 | 170 | 12 | 26 | 76 | 929 |
| $b'_{ua,elec}$ | 800 | -265 | 110 | 170 | 12 | 0 | 95 | 922 |

จากผลการคำนวณจะเห็นได้ว่าค่าของพิกัดเชิงไฟฟ้าสำหรับด้านนอกโค้งถูกควบคุมโดยกรณีที่รถไฟหยุดนิ่งและ ผลกระทบกึ่งสถิต ไม่มีผลกระทบต่อการคำนวณแต่อย่างใด

เมื่อพิจารณาผลการคำนวณระยะในแนวดิ่งของ พิกัด Pantograph จะเห็นได้ว่า (1) พิกัดเชิงกล ถูกควบคุมโดยกรณีรถไฟหยุดนิ่ง (2) พิกัดเชิงไฟฟ้า บนด้านในโค้งถูกควบคุมโดยกรณีรถไฟหยุดนิ่ง และ (3) พิกัดเชิงไฟฟ้าบนด้านนอกโค้งถูกควบคุมโดยกรณีที่รถไฟวิ่งที่ความเร็วสูงสุด ผลลัพธ์จากตัวอย่างการคำนวณได้ถูกแสดงไว้ในรูปที่ ข.2




**คำสำคัญ**

1 พิกัดเชิงกล

2 พิกัดเชิงไฟฟ้า

(a) ด้านในโค้ง

(b) ด้านนอกโค้ง

**รูปที่ ข.2 ค่าครอบคลุมสูงสุดของพิกัดทวนสอบเชิงกลและเชิงไฟฟ้าบนทางโค้ง**

## ภาคผนวก ค พิกัดสากล G1, GA, GB และ GC

ขนาดและระยะสำหรับพิกัด GA GB และ GC จะถูกกำหนดโดยอาศัยพิกัด GA เป็นเกณฑ์ ทั้งนี้พิกัดต่างๆ ของพิกัดทั้งสามที่อยู่ต่ำกว่าระดับความสูง 3.25 เมตร ลงมา ( $h <$ 3.25 เมตร) จะมีค่าเท่ากันทุกประการ ในขณะที่พิกัดต่างๆ เหนือระดับดังกล่าวจะมีความแตกต่างกัน ในการสร้างเส้นแนวของพิกัด GA GB และ GC ให้ทำการลากเส้นดิ่งจากจุด $h =$ 3.25 เมตร ไปยังจุดแรกที่อยู่เหนือขึ้นไปจากระดับดังกล่าว

ขนาดและระยะสำหรับพิกัด Pantograph ที่ให้ไว้ในภาคผนวกนี้สามารถใช้ได้กับกรณีทั่วไป อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวอาจแตกต่างไปจากพิกัด Pantograph ที่ใช้งานจริง

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง ให้ใช้ค่าต่อไปนี้ ยกเว้นพิกัด Pantograph

- $L$ = 1.500 เมตร และ $l_{nom}$ = 1.435 เมตร
- $s_0$ = 0.4 (สำหรับ G1 และ GC); $s_0$ = 0.4 หรือ 0.3 (สำหรับ GA และ GB ขึ้นอยู่กับระดับความสูงที่พิจารณา)
- $h_{c0}$ = 0.5 เมตร
- $l_0$ = 0.05 เมตร และ $D_0$ = 0.05 เมตร

เกณฑ์การกำหนดค่าที่ยอมให้สำหรับการล้มคว่ำเพิ่มเติม แตกต่างกันสำหรับพิกัดชนิดต่างๆ ค่าการยกระดับของส่วนบนของพิกัดสามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่าง

$$\Delta h_{RV} = \frac{50}{R_V} \qquad \text{(ค.1)}$$

ค่าการลดระดับของส่วนล่างของพิกัดสามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่าง

$$\Delta h_{RV} = \frac{-50}{R_V} \qquad \text{(ค.2)}$$

ค่ารัศมี $R_V$ ในสมการข้างต้นต้องมีค่าไม่เกิน 500 เมตร ขนาดและระยะที่เล็กกว่า 80 มิลลิเมตร ภายในเส้นรัศมีความโค้ง 500 เมตร ถึง 625 เมตร ให้ถือว่ามีค่าเป็นศูนย์ และคุณลักษณะของรถไฟอ้างอิงที่กล่าวถึงในภาคผนวกนี้ถูกอธิบายไว้ในภาคผนวก ฉ (ดูตารางที่ ฉ.2)

สำหรับภาคผนวกนี้ ขนาดและระยะที่ใช้ในรูปภาพและสมการมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร และ เมตร ตามลำดับ ยกเว้นระบุเป็นอย่างอื่น

**ค.1 พิกัด**

**ค.1.1 การคำนวณระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง**

ส่วนข้างของพิกัดทุกชนิดอยู่ห่างจากแนวศูนย์กลางรางเป็นระยะเท่ากัน อย่างไรก็ตามให้สังเกตว่า ระยะระหว่างศูนย์กลางขอบเขต ของพิกัด GC แตกต่างจากพิกัดอื่นๆ เนื่องจากจุดบนของส่วนข้างของพิกัด GC อยู่สูงกว่าพิกัดอื่นๆ

**ค.1.2 พิกัดทางผ่านอิสระของ Pantograph**

ค่าพารามิเตอร์ของพิกัดทางผ่านอิสระแตกต่างจากค่าของพิกัดโครงสร้าง

$L$ = 1500 เมตร

$l_{nom}$ = 1432 เมตร

$s_0$ = 80 กม./ชม.

$h_{c0}$ = 0.5 เมตร

$I_0$ = 0.066 เมตร

$D_0$ = 0.066 เมตร

$h'_0$ = 6.500 เมตร

$h'_u$ = 5.000 เมตร

**ค.1.3 ส่วนประกอบของพิกัด**

พิกัดประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ : ส่วนล่างหมายถึงระยะและขนาดต่างๆ ของพิกัดที่อยู่ต่ำกว่าระดับความสูง 400 มิลลิเมตร ลงมาจนถึงผิวทางวิ่ง ขนาดและระยะของส่วนล่างที่กำหนดไว้ในภาคผนวกนี้สามารถใช้ได้กับทางเดินรถตลอดเส้นทางยกเว้นบริเวณที่มีการติดตั้ง rail break ซึ่งบริเวณดังกล่าวจะต้องมีการกำหนดพิกัดชนิดพิเศษไว้ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะมีการกำหนดพิกัดชนิดพิเศษไว้ใช้สำหรับรางที่มีการติดตั้ง rail break พิกัดโครงสร้างของรางบริเวณดังกล่าวในขณะที่ rail breakอยู่ที่ตำแหน่ง disengage จะต้องผ่านเกณฑ์สำหรับส่วนล่างของรางบริเวณทั่วไปด้วยเช่นกัน

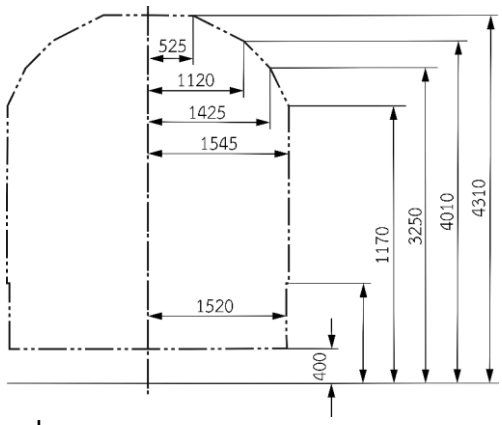
ส่วนข้างของพิกัดทุกประเภทที่กล่าวถึงในภาคผนวกนี้มีขนาดและระยะเท่ากันทุกประการนับตั้งแต่ผิวทางวิ่งจนถึงระดับความสูง 3250 มิลลิเมตร

ส่วนบนของของพิกัดแต่ละประเภทที่กล่าวถึงในภาคผนวกนี้มีความแตกต่างกัน ทั้ง เส้นแนวอ้างอิง และสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าขนาดและระยะต่างๆ พิกัด Pantograph ที่กล่าวถึงในภาคผนวกนี้สามารถใช้ได้กับพิกัดทุกประเภท

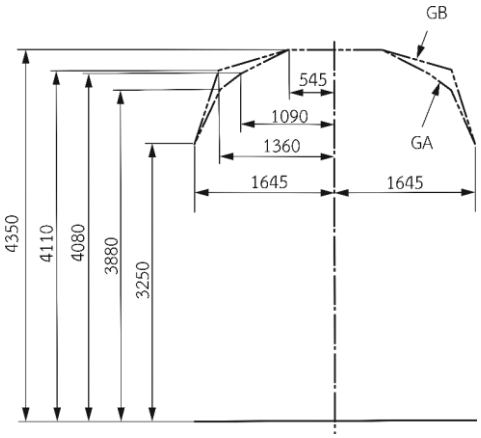
เส้นแนวอ้างอิงและสมการสำหรับการคำนวณการล้มคว่ำเพิ่มเติม และผลกระทบกึ่งสถิตสำหรับพิกัดประเภทต่างๆ ได้ถูกกำหนดไว้ในหัวข้อถัดไป

**ค.2 พิกัดสำหรับส่วนบน ( $h > 400$ มิลลิเมตร)**

**ค.2.1 พิกัด G1**




**รูปที่ ค.1 เส้นแนวอ้างอิงเชิงจลน์ของพิกัด G1**




**ตารางที่ ค.1 สมการสำหรับคำนวณค่า $s$ และ $qs$ สำหรับพิกัดG1 (ขนาดและระยะมีหน่วยเป็น เมตร)**

| | **รัศมีความโค้ง $R$** | **ด้านในโค้ง** | **ด้านนอกโค้ง** |
|---|---|---|---|
| การล้มคว่ำเพิ่มเติม $s$ | $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{3{,}75}{R} + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ | |
| | $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0{,}185 + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0{,}225 + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ |
| $qs$ | ทุกรัศมีความโค้ง | $\frac{0{,}4}{1{,}5}\left[D - 0{,}05\right]_{>0}\left[h - 0{,}5\right]_{>0}$ | $\frac{0{,}4}{1{,}5}\left[I - 0{,}05\right]_{>0}\left[h - 0{,}5\right]_{>0}$ |

**ค.2.2 พิกัด G1 และ GB**

**ตารางที่ ค.2 สมการสำหรับคำนวณค่า $s$ สำหรับพิกัดGA และ GB (ขนาดและระยะมีหน่วยเป็น เมตร)**

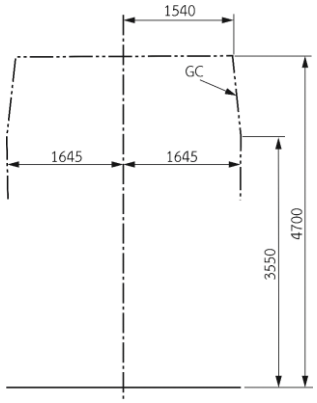
| **ความสูง $h$** | **รัศมีความโค้ง $R$** | **$s_I$ (ด้านในโค้ง)** | **$s_a$ (ด้านนอกโค้ง)** |
|---|---|---|---|
| $h \geq 3{,}250$ $(\equiv G1)$ | $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{3{,}75}{R} + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ | |
| | $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0{,}185 + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0{,}225 + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ |
| $3{,}250 < h \leq 3{,}880$ | ทุกรัศมีความโค้ง | | |

| ความสูง $h$ | รัศมีความโค้ง $R$ | $s_I$ (ด้านในโค้ง) | $s_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| $(GA)$<br>$3{,}250 < h \le 4{,}110$<br>$(GB)$ | | ให้ลากเส้นตรงจากจุดที่ความสูง ($h$) 3.25 เมตร ไปยังจุดที่ความสูง ($h$) 3.88 เมตร หรือ 4.11 เมตร | |
| $h > 3{,}880(GA)$ | $\infty \ge R \ge 250$ | $\frac{20}{R} - \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ | |
| $h > 4{,}110(GB)$ | $250 > R \ge 150$ | $\frac{50}{R} - 0{,}120 + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ | |

**ตารางที่ ค.3 สมการสำหรับคำนวณค่า $qs$ สำหรับพิกัดGA และ GB (ขนาดและระยะมีหน่วยเป็น เมตร)**

| ความสูง $h$ | $q_{sI}$ (ด้านในโค้ง) | $q_{sa}$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| $h \ge 3{,}250$ $(\equiv G1)$ | $\frac{0{,}4}{1{,}5}\left[D - 0{,}05\right]_{>0}\left[h - 0{,}5\right]_{>0}$ | $\frac{0{,}4}{1{,}5}\left[I - 0{,}05\right]_{>0}\left[h - 0{,}5\right]_{>0}$ |
| $3{,}250 < h \le 3{,}880(GA)$<br>$3{,}250 < h \le 4{,}110(GB)$ | ให้ลากเส้นตรงจากจุดที่ความสูง ($h$) 3.25 เมตร ไปยังจุดที่ความสูง ($h$) 3.88 เมตร หรือ 4.11 เมตร | |
| $h > 3{,}880(GA)$<br>$h > 4{,}110(GB)$ | $\frac{0{,}3}{1{,}5}\left[D - 0{,}05\right]_{>0}\left[h - 0{,}5\right]_{>0}$ | $\frac{0{,}3}{1{,}5}\left[I - 0{,}05\right]_{>0}\left[h - 0{,}5\right]_{>0}$ |
| หมายเหตุ ค่า $s_0$ สำหรับกรณีที่กำลังพิจารณาให้ดู EN 15273-1 | | |

**ค.2.3 พิกัด GC**




**รูปที่ ค.3 เส้นแนวอ้างอิงเชิงจลน์ของพิกัด GC**

ข้อบังคับของพิกัด GC ให้ใช้ข้อบังคับเดียวกับพิกัด G1

**ตารางที่ ค.4 สมการสำหรับคำนวณค่า $s$ และ $qs$ สำหรับพิกัดGC (ขนาดและระยะมีหน่วยเป็น เมตร)**

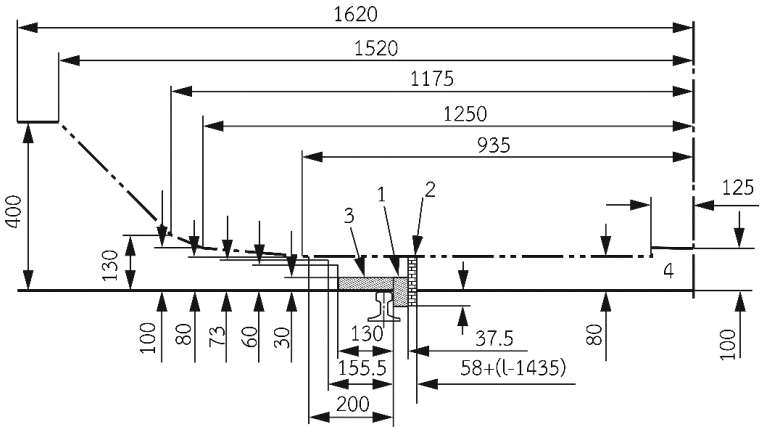
| | รัศมีความโค้ง $R$ | ด้านในโค้ง | ด้านนอกโค้ง |
|---|---|---|---|
| การล้มคว่ำเพิ่มเติม $s$ | $\infty \ge R \ge 250$ | $\frac{3{,}75}{R} + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ | |
| | $250 > R \ge 150$ | $\frac{50}{R} - 0{,}185 + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0{,}225 + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ |

| | รัศมีความโค้ง $R$ | ด้านในโค้ง | ด้านนอกโค้ง |
|---|---|---|---|
| *qs* | ทุกรัศมีความโค้ง | $\frac{0,4}{1,5}[D-0,05]_{>0}[h-0,5]_{>0}$ | $\frac{0,4}{1,5}[I-0,05]_{>0}[h-0,5]_{>0}$ |

**ค.3 พิกัดสำหรับส่วนล่าง ( $h \leq 400$ มิลลิเมตร)**

**ค.3.1 ส่วนล่างของพิกัด GIC2 – ใช้ได้กับกรณีทั่วไป**

พิกัด GIC2 สามารถใช้ได้กับระบบโครงข่ายที่ใช้รถไฟสากลทุกชนิด




**คำสำคัญ**

- 1 บริเวณที่มีการเคลียร์พื้นที่อย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ปีกล้อสามารถวิ่งผ่านได้
- 2 บริเวณสำหรับทำการติดตั้ง active flanges ของ check rails, ห้ามมีโครงสร้างอื่นๆ ในบริเวณนี้
- 3 พิกัดระดับต่ำสุดของการติดตั้งอะไหล่และอุปกรณ์ต่างๆ บนตัวของรถไฟ (ยกเว้นล้อ)
- 4 บริเวณสำหรับทำการติดตั้ง contact ramp

**หมายเหตุ:** สำหรับหน้าตัดช่วงเข้าโค้งที่มีรัศมีความโค้ง ( $R_v$ ) มากกว่า 500 เมตร ให้ลดค่าพิกัดต่างๆ ที่อยู่เหนือระดับผิวทางวิ่งขึ้นไปจนถึงระดับ 130 มิลลิเมตร โดยอาศัยตัวคูณลดค่า $R_v/50$ ( $R_v$ มีหน่วยเป็น เมตร) ; ขนาดและระยะที่เล็กกว่า 80 มิลลิเมตร ภายในเส้นรัศมีความโค้ง 500 เมตร ถึง 625 เมตร ให้ถือว่ามีค่าเป็นศูนย์

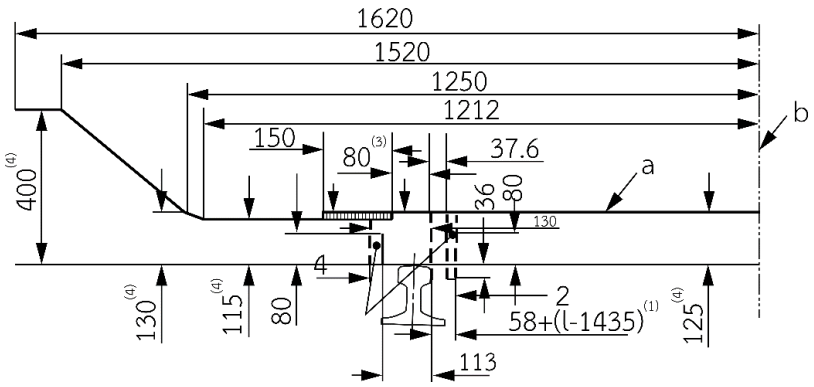
**ตารางที่ ค.5 สมการสำหรับคำนวณค่า $S_i$ และ $S_a$ สำหรับพิกัด GIC2 ที่มีการติดตั้ง rail break (ขนาดและระยะมีหน่วยเป็น เมตร)**

| รัศมีความโค้ง $R$ | $S_I$ (ด้านในโค้ง) | $S_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{2,5}{R}+\frac{\ell-1,435}{2}$ | $\frac{2,5}{R}+\frac{\ell-1,435}{2}$ |
| $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R}-0,190+\frac{\ell-1,435}{2}$ | $\frac{60}{R}-0,230+\frac{\ell-1,435}{2}$ |

ผลกระทบกึ่งสถิต ไม่มีผลต่อพิกัดในกรณีที่ $h > 0.5$ เมตร

**ค.3.2 ส่วนล่างของพิกัด GIC1 – สำหรับรางที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ rail break**

พิกัด GIC1 สามารถใช้ได้กับรางที่จะทำการติดตั้ง rail break




**คำสำคัญ**

- 1 บริเวณที่มีการเคลียร์พื้นที่อย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ปีกล้อสามารถวิ่งผ่านได้
- 2 บริเวณสำหรับทำการติดตั้ง active flanges ของ check rails, ห้ามมีโครงสร้างอื่นๆ ในบริเวณนี้
- 3 rail breakอยู่ในตำแหน่ง disengaged
- 4 พิกัดระยะนอกสุดของล้อรถ
- 5 บริเวณที่สงวนไว้สำหรับการยึดของก้ามปูของ rail break
- 6 พิกัดความสูงมากที่สุดของ retarder
- a ผิวทางวิ่ง
- b ศูนย์กลางของเส้นแนวอ้างอิงเชิงจลน์

(1) พิกัดตำแหน่งประสิทธิผลของผิวด้านในของวงล้อ ในกรณีที่ล้ออีกด้านหนึ่งอยู่ในตำแหน่ง flange contact

(2) ห้ามไม่ให้อุปกรณ์ที่ติดตั้งแบบถาวรบนรางเดินรถยื่นล้ำเข้ามาในบริเวณนี้, ยกเว้น retractable retarder ในขณะทำงาน

(3) rail break และอุปกรณ์ห้ามล้ออื่น ๆ สามารถมีมิติได้สูงสุด 115 มิลลิเมตร/125 มิลลิเมตร (locking retarder มีความสูงได้สูงสุด 125 มิลลิเมตร) และอุปกรณ์เหล่านี้ต้องถูกติดตั้งในโค้งที่มีรัศมีมากกว่า 150 เมตร

(4) สำหรับรูปตัดช่วงเข้าโค้งที่มีรัศมีความโค้ง ( $R_v$ ) มากกว่า 500 เมตร ให้ลดค่าพิกัดในบริเวณนี้ลงโดยอาศัยตัวคูณลดค่า $R_v / 50$ ( $R_v$ มีหน่วยเป็น เมตร) สำหรับโครงสร้างที่ไม่อยู่ร่วมกับทางรถไฟจะต้องคำนึงถึงค่าที่ยอมให้ในแนวดิ่งสำหรับการซ่อมบำรุงในการกำหนดพิกัดด้วย

**หมายเหตุ:** สำหรับรูปตัดช่วงเข้าโค้งที่มีรัศมีความโค้ง ( $R_v$ ) มากกว่า 500 เมตร ให้ลดค่าพิกัดต่างๆ ที่อยู่เหนือระดับผิวทางวิ่งขึ้นไปจนถึงระดับ 130 มิลลิเมตร โดยอาศัยตัวคูณลดค่า $R_v / 50$ ( $R_v$ มีหน่วยเป็น เมตร) ; ขนาดและระยะที่เล็กกว่า 80 มิลลิเมตร ภายในเส้นรัศมีความโค้ง 500 เมตร ถึง 625 เมตร ให้ถือว่ามีค่าเป็นศูนย์

**ตารางที่ ค.6 สมการสำหรับคำนวณค่า $S_i$ และ $S_a$ สำหรับพิกัดGIC1 ที่มีการติดตั้ง rail break (ขนาดและระยะมีหน่วยเป็น เมตร)**

| รัศมีความโค้ง $R$ | $S_I$ (ด้านในโค้ง) | $S_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{2,5}{R} + \frac{\ell - 1,435}{2}$ | $\frac{2,5}{R} + \frac{\ell - 1,435}{2}$ |
| $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0,190 + \frac{\ell - 1,435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0,230 + \frac{\ell - 1,435}{2}$ |

ผลกระทบกึ่งสถิต ไม่มีผลต่อพิกัดในกรณีที่ $h < 0.5$ เมตร

บริเวณพื้นที่ที่เป็นเนิน (hump) ซึ่งสามารถเข้าถึงได้โดยรางเลี่ยงเนิน (track-avoiding hump) และมีโอกาสมากที่จะมี (1) รถไฟสายหลักอยู่บนราง (2) ตู้ขนส่งสินค้าชนิดพิเศษ ที่ไม่ได้รับอนุญาตให้วิ่งบนเนินหรือ rail breakรางหรืออุปกรณ์หยุดรถอื่นๆ : ห้ามมิให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของอุปกรณ์หยุดรถในขณะทำงานยื่นเข้าไปในพิกัดที่แสดงในรูป ค.4 ในหัวข้อที่ ค.3.1

รัศมีความโค้งของรางในช่วงเปลี่ยนแปลงความสูงต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 500 เมตร

**ค.3.2.1 การลดระดับในแนวดิ่ง**

**ค.3.2.1.1 ค่าระบุ**

ขนาดและระยะในแนวดิ่งต่างๆ บนพิกัด ( $h <$ 0.4 เมตร) แปรผันตามรัศมีความโค้งในแนวดิ่งตามที่แสดงในสมการด้านล่าง

$$\Delta h_{RV} = \frac{-50}{R_V} \qquad \text{(ค.3)}$$

ค่ารัศมี $R_V$ ในสมการข้างต้นต้องมีค่าไม่เกิน 500 เมตร ขนาดและระยะที่เล็กกว่า 80 มิลลิเมตร ภายในเส้นรัศมีความโค้ง 500 เมตร ถึง 625 เมตร ให้ถือว่ามีค่าเป็นศูนย์

**ค.3.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงความชันของ marshaling humps**

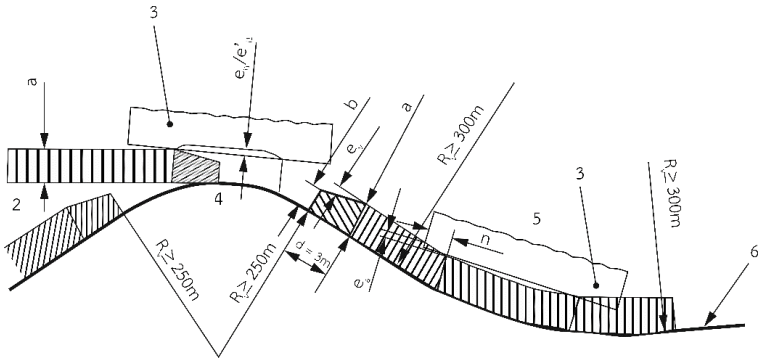
ให้คำนึงถึงข้อบังคับที่แสดงด้านล่างเพิ่มเติมจากข้อบังคับการลดระดับ ข้อกำหนดด้านล่างประกอบด้วยชุดของระยะความสูงในแนวดิ่ง 2 ชุด ซึ่งมีไว้ใช้สำหรับ rail break และอุปกรณ์หยุดรถอื่นๆ ข้อกำหนดเหล่านี้ได้ทำการเผื่อไว้สำหรับตัวรถชนิดต่างๆ ที่สามารถลดลงได้ต่ำกว่าขีดจำกัดของ rail break

ห้ามมิให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของ rail break และอุปกรณ์ห้ามล้ออื่นๆ ยื่นขึ้นไปเกินกว่าระดับความสูง 115 มิลลิเมตร/125 มิลลิเมตร เหนือระดับผิวทางเดินรถ ภายในช่วงทางรถไฟต่างๆ ดังนี้

- ภายในและบริเวณใกล้เคียงกับแนวรางโค้งคว่ำ ซึ่งมีรัศมีความโค้งตั้งแต่ 300 เมตร ขึ้นไป ( $R_V >$ 300 เมตร)

- ภายนอกรางโค้งหงายเป็นระยะ 3 เมตร (5 เมตร) นับจากจุดเริ่มต้นของแนวโค้งหงายที่มีรัศมีความโค้งตั้งแต่ 300 เมตร ขึ้นไป ( $R_V$ > 300 เมตร) ระยะ 3 เมตร ในข้อกำหนดข้างต้นให้ใช้กับเนินแบบดังเดิม (classic humps) ในขณะที่ระยะ 5 เมตร มีไว้เพื่อเผื่อให้ขบวนรถชนิดท้องพื้นต่ำเดินทางผ่านได้ ที่จุดสิ้นสุดของแนวรางโค้งคว่ำที่มีรัศมีความโค้งตั้งแต่ 250 เมตร ขึ้นไป ให้เปลี่ยนค่าพิกัดระยะ 115 มิลลิเมตร/125 มิลลิเมตร ในรูปที่ ค.6 เป็นค่า $e_{v1}$ และ $e_{v2}$ ดังแสดงในสมการด้านล่างตามลำดับ

$$e_{v1} = 0{,}040x\frac{250}{R_V} \qquad \text{and} \qquad e_{v2} = 0{,}050x\frac{250}{R_V} \tag{ค.4}$$




**คำสำคัญ**

- 1 classic hump
- 2 shunting gradient
- 3 รถไฟ
- 4 โค้งคว่ำ
- 5 โค้งหงาย
- 6 ผิวทางเดินรถ
- a 115 มิลลิเมตร /125 มิลลิเมตร
- b 75 มิลลิเมตร /85 มิลลิเมตร

**รูปที่ ค.6 การเปลี่ยนแปลงความชันของรางบนเนิน**

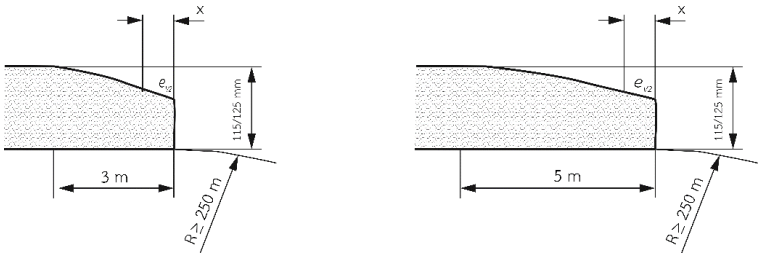
**ให้ใช้ค่าความสูงลดทอน $e_{v1}$ ตามสมการด้านล่าง**

$$e_{v1} = 0{,}040.\frac{250}{R_V}.\frac{3-x}{3} \tag{ค.5}$$

โดยที่ $x$ ในสมการข้างต้นคือระยะที่วัดจากจุดสิ้นสุดของแนวโค้งคว่ำ

รูปที่ ค.7 (รูปฝั่งขวา) แสดงรูปตัดของรางบนเนินที่เผื่อให้ขบวนรถชนิดท้องพื้นต่ำเดินทางผ่านได้บนช่วงที่ใช้พิกัดควบคุม 115/125 มิลลิเมตร (ช่วงที่นับจากจุดสิ้นสุดของแนวโค้งคว่ำเข้ามาภายในโค้งเป็นระยะ 5 เมตร) ให้ใช้ค่าความสูงลดทอน $e_{v2}$ ตามสมการด้านล่าง

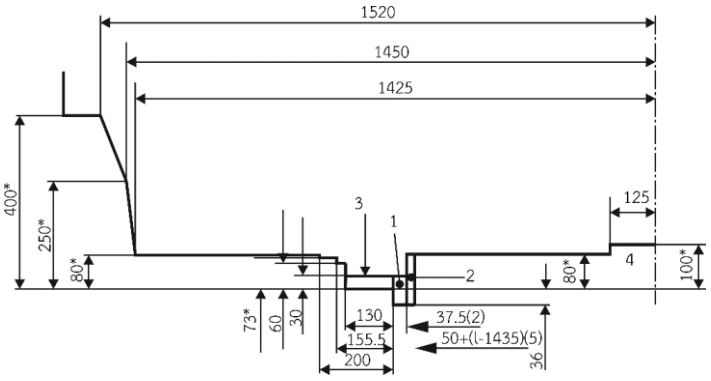
$$e_{v2} = \left[\frac{(15{,}80 - x)^3}{53325} - 0{,}024\right] x \frac{250}{R_V} \qquad \text{(ค.6)}$$




**รูปที่ ค.7 การลดทอนพิกัดความสูง**

### ค.3.3 ส่วนล่างของ “rolling” roads – พิกัด GIC3

พิกัดที่กล่าวถึงในหัวข้อนี้ใช้กับเส้นทางการเดินรถสำหรับรถชนิดพิเศษ




**คำสำคัญ**

- 1 บริเวณที่มีการเคลียร์พื้นที่เพื่อให้ปีกล้อสามารถวิ่งผ่านได้
- 2 บริเวณสำหรับทำการติดตั้ง active flanges ของ check rails, ห้ามมีโครงสร้างอื่นๆ ในบริเวณนี้
- 3 พิกัดระดับต่ำสุดของการติดตั้งอะไหล่และอุปกรณ์ต่างๆ บนตัวของรถไฟ (ยกเว้นล้อ)
- 4 บริเวณสำหรับทำการติดตั้ง contact ramp

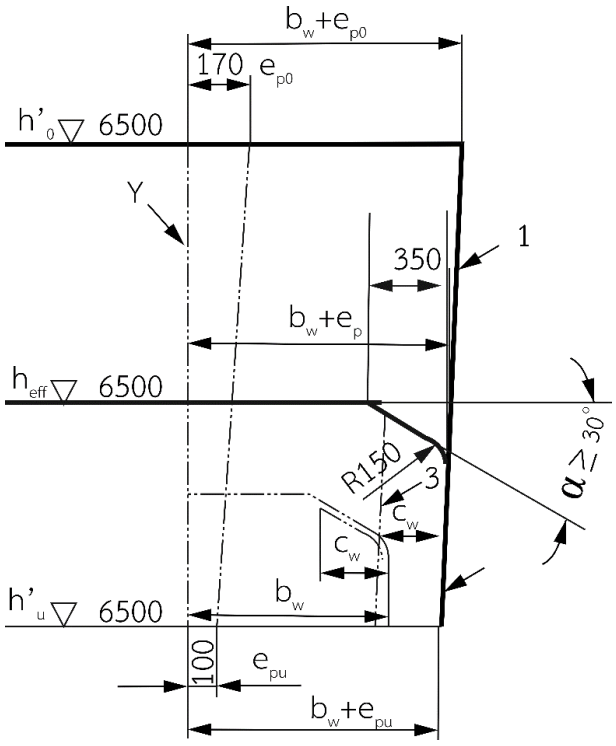
**หมายเหตุ**: สำหรับรูปตัดช่วงเข้าโค้งที่มีรัศมีความโค้ง ( $R_v$ ) มากกว่า 500 เมตร ให้ลดค่าพิกัดต่างๆ ที่มีเครื่องหมาย * ในรูปโดยอาศัยตัวคูณลดค่า $50/R_v$ ( $R_v$ มีหน่วยเป็น เมตร); ขนาดและระยะที่เล็กกว่า 80 มิลลิเมตร ภายในเส้นรัศมีความโค้ง 500 เมตร ถึง 625 เมตร ให้ถือว่ามีค่าเป็นศูนย์

**ตารางที่ ค.7 สมการสำหรับคำนวณค่า $S$ สำหรับส่วนล่างของพิกัด GIC2 (ขนาดและระยะมีหน่วยเป็นเมตร)**

| ความสูง $h$ | รัศมีความโค้ง $R$ | $s_I$ (ด้านในโค้ง) | $S_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| $h = 0{,}400$ | $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{2{,}5}{R} + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ | $\frac{2{,}5}{R} + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ |
| | $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0{,}190 + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0{,}230 + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ |
| $0{,}250 < h < 0{,}400$ | ทุกรัศมีความโค้ง | ให้ลากเส้นตรงจากจุดที่ความสูง ($h$) 0.4 เมตร ไปยังจุดที่ความสูง ($h$) 0.2 เมตร หรือ 4.11 เมตร | |
| $h \leq 0{,}250$ | $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{2{,}5}{R} + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ | $\frac{\ell - 1{,}435}{2}$ |
| | $250 > R \geq 150$ | $\frac{37{,}5}{R} - 0{,}140 + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ | $\frac{40}{R} - 0{,}160 + \frac{\ell - 1{,}435}{2}$ |

ผลกระทบกึ่งสถิต ไม่มีผลต่อพิกัดในกรณีที่ $h > 0.5$ เมตร

### ค.3.4 พิกัดทางผ่านอิสระของ Pantograph




**คำสำคัญ**

- 1 ศูนย์กลางราง

- 2 chimney
- 3 เส้นแนวเชิงกล

**ตารางที่ ค.8 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้องสำหรับพิกัดทางผ่านอิสระของ Pantograph (ขนาดและระยะมีหน่วยเป็น เมตร)**

| | **รัศมีความโค้ง** $R$ | **ด้านในโค้ง** | **ด้านนอกโค้ง** |
|---|---|---|---|
| การล้มคว่ำเพิ่มเติม S | ทุกรัศมีความโค้ง | $\frac{2,5}{R}+\frac{\ell-1,435}{2}$ | |
| qs | ทุกรัศมีความโค้ง | $\frac{0,225}{1,5}\left[D-0,066\right]_{>0}\left[h-0,5\right]_{>0}$ | $\frac{0,225}{1,5}\left[I-0,066\right]_{>0}\left[h-0,5\right]_{>0}$ |

## ภาคผนวก ง พิกัดภายใต้ความตกลงพหุภาคีระหว่างประเทศและภายในประเทศ

### ง.1 ทั่วไป

ภาคผนวกนี้อธิบายถึงพิกัดชนิดต่างๆ ที่มีใช้ในทวีปยุโรป พิกัดเหล่านี้มีการใช้งานค่อนข้างจำกัดอยู่ในบางประเทศเท่านั้น

พิกัดบางชนิดเช่น G2 GB1 และ GB2 เป็นพิกัดที่ใช้พิกัดสากลในภาคผนวก C เป็นพิกัดต้นแบบ ส่วนพิกัดอื่นๆ ที่จะกล่าวถึงถัดไปเป็นพิกัดที่มีความแตกต่างโดยสิ้นเชิงจากพิกัดสากล อำนาจในการตัดสินใจทำให้เส้นทางการเดินรถให้สามารถรองรับพิกัดที่จะกล่าวถึงถัดไปให้ถือเป็นสิทธิ์ขาดของ ผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐาน

พิกัดทุกชนิด (พิกัดเชิงสถิต เชิงจลน์ และเชิงพลวัต) ซึ่งพิกัดเชิงจลน์โดยส่วนใหญ่จะมีพิกัดเชิงสถิตที่เป็นคู่กันและใช้ชื่อเรียกเดียวกัน ในกรณีที่พิกัดเชิงสถิตไม่มีข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง จะใช้พิกัดโครงสร้างระบุสำหรับการให้ข้อมูล และในกรณีที่ไม่มีพิกัดโครงสร้างบำรุงทาง ให้ดูเส้นแนวอ้างอิงจาก EN 15273-1 และ EN 15273-2

คุณลักษณะของรถไฟอ้างอิงที่ใช้กับพิกัดที่กล่าวถึงในภาคผนวกนี้ รวมถึงข้อมูลจำเป็นต่อการคำนวณพิกัดบริเวณทางโค้ง ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ ฉ.2 (ถ้ามีข้อมูล)

พิกัดชนิดต่างๆ ได้ถูกจัดกลุ่มและอธิบายไว้ในหัวข้อด้านล่าง สำหรับภาคผนวกนี้ ขนาดและระยะที่ใช้ในรูปภาพและสมการมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร และ เมตร ตามลำดับ ยกเว้นระบุเป็นอย่างอื่น

### ง.2 พิกัดเชิงจลน์ที่มีพิกัดสากลเป็นตัวต้นแบบ

#### ง.2.1 พิกัดG2

##### ง.2.1.1 ทั่วไป

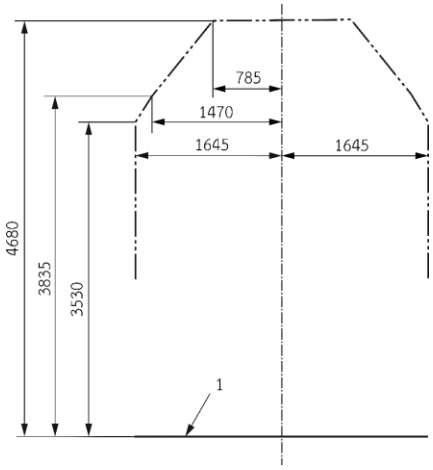
พิกัดในกลุ่มนี้เป็นพิกัดที่ใช้พิกัดสากล G1 เป็นตัวต้นแบบ พิกัดในกลุ่มนี้แตกต่างจากพิกัดG1 ที่เส้นแนวอ้างอิงเท่านั้น เส้นแนวอ้างอิงของพิกัดในกลุ่มนี้ประกอบด้วยพิกัดเชิงจลน์ที่ใช้ข้อบังคับที่เกี่ยวข้องเดียวกันกับพิกัด G1 (ส่วนล่างและ พิกัดทางผ่านอิสระของ Pantograph เป็นตัวเดียวกับของ G1)

ทางเดินรถไฟส่วนใหญ่ในยุโรปได้ถูกทำให้สามารถรองรับพิกัดในกลุ่มนี้ได้ ทางเดินรถดังกล่าวประกอบด้วยทางเดินรถในประเทศ เยอรมันนี ออสเตรีย เนเธอร์แลนด์ สวิสเซอร์แลนด์ และอื่นๆ

##### ง.2.1.2 พารามิเตอร์หลัก

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่างๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

- $L$ = 1.500 เมตร และ $l_{nom}$ = 1.435 เมตร
- $s_0$ = 0.4 เมตร
- $h_{c0}$ = 0.5 เมตร




**ง.2.1.3 คำกำจัดความของพิกัดต่าง ๆ**

**ตารางที่ ง.1 สมการสำหรับการล้มคว่ำ S และ qs ของ G2 มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| | **รัศมี R** | **ด้านในโค้ง** | **ด้านนอกโค้ง** |
|---|---|---|---|
| เพิ่มเติมสำหรับการล้มคว่ำ S | $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{3.75}{R} + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| | $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0.185 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0.225 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ |
| qs | ทั้งหมด | $\frac{0.4}{1.5}[D - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ | $\frac{0.4}{1.5}[I - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ |

**ง.2.2 พิกัดของ GB1 และ GB2**

**ง.2.2.1 ทั่วไป**

พิกัดจะถูกกำหนดโดยใช้เกณฑ์วัดระดับสากลของ GB และมีข้อแตกต่างเพียงอย่างเดียวในเส้นแนวอ้างอิงในส่วนบน (มากกว่า 3.250 เมตร) ซึ่งจะประกอบด้วยพิกัดเชิงพลศาสตร์ที่มีข้อบังคับที่เกี่ยวข้องเดียวกัน

เส้นแนวอ้างอิงในส่วนล่างและ พิกัดทางผ่านอิสระของ pantograph จะยึดตามเกณฑ์วัดระดับสากลของ G1

พิกัดเหล่านี้จะมีอธิบายอยู่ในส่วนหลักของเครือข่าย ต่าง ๆ ใน ยุโรปตะวันตก

**ง.2.2.2 พารามิเตอร์หลัก**

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ = 1.500 เมตร

$l_{nom}$ = 1.435 เมตร

$s_0$ = 0.3 เมตร

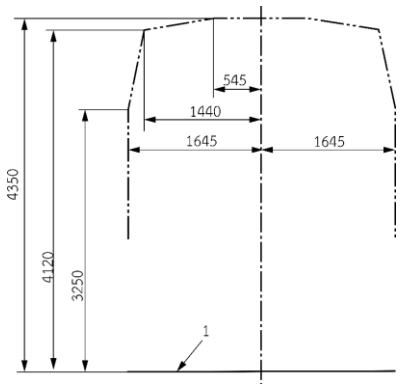
$h_{c0}$ = 0.5 เมตร

$l_0$ = 0.05 เมตร

$D_0$ = 0.05 เมตร

**ง.2.2.3 คำจำกัดความของพิกัดต่าง ๆ**

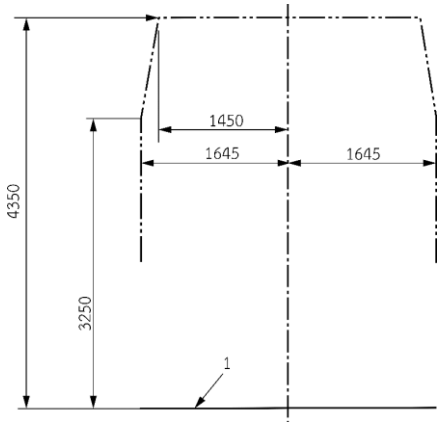
มิตินี่ถูกแสดงอยู่ในหน่วย มิลลิเมตร




**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.2 เส้นแนวอ้างอิงเชิงจลน์ของพิกัด GB1**




**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.3 เส้นแนวอ้างอิงเชิงจลน์ของพิกัด GB2**

**ง.2.2.4 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง**

**ตารางที่ ง.2 ข้อบังคับสำหรับการล้มคว่ำเพิ่มเติม มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| ความสูง h | รัศมี R | $S_I$ (ด้านในโค้ง) | $S_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| $h \le 3.250$ | $\infty \ge R \ge 250$ | $\frac{3.75}{R} + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| | $250 > R \ge 150$ | $\frac{50}{R} - 0.185 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0.225 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ |
| $GB1$<br>$3.250 < h \le 4.210$<br>$GB2$<br>$3.250 < h \le 4.350$ | ทั้งหมด | GB1<br>ให้ลากเส้นตรงที่ตำแหน่ง h = 3.250 ไปที่ตำแหน่ง h = 4.210<br>GB2<br>ให้ลากเส้นตรงที่ตำแหน่ง h = 3.250 ไปที่ตำแหน่ง h = 4.350 | |

| ความสูง h | รัศมี R | $S_l$ (ด้านในโค้ง) | $S_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| $h \geq 4.210m$ | $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{20}{R} - \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| | $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0.120 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |

**ตารางที่ ง.3 ผลกระทบกึ่งสถิตมิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| ความสูง h | qsi (ด้านในโค้ง) | qsu (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| $h \geq 3.250$ | $\frac{0.4}{1.5}[D - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ | $\frac{0.4}{1.5}[I - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ |
| $3.250 < h \leq 4.120$ | ให้ลากเส้นตรงที่ตำแหน่ง h = 3.250 ไปที่ตำแหน่ง h = 4.210 | |
| $h \geq 3.500$ | $\frac{0.3}{1.5}[D - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ | $\frac{0.3}{1.500}[I - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ |

## ง.3 พิกัดสถิตที่พัฒนามาจากพิกัดสากล

### ง.3.1 พิกัด G1

#### ง.3.1.1 ทั่วไป

พิกัดนี้ถูกกำหนดโดยใช้พิกัดเชิงจลน์ระดับสากลของ G1 และมีความแตกต่างกันเพียงอย่างเดียวในข้อบังคับที่เกี่ยวข้องของพิกัดเท่านั้น เมื่อความยืดหยุ่น $s_0$ = 0.4 เกิดขึ้น พิกัดนี้จะถูกรวมเข้ากับพิกัดเชิงจลน์ G1

#### ง.3.1.2 พารามิเตอร์หลัก

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ = 1.500 เมตร
$l_{nom}$ = 1.435 เมตร
$s_0$ = 0.2
$h_{c0}$ = 0.5 เมตร
$l_0$ = 0.05 เมตร และ $D_0$ = 0.05 เมตร
$z_0$ = 0.025 เมตร

การยกตัวในแนวดิ่งที่นำมาพิจารณามีค่าเท่ากับ 30 มิลลิเมตร

ผลกระทบแบบสุ่มจะนำมาพิจารณาเมื่อทำการกำหนดค่าที่ยอมให้ซึ่งถูกระบุไว้ในหัวข้อที่ 6 ในมาตรฐานนี้
การยกระดับในแนวดิ่งในส่วนบน (h ≥ 1.175 เมตร) ถูกระบุไว้

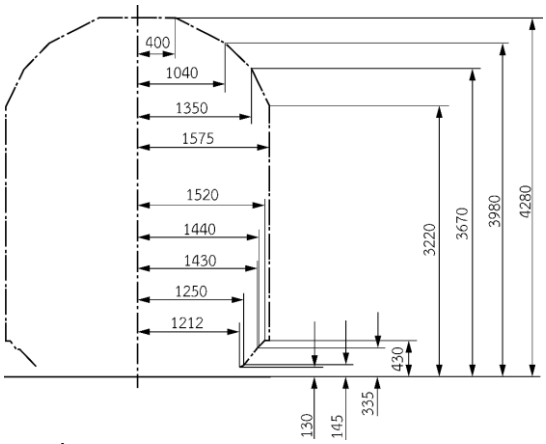
$$\Delta h_{RV} = \frac{50}{R_V} \qquad (ง.1)$$

สำหรับส่วนล่าง (h <0.400เมตร) สมการข้างล่างจะได้

$$\Delta h_{RV} = \frac{-50}{R_V} \text{ แต่ไม่เกิน 80 มิลลิเมตร} \qquad \text{(ง.2)}$$

การวิ่งผ่าน marshalling humps ต้องปฏิบัติตามข้อบังคับเหมือนกับพิกัดเชิงจลน์ G1
พิกัด Pantograph จะถูกรวมเข้ากับพิกัด Pantograph ของพิกัดเชิงจลน์ G1

**ง.3.1.3 คำจำกัดความของพิกัดในส่วนบน**




**รูปที่ ง.4 เส้นแนวอ้างอิงของพิกัดเชิงสถิต G1**

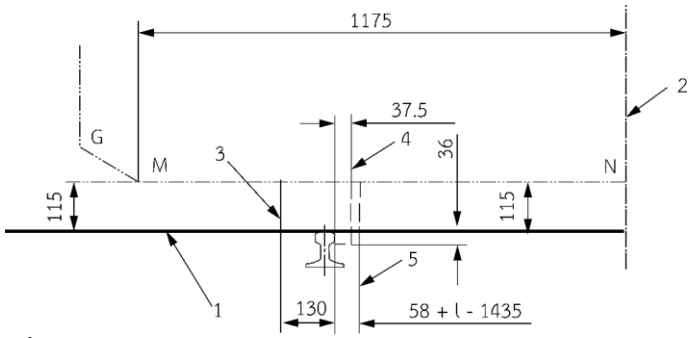
**ตารางที่ ง.4 คำจำกัดความของพิกัดในส่วนบน มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| | **รัศมี R** | **ด้านในโค้ง** | **ด้านนอกโค้ง** |
|---|---|---|---|
| สำหรับการล้มคว่ำเพิ่มเติม S | $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{3.75}{R} + 0.045 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| | $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0.140 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0.180 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ |
| qs | ทั้งหมด | $\frac{0.2}{1.5}[D - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ | $\frac{0.2}{1.5}[I - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ |

**ง.3.1.4 ส่วนล่าง**

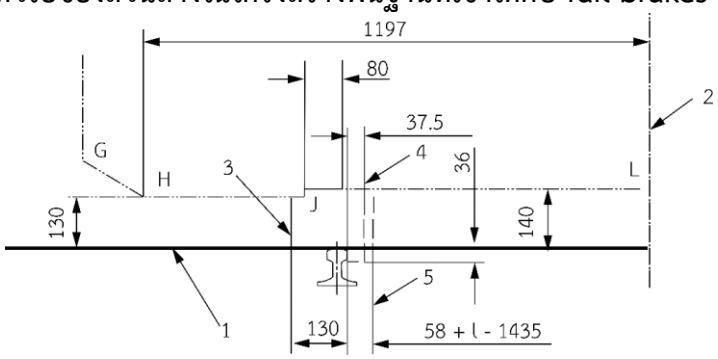
**ง.3.1.4.1 การใช้งานทั่วไปของส่วนล่าง GIC 2**

ตำแหน่งประสิทธิผลของผิวด้านในของ the tyre เมื่อล้อด้านตรงข้ามอยู่ในflange contact




**รูปที่ ง.5 เส้นแนวอ้างอิงของส่วนล่าง (ในการใช้งานปกติ) GIC2**

**ง.3.1.4.1 การใช้งานทั่วไปของส่วนล่างในโครงสร้างพื้นฐานที่เข้าได้กับ rail brakes -GIC1**




**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง
- เส้นแนวอ้างอิงของระยะห่างระหว่างศูนย์กลาง
- ตำแหน่งขอบเขตของผิวนอกล้อ
- ค่าความกว้างมากที่สุดทางทฤษฎีของปีกในเส้นแนวอ้างอิง เพื่อที่จะรวมมุมของชุดล้อที่มีโอกาสเกิดขึ้นบนทางรถไฟ
- ตำแหน่งประสิทธิผลของผิวด้านในของ the tyre เมื่อล้อด้านตรงข้ามอยู่ในflange contact

**รูปที่ ง.6 เส้นแนวอ้างอิงของส่วนล่างในโครงสร้างพื้นฐานที่เข้าได้กับ rail brakes -GIC1**

**ง.3.1.4.3 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง**

**ตารางที่ ง.5 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| รัศมี R | SI (ด้านในโค้ง) | Sa (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{2.5}{R} + 0.045 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0.145 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0.185 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ |

ผลกระทบกึ่งสถิตสามารถละทิ้งได้

**ง.3.2 พิกัด G2**

**ง.3.2.1 ทั่วไป**

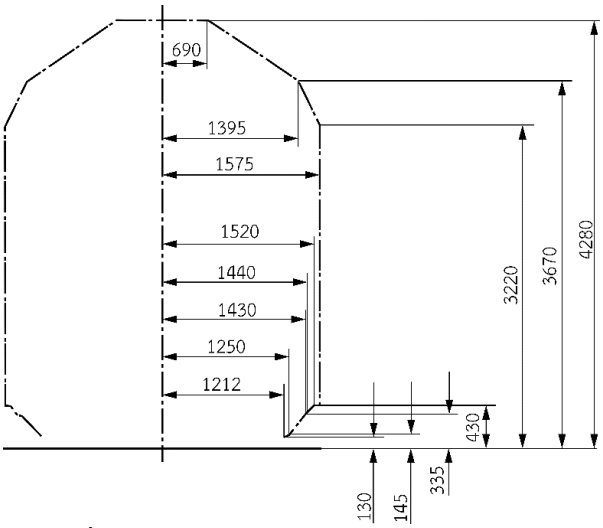
พิกัดนี้ถูกกำหนดโดยใช้พิกัดเชิงจลน์ระดับสากลของ G2 และมีความแตกต่างกันเพียงอย่างเดียวในข้อบังคับที่เกี่ยวข้องของพิกัดเท่านั้น เมื่อความยืดหยุ่น $s_0$ = 0.4 เกิดขึ้น พิกัดนี้จะถูกรวมเข้ากับพิกัดเชิงจลน์ G2

**ง.3.2.2 พารามิเตอร์หลัก**

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ = 1.500 เมตร
$l_{nom}$ = 1.435 เมตร
$s_0$ = 0.2
$h_{c0}$ = 0.5 เมตร
$l_0$ = 0.05 เมตร
$D_0$ = 0.05 เมตร
$z_0$ = 0.025 เมตร

**ง.3.2.3 คำจำกัดความของพิกัด**




**รูปที่ ง.7 เส้นแนวอ้างอิงของพิกัดเชิงสถิต G2**

**ตารางที่ ง.6 คำจำกัดความของพิกัด มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| | รัศมี R | ด้านในโค้ง | ด้านนอกโค้ง |
|---|---|---|---|
| สำหรับการล้มคว่ำเพิ่มเติม S | $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{3.75}{R} + 0.045 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| | $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0.140 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0.180 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ |
| qs | ทั้งหมด | $\frac{0.2}{1.5}[D - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ | $\frac{0.2}{1.5}[I - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ |

### ง.3.3 พิกัด GA, GB และ GC

#### ง.3.3.1 ทั่วไป

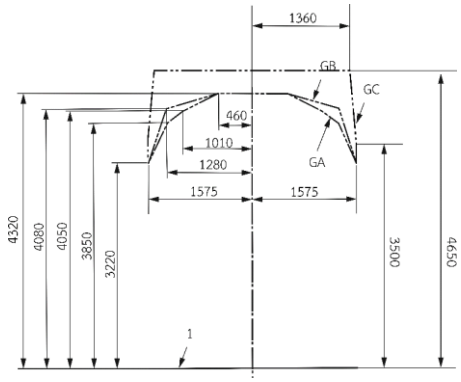
พิกัดนี้ถูกกำหนดโดยใช้พิกัดเชิงจลน์ของ GA, GB, GC และมีความแตกต่างกันในข้อบังคับที่เกี่ยวข้องของพิกัดเท่านั้น เมื่อความยืดหยุ่น $s_0$ = 0.3 เกิดขึ้น พิกัดนี้จะถูกรวมเข้ากับพิกัดเชิงจลน์GA, GB และ GC

#### ง.3.3.2 พารามิเตอร์หลัก

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ = 1.500 เมตร
$l_{nom}$ = 1.435 เมตร
$s_0$ = 0.2
$h_{c0}$ = 0.5 เมตร
$l_0$ = 0.05 เมตร
$D_0$ = 0.05 เมตร
$z_0$ = 0.025 เมตร

#### ง.3.3.3 คำจำกัดความของพิกัด




**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.8 เส้นแนวอ้างอิงของพิกัดเชิงสถิตGA, GB และ GC**

**ตารางที่ ง.7 การล้มคว่ำเพิ่มเติมสำหรับ GA และ GB มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| ความสูง h | รัศมี R | $S_l$ (ด้านในโค้ง) | $S_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| $h \geq 3.220$ | $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{3.75}{R} + 0.045 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| | $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0.140 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0.180 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ |
| $3.220 < h \leq 3.880$ $(GA)$ $3.220 < h \leq 4.080$ $(GB)$ | ทั้งหมด | ให้ลากเส้นตรงที่ตำแหน่ง h = 3.250 ไปที่ตำแหน่ง h = 4.210 | |

| ความสูง h | รัศมี R | $S_l$ (ด้านในโค้ง) | $S_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| $h > 3.850(GA)$<br>$h > 4.080(GB)$ | $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{20}{R} + 0.045 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| | $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0.075 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |

**ตารางที่ ง.8 ผลกระทบกึ่งสถิตสำหรับ GA และ GB มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| ความสูง h | $q_{si}$ (ด้านในโค้ง) | $q_{sa}$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| ทั้งหมด | $\frac{0.2}{1.5}[D - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ | $\frac{0.2}{1.5}[I - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ |

**ตารางที่ ง.9 การล้มคว่ำเพิ่มเติมสำหรับ GC มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| รัศมี R | ด้านในโค้ง | ด้านนอกโค้ง |
|---|---|---|
| $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{3.75}{R} + 0.045 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0.140 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0.180 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ |

**ตารางที่ ง.10 ผลกระทบกึ่งสถิตสำหรับ GC มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| ความสูง h | $Q_{si}$ (ด้านในโค้ง) | $q_{sa}$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| ทั้งหมด | $\frac{0.2}{1.5}[D - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ | $\frac{0.2}{1.5}[I - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ |

**ง.4 การใช้พิกัดสากล**

**ง.4.1 พิกัดเบลเยียม BE1, BE2 และ BE3**

**ง.4.1.1 การใช้งาน**

พิกัด BE1, BE2 และ BE3 เป็นพิกัดเชิงจลน์ซึ่งแตกต่างจากพิกัดระดับสากล ในเรื่องของเส้นอ้างอิงและสมการสำหรับการล้มคว่ำเพิ่มเติม โดยที่สมการสำหรับการล้มคว่ำเพิ่มเติมจะหาได้จากรถไฟอ้างอิงสามประเภท ซึ่งแตกต่างจากรถไฟอ้างอิงของพิกัดสากลนั้น ๆ สำหรับข้อบังคับที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ (ตัวอย่างเช่น ผลกระทบกึ่งสถิต,การเพิ่ม/การลดระยะยกตัว,พิจารณาเหตุการณ์แบบสุ่มเป็นต้น) สมการของพิกัด G1 จะถูกใช้

คำจำกัดความของพิกัดให้ใช้ที่เหนือระดับผิวทางวิ่ง 100 มิลลิเมตรขึ้นได้ ต่ำกว่าระดับนี้ให้ใช้ข้อบังคับสำหรับ G1 ทางรถไฟที่มี rail brakesจะต้องเป็นไปตามพิกัดของส่วนล่างที่สอดคล้องกับ G1

สำหรับทางรถไฟที่ติดตั้งด้วยสายสัมผัสขนาด3kVพิกัดทางผ่านอิสระของ pantograph จะถูกกำหนดสำหรับ pantographs ที่มีความกว้างเท่ากับ 1.760 เมตร ซึ่งแตกต่างจากข้อบังคับของ G1
$e_{po}$ = 0.245 เมตร และ $e_{pu}$ = 0.170เมตร; $s'_0$ = 0.4 เมตร; $l_0 = D_0$ = 0.066 เมตร;

pantographs ที่มีความกว้างเท่ากับ 1.600 เมตร (European Head) ตามที่ระบุใน EN 50367

**ง.4.1.2 พารามิเตอร์หลัก**

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ( ยกเว้น pantographs ) ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ = 1.500 เมตร

$l_{nom}$ = 1.435 เมตร

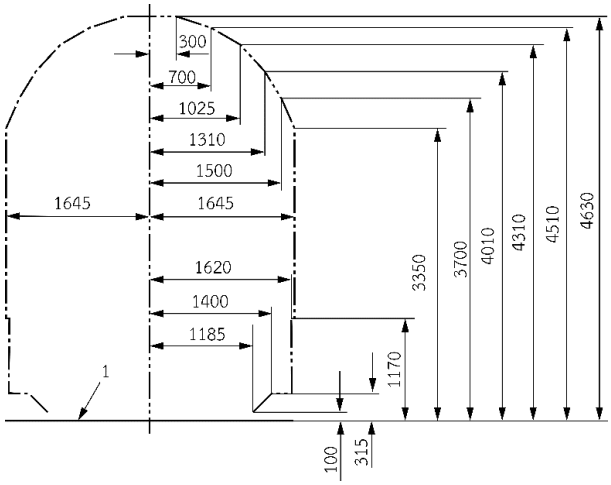
$s_0$ = 0.4

$h_{c0}$ = 0.5 เมตร

$l_0$ = 0.05 เมตร

$D_0$ = 0.05 เมตร

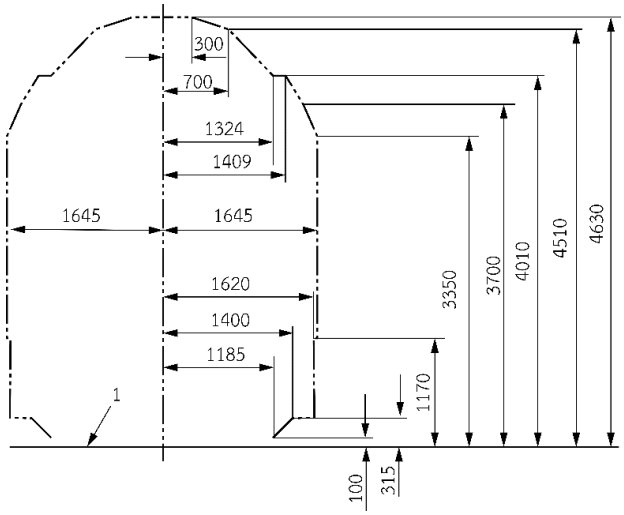
**ง.4.1.3 เส้นแนวอ้างอิง**




**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง

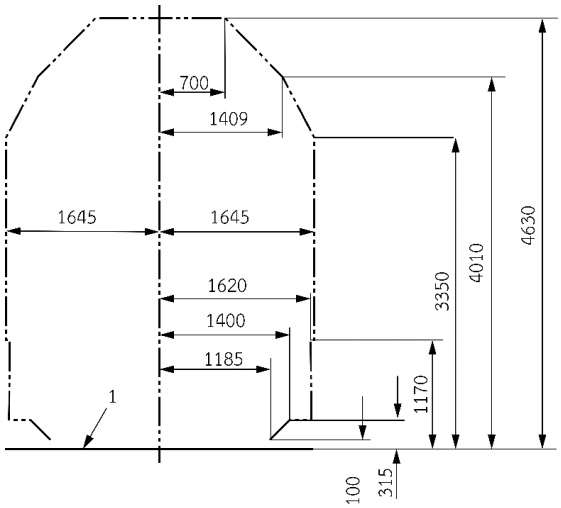
**รูปที่ ง.9 เส้นแนวอ้างอิงของพิกัด BE1**




**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.10 เส้นแนวอ้างอิงของพิกัด BE2**




**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.11 เส้นแนวอ้างอิงของพิกัดBE3**

**ง.4.1.4 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง**

**ตารางที่ ง.11 ข้อบังคับสำหรับการล้มคว่ำเพิ่มเติม มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| ความสูง h | รัศมี R | $S_l$ (ด้านในโค้ง) | $S_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| $1.170 < h$ | $\infty \geq R \geq 400$ | $\frac{6}{R} + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| | $400 > R \geq 250$ | $\frac{28}{R} - 0.055 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| | $250 > R \geq 165$ | $\frac{40.5}{R} - 0.105 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| | $165 > R \geq 150$ | $\frac{60}{R} - 0.225 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| $R \leq 1.170$ | $\infty \geq R \geq 1000$ | $\frac{5}{R} + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| | $1000 > R \geq 165$ | $\frac{26.47}{R} - 0.0215 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| | $165 > R \geq 150$ | $\frac{40.5}{R} - 0.105 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |

**ตารางที่ ง.12 ผลกระทบกึ่งสถิต มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| ความสูง h | $q_{si}$ (ด้านในโค้ง) | $q_{sa}$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| สำหรับทุกความสูง | $\frac{0.4}{1.5}[D - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ | $\frac{0.4}{1.5}[I - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ |

**ง.4.2 พิกัดฝรั่งเศส FR-3.3**

**ง.4.2.1 การใช้งาน**

พิกัดนี้ถูกกำหนดโดยใช้พิกัดระดับสากลของ GB และมีความแตกต่างกันในเรื่องของเส้นแนวอ้างอิงส่วนบน(มากกว่า 3.250 เมตร) เท่านั้นซึ่งจะประกอบด้วยพิกัดเชิงจลน์ที่มีข้อบังคับที่เกี่ยวข้องเดียวกัน เส้นแนวอ้างอิงในส่วนล่างและ พิกัดทางผ่านอิสระของ pantograph จะยึดตามเกณฑ์วัดระดับสากลของ G1 พิกัดนี้จะใช้ส่วนหลักของโครงข่ายของฝรั่งเศส เพื่อทำให้ตู้รถโดยสารสองชั้นวิ่งผ่านไปได้

**ง.4.2.2 พารามิเตอร์หลัก**

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ = 1.500 เมตร

$l_{nom}$ = 1.435 เมตร

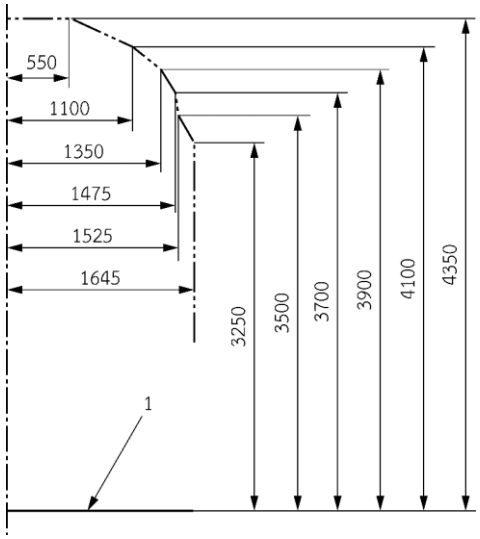
$s_0$ = 0.3

$h_{c0}$ = 0.5 เมตร

$l_0$ = 0.05 เมตร

$D_0$ = 0.05 เมตร

**ง.4.2.3 คำจำกัดความของพิกัด**




**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.12 พิกัด FR-3.3**

**ตารางที่ ง.13 ข้อบังคับสำหรับการล้มคว่ำเพิ่มเติม มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| ความสูง h | รัศมี R | $S_l$ (ด้านในโค้ง) | $S_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| $h \le 3.250$ | $\infty \ge R \ge 250$ | $\frac{3.75}{R} + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | |
| | $250 > R \ge 150$ | $\frac{50}{R} - 0.185 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0.225 + \frac{\ell - 1.435}{2}$ |
| $h \ge 3.500$ | $\infty \ge R \ge 150$ | $\frac{3.75}{R}$ | |

**ตารางที่ ง.14 ผลกระทบกึ่งสถิต มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| ความสูง h | $q_{si}$ (ด้านในโค้ง) | $q_{sa}$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| $h \ge 3.250$ | $\frac{0.4}{1.500}[D - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ | $\frac{0.4}{1.500}[I - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ |
| $h \ge 3.500$ | $\frac{0.3}{1.500}[D - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ | $\frac{0.3}{1.500}[I - 0.05]_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ |
| หมายเหตุ ให้ลากเส้นตรงระหว่างตำแหน่งที่ h = 3.250 เมตร และ ตำแหน่งแรกที่ h > 3.250 เมตรสำหรับพิกัดขอบเขต | | |

### ง.4.3 พิกัดโปรตุเกส PTb, PTb+ และ PTc

#### ง.4.3.1 ทั่วไป

- พิกัดนี้ถูกนิยามขึ้นสำหรับการจราจรระบบรางในประเทศโปรตุเกส ซึ่งถูกใช้มาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1950
- พิกัดนี้แตกต่างทั้งเส้นแนวอ้างอิงและข้อบังคับที่เกี่ยวข้องสำหรับพิกัดสากล นอกจากนี้ยังสังเกตได้ว่าหากพิกัดรางมีขนาดใหญ่ขึ้นแล้ว สมการสำหรับการยกโค้งขาด และข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง จะแปรผันเมื่อเทียบกับพิกัดสากล
- พิกัดเหล่านี้ประกอบด้วยพิกัดเชิงจลน์ซึ่งเหมือนกับที่ระบุไว้ใน หัวข้อที่ 7 ของ European Standard พิกัดนี้โดยส่วนมากจะใช้ค่าสูงสุดของข้อบังคับที่มาจากพิกัดสากล

  สำหรับส่วนล่าง เส้นอ้างอิงเฉพาะมีสำหรับส่วนหลักของการจราจรสายหลักและทางวิ่งตลอดแนว rail brakes ข้อบังคับที่เหมือนกับพิกัดสากล G1 สำหรับพิกัดทางผ่านอิสระของPantographและความสูงอ้างอิงจะถูกนำมาใช้ รถไฟอ้างอิงที่พิจารณาพิกัดเหล่านี้ถูกแสดงในภาคผนวก ฉ และ ในตารางที่ ฉ.2 ในมาตรฐานนี้

#### ง.4.3.2 พารามิเตอร์หลัก

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ = 1.733 เมตร

$l_{nom}$ = 1.688 เมตร;

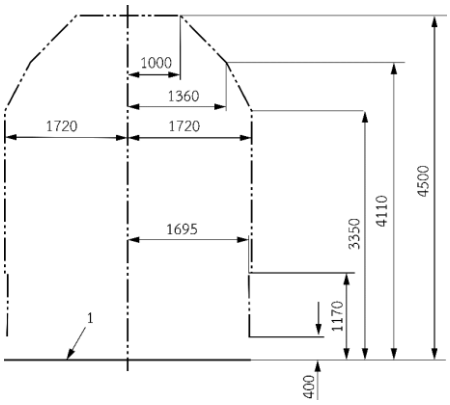
$s_0$ = 0.4;

$h_{c0}$ = 0.5 เมตร;

$l_0$ = 0.0 เมตร

$D_0$ = 0.0 เมตร;

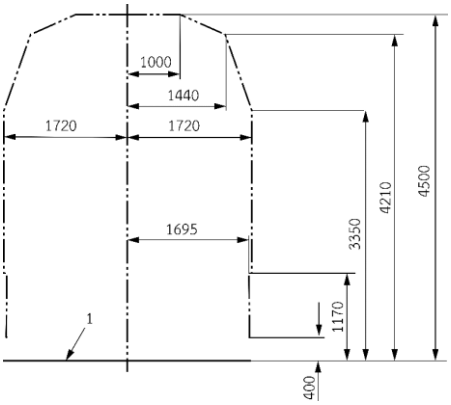
**ง.4.3.3 เส้นแนวอ้างอิงของส่วนบน**




**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง

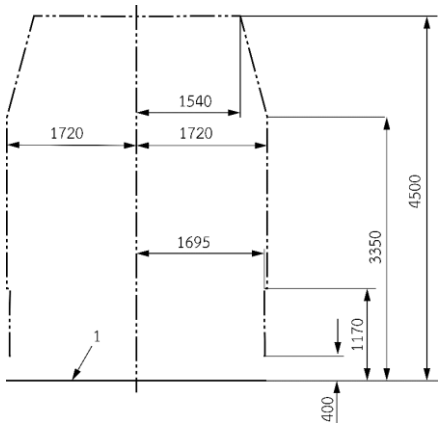
**รูปที่ ง.13 เส้นแนวอ้างอิงของพิกัด Pb**




**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.14 เส้นแนวอ้างอิงของพิกัด Pb+**

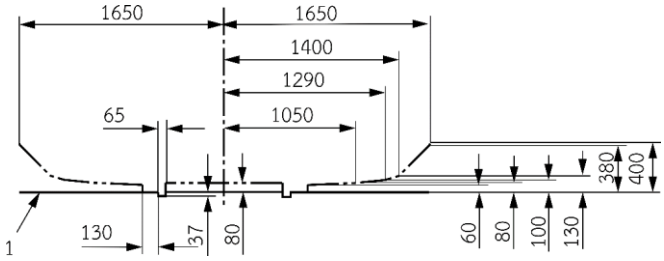



**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.15 เส้นแนวอ้างอิงของพิกัด Pc**

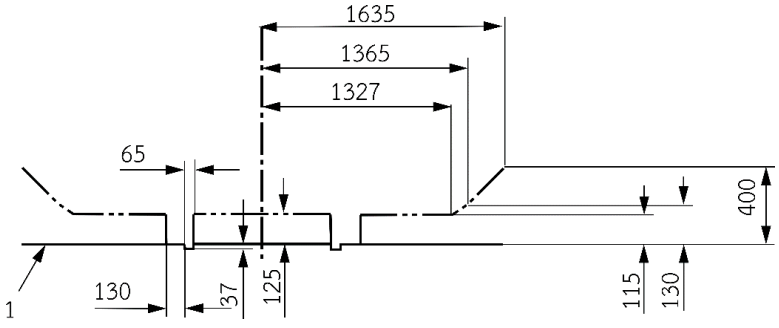
**ง.4.3.4 เส้นแนวอ้างอิงของส่วนล่าง**




**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.16 เส้นแนวอ้างอิงสำหรับส่วนล่างบนทางรถไฟที่ rail brakes เข้าไม่ได้**




**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.17 เส้นแนวอ้างอิงสำหรับส่วนล่างบนทางรถไฟที่ rail brakes เข้าได้**

**ง.4.3.5 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง**

ข้อบังคับที่เกี่ยวข้องสามารถใช้ได้ทั่วไปสำหรับเส้นอ้างอิงที่ได้ถูกนิยามไว้ข้างต้น

**ตารางที่ ง.15 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้องมิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| ความสูง h | รัศมี R | $S_i$ (ด้านในโค้ง) | $S_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| $h \le 0.400$ | $\infty \ge R \ge 250$ | $\frac{3.75}{R} + \frac{\ell - 1.668}{2}$ | |
| | $250 > R \ge 150$ | $\frac{50}{R} - 0.190 + \frac{\ell - 1.668}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0.230 + \frac{\ell - 1.668}{2}$ |
| $0.400 < h \le 0.700$ | $\infty \ge R \ge 250$ | $\frac{23.25}{R} + \frac{\ell - 1.668}{2} + 0.070$ | |
| | $250 > R \ge 150$ | $\frac{50}{R} - 0.037 + \frac{\ell - 1.668}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0.077 + \frac{\ell - 1.668}{2}$ |
| $0.700 < h \le 1.170$ | $\infty \ge R \ge 250$ | $\frac{31.75}{R} + \frac{\ell - 1.668}{2} + 0.029$ | |
| | $250 > R \ge 150$ | $\frac{50}{R} - 0.044 + \frac{\ell - 1.668}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0.084 + \frac{\ell - 1.668}{2}$ |
| $1.170 < h \le 3.550$ | $\infty \ge R \ge 250$ | $\frac{31.75}{R} + \frac{\ell - 1.668}{2} + 0.004$ | |
| | $250 > R \ge 150$ | $\frac{50}{R} - 0.069 + \frac{\ell - 1.668}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0.109 + \frac{\ell - 1.668}{2}$ |
| $4.110 \le h(CPb)$ $4.210 \le h(CPb+)$ | $\infty \ge R \ge 250$ | $\frac{20}{R} + \frac{\ell - 1.668}{2}$ | |
| | $250 > R \ge 150$ | $\frac{50}{R} - 0.120 + \frac{\ell - 1.668}{2}$ | |

**ตารางที่ ง.16 ผลกระทบกึ่งสถิต มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| ความสูง h | $q_{si}$ (ด้านในโค้ง) | $q_{sa}$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| ความสูงทั้งหมด | $\frac{0.4}{1.733} D_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ | $\frac{0.4}{1.733} I_{>0}[h - 0.5]_{>0}$ |

**ง.4.3.6 การเพิ่ม/การลดของการยกตัวในแนวดิ่ง**

ส่วนบนจะถูกเพิ่มขึ้นโดยค่าที่แสดงด้านล่าง

$$\Delta h_{RV} = \frac{50}{R_V} \qquad \text{(ง.3)}$$

ควรสังเกตได้ว่าการที่มีส่วนในแนวราบมากของส่วนบน จำเป็นที่จะต้องเพิ่มค่าที่ยอมให้เพื่อให้ครอบคลุมถึงผลกระทบการหมุนตัวในแนวดิ่งตามที่อธิบายในหัวข้อ 5.3.3 ส่วนล่างจะถูกลดลงโดยค่าที่แสดงด้านล่าง

$$\Delta h_{RV} = \frac{-50}{R_V} \qquad \text{(ง.4)}$$

**ง.4.4 พิกัดฟินแลนด์ FIN1**

**ง.4.4.1 ทั่วไป**

- พิกัดนี้ถูกนิยามสำหรับการจราจรระบบรางในประเทศฟินแลนด์
- พิกัดนี้แตกต่างกับพิกัดสากลในเรื่องของเส้นอ้างอิงและข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้เมื่อพิกัดระบบรางใหญ่ขึ้น สมการของการยกโค้งขาด และข้อบังคับที่เกี่ยวข้องจะแปรผันเมื่อเทียบกับพิกัดสากล
- พิกัดนี้คือพิกัดเชิงสถิตใกล้เคียงกับข้อบังคับที่แสดงในหัวข้อที่ 6 ในมาตรฐานนี้ แต่พิกัดนี้มีความแตกต่างอย่างมากกับพิกัดสากล

ในกรณีที่ไม่มีข้อบังคับใด ๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับการกำหนดค่าที่ยอมให้ได้ใช้พิกัดโครงสร้างระบุที่แสดงในมาตรฐานนี้ เส้นแนวอ้างอิงสำหรับพิกัดนี้แสดงอยู่ในEN 15273-2 ซึ่งมาจากพิกัดโครงสร้างระบุ และสามารถใช้ได้กับข้อบังคับทั่วไป ตามที่แสดงอยู่ในมาตรฐานนี้ในการหาพิกัดขอบเขต หรือ พิกัดบำรุงทาง

- พิกัดโครงสร้างระบุนี้รวมถึง ผลกระทบของการขยายขอบทาง, ผลกระทบกึ่งสถิตที่เกิดขึ้นจากการยกโค้งขาด และค่าที่ยอมให้สำหรับเหตุการณ์แบบสุ่มทั้งหมด

- พิกัดนี้ประกอบด้วย ส่วนล่าง, ส่วนบน และ พิกัดทางผ่านอิสระของ pantograph รวมทั้งข้อแนะนำสำหรับการการเดินรถไฟตลอดแนวที่มีrail brakes

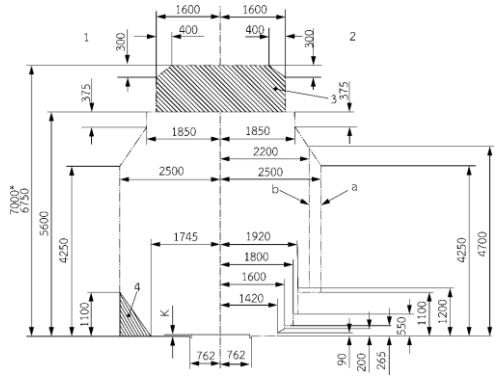
ในกรณีที่ไม่มีข้อบังคับที่เกี่ยวข้องใด ๆ ชัดเจน ซึ่งเป็นไปไม่ได้เลยที่จะหาระยะทางระหว่างศูนย์กลางขอบเขต ดังนั้นระยะทางระหว่างศูนย์กลางระบุได้แสดงไว้ด้านล่างนี้

**ง.4.4.2 พารามิเตอร์หลัก**

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ = 1.600 เมตร
$l_{nom}$ = 1.524 เมตร
$s_0$ = 1 (ด้านในโค้ง)
$s_0$ = 0 (ด้านนอกโค้ง)
$h_{c0}$ = 0 เมตร
$l_0$ = $D_0$ = 0 เมตร

### ง.4.4.3 เส้นแนวอ้างอิงของส่วนบน




(*) 6750 สำหรับ V ≤ 160 km/h หรือ 7000 สำหรับ V > 160 km/h

**คำสำคัญ**

- พิกัดที่ใช้งานบนเส้นทางวิ่ง (ภายนอกสถานี)
- พิกัดที่ใช้งานในบริเวณสถานี
- สำหรับเส้นทางหลัก
- สำหรับเส้นทางรอง
- พื้นที่ที่ใช้งานบริเวณสายไฟฟ้า (สำหรับ pantograph และสายสัมผัส)
- พื้นที่อาจให้มีโครงสร้าง (ตัวอย่าง สัญญาณ, ballast profileเป็นต้น)
- k = 50 มิลลิเมตร สำหรับ $R_V$> 1,000 เมตร
  = -50 + $R_V$ / 10 มิลลิเมตร สำหรับ 500 เมตร > $R_V$> 1,000 เมตร
  = 0 มิลลิเมตร สำหรับ 500 เมตร ≥ $R_V$

**รูปที่ ง.18 พิกัดระบุ FIN1**

### ง.4.4.4 ข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

มิติของเส้นแนวควรจะถูกเพิ่มขึ้นด้วยค่าการล้มคว่ำเพิ่มเติมและผลกระทบกึ่งสถิต การล้มคว่ำเพิ่มเติมจะเหมือนกันทั้งภายในโค้งและภายนอกโค้ง

$$S_i = S_a = \frac{36}{R} \qquad \text{(ง.5)}$$

การล้มคว่ำเพิ่มเติมไม่สามารถใช้ได้กับพิกัด pantograph ที่มีh >5.6 เมตร ผลกระทบกึ่งสถิตจะถูกจำกัดไว้ด้านในโค้ง

$$qs_i = \frac{1}{1{,}600} E.h \qquad \text{(ง.6)}$$

$$qsa = 0$$

**ง.4.4.5 ระยะระหว่างศูนย์กลางระบุ**

ระยะระหว่างศูนย์กลางอย่างน้อยควรจะเท่ากับระยะระหว่างศูนย์กลางระบุที่มีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับความเร็วตามที่แสดงไว้ในตารางข้างล่าง ในกรณีที่เป็นเส้นทางใหม่ ระยะระหว่างศูนย์กลางระบุจะมีค่าอย่างน้อยที่สุดเท่ากับ 4.500 เมตร

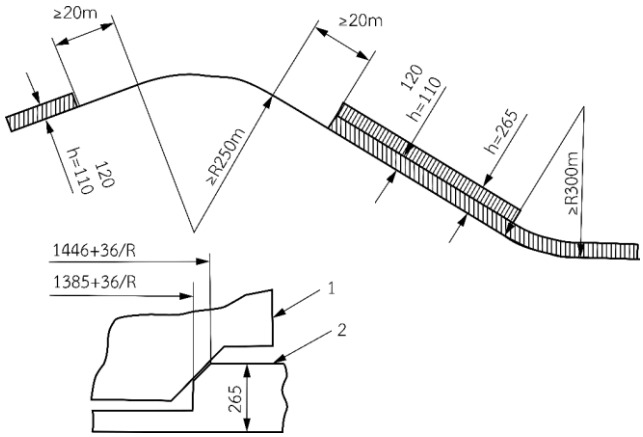
**ตารางที่ ง.17 ระยะระหว่างศูนย์กลางระบุ**

| $EA$ $[mm]$ | $V_{\max}$ $[km/h]$ |
|---|---|
| 4 100 + $\Delta EA$ | 140 |
| 4 300 + $\Delta EA$ | 200 |
| 4 500 | 250 |
| 4 700 | >250 |

**ตารางที่ ง.18 ค่าสำหรับ $\Delta EA$ [มิลลิเมตร]**

| $R$ $[mm]$ | $EA_{\max}$ $= 4100mm$ | $EA_{nom}$ $= 4300mm$ |
|---|---|---|
| >4000 | - | - |
| 4000...1500 | 50 | - |
| 1499...800 | 100 | - |
| 799...400 | 200 | - |
| 399...250 | 300 | 100 |
| 220...249 | 400 | 200 |

**ง.4.4.6 Marshalling hump**




**คำสำคัญ**

- พิกัดรถไฟ
- rail brakes

**รูปที่ ง.19 FIN1 - Marshalling hump with rail brakes**

**ง.4.5 พิกัดสวีเดน SEa และ SEc**

**ง.4.5.1 ทั่วไป**

- พิกัดนี้ถูกนิยามสำหรับการจราจรระบบรางในประเทศสวีเดน
- พิกัดนี้แตกต่างกับพิกัดสากลในเรื่องของเส้นอ้างอิงและข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง พิกัดนี้ประกอบด้วยพิกัดเชิงพลวัต ซึ่งมีค่าตามข้อบังคับที่ระบุไว้ในมาตรฐานนี้ การกำหนดค่าที่ยอมให้สำหรับเหตุการณ์แบบสุ่มมีค่าตามข้อบังคับที่ระบุไว้ในหัวข้อนี้ สำหรับส่วนล่าง เส้นอ้างอิงเฉพาะมีสำหรับส่วนหลักของการจราจรสายหลักและทางวิ่งตลอดแนว rail brakes และข้อบังคับที่เหมือนกับพิกัดสากล G1 สำหรับพิกัดทางผ่านอิสระของPantographและ ความสูงอ้างอิงจะถูกนำมาใช้รถไฟอ้างอิงที่พิจารณาพิกัดเหล่านี้ถูกแสดง ในตารางที่ ฉ.2 ในมาตรฐานนี้

**ง.4.5.2 พารามิเตอร์หลัก**

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ = 1.500 เมตร

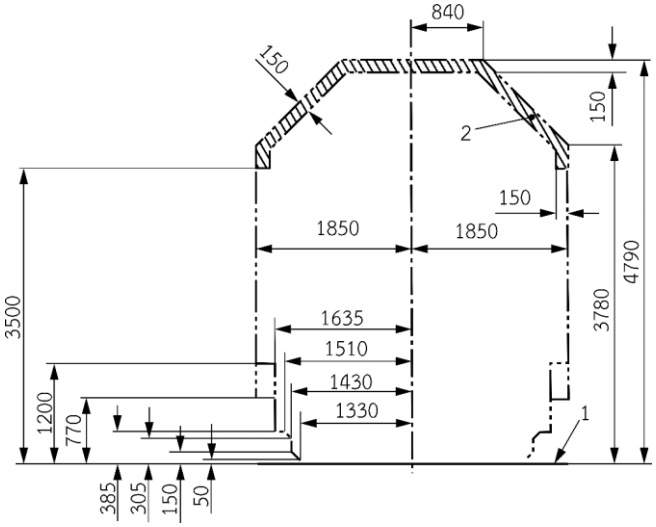
$l_{nom}$ = 1.435 เมตร

$h_{c0}$ = 0.77 เมตร

$l_0$ = $D_0$ = 0 เมตร

**ง.4.5.3 การกำหนดพิกัด**

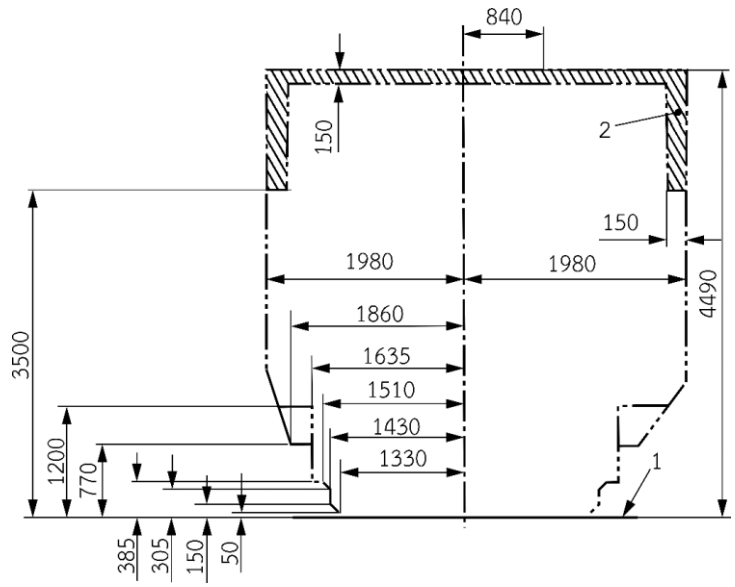
เส้นแนวอ้างอิงเชิงพลวัตได้แสดงข้างล่าง พื้นที่ที่แรเงาคือพื้นที่ไม่อนุญาตให้มีการติดตั้งส่วนที่มีกระแสไฟฟ้าบนหลังคารถ




**คำสำคัญ**

- ผิวทางรถ
- บริเวณที่ไม่มีกระไฟฟ้า

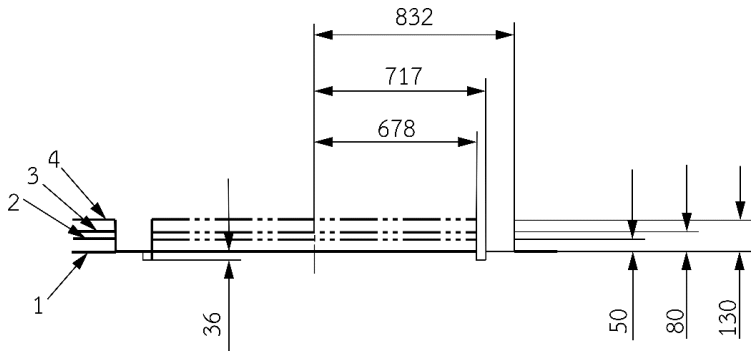
**รูปที่ ง.20 เส้นแนวอ้างอิงเชิงพลวัต Sea**




**คำสำคัญ**

- ผิวทางรถ
- บริเวณที่ไม่มีกระไฟฟ้า

**รูปที่ ง.21 เส้นแนวอ้างอิงเชิงพลวัต SEc**




**คำสำคัญ**

- ผิวทางวิ่ง
- เส้นแนวอ้างอิงสำหรับรถที่ไม่ได้รับอนุญาตให้ข้าม rail brakes
- เส้นแนวอ้างอิงสำหรับรถที่อนุญาตให้ข้าม rail brakes ใน non activated position
- เส้นแนวอ้างอิงสำหรับรถที่อนุญาตให้ข้าม rail brakes ใน activated position

**รูปที่ ง.22 เส้นแนวอ้างอิงสำหรับส่วนล่างสำหรับ SEa และ SEc**

**ตารางที่ ง.19 เส้นแนวอ้างอิงของส่วนล่างสำหรับ SEa และ Sec มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| | **รัศมี R** | **$S_l$ (ด้านในโค้ง)** | **$S_a$ (ด้านนอกโค้ง)** |
|---|---|---|---|
| การล้มคว่ำเพิ่มเติม $S_{i/a}$ | ทั้งหมด | $\frac{41}{R}+\frac{I_{\max}-1{,}435}{2}$ | $\frac{31}{R}+\frac{I_{\max}-1{,}435}{2}$ |

**ง.4.6 พิกัดเยอรมัน DE1**

**ง.4.6.1 ทั่วไป**

- พิกัดนี้ถูกกำหนดโดยใช้พื้นฐานมาจากพิกัด G1 ( หรือ G2 ) และแตกต่างในเรื่องของส่วนข้างที่มีรัศมี < 500 เมตรเท่านั้น ส่วนแตกต่างนี้สามารถใช้ได้ทั่วทั้งเส้นแนวที่ถูกขยายความกว้าง และนำมาพิจารณาเมื่อมีค่าเกินพิกัด G1 (หรือ G2) เท่านั้น ข้อมูลเพิ่มเติมถูกระบุไว้ใน EN 15273-1
- พิกัดนี้ถูกใช้ในหลายประเทศในยุโรป (เยอรมัน, ออสเตรีย, สวิตเซอร์แลนด์) สำหรับการทำงานของ ICE รถไฟความเร็วสูง

**ง.4.6.2 พารามิเตอร์หลัก**

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ = 1.500 เมตร

$l_{nom}$ = 1.435 เมตร;

$s_0$ = 0.28 เมตร;

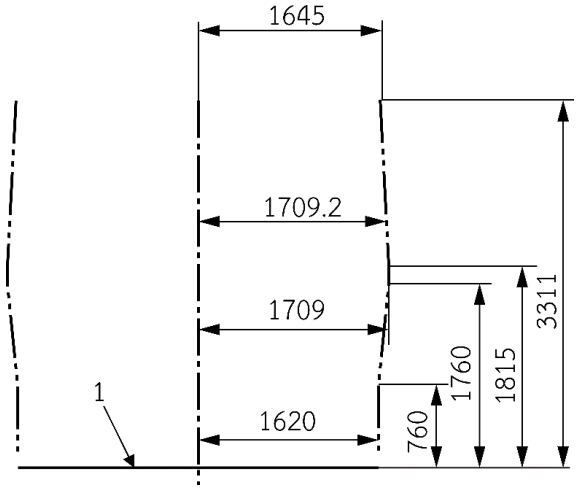
$h_{c0}$ = 0.7 เมตร;

$l_0$ = 0.05

$D_0$ = 0.05 เมตร;

**ง.4.6.3 การกำหนดพิกัด**

เส้นแนวอ้างอิงใช้ในการจำกัดความของส่วนเสริมที่อยู่ด้านในโค้ง ส่วนนี้จะไม่ถูกพิจารณาเมื่อส่วนเสริมนี้มีค่าเกินกว่าส่วนข้างของพิกัด G1




**คำสำคัญ**

- 1 คือ ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.23 เส้นแนวอ้างอิงสำหรับพิกัด DE1**

**ตารางที่ ง.20 เส้นแนวอ้างอิงสำหรับพิกัด DE1 มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| | รัศมี R | $S_i$ (ด้านในโค้ง) | $S_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| การล้มคว่ำเพิ่มเติม S | $500 \geq R \geq 250$ | $\frac{35,906}{R} - 0,1283 + \frac{l - 1,435}{2}$ | |
| | $250 > R \geq 150$ | $\frac{45,906}{R} - 0,1684 + \frac{l - 1,435}{2}$ | |
| qs | $500 \geq R \geq 150$ | $\frac{0,28}{1,5}[D - 0,05]_{>0}[h - 0,7]_{>0}$ | $\frac{0,28}{1,5}[I - 0,05]_{>0}[h - 0,7]_{>0}$ |

### ง.4.7 พิกัดเยอรมัน DE2

#### ง.4.7.1 ทั่วไป

พิกัดนี้ถูกกำหนดโดยใช้พื้นฐานมาจากพิกัด G2 ซึ่งมีความสูงระหว่าง 3.765 เมตร ถึง 4.335 เมตร เพื่อที่จะอนุญาตให้ตู้โดยสารสองชั้นวิ่งผ่านไปได้

#### ง.4.7.2 พารามิเตอร์หลัก

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ = 1.500 เมตร

$l_{nom}$ = 1.435 เมตร

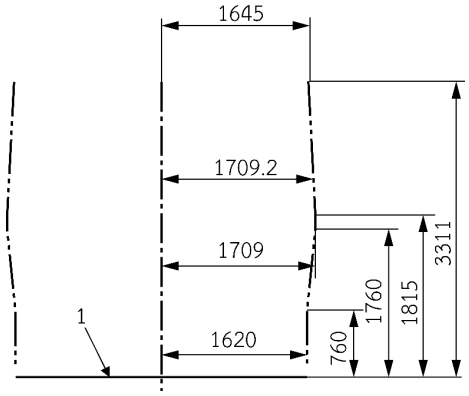
$s_0$ = 0.4 เมตร

$h_{c0}$ = 0.5 เมตร

$l_0$ = 0.05

$D_0$ = 0.05 เมตร

**ง.4.7.3 การกำหนดพิกัด**




**คำสำคัญ**

- เส้นแนวอ้างอิงเชิงจลน์ของ G2
- เส้นแนวอ้างอิงเชิงจลน์ของ DE2
- ส่วนเสริมที่เกี่ยวข้องกับพิกัด G2

**รูปที่ ง.24 เส้นแนวอ้างอิงสำหรับพิกัด DE2**

การเพิ่มขึ้นของขนาดเมื่อเทียบกับพิกัด G2 ได้แสดงไว้ในตารางข้างล่าง

**ตารางที่ ง.21 รายละเอียดของเส้นแนวอ้างอิง DE2 มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| $h_{RP}$ $[m]$ | $b_{RP}$ $[m]$ | $h_{RP}$ $[m]$ | $b_{RP}$ $[m]$ | $h_{RP}$ $[m]$ | $b_{RP}$ $[m]$ | $h_{RP}$ $[m]$ | $b_{RP}$ $[m]$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3,53 | 1,645 | 3,905 | 1,454 | 4,055 | 1,388 | 4,205 | 1,249 |
| 3,765 | 1,51 | 3,915 | 1,45 | 4,065 | 1,383 | 4,215 | 1,234 |
| 3,775 | 1,506 | 3,925 | 1,445 | 4,075 | 1,378 | 4,225 | 1,223 |
| 3,785 | 1,502 | 3,935 | 1,441 | 4,085 | 1,372 | 4,235 | 1,208 |
| 3,795 | 1,498 | 3,945 | 1,437 | 4,095 | 1,366 | 4,245 | 1,194 |
| 3,805 | 1,494 | 3,955 | 1,432 | 4,105 | 1,359 | 4,255 | 1,18 |
| 3.815 | 1,49 | 3,965 | 1,428 | 4,115 | 1,352 | 4,265 | 1,166 |
| 3,825 | 1,486 | 3,975 | 1,423 | 4,125 | 1,343 | 4,275 | 1,154 |
| 3,835 | 1,483 | 3,985 | 1,419 | 4,135 | 1,333 | 4,285 | 1,137 |
| 3,845 | 1,478 | 3,995 | 1,415 | 4,145 | 1,323 | 4,295 | 1,124 |
| 3,855 | 1,474 | 4,005 | 1,411 | 4,155 | 1,311 | 4,305 | 1,108 |
| 3,865 | 1,47 | 4,015 | 1,406 | 4,165 | 1,298 | 4,315 | 1,093 |
| 3,875 | 1,466 | 4,025 | 1,401 | 4,175 | 1,286 | 4,325 | 1,079 |
| 3,885 | 1,462 | 4,035 | 1,396 | 4,185 | 1,273 | 4,335 | 1,064 |
| 3,895 | 1,458 | 4,045 | 1,391 | 4,195 | 1,262 | 4,68 | 0,785 |

**ตารางที่ ง.22 การล้มคว่ำเพิ่มเติม มิติที่ถูกแสดงอยู่ในตารางหน่วยเป็นเมตร**

| | **ความสูง h** | **รัศมี R** | **$S_l$ (ด้านในโค้ง)** | **$S_a$ (ด้านนอกโค้ง)** |
|---|---|---|---|---|
| การล้มคว่ำเพิ่มเติม S | ทุกความสูง | $500 \geq R \geq 250$ | ดูพิกัด G2 | |
| | | $250 > R \geq 150$ | | |

| | ความสูง h | รัศมี R | $S_I$ (ด้านในโค้ง) | $S_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|---|
| qs | $h \geq 4{,}335$ | ทุกรัศมี | ดูพิกัด G2 | |
| | $3{,}765 < h < 4{,}335$ | | $\frac{0{,}19}{1{,}5}[D - 0{,}05]_{>0}[h - 0{,}695]_{>0}$ | $\frac{0{,}19}{1{,}5}[I - 0{,}05]_{>0}[h - 0{,}695]_{>0}$ |
| | $h \leq 3{,}765$ | | ดูพิกัด G2 | |

### ง.4.8 พิกัดเยอรมัน DE3

#### ง.4.8.1 ทั่วไป

- พิกัดนี้ถูกกำหนดโดยใช้พื้นฐานมาจากพิกัด G2 และ GB พิกัดนี้เป็นการรวมระหว่างพิกัด G2 และ GB โดยใช้ค่าที่มากที่สุดระหว่างเส้นแนวอ้างอิงทั้งสองนี้ และพิกัดนี้ยังใช้ข้อบังคับที่เกี่ยวข้องของ G2 (หรือ G1)
- พิกัดนี้สามารถนำมาใช้โครงข่ายทวีปยุโรป ในอนาคตได้

#### ง.4.8.2 พารามิเตอร์หลัก

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ =1.500 เมตร

$l_{nom}$ = 1.435 เมตร

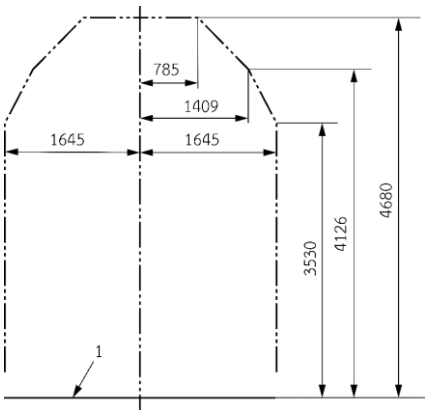
$s_0$ = 0.4 เมตร

$h_{co}$ = 0.5 เมตร

$I_0$ = 0.05 เมตร

$D_0$ = 0.05 เมตร

#### ง.4.8.3 คำจำกัดความของพิกัด




**คำสำคัญ**

- 1 คือ ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.25 เส้นแนวอ้างอิงของพิกัด DE3**

**ตาราง ง.23 เส้นแนวอ้างอิงของพิกัด DE3 หน่วยเป็นเมตร**

| | รัศมี $R$ | ด้านในโค้ง | ด้านนอกโค้ง |
|---|---|---|---|
| การล้มคว่ำเพิ่มเติม $s$ [เมตร] | $\infty \geq R \geq 250$ | $\frac{3,75}{R} + \frac{\ell - 1,435}{2}$ | |
| | $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0,185 + \frac{\ell - 1,435}{2}$ | $\frac{60}{R} - 0,225 + \frac{\ell - 1,435}{2}$ |
| $qs$ | ทั้งหมด | $\frac{0,4}{1,5}[D - 0,05]_{>0}[h - 0,5]_{>0}$ | $\frac{0,4}{1,5}[I - 0,05]_{>0}[h - 0,5]_{>0}$ |

**ง.4.9 พิกัดเช็ก Z-GCD**

**ง.4.9.1 ทั่วไป**

- พิกัด Z-GCD เป็นค่า uniform gauge ที่กำหนดไว้ใช้ในสาธารณรัฐเช็ก
- พิกัดนี้ใช้ได้สำหรับรัศมีความโค้ง $\geq$ 250 เมตร เท่านั้น ค่ายกโค้งหรือการยกโค้งขาด ที่ไม่เกิน 160 มิลลิเมตร และช่วงเข้าโค้งแนวดิ่งที่มีรัศมี $R_V >$ 2500 เมตร
- พิกัดนี้ประกอบไปด้วยค่าที่ยอมให้ $M_1$ และ $M_2$ ที่จำเป็นสำหรับการซ่อมบำรุงทาง (ชนิดที่รองรับด้วยหินโรยทาง) และค่าที่ยอมให้เพิ่มเติม $M_3$ สำหรับพิกัดเปิดประตูรถและความปลอดภัยส่วนบุคคล

เพื่อให้แน่ใจว่าเข้ากันได้กับพิกัดของรถไฟ จำเป็นที่จะต้องทำการซ่อมบำรุงให้ค่าความคลาดเคลื่อนเป็นไปตามที่แนะนำไว้ในตารางที่ ข.1 ในภาคผนวก ข ค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับทางรถไฟที่มี $V <$ 80 กม./ชม. และคุณภาพไม่ดี (รางอื่นๆ) ถึงว่าพอเพียง การติดตั้งชานชาลาและพิกัดพื้นที่ล้อนั้นถูกกำหนดจากพิกัด G1

**ง.4.9.2 พารามิเตอร์หลัก**

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

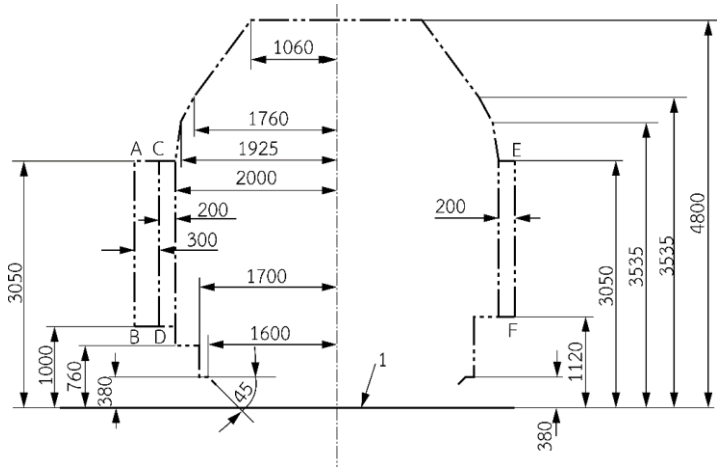
$L$ =1.505เมตร

$l_{nom}$ = 1.435 เมตร

$l_{\max}$ = 1.470 เมตร

$s_0$ = 0

**ง.4.9.3 การกำหนดพิกัด**




**คำสำคัญ**

- ด้านซ้ายมือ - สำหรับเส้นทางหลัก (รวมสถานี)
  - สำหรับเส้นทางหลักที่สถานีและจุดตัด
  - สำหรับเส้นทางหลักที่จุดตัดเปิดโล่ง
  - สำหรับเส้นทางหลักสำหรับรถโดยสาร
- A-B สำหรับโครงสร้างและอุปกรณ์ที่อยู่นอกทางรถไฟบนหินโรยทาง
- C-D สำหรับอุปกรณ์ในพื้นที่ว่างระหว่างทางรถไฟ
- ด้านขวามือ - สำหรับเส้นทางอื่น ๆ ที่สถานีและจุดตัด
  - สำหรับเส้นทางอื่น ๆ ที่จุดตัดเปิดโล่ง
- E-F สำหรับโครงสร้างและอุปกรณ์ทั้งหมด
- 1 คือ ผิวทางวิ่ง

**ง.4.10 พิกัดสหราชอาณาจักร UK1**

**ง.4.10.1 ทั่วไป**

- พิกัดนี้ใช้ในสหราชอาณาจักร
  การคำนวณค่าพิกัดประกอบไปด้วยส่วนล่างและส่วนบนที่มีข้อบังคับเฉพาะ ทั้งสองส่วนหาได้จากข้อบังคับเชิงพลวัต

**ง.4.10.2 พารามิเตอร์หลัก**

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ =1.505เมตร

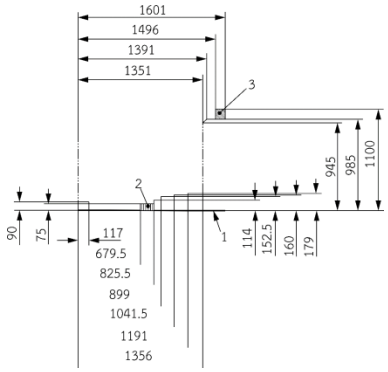
$l_{nom}$ = 1.435 เมตร

$l_{\max}$ = 1.451 เมตร สำหรับส่วนล่าง

$l_{\max}$ = 1.454 เมตร สำหรับส่วนบน

$s_0$ = 0

**ง.4.10.3 การกำหนดพิกัด**

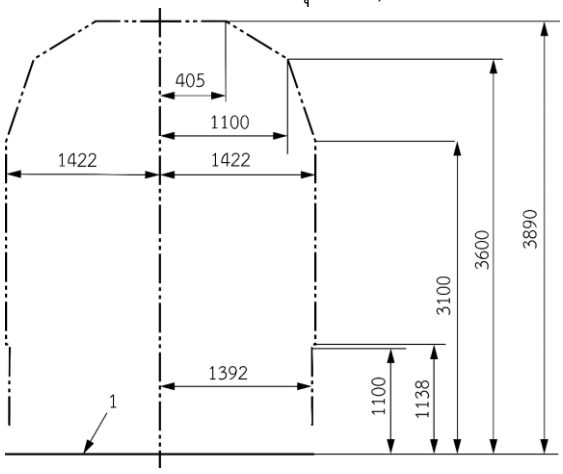



**คำสำคัญ**

- 1 ผิวทางวิ่ง
- 2 บริเวณล้อและguard-irons
- 3 บริเวณที่สำรองไว้สำหรับขั้นบันได

**หมายเหตุ**: 1.ควรสังเกตว่าถ้าเกิดความเสียหายทำให้deflation of the air suspension รถไฟอาจเกินค่าแนวอ้างอิงไปเป็นระยะได้ไม่เกิน 0.025 เมตร ดังนั้นจะต้องหักออกจากค่าที่ยอมให้ของโครงสร้างพื้นฐาน

2.รถไฟจะต้องพิจารณารวมผลกระทบเชิงเรขาคณิตทั้งหมดในขณะที่ขบวนรถเดินทางผ่านโค้งคว่ำและโค้งหงายที่มีรัศมีความโค้งในแนวดิ่งต่ำสุด (Rv, min) เท่ากับ 500 เมตร




**คำสำคัญ**

- 1 ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.28เส้นแนวอ้างอิงเชิงพลวัตของส่วนบนของพิกัดUK1**

**ตารางที่ ง.24 เส้นแนวอ้างอิงเชิงพลวัตของส่วนบนของพิกัด UK1หน่วยเป็นเมตร**

| ความสูง h | รัศมี R | $s_l$ (ด้านในโค้ง) | $s_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| $h \le 0{,}179$ | $\infty \ge R \ge 360$ | $0{,}0125 + \frac{l - 1{,}435}{2}$ | |
| | $360 > R \ge 160$ | | |

| ความสูง h | รัศมี R | $s_l$ (ด้านในโค้ง) | $s_a$ (ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| $0{,}179 < h \leq 1{,}100$ | $\infty \geq R \geq 360$ | $0{,}0125 + \frac{l - 1{,}435}{2}$ | |
| | $360m > R \geq 160m$ | $\frac{25{,}959}{R} - 0{,}0595 + \frac{l - 1{,}435}{2}$ | |
| $1{,}100 < h$ | $\infty \geq R \geq 160$ | $\frac{36{,}97}{R} + 0{,}011 + \frac{l - 1{,}435}{2}$ | $\frac{41{,}155}{R} + 0{,}011 + \frac{l - 1{,}435}{2}$ |

ผลกระทบกึ่งสถิตทั้งหมดถูกพิจารณาโดยรถไฟ $qs_i = qs_a = 0$

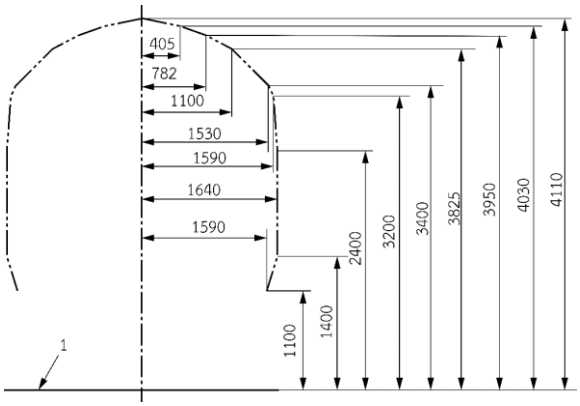
**ง.4.11 พิกัดสหราชอาณาจักร UK1 [D]**

**ง.4.11.1 ทั่วไป**

พิกัด UK1 [D] กำหนดชุดของพิกัดพลวัตโดยมีพื้นฐานจาก UK1 ใช้สำหรับโครงสร้างพื้นฐานในสหราชอาณาจักรเท่านั้น พิกัดหาได้จากการยึดเส้นแนวที่ใช้กับรัศมีความโค้งที่น้อยที่สุด ซึ่งสามารถปรับลดได้เป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์กับรัศมี เพื่อให้ได้ค่าที่ยอมให้สูงสุดเทียบกับโครงสร้างพื้นฐานที่มีอยู่ additional negative overthrowsนั้นหามาจากพื้นฐานของรัศมี $R_{\min}$ ที่หามาจากหน้าตัดของทางรถไฟ

การติดตั้งชานชาลาและพิกัดพื้นที่ล้อนั้นกำหนดมาจากพิกัดเชิงพลวัตของ UK1

**ง.4.11.2 การกำหนดพิกัด**




**คำสำคัญ**

- 1 ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.29 พิกัด UK1[D]**

**ตาราง ง.25 การล้มคว่ำเพิ่มเติมหน่วยเป็นเมตร**

| รัศมี R | $s_l$(ด้านในโค้ง) | $s_a$(ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| $\infty \geq R \geq R_{\min}$ | $\frac{l-1{,}435}{2}$ | $\frac{l-1{,}435}{2}$ |
| $R_{\min} > R \geq 160$ | $\frac{36{,}97}{R} - \frac{36{,}97}{R_{\min}} + \frac{l-1{,}435}{2}$ | $\frac{41{,}155}{R} - \frac{41{,}155}{R_{\min}} + \frac{l-1{,}435}{2}$ |

ผลกระทบกึ่งสถิตทั้งหมดถูกพิจารณาโดยรถไฟ $qs_i = qs_a = 0$

สำหรับทิศทางแนวดิ่ง ให้พิจารณาการยกระดับในแนวดิ่งของส่วนบน $\frac{41.155}{R} - \frac{41.155}{R_{\min}}$

**ง.4.12 พิกัดสหราชอาณาจักร W6a**

**ง.4.12.1 ทั่วไป**

พิกัดนี้ใช้ในสหราชอาณาจักร การคำนวณค่าพิกัดประกอบไปด้วยส่วนล่างและส่วนบนที่มีข้อบังคับเฉพาะ ส่วนล่างหาได้จากข้อบังคับเชิงพลวัตในขณะที่ส่วนบนหาได้จากข้อบังคับเชิงสถิต

**ง.4.12.2 พารามิเตอร์หลัก**

ในการกำหนดพิกัดของพิกัดชนิดต่าง ๆ ในกลุ่มนี้ให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงด้านล่าง

$L$ =1.505 เมตร

$l_{nom}$ = 1.435 เมตร

$l_{\max}$ = 1.454 เมตร สำหรับส่วนล่าง

$l_{\max}$ = 1.454 เมตร สำหรับส่วนบน

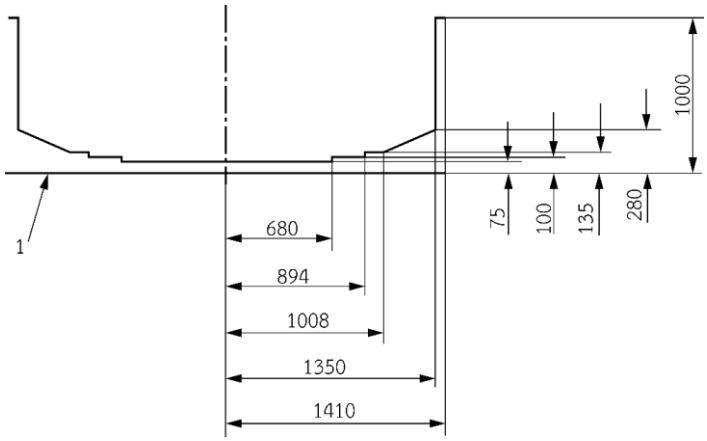
สำหรับโครงสร้างส่วนบนเท่านั้น (h>1.000 เมตร)

$I_0$ =0.15 เมตร

$D_0$ = 0.15 เมตร

$z_0 = 0.051.\frac{(h-1.000)}{2.080}$

**ง.4.12.3 กำหนดพิกัด**

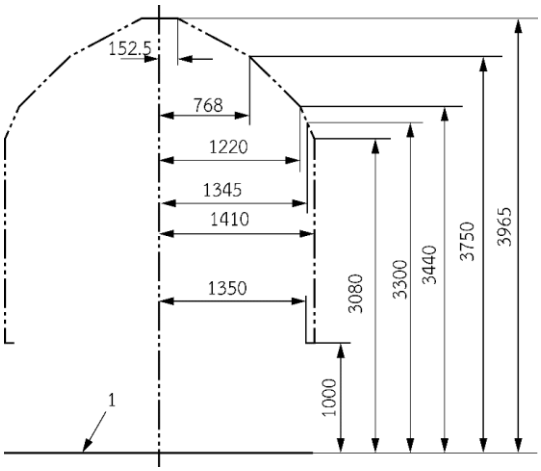



**คำสำคัญ**

- 1 ผิวทางวิ่ง

รถไฟจะต้องพิจารณารวมผลกระทบเชิงเรขาคณิตทั้งหมดในขณะที่ขบวนรถเดินทางผ่านโค้งคว่ำและโค้งหงายที่มีรัศมีความโค้งในแนวดิ่งต่ำสุด (Rv, min) เท่ากับ 500 เมตร

**รูปที่ ง.30 แนวเส้นอ้างอิงเชิงพลวัตของส่วนล่างของพิกัด W6a**




**คำสำคัญ**

- 1 ผิวทางวิ่ง

**รูปที่ ง.31 แนวเส้นอ้างอิงเชิงสถิตของส่วนบนของพิกัด W6a**

**ตารางที่ ง.26 การล้มคว่ำเพิ่มเติมสำหรับW6a (ส่วนบน) หน่วยเป็นเมตร**

| ความสูง h | รัศมี R | $s_i$(ด้านในโค้ง) | $s_a$(ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| $h \le 1{,}000$ | $\infty \ge R \ge 360$ | $0{,}0125 + \frac{l - 1{,}435}{2}$ | |
| | $360 > R \ge 200$ | $\frac{27}{R} - 0{,}0625 + \frac{l - 1{,}435}{2}$ | |

| ความสูง h | รัศมี R | $s_l$(ด้านในโค้ง) | $s_a$(ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|---|
| | $200 > R \geq 160$ | $\frac{32}{R} - 0{,}0875 + \frac{l - 1{,}435}{2}$ | |
| $1{,}000 < h$ | $\infty \geq R \geq 200$ | $\frac{20{,}986}{R} + 0{,}0375 + \frac{l - 1{,}435}{2}$ | $\frac{20{,}478}{R} + 0{,}0375 + \frac{l - 1{,}435}{2}$ |

**ตารางที่ ง.27 ผลกระทบกึ่งสถิต หน่วยเป็นเมตร**

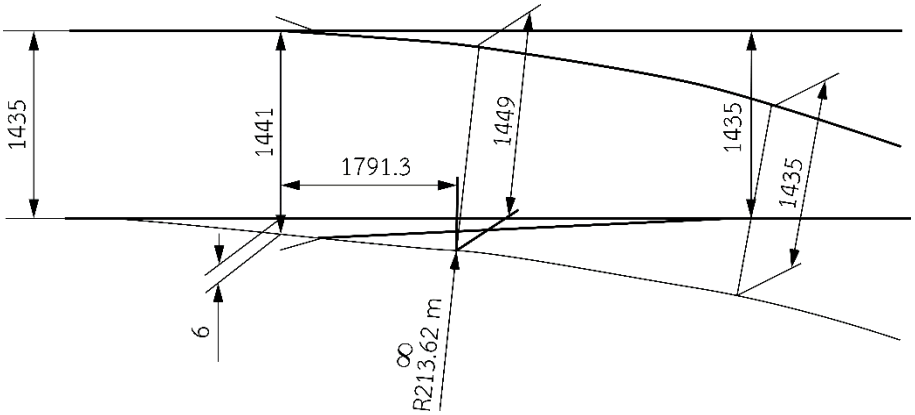
| ความสูง h | $qs_l$(ด้านในโค้ง) | $qs_a$(ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| $h \leq 1000$ | 0 | |
| $1000 < h$ | $z_0 = 0{,}051 + \frac{(h - 1{,}000)}{2{,}080}$ | |

## ภาคผนวก จ ตัวอย่างการคำนวณหาพิกัดของประแจสับหลัก

### จ.1 บทนำ

พิกัดสามารถแปรผันได้ตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานนี้ ในหัวข้อนี้ยกตัวอย่างการคำนวณโดยอาศัยรูปภาพประกอบ สำหรับกรณีอื่นๆ ที่นอกเหนือจากตัวอย่างนี้ให้ผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐานดำเนินการ ประแจสับหลีกที่นำมาเป็นตัวอย่างเป็นประเภทวิกฤตมาก เนื่องจากสิ่งต่อไปนี้

- ค่า switch entry angle สูง ($1^{\circ}$)
- รัศมีความโค้งในเส้นทางประแจสับหลีกมีค่าต่ำ (215 เมตร)
- มีการขยายความกว้างรางเฉพาะที่




**รูปที่ จ.1 แผนผังประแจสับหลีก**

แผนผังประแจสับหลักที่แสดงในตัวอย่างนี้กำหนดที่ระดับราง การขยายความกว้างหมายถึงผังที่มีความแตกต่างของรัศมีของรางใหญ่เทียบกับรัศมีของรางเล็ก เล็กน้อย

พิกัดหาได้จาก
สำหรับพิกัด G1 ที่แสดงไว้ใน ภาคผนวก ค ประแจสับหลีกที่วางอยู่บนรางตรง (ไม่คดเคี้ยว หรือ กดโค้งเข้ามา) ถ้าไม่ได้กำหนดเป็นอย่างอื่น มิติในรูปทั้งหมดที่อยู่ในภาคผนวกนี้ มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

### จ.2 ระเบียบวิธี

หลักการคำนวณได้แสดงไว้ในเนื้อหาหลักของมาตรฐานนี้ ลักษณะของรถไฟอ้างอิงที่ใช้ในการพิจารณาพิกัดนี้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ฉ สำหรับรถไฟที่นำมาพิจารณานี้ ไม่จำเป็นเสมอไปที่ระยะฐานล้อต่ำสุดและสูงสุดจะเป็นตัวแทนของกรณีที่รุนแรงที่สุด ดังนั้นช่วงทั้งหมดที่เป็นไปได้ของรถไฟที่ใช้ ต้องนำมาตรวจสอบว่าอันไหนสอดคล้องกับรถไฟอ้างอิง

**ตารางที่ จ.1 แสดงลักษณะของรถไฟอ้างอิง G1**

| รถไฟอ้างอิง $n^o$ | $A_{i/a}$ | $B_{i/a}$ | $B_V$ | $a$ | $n_a$ (a = 5 เมตร) | $n_a$ (a = 20 เมตร) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $1i$ | 3.75 | 0 | 1.645 | 5.477 | - | - |
| $2a$ | 3.75 | 0 | 1.645 | - | 1.208 | 0.368 |
| $3i$ | 50 | 0.185 | 1.460 | 20 | - | - |
| $4a$ | 60 | 0.225 | 1.420 | - | 8.736 | 4.832 |
| หมายเหตุ รถไฟ 1 และ 3 ใช้หาการล้มคว่ำเพิ่มเติมของด้านในโค้ง ขณะที่ 2 และ 4 ใช้หาสำหรับด้านนอกโค้ง ค่าที่แน่นอนที่ได้จากทางทฤษฎี ไม่ได้นำมาใช้จริงด้วยเหตุผลบางประการ (เช่น buffer locking) | | | | | | |

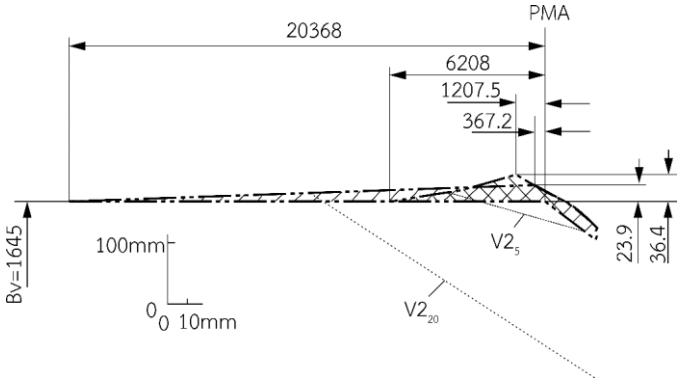
หัวข้อย่อยต่อไปนี้ใช้หาความกว้างที่เพิ่มขึ้นของส่วนโค้ง เมื่อรถไฟอยู่ในเส้นทางของประแจสับหลีก ปลายของรถไฟนี้จะจมเข้าไปในเส้นพิกัดหลัก อันดับแรก จะต้องหาความกว้างที่เพิ่มขึ้นของพิกัดเส้นทางหลักก่อน จากนั้นทำซ้ำขั้นตอนนี้อีกครั้งเพื่อหาความกว้างที่เพิ่มขึ้นของเส้นทางประแจสับหลีก
หัวข้อย่อยต่อไปนี้ใช้หาผลกระทบกึ่งสถิต

## จ.3 ความกว้างที่เพิ่มขึ้นของส่วนโค้ง

### จ.3.1 ความกว้างที่เพิ่มขึ้นของเส้นทางหลัก

ความกว้างที่เพิ่มขึ้นนี้หาได้จากรถไฟอ้างอิงเบอร์ 2 และเบอร์ 4 ที่อยู่ในตารางที่ จ.1 ในการคำนวณให้คิดรถไฟอ้างอิงดังกล่าวแยกกัน

สำหรับรถไฟแต่ละเบอร์ ฐานล้อจะมีความแตกต่างกันระหว่างค่าสุดโต่งที่วิ่งอยู่ในโครงข่ายที่พิจารณา บ่อยครั้งที่รถไฟที่มีขนาดฐานล้อที่น้อยที่สุด (มีปลายยื่นออกไปมากที่สุด) เป็นกรณีที่รุนแรงที่สุด เนื่องจากความซับซ้อนของผังประแจสับหลีก ช่วงทั้งหมดของตู้รถไฟจะต้องถูกตรวจสอบ รูปที่ จ.2 ได้แสดงค่าสูงสุดที่ครอบคลุม (Envelop) ที่กำหนดไว้สำหรับรถไฟอ้างอิง เบอร์ 2 ที่พิจารณาจากฐานล้อต่างๆ



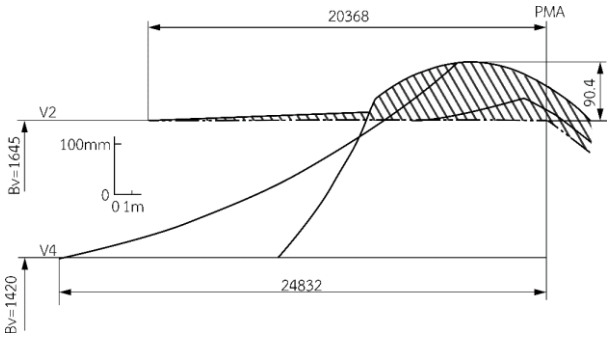

**คำสำคัญ**

- PMAMathematical Switch Toe
- $V2_5$ รถไฟอ้างอิง $V2$ ที่มีฐานล้อ 5 เมตร
- $V2_{20}$ รถไฟอ้างอิง $V2$ ที่มีฐานล้อ 20 เมตร

- $Bv$ ความกว้างกึ่งหนึ่งของรถไฟ

**รูปที่ จ.2 การขยายความกว้างสำหรับรถไฟเบอร์ 2**

ทำซ้ำขั้นตอนอีกครั้งสำหรับการคำนวณของรถไฟเบอร์ 4 ขั้นตอนสุดท้าย ให้นำค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้จากทั้งสองกรณีมาเปรียบเทียบกัน ให้ใช้ค่าที่มากที่สุดในการกำหนดพิกัดประแจสับหลีก ผลลัพธ์ได้แสดงอยู่ในรูปที่ จ.3



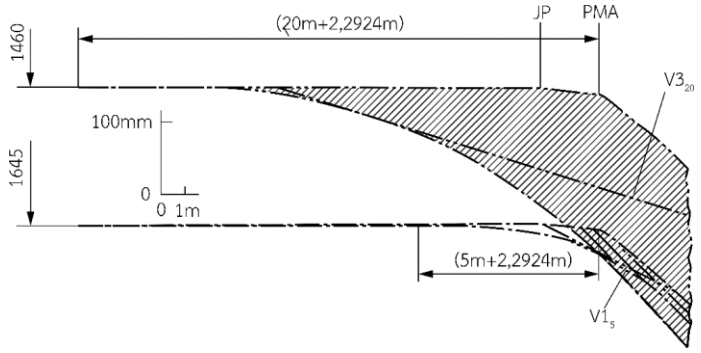

**คำสำคัญ**

- PMAMathematical Switch Toe
- $V2$ รถไฟอ้างอิง $V2$
- $V4$ รถไฟอ้างอิง $V4$
- $Bv$ ความกว้างกึ่งหนึ่งของรถไฟ

### จ.3.2 ความกว้างที่เพิ่มขึ้นของเส้นทางประแจสับหลีก

ความกว้างที่เพิ่มขึ้นของของพิกัดในเส้นทางประแจสับหลีก หาได้จากพื้นฐานของรถไฟอ้างอิงเบอร์ 1 และเบอร์ 3 ซึ่งไว้หาความกว้างที่เพิ่มขึ้นของพิกัดด้านในโค้ง ในกรณีนี้ ปกติแล้วรถไฟที่มีฐานล้อสูงสุดใช้พื้นที่มากที่สุด

ค่าสูงสุดที่ครอบคลุมพื้นที่ที่ใช้ในรถไฟอ้างอิงสองขบวนนี้หาได้ขณะที่พิจารณาความกว้างที่ต่างกันของรถไฟทั้งสองผลที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ จ.4




**คำสำคัญ**

- PMAMathematical Switch Toe
- $JP$ stock rail front point
- $V3_{20}$ รถไฟอ้างอิง $V3$ที่มีฐานล้อ 20 เมตร
- $V1_5$ รถไฟอ้างอิง $V1$ที่มีฐานล้อ 5 ม.

**รูปที่ จ.4 ความกว้างที่เพิ่มขึ้นสำหรับเส้นทางประแจสับหลีก**

**จ.4 ผลกระทบกึ่งสถิต**

ค่าการยกโค้งขาด ด้านนอกโค้งหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$I = 11.85\frac{V^2}{R} = 11.85\frac{40^2}{215} = 88.2mm \qquad \text{(จ.1)}$$

ควรสังเกตว่าขณะเข้าเส้นทางประแจสับหลีกจะมีแรงกระแทกกระทำกับรถไฟ ในเส้นทางประแจสับหลีกอาจเกิดการแปรผันเล็กของอัตราการเปลี่ยนแปลงความโค้งหรือ non-tangency เหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สั้นมากจึงทำให้รถไฟยังไม่ทันที่จะเอียงตัวขึ้น ดังนั้นการแปรผันในการหมุนตัวเล็กน้อยที่อาจเกิดขึ้นนี้จึงไม่ได้รวมอยู่ในค่าที่ยอมให้ $\boldsymbol{M}_1\,(T_{OSC})$

ในกรณีที่มีรัศมีต่างกัน รัศมีประสิทธิผลหาได้ตามข้อกำหนดที่แสดงไว้ใน EN 13232-3 และควรสังเกตว่าเส้นทางประแจสับหลีกต่างๆนั้นถูกออกแบบโดยใช้ค่าconstant deficiencyเท่า 90 มิลลิเมตร ดังนั้นผลกระทบกึ่งสถิตหาได้จาก

$$qs_i = \frac{0.4}{1.5}.[0.09 - 0.05]_{>0}.[h - 0.5]_{>0} = \frac{[h - 0.5]_{>0}}{93.75} \qquad \text{(จ.2)}$$

ด้านในโค้ง D มีค่าจำกัดเสมอ (ดู EN 13803-2 เพิ่มเติม) $qs_i$ บ่อยครั้งเป็นศูนย์

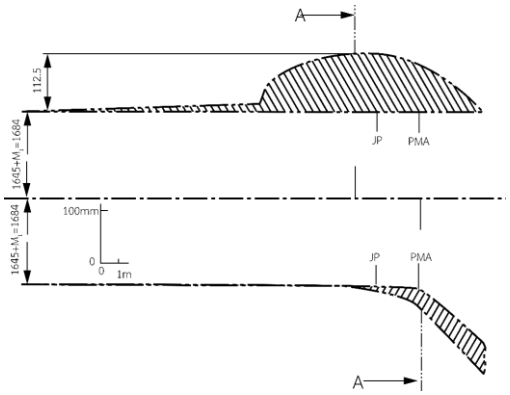
**จ.5 ความกว้างของพิกัดที่เส้นทางประแจสับหลีก**

ความกว้างของพิกัดประแจสับหลีกที่ใช้ G1 ถูกหาสำหรับจุด P (1645,3250) ซึ่งเป็นตัวกำหนดระยะทางระหว่างศูนย์กลางทางรถไฟและความกว้างพิกัดสูงสุด

สำหรับตัวอย่างนี้ พิกัดขอบเขตนำมาใช้พร้อมกับ

- การล้มคว่ำเพิ่มเติม (การขยายความกว้างในโค้งและเฉพาะที่) (ดูรูปที่ ง.4)
- ผลกระทบกึ่งสถิต (สำหรับจุด P: $qs_a$ แปรผันจาก 0 ถึง 28 มิลลิเมตร และ $qs_i$ = 0 มิลลิเมตร)
- ค่าที่ยอมให้ $\sum_1$( $\sum_{1a}$ = 47 มิลลิเมตร และ $\sum_{1a}$ = 58 มิลลิเมตร)

ผลรวมของสองเหตุการณ์แสดงอยู่ใน**รูปที่ จ.5** สำหรับจุด P (1645,3250) รูปนี้ทำให้ดูง่ายเพื่อที่จะแสดงลักษณะของพิกัดนี้โดยเส้นตรงและส่วนโค้ง

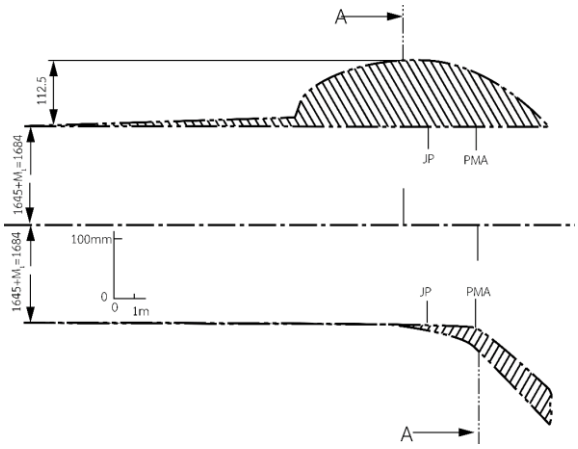



**คำสำคัญ**

- PMAMathematical Switch Toe
- $JP$ stock rail front point

**รูปที่ จ.5 ความกว้างของพิกัด**

ความกว้างของพิกัดแปรผันตลอดความสูง ความกว้างที่หน้าตัด A-A ของรูปที่ จ.5 แสดงอยู่ในรูปที่ จ.6 ค่าที่เพิ่มเข้าไปที่พิกัดบนรางตรงขึ้นอยู่กับความสูง และแสดงอยู่ในตารางที่ จ.2




**คำสำคัญ**

- RP เส้นแนวอ้างอิง
- AdV พิกัดที่เส้นทางประแจสับหลีก

**รูปที่ จ.6 หน้าตัด A-A**

**ตารางที่ จ.2 ค่าที่เพิ่มเข้าไปในพิกัดบนรางตรง**

| $b_{RP}$ | $h_{RP}$ | Supplement<br>With turnout |
|---|---|---|
| -1620 | 400 | 90 |
| -1620 | 1170 | 97 |
| -1645 | 1170 | 111 |
| -1645 | 3250 | 132 |
| -1425 | 3700 | 181 |
| -1120 | 4010 | 193 |
| -525 | 4310 | 203 |
| 0 | 4310 | -90 |
| 525 | 4310 | -90 |
| 1120 | 4010 | -90 |
| 1425 | 3700 | -85 |
| 1645 | 3250 | -79 |
| 1645 | 1170 | -72 |
| 1620 | 1170 | -36 |
| 1620 | 400 | -36 |
| 1520 | 400 | -25 |

สองกรณีต่อไปนี้ต้องพิจารณาเป็นพิเศษเมื่อมีประแจสับหลีกเข้ามาเกี่ยวข้อง

การใช้ประแจสับหลีกประเภทนี้ต้องการการเพิ่มขึ้นของระยะห่างระหว่างศูนย์กลางจำกัดอีก 138 มิลลิเมตร จากค่าในทางรถไฟเส้นตรงและไม่มีประแจสับหลีกนี้ การใช้เส้นทางประแจสับหลีกตามแนวชานชาลาต้องการระยะช่องว่างเพิ่มเติมอีก 90 มิลลิเมตร (กรณีชานชาลาสูง 760 มิลลิเมตร)

## ภาคผนวก ฉ การหาคุณลักษณะของรถไฟอ้างอิง

### ฉ.1 บทนำ

คุณลักษณะของรถไฟอ้างอิงที่ใช้กำหนดพิกัดเป็นสิ่งจำเป็นในการคำนวณพิกัดโครงสร้างในเส้นทางประแจสับหลีกและบริเวณเข้าโค้ง จะต้องไม่นำคุณลักษณะของรถไฟอ้างอิงไปรวมกับคุณลักษณะของรถไฟที่ใช้ในการสร้างพิกัด ในทางกลับกันพื้นที่ว่างที่ต้องใช้โดยรถไฟทั้งสองประเภทเท่ากัน ดังนั้นรถไฟอ้างอิงจะหาได้จากสมการการล้มคว่ำเพิ่มเติมเสมอ (**หมายเหตุ**: ควรสังเกตว่ารถไฟอ้างอิงเป็นรถไฟสมมุติ ไม่ใช่รถไฟที่มีอยู่จริง)

### ฉ.2 ระเบียบวิธี

คุณลักษณะของรถไฟอ้างอิงหาได้จากสมการต่อไปนี้

$S_a = \frac{A_a}{R} + B_a = b_{veh} + \frac{n_a(n_a + a)}{2R} - b_{RP}$ สำหรับรถไฟอ้างอิงที่ใช้หาพิกัดด้านนอกโค้ง ด้วยสัมประสิทธิ์

$A_a$ และ $B_a$ ซึ่งขึ้นอยู่กับรถไฟอ้างอิง

และ $S_i = \frac{A_i}{R} + B_i = b_{veh} + \frac{a^2}{8R} - b_{RP}$ สำหรับรถไฟอ้างอิงที่ใช้หาพิกัดด้านในโค้ง ด้วยสัมประสิทธิ์ $A_i$

และ $B_i$ ซึ่งขึ้นอยู่กับรถไฟอ้างอิง

พึงระลึกไว้เสมอว่าระหว่างการคำนวณพิกัดด้านในและนอกโค้งอาจมีรถไฟอ้างอิงที่เกี่ยวข้องหลายตัว สำหรับด้านในโค้งมีคำตอบของคุณลักษณะของรถไฟอ้างอิงคำตอบเดียวเดียว สำหรับด้านนอกโค้งไม่สามารถคำนวณได้นอกจากจะทราบค่าของฐานล้อ $a$ เพื่อจุดประสงค์นี้จึงต้องคำนวณความกว้างของฐานล้อทั้งหมดที่อยู่ในโครงข่าย

**หมายเหตุ**: การล้มคว่ำเพิ่มเติมไม่เกิดขึ้นถ้าใช้unified gauge ในกรณีนี้คุณลักษณะของรถไฟอ้างอิงสามารถหาได้จากรถไฟที่วิ่งจริงๆอยู่บนโครงข่าย

สมการทั้งสองข้างต้นนำไปสู่สมการต่อไปนี้ซึ่งทำให้หา $a$ และ $n_a$ ได้โดยตรง

$$b_{veh} = b_{RP} + B_i \tag{ฉ.1}$$

และ

$$a = \sqrt{8A_i} \tag{ฉ.2}$$

สำหรับด้านนอกโค้ง

$$b_{veh} = b_{RP} + B_a \tag{ฉ.3}$$

$$n_a = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 8A_a}}{2}, \qquad \text{(ฉ.4)}$$

โดยที่ $a$ แปรผันตลอดช่วงฐานของล้อที่เข้ามาอยู่บนราง

วิธีการข้างบนนี้อาจนำมาใช้เป็นเกณฑ์หาพิกัดที่ใช้รถไฟอ้างอิงต่างๆ

## ฉ.3 ตัวอย่างการคำนวณ

### ฉ.3.1 บทนำ

ตัวอย่างนี้แสดงวิธีการหาคุณลักษณะของรถไฟอ้างอิงสำหรับพิกัด G1 ตามภาคผนวก ค สำหรับส่วนบน ความกว้างตัวรถเท่ากับ 1.645 เมตร และการล้มคว่ำเพิ่มเติมหาได้จาก

$$\infty \geq R \geq 250m \Rightarrow s_i or s_a = \frac{3.75}{R}[m] \qquad \text{(ฉ.5)}$$

$$250 \geq R \geq 150m \Rightarrow s_i = \frac{50}{R} - 0.185[m] \qquad \text{(ฉ.6)}$$

$$S_a = \frac{60}{R} - 0.225[m] \qquad \text{(ฉ.7)}$$

ดังนั้น คุณลักษณะของรถไฟอ้างอิงหาได้ดังนี้

### ฉ.3.2 รถไฟเบอร์ 1 (ด้านในโค้ง)

$b_{veh1}$ =1.645 เมตร

ค่าของ $a$ หาได้จากสมการนี้

$$a = \sqrt{8A_i} \qquad \text{(ฉ.8)}$$

โดยที่ $A_i$ =3.75 ให้ค่า $a_{veh1}$ = 5.477 เมตร

### ฉ.3.3 รถไฟเบอร์ 2 (ด้านนอกโค้ง)

$b_{veh2}$ =1.645 เมตร

ค่าของ $a$ และ $n_a$ หาได้จากสมการนี้

$$n_a = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 8A_a}}{2} \qquad \text{(ฉ.9)}$$

โดยที่ $A_a$ =3.75

สมการนี้สามารถคำนวณหาค่า $n_a$ เมื่อรู้ค่า $a$ เท่านั้น ในกรณีต่อไปนี้จะสมมติให้ค่าฐานล้อที่แปรผันตั้งแต่ 5 เมตร ถึง 20 เมตร และทำให้คำนวณค่า $n_a$ ได้ ซึ่งแปรผันตั้งแต่ 1.208 เมตร (สำหรับ $a$ =5 เมตร) ถึง 0.368 (สำหรับ $a$ =20 เมตร)

**ฉ.3.4 รถไฟเบอร์ 3 (ด้านในโค้ง)**

$$b_{V3} = 1.645 - 0.185 = 1.460 \text{ เมตร}$$

คุณลักษณะของ $a$ และ $n_a$ หาได้จากสมการข้างบนโดยที่ $A_i$ =50 จะได้

$$\frac{50}{R_V} = \frac{a^2}{8R} \qquad \text{(ฉ.10)}$$

ให้ค่า $a_{veh3}$ = 20 เมตร

**ฉ.3.5 รถไฟเบอร์ 4 (ด้านนอกโค้ง)**

$$b_{V2} = 1.645 - 0.225 = 1.420 \text{ เมตร}$$

คุณลักษณะของ $a$ และ $n_a$ หาได้จากสมการข้างบนโดยที่ $A_i$ =50 จะได้

$$\frac{60}{R_V} = \frac{n_a(a+n_a)}{2R} \qquad \text{(ฉ.11)}$$

สมการนี้สามารถคำนวณหาค่า $n_a$ เมื่อรู้ค่า $a$ เท่านั้น ในกรณีต่อไปนี้สมมติให้ค่าฐานล้อที่แปรผันตั้งแต่ 5 เมตร ถึง 20 เมตร ทำให้คำนวณค่า $n_a$ ได้ ซึ่งแปรผันตั้งแต่ 8.736 เมตร (สำหรับ $a$ =5 เมตร) ถึง 4.832 (สำหรับ $a$ =20 เมตร)

**ฉ3.6 สรุป**

**ตารางที่ ฉ.1 สรุป**

| **รถไฟอ้างอิง $n^o$** | $A_{i/a}$ | $B_{i/a}$ | $B_V$ | $a$ | $n_a$ **($a$ = 5 ม.)** | $n_a$ **($a$ = 20 ม.)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3.75 | 0 | 1.648 | 5.477 | - | - |
| 2 | 3.75 | 0 | 1.645 | - | 1.208 | 0.368 |
| 3 | 50 | 0.185 | 1.460 | 20 | - | - |

| รถไฟอ้างอิง $n^o$ | $A_{i/a}$ | $B_{i/a}$ | $B_V$ | $a$ | $n_a$ ($a$ = 5 ม.) | $n_a$ ($a$ = 20 ม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 60 | 0.225 | 1.420 | - | 8.736 | 4.832 |
| รถไฟ 1 และ 3 ใช้หาการล้มคว่ำเพิ่มเติมของด้านในโค้ง ขณะที่ 2 และ 4 ใช้หาสำหรับด้านนอกโค้ง ค่าที่แน่นอนที่ได้จากทางทฤษฎี ไม่ได้นำมาใช้จริงด้วยเหตุผลบางประการ (เช่น buffer locking) | | | | | | |

## ฉ3.7 รถไฟพิกัดอ้างอิงพิกัดสากล

ตารางข้างล่างนี้กำหนดค่าอ้างอิงของพิกัดสากลที่แสดงอยู่ในภาคผนวก ข และ ค ของมาตรฐานนี้

**ตารางที่ ฉ.2 คุณลักษณะของรถไฟอ้างอิงบางประเภท**

| พิกัด | $h_{\min}$ $[mm]$ | $h_{\max}$ $[mm]$ | $b_{CR}$ $[mm]$ | $A_i$ $[m]$ | $A_a$ $[m]$ | $b$ $[mm]$ | $b_{veh}$ $[mm]$ | $a$ $[m]$ | $n_a[m]$ (5 ม.) | $n_a[m]$ (20ม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G1/G2/GC | 400 | Max. | 1645 | 3,75 | | | 1645 | 5,477 | | |
| G1/G2/GC | 400 | Max. | 1645 | | 3,75 | | 1645 | | 1,208 | 0,368 |
| G1/G2/GC | 400 | Max. | 1645 | 50 | | 185 | 1460 | 20,000 | | |
| G1/G2/GC | 400 | Max. | 1645 | | 60 | 225 | 1420 | | 8,736 | 4,832 |
| GA/GB/ GB1/GB2 | 400 | 3250 | 1645 | 3,75 | | | 1645 | 5,477 | | |
| GA/GB/ GB1/GB2 | 400 | 3250 | 1645 | | 3,75 | | 1645 | | 1,208 | 0,368 |
| GA/GB/ GB1/GB2 | 400 | 3250 | 1645 | 50 | | 185 | 1460 | 20,000 | | |
| GA/GB/ GB1/GB2 | 400 | 3250 | 1645 | | 60 | 225 | 1420 | | 8,736 | 4,832 |
| GA/GB/ GB1/GB2 | 3880/4110/ 4210/4210 | Max. | 1645 | 20 | | | 1645 | 12,649 | | |
| GA/GB/ GB1/GB2 | 3880/4110/ 4210/4210 | Max. | 1645 | | 20 | | 1645 | | 4,301 | 1,832 |
| GA/GB/ GB1/GB2 | 3880/4110/ 4210/4210 | Max. | 1645 | 50 | | 185 | 1525 | 20,000 | | |
| GA/GB/ GB1/GB2 | 3880/4110/ 4210/4210 | Max. | 1645 | | 50 | 225 | 1525 | | 7,808 | 4,142 |
| FR-3.3 | 400 | 3250 | 1645 | 3,75 | | | 1645 | 5,477 | | |
| FR-3.3 | 400 | 3250 | 1645 | | 3,75 | | 1645 | | 1,208 | 0,368 |
| FR-3.3 | 400 | 3250 | 1645 | 50 | | 185 | 1460 | 20,000 | | |
| FR-3.3 | 400 | 3250 | 1645 | | 60 | 225 | 1420 | | 8,736 | 4,832 |
| FR-3.3 | 3500 | Max. | 1645 | 37,5 | | | 1645 | 17,321 | | |
| FR-3.3 | 3500 | Max. | 1645 | | 37,5 | | 1645 | | 6,514 | 3,229 |
| BE1 à BE3 | 1170 | Max. | 1645 | 6 | | | 1645 | 6,928 | | |
| BE1 à BE3 | 1170 | Max. | 1645 | | 6 | | 1645 | | 1,772 | 0,583 |
| BE1 à BE3 | 1170 | Max. | 1645 | 28 | | 55 | 1590 | 14,967 | | |
| BE1 à BE3 | 1170 | Max. | 1645 | | 28 | 55 | 1590 | | 5,390 | 2,490 |
| BE1 à BE3 | 1170 | Max. | 1645 | 40,5 | | 105 | 1540 | 18,000 | | |
| BE1 à BE3 | 1170 | Max. | 1645 | | 40,5 | 105 | 1540 | | 6,841 | 3,454 |
| BE1 à BE3 | 1170 | Max. | 1645 | 60 | | 225 | 1420 | 21,909 | | |
| BE1 à BE3 | 1170 | Max. | 1645 | | 60 | 225 | 1420 | | 8,736 | 4,832 |
| BE1 à BE3 | 100 | Max. | 1645 | 5 | | | 1645 | 6,325 | | |
| BE1 à BE3 | 100 | Max. | 1645 | | 5 | | 1645 | | 1,531 | 0,488 |
| BE1 à BE3 | 100 | Max. | 1645 | 26,47 | | 21,5 | 1623,5 | 14,552 | | |

| พิกัด | $h_{\min}$ $[mm]$ | $h_{\max}$ $[mm]$ | $b_{CR}$ $[mm]$ | $A_i$ $[m]$ | $A_a$ $[m]$ | $b$ $[mm]$ | $b_{veh}$ $[mm]$ | $a$ $[m]$ | $n_a[m]$ (5 ม.) | $n_a[m]$ (20ม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BE1 à BE3 | 100 | Max. | 1645 | | 26,47 | 21,5 | 1623,5 | | 5,194 | 2,367 |
| BE1 à BE3 | 100 | Max. | 1645 | 40,5 | | 105 | 1540 | 18,000 | | |
| BE1 à BE3 | 100 | Max. | 1645 | | 40,5 | 105 | 1540 | | 6,841 | 3,454 |
| BE1 à BE3 | 100 | Max. | 1645 | 60 | | 225 | 1420 | 21,909 | | |
| BE1 à BE3 | 100 | Max. | 1645 | | 60 | 225 | 1420 | | 8,736 | 4,832 |

| พิกัด | $h_{\min}$ $[mm]$ | $h_{\max}$ $[mm]$ | $b_{CR}$ $[mm]$ | $A_i$ $[m]$ | $A_a$ $[m]$ | $b$ $[mm]$ | $b_{veh}$ $[mm]$ | $a$ $[m]$ | $n_a[m]$ (5 ม.) | $n_a[m]$ (20ม.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CPb/CPb+/ CPc | 0 | 400 | 1720 | 3,75 | | | 1720 | 5,477 | | |
| CPb/CPb+/ CPc | 0 | 400 | 1720 | | 3,75 | | 1720 | | 1,208 | 0,368 |
| CPb/CPb+/ CPc | 0 | 400 | 1720 | 50 | | 185 | 1535 | 20,000 | | |
| CPb/CPb+/ CPc | 0 | 400 | 1720 | | 50 | 225 | 1495 | | 8,736 | 4,832 |
| CPb/CPb+/ CPc | 400 | 700 | 1720 | 3,75 | | | 1720 | 5,477 | | |
| CPb/CPb+/ CPc | 400 | 700 | 1720 | | 3,75 | | 1720 | | 1,208 | 0,368 |
| CPb/CPb+/ CPc | 400 | 700 | 1720 | 50 | | 185 | 1535 | 20,000 | | |
| CPb/CPb+/ CPc | 400 | 700 | 1720 | | 50 | 225 | 1495 | | 8,736 | 4,832 |
| CPb/CPb+/ CPc | 700 | 1170 | 1720 | 20 | | | 1720 | 12,649 | | |
| CPb/CPb+/ CPc | 700 | 1170 | 1720 | | 20 | | 1720 | | 4,301 | 1,832 |
| CPb/CPb+/ CPc | 700 | 1170 | 1720 | 50 | | 120 | 1600 | 20,000 | | |
| CPb/CPb+/ CPc | 700 | 1170 | 1720 | | 50 | 120 | 1600 | | 7,808 | 4,142 |
| CPb/CPb+/ CPc | 1 170 | 3 550 | 1720 | 3,75 | | | 1720 | 5,477 | | |
| CPb/CPb+/ CPc | 1 170 | 3 550 | 1720 | | 3,75 | | 1720 | | 1,208 | 0,368 |
| CPb/CPb+/ CPc | 1 170 | 3 550 | 1720 | 50 | | 185 | 1535 | 20,000 | | |
| CPb/CPb+/ CPc | 1 170 | 3 550 | 1720 | | 50 | 225 | 1495 | | 8,736 | 4,832 |
| CPb/CPb+/ CPc | 4110/4210 | Max. | 1720 | 37,5 | | | 1720 | 17,321 | | |
| CPb/CPb+/ CPc | 4110/4210 | Max. | 1720 | | 37,5 | | 1720 | | 6,514 | 3,229 |
| CPb/CPb+/ CPc | 4110/4210 | Max. | 1720 | 6 | | | 1720 | 6,928 | | |
| CPb/CPb+/ CPc | 4110/4210 | Max. | 1720 | | 6 | | 1720 | | 1,772 | 0,583 |

## ภาคผนวก ช Uniform gauge

### ช.1 บทนำ

บาง uniform structure gauges มีใช้อยู่แล้วในทวีปยุโรป พิกัดที่ใช้เหล่านี้ใช้หลักการเหมือนกับที่ระบุในมาตรฐานนี้ สำหรับการจัดการโครงสร้างพื้นฐานให้ ผู้จัดการงานด้านโครงสร้างพื้นฐานสามารถบริหารจัดการและซ่อมบำรุงได้ง่าย

### ช.2 GU1

### ช.2.1 ทั่วไป

พิกัด GU1 เป็นพิกัดที่สม่ำเสมอและคงที่ซึ่งใช้ในประเทศต่างๆ ในยุโรปรวมถึงประเทศกรีซ เส้นแนวมีลักษณะของเหมือนกับเส้นแนวของ GU2 (บนทางตรง) แต่แตกต่างในข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกัน รูปทรงคล้ายกับเส้นแนวอ้างอิง (เชิงสถิตหรือ เชิงจลน์) G2 แต่แตกต่างตรงทางรถไฟทางตรงพิกัดเชิงจลน์ที่มีความสอดคล้องกันได้ถูกกำหนดไว้ต่อไปนี้

ใช้ได้สำหรับรัศมีเส้นโค้งน้อยกว่า 250 เมตร ค่ายกโค้ง หรือ cant deficiencies ไม่เกิน 160 มิลลิเมตร และช่วงเข้าโค้งแนวดิ่ง ที่รัศมี $R_V$มากกว่า 2500 เมตร

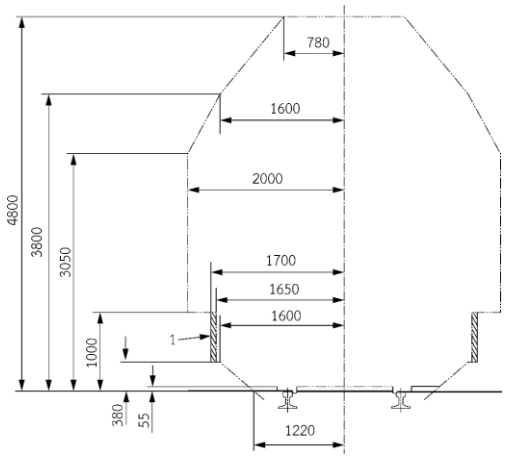
ประกอบไปด้วยค่าที่ยอมให้ $M_1$ กับ $M_2$ที่จำเป็นสำหรับการบำรุงรักษาทางรถไฟ (ที่ใช้หินรองทาง) และค่าที่ยอมให้ $M_3$ สำหรับพิกัดสำหรับการเปิดประตูและความปลอดภัยของบุคลากร

เพื่อให้มั่นใจได้ว่ามีเข้ากันได้กับพิกัดรถไฟ จำเป็นต้องมีการบำรุงทางเพื่อให้สอดคล้องกับค่าคลาดเคลื่อนที่แนะนำตามที่ระบุในตาราง ข.1 ในภาคผนวก ข สำหรับค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับของทางรถไฟสำหรับ $V < 80$ กม. / ชม. และเป็นทางที่คุณภาพไม่ดี ("รางอื่น ๆ ") ถือว่าเพียงพอ

การติดตั้งชานชาลาและนิยามของพื้นที่ล้อได้ถูกกำหนดตามพิกัด G1 และคุณลักษณะรถไฟอ้างอิงได้ถูกกำหนดไว้ในภาคผนวก ฉ

### ช.2.2 การหาค่าพิกัด

เส้นแนวหาได้จากเส้นแนวตายตัว




**คำสำคัญ**

- 1 บริเวณการติดตั้งชานชาลามีระยะ 550 มิลลิเมตร ถึง 1000 มิลลิเมตร

**รูปที่ ช.1 พิกัด GU1**

สมการต่อไปนี้สามารถใช้เพื่อคาดการณ์พิกัดสำหรับรัศมีน้อยกว่า 250 เมตร

**ตารางที่ ช.1 — การล้มคว่ำเพิ่มเติมหน่วยเป็นเมตร**

| **รัศมี** R | **$S_l$(ด้านในโค้ง)** | **$S_a$(ด้านนอกโค้ง)** |
|---|---|---|
| $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0{,}185$ | $\frac{60}{R} - 0{,}225$ |

**ช.2.3 พิกัดเชิงจลน์เทียบเท่า**

เนื่องจากพิกัดนี้ไม่ได้ถูกกำหนดบนพื้นฐานของพิกัดเชิงจลน์ที่มีอยู่แล้วจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการพิจารณาพิกัดเชิงจลน์เทียบเท่า ข้อบังคับที่กำหนดในมาตรฐานของยุโรปโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคผนวก ก ได้อนุญาตให้พิกัดเชิงจลน์ถูกกำหนดบนพื้นฐานของค่าสูงสุดที่ครอบคลุม เมื่อใช้ข้อบังคับที่เกี่ยวข้องของพิกัด G1 ค่าที่แนะนำได้แสดงในภาคผนวก ข มีความเป็นไปได้ที่จะลบการล้มคว่ำเพิ่มเติมและผลกระทบกึ่งสถิตและค่าที่ถูกยอมให้ $M_1$ และ $M_2$ เพื่อให้ได้เส้นแนวอ้างอิงสูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ เนื่องจากพิกัดนี้มีความกว้างพิเศษสำหรับเปิดประตู เห็นได้ชัดเจนว่าค่าที่ยอมให้ $M_3$ อยู่บนผนังกำแพงด้านข้าง พิกัดเทียบได้กับ G1 สามารถพบได้โดยการใช้ผนังมีระยะห่าง 1,645 มิลลิเมตร จากเส้นศูนย์กลางของทางรถไฟ

**ช.3 GU2**

**ช.3.1 ทั่วไป**

พิกัด GU2 เป็นพิกัดที่สม่ำเสมอและตายตัวซึ่งนิยมใช้ในยุโรปหลายประเทศ หนึ่งในนั้นคือประเทศเนเธอร์แลนด์ พิกัดหาได้จากการใช้เส้นแนวสองเส้นในสองสถานการณ์: บนทางรถไฟตรง ในโค้งที่มีรัศมี 250 เมตรที่มีค่ายกโค้งและการยกโค้งขาดไม่เกิน 160 มิลลิเมตร

ข้อกำหนดในการประมาณสำหรับการประยุกต์ใช้ในโค้งที่มีรัศมีน้อยกว่า 250 เมตร และการเปลี่ยนโค้งช่วงแนวตั้งที่มีรัศมี $R_V$> 2,500 เมตร

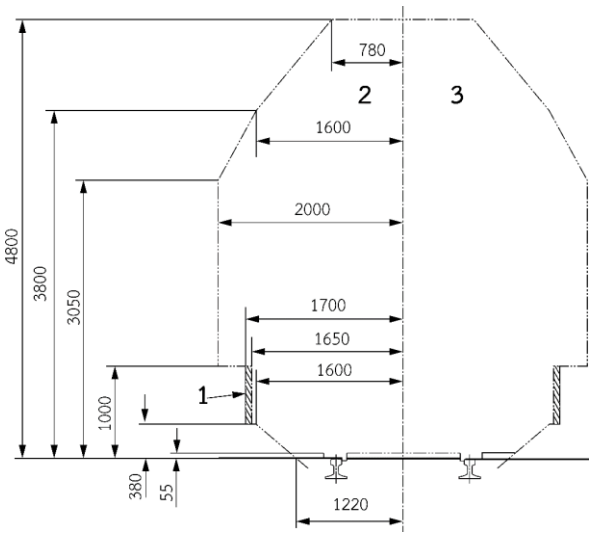
เส้นแนวในทางรถไฟทางตรงจะเหมือนกับ GU1 แต่แตกต่างในขอบเขต ใช้ตามวิธีการคำนวณที่กำหนดในภาคผนวก ก พร้อมด้วยค่าที่ได้แนะนำในภาคผนวก ข จะได้พิกัดที่มีระยะช่องว่างเพียงพอของพิกัด G2 (เชิงสถิต และเชิงจลน์)

พิกัดประกอบไปด้วยค่าที่ยอมให้ทั้งหมดของ $M_1$ กับ $M_2$ที่จำเป็นสำหรับการบำรุงรักษาทางรถไฟ (ที่ใช้หินรองทาง)และ ค่าที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ $M_3$ สำหรับพิกัดสำหรับการเปิดประตูและความปลอดภัยของบุคลากร

เพื่อให้มั่นใจได้ว่ามีเข้ากันได้กับพิกัดรถไฟ จำเป็นต้องมีการบำรุงทางเพื่อให้สอดคล้องกับค่าคลาดเคลื่อนที่แนะนำตามที่ระบุในตาราง ข.1 ในภาคผนวก ข

ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับของทางรถไฟสำหรับ V < 80 กม. / ชม. และเป็นทางที่คุณภาพไม่ดี ("รางอื่น ๆ ") ถือว่าเพียงพอ การติดตั้งชานชาลาและนิยามของพื้นที่ล้อได้ถูกกำหนดตามพิกัด G1 และคุณลักษณะรถไฟอ้างอิงมีลักษณะเหมือนกับที่ใช้ในพิกัด G2 และได้ถูกกำหนดไว้ในภาคผนวก ฉ

**ข.3.2 การหาค่าพิกัด**




**คำสำคัญ**

- 1 บริเวณการติดตั้งชานชาลามีระยะ 550 มิลลิเมตร ถึง 1000 มิลลิเมตร
- 2 บนทางรถไฟทางตรง
- 3 ในโค้ง

**รูปที่ ข.2 พิกัด GU2**

สมการต่อไปนี้สามารถใช้กับเส้นแนว GU2 ที่อยู่ในโค้งเพื่อคาดการณ์พิกัดนี้สำหรับโค้งที่มีรัศมีน้อยกว่า 250 เมตร

**ตารางที่ ช.1 การล้มคว่ำเพิ่มเติม หน่วยเป็นเมตร**

| รัศมี R | $S_i$(ด้านในโค้ง) | $S_a$(ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0{,}185$ | $\frac{60}{R} - 0{,}225$ |

**ช.4 GUC**

**ช.4.1 พิกัด GUC**

พิกัด GUC เป็นพิกัดที่มีความสม่ำเสมอที่ถูกกำหนดขึ้นโดยอิงตามพิกัดที่มีการทำงานร่วมกันระหว่างโครงข่ายGC ถูกใช้ในประเทศต่างๆ ในยุโรป โดยเฉพาะเส้นทางที่ใช้ความเร็วสูง พิกัดนี้หาได้จากเส้นแนวตายตัว

ข้อบังคับสำหรับการประมาณค่าพิกัดที่อยู่นอกช่วงแสดงไว้ด้านล่างมีไว้สำหรับการใช้งานในโค้งที่มีรัศมีน้อยกว่า 250 เมตร มีค่ายกโค้งและการยกโค้งขาดไม่เกิน 180 มิลลิเมตร เส้นโค้งเปลี่ยนถ่ายในแนวดิ่งไม่เกิน 2,000 เมตร พิจารณาค่าที่ยอมให้เพิ่มเติมในแนวดิ่งเท่ากับ50 มิลลิเมตร

พิกัดประกอบไปด้วยค่าที่ยอมให้ทั้งหมดของ $M_1$ กับ $M_2$ ที่จำเป็นสำหรับการบำรุงรักษาทางรถไฟ (ที่ใช้หินรองทาง)และ ค่าที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ $M_3$

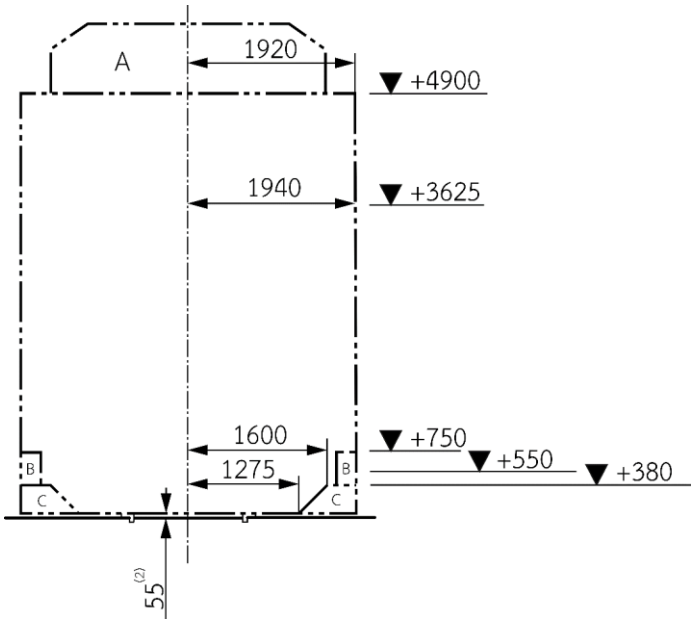
เพื่อให้มั่นใจได้ว่ามีเข้ากันได้กับพิกัดรถไฟ จำเป็นต้องมีการบำรุงทางเพื่อให้สอดคล้องกับค่าคลาดเคลื่อนที่แนะนำตามที่ระบุในตาราง ข.1 ในภาคผนวก ข ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับของทางรถไฟสำหรับ V > 80 กม. / ชม. และเป็นทางที่คุณภาพดีมากถือว่าเป็นสิ่งที่จำเป็น

ในส่วนล่าง บริเวณต่าง ๆ กำหนดไว้ดังนี้: บริเวณสำหรับติดตั้งโครงสร้างที่อยู่ต่ำ บริเวณสำหรับติดตั้งชานชาลาขนาด 550 มิลลิเมตร และ 760 มิลลิเมตร การติดตั้งชานชาลาปฏิบัติตามข้อบังคับของพิกัด G1

ในส่วนบนจะมีการระบุบริเวณสำหรับทางเดินอิสระของ pantograph ที่ใช้สำหรับความสูงของสายสัมผัสที่มีความสูง5.08 เมตรและแรงดันไฟฟ้า 25 kV AC

คุณลักษณะรถไฟอ้างอิงมีลักษณะเหมือนกับที่ใช้ในพิกัด GCและได้ถูกกำหนดไว้ในภาคผนวก ฉ

**ช.4.2 การหาค่าพิกัด**




**คำสำคัญ**

- A บริเวณสำรองไว้สำหรับทางเดินอิสระของ pantograph
- B บริเวณสำหรับติดตั้งชานชาลาสูง 550 มิลลิเมตร และ 760 มม
- C บริเวณสำหรับติดตั้งโครงสร้างที่อยู่ต่ำ

**รูปที่ ช.3 พิกัด GUC**

สมการต่อไปนี้สามารถใช้ เพื่อคาดการณ์พิกัดนี้สำหรับโค้งที่มีรัศมีน้อยกว่า 250 เมตร

**ตารางที่ ช.1 การล้มคว่ำเพิ่มเติม หน่วยเป็นเมตร**

| รัศมี R | $S_l$(ด้านในโค้ง) | $S_a$(ด้านนอกโค้ง) |
|---|---|---|
| $250 > R \geq 150$ | $\frac{50}{R} - 0{,}185$ | $\frac{60}{R} - 0{,}225$ |

## ภาคผนวก ซ แนวทางการซ่อมบำรุงรักษาพิกัด

### ซ.1 บทนำ

การประยุกต์ใช้งานข้อบังคับของพิกัดชนิดต่างๆ จัดเป็นงานเฉพาะทางที่ต้องอาศัยความความชำนาญการพิเศษ

ผู้รับผิดชอบงานด้านทางรถไฟและผู้รับผิดชอบงานด้านพิกัดจะต้องร่วมกันกำหนดมาตรการต่างๆ ขึ้นสำหรับการรักษาระยะพิกัด ที่เอื้ออำนวยต่อการการบำรุงรักษาทางตลอดอายุการใช้งาน

ภาคผนวกนี้อธิบายถึงแนวทางพื้นฐานในการบำรุงรักษาทาง เพื่อเป็นแนวทางให้กับผู้รับผิดชอบด้านงานซ่อมบำรุง

### ซ.2 การเลือกใช้พิกัด

การเลือกพิกัดประเภทต่างๆ มาใช้งานเป็นหน้าที่ของผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐาน เนื่องด้วยการกำหนดค่าที่ยอมให้ (M) จะต้องคำนึงถึงสภาพจริงของระบบทางรถไฟตลอดเส้นทาง ผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐานอาจกำหนดพิกัดโครงสร้างขึ้นหลาย ๆ ตัว เพื่อใช้กับทางรถไฟในช่วงต่าง ๆ

เนื่องจากการตรวจสอบพิกัดขอบเขตกระทำได้ยากในทางปฏิบัติและต้องอาศัยผู้ชำนาญการ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องกำหนดพิกัดระบุหรือuniform gauge ที่ง่ายต่อการใช้งานในทางปฏิบัติและไม่จำเป็นต้องอาศัยผู้ชำนาญการ พิกัดเหล่านี้จะทำให้บุคคลากรสามารถแก้ไขปัญหาที่หน้างานได้ง่ายและไม่ต้องอาศัยการคำนวณอย่างละเอียดแต่อย่างใด

### ซ.3 ข้อบังคับสำหรับการติดตั้ง

#### ซ.3.1 แนวทางการติดตั้งอุปกรณ์ตามแนวราง

โดยทั่วไปแล้วการกำหนดพิกัดชนิดต่าง ๆ ไม่ได้คำนึงถึงการกีดขวางจากอุปกรณ์ตามแนวรางเช่น ป้ายสัญญาณ, เสาไฟ ฯลฯ

อุปกรณ์เหล่านี้มักถูกติดตั้งให้ใกล้กับทางรถไฟมากที่สุดแต่ยังมีระยะห่างอยู่ระดับหนึ่งที่เผื่อไว้สำหรับเหตุผลต่างๆ เช่น การปรับผังรางในอนาคต ระยะห่างที่เผื่อไว้ดังกล่าวยังเอื้ออำนวยให้การบำรุงรักษาพิกัดทำได้ง่ายขึ้นเนื่องจากสามารถลดความถี่ของการตรวจสอบตำแหน่งของอุปกรณ์ตามแนวรางลงได้

เนื่องด้วยเหตุผลข้างต้นจึงแนะนำให้จัดทำรูปตัดขวางมาตรฐานที่แสดงระยะห่างระหว่างทางรถไฟและอุปกรณ์ตามแนวรางชนิดต่าง ๆ

แนวความคิดข้างต้นสามารถนำไปใช้ได้กับโครงสร้างหรืออุปกรณ์แบบติดตั้งถาวรอื่น ๆ ได้เช่นกัน ในกรณีนี้แนะนำให้กำหนด nominal free section เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นต่อการปรับปรุงงานระบบต่างๆในอนาคต

**ซ.3.2 แนวทางการติดตั้งรางขนานกับโครงสร้าง**

ในกรณีของการติดตั้งรางและทางรถไฟตามแนวขนานกับโครงสร้างต่าง ๆ เช่น ชานชาลา ข้อควรพิจารณาต่าง ๆ จะแตกต่างจากการติดตั้งรางและทางรถไฟปกติทั่วไป การศึกษาทางการเงิน (financial study) ช่วยให้สามารถกำหนดการติดตั้งรางที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณาถึงราคาก่อสร้าง ค่าบริหารจัดการ และข้อจำกัดในการใช้ทางรถไฟ

**ซ.3.3 แนวทางการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว**

ในบางกรณีมีความจำเป็นต้องอาศัยโครงสร้างชั่วคราวในการบำรุงรักษาโครงสร้างหลัก (สะพาน อุโมงค์ ฯลฯ) หรือการวาง provisional tracks

การติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวลงในระบบทางรถไฟจะก่อให้เกิดความเสี่ยงต่างๆ ซึ่งไม่อาจละเลยได้ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ข้อบังคับในมาตรฐานฉบับนี้ถูกนำไปใช้อย่างเข็มงวด โครงสร้างชั่วคราวจะไม่ก็ให้เกิดผลกระทบต่อการเดินรถในสภาวะปกติแต่อย่างใด แต่อาจส่งผลต่อกระทบต่อการเดินรถชนิดพิเศษได้

**ซ.4 การบริหารจัดการและตรวจสอบโครงสร้าง**

**ซ.4.1 หลักการในการบริหารจัดการ**

ถ้าผู้รับผิดชอบงานด้านโครงสร้างพื้นฐานรับรองการมีอยู่ของโครงสร้างที่ตั้งอยู่ใกล้กับพิกัด หรือโครงสร้างที่ล้ำเข้ามาในพิกัดระบุ ผู้รับผิดชอบด้านการซ่อมบำรุงจัดจะต้องจัดให้มีระบบบริหารจัดการขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนี้

- กำหนดระยะห่างของการติดตั้งโครงสร้าง/อุปกรณ์ สำหรับการตรวจสอบพิกัด
- ประเมินผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงผังทางเดินรถ
- ประเมินความเป็นไปได้ของการขนส่งชนิดพิเศษต่าง ๆ
- ประเมินความเป็นไปได้ของการปรับปรุงพิกัด

สำหรับโครงสร้างแต่ละตัว แนะนำให้กำหนด

- ตำแหน่งสัมพัทธ์ของโครงสร้างเทียบกับตำแหน่งของราง (รูปตัด)
- ข้อมูลที่เกี่ยวของกับผัง (รัศมีความโค้ง ค่ายกโค้ง ในโค้ง/นอกโค้ง)
- ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเดินรถ (ความเร็วรถ พิกัดที่ใช้ ฯลฯ)

**ซ.4.2 การบริหารจัดการกรณีวิกฤต**

มาตรการพิเศษต่างๆ จะต้องถูกกำหนดขึ้นเพื่อจัดการกับโครงสร้างวิกฤติ (โครงสร้างที่มีความเสี่ยงจะรุกล้ำเข้าไปในพิกัด) เช่น

- เพิ่มความถี่ของการควบคุม
- ยึดรั้งตำแหน่งของรางโดยอาศัย sleeper block หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่คล้ายคลึง
- ลดความเร็วในการเดินรถ ถ้าปัจจัยดังกล่าวมีผลกระทบต่อการคำนวณพิกัด
- ใช้ track slewing หรือเปลี่ยนค่ายกโค้ง
- มาตรการอื่นใดที่ใช้เพื่อการป้องกันไม่ให้สถานการณ์แย่ลง

สำหรับกรณีหลัง อาจทำการติดตั้งหมุดตำแหน่งตามแนวรางเพื่อให้การดำเนินการดังต่อไปนี้สามารถกระทำได้อย่างรวดเร็ว 1) การตรวจสอบตำแหน่งของราง 2) การประเมินผลกระทบจากการซ่อมบำรุง การติดตั้งหมุดตำแหน่งสามารถใช้ได้กับการแก้ปัญหาพิกัดทางดิ่งและราบ แนะนำให้ติดตั้งหมุดตำแหน่งสำหรับการตรวจสอบความสูงน้อยที่สุดของสายสัมผัส

**ซ.4.3 การตรวจวัดขนาดของโครงสร้างในเชิงปฏิบัติ**

ในระหว่างดำเนินการตรวจวัดขนาดของโครงสร้าง แนะนำให้จัดทำผังแสดงระยะห่างสัมพัทธ์ระหว่างโครงสร้างที่กำลังตรวจวัดกับทางรถไฟ ระยะห่างสัมพัทธ์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับระยะในแนวดิ่ง ระยะในแนวราบ และค่ายกโค้ง

ความถี่ของการตรวจสอบขึ้นอยู่กับสภาพการเดินขบวนรถ รอบเวลาการซ่อมบำรุง ความมีเสถียรภาพของโครงสร้าง และค่าที่ยอมให้ของระยะระหว่างโครงสร้างกับราง ความถี่ของการตรวจสอบให้กำหนดโดยประสบการณ์ของผู้รับผิดชอบด้านโครงสร้างพื้นฐาน โดยต้องกำหนดให้มีความสอดคล้องกับค่าความคลาดเคลื่อนที่ใช้ในการคำนวณ $M_2$

ในการแปลผลของการวัดทวนสอบให้คำนึงถึงผลกระทบจากของความละเอียดของระบบการวัดด้วยดังนี้

ความละเอียดของการตรวจวัด (จำนวนจุดต่อพื้นที่) ค่านี้มีความจำเป็นต่อการนำไปประเมินความขรุขระของผิวโครงสร้าง (วัสดุก่อ กำแพงหิน ฯลฯ)
ความละเอียดของการตรวจวัด (ค่าเบี่ยงมาตรฐานของความผิดพลาดจากการตรวจวัด)

ผู้รับผิดชอบด้านโครงสร้างพื้นฐานสามารถรวมผลความคลาดเคลื่อนทั้งสองประการข้างต้นเข้าไว้ด้วยกันแล้วนำค่าดังกล่าวไปใช้กับสมการที่ให้ไว้ในภาคผนวก A ได้โดยตรงเนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัดเหล่านี้จัดเป็นเหตุการณ์แบบสุ่ม

**ซ.5 ผลกระทบจากการบำรุงรักษาราง**

ระหว่างการดำเนินการซ่อมบำรุง โครงสร้างทุกชนิดที่อยู่ใกล้กับพิกัดจะต้องถูกตรวจสอบเพื่อทำให้ทราบถึงผลกระทบจากการบำรุงรักษารางต่อการบำรุงรักษาพิกัด ให้สังเกตว่า lift slewing หรือ การเปลี่ยนค่ายกโค้งมีความเสี่ยงต่อการเกิดผลกระทบอย่างรุนแรงต่อค่าระยะที่ยอมให้และต่อการบำรุงรักษาพิกัด

**ซ.6 การอบรมบุคลากร**

เนื่องจากเรื่องที่เกี่ยวข้องกับพิกัดเป็นเรื่องที่ซับซ้อน ดังนั้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งที่จะต้องจัดให้มีการอบรมให้กับบุคลากรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยจะต้องแบ่งหัวข้อการอบรมออกเป็นส่วนๆ ให้เหมาะสมกับบุคลากรในภาคส่วนต่างๆ

# มขร S-T-003-256x

## มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง

## Track Alignment Design



สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร พ.ศ. xxxx

# คำนำ

มาตรฐานเล่มนี้ เป็นมาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง ซึ่งกำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

- STANDARD, I., I.S.EN 13803-1, Railway Applications Track-Track alignment design Parameters Track gauges 1435 mm and wider in Part1: Plain line. 2010.
- STANDARD, I., EN 13803-2, Railway applications- Track- Track alignment design parameters- Track gauges 1435 mm and wider in Part 2: Switches and crossings and comparable alignment design situations with abrupt changes of curvature. 2010.
- UIC CODE., The International Union of Railway (UIC) Design Code, in UIC 710 R: Minimum widening on curves track gauge in curves. 2008.
- System, E.M.R.T., HMR: SS: 01-2008: Manual of Specifications and Standards. 2008.



# มขร S-T-003-256x มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง

## 1 ทั่วไป

### 1.1 วัตถุประสงค์

มาตรฐานเล่มนี้ระบุข้อกำหนดทั่วไป ข้อบังคับ ข้อจำกัด และเกณฑ์ทางเทคนิคที่ใช้ในการออกแบบแนวทางรถไฟและการคำนวณความเร็วที่ยอมให้ในการเดินรถสำหรับทางรถไฟ

### 1.2 ขอบเขต

- มาตรฐานเล่มนี้ใช้สำหรับเส้นทางรถไฟที่มีขนาดทาง 1.435 เมตรและกว้างกว่า มีความเร็วที่ยอมให้ในการเดินรถอยู่ในช่วงระหว่าง 80-300 กิโลเมตร/ชั่วโมง ในกรณีที่ต้องการนำมาตรฐานเล่มนี้ไปใช้กับทางรถไฟที่มีขนาดกว้างกว่า 1.435 เมตร สามารถใช้หลักการแปลงค่าตาม EN 13803-1 ใน**ภาคผนวก มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง** [1] ได้ และสำหรับทางรถไฟระหว่างเมืองที่มีขนาดทาง 1.000 เมตร สามารถใช้หลักการแปลงค่า ใน**ภาคผนวก มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง** หรือข้อกำหนดของการรถไฟแห่งประเทศไทย รฟท. ที่มีความปลอดภัยสูงกว่าค่าและเงื่อนไขที่ระบุไว้สำหรับช่วงความเร็วตามมาตรฐานนี้สามารถใช้กับเส้นทางรถไฟที่มีความเร็วที่ยอมให้ต่ำกว่า 80 กิโลเมตร./ชั่วโมง ได้ แต่ในกรณีนี้อาจต้องใช้ค่าที่จำกัดมากขึ้นหรือน้อยลงและควรถูกกำหนดไว้ในสัญญา

- มาตรฐานเล่มนี้ใช้ร่วมกับรถไฟที่ยอมให้มีการยกโค้งสูงได้

- มาตรฐานนี้ครอบคลุม ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางหลักในเมือง ตามมาตรฐาน มขร S-T-001-256x **มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ** [2]

- มาตรฐานนี้ครอบคลุม ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งทางรางระบบรอง ตามมาตรฐาน มขร S-T-001-256x **มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ** [2] ที่มีขนาดทาง 1.435 เมตรหรือกว้างกว่า

### 1.3 มาตรฐานอ้างอิง

- มขร S-T-001-256x มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ [2]
- มขร S-T-002-256x มาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ [3]
- มขร S-T-004-256x มาตรฐานออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง [4]

## 2 นิยามและสัญลักษณ์

### 2.1 นิยาม

**องค์ประกอบของแนวเส้นทาง (Alignment Element) หมายถึง** องค์ประกอบของแนวทางรถไฟทั้งในทางดิ่ง ทางราบ และการยกโค้ง (หมายเหตุ: ถ้าไม่ได้ระบุเป็นอย่างอื่น ตัวแปรการออกแบบองค์ประกอบของแนวเส้นทาง ให้อิงจากแนวศูนย์กลางราง



**โค้งกลม (Circular Curve) หมายถึง** แนวโค้งที่มีรัศมีและมีการยกโค้งคงที่

**โค้งเปลี่ยนผ่านหรือโค้งต่อ (Transition Curve) หมายถึง** แนวโค้งที่มีการแปรเปลี่ยนรัศมีโค้งและมีการปรับค่าการยกโค้ง ใช้เชื่อมระหว่างโค้งกลมและทางตรง เพื่อลดแรงเหวี่ยง หรือให้ความเร่งและแรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงทีละน้อย (หมายเหตุ : ปกติไม่ใช้เส้นโค้งเปลี่ยนผ่าน (Transition Curve) สำหรับการวางแนวเส้นทางทางดิ่ง)

**โค้งผสม (Compound Curve) หมายถึง** โค้งที่ประกอบด้วยโค้งกลมสองโค้งหรือมากกว่า ซึ่งมีการวางแนวในทิศทางเดียวกัน (หมายเหตุ: เส้นโค้งผสมนี้ อาจรวมถึงโค้งเปลี่ยนผ่านระหว่างเส้นโค้งวงกลมและ/หรือเส้นโค้งวงกลมและเส้นตรง)

**โค้งกลับทิศ (Reverse Curve) หมายถึง** โค้งที่ประกอบด้วยโค้งสองโค้งหรือมากกว่า ซึ่งมีการวางแนวในทิศทางตรงข้ามกัน (หมายเหตุ: โค้งที่ประกอบกันหลายโค้งอาจเป็นทั้งโค้งผสมและโค้งกลับทิศ)

**ค่ายกโค้ง (Cant) หมายถึง** ค่าความสูงของการยกรางด้านหนึ่งให้สูงกว่าอีกด้านหนึ่ง (หมายเหตุ ค่ายกโค้งเป็นบวกเมื่อรางด้านนอกโค้งถูกยกขึ้นเหนือรางด้านใน และเป็นลบเมื่อรางด้านในโค้งถูกยกขึ้นเหนือรางด้านนอก ค่ายกโค้งที่เป็นลบจำเป็นต้องมีในบริเวณที่มีประแจหลีกแยกออกในทิศทางตรงกันข้ามกับโค้งของเส้นทางหลัก [5])

**ค่าสมดุลของการยกโค้ง (Equilibrium Cant) หมายถึง** ค่ายกโค้งที่ไม่ทำให้เกิดความเร่งด้านข้างแรงผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะตั้งฉากกับระนาบรางวิ่ง (หมายเหตุ: ในการยกโค้งจะยกโค้งให้สมดุลได้สำหรับความเร็วหนึ่งเท่านั้น)

**ค่าการยกโค้งจริง (Actual Cant) หมายถึง** ค่ายกโค้งที่ใช้ในทางปฏิบัติจริง

**ส่วนเกินของการยกโค้ง (Cant Excess) หมายถึง** ส่วนต่างของค่าการยกโค้งจริงที่มากกว่าค่าสมดุลของการยกโค้ง

**ส่วนขาดของการยกโค้ง (Cant Deficiency) หมายถึง** ส่วนต่างของค่าการยกโค้งจริงที่น้อยกว่าค่าสมดุลของการยกโค้ง (หมายเหตุ: การยกโค้งจริงที่น้อยกว่าค่าสมดุลของการยกโค้งสำหรับความเร็วหนึ่ง จะทำให้มีความเร่งด้านข้างเหลือในทิศทางความเร่งหนีศูนย์)

**ค่าการยกโค้งสูงสุด (Maximum Cant) หมายถึง** ค่าการยกโค้งที่ยอมให้ทำได้สูงสุด (หมายเหตุ: ค่าการยกโค้งที่ยอมให้ทำได้สูงสุด คิดจากกรณีที่ขบวนรถจำเป็นต้องหยุดจอดในโค้ง)

**ค่าการยกโค้งเปลี่ยนผ่านหรือค่าการยกโค้งต่อ (Cant Transition) หมายถึง** ค่าการยกโค้งในช่วงโค้งเปลี่ยนผ่านหรือโค้งต่อ ซึ่งมีการปรับค่ายกโค้งเปลี่ยนแปลงตามความยาวตามทางวิ่ง (หมายเหตุ : ค่าการยกโค้งเปลี่ยนผ่าน จะพิจารณาจาก ความลาดชันของค่ายกโค้ง (Cant Gradient) และอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายกโค้ง (Rate of Change of Cant))



**ความลาดชันของค่ายกโค้ง (Cant Gradient) หมายถึง** การเปลี่ยนแปลงค่ายกโค้งเทียบกับระยะตามแนวทางวิ่ง (หมายเหตุ : ความลาดชันของค่ายกโค้ง เท่ากับ 1:500 หมายถึง ค่าการยกโค้ง 1 เมตร ในระยะทาง 500 เมตร)

**อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายกโค้ง (Rate of Change of Cant) หมายถึง** อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าการยกโค้งเทียบกับเวลา (หมายเหตุ : ตัวอย่างเช่น ต้องการยกโค้ง 70 mm โดยใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายกโค้ง เท่ากับ 35 มิลลิเมตร/วินาที หมายถึง ใช้เวลาในการยกโค้งนี้เท่ากับ 70/35 เท่ากับ 2 วินาที)

**อัตราการเปลี่ยนแปลงส่วนขาดของการยกโค้ง (Rate of Change of Cant Deficiency) หมายถึง** อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าส่วนขาดของการยกโค้งเทียบกับเวลา

**ความเร็วสูงสุดที่อนุญาตให้ผ่าน (Maximum Permissible Speed) หมายถึง** ความเร็วสูงสุดที่ยอมให้ขบวนรถวิ่งผ่านแนวทางรถไฟที่กำหนด

## 2.2 สัญลักษณ์

สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง แสดงดัง**ตารางที่ 3-1**

**ตารางที่ 3-1 สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง**

| ลำดับที่ | สัญลักษณ์ | ความหมาย | หน่วย |
|---|---|---|---|
| 1 | $a_i$ | ความเร่งหนีศูนย์ที่ระดับรางแต่ขนานกับพื้นของยานพาหนะ | เมตร/วินาที$^2$ |
| 2 | $a_q$ | ความเร่งหนีศูนย์ที่ไม่มีการชดเชยในระนาบการเคลื่อนที่ | เมตร/วินาที$^2$ |
| 3 | $C$ | สัมประสิทธิ์ในการคำนวณการยกโค้งแบบสมดุล | มิลลิเมตร-เมตร-ชั่วโมง$^2$/กิโลเมตร$^2$ |
| 4 | $da_i$ / dt | อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร่งกึ่งสถิตด้านข้างที่ระดับรางแต่ขนานกับพื้นของยานพาหนะ | เมตร/วินาที$^3$ |
| 5 | $da_q$ / dt | อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร่งด้านข้างที่ไม่มีการชดเชยในระนาบการเคลื่อนที่ | เมตร/วินาที$^3$ |
| 6 | $dD$ / ds | ความลาดชันของค่ายกโค้ง | มิลลิเมตร/เมตร |
| 7 | $dD$ / dt | อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายกโค้ง | มิลลิเมตร/วินาที |
| 8 | $dI$ / dt | อัตราการเปลี่ยนแปลงของการยกโค้งที่ขาด (และ/หรือ มากเกินไป) ต่อเวลา | มิลลิเมตร/วินาที |
| 9 | $D$ | ค่ายกโค้ง | มิลลิเมตร |
| 10 | $D_{EQ}$ | ค่าสมดุลของการยกโค้ง | มิลลิเมตร |
| 11 | $e$ | ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของแผ่นยึดสัมผัสทั้งสองชุดของชุดล้อ (เช่นประมาณ 1500 มิลลิเมตร สำหรับรางขนาด 1435 มิลลิเมตร) | มิลลิเมตร |
| 12 | $E$ | ส่วนเกินของการยกโค้ง | มิลลิเมตร |
| 13 | $g$ | ความเร่งจากแรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 เมตร/วินาที$^2$ | เมตร/วินาที$^2$ |
| 14 | $h_g$ | ความสูงของจุดศูนย์ถ่วง | มิลลิเมตร |
| 15 | $I$ | ส่วนขาดของการยกโค้ง | มิลลิเมตร |

| ลำดับที่ | สัญลักษณ์ | ความหมาย | หน่วย |
|---|---|---|---|
| 16 | $L_d$ | ความยาวของแนวโค้งเปลี่ยนผ่านที่ยกโค้ง | เมตร |
| 17 | $L_k$ | ความยาวของแนวโค้งเปลี่ยนผ่าน | เมตร |
| 18 | $L_i$ | ความยาวของการวางแนว (เส้นโค้งวงกลมและเส้นตรง) ระหว่างโค้งเปลี่ยนผ่าน | เมตร |
| 19 | $\lim$ | ขีดจำกัด (ดัชนี) | - |
| 20 | $\max$ | ค่าสูงสุด (ดัชนี) | - |
| 21 | $\min$ | ค่าต่ำสุด (ดัชนี) | - |
| 22 | $q_D$ | สัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณความยาวของแนวโค้งเปลี่ยนผ่านที่ยกโค้ง | เมตร·ชั่วโมง/(กิโลเมตร · มิลลิเมตร) |
| 23 | $q_I$ | สัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณความยาวของแนวโค้งเปลี่ยนผ่าน | เมตร·ชั่วโมง/(กิโลเมตร · มิลลิเมตร) |
| 24 | $q_N$ | สัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณความยาวของแนวโค้งเปลี่ยนผ่านที่ยกโค้งหรือแนวโค้งเปลี่ยนผ่าน แบบความลาดชันของค่ายกโค้ง(Cant) และค่าความโค้ง(Curvature) ไม่คงที่ | - |
| 25 | $q_R$ | สัมประสิทธิ์สำหรับการคำนวณรัศมีทางดิ่ง | เมตร·ชั่วโมง$^2$/(กิโลเมตร$^2$) |
| 26 | $q_V$ | สัมประสิทธิ์สำหรับการเปลี่ยนหน่วยความเร็วของยานพาหนะ 3.6 กิโลเมตร·วินาที/(ชั่วโมง·เมตร) | กิโลเมตร-วินาที/(ชั่วโมง·เมตร) |
| 27 | $R$ | รัศมีโค้งทางราบ | เมตร |
| 28 | $R_V$ | รัศมีโค้งทางดิ่ง | เมตร |
| 29 | $s$ | ระยะทางตามทางวิ่ง | เมตร |
| 30 | $S_r$ | สัมประสิทธิ์การดัดม้วน เทียบเท่ากับสัมประสิทธิ์การดัด s ใน EN 15273-1 | - |
| 31 | $S_t$ | สัมประสิทธิ์ชดเชยการเอียงของระบบการเอียง | - |
| 32 | $t$ | เวลา | วินาที |
| 33 | $V$ | ความเร็ว | กิโลเมตร/ชั่วโมง |
| 34 | $V_{\max}$ | ความเร็วสูงสุดสำหรับรถไฟวิ่งเร็ว | กิโลเมตร/ชั่วโมง |
| 35 | $V_{\min}$ | ความเร็วต่ำสุดสำหรับรถไฟวิ่งช้า | กิโลเมตร/ชั่วโมง |
| 36 | $\Delta a_q$ | ช่วงของความเร่งหนีศูนย์ที่ไม่มีการชดเชย | เมตร/วินาที$^2$ |
| 37 | $\Delta D$ | ช่วงของค่าการยกโค้ง | มิลลิเมตร |
| 38 | $\Delta I$ | ช่วงของค่าโดยรวมของส่วนการยกโค้งขาด และหรือส่วนการยกโค้งเกิน | มิลลิเมตร |

# 3 การออกแบบและวางแนวเส้นทาง

## 3.1 ทั่วไป

การออกแบบทางเรขาคณิตและวางแนวเส้นทางตามมาตรฐานนี้ จะกล่าวถึง การวางแนวเส้นทาง ทั้งในทางตรงและทางโค้ง ความลาดชันของรางรถไฟซึ่งประกอบด้วย การชดเชยความลาดชัน ความลาดชันขึ้นเนิน และความลาดชันลงเนิน ความโค้งของเส้นทางรถไฟซึ่งประกอบด้วย โค้งราบและโค้งดิ่ง โค้งเปลี่ยนผ่านหรือโค้งต่อ รัศมีหรือองศาของโค้ง การยกโค้ง เป็นต้น [6]



## 3.2 หลักการออกแบบทางเรขาคณิต (Geometric Design Concept)

หลักในการพิจารณาออกแบบและวางแนวเส้นทางรถไฟ คือ เพื่อให้ขับเคลื่อนของรถไฟเป็นไปด้วยความราบเรียบและปลอดภัย สามารถทำความเร็วได้สูงสุด สามารถแบกน้ำหนักบรรทุกลงเพลาได้สูง ป้องกันการเกิดอุบัติเหตุและการตกราง และมีการบำรุงรักษาเส้นทางน้อยที่สุด [6] อย่างไรก็ตามในการออกแบบให้ขบวนรถมีประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ได้สูงจะทำให้ค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษาสูงตามไปด้วย มาตรฐานฉบับนี้ออกแบบตามความเร็วอนุญาตตามเส้นทางที่กำหนดเท่านั้น เพื่อให้ค่าก่อสร้างและค่าบำรุงรักษาเกิดขึ้นน้อยที่สุด [1]

## 3.3 ตัวแปรที่ใช้ออกแบบแนวเส้นทาง (Track Alignment Design Parameters)

- รัศมีของโค้งทางราบ $(\mathrm{R})$ เมตร)ช (* S)
- ค่ายกโค้ง $(D)$ มิลลิเมตร (* S)
- ส่วนขาดของการยกโค้ง $(\mathrm{I})$ มิลลิเมตร (* S)
- ส่วนขาดของการยกโค้ง $(\mathrm{E})$ มิลลิเมตร
- อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่ายกโค้งต่อความยาวตามแนวโค้ง $(\mathrm{dD}/ds)$ มิลลิเมตร/เมตร (*S)
- อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่ายกโค้งต่อเวลา $(\mathrm{dD}/dt)$ มิลลิเมตร/วินาที
- อัตราการเปลี่ยนแปลงของการยกโค้งที่ขาด (และ/หรือ มากเกินไป) ต่อเวลา $(dD/\mathrm{dt})$ มิลลิเมตร/วินาที
- ความยาวของแนวโค้งเปลี่ยนผ่านที่ยกโค้ง $L_d$ เมตร (*S)
- ความยาวของแนวโค้งเปลี่ยนผ่าน $L_K$ เมตร
- ความเร็ว $(V)$ กิโลเมตร/ชั่วโมง (* S)
- ความยาวของการวางแนว (เส้นโค้งวงกลมและเส้นตรง) ระหว่างโค้งเปลี่ยนผ่าน $L_i$ เมตร
- รัศมีของโค้งทางดิ่ง $R_V$ เมตร
- ตัวแปรข้างต้นที่ตามด้วย (* S) เป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย

## 3.4 ตัวแปรในการวัดปริมาณ (Parameter Quantification)

ค่าตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบตามมาตรฐานนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ 1) ค่าออกแบบตามขีดจำกัดปกติ (Normal Limit) และ 2) ค่าออกแบบตามขีดจำกัดพิเศษ (Exceptional Limit) ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 2 ส่วน คือ ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย (*S) เป็นตัวแปรให้ความสำคัญสูง ข้อจำกัดเกี่ยวข้องกับตัวแปรเหล่านี้เป็นข้อจำกัดสูงสุด พิจารณาจากสภาพที่เป็นจริงจากกลศาสตร์ทางวิศวกรรมรถไฟ และตัวแปรที่ไม่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย ข้อจำกัดของตัวแปรประเภทนี้ พิจารณาจากความสบายของผู้โดยสาร การบำรุงรักษา เป็นต้น

## 3.5 การออกแบบทางราบ (Horizontal Profile)

### 3.5.1 รัศมีของโค้งทางราบ (Radius of Horizontal Curve, R)

รัศมีโค้งทางราบของแนวทางทางรถไฟควรออกแบบให้มีค่ามากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ สำหรับมาตรฐานฉบับนี้ กำหนดให้



- ขีดจำกัดปกติสำหรับรัศมีโค้งทางราบ ไม่น้อยกว่า 190 เมตร [1]
- ขีดจำกัดพิเศษรัศมีโค้งทางราบ ไม่น้อยกว่า 150 เมตร [1]

หากรัศมีของโค้งทางราบน้อยกว่านี้ จะส่งผลให้ความเร็วที่อนุญาตต่ำกว่า 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก**สมการ (3.1)** โดยตัวแปรที่จะต้องพิจารณาในการกำหนดรัศมีโค้งต่ำสุด คือ ความเร็วสูงสุดและต่ำสุด, ค่ายกโค้ง, ขีดจำกัดของส่วนการยกโค้งขาดและ/หรือส่วนการยกโค้งเกิน ที่ค่าความเร็วสูงสุด $V_{\max}$ และค่าส่วนการยกโค้งขาดสูงสุด $I_{\lim}$ ใด ๆ รัศมีเส้นโค้งที่อนุญาตต่ำสุดจะคำนวณโดยใช้**สมการ (3.1)** ดังนี้

$$R_{\min} = \frac{C}{D + \mathrm{I}_{\mathrm{m}in}} \cdot V_{\max}^2 \text{ เมตร} \tag{3.1}$$

**โดยที่** $C$ = 11.8 มิลลิเมตร•เมตร•ชั่วโมง$^2$/กิโลเมตร$^2$

และในกรณีที่ค่ายกโค้งจริงมากกว่าขีดจำกัดส่วนเกินของการยกโค้ง ( $D > E_{\lim}$ ) รัศมีเส้นโค้งที่อนุญาตสูงสุดสำหรับความเร็วต่ำสุด $V_{\min}$ ให้คำนวณโดยใช้**สมการ (3.2)**

$$R_{\max} = \frac{C}{D - E_{\lim}} \cdot V_{\min}^2 \text{ เมตร} \tag{3.2}$$

**โดยที่** $C$ = 11.8 มิลลิเมตร•เมตร•ชั่วโมง$^2$/กิโลเมตร$^2$ และ $D > E_{\lim}$

**โค้งทางราบบริเวณชานชาลา** ควรมีรัศมีโค้งทางราบไม่น้อยกว่า 1,000 เมตร [7] เนื่องจากจะส่งผลกระทบถึงช่องว่างระหว่างชานชาลากับตัวรถ และความปลอดภัยของผู้โดยสาร

**โค้งทางราบที่มีรัศมีแคบ** อาจจำเป็นต้องมีการขยายขนาดรางในบริเวณทางโค้ง เนื่องจากเพลากลางของขบวนรถบางขบวนขยับไม่ได้ [1]

**โค้งแคบ (รัศมีโค้งทางราบน้อย)** ควรมีจำนวนน้อยที่สุดเพื่อลดการบำรุงรักษารางรถไฟ และล้อของรถไฟจะสึกหรอได้มากกว่า เมื่อรัศมีโค้งมีขนาดเล็ก [7]

**รัศมีโค้งทางราบต่ำสุดที่** ทำให้รู้สึกสบาย มีค่าไม่น้อยกว่า 400 เมตร [7]

### 3.5.2 การยกโค้ง (Super Elevation)

- ยกโค้ง $(D)$

  โค้งในทางราบควรออกแบบให้มีค่ายกโค้งที่ขีดจำกัดปกติ ไม่เกิน 160 มิลลิเมตร ค่ายกโค้งที่ขีดจำกัดพิเศษ ไม่เกิน 180 มิลลิเมตร [1] และค่ายกโค้งสำหรับทางวิ่งที่ติดกับชานชาลา



ผู้โดยสารไม่เกิน 110 มิลลิเมตร เพื่อหลีกเลี่ยงความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดการตกราง สำหรับโค้งทางราบรัศมี R <320 เมตร ควรมีค่ายกโค้งต่ำสุดตาม**สมการ (3.3)**

$$D_{\lim} = \frac{R - 50m}{1.5m/mm} \text{ มิลลิเมตร} \tag{3.3}$$

- ส่วนขาดของการยกโค้ง (Cant Deficiency I)

ในการออกแบบรัศมีโค้งทางราบ $(R)$ และค่ายกโค้ง $(D)$ ค่าส่วนขาดของการยกโค้งสามารถคำนวณได้จาก **สมการ (3.4)** และ**สมการ (3.5)**

$$I = C \cdot \frac{V^2}{R} - D = D_{EQ} - D \le I_{\lim} \text{ มิลลิเมตร} \tag{3.4}$$

**โดยที่** $C$ = 11.8 มิลลิเมตร•เมตร•ชั่วโมง$^2$/กิโลเมตร$^2$

**เมื่อ** $l_{\lim}$ can be replaced with the value $(a_q)_{\lim} : a_q = (\frac{v}{q_v})^2 . \frac{1}{R} - \frac{g.d}{e}$ (3.5)

$$= \frac{g.l}{e} \le (a_q)_{\lim}$$

$$= \frac{g.l_{\lim}}{e} \text{ เมตร/วินาที}^2$$

และขีดจำกัดปกติและพิเศษสำหรับค่าส่วนขาดของการยกโค้ง แสดงใน**ตารางที่ 3-2**

**ตารางที่ 3-2 ข้อจำกัดของการยกโค้งส่วนที่ขาด**

| ความเร็ว (กิโลเมตร./ชั่วโมง.) | ขีดจำกัดปกติ | ขีดจำกัดพิเศษ |
|---|---|---|
| สำหรับรถไฟที่ตัวรถไม่มีการเอียง (Non-tilting Train) | | |
| $80 \le v \le 200$ | 130 มิลลิเมตร | 183 มิลลิเมตร |
| $200 \le v \le 230$ | 130 มิลลิเมตร | 168 มิลลิเมตร |
| $230 \le v \le 250$ | 130 มิลลิเมตร | 153 มิลลิเมตร |
| $250 \le v \le 300$ | 100 มิลลิเมตร | 130 มิลลิเมตร |

- ส่วนเกินของการยกโค้ง $(E)$

ค่าส่วนเกินของการยกโค้ง สามารถคำนวณได้จาก**สมการ (3.6)**

$$E = D - C \cdot \frac{V^2}{R} = D - D_{EQ} \text{ มิลลิเมตร} \tag{3.6}$$

**โดยที่** $C$ = 11.8 มิลลิเมตร•เมตร•ชั่วโมง$^2$/กิโลเมตร$^2$

ซึ่งขีดจำกัดปกติสำหรับค่าส่วนเกินของการยกโค้ง $(E)$ ไม่เกิน 110 มิลลิเมตร



- ความลาดชันของค่ายกโค้ง $(dD/ds)$

  ความลาดชันของค่ายกโค้ง $(dD/ds)$ สูงสุดที่ออกแบบจะต้องไม่เกินขีดจำกัดตาม **สมการ (3.7)**

$$\left(\frac{dD}{ds}\right)_{\max} \le \left(\frac{dD}{ds}\right)_{\lim} \quad (3.7)$$

$$\text{Normal limit: } \left(\frac{dD}{ds}\right)_{\lim} = 2.25 \text{ มิลลิเมตร/เมตร}$$

$$\text{Exceptional limit: } \left(\frac{dD}{ds}\right)_{\lim} = 2.50$$

สำหรับโค้งเปลี่ยนผ่านหรือโค้งต่อ สามารถคำนวณความลาดชันของค่ายกโค้ง $(dD/ds)$ โดยรวมตลอดความยาว $(L_D)$ ได้จาก**สมการ (3.8)**

$$\frac{dD}{ds} = \frac{\Delta D}{L_D} \le \left(\frac{dD}{ds}\right)_{\lim} \text{ มิลลิเมตร/เมตร} \quad (3.8)$$

- อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายกโค้ง $(dD/dt)$

  อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายกโค้ง $(dD/dt)$ ใช้สำหรับโค้งเปลี่ยนผ่านสำหรับ อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายกโค้งที่มีความลาดชันของค่ายกโค้งคงที่ สามารถคำนวณได้จาก**สมการ (3.9)**

$$\frac{dD}{dt} = \frac{\Delta D}{L_D} \cdot \frac{V}{q_v} \le \left(\frac{dD}{dt}\right)_{\lim} \text{ มิลลิเมตร/วินาที} \quad (3.9)$$

**โดยที่** $L_D$ คือ ความยาวของโค้งเปลี่ยนผ่านในหน่วยเมตร

$V$ คือ ความเร็วของรถไฟในหน่วย กิโลเมตร / ชั่วโมง

$q_v$ คือ 3.6 กิโลเมตร-วินาที/(ชั่วโมง•เมตร)

และแสดงขีดจำกัดปกติและพิเศษสำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายกโค้ง ได้แสดงไว้ใน **ตารางที่ 3.3**

**ตารางที่ 3-3 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายกโค้ง สำหรับความลาดชันของค่ายกโค้ง**

| | ขีดจำกัดปกติ | ขีดจำกัดพิเศษ |
|---|---|---|
| **สำหรับรถไฟที่ตัวรถไม่มีการเอียง (Non-tilting Train) $V \le 200$ กิโลเมตร/ชั่วโมง** | | |
| $I \le 168$ มิลลิเมตร | 50 มิลลิเมตร/วินาที | 70 มิลลิเมตร/วินาทีa |
| $168 < I \le 183$ มิลลิเมตร | 50 มิลลิเมตร/วินาที | 50 มิลลิเมตร/วินาที |
| **สำหรับรถไฟที่ตัวรถไม่มีการเอียง (Non-tilting Train) $200 < V \le 300$ กิโลเมตร/ชั่วโมง** | | |
| | 50 มิลลิเมตร/วินาที | 60 มิลลิเมตร/วินาที |
| a เมื่อ $I \le 153$ มิลลิเมตร และ $(dl/dt) \le 70$ มิลลิเมตร/วินาที ขีดจำกัดพิเศษสำหรับ $(dD/dt)$ อาจเพิ่มขึ้นเป็น 85 | | |



| | ขีดจำกัดปกติ | ขีดจำกัดพิเศษ |
|---|---|---|
| มิลลิเมตร/วินาที | | |

สำหรับระดับการยกโค้งก้นหอยกับระดับการยกโค้งทางลาด ตัวแปรค่าของ $(dI/dt)$ จะไม่คงที่ ดัง**สมการ (3.10)**

$$\left(\frac{dD}{dt}\right)_{\max} \le \left(\frac{dD}{dt}\right)_{\lim} \qquad (3.10)$$

Normal limit: $\left(\frac{dD}{dt}\right)_{\lim} = 55$ มิลลิเมตร/วินาที

Exceptional limit: $\left(\frac{dD}{dt}\right)_{\lim} = 76$

- อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าส่วนขาดของการยกโค้ง $(\mathrm{DI}/dt)$

  อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าส่วนขาดของการยกโค้ง $(\mathrm{DI}/dt)$ สูงสุด สามารถคำนวณได้จาก**สมการ (3.11)**

$$\left(\frac{dI}{dt}\right)_{\max} \le \left(\frac{dI}{dt}\right)_{\lim} \text{ มิลลิเมตร/วินาที} \qquad (3.11)$$

แสดงขีดจำกัดปกติและพิเศษสำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าส่วนขาดของการยกโค้ง ได้แสดงไว้ใน**ตารางที่ 3.4**

**ตารางที่ 3-4 อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าส่วนขาดของการยกโค้ง $(\mathrm{DI}/\mathrm{dt})_{\lim}$**

| | ขีดจำกัดปกติ | ขีดจำกัดพิเศษ |
|---|---|---|
| **สำหรับรถไฟที่ตัวรถไม่มีการเอียง (Non-tilting Train) $V \le 200$ กิโลเมตร/ชั่วโมง** | | |
| $\mathrm{I} \le 168$ **มิลลิเมตร** | 55 มิลลิเมตร/วินาที | 100 มิลลิเมตร/วินาที[a] |
| $168 < \mathrm{I} \le 183$ **มิลลิเมตร/วินาที** | 55 มิลลิเมตร/วินาที | 90 มิลลิเมตร/วินาที |
| **สำหรับรถไฟที่ตัวรถไม่มีการเอียง (Non-tilting Train) $200 < V \le 300$ กิโลเมตร/ชั่วโมง** | | |
| | 55 มิลลิเมตร/วินาที | 75 มิลลิเมตร/วินาที |

## 3.6 โค้งเปลี่ยนผ่าน (Transition Curves)

โค้งเปลี่ยนผ่านหรือโค้งต่อควรเป็นแบบ Clothoid, Cubic Parabola หรือ Half Sine Spira

### 3.6.1 ความยาวของโค้งเปลี่ยนผ่านในระนาบแนวราบ $(\mathrm{L}_K)$

ความยาวขั้นต่ำของโค้งเปลี่ยนผ่านที่มีการยกโค้งไปด้วยกัน $(\mathrm{L}_K = \mathrm{L}_D)$ พิจารณาจาก 1) ความลาดชันของค่ายกโค้ง $(\mathrm{dD}/\mathrm{ds})$ 2) อัตราการเปลี่ยนแปลงค่ายกโค้ง $(\mathrm{dD}/\mathrm{dt})$ และ 3) อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าส่วนขาดของการยกโค้ง $(\mathrm{dI}/\mathrm{dt})$ โดยใช้ค่ามากที่สุด ตาม**สมการ (3.12)**



$$L_D \geq \Delta D \cdot \left(\frac{dD}{ds}\right)^{-1}_{\lim} \tag{3.12}$$

$$L_D \geq \frac{V}{q_v} \cdot \Delta D \cdot \left(\frac{dD}{dt}\right)^{-1}_{\lim} \quad \text{มิลลิเมตร}$$

$$L_K \geq \frac{V}{q_v} \cdot \Delta I \cdot \left(\frac{dI}{dt}\right)^{-1}_{\lim}$$

**หมายเหตุ:** รฟท. กำหนดใช้ความยาวโค้งเปลี่ยนผ่านหรือโค้งต่อ[8] ไม่น้อยกว่า 1,000 เท่า ของการยกโค้งในโค้งกลม $(D)$ กรณี V<100 กิโลเมตร/ชั่วโมง (ทั่วไป) 1,200 – 1,600 เท่า ของการยกโค้งในโค้ง $(D)$ กรณี V>100 กิโลเมตร/ชั่วโมง

### 3.6.1 ความยาวของเส้นโค้งวงกลมและเส้นตรงระหว่างโค้งเปลี่ยนผ่าน

ความยาวขั้นต่ำสุดของเส้นตรงหรือโค้งทางราบที่อยู่ระหว่างโค้งเปลี่ยนผ่านสองโค้งต้องไม่น้อยกว่า 25 เมตร [7] $L_i \geq 25$ เมตร

## 3.7 การขยายแนวราง (Widening of Track)

เนื่องจากเมื่อขบวนรถที่มีเพลาตั้งแต่ 3 เพลาเข้าสู่โค้ง เพลากลางของขบวนรถบางขบวนไม่สามารถขยับตัวด้านข้างได้ต้องมีการขยายขนาดทางบริเวณโค้ง [7] โดยพิจารณาจากผลรวมของการขยับสุทธิของด้านในโค้ง การขยับโดยรวมด้านนอกโค้ง ผลของการยกโค้ง และระยะห่างขั้นต่ำ

สำหรับมาตรฐานฉบับนี้ ยึดการขยายแนวรางในโค้งตาม UIC 710R [9] อย่างไรก็ตามสำหรับขนาดอื่น สามารถคำนวณได้จาก**สมการ (3.13)** [6]

$$\text{Extra width on curves } (\mathrm{w}) = \frac{13(B+L)^2}{R} \text{ เซนติเมตร} \tag{3.13}$$

**โดยที่**

| | | |
|---|---|---|
| B | คือ | ระยะระหว่างล้อหลัก (เมตร) |
| R | คือ | รัศมีของโค้ง (เมตร) |
| L | เท่ากับ | $0.02\sqrt{(h^2+Dh)}$ เมตร |
| h | คือ | ความลึกของปีกใต้รางด้านบน (เซนติเมตร) |
| D | คือ | เส้นผ่านศูนย์กลางล้อรถไฟ (เซนติเมตร) |

ตารางมาตรฐานการขยายรางบริเวณโค้งได้แสดงใน**ภาคผนวก มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง** สำหรับรายละเอียดระยะเผื่ออื่นดู มขร S-T-002-256x **มาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ** [3]

## 3.8 ประแจหลีก (Turnout Profile)

ชนิดประแจหลีก ในมาตรฐานนี้เลือกใช้จาก ตามมาตรฐาน UIC ให้เหมาะสมตามแนวเส้นทางและความเร็ว ดังต่อไปนี้



- บนเส้นทางหลัก (Main Lines) ใช้ประแจชนิด 1 : 9 มีรัศมีนำไม่ต่ำกว่า 300 เมตร ยอมให้รถวิ่งตามแนวทางหลีกด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- บนเส้นทางสินค้า (Depot Lines) ) ใช้ประแจชนิด 1 : 9 มีรัศมีนำไม่ต่ำกว่า 190 เมตร หรือ ประแจชนิด 1 : 7 มีรัศมีนำไม่ต่ำกว่า 140 เมตร
- ระยะทางระหว่างจุดต่อฉนวน (Insulated Joint) บนประแจหลีกและแนวรางที่เข้ามาเชื่อมต่อ ควรห่างกันอย่างน้อย 4 เมตร [7]
- ประแจสำหรับรอยต่อขยาย (Switch Expansion Joints) ควรอยู่ห่างอย่างน้อย 50 เมตร จาก ปุ่ม (points) และทางตัดประแจ (Crossings)

การคำนวณ ตัวแปรของโค้งบริเวณประแจหลีก เช่น รัศมีโค้ง ความเร็ว ฯลฯ ให้ยึดขีดจำกัดการยกโค้งขาด ใน**หัวข้อ 3.5.2** เป็นสำคัญ (เนื่องจากค่ายกโค้งจริง บริเวณประแจหลีกเท่ากับ 0)

## 3.9 การออกแบบทางดิ่ง (Vertical Profile)

### 3.9.1 ความชัน (Gradients)

ความชันของเส้นทางรถไฟไม่ควรเกินขีดจำกัดต่อไปนี้ [7]

- บริเวณสถานีรถไฟ ความชันสูงสุด ไม่เกิน 0.1%
- ขีดจำกัดปกติ สำหรับความชันของเส้นทางรถไฟ ไม่เกิน 2%
- ขีดจำกัดพิเศษ สำหรับความชันของเส้นทางรถไฟ ไม่เกิน 4%
- ความชันของเส้นทางรถไฟควรน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

### 3.9.2 การชดเชยความชัน (Grade Compensation)

ผลของโค้งบนทางรถไฟที่มีความชันส่งผลให้แรงต้าน เนื่องจากความชันนั้นมากยิ่งขึ้น ในการชดเชยความชันที่เพิ่มขึ้นมานั้น ต้องปรับความชั้นบริเวณโค้งให้ราบลง เพื่อไม่ให้แรงต้านจากความชันตามแนวโค้งเกินค่าแรงต้านของความชันในทางตรง [7] ควรชดเชยความชันดังนี้

- ชดเชยความชัน [100/R]% สำหรับโค้งที่ไม่มีการหล่อลื่น
- ชดเชยความชัน [50/R]% สำหรับโค้งที่มีการหล่อลื่น

หลังจากดำเนินการชดเชยความชันแล้ว ความชันประสิทธิผลได้ควรเป็นไปตามข้อกำหนดใน **หัวข้อ 3.9.1**

### 3.9.3 โค้งดิ่ง (Vertical Curves)

- โค้งทางดิ่งควรมีความยาวโค้งอย่างน้อย 20 เมตร และอาจได้รับการออกแบบโดยไม่มีเส้นโค้งเปลี่ยนผ่านในแนวโค้งดิ่ง [1]
- โค้งทางดิ่ง ควรการออกแบบเป็นพาราโบลาที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความชันคงที่ [7]
- โค้งทางดิ่งควรออกแบบเพื่อเชื่อมความลาดชันที่แตกต่างกันไม่เกิน 0.4% เข้าด้วยกัน[7]



- การเปลี่ยนความชันไม่เกิน 2 มิลลิเมตร/เมตร [1] สำหรับความเร็วที่อนุญาต 230 กิโลเมตร/ชั่วโมง และการเปลี่ยนความชันไม่เกิน 1 มิลลิเมตร/เมตร สำหรับความเร็วที่อนุญาตมากกว่า 230 กิโลเมตร/ชั่วโมง

### 3.9.4 รัศมีของโค้งทางดิ่ง ($R_V$)

- รัศมีของโค้งทางดิ่ง ต้องไม่ต่ำกว่า 2,000 เมตร [1]
- โค้งทางดิ่งควรมีรัศมีโค้งต่ำสุด ตาม**สมการ (3.14)** ขีดจำกัดปกติ สำหรับรัศมีของเส้นโค้งดิ่ง คือ

$$R_{V,\lim} = q_{R,\lim} \cdot V^2 \quad \text{เมตร} \tag{3.14}$$

**โดยที่** $q_{R,\lim} = 0.4$ เมตร-ชั่วโมง$^2$/กิโลเมตร$^2$ [7]

**หมายเหตุ:** บนเส้นทางที่ผู้โดยสารส่วนใหญ่อาจยืนอยู่ควร $q_R$ มากกว่า 0.77 เมตร-ชั่วโมง$^2$/กิโลเมตร$^2$

ขีดจำกัดพิเศษสำหรับรัศมีของเส้นโค้งดิ่ง ใช้**สมการ (14)** เช่นเดียวกัน

**โดยที่** $q_{R,\lim} = 0.13$ เมตร-ชั่วโมง$^2$/กิโลเมตร$^2$

สำหรับทางรถไฟที่มีการลอดช่องหรือโพรง

และ $q_{R,\lim} = 0.16$ เมตร-ชั่วโมง$^2$/กิโลเมตร$^2$ สำหรับกรณีลาดชันมาก

## 3.10 ระยะห่างระหว่างแนวเส้นทาง (Track Spacing)

ระยะห่างระหว่างแนวเส้นทาง หรือระยะห่างระหว่างแนวศูนย์กลางแนวเส้นทาง ขึ้นอยู่กับการสั่นของตัวรถขณะเคลื่อนที่บนราง ปัจจัยข้างทาง และระยะเผื่อสำหรับการวิ่ง (Running Clearance) ช่องว่างของการขยับตัวของรถควรสัมพันธ์กับทฤษฎีการขยับจากศูนย์กลางทางที่ส่วนบนสุดของของราง โดยพิจารณาแนวเส้นทางทั้งสองเส้นจากทั้งการขยับบนแนวโค้งแบบตรงศูนย์และเยื้องศูนย์ ดังนี้

- ระยะห่างระหว่างแนวเส้นทาง คำนวณได้จากผลรวมของระยะเลื่อนขยับสุทธิในทางราบด้านในของโค้ง
- ระยะเลื่อนขยับโดยรวมในทางราบด้านนอกของโค้ง
- ผลของการยกโค้งและช่องว่างขั้นต่ำสุดที่เผื่อการสั่นของตัวรถขณะเคลื่อนที่บนราง 300 มิลลิเมตร

การคำนวณระยะห่างระหว่างแนวเส้นทางให้ยึดรายละเอียดตามมาตรฐาน มขร S-T-002 มาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ ของแต่ละแนวเส้นทางแล้วเพิ่มระยะเผื่ออีก 60 เซนติเมตร



## 3.11 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของทางรถไฟ (Track Tolerances)

แนวทางรถไฟจะต้องดำเนินการก่อสร้างและบำรุงรักษาตามเกณฑ์ความคาดเคลื่อนที่ระบุไว้ใน **ตารางที่ 3-5** และ**ตารางที่ 3-6**

**ตารางที่ 3-5 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของทางรถไฟสำหรับการเปลี่ยนรางและการวางรางใหม่ (รวมถึงประแจและทางตัด) [10]**

| ตัวแปร | ประเภททางรถไฟ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V |
| | ช่วงความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง) | | | | |
| | V≤80 | 80<V≤120 | 120<V≤160 | 160<V≤230 | 230<V≤360 |
| ขนาดทางทั่วไป (มิลลิเมตร) (แปรปรวนเทียบกับค่าที่ออกแบบ) | +4/-3 | +4/-3 | +4/-2 | +4/-2 | +3/-2 |
| ขนาดทางสำหรับประแจและทางตัด (มิลลิเมตร) (แปรปรวนเทียบกับค่าที่ออกแบบ) | +4/-3 | +4/-3 | +4/-3 | +4/-3 | +4/-3 |
| ระดับตามขวาง (มิลลิเมตร) (แปรปรวนเทียบกับค่าที่ออกแบบ) | ±3 | ±3 | ±3 | ±2 | ±2 |
| ความคลาดเคลื่อนทางดิ่งตามแนวเส้นคอร์ดขนาด 10เมตร (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | ±6 | ±4 | ±4 | ±3 | ±3 |
| ความคลาดเคลื่อนทางดิ่ง $(D1)$ ตามแนวเส้นทาง (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | ±4 | ±3 | ±3 | ±2 | ±2 |
| ความคลาดเคลื่อนทางดิ่ง $(D2)$ ตามแนวเส้นทาง (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | N/A | N/A | N/A | ±3 | ±2 |
| ความคลาดเคลื่อนทางดิ่ง $(D3)$ ตามแนวเส้นทาง (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | N/A | N/A | N/A | N/A | Reserved |
| ความคลาดเคลื่อนทางราบตามแนวเส้นคอร์ดขนาด 10 เมตร (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | ±5 | ±3 | ±3 | ±3 | ±3 |
| ความคลาดเคลื่อนทางราบ $(D1)$ ตามแนวเส้นทาง (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | ±4 | ±2 | ±2 | ±2 | ±2 |
| ความคลาดเคลื่อนทางราบ $(D2)$ ตามแนวเส้นทาง (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | N/A | N/A | N/A | ±3 | ±2 |
| ความคลาดเคลื่อนทางราบ $(D3)$ ตามแนวเส้นทาง (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | N/A | N/A | N/A | N/A | Reserved |
| การบิดในช่วง 3 เมตร (แปรปรวนเทียบกับค่าที่ออกแบบและจุดสูงสุด) | ±4.5 | ±3 | ±3 | ±3 | ±3 |

**ตารางที่ 3-6 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนทางรถไฟสำหรับการซ่อมบำรุง (รวมถึงประแจและทางตัด) [10]**

| ตัวแปร | ประเภททางรถไฟ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V |
| | ช่วงความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง) | | | | |
| | V≤80 | 80<V≤120 | 120<V≤160 | 160<V≤230 | 230<V≤360 |
| ขนาดทางทั่วไป (มิลลิเมตร) (แปรปรวนเทียบกับค่าที่ออกแบบ) | +7/-3 | +5/-3 | +5/-2 | +5/-2 | +4/-2 |
| ขนาดทางสำหรับประแจและทางตัด (มิลลิเมตร) | +7/-3 | +5/-3 | +5/-3 | +5/-3 | +5/-3 |



| ตัวแปร | ประเภททางรถไฟ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | I | II | III | IV | V |
| | ช่วงความเร็ว (กิโลเมตรต่อชั่วโมง) | | | | |
| | V≤80 | 80<V≤120 | 120<V≤160 | 160<V≤230 | 230<V≤360 |
| (แปรปรวนเทียบกับค่าที่ออกแบบ) | | | | | |
| ระดับตามขวาง (มิลลิเมตร) (แปรปรวนเทียบกับค่าที่ออกแบบ) | ±5 | ±4 | ±4 | ±3 | ±3 |
| ความคลาดเคลื่อนทางดิ่งตามแนวเส้นคอร์ดขนาด 10 เมตร (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | ±7 | ±5 | ±5 | ±4 | ±4 |
| ความคลาดเคลื่อนทางดิ่ง $(D1)$ ตามแนวเส้นทาง (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | ±5 | ±4 | ±4 | ±3 | ±3 |
| ความคลาดเคลื่อนทางดิ่ง $(D2)$ ตามแนวเส้นทาง (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | N/A | N/A | N/A | ±4 | ±3 |
| ความคลาดเคลื่อนทางดิ่ง $(D3)$ ตามแนวเส้นทาง (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | N/A | N/A | N/A | N/A | Reserved |
| ความคลาดเคลื่อนทางราบตามแนวเส้นคอร์ดขนาด 10 เมตร (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | ±7 | ±5 | ±5 | ±4 | ±4 |
| ความคลาดเคลื่อนทางราบ D1 ตามแนวเส้นทาง (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | ±5 | ±4 | ±4 | ±3 | ±3 |
| ความคลาดเคลื่อนทางราบ $(D2)$ ตามแนวเส้นทาง (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | N/A | N/A | N/A | ±4 | ±3 |
| ความคลาดเคลื่อนทางราบ $(D3)$ ตามแนวเส้นทาง (มิลลิเมตร) (วัดจากค่าเฉลี่ยถึงจุดสูงสุด) | N/A | N/A | N/A | N/A | Reserved |
| การบิดในช่วง 3 เมตร (แปรปรวนเทียบกับค่าที่ออกแบบและจุดสูงสุด) | ±4.5[a] | ±4.5 | ±4.5 | ±3 | ±3 |
| ในการก่อสร้างพิเศษ เช่น ประแจและทางตัดและอุปกรณ์ขยายราง อาจมีค่าความคลาดเคลื่อนเกินกว่าที่ระบุข้างบน เนื่องจากอุปกรณ์ดังกว่าถูกออกแบบเป็นพิเศษ | | | | | |
| [a] บริเวณจุดต่อราง : ±6 | | | | | |

**หมายเหตุ:** ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ ของ รฟม., รฟท. และมาตรฐานอินเดีย แสดงไว้ในภาคผนวก ค ระยะห่างระหว่างเส้นกึ่งกลางของแผ่นฐานที่อยู่ติดกันจะต้องไม่เกิน ±10 มิลลิเมตร

# บรรณานุกรม


[1] IRISH STANDARD, EN 13803-1, Railway Applications Track-Track alignment design Parameters Track gauges 1435 mm and wider in Part1: Plain line. 2010.

[2] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข), มขร S-T-001-256x : มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ.

[3] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข), มขร S-T-002-256x : มาตรฐานการออกแบบเขตโครงสร้างทางรถไฟ.

[4] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข), มขร S-T-004-256x : มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง

[5] IRISH STANDARD, EN 13803-2, Railway applications- Track- Track alignment design parameters- Track gauges 1435 mm and wider in Part 2: Switches and crossings and comparable alignment design situations with abrupt changes of curvature. 2010.

[6] SATISH CHANDRA and M.M. AGARWAL, Railway Engineering. 2007: Oxford University Press.

[7] INDIAN STANDARD, HMR: SS: 01-2008: MANUAL OF SPECIFICATIONS AND STANDARDS. 2008, Department of Elevated Mass Rapid Transit System: Ministry of Railways (Railway Board) Government of India.

[8] อรรถพล เก่าประเสริฐ, เอกสารประกอบการบรรยาย วิศวกรรมโครงสร้างทางรถไฟ (Railway Track Engineering), ว. (วสท.), Editor. 2559.

[9] THE INTERNATIONAL UNION OF RAILWAY (UIC), UIC 710R: Minimum track

[10] gauge in curve. 2008, The International Union of Railway (UIC).

[11] รถไฟฟ้ามหานคร, มาตรฐานงานก่อสร้างรถไฟฟ้ามหานคร. 2542.

[12] การรถไฟแห่งประเทศไทย รฟท., มาตรฐานงานก่อสร้าง การรถไฟแห่งประเทศไทย รฟท. 2559.

# มขร S-T-004-256x

## มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง

## Ballast Track Design



สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร พ.ศ. xxxx

# คำนำ

มาตรฐานฉบับนี้ ครอบคลุมถึงองค์ประกอบของทางรถไฟซึ่งประกอบไปด้วย ราง การเชื่อมต่อราง อุปกรณ์ยึดเหนี่ยว หมอนรองราง รวมไปถึงประแจและจุดตัด ทั้งนี้ มาตรฐานของราง และการเชื่อมต่อรางรวมไปถึงอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะมีการอ้างอิงกับมาตรฐานของกลุ่มประเทศยุโรปเป็นหกลัก และในส่วนของประแจนั้นจะอ้างอิงกับมาตรฐานของประเทศออสเตรเลียร่วมกับมาตรฐานของกลุ่มประเทศยุโรป นอกจากนี้มาตรฐานสำหรับหมอนรองรางจะอ้างอิงกับมาตรฐานของกลุ่มประเทศยุโรปและมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม มอก. ของประเทศไทยเป็นหลัก

จากการสำรวจข้อมูลพบว่าในปัจจุบันมีเพียงหมอนรองรางเท่านั้นที่สามารถผลิตเองได้ในประเทศไทย ในขณะที่องค์ประกอบอื่น ๆ ของทางรถไฟยังต้องมีการผลิตและนำเข้าจากต่างประเทศอยู่ ดังนั้นเนื้อหาโดยส่วนใหญ่ในมาตรฐานฉบับนี้จะเน้นเกี่ยวกับการทดสอบและรับรองถึงคุณสมบัติและประสิทธิภาพขั้นต่ำของชิ้นส่วนต่าง ๆ แทนที่จะกำหนดถึงขั้นตอนและวิธีการในการออกแบบ เนื่องจากผู้ผลิตต่างก็มีเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ของตนเอง อย่างไรก็ตาม ในบางหัวข้อยังคงจำเป็นจะต้องมีรายละเอียดลึกลงไปถึงการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน เนื่องจากคุณภาพและอายุการใช้งานในระยะยาวของชิ้นส่วนบางชิ้นนั้นจะมีผลกระทบเนื่องจากขั้นตอนและกรรมวิธีการผลิตด้วยเช่นกัน



# มขร S-T-004-256x มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง

## 1 ทั่วไป

### 1.1 ขอบเขต

มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง อธิบายหลักการและวิธีการออกแบบโครงสร้างส่วนล่างของทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง อันประกอบไปด้วย ชั้นหินโรยทาง ชั้นรองหินโรยทาง และ ชั้นดินพื้นทาง ส่วนสำคัญสำหรับการออกแบบได้แก่ การระบุความหนาของชั้นโครงสร้างทางส่วนต่าง ๆ รูปตัดของทาง และการกำหนดสมบัติทางวิศวกรรมของหินโรยทางรถไฟซึ่งผลิตจากหินธรรมชาติและวัสดุชั้นรองหินโรยทาง มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง ยังได้ให้ข้อแนะนำเกี่ยวกับเทคนิค และ ข้อปฏิบัติสำหรับการก่อสร้างโครงสร้างส่วนล่างของทางรถไฟแบบหินโรยอีกด้วย

## 2 มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐาน มขร อื่น ๆ ที่อ้างอิงใน มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง

## 3 การออกแบบโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง

ส่วนนี้ของมาตรฐานนี้ อธิบายวิธีการกำหนดขนาด มิติ และความหนาโครงสร้างส่วนล่างของทางรถไฟแบบหินโรย เพื่อให้ทางมีความปลอดภัยและมีสมรรถนะทางวิศวกรรมที่เหมาะสมกับลักษณะการเดินรถ

### 3.1 คำนิยาม

- **โครงสร้างส่วนบนของทางรถไฟแบบมีหินโรยทางส่วนของทางรถไฟ** ที่ประกอบไปด้วย ราง แผ่นรองราง เครื่องยึดเหนี่ยวราง และหมอนรองรางรถไฟ

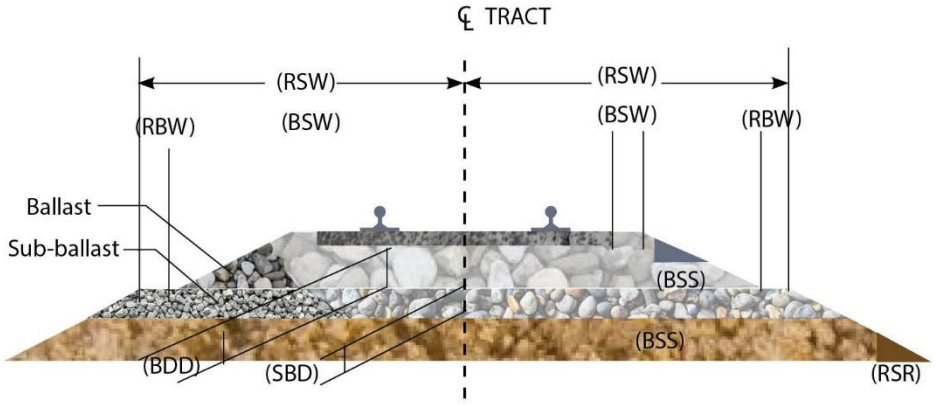
- **โครงสร้างส่วนล่างของทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง** ส่วนประกอบของทางที่ต่ำกว่าหมอนรองรางลงมาหน้าที่หลักของโครงสร้างส่วนล่าง คือ รองรับและให้การยึดตัวโครงสร้างส่วนบนของทาง กระจายน้ำหนักจากการจราจรจากโครงสร้างส่วนบนลงไปยังชั้นดินพื้นทางระบายน้ำในชั้นโครงสร้างทาง ป้องกันชั้นดินพื้นทางจากสภาพธรรมชาติ ช่วยให้การปรับแก้ทางทำได้ง่ายโดยไม่ต้องรื้อและก่อสร้างทางใหม่

- **ชั้นหินโรยทางบนสุดของโครงสร้างทางส่วนล่างก่อสร้างจากหินอนุภาคบดอัด** มีช่องว่างระหว่างอนุภาคหิน ทำให้ระบายน้ำได้ดี

- **ชั้นหินโรยทาง ชั้นรองของโครงสร้างทางส่วนล่าง อยู่ใต้ชั้นหินโรยทาง และบนชั้นดินพื้นทางก่อสร้างจากหินและดินอนุภาคบดอัด** ทำหน้าที่แบ่งแยกและป้องกันไม่ให้ชั้นหินโรยทางแทรกตัวจมลงไปในพื้นทาง

- **พื้นทาง** เป็นส่วนล่างสุดของโครงสร้างทาง รองรับทางรถไฟ พื้นทางอาจจะเป็นดิน หรือ หินก็ได้

ลักษณะรูปตัดของทางรถไฟแบบมีหินโรยทางแสดงใน**รูปที่ 4-1 ถึง รูปที่ 4-4**

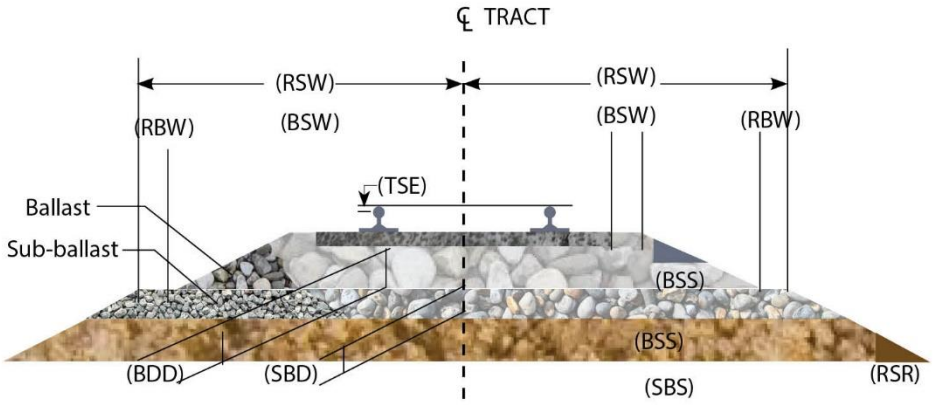



**Ballast**
BDB = Deoth of Ballast
BSW = Ballast Shoulder Width
BSS = Ballast Side Slope Run

**Roadbed**
RSW = Roadbed Shoulder Width
RSR = Roadbed Side Slope Run
RBW = Roadbed Berm Width

**Sub-ballast**
SBD = Sub-ballast Depth
SBS = Sub-ballast Side Slope Run

**รูปที่ 4-1 รูปตัดปกติของทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง**



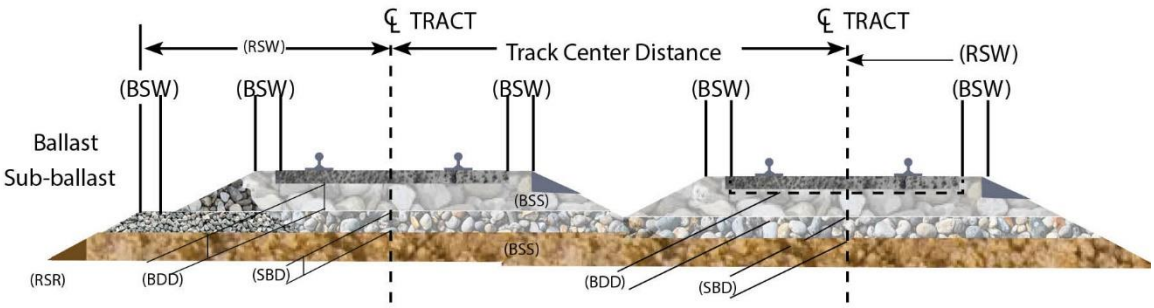

**Ballast**
BDB = Deoth of Ballast
BSW = Ballast Shoulder Width
BSS = Ballast Side Slope Run

**Roadbed**
RSW = Roadbed Shoulder Width
RSR = Roadbed Side Slope Run
RBW = Roadbed Berm Width

**Sub-ballast**
SBD = Sub-ballast Depth
SBS = Sub-ballast Side Slope Run

**Track Superstructure**
TSE = Track Superrelevation

**รูปที่ 4-2 รูปตัดของทางรถไฟแบบมีหินโรยทางแบบทางเดี่ยวมีการยกโค้ง**

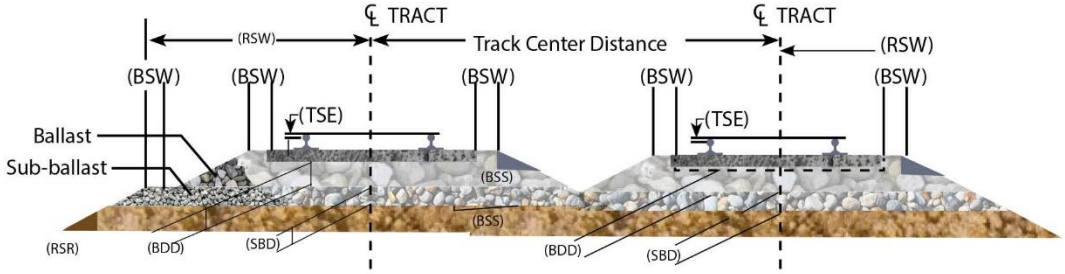



**Ballast**
BDD = Depth of Ballast
BSW = Ballast Shoulder Width
BSS = Ballast Side Slope Run

**Roadbed**
RSW = Roadbed Shoulder Width
RSR = Roadbed Side Slope Run
RBW = Roadbed Berm Width

**Sub-ballast**
SBD = Sub-ballast Depth
SBS = Sub-ballast Side Slope Run

**รูปที่ 4-3 รูปตัดของทางรถไฟแบบมีหินโรยทางแบบหลายทาง**




**Ballast**
BDB = Deoth of Ballast
BSW = Ballast Shoulder Width
BSS = Ballast Side Slope Run

**Roadbed**
RSW = Roadbed Shoulder Width
RSR = Roadbed Side Slope Run
RBW = Roadbed Berm Width

**Sub-ballast**
SBD = Sub-ballast Depth
SBS = Sub-ballast Side Slope Run

**Track Superstructure**
TSE = Track Superrelevation

**รูปที่ 4-4 รูปตัดของทางรถไฟแบบมีหินโรยทางแบบหลายทางและมีการยกโค้ง**

## 3.2 ขนาด และ มิติ ของหน้าตัดโครงสร้างทางส่วนล่าง

### 3.2.1 ความหนาของชั้นอนุภาค (BDD+SBD)

ความหนาของชั้นอนุภาค คือผลรวมของความหนาชั้นหินโรยทางและชั้นรองหินโรยทาง การคำนวณความหนาของชั้นหินอนุภาคให้เป็นไปตามข้อกำหนดในส่วนที่ 3.4 ของมาตรฐานนี้

### 3.2.2 ชั้นหินโรยทาง

- ความหนาของชั้นหินโรยทาง
  ชั้นหินโรยทางเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างทางส่วนล่างที่วางตัวอยู่ชั้นบนสุด ชั้นหินโรยทางควรก่อสร้างจากวัสดุที่เป็นไปตามข้อกำหนดในส่วนที่ 4 ของ มาตรฐานนี้ สำหรับทางเดี่ยว ความหนาของชั้นหินโรยทาง (BDD) วัดจากจุดสูงสุดของชั้นรองหินโรยทางจนไปถึงพื้นหมอนรองรางที่แนวกึ่งกลางของทางเมื่อทางอยู่ในแนวราบ หรือ วัดจากพื้นหมอนใต้รางที่อยู่ต่ำกว่าจนถึงส่วนบนสุดของชั้นรองหินโรยทางในกรณีที่ทางมีการยกโค้ง

  ในกรณีที่ทางมีหลายช่องจราจร ความหนาของชั้นหินโรยทางวัดจากจุดสูงสุดของชั้นรองหินโรยทางจนไปถึงพื้นหมอนบริเวณใต้รางที่อยู่ประชิด (ด้านขอบทาง) กับจุดสูงสุดของชั้นรองหินโรยทาง หรือ วัดจากพื้นหมอนใต้รางที่อยู่ต่ำกว่าจนถึงส่วนบนสุดของชั้นรองหินโรยทางในกรณีที่ทางมีการยกโค้ง กำหนดให้ความหนาของชั้นหินโรยทางมีค่าอย่างน้อย 30 เซนติเมตร สำหรับทางกว้าง 1 เมตร และ ทางกว้างมาตรฐาน

- ระยะคลุมหัวหมอน
  การกำหนดระยะคลุมหัวหมอน (BSW) ด้วยหินโรยทางให้เป็นไปตาม ของมาตรฐานนี้ ระยะคลุมหัวหมอนวัดจากปลายขอบของหมอนรองรางไปจนถึงจุดเริ่มต้นของลาดด้านข้างของชั้นหินโรยทาง กำหนดให้ระดับขอบบนของหมอนรองรางเป็นระดับเดียวกันกับจุดเริ่มต้นของลาดด้านข้างของชั้นหินโรยทาง การวัดระยะคลุมหัวหมอนให้วัดที่ระดับขอบบนของหมอนรองรางที่ติดตั้งแล้ว แนะนำให้ระยะคลุมหัวหมอนมีค่าอย่างน้อย 30 เซนติเมตร สำหรับทางกว้าง 1 เมตร และทางกว้างมาตรฐานที่รางต่อกันด้วยวิธีการเชื่อมยาวต่อเนื่อง

- ความลาดเอียงด้านข้างของชั้นหินโรยทาง
  ความลาดเอียงด้านข้างของชั้นหินโรยทาง (BSS) พึงออกแบบเพื่อให้มีให้แรงดันด้านข้างเพียงพอที่จะพยุงชั้นหินโรยทางเองที่ และ ทำหน้าที่กระจายน้ำหนักจากการจราจรลงไปสู่ชั้นรองหินโรยทางได้ โดยชั้นหินโรยทางไม่ขยายตัวออกด้านข้างด้วยอัตราที่เร็วเกินไป

  ระยะทางราบของความเอียงด้านข้างของชั้นหินโรยทางวัดตามระดับขอบบนของหมอนรองรางที่ติดตั้งแล้วไปในแนวราบ ในขณะที่ระยะในแนวดิ่งของความเอียงด้านข้างวัดตั้งฉากกับระยะในแนวราบดังกล่าว
  โดยปกติแนะนำให้ใช้ความเอียงด้านข้างของชั้นหินโรยทางเป็น 2 (ในแนวราบ) ต่อ 1 (ในแนวดิ่ง)



### 3.2.3 ชั้นรองหินโรยทาง

- ความหนาของชั้นรองหินโรยทาง
  ชั้นรองหินโรยทางเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างทางส่วนล่างที่วางตัวอยู่ชั้นต่ำสุด กล่าวคืออยู่ใต้ชั้นหินโรยทาง ชั้นรองหินโรยทางควรก่อสร้างจากวัสดุที่เป็นไปตามข้อกำหนด ในส่วนที่ 6 ของ มาตรฐานนี้

- ความหนาของชั้นรองหินโรยทาง (SBD)
  วัดจากระดับของพื้นทางขึ้นไป ความหนาของชั้นรองหินโรยทางที่ใช้กันโดยทั่วไปอยู่ที่ 30 เซนติเมตร สำหรับทางกว้าง 1 เมตร และ ทางกว้างมาตรฐาน อย่างไรก็ตามระหว่างการก่อสร้างต้องบดอัดวัสดุรองหินโรยทางให้เป็นชั้นมีความหนาอย่างน้อย 15 ซม. ทั้งนี้เพื่อให้มีกำลังเพียงพอสำหรับทำหน้าที่เป็นตัวแยกหินโรยทางออกจากดินพื้นทางและป้องกันมิให้ชั้นหินโรยทางและพื้นทางเสื่อมสภาพ

- ความเอียงของชั้นรองหินโรยทาง
  ความเอียงของชั้นรองหินโรยทาง (SBS) พึงออกแบบเพื่อให้สามารถระบายน้ำที่ไหลลงมาจากชั้นหินโรยทางให้ไหลออกทางด้านข้างของทางเพื่อไปยังร่องระบายน้ำ แนะนำให้ความเอียงของชั้นรองหินโรยทางมีค่าไม่มากกว่า 24 (แนวราบ) ต่อ 1 (แนวดิ่ง) แต่ไม่น้อยกว่า 40 (แนวราบ) ต่อ 1 (แนวดิ่ง) สำหรับทางกว้างขนาด 1 เมตร และ ทางกว้างขนาดมาตรฐาน วิศวกรสามารถพิจารณาเลือกใช้ความเอียงที่น้อยกว่าหากดินมีความทึบน้ำที่มากกว่า (สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดินต่ำ)

### 3.2.4 ดินพื้นทาง

ความกว้างของคันทาง (RSW) ความเอียงด้านข้าง (RSR) ความกว้างไหล่ทางของชั้นพื้นทาง (RSW) ให้พิจารณาออกแบบให้เป็นไปตามข้อกำหนดในส่วนที่ 5 ของมาตรฐานนี้

# 4 หินโรยทางรถไฟ

## 4.1 คำนิยาม

- หินโรยทางรถไฟ วัสดุหินมวลหยาบ ผลิตจากหินแข็ง เช่น แกรนิต หินดำ แกรบโบ ไดอะเบส ควอตไซต์ และหินปูน หินโรยทางรถไฟใช้ก่อสร้างชั้นหินโรยทางรถไฟ หินโรยทางรถไฟต้องต้องไม่ประกอบไปด้วยสารเคมีที่เป็นอันตรายและไม่มีมีแรงเชื่อมประสานเมื่อหินป่นเป็นผงและเปียกน้ำ
- ชั้นหินโรยทางรถไฟได้จากการบดอัดหินโรยทางรถไฟขึ้นเป็นชั้นมีความหนาตามที่กำหนด ดังนั้นชั้นหินโรยทางรถไฟประกอบด้วยอนุภาคของแข็งโดยมีช่องว่างที่เชื่อมต่อกันระหว่างอนุภาคของแข็งดังกล่าว



## 4.2 ข้อกำหนดด้านสมบัติทางวิศวกรรม

### 4.2.1 การคละขนาดอนุภาคหินโรยทาง

ขนาดของหินโรยทางกำหนดด้วยขนาดของตะแกรงร่อนคู่หนึ่งซึ่งมีขนาดช่องเปิดมีหน่วยวัดขนาดเป็นมิลลิเมตร หินโรยทางรถไฟที่นำมาทดสอบต้องสามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาดใหญ่สุดและค้างอยู่บนตะแกรงขนาดเล็กสุด ให้ขนาดใหญ่สุดของหินโรยทางรถไฟเป็น 63.5 มิลลิเมตร หรือ 50 มิลลิเมตร และขนาดเล็กสุดเป็น 31.5 มิลลิเมตร

การทดสอบการคละขนาดของหินโรยทางรถไฟให้ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C 136 หินโรยทางรถไฟสามารถแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มหรือขนาดตามการคละขนาดอนุภาคของหินตาม**ตารางที่ 4-1** หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่นให้พิจารณาใช้หินโรยทางขนาด A B C D E หรือ F สำหรับทางรถไฟแบบหินโรยที่เป็นสายหลัก สายรอง และทางในย่านสถานี

**ตารางที่ 4-1 เกณฑ์การคละขนาดอนุภาคของหินโรยทาง**

| ขนาดช่องเปิดตะแกรง (มม.) | หินโรยทางขนาด 31.5 ถึง 50 มม. | | | หินโรยทางขนาด 31.5 ถึง 63 มม. | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | เปอร์เซ็นต์ผ่าน โดยน้ำหนัก | | | | | |
| | กลุ่ม หรือ ขนาด | | | | | |
| | A | B | C | D | E | F |
| 80 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 63 | 100 | 97 ถึง 100 | 95 ถึง 100 | 97 ถึง 99 | 95 ถึง 99 | 93 ถึง 99 |
| 50 | 70 ถึง 99 | 70 ถึง 99 | 70 ถึง 99 | 65 ถึง 99 | 55 ถึง 99 | 45 ถึง 70 |
| 40 | 30 ถึง 65 | 30 ถึง 70 | 25 ถึง 75 | 30 ถึง 65 | 25 ถึง 75 | 15 ถึง 40 |
| 31.5 | 1 ถึง 25 | 1 ถึง 25 | 1 ถึง 25 | 1 ถึง 25 | 1 ถึง 25 | 0 ถึง 7 |
| 22.4 | 0 ถึง 3 | 0 ถึง 3 | 0 ถึง 3 | 0 ถึง 3 | 0 ถึง 3 | 0 ถึง 7 |
| 13 | | | | | | |
| 31.5 ถึง 50 | $\geq$ 50 | $\geq$ 50 | $\geq$ 50 | - | - | - |
| 31.5 ถึง 63 | - | - | - | $\geq$ 50 | $\geq$ 50 | $\geq$ 85 |

### 4.2.2 ปริมาณอนุภาคหินโรยทางขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร

ให้กำหนดปริมาณอนุภาคหินขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร ในหินโรยทางเป็นกลุ่มตามปริมาณร้อยละการผ่านโดยเป็นไปตาม**ตารางที่ 4-2** การทดสอบปริมาณหินขนาดเล็กให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 136 หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่นให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีปริมาณอนุภาคหินโรยทางขนาดเล็กในกลุ่ม A และ B

**ตารางที่ 4-2 เกณฑ์การคละขนาดอนุภาคของหินโรยทาง**

| ขนาดตะแกรง (มม.) | เปอร์เซ็นต์ผ่านมากที่สุด โดยน้ำหนัก | | | |
|---|---|---|---|---|
| | กลุ่ม | | | |
| | A | B | C (ระบุค่า) | D |
| 0.5 | 0.6 | 1.0 | $>$ 1.0 | ไม่ได้กำหนด |

### 4.2.3 ปริมาณอนุภาคมวลละเอียด

วิศวกรสามารถประเมินความสะอาดของหินโรยทางรถไฟด้วยการพิจารณาปริมาณอนุภาคมวลละเอียด (ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 0.075 มิลลิเมตร หรือ ผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200)

ที่มีอยู่ การระบุปริมาณอนุภาคมวลละเอียดของหินโรยทางรถไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 117 ให้กำหนดปริมาณอนุภาคมวลละเอียดเป็นกลุ่มตามปริมาณร้อยละการผ่าน และระบุให้ชัดเจนโดยเป็นไปตาม**ตารางที่ 4-3** หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่นให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีปริมาณอนุภาคมวลละเอียดในกลุ่ม A B และ C

**ตารางที่ 4-3 เกณฑ์ปริมาณอนุภาคมวลละเอียดในหินโรยทาง**

| ขนาดช่องเปิดตะแกรง (มม.) | เปอร์เซ็นต์ผ่านมากที่สุด โดยน้ำหนัก | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | กลุ่ม | | | | |
| | A | B | C | D (ระบุปริมาณ) | E |
| 0.075 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | > 1.5 | ไม่ได้กำหนด |

### 4.2.4 ความหนาแน่นรวมของหินโรยทาง

การทดสอบความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักของหินโรยทางให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 29 หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่นให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางรถไฟที่บดอัดตามมาตรฐาน ASTM C 29 แล้วได้ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ไม่น้อยกว่า 1200 กิโลกรัม/เมตร3

### 4.2.5 รูปร่างของอนุภาค

หินโรยทางรถไฟที่จะนำมาใช้งานควรผลิตจากการกระบวนการทางกล (ระเบิด โม่ ย่อยและคละผสม) ทั้งนี้เพื่อให้มีเหลี่ยมมุมที่ดี ดังนั้นไม่อนุญาตให้ใช้หินโรยทางรถไฟที่ประกอบด้วยหินที่ผลิตจากการกระบวนการทางกลน้อยกว่า 75% (โดยน้ำหนัก) ตัวอย่างหินที่ไม่ผ่านกระบวนการทางกล เช่น หินหรือกรวดท้องน้ำ

การทดสอบรูปร่างของอนุภาคหินโรยทางให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 4791 โดยที่อัตราส่วนความยาวต่อความหนาของอนุภาคสำหรับทดสอบให้ใช้เป็น 3 ต่อ 1 หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีผลการทดสอบรูปร่าง กล่าวคืออนุภาคแบนและยาวไม่เกินเกินกว่าที่กำหนดไม่เกิน 5% (โดยน้ำหนัก) ของปริมาณตัวอย่าง วิศวกรผู้รับผิดชอบสามารถกำหนดให้ทดสอบรูปร่างของอนุภาคหินโรยทางเพิ่มเติมได้เมื่อเห็นสมควร การทดสอบรูปร่างของอนุภาคหินโดยทางเพิ่มเติม

### 4.2.6 ความเพรียวของอนุภาค

การทดสอบและระบุดัชนีความเพรียวของอนุภาคหินโรยทางให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN 933-3 มาตรฐานนี้กำหนดและแบ่งดัชนีความเพรียวของอนุภาคหินโรยทางรถไฟเป็น 5 กลุ่มตาม**ตารางที่ 4-4** หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีดัชนีความเพรียวในกลุ่ม A B หรือ C

**ตารางที่ 4-4 เกณฑ์ดัชนีความเพรียวหินโรยทาง**

| ดัชนีความเพรียว | กลุ่ม |
|---|---|
| ≤ 15 | A |
| ≤ 20 | B |
| ≤ 35 | C |
| > 35 | D (ระบุปริมาณ) |



| ดัชนีความเพรียว | กลุ่ม |
|---|---|
| ไม่ได้กำหนด | E |

### 4.2.7 ดัชนีรูปร่าง

การทดสอบและระบุดัชนีรูปร่างให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN 933-4 มาตรฐานนี้กำหนดหรือแบ่งดัชนีรูปร่างของอนุภาคหินโรยทางรถไฟโดยเป็น 6 กลุ่มตาม**ตารางที่ 4-5** หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีปริมาณอนุภาคมวลละเอียดในกลุ่ม A B C หรือ D

**ตารางที่ 4-5 เกณฑ์ดัชนีรูปร่างของหินโรยทาง**

| ดัชนีรูปร่าง | กลุ่ม |
|---|---|
| $\leq$ 10 | A |
| $\leq$ 20 | B |
| $\leq$ 30 | C |
| 5 ถึง 30 | D |
| $>$ 30 | E (ระบุปริมาณ) |
| ไม่ได้กำหนด | F |

### 4.2.8 ปริมาณของอนุภาคหินที่ยาวเกิน 100 มิลลิเมตร

การวัดความยาวอนุภาคหินโรยทางรถไฟให้ทำด้วยเครื่องมือที่เหมาะสม ได้แก่ เกจ หรือ คาลิปเปอร์ ที่มีความแม่นยำมากกว่า 0.1 มิลลิเมตร แบ่งหินโรยทางออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกได้แก่หินที่มีความยาวเกิน 100 มิลลิเมตร กลุ่มที่ 2 คือ อนุภาคหินยาวน้อยกว่า 100 มิลลิเมตร ระบุปริมาณของอนุภาคหินที่มีความยาวเกิน 100 มิลลิเมตร เป็นร้อยละโดยน้ำหนักจากตัวอย่างที่หนักเกิน 40 กิโลกรัม มาตรฐานนี้กำหนดหรือแบ่งปริมาณของอนุภาคหินที่ยาวเกินไปเป็น (100 มิลลิเมตร) 6 กลุ่มตามตารางที่ **4-**6 หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีปริมาณของอนุภาคหินที่ยาวเกินไปในกลุ่ม A B C หรือ D

**ตารางที่ 4-6 เกณฑ์ความยาวของอนุภาคหินโรยทาง**

| เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ของอนุภาคที่มีความยาวเกิน 100 มิลลิเมตร ในตัวอย่างที่มีน้ำหนักเกิน 40 กิโลกรัม | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| กลุ่ม | | | | | |
| A | B | C | D | E (ระบุค่า) | F |
| 4 | 6 | 8 | 12 | $>$ 12 | ไม่ได้ระบุ |

### 4.2.9 ความแข็งแกร่งและความทนทานต่อการแตกหักและขัดสีของอนุภาคหินโรยทาง

1) ค่าการแตกหักและขัดสีลอสแองเจลิส

การทดสอบและระบุค่าการแตกหักและขัดสีลอสแองเจลิสของหินโรยทางให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 131 (อนุภาคทั้งหมดเล็กกว่า 1 นิ้ว)หรือ ASTM C 535 (อนุภาคบางส่วนใหญ่กว่า 1 นิ้ว) มาตรฐานนี้ กำหนดหรือแบ่งค่าการแตกหักและขัดสีลอสแองเจลิสของหินโรยทางออกเป็น 7 กลุ่มตาม**ตารางที่ 4-7** หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีค่าการแตกหักและขัดสีลอสแองเจจิสตามกลุ่ม A B C D หรือ E



**ตารางที่ 4-7 เกณฑ์สำหรับกำหนดกลุ่มค่าลอสแองเจลิส**

| ค่าลอสแองเจลิส | กลุ่ม |
|---|---|
| ≤ 12 | A |
| ≤ 14 | B |
| ≤ 16 | C |
| ≤ 20 | D |
| ≤ 24 | E |
| > 24 | F |
| **ไม่ได้กำหนด** | G |

วิศวกรผู้รับผิดชอบสามารถให้ดำเนินการทดสอบความแข็งแกร่งและความทนทานต่อการแตกหักและขัดสีของอนุภาคหินโรยทางเพิ่มเติมได้เมื่อเห็นสมควร การทดสอบรูปร่างของอนุภาคหินโดยทางเพิ่มเติมมีดังนี้

2) ค่าการแตกหักและขัดสีไมโครเดวาล

การทดสอบและระบุค่าการแตกหักและขัดสีไมโครเดวาลของหินโรยทางให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 6928-17 มาตรฐานนี้ กำหนดหรือแบ่งค่าการแตกหักและขัดสีไมโครเดวาลของหินโรยทางออกเป็น 6 กลุ่มตาม**ตารางที่ 4-8** หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีค่าการแตกหักและขัดสีไมโครเดวาลตามกลุ่ม A B C หรือ D

**ตารางที่ 4-8 เกณฑ์สำหรับกำหนดกลุ่มค่าไมโครเดวาลของหินโรยทาง**

| ค่าลอสแองเจลิส | กลุ่ม |
|---|---|
| ≤ 5 | A |
| ≤ 7 | B |
| ≤ 11 | C |
| ≤ 15 | D |
| > 15 | E |
| **ไม่ได้กำหนด** | F |

### 4.2.10 ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพของอนุภาคหินโรยทาง

1) ความทนทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง

การทดสอบความทนทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของหินโรยทางรถไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 88 โดยให้ทดสอบ 5 รอบ ในสารละลายโซเดียมซัลเฟต หรือแมกนีเซียมซัลเฟต ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีค่าร้อยละการสูญเสียไม่เกิน 5%

วิศวกรผู้รับผิดชอบสามารถให้ดำเนินการทดสอบความทนทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของอนุภาคหินโรยทางเพิ่มเติมได้เมื่อเห็นสมควร



การทดสอบความทนทานต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของอนุภาคหินโดยทางเพิ่มเติมให้เป็นไปตามมาตรฐาน EN 1367-1 ในกรณีนี้ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีค่าร้อยละการสูญเสียไม่เกิน 5%

2) ความถ่วงจำเพาะของอนุภาคหินโรยทาง

การทดสอบและระบุความถ่วงจำเพาะ (Bulk Specific Gravity) ของอนุภาคหินโรยทางรถไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 127 ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีความถ่วงจำเพาะของอนุภาคไม่น้อยกว่า 2.6

3) ความสามารถดูดซึมน้ำ

การทดสอบและระบุความสามารถดูดซึมน้ำของอนุภาคหินโรยทางรถไฟให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 127 ให้พิจารณาเลือกใช้หินโรยทางที่มีความสามารถดูดซึมน้ำของอนุภาคไม่เกิน 2%

## 4.3 การผลิตหินโรยทางรถไฟ

### 4.3.1 ข้อกำหนดทั่วไป

การผลิตหินโรยทางรถไฟต้องดำเนินการด้วยเครื่องจักรเครื่องมือที่เหมาะสมและโรงงานหรือสถานที่ผลิตมีคุณภาพเป็นที่ยอมรับจากผู้ซื้อหรือหน่วยงานเจ้าของทาง กระบวนการผลิต (ระเบิด โม่ ย่อย และเคลื่อนย้าย) ต้องไม่ทำให้เกิดการกระทบกระเทือนกับหินโรยทางโดยไม่จำเป็น โรงงานต้องมีกำลังการผลิตเพียงพอ มีสถานที่พักหินหรือลานกอง ทั้งนี้เพื่อให้สามารถนำส่งหินโรยทางตามปริมาณและอัตราการนำส่งที่กำหนดโดยผู้ซื้อ

ผู้ขายหรือผู้ผลิตต้องดำเนินการอย่างระมัดระวังในกระบวนการผลิตต่าง ๆ เช่น การคละผสมหินโรยทาง การโปรยหรือเทหินในลานกองพัก ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการแยกตัวของหินให้น้อยที่สุด การแยกตัวคืออนุภาคหินโรยทางขนาดใหญ่และเล็กแยกออกไม่คละผสมกันอย่างสม่ำเสมอ ผู้ผลิตต้องหลีกเลี่ยงไม่ให้หินโรยทางที่จะนำส่งตกจากระดับที่สูงเกินไประหว่างการเทหรือโปรยกองในลานเก็บอันจะก่อให้เกิดการแตกหักของอนุภาคได้ ควรพิจารณาห้ามมิให้ยานพาหนะเคลื่อนที่บนกองหินโรยทางมากเกินความจำเป็นเพื่อป้องกันการแตกหักและเสื่อมสภาพของหินโรยทาง

ผู้ผลิตต้องจัดให้มีการล้างหรือร่อนหินโรยทางระหว่างการผลิตเพื่อเอาฝุ่นและวัสดุมวลละเอียดอื่น ๆ ที่ปนเปื้อนออกก่อนนำเก็บที่ลานกองหรือก่อนการขนย้ายเพื่อนำส่งให้ผู้ซื้อหรือหน่วยงานเจ้าของทาง

### 4.3.2 การเคลื่อนย้ายสำหรับนำส่งหินโรยทาง

หากมิได้ระบุเป็นอย่างอื่น ให้ผู้ผลิตจัดหายานพาหนะสำหรับนำส่งหินโรยทางแก่ผู้ซื้อหรือหน่วยงานเจ้าของทาง พาหนะต้องอยู่ในสภาพดี สะอาดปราศจากฝุ่น วัสดุมวลละเอียด วัสดุแปลกปลอมอื่นที่เป็นอันตราย ไม่มีรอยรั่วอันจะทำให้หินโรยทางหล่นหาย



### 4.3.3 การตรวจสอบระหว่างการผลิต

ผู้ซื้อหรือเจ้าของโครงการหรือตัวแทนผู้รับมอบอำนาจให้ดำเนินการแทนสามารถเข้าตรวจสอบโรงงานหรือสถานที่ผลิตหินโรยทางในเวลาทำการโดยมิต้องนัดล่วงหน้าเพื่อ

- ประเมินว่าการเก็บตัวอย่างหินโรยทางเพื่อการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้
- ตรวจสอบว่าสถานที่ผลิต วิธีการ กระบวนการ การควบคุมคุณภาพ เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้
- เก็บตัวอย่างตัวอย่างหินโรยทางเพื่อการทดสอบคุณภาพ

## 4.4 การสุ่มตัวอย่างทดสอบ

ผู้ซื้อหรือหน่วยงานเจ้าของทางต้องตรวจสอบคุณภาพหินโรยทางว่าเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ ก่อนรับรองแหล่งหินที่จะใช้ในการผลิต ผู้ผลิต และ หรือ หน่วยงานเจ้าของทางจัดให้มีการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมขั้นต้นของวัสดุตามการทดสอบที่ระบุในมาตรฐานนี้ การเก็บตัวอย่างและทดสอบหินโรยทางต้องดำเนินการโดยหน่วยงานที่ได้มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับจากผู้ซื้อหรือเจ้าของทางให้มีการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมขั้นต้นของหินโรยทางทุกครั้งเมื่อ

- หินโรยทางผลิตจากวัตถุดิบในแหล่งใหม่ซึ่งยังไม่ได้รับการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมขั้นต้นตามมาตรฐานนี้มาก่อน
- วัสดุจากแหล่งเดิมเคยซึ่งได้รับรองสมบัติทางวิศวกรรมตามที่ระบุในมาตรฐานนี้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างมีนัยยะสำคัญ
- ระหว่างการผลิตให้ดำเนินการทดสอบสมบัติของวัสดุเป็นระยะเพื่อตรวจสอบว่าหินโรยทางเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน การทดสอบให้ดำเนินการโดยหน่วยงานที่ได้มาตรฐานและเป็นที่ยอมรับจากผู้ซื้อหรือเจ้าของทาง

การเก็บตัวอย่างหินโรยทางให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 75 การสุ่มย่อยตัวอย่างหินเพื่อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการให้เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน ASTM D 702 ผู้ผลิตต้องนำส่งเอกสารแสดงและรับรองผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของหินโรยทางที่จะนำส่งให้แก่วิศวกรที่ได้รับมอบหมายจากเจ้าของโครงการ เอกสารรับรองต้องระบุให้ชัดเจนว่าการสุ่มเก็บตัวอย่างหินโรยทางและการทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ ผู้ผลิตต้องนำส่งเอกสารรับรองผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของหินไม่ว่าผลการทดสอบจะเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้หรือไม่ให้เก็บตัวอย่างหินโรยทางขณะนำออกจากแหล่งผลิตหรือก่อนส่งมอบและให้เก็บตัวอย่างและทดสอบทุกครั้งเมื่อ

- นำส่งเป็นปริมาณ 300 ตันแรกจากแหล่งหินใหม่ และ
- นำส่งทุก ๆ 1000 ตัน จากแหล่งจากแหล่งที่ได้นำส่ง 300 ตันแรก และ
- ทดสอบอย่างน้อย 2 ครั้งต่อปี

ผู้ซื้อหรือเจ้าของโครงการสามารถให้มีการเก็บตัวอย่างหินโรยทางและทดสอบเพิ่มเติมเมื่อมีขอสงสัยว่าหินโรยทางที่นำส่งไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ หากหินโรยทางที่นำส่งมีสมบัติไม่เป็นไปตามมาตรฐานให้ผู้ผลิตเร่งปรับปรุงกระบวนการผลิตและหรือการจัดส่งทั้งนี้เพื่อให้ได้หินโรยทางที่เป็นไปตามมาตรฐาน ผู้ผลิตต้องแจ้งรายละเอียดของกระบวนการต่าง ๆ ที่ปรับปรุงให้ผู้ซื้อหรือ



หน่วยงานเจ้าของงานทราบ ในกรณีที่นำส่งหินโรยทางสองครั้ง แล้วตัวอย่างหินโรยทางไม่เป็นไปตามมาตรฐานทั้งสองครั้งต่อกัน ผู้ซื้อหรือหน่วยงานเจ้าของทางสามารถปฏิเสธไม่รับหินโรยทางที่จะนำส่งต่อไปได้

## 4.5 การวัดปริมาณหินโรยทาง

ให้วัดปริมาณหินโรยทางเป็นน้ำหนักในหน่วยตัน การคำนวณค่าสินค้าและจ่ายเงินให้คิดตามน้ำหนัก (ตัน) ของหินโรยทางที่ตรวจรับ ความชื้นในหินไม่ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งน้ำหนักนำส่ง (ให้หักน้ำหนักความชื้นออกก่อนคิดน้ำหนักนำส่ง) บันทึกน้ำหนักนำส่งในรูปเอกสารและจัดเก็บเพื่อตรวจสอบเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 6 เดือน ให้คำนวณน้ำหนักหินโรยทางที่นำส่งจากวิธีดังต่อไปนี้

- จากน้ำหนักที่วัดจากเครื่องชั่งที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ชนิดของเครื่องชั่งที่อนุญาตให้ใช้ได้แก่ เครื่องชั่งบนทางสำหรับรถไฟ หรือ รถบรรทุก (แบบวัดขณะรถจอดนิ่ง หรือ เคลื่อนที่) เครื่องชั่งสายพาน (วัดขณะขนถ่ายหินโดยตรงลงในรถ) หรือ
- จากจำนวนรถที่นำส่งหินคูณกับน้ำหนักเฉลี่ยต่อคันรถซึ่งเป็นค่าที่ตกลงร่วมกันระหว่างผู้ผลิตกับผู้ซื้อ หรือ หน่วยงานเจ้าของทาง น้ำหนักเฉลี่ยนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและรุ่นของรถและต้องได้รับการตรวจวัดเพื่อสอบทานทุก ๆ 3 เดือน ให้คำนวณน้ำหนักเฉลี่ยต่อคันรถจากน้ำหนักของรถมากกว่า 10 คัน ขึ้นไป

## 4.6 การระบุรายละเอียดหินโรยทาง

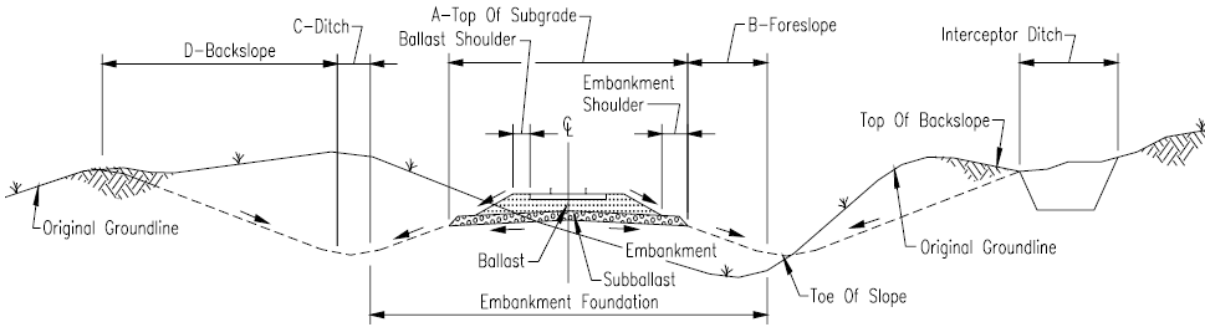
ต้องมีการระบุรายละเอียดของหินโรยทางที่นำส่งซึ่งประกอบด้วยข้อมูลต่อไปนี้

1) ชื่อแหล่งหินที่ใช้ในการผลิต
2) ชื่อหินและคำอธิบายอย่างย่อ
3) ขนาดของหินโรยทาง (แบ่งตามกลุ่ม)
4) ข้อมูลอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับระบุรายละเอียดของหินโรยทาง

จัดทำรายละเอียดของหินโรยทางในรูปเอกสารหรือตั๋วนำส่งระบุวันที่ เลขเอกสาร หรือตั๋ว และชื่อและเลขรหัสของมาตรฐานนี้

# 5 ดินพื้นทางสำหรับโครงสร้างทางรถไฟ

หน้าที่ของส่วนประกอบต่าง ๆ ของลาดคันทางรถไฟจากการขุดและการถมแสดงดัง**รูปที่ 4-5**




**รูปที่ 4-5 องค์ประกอบหลุมหรือลาดที่ได้จากการขุดและการถม**

หน้าที่ของส่วนประกอบต่าง ๆ ของลาดคันทางรถไฟอธิบายใน**ตารางที่ 4-9**

**ตารางที่ 4-9 หน้าที่ของส่วนประกอบหลุมหรือลาดที่ได้จากการขุดและการถมและความกว้างสำหรับออกแบบ**

| ส่วนประกอบ | วัตถุประสงค์ | ความกว้าง |
|---|---|---|
| **พื้นทาง** (Top of Subgrade) | เป็นฐานสำหรับรองรับชั้นรองหินโรยทาง หินโรยทาง หมอน ราง ถนนข้างทางเพื่อการซ่อมบำรุง | ความกว้างมาตรฐานจากการออกแบบ |
| **ลาดชิดทาง** (Fore Slope) | เพื่อรองรับและให้เสถียรภาพกับทางและพื้นทาง ยกระดับพื้นทางให้พ้นระดับน้ำสำหรับออกแบบ | ความกว้างมาตรฐานจากการออกแบบ |
| **ร่องน้ำ** (Ditch) | ระบายน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้ามาในหลุดตัดหรือถม ช่วยป้องกันไม่ให้พื้นทางอ่อนตัวจากน้ำในดินที่มากเกินไป | ออกแบบให้เพียงพอกับปริมาณและการไหลของน้ำ |
| **ลาดไกลทาง** (Back Slope) | เกิดจากการขุดพื้นดินเดิม ตำแหน่งอยู่ระหว่างร่องน้ำกับพื้นดินเดิม | เปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับ ความสูงหรือความลึกของการขุด เสถียรภาพของดิน สภาพการกัดเซาะ |
| **ร่องดักน้ำ** (Interceptor Ditch) | ดักและระบายน้ำผิวดิน ไม่ให้ไหลเข้ามาในหลุดตัดหรือถม | ออกแบบให้เพียงพอกับปริมาณและการไหลของน้ำ |

## 5.1 การออกแบบคันดินทางรถไฟ

### 5.1.1 ลาดดินจากการขุด

- **การออกแบบลาดไกลทาง**

  การออกแบบความเอียงของลาดไกลทางให้เป็นไปตามผลการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน เพื่อให้ลาดมีความปลอดภัย วิศวกรควรพิจารณาว่าต้องขยายขนาดขอบเขตทางเพื่อป้องการพังวิบัติของลาดดินที่อาจเกิดขึ้นหากลาดมีความเอียงมากเกินไปหรือไม่ หากลาดดินประกอบไปด้วยวัสดุดินหรือหินต่างชนิดอาจต้องออกแบบความเอียงของแต่ละชั้นต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกำลังของวัสดุ



- **การออกแบบร่องระบายน้ำในหลุมขุดหรือถม**

  ต้องออกแบบให้ร่องมีขนาดใหญ่และเอียงเพียงพอที่รองรับปริมาณน้ำผิวดินสำหรับการออกแบบในบริเวณโครงการก่อสร้างได้ ร่องต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะทำความสะอาดได้อย่างสะดวก ข้อกำหนดและแนะนำสำหรับออกแบบร่องระบายน้ำอย่างละเอียดอยู่ในมขร S-T-010-256x มาตรฐานระบบระบายน้ำบนทางรถไฟ

- **การขุดดิน**

  ลาดดินจากการขุดต้องมีเสถียรภาพ ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพลาดดินได้แก่ กำลังของวัสดุ ความชื้นในดิน มุมของลาดดิน และ ลักษณะการระบายน้ำ ลาดดินต้องอยู่ในเสถียรภาพทั้งระหว่างการก่อสร้างและระหว่างเปิดใช้ทางแล้ว ควรให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกรเมื่อเมื่อลาดดินมีความสูงมากกว่า 3-5 เมตร ลาดดินที่ออกแบบต้องมีความกว้างเพียงพอสำหรับร่อง หรือท่อระบายน้ำด้านข้างทาง หากจำเป็น ให้ออกแบบให้มีระบบลดแรงดันน้ำในลาดดินเพื่อเพิ่มเสถียรภาพของลาด ในกรณีเป็นลาดจากการขุดในหินควรออกแบบให้เพิ่มความกว้างของการขุดเพื่อรองรับหินหรือเศษวัสดุอื่น ๆ ที่อาจตกลงมากับลาดและป้องกันมิให้วัสดุเหล่านั้นกระเด็นไปในบริเวณของทางที่มีการจราจรได้ การออกแบบอาจใช้เทคนิคลาดเป็นขั้น ทั้งนี้เพื่อลดแรงดันที่ฐานและเพิ่มเสถียรภาพของลาด

  1) การขุดในดินทรายและกรวด

     ในกรณีปกติที่ลาดดินสูงไม่เกิน 5 เมตร ความเอียงปลอดภัยของลาดโดยปกติจะไม่เกิน 2 (แนวราบ) ต่อ 1(แนวดิ่ง) ในกรณีที่มีปัจจัยอื่นที่อาจมีผลกระทบต่อเสถียรภาพลาดดินหรือลาดดินสูงกว่า 5 เมตร ให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกร

  2) การขุดในดินดินเหนียวและตะกอนทราย

     ในกรณีปกติที่ลาดดินสูงไม่เกิน 3 เมตร ความเอียงปลอดภัยของลาดโดยปกติจะไม่เกิน 2 (แนวราบ) ต่อ 1(แนวดิ่ง) ในกรณีที่มีปัจจัยอื่นที่อาจมีผลกระทบต่อเสถียรภาพลาดดินหรือลาดดินสูงกว่า 3 เมตร ให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกร หากออกแบบลาดดินในบริเวณที่มีการพังวิบัติของลาดดินอยู่บ่อยครั้งอาจออกแบบทางให้มีความกว้างเพียงพอ กล่าวคือแม้เกิดการพังวิบัติขึ้น และมีมวลดินเคลื่อนตัวเข้ามาในทาง จะไม่ไปถึงระดับพื้นทางและการจราจรของรถไฟยังสามารถดำเนินได้เป็นปกติ

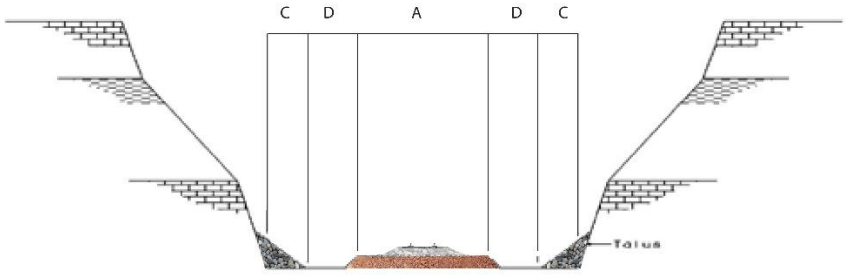
  3) การขุดในชั้นดินประกอบด้วยดินหลายชนิด

     กรณีนี้ควรออกแบบโดยให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเป็นเฉพาะโดยวิศวกร

- **การขุดในหิน**

1) ความกว้างของการขุด

ความกว้างของการขุดในหินประกอบด้วย 3 ส่วนดังแสดงใน**รูปที่ 4-6** หน้าที่ของส่วนประกอบและความกว้างอธิบายใน**ตารางที่ 4-10**




**รูปที่ 4-6 องค์ประกอบสำหรับกำหนดความกว้างของการขุดในหิน**

**ตารางที่ 4-10 หน้าที่ของส่วนประกอบลาดที่ได้จากการขุดในหินและความกว้างสำหรับออกแบบ**

| ส่วนประกอบ | วัตถุประสงค์ | ความกว้าง |
|---|---|---|
| **พื้นทาง (A)**<br>**(Top of subgrade)** | เป็นฐานสำหรับรองรับชั้นรองหินโรยทาง หินโรยทาง หมอน ราง และถนนข้างทางเพื่อการซ่อมบำรุง | ความกว้างมาตรฐานจากการออกแบบ |
| **ร่องน้ำ (B)**<br>**(Ditch)** | ระบายน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดินที่ไหลซึมเข้ามาในหลุดตัดหรือถม ช่วยป้องกันไม่ให้พื้นทางอ่อนตัวจากน้ำในดินที่มากเกินไป | ออกแบบให้เพียงพอกับปริมาณและการไหลของน้ำ |
| **ร่องดัก (C)**<br>**(Catchment ditch)** | ดักและเก็บวัสดุหินที่อาจร่วงลงมาตามลาด ใช้เข้าถึงทางรถไฟเพื่อวัตถุประสงค์ในการซ่อมบำรุง | ควรออกแบบให้มีร่องดักในบริเวณที่ขุดในหินที่ไม่แข็งแรง กะเทาะได้ง่าย และเสื่อมสภาพไว ความกว้างแปรเปลี่ยนไปตามความสูง ขนาดและอัตราการร่วงของหิน หลักการสำคัญคือร่องต้องกว้างพอให้หินที่ร่วงตกลงมาไม่กระเด็นเข้าไปในบริเวณราง |

2) การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดหิน

การออกแบบความเอียงของลาดหินให้เป็นไปตามการวิเคราะห์เสถียรภาพ ซึ่งเสถียรภาพของลาดหินขึ้นอยู่กับแนววางตัวของชั้นหิน รอยแตกแยก ลักษณะการเชื่อมต่อของรอยแตก พฤติกรรมของหินนั้นควรพิจารณาเป็นบริเวณและกำหนดด้วยลักษณะรอยของแตก ไม่ควรพิจารณาเสถียรภาพเป็นมวลรวมขนาดใหญ่นอกเสียจากลาดเป็นส่วนหนึ่งของหินอัคนีมวลไพศาล

ในกรณีทั่วไป ให้กำหนดความเอียงของความลาดใน**ตารางที่ 4-11** วิศวกรพึงพิจารณาข้อแนะนำคู่มือการออกแบบและก่อสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทางระหว่างการออกแบบลาดตัดหิน

3) การระเบิดหิน

การระเบิดหินโดยมิได้ควบคุมให้เหมาะสมนั้นเหนี่ยวนำให้รอยแตกในหินเปิดกว้างขึ้นและเป็นการเร่งการเสื่อมสภาพ การแทรกตัวของน้ำเข้าไปในรอยแตก หน้าหินกะเทาะร่วงและลาดมีเสถียรภาพที่ต่ำ การเลือกชนิดและวางแผนการระเบิดควรเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของการออกแบบลาดหิน จากประสบการณ์ที่ผ่านมาพบว่าวิธีแยกระเบิดก่อน (Pre-splitting) ด้วยการฝังระเบิดเป็นแนวและห่างกันน้อยกว่า 1.2 เมตร ให้ผลเป็นที่น่าพอใจสำหรับกรณีทั่วไป การเลือกชนิดและวางแผนการระเบิดควรเป็นไปตามคำแนะนำของวิศวกรผู้มีประสบการณ์

**ตารางที่ 4-11 ข้อแนะนำสำหรับการออกแบบลาดหินในกรณีทั่วไป**

| สภาพหิน | การออกแบบลาด |
|---|---|
| **หินแข็ง** | เนื้อหินไม่แยกตัวเป็นชั้นอย่างชัดเจน รอยแยกไม่ต่อเนื่องกัน แรงดันน้ำในหินต่ำ ก่อสร้างด้วยวิธีแยกระเบิดก่อน หากมิได้กำหนดเป็นอย่างอื่นให้ความเอียงของลาดหินที่ออกแบบไม่เกิน 70 องศา<br><br>หากไม่เป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้นการออกแบบให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกร |
| **หินชั้น** | หากมุมเอียงเข้าหาลาดดิน กำหนดให้ความเอียงของลาดหินที่ออกแบบไม่เกิน 70 องศา<br><br>หากไม่เป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้นการออกแบบให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกร |
| **หินที่มีรอยแตกกระจายอยู่ทั่วไปและหินที่เริ่มผุพังแล้ว** | การออกแบบให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกร |
| **หินชั้นที่เกิดจากดินเหนียว** | หากไม่เป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้นการออกแบบให้มีการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเป็นกรณีเฉพาะโดยวิศวกร |

4) การออกแบบร่องดักหิน

ในบริเวณก่อสร้างลาดในหินที่ไม่แข็งแรงและมีแนวโน้มที่หินจะร่วงและไม่สามารถออกแบบลาดให้มีชั้นหรือหิ้งที่เพียงพอได้ วิศวกรอาจออกแบบให้มีร่องดักหินให้เป็นส่วนหนึ่งของทาง (ส่วน C ในรูป 10) ลาดหินที่อยู่ชิดกับร่องควรมีความชันมากที่สุดเท่าจะที่ปลอดภัย ทั้งนี้เพราะหินที่ตกลงกระทบลาดที่มีความเอียงไม่มากจะกระเด็นเข้าไปในบริเวณทางและราง และ เป็นปัญหากับการจราจรได้

### 5.1.2 คันดินถม

ดินถมมีเพื่อปรับเพิ่มระดับพื้นทางให้อยู่ในระดับที่ต้องการ มีการถมดินเพื่อให้ได้ความลาดของทางที่เหมาะสม หรือ ยกระดับทางให้เหนือระดับน้ำหลากสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบ หรือการยกทางเพื่อให้ข้ามสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ในการออกแบบคันดินถมนั้นต้องพิจารณาสมรรถนะ



ทางวิศวกรรมขององค์ประกอบ 2 ส่วนได้แก่ 1) คันทาง และ 2 ) ดินฐานรากซึ่งรองรับคันทาง วิศวกรพึงออกแบบคันดินถม

1) ให้คันดินซึ่งรับน้ำหนักจากการจราจรของรถไฟมีเสถียรภาพ
2) ให้คันดินที่รับน้ำหนักจากการจราจรของรถไฟพร้อมทั้งดินฐานรากมีเสถียรภาพ
3) ให้มีระดับสูงเพียงพอการเผื่อการทรุดตัวที่จะเกิดขึ้นที่พื้นทาง กล่าวคือแม้เกิดการทุดตัวของโครงสร้างทางขึ้นระดับรางยังอยู่ในแนวที่ยอมรับได้ของการจราจรอยู่

- ฐานรากของลาดดินถม

  ฐานรากของลาดดินถมต้องแข็งแรงมั่นคงโดยมีสมรรถนะทางวิศวกรรมเช่นเดียวกันกับดินฐานรากของฐานรากแบบตื้นในงานโครงสร้างอาคาร ฐานรากของลาดดินต้องสามารถรับน้ำหนักจากดินถมและน้ำหนักจากการจราจรได้อย่างปลอดภัย หากดินฐานรากเป็นดินอ่อนยุบตัวได้มากให้ปรับปรุงดินนั้นก่อนทำการก่อสร้างลาดดิน

  วิศวกรพึงออกแบบให้ลาดดินถมมีอัตราส่วนปลอดภัยประมาณ 1.5 วิศวกรสามารถออกแบบให้อัตราส่วนปลอดภัยของลาดดินมากกว่า 1.5 ได้ในกรณีที่ความรู้เกี่ยวกับสมบัติทางวิศวกรรมของดินฐานรากนั้นมีอยู่อย่างจำกัด

- วัสดุดินถม

  ออกแบบลาดหรือคันดินถมโดยให้เป็นไปตามผลการวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน หากมิได้มีผลการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยอ้างอิงจากผลการทดสอบดินทั้งในสนามและห้องปฏิบัติการ แนะนำให้ความเอียงของลาดดินที่ปลอดภัยคือ 2 (ทางราบ) ต่อ 1 (ทางดิ่ง) หรือน้อยกว่า สำหรับทั้งดินทรายและดินเหนียว ดินที่นำมาก่อสร้างคันดินอาจเป็นดินมวลหยาบ เช่น กรวด หรือ ทราย หรือ ดินมวลละเอียด เช่น ตะกอนทราย หรือ ดินเหนียว

  วิศวกรพึงพิจารณาข้อแนะนำในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทางในการเลือกใช้วัสดุดินถม พิจารณาค่าใช้จ่ายในส่วนการขุด การขนย้ายและการก่อสร้างสำหรับเลือกแหล่งดินถมที่เหมาะสมที่สุด ดินถมอาจได้มาจากการขุดดินบริเวณใกล้เคียงโครงการ จากแหล่งยืม หรือ สั่งซื้อจากผู้ผลิต

- ดินถมใหม่ข้างลาดดินเดิม

  หากออกแบบและก่อสร้างดินถมใหม่ข้างลาดดินเดิมให้วิเคราะห์เสถียรภาพลาดดินทั้งลาดดินใหม่และลาดอันเดิม การวิเคราะห์เสถียรภาพให้ทำแยกวิเคราะห์ของแต่ละลาดและวิเคราะห์เสถียรภาพรวม วิศวกรพึงพิจารณาข้อแนะนำในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง

- หินถม

  หินถมมีแนวโน้มที่จะยุบตัวในแนวดิ่งเมื่อเวลาใช้งานของทางเพิ่มขึ้นทั้งนี้เกิดจากการอัดตัวแน่นขึ้นของหินถมเอง ปัญหานี้สามารถแก้ได้โดยกระบวนการยกทางและเติมหิน อย่างไรก็



ตามหากไม่สามารถยอมรับการทรุดตัวของทางในระดับดังกล่าวได้เลยได้วิศวกรควรเลือกใช้สะพานสำหรับรองรับทางแทน

1) หินถมอ่อน

หินถมอ่อนหมายถึงวัสดุหินที่ได้จากการใช้เครื่องมือกลปกติกัดเซาะหินออกมาจากแหล่ง หรือหินที่เสื่อมสภาพลงอย่างเร็วเมื่อนำออกมาจากแหล่งและเผชิญกับสภาพอากาศแบบต่าง ๆ แม้ว่าจะผลิตจากการระเบิดก็ตาม หินถมอ่อนอาจทำให้คันทางทึบน้ำได้ดังนั้นควรจัดหาระบบระบายน้ำที่เหมาะสม การออกแบบลาดดินต้องอยู่บนพื้นฐานของผลการทดสอบวัสดุในห้องปฏิบัติการ โดยต้องคำนึงถึงการลดลงของกำลังวัสดุตามเวลา แนะนำให้ความเอียงมากที่สุดของลาดหินถมอ่อนที่มีความสูงไม่เกิน 10 เมตร เป็น 2 (แนวราบ) ต่อ 1 (แนวดิ่ง) การออกแบบลาดจากหินถมอ่อนควรอยู่ในดุลยพินิจของวิศวกรปฐพี

2) หินถมแข็ง

โดยปกติหินแข็งได้จากการระเบิดแหล่งหิน หินถมแข็งมีความแข็งแกร่งและไม่เสื่อมสภาพเร็วนักเมื่อเทียบกับเวลา เวลา ความเอียงมากที่สุดของลาดหินถมอ่อนที่มีความสูงไม่เกิน 17 เมตร ให้เป็น 1.5 (แนวราบ) ต่อ 1 (แนวดิ่ง) หากลาดสูงกว่านั้นให้ความเอียงมากสุดเป็น 2 (แนวราบ) ต่อ 1 (แนวดิ่ง)

วิศวกรพึงพิจารณาข้อแนะนำในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทางระหว่างการออกแบบคันทางจากหินถม

## 5.2 การก่อสร้าง

### 5.2.1 การเตรียมพื้นที่

ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างทางต้องจัดให้มีการเตรียมสถานที่บริเวณโครงการก่อสร้างให้เรียบร้อย พิจารณาป้องกันไม่ให้ระบบสาธารณูปโภคที่มีอยู่เดิมเสียหาย หากจำเป็นให้ทำการย้ายระบบสาธารณูปโภคเหล่านั้นไปอยู่ในที่ ๆ เหมาะสม ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างต้องนำสิ่งกีดขวางออกจากพื้นที่บริเวณที่เกี่ยวข้องกับงานดินทั้งหมด รวมถึงบริเวณที่จะก่อสร้างร่องระบายน้ำ หรือ คันกั้นน้ำ ให้เตรียมและถางพื้นที่ไม่น้อยกว่า 2 เมตรขึ้นไปจากระดับการตัดทาง หรือ ไม่น้อยกว่า 2 เมตรจากฐานของลาดทางตัด หรือ คันดินถมออกไป การเตรียมพื้นที่ประกอบไปด้วย การนำต้นไม้ ตอไม้ พุ่มไม้ หรือ สิ่งอื่นใดที่ไม่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางออกจากพื้นที่ที่กำหนด ปิดช่องว่างและโพรงที่เกิดขึ้นจากจากเตรียมพื้นที่ให้เรียบร้อยด้วยวัสดุที่แข็งแรงและต้องทำการบดอัดให้มีความแข็งแรงไม่ยุบ วัสดุที่ได้จากการเตรียมพื้นที่ให้ขนย้ายและจัดการนอกบริเวณโครงการก่อสร้าง

### 5.2.2 การลอกหน้าดินและนำวัสดุที่ไม่แข็งแรงออก

ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างต้องพิจารณาลอกหน้าดินที่ไม่แข็งแรงมีสมรรถนะทางวิศวกรรมที่ต่ำออก วัสดุที่จัดว่าไม่แข็งแรงและต้องถูกนำออกได้แก่ หน้าดินอ่อน ดินที่มีอินทรียวัตถุปนอยู่เป็นจำนวนมาก เศษไม้ ตอไม้ วัสดุที่ย่อยสลายได้ วัสดุที่ถูกนำมาทิ้งจากแหล่งอื่น ก้อนหิน

วัสดุติดไฟ ดินที่เกิดการกัดเซาะได้ง่าย เช่นทรายละเอียด หากพบวัสดุหน้าดินที่ไม่แข็งแรงลงไปในระดับที่ลึกมาก อาจต้องมีการปรับปรุงดิน การจัดการให้เป็นไปตามคำแนะนำของวิศวกรปฐพีที่ได้รับมอบหมาย

### 5.2.3 งานขุด หรือ ตัดทาง

รูปตัดการขุดดินต้องเป็นไปตามแบบอย่างเคร่งครัด และอยู่ภายใต้การดูแลของวิศวกรผู้รับผิดชอบ ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างต้องจัดให้มีระบบระบายน้ำที่เพียงพอตลอดเวลาที่ขุดตัดทาง การระบายดินออกควรจัดเส้นทางเฉพาะให้ยานพาหนะเพื่อเลี่ยงไม่ให้ยานพาหนะก่อให้เกิดการเคลื่อนตัว แอ่ง หลุมบนผิวดินที่ตัด หรือ ขุดแล้ว ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างควรจัดหาระบบที่เหมาะสมสำหรับป้องกันฝุ่นจากการดำเนินงานทั้งหมด

สำหรับการขุดในหิน ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างต้องควบคุมงานอย่างพิถีพิถัน เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับผิวหินลึกเกินไปกว่าที่ระบุในแบบก่อสร้าง หากหลังจากการระเบิดแล้วมีส่วนของหินที่อาจจะเสียเสถียรภาพได้ในอนาคต ให้ดำเนินการเอาส่วนหินเหล่านั้นออก หากเอาออกไม่ได้ให้เสริมกำลังส่วนดังกล่าวให้มีเสถียรภาพ

หากไม่ได้ระบุเป็นการเฉพาะและความลึกของการขุดไม่เกิน 7 เมตร อาจพิจารณาควบคุมให้ความเอียงสำหรับการขุด หรือ ตัดทางให้เป็นไปตามค่าที่แนะนำ**ตารางที่ 4-12**

**ตารางที่ 4-12 ความเอียงแนะนำสำหรับการขุดหรือตัดทางในดินหรือหินในกรณีที่การขุด หรือ ตัดทางลึกไม่เกิน 7 เมตร**

| วัสดุ | | ความเอียง | |
|---|---|---|---|
| | | ระยะตามแนวนอน | ระยะตามแนวตั้ง |
| 1 | ทราย | 2 | 1 |
| 2 | ดินเหนียวเปียก กรวดร่วน | 2 | 1 |
| 3 | ดินเหนียวปนทราย หินก้อนใหญ่ ดินเหนียว ดินบดอัดปนกรวด | 1.75 | 1 |
| 4 | หินความแข็งแรงต่ำ | 1.5 | 1 |
| 5 | หินดินดานที่ระนาบโครงสร้างเอียงเข้าหาทางรถไฟ กรวดที่มีการเชื่อมประสาน | 1 | 1 |
| 6 | หินทั่วไป | 1 | 1 |
| 7 | หินแข็ง | 0.25 | 1 |
| **ใช้กับงานขุดหรือตัดลึกไม่เกิน 7 เมตร** | | | |

### 5.2.4 งานถม และ ก่อสร้างคันทาง

หน้าตัดการถมดินต้องเป็นไปตามแบบอย่างเคร่งครัด และอยู่ภายใต้การดูแลของวิศวกรผู้รับผิดชอบ วิศวกรควรพิจารณาเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมจากการขุดในบริเวณโครงการก่อสร้างก่อนพิจารณาเลือกใช้วัสดุจากแหล่งภายนอก ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างต้องจัดให้มีระบบระบายน้ำที่เพียงพอตลอดเวลา รางระบายน้ำต้องมีความยาวและความเอียงเหมาะสม การถมดินควรกระทำด้วยความระมัดระวังเพื่อป้องกันผลกระทบเชิงลบต่อส่วนประกอบอื่นของทางที่ได้ก่อสร้างไปแล้ว เช่น ร่องระบายน้ำ หรือทางระบายน้ำตามธรรมชาติ การนำวัสดุ



ถมเข้าออกควรจัดเส้นทางเฉพาะให้ยานพาหนะเพื่อเลี่ยงไม่ให้มีการเคลื่อนตัว แอ่ง หลุมบนผิวดินถม ทั้งนี้เพื่อป้องกันมิให้น้ำขังตัว ดินอ่อนกำลังลง อันจะนำมาซึ่งปัญหาในภายหลัง ผู้รับผิดชอบการก่อสร้างควรจัดหาระบบที่เหมาะสมสำหรับป้องกันฝุ่นจากการดำเนินงานทั้งหมด

เมื่อก่อสร้างคันดินบนดินฐานรากอ่อน เช่น ดินเหนียว หรือเป็นที่ลุ่มมีน้ำท่วมได้ การออกแบบและก่อสร้าง รวมถึง การลอกดิน หรือ การนำดินอ่อนมาใช้ประโยชน์อย่างอื่น การใช้วัสดุเสริมกำลัง และเทคนิคการก่อสร้างให้เป็นไปตามคำแนะนำของวิศวกรปฐพีที่ได้รับมอบหมาย

1) วัสดุถมสำหรับก่อสร้างคันทาง

คันทางรถไฟควรประกอบไปด้วยดินบดอัดสองส่วนคือ ส่วนดินถมโครงสร้าง และส่วนดินถมทั่วไป สมบัติดินสำหรับก่อสร้างดินถมส่วนโครงสร้างควรเป็นไปตามข้อแนะนำใน**ตารางที่ 4-13**

**ตารางที่ 4-13 สมบัติของดินถมสำหรับก่อสร้างชั้นดินถมโครงสร้าง**

| มาตรฐานการทดสอบ | ข้อกำหนด | เกณฑ์ | ความถี่ในการทดสอบ |
|---|---|---|---|
| ASTM C 117<br>ASTM D 422 | การคละขนาดอนุภาค<br>ร้อยละผ่านตะแกรง 53 มิลลิเมตร<br>ร้อยละผ่านตะแกรง 2.36 มิลลิเมตร<br>ร้อยละผ่านตะแกรง 0.43 มิลลิเมตร<br>ร้อยละผ่านตะแกรง 0.075 มิลลิเมตร | <br>80-100<br>15-100<br>0-70<br>0-30 | หนึ่งการทดสอบ<br>ทุก ๆ 50 ลูกบาศก์เมตร |
| ASTM D 4318 | พิกัดเหลว | มากสุด 40 | |
| ASTM D 4318 | ดัชนีพลาสติก | มากสุด 20 | |
| ASTM D 698 | ความหนาแน่นแห้งสูงสุด | ต่ำสุด 1.8 ตัน/ลูกบาศก์เมตร | |
| ASTM D 1883 | ค่าซีบีอาร์แบบแช่น้ำ (บดอัดมาตรฐาน) | อย่างน้อย 8 % | |

2) การถมดิน

ระหว่างการก่อสร้างคันทางควรถมดินเป็นชั้นให้เต็มทั้งความกว้างทั้งชั้นและทำการบดอัด หากออกแบบให้มีคันดินถ่วงน้ำหนัก (Stabilization Berm) ควรก่อสร้างคันดินถ่วงน้ำหนักขึ้นเป็นชั้นเท่ากันและพร้อมกันกับคันดินหลัก โดยปกติแล้วความหนาสำหรับบดอัดแต่ละชั้นควรไม่เกิน 20 เซนติเมตร หากใช้ความหนามากกว่า 20 เซนติเมตร ต้องพิสูจน์ทราบได้ว่าความหนาที่ใช้ยังให้ค่าการบดอัดตามเกณฑ์ที่กำหนด หลีกเลี่ยงการใช้วัสดุที่แตกต่างกันมากในการบดอัด (ทั้งในชั้นเดียวกัน หรือ ระหว่างชั้น) ขนาดอนุภาคของวัสดุที่นำมาบดอัดต้องไม่มากกว่า 2 ใน 3 ของความหนาสำหรับบดอัดชั้นดิน ระหว่างก่อสร้างต้องจัดให้มีระบบระบายน้ำที่ดี น้ำไม่ท่วมขัง ป้องกันไม่ให้เกิดการกัดเซาะ ปรับแต่งผิวบนของคันดินให้เรียบตามระดับที่ต้องการและพร้อมสำหรับการก่อสร้างชั้นรองหินโรยทางต่อไป



3) การบดอัดดินคันทาง

ต้องบดอัดดินที่ปริมาณน้ำในดินตามที่กำหนดทั้งนี้เพื่อให้ได้ค่าการบดอัด (ความหนาแน่นแห้งสูงสุด) ตามเกณฑ์ ซึ่งโดยปกติอยู่ในไม่เกินช่วง 2% ของ ปริมาณน้ำที่ความหนาแน่นสูงสุด เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำในดินตามที่กำหนดอาจต้องพรมน้ำอย่างสม่ำเสมอบนชั้นดินที่จะบดอัดหรือตากหรือพึ่งชั้นดินเพื่อลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่ต้องการ วิศวกรอาจพิจารณาผสมดินแห้งเข้าไปในดินเปียกเพื่อลดความชื้นในดินก่อนการบดอัด ระหว่างการบดอัดสามารถเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างชั้นด้วยการพรมน้ำให้เปียกหรือการเซาะร่องในชั้นที่บดอัดแล้วก่อนการบดอัดชั้นต่อไป

หากระหว่างการบดอัดความหนาแน่นของดินคันทางไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานนี้ ให้หยุดการดำเนินการและให้รื้อชั้นดินดังกล่าวขึ้น เพิ่ม หรือ ลดปริมาณความชื้นในดิน จากนั้นทำการบดอัดใหม่ ทำเช่นนี้จนกว่าจะได้ความหนาแน่นของดินคันทางเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐาน การผสมปูนขาว เถ้าลอย หรือ พอร์ตแลนด์ซีเมนต์ในดินสามารถเพิ่มประสิทธิผลของการบดอัดเพื่อให้ได้ความหนาแน่นเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของวิศวกร ข้อกำหนดสำหรับการบดอัดดินคันทางให้เป็นไปตาม **ตารางที่ 4-14**

**ตารางที่ 4-14 ข้อกำหนดสำหรับการบดอัดดินคันทาง**

| | |
|---|---|
| **การบดอัด A** | ดินมวลละเอียด ค่าการบดอัดสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่า 100 % โดยอิงจากผลทดสอบบดอัดมาตรฐาน ASTM D 698<br>หิน หรือ ดินมวลหยาบ บดอัดด้วยรถแบบสั่น หนัก 10 ตัน 8-10 เที่ยวและไม่มีแอ่งที่สังเกตได้บนผิวดิน |
| **การบดอัด B** | ค่าการบดอัดสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่า 95 % โดยอิงจากผลทดสอบบดอัดมาตรฐาน ASTM D 698 |

การบดอัดคันดินในส่วนต่าง ๆ ของคันทางให้ดำเนินการตามข้อกำหนดใน**ตาราง 4-15**

**ตารางที่ 4-15 ข้อกำหนดสำหรับการบดอัดดินในส่วนต่าง ๆ ของคันทาง**

| | |
|---|---|
| **ดินถมทั่วไป** | ต่ำกว่าส่วนดินถมโครงสร้างให้บดอัดตามมาตรฐาน B |
| **ดินถมโครงสร้าง** | จากชั้นดินถมทั่วไปจนถึงระดับ 50-100 ซม ต่ำจากระดับพื้นทางให้บดอัดตามมาตรฐาน A |

4) การถมและบดอัดดินใกล้เคียงกับสิ่งก่อสร้างที่มีอยู่เดิม

ผู้ดำเนินงานก่อสร้างต้องเพิ่มความระมัดระวังขณะบดอัดดินในระยะ 5 เมตร จากโครงสร้างอื่นที่มีอยู่เดิม เช่นกำแพงผนังค้ำยัน ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับโครงสร้างเหล่านั้น ควรงดใช้อุปกรณ์สำหรับบดอัดดินที่เป็นแบบสั่นในบริเวณดังกล่าว วิศวกรพึงพิจารณาข้อแนะนำในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง



5) การก่อสร้างคันทางด้วยหิน

หากพิจารณาใช้หินที่มีการคละขนาดที่ดีสำหรับถมเพื่อก่อสร้างคันทาง ควรเลี่ยงการเทออกจากรถบรรทุกโดยตรงเพื่อป้องกันการแยกตัวของอนุภาคที่มีขนาดต่างกัน วิศวกรพึงพิจารณาข้อแนะนำในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง

6) การขยายคันดินถมเดิมให้กว้างขึ้น

ส่วนขยายออกของคันทางถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างทางเดิม โดยหลัก การขยายคันทางเดิมควรใช้เทคนิคการการตัดดินเดิมให้เป็นขั้นหรือหิ้งและถมดินใหม่เสริมด้านข้าง วิศวกรพึงพิจารณาข้อแนะนำในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง

# 6 ชั้นรองหินโรยทางรถไฟ

ส่วนนี้ของมาตรฐานนี้ อธิบายข้อกำหนดสำหรับการออกแบบ สมบัติวัสดุและการก่อสร้างชั้นรองหินโรยทาง ชั้นหินโรยทางพึงก่อสร้างจากดินอนุภาคที่คละขนาดเป็นไปตามข้อกำหนดและบดอัดให้แน่น วัสดุชั้นรองหินโรยทางควรมีดินมวลละเอียดปนอยู่อย่างเพียงพอทั้งนี้เพื่อบดอัดให้มีประสิทธิภาพ

## 6.1 การออกแบบ

การออกแบบโครงสร้างทางต้องเป็นไปในลักษณะที่พื้นทาง ชั้นรองหินโรยทาง และหินโรยทางรองรับโครงสร้างส่วนบนของทางและกระจายแรงในโครงสร้างทางอย่างสม่ำเสมอ กำลังของพื้นทางจะเป็นปัจจัยหลักที่ใช้กำหนดความหนาของชั้นอนุภาค

### 6.1.1 ดินพื้นทาง

การประเมินกำลังรับแรงเฉือนต่ำสุดให้พิจารณาชั้นดินจากพื้นทางลงไปถึงระดับความลึก 60 เซนติเมตร วิศวกรสามารถใช้การทดสอบดินตามมาตรฐานใน**ตารางที่ 4-16** เพื่อจำแนกชนิดและทราบสมบัติทางกลของดินพื้นทาง

**ตารางที่ 4-16 การทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของดินพื้นทาง**

| สมบัติทางกล | การทดสอบ |
|---|---|
| ขีดจำกัดพลาสติก และ ดัชนีพลาสติก | ASTM D 4318 |
| การคละขนาดอนุภาค | ASTM D 421<br>ASTM D 422 |
| ลักษณะการการบดอัด | ASTM D 698 (Standard Proctor test)<br>ASTM D 1557 (Modified Proctor test) |
| กำลังรับแรงเฉือนของดิน | ASTM D 2166 (Unconfined compression test) |

ในกรณีที่ดินฐานรากเป็นดินมวลละเอียดวิศวกรควรประเมินกำลังรับแรงเฉือนของดินในระยะ 60 เซนติเมตรแรกจากการทดสอบ Unconfined compression test หากไม่มีผลการทดสอบดังกล่าวอาจพิจารณาเลือกใช้กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินมวลละเอียดที่ยอมให้เป็น 138 kPa



ความเค้นที่ผิวพื้นทางต้องไม่เกินระดับของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ (ปลอดภัย) ในการคำนวณกำลังที่ยอมให้ให้ใช้อัตราส่วนปลอดภัยตั้งแต่ 2 ถึง 5 ทั้งนี้เพื่อป้องกันการพังวิบัติหรือการเคลื่อนตัวเสียรูปที่มากไปในดินพื้นทาง หากกำลังของดินต่ำ หรือ มีขีดจำกัดเหลวเกิน 30 หรือ ดัชนีพลาสติกเกิน 12 ต้องเพิ่มความระมัดระวังในการคำนวณกำลังที่ยอมให้ วิศวกรอาจพิจารณาเปลี่ยนหรือปรับปรุงดินพื้นทางเพื่อให้มีกำลังดีขึ้นสำหรับรองรับโครงสร้างทางตั้งแต่ชั้นรองหินโรยทางขึ้นไป

## 6.2 วัสดุสำหรับก่อสร้างชั้นรองหินโรยทาง

วัสดุสำหรับก่อสร้างชั้นรองหินโรยควรมีลักษณะเป็นอนุภาค (Granular soil) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นดินมวลหยาบ มีการคละขนาดอนุภาคที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการแทรกตัวของดินพื้นทางและป้องกันการแทรกตัวของหินโรยทางเข้ามาในชั้นรองหินโรยทาง การกำหนดการคละขนาดอนุภาคให้เป็นไปตามคู่มือการออกแบบและก่อสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรย

สมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุรองหินโรยสามารถทดสอบได้จากการทดสอบมาตรฐานดังแสดงใน **ตารางที่ 4-17** ข้อแนะนำเกี่ยวกับค่าที่ใช้ในการออกแบบก่อสร้างแสดงในตารางเดียวกัน การทดสอบเหล่านี้พิจารณาให้เป็นการทดสอบขั้นต่ำ วิศวกรสามารถดำเนินการทดสอบคุณสมบัติของดินเพิ่มเติมนอกเหนือจากวิธีเหล่านี้ได้เมื่อเห็นสมควร

**ตารางที่ 4-17 การทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นรองหินโรยทางและค่าแนะนำสำหรับการออกแบบ**

| สมบัติทางวิศวกรรม | การทดสอบ | ข้อแนะนำ |
|---|---|---|
| การคละขนาด | ASTM D 422 | ดูส่วนที่ 6.2 ของมาตรฐานนี้ |
| ความหนาแน่นสำหรับบดอัด | ASTM D 1557 | บดอัดที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด บดอัดที่ความชื้นที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด |
| ขีดจำกัดเหลวและดัชนีพลาสติก | ASTM D 423<br>ASTM D 424 | พิกัดเหลวน้อยกว่า 30<br>ดัชนีพลาสติกน้อยกว่า 10 |
| ความทนทานต่อการขัดสี (ลอสแองเจลิส) | ASTM C 131 | ค่าเปลี่ยนแปลงได้[1] |
| ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ | ASTM C 88 | ค่าเปลี่ยนแปลงได้[1] |
| ปริมาณวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 | ASTM C 117 | น้อยกว่า 5% |
| สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ | ASTM D 2434 | ค่าเปลี่ยนแปลงได้[1] |
| ความถ่วงจำเพาะ | ASTM C 127 | ค่าเปลี่ยนแปลงได้[1] |
| **ค่าเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของหินโรยทาง ดินพื้นทางและวัสดุชั้นรองหินโรยทางเอง หน่วยงานเจ้าของทางสามารถกำหนดค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเฉพาะกรณีไป** | | |

## 6.3 การก่อสร้างชั้นรองหินโรยทาง

การก่อสร้างชั้นรองหินโรยทางประกอบไปด้วยการเท ไถปาด ขึ้นรูป และการบดอัดตามที่กำหนดในแบบก่อสร้าง

รายละเอียดและขั้นตอนแนะนำให้เป็นไปตามข้อกำหนดในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง



**6.4 การผลิตและการขนย้าย**

ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในส่วน 4.3 ของมาตรฐานนี้

**6.5 การตรวจสอบการผลิต**

ให้เป็นไปตามข้อกำหนดในส่วน 4.3 ของมาตรฐานนี้

**6.6 การวัดปริมาณวัสดุรองหินโรยทาง**

ให้วัดปริมาณวัสดุรองหินโรยทางเป็นตัน ปริมาณรวมคำนวณจากปริมาณวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างสำหรับแต่ละขั้นตอนคือ เทวาง ปาดเกลี่ย บดอัด และ รักษาพื้นผิวชั้นรองหินโรยทางให้เป็นไปตามแบบจนถึงเวลาก่อสร้างชั้นหินโรยทาง

น้ำที่ใช้ระหว่างการก่อสร้างชั้นรองหินโรยทาง ได้แก่ พรมน้ำชั้นดินพื้นทางให้เปียก น้ำใช้ระหว่างการบดอัดชั้นรองหินโรยทาง และ น้ำที่ใช้ระหว่างการรักษาพื้นผิวชั้นรองหินโรยทางให้เป็นไปตามแบบจนถึงเวลาก่อสร้างชั้นหินโรยทาง ให้คำนวณราคาเป็นส่วนหนึ่งของวัสดุชั้นรองหินโรยทาง

# บรรณานุกรม


[1] ASTM C 88-13 Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate

[2] ASTM C 117-13 Standard Test Method for Materials Finer than 75 micron (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing

[3] ASTM C 127-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate

[4] ASTM C 128-15 Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate

[5] ASTM C 131-01 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine

[6] ASTM C 136-01 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates

[7] ASTM C 295-12 Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete

[8] ASTM C 535-16 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine

[9] ASTM C 702-98 Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size

[10] ASTM D 75-03 Standard Practice for Sampling Aggregates

[11] ASTM D420-98(2003) Standard Guide to Site Characterization for Engineering Design and Construction

[12] ASTM D 421-85(2007) Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants

[13] ASTM D 422-63(2007) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils

[14] ASTM D698 – 12 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12 400 ft-lbf/ft3 (600 kN-m/m3))

[15] ASTM D854 – 14 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer

[16] ASTM D1452 / D1452M – 16 Standard Practice for Soil Exploration and Sampling by Auger Borings

[17] ASTM D1556 Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by Sand-Cone Method

[18] ASTM D1557 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft3 (2,700 kN-m/m3))

[19] ASTM D1586-11 Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils
[20] ASTM D1587 Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Fine-Grained Soils for Geotechnical Purposes
[21] ASTM D1883 – 16 Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils
[22] ASTM D2166 / D2166M – 16 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil
[23] ASTM D2167 – 15 Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Rubber Balloon Method
[24] ASTM D2216 – 10 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
[25] ASTM D2217-85(1998) Standard Practice for Wet Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants
[26] ASTM D2434-68(2006) Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head)
[27] ASTM D2487 – 11 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)
[28] ASTM D2488 Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)
[29] ASTM D2573 Standard Test Method for Field Vane Shear Test in Saturated Fine-Grained Soils
[30] ASTM D2664-04 Standard Test Method for Triaxial Compressive Strength of Undrained Rock Core Specimens Without Pore Pressure Measurements
[31] ASTM D3441 Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Testing of Soils
[32] ASTM D4253 – 16 Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table
[33] ASTM D4254 – 16 Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density
[34] ASTM D4318 – 10 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils
[35] ASTM D4546 – 14 Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils
[36] ASTM D4767 – 11 Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils
[37] ASTM D 4791-10 Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate
[38] ASTM D 6928-17 Standard Test Method for Resistance of Coarse Aggregate to Degradation by Abrasion in the Micro-Deval Apparatus

[39] EN 933-3: 2012 Tests for geometrical properties of aggregates. Determination of particle shape. Flakiness index

[40] EN 933-4: 2008 Tests for geometrical properties of aggregates. Determination of particle shape. Shape index

[41] EN 1367-1: 2007 Tests for thermal and weathering properties of aggregates. Determination of resistance to freezing and thawing

# มขร S-T-005-256x

## มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง

## Ballastless Track Design



สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร พ.ศ. xxxx

# คำนำ

มาตรฐานเล่มนี้ถูกจัดทำขึ้นในปี พ.ศ.25XX โดยมีการระดมความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญสายงานต่าง ๆ ทั้งในระดับแผนและปฏิบัติงาน และมีมาตรฐาน EN 16432-1 Railway applications – Ballastless Track Systems - Part 1: General requirements และ EN 16432-2 Railway Applications - Ballastless Track Systems - Part 2: Subsystem and components เป็นแนวทางหลักในการจัดทำ เพื่อมุ่งเน้นมาตรฐานออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง ให้เกิดความปลอดภัยและประสิทธิภาพสูงสุดในประเทศไทย รวมถึงความสามารถในการใช้งานร่วมกับรถไฟในประเทศอื่น ๆ

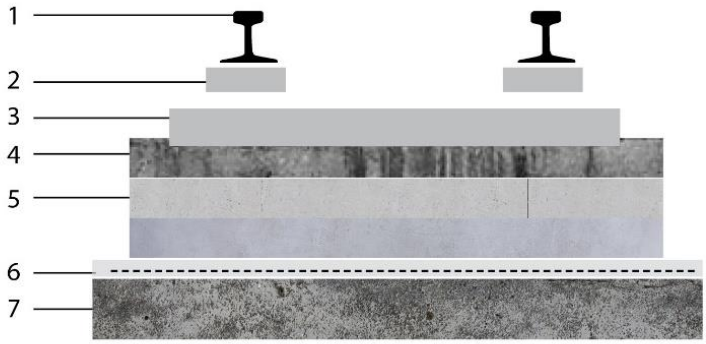
หวังเป็นอย่างยิ่งว่า มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทางนี้ จะเป็นประโยชน์กับวิศวกร และผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับงานออกแบบ รวมทั้งเป็นส่วนหนึ่งในการสนับสนุนให้เกิดการพัฒนาของระบบรางอย่างต่อเนื่องและนำมาซึ่งการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศต่อไป

# มขร S-T-005-256x มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง

## 1 ทั่วไป (General)

### 1.1 วัตถุประสงค์

มาตรฐานเล่มนี้ระบุข้อกำหนดทั่วไปและเกณฑ์ทางเทคนิคเกี่ยวกับการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง โดยระบบโครงสร้างทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง ประกอบไปด้วย (หรือไม่จำเป็นต้องมี) องค์ประกอบหลัก องค์ประกอบรองและส่วนต่าง ๆ ดังแสดงใน**รูปที่ 5-1**




**รูปที่ 5-1 องค์ประกอบโครงสร้างทางแบบไม่มีหินโรยทาง องค์ประกอบหลัก รองและส่วนต่าง ๆ**

โดยส่วนประกอบหลักของโครงสร้างทางรถไฟจะมีดังนี้

1. ราง ประแจสับราง
2. ระบบยึดเหนี่ยวราง หรือ ในบางระบบจะเป็นระบบฝังรางเข้ากับส่วนที่ 3
3. ส่วนประกอบที่นำมารองราง เช่น หมอนคอนกรีตรองราง
4. ชั้นคั่นกลางระหว่างหมอนรองรางกับพื้น หรือ คอนกรีตรองราง
5. พื้นคอนกรีตรองรางแบบชั้นเดียวหรือหลายชั้น
6. ชั้นรองพื้นคอนกรีตรองราง
7. โครงสร้างรองรับทางรถไฟ อาจจะเป็นพื้นคอนกรีต พื้นสะพาน ชั้นรองผิวทาง หรือคันทางแล้วแต่ลักษณะการออกแบบที่รองรับ

รูปแบบของโครงสร้างทางแบบไม่มีหินโรยทางมีมากมายหลายรูปแบบ ซึ่งขึ้นกับเทคนิคการออกแบบการถ่ายแรงจากรถไฟไปยังโครงสร้างทางรถไฟ รูปแบบโครงสร้างทางสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะการยึดรางได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ 1) โครงสร้างทางแบบไม่มีหินโรยทางแบบมีจุดรองรับต่อเนื่องหรือรางแบบฝัง (Embedded Rail System) และ 2) โครงสร้างทางแบบไม่มีหินโรยทางแบบมีระบบยึดเหนี่ยวราง (Fastening System) โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 1.1.1 โครงสร้างทางแบบไม่มีหินโรยทางแบบมีจุดรองรับต่อเนื่องหรือรางแบบฝัง (Embedded Rail System)

เป็นโครงสร้างทางที่รางฝังอยู่ใน Elastomeric Concrete หรือ วัสดุประสานซีเมนต์ (Cement) ซึ่งอยู่ในพื้นคอนกรีต ระบบนี้มีชื่อย่อว่า Embedded Rail System (ERS) โดยใช้ระบบรองรับแบบต่อเนื่องดังแสดงใน**รูปที่ 5-2**โดยโครงสร้างทางประกอบด้วยรางที่ฝังอยู่ในพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่อเนื่องวางอยู่บน ฐานที่ทำให้แน่นด้วยซีเมนต์และรองด้วยทราย

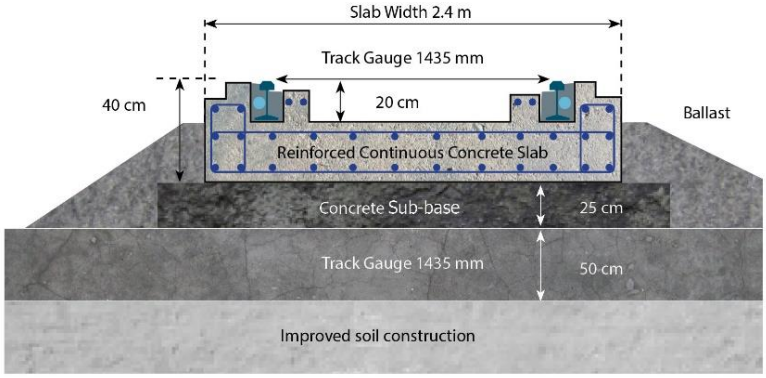
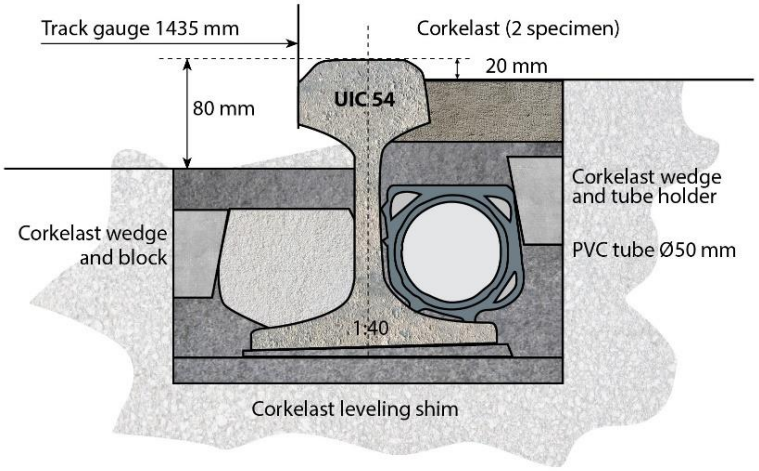



*Figure 10 Embedded rail concept for 3km test track in Holland*

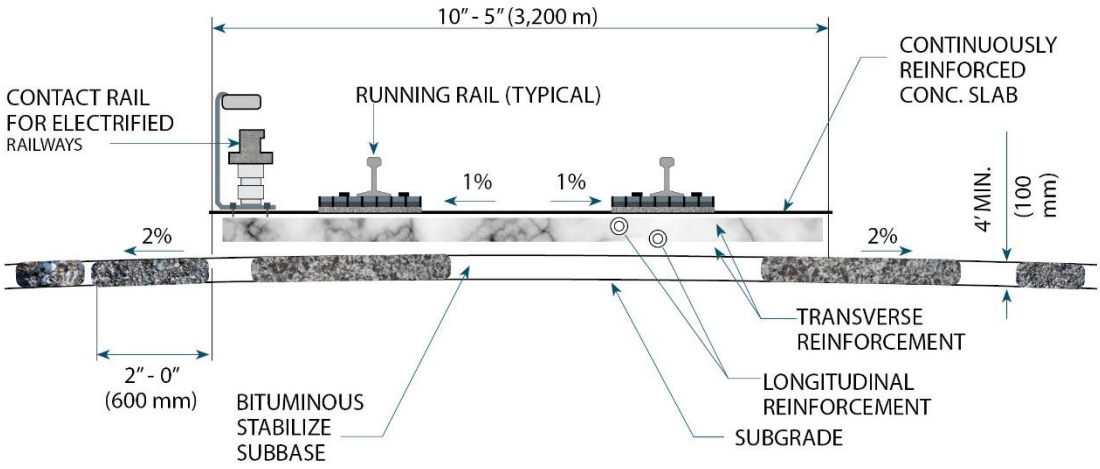



**รูปที่ 5-2 โครงสร้างทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทางแบบระบบรางฝัง (Embedded Rail System (ERS))**

### 1.1.2 โครงสร้างทางแบบไม่มีหินโรยทางแบบมีระบบยึดเหนี่ยวราง (Fastening System)

ระบบโครงสร้างทางแบบไม่มีหินโรยทางมักจะใช้ระบบที่มีระบบยึดเหนี่ยวราง ซึ่งระบบโครงสร้างทางนี้จะมีหลายระบบ และมีชื่อเรียกหลากหลายตามแต่ละรูปแบบการออกแบบ รูปแบบทั่วไปของโครงสร้างทางแบบมีระบบยึดเหนี่ยวได้แสดงใน

**รูปที่** 5-3




**รูปที่ 5-3 รูปแบบทั่วไปของพื้นทางคอนกรีตเสริมเหล็กแบบต่อเนื่อง (Continuously Reinforced Concrete Slab Track System, CRC) ที่มีระบบยึดเหนี่ยวราง (Fastening System)**

### 1.2 ขอบเขต

- มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับระบบขนส่งทางรางในประเทศไทย
- มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมสายทางระบบรางที่เปิดให้บริการภายหลังปี พ.ศ. 256x
- มาตรฐานฉบับนี้ใช้สำหรับระบบขนส่งทางรางในเมือง ชานเมือง และระหว่างเมือง ที่มีขนาดทาง 1.435 เมตร เท่านั้น โดยการออกแบบสำหรับขนาดทาง 1.000 เมตร ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของการรถไฟแห่งประเทศไทย

### 1.3 มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานเล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานการออกแบบส่วนประกอบทางรถไฟในส่วนโครงสร้างทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทาง มาตรฐานเล่มนี้ กำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

- มขร S-T-001-256x มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification)
- มขร S-T-007-256x มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ (Track Components)
- มขร S-T-008-256x มาตรฐานมาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ (Railway Track Transition Zone)

## 2 นิยามและสัญลักษณ์

### 2.1 นิยาม

ทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง (Ballast less Track) คือทางรถไฟที่ใช้พื้นคอนกรีตเพื่อรองรับทางรถไฟ แทนที่การใช้หินโรยทาง (Ballast) โดยพื้นคอนกรีตนี้จะเทเพื่อเชื่อมกับตัวหมอนรถไฟ (Concrete Sleeper) ในกรณีที่มีหมอนรถไฟ หรือใช้รองรับทางรถไฟโดยตรงโดยไม่มีหมอนรองรางก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ

### 2.2 สัญลักษณ์

- ERS Embedded Rail System
- CRC Continuous Reinforced Concrete Slab Track System

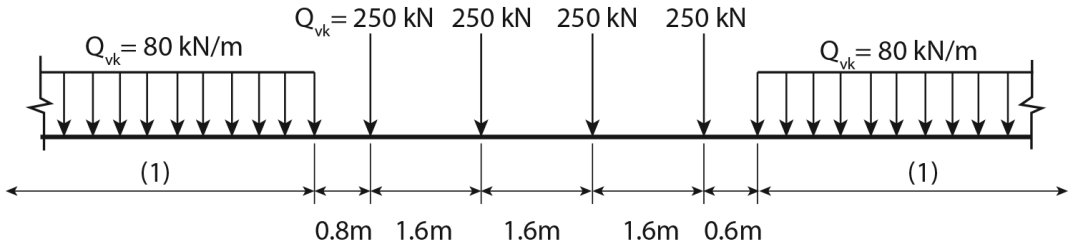
## 3 แรงกระทำที่พิจารณา (Load Condition)

### 3.1 องค์ประกอบของน้ำหนักบรรทุกที่ต้องพิจารณา

ทางรถไฟต้องรับน้ำหนักบรรทุกในสามทิศทางที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ และพร้อม ๆ กันตลอดเวลาที่ใช้งาน โดยแรงที่กระทำกับทางรถไฟประกอบด้วย

#### 3.1.1 แรงกระทำในแนวดิ่ง (Vertical Load)

เกิดจากน้ำหนักบรรทุกกดลงเพลา น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งจากสภาพการจราจรปกติ ซึ่งสามารถใช้การกระจายน้ำหนักลงรางตามชนิดและน้ำหนักลงเพลาจริงของรถไฟ หากไม่ระบุชนิดและน้ำหนักลงเพลาของรถไฟ สามารถใช้การกระจายน้ำหนักลงรางตาม**รูปที่ 5-4**




**รูปที่ 5-4 น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งสำหรับรถไฟในสภาพการจราจรปกติ**

**โดยที่** $q_{vk}$ = แรงกระทำหรือน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง หน่วยเป็น กิโลนิวตัน

โดยน้ำหนักดังกล่าวสามารถใช้ตัวคูณประกอบ เพื่อปรับแก้ค่าให้มากขึ้นสำหรับการจราจรที่มากกว่าปกติ หรือลดลงสำหรับการจราจรที่เบากว่าปกติ นอกจากนั้นการกระจายน้ำหนักดังกล่าวยังสามารถนำไปคูณกับตัวคูณประกอบ เพื่อคำนวณแรงเนื่องจากแรงหนีศูนย์กลางและแรงจากการเบรกได้

#### 3.1.2 แรงกระทำในแนวราบ (Horizontal Forces)

**1. แรงหนีศูนย์**

เป็นแรงที่เกิดขึ้นในกรณีที่รถไฟต้องเข้าโค้ง เมื่อเข้าโค้ง แรงหนีศูนย์ ($q_{vk}$) จะต้องนำมาพิจารณา แรงหนีศูนย์ สามารถคำนวณได้จาก**สมการ (5.1)**

$$q_{tk} = \frac{v^2}{g \times r}(f \times q_{vk}) \tag{5.1}$$



**โดยที่** $q_{vk}$ คือ แรงหนีศูนย์ หน่วยเป็น กิโลนิวตัน

$v$ คือ ความเร็วสูงสุดขณะเข้าโค้ง หน่วยเป็น เมตร/วินาที

$g$ คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก เท่ากับ 9.8 เมตร/วินาที$^2$

$r$ คือ รัศมีความโค้ง หน่วยเป็น เมตร

$f$ คือ ตัวคูณประกอบปรับลด ดัง**สมการ (5.2)**

**โดยที่**

$$f = \left[1 - \frac{V-120}{1000}\left(\frac{814}{V}+1.75\right)\left(1-\sqrt{\frac{2.88}{L_f}}\right)\right] \qquad (5.2)$$

**และ** $L_f$ คือ ความยาวประสิทธิผลของแรงที่กระทำต่อช่วงโค้งบนสะพาน หน่วยเป็นเมตร

$V$ คือ ความเร็วสูงสุด หน่วยเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง

**กำหนดให้** $F$ คือ เท่ากับ 1 เมื่อ $V \le 120$ กิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือ $L_f \le 2.88$

**2. แรงจากการเร่งและเบรก**

แรงจากการเร่งและเบรกจะกระทำที่ด้านบนของราง และกระทำตามแนวยาวของรางตามทิศทางของทางรถไฟ แรงนี้ให้พิจารณาเป็นแรงกระทำแบบกระจายและสม่ำเสมอตลอดแนวที่แรงกระทำ $(L_{a,b})$ การคำนวณแรงกระทำให้คำนวณตาม**สมการ (5.3)** และ**สมการ (5.4)**

แรงจากการเร่ง = 33 x $L_{a,b}$ กิโลนิวตัน $\le 1,000$ กิโลนิวตัน (5.3)

แรงจากการเบรค = 20 x $L_{a,b}$ กิโลนิวตัน $\le 1,000$ กิโลนิวตัน (5.4)

**โดยที่** $L_{a,b}$ = ความยาวของแนวแรงที่กระทำ หน่วยเป็นเมตร ภายใต้น้ำหนักบรรทุกสภาวะต่าง ๆ รูปทรงทางเรขาคณิตของทางรถไฟ คือ ขนาดทาง ระดับทาง และแนวเส้นทางต้องอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

## 3.2 ชนิดของแรงกระทำ

แรงที่มากระทำแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ

### 3.2.1 แรงกระทำแบบสถิต (Static Load)

น้ำหนักลงเพลาที่กระทำกับรางและถ่ายจากรางมายังพื้น ซึ่งจะต้องใช้กรณีของน้ำหนักกระทำรูปแบบต่าง ๆ เช่น การเกิดแรงหนีศูนย์ การกระจายน้ำหนักจากตัวรถลงรางที่ไม่สมมาตร การยกโค้ง ทั้งตามมาตรฐานที่กำหนดและน้ำหนักของตัวรถไฟจริงที่จะนำมาใช้



**3.2.2 แรงกระทำแบบพลศาสตร์ (Dynamic Load)**

เป็นน้ำหนักกระทำที่เพิ่มขึ้นตามความเร็วของรถไฟ โดยทั่วไปแล้วจะใช้ตัวประกอบ 1.5 ในการคูณกับน้ำหนักกระทำแบบสถิต (Static) เมื่อความเร่งในแนวดิ่งของตัวรถไฟไม่เกิน 5 เมตร/วินาที$^2$

# 4 วัสดุสำหรับโครงสร้างทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทาง

## 4.1 คอนกรีต

กำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วันไม่ควรต่ำกว่า 280 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร และวัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีตไม่ควรมีผลกระทบต่อความคงทนของคอนกรีต เช่น มวลรวมที่ไม่ทำให้เกิดปฏิกิริยาอัลคาไลน์ (Alkaline-aggregate Reaction) หรือ ปฏิกิริยาทางเคมีที่ส่งผลกระทบต่อความคงทนของคอนกรีต

## 4.2 เหล็กเสริม

เหล็กเสริมควรมีการทดสอบก่อนการนำไปใช้ และควรมีกำลังไม่ต่ำกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบ

# 5 การออกแบบโครงสร้างทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง

## 5.1 ข้อควรพิจารณาในการออกแบบ

การออกแบบทางรถไฟชนิดพื้นคอนกรีต จะใช้หลักการของการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กที่ต้องสามารถรับแรงกระทำจากน้ำหนักบรรทุกประเภทต่าง ๆ ได้อย่างปลอดภัย และสามารถถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงไปยังโครงสร้างส่วนล่างได้อย่างมีเสถียรภาพ เช่น ชั้นพื้นทาง พื้นทางคอนกรีต พื้นทางแอสฟัลท์คอนกรีต หรือ พื้นสะพาน เป็นต้น น้ำหนักบรรทุกที่พื้นคอนกรีตจะต้องรับ เช่น น้ำหนักที่ถ่ายจากรางแบบสถิตศาสตร์ แบบพลศาสตร์ หรือ หน่วยแรงจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวคอนกรีต

## 5.2 หลักการออกแบบแผ่นพื้น

**5.2.1 หลักการออกแบบ**

การประกอบกันของระบบโครงสร้างทางชนิดพื้นคอนกรีต ทั้งในแบบมีอุปกรณ์ยึดรั้งราง หรือเป็นแบบรางฝัง บนชิ้นส่วนคอนกรีตแบบหล่อสำเร็จ หรือหล่อในที่ ให้พิจารณาชิ้นส่วนนั้นเป็นคานต่อเนื่อง หรือคานแบบไม่ต่อเนื่องที่รองรับน้ำหนักบรรทุกตามหัวข้อที่ 3 โมเมนต์ของความเฉื่อยของราง ระยะระหว่างอุปกรณ์ยึดรั้ง และความยืดหยุ่นของระบบทั้งหมดบนจุดรองรับ มีผลต่อการกระจายแรงกระทำในแนวดิ่งและแนวราบจากราง โครงสร้างที่รองรับรางหรือแผ่นพื้น ซึ่งอาจประกอบด้วย ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ หรือชิ้นส่วนหล่อในที่ จะต้องออกแบบให้สามารถรับน้ำหนักในรูปของโมเมนต์ดัดในแนวระนาบและนอกระนาบเพื่อส่งต่อไปยังโครงสร้างส่วนล่างได้อย่างปลอดภัย โมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นจะต้องทำให้โครงสร้างรองรับรางมีพฤติกรรมอยู่ในช่วงยืดหยุ่นโดยไม่เกิดการเสียรูปอย่างถาวร (Plastic Deformation) หรืออาจเกิดการเสียรูปอย่างถาวรแต่จำกัด ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบในแต่ละชิ้นส่วนย่อย การคำนวณระดับความเค้นที่เกิดขึ้นในระบบย่อย (Subsystem) หรือส่วนประกอบ จะต้องไม่เกินระดับกำลังที่กำหนดไว้ ระดับโมเมนต์ดัดและความเค้นดึงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกในกรณี



ต่าง ๆ สามารถคำนวณแยกกันได้และนำมารวมกันในภายหลัง ซึ่งน้ำหนักบรรทุกที่มากระทำจะคำนึงถึง น้ำหนัก รวมถึงผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิด้วย

### 5.2.2 ขั้นตอนในการคำนวณ

**ขั้นตอนที่** 1 คำนวณโมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจากราง (Bending Moment due to rail seat load) สามารถใช้หลักการของพื้นบน Winkler Foundation ในการคำนวณโมเมนต์ดัดตามแนวแกนและแนวนอกระนาบ และหลักการคานบน Winkler Foundation ในการคำนวณโมเมนต์ดัดตามแนวแกน และนำผลจากโมเมนต์ดัดสูงสุดในการออกแบบต่อไป

**ขั้นตอนที่** 2 คำนวณโมเมนต์เนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ที่แตกต่างกันในระบบรองรับราง พื้นคอนกรีต พื้นทาง คานคอนกรีต เมื่อรับความร้อนจากแสงแดด หรือจากกระบวนการใด จะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผิวบนและผิวล่างของคอนกรีตที่ไม่เท่ากัน ความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจะก่อให้เกิดหน่วยแรงขึ้นในหน้าตัดของคอนกรีต การคำนวณหน่วยแรงจะสามารถแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อให้หาหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในหน้าตัดของคอนกรีตได้อย่างถูกต้อง

**ขั้นตอนที่ 3** คำนวณแรงที่กระทำบนชิ้นส่วนอื่นที่เกี่ยวข้องกัน ได้แก่

1) คำนวณแรงระหว่างระบบยึดรั้ง (Fastening System) กับระบบรองรับ (Supporting Structures) เช่น ชิ้นส่วนสำเร็จรูป หรือพื้น
2) คำนวณน้ำหนักที่กระทำบนชิ้นส่วนที่ประกอบกันและการกระจายน้ำหนัก
3) คำนวณแรงในชิ้นส่วนตามขวาง หรือหมอนรองรางและการกระจายน้ำหนัก
4) คำนวณแรงในคานตามยาว การกระจายน้ำหนักตามยาว
5) คำนวณแรงในพื้น หรือโครงสร้างรับน้ำหนักทั้งตามยาวและตามขวาง
6 คำนวณแรงกระทำกับพื้นแอสฟัลท์คอนกรีต (ถ้ามี)

ความล้าจากหน่วยแรง จากการดัดที่ยอมให้สูงสุดจากน้ำหนักรถไฟ สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการของ Multi-layer Theory Model โดยที่ ค่ายังโมดูลัสที่แนะนำสามารถใช้ค่าอีลาสติกโมดูลัส (E) = 50,000 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยโดยทั่วไปได้ และค่าเฉลี่ยความล้าจากโมเมนต์ดัดสามารถใช้ 8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

### 5.2.3 การออกแบบหน้าตัดของแผ่นพื้น

การออกแบบแผ่นพื้นจะใช้หลักการเดียวกับการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป เมื่อได้หน่วยแรงที่คำนวณได้ใน**ขั้นตอนที่ 2** จะทำการเสริมเหล็กให้สอดคล้องกับหน่วยแรงที่คำนวณได้ การออกแบบสามารถใช้ได้ทั้งวิธีหน่วยแรงใช้งาน และวิธีกำลัง



# 6 ระบบยึดเหนี่ยวราง (Rail Fastening System)

ให้อ้างอิงตามมาตรฐาน มขร S-T-007-256x มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ

# 7 ข้อควรพิจารณาพิเศษ

## 7.1 จุดเชื่อมต่อ (Transition Areas)

- ตำแหน่งเปลี่ยนผ่าน (Transition Areas) เช่น จุดที่เชื่อมต่อระหว่างสะพานกับทางรถไฟ หรือจุดที่เปลี่ยนจากทางรถไฟแบบมีหินโรยทางเป็นโครงสร้างทางแบบพื้นคอนกรีต จะต้องได้รับการพิจารณาเป็นพิเศษ

- การออกแบบตำแหน่งเปลี่ยนผ่านจะต้องพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างทางรถไฟที่มีความแข็งเกร็งสูงหรือทางรถไฟแบบทางรถไฟแบบพื้นทางคอนกรีต และ ทางรถไฟที่มีความแข็งแรงต่ำหรือทางรถไฟแบบหินโรยทาง โดยวิธีการที่ใช้ในการออกแบบต้องเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับและสามารถใช้งานได้อย่างประหยัดและเหมาะสม

รายละเอียดเพิ่มเติมของจุดเชื่อมต่อให้อ้างอิง มขร S-T-008-256x มาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ

## 7.2 จุดสิ้นสุดของทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทาง

จุดสิ้นสุดของทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทางจะต้องมีรอยต่อให้ขยายตัว (Expansion Joint) เพื่อให้พื้นคอนกรีตสามารถเคลื่อนที่ได้

## 7.3 ความต่อเนื่องของทางรถไฟแบบไม่มีหินโรยทางและคานของสะพาน

ส่วนนี้จะใช้กับทางรถไฟแบบพื้นคอนกรีตแบบตรงและต่อกับจุดรองรับแบบธรรมดาของคานสะพานที่มีช่วงฐานรองรับที่มีความยาวถึง 23 เมตร ถ้ามีความต้องการต่อความยาวของพื้นคอนกรีตบนคานที่รองรับสะพาน (Bridge Deck) จะต้องทำตามข้อกำหนดดังนี้

- เพื่อที่จะลดรอยแตกบนพื้นคอนกรีตและเพื่อให้พื้นและคานที่รองรับสะพานเกิดการเคลื่อนตัวได้ควรที่จะมีการลดแรงเสียดทานระหว่างพื้นคอนกรีตและคานของสะพาน
- ควรให้มี 2 ชั้นของ Bituminous Material แยก โดยแผ่นโพลี่ยูริเทน (Polyethylene) 2 แผ่น ระหว่าง พื้นคอนกรีตและคานของสะพาน
- วัสดุเทฟลอนสามารถนำมาใช้เพื่อลดแรงเสียดทานได้

  รายละเอียดเพิ่มเติมของจุดเชื่อมต่อให้อ้างอิง มขร S-T-008-256x มาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ

# บรรณานุกรม


[1] สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.), “งานออกแบบรายละเอียดโครงการระบบขนส่งกรุงเทพมหานคร ช่วงแบริ่ง-สมุทรปราการ และออกแบบโครงสร้างพื้นฐาน สิ่งอำนวยความสะดวกด้านการจราจรที่เกี่ยวข้อง”

[2] EN 1991-2:2003: Actions on structures - Part 2: Traffic loads on bridges

[3] EN 16432-1:2015: Railway applications – Ballastless Track Systems - Part 1: General requirements

[4] EN 16432-2:2015: Railway applications - Ballastless Track Systems - Part 2: Subsystem and components

[5] EN 16432-3:2015: Railway applications - Ballastless Track Systems - Part 3: Acceptance

[6] AREMA Manual for Railway Engineering: 2011: Volume 2: Concrete Structures and Foundations: Part 27 Concrete Slab Track

[7] KR C-14040 Concrete Track Structure

# มขร S-T-006-256x

## มาตรฐานรางเชื่อมยาว
## Continuous Welded Rail



สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร พ.ศ. xxxx

# คำนำ

มาตรฐานเล่มนี้ เป็นมาตรฐาน เพื่อควบคุมพฤติกรรมทางรถไฟที่ใช้รางเชื่อมยาวของประเทศไทย โดยเน้นไปถึงการวิเคราะห์พฤติกรรมของทางรถไฟภายใต้แรงกระทำต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยเฉพาะกับรางเชื่อมยาว ทั้งนี้ มาตรฐานได้จัดทำขึ้นโดยใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

- KR C- 14050. “Continuous Welded Rails (CWR)”.
- UIC 774-3R. “Track/bridge Interaction Recommendations for calculations”.



# มขร S-T-006-256x มาตรฐานรางเชื่อมยาว

## 1 ทั่วไป (General)

รางเชื่อมยาวเป็นรางที่ถูกเชื่อมปลายเข้าด้วยกัน โดยมีจุดประสงค์หลัก เพื่อลดการกระแทกในบริเวณจุดต่อรางและให้รถไฟวิ่งผ่านได้อย่างราบเรียบซึ่งหลังจากที่รางเชื่อมยาวถูกติดตั้งเข้ากับทางรถไฟแล้ว การเหนี่ยวรั้งที่เกิดจากชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวจะรั้งไม่ให้รางเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในแนวยาว พฤติกรรมดังกล่าวจะทำให้เกิดหน่วยแรงบนหน้าตัดรางขึ้นหากมีแรงที่มากระทำต่อรางเช่น การยืดหดตัวของรางเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การเร่งและเบรกของรถไฟ และการเคลื่อนตัวของสะพานที่จะส่งถ่ายแรงในแนวยาวเข้าสู่ทางรถไฟ เป็นต้น

ในกรณีที่หน่วยแรงตามแนวยาวของรางมีค่าสูงเกินค่ากำลังต้านทานการโก่งตัวของทางรถไฟนั้นความเสี่ยงที่รางจะเกิดการโก่งเดาะออกด้านข้างก็จะมีมากขึ้น โดยในการออกแบบก่อสร้างและซ่อมบำรุงทางรถไฟที่ใช้รางเชื่อมยาวนั้นจะต้องควบคุมให้หน่วยแรงตามยาวที่เกิดขึ้นในรางมีค่าต่ำกว่าพิกัดกำลังต้านทานของทางรถไฟ รวมทั้งต้องมีการตรวจสอบถึงสภาพของทางรถไฟให้สมบูรณ์เพื่อแน่ใจว่ากำลังต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้างของทางรถไฟขณะใช้งานนั้น มีค่าเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้

### 1.1 วัตถุประสงค์ (Objective)

มขร S-T-006-256X มาตรฐานรางเชื่อมยาว ในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์และออกแบบเพื่อควบคุมพฤติกรรมของทางรถไฟที่ใช้รางเชื่อมยาว

### 1.2 ขอบเขต

มาตรฐานนี้ใช้สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบทางรถไฟที่ใช้รางเชื่อมยาว ของทางรถไฟขนาด 1.000 เมตร และ 1.435 เมตร โดยมีความเร็วและน้ำหนักลงเพลาตาม มขร S-T-001-256X มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification)

### 1.3 มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง (Normative References)

- มขร S-T-001-256X มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification)
- มขร S-T-004-256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดหินโรยทาง (Ballasted Track Design Standard)
- มขร S-T-005-256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง (Ballast less Track Design Standard )
- มขร S-T-007-256X มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ (Track Components)



## 2 สัญลักษณ์

สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการศึกษามาตรฐานรางเชื่อมยาว แสดงดัง**ตารางที่ 6-1**

**ตารางที่ 6-1 สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการศึกษา**

| สัญลักษณ์ | ความหมาย |
|---|---|
| $\sigma_c$ | ค่าที่ยอมให้มากสุดของส่วนเพิ่มเติมหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในรางเชื่อมยาว (The Maximum Permissible Additional Compressive Rail Stress) |
| $\sigma_t$ | ค่าที่ยอมให้มากสุดของส่วนเพิ่มเติมหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในรางเชื่อมยาว (The Maximum Permissible Additional Tensile Rail Stress) |
| $\Delta_{rel}$ | ค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Relative Displacement) |
| $\Delta_{\max}$ | ค่าการเคลื่อนที่มากสุด (Maximum Displacement) |
| $R$ | ค่ารัศมีความโค้งของทางรถไฟ |

## 3 หลักการพื้นฐานของการออกแบบทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว

ในการแยกประเภทของรางสั้นกับรางเชื่อมยาวนั้น จะพิจารณาถึงการยืดหดตัวไปตามแนวยาวของราง หากรางมีการยืดหดตัวได้อย่างอิสระไปตลอดความยาวโดยไม่ทำให้เกิดหน่วยแรงขึ้น จะสามารถพิจารณารางดังกล่าวให้เป็นรางสั้นได้ และในอีกด้านหนึ่งสำหรับรางเชื่อมยาวนั้นการยืดหดตัวของรางจะทำให้เกิดหน่วยแรงบนหน้าตัดรางซึ่งต้องมีการควบคุมขนาดของหน่วยแรงดังกล่าว เพื่อป้องกับความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น โดยในมาตรฐานฉบับนี้รางเชื่อมยาว คือรางที่ยาวต่อเนื่องกันตั้งแต่ 90 เมตร ขึ้นไป ซึ่งรางเชื่อมยาวจะมีหลักการในการออกแบบ ดังนี้

1) หลักการของการวิเคราะห์และออกแบบมาจากการความสัมพันธ์ระหว่างทางรถไฟกับโครงสร้าง โดยพิจารณาด้านความปลอดภัยจากโก่งตัวด้านข้างซึ่งเป็นผลจากหน่วยแรงที่เกิดขึ้นไปตามแนวยาวของของรางเชื่อมยาว

2) ทางรถไฟบนพื้นดินและในอุโมงค์จะมีความแตกต่างจากทางรถไฟที่วางบนสะพาน เนื่องจากทางรถไฟบนพื้นดินและในอุโมงค์จะมีปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับเสถียรภาพของรางเชื่อมยาวคือ ความต้านทานต่อการเสียรูปทางด้านยาวและด้านข้าง รวมไปถึงรัศมีโค้งของทางรถไฟ แต่ในส่วนของสะพานจะมีการเคลื่อนที่ของโครงสร้างซึ่งจะส่งผลต่อหน่วยแรงและเสถียรภาพในรางเชื่อมยาวเพิ่มเข้ามา

3) โปรแกรมการวิเคราะห์ทางรถไฟแบบรางเชื่อมยาวจะใช้พื้นฐานของการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยโปรแกรมที่นำมาวิเคราะห์นั้น จะต้องมีการสอบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือ

4) มาตรฐาน UIC 774-3R, “Track/bridge Interaction Recommendations for calculations” อาจใช้อ้างอิงสำหรับข้อมูลเพิ่มเติมที่ไม่ได้อธิบายไว้ในมาตรฐานนี้



## 4 แนวทางปฏิบัติในการก่อสร้างทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว

การก่อสร้างทางรถไฟที่ใช้รางเชื่อมยาวจะมีแนวทางปฏิบัติ ดังนี้

1) อุณหภูมิปกติของสภาพแวดล้อมในการวางรางเชื่อมยาวคือ 30 องศาเซลเซียส หากมีการวางรางที่อุณหภูมิแตกต่างจากอุณหภูมิกลางมากเกินกว่า 5 องศาเซลเซียส จะต้องมีการควบคุมหน่วยแรงของรางก่อนติดตั้งและต้องมีการตรวจสอบรับรองจากผู้รับผิดชอบ ทั้งนี้ หากมีข้อมูลทางสถิติของอุณหภูมิในแต่ละพื้นที่ จะอนุญาตให้ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นอุณหภูมิกลางได้

2) รางเชื่อมยาวบนทางรถไฟบนหินโรยทางจะต้องมีโค้งรัศมีไม่ต่ำกว่า 400 เมตร และทางรถไฟช่วงที่มีรัศมีน้อยกว่า 600 เมตร จะต้องมีการทดสอบว่าทางรถไฟมีความต้านทานด้านข้างที่เพียงพอ

3) ทางโค้งบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความลาดชันต้องมีรัศมีโค้ง 3,000 เมตรขึ้นไป

4) การออกแบบทางรถไฟที่ใช้รางเชื่อมยาวควรหลีกเลี่ยงสะพานที่มีความยาวรวมกันเกิน 25 เมตรขึ้นไปในกรณีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จะต้องมีการวิเคราะห์และตรวจสอบความต้านทานตามแนวยาวและตามขวางของทางรถไฟ รวมไปถึงหน่วยแรงตามยาวในรางและการเคลื่อนตัวของสะพานโดยละเอียด

5) หลีกเลี่ยงการวางรางเชื่อมยาวบริเวณโค้งต่อเนื่องที่มีรัศมีต่ำกว่า 1,500 เมตร

6) ในกรณีที่วางรางเชื่อมยาวในอุโมงค์จะต้องทำรางเชื่อมยาวบริเวณอุโมงค์ให้แยกต่างหากแต่ในอุโมงค์สั้น ๆ ที่สภาพอากาศภายนอกและภายในอุโมงค์ไม่ต่างกันมาก อาจวางรางเชื่อมยาวต่อเนื่องกับทางรถไฟภายนอกได้

7) ควรหลีกเลี่ยงการวางรางเชื่อมยาวในบริเวณที่สภาพของทางรถไฟไม่สมบูรณ์

8) การเชื่อมรางให้เป็นไปตาม มขร S-T-007-256X มาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ

## 5 คุณสมบัติของทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว

เพื่อป้องกันการโก่งและการขยายตัวที่มากเกินไปในโครงสร้างทางรถไฟ องค์ประกอบของทางรถไฟจะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) โดยทั่วไปแล้วบริเวณปลายทั้งสองข้างของรางเชื่อมยาวจะยอมให้รางเกิดการยืดหดตัวได้ตามแนวยาว โดยอาจมีการติดตั้งอุปกรณ์เช่น จุดต่อเผื่อขยาย (Expansion Joint) เป็นต้น

2) รางเชื่อมยาวควรวางบนหมอนคอนกรีตเพื่อให้ทางรถไฟมีความแข็งเกร็ง (Track Stiffness) ที่เพียงพอ

3) ในกรณีของทางรถไฟบนพื้นดินและอุโมงค์ที่มีความต่อเนื่องกับสะพานจำเป็นต้องมีการจัดการหน่วยแรงตามยาวในรางเชื่อมยาวเนื่องจากการเสียรูปและเคลื่อนที่ของสะพาน

4) รางต้องเป็นรางใหม่และต้องการมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างละเอียดก่อนนำมาก่อสร้าง



5) หมอนจะต้องจัดวางให้มีความต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้างมากกว่า 500 กิโลกรัมต่อเมตร

6) พื้นทางจะต้องมีการตรวจสอบความกว้างและความหนาที่เพียงพอก่อนติดตั้งรางเชื่อมยาว ในกรณีที่จำเป็นอาจต้องมีการตรวจสอบความต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้าง ซึ่งต้องมีค่ามากกว่า 500 กิโลกรัมต่อเมตร

7) อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวของทางรถไฟบริเวณสะพานจะต้องมีความต้านทานที่เพียงพอต่อแรงกระทำทางด้านข้างรวมไปถึงแรงยกที่อาจเกิดขึ้นบนรางบริเวณสะพาน ทั้งนี้ ตอม่อของสะพานจะต้องถูกออกแบบให้สามารถต้านทานต่อแรงกระทำตามแนวยาวที่เกิดขึ้นจากทางรถไฟได้ด้วยเช่นกัน

# 6 การวิเคราะห์พฤติกรรมของทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว

## 6.1 ทางรถไฟบนพื้นดินคันทาง

- ในกรณีของทางรถไฟที่วางบนพื้นดินทั่วไปจะพิจารณาถึงแรงที่เพิ่มขึ้นตามแนวแกนเนื่องจากการขยายตัวและการหดตัวของรางเชื่อมยาวที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในบริเวณนั้นจะต้องมีการวิเคราะห์และตรวจสอบเสถียรภาพของทางรถไฟบริเวณที่มีรัศมีโค้งต่ำสุด
- การประมาณความต้านทานของทางรถไฟต่อแรงกระทำด้านข้าง
- หลักการของการวัดค่าความต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้างคือการตรวจวัดโดยให้แรงกระทำด้านข้างต่อทางรถไฟและตรวจสอบค่าการเคลื่อนตัวด้านข้าง
- ค่าความต้านทานด้านข้างจะตรวจวัดเมื่อหมอนรถไฟเคลื่อนที่ออกด้านข้างเป็นระยะ 2 มิลลิเมตร โดย 70 เปอร์เซ็นต์ ของแรงที่กระทำถือเป็นค่าความต้านทานด้านข้างของทางรถไฟ
- หากไม่สามารถวัดค่าความต้านทานด้านข้างของทางรถไฟอาจใช้สมการคำนวณหรือใช้การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยต้องมีการสอบเทียบความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์

## 6.2 ทางรถไฟบริเวณอุโมงค์

หลักการของการวิเคราะห์รางเชื่อมยาวในบริเวณอุโมงค์เหมือนกับการวิเคราะห์รางเชื่อมยาวบนพื้นดินคันทาง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของรางเชื่อมยาวในช่วงอุโมงค์จะมีอาณาเขต 100 เมตรจากปลายอุโมงค์ และมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ± 20 องศาเซลเซียส

## 6.3 ทางรถไฟบริเวณสะพาน

การวิเคราะห์รางเชื่อมยาวที่วางตัวอยู่บนสะพานจะต้องคำนึงถึงปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างรางเชื่อมยาวกับโครงสร้างสะพานพฤติกรรมดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องจากการที่รางและสะพานถูกยึดติดกันทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ โดยเมื่อรางเชื่อมยาวถูกติดตั้งไว้บนสะพานพฤติกรรมของตัวสะพานนั้นจะได้รับผลจากการส่งถ่ายแรงและการเคลื่อนตัวของรางเชื่อมยาวในทางกลับกันรางเชื่อมยาวก็จะได้รับผลกระทบจากพฤติกรรมการเสียรูปจากการรับน้ำหนักของตัวสะพานเช่นกัน ทั้งนี้ ในการวิเคราะห์พฤติกรรมดังกล่าวจะต้องจำลองพฤติกรรมการถ่ายแรงกันระหว่างทางรถไฟและสะพานได้อย่างเหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของราง อุปกรณ์ยึดเหนี่ยว จุดต่อเผื่อขยาย หินโรยทาง แผ่นพื้นคอนกรีตและคันทาง ตามที่กำหนดไว้ในมขร S-T-004-256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดหินโรยทาง (Ballast Track Design



Standard), มขร S-T-005-256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง (Ballast less Track Design Standard) และ มขร S-T-007-256X มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ (Track Components)

- แรงกระทำที่ต้องคำนึงถึงในการวิเคราะห์รางเชื่อมยาวบนสะพานคือ แรงจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของรางและสะพาน แรงเนื่องจากความเร่งและการเบรกของรถไฟ แรงในแนวยาวบนรางที่เกิดจากการแอ่นตัวของสะพาน

- พฤติกรรมของสะพานจะต้องคำนึงถึงการแอ่นตัวหรือการเสียรูปของโครงสร้างส่วนบน (Superstructures) รวมไปถึงความแข็งเกร็งและการขยับตัวของโครงสร้างส่วนล่าง (Substructures) เช่น จุดรองรับ (Bearing) ตอม่อ (Pier) ด้วยเช่นกัน

- การใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์พฤติกรรมปฏิสัมพันธ์ จะต้องมีการสอบเทียบความถูกต้องของผลลัพธ์ โดยอ้างอิงกับมาตรฐาน UIC 774-3R, “Track/bridge Interaction Recommendations for calculations” [2]

# 7 ข้อกำหนดในการออกแบบทางรถไฟที่ติดตั้งรางเชื่อมยาว

ทางรถไฟที่ใช้รางเชื่อมยาวจะต้องถูกออกแบบให้สามารถต้านทานปัจจัยต่าง ๆ โดยหน่วยแรงสูงสุดและการเคลื่อนที่ ๆ เกิดขึ้นจากการรวมกันของทุกกรณี จะต้องไม่เกินค่าที่กำหนด

## 7.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

- สำหรับการวิเคราะห์ทางรถไฟที่วางบนพื้นดิน ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของราง ± 30 องศาเซลเซียสในบริเวณเปิดและ ± 20 องศาเซลเซียส ในบริเวณอุโมงค์
- สำหรับการวิเคราะห์ทางรถไฟที่วางบนสะพาน ค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของรางบนสะพาน ± 50 และค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของสะพาน ± 35 องศาเซลเซียส
- ค่าอุณหภูมิที่ต่างกันของสะพานและราง (Relative Temperature) ไม่เกิน ± 20องศาเซลเซียส (ในกรณีที่ติดตั้งจุดต่อเผื่อขยาย)

## 7.2 แรงจากการเร่งและเบรกของรถไฟ

- ค่าแรงในแนวยาวจากการเร่งของรถไฟ 33 กิโลนิวตันต่อเมตรต่อหนึ่งช่องทางรถไฟ โดยค่าแรงสูงสุดไม่เกิน 1,000 กิโลนิวตัน
- ค่าแรงในแนวยาวจากการเบรกของรถไฟ 20 กิโลนิวตันต่อเมตรต่อหนึ่งช่องทางรถไฟ โดยค่าแรงสูงสุดไม่เกิน 6,000 กิโลนิวตัน
- ค่าทั้งสองข้างต้นนั้นอ้างอิงจากทางรถไฟขนาดมาตรฐาน (1.435 เมตร) หากทางรถไฟมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากนี้ต้องทำการระบุโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

## 7.3 แรงกระทำแนวดิ่งบนสะพาน

ใช้ค่าน้ำหนักบรรทุกเท่ากับการออกแบบสะพาน



**7.4 ค่าหน่วยแรงเพิ่มเติมที่ยอมให้เกิดในรางเชื่อมยาว**

1) ค่าที่ยอมให้มากสุดของส่วนเพิ่มเติมในหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในรางเชื่อมยาวบนทางรถไฟแบบใช้หินโรยทาง สามารถแบ่งได้ตามความกว้างของรัศมีโค้งดังนี้

- $R \geq 1,500$ เมตร $\sigma_c = 72$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
- $R \geq 700$ เมตร $\sigma_c = 58$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
- $R \geq 600$ เมตร $\sigma_c = 54$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร
- $R \geq 300$ เมตร $\sigma_c = 27$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

2) ค่าที่ยอมให้มากสุดของส่วนเพิ่มเติมในหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในรางเชื่อมยาวบนทางรถไฟแบบใช้หินโรยทาง เท่ากับ $\sigma_t = 92$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

3) ค่าที่ยอมให้มากสุดของส่วนเพิ่มเติมในหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในรางเชื่อมยาวบนทางรถไฟแบบไม่ใช้หินโรยทาง $\sigma_c = 92$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

4) ค่าที่ยอมให้มากสุดของส่วนเพิ่มเติมในหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นในรางเชื่อมยาวบนทางรถไฟแบบไม่ใช้หินโรยทาง เท่ากับ $\sigma_t = 92$ นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร

5) ค่าที่กำหนดข้างต้นนั้นอ้างอิงจากทางรถไฟขนาดมาตรฐาน 1.435 เมตร และใช้รางหน้าตัด UIC 60 ทั้งนี้หากทางรถไฟมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากนี้ต้องทำการระบุโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

**7.5 ค่าการเคลื่อนตัวสูงสุดที่ยอมให้**

1) ค่าการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในแนวยาวสูงสุดที่ยอมให้ (Relative Displacement) ระหว่างรางกับตัวสะพานหรือคันทาง (Embankment) ภายใต้แรงเนื่องจากการเบรกหรือความเร่ง เท่ากับ $\triangle_{rel} \pm 4$ มิลลิเมตร

2) ค่าการเคลื่อนตัวตามแนวยาวของตัวสะพานที่ยอมให้มากสุด(Absolute Displacement) ภายใต้แรงเนื่องจากการเบรกหรือความเร่ง คือ $\triangle_{\max} \pm 5$ มิลลิเมตร เมื่อรางเชื่อมยาววางพาดอยู่ระหว่างปลายทั้งสองด้านหรือข้างใดข้างหนึ่งของบริเวณเชื่อมต่อ (Transition Zone) ระหว่างสะพานและคันทาง หากรางเชื่อมยาววางตัวอยู่บนโครงสร้างทางชนิดใช้หินโรยทางร่วมกับจุดต่อเผื่อขยาย ค่าการเคลื่อนตัวตามแนวยาวของตัวสะพานที่ยอมให้มากสุดภายใต้แรงเนื่องจากการเบรกหรือความเร่งจะมีค่าเท่ากับ $\triangle_{\max} \pm 30$ มิลลิเมตร

**7.6 การเคลื่อนที่บริเวณปลายของคานสะพาน**

บริเวณปลายของสะพานจะมีการเคลื่อนตัวอันเนื่องมาจากการหมุนที่ปลาย รวมทั้งจากพฤติกรรมการรับแรงของจุดรองรับ โดยจะส่งผลให้มีการเคลื่อนตัวทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ ซึ่งต้องมีการกำหนดค่าสูงสุดโดยผู้รับผิดชอบ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวที่สูงเกินซึ่งจะส่งผลต่อเสถียรภาพและความปลอดภัยของทางรถไฟได้

## 7.7 การคลายความเค้นของราง (Destressing)

ในทางปฏิบัติแล้วทราบกันดีว่าเป็นการยากที่จะควบคุมอุณหภูมิในขณะการวางราง หรือ การใส่เครื่องยึดเหนียวราง ให้อยู่ภายในอุณหภูมิกลางสำหรับการวางรางตามที่กำหนด ดังนั้น การคลายความเค้นของรางจึงเป็นการคลายความเค้นที่เกิดขึ้นในรางเนื่องจากอุณหภูมิที่ต่างกันในขณะปฏิบัติงาน โดยจะกระทำเป็นช่วง ๆ ระหว่างสถานี เฉลี่ยช่วงละประมาณ 1,000 เมตร

### 7.7.1 ขั้นตอนการทำ Destressing

- ขั้นตอนก่อนปิดทาง
  1) ทำการปักป้ายเตือน และ ป้ายเบาทาง 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง ทางทิศเหนือและทิศใต้ของพื้นที่ทำงานก่อนทำการปิดทาง
  2) ทำการปรับหินให้อยู่เสมอหลังหมอนบริเวณที่ทำการถอด ใส่คลิป
  3) ทำการวัดระยะความยาวของพื้นที่สมอ ซึ่งเท่ากับ ด้านต้นทาง 50 เมตร และด้านปลายทาง 50 เมตร
  4) วัดระยะกำหนดจุดทุก ๆ 50 เมตร เพื่อวัดระยะเคลื่อนตัวของรางถ้าเคลื่อนตัวไปทางทิศใต้เป็นลบ (-) และหากเคลื่อนที่ไปทางทิศเหนือให้มีค่าเป็นบวก (+)
  5) จัดเตรียมทีมปฏิบัติงานออกเป็น 2 ชุด พร้อมอุปกรณ์ทำงานทางด้านซ้ายและขวาของพื้นที่ทำงานเท่า ๆ กัน
  6) ทำการถอดคลิปออก โดยทำการถอดออกจากหมอนจำนวน 2 หมอน เว้น 1 หมอน ในทิศทางเข้าหาจุดกึ่งกลาง

- ขั้นตอนเมื่อปิดทาง
  1) ทำการวัดอุณหภูมิราง โดยติดตั้ง Rail Thermometer ไว้ที่เอวรางด้านที่ไม่ถูกแสงแดดจำนวน 3 ชุด อย่างน้อย 10 นาที จึงเริ่มบันทึกอุณหภูมิราง ทุก ๆ 30 นาที
  2) กำหนดจุดสังเกตอ้างอิง (Reference Point) โดยใช้ดินสอดำขีดเส้นบนขอบฐานราง และ แผ่นจานรองรางให้ตรงกัน และ เลยออกไปถึงหมอนคอนกรีต โดยกำหนดจุด 1, 2, 3, 4 ทั้งนี้ จุดที่ 1 ควรอยู่ปลายของสมอพอดี ส่วนจุดที่ 2 และ 3 ให้ห่างเป็นระยะเท่า ๆ กัน เช่น ทุกระยะ 50 เมตร หรือ 100 เมตร เป็นต้น ในขั้นตอนนี้ต้องรีบดำเนินการทันทีเพราะจุดที่จะดึงรางกำลังที่จะเริ่มดำเนินการ
  3) ทำการถอดเครื่องยึดเหนี่ยวออกให้หมด ยกเว้นในช่วงที่กำหนดให้เป็นที่ยึดให้กับเครื่องดึงราง
  4) ทำการตัดรางที่จุด C ดังแสดงใน**รูปที่ 6-1** ซึ่งจุดนี้เป็นจุดที่อยู่กึ่งกลางของความยาวที่จะทำ Destressing คือ $L_1 + L_2$ รอยตัดต้องอยู่ห่างจากรอยเชื่อมเดิมไม่น้อยกว่า 4.5 เมตร และรอยตัดตรงข้ามต้องไม่มากกว่า 3 เมตร
  5) ทำการรองรางด้วยล้อเลื่อน (Roller) ระหว่างฐานรางกับยางรองราง (Pad) ให้ฐานรางลอยตัวอยู่บนล้อเลื่อนตลอดเส้นทางที่ทำการปลดเครื่องยึดเหนี่ยว ทำการเคาะรางด้วยเครื่องเคาะราง หรือ ค้อนยางเคาะที่เอวรางตลอดในทิศทางเข้าหากันด้วยความเร็วที่สม่ำเสมอพร้อมกันทั้งสองด้าน



6) ทำการคำนวณอุณหภูมิรางเฉลี่ยจากค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิราง 3 ชุด เพื่อทำการหาขนาดช่องว่างที่ต้องการจาก**สมการ 6.1**

$$e = 1000 \times L \times \alpha \times t \tag{6.1}$$

**โดยที่** $e$ คือ ระยะหดตัวของราง (มิลลิเมตร)

$L$ คือ ความยาวของราง (เมตร)

$\alpha$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การหดตัวของราง ประมาณ 0.0000115 เมตร/องศาเซลเซียส

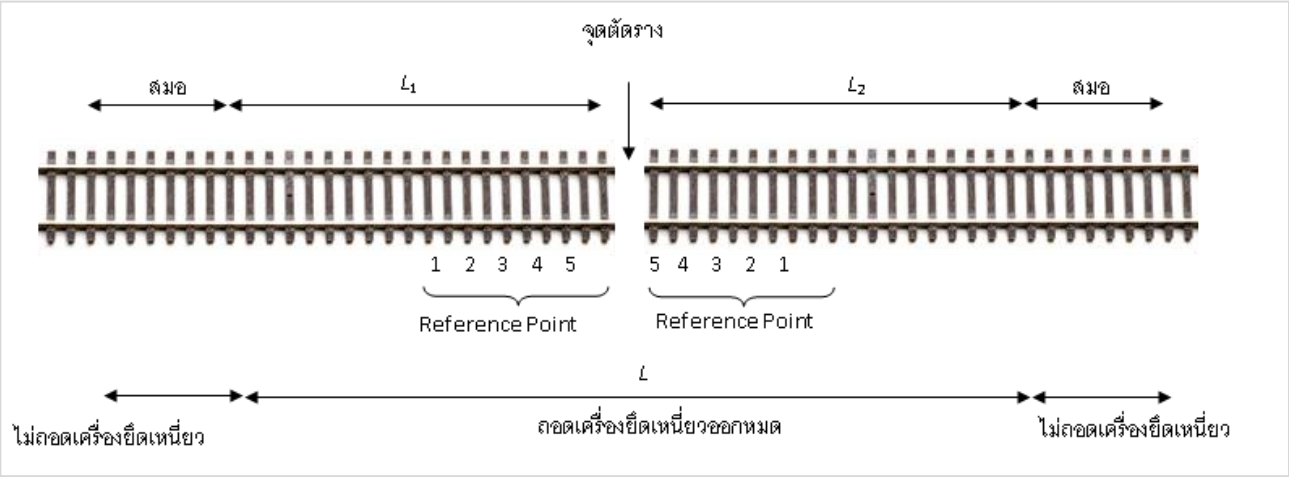
$t$ คือ อุณหภูมิรางที่แตกต่างจากอุณหภูมิกลางในการวางราง

โดย มีความยาวช่องว่างรวมทั้งหมด ดัง**สมการ 6.2**

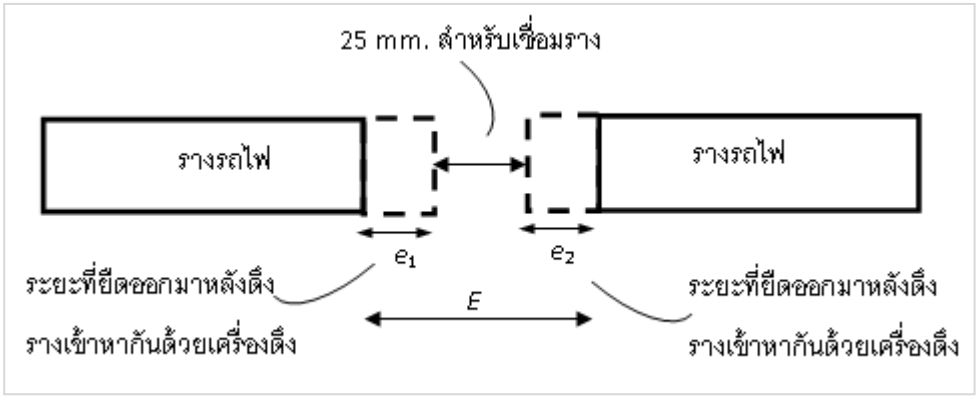
$$E = e_1 + e_2 + 25 \text{ มิลลิเมตร} \tag{6.2}$$

ตัดราง และ จัดช่องว่างหัวรางให้ได้ค่า $E$ ตามสมการด้านบน โดยเผื่อช่องว่างสำหรับการเชื่อมราง เท่ากับ 25 มิลลิเมตร $e_1$ และ $e_2$ คือระยะหดตัวของความยาวราง $L_1$ และ $L_2$ มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังแสดงใน**รูปที่ 6-2**

7) ทำการติดตั้งเครื่องดึงราง (Rail Tensor) จากนั้นทำการดึงรางให้ได้ความกว้างของช่องว่างระหว่างหัวรางเท่ากับระยะเชื่อมเทอร์มิต (Thermit) ในระหว่างดึงรางให้ทำการเคาะราง ตรวจสอบ และบันทึกค่าการเคลื่อนตัวที่จุดอ้างอิงทุกจุด
8) ทำการเชื่อมต่อรางด้วยวิธีเทอร์มิต ในระหว่างทำการเชื่อมรางให้ดำเนินการใส่เครื่องยึดเหนี่ยวจากจุดดึงรางถึงจุดยึดราง (Anchor Zone) ห้ามถอดเครื่องดึงรางโดยเด็ดขาดจนกว่าจะใส่เครื่องยึดเหนี่ยวรางแล้วเสร็จ และทำการปรับแต่ง เจียสันรางและเอวรางให้เรียบร้อย
9) ในการเปิดให้ขบวนรถผ่านได้นั้นต้องหลังจากการทำเชื่อมต่อราง ปรับแต่ง เจียแล้วไม่น้อยกว่า 20 นาที
10) ทำการตรวจสอบสภาพทาง ร่วมกับผู้ควบคุมงาน




**รูปที่ 6-1 แผนภาพการทำ Destressing**




**รูปที่ 6-2 ความยาวช่องว่างรวมทั้งหมด**

# บรรณานุกรม


[1] KR C- 14050. “Continuous Welded Rails (CWR)”.

[2] UIC 774-3R. “Track/bridge Interaction Recommendations for calculations”.

[3] [Rakesh, K. and Akhil, U. “Effect of temperature gradient on track-bridge interaction”. Interaction and Multiscale Mechanics, Vol. 5(1) pp. 1 - 12 (2012).

# มขร S-T-007-256x

## มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ

## Track Components



สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร พ.ศ. xxxx

# คำนำ

มาตรฐานฉบับนี้ ครอบคลุมถึงองค์ประกอบทางรถไฟ ซึ่งประกอบไปด้วย ราง การเชื่อมต่อราง อุปกรณ์ยึดเหนี่ยว หมอนรองราง รวมไปถึงประแจและจุดตัด ทั้งนี้จะมีการอ้างอิงกับมาตรฐานของกลุ่มประเทศยุโรปเป็นหลัก โดยบางองค์ประกอบเช่น หมอนรองราง อุปกรณ์ยึดเหนี่ยว จะมีการอ้างอิงถึงมาตรฐานอื่นเพิ่มเติม เช่น มาตรฐานของประเทศออสเตรเลีย มาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม มอก. ของประเทศไทย เป็นต้น

จากการสำรวจข้อมูลพบว่าในปัจจุบันมีเพียงหมอนรองรางเท่านั้นที่สามารถผลิตเองได้ในประเทศไทย ในขณะที่องค์ประกอบอื่น ๆ ของทางรถไฟยังต้องมีการผลิตและนำเข้าจากต่างประเทศอยู่ ดังนั้นเนื้อหาโดยส่วนใหญ่ในมาตรฐานฉบับนี้จะเน้นเกี่ยวกับการทดสอบ และรับรองถึงคุณสมบัติและประสิทธิภาพขั้นต่ำของชิ้นส่วนต่าง ๆ แทนที่จะกำหนดถึงขั้นตอนและวิธีการในการออกแบบ เนื่องจากผู้ผลิตต่างก็มีเทคโนโลยีและนวัตกรรมใหม่ ๆ ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ของตนเอง อย่างไรก็ตามในบางหัวข้อยังคงจำเป็นจะต้องมีรายละเอียดลึกลงไปถึงการควบคุมคุณภาพในขั้นตอนการผลิต เนื่องจากคุณภาพและอายุการใช้งานในระยะยาวของชิ้นส่วนบางชิ้นนั้นจะมีผลกระทบเนื่องจากขั้นตอนและกรรมวิธีการผลิตด้วยเช่นกัน



# มขร S-T-007-256x มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ

## 1 ทั่วไป (General)

ทางรถไฟเป็นโครงสร้างซึ่งรวมองค์ประกอบหลายอย่างเข้าด้วยกัน โดยจุดประสงค์ก็เพื่อให้รองรับน้ำหนักรถไฟที่วิ่งผ่านได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามองค์ประกอบต่าง ๆ นั้นมีหน้าที่เฉพาะของตนเองในการทำงาน ซึ่งจำเป็นต้องมีการแบ่งมาตรฐานขององค์ประกอบทางรถไฟออกเป็นส่วน ๆ เพื่อความชัดเจนและเป็นระบบของการนำมาตรฐานไปใช้ โดยมาตรฐานองค์ประกอบของทางรถไฟฉบับนี้จะเน้นในส่วนของรายละเอียดขององค์ประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) รางและการเชื่อมต่อราง
2) อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง
3) หมอนรองราง
4) ประแจ

### 1.1 วัตถุประสงค์

มาตรฐานนี้ใช้สำหรับการออกแบบองค์ประกอบของทางรถไฟ

### 1.2 ขอบเขต

มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมถึงองค์ประกอบของทางรถไฟขนาด 1.000 เมตร และ 1.435 เมตร โดยมีความเร็วและน้ำหนักลงเพลาตาม มขร S-T-001-256X มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification Standard)

### 1.3 มาตรฐานอ้างอิง

- มขร S-T-001-256x มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification Standard)
- มขร S-T-003-256x มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง (Track Alignment Design)
- มขร S-T-004-256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดหินโรยทาง (Ballasted Track Design Standard)
- มขร S-T-005-256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง (Ballastless Track Design Standard )
- มขร S-T-008-256x มาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ (Railway Track Transition Zone)

## 2 นิยามและสัญลักษณ์

### 2.1 นิยาม

**ราง (Rail) คือ** รางเหล็กที่รับน้ำหนักและถ่ายทอดภาระจากล้อรถไฟไปยังหมอน และเป็นตัวประคองการวิ่งของรถไฟ

**การเชื่อม FBW หมายถึง** กรรมวิธีการเชื่อมไฟฟ้า (Flash Butt Welding) ซึ่งเป็นกรรมวิธีการเชื่อมเนื้อเหล็กแบบเชื่อมต่อชน ซึ่งใช้สำหรับการเชื่อมราง



**การเชื่อม Thermite หรือ Aluminothermic Welding หมายถึง** กรรมวิธีการเชื่อมประเภทหนึ่งโดยการเติมเนื้อเหล็กหลอมเข้าไปในช่องว่างระหว่างราง โดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมี

**หน่วยงานเชื่อม (Welding Contractor) หมายถึง** หน่วยงานหรือบริษัทที่ได้รับการรับรองจากองค์กร (Railway Authority) ให้จัดหาบุคลากรเชื่อมและเครื่องมือเพื่อปฏิบัติการเชื่อม

**องค์กร (Railway Authority) หมายถึง** องค์กรรถไฟหรือเจ้าของงาน ซึ่งเป็นเจ้าของโครงสร้างพื้นฐาน

**แผ่นรองราง (Rail Pad) หมายถึง** แผ่นวัสดุรองระหว่างรางกับหมอนรองราง [1]

**อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (Fastener) หมายถึง** ชุดอุปกรณ์สำหรับยึดเหนี่ยวรางกับหมอนรองราง [1]

**หมอนรองราง (Sleeper) หมายถึง** ส่วนประกอบทางขวาง (Transverse Component) ของทางรถไฟ เพื่อใช้รองและยึดรางรถไฟ ควบคุมขนาดทาง และถ่ายน้ำหนักบรรทุก (Load) จากรางรถไฟสู่หินโรยทาง (Ballast) หรือวัสดุอื่นที่รองรับ เช่น พื้นคอนกรีต [2]

**หมอนคอนกรีต (Concrete Sleeper) หมายถึง** หมอนรองรางที่เป็นคอนกรีต

**หมอนรองประแจ (Bearer) หมายถึง** หมอนรองรางของประแจและทางตัด เพื่อใช้รองและยึดรางรถไฟตั้งแต่ 2 รางรถวิ่ง (Running Rail) ขึ้นไป

**หมอนคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Sleeper) หมายถึง** แท่งคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว (Monoblock) หรืออาจเรียกว่า หมอนคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว (Prestressed Monoblock Sleeper)

**หมอนคอนกรีตแท่งคู่ (Twin-Block Concrete Sleeper) หมายถึง** แท่งคอนกรีตเสริมเหล็กสองแท่งต่อกันด้วยแท่งเหล็กต่อหมอน (Steel Connection Bar) จึงอาจเรียกว่า หมอนคอนกรีตเสริมเหล็กแท่งคู่ (Twin-block Reinforced Sleeper)

**หมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Bearer) หมายถึง** แท่งคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว (Monoblock) สำหรับรองประแจ มีความยาวไม่เกิน 8.5 เมตร

**ขนาดทาง (Track Gauge) หมายถึง** ระยะห่างภายในของขอบรางที่ระยะต่ำกว่าระดับสันราง 14 มิลลิเมตร [1]

**ระยะห่างระหว่างราง (Distance between Rail Centers at the Head of the Rail) หมายถึง** ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางหัวรางวัดที่สันราง [1]

**น้ำหนักลงเพลา (Axle Load) หมายถึง** น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งที่เกิดจากมวลของรถไฟและมวลบรรทุกที่กระทำลงบนราง 1 เพลา [1]

**ระยะเรียงหมอนรองราง (Sleeper Spacing) หมายถึง** ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของหมอนรองรางที่วางเรียงกันตามความยาวของรางรถไฟ [1]

**พื้นที่รองรับราง (Rail Seat) หมายถึง** พื้นที่เรียบบนหมอนรองราง ส่วนที่รองรับฐานราง [1]

**แผ่นรองราง (Rail Pad) หมายถึง** แผ่นวัสดุรองระหว่างรางกับหมอนรองราง [1]

**วัสดุฝังยึด (Insert) หมายถึง** ชิ้นส่วนที่ฝังหรือหล่อติดกับหมอนคอนกรีต เพื่อติดตั้งหรือยึดเครื่องยึดเหนี่ยวราง [1]

**ประแจทางหลีก (Turnout) คือ** อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อให้ขบวนรถสามารถวิ่งผ่านเส้นทางหนึ่งแยกไปทางเส้นทางอื่นได้

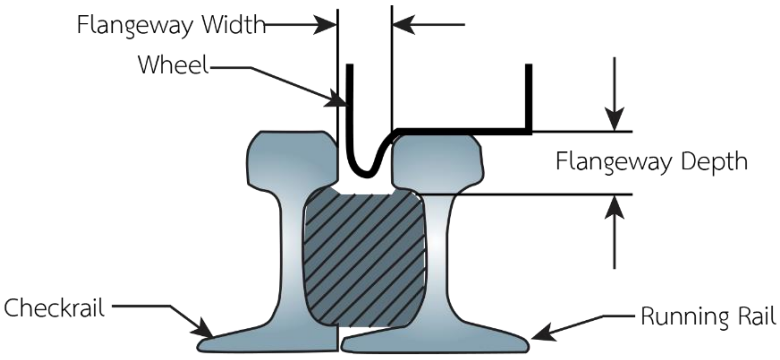
**หินโรยทาง (Ballast) หมายถึง** หินที่ใส่ไว้ใต้และรอบ ๆ หมอนรองราง [1]

**น้ำหนักบรรทุกทดสอบ (Test Load) หมายถึง** น้ำหนักบรรทุกขณะทำการทดสอบ [2]

**น้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางออกแบบ (Design Rail Seat Load, Pd) หมายถึง** น้ำหนักบรรทุกออกแบบ (Design Load) บนพื้นที่รองรับรางของหมอนรองราง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกพลวัตจากน้ำหนักบรรทุกใช้งานในสภาวะปกติ

**โมเมนต์ดัดออกแบบ (Design Bending Moment, Md) หมายถึง** โมเมนต์ดัดเนื่องจากน้ำหนัก]' พื้นที่รองรับรางออกแบบ (Design Rail Seat Load, Pd)

ความกว้างร่องทางบังใบล้อ (Flange way Width) ดัง**รูปที่ 7-1** ความกว้างของช่องว่างที่ติดกันกับรางวิ่งและยอมให้สำหรับการผ่านของบังใบล้อ โดยแสดงความลึกของร่องทางบังใบล้อ (Flange way Depth) ระยะในแนวดิ่งระหว่างผิวสัมผัสบนสุดของการวิ่ง และส่วนบนสุดของหัวราง




**รูปที่ 7-1 ร่องทางบังใบล้อ**

## 2.2 สัญลักษณ์

สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษามาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ แสดง**ดังตารางที่ 7-1**

**ตารางที่ 7-1 สัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องกับการศึกษามาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ**

| สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|---|---|
| $F_{s,\min}$ | แรงดึงน้อยสุดที่ควรจะสามารถต้านทานได้ |
| $F_{\max}$ | แรงดึงมากสุดที่เกิดขึ้นในรางเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ |
| $A_{rail}$ | พื้นที่หน้าตัดของราง |
| $\alpha$ | ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิเชิงเส้น |
| $\Delta T_1$ | ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ |
| $\gamma_s$ | อัตราส่วนความปลอดภัยของน้ำหนักที่กระทำ |
| $W_{\max}$ | ค่าการทรุดตัวมากสุดของรางที่ยอมให้ |
| $A_c$ | พื้นที่หน้าตัดที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต |
| $A_R$ | พื้นที่หน้าตัดหมอนคอนกรีตที่พื้นที่รองรับราง |
| $e_c$ | ระยะเยื้องศูนย์ของแรงอัดที่พื้นที่รองรับราง |
| $e_R$ | ระยะเยื้องศูนย์ของแรงอัดที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต |
| $\mathrm{f}'_{\mathrm{ci}}$ | ค่าขั้นต่ำของความต้านแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตที่ต้องการก่อนการอัดแรง |
| $\mathrm{f}'_{\mathrm{c}}$ | ค่าขั้นต่ำของความต้านแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน |
| $\mathrm{f}'_{\mathrm{t}}$ | ค่าขั้นต่ำของความต้านแรงดึงสูงสุดของคอนกรีต ณ วันทดสอบ $\mathrm{f}'_{\mathrm{t}} = 0.85\sqrt{\mathrm{f}'_{\mathrm{c}}}$ เมกกะปาสคาล |
| $M_{cr}$ | โมเมนต์ดัดแตกร้าว |
| $P$ | แรงอัดในลวดอัดแรง ณ วันทดสอบ $\mathrm{P} = 0.95\mathrm{P}_0$ กิโลนิวตัน |
| $P_0$ | แรงอัดแรกเริ่มหรือขณะถ่ายแรง |
| $P_{tR+}$ | น้ำหนักบรรทุกทดสอบสำหรับการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง |
| $P_{tR-}$ | น้ำหนักบรรทุกทดสอบสำหรับการรับโมเมนต์ดัดลบที่พื้นที่รองรับราง |
| $P_{tc+}$ | น้ำหนักบรรทุกทดสอบสำหรับการรับโมเมนต์ดัดบวกที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต |
| $P_{tc-}$ | น้ำหนักบรรทุกทดสอบสำหรับการรับโมเมนต์ดัดลบที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต |



| สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|---|---|
| $S_{tR}$ | โมดูลัสหน้าตัดด้านบนที่พื้นที่รองรับราง |
| $S_{bR}$ | โมดูลัสหน้าตัดด้านล่างที่พื้นที่รองรับราง |
| $S_{tc}$ | โมดูลัสหน้าตัดด้านบนที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต |
| $S_{bc}$ | โมดูลัสหน้าตัดด้านล่างที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต |

# 3 ราง

## 3.1 ทั่วไป

รางเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งของระบบทางรถไฟทำหน้าที่รับน้ำหนัก และช่วยบังคับทิศทางของรถไฟ รวมถึงช่วยให้การเคลื่อนที่ของรถไฟเป็นไปอย่างราบเรียบ โดยรางสามารถจะวางเป็นคู่ขนานกันไปบนหมอนรองรางหรือพื้นคอนกรีต

### 3.1.1 วัตถุประสงค์

- เพื่อใช้จำแนกและอธิบายรายละเอียดประเภทของรางรถไฟ
- เพื่อทราบถึงคุณสมบัติทางเคมีและทางกลของรางรถไฟ

### 3.1.2 ขอบเขต

มาตรฐานนี้ครอบคลุมประเภทของรางในประเทศไทย

## 3.2 ชนิดเหล็กกล้า

โดยปกติรางรถไฟผลิตมาจากเหล็กกล้าคาร์บอน-แมงกานีส ซึ่งมีโครงสร้างเพอร์ไลต์ โดยแสดงชนิดของเหล็กรางรถไฟ ดัง**ตารางที่ 7-2**

**ตารางที่ 7-2 ชนิดของเหล็กรางรถไฟ**

| ชนิดของเหล็ก | ค่าความแข็ง (HBW) | ส่วนประกอบ | เครื่องหมาย |
|---|---|---|---|
| R 200 | 200 ถึง 240 | คาร์บอน-แมงกานีส (C-Mn)<br>ไม่ผ่านการทำความร้อน | ไม่มีเครื่องหมาย |
| R 220 | 220 ถึง 260 | คาร์บอน-แมงกานีส (C-Mn)<br>ไม่ผ่านการทำความร้อน | ——— |
| R 260 | 260 ถึง 300 | คาร์บอน-แมงกานีส (C-Mn)<br>ไม่ผ่านการทำความร้อน | ——<br>——— |
| R 260 Mn | 260 ถึง 300 | คาร์บอน-แมงกานีส (C-Mn)<br>ไม่ผ่านการทำความร้อน | ———<br>——— |
| R 320 Cr | 320 ถึง 360 | โลหะผสม (1% Cr)<br>ไม่ผ่านการทำความร้อน | ———<br>———<br>——— |
| R 350 HT | 350 ถึง 390 | คาร์บอน-แมงกานีส (C-Mn)<br>ผ่านการทำความร้อน | ——<br>——— ——— |
| R 350 LHT | 350 ถึง 390 | โลหะผสมน้อย<br>ผ่านการทำความร้อน | ——<br>——— ———<br>—— |



### 3.3 มาตรฐานหน้าตัดราง

มาตรฐานหน้าตัดราง เช่น 54E1 หรือ UIC 54 และ 60E1 หรือ UIC 60 แสดงใน**ภาคผนวก มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ**

### 3.4 การผลิตราง

#### 3.4.1 คุณภาพการผลิต

ผู้ผลิตรางต้องมีระบบการผลิตตาม ISO 9001 เพื่อให้ได้คุณภาพสินค้าตามมาตรฐาน

#### 3.4.2 การหล่อแท่งเหล็ก (Bloom)

ด้วยกรรมวิธีเตาออกซิเจน หรือเตาไฟฟ้า และผ่านขั้นตอนการกำจัดแก๊ส แล้วจึงผ่านขั้นตอนหล่อต่อเนื่อง

#### 3.4.3 การทำเครื่องหมาย

- **รายละเอียด**

  1) ชื่อผู้ผลิต

  2) เกรดของเหล็กกล้า (ตาม**ตารางที่ 7-2**)

  3) ปีที่ผลิต

  4) หน้าตัดของราง ตาม**ภาคผนวก มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ**

- **ตราประทับเหล็กขณะร้อน**

  โดยทำการประทับตราอีกด้านหนึ่งของเอวราง มีรายละเอียด ดังนี้

  1) หมายเลขของการหลอมของรางที่ได้รีดมา (Heat Number)

  2) หมายเลขของสายเหล็กและตำแหน่งของเหล็กแท่ง (Bloom) ในสายเหล็ก

  3) ตำแหน่งของรางในเหล็กแท่ง (Bloom) (A,B....Y)

- **ตราประทับเหล็กขณะเย็น**

  ให้ประทับตราขณะรางเย็นที่ปลายแต่ละท่อน ที่บริเวณหัวราง

- **การทดสอบราง**

  1) การวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมี

  2) การทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ความต้านทานแรงดึงและการทดสอบความแข็งที่ผิวราง

### 3.5 การทดสอบคุณภาพราง

#### 3.5.1 ทั่วไป

ในระหว่างการผลิตรางหรือรางที่ผลิตเสร็จแล้วจะต้องมีการทดสอบ และมีการตรวจเพื่อรับรองคุณภาพของราง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**1) การทดสอบในห้องปฏิบัติการ**

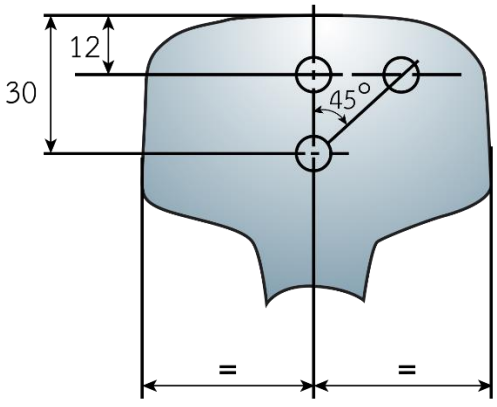
- การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมี ทดสอบโดยใช้เครื่อง Vacuum-Emission Spectrophotometric Analyzer ค่าองค์ประกอบทางเคมีของรางเกรดต่าง ๆ แสดงใน**ตารางที่ 7-3**
- การตรวจสอบปริมาณไฮโดรเจน ทดสอบโดยใช้เครื่อง Hydrogen Determinator แสดงค่าดัง**ตารางที่ 7-3**
- การตรวจสอบปริมาณออกซิเจน การตรวจสอบปริมาณออกซิเจนโดยเลือกจากตำแหน่งใน
- **รูปที่** 7-2
- การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ตำแหน่งของการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงใน**รูปที่ 7-3**

**2) ข้อกำหนดสำหรับเหล็ก**

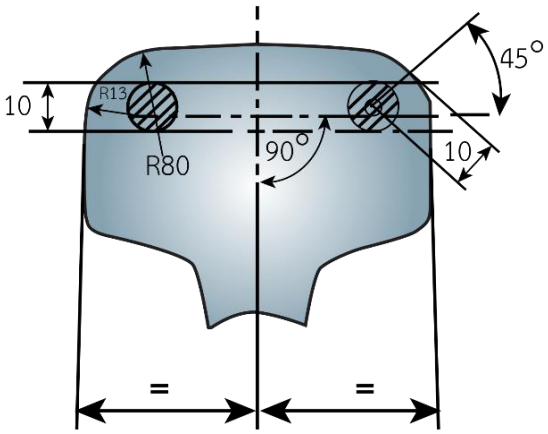
- ข้อกำหนดสำหรับเหล็กเกรด 200, 220 โครงสร้างจุลภาคต้องเป็นโครงสร้างผสมระหว่างเพอร์ไลต์ (Pearlite) กับโครงสร้างเฟอร์ไรท์ที่ขอบเกรนจะต้องไม่มีโครงสร้างมาร์เทนไซต์เบไนท์หรือซีเมนไทต์ที่ขอบเกรน

- ข้อกำหนดสำหรับเหล็กเกรด 260, 260 Mn โครงสร้างจุลภาคต้องเป็นเพอร์ลิติก (Pearlitic) แต่อาจจะมีเฟอร์ไรท์ที่ขอบเกรน ค่าสูงสุดเฟอร์ไรท์ที่ขอบเกรนแสดงดัง**รูปที่ 7-4** จะต้องไม่มีโครงสร้างมาร์เทนไซต์เบไนท์หรือซีเมนไทต์ที่ขอบเกรน

- ข้อกำหนดสำหรับเหล็กเกรด 350 HT, 350 LHT โครงสร้างจุลภาคต้องเป็นเพอร์ลิติก (Pearlitic) และต้องไม่มีมาร์เทนไซต์เบไนท์หรือซีเมนไทต์ที่ขอบเกรน ค่าสูงสุดเฟอร์ไรท์ที่ขอบเกรนแสดงดัง**รูปที่ 7-4**




**รูปที่ 7-2 ตำแหน่งของรางเพื่อทดสอบหาปริมาณออกซิเจน (หน่วย มิลลิเมตร)**




**เครื่องหมาย**

✝ คือ จุดตัดของรัศมี R 13 และ R 80 (ราง60 E 1)

○ คือ ตำแหน่งตรงกลางของแรงดึงจากการทดสอบ

▨ คือ พื้นที่ที่จะตรวจสอบถึงโครงสร้างจุลภาค

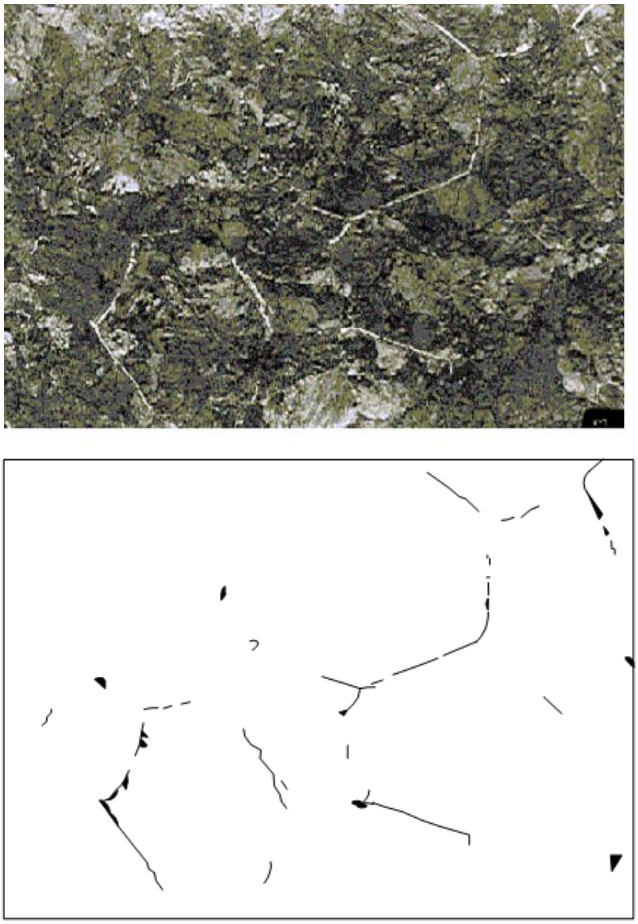
**รูปที่ 7-3 ตำแหน่งของรางเพื่อทดสอบแรงดึงและโครงสร้างจุลภาค (หน่วย มิลลิเมตร)**

**ตารางที่ 7-3 ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกล**

| ตัวอย่างของชนิดของเหล็ก | | ร้อยละของมวล | | | | | | | | | | สูงสุด 10-4 % (ppm) | | ค่า Rm น้อยสุด (MPa) | ค่า elong น้อยสุด (%) | ความแข็งบนผิว (HBW) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | C | Si | Mn | P สูงสุด | S | Cr | Al สูงสุด | V ของแข็ง | N ของแข็ง | | O | H | | | |
| 260 | ของเหลว | 0.62/0.80 | 0.15/0.58 | 0.70/1.20 | 0.025 | 0.008/ 0.025 | 0.15 สูงสุด | 0.004 | 0.030 | 0.009 | | 20 | 2.5 | 880 | 10 | 260/300 |
| | ของแข็ง | 0.60/0.82 | 0.13/0.60 | 0.65/1.25 | 0.030 | 0.008/ 0.030 | 0.15 สูงสุด | 0.004 | 0.030 | 0.010 | | 20 | 2.5 | | | |
| 350 HT | ของเหลว | 0.72/0.80 | 0.15/0.58 | 0.70/1.20 | 0.020 | 0.008/ 0.025 | 0.15 สูงสุด | 0.004 | 0.030 | 0.009 | | 20 | 2.5 | 1175 | 9 | 350/390 |
| | ของแข็ง | 0.70/0.82 | 0.13/0.60 | 0.65/1.25 | 0.025 | 0.008/ 0.030 | 0.15 สูงสุด | 0.004 | 0.030 | 0.010 | | 20 | 2.5 | | | |

**ตารางที่ 7-4 ปริมาณไฮโดรเจน**

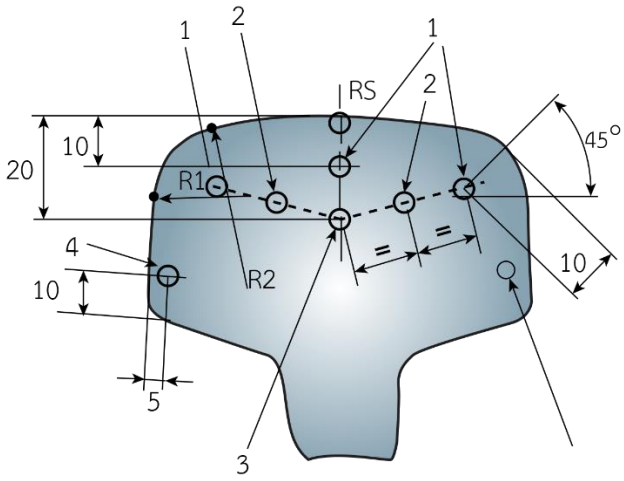
| กลุ่มความร้อน | ปริมาณไฮโดรเจน $10^{-4}$ % (ppm) | |
|---|---|---|
| | ชนิดของเหล็ก 200 และ 220 | ทั้งหมดของชนิดของเหล็ก |
| กลุ่ม 1 | $\leq$ 3.0 | $\leq$ 2.5 |
| กลุ่ม 2 | $>$ 3.0 | $>$ 2.5 |



**รูปที่ 7-4 โครงสร้างจุลภาคแสดงปริมาณเฟอร์ไรท์ที่ขอบเกรนสำหรับรางทุกเกรด ยกเว้นเกรด 200 และ 220**

**3) การทดสอบความแข็ง**

ทดสอบความแข็งแบบบริเนล (Brinell Hardness Test) โดยนำตัวอย่างหน้าตัดรางทดสอบไปขัดผิวให้เรียบแล้วนำไปกดค่าความแข็งตามตำแหน่ง ดัง**รูปที่ 7-5** และค่าความแข็งแสดงดัง**ตารางที่ 7-5**

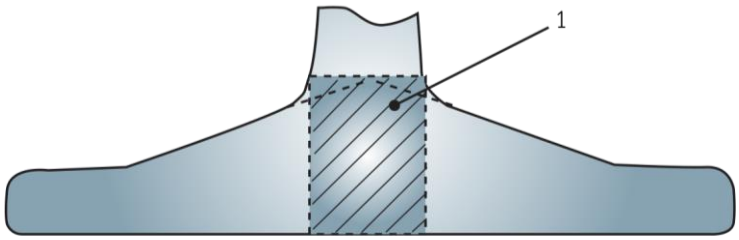



**เครื่องหมาย**

1, 2, 3 และ 4 คือ ตำแหน่งของการทดสอบความแข็ง (ดูใน**ตารางที่ 7-5**)

-- คือ จุดตัดที่แน่นอนของรัศมี

**รูปที่ 7-5 ตำแหน่งทดสอบความแข็ง (หน่วย มิลลิเมตร)**




**เครื่องหมาย**

-- คือ พื้นที่ในการทดสอบ

**รูปที่ 7-6 พื้นที่ทดสอบบริเวณฐานราง 60 E 1**

**ตารางที่ 7-5 ตำแหน่งทดสอบความแข็งและค่าความแข็ง**

| ตำแหน่ง | ชนิดของเหล็กรางรถไฟ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 200 | 220 | 260 | 260 Mn | 320 Cr | 350 HT | 350 LHT |
| | ความแข็ง (HBW) | | | | | | |
| RS | 200-240 | 220-260 | 260-300 | 260-300 | 320-360 | 350-390 | 350-390 |
| 1 | | | | | | 340 น้อยสุด | 340 น้อยสุด |
| 2 | | | | | | 331 น้อยสุด | 331 น้อยสุด |
| 3 | | | | | | 321 น้อยสุด | 321 น้อยสุด |
| 4 | | | | | | 340 น้อยสุด | 340 น้อยสุด |



**4) การทดสอบความต้านทานแรงดึง**

ทดสอบความต้านทานแรงดึงตำแหน่งของชิ้นงานทดสอบใน**รูปที่ 7-6** ผลของการทดสอบแสดงผลตาม**ตารางที่ 7-5**

**5) การทดสอบพิกัดความเผื่อ**

ใช้ทดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของการตรวจสอบมิติต่าง ๆ โดยที่มิติของขนาดต่าง ๆ จะต้องมีการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อน

**6) การตรวจสอบมิติ**

การตรวจสอบมิติ ประกอบด้วยการตรวจสอบขนาด รูปร่าง และสภาพผิว ซึ่งได้แก่ ตรวจสอบความยาวของราง ตรวจสอบความชำรุดที่ผิวราง ตรวจสอบความตรงของรางทั้งท่อน ตรวจสอบความตรงที่ปลายราง ตรวจสอบความสูงของราง ตรวจสอบความกว้างของฐานราง ตรวจสอบความกว้างของหัวราง ตรวจสอบความหนาของเอวรางการตรวจสอบมิติจะใช้ร่วมกับการทดสอบพิกัดความเผื่อ

**7) การตรวจสอบคุณภาพภายในและผิวของราง**

คุณภาพภายในของรางจะต้องผ่านการตรวจสอบด้วย UT ตลอดความยาวของราง รวมถึงการตรวจสอบหน้าตัดของราง โดยที่พื้นที่หน้าตัดที่ต้องตรวจสอบด้วย UT อย่างน้อย 70% ของหัวราง (Head), อย่างน้อย 60% ของเอวราง (Web) และพื้นที่ของฐานราง (Foot) ที่ต้องตรวจสอบแสดงดัง**รูปที่ 7-6**

**8) รางหัวแข็ง (Head-hardened Rail)**

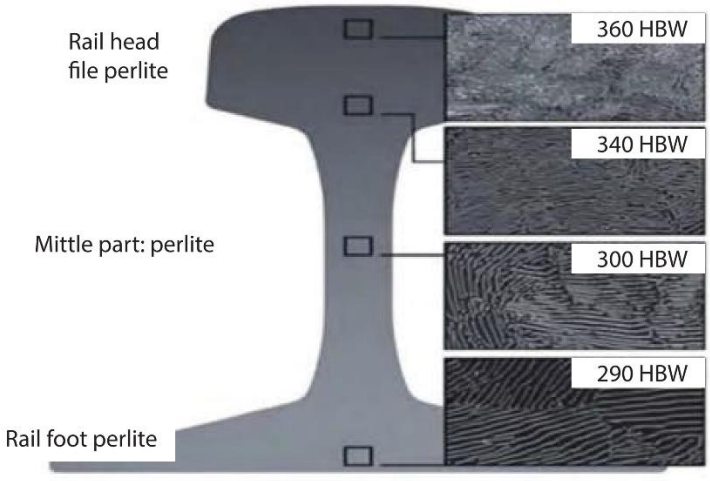
รางหัวแข็ง คือรางที่มีความแข็งมากเป็นพิเศษบริเวณหัวราง นิยมใช้ในบริเวณสถานีและบริเวณทางโค้ง เนื่องจากมีสมบัติทนทานต่อการเสียดสี (Wear Resistance) ดีเป็นพิเศษ โดยในขั้นตอนการผลิตมีการกระทำความร้อน (Heat Treatment) ที่บริเวณหัวราง ในส่วนของเอวรางและฐานรางยังคงเป็นเหล็กกล้าปกติ จึงดูเหมือนว่ารางหัวแข็งทำจากโลหะ 2 ชนิด แสดงดัง**รูปที่ 7-7**




**รูปที่ 7-7 รางรถไฟที่ชุบแข็งที่หัวราง**

โดยบริเวณหัวรางประกอบด้วยโครงสร้างจุลภาคเป็นเพอร์ไลต์ละเอียด (Fine Pearlite) แสดงดัง

**รูปที่** 7-8 เช่น รางเกรด R350HT ซึ่งมีค่าความแข็งแรงหัวรางประมาณ 1,175 MPa ในขณะที่ส่วนอื่น ๆ เช่น เอวรางและฐานราง มีค่าประมาณ 880 MPa และค่าความแข็งบริเวณหัวรางอย่างน้อยตั้งแต่ 350 BHN




**รูปที่ 7-8 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคและค่าความแข็งบริเวณหัวราง เอวราง และฐานราง**

### 3.6 การออกแบบเพื่อเลือกขนาดราง

การเลือกขนาดรางที่เหมาะสมต่อทางรถไฟนั้นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- น้ำหนักลงเพลาที่ใช้ออกแบบ โดยอ้างอิงกับ มขร S-T-001-256X มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ
- แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดราง ซึ่งเกี่ยวข้องกับระยะห่างระหว่างหมอน รวมไปถึงค่าความแข็งเกร็งและพฤติกรรมการยุบตัวของทางรถไฟ โดยอ้างอิงกับ มขร S-T-004-256X

การออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง และ มขร S-T-005-256X การออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง

- ค่าสัมประสิทธิ์การกระแทกสำหรับพฤติกรรมทางพลศาสตร์
- กำลังรับแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดของเหล็กหน้าตัดราง

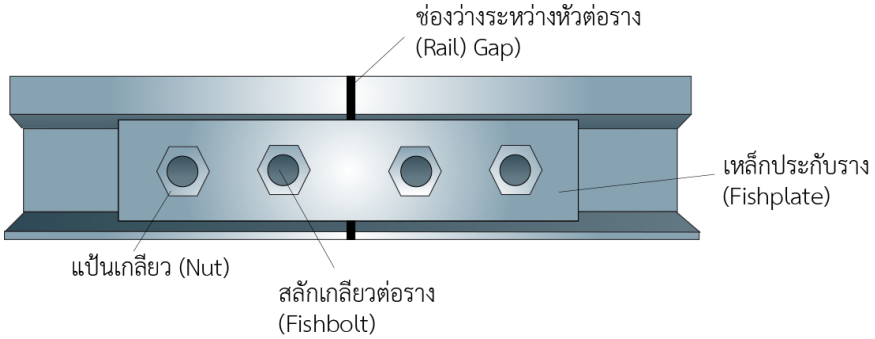
การวิเคราะห์เพื่อป้องกันการโก่งเดาะออกด้านข้างของรางเชื่อมยาว ให้เป็นไปตาม มขร S-T-006-256X มาตรฐานรางเชื่อมยาว

# 4 เชื่อมต่อราง

## 4.1 ทั่วไป

การเชื่อมต่อรางสามารถแบ่งออกได้เป็นสองหมวดหมู่หลักคือ การต่อโดยวิธีการเชื่อม (Welding) และการต่อด้วยอุปกรณ์ทางกล (Mechanical Rail Joint) โดยในการเชื่อมรางนั้น จะสามารถแบ่งย่อยลงไปอีกได้เป็น 2 กรรมวิธีหลัก คือ การเชื่อมไฟฟ้า (Flash Butt Welding) และการเชื่อมเธอร์มิต (Thermite) ซึ่งในประเทศไทยได้นำ 2 กรรมวิธีดังกล่าวมาใช้ในการเชื่อมรางทั่วไปและการเชื่อมรางยาว

ในส่วนของรอยต่อทางกลนั้น จะใช้แท่งเหล็กประกับ (Fishplate) สำหรับการเชื่อมต่อปลายรางทั้งสองท่อนให้มีความต่อเนื่องเป็นแนวเดียวกันโดยใช้การขันสลักเกลียว (Bolt) โดยรอยต่อดังกล่าวจะต้องได้รับการเชื่อมประสานที่ดี เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของรางทั้งในทางแนวราบและแนวดิ่ง แสดงดัง**รูปที่ 7-9**




**รูปที่ 7-9 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเหล็กประกับราง**

## 4.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อใช้ในการกำหนดคุณสมบัติที่ต้องการของการเชื่อมราง
2) เพื่อใช้ในการกำหนดคุณสมบัติที่ต้องการของรอยต่อทางกล

## 4.3 ขอบเขต

- มาตรฐานนี้ครอบคลุมประเภทของการเชื่อมรางโดยวิธีการเชื่อมไฟฟ้าและเชื่อมเธอร์มิต
- การเชื่อมประแจ ครอบคลุมการเชื่อมชุดประแจทั้งการเชื่อมสร้างชุดประแจใหม่ และเชื่อมซ่อมชิ้นส่วนที่ผลิตมาจากเหล็กหล่อแมงกานีส



- รอยต่อทางกล ครอบคลุมถึงรอยต่อที่ทำขึ้นจากส่วนผสมของเหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel Fishplate) โดยมีรายละเอียดของคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ต้องการของรอยต่อทางกล

## 4.4 การเชื่อมราง

### 4.4.1 การเชื่อมไฟฟ้า (Flash Butt Welding)

- กรรมวิธีการเชื่อมและตัวแปรการเชื่อม
  1) จับยึดรางในหัวจับทองแดง (Clamping)
  2) ให้ความร้อนขั้นต้นโดยการอาร์ค (Preheat)
  3) ทำให้เกิดประกายวาบ (Flashing)
  4) อัดรางเข้าชนกัน (Upsetting)
  5) ตัดแนวเชื่อมส่วนเกินออก (Trimming)
  6) ปลดยึดออก (Unclamping)

- ข้อมูลการเชื่อมที่ต้องมีการบันทึก
  1) โปรแกรมและรายละเอียด
  2) กระแสเชื่อม
  3) แรงอัด
  4) ระยะเปลี่ยนแปลง
  5) เวลาในการเชื่อม

- การทดสอบและการรับรองกรรมวิธีการเชื่อม (Procedure Approval)
  1) การตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Test) และการตรวจสอบ Mt (Magnetic Particle Test) หรือ PT (Penetration Test)
  2) การทดสอบการดัดงอ (Bending Test)
  3) การทดสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค
  4) การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing)
     - รางเกรด R220, R260 และ R260Mn
     - ค่าความแข็งต่ำสุดไม่ต่ำกว่า P-30 $Hv_{30}$ (P คือความแข็งของราง)
     - ค่าความแข็งสูงสุดไม่เกิน P+60 $Hv_{30}$ (P คือความแข็งของราง)
     - รางเกรด350HT
     - ค่าความแข็งต่ำสุดไม่ต่ำกว่า 325 $Hv_{30}$
     - ค่าความแข็งสูงสุดไม่เกิน 410 $Hv_{30}$
  5) การทดสอบความล้า (Fatigue Testing)
  6) เอกสารรายงานการรับรอง

- การรับรองหน่วยงานเชื่อม (Approval of the Welding Contractor)
  1) หน่วยงานเชื่อมต้องใช้กรรมวิธีการเชื่อมที่ผ่านการรับรองมาแล้ว

2) หน่วยงานเชื่อมต้องให้ความมั่นใจเกี่ยวกับผู้ดำเนินการเชื่อม
3) หน่วยงานเชื่อมต้องมีระบบประกันคุณภาพ
4) หน่วยงานเชื่อมต้องมีระบบการตรวจสอบงานเชื่อม และอุปกรณ์เครื่องมือต้องมีการสอบเทียบและตรวจสอบ

- การเชื่อมงานจริง
  1) การเตรียมการเชื่อมและการวางตำแหน่งแนวราง
  2) การเชื่อม การควบคุมและการบันทึกการเชื่อม
  3) การเก็บแนวเชื่อม เช่น การเจียร
  4) การตรวจสอบแนวเชื่อม และการบันทึกเอกสาร

- การตรวจสอบรางเชื่อมและการบันทึกเอกสาร
  1) ตรวจสอบจากสายตาและเช็คแนวตรง (Alignment)
  2) ตรวจสอบ Magnetic Particle Test
  3) ตรวจสอบ Ultrasonic Test
  4) ทดสอบ Slow Bend Test อย่างน้อย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ในช่วงการเชื่อมต่อเนื่อง

**4.4.2 การเชื่อมเธอร์มิต (Thermite)**

กรรมวิธีการเชื่อมและตัวแปรการเชื่อม
1) เว้นระยะระหว่างหัวรางเชื่อม
2) ประกอบแบบหล่อรอบแนวต่อ
3) ให้ความร้อนก่อนเชื่อม
4) จุดระเบิดส่วนผสมของผงในเตา
5) น้ำโลหะเหลวไหลเข้าในแบบหล่อ
6) เอาแบบหล่อออก
7) เอาครีบออกและเจียรราง

- การรับรองกรรมวิธีการเชื่อม (Procedure Approval)
  การรับรองกรรมวิธีการเชื่อมสำหรับการเชื่อมรางเพื่อยืนยันความสามารถของกรรมวิธีการเชื่อม โดยใช้การทดสอบแนวเชื่อมในห้องปฏิบัติการ

- การทดสอบแนวเชื่อมในห้องปฏิบัติการ
  1) การวิเคราะห์ผิวแนวเชื่อม (Surface Examination-visual)
  2) การดูบริเวณ HAZ (Visible Heat Affected Zone)
  3) ความแข็งแนวเชื่อมของผิวรางวิ่ง (Hardness Weld Centre Line and Running Surface)
  4) การทดสอบการดัดงอ (Slow Bend Test)



5) การตรวจสอบภายใน (Internal Examination) ด้วย Ultrasonic Test และ Cross Section Visual Test
6) การทดสอบการล้า (Fatigue Test)
7) การวิเคราะห์บริเวณหลอมละลาย (Fusion Zone: Weld Soundness and Dimension)
8) การวิเคราะห์ทางเคมี (Chemical Analysis)
9) การวิเคราะห์ความแข็งบริเวณ Haz (Heat Affected Zone: Hardness Distribution)
10) การวิเคราะห์โครงสร้างบริเวณหลอมละลายและ Haz (Structure: Fusion Zone and Heat Affected Zone)

- การรับรองช่างเชื่อม
  1) ช่างเชื่อมจะต้องมีใบประกาศนียบัตรผ่านการฝึกอบรม (ตามภาคผนวก มาตรฐานองค์ประกอบทารถไฟ)
  2) การอนุญาตให้เชื่อม (Permit to Weld) ต้องอยู่ภายใต้องค์กร (ตามภาคผนวก มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ)
  3) การระบุหมายเลขช่างเชื่อม (ที่แนวเชื่อมต้องมีการระบุหมายเลขช่างเชื่อม)
  4) หน่วยงานเชื่อม (Contractor) ต้องเก็บบันทึกข้อมูลช่างเชื่อม

- การรับรองหน่วยงานเชื่อม
  หน่วยงานเชื่อมจะต้องได้รับการรับรองคุณสมบัติจากองค์กร

- การตรวจสอบรางเชื่อมและการยอมรับ
  ผู้ตรวจสอบแนวเชื่อมรางต้องได้รับการรับรองจากองค์กร และควรทำการตรวจสอบด้วยสายตา (Visual Inspection) และการตรวจสอบไม่ทำลายอื่น ๆ หลังเชื่อมเสร็จ เช่น UT (Ultrasonic Test) เป็นต้น

### 4.4.3 การเชื่อมประแจ

โดยทั่วไปงานเชื่อมประแจประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ การเชื่อมสร้างประแจ ซึ่งใช้วิธีการเชื่อมไฟฟ้า (Flash Butt Welding) ซึ่งเชื่อมจากภายในโรงงาน อีกส่วนหนึ่งคือการเชื่อมซ่อมชิ้นส่วนผลิตจากเหล็กหล่อแมงกานีส เช่น ตะเฆ่ (Crossing) ในการเชื่อมซ่อมจะใช้กรรมวิธีการเชื่อมอาร์ก เช่น การเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ และการเชื่อมอาร์กฟลักซ์คอร์

- การเชื่อมสร้างประแจ
  การเชื่อมสร้างประแจโดยการการเชื่อมไฟฟ้า (Flash Butt Welding) เชื่อมแบบอัตโนมัติ มีโปรแกรมการเชื่อมและใช้กรรมวิธีการเชื่อมที่ผ่านการรับรองมาแล้ว ทำการเชื่อมโดยผู้ชำนาญการ ซึ่งผ่านการอบรมและมีใบประกาศนียบัตร หน่วยงานเชื่อมต้องมีระบบการตรวจสอบ และประกันคุณภาพ



ประแจแต่ละชุดต้องมีเอกสารรับรองคุณภาพ ต้องมีรายละเอียดเครื่องเชื่อมและต้องมีการบันทึกตัวแปรการเชื่อม ได้แก่

1) กระแสเชื่อม
2) แรงอัด
3) ระยะเปลี่ยนแปลง
4) เวลาในการเชื่อม
5) โปรแกรมและรายละเอียด
6) รายละเอียดแนวเชื่อม
7) การให้ความร้อนหลังเชื่อม (ถ้ามี)

การทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับการรับรองกรรมวิธีการเชื่อม ได้แก่

1) ลักษณะทางกายภาพและมิติ (Weld Geometry)
2) การทดสอบด้วยสายตา (Visual Inspection)
3) ผิวเชื่อม (Surface Finish)
4) การทดสอบ PT และ MT
5) การทดสอบคุณภาพภายในแนวเชื่อม
6) การทดสอบการดัดงอ
7) การทดสอบการล้า
8) การทดสอบโครงสร้างมหภาคและจุลภาค
9) การทดสอบความแข็ง

- การเชื่อมงานจริง

  1) มีการบันทึกตัวแปรการเชื่อมทุกแนว
  2) โปรแกรมการเชื่อมและตัวแปรการเชื่อมต้องเป็นไปตามการรับรองกรรมวิธีการเชื่อม

- การตรวจสอบการเชื่อมสร้างประแจ

  มีการตรวจสอบการเชื่อมงานจริง ได้แก่ การตรวจสอบด้วยสายตา ลักษณะทางกายภาพและมิติ ผิวเชื่อม การทดสอบ PT และ MT การทดสอบคุณภาพภายในแนวเชื่อม การทดสอบการดัดงอ

  ในกรณีการเชื่อมไฟฟ้า (Flash Butt Welding) กับชิ้นส่วนเหล็กออสเตนิติก (Austenitic) คือ 1) ทดสอบด้วยน้ำยาแทรกซึม (Liquid Penetrate Testing) ทุกแนวเชื่อม และ 2) ทดสอบสิ่งบกพร่องภายในด้วยเทคนิค UT (Ultrasonic Testing) ทุกแนวเชื่อม

  ในกรณีการเชื่อมไฟฟ้า (Flash Butt Welding) กับชิ้นส่วนที่ไม่ใช่เหล็กออสเตนิติก (Austenitic) คือ 1) ทดสอบด้วยผงแม่เหล็ก (Magnetic Particle Testing) ทุกแนว



เชื่อม และ 2) ทดสอบสิ่งบกพร่องภายในด้วยเทคนิค UT (Ultrasonic Testing) ทุกแนวเชื่อม

- การเชื่อมซ่อมตะเฆ่และชิ้นส่วนผลิตจากเหล็กหล่อแมงกานีส
  กรรมวิธีการเชื่อมและลวดเชื่อมใช้กรรมวิธีการเชื่อมอาร์ค โดยมี 2 กรรมวิธีการเชื่อมหลัก คือ การเชื่อมอาร์คไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ และการเชื่อมอาร์คฟลักซ์คอร์ และควรใช้ลวดเชื่อมเหล็กกล้าแมงกานีสเท่านั้นหรือชนิดเทียบเท่า

- ข้อแนะนำในการเชื่อม
  - ไม่ต้องให้ความร้อน (Preheat) ก่อนเชื่อม
  - อุณหภูมิระหว่างการเชื่อม (Interpass Temperature) ไม่เกิน 260 °C วัดจากบริเวณที่ห่างจากแนวเชื่อม 25 มิลลิเมตร
  - เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมสำหรับเชื่อมไฟฟ้าด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ ไม่ควรเกิน 5 มิลลิเมตร
  - เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ สำหรับการเชื่อมกึ่งอัตโนมัติไม่ควรเกิน 2.8 มิลลิเมตร
  - กระแสเชื่อมและความเร็วในการเชื่อมควรมีความเหมาะสม เพื่อการหลอมละลายที่สมบูรณ์ ควรหลักเลี่ยงกระแสเชื่อมที่สูงเกินไป เพื่อป้องกันความร้อนที่สูง
  - ระยะอาร์คควรจะรักษาให้สั้นที่สุดเท่าที่ทำได้ เพื่อให้การอาร์คสม่ำเสมอ
  - แนวเชื่อมควรมีความนูนเหมาะสม และไม่ควรกว้างเกิน 16 มิลลิเมตร
  - ความยาวของแนวเชื่อมโดยไม่ควรเกิน 250 มิลลิเมตร (เมื่อเชื่อมที่หน้างาน) สำหรับการเชื่อมในโรงงาน (Workshop) สามารถที่จะยาวกว่าได้
  - ต้องมีการตรวจความร้อนเข้าในการเชื่อมชิ้นส่วนหล่อ ไม่ควรทำการเชื่อมถ้าอุณหภูมิเกิน 260°C โดยรักษาระยะ 25 มิลลิเมตร จากบริเวณแนวเชื่อม
  - แนะนำให้มีการเย็นตัวอย่างเร็วเพื่อป้องกันความร้อนเกิน
  - แนะนำให้มีการเชื่อมเว้นช่วงเพื่อป้องกันความร้อนเกิน

- การตรวจสอบการเชื่อมซ่อมตะเฆ่
  - การตรวจสอบด้วยสายตา
  - ลักษณะทางกายภาพและมิติ
  - การทดสอบ PT

## 4.5 รอยต่อทางกล (Mechanical Rail Joints)

### 4.5.1 ข้อกำหนดทั่วไป

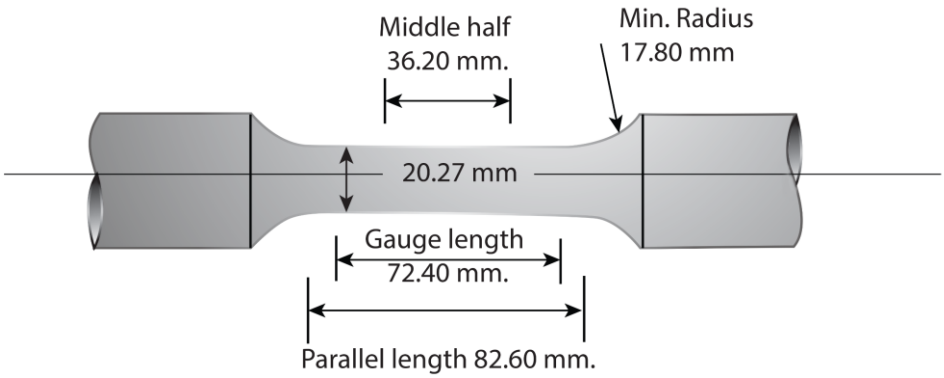
คุณลักษณะโดยทั่วไปที่ต้องการสำหรับรอยต่อทางกลโดยเหล็กประกับ มีดังนี้

1) รอยต่อสามารถเชื่อมปลายทั้งสองข้างของรางในลักษณะที่การเชื่อมต่อนั้นต้องทำให้จุดต่อมีพฤติกรรมเสมือนคานต่อเนื่อง

2) สามารถจำกัดค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งและด้านข้าง แต่ยังคงสามารถยอมให้รางมีการเคลื่อนตัวตามแนวยาวจากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
3) สามารถเข้ากันได้และช่วยส่งเสริมการทำงานกับระบบอุปกรณ์ยึดรั้งของราง (Fastener)
4) ง่ายและสะดวกในการประกอบ ติดตั้ง
5) สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ช่วยมาก

### 4.5.2 การทดสอบแรงดึงของวัสดุ

ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบได้จากการกลึงเหล็กประกับรางให้ได้ขนาดมาตรฐานดังแสดงใน **รูปที่** 7-10




**รูปที่ 7-10 ค่า Tensile Strength ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 57 ถึง 66 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร และมีค่าการยืดตัว (Elongation) ไม่เกินร้อยละ 20**

**1) กำลังต้านทานแรงดึงตามแนวยาว (Longitudinal Tensile Strength)**

ค่าแรงดึงน้อยสุด ($F_{s,\min}$) ที่เหล็กประกับรางควรจะสามารถต้านทานได้ คำนวณได้จาก **สมการ (7.1)** และ**สมการ (7.2)**

$$F_{s,\min} = F_{\max}\gamma_s \tag{7.1}$$

$$F_{\max} = EA_{rail}\alpha\Delta T_1 \tag{7.2}$$

เมื่อ $F_{\max}$ คือ แรงดึงมากสุดที่เกิดขึ้นในรางเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (นิวตัน)

$E$ คือ ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของราง มีค่าเท่ากับ $210\times10^9$ นิวตันต่อตารางเมตร

$A_{rail}$ คือ พื้นที่หน้าตัดของราง (ตารางเมตร)

$\alpha$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากอุณหภูมิเชิงเส้น ค่าที่แนะนำคือ $1.2\times10^{-5}$ ต่อองศาเซลเซียส

$\Delta T_1$ คือ ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) คือ ความ



แตกต่างระหว่างอุณหภูมิปกติ (Natural & Stress-free) และ อุณหภูมิน้อยที่สุดในราง (Minimum Rail Temperature)

$\gamma_s$ คือ อัตราส่วนความปลอดภัยของน้ำหนักที่กระทำ ค่าที่แนะนำคือ 1.5

**2) กำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength)**

คุณสมบัติเชิงกลสำหรับการต้านทานแรงดัดสามารถหาได้โดย การทดสอบแรงดัดแบบซ้ำ ๆ ซึ่งวัตถุประสงค์ในการทดสอบก็เพื่อหาความสามารถของรอยต่อทางกลในการต้านทานแรงในแนวดิ่งจากขบวนรถซึ่งผ่านมายังล้อและกระทำต่อรอยต่อ ขนาดของโมเมนต์ที่จะกระทำต่อชิ้นส่วนตัวอย่าง $(M_r)$ สามารถคำนวณ**สมการ (7.3)**

$$M_{\mathrm{r}} = \sqrt[3]{\frac{Q^2 E I_{\mathrm{rail}} W_{max}}{8}} \gamma_C \tag{7.3}$$

**โดยที่** $Q$ คือ Nominal wheel load (นิวตัน) ค่าที่แนะนำหากไม่มีข้อมูล คือ $125\times10^3$ นิวตัน

$E$ คือ ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของราง (นิวตันต่อตารางเมตร) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $210\times10^9$ นิวตันต่อตารางเมตร

$I_{\mathrm{rail}}$ คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของราง (เมตร$^4$)

$W_{max}$ คือ ค่าการทรุดตัวมากสุดของรางซึ่งอยู่ติดกับโครงสร้างทาง ค่าที่แนะนำคือ $1.5\times10^{-3}$ เมตร

$\gamma_C$ คือ ค่าความปลอดภัยและค่าปรับแก้ โดย มีค่าเท่ากับ 1.5 สำหรับข้อต่อทางกล และเท่ากับ 1.0 สำหรับข้อต่อรางรถไฟที่รองรับ

การทดสอบจะทำการให้น้ำหนักกระทำกับชิ้นส่วนตัวอย่าง โดยความถี่ของแรงที่กระทำมีค่าระหว่าง $3-5$ Hz และจำนวนรอบการกระทำเท่ากับ 3 ล้านรอบ เมื่อการทดสอบเสร็จสิ้นลงจึงทำการตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้น หากไม่พบความเสียหายแสดงว่าชิ้นส่วนตัวอย่างผ่านการทดสอบทั้งนี้ รายละเอียดในการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดสามารถดูได้จากคู่มือ

### 4.5.3 คุณสมบัติการเป็นฉนวนไฟฟ้า (Electrical Insulation)

นอกจากนี้ ค่าการเป็นฉนวนของรอยต่อทางกลได้ถูกกำหนดไว้เช่นกัน คือ ในการทดสอบแบบแห้ง (Dry) ดังนี้

1) ค่าความต้านทานระหว่าง Rail – Rail ต้องมากกว่า 30 เมกะโอห์ม

2) ค่าความต้านทานระหว่าง Rail – Fishplate ต้องมากกว่า 30 เมกะโอห์ม

3) ค่าความต้านทานระหว่าง Rail – Rail ต้องมากกว่า 200 เมกะโอห์ม



4) ค่าความต้านทานระหว่าง Rail – Fishplate ต้องมากกว่า 200 เมกะโอห์ม

รายละเอียดในการทดสอบค่าการเป็นฉนวนสามารถดูได้จากคู่มือการออกแบบและก่อสร้าง

**4.5.4 การทดสอบการดัดโค้ง**

เมื่อดัดโค้งที่ 120 องศา เหล็กประกับรางจะต้องไม่ปรากฏรอยปริร้าว แตก บนผิวเหล็กประกับรางที่ผิวด้านนอก

**4.5.5 ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะต่าง ๆ ที่ยอมให้**

ค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดจะอ้างอิงที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ดังแสดงใน**ตารางที่ 7-6**

**ตารางที่ 7-6 ค่าความคลาดเคลื่อนของระยะต่าง ๆ**

| รายการ | พิกัดความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ | |
|---|---|---|
| | สูงสุด (มิลลิเมตร) | ต่ำสุด (มิลลิเมตร) |
| ความยาว | +1.6 | -1.6 |
| เส้นผ่าศูนย์กลางรูสลักเกลียว | +0.8 | -0.0 |
| ระยะห่างระหว่างรูสลักเกลียว | +0.8 | -0.8 |
| การได้ฉากของปลาย | 0.4 | 0.4 |

## 4.6 จุดต่อเผื่อขยาย (Expansion Joints)

### 4.6.1 ข้อกำหนดทั่วไป

**1) ส่วนรองรับ (Support Panel)**

ในกรณีที่รอยต่อยอมให้มีการเคลื่อนที่ได้ 1 ข้าง จำนวนของหมอนรองใต้รอยต่อเพื่อต้านทานการเคลื่อนที่ควรมีอย่างน้อย 4 ตัว และในส่วนของรางบริเวณรอยต่อซึ่งยอมให้มีการเคลื่อนตัวนั้น อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวที่ใช้ยึดรางกับหมอนรองประแจ ควรเป็นประเภทเครื่องยึดเหนี่ยวแบบความต้านทานต่ำ ทั้งนี้เพื่อให้รางบริเวณดังกล่าวสามารถเคลื่อนตัวได้

นอกจากนั้น หมอนรองรางควรมีการยึดรั้งเข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ตัวยึดหมอน (Bearer Strap), รางกัน (Guard Rail) หรือ แผ่นรองรางต่อเนื่อง (Continuous Base Plate) เป็นต้น

การใช้ตัวยึดหมอนนั้นมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่รอยต่อเป็นประเภทที่ยอมให้มีการเคลื่อนตัวทั้งสองด้าน ทั้งนี้เพื่อให้เป็นการแน่ใจว่าระยะระหว่างหมอนรองประแจจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งในช่วงเวลาใช้งานและการบำรุงรักษา

**2) เครื่องยึดเหนี่ยวแบบความต้านทานต่ำ**

ค่าการยึดเหนี่ยวทางแนวยาวของอุปกรณ์ยึดราง ไม่ว่ากรณีใด ๆ ก็ตาม ควรจะมีค่าน้อยกว่าค่าการยึดรั้งระหว่างหมอนรองประแจกับหินโรยทาง นอกจากนั้น ค่าความต้านทาน



การคืบ (Creep Resistance) ควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 5 กิโลนิวตันต่อแผ่นที่ใช้ในการติดตั้ง (Per Base Plate)

**3) ลูกกลิ้งรองราง**

ลูกกลิ้งรองราง ต้องสามารถรองรับการเคลื่อนตัวของรางและบังคับให้รางอยู่ในทิศทางที่ถูกต้องได้ ทั้งในกรณีรางเดียวและทั้งสองราง

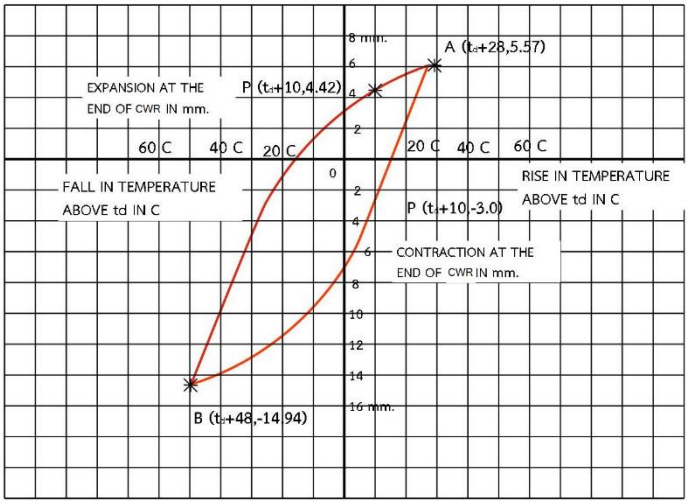
**4) ความต้านทานในแนวยาวโดยรวม**

ค่าความต้านทานตามแนวยาวของรางตรงจุดต่อเผื่อขยายควรมีการกำหนด โดยสามารถทำให้แรงที่เกิดขึ้นในรางอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ปลายรางทั้งสองนั้นลดลงได้

### 4.6.2 การออกแบบขนาดช่องว่างที่จุดต่อเผื่อขยาย

**1) ปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบขนาดช่องว่าง ประกอบด้วย**

- ความต้านทานการเคลื่อนตัวตามแนวยาวของรางระหว่างหมอนรถไฟและหินโรยทาง
- พื้นที่หน้าตัดของราง
- ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของราง
- ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของราง $(\alpha)$
- อุณหภูมิการคลายความเค้นของรางรถไฟ $(t_d)$
- ช่องว่างเริ่มต้น (Initial Gap) ที่อุณหภูมิการคลายความเค้น ขนาดของช่องว่างหากไม่มีการกำหนดจากบริษัทผู้ผลิตสามารถคำนวณได้จากการสร้างเส้นโค้งฮีสเทอรีซิส (Hysteresis) การเคลื่อนที่ของ ลิ้นประแจต่อรางประคองลิ้น (Tongue/Stock Rail) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงใน
- **รูปที่** 7-11




**รูปที่ 7-11 ตัวอย่างเส้นโค้งฮีสเทอรีซิสการเคลื่อนที่ของลิ้นประแจต่อรางประคองลิ้น ที่อุณหภูมิต่าง ๆ [93]**

การเคลื่อนที่ของ ลิ้นประแจ/รางประคองลิ้น จากตำแหน่งอุณหภูมิการคลายความเค้นของรางไปสู่จุดที่อุณหภูมิสูงสุด (จุด A) ใน

**รูปที่** 7-11 สามารถคำนวณ**สมการ (7.4)**

$$AE\alpha^2\left(t_{\max}-t_d\right)^2/2R \tag{7.4}$$

และ จุดต่ำสุดของอุณหภูมิ (จุด B) สามารถคำนวณได้จาก**สมการ (7.5**)

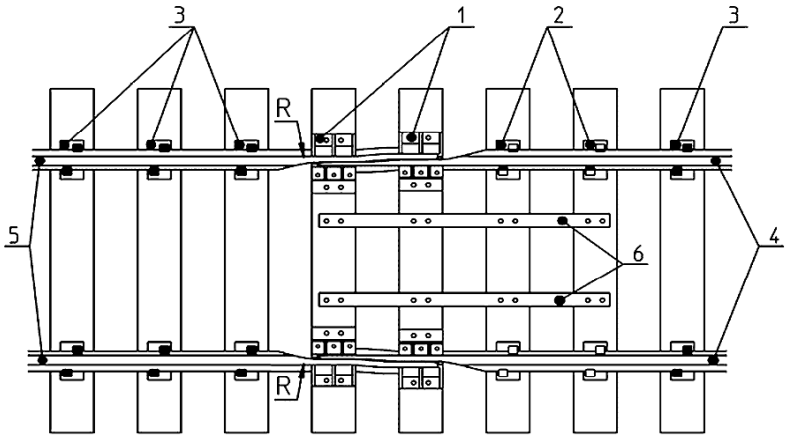
$$AE\alpha^2 t_{\max}^2/4R \tag{7.5}$$

**โดยที่**

| | | |
|---|---|---|
| $A$ | คือ | พื้นที่หน้าตัดของราง (ตารางเซนติเมตร) |
| $E$ | คือ | ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของราง (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร) |
| $\alpha$ | คือ | ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงเส้นของราง (/องศาเซลเซียส) |
| $t_{\max}$ | คือ | อุณหภูมิสูงสุด |
| $t_d$ | คือ | อุณหภูมิการคลายความเค้นของรางรถไฟ |
| $R$ | คือ | Longitudinal Ballast Resistance (กิโลกรัม / เซนติเมตร / ราง) |

2) ประเภทของจุดต่อเผื่อขยาย [91]

- ลิ้นประแจปรับได้ที่ไม่มีรางกัน (ปรับทั้งสองด้าน) แสดงดัง**รูปที่ 7-12**

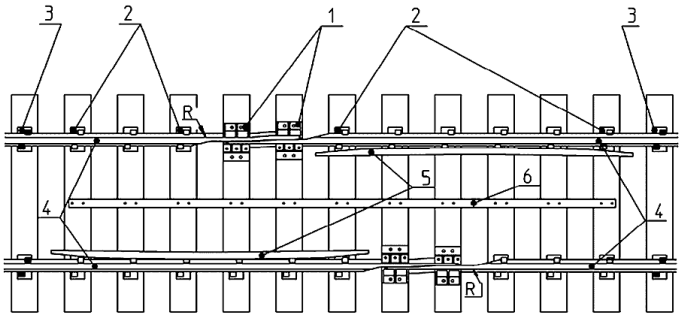



**Key**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | slide chair | 5 | fixed rails |
| 2 | low restrain fastening | 6 | bearer straps |
| 3 | standard fastening | R | reference point |
| 4 | moveable rails | | |

**รูปที่ 7-12 การปรับประแจโดยไม่มีการตรวจสอบราง (ปรับด้านเดียว)**

- ลิ้นประแจปรับได้ที่ไม่มีรางกัน (ปรับทั้งด้านเดียว) แสดงดัง
- **รูปที่** 7-13

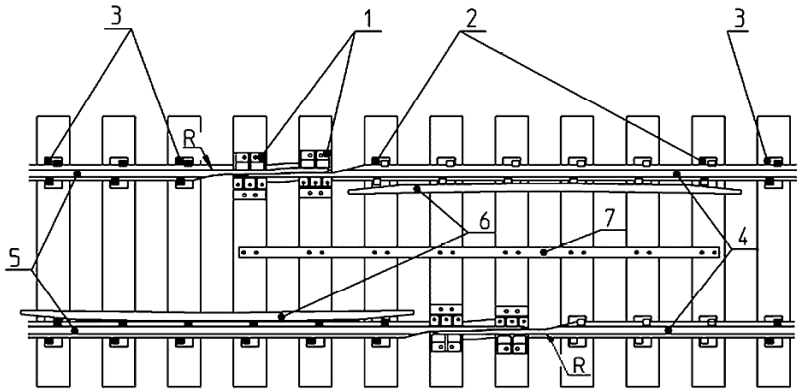



**Key**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | slide chair | 5 | check rails |
| 2 | low restrain fastening | 6 | bearer strap |
| 3 | standard fastening | R | reference point |
| 4 | moveable rails | | |

**รูปที่ 7-13 ลิ้นประแจปรับได้ที่ไม่มีรางกัน (ปรับทั้งด้านเดียว)**

- ลิ้นประแจปรับได้ที่มีรางกัน (ปรับทั้งสองด้าน) แสดงดัง**รูปที่ 7-14**

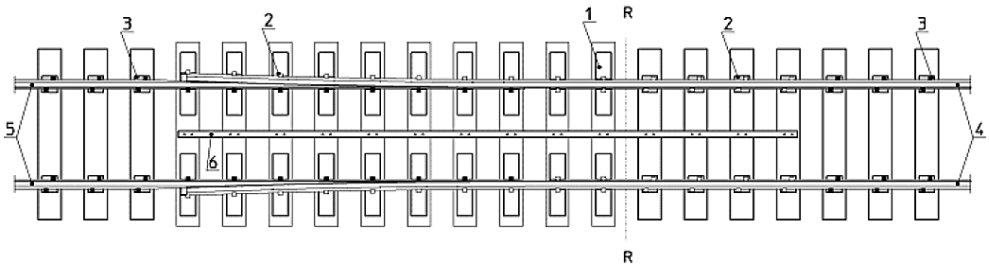



**Key**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | slide chair | 5 | fixed rails |
| 2 | low restrain fastening | 6 | check rails |
| 3 | standard fastening | 7 | bearer strap |
| 4 | moveable rails | R | reference point |

**รูปที่ 7-14 ลิ้นประแจปรับได้ที่มีรางกัน (ปรับทั้งสองด้าน)**

- ลิ้นประแจปรับได้ที่มีรางกัน (ปรับทั้งด้านเดียว) แสดงดัง**รูปที่ 7-15**

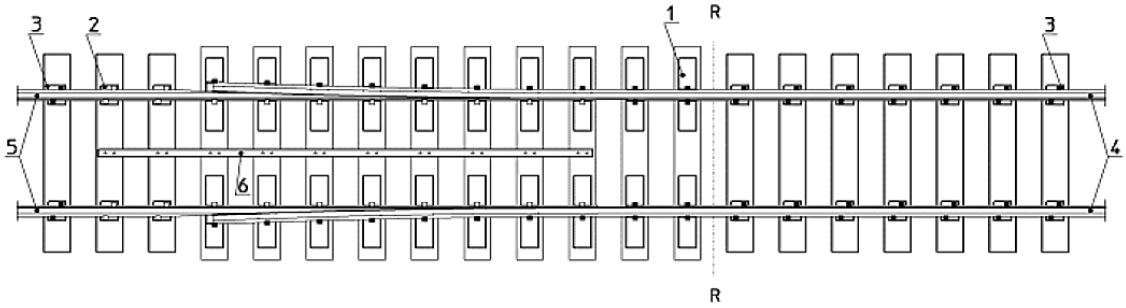



**Key**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | slide chair | 5 | fixed switch rails |
| 2 | low restrain fastening | 6 | bearer strap |
| 3 | standard fastening | R | reference point |
| 4 | moveable stock rails | | |

**รูปที่ 7-15 ลิ้นประแจปรับได้ที่มีรางกัน (ปรับทั้งด้านเดียว)**

- ลิ้นประแจส่วนขยายและรางประธานที่เคลื่อนที่ได้ แสดงดัง**รูปที่ 7-16**

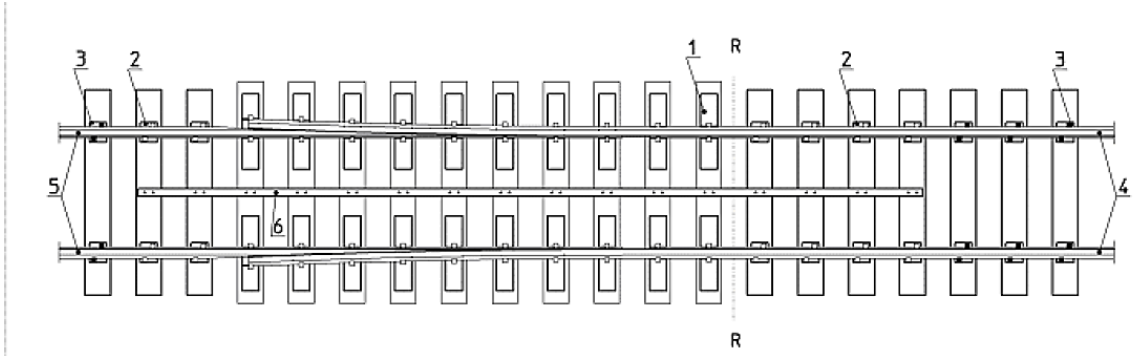



**Key**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | slide chair | 5 | moveable switch rails |
| 2 | low restrain fastening | 6 | bearer strap |
| 3 | standard fastening | R | reference point |
| 4 | fixed stock rails | | |

**รูปที่ 7-16 ลิ้นประแจส่วนขยายและรางประธานที่เคลื่อนที่ได้**

- ลิ้นประแจส่วนขยายและรางลิ้นที่เคลื่อนที่ได้ แสดงดัง**รูปที่ 7-17**




**Key**

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | slide chair | 5 | moveable switch rails |
| 2 | low restrain fastening | 6 | bearer strap |
| 3 | standard fastening | R | reference point |
| 4 | moveable stock rails | | |

**รูปที่ 7-17 ลิ้นประแจส่วนขยายและรางลิ้นที่เคลื่อนที่ได้**

# 5 อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง (Fastener)

## 5.1 ทั่วไป

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางเป็นส่วนประกอบสำคัญของทางรถไฟที่มีหน้าที่ยึดรั้งให้รางอยู่ติดกับหมอนหรือพื้นคอนกรีตอย่างมั่นคง โดยตลอดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางนั้น จะมีแรง ต่าง ๆ ที่มา



กระทำอยู่ตลอดเวลาเช่น แรงจากการยืดหดตัวและการโก่งตัวออกด้านข้าง รวมไปถึงการขยับขึ้นลงแนวดิ่งของราง แรงกระแทกจากล้อรถไฟทั้งในแนวดิ่ง แนวยาวและด้านข้าง ซึ่งแปรผันไปตามความเร็วของรถไฟและสภาพของทางรถไฟ เป็นต้น ปัจจัยดังกล่าวมีผลทำให้การออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์ฯจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

- สามารถรักษาตำแหน่งของรางไว้ให้อยู่บนหมอนอย่างมั่นคง
- สามารถต้านแรงกระทำกับตัวรางในแนวดิ่ง แนวด้านข้างและแนวยาวได้อย่างปลอดภัย
- สามารถดูดซับแรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากล้อรถไฟโดยให้ความยืดหยุ่นกับระบบราง/หมอนรองราง (Elastic Resilience)
- ปกป้องหรือลดการเสียดสีบนราง/หมอนรองราง
- เป็นฉนวนไฟฟ้าสำหรับวงจรไฟฟ้าของอุปกรณ์อาณัติสัญญาณ
- มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมในพื้นที่ได้
- ติดตั้งได้ง่าย โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือที่ซับซ้อน
- มีการออกแบบที่ป้องกันการขโมยถอดรื้อออกจากทางได้โดยง่าย
- มีส่วนประกอบน้อยชิ้น และง่ายต่อการซ่อมบำรุง

### 5.1.1 วัตถุประสงค์

มาตรฐานนี้ใช้กำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางรถไฟแบบยึดโดยตรงชนิดยึดหยุ่น (Direct Fixation Elastic Fastener)

### 5.1.2 ขอบเขต

- มาตรฐานนี้ครอบคลุมถึงอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางรถไฟแบบยึดหยุ่นสำหรับทางรถไฟขนาด 1.0 และ 1.435 เมตร
- มาตรฐานนี้ครอบคลุมถึงอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางรถไฟแบบยึดหยุ่นสำหรับหมอนคอนกรีตและแผ่นพื้นทางรถไฟคอนกรีต
- มาตรฐานนี้ใช้พื้นฐานของน้ำหนักลงเพลาและความเร็วของสายทางตาม มขร S-T-001-256X มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification Standard)

## 5.2 ข้อกำหนดขั้นต่ำของการออกแบบ

### 5.2.1 ข้อกำหนดทั่วไป

- อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางแบบยึดหยุ่นที่จะนำมาใช้งานได้ต้องได้รับการพิสูจน์ในระดับสากลภายใต้สภาวะการทำงานปกติบนระบบทางรถไฟที่สำคัญมาไม่น้อยกว่า 5 ปี หรือต้องมีข้อมูลการทดสอบที่น่าเชื่อถือซึ่งระบุว่าระบบจะมีคุณสมบัติตามข้อกำหนดทั้งหมดของมาตรฐานนี้ โดยอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรวมไปถึงอุปกรณ์ฝังยึด (Shoulder) จะต้องมีความสามารถในการทนต่อแรงกระทำซ้ำ ๆ ภายในสภาวะการใช้งานปกติโดยไม่มีการล้าหรือต้องมีการบำรุงรักษาที่มากเกินไป
- การออกแบบอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 2528 [43] หรือ EN-13481 [16-19] หรือ UIC-864-5 [28] เว้นแต่จะระบุไว้เป็นอย่างอื่นในมาตรฐานฉบับนี้



- ส่วนประกอบของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางที่ถอดประกอบไม่ได้หรือต้องมีการหล่อเข้ากับชิ้นส่วนอื่น จะต้องได้รับการออกแบบและผลิตเพื่อให้มีอายุการใช้งานขั้นต่ำ 50 ปีภายใต้ปริมาณการจราจรตามสายทางที่ถูกใช้งาน
- ส่วนประกอบของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางที่ถอดประกอบได้หรือไม่มีการหล่อเข้ากับชิ้นส่วนอื่น จะต้องได้รับการออกแบบและผลิตเพื่อให้มีอายุการใช้งานขั้นต่ำ 25 ปีภายใต้ปริมาณการจราจรตามสายทางที่ถูกใช้งาน

### 5.2.2 รายละเอียดของทางรถไฟ

- อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะใช้ร่วมกับราง BS-100, UIC-54 สำหรับทางรถไฟขนาด 1.0 เมตร และ UIC-60 สำหรับทางรถไฟขนาด 1.435 เมตร
- ความลาดเอียงของการวางรางคือ 1:20 และ 1:40
- อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะใช้ร่วมกับทางรถไฟที่มีน้ำหนักลงเพลาและความเร็วสูงสุดของรถไฟแต่ละประเภท ตามข้อกำหนดใน มขร S-T-001-256x มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification Standard)

### 5.2.3 คุณสมบัติของชุดอุปกรณ์

- ชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะต้องสามารถยึดรางเข้ากับหมอนหรือแผ่นพื้นได้อย่างมั่นคง โดยจะต้องสามารถคงสภาพทางรถไฟให้มีความราบเรียบและความกว้างคงที่รวมไปถึงต้านทานแรงกระทำต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นขณะใช้งานได้ เช่น แรงกระแทกจากล้อ แรงยกตัวจากการสั่นสะเทือนและแรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นต้น โดยคุณสมบัติในการใช้งานจะต้องเป็นไปตามที่กำหนด พร้อมผลการทดสอบที่เชื่อถือได้
- แผ่นรองรางจะต้องถูกออกแบบให้มีคุณสมบัติในการจัดวางตำแหน่งของตนเองให้อยู่ตำแหน่งที่เหมาะสมบนหมอนได้ (Self-locating)
- แผ่นรองรางจะต้องถูกออกแบบให้สามารถติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ ในชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวได้โดยง่าย
- ความเป็นฉนวนไฟฟ้าของชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวต้องมีความต้านทานไฟฟ้าเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดปัญหาต่อระบบขณะใช้งาน โดยชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวจะต้องถูกทดสอบความต้านทานต่อกระแสไฟฟ้าตามขั้นตอนที่กำหนด

## 5.3 คุณสมบัติของส่วนประกอบในชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยว

### 5.3.1 ส่วนประกอบที่หล่อเข้ากับชิ้นส่วนอื่น (Cast-in Component)

- ต้องออกแบบให้มีอายุการใช้งานไม่น้อยกว่าหมอนหรือแผ่นพื้นทางรถไฟ โดยไม่ต้องมีการซ่อมบำรุง (Maintenance Free)
- ต้องมีคุณสมบัติที่ทนต่อการกัดกร่อนจากสภาพแวดล้อมปกติในการใช้งานและจะต้องมีการแสดงรายละเอียดในการป้องกันการกัดกร่อนโดยเฉพาะในส่วนที่มีการสัมผัสกับหินโรยทาง



- ต้องสามารถทนต่อแรงกระทำซ้ำ ๆ ที่เกิดจากปริมาณการจราจรในสายทางได้โดยไม่เกิดความเสียหายจากการล้า

**5.3.2 คลิป (Clip)**

คลิปจะต้องทำจากเหล็กกล้าสปริงและผลิตตามกระบวนการหล่อ การชุบแข็ง และการดัด เพื่อให้มีประสิทธิภาพตามที่ระบุ

**5.3.3 แผ่นรองราง (Rail Pad)**

แผ่นรองรางต้องทำจากวัสดุที่มีค่าความแข็งเกร็ง (Stiffness) ที่พอเหมาะเพื่อให้มีความสามารถในการซับแรงกระแทกภายใต้แรงกระแทกและในขณะเดียวกันก็ต้องสามารถคงรูปไว้ได้โดยไม่ทำให้รางเคลื่อนที่ได้มากเกิน เช่น วัสดุ HDPE (High Density Polyethylene) ยาง (Rubber) เป็นต้นและมีคุณสมบัติตามที่กำหนดในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา โดยวัสดุควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1) มีส่วนผสมของคาร์บอนร้อยละ 1.5 – 2.0
2) มีความหนาแน่น 0.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
3) มีค่า Melt Flow Index 2 กรัมต่อ 10 นาที
4) มีค่า Reground น้อยกว่าร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก
5) เป็นวัสดุทนต่อแสง UV
6) เป็นวัสดุผิวเรียบและเป็นเนื้อเดียว
7) คุณสมบัติของวัสดุจะต้องคงที่ตลอดช่วง + 60 ° C และ -10 ° C

แผ่นรองรางต้องมีความสามารถในการรับน้ำหนักลงเพลาของรถไฟแต่ละประเภท ตามข้อกำหนดใน มขร S-T-001-256X มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification Standard) และความกว้างของแผ่นรองรางจะต้องได้รับการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมกับหมอนและความหนาต่ำสุดที่ยอมให้คือ 5.0 มิลลิเมตร

การเลือกแผ่นรองรางจะขึ้นกับลักษณะการใช้งานโดยเฉพาะในระยะยาวและสภาพแวดล้อม รวมทั้งชนิดของรางที่ใช้ สำหรับโค้งมากกว่า 2 องศา และสำหรับบริเวณใช้งานที่มีสภาวะแวดล้อมรุนแรง การเลือกใช้แผ่นรองรางต้องใส่ใจเป็นพิเศษ อาจเลือกใช้แผ่นรองรางแบบสามแผ่นประกบ (Three-part Sandwich Pad) ที่ประกอบด้วย ปะเก็นโฟม (Form Gasket) ชั้นล่างแผ่นขัดสี (Abrasion Plate) ชั้นกลาง และวัสดุมีชื่อเรียกว่า “วัสดุเทอร์โมพลาสติก (Shape Factored Thermoplastic Material)” ชั้นบน หรืออาจเลือกใช้แผ่นรองรางแบบสองแผ่นประกบ (Two-part Sandwich Pad) ที่ประกอบด้วยแผ่นขัดสีชั้นล่างและวัสดุมีชื่อเรียกว่า “วัสดุเทอร์โมพลาสติก (Shape Factored Thermoplastic Material)” ชั้นบน หรืออาจเลือกใช้แผ่นรองรางชั้นเดียวทำจากวัสดุมีชื่อเรียกว่า “ยางเสริม (Reinforced Elastomer)”

**5.3.4 แผ่นรองเสริม (Spacers)**

ต้องมีคุณสมบัติทางกลและถูกทดสอบภายใต้สภาวะการใช้งานเช่นเดียวกับแผ่นรองราง และต้องถูกออกแบบให้สามารถคงตำแหน่งได้ตลอดอายุการใช้งานหลังจากที่ติดตั้งลงบนทางรถไฟ รวมถึงต้องสามารถทนต่อรังสีอัลตร้าไวโอเลต โอโซนและการกัดกร่อน ตลอดอายุการใช้งาน



**5.3.5 ฉนวน (สำหรับใช้กับหมอนคอนกรีต) (Insulation)**

ฉนวนจะถูกใช้เพื่อป้องกันการรบกวนต่อระบบอาณัติสัญญาณและป้องกันการเสื่อมสภาพที่อาจเกิดขึ้นโดยการรั่วของกระแสไฟฟ้า จากเหตุผลข้างต้น จำเป็นต้องก่อสร้างทางรถไฟให้มีฉนวนไฟฟ้าที่แยกรางและหมอนออกจากกัน โดยฉนวนต้องถูกออกแบบให้ติดตั้งร่วมกับชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางได้โดยง่ายโดยไม่กระทบต่อประสิทธิภาพด้านอื่นของชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง

## 5.4 คุณภาพการผลิต (Manufacture Qualities)

**5.4.1 มิติและความคลาดเคลื่อน**

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะต้องผลิตและจำหน่ายให้ได้ตามขนาดที่ได้ออกแบบ โดยจะต้องมีการตรวจวัดขนาดและบันทึกค่าคลาดเคลื่อนก่อนทำการตรวจรับโดยผู้รับผิดชอบ

**5.4.2 พื้นผิวภายนอก**

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะต้องปราศจากร่องรอยบนพื้นผิว รอยแตกหรือร่องรอยที่บ่งชี้ว่าอาจทำให้เกิดปัญหาขณะใช้งานนอกจากนี้พื้นผิวจะต้องปราศจากส่วนเกินใด ๆ ซึ่งอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อผู้ปฏิบัติการหรืออาจทำให้เกิดการติดขัดระหว่างการติดตั้ง

**5.4.3 การเคลือบผิว**

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางจะต้องมีการเคลือบป้องกันเพื่อป้องกันการกัดกร่อน วัสดุเคลือบผิวต้องไม่ประกอบด้วยวัสดุใด ๆ ที่อาจเป็นอันตรายต่อความปลอดภัยหรือความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม การเคลือบผิวต้องสามารถป้องกันชุดยึดได้จากสภาวะการใช้งานปกติในแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้การเคลือบผิวจะต้องไม่มีผลต่อขนาดของอุปกรณ์ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถใช้งานร่วมกับส่วนประกอบอื่น ๆ ได้

**5.4.4 เครื่องหมาย**

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางทุกชุดจะต้องมีการตีตราสินค้าที่อ่านได้อย่างชัดเจนและมีความคงทนเพื่อระบุชนิดและเลขบอกลำดับชุดที่ทำการการผลิต

## 5.5 การทดสอบและการรับรอง

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางแต่ละชุดจะต้องมีการสุ่มตรวจสอบและรับรองคุณภาพก่อนนำมาใช้งานจริง โดยอ้างอิงกับมาตรฐาน มอก. 2528 [43], EN-13146 [20-27] และ UIC-864-5 [28] โดยจะต้องมีผลการทดสอบดัง**ตารางที่ 7-7**

**ตารางที่ 7-7 คุณสมบัติและการทดสอบของชุดอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง**

| การทดสอบ | คุณสมบัติที่ต้องทำการทดสอบ | วิธีการทดสอบ | ค่าที่ยอมให้ | ข้อสังเกต |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ความต้านทานต่อแรงกระทำแนวยาว | มอก.2528 [43] หรือ EN-13146-1 [20] | ไม่ต่ำกว่า 7 กิโลนิวตัน ณ จุดที่เกิดการเลื่อนไถล | การทดสอบนี้ต้องดำเนินการก่อนการทดสอบแรงกระทำซ้ำ |
| 2 | ความแข็งเกร็งในแนวดิ่ง | EN-13146-4 [23], | ไม่เกินกว่า 35 กิโลนิวตัน | ต้องไม่เกิดการเลื่อนไถล |

| การทดสอบ | คุณสมบัติที่ต้องทำการทดสอบ | วิธีการทดสอบ | ค่าที่ยอมให้ | ข้อสังเกต |
|---|---|---|---|---|
| | | EN-13146-9 [27] | ต่อเมตร | การคราดหรือการแตกหักของชิ้นส่วน โดยค่าความแข็งเกร็งในแนวดิ่งจะถูกคำนวณในช่วงแรงกระทำระหว่าง 5 ถึง 80 กิโลนิวตัน |
| 3 | ความแข็งเกร็งเชิงพลศาสตร์ | EN 13481-5, Annex B [18] | ไม่เกินกว่า 1.4 | อัตราส่วนสามารถคำนวณได้โดยนำค่าความแข็งเกร็งเชิงพลศาสตร์หารด้วยค่าความแข็งเกร็งเชิงสถิต |
| 4 | แรงกดของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง | มอก.2528 [43] หรือ EN-13146-7 [26] | ไม่ต่ำกว่า 20 กิโลนิวตันต่อชุดรางหนึ่งข้าง | แรงกดที่คลิปหนึ่งตัวต้องมีไม่น้อยกว่า 10 กิโลนิวตัน การทดสอบนี้ต้องดำเนินการก่อนการทดสอบแรงกระทำซ้ำ |
| 5 | ความต้านทานไฟฟ้า | มอก.2528 [43] หรือ EN-13146-5 [24] | ไม่ต่ำกว่า 5 กิโลโอห์ม | Higher value may be specified if required by Metros for track circuit ในกรณีที่จำเป็น อาจใช้ค่าที่สูงกว่าที่กำหนดนี้ |
| 6 | ความต้านทานต่อการสึกกร่อน | EN-13146-6 [25] | ชิ้นส่วนของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวจะต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติในการใช้งานหลังจากการทดสอบ | |
| 7 | แรงกระทำซ้ำ | มอก.2528 [43] หรือ EN-13146-4 [23] | ต้องไม่ปรากฏถึงร่องรอยการสึกหรือการเสียรูปหลังจากที่ทำการทดสอบ | |
| 7A | ความแข็งเกร็งแนวดิ่งหลังจากทดสอบแรงกระทำซ้ำ | มอก.2528 [43] หรือ EN-13146-4 [23] | ต้องมีค่าไม่ต่างไปจากก่อนทำการทดสอบเกิน 25 เปอร์เซ็นต์ | ต้องไม่มีร่องรอยการเสียหาย ฉีกขาดหรือการเลื่อนไถล |
| 7B | ความต้านทานต่อแรงกระทำแนวยาวหลังจากทดสอบแรงกระทำซ้ำ | มอก.2528 [43] หรือ EN-13146-1 [20] | ต้องมีค่าไม่ต่างไปจากก่อนทำการทดสอบเกิน 20 เปอร์เซ็นต์ | ต้องไม่เกิดการเลื่อนไถล การคราดหรือการแตกหักของชิ้นส่วน ยกเว้นรางที่ยอมให้เกิดการเลื่อนไถลได้ โดยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการเคลื่อนตัวในแนวยาวจะต้องถูกบันทึกและรับรองโดยผู้รับผิดชอบ |
| 7C | แรงกดของอุปกรณ์ยึด | มอก.2528 [43] หรือ | ต้องมีค่าไม่ต่างไปจากก่อน | |



| การทดสอบ | คุณสมบัติที่ต้องทำการทดสอบ | วิธีการทดสอบ | ค่าที่ยอมให้ | ข้อสังเกต |
|---|---|---|---|---|
| | เหนี่ยวราง หลังจากทดสอบแรงกระทำซ้ำ | EN-13146-7 [26] | ทำการทดสอบเกิน 20 เปอร์เซ็นต์ | |
| 8 | การถอนออกของวัสดุฝังยึด | มอก.2528 [43] | แรงถอนต้องไม่ต่ำกว่า 60 กิโลนิวตันต่อวัสดุฝังยึดหนึ่งตัว | |
| 9 | การต้านทานแรงกระทำด้านข้างของวัสดุฝังยึด | มอก.2528 [43] | ไม่ต่ำกว่า 70 กิโลนิวตันต่อชุดรางหนึ่งข้าง | |
| 10 | การซับแรงกระแทก | EN-13146-3 [22] | ค่าการลดแรงกระแทก ต้องไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ | |
| 11 | การต้านทานต่อการคืบ | มอก.2528 [43] | ไม่น้อยกว่า 9 กิโลนิวตัน ณ ตำแหน่งที่เริ่มเกิดการไถล รายงานผลการเคลื่อนตัวของรางภายใต้แรงกระทำแนวยาวที่หัวราง 24.5 กิโลนิวตัน เป็นเวลา 5 นาที | |
| 12 | การต้านทานต่อแรงกระทำด้านข้าง | มอก.2528 [43] | รายงานผลการเคลื่อนตัวของรางภายใต้แรงกระทำแนวเอียง 30 องศาจากพื้นระนาบ ที่หัวราง 90 กิโลนิวตัน | |
| 13 | การต้านทานต่อแรงบิด (Torsional resistant) | มอก.2528 [43] | รายงานผลความสัมพันธ์ของแรงบิดและการหมุนรอบตัวของราง | |
| 14 | การยกตัวของราง | มอก.2528 [43] | รายงานผลของแรงกระทำเพื่อให้รางยกขึ้น 0.25 มิลลิเมตรบนรางหนึ่งด้าน | |
| 15 | การตรวจสอบมิติ | มอก.2528 [43] | ตรวจสอบมิติของทางวิ่งหลังจากติดตั้งอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวเข้ากับรางแล้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของคลิปต้องคลาดเคลื่อนไม่เกิน 0.2 เปอร์เซ็นต์ และค่าความกลมต้องไม่เบี่ยงเบนเกิน 0.25 มิลลิเมตร | |
| 16 | การฉีกขาดของแผ่นรอง | UIC-864-5 [28] | | |
| 17 | อุณหภูมิอ่อนตัวของแผ่นรองราง | UIC-864-5 [28] | มีค่า Melt Flow Index 2 กรัมต่อ 10 นาที คุณสมบัติของวัสดุจะต้องคงที่ตลอดช่วง + 60 และ -10 องศาเซลเซียส | |



| การทดสอบ | คุณสมบัติที่ต้องทำการทดสอบ | วิธีการทดสอบ | ค่าที่ยอมให้ | ข้อสังเกต |
|---|---|---|---|---|
| 18 | ความหนาแน่นของแผ่นรองราง | UIC-864-5 [28] | ไม่น้อยกว่า 0.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร | |

# 6 หมอนรองราง (Sleeper)

## 6.1 ทั่วไป

หมอนรองรางเป็นส่วนประกอบทางรถไฟที่สำคัญมากในการรองรับน้ำหนักจากรถไฟ โดยหมอนทำหน้าที่เป็นฐานรองรับรางไปตลอดความยาว การออกแบบหมอนรองรางต้องให้สามารถต้านทานแรงกระทำซ้ำต่าง ๆ และถ่ายแรงจากรางรถไฟไปสู่หินโรยทางหรือชั้นวัสดุอื่นที่รองรับได้ รวมทั้งต้องมีความทนทานต่อสภาวะใช้งาน [1]

สำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทาง (Ballasted Track System) จะใช้หมอนรองรางในการถ่ายแรงจากรางรถไฟไปสู่หินโรยทาง หมอนรองรางสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทางอาจแบ่งออกได้เป็น 3 แบบใหญ่ ๆ ตามรูปร่างและลักษณะการใช้งาน คือ

- หมอนคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Sleeper) ซึ่งเป็นแท่งคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว (Monoblock) หรืออาจจะเรียกว่า หมอนคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว (Prestressed Monoblock Sleeper)

- หมอนคอนกรีตแท่งคู่ (Twin-Block Concrete Sleeper) ซึ่งเป็นแท่งคอนกรีตเสริมเหล็กสองแท่งต่อกันด้วยแท่งเหล็กต่อหมอน (Steel Connection Bar) จึงอาจจะเรียกว่า หมอนคอนกรีตเสริมเหล็กแท่งคู่ (Twin-block Reinforced Sleeper)

- หมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Bearer) ซึ่งเป็นแท่งคอนกรีตอัดแรงแท่งเดี่ยว (Monoblock) สำหรับรองประแจ

สำหรับทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง (Ballastless Track System) อาจประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก องค์ประกอบรอง และส่วนต่าง ๆ ดังรายละเอียดใน มขร S-T-005-256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง โดยมีทั้งแบบใช้และไม่ใช้หมอนรองรางทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทางแบบใช้หมอนรองรางซึ่งจัดเป็นประเภทแบบมีระบบยึดเหนี่ยวราง (Fastening System) จะใช้หมอนรองรางซึ่งอาจจะเป็นแบบใดแบบหนึ่ง (หมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนคอนกรีตแท่งคู่ หรือหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง) ในการถ่ายแรงจากรางรถไฟไปสู่ชั้นที่รองรับ (Supporting Layer) แทนหินโรยทาง ซึ่งมักจะทำด้วยคอนกรีตหรือแอสฟัลท์คอนกรีต (Asphalt Concrete) ทั้งนี้หมอนรองรางสำหรับทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทางอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ ๆ ตามรูปแบบหรือลักษณะการติดตั้งบนชั้นที่รองรับ คือ



- หมอนรองรางแบบฝังในชั้นที่รองรับ (Sleeper Embedded in Supporting Layer) เช่น หมอนคอนกรีตแท่งคู่ฝังในพื้นคอนกรีต (Twin-Block Concrete Sleeper Embedded in Concrete) เป็นต้น

- หมอนรองรางแบบวางบนชั้นที่รองรับ (Sleeper on Top of Supporting Layer) เช่น หมอนคอนกรีตอัดแรงวางบนพื้นแอสฟัลท์คอนกรีต (Prestressed Concrete Sleeper on Top of Asphalt Concrete) เป็นต้น

### 6.1.1 วัตถุประสงค์

มาตรฐานนี้ระบุข้อกำหนดทั่วไปหรือขั้นต่ำเกี่ยวกับการออกแบบ และการทดสอบและรับรอง รวมทั้งการผลิตหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทางและทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง

### 6.1.2 ขอบเขต

- สำหรับหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทาง มาตรฐานนี้ครอบคลุม หมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนคอนกรีตแท่งคู่ และหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง
- สำหรับหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง มาตรฐานนี้ครอบคลุม หมอนรองรางแบบฝังในชั้นที่รองรับ และหมอนรองรางแบบวางบนชั้นที่รองรับ
- สำหรับความเร็วสูงสุด ประเภทของการขนส่ง น้ำหนักลงเพลา และขนาดทาง มาตรฐานนี้ครอบคลุมตาม มขร S-T-001-256X มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ
- มาตรฐานนี้ครอบคลุมระยะเรียงหมอนรองรางระหว่าง 500 – 750 มิลลิเมตร

## 6.2 ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับหมอนรองราง

### 6.2.1 น้ำหนักบรรทุก

ทางรถไฟต้องสามารถรับน้ำหนักบรรทุกในสามทิศทางที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ และพร้อม ๆ กัน ตลอดเวลาที่ใช้งาน ประกอบด้วย [1]

- น้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่ง (Vertical Load) จากน้ำหนักลงเพลา
- น้ำหนักบรรทุกในแนวขวาง (Transverse Load) จากการที่ต้องบังคับทิศทาง
- น้ำหนักบรรทุกในแนวยาว (Longitudinal Load) จากการเร่งและลดความเร็ว และจากความเค้นเนื่องจากความร้อนในรางเชื่อมยาว

ภายใต้น้ำหนักบรรทุกสภาวะต่างๆ ที่รวมผลกระทบทางพลวัตแล้ว หมอนรองรางต้องสามารถรักษารูปทรงทางเรขาคณิตของทางรถไฟ คือ ขนาดทาง ระดับทาง และแนวเส้นทาง

### 6.2.2 การกระจายน้ำหนักบรรทุก

สำหรับการกระจายน้ำหนักบรรทุกลงหมอนรองราง ในทางทฤษฎีน้ำหนักจากตู้รถไฟ (Bogie) จะถ่ายลงเพลารถไฟเป็นน้ำหนักลงเพลา (Axle Load) น้ำหนักลงเพลาจะเฉลี่ยถ่ายสู่รางรถไฟโดยล้อรถไฟเรียกว่า น้ำหนักลงล้อ (Wheel Load) น้ำหนักบรรทุกจากรางจะถ่ายสู่หมอนที่



พื้นที่รองรับราง เรียกว่า น้ำหนักลงพื้นที่รองรับราง (Rail Seat Load) ซึ่งจะต้องทราบเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบหมอนรองรางและต้องรวมผลกระทบทางพลวัตแล้ว

ในการพิจารณาการกระจายน้ำหนักบรรทุกให้พิจารณาหมอนรองรางประกอบเสร็จ (Assembly) อันประกอบด้วย ราง อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง และหมอนรองราง ที่รองรับด้วยหินโรยทางหรือชั้นวัสดุอื่น เสมือนคานที่วางบนที่รองรับยืดหยุ่น (As a Beam on a Continuous or Discrete Resilient Support) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการกระจายของน้ำหนักบรรทุกจากรางจะขึ้นกับโมเมนต์ความเฉื่อยของราง ระยะเรียงหมอนรองราง และความยืดหยุ่นโดยรวมของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่รองรับราง น้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางอาจคิดเป็นสัดส่วนหรือร้อยละของน้ำหนักลงล้อก็ได้ [1-2]

### 6.2.3 วัสดุ

วัสดุทั้งหมดต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องหรือตามข้อตกลงในสัญญา

#### 6.2.3.1 คอนกรีต

ในการเลือกวัสดุสำหรับผสมคอนกรีตต้องมั่นใจว่าจะทำให้คอนกรีตมีความทนทาน (Durability) ในระยะยาว และเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องต้องส่งเพื่อขออนุมัติใช้วัสดุ

คอนกรีตต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องหรือตามข้อตกลงในสัญญา สำหรับคอนกรีตอัดแรง คอนกรีตควรมีความต้านแรงอัดสูงสุดที่อายุ 28 วันไม่น้อยกว่า 55 เมกกะปาสคาล เมื่อทดสอบด้วยแท่งตัวอย่างรูปลูกบาศก์มาตรฐาน หรือไม่น้อยกว่า 45 เมกกะปาสคาล เมื่อทดสอบด้วยแท่งตัวอย่างรูปทรงกระบอกมาตรฐาน [1]

#### 6.2.3.2 เหล็ก

เหล็กอัดแรง (Prestressing Tendon) เหล็กเสริม (Reinforcing Steel) และแท่งเหล็กต่อหมอน (Steel Connection Bar) ต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง หรือตามข้อตกลงในสัญญา

สำหรับเหล็กเสริม (Reinforcing Steel) การเชื่อมต่ออนุญาตให้ทำได้เฉพาะในการต่อประกอบ (Assembly) เท่านั้น และเหล็กเสริมที่ใช้ต้องเป็นเกรดที่เชื่อมได้

#### 6.2.3.3 วัสดุฝังยึด

อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางต้องเป็นไปตามมาตรฐาน มขร S-T-007-256X มาตรฐานองค์ประกอบทางรถไฟ

ผิวของวัสดุฝังยึดต่างๆ ที่สัมผัสกับคอนกรีตต้องสะอาด ไม่มีโคลน น้ำมัน สนิม หรือสิ่งปนเปื้อนที่อาจเป็นผลเสียต่อคอนกรีต



### 6.2.4 การออกแบบ

การออกแบบหมอนรองรางต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา

ในการออกแบบหมอนรองราง ค่าที่ต้องใช้ในการออกแบบคือโมเมนต์ดัดที่พื้นที่รองรับรางและที่กึ่งกลางหมอน ซึ่งอาจจะทราบค่าได้โดยตรงจากการวัดจริง (Empirical Method) ภายใต้สภาวะการใช้งาน (Service Conditions) หรือจากการวิเคราะห์ทางทฤษฎี (Theoretical Method) [3]

สำหรับการวิเคราะห์ทางทฤษฎี จะต้องพิจาณาน้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางซึ่งขึ้นโดยเฉพาะกับน้ำหนักลงเพลาหรือน้ำหนักลงล้อก่อน เพื่อนำไปคำนวณโมเมนต์ดัดสำหรับการออกแบบต่อไป ทั้งนี้ในการพิจารณาน้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางและโมเมนต์ดัดให้ใช้หลักการของคานวางบนที่รองรับยืดหยุ่น โดยน้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางอาจคิดเป็นสัดส่วนหรือร้อยละของน้ำหนักลงเพลาหรือน้ำหนักลงล้อก็ได้ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

แนวทางการออกแบบหมอนคอนกรีต แสดงในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างองค์ประกอบของทางรถไฟ

#### 6.2.4.1 ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ

การออกแบบหมอนรองรางต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- การบำรุงรักษา ซึ่งขึ้นกับ คุณภาพของทางรถไฟและรถไฟ และมีผลต่อการกระจายน้ำหนักบรรทุก การกระจายแรงปฏิกิริยาจากชั้นที่รองรับตามความยาวของหมอนคอนกรีต [3]
- สภาพการวางรางประกอบด้วย น้ำหนักของหมอนคอนกรีต ความยาวของหมอนคอนกรีตความลึกของหมอนคอนกรีต และวิธีการติดตั้งราง [3]
- การออกแบบส่วนประกอบทางรถไฟ เช่น แนวรางและระยะเรียงหมอนคอนกรีต อุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง การลดแรงกระแทกของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ค่าสติฟเนสในแนวตั้งของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ความต้านทานไฟฟ้า เป็นต้น [3]
- การออกแบบวางแนวเส้นทางรถไฟและการบรรทุก ประกอบด้วย น้ำหนักลงเพลา ความเร็วสูงสุด และน้ำหนักบรรทุกในแนวโค้ง [3]
- หมอนคอนกรีตต้องมีอายุใช้งานไม่น้อยกว่า 40 ปี [1]

#### 6.2.4.2 น้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางออกแบบ

น้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางออกแบบ (Design Rail Seat Load, $P_d$) จะเป็นสัดส่วนกับน้ำหนักลงเพลาที่รวมผลกระทบทางพลวัตด้วยค่าปัจจัยน้ำหนักบรรทุกพลวัต (Impact Factor, I) และรวมผลของการถ่ายและกระจายน้ำหนักลงล้อระหว่างหมอนด้วยค่าปัจจัยการกระจายน้ำหนักบรรทุก (Load Distribution Factor, D) [4]



ค่าปัจจัยน้ำหนักบรรทุกพลวัตนั้นต้องรวมผลกระทบของความเร็วและสภาพของทางรถไฟด้วย (Track Condition) [1]

ค่าปัจจัยการกระจายน้ำหนักบรรทุกอาจคำนวณได้จากสองวิธีใหญ่ ๆ บนหลักการของคานวางบนที่รองรับยืดหยุ่น คือ

- ประยุกต์ใช้หลักการของคานวางบนที่รองรับยืดหยุ่นโดยตรง (Direct Method) โดยสมมุติว่าที่รองรับยืดหยุ่นมีค่าโมดูลัสคงที่ [2-3]

  สำหรับหมอนรองรางบนทางรถไฟชนิดหินโรยทาง ค่าปัจจัยการกระจายน้ำหนักบรรทุกอย่างน้อยต้องพิจารณาจากค่าสติฟเนสของราง ระยะเรียงหมอนรองราง ค่าสติฟเนสของแผ่นรองราง ค่าสติฟเนสของหินโรยทาง และค่าสติฟเนสของดินเดิม

  สำหรับหมอนรองรางบนทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง ค่าปัจจัยการกระจายน้ำหนักบรรทุกอย่างน้อยต้องพิจารณาจากค่าสติฟเนสของราง ระยะเรียงหมอนรองรางหรือระยะห่างอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ค่าสติฟเนส ของแผ่นรองราง ค่าสติฟเนสของชั้นวัสดุที่รองรับ และค่าสติฟเนส ของดินเดิมหรือโครงสร้างที่รองรับ

- ใช้หลักการประมาณด้วยตัวแปรบางตัวเท่านั้น ซึ่งยังคงให้ค่าเทียบเท่ากับการคำนวณโดยตรง (Empirical Method) ค่าปัจจัยการกระจายน้ำหนักบรรทุกอย่างน้อยต้องพิจารณาจากคุณสมบัติของราง และระยะเรียงหมอนรองรางหรือระยะห่างอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง [4]

**6.2.4.3 โมเมนต์ดัดออกแบบ**

ในการคำนวณโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในหมอนรองราง ให้ใช้หลักการคานวางบนที่รองรับยืดหยุ่น และต้องคำนึงถึงสิ่งที่จะมีผลกระทบต่อการกระจายแรงและค่าสติฟเนสเฉลี่ยของที่รองรับใต้หมอนอันส่งผลถึงค่าโมเมนต์ดัด ดังต่อไปนี้ด้วย [3]

- ความยาวและความกว้างด้านล่างของหมอนที่ไม่คงที่ซึ่งจะทำให้การกระจายแรงไม่สม่ำเสมอ
- คุณภาพและความไม่สม่ำเสมอของหินโรยทาง
- คุณภาพและความไม่สม่ำเสมอของดินเดิม

กรณีที่แบบจำลองอย่างง่าย (Simplified Design Model) และสมมุติให้การกระจายแรงและค่าสติฟเนสเฉลี่ยของที่รองรับใต้หมอนมีค่าคงที่ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณโมเมนต์ดัด จะต้องมีการเผื่อค่าโมเมนต์ดัดที่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลกระทบข้างต้นด้วย



โมเมนต์ดัดออกแบบอย่างน้อยควรพิจารณาที่พื้นที่รองรับรางและที่กึ่งกลางหมอนอันเกิดจากน้ำหนักลงพื้นที่รองรับรางออกแบบ

**6.2.4.4 การออกแบบรูปร่าง**

รูปร่างและขนาดต่างๆ ของหมอนคอนกรีตให้เป็นไปตามข้อตกลงในสัญญา

พิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดของขนาดหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทางระบุใน**ตารางที่ 7-8** ในกรณีของหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง พิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดอาจมีค่าน้อยลงตามข้อตกลงในสัญญา [2]

สำหรับหมอนคอนกรีตแท่งคู่ ระยะห่างต่ำสุดระหว่างอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางกับเหล็กเสริม และระหว่างเหล็กเสริมกับแท่งเหล็กต่อหมอนต้องระบุให้ชัดเจน

**ตารางที่ 7-8 พิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดของขนาดหมอนคอนกรีต**

| มิติ | พิกัดความคลาดเคลื่อน |
|---|---|
| ความยาวของหมอนคอนกรีต | $\pm$ 5.0 มิลลิเมตร |
| ความกว้างด้านบนและล่างของหมอนคอนกรีต | $\pm$ 5.0 มิลลิเมตร |
| ความสูงที่ตำแหน่งใดๆ ตลอดความยาวของแท่งคอนกรีตเสริมเหล็ก | - 3.0 ถึง + 10.0 มิลลิเมตร |
| ความสูงที่ตำแหน่งใดๆ ตลอดความยาวของหมอนคอนกรีตอัดแรง | - 2.0 ถึง + 5.0 มิลลิเมตร |
| ความยาวของแท่งคอนกรีตเสริมเหล็ก | $\pm$ 8.0 มิลลิเมตร |
| ความเอียงหรือลาดของพื้นที่รองรับราง | 1:45 ถึง 1:35 |
| ความเรียบของผิวพื้นที่รองรับราง | $\pm$ 0.5 มิลลิเมตร |
| ความตรงด้านข้างหมอนคอนกรีต | $\pm$ 5.0 มิลลิเมตร |
| ความเอียงหรือระดับของพื้นที่รองรับรางในทิศทางตั้งฉากกับแนวแกนราง | $\pm$ 30 ลิปดา |

**6.2.4.5 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก**

ยกเว้นกำหนดไว้ในสัญญา ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็กต้องเป็นไปตามที่ระบุใน**ตารางที่ 7-9**

**ตารางที่ 7-9 ระยะคอนกรีตหุ้มเหล็ก**

| ตำแหน่ง | ระยะหุ้ม |
|---|---|
| เหล็กอัดแรงที่ผิวล่างหมอนคอนกรีต | $\geq$ 35 มิลลิเมตร |
| เหล็กอัดแรงที่ผิวบนและผิวข้างหมอนคอนกรีต ยกเว้นที่ปลายหมอน | $\geq$ 25 มิลลิเมตร |
| เหล็กอัดแรงบริเวณวัสดุฝังยึด | $\geq$ 12 มิลลิเมตร |
| เหล็กเสริมที่ผิวล่างหมอนคอนกรีต | $\geq$ 25 มิลลิเมตร |
| เหล็กเสริมที่ผิวบนและผิวข้างหมอนคอนกรีต | $\geq$ 20 มิลลิเมตร |
| เหล็กเสริมที่พื้นที่รองรับราง | $\geq$ 15 มิลลิเมตร |



**6.2.4.6 ความเค้นแบกทาน**

การออกแบบต้องมั่นใจว่าความเค้นแบกทานที่เกิดในหินโรยทางหรือชั้นวัสดุรองรับจะไม่เกินกว่าค่าที่ยอมให้ [5] โดยหมอนคอนกรีตอาจจะมีความกว้างและความสูงไม่เท่ากันตลอดความยาว แต่ต้องมีพื้นที่ด้านล่างเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดความเค้นแบกทานเกินกว่าค่าที่ยอมให้ [4]

การตรวจสอบจะตรวจสอบภายใต้การรับโมเมนต์ดัดออกแบบบวกที่พื้นที่รองรับราง [4]

ความเค้นแบกทานบนหินโรยทาง (Ballast Pressure, fb) ขึ้นกับความกว้างเฉลี่ยของด้านล่างของหมอนรองราง (b) และความยาวการกระจายแรงใต้พื้นที่รองรับราง (a) ซึ่งขึ้นกับระยะห่างระหว่างราง (g) และความยาวหมอนรองราง (L) ความเค้นแบกทานบนหินโรยทางคำนวณได้จากสมการใน**ตารางที่ 7-10** ซึ่งอยู่บนสมมุติฐานที่ว่าแรงดันใต้พื้นที่รองรับรางมีการกระจายสม่ำเสมอ (Uniform Pressure Distribution) [4]
สำหรับหินโรยทางคุณภาพสูงทนแรงขัดสีได้ดี ความเค้นแบกทานในหินโรยทางต้องไม่เกิน 0.586 เมกกะปาสคาลหรือ 85 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว [5]

**ตารางที่ 7-10 ความเค้นแบกทานบนหินโรยทาง [4]**

| ระยะห่างระหว่างราง (g) | ความยาวการกระจายแรงใต้พื้นที่รองรับราง (a) | ความเค้นแบกทานบนหินโรยทาง ($f_b$) |
|---|---|---|
| g > 1.5 เมตร (ขนาดทางมาตรฐานหรือกว้าง) | $a = L - g$ | $f_b = \frac{P_d}{b(L-g)}$ |
| 1.5 เมตร > g > 1.0 เมตร (ขนาดทางแคบ) | $a = 0.8(L-g)$ | $f_b = \frac{P_d}{0.8b(L-g)}$ |

**6.2.4.7 การออกแบบคอนกรีตอัดแรง**

ข้อมูลจากการออกแบบ เช่น แรงอัด ตำแหน่งเหล็กอัดแรง การยึดเหล็กอัดแรง เป็นต้น ต้องระบุให้ชัดเจน

ยกเว้นกำหนดไว้ในสัญญา ตำแหน่งและแรงของเหล็กอัดแรงต้องเป็นไปตามที่ระบุใน**ตารางที่ 7-11**

**ตารางที่ 7-11 ตำแหน่งและแรงของเหล็กอัดแรง**

| รายการ | พิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุด |
|---|---|
| ตำแหน่งในแนวดิ่งของจุดศูนย์กลางมวลของเหล็กอัดแรง | ± 3 มิลลิเมตร |
| ตำแหน่งในแนวดิ่งของเหล็กอัดแรงแต่ละเส้น | ± 5.0 มิลลิเมตร |
| ตำแหน่งในแนวนอนของเหล็กอัดแรงแต่ละเส้น | ± 5.0 มิลลิเมตร |
| แรงอัดทั้งหมด (ของแรงอัดออกแบบ) | ± ร้อยละ 5 |

หมอนคอนกรีตอัดแรงควรออกแบบด้วยหลักการการอัดแรงเต็มที่ (Full Prestressing) และต้องมีความยาวเพียงพอสำหรับระยะฝังยึด (Bond Development Length) ของลวดอัดแรง และความเค้นที่เกิดขึ้นในคอนกรีตที่สภาวะต่างๆ ต้องไม่เกินกว่าค่าที่ยอมให้ ซึ่งพิจารณาจากความต้านทานต่อการล้าของคอนกรีต (Fatigue Resistance of Concrete) [4] ความเค้นคอนกรีตที่ยอมให้ที่แต่ละสภาวะคำนวณได้จากสมการใน**ตารางที่ 7-12**

**ตารางที่ 7-12 ความเค้นคอนกรีตที่ยอมให้สำหรับคอนกรีตอัดแรง**

| ความเค้น | ค่าความเค้นที่ยอมให้ (เมกกะปาสคาล) |
|---|---|
| ความเค้นอัดในคอนกรีตที่ยอมให้ขณะถ่ายแรง $(F_{ct})$ | $F_{ct} = 0.6f'_{ci}$ |
| ความเค้นดึงในคอนกรีตที่ยอมให้ขณะถ่ายแรง $(F_{tt})$ | $F_{tt} = 0.25\sqrt{f'_{ci}}$ |
| ความเค้นอัดในคอนกรีตที่ยอมให้ขณะใช้งาน $(F_{cw})$ | $F_{cw} = 0.45f'_{c}$ |
| ความเค้นดึงในคอนกรีตที่ยอมให้ขณะใช้งาน $(F_{tw})$ | $F_{tw} = 0.50\sqrt{f'_{c}} \leq 3$ |

#### 6.2.4.8 การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

ข้อมูลจากการออกแบบ เช่น ปริมาณเหล็กเสริม ตำแหน่งการเสริมเหล็ก เป็นต้น ต้องระบุให้ชัดเจน

ตำแหน่งเหล็กเสริมต้องคลาดเคลื่อนจากที่ออกแบบไม่เกิน $\pm$ 5 มิลลิเมตร

### 6.2.5 การผลิต

รายละเอียดขั้นตอนการผลิตต้องได้รับการอนุมัติก่อนดำเนินการ เช่น การผสมคอนกรีต แบบหล่อ การเทและการหล่อคอนกรีต การดึงและการตัดเหล็กเสริมอัดแรง การบ่มคอนกรีต การถอดแบบ และการขนย้ายหมอนคอนกรีต เป็นต้น [1-2]

#### 6.2.5.1 การบ่ม

การบ่มหรือการป้องกันการสูญเสียความชื้นต้องเริ่มทำให้เร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้หลังจากการหล่อคอนกรีต ตามวิธีการที่ได้รับการอนุมัติ

#### 6.2.5.2 ผิวของหมอนคอนกรีต

ผิวบนและข้างของหมอนคอนกรีตต้องมีลักษณะสม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามที่ผิวใดๆ ของหมอนคอนกรีตอาจจะมีรูเล็กๆ ที่เกิดจากอากาศกระจายตัวอยู่ได้ [1]

ผิวล่างของหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทางต้องหยาบและสม่ำเสมอ ส่วนผิวล่างของหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทางให้เป็นไปตามที่ตกลงในสัญญา [1]

ผิวบริเวณพื้นที่รองรับรางต้องมีการตรวจสอบเป็นอย่างดี ต้องไม่มีโพรงขนาดใหญ่ใดๆ ในบริเวณดังกล่าว



ข้อกำหนดขั้นต่ำลักษณะผิวของหมอนคอนกรีตต้องเป็นไปตามข้อตกลงและเป็นที่ยอมรับของทุกฝ่าย โดยอาจจะแสดงด้วยตัวอย่างหรือรูปถ่าย

การซ่อมผิวหมอนคอนกรีตหลังจากการแกะแบบสามารถทำได้ ถ้าไม่กระทบต่อความสามารถในการรับแรงของหมอนและวิธีการซ่อมได้รับการอนุมัติ

**6.2.5.2 การทำเครื่องหมาย**

หมอนคอนกรีตแต่ละหมอนต้องมีการทำเครื่องหมายถาวรแสดงอย่างน้อยข้อมูลต่อไปนี้

(ก) วันเดือนปีที่ผลิต

(ข) หมายเลขแบบหล่อ

(ค) โรงงานผู้ผลิต

**6.2.6 การทดสอบ**

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ [1-2, 4]

- การทดสอบยืนยันการออกแบบหรือการทดสอบเฉพาะแบบ (Design Approval Test or Type Test) เป็นการทดสอบเพื่อแสดงให้เห็นว่าหมอนคอนกรีตเป็นไปตามที่ออกแบบ จึงเป็นการทดสอบกับหมอนคอนกรีตที่คำนวณออกแบบใหม่ หรือมีการเปลี่ยนสถานที่ผลิตหรือกระบวนการผลิตหรือวัสดุ
- การทดสอบประจำ (Routine Test or Proof Test) เป็นการทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพการผลิต ตัวอย่างที่ทดสอบได้จากการสุ่มตามวิธีการชักตัวอย่างที่กำหนด

สำหรับหมอนคอนกรีตอื่นๆ เช่น หมอนคอนกรีตรางคู่ (Dual Gauge Sleeper) ขั้นตอนการทดสอบต้องเป็นไปตามข้อตกลงและเป็นที่ยอมรับของทุกฝ่าย โดยอาจพิจารณาใช้การทดสอบตามมาตรฐานนี้เป็นแนวทางร่วมกับการพิจารณาผลกระทบของการมีรางคู่ด้วย

**6.2.6.1 การทดสอบหมอน**

การทดสอบหมอนประกอบด้วย การทดสอบมิติ และการทดสอบการรับน้ำหนัก

สำหรับการทดสอบการรับน้ำหนักมี 2 การทดสอบใหญ่ๆ คือ

(ก) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดสถิต (Static Bending Test) เป็นการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดเพื่อยืนยันพฤติกรรมของหมอนคอนกรีตภายใต้สภาวะน้ำหนักสถิต การทดสอบนี้ทำทั้งในการทดสอบยืนยันการออกแบบและการทดสอบประจำ แต่ตำแหน่งที่พิจารณาอาจจะแตกต่างกัน เช่น การทดสอบประจำอาจจะทำเฉพาะการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง

(ข) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดกระทำซ้ำ (Fatigue Bending Test) เป็นการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกเพื่อยืนยันพฤติกรรมของหมอนคอนกรีตภายใต้



สภาวะน้ำหนักพลวัตสภาวะหนึ่งที่จำลองน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากรถไฟวิ่งผ่านตลอดอายุการใช้งาน การทดสอบนี้ใช้ในการทดสอบยืนยันการออกแบบ

**6.2.6.2 การทดสอบหมอนประกอบเสร็จ**

สำหรับการทดสอบหมอนประกอบเสร็จหรือหมอนคอนกรีตที่มีอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางและราง รายละเอียดระบุหัวข้อเกี่ยวกับอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง

**6.2.7 การควบคุมคุณภาพ**

ในการผลิตต้องมีระบบคุณภาพ ระบุในคู่มือคุณภาพที่ต้องพิจารณาทุกขั้นตอน ทุกหน้าที่ และทรัพยากรทั้งหมดที่ใช้ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าหมอนคอนกรีตมีคุณภาพตามข้อตกลงในสัญญา [2]

คู่มือคุณภาพต้องมีแผนคุณภาพ (Quality Plan) สำหรับการผลิตหมอนคอนกรีตที่ระบุรายละเอียดทั้งหมดที่เกี่ยวกับการผลิต เช่น โครงสร้างองค์กรและผู้รับผิดชอบ วัสดุที่ใช้ กระบวนการและขั้นตอนการผลิต การกองเก็บ การขนส่ง เป็นต้น [1]

**6.2.7.1 การควบคุมคุณภาพระหว่างการทดสอบยืนยันการออกแบบ**

เอกสารด้านคุณภาพทั้งหมดเกี่ยวกับหมอนคอนกรีตและรายละเอียดการทดสอบที่จะใช้ในการทดสอบยืนยันการออกแบบ ต้องได้รับการอนุมัติก่อนทำการทดสอบ อย่างน้อยประกอบด้วย [1]

(ก) รูปแบบรายละเอียดของหมอนคอนกรีต
(ข) รายละเอียดส่วนผสมคอนกรีต
(ค) รายละเอียดการผลิตหมอนคอนกรีต
(ง) การทดสอบและวิธีการทดสอบ

รายงานผลการทดสอบต้องแสดงการให้เห็นว่าผลการทดสอบเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนดหรือตามที่ตกลงกันหรือไม่

ผลจากการทดสอบยืนยันการออกแบบอาจจะใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดน้ำหนักบรรทุกทดสอบในการทดสอบประจำ

**6.2.7.2 การควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิต**

ก่อนเริ่มการผลิตหมอนคอนกรีต แผนคุณภาพและเอกสารด้านคุณภาพทั้งหมดเกี่ยวกับการรับรองวัสดุและวิธีการผลิต ต้องได้รับการอนุมัติก่อน

แผนคุณภาพต้องมีรายละเอียดในเรื่องดังต่อไปนี้ [1]

(ก) ความถี่ในการทดสอบมิติ
(ข) ความถี่ในการทดสอบการรับน้ำหนัก
(ค) ระบบและกลไกในการเพิ่มความถี่ในการตรวจสอบเมื่อมีการพบข้อบกพร่อง



(ง) มาตรการที่จะทำในระหว่างที่เกิดข้อบกพร่องขึ้น เพื่อให้มั่นใจได้ว่าหมอนคอนกรีตที่กำลังอยู่ในขั้นตอนการผลิตมีคุณภาพ

## 6.3 หมอนคอนกรีตอัดแรง

### 6.3.1 การออกแบบหมอนคอนกรีตอัดแรง

การออกแบบหมอนคอนกรีตอัดแรงให้ออกแบบให้เป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา

แนวทางการออกแบบแสดงในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างองค์ประกอบของทางรถไฟ

### 6.3.2 การผลิตหมอนคอนกรีตอัดแรง

ก่อนเริ่มการผลิต ผู้ผลิตต้องส่งข้อมูลการผลิต อย่างน้อยประกอบด้วยข้อมูลต่อไปนี้ [6]

- ข้อมูลวัสดุที่จะใช้ในส่วนผสมคอนกรีต เช่น การกระจายตัวของขนาดคละของมวลรวม
- อัตราส่วนผสมคอนกรีต
- คุณสมบัติของคอนกรีต เช่น ที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน
- คุณสมบัติของลวดอัดแรง
- แรงดึงในลวดอัดแรง
- การหล่อและการบ่มหมอนคอนกรีต
- ค่าขั้นต่ำของความต้านแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตที่ต้องการก่อนการอัดแรง
- การตัดลวดอัดแรง
- การกองเก็บหลังการผลิต

### 6.3.3 การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงให้ทำตามที่ระบุในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา

การชักตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบให้ทำตาม มอก. 2528 เล่ม 2: วิธีชักตัวอย่างหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ [7]

#### 6.3.3.1 การจัดวางตัวอย่างทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรง

ในการทดสอบการรับน้ำหนักของหมอนคอนกรีตอัดแรงตามรายละเอียดด้านล่าง ให้จัดวางตัวอย่างทดสอบตาม มอก. 2528 เล่ม 3: การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ [8]

- การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดสถิต แบ่งเป็น
  (ก) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง
  (ข) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบที่พื้นที่รองรับราง
  (ค) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต
  (ง) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต



- การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดกระทำซ้ำ
  (ก) การทดสอบการรับแรงกระทำซ้ำที่พื้นที่รองรับราง

สำหรับการทดสอบในพื้นที่รองรับราง ปลายหมอนคอนกรีตด้านที่ไม่ได้ทำการทดสอบให้ปล่อยอิสระโดยไม่ต้องมีการรองรับ [6]

#### 6.3.3.2 น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรง

น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงคำนวณได้จากสมการใน**ตารางที่ 7-13**

**ตารางที่ 7-13 น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรง**

| การทดสอบ | น้ำหนักบรรทุกทดสอบ (kN) |
|---|---|
| การรับโมเมนต์ดัดบวก ที่พื้นที่รองรับราง | $P_{tR+} = \frac{2M_{crR+}}{(0.33-0.045)}$ ; $M_{crR+} = S_{bR}\left(-f_t' + \frac{P}{A_R}\right) + Pe_R$ |
| การรับโมเมนต์ดัดลบ ที่พื้นที่รองรับราง | $P_{tR-} = \frac{2\lvert M_{crR-}\rvert}{(0.33-0.075)}$ ; $M_{crR-} = S_{tR}\left(f_t' - \frac{P}{A_R}\right) + Pe_R$ |
| การรับโมเมนต์ดัดบวก ที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต | $P_{tC+} = \frac{2M_{crC+}}{(0.5g-0.075)}$ ; $M_{crC+} = S_{bC}\left(-f_t' + \frac{P}{A_C}\right) + Pe_C$ |
| การรับโมเมนต์ดัดลบ ที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต | $P_{tC-} = \frac{2\lvert M_{crC-}\rvert}{(0.5g-0.075)}$ ; $M_{crC-} = S_{tC}\left(f_t' - \frac{P}{A_C}\right) + Pe_C$ |

**หมายเหตุ:** กำหนดให้ความเค้นอัดเป็นบวก; ระยะเยื้องศูนย์ (e) ต่ำกว่าแกนสะเทินเป็นบวก; โมเมนต์ดัดหน่วยเป็น กิโลนิวตันเมตร

#### 6.3.3.3 วิธีทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรง

วิธีทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงให้ทำตาม มอก. 2528 เล่ม 3: การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ [8]

#### 6.3.3.4 การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนคอนกรีตอัดแรงให้ทำตามรายการทดสอบที่แสดงใน**ตารางที่ 7-14** และการทดสอบทั้งหมดต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบที่กำหนด

**ตารางที่ 7-14 การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนคอนกรีตอัดแรง**

| การทดสอบ | วิธีการทดสอบ | เกณฑ์การทดสอบ |
|---|---|---|
| **1) มิติ (ความยาว ความกว้าง ความสูง ตำแหน่งของลวดอัดแรงแต่ละเส้น ความตรงด้านข้าง ความเรียบของผิวที่พื้นที่รองรับราง ความเอียงของพื้นที่รองรับราง ความเอียงของพื้นที่รองรับรางในทิศตั้งฉากกับแนวแกนราง)** | มอก. 2528 เล่ม 3: การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรง | ไม่เกินพิกัดความคลาดเคลื่อนตาม**ตารางที่ 7-8** และ **ตารางที่ 7-10** |
| **2) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |
| **3) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบที่พื้นที่รองรับราง** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |
| **4) การทดสอบการรับแรงกระทำซ้ำที่พื้นที่รองรับราง** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |



| การทดสอบ | วิธีการทดสอบ | เกณฑ์การทดสอบ |
|---|---|---|
| **5) การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของลวดอัดแรง** | สำหรับรางรถไฟ [8] | การเลื่อนไหลของเสนลวดตองไมเกิน 0.025 มม. |
| **6) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |
| **7) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบที่กึ่งกลางหมอนคอนกรีต** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |

#### 6.3.3.5 การทดสอบประจำสำหรับหมอนคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบประจำสำหรับหมอนคอนกรีตอัดแรงให้ทำตามรายการทดสอบที่แสดงใน **ตารางที่ 7-15** และการทดสอบทั้งหมดต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบที่กำหนด

**ตารางที่ 7-15 การทดสอบประจำสำหรับหมอนคอนกรีตอัดแรง**

| การทดสอบ | วิธีการทดสอบ | เกณฑ์การทดสอบ |
|---|---|---|
| **1) มิติ (ความยาว ความกว้าง ความสูง ตำแหน่งของลวดอัดแรงแต่ละเส้น)** | มอก. 2528 เล่ม 3: การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ [8] | ไม่เกินพิกัดความคลาดเคลื่อนตาม**ตารางที่ 7-8** และ **ตารางที่ 7-10** |
| **2) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |

## 6.4 หมอนคอนกรีตแท่งคู่

### 6.4.1 การออกแบบหมอนคอนกรีตแท่งคู่

การออกแบบหมอนคอนกรีตแท่งคู่ให้ออกแบบให้เป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา

แนวทางการออกแบบแสดงในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างองค์ประกอบของทางรถไฟ

### 6.4.2 การผลิตหมอนคอนกรีตแท่งคู่

ก่อนเริ่มการผลิต ผู้ผลิตต้องส่งข้อมูลการผลิต อย่างน้อยประกอบด้วยข้อมูลต่อไปนี้ [9]

- ข้อมูลวัสดุที่จะใช้ในส่วนผสมคอนกรีต เช่น การกระจายตัวของขนาดคละของมวลรวม
- อัตราส่วนผสมคอนกรีต
- คุณสมบัติของคอนกรีต เช่น ที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน
- การหล่อ การบ่ม และการถอดแบบหมอนคอนกรีต
- การกองเก็บหลังการผลิต

ควรหลีกเลี่ยงการเชื่อมแท่งเหล็กต่อหมอน ยกเว้นได้รับการอนุมัติก่อน [9]

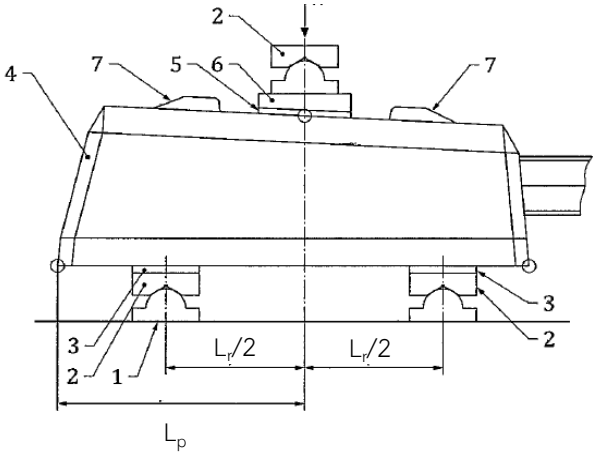
### 6.4.3 การทดสอบหมอนคอนกรีตแท่งคู่

การทดสอบหมอนคอนกรีตแท่งคู่ให้ทำตามที่ระบุในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา

การชักตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบให้ทำตาม มอก. 2528 เล่ม 2: วิธีชักตัวอย่างหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ [7]

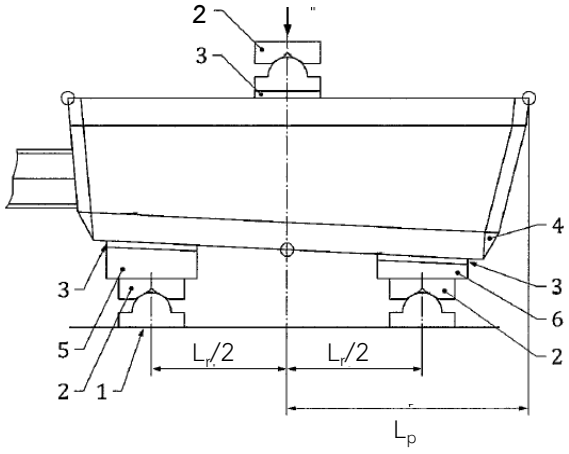
**6.4.3.1 การจัดวางตัวอย่างทดสอบหมอนคอนกรีตแท่งคู่**

การจัดวางตัวอย่างหมอนคอนกรีตแท่งคู่สำหรับการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง และการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบที่พื้นที่รองรับรางให้จัดวางตาม **รูปที่ 7-18** และ **รูปที่ 7-19** ตามลำดับ โดยระยะ $L_r$ ระบุใน**ตารางที่ 7-16** ในการทดสอบสามารถตัดแท่งเหล็กต่อหมอนออกได้ [9]




1 แท่นรองรับ (Rigid Support)
2 จุดรองรับหมุนตัวได้ (Articulated Support)
3 แผ่นยาง (Resilient Pad)
4 แท่งคอนกรีตเสริมเหล็ก
5 แผ่นรองราง (Rail Pad)
6 แท่งเหล็กเสริมให้ได้ระดับ (Tapered Packing)
7 แผ่นเหล็กหยุดการไถลด้านข้าง (ถ้ามี)

**รูปที่ 7-18 การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง [9]**




1 แท่นรองรับ (Rigid Support)
2 จุดรองรับหมุนตัวได้ (Articulated Support)
3 แผ่นยาง (Resilient Pad)
4 แท่งคอนกรีตเสริมเหล็ก
5 แท่งเหล็กเสริมให้ได้ระดับ (Special Tapered Packing)
6 แท่งเหล็กเสริมให้ได้ระดับ

**รูปที่ 7-19 การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบที่พื้นที่รองรับราง [9]**

- การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดสถิต แบ่งเป็น
  (ก) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง
  (ข) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบที่พื้นที่รองรับราง

- การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดกระทำซ้ำ



(ก) การทดสอบการรับแรงกระทำซ้ำที่พื้นที่รองรับราง

**ตารางที่ 7-16 ระยะ $L_r$ สำหรับการทดสอบหมอนคอนกรีตแท่งคู่ [9]**

| $L_p$ (เมตร) | $L_r$ (เมตร) |
|---|---|
| $L_p < \mathbf{0.349}$ | 0.3 |
| $\mathbf{0.350} \le L_p < \mathbf{0.399}$ | 0.4 |
| $\mathbf{0}.400 \le L_p < \mathbf{0}.449$ | 0.5 |
| $L_p \ge \mathbf{0}.450$ | 0.6 |

### 6.4.3.2 น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนคอนกรีตแท่งคู่

น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนคอนกรีตแท่งคู่คำนวณได้จากสมการใน**ตารางที่ 7-17** [9]

**ตารางที่ 7-17 น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนคอนกรีตแท่งคู่ [9]**

| การทดสอบ | น้ำหนักบรรทุกทดสอบ (kN) |
|---|---|
| การรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง | $P_{tR+} = \frac{4M_{crR+}}{(L_r - 0.1)}$; $M_{crR+} = -S_{bR} f_t'$ |
| การรับโมเมนต์ดัดลบที่พื้นที่รองรับราง | $0.5P_{tR+}$ |

**หมายเหตุ:** กำหนดให้ความเค้นอัดเป็นบวก; โมเมนต์ดัดหน่วยเป็น กิโลนิวตันเมตร

### 6.4.3.3 วิธีทดสอบหมอนคอนกรีตแท่งคู่

วิธีทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงให้ทำตาม มอก. 2528 เล่ม 3: การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ [8]

### 6.4.3.4 การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนคอนกรีตแท่งคู่

การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนคอนกรีตแท่งคู่ให้ทำตามรายการทดสอบที่แสดงใน**ตารางที่ 7-18** และการทดสอบทั้งหมดต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบที่กำหนด

**ตารางที่ 7-18 การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนคอนกรีตแท่งคู่**

| การทดสอบ | วิธีการทดสอบ | เกณฑ์การทดสอบ |
|---|---|---|
| **1) มิติ (ความยาว ความกว้าง ความสูง ความตรงด้านข้าง ความเรียบของผิวที่พื้นที่รองรับราง ความเอียงของพื้นที่รองรับราง ความเอียงของพื้นที่รองรับรางในทิศตั้งฉากกับแนวแกนราง)** | มอก. 2528 เล่ม 3: การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ [8] | ไม่เกินพิกัดความคลาดเคลื่อนตาม**ตารางที่ 7-8** |
| **2) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |
| **3) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบที่พื้นที่รองรับราง** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |
| **4) การทดสอบการรับแรงกระทำซ้ำที่พื้นที่รองรับราง** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |

### 6.4.3.5 การทดสอบประจำสำหรับหมอนคอนกรีตแท่งคู่

การทดสอบประจำสำหรับหมอนคอนกรีตแท่งคู่ให้ทำตามรายการทดสอบที่แสดงใน**ตารางที่ 7-19** และการทดสอบทั้งหมดต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบที่กำหนด

**ตารางที่ 7-19 การทดสอบประจำสำหรับหมอนคอนกรีตแท่งคู่**

| การทดสอบ | วิธีการทดสอบ | เกณฑ์การทดสอบ |
|---|---|---|
| **1) มิติ (ความยาว ความกว้าง ความสูง)** | มอก. 2528 เล่ม 3: การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ [8] | ไม่เกินพิกัดความคลาดเคลื่อนตาม**ตารางที่ 7-8** |
| **2) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |

### 6.4.4 แท่งเหล็กต่อหมอน

แท่งเหล็กต่อหมอนสำหรับหมอนคอนกรีตแท่งคู่ควรทำจากเหล็กรีดร้อน (Hot Rolled Steel) โดยมีคุณสมบัติและคุณภาพเป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานนี้หรือมาตรฐานที่เกี่ยวข้องหรือตามข้อตกลงในสัญญา

#### 6.4.4.1 องค์ประกอบทางเคมี

แท่งเหล็กต่อหมอนต้องมีองค์ประกอบทางเคมีตามที่ระบุใน**ตารางที่ 7-20** [9]

**ตารางที่ 7-20 องค์ประกอบทางเคมีของแท่งเหล็กต่อหมอน [9]**

| องค์ประกอบทางเคมี | ค่าที่กำหนด (ร้อยละ) |
|---|---|
| $C$ | 0.28 - 0.80 |
| $Mn$ | 0.45 – 1.40 |
| $P$ | $\leq$ 0.08 |
| $S$ | $\leq$ 0.08 |
| $S_i$ | $\leq$ 0.50 |

#### 6.4.4.2 คุณสมบัติทางกล

แท่งเหล็กต่อหมอนต้องมีคุณสมบัติทางกลตามที่ระบุใน**ตารางที่ 7-21** [9]

**ตารางที่ 7-21 คุณสมบัติทางกลของแท่งเหล็กต่อหมอน [9]**

| คุณสมบัติ | ค่าที่กำหนด |
|---|---|
| **ความต้านแรงดึงสูงสุด (Tensile Strength)** | 550 – 1,030 MPa |
| **ความต้านแรงดึงที่จุดคราก (Yield Strength)** | $\geq$ 400 MPa ถ้าความยืด $\geq$ ร้อยละ 8<br>350 – 359.99 MPa ถ้าความยืด $\geq$ ร้อยละ 14 |

#### 6.4.4.3 ขนาดและรูปร่าง

ในการเลือกขนาดและรูปร่างของแท่งเหล็กต่อหมอน ต้องพิจารณาปัจจัยต่อไปนี้ [9]

(ก) การสึกกร่อนของเหล็ก

(ข) สภาพการใช้งานหมอนคอนกรีต

(ค) โมเมนต์ดัดลบที่อาจจะเกิดเพิ่มขึ้นในแท่งเหล็ก เนื่องจากบางส่วนของแท่งเหล็กรองรับด้วยหินโรยทาง

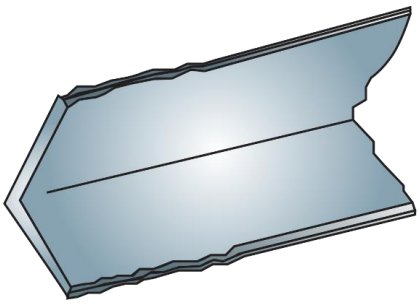
(ง) แท่งเหล็กต้องไม่มีส่วนที่คมอันอาจจะเป็นอันตรายระหว่างการขนย้ายได้

**6.4.4.4 ลักษณะที่ไม่พึงประสงค์**

แท่งเหล็กต่อหมอนอย่างน้อยต้องไม่ปรากฏลักษณะดังต่อไปนี้ [9]

(ก) มีการไหม้ที่ผิวเหล็ก (Superficial Burn) ซึ่งเกิดจากการที่เหล็กได้รับความร้อนสูงเกินไปและทำให้เกิดรอยแตกร้าวเล็ก ๆ ที่ขอบของเหล็กดังแสดงใน **รูปที่ 7-20** ยกเว้นบริเวณช่วงความยาว 500 มิลลิเมตรวัดจากปลายเหล็กซึ่งจะฝังในคอนกรีต อาจจะมีรอยร้าวดังกล่าวได้แต่ความลึกของรอยร้าวต้องไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

(ข) การฉีกขาดที่ปลายแท่งเหล็ก ยกเว้นการฉีกขาดดังกล่าวมีความลึกไม่เกิน 20 มิลลิเมตร และพบไม่เกินร้อยละ 5 ของเหล็กที่ผลิตในคราวเดียวกัน

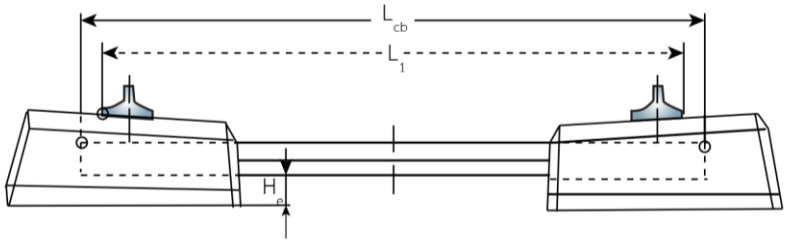


**รูปที่ 7-20 การไหม้ที่ผิวเหล็ก (Superficial Burn) [9]**

**6.4.4.5 เกณฑ์การออกแบบ**

ในการออกแบบแท่งเหล็กต่อหมอนมีเกณฑ์ขั้นต่ำในการออกแบบดังนี้ [9]

**(ก)** ความยาวของแท่งเหล็ก $(L_{cb})$ อย่างน้อยต้องมีค่ามากกว่าความยาว $L_1$ ดังแสดงใน**รูปที่ 7-21**



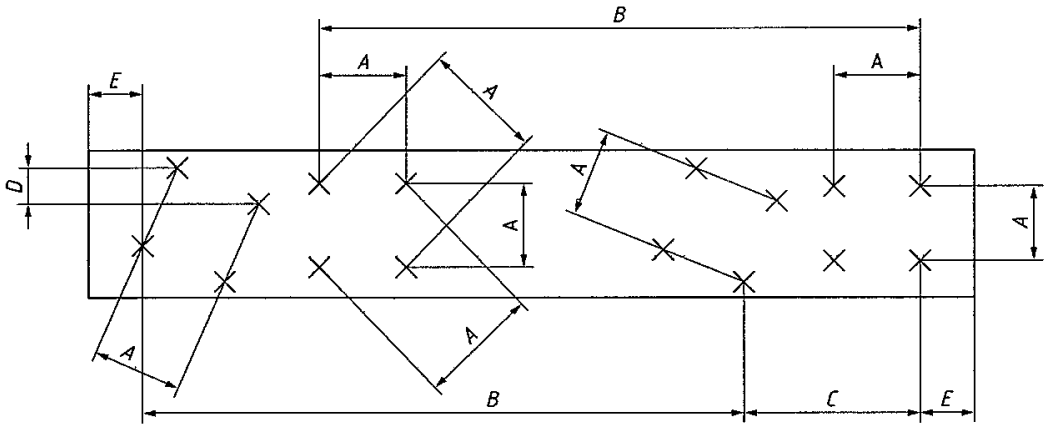

**รูปที่ 7-21 ความยาวของแท่งเหล็กต่อหมอน [9]**

การจัดวางแท่งเหล็กต้องอยู่ในลักษณะที่จะไม่เกิดการขังของน้ำ และตำแหน่งของแท่งเหล็กต้องมีระยะ $H_e$ ดังแสดงใน**รูปที่ 7-21** อย่างน้อย 40 มิลลิเมตร

## 6.5 หมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

### 6.5.1 ข้อกำหนดพิเศษสำหรับหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง [10]

- การออกแบบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงต้องออกแบบภายใต้โมเมนต์ดัดบวกและลบที่ทำให้หมอนยังคงมีความตรงตลอดความยาว
- ตำแหน่งของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางต้องมีการระบุตำแหน่งที่ชัดเจนเพื่อไม่ให้มีเหล็กอัดแรงในบริเวณนั้น
- ความคลาดเคลื่อนต้องเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้
  (ก) พิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดใน**ตารางที่ 7-8** ยังคงใช้กับหมอนรองประแจ
  (ข) ในกรณีที่ทำการทดสอบมิติเบื้องต้น การทดสอบต้องทำหลังจาก 48 ชั่วโมงนับจากการอัดแรงเพื่อลดผลกระทบจากการหดตัวของคอนกรีต
  (ค) ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ให้ทำการตรวจสอบตาม**รูปที่ 7-22** และต้องเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดใน**ตารางที่ 7-22**

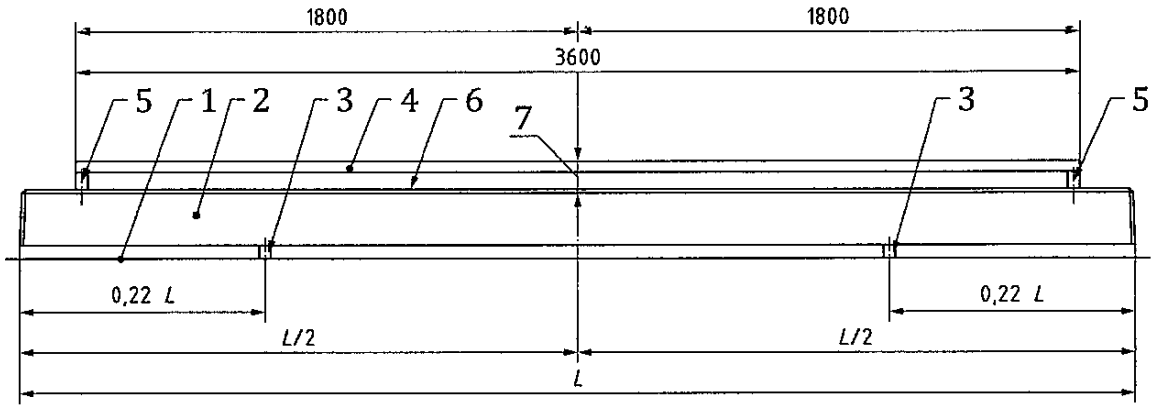



**รูปที่ 7-22 การตรวจสอบตำแหน่งอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางบนหมอนรองประแจ [10]**

**ตารางที่ 7-22 พิกัดความคลาดเคลื่อนสูงสุดของตำแหน่งอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวรางบนหมอนรองประแจ [10]**

| ระยะตามรูปที่ 7-22 | พิกัดความคลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร) |
|---|---|
| A และ D | ± 1.0 |
| B และ C | ± 1.5 |
| E | ± 10 |

(ง) สำหรับหมอนรองประแจที่มีความยาวตั้งแต่ 4 เมตรขึ้นไป ให้พิจารณาความคลาดเคลื่อนของความตรงของหมอน โดยให้ทำการตรวจสอบตาม**รูปที่ 7-23** และต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ยกเว้นหมอนรองประแจมีความยาวมากกว่า 6 เมตร ความคลาดเคลื่อนอาจจะยอมให้มีค่ามากกว่า 3 มิลลิเมตรได้




1 แท่นรองรับ (Rigid Support)
2 หมอนรองประแจ
3 จุดรองรับหน้าตัดขนาด 50 มม. X 50 มม. ตลอดความกว้างของหมอน
4 วัสดุอ้างอิงในการวัดความตรง
5 จุดรองรับหน้าตัดขนาด 50 มม. x 50 มม. ตลอดความกว้างของหมอน
6 ผิวบนของหมอน
7 ตำแหน่งที่ตรวจสอบความตรงของหมอน

**รูปที่ 7-23 การตรวจสอบความตรงของหมอนรองประแจ [10]**

### 6.5.2 การออกแบบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

การออกแบบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงให้ออกแบบให้เป็นไปตามที่กำหนดในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา

แนวทางการออกแบบแสดงในคู่มือการออกแบบและก่อสร้างองค์ประกอบของทางรถไฟ

### 6.5.3 การผลิตหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

ก่อนเริ่มการผลิต ผู้ผลิตต้องส่งข้อมูลการผลิต อย่างน้อยประกอบด้วยข้อมูลต่อไปนี้ [6]

- ข้อมูลวัสดุที่จะใช้ในส่วนผสมคอนกรีต เช่น การกระจายตัวของขนาดคละของมวลรวม
- อัตราส่วนผสมคอนกรีต
- คุณสมบัติของคอนกรีต เช่น ที่อายุ 7 วัน และ 28 วัน
- คุณสมบัติของลวดอัดแรง
- แรงดึงในลวดอัดแรง
- การหล่อและการบ่มหมอนคอนกรีต
- ค่าขั้นต่ำของความต้านแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตที่ต้องการก่อนการอัดแรง
- การตัดลวดอัดแรง
- การกองเก็บหลังการผลิต

### 6.5.4 การทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

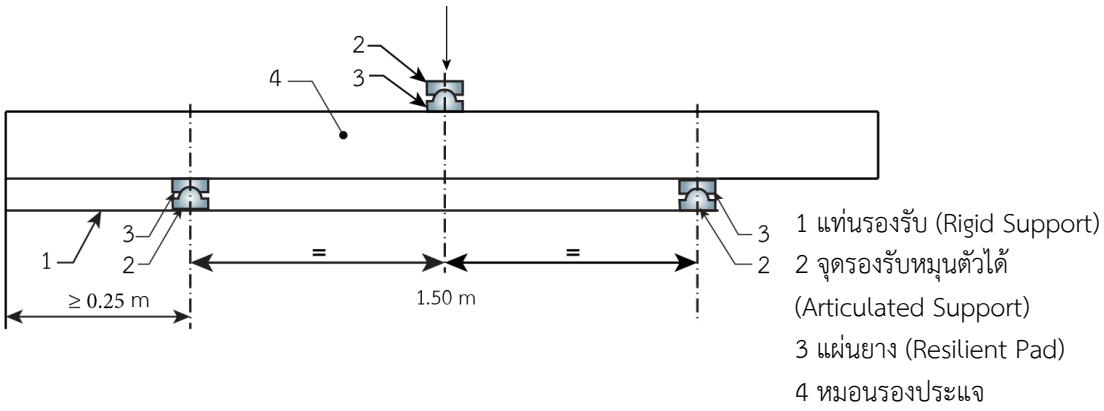
การทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงให้ทำตามที่ระบุในมาตรฐานนี้หรือตามข้อตกลงในสัญญา

การชักตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบให้ทำตาม มอก. 2528 เล่ม 2: วิธีชักตัวอย่างหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ [7]

**6.5.4.1 การจัดวางตัวอย่างทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง**

สำหรับการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวก และการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบการจัดวางตัวอย่างหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงให้จัดวางตาม**รูปที่ 7-24** โดยถ้าเป็นการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบให้วางหมอนกลับด้านเพื่อให้ผิวด้านล่างของหมอนอยู่ด้านบนในการทดสอบ [10]

สำหรับการทดสอบการรับโมเมนต์ดัดกระทำซ้ำให้จัดวางตาม**รูปที่ 7-24** เช่นกันแต่ให้น้ำหนักบรรทุกทดสอบกระทำที่กึ่งกลางตัวอย่างแทน [10]




**รูปที่ 7-24 การทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง [10]**

- การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดสถิต แบ่งเป็น
  (ก) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวก
  (ข) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบ

- การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดกระทำซ้ำ
  (ก) การทดสอบการรับแรงกระทำซ้ำที่กึ่งกลางหมอน

**6.5.4.2 น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง**

น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงคำนวณได้จากสมการใน**ตารางที่ 7-23** [10]

**ตารางที่ 7-23 น้ำหนักบรรทุกทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง**

| การทดสอบ | น้ำหนักบรรทุกทดสอบ (kN) |
|---|---|
| การรับโมเมนต์ดัดบวก | 1. $P_{t+} = \frac{M_{cr+}}{0.35}$ ; $M_{cr+} = S_b\left(-f_t' + \frac{P}{A}\right) + Pe$ |
| การรับโมเมนต์ดัดลบ | 2. $P_{t-} = \frac{\lvert M_{cr-}\rvert}{0.35}$ ; $M_{cr-} = S_t\left(f_t' - \frac{P}{A}\right) + Pe$ |

หมายเหตุ: กำหนดให้ความเค้นอัดเป็นบวก; โมเมนต์ดัดหน่วยเป็น กิโลนิวตันเมตร

#### 6.5.4.3 วิธีทดสอบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

วิธีทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงให้ทำตาม มอก. 2528 เล่ม 3: การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ [8]

#### 6.5.4.4 การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงให้ทำตามรายการทดสอบที่แสดงใน**ตารางที่ 7-24** และการทดสอบทั้งหมดต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบที่กำหนด

**ตารางที่ 7-24 การทดสอบยืนยันการออกแบบหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง**

| การทดสอบ | วิธีการทดสอบ | เกณฑ์การทดสอบ |
|---|---|---|
| **1) มิติ (ความยาว ความกว้าง ความสูง ตำแหน่งของลวดอัดแรงแต่ละเส้น ความตรงด้านข้าง ความเรียบของผิวที่พื้นที่รองรับราง ตำแหน่งของอุปกรณ์ยึดเหนี่ยวราง ความตรงของหมอน)** | มอก. 2528 เล่ม 3: การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ [8] | ไม่เกินพิกัดความคลาดเคลื่อนตาม**ตารางที่ 7-8** และ **ตารางที่ 7-10** |
| **2) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวก** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |
| **3) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดลบ** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |
| **4) การทดสอบการรับแรงกระทำซ้ำที่กึ่งกลางหมอน** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |
| **5) การทดสอบแรงยึดเหนี่ยวของลวดอัดแรง** | | การเลื่อนไหลของเสนลวดตองไม่เกิน 0.025 มม. |

#### 6.5.4.5 การทดสอบประจำสำหรับหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบประจำสำหรับหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรงให้ทำตามรายการทดสอบที่แสดงใน**ตารางที่ 7-25** และการทดสอบทั้งหมดต้องผ่านเกณฑ์การทดสอบที่กำหนด

**ตารางที่ 7-25 การทดสอบประจำสำหรับหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง**

| การทดสอบ | วิธีการทดสอบ | เกณฑ์การทดสอบ |
|---|---|---|
| **1) มิติ (ความยาว ความกว้าง ความสูง ตำแหน่งของลวดอัดแรงแต่ละเส้น)** | มอก. 2528 เล่ม 3: การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ [8] | ไม่เกินพิกัดความคลาดเคลื่อนตาม**ตารางที่ 7-8** และ **ตารางที่ 7-10** |
| **2) การทดสอบการรับโมเมนต์ดัดบวกที่พื้นที่รองรับราง** | | ไม่เกิดการแตกร้าว |



## 6.6 หมอนรองรางแบบฝังในชั้นที่รองรับ

### 6.6.1 ข้อกำหนดพิเศษสำหรับหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ

หมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ จะติดตั้งด้วยการเทชั้นคอนกรีต (Concrete Filling Layer) ที่หน้างานเพื่อหุ้มหมอนเป็นโครงสร้างทางรถไฟ ชั้นคอนกรีตที่เทเป็นชั้นที่รองรับหมอนนั้นจะต้องทำหน้าที่ในการเชื่อมประสานกับชั้นที่รองรับถัดไปด้วยซึ่งอาจจะเป็นพื้นคอนกรีต (Concrete Pavement or Concrete Base Layer) ให้สามารถถ่ายแรงและทำให้โครงสร้างทางรถไฟมีความมั่นคง [2]

ผิวบนของชั้นคอนกรีตที่เทหน้างานซึ่งจะเป็นผิวบนของทางรถไฟด้วยนั้น จะต้องเรียบเอียงให้ระบายน้ำจากผิวทางได้ดี [2]

น้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดให้คำนวณด้วยหลักการเดียวกันกับหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทาง

การออกแบบชั้นที่รองรับให้ออกแบบตาม มขร S-T-005-256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง

### 6.6.2 การออกแบบหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ

การออกแบบหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ ขึ้นกับว่าใช้หมอนรองรางแบบใด ซึ่งอาจจะเป็นหมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนคอนกรีตแท่งคู่ หรือหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง ซึ่งถ้าใช้แบบใดก็ให้ออกแบบตามหลักการออกแบบหมอนนั้น ๆ หรือตามข้อตกลงในสัญญา

### 6.6.3 การผลิตหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ

การผลิตหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ ขึ้นกับว่าใช้หมอนรองรางแบบใด ซึ่งอาจจะเป็นหมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนคอนกรีตแท่งคู่ หรือหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง ซึ่งถ้าใช้แบบใดก็ให้ผลิตตามการผลิตหมอนแบบนั้น ๆ หรือตามข้อตกลงในสัญญา

### 6.6.4 การทดสอบหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ

การทดสอบหมอนรองรางฝังในชั้นที่รองรับ ขึ้นกับว่าใช้หมอนรองรางแบบใด ซึ่งอาจจะเป็นหมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนคอนกรีตแท่งคู่ หรือหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง ซึ่งถ้าใช้แบบใดก็ให้ทดสอบตามการทดสอบหมอนแบบนั้น ๆ หรือตามข้อตกลงในสัญญา

## 6.7 หมอนคอนกรีตอัดแรงฝังในแผ่นพื้นคอนกรีต

### 6.7.1 ข้อกำหนดพิเศษสำหรับหมอนรองรางแบบวางบนชั้นที่รองรับ

การยึดหมอนรองรางกับชั้นที่รองรับ (Connection) ต้องออกแบบให้สามารถถ่ายแรงและทำให้โครงสร้างทางรถไฟมีความมั่นคง [2]



น้ำหนักบรรทุกและโมเมนต์ดัดให้คำนวณด้วยหลักการเดียวกันกับหมอนคอนกรีตสำหรับทางรถไฟชนิดหินโรยทาง

การออกแบบชั้นที่รองรับให้ออกแบบตาม มขร S-T-005-256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง

### 6.7.2 การออกแบบหมอนรองรางแบบวางบนชั้นที่รองรับ

การออกแบบหมอนรองรางวางบนชั้นที่รองรับ ขึ้นกับว่าใช้หมอนรองรางแบบใด ซึ่งอาจจะเป็นหมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนคอนกรีตแท่งคู่ หรือหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง ซึ่งถ้าใช้แบบใดก็ให้ออกแบบตามหลักการออกหมอนแบบนั้น ๆ หรือตามข้อตกลงในสัญญา

### 6.7.3 การผลิตหมอนรองรางแบบวางบนชั้นที่รองรับ

การผลิตหมอนรองรางวางบนชั้นที่รองรับ ขึ้นกับว่าใช้หมอนรองรางแบบใด ซึ่งอาจจะเป็นหมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนคอนกรีตแท่งคู่ หรือหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง ซึ่งถ้าใช้แบบใดก็ให้ผลิตตามการผลิตหมอนแบบนั้น ๆ หรือตามข้อตกลงในสัญญา

### 6.7.4 การทดสอบหมอนรองรางแบบวางบนชั้นที่รองรับ

การทดสอบหมอนรองรางวางบนชั้นที่รองรับ ขึ้นกับว่าใช้หมอนรองรางแบบใด ซึ่งอาจจะเป็นหมอนคอนกรีตอัดแรง หมอนคอนกรีตแท่งคู่ หรือหมอนรองประแจคอนกรีตอัดแรง ซึ่งถ้าใช้แบบใดก็ให้ทดสอบตามการทดสอบหมอนแบบนั้น ๆ หรือตามข้อตกลงในสัญญา

# บรรณานุกรม


[1] EN 13230-1: 2016 - Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 1: General requirements

[2] prEN 16432-2: 2015 - Railway applications – Ballastless track systems - Part 2: Subsystems and components

[3] EN 13230-6: 2014 - Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 6: Design

[4] AS 1085.14: 2003 - Railway track material: Part 14: Prestressed concrete sleepers

[5] AREMA Manual for Railway Engineering: Volume 1: Track: Chapter 30: Ties

[6] EN 13230-2: 2016 - Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 2: Prestressed monoblock sleepers

[7] มอก. 2528 เล่ม 2 –2553: วิธีชักตัวอย่างหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ

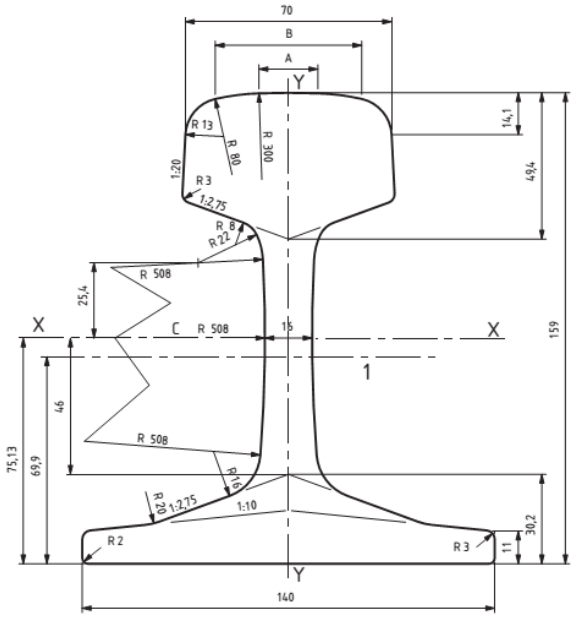
[8] มอก. 2528 เล่ม 3 –2553: การทดสอบหมอนคอนกรีตอัดแรงสำหรับรางรถไฟ

[9] EN 13230-3: 2016 - Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 3: Twin-block reinforced sleepers

[10] EN 13230-4: 2016 - Railway applications - Track - Concrete sleepers and bearers - Part 4: Prestressed bearers for switches and crossings

# ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก หน้าตัดราง 54 E 1



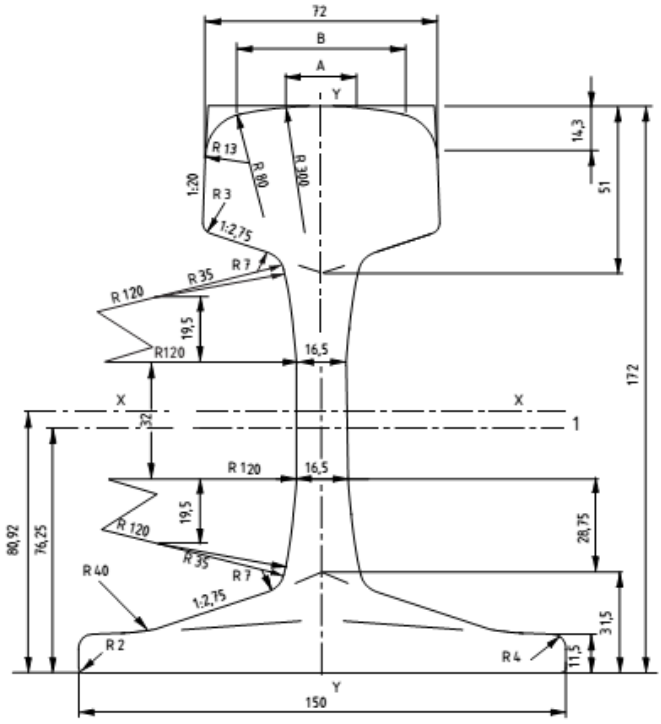

หน่วย : มิลลิเมตร

**เครื่องหมาย**

| | | |
|---|---|---|
| พื้นที่ตัดขวาง | : | 69.77 ซม.$^2$ |
| น้ำหนักต่อความยาว | : | 54.77 กก./เมตร |
| โมเมนต์ความเฉื่อยแกน x-x | : | 2337.9 ซม.$^4$ |
| มอดูลัสหน้าตัด–ส่วนหัว | : | 278.7 ซม.$^3$ |
| มอดูลัสหน้าตัด– ส่วนฐาน | : | 311.2 ซม.$^3$ |
| โมเมนต์ความเฉื่อยแกน y-y | : | 419.2 ซม.$^4$ |
| มอดูลัสหน้าตัดแกน y-y | : | 59.9 ซม.$^3$ |
| ขนาดกว้างยาว | : | A = 20.024 มิลลิเมตร, B = 49.727 มิลลิเมตร |

**รูปที่ ก.1 หน้าตัดราง 54 E 1**

## ภาคผนวก ข หน้าตัดราง 60 E 1




หน่วย : มิลลิเมตร

เครื่องหมาย

| | | |
|---|---|---|
| พื้นที่ตัดขวาง | : | 76.70 ซม.$^2$ |
| น้ำหนักต่อความยาว | : | 60.21 กก./เมตร |
| โมเมนต์ความเฉื่อยแกน x-x | : | 3038.3 ซม.$^4$ |
| โมดูลัสหน้าตัด–ส่วนหัว | : | 333.6 ซม.$^3$ |
| โมดูลัสหน้าตัด– ส่วนฐาน | : | 375.5 ซม.$^3$ |
| โมเมนต์ความเฉื่อยแกน y-y | : | 512.3 ซม.$^4$ |
| โมดูลัสหน้าตัดแกน y-y | : | 68.3 ซม.$^3$ |
| ขนาดกว้างยาว | : | A = 20.456 มิลลิเมตร, B = 52.053 มิลลิเมตร |

**รูปที่ ข.1 หน้าตัดราง 60 E 1**

**ภาคผนวก ค (ร่าง) ใบประกาศนียบัตรผ่านการฝึกอบรม**

Diploma in Aluminothermic Welding of Rails

In hereby awarded to

Name_____ First name_____

Date of Birth_____

Date_____ Diploma No_____

| Process Supplier | Skill Modules Passed | Extra Skills Passed Cutting Methods |
|---|---|---|

Training establishment_____

Signed_____

Name_____

**ภาคผนวก ง (ร่าง) ใบอนุญาตให้เชื่อม**

Permit to Weld

Employer_____ Certificate No_____

Welder's Full Name_____ Sample No_____ Photo

ISSUE DATE_____ EXPIRY DATE _____

---

Is permitted access to the Railway Infrastructure
for the purposes of Aluminothermic Welding on line categories:

_____

Approved for processes:

_____

Process
Supplier_____
Processes_____
Rail cutting methods:

_____

---

The above-mentioned person has been deemed qualified and competent in the following additional area:

---

**Issuing Railway Authority Signed_____ Printed Name_____**

Surrender Conditions

The following conditions will require the employer to surrender the Permit to Weld to the Railway Authority

**Change of Employer Termination of Welding Activity Demand by Railway Authority**

## ภาคผนวก จ (ร่าง) แบบฟอร์มการตรวจรับประแจ

**แบบฟอร์มนี้จัดทำเพื่อช่วยในการตรวจรับประแจ ลิ้นประแจและจุดตัด**

<table>
<tr><td colspan="4">CUSTOMER</td></tr>
<tr><td colspan="2">Purchaser Name:</td><td></td><td>Quote No:</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Contact Name:</td><td></td><td>Line item(s):</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Project:</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Ref. No.:</td><td></td><td>Date:</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Rail Infrastructure owner:</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Specification/ Drg References:</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td rowspan="10">DESIGN CRITERIA</td><td colspan="2">Design Life: _ _ _ _ _MGT, or _ _ _ _ years</td><td colspan="2">Annual Gross Tones mtpa</td></tr>
<tr><td colspan="2">Axle Load _ _ _ _ _ __ _ _ _ _t (max)</td><td colspan="2">Structure Gauge Standard –</td></tr>
<tr><td colspan="2">Main Line Speed_ _ _ _ _ __ _ _ _ _ km/h</td><td colspan="2">Diverge Speed _ _ _ _ _ __ _ _ _ _km/h</td></tr>
<tr><td colspan="2">Allowable Cant Deficiency _ _ _ _ ___ _ _ _mm</td><td colspan="2">Rate of cant deficiency(max) _ _ _ _ __ _ _ _ _mm/s</td></tr>
<tr><td colspan="2">Flangeway Width _ _ _ _ _ __ _ _ _ _mm</td><td colspan="2">Flangeway Depth mm</td></tr>
<tr><td colspan="2">Crossover Track Centers_ _ _ _ _ __ _ _ _ _ mm</td><td colspan="2">Other:</td></tr>
<tr><td colspan="4">Rolling Stock</td></tr>
<tr><td colspan="2">Wheel back to back _ _ _ _ _ __ _ _ _ _mm</td><td colspan="2">Wheel Profile –</td></tr>
<tr><td colspan="2">Axle Centers_ _ _ _ _ __ _ _ _ _ m</td><td colspan="2">Bogie Centers _ _ _ _ _ __ _ _ _ _m</td></tr>
<tr><td colspan="2">Comments -</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GENERAL | Product | Turnout | Crossover-single | Crossover – Scissor type | Diamond | Single Slip | Double Slip |
| | | Catchpoint | Crossing only | Switch only | Switch Assembly | Other – | |
| | Rail | 31 kg | 41 kg | 50 kg | 53 kg | 60 kg | 68 kg |
| | | Other kg | HH Y / N | Vertical | Canted | Drilled fishplates | Undrilled |
| | Flexing | Straight | Similar | Contrary | Special | Other – | |
| | Hand | Right | Left | Unhanded | Unknown | | |
| | Gauge | Narrow – 1067 | Std – 1435 | Broad – 1600 | Dual – B/S or N/S | Other – | |
| | Comments – | | | | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Plating & Fastenings | Switch Panel | Cast in Shoulders | Screw spikes | Other – |
| | Crossing Panel | Cast in Shoulders | Screw spikes | Other – |
| | Closure Panel | Plated | Un-plated | Other – |
| | | Cast in Shoulders | Screw spikes | |
| | Comments – | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| CROSSING | Type | Compound | RBM | Mono-block | SNX |
| | | Spring Wing | Fabricated V | Other | |
| | Angle | 1 in | | or | |
| | Extended Legs | .....mm | Long Legs | Short Legs | Both Legs |
| | Comments - | | | | |
| SWITCHES | Product | Full Set | Half Set | Blades only | Other - |
| | Type | Tangential | Fixed Heel | Pivot Heel | Other - |
| | | Asymmetric Rail | Standard Rail | Other - | |
| | Radius | .....m | | RH | LH |
| | Openings | Toe ..... mm | | | Throat..... mm (min) |
| | Extended Legs | Stock rail ..... m | | Front, Back or both | |
| | | Switch Rail .....m | | | |
| | Comments - | | | | |
| SWITCH OPERATION | Lever | Required | Not Required | Location RH / LH side | |
| | | Type – | | | |
| | Machine | Required | Not Required | Location RH / LH side | |
| | | Other – | | Trailable Operation Yes / No | |
| | Machine Type | Description – | | | |
| | Rodding | Required | Not Required | | |
| | Back drive Yes / No | | | | |
| | Switch Rodding Type | Locking Type – | | Detection Type – | |
| | | Other - | | | |
| | SNX Rodding Type | Locking Type – | | Detection Type – | |
| | | Other – | | | |
| | Comments - | | | | |

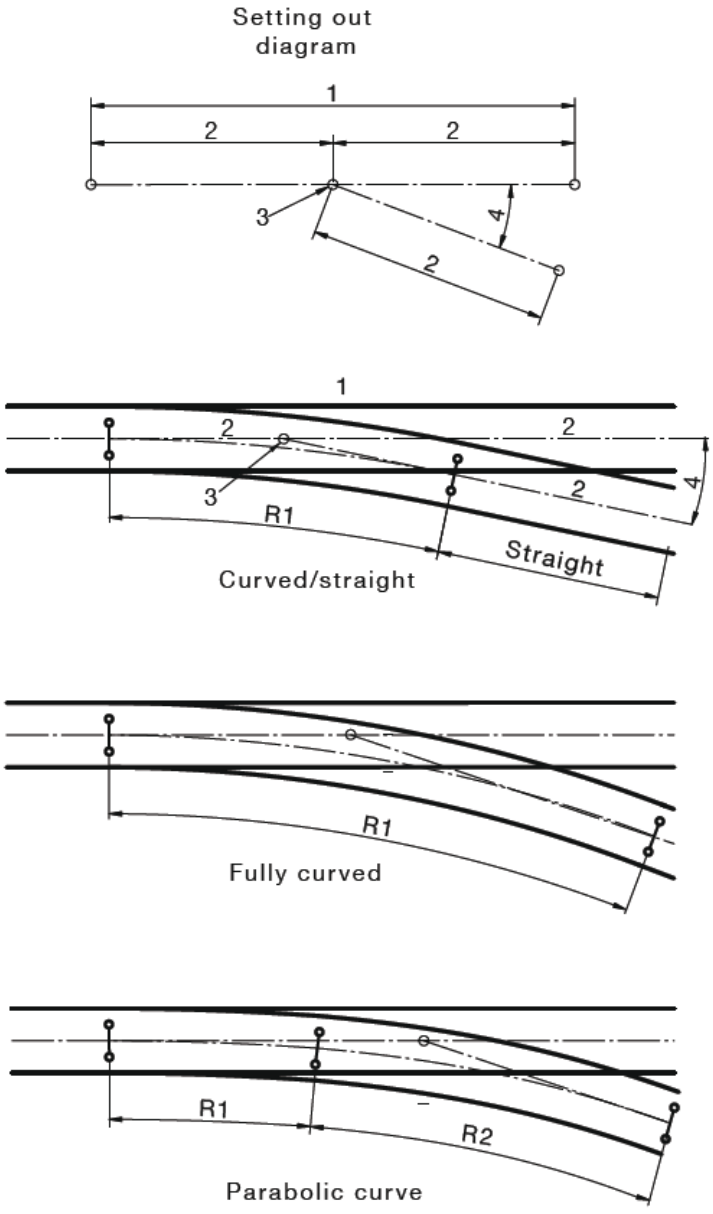
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| BEARERS | Bearers | Required | Not Required | | |
| | Type | Timber | Concrete | Steel | Composite |
| | | Other - | | | |
| | In Bearer | Steel | Other - | | |
| | | Points Yes / No | Front & Rear | Front only | |
| | | SNX - Yes / No | | | |
| | Comments - | | | | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| OTHER ITEMS | Closures | GIRJ and location | Resilient Fasteners | Plating | Cant Plates |
| | Junction Rails | Guardrails | SNX Rollers | Switch Rollers | Insulation Pads |
| | Manuals | | Other - | | |
| | | Comments - | | | |

| | |
|---|---|
| DELIVERY DETAILS | Delivery Date to site Yes / No |
| | Location – |
| | Trial Assembly Yes / No |
| | Yes / No<br>Comments – |

## ภาคผนวก ฉ การออกแบบรูปร่างของประแจด้วยวิธี เส้นสัมผัส (Tangential)

การออกแบบรูปร่างของประแจด้วยวิธีเส้นสัมผัส (Tangential) นั้น ช่วงโค้งของประแจจะเริ่มที่จุดสัมผัสของรัศมีและสิ้นสุดที่จุดสมมุติที่มีมุมเบี่ยงเท่ากับมุมประแจที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ ฉ.1 และรูปที่ ฉ.2




ความหมาย

1 –ความยาวทั้งหมด

2 - ความยาวเส้นสัมผัส

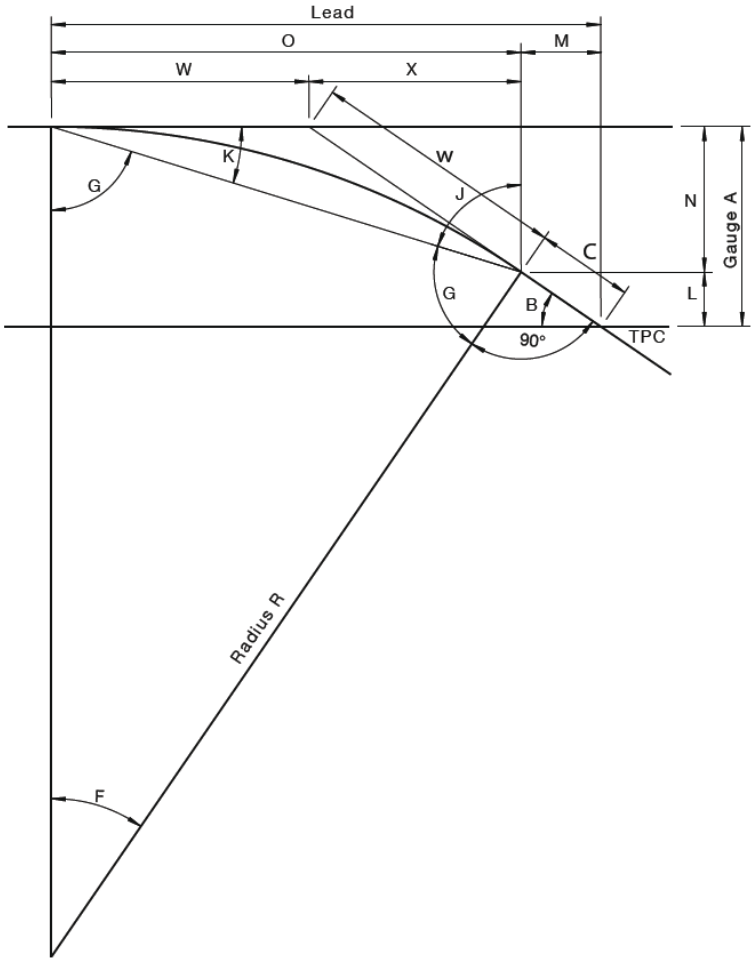
3 - จุดตัด (จุด k)

4 - มุมประแจ

R1 - รัศมีประแจ

R2 –รัศมีเพิ่มเติมของประแจ

**รูปที่ ฉ.1 รูปแบบของการออกแบบประแจด้วยวิธีเส้นสัมผัส (Tangential)**




ความหมาย

ขนาดทางA= ขนาดทาง, หน่วยมิลลิเมตร

B = มุมของจุดตัดหน่วยองศา = $\tan^{-1}$(1/อัตราส่วนจุดตัด) e.g. $\tan^{-1}$(1/8)

C = ความยาวทางตรงหน่วยมิลลิเมตร

จุด (Point thickness) = 0 mm

มุม (Entry angle) = 0

G + K = 90°

L = C × Sin B

M = C × Cos B

N = A – L

W = N × Cosec B

X = N × Cot B

O = W + X

K = $\text{Tan}^{-1}$N/O

G = J = 90 – K

B = F = 180 – 2G

**รูปที่ ฉ.2 รายละเอียดของตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้กำหนดรูปร่างทางกายภาพของประแจ (สำหรับจุดตัดแบบเส้นตรง Straight Crossing)**

ตารางที่ ฉ.1 และตารางที่ ฉ.2 แสดงค่าของตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบประแจโดยวิธีเส้นสัมผัส (Tangential) โดยแบ่งตามขนาดของทางรถไฟ

**ตารางที่ ฉ.1 ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบประแจโดยวิธีเส้นสัมผัส (Tangential) สำหรับทางรถไฟขนาดมาตรฐาน 1.435 เมตร**

| รัศมี (เมตร) | อัตราส่วนประแจ (1:N) | จุดตัด (มม.) | ความยาวก่อนถึงจุดตัด (มม.) | มุมของจุดตัด (องศา) |
|---|---|---|---|---|
| **160** | 6.6 | 12052 | 20939 | 7.662236° |
| **160** | 8.25 | 9662 | 21054 | 6.911227° |
| **190** | 7 | 13503 | 22862 | 7.033006° |
| **190** | 9 | 10523 | 22988 | 6.340192° |
| **250** | 8.25 | 15096 | 26296 | 6.133080° |
| **250** | 10.5 | 11878 | 26489 | 5.440332° |
| **300** | 9 | 16616 | 28853 | 5.599601° |
| **300** | 12 | 12478 | 29238 | 4.763642° |
| **500** | 12 | 20797 | 37391 | 4.763642° |
| **500** | 15 | 16648 | 37707 | 3.814075° |
| **800** | 15 | 26637 | 46827 | 3.814075° |
| **800** | 18.5 | 21606 | 47083 | 3.094058° |
| **1000** | 20 | 25000 | 52790 | 2.864192° |
| **1200** | 18.5 | 32409 | 56996 | 2.801473° |
| **1200** | 24 | 24989 | 57754 | 2.385957° |

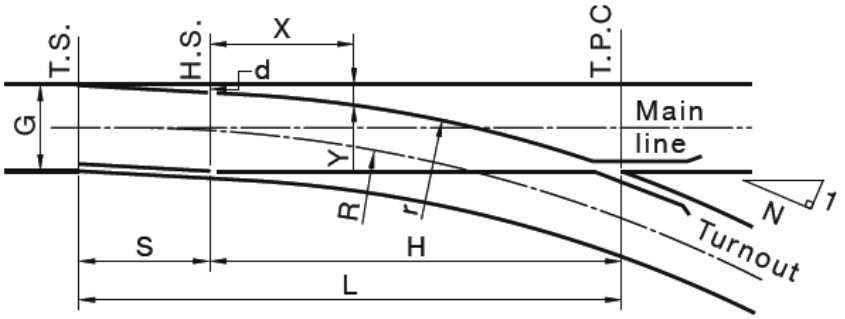
**ตารางที่ ฉ.2 ตัวแปรที่ใช้ในการออกแบบประแจโดยวิธีเส้นสัมผัส (Tangential) สำหรับทางรถไฟขนาด 1.0 เมตร**

| รัศมี (เมตร) | อัตราส่วนประแจ (1:N) | จุดตัด (มม.) | ความยาวรางนำ (มม.) | มุมของจุดตัด (องศา) |
|---|---|---|---|---|
| **130** | 8.25 | 7850 | 16308 | 6.911227° |
| **200** | 10 | 9975 | 20205 | 5.710593° |
| **280** | 12 | 11646 | 23920 | 4.763642° |
| **300/250** | 12 | 12060 | 24402 | 4.763642° |
| **500** | 16 | 15610 | 31960 | 3.576334° |
| **1235** | 25 | 24684 | 50213 | 2.290610° |

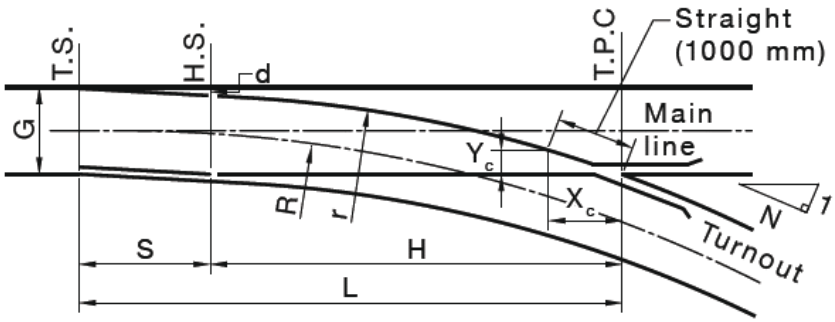
## ภาคผนวก ช การออกแบบรูปร่างของประแจด้วยวิธี เส้นตัดวงกลม (Secant)

การออกแบบรูปร่างประแจด้วยวิธี เส้นตัดวงกลมนับเป็นวิธีแรกที่ถูกนำมาใช้ในการออกแบบ ซึ่งการออกแบบด้วยวิธีดังกล่าวจะทำให้ได้รูปร่างของประแจที่เรียบง่าย โดยช่วงลิ้นประแจจะเป็นเส้นตรงแล้วจึงตามด้วยเส้นโค้งในบริเวณหลังจากผ่านลิ้นประแจไปแล้วดังรูปที่ ช1

ในหลายประเทศและโครงการระบบรางหลายแห่ง นิยมใช้ประแจที่ถูกออกแบบด้วยวิธี เส้นตัดวงกลมเนื่องจากไม่ยุ่งยากในการออกแบบและติดตั้ง รวมทั้งมีค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ต่ำ อย่างไรก็ตามการใช้งานประแจแบบเส้นตัดวงกลมโดยทั่วไปจะใช้กับสายทางที่มีความเร็วต่ำหรือในย่านสถานี




(a) Turnout with curved crossing




(b) Turnout with straight crossing

**รูปที่ ช.1 ลักษณะของประแจที่ถูกออกแบบด้วยวิธี เส้นตัดวงกลม (Secant)**

**ตารางที่ ช.1 ตัวแปรและความหมายในการออกแบบประแจโดยวิธี เส้นตัดวงกลม (Secant)**

| ตัวแปร | ความหมาย |
|---|---|
| สันของลิ้นประแจ (HS) | ปลายลิ้นประแจมีหน้าตัดรางเต็ม |
| ปลายของลิ้นประแจ (TS) | ปลายบางของลิ้นประแจ (ปลายตรงข้ามสันของประแจ) |
| ตำแหน่งจุดตัดทางทฤษฎี | จุดตัดผ่านของเส้นแนวทาง ณ จุดตัด |
| รัศมี (R) | รัศมีของทางประธาน |
| รัศมี (r) | รัศมีของโค้งประแจ |
| ขนาดทาง (G) | ขนาดของทางรถไฟ |
| อัตราส่วนมุมประแจ (N) | อัตราส่วนของความเบี่ยงของประแจ |
| มุมประแจ ( $\alpha$ ) | มุมประแจ หน่วยองศา |
| มุมลิ้นประแจ (B) | มุมระหว่างเส้นทางรถไฟและรางประคองลิ้น |
| กึ่งกลางของสัน (d) | ระยะห่างระหว่างเส้นทางรถไฟและสันของประแจ |
| ความยาวลิ้นประแจ (S) | ความยาวประแจจากสันถึงปลายของลิ้นประแจ |
| ทางนำช่วงสั้น (H) | ระยะห่างระหว่างสันลิ้นประแจถึงจุดตัดทางทฤษฎี (TPC) ที่วัดตามแนวเส้นทางประธาน |
| ทางนำ (L) | ระยะห่างระหว่างปลายลิ้นประแจถึงจุดตัดทางทฤษฎี (TPC) ที่วัดตามแนวเส้นทางประธาน |

ในการออกแบบประแจแบบ เส้นตัดวงกลมจะใช้สมการดังต่อไปนี้ใช้สำหรับคำนวณหาค่ารายละเอียดทางกายภาพต่าง ๆ โดยจะมีเส้นโค้งที่เริ่ม ณ ตำแหน่งต่อจากลิ้นประแจวิ่งไปจนถึงจุดตัดทางทฤษฎีดังแสดงในรูปข้างต้น

$$Lead(L) = (G-d)Cot\left(\frac{1}{2(A+B)}\right)+S$$

$$Radius(r) = \frac{G-d}{\left[Cos(B)-Cos(A)\right]}$$

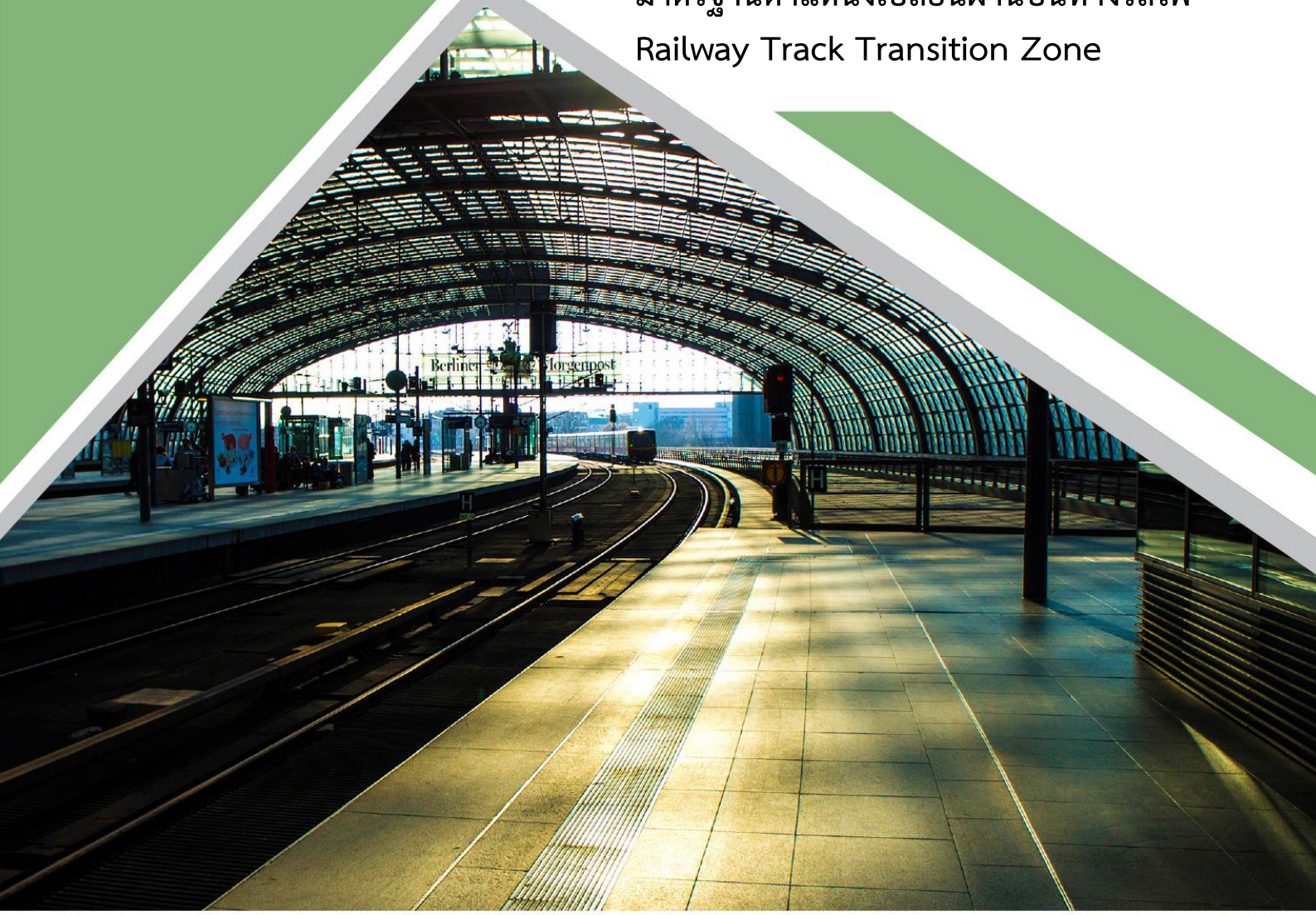
$$Offset(y) = d + xTan\left[\frac{1}{2\left[B+Sin^{-1}\left(\frac{x}{r}+Sin(B)\right)\right]}\right]$$

โดยปกติระยะร่น (Y) จะคำนวณทุก ๆ 1 เมตรเพื่อความถูกต้องแม่นยำในขณะติดตั้งประแจ

# มขร S-T-008-256x

## มาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ

## Railway Track Transition Zone



สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร พ.ศ. xxxx

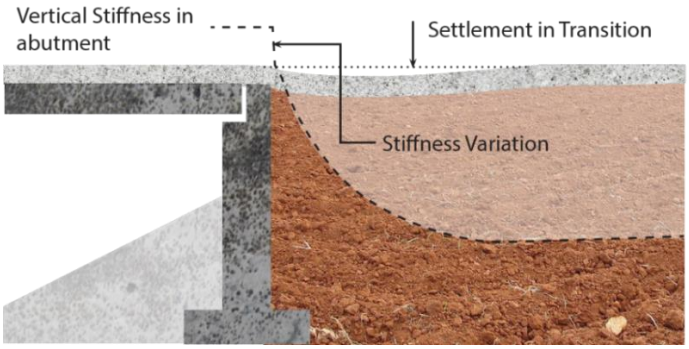
# คำนำ

มาตรฐานฉบับนี้ เป็นมาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟที่ต่างชนิดกัน โดยจุดประสงค์เพื่อให้รถไฟสามารถวิ่งผ่านบริเวณดังกล่าวได้อย่างราบเรียบและเกิดการกระแทกน้อยที่สุด ทั้งนี้ก็เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อทางรถไฟในบริเวณดังกล่าวทั้งในระยะสั้นและระยะยาว รวมไปถึงเพื่อรักษาความปลอดภัยของรถไฟจากการสั่นสะเทือนที่เพิ่มขึ้นขณะวิ่งผ่านจุดเปลี่ยนผ่านอีกด้วยโดยมาตรฐานฉบับนี้ได้อ้างอิงกับมาตรฐานของกลุ่มประเทศยุโรปUIC 719R“Earthworks and track-bed layers for railway lines”, EN 16432-2:2015“Railway applications – Ballastless track system, Part 2: Subsystems and component” และมาตรฐานของประเทศสาธารณรัฐเกาหลีใต้ KR C-14080, Track / Vehicle /Structure /Electrical /Signal Interaction

# มขร S-T-008-256x มาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ

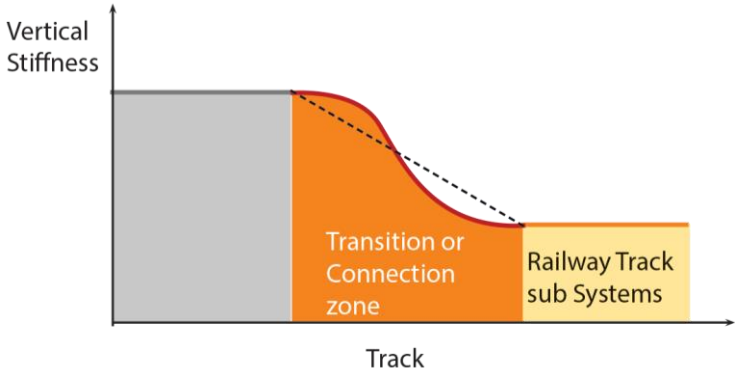
## 1 ทั่วไป (General)

บริเวณที่มีการเชื่อมต่อระหว่างทางรถไฟบนโครงสร้างต่างชนิดกันเช่น จุดต่อระหว่างทางรถไฟบนหินโรยทางและทางรถไฟบนพื้นคอนกรีต รวมไปถึงทางรถไฟเข้าสู่สะพานนั้นจะถูกพิจารณาให้เป็นบริเวณจุดเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ (Transition Zone) ซึ่งบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งเกร็ง (Track Stiffness) ของทางรถไฟแบบทันทีทันใด โดยคุณสมบัติดังกล่าวจะส่งผลต่อการสั่นสะเทือนของรถไฟและจะทำให้เกิดแรงกระแทกจากล้อที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป ถึงแม้บริเวณดังกล่าวนั้นจะครอบคลุมระยะทางไม่มากเมื่อเทียบกับความยาวของสายทางทั้งหมด แต่ก็นับได้ว่าเป็นสาเหตุอันดับต้นๆที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบทางรถไฟ และยังมีผลต่อความรู้สึกสบายของผู้โดยสาร**รูปที่ 8-1** แสดงตัวอย่างการทรุดตัวของดินบริเวณคอสะพานเนื่องจากความแตกต่างของค่าความแข็งเกร็งระหว่างสะพานและคันดินบริเวณจุดเชื่อมต่อ




**รูปที่ 8-1 ปัญหาการทรุดตัวของดินบริเวณคอสะพาน**

ดังนั้น หลักการสำหรับการออกแบบบริเวณดังกล่าวคือมีการจัดการค่าความแข็งเกร็งบริเวณจุดเปลี่ยนผ่านให้แปรเปลี่ยนอย่างค่อยเป็นค่อยไป ดังแสดงใน**รูปที่ 8-2**




**รูปที่ 8-2 ค่าความแข็งเกร็งของทางรถไฟที่มีการเปลี่ยนแปลงบริเวณจุดเปลี่ยนผ่าน**



### 1.1 วัตถุประสงค์ (Objective)

มขร S-T-008 -256X มาตรฐานตำแหน่งเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ ในส่วนนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการกำหนดมาตรฐานในการออกแบบและก่อสร้างจุดเปลี่ยนผ่านบนทางรถไฟ

### 1.2 ขอบเขต (Scope)

มาตรฐานนี้ใช้สำหรับการออกแบบและก่อสร้างจุดเปลี่ยนผ่านของทางรถไฟขนาด 1.0 เมตร และ 1.435 เมตร โดยมีความเร็วและน้ำหนักลงเพลาตาม มขร S-T-001-256X มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification Standard)

### 1.3 มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง (Normative References)

- มขร S-T-001-256X มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification Standard)
- มขร S-T-004 -256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดหินโรยทาง (Ballasted Track Design Standard)
- มขร S-T-007 -256X มาตรฐานการออกแบบส่วนประกอบทางรถไฟ (Track Components Design Standard)

## 2 นิยามและสัญลักษณ์

| | |
|---|---|
| Track Stiffness (K) | คือ ค่าความแข็งเกร็งของทางรถไฟ |
| Transition zone | คือ บริเวณที่มีการเปลี่ยนรูปแบบของโครงสร้างรองรับทางรถไฟ |
| $L_{tran}$ | คือ ความยาวของบริเวณจุดเปลี่ยนผ่าน |
| $V$ | คือ ความเร็วของขบวนรถ |
| $K_{track,dyn}$ | คือ ค่าความแข็งเกร็งเชิงพลศาสตร์ในแนวดิ่งของทางรถไฟ |
| $G_{tran}$ | คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของความแข็งเกร็งของทางรถไฟ |
| $\Delta P$ | คือ การเปลี่ยนแปลงขนาดของแรงแนวดิ่งที่ล้อหนึ่งด้าน |
| $P$ | คือ แรงแนวดิ่งแบบสถิตที่ล้อหนึ่งด้าน |
| HSB | คือ พื้นทางชั้น Hydraulically stabilized base |
| TCL | คือ พื้นทางชั้น Track concrete layer |

## 3 ปฏิสัมพันธ์ของรถไฟและทางรถไฟ

ในการเลือกใช้ค่าความแข็งเกร็งสำหรับทางรถไฟนั้น จะต้องวิเคราะห์หรือตรวจวัดถึงพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของรถไฟที่ใช้งานด้วยเพื่อตรวจสอบให้ค่าการสั่นสะเทือนเป็นไปตามข้อกำหนดใน**ตารางที่ 8-1** เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดต่อทางรถไฟ รวมไปถึงความปลอดภัยของรถไฟ จะต้องมีการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบริเวณจุดเปลี่ยนผ่านดังนี้

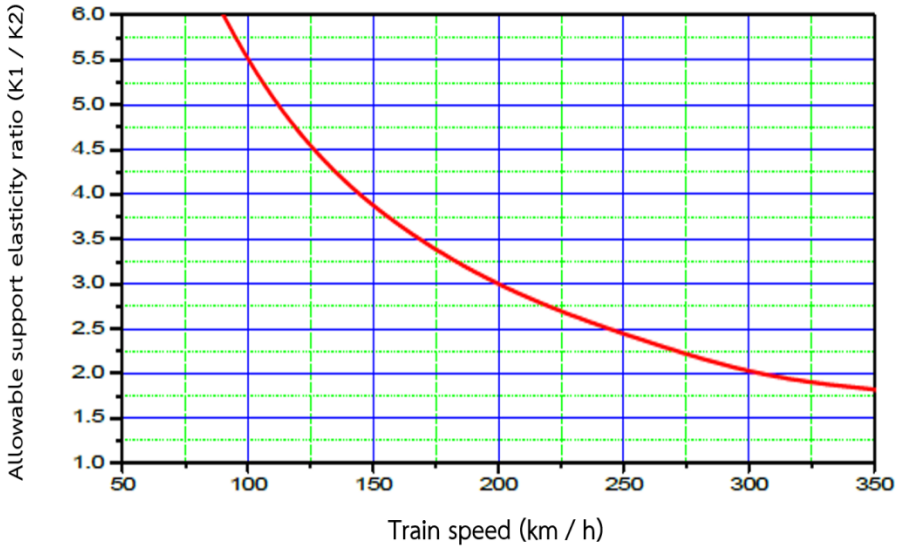
- การสั่นสะเทือนในแนวดิ่งของรถไฟ
- ค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงกระแทกที่ล้อ $\frac{\Delta P}{P}$ (Wheel load reduction ratio)

- แรงยกที่อาจเกิดขึ้นต่อรางโดยควบคุมได้ด้วยการกำหนดค่าแรงกดขั้นต่ำที่ต้องมีใต้รางซึ่งคิดเป็นร้อยละของแรงกดจากอุปกรณ์ยึดเหนี่ยว ตาม มขร S-T-007 -256X มาตรฐานการออกแบบส่วนประกอบทางรถไฟ (Track Components Design Standard)

**ตารางที่ 8-1 ค่าพิกัดสูงสุดที่ยอมให้สำหรับรถไฟและทางรถไฟบริเวณจุดเปลี่ยนผ่าน**

| หัวข้อ | ค่าความเร่งแนวดิ่งสูงสุดของตัวรถ | การเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงแนวดิ่งที่ล้อ | แรงกดขั้นต่ำใต้ราง |
|---|---|---|---|
| **พิกัดที่ยอมให้** | 1.3 เมตรต่อวินาที$^2$ | 60 เปอร์เซ็นต์ | ร้อยละ 70 ของแรงกดจากอุปกรณ์ยึดเหนี่ยว |

ในการออกแบบให้ทางรถไฟมีคุณสมบัติดังตารางข้างต้น สามารถใช้แผนภูมิค่าอัตราส่วนของค่าความแข็งเกร็ง (Stiffness) ใน**รูปที่ 8-3** เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบจุดเปลี่ยนผ่าน




**รูปที่ 8-3 แผนภูมิแสดงค่าอัตราส่วนของค่าความแข็งเกร็งของทางรถไฟ (Track Stiffness) ที่เหมาะสมบริเวณจุดเปลี่ยนผ่าน**

- ความยาวของบริเวณจุดเปลี่ยนผ่าน (Transition Zone) ซึ่งเป็นระยะทางที่ค่าความแข็งเกร็ง (Stiffness) มีการเปลี่ยนแปลงแบบค่อยเป็นค่อยไป ทั้งนี้ ระยะที่กำหนดนั้นมาจากการคำนวณหาระยะทางที่ขบวนรถวิ่งผ่านภายในเวลา 0.5 วินาที ซึ่งสามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ ดัง**สมการ (8.1)**



$$L_{tran} = V/7.2 \quad (8.1)$$

**โดยที่** $L_{tran}$ คือ ความยาวของบริเวณเปลี่ยนผ่าน (เมตร)
$V$ คือ ความเร็วของขบวนรถ (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

- ค่าความแข็งเกร็งเชิงพลศาสตร์ในแนวดิ่งของทางรถไฟ (Vertical Dynamic Track Stiffness) ที่แนะนำ คือ $K_{track,\,dyn} = 100$ กิโลนิวตันต่อมิลลิเมตร ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเป็นการจำกัดให้ค่าการทรุดตัวของรางอยู่ในช่วง $1-1.5$ มิลลิเมตร

- ค่าแนะนำของอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของความแข็งเกร็งของทางรถไฟในช่วงบริเวณเปลี่ยนผ่าน (Maximum Track Stiffness Gradient) คือ $G_{tran} = 2$ เมกกะนิวตันต่อเมตรต่อเมตร $(MN/m/m)$

- ค่าความยาวและความแข็งเกร็งของจุดเปลี่ยนผ่านที่แนะนำไว้ข้างตันนั้นมีพื้นฐานมาจากน้ำหนักลงเพลา 20 ตัน หากต้องการค่าโดยละเอียดสามารถใช้การวิเคราะห์เชิงพลศาสตร์ของรถไฟและทางรถไฟ หรือใช้วิธีการตรวจวัดการสั่นสะเทือนเพื่อสังเคราะห์ค่าดังกล่าวได้

# 4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและทางรถไฟ

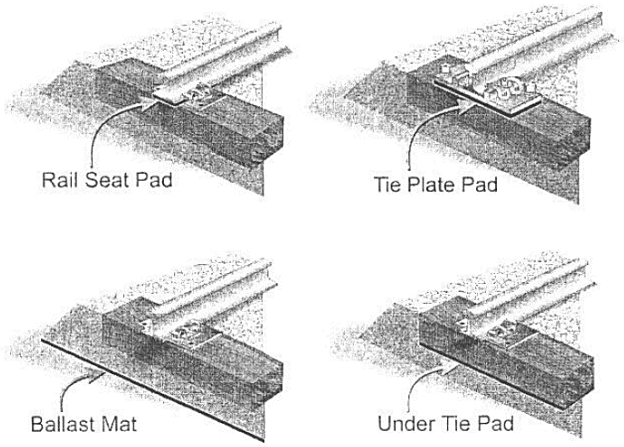
## 4.1 หลักการเบื้องต้น

- หลักการเบื้องต้นในการออกแบบจุดเปลี่ยนผ่านคือ การทำให้ค่าความแข็งเกร็งมีความราบเรียบมากที่สุด หรือในกรณีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ จะต้องมีการจัดการให้ค่าความแข็งเกร็งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป
- ค่าความแข็งเกร็งของทางรถไฟนั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างสองส่วนคือ โครงสร้างทางรถไฟและโครงสร้างที่รองรับทางรถไฟ ซึ่งในการออกแบบไม่ควรให้การเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทั้งสองส่วนอยู่บริเวณเดียวกัน
- เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องบนทางรถไฟ (Track Discontinuity) จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความแข็งเกร็งและจะก่อให้เกิดแรงกระแทกระหว่างล้อและรางที่เพิ่มขึ้นดังนั้นการติดตั้งอุปกรณ์ช่วยจัดการค่าความแข็งเกร็งใด ๆ จะต้องกำหนดให้ตำแหน่งสิ้นสุดของการติดตั้งอยู่คนละตำแหน่งกัน
- หลีกเลี่ยงการวางจุดเชื่อมรางบริเวณจุดเปลี่ยนผ่าน
- วิธีการตรวจวัดค่าความแข็งเกร็งของคันดินสามารถอ้างอิงกับ มขร S-T-004 -256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดหินโรยทาง (Ballasted Track Design Standard)

## 4.2 จุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนหินโรยทางและทางรถไฟบนพื้นคอนกรีต

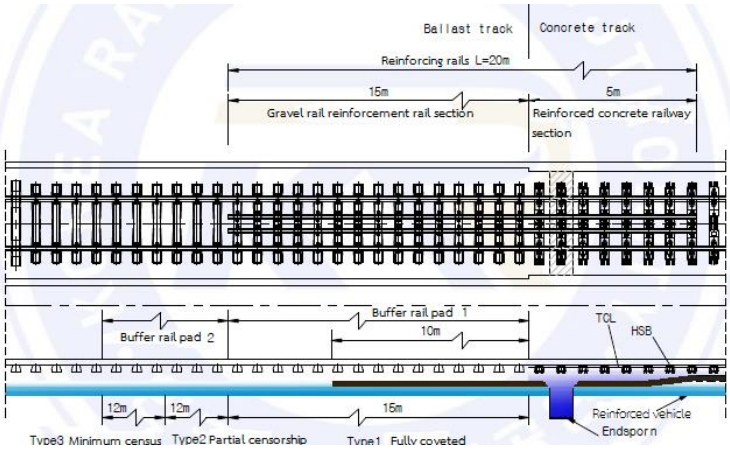
- บริเวณดังกล่าวจะมีการทรุดตัวที่แตกต่างกันทั้งแบบยืดหยุ่น (Elastic Deflection) และถาวร (Permanent Deflection) ซึ่งในการออกแบบจะต้องจัดการค่าความแข็งเกร็งให้เปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป

- การปรับปรุงค่าความแข็งเกร็งสามารถทำได้โดยการติดตั้งรางเสริม เป็นระยะทาง 20 เมตร (5 เมตรในด้านของทางรถไฟบนพื้นคอนกรีตและ 15 เมตรบนทางรถไฟบนหินโรยทาง)
- การเสริมแผ่นรองแบบยืดหยุ่น การปรับปรุงชั้นรองพื้นทางหรือวิธีอื่นซึ่งช่วยให้ค่าความแข็งเกร็งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปสามารถทำได้โดยต้องมีผลการวิเคราะห์และทดสอบที่น่าเชื่อถือ แสดงดัง**รูปที่ 8-4**




**รูปที่ 8-4 การใช้แผ่นรอง และ Ballast Mat เพื่อลดค่าความแข็งเกร็ง (Stiffness) [3]**

- จุดเปลี่ยนผ่านของทางรถไฟบนหินโรยทางและทางรถไฟบนพื้นคอนกรีตควรอยู่บนทางรถไฟช่วงทางตรง
- จุดเปลี่ยนผ่านของทางรถไฟบนหินโรยทางและทางรถไฟบนพื้นคอนกรีตจะต้องอยู่บนโครงสร้างรอบรับชนิดเดียวกัน **แสดงดังรูปที่ 8-5**



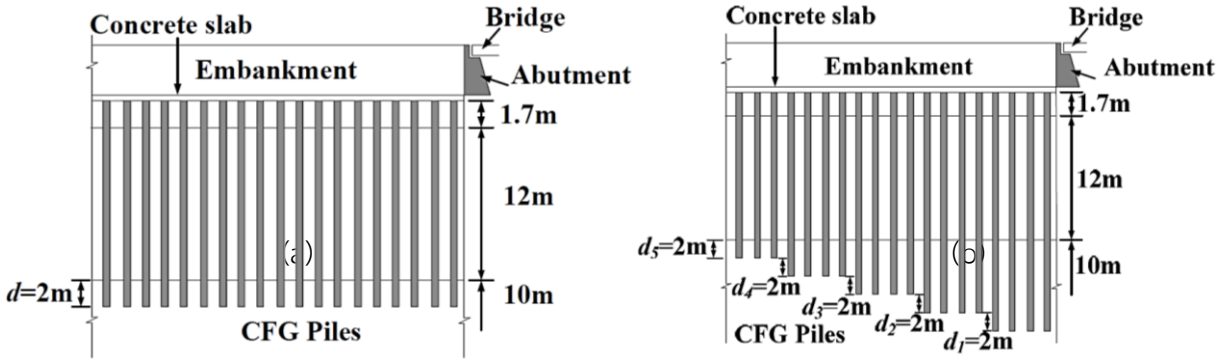

**รูปที่ 8-5 ตัวอย่างการก่อสร้างบริเวณจุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนหินโรยทางและทางรถไฟบนพื้นคอนกรีต [5]**

### 4.3 จุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนพื้นคอนกรีตต่างชนิดกัน

- โดยปกติแล้ว ทางรถไฟควรวางอยู่บนระบบพื้นคอนกรีตเพียงชนิดเดียว และควรหลีกเลี่ยงการใช้ระบบพื้นคอนกรีตต่างชนิดในสายทางเดียวกันในกรณีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้จะต้องมีการออกแบบเพื่อป้องกันความเสียหายของทางรถไฟบริเวณจุดต่อ ทั้งจากแรงกระแทกจากรถไฟรวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ
- ระดับของทางรถไฟทั้งสองระบบจะต้องออกแบบให้ใกล้เคียงกันมากที่สุด เพื่อให้รถไฟสามารถแล่นผ่านได้อย่างราบรื่น ในกรณีที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ จะต้องมีการออกแบบให้มีจุดรองรับแบบพิเศษเพื่อลดการกระแทกในบริเวณดังกล่าว
- ทางรถไฟในสายทางที่มีระบบพื้นคอนกรีตต่างชนิดกัน จะต้องมีการรับรองจากผู้รับผิดชอบ

### 4.4 จุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนคันดินและทางรถไฟบนสะพาน

นอกจากการใช้วิธีออกแบบความลาดชัน ณ ตำแหน่งเปลี่ยนผ่านระหว่างสะพานและคันดิน ทั้ง 3 วิธี ซึ่งอ้างอิงมาจากมาตรฐาน UIC 719R ดังที่ได้นำเสนอมาแล้วข้างต้นนั้น ได้มีการศึกษาวิธีเสริมค่าความแข็งเกร็งของบริเวณดังกล่าวด้วยการใช้เสาเข็ม [13] โดยทำการเปรียบเทียบระหว่าง 2 รูปแบบด้วยกันคือ แบบแรก ความยาวของเสาเข็มมีค่าเท่ากันตลอด และ แบบที่สอง ความยาวของเสาเข็มมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางของตำแหน่งเปลี่ยนผ่าน ดังแสดงใน**รูปที่ 8-6**



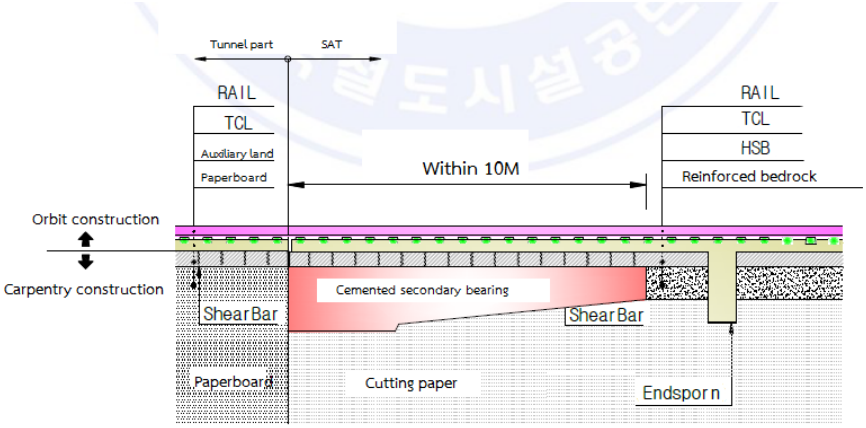

**รูปที่ 8-6 รูปแบบการศึกษาวิธีเสริมค่าความแข็งเกร็งของตำแหน่งเปลี่ยนผ่านระหว่างสะพานและคันดิน**

จากการศึกษาด้วยการวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า รูปแบบที่ 2 ซึ่งความยาวของเสาเข็มมีการเปลี่ยนแปลงตลอดความยาวของบริเวณเปลี่ยนผ่านนั้น มีผลทำให้ค่าความแข็งเกร็งของบริเวณเปลี่ยนผ่านมีการเปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป ได้ราบเรียบกว่าในรูปแบบแรก ซึ่งส่งผลดีต่อการตอบสนองเชิงพลวัตของโครงสร้างบริเวณตำแหน่งเปลี่ยนผ่าน

### 4.5 จุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนคันดินและทางรถไฟในอุโมงค์

- บริเวณดังกล่าวจะมีการทรุดตัวที่แตกต่างกันทั้งแบบยืดหยุ่น (Elastic Deflection) และถาวร (Permanent Deflection) ซึ่งในการออกแบบจะต้องจัดการค่าความแข็งเกร็งให้เปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป

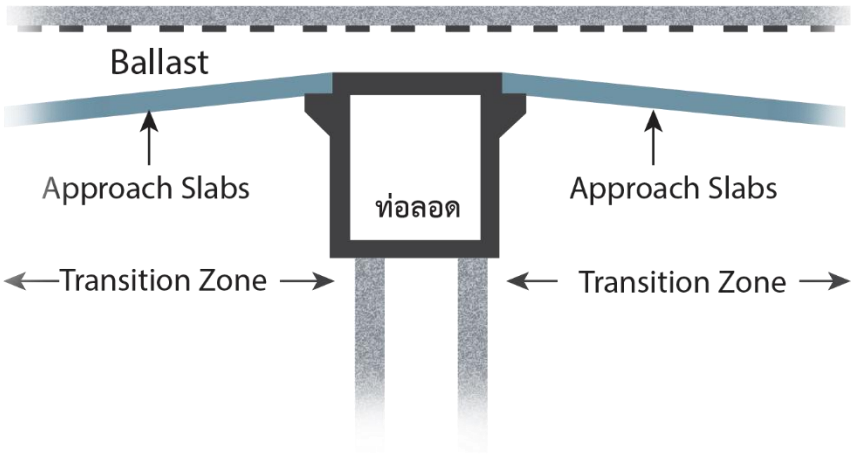
– ในการก่อสร้างต้องแยกตำแหน่งระหว่างชั้น TCL ซึ่งอยู่ในอุโมงค์และชั้น HSB ของทางรถไฟบนคันดินในบริเวณปากทางเข้าอุโมงค์โดยมีการหล่อพื้นคอนกรีตรองรับ (Cemented Secondary Bearing) รวมทั้งติดตั้งเหล็กรับแรงเฉือน (Shear Bar)
แสดงดัง**รูปที่ 8-7**




**รูปที่ 8-7 ตัวอย่างการก่อสร้างบริเวณจุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนหินโรยทางและทางรถไฟในอุโมงค์ [5]**

## 4.6 จุดเปลี่ยนผ่านระหว่างทางรถไฟบนคันดินและท่อลอด

– เมื่อโครงสร้างทางรถไฟผ่านท่อลอด ควรเลือกใช้วัสดุประเภทพลาสติกที่มีคุณสมบัติคล้ายยาง (Elasto-plastic) รองในแต่ละชั้นของโครงสร้างทาง เพื่อป้องกันการพัดพาวัสดุเหล่านั้นหากมีการรั่วซึมของน้ำ
– เมื่อท่อลอดต้องติดตั้งในชั้นดิน ควรมีชั้น HSB รองใต้ชั้น TCL
– ควรทำการตรวจวัดค่าการทรุดตัวของท่อลอดและ Approach Slabs รวมไปถึงวิเคราะห์ถึงสภาพของทางรถไฟบริเวณท่อลอด เป็นระยะ ๆ ตามรอบของการซ่อมบำรุงทาง
แสดงดัง**รูปที่ 8-8**




**รูปที่ 8-8 ภาคตัดขวางของทางรถไฟในกรณีที่ผ่านท่อลอด**

# บรรณานุกรม


[1] เจน บุญซื่อ. (2537). ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมรถไฟ. กรุงเทพมหานคร: แผงไทย.

[2] AREMA (American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association), "*Manual for Railway Engineering*".

[3] AREMA, Vol. 1 Track / Chapter 30 Ties

[4] EN 16432-2: 2015, Railway applications – Ballastless track system, Part 2: Subsystems and component

[5] KR C-14080, Track / Vehicle / Structure / Electrical / Signal Interaction

[6] UIC 719R, Earthworks and track-bed layers for railway lines

[7] Dareeju, B., Gallage, C. and Dhanasekar, M. (2014). A comparative analysis of the conservative bridge transition design approaches In Schweiger, Robert (Ed.) Proceedings of the Conference on Railway Excellence: Rail Transport for Vital Economy, Railway Technical Society of Australasia (RTSA, Adelaide Convention Centre, Adelaide, SA, pp. 649-657.

[8] KR C- 14080, "Track / vehicle / structure / electrical / signal Interaction".

[9] Miguel Gouveia Coelho. Structure/Embankment Transitions in Railway Infra-structures.

[10] (https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395137896057/Resumo.pdf)

[11] UIC 719R, "Earthworks and track-bed layers for railway lines".

[12] Varandas, J.N., Holscher, P. and Silva, M. A.G. (2011). Dynamic behavior of railway tracks on transitions zones. Computers and Structures, 89: 1468 - 1479.

[13] W. Li and X. Bain, 'Dynamic performance of pile-supported bridge-embankment transition zones under high-speed train moving loads', Procedia Engineering, 143, 1059-1067(2016

# มขร S-T-009-256x

## มาตรฐานความปลอดภัยบนทางรถไฟ

## Track Safety




สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร พ.ศ. xxxx

15 ปี สนข

# คำนำ

มาตรฐานความปลอดภัยบนทางรถไฟ (Track Safety) เป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานโครงสร้างทางรถไฟ โดยรายละเอียดข้อกำหนดและข้อปฏิบัติด้านความปลอดภัยบนทางรถไฟ จะระบุในเล่มคู่มือด้านระบบความปลอดภัยบนทางรถไฟ ดังนี้

- EN 1670. Railway applications - Track – Safety protection on the track during work - Part 1: Railway risks and common principles for protection of fixed and mobile work sites
- EN 16704. Railway applications - Track – Safety protection on the track during work - Part 2-1: Common solutions and technology – Technical requirements for Track Warning Systems (TWS)
- EN 16704. Railway applications - Track – Safety protection on the track during work - Part 2-2: Common solutions and technology – Technical requirements for barriers
- EN 16704. Railway applications - Track – Safety protection on the track during work - Part 3: Competences of personnel related to work on or near the railway track
- KR C-14090. Track safety facilities
- พระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554
- เอกสาร คู่มือว่าด้วยกฎแห่งความปลอดภัยการรถไฟแห่งประเทศไทย
- คู่มือบำรุงทางการรถไฟแห่งประเทศไทย
- ข้อกำหนดการเดินรถไฟ การรถไฟแห่งประเทศไทย

# มขร S-T-009-256x มาตรฐานความปลอดภัยบนทางรถไฟ

## 1 ทั่วไป (General)

### 1.1 วัตถุประสงค์

- เพื่อกำหนดมาตรฐานระบบความปลอดภัยในการทำงานบนทางรถไฟสำหรับประเทศไทย

### 1.2 ขอบเขต

มาตรฐานระบบความปลอดภัยบนทางรถไฟได้ระบุนิยามและสัญลักษณ์ หลักการความเสี่ยง และมาตรการของระบบความปลอดภัยบนทางรถไฟและในละแวกบริเวณโดยรอบของทางรถไฟ ซึ่งรวมถึงจุดทำงานที่อยู่กับที่ หรือเคลื่อนที่ โดยมีรถไฟ หรือเครื่องจักรทำงานอยู่ในบริเวณทางรถไฟ ความเสี่ยงในการเข้าออกจุดทำงานบนทางรถไฟ หรือบนทางรถไฟถัดไป และข้อกำหนดการออกแบบโครงสร้างพื้นฐาน เอกสารรับรองความปลอดภัย และความปลอดภัยของพนักงานระหว่างปฏิบัติหน้าที่ โดยมาตรฐานนี้จะใช้ได้ครอบคลุมกับทางรถไฟแบบมีรางทุกชนิด ตาม มขร S-T-001-256x มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ ยกเว้นทางรถไฟในเมืองซึ่งอาจจะต้องมีข้อกำหนดเฉพาะเพิ่มเติมของแต่ละประเภท

มาตรฐานนี้ยังระบุถึงข้อกำหนดและนำกระบวนการมาตรการป้องกันมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนโครงการใหม่ หรือนำมาใช้ในมาตรการแก้ไขเมื่อมีการปรับปรุงโครงสร้างเดิม ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับบุคคลที่ 3 เมื่อมีความเสี่ยงตามที่ระบุข้างต้นเกิดขึ้นในการทำงานบนทางรถไฟ

### 1.3 มาตรฐานอ้างอิง

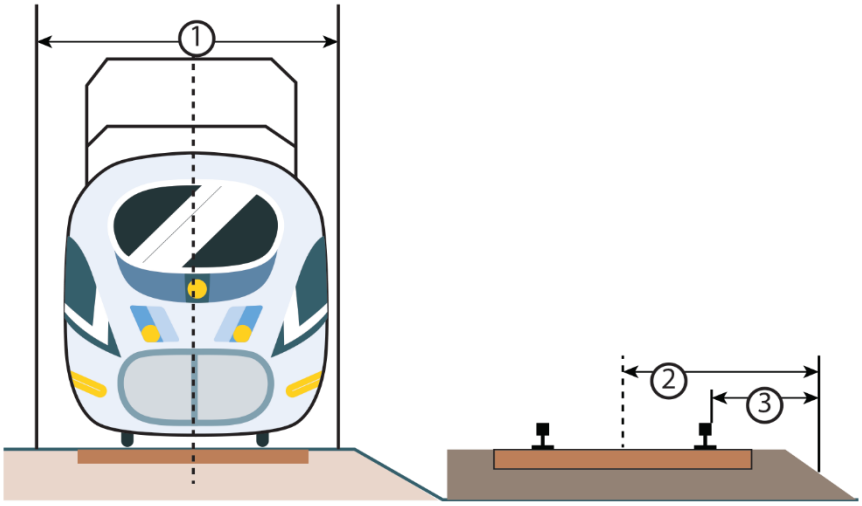
- มขร S-T-001-256x มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ (Track Classification Standard)

## 2 นิยาม

สำหรับมาตรฐาน มขร S-T009-256x มาตรฐานความปลอดภัยบนทางรถไฟ นี้ระบุนิยามของคำศัพท์และสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้องไว้ดังนี้

- **อุบัติเหตุ (Accident)** หมายถึง เหตุการณ์ที่เกิดโดยไม่ได้วางแผน หรือควบคุม ทำให้เกิดการบาดเจ็บ เจ็บป่วย ล้มตาย หรือเกิดการสูญเสียต่อบุคคล หรือความเสียหายต่อวัตถุ

- การกำหนดเขตอันตราย (Danger Zone) ซึ่งเป็นพื้นที่เปิด ที่บุคคล วัตถุ หรือเครื่องมือ บริเวณที่สามารถเกิดอุบัติเหตุทางรถไฟ หรือ ก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บ ซึ่งรวมถึงทางรถไฟที่มีการซ่อมบำรุง และมีระยะขยายออกไปทั้งสองข้างวัดจากจุดศูนย์กลางของทางรถไฟหรือวัดจากขอบนอกของรางรถไฟออกไป ซึ่งระยะนี้จะกำหนดโดยขึ้นอยู่กับ ความเร็วของรถไฟที่วิ่งผ่าน และคุณลักษณะของตัวรถไฟ ดังแสดงได้ใน**รูปที่ 9-1**




**รูปที่ 9-1 ตัวแปรในเขตอันตรายบนทางรถไฟโดย [1]**

**โดยที่ (1) คือ เขตอันตราย**
**(2) คือ เขตอันตรายวัดจากศูนย์กลางของทางรถไฟ**
**(3) คือ ระยะที่วัดจากขอบนอกของรางรถไฟ**

- **ความปลอดภัย (Safety)** คือ การหลีกเลี่ยงจากความเสี่ยงที่ไม่สามารถยอมรับได้

## 3 ระบบความปลอดภัยบนทางรถไฟ

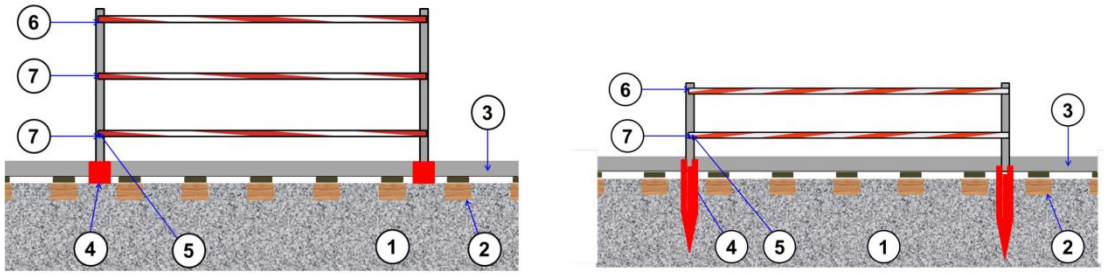
### 3.1 ระบบการเตือนบนทางรถไฟ (Track Warning Systems) TWS

คือ ระบบที่ใช้ในการเตือนบุคคลบนทางรถไฟ หรือบริเวณใกล้เคียงเมื่อมีรถไฟวิ่งผ่าน โดยระบบนี้อาจจะมีอิทธิพลต่อรถไฟโดยอาจจะทำให้หยุด แซง หรือมีการทำงานอย่างอื่นได้ โดยรวมถึงระบบทางเทคนิคที่เป็นลักษณะ ข้อกำหนดเฉพาะสำหรับระบบการเตือนรถไฟ ควรพิจารณาจากหลักเกณฑ์ดังนี้

- ตำแหน่งการเฝ้าระวังให้สัญญาณควรจะอยู่นอกเขตอันตรายและอยู่ห่างจากการทำงานของเครื่องจักรในบริเวณ
- ผู้เฝ้าระวังคนแรกควรจะสามารถจดจำรถไฟที่กำลังจะวิ่งเข้ามาที่จุดแจ้งเตือน
- ตลอดระยะทางของจุดทำงานในทางรถไฟที่ไม่มีการกั้น สามารถใช้ผู้ดูแลเพียงคนเดียวในการควบคุมการตอบสนองของพนักงาน
- การใช้สัญญาณเตือนควรจะสามารถได้ยินทั่วถึง
- ในกรณีที่มีรถไฟวิ่งผ่านทางรถไฟคู่ขนาน ควรจะมีผู้ให้สัญญาณประจำอยู่บนทางรถไฟทั้งคู่
- ไม่ควรใช้การเฝ้าระวังในตอนกลางคืน

### 3.2 เครื่องกั้น (Barriers)

เครื่องกั้นควรประกอบไปด้วยอย่างน้อย รั้วซี่บน และ รั้วซี่ล่าง อุปกรณ์กั้นเช่น ตาข่าย แผ่นกั้น เป็นต้น โดยมีส่วนประกอบแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งมี (1) หินโรยทาง (2) แผ่นรองรางและข้อต่อยึดราง (3) รางรถไฟ (4) ข้อยึดรั้วกันราง (5) เสารั้ว (6) รั้วซี่บน (7) รั้วซี่ล่าง แสดงดัง**รูปที่ 9-2**




(ก) (ข)

**รูปที่ 9-2 รั้วกันรางแบบ (ก) ติดตั้งบนราง และ (ข) ติดตั้งแบบฝังพื้น**

โดยเงื่อนไขและข้อกำหนด สำหรับการกั้น (Conditions / Requirements for Blocking)

- พื้นที่ที่มีการปิดกั้นควรจะระบุขึ้นอยู่กับ เวลา (ช่วงเวลา) และตำแหน่ง
- มาตรการป้องกันขอบเขตสถานที่ทำงานควรจะมีการระบุ เช่น การใช้ประแจล็อกรั้วเขตทำงาน รั้วกั้น ชั่วคราว ยึดบนทางรถไฟ
- ผู้รับผิดชอบ ณ สถานที่ทำงานและการควบคุมการจราจรบนทางรถไฟ โดยมีการสื่อสารระหว่างกัน รวมถึงการสื่อสารระหว่างจุดทำงาน

## 4 หลักการและข้อกำหนด

มาตรฐานนี้ประกอบไปด้วยหลักการสำหรับการป้องกันความปลอดภัยบนทางรถไฟและบริเวณจุดใกล้เคียง โดยเน้นการป้องกันความปลอดภัยในการทำงาน การลดความเสี่ยงที่อาจจะก่อให้เกิดอันตรายจากรถไฟที่วิ่งผ่าน ในกระบวนการออกแบบและการจัดการมาตรการการป้องกันความปลอดภัยโดยรวมและการป้องกันความปลอดภัยส่วนบุคคล

ดังนั้น สำหรับการป้องกันพื้นที่ทำงานบนทางรถไฟโดยใช้มาตรการองค์กรและมาตรการทางเทคนิค เช่น การกั้นทางรถไฟ และระบบการเตือนหรือระวังภัย ให้เป็นไปตามคู่มือความปลอดภัยในการเดินรถไฟและคู่มือการบำรุงรักษาทางรถไฟของการรถไฟแห่งประเทศไทย พ.ศ.2559 โดยก่อนเข้าสู่เขตอันตรายหรืออยู่ในบริเวณใกล้เคียง ควรจะมีการเตรียมการและปฏิบัติดังนี้

- มีการอนุมัติอย่างเป็นทางการก่อนเข้าพื้นที่ทำงาน
- มีการวิเคราะห์และตรวจสอบความเสี่ยง รวมถึงมาตรการความปลอดภัย และทำการบันทึกเป็นเอกสารหลักฐาน ได้รับการตรวจสอบและรับรองโดยผู้รับผิดชอบด้านความปลอดภัย
- บุคคลากรควรจะมีความสามารถและทักษะด้านความปลอดภัยเพียงพอ และมีเครื่องมือป้องกันความปลอดภัยครบครัน



- พนักงานควรได้รับการชี้แจงเกี่ยวกับกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องสถานการณ์และกระบวนการด้านความปลอดภัย
- การใช้งานเครื่องมือสื่อสารเคลื่อนที่ เช่น ไม่สามารถใช้โทรศัพท์มือถือได้ในการทำงานบนทางรถไฟบริเวณเขตอันตราย หากไปรบกวนสมาธิซึ่งส่งผลให้ความปลอดภัยในการทำงานลดลง ยกเว้นในกรณีที่จำเป็น
- เครื่องมือ อุปกรณ์ หรือเครื่องจักร ควรจะได้รับการบำรุงรักษาเพื่อให้พร้อมใช้งานและควรผ่านกระบวนการอนุมัติให้ใช้งานได้ ส่วนอุปกรณ์ที่ไม่ได้ใช้งานควรจัดเก็บให้ห่างจากบริเวณที่ทำงาน เพื่อมิให้กีดขวางการทำงานหรือก่อให้เกิดอันตราย
- มาตรการในกรณีฉุกเฉินควรจะมีชนิดของกริ่งหรือสัญญาณเตือนฉุกเฉินในบริเวณ เพื่อใช้แจ้งเหตุฉุกเฉินหรืออันตรายแก่รถไฟที่วิ่งเข้ามาในบริเวณ

### 4.1 ความเสี่ยงบนทางรถไฟ

ความเสี่ยงเฉพาะด้านการทำงานบนทางรถไฟจะถูกจำแนกออกเป็น 5 ความเสี่ยงดังนี้

**ความเสี่ยงที่ 1** พนักงานถูกรถไฟชน หรือ ถูกลมกระแทกบนทางรถไฟที่ทำการซ่อมแซม

**ความเสี่ยงที่ 2** พนักงานถูกรถไฟชน หรือ เครื่องจักรกระแทกบนทางรถไฟติดกัน

**ความเสี่ยงที่ 3** พนักงานถูกรถไฟชน หรือ เครื่องจักรทำงานบนทางรถไฟที่ถูกกั้น

**ความเสี่ยงที่ 4** เครื่องจักร วัตถุ หรือเครื่องมือ ถูกรถไฟชนบนทางรถไฟติดกัน

**ความเสี่ยงที่ 5** พนักงานถูกไฟดูดหรือไฟช็อตโดยเครื่องมือทางไฟฟ้า

### 4.2 มาตรการรักษาความปลอดภัยบนทางรถไฟ

- ดำเนินการให้มีความสอดคล้องกับระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง และข้อตกลงในเอกสารสัญญาโครงการและคู่มือว่าด้วยกฎแห่งความปลอดภัยการรถไฟแห่งประเทศไทย
- มีมาตรการที่สอดคล้องตามพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 เพื่อลดความเสี่ยงและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นบนทางรถไฟ

## 5 ข้อแนะนำความปลอดภัย

### 5.1 การออกแบบโครงสร้างพื้นฐานบนทางรถไฟ

เมื่อมีการออกแบบโครงสร้างทางรถไฟควรมีการพิจารณาถึงความปลอดภัยของพนักงานเป็นหลัก โดยพิจารณาข้อแนะนำดังนี้

- ติดตั้งระบบสัญญาณเตือน
- แยกการตัดกระแสไฟฟ้าของแต่ละทางรถไฟได้
- เข้าทำงานบนทางรถไฟเปิดได้อย่างปลอดภัย
- ใช้ระบบสัญญาณเตือนเพื่อลดความเร็วของขบวนรถไฟที่จะวิ่งผ่าน
- ความเป็นไปได้ในการกั้นเส้นทางรถไฟ
- การติดตั้งสัญญาณเพื่อควบคุมการให้รถไฟวิ่งผ่านพื้นที่ทำงาน
- การติดตั้งอุปกรณ์ให้แสงสว่างที่เพียงพอในบริเวณจุดทำงาน
- การติดตั้งจำนวนปลั๊กไฟที่เพียงพอสำหรับเครื่องจักรและอุปกรณ์ทำงาน



### 5.2 เอกสารความปลอดภัยบนทางรถไฟ

การใช้เอกสารในการจัดการความปลอดภัยบนทางรถไฟ มีข้อแนะนำดังนี้

- เอกสารควรจะครอบคลุมถึงความเสี่ยงในบริเวณทำงานและใกล้เคียง
- ระบุถึงมาตรการความปลอดภัยสำหรับการทำงานและการเข้าบริเวณจุดทำงาน
- ประเมินความเสี่ยงและทำการจดบันทึก
- มีข้อแนะพื้นฐานด้านความปลอดภัยแก่พนักงาน
- เอกสารความปลอดภัยสามารถใช้ครอบคลุมถึงผู้รับเหมาที่เข้ามาทำงานด้วย
- มีเอกสารและการสร้างความเข้าใจในแผนความปลอดภัยแก่ทุกฝ่ายที่มีส่วนร่วม
- เอกสารควรครอบคลุมการทำงานตั้งแต่ต้นจนจบการทำงาน

### 5.3 ความปลอดภัยของพนักงานระหว่างปฏิบัติหน้าที่บนทางรถไฟ

#### 5.3.1 การใช้อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล

โดยในการเข้าทำงานพนักงานควรสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันดังนี้

- ใส่ชุดสะท้อนแสง
- ใส่รองเท้าป้องกัน
- ใส่อุปกรณ์ป้องกันการได้ยิน ถ้ามีระดับเสียงในบริเวณมากกว่า 85 เดซิเบล (dB) แต่ยังสามารถได้ยินสัญญาณเตือน
- ใส่หมวกป้องกันศีรษะ

#### 5.3.2 ความพร้อมของพนักงาน

- ควรจะมีการตรวจสอบความพร้อมและสมรรถนะในการทำงานอย่างปลอดภัยของพนักงานตามหมวดหมู่ข้อกำหนด ในภาคผนวกของส่วน A1
- ให้พนักงานมีการศึกษาและมีความเข้าใจคู่มือกฎแห่งความปลอดภัยก่อนเข้าทำงานบนทางรถไฟ

#### 5.3.3 คู่มือการจัดการความปลอดภัยในการทำงานบนทางรถไฟ

- จัดทำแผนงานและคู่มือการจัดการความปลอดภัยในการทำงานบนทางรถไฟ ให้เป็นไปตามพระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554
- สอดคล้องกับคู่มือความปลอดภัยในการเดินรถไฟและคู่มือการบำรุงรักษาทางรถไฟของการรถไฟแห่งประเทศไทย พ.ศ.2559

## 6 ข้อแนะนำอื่น ๆ

### 6.1 การทำงานในอุโมงค์คร่อมทางรถไฟ

ข้อแนะนำสำหรับมาตรการความปลอดภัยการทำงานในอุโมงค์คร่อมทางรถไฟ ซึ่งมีหัวข้อประเด็นที่ควรพิจารณาดังนี้

- มีการกั้นทางรถไฟทุกเส้นที่ลอดผ่านอุโมงค์นั้น



- มีการกำหนดพื้นปลอดภัยระหว่างทำงานภายในอุโมงค์ 1 จุดในระยะทุกๆ 1 กิโลเมตรภายในอุโมงค์มีการติดตั้งระบบป้องกันอัคคีภัยและระบบดับเพลิง
- มีระบบหมุนเวียนอากาศที่เหมาะสม
- มีระบบให้แสงสว่างที่เหมาะสม

## 6.2 เหตุฉุกเฉินหรือเหตุอันตรายบนทางรถไฟ

- มีการจัดเตรียมความพร้อมและซักซ้อมเป็นประจำในรองรับสถานการณ์เหตุฉุกเฉินหรืออันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นบนทางรถไฟ
- เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินหรือเหตุอันตรายบนทางรถไฟให้ทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องดำเนินการตามมาตรการรักษาความปลอดภัยที่กำหนดไว้ ปฏิบัติตามคู่มือความปลอดภัยในการเดินรถไฟและคู่มือการบำรุงรักษาทางรถไฟของการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) พ.ศ. 2559
- มีกระบวนการเข้าตรวจตราที่จุดเกิดเหตุโดยผู้ที่เกี่ยวข้องร่วมกับคณะกรรมการด้านความปลอดภัยของหน่วยงานกำกับดูแล
- การจัดทำรายงานระบุสาเหตุที่เกิดเหตุฉุกเฉินหรือเหตุอันตรายบนทางรถไฟเพื่อเสนอต่อคณะกรรมการด้านความปลอดภัยภายใต้หน่วยงานกำกับดูแล

# บรรณานุกรม


[1] EN 1670. Railway applications - Track – Safety protection on the track during work - Part 1: Railway risks and common principles for protection of fixed and mobile work sites

[2] EN 16704. Railway applications - Track – Safety protection on the track during work - Part 2-1: Common solutions and technology – Technical requirements for Track Warning Systems (TWS)

[3] EN 16704. Railway applications - Track – Safety protection on the track during work - Part 2-2: Common solutions and technology – Technical requirements for barriers

[4] EN 16704. Railway applications - Track – Safety protection on the track during work - Part 3: Competences of personnel related to work on or near the railway track

[5] KR C-14090. Track safety facilities

[6] พระราชบัญญัติความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554

[7] คู่มือว่าด้วยกฎแห่งความปลอดภัยการรถไฟแห่งประเทศไทย

[8] คู่มือบำรุงทางการรถไฟแห่งประเทศไทย

[9] ข้อกำหนดการเดินรถไฟ การรถไฟแห่งประเทศไทย

# ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก สมรรถนะด้านความปลอดภัยของพนักงานจำแนกตามกิจกรรมการทำงานบนทางรถไฟ

**ตาราง ก.1 แสดงตารางสมรรถนะด้านความปลอดภัยของพนักงานจำแนกตามกิจกรรมการทำงานบนทางรถไฟ**

| | การมองเห็นทั่วไป | การมองเห็นสี | การได้ยิน | ความพร้อมของร่างกาย | การมีสติ | ระดับบังคับ การอ่าน/เขียน | ระดับบังคับ การสื่อสารด้วยวาจาวาจา | การมีสมาธิ | ความจำ | การรับรู้ | การมีเหตุผล | ความเร็วในการตอบสนอง | การแสดงออก | การควบคุมทางอารมณ์ | ความมั่นคงทางพฤติกรรม | การควบคุมตนเอง | ระดับบังคับทักษะมืออาชีพ | ข้อกำหนดเฉพาะ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| การทำงานบนทางรถไฟภายใต้การควบคุมดูแล | X | _ | X | X | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | X | X | X | X | X |
| การทำงานด้วยตนเอง | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | _ | _ | X | X | X | X |
| การสังเกตรถไฟ การให้สัญญาณรถไฟ การเตือนผู้ร่วมงาน | X | X | X | X | X | _ | X | _ | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| การสื่อสารการเตือนผ่านวิทยุหรือโดยตรง | _ | _ | X | X | X | X | _ | _ | _ | X | X | _ | X | X | X | X | X | X |
| การตรวจตราผู้คนออกจากเขตอันตราย | X | _ | X | X | X | _ | _ | _ | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| การป้องกันการเข้าเขตอันตรายโดยมิได้เจตนา | X | _ | X | X | X | _ | _ | _ | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| การควบคุมเครื่องจักรบนทางรถไฟ | X | _ | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| การเดินเครื่องจักรในเขตทำงานบนทางรถไฟ | X | X | X | X | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | X | X | X | X | X |
| การใช้ระบบเตือน | X | _ | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| การสื่อสารกับศูนย์ควบคุม | X | _ | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| การใช้แผนความปลอดภัย | X | _ | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |



| | การมองเห็นทั่วไป | การมองเห็นสี | การได้ยิน | ความพร้อมของร่างกาย | การมีสติ | ระดับบังคับ การอ่าน/เขียน | ระดับบังคับ การสื่อสารด้วยวาจาวาจา | การมีสมาธิ | ความจำ | การรับรู้ | การมีเหตุผล | ความเร็วในการตอบสนอง | การแสดงออก | การควบคุมทางอารมณ์ | ความมั่นคงทางพฤติกรรม | การควบคุมตนเอง | ระดับบังคับทักษะมืออาชีพ | ข้อกำหนดเฉพาะ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| การสอนบุคลากร | X | _ | X | _ | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| การตรวจสอบความเสี่ยงและการวางแผนความปลอดภัยในที่ทำงาน | _ | _ | _ | _ | X | _ | _ | X | _ | _ | _ | _ | _ | X | X | _ | X | X |
| การเข้าทำงานบนทางรถไฟพร้อมกันตลอดเวลา | _ | _ | X | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | _ | X | _ | X |
| อธิบายเครื่องหมาย | X: กำหนดให้ต้องมีความสามารถ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | - : ไม่จำเป็นต้องมีความสามารถ | | | | | | | | | | | | | | | | | |

# มขร S-T-010-256x

## มาตรฐานระบบระบายน้ำบนทางรถไฟ

## Track Drainage Design



สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร พ.ศ. xxxx

# คำนำ

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร ในฐานะหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านการขนส่งทางราง ได้จัดทำมาตรฐานการระบายน้ำทางรถไฟขึ้น พร้อมทั้งได้ประชุมเชิงปฏิบัติการเพื่อระดมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากผู้เชี่ยวชาญด้านการระบายน้ำ เพื่อให้ได้มาตรฐานที่สามารถนำไปใช้เป็นข้อกำหนดในการระบายน้ำทางรถไฟที่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ เพื่อเป็นหลักประกันว่าทางรถไฟจะไม่เสียหายหรือมีผลกระทบจากปัญหาการระบายน้ำ มาตรฐานนี้ได้ใช้มาตรฐาน T HR CI 12130 ST Track Drainage เป็นแนวทาง

หวังเป็นอย่างยิ่งว่ามาตรฐานนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการตามแผนพัฒนามาตรฐานระบบรางของประเทศ และการเพิ่มศักยภาพการกำกับดูแล การบริหารจัดการ และการบริการสาธารณะ ที่สามารถตอบสนองความต้องการของประชาชนได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืนต่อไป



# มขร S-T-010-256x มาตรฐานระบบระบายน้ำบนทางรถไฟ

## 1 ทั่วไป

การระบายน้ำทางรถไฟสามารถนิยามได้ว่าเป็นการดัก (Interception) การรวบรวม (Collection) แล้วท้ายที่สุดเป็นการระบายน้ำ (Drainage หรือ Disposal of Water) ออกจากทางรถไฟไม่ว่าจะทางพื้นผิว (Surface Drainage) หรือใต้ดิน (Subsurface Drainage) โดยอาจเป็นการไหลในรางน้ำเปิด (Open Channel) หรือเป็นการไหลในท่อปิด (Closed Conduit) ทั้งที่เป็นการไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก หรือเป็นการไหลภายใต้แรงดันที่ต้องใช้เครื่องสูบน้ำร่วมในระบบระบายน้ำ ระบบรางรถไฟที่ดีที่สามารถรองรับการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีอายุการใช้งานได้ยาวนานจึงต้องมีระบบระบายน้ำที่เหมาะสม เพราะน้ำถือได้ว่าเป็นปัจจัยทำลายหรืออุปสรรคต่อทางรถไฟ นอกจากนั้นน้ำยังเป็นตัวทำให้โครงสร้างทางรถไฟเกิดความเสียหายได้อย่างมาก อนึ่งการบำรุงรักษาระบบรางรถไฟก็ทำได้ยากลำบากหากไม่มีระบบระบายน้ำที่ดี

โดยทั่วไประบบระบายน้ำทางรถไฟมี 2 หน้าที่หลัก หน้าที่หลักแรกเป็นการลดปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่โครงสร้างส่วนฐานของทางรถไฟ (Track Substructure) และหน้าที่หลักอีกประการเป็นการนำน้ำออกจากโครงสร้างส่วนล่างของทางรถไฟ ระบบระบายน้ำนั้นเกี่ยวข้องกับการไหลหลายรูปแบบ ได้แก่

1) การไหลบ่าของน้ำบนผิวดิน (Surface Runoff)
2) การไหลของน้ำในทางน้ำเปิด (Open-channel Flow) เช่น คูระบายน้ำ (Ditch)
3) การไหลของน้ำในท่อ (Water Flow in Conduits)
4) การไหลของน้ำผ่านวัสดุที่มีความพรุน (Water Flow Through Porous Materials) เช่น หินโรยทาง (Ballast) ชั้นรองหินโรยทาง (Sub-ballast) และ ดินเดิม (Subgrade Soils) และ
5) การไหลของน้ำโดยอาศัยปั๊มหรือเครื่องสูบน้ำ (Water Flow Induced by Pumps)

หลักการพื้นฐานของการไหลของน้ำที่มีความสำคัญและเกี่ยวข้องกับระบบการระบายน้ำทางรถไฟ สามารถแบ่งออกได้ทั้งหมดเป็น 3 หลักการใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้ (1) การไหลของน้ำจากพื้นที่สูงลงสู่พื้นที่ต่ำนั้น นั้นคือเป็นการไหลจากที่ที่มีพลังงานสูงไปสู่ที่ที่มีพลังงานน้อยกว่า (2) เมื่อความชันมากขึ้นหรือเมื่อการเปลี่ยนแปลงของระดับพื้นที่มีมากขึ้น จะทำให้ความเร็วของการไหลเพิ่มมากขึ้น และ (3) การไหลของน้ำขึ้นกับความหยาบของพื้นผิว (Surface Roughness) ชนิดและความหนาแน่นของพืชปกคลุมดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น พื้นผิวมีความหยาบมากหรือมีวัชพืชปกคลุมมาก (ขรุขระมาก) การไหลของน้ำก็จะไม่สะดวกและการระบายน้ำก็จะทำได้ยากลำบากหรือช้าลง เป็นต้น

เนื่องจากทางรถไฟมีหลายประเภท การระบายน้ำทางรถไฟในแต่ละประเภทจึงมีองค์ประกอบของระบบที่แตกต่างกัน ดังนั้นการระบายน้ำทางรถไฟที่ปรากฏในมาตรฐานฉบับนี้ จึงครอบคลุมเฉพาะทางรถไฟประเภททางรถไฟสำหรับระบบขนส่งมวลชนระหว่างเมือง (Intercity Passenger Rail, IPR) และทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งสินค้าระหว่างเมือง (Intercity Freight Rail, IFR) เท่านั้น



### 1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อใช้เป็นข้อกำหนดด้านเทคนิคสำหรับการระบายน้ำบนทางรถไฟในเขตทางรถไฟของประเทศไทย

### 1.2 ขอบเขต

มาตรฐานนี้เป็นข้อกำหนดด้านเทคนิคสำหรับการระบายน้ำบนทางรถไฟของประเทศไทย 2 ประเภท ตามการจำแนกประเภทของทางรถไฟโดยตาม มขร S-T-001-256x มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟได้แก่

- ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งมวลชนระหว่างเมือง (Intercity Passenger Rail, IPR)
- ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งสินค้าระหว่างเมือง (Intercity Freight Rail, IFR)

โดยที่มาตรฐานฉบับนี้ครอบคลุมการระบายน้ำของโครงสร้างทางรถไฟ (Track Formation) ทางถม (Embankment) และทางตัด (Cutting) ทั้งนี้ไม่ได้รวมการระบายน้ำจากชานชาลา อาคาร สะพานยกระดับ สะพานทางเดิน พื้นที่ว่าง ถนนทางเข้า-ออก และการระบายน้ำจากพื้นที่ข้างเคียงเข้ามาในเขตทางรถไฟ อีกทั้งมาตรฐานฉบับนี้ยังไม่ครอบคลุมการออกแบบท่อลอด (Culvert) สะพาน (Bridge) แต่สามารถใช้แนวทางในคู่มือการใช้แบบมาตรฐานท่อลอดถนน (กรมชลประทาน) สำหรับทางรถไฟที่มีลักษณะพิเศษ เช่น ทางรถไฟบนสะพานยกระดับ(Viaduct) สามารถใช้แนวทางในคู่มือการออกแบบและการระบายน้ำบนสะพานและในทางลอด (กรมทางหลวง) สำหรับรางรถไฟประเภทอื่นที่จำแนกใน มขร S-T-001-256x มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ และโครงสร้างส่วนอื่นสามารถประยุกต์ใช้แนวทางของ Southern California Regional Rail Authority (SCRRA Design Criteria Manual) หรือมาตรฐานอื่นที่เกี่ยวข้อง

การนำมาตรฐานฉบับนี้ไปใช้อ้างอิง อาจจำเป็นต้องพิจารณา ปรับปรุงข้อกำหนด หลักเกณฑ์บางประการ รวมถึงสภาพเหตุการณ์วิกฤติด้านอุตุ-อุทกวิทยา ให้สอดคล้องตามลักษณะหรือข้อจำกัดของงานในพื้นที่ให้มีความเหมาะสม

### 1.3 มาตรฐานอ้างอิง

- มาตรฐาน มขร S-T-001-256x มาตรฐานการแบ่งประเภททางรถไฟ
- มาตรฐาน มขร S-T-002-256x มาตรฐานการออกแบบเขตโครงสร้างทางรถไฟ
- มาตรฐาน มขร S-T-003-256x มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง
- มาตรฐาน มขร S-T-004-256x มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟแบบมีหินโรยทาง
- มาตรฐาน มขร S-T-005-256x มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง

## 2 นิยามและสัญลักษณ์

### 2.1 นิยาม

**การระบายน้ำ (Drainage)** คือ การดัก (Interception) การรวบรวม (Collection) แล้วท้ายที่สุดเป็นการระบายน้ำ (Drainage หรือ Disposal of Water) ออกจากระบบทางรถไฟ ไม่ว่าจะทางพื้นผิวดิน (Surface Drainage) หรือใต้ผิวดิน (Subsurface Drainage)



**ความถี่ฝนในการออกแบบ (Design Frequency)** คือ โอกาสความน่าจะเป็น (Probability) ที่ฝนในปีใด ๆ จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า $X$ ที่กำหนดให้ หรือ $P(X \geq x)$

**ฝนออกแบบ (Design Storm)** คือ การกำหนดรูปแบบของฝนเพื่อใช้ในการออกแบบระบบระบายน้ำโดยเป็นตัวแปรนำเข้า (Input) ของระบบสำหรับประเมินอัตราการไหลสูงสุด และปกติฝนออกแบบมักถูกกำหนดอยู่ในรูปของความลึก (Hyetograph)

**พื้นที่รับน้ำฝน (Drainage Area หรือ Catchment Area, *A*)** คือ พื้นที่ทั้งหมดซึ่งน้ำท่าผิวดินที่เกิดจากฝนตกลงบนพื้นที่จะไหลออกสู่ทางออก (Point of Concentration หรือ Outlet) ดังนั้นพื้นที่รับน้ำจึงเกี่ยวข้องกับทางออกอันใดอันหนึ่งโดยเฉพาะ

**ระยะเวลาของการไหลรวมตัว (Time of Concentration, $T_c$)** คือ ระยะเวลาตั้งแต่ฝนเริ่มตกบนพื้นที่รับน้ำหรือพื้นที่ระบายน้ำแล้วเกิดน้ำท่าผิวดินไหลไปยังจุดออก ระยะเวลาตั้งแต่เกิดน้ำท่าจนถึงเวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด ณ จุดออก เรียกว่าระยะเวลาของการไหลรวมตัว

**ระยะเวลาที่ฝนตก (Rainfall Duration, $D_r$)** คือ เวลาที่ฝนเริ่มตกจนถึงเวลาที่ฝนหยุดตก

**ความเข้มฝน (Rainfall Intensity, *I*)** คือ ความลึกของน้ำฝนต่อหน่วยเวลา และในกราฟ IDF มักมีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/ชั่วโมง

**โค้งความสัมพันธ์ของ ความเข้มฝน-ระยะเวลา-ความถี่ (Intensity-Duration-Frequency Curve, IDF-Curve)** คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มฝน ช่วงเวลาการตกของฝน และความถี่ของการเกิดซ้ำ (รอบปีการเกิดซ้ำ)

**รอบปีการเกิดซ้ำในการออกแบบ (Design Return Period, $T_r$)** คือ คาบการกลับหรือรอบการกลับของความรุนแรงของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น 1 ครั้งในรอบที่กำหนด เช่น ฝนตกหนักในรอบการเกิดซ้ำ 100 ปี หมายถึงขนาดความรุนแรงของฝนในรอบ 100 ปี โดยในช่วง 100 ปีนั้น อาจเกิดเหตุการณ์ที่ฝนตกและมีความรุนแรงขนาดนั้นมากกว่า 1 ครั้งหรือ 1 เหตุการณ์ก็ได้

**สัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff Coefficient, *C*)** คือ ปัจจัยที่รวมเอาอิทธิพลหลัก ๆ ในพื้นที่รับน้ำฝนที่มีผลต่อกระบวนการเปลี่ยนน้ำฝนให้เป็นน้ำท่า ได้แก่ การดัก การซึม การเก็บกักน้ำผิวดิน ความลาดเทของพื้นที่รับน้ำ รูปร่างของพื้นที่รับน้ำ และพืชปกคลุมดิน

**เส้นทางรถไฟระหว่างเมือง (Intercity Lines)** คือ เส้นทางรถไฟขนส่งสินค้าและผู้โดยสารที่มีระยะทางรถไฟยาวกว่าขบวนรถไฟฟ้าชานเมือง ได้แก่ ทางรถไฟของการรถไฟแห่งประเทศไทย ประเภท IPR และ IFR

**อัตราการไหลสูงสุด (Maximum Discharge, $Q_{peak}$)** คือ เมื่อเกิดฝนตกบนพื้นที่รับน้ำ น้ำบางส่วนจะถูกดูดซับเอาไว้ส่วนที่เหลือจะกลายเป็นน้ำท่าผิวดินไหลออกสู่ทางออกของพื้นที่รับน้ำ



หากฝนตกนานเท่ากับระยะเวลาการไหลรวมตัว น้ำฝนที่ตกในทุก ๆ จุดบนพื้นที่รับน้ำจะไหลมาถึงทางออกพร้อม ๆ กันทำให้เกิดอัตราการไหลสูงสุด

### 2.2 สัญลักษณ์

| | |
|---|---|
| IPR (Intercity Passenger Rail | คือ ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งมวลชนระหว่างเมือง |
| IFR (Intercity Freight Rail) | คือ ทางรถไฟสำหรับระบบขนส่งสินค้าระหว่างเมือง |
| $C$ | คือ สัมประสิทธิ์น้ำท่า |
| $D_r$ | คือ ระยะเวลาที่ฝนตก (ชม.) |
| IDF | คือ โค้งความสัมพันธ์ของ ความเข้มฝน-ระยะเวลา- ความถี่ |
| $K$ | คือ สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำผ่านวัสดุมวลรวม |
| $Q_{peak}$ | คือ อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./วินาที) |
| $T_c$ | คือ ระยะเวลาของการไหลรวมตัว (ชม.) |

## 3 ข้อกำหนดของการออกแบบ

ข้อกำหนดนี้จัดทำขึ้นสำหรับการระบายน้ำทางรถไฟเพื่อระบบขนส่งระหว่างเมือง ครอบคลุมการระบายน้ำผิวดินและการระบายน้ำใต้ผิวดิน รายละเอียดอื่น ๆ ที่ใช้ประกอบมาตรฐานฉบับนี้ เช่น ทฤษฎี ตัวอย่างประกอบการคำนวณ ตลอดจนวิธีการก่อสร้างและบำรุงรักษา จะปรากฏอยู่ในคู่มือบทการระบายน้ำบนทางรถไฟ

ข้อกำหนดนี้เป็นการระบายน้ำเฉพาะเขตทางรถไฟ นั้นคือไม่รับน้ำจากแหล่งน้ำอื่นเข้ามาในระบบระบายน้ำทางรถไฟ สำหรับทางรถไฟที่มีหลายทางรถไฟ (มขร S-T-002-256X มาตรฐานเขตโครงสร้างทางรถไฟ, มขร S-T-004-256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง และ มขร S-T-005-256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดไม่มีหินโรยทาง)

ไม่ควรที่จะออกแบบระบบระบายน้ำให้ตัดขวางกัน ตัวอย่างเช่น ถ้ามีสามทางรถไฟควรจะวางอย่างน้อยหนึ่งทางเป็นระบายน้ำใต้ดิน และเป็นการระบายน้ำโดยใช้มวลรวมและท่อ

ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา เช่น ความเข้มฝน ปริมาณน้ำหลาก ระดับน้ำท่วมสูงสุด ฯลฯ ในการออกแบบระบบระบายน้ำจะต้องรวบรวมข้อมูลมาเพื่อการวิเคราะห์จำนวนอย่างน้อย 30 ปี ล่าสุดหรือยาวนานที่สุดเท่าที่จะหาได้ (แต่ไม่ควรต่ำกว่า 10 ปี) และควรใช้สถานีตรวจวัดที่อยู่ใกล้กับพื้นที่ก่อสร้างมากที่สุด

### 3.1 ประเภทของระบบระบายน้ำทางรถไฟ

การเลือกประเภทของระบบระบายน้ำทางรถไฟสำหรับแต่ละพื้นที่นั้นขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของพื้นที่ แหล่งกำเนิดน้ำที่ต้องระบาย โครงสร้างระบบราง และการบำรุงรักษาภายหลัง อย่างไรก็ตามสามารถจำแนกออกได้เป็นสองประเภทนั้นคือ ระบบระบายน้ำผิวดิน และระบบระบายน้ำใต้ผิวดิน

ระบบระบายน้ำผิวดินมักเป็นตัวเลือกอันดับแรกสำหรับการออกแบบระบบระบายน้ำทางรถไฟ เนื่องจากเหตุผลทางด้านความสะดวกของการก่อสร้างและการบำรุงรักษาภายหลัง อย่างไรก็ตามบาง

พื้นที่มีความจำเป็นต้องเลือกระบบระบายน้ำใต้ผิวดิน เพราะการก่อสร้างระบบระบายน้ำผิวดินไม่สามารถดำเนินการได้สะดวกหรือมีข้อจำกัดบางประการ หรือข้อจำกัดของตำแหน่งระบายน้ำออก (Outlets) เช่น ตำแหน่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ชานชาลา (Platforms)
- อุโมงค์ (Tunnels)
- กำแพงกันดิน (Retaining Walls)
- ทางตัด (Cuttings)
- ชุมทาง/ทางหลีก (Junctions)
- รางรถไฟหลายทางรถไฟ (Multiple Tracks)
- สะพาน (Bridges)

### 3.2 ช่วงชีวิตของระบบระบายน้ำที่ออกแบบ

ช่วงชีวิตต่ำสุดของการออกแบบระบบระบายน้ำทางรถไฟควรใช้เท่ากับ 100 ปี

### 3.3 รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ยที่ออกแบบ

รอบปีการเกิดซ้ำเฉลี่ยที่ใช้ออกแบบระบบระบายน้ำทางรถไฟโดยทั่วไปควรใช้เท่ากับ 100 ปี ยกเว้นการระบายน้ำของทางหลีก (Siding Track Drainage) สำหรับการออกแบบการระบายน้ำของทางหลีกหลักควรใช้รอบปีการเกิดซ้ำเท่ากับ 50 ปี

### 3.4 อัตราการไหลหลากสูงสุด

การประมาณค่าอัตราการไหลหลากสูงสุดสำหรับการออกแบบระบบระบายน้ำทางรถไฟ สามารถคำนวณได้จากวิธี Rational Method ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมโดยทั่วไป อัตราการไหลสูงสุดนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของโค้งความเข้มฝน ช่วงเวลา ความถี่ (รอบปีการเกิดซ้ำสำหรับการออกแบบที่กำหนด) พื้นที่รับน้ำฝน ระยะเวลาของการไหลรวมตัว และสัมประสิทธิ์น้ำท่า (แปรผันตามลักษณะเฉพาะของพื้นผิวและความลาดชัน เช่น คอนกรีตจะมีค่าเข้าใกล้ 1.0 ส่วนพื้นที่ที่เป็นป่าหนาแน่นจะมีค่าน้อย) อย่างไรก็ตามวิธีการข้างต้นสามารถใช้ได้กับพื้นที่ที่มีพื้นที่กำเนิดน้ำไม่เกิน 25 ตร.กม. ถ้าพื้นที่กำเนิดน้ำมากกว่าค่าที่กำหนดสามารถใช้วิธีอื่นในการประเมินการไหลหลากสูงสุดได้ เช่น วิธีกราฟน้ำท่า (Hydrograph) หรือวิธีการวิเคราะห์ด้วยหลักความถี่การเกิดโดยพิจารณาทั้งลุ่มน้ำ (Regional Flood Frequency Analysis)

ฝนพายุสำหรับการคำนวณอัตราการไหลหลากสูงสุดควรพิจารณาจากหลาย ๆ เหตุการณ์เพื่อให้ได้ตัวแทนของพายุฝนที่ใช้ออกแบบ โดยเลือกเหตุการณ์วิกฤติเป็นฝนออกแบบในการประมาณอัตราการไหลหลากสูงสุด อัตราการไหลหลากสูงสุดยังขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่รับน้ำด้วย โดยปกติขนาดของพื้นที่รับน้ำจะได้จากการสำรวจพื้นที่จริง หรือประเมินจากแผนที่ภูมิประเทศ

นอกจากนั้น หากมีน้ำจากแหล่งอื่นเข้ามาในระบบรางรถไฟจะต้องนำน้ำนั้นมาพิจารณาร่วมเพื่อกำหนดค่าอัตราการไหลหลากสูงสุดด้วย

### 3.5 ข้อพิจารณาทั่วไปในการออกแบบ

ระบบระบายน้ำบนทางรถไฟจะต้องดำเนินการก่อสร้างให้เพียงพอ การระบายน้ำต้องเป็นไปโดยสะดวกไม่มีสิ่งกีดขวางการไหลเพื่อให้การระบายน้ำออกจากทางรถไฟโดยเร็วที่สุด และสภาพแวดล้อม เช่น ความเป็นกรดหรือเป็นด่างของแต่ละพื้นที่จะมีผลต่อการพิจารณาเลือกวัสดุสำหรับงานระบายน้ำ ดังนั้นในการออกแบบและการเลือกใช้วัสดุ เช่น ท่อระบายน้ำจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของท่อนั้นจากข้อกำหนดของผู้ผลิตว่าจะต้องทนต่อสะภาพแวดล้อมที่คาดว่าจะเกิดขึ้นได้ในหลากหลายสถานการณ์

การวางท่อระบายน้ำเป็นแนวตรงอาจเป็นปัญหากับแนวโค้งของทางรถไฟ (มขร S-T-003-256X มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง) ประเด็นปัญหาข้างต้นสามารถแก้ไขได้โดยการลดระยะระหว่างบ่อตรวจให้สั้นลง

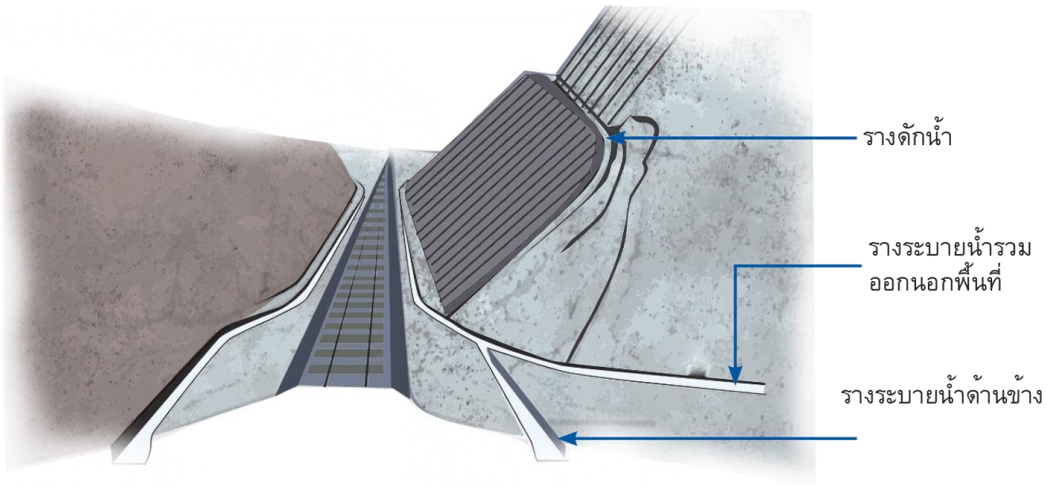
ผลกระทบถาวรจากระบบระบายน้ำที่อาจเกิดขึ้นกับโครงสร้างเดิม เช่น โครงสร้างของสายส่งเหนือศีรษะ (Overhead Wiring) กำแพงกันดิน ชานชาลา คันดิน หรือระบบอื่น ๆ จะต้องได้รับการพิจารณาในการออกแบบเพื่อป้องกันปัญหาไว้ก่อน เช่นปัญหาการขาดเสถียรภาพของโครงสร้างเดิมหากมีงานขุดดินสำหรับงานระบายน้ำ

## 4 การออกแบบระบบระบายน้ำผิวดิน

ระบบระบายน้ำทางรถไฟทางผิวดินจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ระบบระบายน้ำต้องไม่กีดขวางฐานรากของเสาไฟหรือเสาสายสัญญาณ
- ระบบระบายน้ำต้องคำนึงถึงการปฏิสัมพันธ์กับรูปแบบโครงสร้างทางรถไฟที่อยู่ข้างเคียง
- การออกแบบต้องพึงระวังไม่ให้หินโรยทางตกลงไปในทางหรือท่อระบายน้ำ ( มขร S-T-004-256X มาตรฐานการออกแบบทางรถไฟชนิดมีหินโรยทาง)

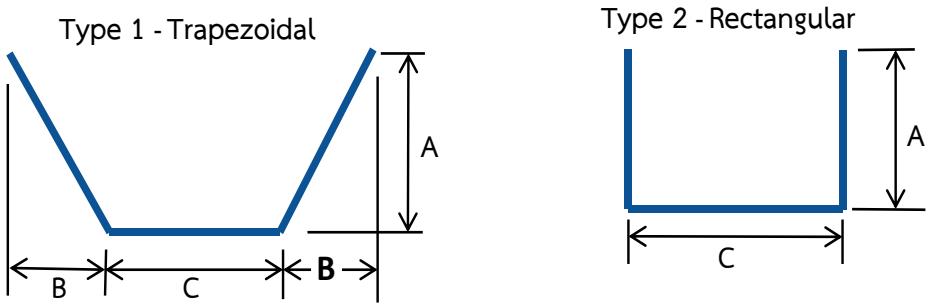
ในกรณีที่มีการก่อสร้างทางรถไฟใหม่เพิ่มเติม ระบบระบายน้ำเดิมที่มีอยู่จำเป็นจะต้องได้รับการพิจารณาออกแบบใหม่เพื่อให้รองรับอัตราการไหลที่อาจเพิ่มขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดัง**รูปที่ 10-1**




**รูปที่ 10-1 ประเภทของระบบระบายน้ำผิวดิน**

## 4.1 รางระบายน้ำด้านข้าง

ศักยภาพการไหลของน้ำในรางน้ำเปิด (Open Channel) จะต้องสูงกว่าอัตราการไหลหลากสูงสุด (Peak Flow Rate) เพื่อความสะดวกในการบำรุงรักษาภายหลังควรเลือกขนาดรางน้ำเปิดที่ใหญ่ ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจได้ว่าปัญหาการตกตะกอนในรางน้ำเปิดจะไม่ทำให้ประสิทธิภาพของการระบายน้ำลดลง ขนาดมิติน้อยที่สุดของรางน้ำเปิด (รูปสี่เหลี่ยมคางหมูและรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังแสดงใน**รูปที่ 10-2** ควรมีค่า $A = 200$ มิลลิเมตร, $B = 200$ มิลลิเมตร และ $C = 300$ มิลลิเมตร และความลาดเอียงตามยาวของรางน้ำเปิดควรจะไม่น้อยกว่า 1 : 200




**รูปที่ 10-2 ขนาดมิติขั้นต่ำสำหรับรางน้ำเปิด (ไม่ตามมาตราส่วน)**

ตำแหน่งการวางระบบระบายน้ำแบบทางน้ำเปิดควรมีระยะห่างจากคันทางรถไฟที่เหมาะสม มขร S-T-003-256X มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง ในกรณีที่รางระบายน้ำเปิดต้องวางในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดของโครงสร้างเดิม เช่น รางน้ำเปิดที่ถูกขุดระหว่างทางรถไฟ ในกรณีนี้รางน้ำเปิดยังคงต้องมีระยะห่างจากทางรถไฟระยะหนึ่งเพื่อป้องกันมิให้หินโรยทางตกลงไปในทางระบายน้ำ ทั้งนี้ขอบของรางน้ำเปิดที่อยู่ใกล้กับทางรถไฟต้องมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 2,800 มิลลิเมตร เมื่อวัดจากกึ่งกลางของทางรถไฟ ท้องของรางน้ำเปิดต้องไม่อยู่สูงกว่าคันทาง



วัสดุที่ใช้ในรางน้ำเปิดจะต้องสามารถทนต่อการกัดเซาะเนื่องจากความเร็วของการไหลของน้ำได้ โดยความเร็วของการไหลอาจประเมินได้จากสมการของ Manning ทั้งนี้ความเร็วสูงสุดที่ยอมให้สำหรับรางน้ำเปิดแต่ละรูปแบบแสดงได้ใน**ตารางที่ 10-1**

**ตารางที่ 10-1 ความเร็วของการไหลสูงสุดที่ยอมให้ในรางน้ำเปิด**

| ชนิด/วัสดุของรางน้ำเปิด | ความเร็ว (เมตร/วินาที) |
|---|---|
| ทรายละเอียด (Fine Sand) | 0.45 |
| ดินร่วนปนตะกอนทราย (Silt Loam) | 0.60 |
| กรวดละเอียด (Fine Gravel) | 0.75 |
| ดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) | 0.90 |
| กรวดหยาบ (Coarse Gravel) | 1.20 |
| หินดินดาน หรือ ชั้นดานแข็ง (Shale or Hardpan) | 1.50 |
| หญ้าปกคลุม (Grass Covered) | 1.80 |
| หิน (Stones) | 2.50 |
| ยางมะตอย (Asphalt) | 3.00 |
| ก้อนหินมนขนาดใหญ่ (Boulders) | 5.00 |
| คอนกรีต (Concrete) | 6.00 |

น้ำท่าทั้งหมดจากพื้นที่รับน้ำด้านข้างจะถูกระบายออกสู่ลำน้ำเดิมหรือเส้นทางน้ำเดิมที่มีอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม น้ำที่ระบายออกนี้ต้องไม่ก่อให้เกิดปัญหาการระบายน้ำต่อพื้นที่ข้างเคียง เช่น น้ำท่วมในพื้นที่ระบายน้ำออก

## 4.2 รางดักน้ำ (Catch Drains)

ถ้าลาดทางตัดสูงมากควรดำเนินการก่อสร้างรางดักน้ำ ซึ่งอาจเป็นรางหรือท่อระบายน้ำวางอยู่เนินด้านบนเพื่อเบี่ยงน้ำออกจากทางตัด ขอบรางระบายน้ำต้องห่างจากทางตัดไม่น้อยกว่า 1,000 มิลลิเมตร หรือในตำแหน่งที่เหมาะสม โดยทั่วไปต้องมีรางดักน้ำทุก ๆ ความสูงของลาดทางตัดไม่เกิน 5 เมตร

ในพื้นที่ด้านลาดเขา (Downhill) ควรวางท่อหรือรางระบายน้ำด้านข้างไว้เพื่อระบายน้ำจากทางถม (**รูปที่ 10.1**) โดยที่ทางระบายน้ำควรต้องมีระยะห่างจากจากคันดินหรือทางถมอย่างน้อย 1,000 มิลลิเมตร รางระบายน้ำด้านข้างอาจเป็นรางดาดหรือไม่ดาดก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งและสภาพของดินว่าสามารถทนต่อการกัดเซาะเนื่องจากความเร็วของการไหลได้หรือไม่ ท่อครึ่งวงกลมหรือรางตื้นอาจสามารถใช้แทนรางดาดคอนกรีตได้

## 4.3 รางระบายน้ำรวมออกนอกพื้นที่

โดยปกติในทุก ๆ ระยะทาง 100 เมตร ควรมีระบบระบายน้ำออกนอกพื้นที่ (เขตทางรถไฟ) และทุก ๆ ทางตัด (Cutting) จะต้องมีรางหรือท่อระบายน้ำรวมออกนอกพื้นที่ (รูปที่ 1) ความลาดชันน้อยที่สุดของรางระบายน้ำออกไม่ควรต่ำกว่า 1 : 200 และจุดด้านท้ายของรางระบายน้ำออกนอกพื้นที่จะต้องมีการป้องกันการกัดเซาะด้านปลายท่อระบายน้ำออกเนื่องจากความเร็วของการไหล



ในการออกแบบควรสำรวจลำรางธรรมชาติหรือแม่น้ำด้านท้ายน้ำจุดระบายน้ำออกด้วยว่าปริมาณน้ำที่ระบายออกจากทางรถไฟจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำท่วมพื้นที่อื่น ๆ หากลำรางธรรมชาติด้านท้ายน้ำแคบก็ควรขยายหน้าตัดการไหล และตรงจุดระบายน้ำออกในช่วงฤดูน้ำหลากหรือฝนตกหนักการไหลตรงจุดนั้นจะต้องไม่สามารถเอ่อเข้ามาสู่ทางรถไฟได้

# 5 การออกแบบระบบระบายน้ำใต้ผิวดิน (Subsurface Drainage)

ควรพิจารณาใช้ระบบระบายน้ำใต้ผิวดินเมื่อระบบระบายน้ำผิวดินไม่สามารถรองรับปริมาณน้ำที่ต้องระบายได้เพียงพอ หรือเนื่องจากข้อจำกัดบางประการของการก่อสร้างระบบระบายน้ำผิวดิน หรือตำแหน่งระบายน้ำทิ้งไม่เหมาะสม ในพื้นที่ที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่ใกล้เคียงกับระดับพื้นทางรถไฟจะต้องมีระบบระบายน้ำใต้ผิวดิน นอกจากนั้นบางพื้นที่น้ำใต้ดินอาจอยู่ภายใต้แรงดัน จึงจำเป็นต้องมีระบบระบายน้ำใต้ผิวดินเพื่อลดระดับแรงดันน้ำด้วย และระบบระบายน้ำใต้ผิวดินอาจวางแนวตามยาวหรือตามแนวขวางทางรถไฟก็ได้ขึ้นอยู่กับความจำเป็นและความเหมาะสม

ระบบระบายน้ำใต้ผิวดินควรต้องออกแบบให้สามารถลำเลียงน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และน้ำซึม รวมถึงน้ำที่รวมจากแหล่งอื่น ออกนอกเขตทางรถไฟ หรือเข้าสู่ระบบอื่นที่ออกแบบไว้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าระบบน้ำใต้ดินต้องออกแบบให้ลดระดับหรือปริมาณน้ำใต้ดินรวมถึงน้ำซึม ควรต้องสำรวจและศึกษาคุณลักษณะเฉพาะด้านอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่นั้น ๆ โดยละเอียดสำหรับคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องระบาย

## 5.1 การระบายน้ำด้วยท่อ

การคำนวณอัตราการไหลสูงสุดของระบบระบายน้ำที่จะออกแบบ สามารถคำนวณได้โดยวิธี Rational Method ทั้งนี้สามารถปรับเพิ่มค่าที่คำนวณจากวิธีการข้างต้นได้ เนื่องจากอาจมีน้ำใต้ดินจากส่วนอื่นและน้ำที่รวมจากระบบอื่นเข้ามาเพิ่มในท่อ นอกจากนั้นการประเมินการอัตราการไหลสูงสุดอาจทำได้โดยวิธีอื่น ๆ เช่น วิธีกราฟน้ำท่า (Hydrograph)

ในทางปฏิบัติสามารถใช้ท่อที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ออกแบบได้ การเลือกใช้ท่อที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ออกแบบจะสามารถลดความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นต่อระบบ เช่น มีวัสดุกีดขวางการไหลในท่อ รวมทั้งยังทำให้ระบบระบายน้ำง่ายต่อการทำความสะอาด และด้วยเหตุผลด้านการบำรุงรักษา ดังนั้นเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กที่สุดของท่อจึงไม่ควรน้อยกว่า 225 มิลลิเมตร

ความลาดเอียงตามยาวของท่อควรมีอัตราส่วนเท่ากับ 1 : 100 ในกรณีที่ไม่อาจวางความลาดเอียงของท่อตามเกณฑ์ข้างต้นได้ ความลาดเอียงต่ำสุดก็ไม่ควรเกิน 1 : 200 และความลึกของท่อระบายน้ำที่ฝังใต้ระบบรางไม่ควรน้อยกว่า 1,600 มิลลิเมตร โดยวัดจากส่วนบนสุดของรางรถไฟถึงส่วนบนสุดของท่อ ในกรณีที่วางท่อขนานกับรางรถไฟใต้ทางเดินความลึกของท่อไม่ควรน้อยกว่า 600 มิลลิเมตร สำหรับบางพื้นที่ที่ไม่สามารถวางท่อระบายน้ำให้มีความลึกอย่างน้อยตามข้อกำหนดข้างต้นได้ สามารถที่จะลดความลึกการฝังของท่อลงได้ในแต่ละกรณี คือ

- สำหรับท่อที่วางใต้รางรถไฟควรมีความลึกอย่างน้อยเท่ากับ 1,200 มิลลิเมตร วัดจากส่วนบนสุดของรางรถไฟถึงส่วนบนสุดของท่อ



– สำหรับท่อที่วางใต้ทางเดินคู่ขนานกับรางรถไฟความมีความลึกอย่างน้อย 300 มิลลิเมตร จากส่วนบนสุดของทางเดิน หรือ 1,000 มิลลิเมตร จากส่วนบนสุดของรางรถไฟที่อยู่ใกล้เคียง

และวัสดุท่อที่นิยมใช้ ได้แก่
– ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก
– ท่อคอนกรีตเสริมเส้นใย
– ท่อเหล็ก

โดยท่อแต่ละประเภทในข้างต้นในการใช้งานจะต้องเป็นไปตามข้อแนะนำของผู้ผลิต

## 5.2 การระบายน้ำโดยใช้วัสดุมวลรวม

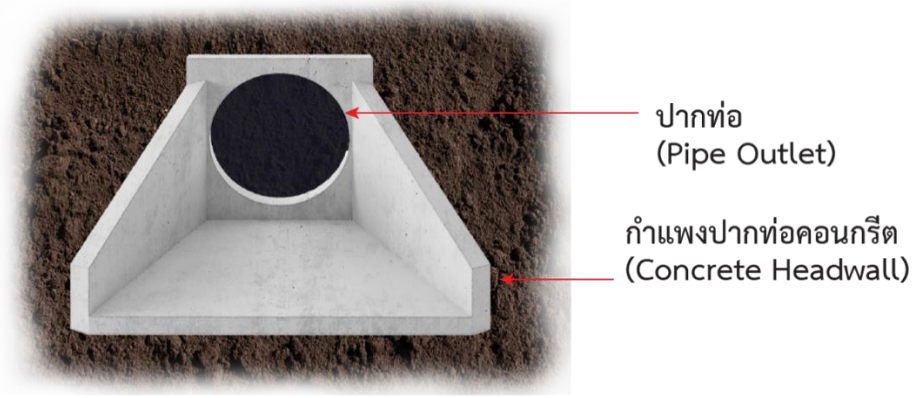
การระบายน้ำโดยใช้วัสดุมวลรวมเหมาะกับกรณีที่คาดว่าปริมาณน้ำใต้ดินหรือน้ำจากการซึมผ่านมีปริมาณน้อย การระบายน้ำด้วยวัสดุมวลรวมไม่สามารถที่จะใช้สำหรับการระบายน้ำที่หลากบนพื้นผิวได้ (Surface Runoff)

ในการออกแบบการระบายน้ำผ่านวัสดุมวลรวมโดยการซึม สามารถประมาณค่าอัตราการซึมหรือการระบายได้โดยสมการของดาร์ซี่ (Darcy's Equation) ตัวอย่างเช่น ความสามารถในการซึมผ่านของกรวดสะอาดจะอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.1 เมตร/วินาที โดยวัสดุมวลรวมที่ใช้ในการระบายน้ำควรมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 20 มิลลิเมตร ถึงขนาด 53 มิลลิเมตร (สำหรับทางรถไฟแบบหินโรยทาง) โดยค่าการซึมผ่านของน้ำผ่านวัสดุมวลรวมข้างต้นมีค่าดังนี้
– มวลรวมขนาด 20 มิลลิเมตร ค่าการซึมผ่านของน้ำ K = 0.15 เมตร/วินาที
– มวลรวมขนาด 53 มิลลิเมตร ค่าการซึมผ่านของน้ำ K = 0.40 เมตร/วินาที

ระบบระบายน้ำด้วยวัสดุมวลรวม จะต้องมีการวางแผ่นใยสังเคราะห์ด้วยเพื่อป้องกันการพัดพาของวัสดุขนาดเล็ก ที่อาจไหลไปกับน้ำเนื่องจากการซึม

## 5.3 ทางน้ำเข้าและทางน้ำออก

เพื่อป้องกันการกัดเซาะหรือการพังทลายของดิน ทางน้ำเข้า (Inlet) และทางน้ำออก (Outlet) จะต้องมีขนาดกำแพงปากท่อ (Headwall) ที่เหมาะสมและวางระดับสอดคล้องกับระดับดินเดิม แสดงดัง**รูปที่ 10-3** บริเวณจุดทางน้ำออกพื้นดินต้องแน่นหนามั่นคงสามารถรองรับอัตราการไหลออกของน้ำโดยไม่ก่อให้เกิดการกัดเซาะ สำหรับพื้นที่ที่มีการชะล้างหน้าดินปริมาณน้ำที่ต้องระบายจะมีความเข้มข้นของตะกอนด้วยดังนั้นระบบจึงต้องมีบ่อดักตะกอน




**รูปที่ 10-3 กำแพงปากท่อคอนกรีต (Concrete Headwall)**

## 5.4 บ่อตรวจ

บ่อตรวจเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นเนื่องจากเป็นจุดรวมน้ำ และระบบต้องมีบ่อตรวจก็เพื่อประโยชน์ด้านความสะดวกของการบำรุงรักษาระบบระบายน้ำในภายหลัง บ่อตรวจควรมีระยะห่างระหว่างกึ่งกลางของแต่ละบ่อในช่วง 30 เมตร ถึง 50 เมตร ในกรณีของบ่อตรวจมีแนวผ่านชานชาลา ระยะห่างจากบ่อหนึ่งถึงอีกบ่อหนึ่งควรมีค่าลดลงอยู่ที่ระหว่าง 20 เมตร ถึง 30 เมตร เมื่อแนวของบ่อตรวจต้องโค้งไปตามแนวของทางรถไฟระยะห่างของแต่ละบ่อก็ควรลดลงไปอีกเพื่อให้ได้แนวโค้งที่เหมาะสมตามเส้นทางรถไฟ (มขร S-T-003-256X มาตรฐานการออกแบบและวางแนวเส้นทาง)

ถ้าบ่อตรวจอยู่ใกล้กับบริเวณประแจ (Turnout) ตำแหน่งของบ่อควรจะวางให้พอดีในพื้นที่ว่างระหว่างหมอนทางรถไฟ ซึ่งขนาดภายในของด้าน กว้าง×ยาว ที่เล็กที่สุดของบ่อตรวจควรมีค่าเท่ากับ 600 มิลลิเมตร × 600 มิลลิเมตร สำหรับบ่อตรวจที่ลึกมากกว่า 1 เมตร และขนาด 450 มิลลิเมตร × 450 มิลลิเมตร สำหรับบ่อที่ลึกน้อยกว่า 1 เมตร

บางครั้งบ่อตรวจที่เป็นบ่อคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast) ก็สามารถใช้ในระบบได้เช่นเดียวกันกับบ่อตรวจที่หล่อในที่ (Cast in-situ) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม

## 5.5 แผ่นใยสังเคราะห์

วัตถุประสงค์หลักของการใช้แผ่นใยสังเคราะห์ในงานระบายน้ำใต้ดินเพื่อให้เป็นวัสดุหรือตัวกรองสำหรับป้องกันเม็ดดินหรือวัสดุขนาดเล็กไม่ให้ผ่านหรือไหลไปกับน้ำที่ต้องการระบายออก เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ข้างต้นแผ่นใยสังเคราะห์จึงต้องมีคุณสมบัติเฉพาะต่าง ๆ ดังนี้

- เป็นแผ่นใยที่ยอมให้มีการซึมผ่านของน้ำได้ดี
- มีความคงทน (รวมถึงในระหว่างขั้นตอนของการก่อสร้างด้วย)
- กรองน้ำได้ดี
- ไม่มีปัญหาการอุดตันเนื่องจากวัสดุหรือเม็ดดินขนาดเล็กหรือละเอียด
- มีความยืดหยุ่น



การเลือกใช้แผ่นใยสังเคราะห์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพื้นที่และสภาพแวดล้อมนั้นต้องเป็นไปตามศักยภาพการซึมผ่านได้ของน้ำ ทั้งนี้ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินในแต่ละพื้นที่ และข้อจำกัดของศักยภาพการระบายน้ำในพื้นที่เฉพาะนั้น ๆ ด้วย

# 6 การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบระบายน้ำ

การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบระบายน้ำบนทางรถไฟถือว่าเป็นเรื่องจำเป็นมิอาจหลีกเลี่ยงได้ การตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบระบายน้ำบนทางรถไฟถือว่าเป็นเรื่องจำเป็นมิอาจหลีกเลี่ยงได้ น้ำต้องสามารถระบายออกจากทางรถไฟโดยเร็วที่สุด

ปัญหาสำคัญของงานระบายน้ำ คือ การอุดตันเนื่องจากการตกตะกอนหรือเศษวัสดุที่ไหลมากับน้ำ โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศแบนราบและทางระบายน้ำมีความลาดชันน้อย จะเกิดการตกตะกอนได้มากเนื่องจากความเร็วของของการไหลต่ำ สำหรับพื้นที่ที่มีสภาพภูมิประเทศมีความลาดชันจะมีการทับถมจากการตกตะกอนน้อย เนื่องจากน้ำไหลด้วยความเร็วพอที่จะพัดพาตะกอนออกไปได้ด้วยตัวเอง อนึ่งตรงจุดระบายน้ำออกนอกพื้นที่ต้องตรวจสอบการกัดเซาะด้านท้ายด้วยหากตรวจพบต้องดำเนินการแก้ไข เนื่องจากอาจทำให้ระบบระบายน้ำออกนอกพื้นที่เสียหายหรือประสิทธิภาพลดลงได้

นอกจากปัญหาของการตกตะกอนแล้ว ตัวโครงสร้างของอาคารประกอบ เช่น บ่อตรวจและฝาปิด หรือแม้แต่ตัวรางหรือท่อระบายน้ำเองจะต้องทำการตรวจสอบให้อยู่ในสภาพที่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝาปิดบ่อพักหรือบ่อตรวจมักจะเกิดความเสียหายได้ง่ายเนื่องจากการผุกร่อน หากตรวจสอบพบความเสียหายจะต้องเปลี่ยนหรือซ่อมแซมทันที

ดังนั้น เพื่อให้การระบายน้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น จึงต้องมีการวางแผนบำรุงรักษาทางระบายน้ำเป็นประจำอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง โดยวางแผนดำเนินการในช่วงก่อนฤดูฝนเพื่อเป็นการเตรียมให้ทางระบายน้ำสามารถรับน้ำฝนและระบายน้ำได้อย่างรวดเร็ว อันเป็นการป้องกันมิให้เกิดปัญหาขึ้น นอกจากนั้นวิศวกรหรือผู้เกี่ยวข้องควรบันทึกและรวบรวมเหตุการณ์หรือปัญหาและสาเหตุที่เกิดกับระบบระบายน้ำพร้อมแนวทางแก้ไข แผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมและดินถล่ม เพื่อเป็นประโยชน์ในการวินิจฉัย ออกแบบ ป้องกัน และบำรุงรักษาระบบระบายน้ำในอนาคต

# 7 เอกสารและข้อมูลที่จำเป็นสำหรับงานระบายน้ำทางรถไฟ

## 7.1 แบบรายละเอียด

การที่จะได้มาซึ่งแบบรายละเอียดจะต้องมีการวางแผนและการสำรวจพื้นที่โครงการเพื่อให้ได้รายละเอียดต่าง ๆ ที่ครบถ้วน โดยแบบรายละเอียดควรประกอบด้วย

- ระดับและแนวเส้นทางรถไฟ
- รายละเอียดของทางระบายน้ำออก
- ผังรวมของระบบระบายน้ำรวมทั้งผังของระบบระบายน้ำเดิมที่มีอยู่แล้ว
- ตำแหน่งของอาคารองค์ประกอบต่าง ๆ
- หน้าตัดตามขวาง
- หน้าตัดตามยาว



- ความลึกของท่อและรางระบายน้ำ
- รายละเอียดของการก่อสร้างท่อหรือรางระบายน้ำ
- รายละเอียดของบ่อตรวจ
- รายละเอียดของวิธีการป้องกันการกัดเซาะ
- รายละเอียดของแอ่งหน่วงน้ำ (ถ้ามี)

### 7.2 รายงานด้านอุทกวิทยาและชลศาสตร์ (Hydrology/Hydraulic Reports)

งานระบายน้ำเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับอุทกวิทยาและชลศาสตร์ ดังนั้นข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้จึงต้องรวบรวมหรือสำรวจมา เพื่อเป็นองค์ประกอบในการออกแบบระบบระบายน้ำ ประกอบด้วย

- ข้อมูลเหตุการณ์น้ำท่วม ฝนสูงสุด ระดับน้ำสูงสุด ฯลฯ
- รายละเอียดและศักยภาพการระบายน้ำของพื้นที่รับน้ำ
- วิธีการคำนวณ
- พารามิเตอร์สำหรับคำนวณด้านอุทกวิทยา
- พารามิเตอร์สำหรับคำนวณด้านชลศาสตร์
- ผลการวิเคราะห์ระบบระบายน้ำ (ทั้งระบบเดิมที่มีอยู่และระบบใหม่)
- ความปลอดภัยของการออกแบบและค่าความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น
- ผลลัพธ์จากแบบจำลองคณิตศาสตร์
- ภาพถ่ายของพื้นที่จริงในมุมมองต่าง ๆ

บางพื้นที่แนวทางการระบายน้ำอาจทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความเหมาะสม ดังนั้นในรายงานควรมีเนื้อหาต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ประกอบ

- ภาพร่างของแต่ละทางเลือก
- ประมาณการค่าใช้จ่ายของแต่ละทางเลือก
- เปรียบเทียบข้อดีข้อด้อยของแต่ละทางเลือก
- ข้อแนะนำพร้อมเหตุผลว่าควรเลือกแนวทางใดจึงเหมาะสม

# บรรณานุกรม


[1] มาตรฐานงานทางหลวงท้องถิ่น (มถ.) 502-2550 มาตรฐานงานระบายน้ำและโครงสร้างประกอบอื่น ๆ

[2] มาตรฐานงานทางหลวงท้องถิ่น (มถ.) 501-2550 มาตรฐานงานท่อระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก

[3] มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (มยผ.) 1914-52 มาตรฐานการระบายน้ำสำหรับงานถมดิน

[4] คู่มือการออกแบบอาคารระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง. กรมทางหลวง พ.ศ. 2554

[5] คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานและในทางลอด กรมทางหลวง

[6] คู่มือการใช้แบบมาตรฐานท่อลอดถนน (มฐ.) 04-01 กรมชลประทาน

[7] การรถไฟแห่งประเทศไทย: รายการมาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างพื้นทางรถไฟ พ.ศ. 2558

[8] การรถไฟแห่งประเทศไทย: คู่มือบำรุงทาง พ.ศ. 2559

[9] การรถไฟแห่งประเทศไทย: คู่มือปฏิบัติการบำรุงทางตามวาระ. พ.ศ. 2558

[10] T HR CI 12130 ST Track Drainage. State of NSW through Transport for NSW. Version 1, 2015

[11] SCRRA Design Criteria Manual, Southern California Regional Rail Authority, 2014

กลุ่มที่ปรึกษาโครงการ






**สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.)**
35 ถนนเพชรบุรี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400
โทรศัพท์ 02-2151515 โทรสาร 02-2155500