



QA

ระบบการประกันคุณภาพ (Quality Assurance) ของกรมทางหลวงชนบท



ด้านแผนงาน



ด้านสำรวจและออกแบบ



ด้านก่อสร้างทาง



ด้านก่อสร้างสะพาน



ด้านบำรุงรักษาและอำนวยความสะดวก



ด้านการกำกับและบังคับใช้กฎหมาย

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
บทนำ	
บทที่ ๑ งานสำรวจความเหมาะสมและการมีส่วนร่วมเบื้องต้น	
๑.๑ ศึกษาความเป็นมาของโครงการ	๑-๑
๑.๒ ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	๑-๒
๑.๓ การจัดการมีส่วนร่วมเบื้องต้น	๑-๓
๑.๔ ประมวลผลการมีส่วนร่วม	๑-๑๑
๑.๕ พิจารณาความเหมาะสม	๑-๑๑
บทที่ ๒ งานสำรวจรายละเอียด	
๒.๑ การจัดเตรียมอุปกรณ์	๒-๑๒
๒.๒ การสำรวจเก็บรายละเอียดพื้นที่	๒-๒๓
๒.๓ การบันทึกข้อมูลโครงการ	๒-๔๓
๒.๔ การประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจ	๒-๔๔
๒.๕ การจัดทำแบบแปลนพื้นที่โครงการ	๒-๔๔
๒.๖ การตรวจสอบความถูกต้อง	๒-๔๔
ภาคผนวก ก.(แบบฟอร์มต่างๆ	๒-๔๖
ภาคผนวก ข.ตัวอย่างการบันทึกรูปภาพแนวสายทาง	๒-๖๕
บทที่ ๓ งานออกแบบรายละเอียดและร่างแบบก่อสร้าง	
๓.๑ งานไม่ยุ่งยากซับซ้อน	๓-๒
๓.๑.๑ งานเตรียมการออกแบบ	๓-๒
๓.๑.๒ งานออกแบบทาง	๓-๒
๓.๑.๓ งานออกแบบสะพาน	๓-๒
๓.๑.๔ งานจัดทำร่างแบบก่อสร้าง	๓-๒
๓.๑.๕ งานตรวจสอบความถูกต้อง	๓-๒

๓.๒ งานยุ่งยากซับซ้อน	๓-๓
๓.๒.๑ งานเตรียมการออกแบบ	๓-๓
๓.๒.๒ งานกำหนดแนวทางการออกแบบ	๓-๓
๓.๒.๓ งานวิเคราะห์และออกแบบทาง	๓-๔
ก. งานออกแบบเรขาคณิต	๓-๔
ข. การออกแบบโครงสร้างถนน (Pavement Design)	๓-๔๒
ค. งานออกแบบอาคารระบายน้ำ	๓-๗๒
ง. งานออกแบบด้านภูมิทัศน์	๓-๗๒
๓.๒.๔ งานวิเคราะห์และออกแบบสะพาน	๓-๑๑๑
๓.๒.๕ งานจัดทำร่างแบบก่อสร้าง	๓-๑๑๑
๓.๒.๖ งานตรวจสอบความถูกต้อง	๓-๑๑๑

บทที่ ๔ งานขออุทิสที่ดินและชี้แจงแบบก่อสร้าง

๔.๑ งานจัดทำแบบสำหรับการมีส่วนร่วม	๔-๒
๔.๒ งานจัดทำแบบแปลนแสดงกรรมสิทธิ์	๔-๓
๔.๓ งานประชุมชี้แจงแบบก่อสร้าง	๔-๔
๔.๔ งานประมวลผลการมีส่วนร่วม	๔-๔
๔.๕ งานปรับปรุงแบบก่อสร้าง	๔-๕

บทที่ ๕ งานจัดทำแบบฉบับสมบูรณ์และประมาณราคา

๕.๑ งานจัดทำแบบก่อสร้างฉบับสมบูรณ์	๕-๒
๕.๒ งานคำนวณปริมาณวัสดุ	๕-๑๑
๕.๓ งานงานคำนวณราคาต่อหน่วย	๕-๑๕
๕.๔ งานประมาณราคาโครงการ	๕-๑๕
๕.๕ งานตรวจสอบความถูกต้อง	๕-๑๕

ภาคผนวก

การประกันคุณภาพ (QA) ของกรมทางหลวงชนบท **ด้านสำรวจและออกแบบ**

พฤษภาคม 2559

1

เป้าหมายการดำเนินการ

คุณภาพงานสำรวจและออกแบบ

ถูกต้อง

สำรวจ ออกแบบ จัดทำแบบ ประมาณราคา ถูกต้องตามหลักวิชาการ

ทันเวลา

จัดทำแบบก่อสร้าง ประมาณราคาแล้วเสร็จตามเวลาที่กำหนด

พึงพอใจ

ผลงาน และการบริการ เป็นที่พึงพอใจจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง

งานดำเนินการเอง



งานจ้างที่ปรึกษา



3

บททวนงาน QA ด้านออกแบบในต่างประเทศ

ประเทศสหรัฐฯ มีการริเริ่มพัฒนางาน QA/QC เนื่องจากการพังทลายของสะพาน I-35 โดย NTSB, FHWA และ AASHTO ได้มีการวางระบบ QA/QC ให้ทั้ง ๕๐ รัฐ นำมาใช้ ต่อมาได้มีการประเมินผลการใช้ระบบโดย NCHRP ซึ่งได้มีการจัดทำรายงานเรื่อง Best practices in quality control and assurance in design (NCHRP, 2011) ขึ้น โดยเป็นการสรุปผลจากการใช้ระบบ QA ที่ประสบผลสำเร็จจำนวน ๑๐ รัฐ จากผลการวิจัยดังกล่าว พบว่า ระบบ QA/QC ที่สัมฤทธิ์ผลนั้นเกี่ยวข้องกับกิจกรรมดังต่อไปนี้

๑. การฝึกอบรมบุคลากร และการประสานงาน

การประสานงานในแต่ละส่วนที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการฝึกอบรมบุคลากร จะทำให้คุณภาพของงานโดยรวมดีขึ้น

การนำไปประยุกต์ใช้สำหรับ QA สำรวจและออกแบบ

- ให้ความสำคัญกับการให้ความรู้ พัฒนาศักยภาพ ของผู้สำรวจ ผู้ออกแบบ และผู้ประมาณราคา
- เพิ่มการประสานงานระหว่าง ฝ่ายแผนงาน ฝ่ายออกแบบ และฝ่ายก่อสร้าง รวมถึงการสื่อสารกันระหว่างผู้รับผิดชอบในแต่ละงานของขั้นตอนการสำรวจออกแบบ

4

๒. กระบวนการตรวจสอบ และอนุมัติ

กระบวนการตรวจสอบ ควรมีการระบุผู้ที่รับผิดชอบการตรวจสอบ ประเภทของการตรวจสอบที่จะดำเนินการ และลักษณะ วิธีการบันทึกการตรวจสอบในรูปแบบของเอกสาร ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้ จะช่วยส่งเสริมให้งานมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

การนำไปประยุกต์ใช้สำหรับ QA ตำรวจและออกแบบ

- กำหนดผู้ทำหน้าที่ตรวจสอบ และอนุมัติงานในแต่ละกระบวนการ
- จัดทำระบบเอกสารสำหรับการตรวจสอบ และอนุมัติผลของงานในแต่ละกระบวนการ

๓. จัดทำ รายการตรวจสอบ คู่มือ และมาตรฐาน

การจัดทำคู่มือ และเอกสารประกอบการทำงาน ที่ชัดเจน เข้าใจง่าย รวมถึงตัวอย่างที่ดี จะช่วยให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การนำไปประยุกต์ใช้สำหรับ QA ตำรวจและออกแบบ

- จัดทำคู่มือ และมาตรฐานการทำงาน
- กำหนดรายการที่จะต้องตรวจสอบ
- จัดทำระบบเอกสารสำหรับการตรวจสอบ และอนุมัติในแต่ละกระบวนการ

๔ . การมีส่วนร่วมของทุกภาคส่วน ในระยะเริ่มต้นของงาน

องค์ประกอบสำคัญที่ทำให้ระบบประกันคุณภาพประสบความสำเร็จ คือ การที่ทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับโครงการ มีการประชุมหารือ เพื่อกำหนดแนวทางการออกแบบ โดยพิจารณาถึง ระยะเวลา วิธีการ ความยากง่ายในการก่อสร้าง รวมถึงผลกระทบทางด้านสังคม และสิ่งแวดล้อมของโครงการ ตั้งแต่ระยะแรกๆ ของงานออกแบบ

การนำไปประยุกต์ใช้สำหรับ QA ตำรวจและออกแบบ

- ให้นำหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย มีส่วนร่วมในการออกแบบโครงการ
- มีการประชุมร่วมของหน่วยเกี่ยวข้องเพื่อกำหนดแนวทางการออกแบบ

๕. การคัดเลือกที่ปรึกษา และการประสานงาน

สำหรับงานออกแบบที่จ้างที่ปรึกษา กระบวนการคัดเลือก และการสื่อสารระหว่างที่ปรึกษากับเจ้าของโครงการ มีผลต่อคุณภาพของโครงการอย่างยิ่ง ในบางรัฐมีการระบุให้ที่ปรึกษาจัดทำแผน QA สำหรับโครงการที่จ้างด้วย

การนำไปประยุกต์ใช้สำหรับ QA ตำรวจและออกแบบ

- ให้มีการประเมินการทำงานของที่ปรึกษา เพื่อประกอบการคัดเลือกที่ปรึกษาในอนาคต
- ให้ที่ปรึกษานำ ระบบ QA มาใช้ในโครงการที่ทำงานให้กับกรมฯ

๖. การประเมินการออกแบบจากขั้นตอนการก่อสร้าง

แม้ว่าจะมุ่งเน้นไปยังคุณภาพของงานออกแบบ แต่อย่างไรก็ตามคุณภาพของงานออกแบบย่อมส่งผลไปถึงขั้นตอนการก่อสร้างด้วย ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องการประเมินการออกแบบจากผลการก่อสร้างด้วย

การนำไปประยุกต์ใช้สำหรับ QA ตำรวจและออกแบบ

- มีการประเมินติดตามการออกแบบ ในกระบวนการก่อสร้าง รวมถึงการบำรุงรักษา

๗. การพัฒนากระบวนการเดิม

นอกเหนือจากการเพิ่มกระบวนการในการออกแบบเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพแล้ว การพัฒนากระบวนการที่ดำเนินการอยู่แล้วก็มีความจำเป็นอย่างยิ่ง ในบางรัฐไม่ได้มีการเพิ่มขั้นตอนการทำงาน แต่ปรับปรุงกระบวนการงานเดิมให้ดีขึ้น ก็สามารถประสบความสำเร็จในการประกันคุณภาพได้

การนำไปประยุกต์ใช้สำหรับ QA ตำรวจและออกแบบ

- พัฒนากระบวนการสำรวจออกแบบที่มีอยู่ ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

แนวทางการจัดทำ QA ด้านตำรวจและออกแบบ

สรุป แนวทางการประกันคุณภาพด้านตำรวจและออกแบบ ของกรมทางหลวงชนบท

งานดำเนินการเอง

ปรับปรุงกระบวนการเดิม :

- เพิ่มการอบรม ให้ความรู้แก่บุคลากร และการประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
- ปรับปรุงคู่มือการทำงาน มาตรฐานการออกแบบให้ชัดเจน เข้าใจง่ายขึ้น
- ปรับปรุงการตรวจสอบ และอนุมัติแบบก่อสร้าง
- ปรับปรุงรายการที่ต้องทำการตรวจสอบ (Check list) ในแต่ละขั้นตอน

กระบวนการที่เพิ่มเติม :

- การกำหนดแนวทางการออกแบบก่อนการออกแบบรายละเอียด เช่น สามารถสร้างได้ภายใต้ขีดจำกัดของพื้นที่ หรือมีความปลอดภัยในระหว่างก่อสร้าง
- การตรวจสอบความถูกต้องของผลผลิตในแต่ละขั้นตอน
- การตรวจสอบแบบก่อสร้างร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
- การประเมินผลการออกแบบในขั้นตอนการก่อสร้าง
- บันทึกแนวความคิดการออกแบบ ข้อผิดพลาด แนวทางแก้ไข เพื่อนำมาพัฒนาการออกแบบต่อไป

งานจ้างที่ปรึกษา

ปรับปรุงกระบวนการเดิม :

- การประสานงานกับที่ปรึกษาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น (ช่องทาง, ประชุม)
- เพิ่มความเข้มข้นในการตรวจสอบความถูกต้องของผลงานในแต่ละงวดงาน (บุคลากร, หน่วยงาน)

กระบวนการที่เพิ่มเติม :

- การตรวจสอบคุณภาพของผลงานโดยคณะทำงาน/กรรมการ กำกับการทำงานของที่ปรึกษาก่อนอนุมัติให้มีการตรวจรับงาน
- การประเมินให้คะแนนการทำงานของที่ปรึกษา (บุคลากร, หน่วยงาน, เอกสาร)
- การตรวจสอบแบบก่อสร้างร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการประเมินในขั้นตอนการก่อสร้าง

9

QA ด้านสำรวจและออกแบบ

เป้าหมาย : ถูกต้อง ทันเวลา พึงพอใจ

QA ด้านสำรวจและออกแบบ ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. งานดำเนินการเอง :

1.1 ดำเนินการโดย สสอ.

- สำรวจความเหมาะสมและการมีส่วนร่วมเบื้องต้น
- สำรวจรายละเอียด
- ออกแบบรายละเอียดและร่างแบบก่อสร้าง
- ขออนุญาตที่ดินและชี้แจงแบบก่อสร้าง
- แบบฉบับสมบูรณ์และประมาณราคา

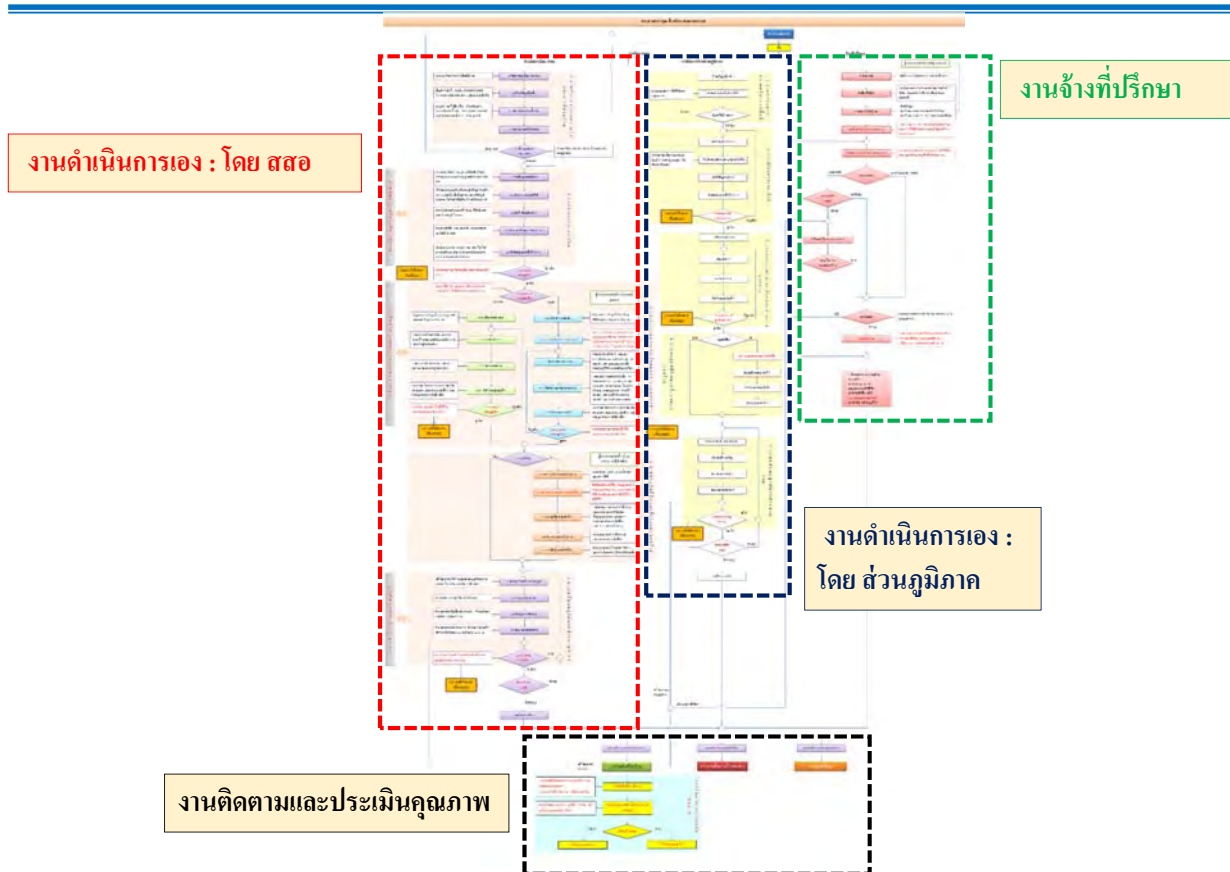
1.2 ดำเนินการโดยส่วนภูมิภาค

- สำรวจความเหมาะสมเบื้องต้น
- สำรวจรายละเอียด
- ออกแบบรายละเอียดและร่างแบบก่อสร้าง
- ขออนุญาตที่ดินและชี้แจงแบบก่อสร้าง
- แบบฉบับสมบูรณ์และประมาณราคา

2. งานจ้างที่ปรึกษา

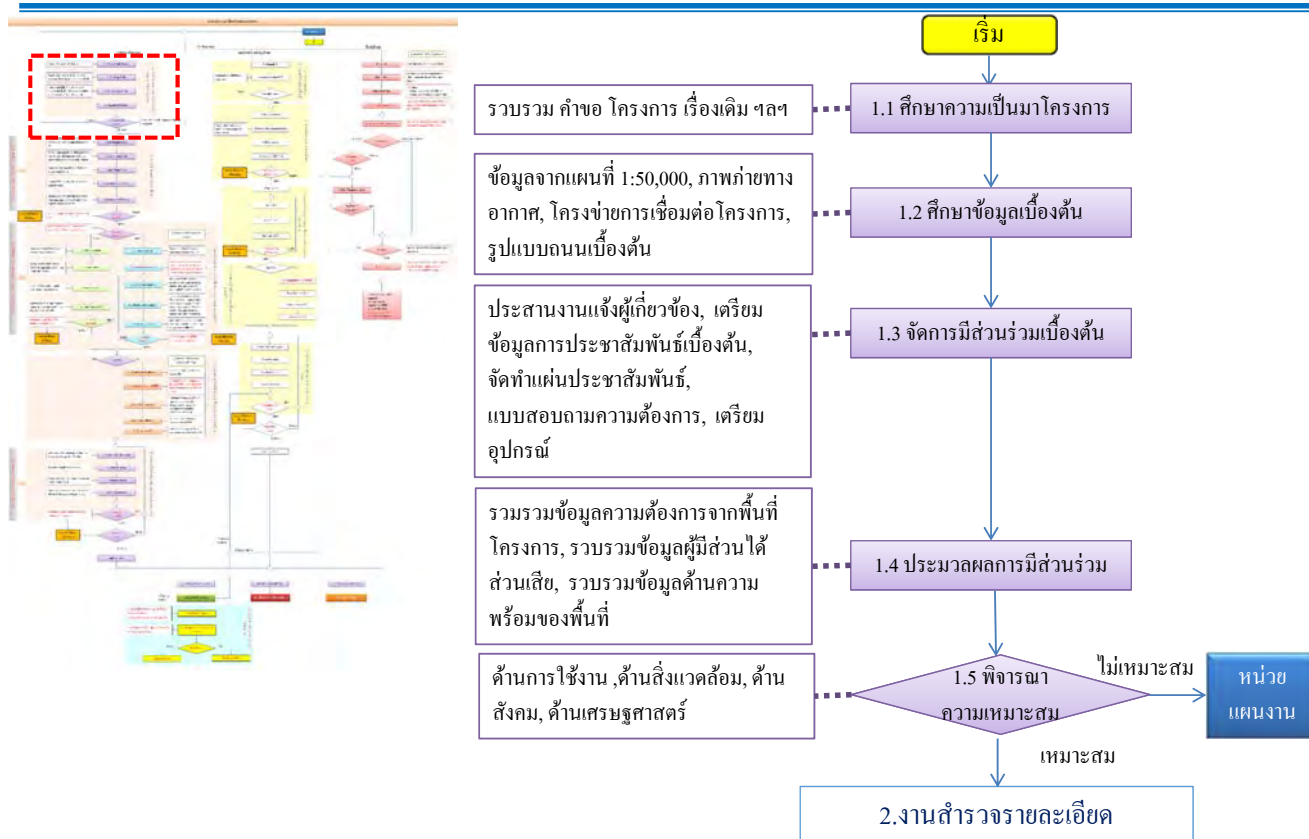
3. งานติดตามและประเมินคุณภาพ

*** จัดทำแฟ้มบันทึกกระบวนการงานของโครงการ**



11

ดำเนินการโดย สสอ. 1.งานสำรวจความเหมาะสมและการมีส่วนร่วมเบื้องต้น



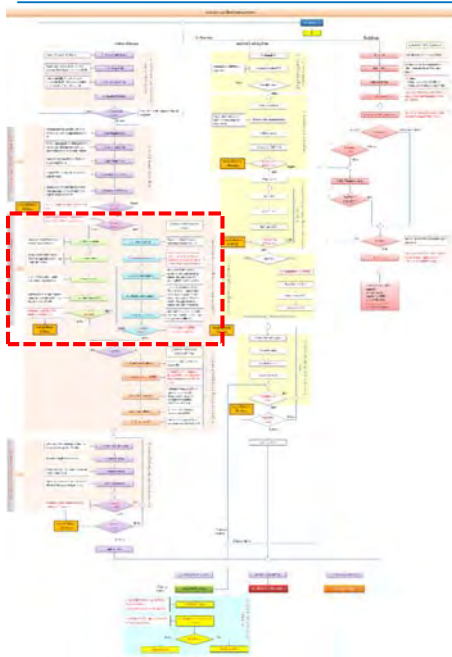
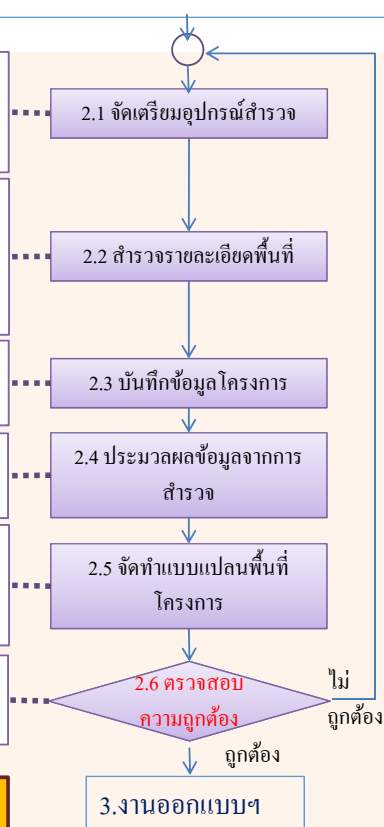


งานพัฒนาเทคโนโลยีการสำรวจ



- ตรวจสอบกล้องสำรวจ, อุปกรณ์สิ้นเปลืองในการสำรวจ, ยานพาหนะสำรวจ, อุปกรณ์เก็บตัวอย่างดินเดิม
- สำรวจแนว และระดับ เส้นทาง, เก็บข้อมูลโครงสร้าง, อาคารระบายน้ำ, เก็บข้อมูลรายละเอียดพื้นที่, ภูมิประเทศ, เก็บตัวอย่างดินเดิม, สำรวจปริมาณจราจร
- ภาพถ่ายโครงการทุกระยะที่กำหนด, วิถีทัศน์, ภาพตำแหน่งสำคัญในโครงการ
- ประมวลผลพิกัด, แนว และระดับ, ประมวลผลรายละเอียดในสายทาง
- เขียนแบบแปลนสภาพสายทางเดิม, จัดทำโปรไฟล์สายทางเดิม, ระบุตำแหน่งทางเรขาคณิตโครงการ, ระบุตำแหน่งรายละเอียด
- ตรวจสอบความถูกต้องโดยผู้ออกแบบตามแบบฟอร์ม สอ 1
- รวบรวมข้อผิดพลาด เพื่อปรับปรุง

1.งานสำรวจความเหมาะสมและการมีส่วนร่วมเบื้องต้น



งานออกแบบรายละเอียดและร่างแบบก่อสร้าง

แบ่งประเภทของงาน ออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะความยุ่งยากซับซ้อนของงาน ได้แก่

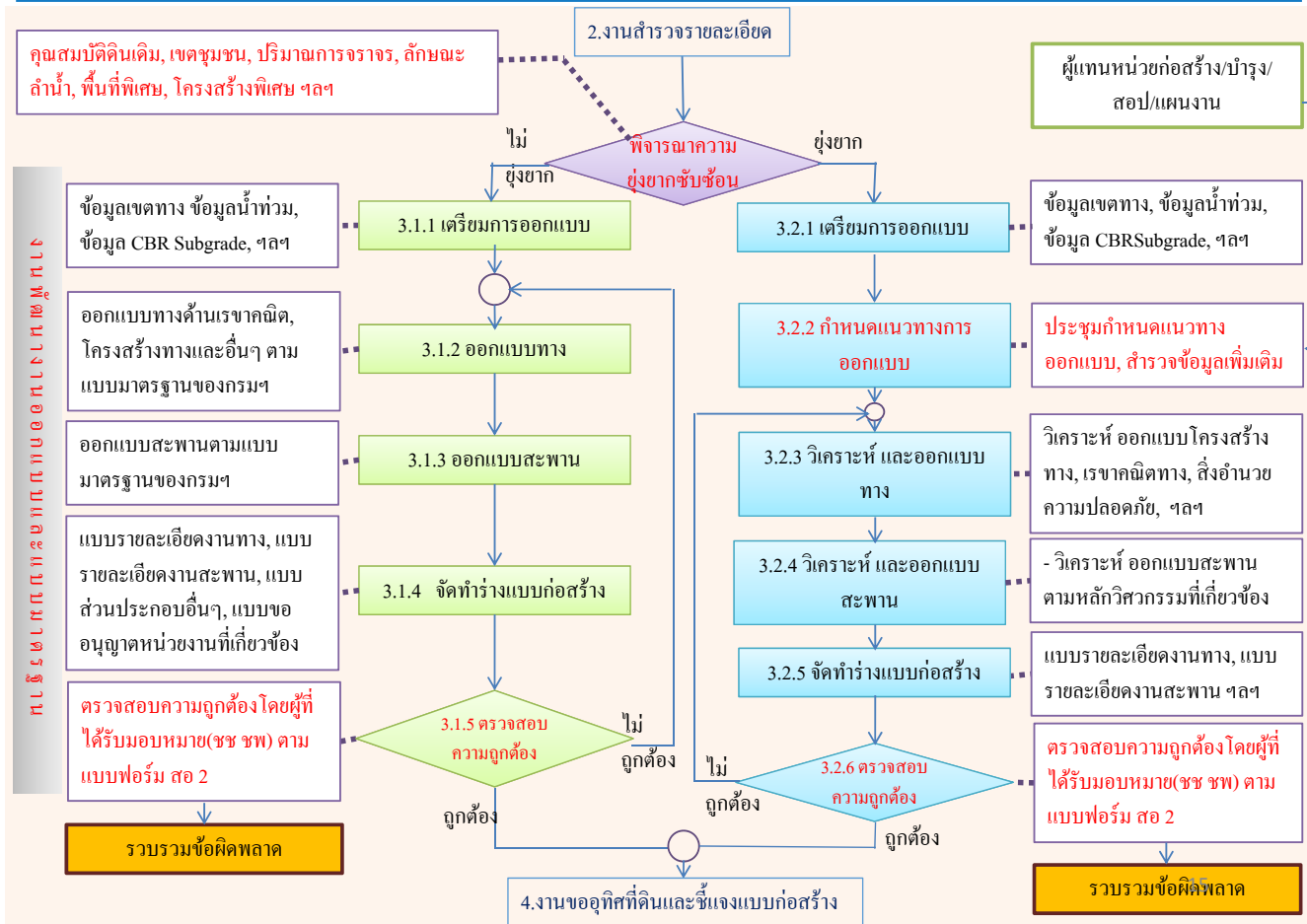
1. งานไม่ยุ่งยากซับซ้อน

คือ งานออกแบบถนน หรือสะพานที่สามารถออกแบบเพื่อก่อสร้าง หรือซ่อมบำรุงได้ตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวงชนบท หรือเป็นงานออกแบบทั่วไปที่เคยดำเนินการมาแล้วเป็นปกติ

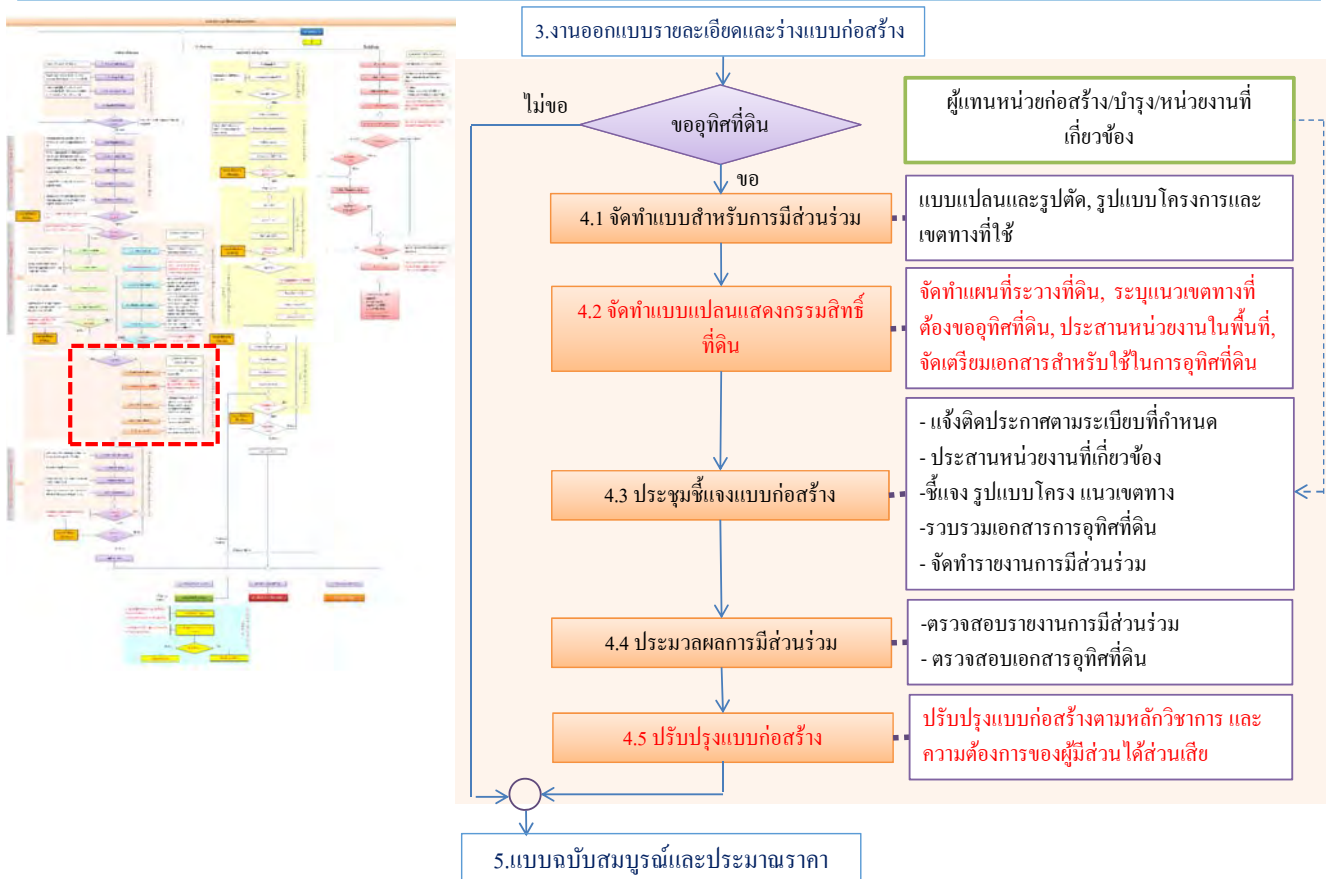
2. งานยุ่งยากซับซ้อน

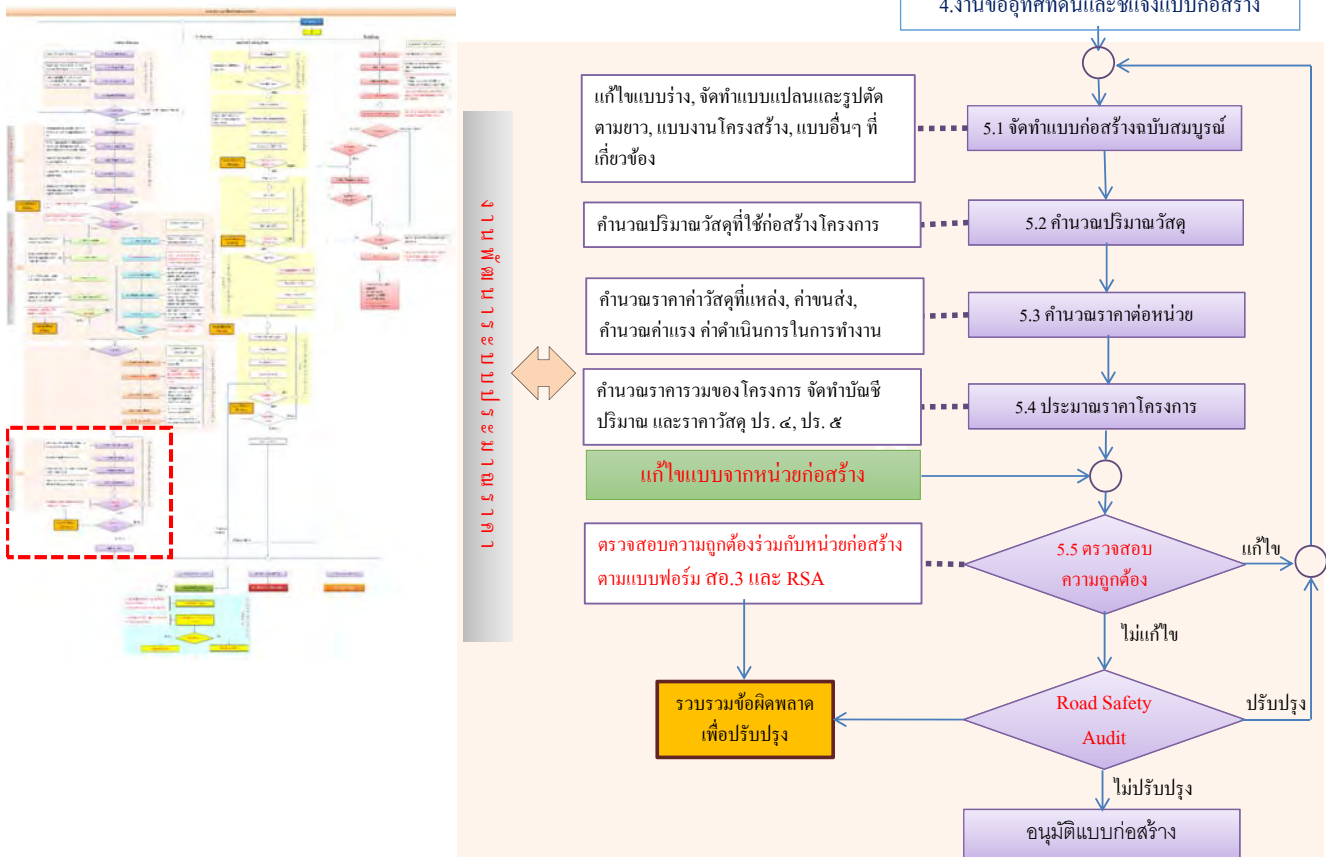
คือ งานออกแบบก่อสร้าง หรือซ่อมบำรุง ถนน หรือสะพาน ที่อยู่นอกเหนือจากแบบมาตรฐาน, งานที่ต้องออกแบบเป็นโครงสร้างพิเศษ หรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย รวมทั้งสังคม ฯลฯ ตัวอย่างเช่น งานก่อสร้างถนนบนชั้นดินอ่อน, ปรับปรุงถนนในเขตชุมชน, ปรับปรุงจุดอันตราย, สะพานข้ามลำน้ำขนาดใหญ่ งานออกแบบแก้ไขต่างๆ เป็นต้น

ดำเนินการโดย สสอ. 3.งานออกแบบรายละเอียดและร่างแบบก่อสร้าง (ต่อ)

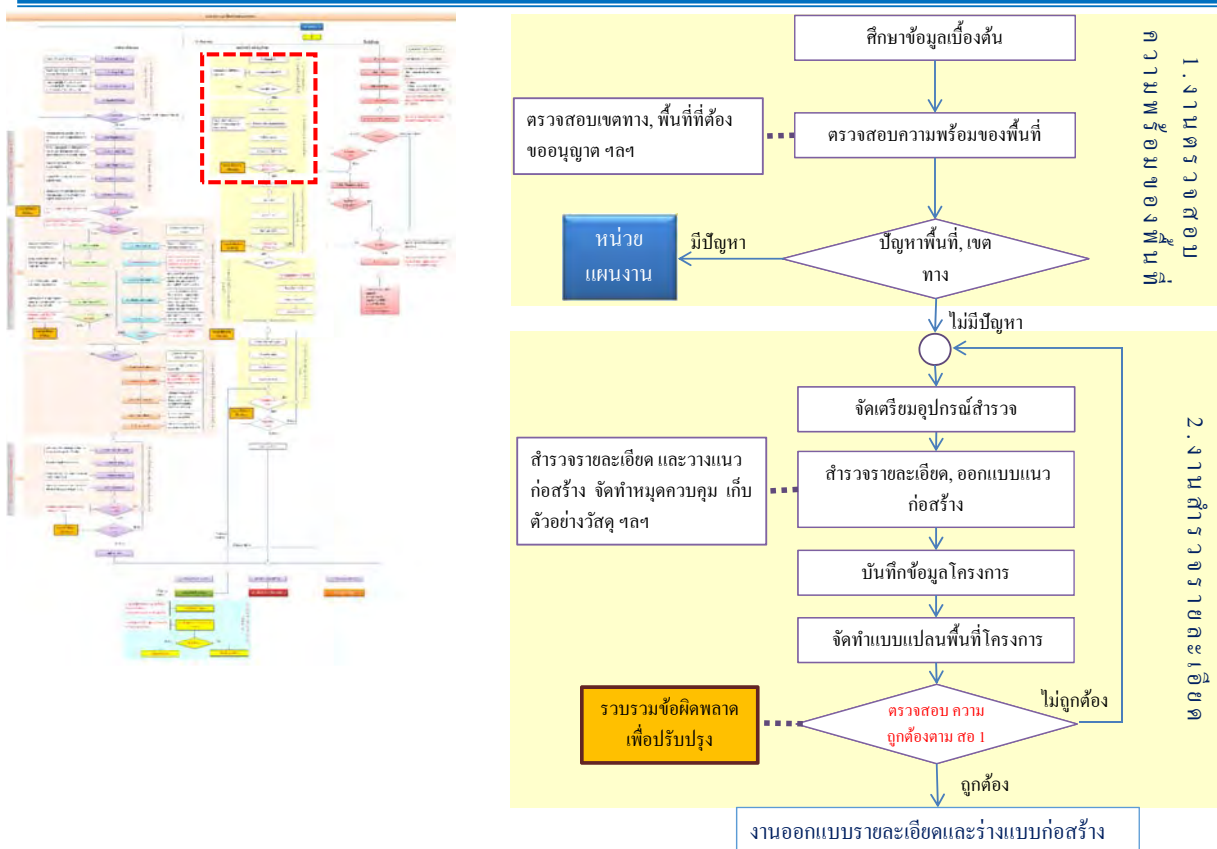


ดำเนินการโดย สสอ. 4.งานขออนุมัติที่ดินและชี้แจงแบบก่อสร้าง

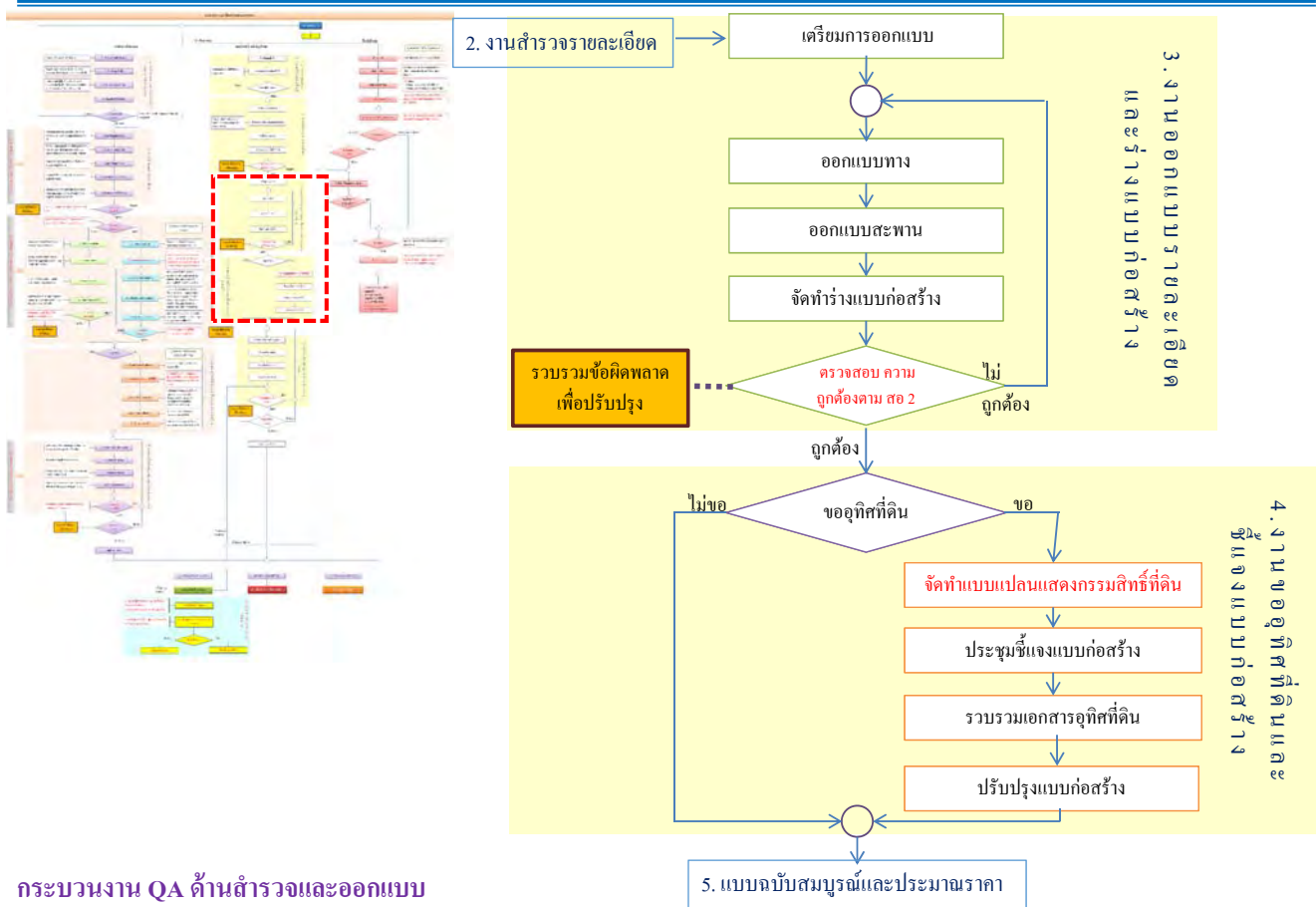




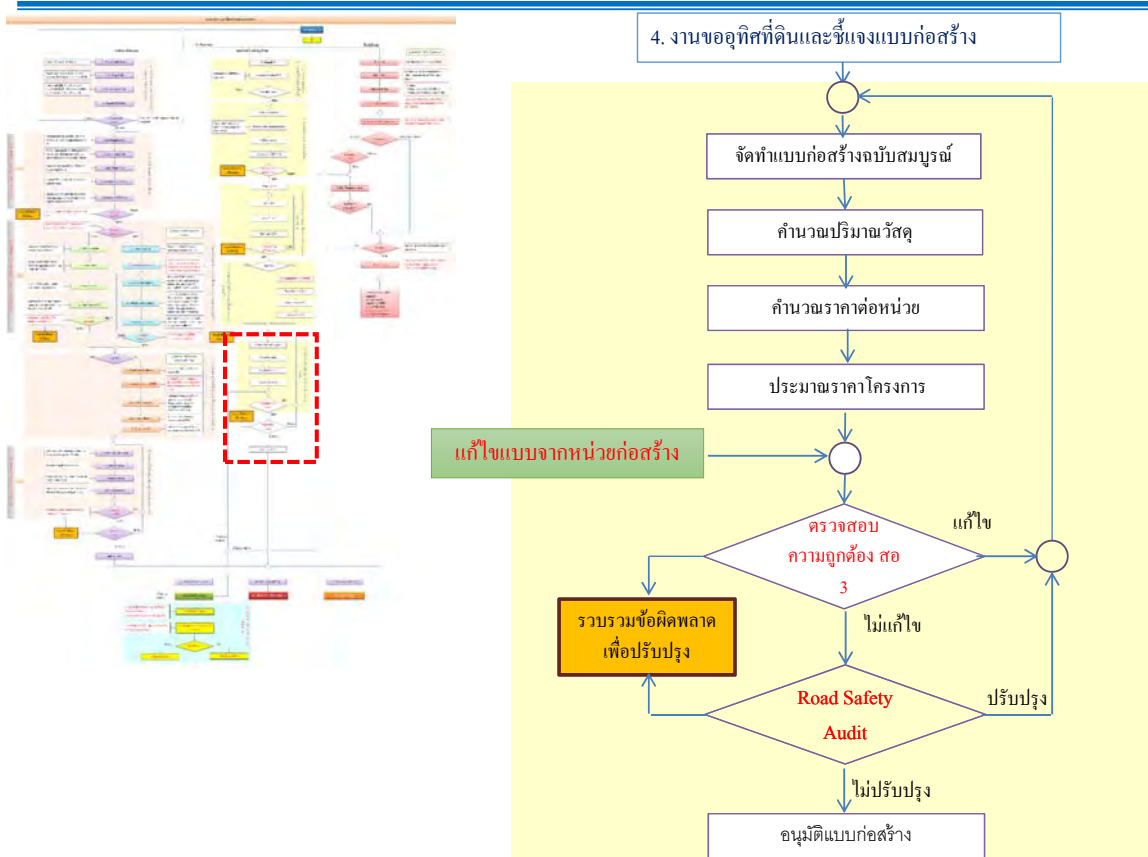
ดำเนินการโดยส่วนภูมิภาค (1) งานสำรวจความเหมาะสมเบื้องต้น และ(2) งานสำรวจรายละเอียด



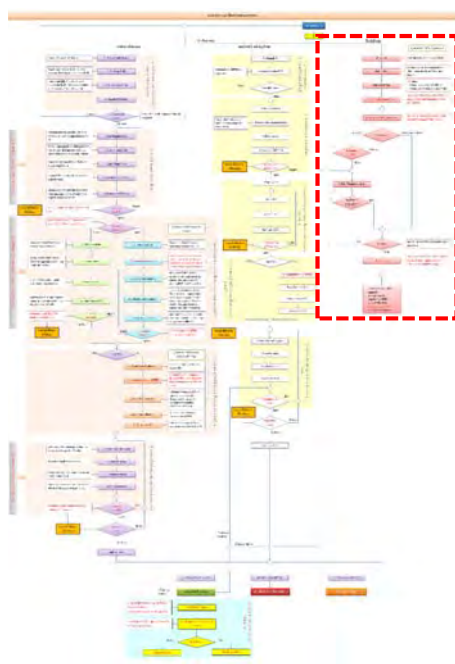
ดำเนินการโดยส่วนภูมิภาค (3) งานออกแบบรายละเอียดและร่างแบบก่อสร้าง และ(4) งานขออุทกที่ดินและชี้แจงแบบก่อสร้าง



ดำเนินการโดยส่วนภูมิภาค 5. แบบฉบับสมบูรณ์และประมาณราคา



งานจ้างที่ปรึกษาสำรวจและออกแบบรายละเอียด (1/2)



กำหนด TOR

ผู้แทนหน่วยก่อสร้าง/บำรุง/แผนงาน
แต่งตั้งคณะกรรมการกำหนด TOR ของโครงการ

คัดเลือกที่ปรึกษา

แต่งตั้งคณะกรรมการกำหนดหลักเกณฑ์คัดเลือกที่ปรึกษา, คณะกรรมการพิจารณาข้อเสนอ และคุณสมบัติ

ดำเนินการจ้างที่ปรึกษา

- จัดทำสัญญา
- แต่งตั้งคณะกรรมการตรวจการจ้างที่ปรึกษา
- แต่งตั้งคณะกรรมการกำกับการทำงานของที่ปรึกษา

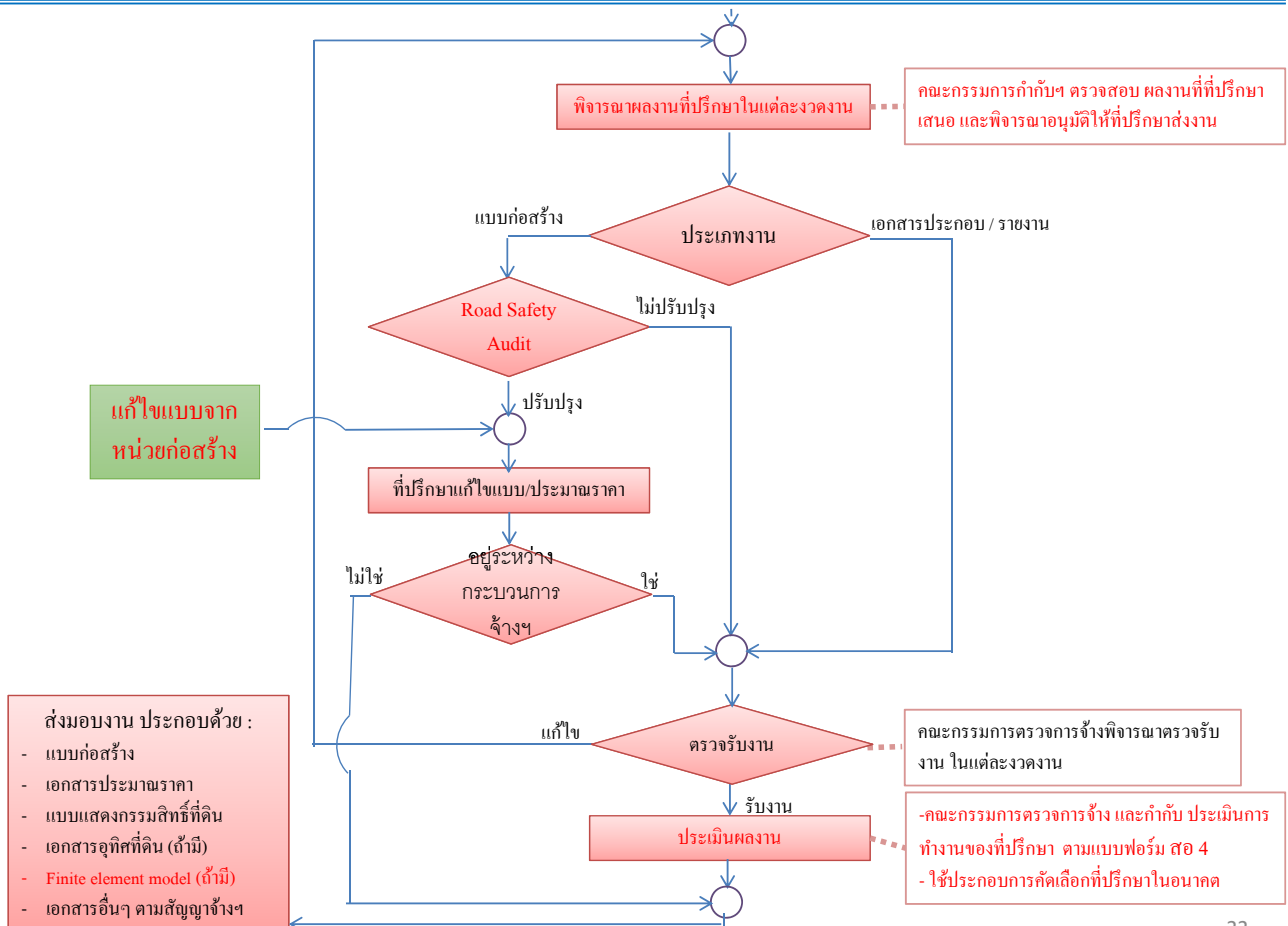
อนุมัติแผนปฏิบัติงาน และแผน QA

- คณะกรรมการกำกับฯ พิจารณา แผนปฏิบัติงาน และแผน QA ที่ที่ปรึกษาเสนอ และอนุมัติแผนฯ ที่ทางคณะฯ เห็นชอบ

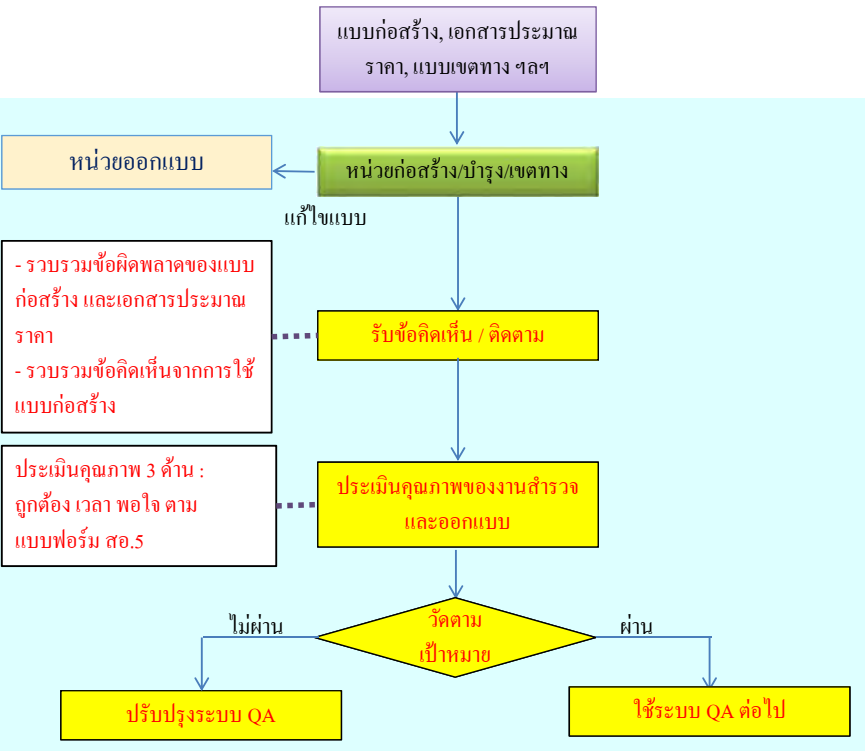
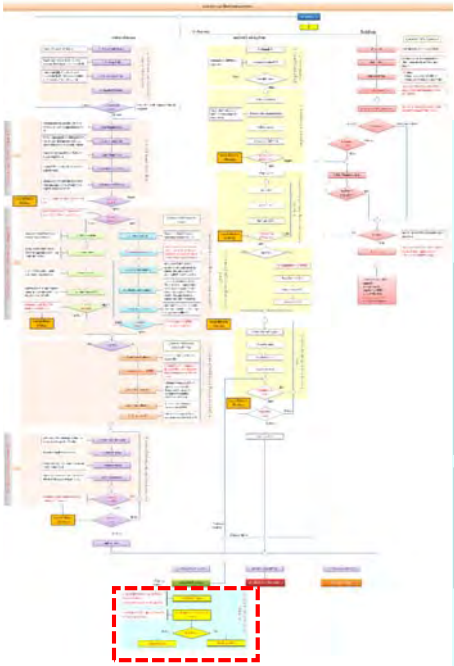
กระบวนการ QA ด้านสำรวจและออกแบบ

21

งานจ้างที่ปรึกษาสำรวจและออกแบบรายละเอียด (2/2)



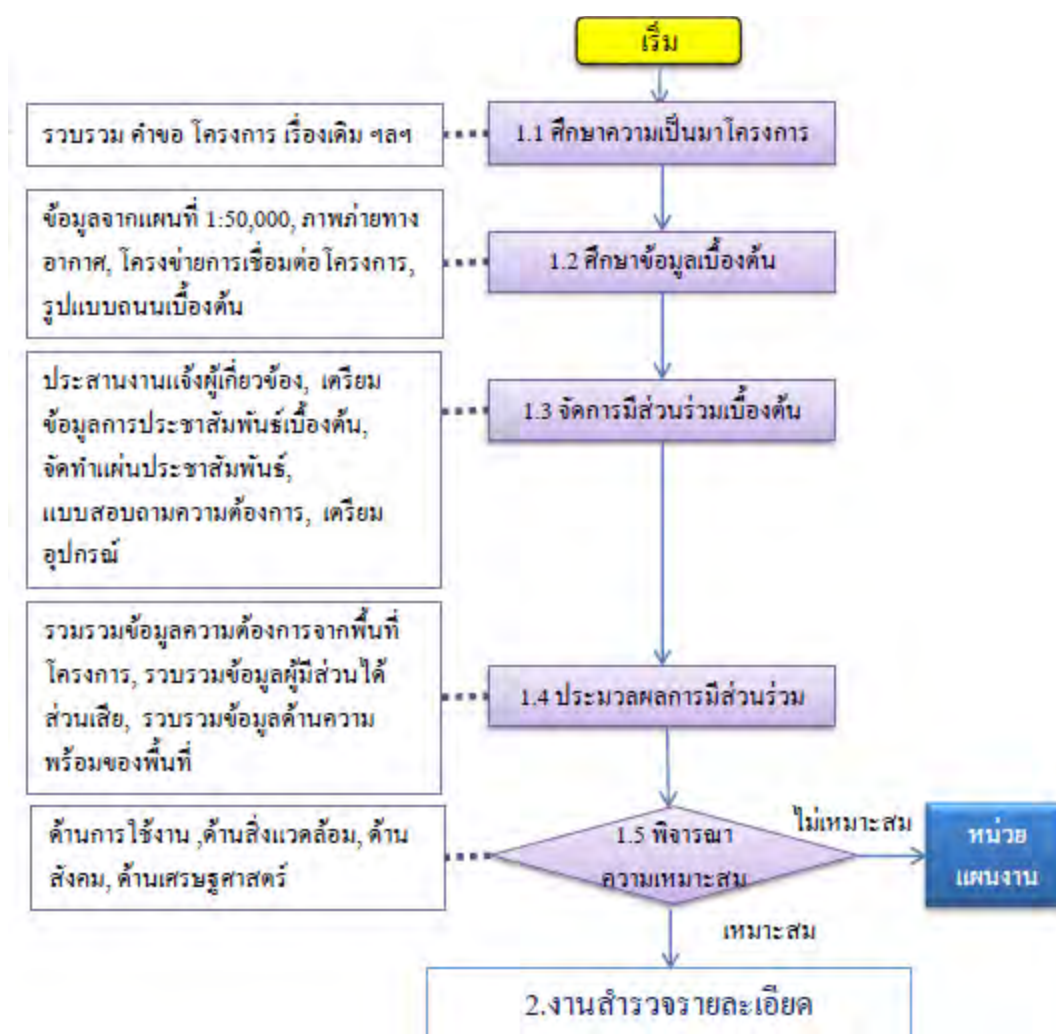
22



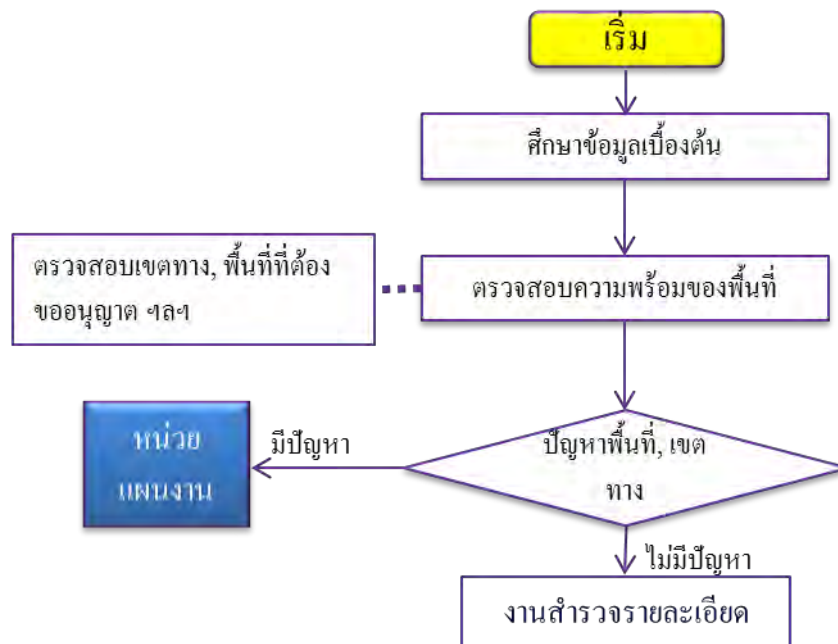
บทที่ ๑

งานสำรวจความเหมาะสมและการมีส่วนร่วมเบื้องต้น

กระบวนการสำรวจความเหมาะสมและการมีส่วนร่วมเบื้องต้น สำหรับงานที่ดำเนินการโดย สำนักสำรวจและออกแบบ และสำหรับส่วนภูมิภาคได้แสดงในรูป ๑.๑ และ ๑.๒ ตามลำดับด้านล่างนี้



รูปที่ ๑-๑ ผังกระบวนการสำรวจความเหมาะสมและการมีส่วนร่วมเบื้องต้น สำหรับ สสอ.



รูปที่ ๑-๒ ผังกระบวนการงานสำรวจความเหมาะสมและการมีส่วนร่วมเบื้องต้น สำหรับส่วนภูมิภาค

๑.๑) ศึกษาความเป็นมาของโครงการ (ดำเนินการโดยผู้สำรวจ)

รวบรวม ศึกษา เรื่องเดิม ที่มา คำขอ ฯลฯ ของโครงการ ปัญหาและอุปสรรคเบื้องต้น สอบถามข้อสงสัยจากผู้ที่เกี่ยวข้อง

๑.๒) ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น (ดำเนินการโดยผู้สำรวจ)

เป็นการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิและสำรวจสภาพพื้นที่โครงการในเบื้องต้น มาประกอบการวางแผนการดำเนินโครงการโดยจะเน้นในเรื่องของสภาพโครงข่ายคมนาคมขนส่ง สภาพทางกายภาพ สภาพปัญหาอุปสรรคของพื้นที่สภาพธรณีวิทยา สภาพการระบายน้ำ สภาพทางด้านสิ่งแวดล้อม ตลอดจนการรวบรวมข้อมูลกฎหมาย ระเบียบ ข้อกำหนด ข้อปฏิบัติเฉพาะของพื้นที่โครงการ ซึ่งเป็นข้อมูลหลักในการกำหนดรูปแบบและการดำเนินโครงการ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในเรื่องอื่นๆ ตามมาจนส่งผลให้ไม่สามารถพัฒนาโครงการในขั้นถัดไปได้ การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นอย่างน้อยควรประกอบด้วย

- ๑.๒.๑ ชื่อโครงการ
- ๑.๒.๒ ลักษณะโครงการ
- ๑.๒.๓ หลักการและเหตุผล
- ๑.๒.๔ วัตถุประสงค์ของโครงการ
- ๑.๒.๕ เป้าหมายโครงการ
- ๑.๒.๖ ที่ตั้งของโครงการ
- ๑.๒.๗ แผนการดำเนินงาน
- ๑.๒.๘ งบประมาณดำเนินการ
- ๑.๒.๙ ความสอดคล้องกับเป้าหมายส่วนรวม
- ๑.๒.๑๐ สภาพทั่วไปของแนวถนนโครงการ
- ๑.๒.๑๑ ลักษณะภูมิประเทศ

๑.๒.๑๒ รายละเอียดตามแนวสายทาง

๑.๒.๑๓ รายละเอียดบริเวณจุดตัด ทางแยก ทางเชื่อม

๑.๒.๑๔ สภาพการระบายน้ำ

๑.๒.๑๕ สภาพการจราจรเบื้องต้น

๑.๒.๑๖ ปัญหาและอุปสรรค

๑.๒.๑๗ การตรวจสอบความเข้าซ้อนของโครงการ

๑.๒.๑๘ การตรวจสอบข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อม ตามประกาศของสำนักงานนโยบายและแผน

ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย

- พื้นที่เขตอุทยานแห่งชาติ
- พื้นที่เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า
- พื้นที่เขตป่าสงวนแห่งชาติ
- พื้นที่ชายฝั่งทะเลในระยะ ๕๐ เมตร จากระดับน้ำสูงสุด
- พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ชั้นที่ ๑B และชั้นที่ ๒
- พื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำ ชั้นที่ ๑A
- พื้นที่เขตป่าชายเลน
- พื้นที่ที่อยู่ในหรือใกล้พื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระหว่างประเทศหรือแหล่งมรดกในระยะทาง ๒ กิโลเมตร
- พื้นที่โครงการตั้งอยู่ห่างจากโบราณสถาน แหล่งโบราณคดี แหล่งประวัติศาสตร์ หรืออุทยานประวัติศาสตร์ในระยะทาง ๒ กิโลเมตร

๑.๓) จัดการมีส่วนร่วมเบื้องต้น (ดำเนินการโดยผู้สำรวจ)

ปัจจุบันกระบวนการมีส่วนร่วมของประชาชนในการดำเนินโครงการสาธารณะมีความสำคัญมาก โดยได้ระบุไว้อย่างชัดเจนในรัฐธรรมนูญแห่งราชอาณาจักรไทย พ.ศ.๒๕๕๐ โดยบุคคลย่อมมีสิทธิได้รับข้อมูล คำชี้แจง และเหตุผลจากหน่วยราชการ หน่วยงานของรัฐ รัฐวิสาหกิจ หรือราชการส่วนท้องถิ่น ก่อนการอนุญาตหรือการดำเนินโครงการหรือกิจกรรมใดที่อาจมีผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อม สุขภาพอนามัย คุณภาพชีวิต หรือส่วนได้เสียอื่นใดที่เกี่ยวกับตนหรือชุมชนท้องถิ่น ประกอบกับระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยการรับฟังความคิดเห็นของประชาชน พ.ศ.๒๕๔๘ ซึ่งกำหนดให้โครงการของรัฐ หน่วยงานของรัฐ ที่เป็นผู้รับผิดชอบโครงการ ต้องจัดให้มีการรับฟังความคิดเห็นของประชาชนก่อนดำเนินโครงการด้วย

การมีส่วนร่วมของประชาชนหมายถึงการเปิดโอกาสให้ประชาชนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกภาคส่วนของสังคมได้เข้ามามีส่วนร่วมกับภาครัฐซึ่งสามารถจะแบ่งระดับของการสร้างการมีส่วนร่วมของประชาชนออกเป็น ๕ ระดับ ดังนี้

๑) การให้ข้อมูลข่าวสาร Inform ถือเป็นการมีส่วนร่วมของประชาชนในระดับต่ำที่สุด แต่เป็นระดับที่สำคัญที่สุด เพราะเป็นก้าวแรกของการที่ภาครัฐจะเปิดโอกาสให้ประชาชนเข้าสู่กระบวนการ มีส่วนร่วมในเรื่องต่างๆ วิธีการให้ข้อมูลสามารถใช้ช่องทางต่าง ๆ เช่น เอกสารสิ่งพิมพ์ การเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารผ่านทางสื่อต่างๆ การจัดนิทรรศการจดหมายข่าวการจัดงานแถลงข่าวการติดประกาศและการให้ข้อมูลผ่านเว็บไซต์

๒) การรับฟังความคิดเห็น Consult เป็นกระบวนการที่เปิดให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการให้ข้อมูลข้อเท็จจริง และความคิดเห็นเพื่อประกอบการตัดสินใจของหน่วยงานภาครัฐด้วยวิธีต่าง ๆ เช่น การรับฟังความคิดเห็น การสำรวจความคิดเห็นการจัดเวทีสาธารณะการแสดงความคิดเห็นผ่านเว็บไซต์

๓) การเกี่ยวข้อง Involve เป็นการเปิดโอกาสให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการปฏิบัติงาน หรือร่วมเสนอแนะทางที่นำไปสู่การตัดสินใจ เพื่อสร้างความมั่นใจให้ประชาชนว่าข้อมูลความคิดเห็น และความต้องการของประชาชนจะถูกนำไปพิจารณาเป็นทางเลือกในการบริหารงานของภาครัฐ เช่น การประชุมเชิงปฏิบัติการ เพื่อพิจารณาประเด็นนโยบายสาธารณะประชาพิจารณ์การจัดตั้งคณะทำงานเพื่อเสนอแนะประเด็นนโยบาย

๔) ความร่วมมือ Collaboration เป็นการให้กลุ่มประชาชน ผู้แทนภาคสาธารณะมีส่วนร่วม โดยเป็นหุ้นส่วนกับภาครัฐในทุกขั้นตอนของการตัดสินใจ และมีการดำเนินกิจกรรมร่วมกันอย่างต่อเนื่อง เช่น คณะกรรมการที่มีฝ่ายประชาชนร่วมเป็นกรรมการ

๕) การเสริมอำนาจแก่ประชาชน Empower เป็นขั้นที่ให้บทบาทประชาชนในระดับสูงสุด โดยให้ประชาชนเป็นผู้ตัดสินใจ เช่น การลงประชามติในประเด็นสาธารณะต่าง ๆ โครงการกองทุนหมู่บ้านที่มอบอำนาจให้ประชาชนเป็นผู้ตัดสินใจทั้งหมด การสร้างการมีส่วนร่วมของประชาชน อาจทำได้หลายระดับ และหลายวิธี ซึ่งบางวิธีสามารถทำได้ง่าย ๆ แต่บางวิธีก็ต้องใช้เวลา ขึ้นอยู่กับความต้องการเข้ามามีส่วนร่วมของประชาชน ค่าใช้จ่ายและความจำเป็นในการเปิดโอกาสให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วม การมีส่วนร่วมของประชาชนเป็นเรื่องละเอียดอ่อนจึงต้องมีการพัฒนาความรู้ความเข้าใจในการให้ข้อมูลข่าวสารที่ถูกต้องแก่ประชาชน การรับฟังความคิดเห็น การเปิดโอกาสให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วม รวมทั้งพัฒนาทักษะและศักยภาพของข้าราชการทุกระดับควบคู่กันไปด้วย จากหลักการและความจำเป็นดังกล่าวทำให้การพัฒนาระบบราชการที่ผ่านมามีการพัฒนากระบวนการบริหารราชการ ที่สนับสนุนการปรับกระบวนการทำงานของส่วนราชการ ที่เปิดโอกาสให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมมากขึ้นหรือที่เรียกว่า "การบริหารราชการแบบมีส่วนร่วม"

ในการพัฒนาโครงการด้านคมนาคมขนส่งจำเป็นต้องใช้พื้นที่ค่อนข้างมาก อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการดำเนินงานด้านการมีส่วนร่วมของประชาชน โดยการรับฟังความคิดเห็นเพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมและชุมชนอันจะนำไปสู่ความขัดแย้งระหว่างประชาชนในพื้นที่กับหน่วยงานของรัฐ ดังนั้นการดำเนินการอย่างต่อเนื่องในการจัดกิจกรรมการมีส่วนร่วมของประชาชน จึงจัดได้ว่าเป็นภารกิจหนึ่งที่สำคัญที่ใช้เป็นกลไกในการขับเคลื่อนกระบวนการจัดทำโครงการ การรวบรวม วิเคราะห์ และสรุปข้อมูลความคิดเห็นจากประชาชน จึงมีความจำเป็นต่อการเสนอแนะด้านการออกแบบรายละเอียด แนวทางเลือกและเพื่อใช้เป็นข้อมูลเสริมในการดำเนินงานและประกอบการตัดสินใจในโครงการต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

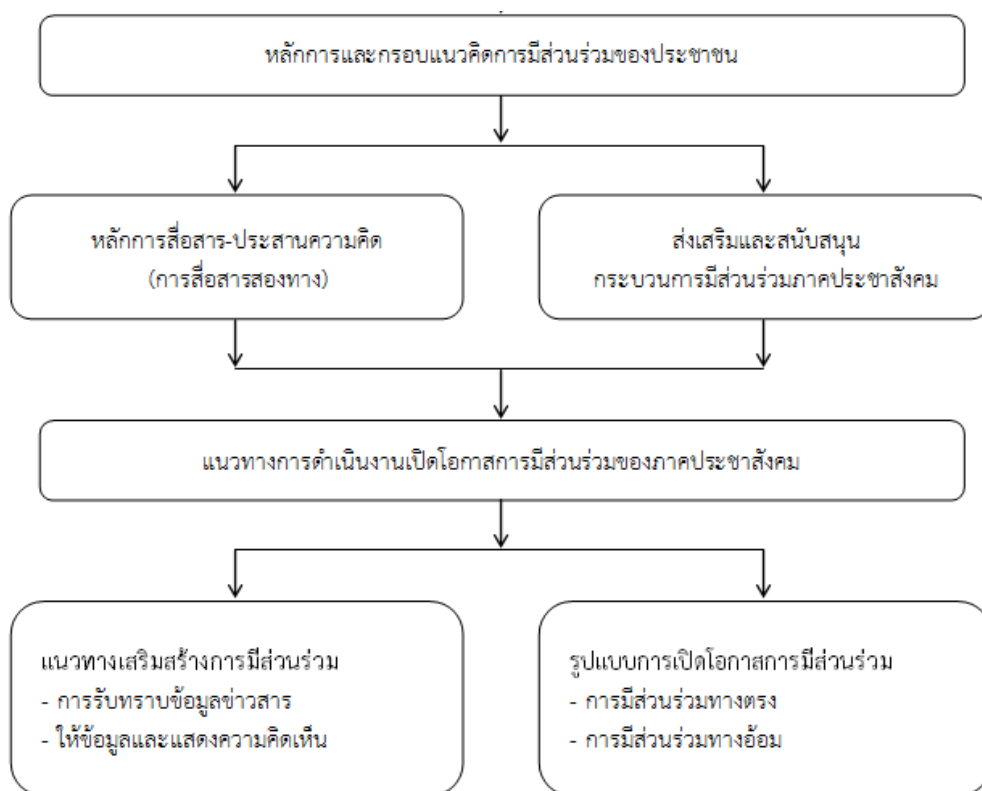
๑) เพื่อให้การดำเนินการและการตัดสินใจในการพัฒนาโครงการเป็นไปด้วยความโปร่งใส ขอบธรรม และเพื่อประโยชน์สูงสุดต่อส่วนรวม จึงควรเปิดโอกาสให้ประชาชนได้มีส่วนร่วมตั้งแต่ขั้นศึกษา/วางแผนโครงการ โดยจัดให้มีการเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการพัฒนาโครงการ ต่อผู้มีส่วนได้เสีย เจ้าหน้าที่ภาครัฐ และภาคเอกชน ผู้ที่สนใจทั่วไป รวมทั้งรับฟังความคิดเห็นจากกลุ่มเป้าหมายข้างต้น เพื่อให้เกิดความเข้าใจและการมีส่วนร่วมต่อการพัฒนาโครงการ

๒) เพื่อเป็นการสื่อสารระหว่างโครงการกับประชาชนอย่างเปิดเผย เสริมสร้างความสัมพันธ์อันดีอันจะนำมาสู่ความเข้าใจและความร่วมมือที่ดี หรือความเชื่อถือว่าประชาชนจะมอบให้แก่หน่วยงานรับผิดชอบในการดำเนินงานโครงการ

๓) เพื่อรวบรวมความคิดเห็น ปัญหา และข้อเสนอแนะต่างๆ ที่ได้รับมาประเมิน และวิเคราะห์ทางเลือกในการพัฒนาโครงการ และพิจารณาแนวทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

จากวัตถุประสงค์หลักของการดำเนินงานด้านการประชาสัมพันธ์และการมีส่วนร่วมของประชาชน เพื่อต้องการให้เกิดการประชาสัมพันธ์ให้ความรู้ แลกเปลี่ยน และสื่อสารข้อมูลสองทางระหว่างประชาชนในพื้นที่กับเจ้าของโครงการ และวิศวกรผู้ออกแบบนำไปสู่แนวคิดของการดำเนินงานการมีส่วนร่วมของประชาชน ซึ่งมี

ความสำคัญต่อการรับทราบความคิดเห็น ความรู้และข้อเท็จจริงที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่และโครงการ เป็นการแลกเปลี่ยนและเชื่อมโยงระหว่างประชาชนในพื้นที่ที่เกี่ยวข้อง โดยทั่วไปมีแนวทางการดำเนินการด้านการมีส่วนร่วมของประชาชน ดังแสดงในรูปที่ ๑-๓



รูปที่ ๑-๓ แสดงแนวทางการดำเนินงานด้านการมีส่วนร่วมของประชาชน

แนวทางการจัดทำสื่อประชาสัมพันธ์โครงการ

๑. เหตุผลและความจำเป็น

สื่อประชาสัมพันธ์ นับเป็นเครื่องมือสำคัญในการให้ข้อมูล ข่าวสาร รายละเอียดโครงการที่สามารถเข้าถึงกลุ่มเป้าหมายได้อย่างทั่วถึง โดยเฉพาะสื่อสิ่งพิมพ์ แผ่นพับ และเอกสารสรุป เป็นสื่อที่มีความเหมาะสมที่สุดในการดำเนินกิจกรรมเสริมสร้างการมีส่วนร่วมและรับฟังความคิดเห็น ซึ่งเป็นสื่อที่เข้าใจได้โดยง่าย และสามารถนำมาศึกษาสร้างความเข้าใจเพิ่มเติมได้ในภายหลัง

๒. วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นสื่อกลางสร้างความรู้ ความเข้าใจในรายละเอียดร่วมกันระหว่างผู้ดำเนินการ และกลุ่มเป้าหมาย กลุ่มผู้มีส่วนได้เสีย ในการประชาสัมพันธ์โครงการสำหรับทุกกิจกรรม

๓. ข้อมูลที่นำเสนอ

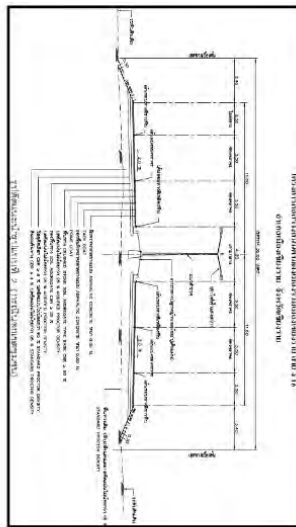
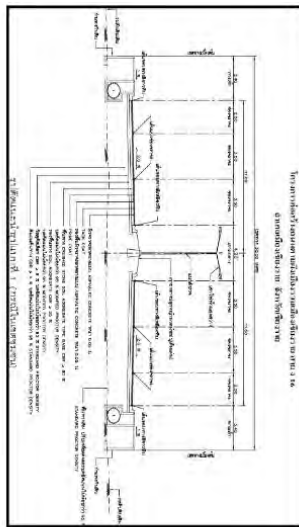
ควรกำหนดจัดทำแผ่นพับโครงการ เอกสารสรุปโครงการ เป็นสื่อประชาสัมพันธ์อย่างง่ายที่เข้าถึงกลุ่มเป้าหมายทุกกลุ่ม สามารถเก็บรักษาหรือนำมาศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้ เนื้อหาประกอบ ด้วยแผนที่แสดงที่ตั้งโครงการฯ ขั้นตอนการศึกษา รูปแบบ และสถานภาพโครงการ โดยเน้นรูปภาพประกอบและมีสาระสำคัญดังนี้

- ▲ ความเป็นมา เหตุผลความจำเป็น และวัตถุประสงค์ของโครงการ

- ลักษณะและรูปแบบโครงการเบื้องต้น
- พื้นที่ดำเนินการ พร้อมแผนที่ประกอบ
- ขั้นตอนการสำรวจออกแบบและระยะเวลาการศึกษา
- ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ
- ผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดและการลดผลกระทบ
- หน่วยงานเจ้าของโครงการ/ผู้รับผิดชอบ
- ช่องทางการสื่อสาร / สอบถามข้อมูลเพิ่มเติม

ลักษณะสื่อประชาสัมพันธ์

- แผ่นพับประชาสัมพันธ์โครงการ



ถนนสาย ๑๑๖ ฝั่งเมืองรวมเมืองเชียงราย
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย



วิสัยทัศน์

“พัฒนา เพิ่มคุณค่า เคมีคอโคจรข่ายทางให้สมบูรณ์อย่าง
พอเพียงและยั่งยืน เพื่อประโยชน์สุขของประชาชน”

สำนักสำรวจและออกแบบ

สำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัดเชียงราย
กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม

รายละเอียดโครงการ

โครงการก่อสร้างถนนตามผังเมืองรวมถนนสาย ๑๑๖
ฝั่งเมืองรวมเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย

ความเป็นมาของโครงการ

ด้วยจังหวัดเชียงรายขอความอนุเคราะห์ให้กรม
ทางหลวงชนบทดำเนินการสำรวจออกแบบ ประมาณ
ราคาค่าก่อสร้าง ค่าเวนคืนและงบประมาณ ในการ
ดำเนินการก่อสร้างโครงการถนนสาย ๑๑๖ ฝั่งเมืองรวม
เมืองเชียงราย เชื่อมถนนวงแหวนฝั่งตะวันตกของฝั่ง
เมืองรวมเมืองเชียงรายให้เป็นไปตามหลักวิชาการ
เกิดความสมบูรณ์ และปลอดภัย

สภาพภูมิประเทศ

พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม ทุ่งนา มีบ้านเรือน
ประชาชนอาศัยอยู่ตามแนวสายทางเป็นช่วงๆ

แนวเส้นทางโครงการ

จุดเริ่มต้นโครงการเริ่มจากทางหลวงแผ่นดิน
หมายเลข ๑๒๐๗ ที่บริเวณสถานสงเคราะห์เด็กไปทาง
ทิศตะวันออกเฉียงเหนือระยะประมาณ ๓๐๐ เมตรตัด
กับถนนคอนกรีตที่บริเวณห่างจากถนนทางเข้าหมู่บ้าน
ลินธนา ระยะ ประมาณ ๕๐ เมตรไปทางทิศ
ตะวันออกเฉียงเหนือระยะประมาณ ๓๐๐ เมตรไปทาง
ทิศตะวันตกเฉียงเหนือระยะประมาณ ๓๐๐ เมตรตัด
กับถนนคอนกรีตที่บริเวณด้านข้างหมู่บ้านลิตา ๓
ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือระยะประมาณ ๑,๑๐๐
เมตรบรรจบกับถนนสายเมืองรวมเมืองที่บริเวณ
ทางจากวัดพระธาตุจอมสักระยะประมาณ ๕๕๐ เมตร

รูปตัดถนนโครงการ

สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง
ชนบท ได้ทำการออกแบบเป็นถนนลาดยาง (AC) ผิว
จราจรกว้างช่องละ ๓.๕๐ เมตร ให้ทางกว้าง ๒.๕๐
เมตรและทางเท้ากว้าง ๑.๕๐ เมตรหรือไม่มีทางเท้า
เกาะกลางกว้าง ๔.๐๐ เมตร ระยะทางประมาณ
๒.๕๐ กิโลเมตร (เขตทางกว้างประมาณ ๓๐.๐๐
เมตร)

งบประมาณ ดำเนินการ
กรมทางหลวงชนบท สนับสนุนประมาณการ
ก่อสร้าง

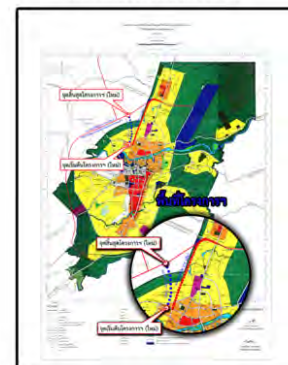
ผลประโยชน์ที่จะได้รับ

๑. ช่วยแก้ปัญหาและบรรเทาการจราจรติดขัดในตัวเมืองเชียงราย
๒. รองรับการพัฒนาและขยายตัวของชุมชนเมืองเชียงราย
๓. เพิ่มความปลอดภัยในการเดินทางให้กับประชาชนผู้ใช้เส้นทาง
๔. ส่งเสริมพัฒนาการด้านที่อยู่อาศัย การคมนาคม สาธารณูปโภค สาธารณูปการให้เพียงพอและได้มาตรฐาน

สถานที่ติดต่อ

๑. สำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัดเชียงราย โทร. ๐-๕๐๓๕-๒๐๓๕
๒. กลุ่มออกแบบทางในเขตเมือง สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวงชนบท โทร. ๐-๒๕๕๑-๕๔๐๐

แผนที่ผังเมืองรวมเมืองเชียงราย



ถนนสาย ๑๑๖ ฝั่งเมืองรวมเมืองเชียงราย
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

รูปที่ ๑-๔ ตัวอย่างแผ่นพับประชาสัมพันธ์โครงการ

พื้นที่ดำเนินการและกลุ่มเป้าหมาย

ครอบคลุมทุกกลุ่มเป้าหมาย ทั้งระดับเขต ชุมชน และครัวเรือนตามแนวเส้นทางโครงการ



รูปที่ ๑-๘ การจัดประชุมรับฟังความคิดเห็นและการมีส่วนร่วมของประชาชน

๑.๔) ประมวลผลการมีส่วนร่วม

รวบรวมข้อมูลความต้องการจากพื้นที่โครงการ, รวบรวมข้อมูลผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย, รวบรวมข้อมูลด้านความพร้อมของพื้นที่ เพื่อนำมาพิจารณาความเหมาะสมต่อไป โดยมุ่งเน้นถึงความต้องการของประชาชน และความเป็นไปได้ของเขตทาง

การประมวลผลการดำเนินงานเป็นการติดตามตรวจสอบกิจกรรมตามกระบวนการรับฟังความคิดเห็นของประชาชน โดยประเมินผลจากกิจกรรมการพบผู้นำชุมชน การประชุม โดยมีแนวทางการประเมิน คือ ข้อมูลผลการดำเนินงานด้านความคิดเห็น (Result Base Management : RBM) ทั้งนี้ ได้วางเป้าหมายการดำเนินงานให้กลุ่มเป้าหมายเกิดการรับรู้ และยอมรับโครงการ โดยจัดบันทึกข้อคิดเห็น ถ่ายภาพนิ่ง และให้ผู้เข้าร่วมประชุมลงชื่อที่อยู่/สถานที่ติดต่อไว้เป็นหลักฐานประกอบการดำเนินกิจกรรม และการติดต่อสื่อสารของโครงการในอนาคตการประเมินผลการดำเนินงานพิจารณาข้อมูลจากการอภิปราย แสดงความคิดเห็น เสนอแนะ และซักถามในที่ประชุม และตอบแบบประเมินภายหลังจากการประชุมแล้วเสร็จ โดยควรมีประเด็นสาระสำคัญดังนี้

๑.๔.๑ ประเด็นสำคัญที่รวบรวมจากการเข้าพบ และรับฟังความคิดเห็นจากผู้นำท้องถิ่น และการจัดเวทีชี้แจงข้อมูลโครงการและรับฟัง และความคิดเห็นระดับหมู่บ้าน/ตำบล

๑.๔.๒ วิเคราะห์และประเมินผลการใช้สื่อต่างๆ และประเด็นที่รวบรวมได้เพื่อระบุถึงปัญหาและอุปสรรคของการดำเนินงานโครงการ ที่คาดว่าจะก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม วัฒนธรรม อาชีพ ความปลอดภัยในการดำรงชีวิต หรืออาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อชุมชนหรือสังคม

๑.๔.๓ จัดทำแผนงานเผยแพร่ข้อมูลข่าวสารโครงการ และแผนการรับฟังความคิดเห็นของประชาชนในการดำเนินงานโครงการในระยะต่อไป

๑.๕) พิจารณาความเหมาะสม (ดำเนินการโดย ผู้อำนวยการกลุ่มงาน)

ในการพิจารณาความเหมาะสมนั้น จะพิจารณาว่า มีปัญหาข้อขัดข้องของโครงการ และพื้นที่หรือไม่เป็นหลัก หากสองประเด็นแรกไม่ผ่านจะแจ้งทางหน่วยแผนงาน ว่าโครงการมีปัญหาและอุปสรรค และชะลอการสำรวจรายละเอียดออกไป ทั้งนี้แม้ว่าไม่มีปัญหาในสองประเด็นแรก แต่ถ้าพิจารณาแล้วเห็นว่าไม่เหมาะสม

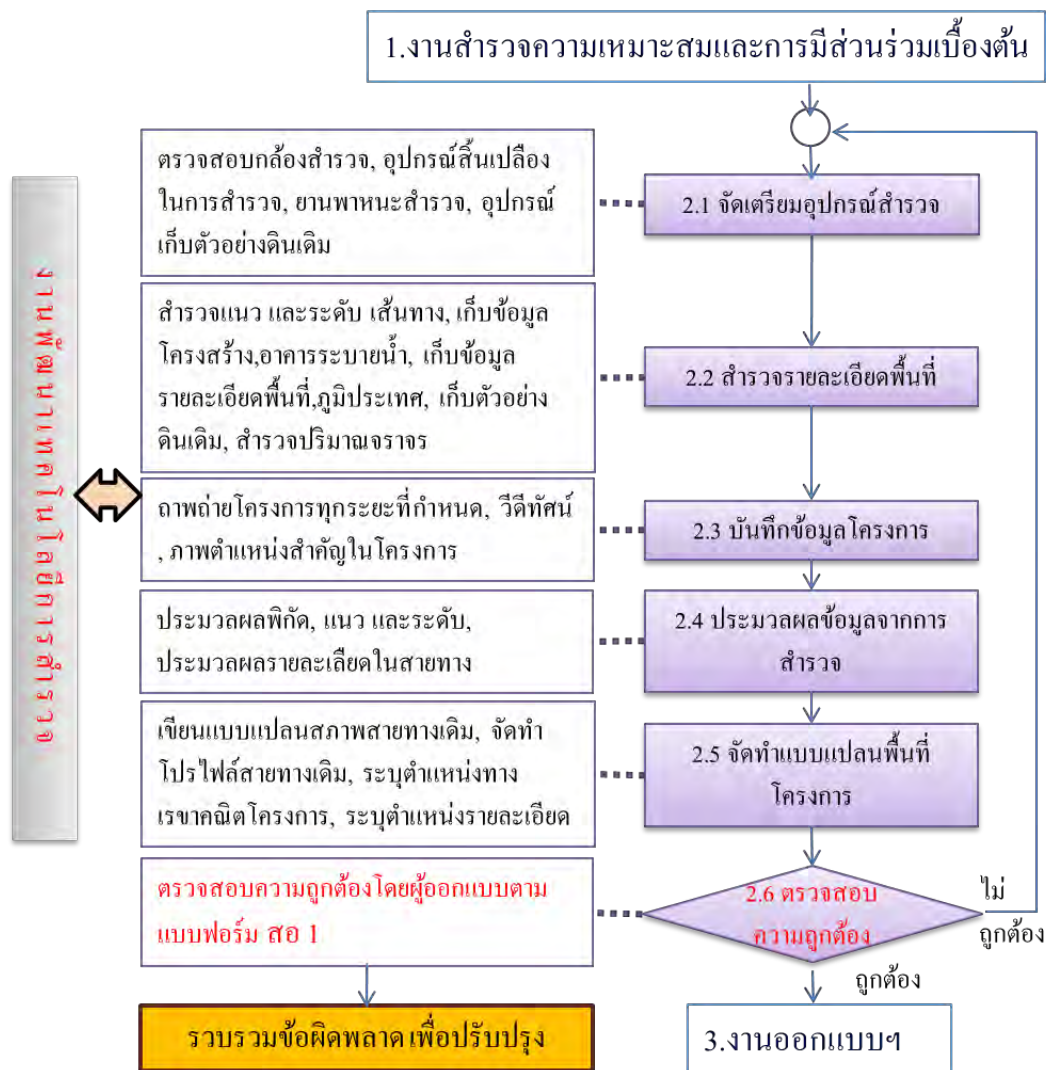
เนื่องจากปัจจัยอื่น อย่างเช่น ไม่มีปริมาณการจราจร ไม่คุ้มค่า ฯลฯ ก็สามารถสรุปความเหมาะสมของโครงการ
แจ้งหน่วยแผนงานได้

บทที่ ๒

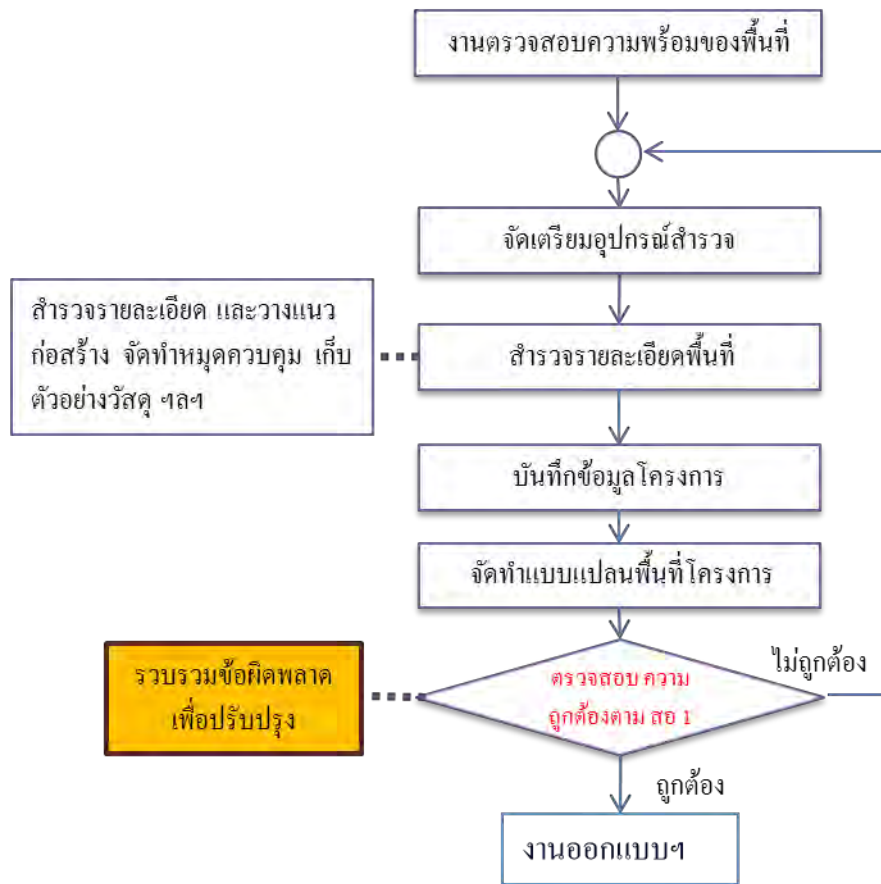
งานสำรวจรายละเอียด

งานสำรวจเก็บรายละเอียดแบ่งตามลักษณะของการทำงานเป็น

- งานสำรวจรายละเอียด สำหรับ สสอ. รูปที่ ๑.
- งานสำรวจรายละเอียด สำหรับส่วนภูมิภาค รูปที่ ๒.



รูปที่ ๑. ผังกระบวนการงานสำรวจรายละเอียด สำหรับ สสอ.



รูปที่ ๒. ผังกระบวนการงานสำรวจรายละเอียด สำหรับส่วนภูมิภาค

งานสำรวจรายละเอียด สำหรับ สสอ.

งานสำรวจรายละเอียด สำหรับ สสอ. จัดแบ่งขั้นตอนการปฏิบัติงานออกได้ดังนี้

๒.๑) จัดเตรียมอุปกรณ์สำรวจ (ดำเนินการโดยผู้สำรวจ)

รายการอุปกรณ์พื้นฐานในการสำรวจรายละเอียด

- ▲ ครุภัณฑ์สำรวจ : สมุดสนาม, กล้อง total station พร้อมอุปกรณ์, กล้องวัดมุม, โพล, กล้องระดับ, สต๊าฟ, ขาตั้งกล้อง, เทปวัดระยะ, ฆ้อง, มีด, ขวาน, อื่น ๆ
- ▲ วัสดุสำรวจ : Field Book, ตะปูขนาดต่างๆ, น๊อตทำ BM., สีสเปรย์, สีน้ำมัน, เชือกฟาง, ผ้าแดง อื่น ๆ

- วิธีการทดสอบกล้องสำรวจ

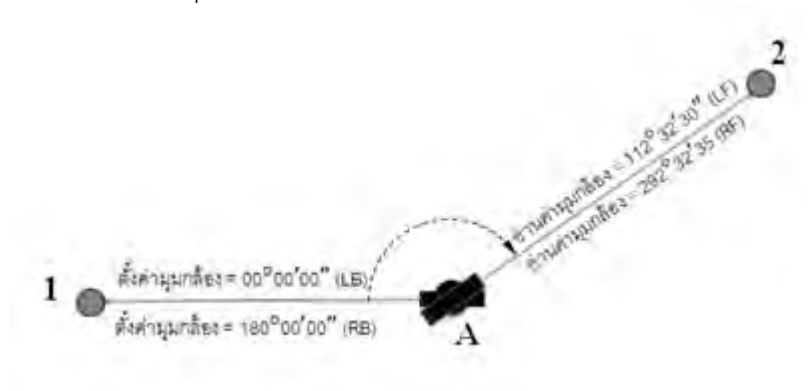
สำหรับกล้องวัดมุม (Theodolite) โดยวิธี Double Center Method (รูปที่ ๓.)

สำหรับกล้องระดับ ทดสอบโดยวิธี Two Peg Test (รูปที่ ๔.)

หมายเหตุ ; กล้องสำรวจชนิดต่างๆ จะต้องทำการตรวจสอบปรับแก้ (calibrate) อย่างน้อย ๑ ครั้งต่อปีโดยช่างผู้ชำนาญงาน

รายละเอียดและวิธีการทดสอบกล้องวัดมุม (Theodolite)

- การตรวจสอบกล้องวัดมุม (Theodolite) โดยวิธี Double Center Method



รูปที่ ๓. ตำแหน่งการตั้งกล้องเพื่อตรวจสอบกล้อง โดยวิธี Double Center Method

๑. ตั้งกล้องที่จุด A เล็งแนวไปยังหมุดที่ ๑ เพื่อตั้งค่ามุมไม้หลังหน้าซ้าย (LB) = $00^{\circ}00'00''$
๒. หมุนกล้องในทิศตามเข็มนาฬิกาไปยังหมุดที่ ๒ และอ่านค่ามุมกล้องไม้หน้าหน้าซ้าย (LF)
= $112^{\circ}32'30''$
๓. กระจกกล้อง เพื่อเปลี่ยนกล้องเป็นหน้าขวา จากนั้นเล็งแนวไปยังหมุดที่ ๑ เพื่อตั้งค่ามุมไม้หลังหน้าขวา (RB) = $180^{\circ}00'00''$
๔. หมุนกล้องในทิศตามเข็มนาฬิกาไปยังหมุดที่ ๒ และอ่านค่ามุมกล้องไม้หน้าหน้าขวา (RF)
= $202^{\circ}32'35''$
๕. คำนวณค่ามุมเฉลี่ยระหว่างตำแหน่งไม้หลังและไม้หน้าของหน้าซ้าย, หน้าขวา
▲ ค่ามุมหน้าซ้าย = $LF - LB$ (ถ้าลบไม่ได้ + 360 องศา)

▲ ค่ามุมหน้าขวา = RF - RB (ถ้าวัดไม่ได้ + ๓๖๐ องศา)

▲ ค่ามุมเฉลี่ย = (ค่ามุมหน้าซ้าย - ค่ามุมหน้าขวา) / ๒

▲ งานขั้นที่ ๒

ผลต่างของมุมกับค่ามุมเฉลี่ยไม่เกิน ๕ ฟลิปดา

▲ งานขั้นที่ ๓

ผลต่างของมุมกับค่ามุมเฉลี่ยต้องไม่เกิน ๑๐ ฟลิปดา

ลำดับ ที่	อ่านจุดที่ ๑			อ่านจุดที่ ๒			ผลต่างของมุม		
	๐	'	"	๐	'	"	๐	'	"
๑	๐๐	๐๐	๐๐	๑๑๒	๓๒	๓๐	๑๑๒	๓๒	๓๐
๒	๑๘๐	๐๐	๐๐	๒๙๒	๓๒	๓๕	๑๑๒	๓๒	๓๕
ผลต่างของมุม							๐๐	๐๐	๐๕

หมายเหตุ:

หากมีความคลาดเคลื่อนเกินกว่าที่กำหนดจะต้องทำการปรับแก้กล้อง โดยศึกษาจากคู่มือของกล้องรุ่นนั้นๆ

ผลต่างเฉลี่ย = $๐๐^{\circ} - ๐๐' - ๐๒.๕''$

รายละเอียดและวิธีการทดสอบกล้องระดับ

- การตรวจสอบกล้องระดับโดยวิธี Two Peg Test

๑. วางหมุดตั้งไม้ระดับ ๒ จุด หมุด A และ B โดยมีระยะห่างกัน (L) ประมาณ ๓๐-๖๐ ม.

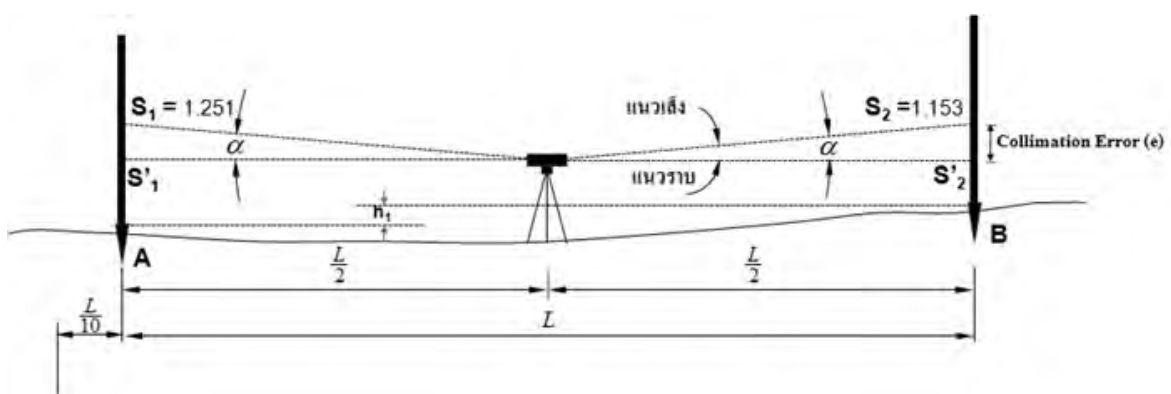
๒. ตั้งกล้องระดับที่ระยะกึ่งกลางระหว่างจุดตั้งไม้ระดับ (L/๒)

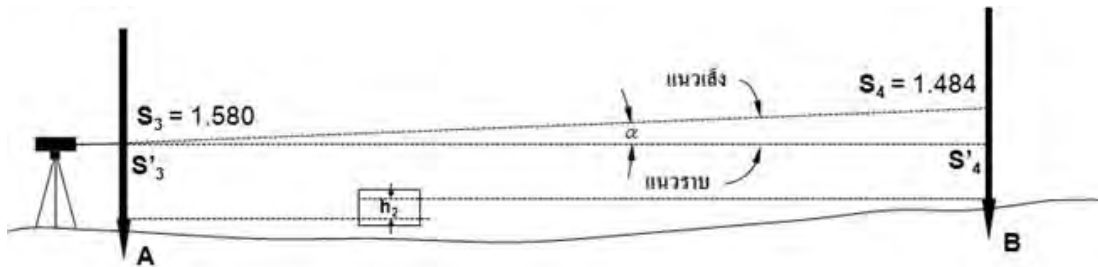
๓. อ่านค่าไม้ระดับบนหมุดทั้งสอง แล้วคำนวณค่า true height difference

๔. ย้ายกล้องมาตั้งข้างนอก วัดระยะจากหมุด A ประมาณ $L/๑๐ = ๓-๖$ ม.

๕. อ่านค่าไม้ระดับบนหมุดทั้งสองอีกครั้ง แล้วคำนวณค่า height difference

๖. คำนวณค่า Collimation Error (e) = $[(S_๑ - S_๒) - (S_๓ - S_๔)] / L$ (มม./ม.)





รูปที่ ๔. ตำแหน่งการตั้งกล้องเพื่อตรวจสอบกล้องระดับ โดยวิธี Two Peg Test

ข้อแนะนำ

ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ (e) จะต้องไม่เกิน ๑ มม. ต่อระยะทาง ๒๐ ม. หากมีความคลาดเคลื่อนเกินกว่าที่กำหนด จะต้องทำการปรับแก้กล้องก่อนเริ่มงาน

ตัวอย่าง การปรับแก้สายใยของกล้องระดับให้อยู่ในแนวระนาบ

๑. กำหนดจุดตั้งกล้องตามรูปโดยตอกหมุด A และ B ระยะห่างกัน ๕๐ เมตร

๒. อ่านค่าไม้ระดับ ที่จุด A และ B ดังข้อมูลต่อไปนี้

๒.๑ เมื่อตั้งกล้องระดับที่จุดกึ่งกลางระหว่างหมุด A และ B

ค่าไม้ระดับที่หมุด A ($S_๑$) = ๑.๒๕๑ ม.

ค่าไม้ระดับที่หมุด B ($S_๒$) = ๑.๑๕๓ ม.

๒.๒ เมื่อตั้งกล้องระดับด้านนอกของหมุด A บนแนว AB ตั้งกล้องระดับห่างจากจุด A = ๕ เมตร

ค่าไม้ระดับที่หมุด A ($S_๓$) = ๑.๕๘๐ ม.

ค่าไม้ระดับที่หมุด B ($S_๔$) = ๑.๔๘๔ ม.

๓. หาค่าความคลาดเคลื่อนของแนวเล็งต่อระยะเล็ง ๕๐.๐๐ เมตร

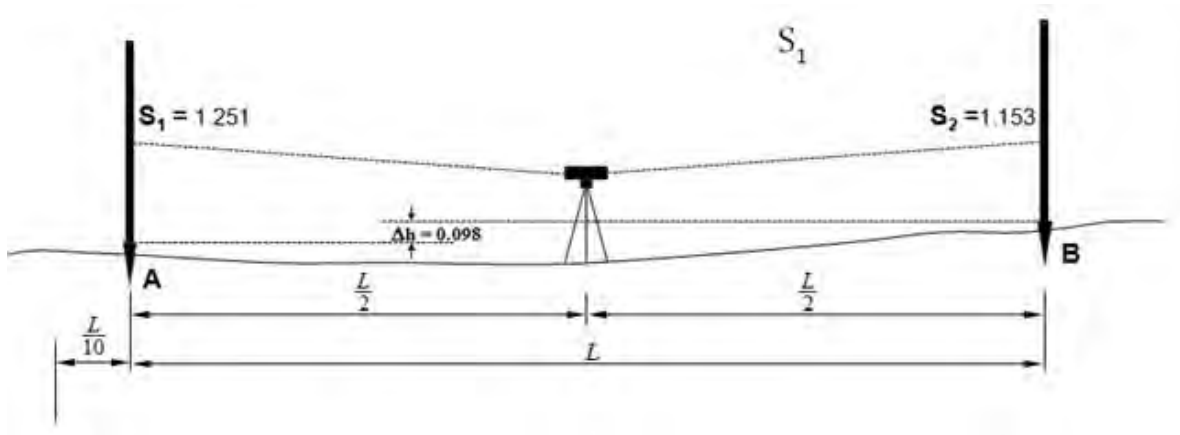
$$\begin{aligned} \text{ค่าความคลาดเคลื่อนของแนวเล็ง (e)} &= (S_๑ - S_๒) - (S_๓ - S_๔) \\ &= (๑.๒๕๑ - ๑.๑๕๓) - (๑.๕๘๐ - ๑.๔๘๔) \\ &= ๐.๐๐๒ \text{ ม. ต่อ } ๕๐.๐๐ \text{ เมตร} \end{aligned}$$

(ความคลาดเคลื่อน < ๑ มม. ต่อ ๒๐ เมตร) ↓ OK.

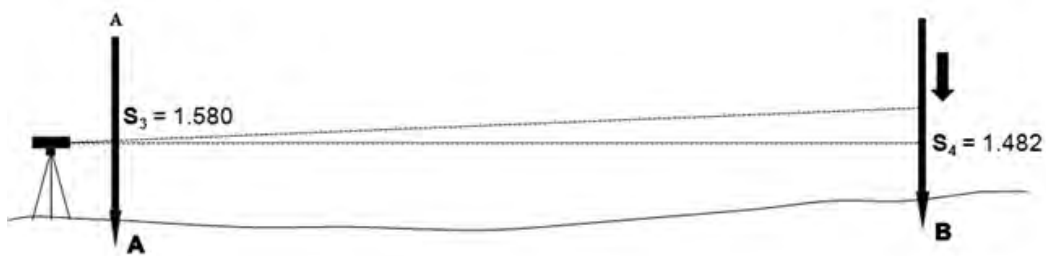
- การปรับแก้กล้องระดับโดยวิธี Two Peg Test

- ตั้งกล้องระดับที่ระยะกึ่งกลางระหว่างจุดตั้งไม้ระดับ โดยมีระยะห่างกัน (L) ประมาณ ๓๐-๖๐ ม.

อ่านค่าไม้ระดับบนหมุดทั้งสอง แล้วคำนวณค่า height difference ($\leftrightarrow h$) = $S_๑ - S_๒$



- ย้ายกล้องมาตั้งข้างนอก วัดระยะจากหมุด A ประมาณ $L/10 = 3-6$ ม. อ่านค่าไม้ระดับ S_3 บนหมุด A แล้วคำนวณค่า $S_c = S_3 - \Delta h$ จากนั้นอ่านค่าไม้ระดับบนหมุด B (S_c) หากค่า S_c ที่อ่านได้ไม่ตรงกับค่า S_c ที่คำนวณได้ ให้ปรับแก้สายใยกล้อง ขั้นตอนที่ ๑) – ๔) จนกระทั่งค่า S_c ที่อ่านได้มีค่าเท่ากับค่า S_c ที่คำนวณได้ หรือไม่เกินกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่กำหนดไว้



ข้อแนะนำ: สำหรับกล้องระดับรุ่นอื่นๆ ให้ผู้สำรวจศึกษาวิธีการปรับแก้สายใยจากคู่มือการใช้งานของกล้องรุ่นนั้นๆ

๒.๒) สำรวจรายละเอียด (ดำเนินการโดยผู้สำรวจ)

การสำรวจรายละเอียดมีงานที่จะต้องดำเนินการดังต่อไปนี้

- กำหนดระยะทางโครงการ
- กำหนดตำแหน่งทางเรขาคณิตเส้นทาง
- กำหนดตำแหน่งระดับแนวทาง
- สำรวจแนวถนนโครงการ
- สำรวจระดับโครงการ
- เก็บข้อมูลโครงสร้าง, อาคารระบายน้ำ
- เก็บข้อมูลรายละเอียดพื้นที่, ภูมิประเทศ
- เก็บตัวอย่างดินเดิมตามสภาพพื้นที่ ฯลฯ

โดยบุคคลากรที่ดำเนินการควมมีการแบ่งหน้าที่ ดังต่อไปนี้

หัวหน้าชุดสำรวจ

- ตรวจสอบสายทางที่จะทำการสำรวจ เก็บข้อมูล
- วางแผนการสำรวจ
- เตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจ
- ควบคุมการสำรวจให้ได้ตามแผนงาน
- กำหนดแนวสำรวจและจุดที่จะต้องเบนมุม (PI)
- ดำเนินการมีส่วนร่วมภาคประชาชน

ชุดจัดเก็บข้อมูลแนวทาง

- ตั้งกล้อง Theodolite ตามจุด PI ต่างๆ ที่หัวหน้าชุดสำรวจได้กำหนดไว้
- จดบันทึกค่าการวัดระยะต่างๆ ค่ามุมเบี่ยงเบน และคำนวณโค้งในสนาม
- กำหนดจุดอ้างอิง พร้อมทั้งอ่านมุม วัดระยะ และจดบันทึก
- ควบคุมการวัดระยะในแต่ละจุดที่กำหนด Sta. บนแนวสำรวจ

ชุดจัดเก็บข้อมูล BM และ Profile (BM & Profile Parties)

- กำหนด จัดทำหมุดระดับสมมุติ (BM) จดบันทึกตำแหน่งของ BM โดยอ้างอิงจากระยะบนถนนที่วางแนวสำรวจ
- อ่านค่าระดับบนแนวสำรวจ โดยทำงานร่วมกับทีมงานจัดเก็บข้อมูลรูปตัดตามขวาง
- ถ่ายค่าระดับไปยังหมุดระดับสมมุติต่างๆ (BM)
- คำนวณค่าต่างระดับของหมุดระดับสมมุติ (BM)
- คำนวณค่าระดับตามยาวของถนนที่ทำการสำรวจ
- เขียนรูปตัดตามยาว (Profile) ในแต่ละจุด Sta. ที่กำหนดบนแนวสำรวจ

ชุดจัดเก็บข้อมูลรูปตัดตามขวาง (Cross Section Parties)

- กำหนดตำแหน่งการวางไม้อ่านค่าระดับ (Staff) ณ จุดต่างๆตามขวางที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับ
- จดบันทึกระยะของรูปตัดตามขวางที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับ (โดยทำงานร่วมกับทีมงานจัดเก็บข้อมูล BM และ Profile)
- เขียนรูปตัดตามขวาง (Cross Section) ในแต่ละจุด Sta. ที่กำหนดบนแนวสำรวจ

ชุดจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดภูมิประเทศ (Photographic Parties)

- จดบันทึกสิ่งก่อสร้างต่างๆ ที่อยู่ในเขตทาง เช่น รั้ว, ท่อ คสล. ชนิดกกลม, ท่อ คสล. ชนิดเหลี่ยม, สะพาน, อาคาร, เสาไฟฟ้า เป็นต้น โดยใช้ระยะจากแนวสำรวจเป็นหลัก ทั้งนี้จะต้องระบุเป็น กม. ที่..... และ ระยะห่างซ้ายทางหรือขวาทางในแนวตั้งฉากกับแนวถนน

ข้อพิจารณาในการเลือกแนวทาง

- ◆ ต้องรู้ถึงมาตรฐานของทางที่จะทำการออกแบบและนโยบายในการสร้างที่จะทำการสำรวจนี้ เพื่อที่จะวางแนวทางให้ได้ตามจุดประสงค์โดยให้ถูกหลักวิชาการมากที่สุด
- ◆ ตั้งความมุ่งหมายไว้ว่าจะต้องให้ประชาชนสองข้างทางได้ประโยชน์มากที่สุด และต้องให้ผ่านชุมชนให้มากที่สุดที่จะทำได้
- ◆ ในทางปฏิบัติมีข้อจำกัดแนวเขตทางทำให้ไม่สามารถกำหนดแนวทางได้ตามความมุ่งหมาย ฉะนั้นการเลือกแนวทางให้ถูกต้องตามหลักวิชาการย่อมทำไม่ได้ จึงต้องเลือกแนวทางที่เหมาะสม โดยใช้ดุลยพินิจของหัวหน้าชุดสำรวจและผู้ออกแบบเห็นด้วยมากที่สุด เพื่อให้ได้แนวทางที่ดี และแก้ไขแนวทางน้อยที่สุด

ชั้นและความละเอียดของงาน

- ◆ Alignment (Opened Traverse) งานชั้นที่ ๓
 - Angular Error ไม่เกิน $30'' \sqrt{N}$ (N=จำนวนหมุดที่ตั้งกล้อง)
- ◆ Bench Mark and Profile Leveling งานชั้นที่ ๓
 - ทำไปกลับผิดได้ไม่เกิน $\pm 12 \text{ mm} \cdot \sqrt{K}$ (K=ระยะทางเป็น กม.)
- ◆ Cross - Section งานชั้นที่ ๓
 - ทำไปกลับผิดได้ไม่เกิน $\pm 100 \text{ mm} \cdot \sqrt{K}$ (K=ระยะทางเป็น กม.)
- ◆ Topographic (Horizontal Detail) งานชั้นที่ ๔
 - โดยมากไม่มีการตรวจสอบ

การเลือกแนวทางที่ดี

- ◆ แนวทางควรมีส่วนที่เป็นเส้นตรงให้มากที่สุดที่จะทำได้
- ◆ ถ้าจำเป็นต้องมีโค้งก็ต้องใส่โค้งให้มีรัศมีมากที่สุดจะมากได้ และอย่างน้อยต้องมีรัศมีที่จะความปลอดภัยในการขับขี่ ถูกต้องตามหลักวิชาการเกี่ยวกับ Super Elevation และ Sight Distance ตามมาตรฐาน Design Speed ของทางและเขตขยายทางของทางที่ต้องการ (ดูรายละเอียดทฤษฎี และการคำนวณหารัศมีของโค้ง)
- ◆ ไม่ควรให้มีโค้งที่มีค่า Intersection มาก (Sharp Curve) ในแนวทางที่เป็นเส้นตรงโดยตลอด ถ้าเป็น Sharp Curve ควรใช้ Three Centered Curve แทน
- ◆ ในกรณีที่ PI มีค่า Intersection () น้อย ต้องใส่โค้งให้มีความยาวโค้งอย่างน้อยตามกำหนดต่อไปนี้
 - ค่า Intersection = ๕  L = ๑๕๐ เมตร
 - ค่า Intersection = ๔  L = ๑๘๐ เมตร
 - ค่า Intersection = ๓  L = ๒๒๐ เมตร
 - ค่า Intersection = ๒  L = ๒๕๐ เมตร
 - ค่า Intersection = ๑  ไม่ต้องใส่โค้ง
- ◆ แนวทางไม่ควรเป็นโค้ง ตรงที่จะต้องเป็นทางแยกหรือทางร่วม
- ◆ จุดปลายโค้ง (PT) หรือจุดต้นโค้ง (PC) ควรอยู่ห่างจากตลิ่งของทางน้ำที่เห็นว่าจะต้องสร้างสะพานอย่างน้อย ๑๐๐ เมตร

- ▶ ความยาวโค้งจะต้องไม่เกิน ๑ กิโลเมตร และความยาวโค้งที่น้อยที่สุดจะต้องไม่น้อยกว่า ๑๕๐ เมตร เพื่อให้ให้ความยาวของโค้งได้ ๑๕๐ เมตร ในขณะที่มุม Intersection มีค่าน้อยนั้น บางครั้งอาจจะใช้ รัศมียาวประมาณ ๑๕๐ เมตร ในขณะที่มุม Intersection น้อยกว่า ๕๙ ลิปดา ก็ไม่จำเป็นต้องมีโค้ง
- ▶ Compound Curve ถ้าเป็นไปได้ควรหลีกเลี่ยง รัศมีโค้งจะเท่ากับ ๓๐๐ เมตร หรือน้อยกว่า นี้เล็กน้อย แต่ความยาวของรัศมีอันสั้นจะต้องยาวประมาณ ๒ ใน ๓ ของรัศมีอันยาว และผลรวมของความยาวโค้งทั้งสองจะต้องไม่น้อยกว่า ๑๕๐ เมตร
- ▶ Reverse Curve ที่มีจุด PRC หรือจุด PT โค้งแรกทับกับ PC ของโค้งที่สองไม่ควรใช้ ควรจะหลีกเลี่ยงโดยให้ทั้งสองห่างกันอย่างน้อย ๙๐ เมตร อย่างไรก็ตามในบริเวณภูเขาอาจจะทำได้ เพราะฉะนั้น ฝ่ายออกแบบจะต้องตัดสินใจโดยอาศัย Super Elevation ประกอบในการตัดสินใจ หรือให้เส้น Tangent ระหว่างโค้งทั้งสองห่างกัน = $0.6 V$ ม. เมื่อ V = ความเร็ว km/h
- ▶ Broken Back Curve เป็นโค้งสองโค้งที่มีจุดศูนย์กลางของโค้งอยู่ทางเดียวกัน ถ้าโค้งสองโค้งอยู่ใกล้ๆ กันจะไม่ปลอดภัย เพราะ Sight Distance ไม่ดีเส้นตรงระหว่างโค้งสองโค้ง จะต้องยาวไม่น้อยกว่า ๑๐๐ เมตร ถ้าน้อยกว่านี้ก็ให้ใช้ Simple Curve หรือ Compound Curve หรือโค้งทั้งสองห่างกัน = $0.75 V$ เมตร
- ▶ Spiral Curve สำหรับทางหลวงสายนอกเมืองหรือ Secondary Highway จะไม่ใช่นอกจากวิศวกรจะแนะนำให้ใช้
- ▶ การวางแผนบริเวณสะพาน ที่บริเวณสะพานจะไม่ยอมให้จุดเริ่มต้นโค้งหรือจุดปลายโค้งอยู่บน สะพาน และถ้าโค้งใกล้สะพาน จะต้องห่างจากสะพานเป็นระยะเท่ากับที่ไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดของ Super Elevation อยู่บนสะพานเลย และถ้าหากว่าสะพานจำเป็นต้องอยู่ในโค้ง จะต้องให้รัศมีของโค้งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ห้ามใช้ Compound Curve
- ▶ แนวทางไม่ควรผ่านไปในที่ลุ่มต่ำ ซึ่งต้องถมสูงเป็นระยะยาว ถ้าจำเป็นต้องผ่านแนวทางช่วงนั้นก็ไม่ควรจะมีโค้ง แต่ถ้าจำเป็นต้องมีก็ให้เป็นโค้งที่มีค่า Intersection น้อยที่สุดที่จะทำได้
- ▶ แนวทางไม่ควรผ่านบริเวณที่เห็นว่าเป็นดินอ่อน (Soft Soil) เป็นช่วงยาว
- ▶ แนวทางผ่านลำน้ำ ควรจะให้ตั้งฉากกับลำน้ำ ถ้าจำเป็นต้อง Skew ก็ให้ Skew น้อยที่สุด สำหรับลำน้ำเล็ก Skew ได้ไม่เกิน ๓๐ องศา ถ้าลำน้ำใหญ่ก็ไม่เกิน ๒๐ องศา
- ▶ แนวทางไม่ควรไต่ไปตามพื้นที่ชันกว่าความชันตามมาตรฐาน ของถนนชนิดนั้นๆ มากเกินไปและเป็นระยะทางยาว ๆ ทั้งนี้เพื่อลดปริมาณงานดินที่ต้องขุด
- ▶ แนวทางที่ผ่านหมู่บ้าน ต้องพยายามอย่าให้เฉียดแนวบ้านข้างใดข้างหนึ่งมากเกินไปจนเป็นเหตุให้ต้องมีการรื้อถอนเมื่อก่อสร้าง
- ▶ ในภูมิประเทศที่เป็นภูเขา แนวทางไม่ควรผ่านหุบเขา ควรจะเลาะไปตามไหล่เขา เพื่อลดปริมาณงานดินที่จะต้องก่อสร้าง และป้องกันน้ำท่วมในหน้าฝน
- ▶ แนวทางไม่ควรเลียบใกล้ตามตลิ่งของลำน้ำที่มีการกัดเซาะสูงและชัน
- ▶ แนวทางที่ต้องข้ามลำน้ำกว้าง ไม่ควรข้ามลำน้ำในระดับสูงกว่าท้องน้ำมาก ๆ เช่น แนวทางที่โยงข้ามแม่น้ำจากสันเขาริมน้ำทั้ง ๒ ฝั่ง เพราะมีปัญหาในการออกแบบสะพานที่มีตอม่อกลางน้ำ ควรจะผ่านบริเวณน้ำตื้น ๆ
- ▶ ไม่ควรให้ Horizontal Curve และ Vertical Curve อยู่ในที่เดียวกัน เพราะทำให้บังคับรถลำบากและไม่ปลอดภัย

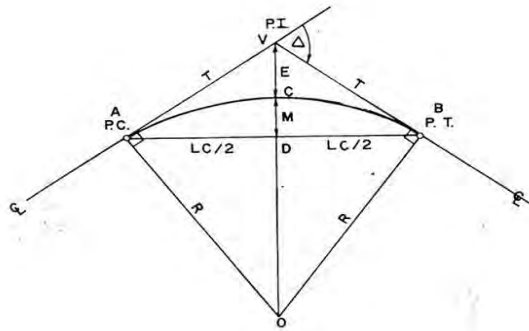
► บริเวณทางร่วมหรือทางแยก มุมตัดกันไม่ควรต่ำกว่า ๒๐ องศา และควรจะเป็นบริเวณที่ราบ ถ้ามีความลาดก็ไม่เกิน ๓% และถ้าเป็นโค้งก็ต้องเป็นโค้งที่มีรัศมีมาก ๆ โดยไม่ต้องมี Super Elevation , Degree of Curve ไม่เกิน ๖ องศา

- หลีกเลี่ยงบริเวณที่เป็นโบราณสถาน ปุชนียสถาน วัด โบสถ์ ป่าช้า โรงเรียน
- การตรวจสอบทิศทางใช้ข้อกำหนดของวงรอบ Third Order

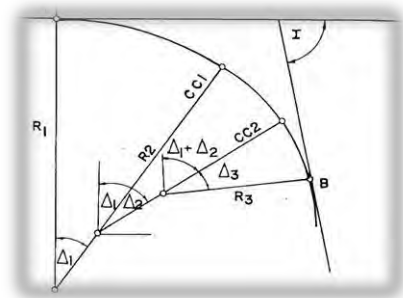
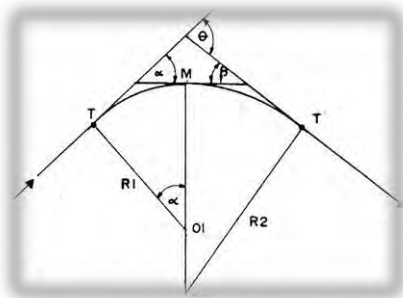
การสำรวจโค้งทางราบ (Horizontal Curve)

- โค้งวงกลม (Circular Curve) รูปที่ ๕.
- โค้งผสม (Compound Curve) รูปที่ ๖.
- โค้งหลังหัก (Broken Back Curve) รูปที่ ๗.
- โค้งผสมย้อนทาง (Reverse Curve) รูปที่ ๘.
- โค้งก้นหอย (Spiral Curve) รูปที่ ๙.

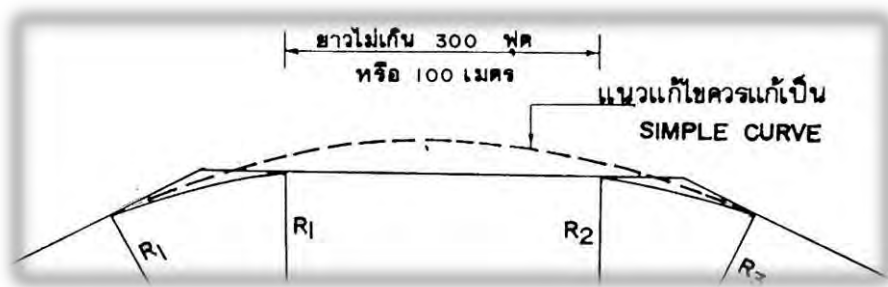
- โค้งวงกลม (Circular Curve) รูปที่ ๕.



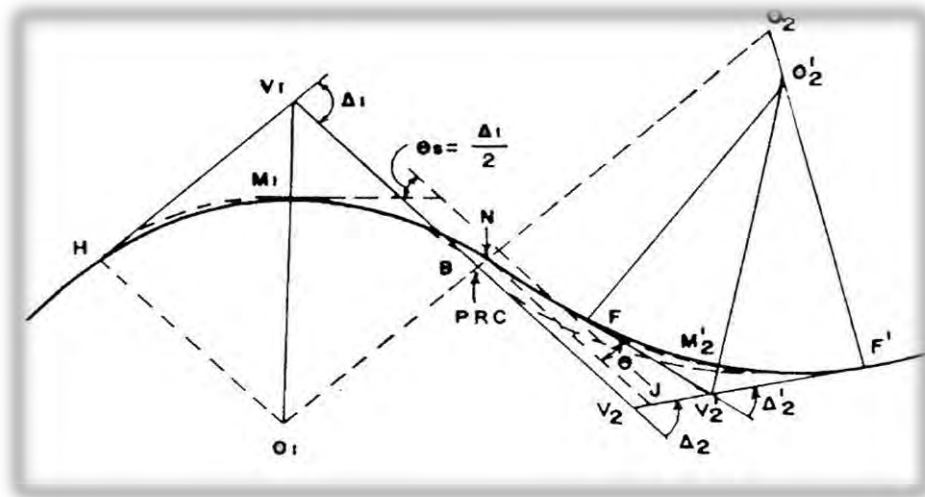
- โค้งผสม (Compound Curve) รูปที่ ๖.



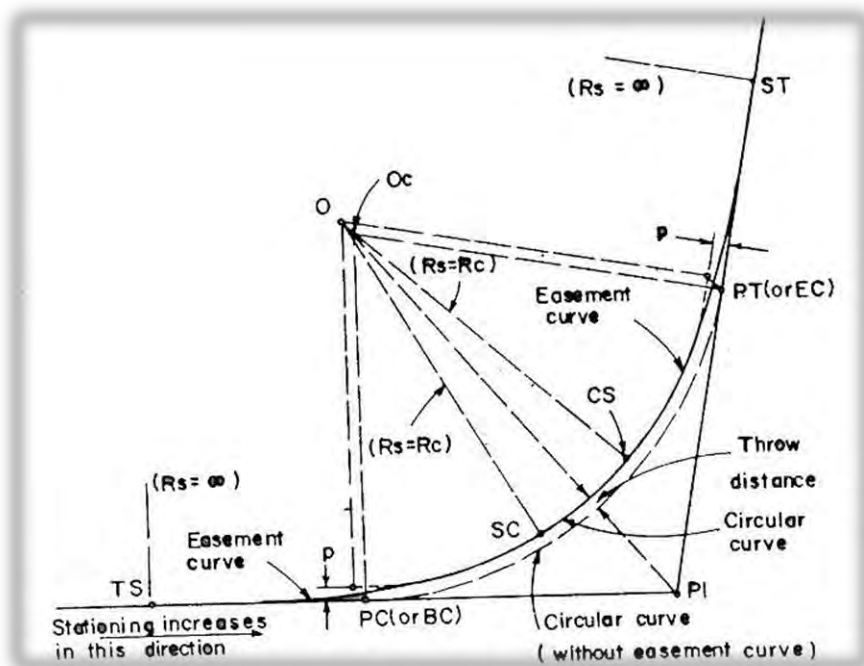
- โค้งหลังหัก (Broken Back Curve) รูปที่ ๗.



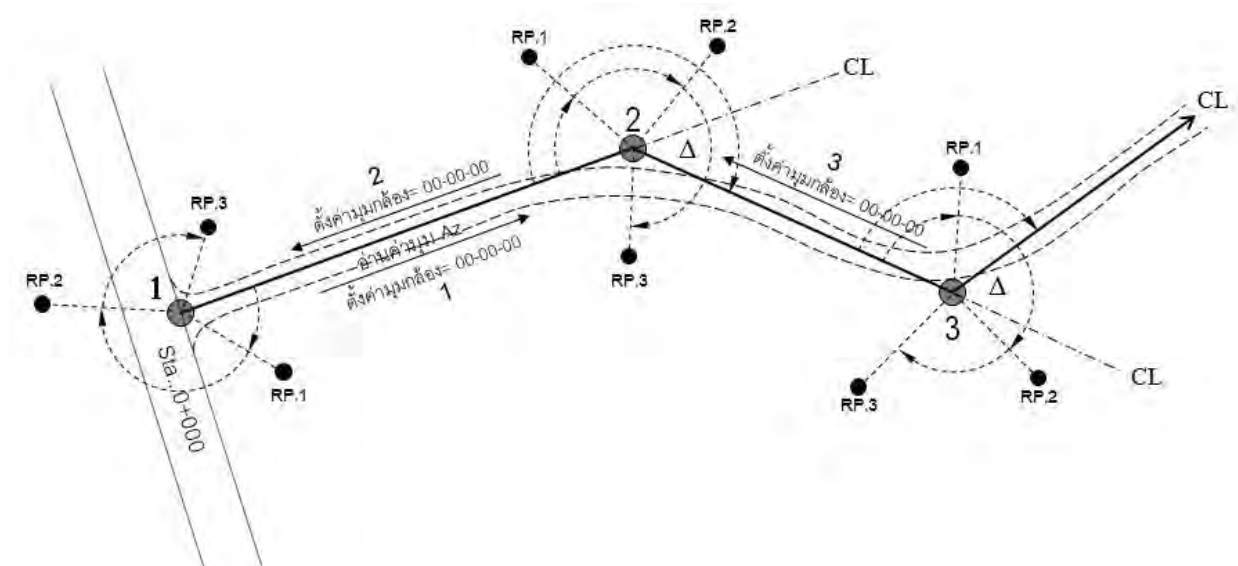
- โค้งผลมย้อนทาง (Reverse Curve) รูปที่ ๘.



- โค้งก้นหอย (Spiral Curve) รูปที่ ๙.

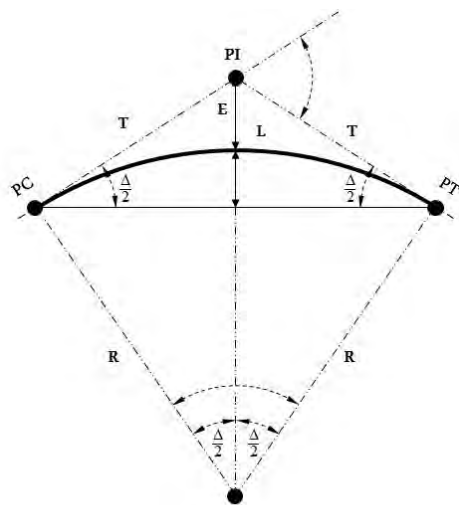


วิธีปฏิบัติงานในสนาม



รูปที่ ๑๐. แสดงการวางตำแหน่งจุดต่างๆที่ใช้ในการคำนวณโค้ง

สูตรที่ใช้ในการคำนวณค่าต่างๆในการวางโค้ง กรณี SIMPLE CURVE



$R = \frac{5729.5779}{D}$
$T = R \times \tan \frac{\Delta}{2}$
$L = 100 \times \frac{\Delta}{D}$
$E = T \times \tan \frac{\Delta}{4}$
STA. PC = STA. PI - T
STA. PT = STA. PC + L

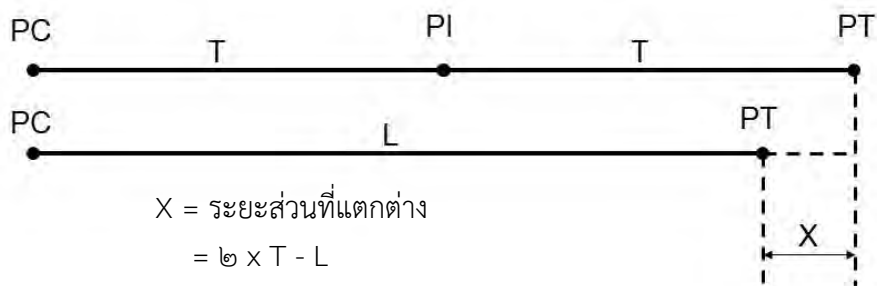
๑. การออกแบบโค้งในสนาม

กรณี SIMPLE CURVE ออกแบบโดยกำหนดค่า D , T , E

ออกแบบโดย	D	T	E
ข้อมูล	Pl.sta, Δ , D	Pl.sta, Δ , T	Pl.sta, Δ , E
1	$R = 5729.578 / D$	$R = T / (\tan \Delta / 2)$	$T = E / (\tan \Delta / 4)$
2	$T = R \times \tan \Delta / 2$	$D = 5729.578 / R$	$R = T / (\tan \Delta / 2)$
3	$L = 100 \times \Delta / D$	ปัดค่า D เป็นจำนวนเต็ม	$D = 5729.578 / R$
4	$E = T \times \tan \Delta / 4$	$E = T \times \tan \Delta / 4$	ปัดค่า D เป็นจำนวนเต็ม
5	-		-
6	STA. PC = STA. PI - T		
7	STA. PT = STA. PC + L		
8	ระยะทดจาก PI = (STA. ต่อไป - STA. PI) + (2xT - L)		
9	STA. กลางโค้ง = STA. PC + L / 2		

ตารางที่ ๑. แสดงการคำนวณโค้งแบบ SIMPLE CURVE

ระยะทดจาก PI = (STA. ต่อไป - STA. PI)
+ (๒ x T - L)



๒.๓ การสำรวจรายละเอียดพื้นที่

๒.๑ การบันทึก&เก็บรายละเอียดข้อมูลในพื้นที่

วิธีปฏิบัติภาคสนาม

๑) เตรียม คน และเครื่องมือ

- คน (ผู้จัดบันทึก & Rodman) ๒ คน

- เครื่องมือ

- Optical Square ๑ อัน

ลูกดิ่ง ๑ ลูก

เทปผ้า ๕๐ เมตร ๒ อัน

Pole ๑ อัน

สมุดสนาม

๒) ขั้นตอนวิธีการเก็บรายละเอียดข้อมูล

๒.๑) ชั่งเทปบน Base line ให้ตั้งเทปอยู่ที่จุด station เริ่มต้น โดยวางทาปไว้บนพื้นและ ปัก pole ไว้ที่ station ที่อยู่ปลายเทป

๒.๒) เล็งผ่าน Optical Square ไปยัง Pole แล้ว เดินไปตามเทปที่วางทาบบนพื้นดิน โดยให้ปลายดิ่ง อยู่บนเทป อ่านค่า Station บนเทปทำเครื่องหมายแสดง Station ที่ตั้งฉากกับจุดนั้น

๒.๓) หา station ที่ตั้งฉากกับจุดที่ต้องการเก็บต่อมา

๒.๔) เริ่มวัดระยะของจุดที่ต้องการเก็บว่าห่างจาก Base line เท่าใด

๒.๕) บันทึกค่า Station ที่ตั้งฉากและระยะห่างจาก Base line

๒.๖) วัดระยะห่างของจุดต่างๆ เขียนรูปลักษณะของสิ่งต่างๆ พร้อมรายละเอียดลงใน

สมุดสนาม

๒.๗) เมื่อกำหนดช่วงเทปที่ชั่งแล้ว ก็ทำช่วง Station ต่อไป

๒.๒ สิ่งที่ต้องเก็บรายละเอียด

- เก็บตำแหน่ง และขนาด
- เก็บตำแหน่ง (ไม่ต้องเก็บขนาด)
- เก็บลักษณะภูมิประเทศ
- เก็บรายละเอียดอื่นๆ

เก็บตำแหน่งและขนาด

๑. อาคาร บ้านเรือน สิ่งปลูกสร้าง เช่น ประตูน้ำ เขื่อนประปา

๒. ท่อระบายน้ำ ท่อกลม & ท่อเหลี่ยม

๓. สะพานไม้ & คอนกรีตเสริมเหล็ก

๔. รั้วไม้ รั้วอิฐ สังกะสี ลวดหนาม

๕. สิ่งปลูกสร้างเพื่อการจราจร เช่น วงเวียน เกาะ

๖. แม่น้ำลำคลอง ลำธาร พร้อม ชื่อ & ทิศทางการไหลของน้ำ

๗. บ่อน้ำ สระน้ำ

๘. บริเวณต่างๆ เช่น วัด โรงเรียน บริเวณที่เป็นหิน ฯลฯ



เก็บตำแหน่ง

๑. เครื่องหมายจราจร เช่น หลักโค้งหลักกิโลเมตร หลักเขตขยายทาง
๒. เสาโคมไฟ เสาไฟฟ้าแรงสูงพร้อมแนวสายไฟ
๓. เสาโทรเลข โทรศัพท์พร้อมแนวสาย
๔. หมุดระดับ
๕. ทางรถไฟ
๖. ท่อประปา พร้อมขนาด
๗. ท่อระบายน้ำอื่นๆ

เก็บลักษณะของภูมิประเทศ

๑. สันเขา ไหล่เขา หุบเหว (แสดงขอบเขต)
๒. ป่า (บอกชนิดของป่า)
๓. สวน (สวนอะไร แสดงขอบเขต)
๔. นา (แสดงขอบเขต)
๕. พุ่มหญ้า
๖. หาดทราย
๗. ไร่ (ไร่อะไร แสดงขอบเขต)

เก็บรายละเอียดอื่นๆ

๑. ตำแหน่งของผิวจราจร ขอบไหล่ทาง ขอบถนน
๒. ชนิดของผิวจราจรของถนน
๓. ตำแหน่งของร่องน้ำข้างทาง
๔. Station ของ PC ,PT,POT และ ทุก Station ๒๕ เมตร
๕. สิ่งอื่นๆ ฯลฯ

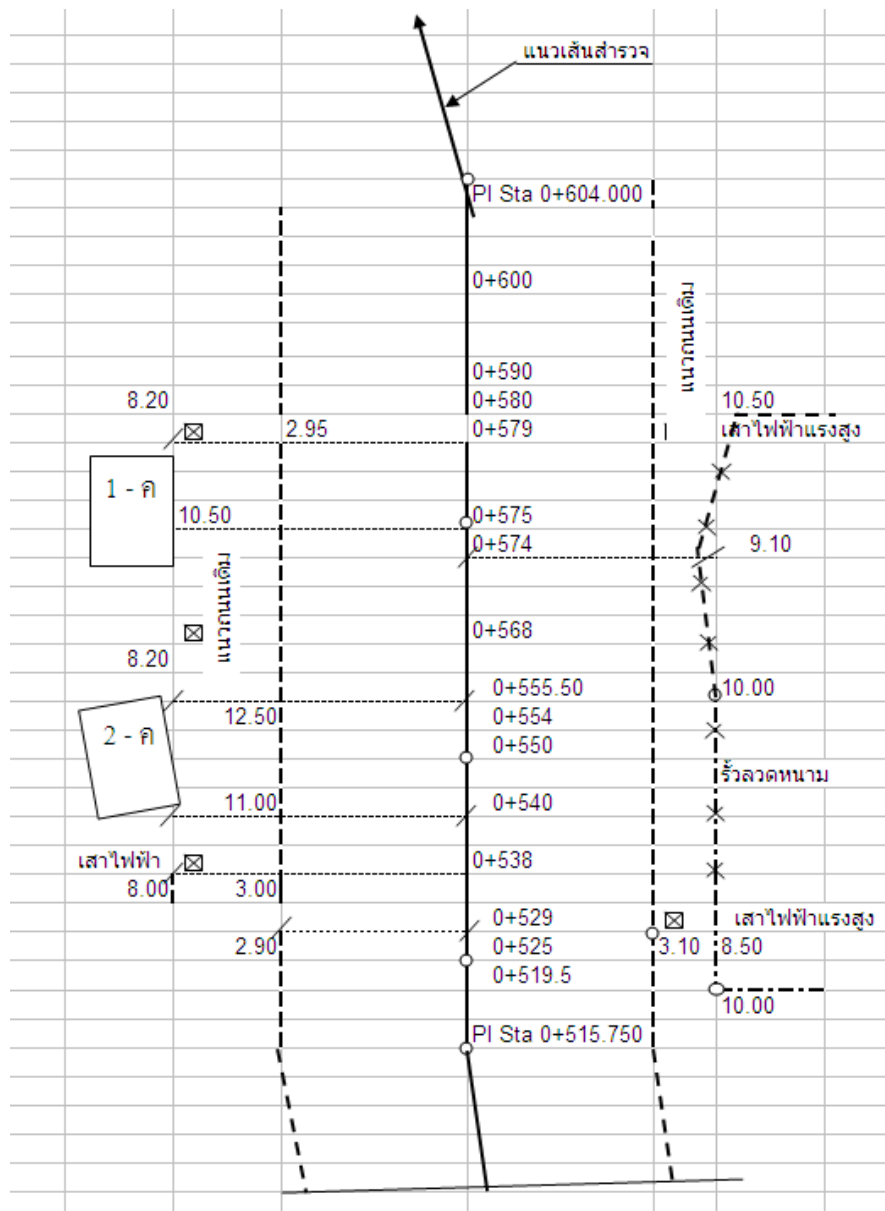
๒.๓ การบันทึกข้อมูล

๑. บันทึกเส้นทางพร้อม Station ลงบนสมุดสนามเสียก่อน
๒. จดค่า Station ของจุดที่เก็บพร้อมทั้งระยะ offset และเขียนรูปสิ่งที่เก็บให้

เรียบร้อย

๓. รูปสิ่งต่างๆที่เขียนลงต้องมีค่า Station ค่า offset และระยะความกว้าง ยาวของสิ่งเหล่านั้นด้วย
๔. ถ้าใช้สัญลักษณ์แทนสิ่งต่างๆได้ ก็ควรใช้
๕. รายละเอียดที่เป็นประโยชน์ในการออกแบบ ก็เก็บมาบรรยายมาเป็นตัวอักษรโดยละเอียด
๖. ตัวเลขและตัวอักษรที่บันทึกในสมุด ต้องอ่านได้ชัดเจน
๗. ความรวดเร็วในการทำงาน

ตัวอย่างการจดบันทึกข้อมูล



รูปที่ ๑๑. แสดงตัวอย่างการบันทึกข้อมูล

จุดที่ต้องเก็บรายละเอียด ต้องเก็บตลอดแนวทางบนเส้น Base line, center line และ Spur line และ Station บนแนวทางทุก Station ต้องได้รับการตรวจสอบว่ามีระยะถูกต้อง

ขอบเขตของการเก็บรายละเอียด จากเส้น Base line หรือ center line ออกไปข้างละเท่ากับเขตขยายทาง ในกรณีที่เก็บตามเส้น Spur line ก็ให้เก็บออกไปจนคลุมสิ่งที่ต้องการเก็บ

การควบคุมการทำงาน ในระหว่างการทำงาน ผู้บันทึกข้อมูลจะต้องอยู่กับ Rodman เพื่อควบคุมให้ Rodman วัดระยะต่างๆ ของสิ่งที่จะเก็บรายละเอียด (ตามรูปที่ ๑๑. แสดงตัวอย่างการบันทึกข้อมูล)

๓. การทำหมุดระดับอ้างอิง (BM)

๓.๑ ความหมายของ BM.

BM. (Bench mark) เป็นหมุดระดับที่มีค่าระดับคงที่ โดยนับจากระดับน้ำทะเลปานกลาง หรือบางทีก็สมมติค่าขึ้น ซึ่งเรียกว่า BM. สมมติ

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในแนวตั้งของการสำรวจ คือ ระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean sea level , msl.) ซึ่งจะมีระดับ ๐.๐๐๐ ม. ดังนั้น ทุกจุดบนผิวดินสามารถบอกให้ทราบถึงความสูง เมื่อเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลางได้ ถ้าอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางพื้นดินตรงจุดนั้นจะมีค่าเป็น บวก(+) และถ้าอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปานกลาง ก็จะเป็นลบ (-)

๓.๒ อุปกรณ์ / กำลังคนของงานสำรวจ

อุปกรณ์งานสำรวจ

๑. กล้องระดับ (Level)

๒. Staff (ไม้วัดระดับ)

๓. เทปวัดระยะ

กำลังคนของงานสำรวจ

๑. คนส่องกล้อง (Instrument man) ๑ คน

๒. คนจดสมุดสนาม (Recorder) ๑ คน

๓. คนถือไม้ Staff (Rod man) ๒ คน

๓.๓ ขั้นตอนของการทำ BM

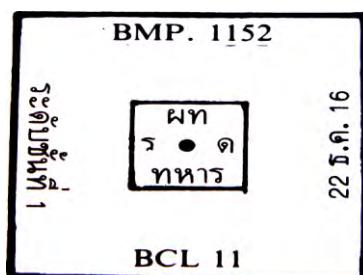
งานขั้นที่ ๑ Precise leveling เป็นงานที่ต้องการความละเอียดสูงมาก เช่น งานด้าน Geodetic ต่าง ๆ การทำ BM. ขั้น ๑ (ของไทยคือ BMP และ BMS) ครอบคลุมทั่วประเทศ เพื่อเป็นพื้นฐานของงานชั้นรองลงมา เครื่องมือที่ใช้ คือ กล้องชนิดที่ ๑ ความละเอียดของงานประมาณ ๐.๕ ถึง ๐.๒ ต่อ กม.

งานขั้นที่ ๒ General Purpose leveling เป็นงานทางด้านวิศวกรรมทั่วไป ความละเอียดของงานจัดไว้เป็นงานชั้น ๒ ความละเอียด ๕ ถึง ๒ มม. ต่อ กม.

งานขั้นที่ ๓ Construction work leveling เป็นงานก่อสร้างที่ต้องการความละเอียดพอสมควร เช่น งานหาปริมาณดินงาน Contour ยอมให้มีผิดพลาดได้ ๓๐v/k

๓.๔ ขั้นตอนของหมุดหลักฐานในประเทศไทย

หมุดขั้นที่ ๑ Principal bench mark (BMP) เป็นหมุดถาวรหล่อด้วยคอนกรีตลึกลงไปในดิน หมุดนี้ตอกเข็มกันทรุดด้วยมีหมุดทองเหลืองที่กรมแผนที่ทหารได้ทำแนวนขึ้นโดยเฉพาะระยะ ห่างระหว่างหมุด BMP ประมาณ ๕ กม. หรือ ใน ๑๐๐ กม. จะต้องมีหมุดอย่างน้อย ๒๐ หมุด ถ้าภูมิประเทศไม่อำนวย ระยะห่างหมุดอาจเป็น ๑๐ กม.ต่อ หมุด

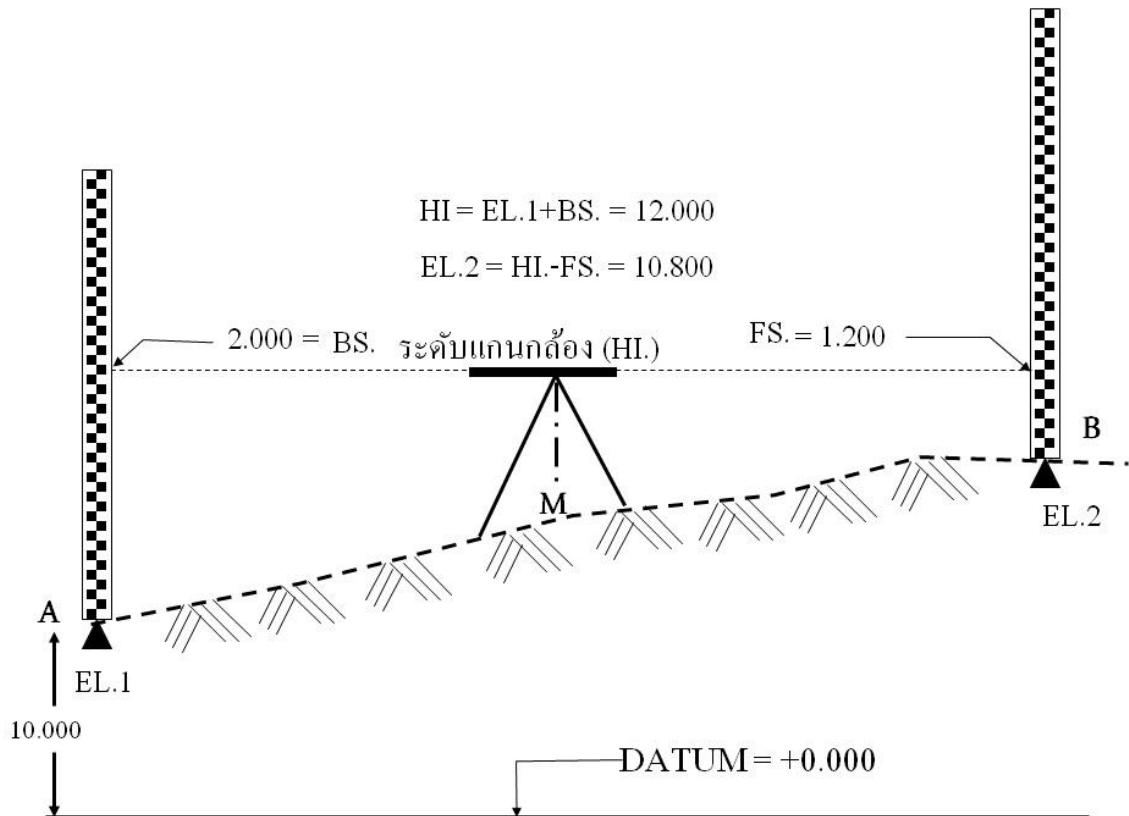


รูปที่ ๑๑. แสดงตัวอย่างหมุดระดับ(BM.)

หมุดชั้นที่ ๒ Secondary bench mark (BMS) หมุดนี้มีความสำคัญรองลงมาจากชั้นที่ ๑ ใช้วิธีสกัดเป็นรูลงไปบนคอนกรีต เช่น เสาสะพาน ท่อระบายน้ำ ฐานอนุสาวรีย์ หรืออาคารที่มีเข็มลึก ๆ ถ้าไม่มีสิ่งก่อสร้างเหล่านี้ กรมแผนที่ทหารก็จะหล่หมุดขึ้นเอง ลักษณะเหมือนกับ BMP ทุกประการ

หมุดชั้นที่ ๓ เป็นหมุด BM ของกรมต่าง ๆ ที่ถ่ายมาจาก BMP BMS การใช้กับงานทางด้านวิศวกรรมของแต่ละกรมกองนั้น ซึ่งจะมีทั้งถาวรและไม่ถาวร พอเสร็จงานก็ทิ้งไป หมุดไม่ถาวร เราเรียกว่า BMT (Temporary bench mark)

๓.๕ หลักการทำการระดับ



รูปที่ ๑๑. แสดงการอ่านค่าระดับ

ในรูปถ้าต้องการทราบความต่างระดับ (Difference in elevation) ระหว่างจุด ๒ จุด คือ จุด A และ

จุด B จะสามารถหาได้โดย ตั้งกล้องที่หมุด M และตั้ง Staff ที่จุด A และ B ตั้งระดับกล้องปรับภาพ Staff สายให้ชัดเจน อ่านค่า Staff ที่ A ก่อน ซึ่งเรียกว่า ค่า BS หรือ Back sight แล้วส่อง FS หรือ Fore sight ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Diff. in elev. AB} &= \text{BS-FS} \\ \text{HI} &= \text{ค่าระดับ BM+BS} \\ \text{ค่าระดับของจุด B} &= \text{HI-FS} \end{aligned}$$

$$\text{สรุปเป็นสูตรได้ว่า Elev B} = \text{HI-FS}$$

๓.๖ คำนิยาม

๑. Back sight (B.S.) หมายถึง ค่า Staff ที่ส่องได้ครั้งแรกหลังจากที่ตั้งกล้องเสร็จแล้ว ส่วนมากจะอยู่บน BM หรือจุดที่ทราบค่าระดับแล้ว

๒. Fore sight (F.S.) หมายถึง ค่า Staff ที่ส่องครั้งสุดท้าย ที่จะย้ายกล้อง ส่วนมาก Staff จะตั้งบนจุดที่มั่นคง ที่ต้องการทราบค่าระดับ

๓. Height of Instrument (HI.) หมายถึง ค่าระดับของแนวแกนกล้องที่ได้ระดับแล้ว สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

๔. Bench mark (BM.) เป็นหมุดระดับที่มีค่าระดับคงที่ โดยนับจากระดับน้ำทะเลปานกลาง หรือบางทีก็สมมติค่าขึ้น ซึ่งเรียกว่า BM สมมติ

๕. Intermediate Foresight (IFS.) เป็นค่า Staff ที่ส่องหลังจากที่ส่อง BS แล้ว

๖. Difference in Elevation เป็นความต่างระดับของจุดสองจุดได้จากการเอาค่า BS ลบ FS หรือ $\sum BS$ ลบ $\sum FS$

๗. Temporary BM (TBM.) หมายถึง BM ชั่วคราวที่สร้างขึ้นในกรณีที่ต้องการระดับไปใช้กับงานอื่น หรือ ทำขึ้นเมื่อการทำงานสิ้นสุดลงในวันหนึ่งๆ

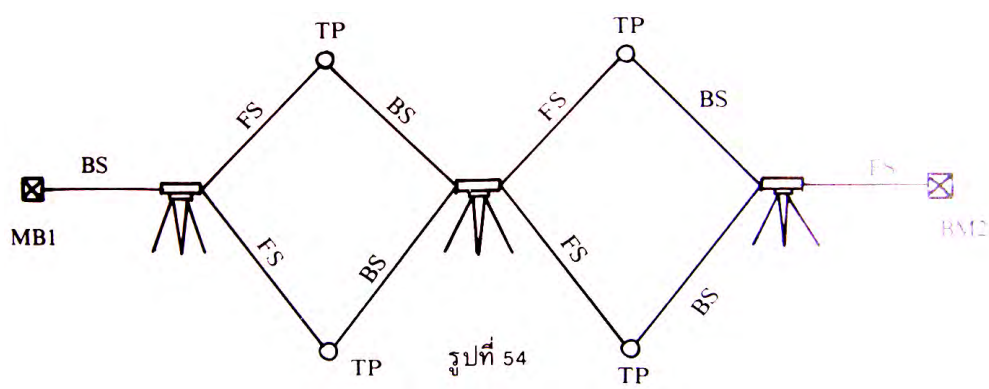
๓.๗ การถ่ายระดับ BM

๑. การถ่ายแบบไป – กลับ (Foreward And Backward Run)

การถ่ายจะทำการถ่ายระดับจากอีกหมุดหนึ่งไปเข้าอีกหมุดหนึ่งเรียกว่า Fore Run (F-Run) เสร็จแล้วก็ถ่ายกลับเรียกว่า Backward Run (B-Run) และการทำนี้จะอ่านค่า Staff จากสายใยเพียงสายเดียวเรียกว่า Single Wire Leveling

๒. การใช้ TP ๒ ชุด (DOUBLE RODDING WITH TWO SETS OF T.P.)

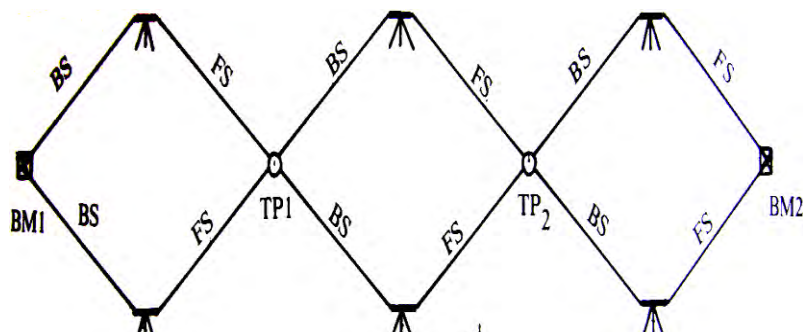
วิธีนี้ใช้กล้องระดับ ๑ เครื่อง Staff ๒ ตัว TP ๔ ตัว ดังรูปการจดจะจดแบบไป-กลับก็ได้ หรือจะจดค่า BS รวมกัน และ FS รวมกันก็ได้ ซึ่งการจดวิธีหลังจะไม่ทำให้เกิดผิดพลาดในการจด (รูปที่ ๑๒.)



รูปที่ ๑๒. แสดงการใช้ TP ๒ ชุด (DOUBLE RODDING WITH TWO SETS OF T.P.)

๓. การใช้กล้อง ๒ เครื่อง Staff ๒ ตัว (DOUBLE INSTRUMENT) (รูปที่ ๑๓.)

วิธีการส่องอาจไม่ใช้กล้อง ๒ ตัวก็ได้ แต่ใช้วิธีขยับกล้องเอา ข้อดีคือส่องเสร็จในเวลาเดียวกันจะทำให้ความผิดพลาดทางธรรมชาติเหมือนกันและเท่ากัน การจตจะจตแบบวิธีไป-กลับก็ได้ หรือจตแบบวิธีที่ ๒



รูปที่ ๑๓. แสดงการใช้กล้อง ๒ เครื่อง Staff ๒ ตัว (DOUBLE INSTRUMENT)

หมายเหตุ วิธีที่ ๑ และวิธีที่ ๓ ถูกต้องกว่าวิธีที่ ๒

วิธีปฏิบัติการถ่ายระดับ BM ของทางหลวงชนบท

๑. หมดระดับควรจะทำทุกๆ ๕๐๐ เมตร
๒. ตัวหมดควรใช้ Spike* เล็ก หรือตะปูตอกคอนกรีตติดกับรากต้นไม้ที่ตากแห้งแล้วและมีขนาดใหญ่โตพอควร การตอกจะต้องตอกให้หัว Spike โผล่พอที่จะตั้ง Staff ได้และไม่ให้โดนรากต้นไม้
๓. ต้นไม้ที่ใช้ทำหมดระดับควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า ๒๐ เซนติเมตรและอยู่ห่างจากแนวศูนย์กลางถนนนอกเขตขยายทาง
๔. ถ้าไม่มีต้นไม้พอที่จะทำหมด BM ได้ ก็ให้ทำหมดระดับโดยใช้แท่งคอนกรีตและฝัง Spike เล็กไว้เป็นจุดระดับ ขนาดของแท่งคอนกรีต ๒๐ x ๒๐ x ๕๐ เซนติเมตร ตอก Guard stake** ไว้ด้วย
๕. ติดป้ายชื่อระดับและค่าระดับให้เห็นชัดเจน
๖. ค่าระดับตัวแรกได้มาจากการถ่ายค่าระดับ (BMP, BMS) ของกรมแผนที่ทหาร ถ้าไม่มีก็ให้สมมุติขึ้นให้ใกล้เคียงกับในภูมิประเทศโดยดูจากแผนที่ Contour
๗. การถ่าย BM. จะต้องทำไปกลับ
๘. BM. ที่ถ่ายจะต้องถ่ายออกจากหมดที่รู้ค่าระดับเข้าไปหาหมดที่รู้ค่าและจะต้องคำนวณการปรับแก้ BM. ต่างๆ เสียก่อนจึงจะนำค่าไปใช้
๙. หมด BM. ที่ใช้ในงานทางกำหนดลำดับ โดย กม.ที่เริ่มต้น / หมดลำดับที่มีในช่วง กม.นั้น เช่น กม.๒-กม.๓ หมดตัวที่๓ ได้ BM. ๒/๓ เป็นต้น

หมายเหตุ * Spike คือ หมดเหล็กแหลม ** Guard stake หมายถึง คอกกั้น

๓.๓.๘ การตรวจสอบ BM

การตรวจสอบค่าระดับของ BM และการทำระดับของ TBM

เมื่อได้ตำแหน่งของ BM และ TBM เรียบร้อยแล้ว ต้องทำการถ่ายระดับ Differential leveling เพื่อตรวจสอบค่าระดับของ BM ซึ่งทำได้เมื่อครั้งสำรวจเพื่อออกแบบว่าถูกต้องหรือไม่ พร้อมทั้งถ่าย

ระดับไว้ที่ TBM ในขณะเดียวกันในการสำรวจเพื่อก่อสร้าง ค่าความละเอียดของงานให้เป็นงานชั้นที่ ๓ ลำดับ ๒ (๓rd Order Class ๒)

Allowable error = $12\sqrt{K}$ มิลลิเมตร

K = Distance of BM in km

ความละเอียดของงานถนน แยกตามประเภท

๑. Alignment (Opened traverse)

งานชั้นที่ ๓ ในการทำ Alignment มีกฎข้อบังคับดังนี้

๑) Angular error ไม่เกิน $10 - 15''\sqrt{N}$ (N = จำนวนหมุดที่ตั้งกล้อง)

๒) Error of closure ไม่เกิน ๑: ๑๐๐๐๐/๑:๕๐๐๐ (ดูในข้อกำหนด)

๒. Bench & Profile leveling

งานชั้นที่ ๓ ในการทำงาน Bench & Profile leveling มีกฎข้อบังคับดังนี้

งานระดับที่ทำไปกลับค่าระดับจะผิดได้ไม่เกิน $8 - 12\sqrt{D}$ มิลลิเมตร

(D = ระยะทางระหว่าง Bench mark คิดเป็นกิโลเมตร)

๓. Cross section

งานชั้นที่ ๓ ในการทำ Cross section มีกฎข้อบังคับดังนี้ งานที่จะทำไปกลับค่าระดับจะผิดไม่เกิน $20\sqrt{D}$ มิลลิเมตร (D = ระยะทางระหว่างจุดที่ทำ) แต่การทำ Cross section ของงาน Route surveying

โดยมากไม่มีการตรวจสอบ การทำงานจึงวัดด้วยเทปผ้า และจับฉากอย่างระมัดระวัง

๔. การทำค่าระดับ Profile

๔.๑ ความหมาย PROFILE LEVELLING

Profile Leveling คือ การทำระดับเพื่อหาระดับดินเดิมตามธรรมชาติ (Existing ground) หรือ Natural ground level = (NGL) ไปตามเส้นพื้นฐานการสำรวจ (Base line) เส้น Base line นี้จะเป็นศูนย์กลางของแนวสำรวจหรือไม่ก็ได้ ถ้าเป็นก็เรียกว่าเป็นศูนย์กลางของแนวสำรวจ (Center line) หรือถ้าเป็นเส้นสำรวจที่แยกจาก Base line หรือ Center line เพื่อเก็บรายละเอียดต่างๆ ก็เรียกว่า Spur line *

ก่อนที่จะทำระดับแนวทางได้นั้น หน่วยสำรวจจะออกไปทำการวางแนวให้ได้เสียก่อน ซึ่งจะวัดระยะ และทำ POT HUB**ไว้ทุกระยะ ๒๕ เมตร ถ้า NGLเปลี่ยนแปลงมากเวลาทำระดับแนวทางก็จะต้องขอยกลงไปอีก

หมายเหตุ * Spur Line คือ แนวเส้นสำรวจที่แยกจากแนว Base Line ; * * Pot Hub คือ หมุดที่ฝังเสมอดิน

๔.๒ อุปกรณ์ / กำลังคนงานสำรวจ

อุปกรณ์งานสำรวจ

๑. กล้องระดับ (Level) พร้อมขากล้อง

๒. Staff (ไม้วัดระดับ) ๓ เมตร , ๔ เมตร

๓. เทปวัดระยะยาว ๒๕ - ๕๐ เมตร

๔. ขวาน

๕. Spike ใหญ่ หรือ น็อต

๖. Spike เล็ก หรือ ตะปูตอกคอนกรีต

๗. สี

๘. ค้อนหงอน

๙. พู่กันเขียนหนังสือ

๑๐. สมุดสนาม หรือ Electronic field

book

กำลังคนของงานสำรวจ

- ๑. คนส่องกล้อง (Instrument man) ๑ คน
- ๒. คนจดสมุดสนาม (Recorder) ๑ คน
- ๓. คนถือไม้ Staff (Rod man) ๒ คน

๔.๓ จุดที่ต้องเก็บระดับ

- ๑. ทุก Station ๒๕ เมตร
- ๒. ทุกจุด PC. PT. และ POT.
- ๓. ทุกจุดที่มีท่อ
- ๔. ทุกจุดที่แสดงรูปตัดของทางน้ำ
- ๕. คอสะพานทั้งสองข้าง
- ๖. ทุก Station ของ Spur line ที่ขีดวางแผนได้ทำไว้
- ๗. ทุกจุดของทางแยกที่ไม่ได้วาง Spur line
- ๘. ทุกจุดที่สภาพพื้นดินเปลี่ยนระดับมากไม่สม่ำเสมอ

๔.๔ ตำแหน่งที่ต้องเก็บระดับน้ำสูงสุด

- ๑. ตามทางน้ำทุกแห่ง
- ๒. ตามที่ลุ่มที่น้ำท่วมถึง
- ๓. บริเวณที่จะเป็นหนองบึงเมื่อฝนตกชุก
- ๔. ระดับน้ำสูงสุด (HWL.) หาได้จากคราบของน้ำตามตลิ่งต้นไม้ และสอบถามจากชาวบ้าน

หมายเหตุ * HWL คือ High Water Level ระดับน้ำสูงสุด

๔.๕ การบันทึกข้อมูล

- ๑. การเก็บระดับของท้องคลองควรเขียนรูปท้องคลองและระยะต่างๆประกอบในสมุดสนามด้วย พร้อมทั้งทิศทางการไหลของกระแส
- ๒. ต้องเขียนรูปแสดงตำแหน่ง พร้อมทั้งรายละเอียดของหมุดระดับลงในสมุดสนามด้วย
- ๓. ความเร็วของการทำงานขึ้นอยู่กับเคลื่อนที่ของ Rodman การย้ายกล้อง การอ่านกล้อง การวัดระยะชอย

ตัวอย่างการจดบันทึก Profile Leveling Paty

						ระดับสมมุติ
25			1.41		100.7	ROD.....
50			1.93		100.18	ROD.....
TP 1	1.871	101.816		2.167	99.945	TAPE.....
75			1.65		100.17	
100			2.34		99.48	
125			2.29		99.53	
150			1.59		100.23	
175			1.13		100.69	
TP 2				1.411	100.405	
	Sum 3.483		Sum 13.7	Sum 3.578	Sum 100.5	
	Sum 3.578					

รูปที่ ๑๔. แสดงตัวอย่างการจดบันทึก Profile Leveling Paty

สูตรการคำนวณ

$$\text{ELEV.} = \text{HI} - \text{IFS}$$

$$\text{HI} = \text{ELEV. BM} + \text{BS}$$

การตรวจสอบการคำนวณ

$$\Sigma \text{BS} - \Sigma \text{FS} = \text{LAST ELEVATION} - \text{FIRST ELEVATION}$$

$$๓.๔๘๓ - ๓.๕๗๘ = ๑๐๐.๔๐๕ - ๑๐๐.๕๐๐ \\ - ๐.๐๙๕ = ๐.๐๙๕ \quad \text{O.K.}$$

๔.๖ วิธีปฏิบัติงานในสนาม

๑. การทำระดับ Profile จะต้องออกจากหมุดที่ทราบค่า Elevation แล้วไปเข้าบรรจบหมุดที่ทราบค่าแล้ว เช่นเดียวกับ ความผิดไม่ควรเกิน ๒๐/km mm.

๒. ถ้าดินเปลี่ยนแปลงมากให้ Chainman วัดระยะชอยของดิน การวัดระยะให้วัดละเอียดตามสมควร

๓. ค่า IFS อ่านละเอียดเป็น ๑ เซนติเมตร

๔. ค่า FS และ BS จะต้องอ่านให้ละเอียดเหมือนกับการถ่าย BM ทุกประการ

๕. เมื่อ Profile ข้ามลำน้ำจะต้องชอยทุกระยะ ๒ เมตร หาค่าระดับน้ำสูงสุดทิศทางการไหล

อัตราการไหล

๖. สัญญาณที่ใช้จะต้องชักซ้อนกันให้คล้องอย่าให้ผิดพลาดได้

๗. Instrument man จะต้องอธิบายหน้าที่ของสมาชิกในกลุ่มของตนเองให้เข้าใจในหน้าที่ของแต่ละคน อย่าให้ก้าวก่ายหน้าที่กันแต่ให้ประสานงานกันมากที่สุด

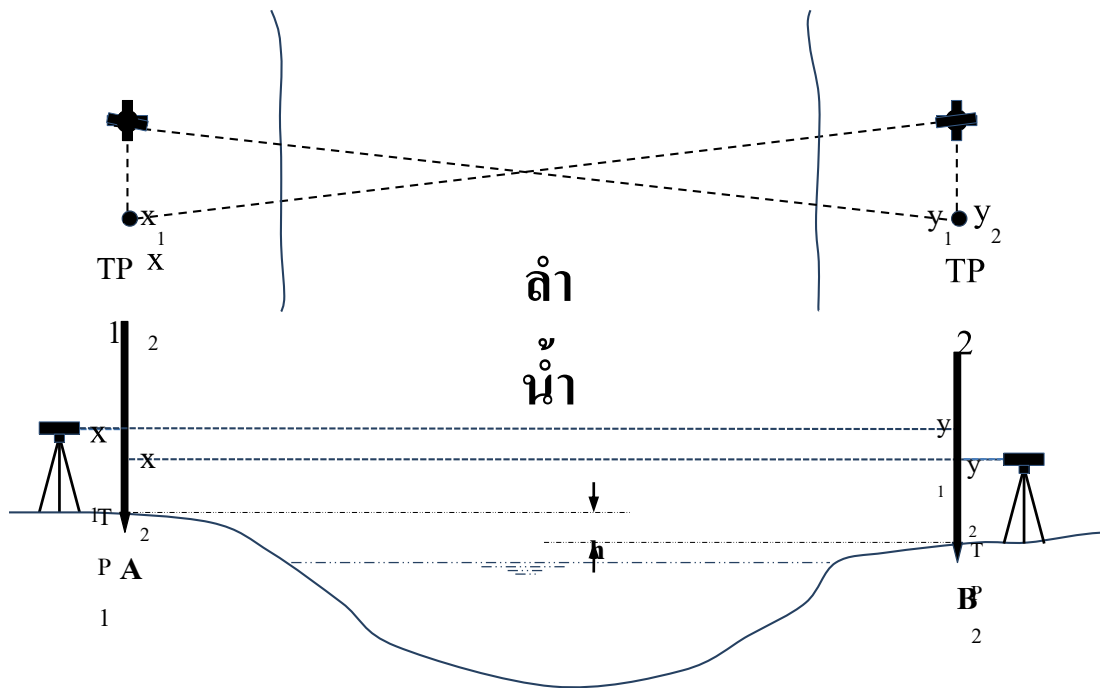
รูปที่ ๑๕. แสดง การทำระดับแบบสอกลับ (Reciprocal Leveling)

๓.๔.๗ การทำระดับแบบสอกลับ (Reciprocal Leveling)

- การทำระดับแบบ Differential Leveling จะต้องพยายามให้ระยะห่างระหว่าง BS กับ FS เท่ากันให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ รูปที่ ๑๕.
- แต่ในกรณีที่ไม่สามารถทำให้ระยะห่างระหว่าง BS กับ FS เท่ากันได้ เช่น เมื่อต้องสำรวจข้ามแม่น้ำหรือหุบเขา การทำระดับแบบสอกลับ (Reciprocal Leveling) จะช่วยจำกัดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้และสภาพการทำงานให้หมดไปโดยการชดเชยกัน

วิธีการทำระดับแบบสอกลับ มีดังนี้

๑. ตั้งอยู่ใกล้ TP๑ ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้
๒. อ่านค่าไม้ระดับที่ TP๑ ซึ่งอาจจะต้องใช้ดินสอเลื่อนขึ้นลงจนกระทั่งมองเห็นผ่านทางกล้องสมมติอ่านค่าได้ $x_๑$
๓. อ่านค่าไม้ระดับที่ TP๒ สมมติอ่านค่าได้ $y_๑$
๔. ย้ายกล้องไปอีกฝั่งของแม่น้ำและตั้งกล้องให้อยู่ใกล้ TP๒ ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้
๕. อ่านค่าไม้ระดับ TP๒ วิธีการเช่นเดียวกันกับข้อ ๒ สมมติอ่านค่าได้ $y_๒$
๖. อ่านค่าไม้ระดับที่ TP๑ สมมติอ่านค่าได้ $x_๒$
๗. ความแตกต่างของระดับระหว่างจุด A กับ B ที่ต่างกันจริงๆ $(h) = ๐.๕ [(y_๑ - x_๑) + (y_๒ - x_๒)]$



รูปที่ ๑๖. แสดง การทำค่าระดับ Cross Section

๕. การทำค่าระดับ Cross Section

๕.๑ Cross section or X – section

การทำ Cross section คือ การทำระดับของงานดิน (Existing ground) ไปในแนว ตั้งฉาก กับเส้นพื้นฐานของแนวสำรวจ (Base line) (รูปที่ ๑๖.)

ช่างสำรวจต้องทำ Cross section ให้ได้ค่าที่จะนำไปหาปริมาณงานดินที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด การเก็บค่าระดับดินเดิมในบางจุดบน Station ที่ทำแล้วมีผลทำให้ได้ระดับดินเดิม (NGL) คำนวณค่าปริมาณงานดินผิดจากความจริงไปมาก ก็ให้พิจารณาเลียงไปหาระดับ ณ จุดที่ใกล้เคียงที่ทำให้ คำนวณค่าปริมาณงานดินถูกต้อง

๕.๒ อุปกรณ์ และ กำลังคนงานสำรวจ

อุปกรณ์งานสำรวจ

- | | |
|--|--------------|
| ๑. กล้องระดับ (Level) พร้อมขากล้อง | ๕. สมุดสนาม |
| ๒. กล้องวัดมุม (Theodolite) พร้อมขากล้อง | ๖. มีดถางป่า |
| ๓. Staff (ไม้วัดระดับ) ๓ เมตร, ๔ เมตร | |
| ๔. เทปวัดระยะยาว ๒๕ -๓๐ เมตร | |

กำลังคนของงานสำรวจ (Cross Section Party)

- | | |
|---------------------------------|------|
| ๑. คนส่องกล้อง (Instrument man) | ๑ คน |
| ๒. คนจดสมุดสนาม (Recorder) | ๑ คน |
| ๓. คนถือไม้ Staff (Rod man) | ๒ คน |

๕.๓ จุดที่ต้องเก็บระดับในแต่ละ CROSS SECTION

๑. ในกรณีที่มีถนนเดิมอยู่ให้เก็บที่ Base line กลางถนนไหล่ทาง ขอบร่องน้ำข้างถนนและพื้นที่ดินทุกจุดที่เปลี่ยนความลาด (Slope)

๒. ในกรณีที่ไม่มีคันทาง เก็บที่ Base line * และตามจุดที่ดินเปลี่ยนความลาด

๓. ในกรณีไม่มีคันทางและดินราบเสมอกัน สังเกตการเปลี่ยนความลาดของพื้นดินได้ยาก เช่น ทุ่งนา หรือป่าที่พื้นดินเสมอกัน ก็ให้เก็บที่ Base line และทุก ๕, ๑๐, ๒๐ เมตร และที่ ROW. * จาก Base line

๔. หลีกเลี่ยงการเก็บระดับบนพื้นที่เปลี่ยนความลาด ซึ่งจะทำให้ค่างานดินเปลี่ยนไปมาก เช่น จอมปลวก เนินดิน ที่มีความยาวไปตาม Station ไม่ถึง ๑๐ เมตร และคันนา หลุมหรือบ่อที่มีความยาวไปตาม Station ไม่ถึง ๑๐ เมตร

๕. ใน Cross Sect^๓ บนท่อ นอกจากเก็บที่ Base line กลางถนนและไหล่ทางแล้วต้องตั้ง Staff เก็บที่ปลายปากท่อ (หลังท่อ) และที่ Inlet และ Outlet และบนพื้นดินเปลี่ยนความลาดจนถึง ROW.

๖. ใน Cross Sect^๓ ของทางน้ำเก็บระดับที่ Base line และทุกจุดที่เปลี่ยนความลาดจนถึง ROW.

๗. ใน Cross Sect^๓ ของคอสะพานเก็บระดับที่ Base line กลางถนน ไหล่ทางและทุกจุดที่พื้นดินเปลี่ยนความลาด (Slope)

๘. ใน Cross Sect^๓ ของ Spur line* ที่เป็นถนนเก็บแบบเดียวกับของ Base line ทุกกรณี ใน Cross Sect^๓ ของ Spur line ที่เป็นคลองเก็บที่ขอบตลิ่งกันคลองที่ตลิ่ง และกันคลองที่กลางน้ำ และบนตลิ่ง ที่พื้นดินเปลี่ยนลาด และที่ ๑๐ เมตร จากขอบตลิ่งที่จุดบน SP.L

หมายเหตุ * Base Line ของถนน คือ โดยปกติคือ แนวศูนย์กลางถนน ** ROW คือ เขตทาง Right of Way

* Spur Line คือ แนวเส้นสำรวจที่แยกจากแนว Base Line

๕.๔ การทำ Cross Section ด้วยกล้องระดับ

๑. คนกล้องตั้งกล้องส่อง BS. ไปยัง BM. หรือ HUB.* หรือ TBM. หมุนกล้องส่องค่า IFS. บน Staff

๒. ที่ตั้งบน Cross line หรือ Spur line ในขณะเดียวกัน Chainman ก็วัดระยะจาก Base line ไปยังจุดตั้ง Staff นั้น

๓. ข้อมูลต่างๆ ผู้จัดบันทึกจะต้องจด ตลอดจนเขียนภาพ Sketch ต่างๆ อย่างละเอียด

๔. การจับฉากถ้าระยะใกล้ก็ใช้ Optical square ถ้าไกลมากก็ใช้กล้อง Theodolite

หมายเหตุ * HUB คือ หมุดคอนกรีตหรือไม้ที่ฝังเสมอดิน

๕.๕ ตำแหน่งที่ต้องทำ CROSS SECTION

๑. ทุก Station ๒๕ เมตร (STA. เดียวกับ Profile)

๒. ทุกจุดที่มีท่อ

๓. ทุกจุดที่มีทางน้ำ

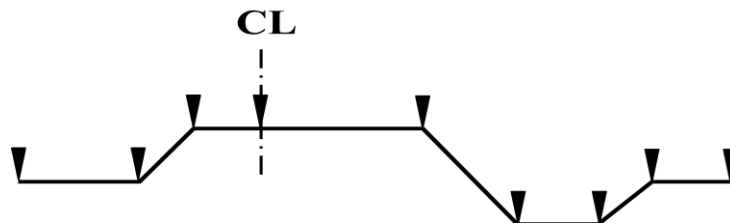
๔. คอสะพานทั้งสองข้าง

๕. ทุก Station ของ Spur line ที่ชุด Alignment party ทำไว้

๖. ทุกจุดของทางแยก ที่ไม่ได้วาง Spur line

ขอบเขตของการเก็บ Cross section

การเก็บระดับจะต้องเก็บกว้างข้างละเท่ากับ ROW. หรือมากกว่าถ้าจำเป็นทั้งสองด้าน ในกรณี Spur line ที่เป็นถนนอาจเก็บออกไปไม่เท่ากับ ROW. ของ Center line ประมาณ ๑๕ – ๒๐ เมตร ในกรณี Spur line ที่เป็นคลองให้เก็บคลุมขอบตลิ่งไปข้างละไม่น้อยกว่า ๑๐ เมตร (รูปที่ ๑๗.)



รูปที่ ๑๗. แสดง ตำแหน่งการเก็บข้อมูล Cross Section

๕.๖ การจดข้อมูล Cross Section

การจด Field Book นั้น Recorder จะเป็นคนจดซึ่งจะต้องทำการจดค่า Staff และค่าระยะไปพร้อมกัน รวมทั้งเขียนรูป Sketch ต่างๆ วิธีการจด Cross section มีดังนี้

วิธีที่ ๑ ในกรณีที่ส่อง BS ไปยัง Center station ซึ่งรู้ค่าระดับจากการทำระดับ Profile แล้ว

สูตร $Elev. = HL - IFS$

หรือ $Elev. = HL - FS$

$$\Sigma BS - \Sigma BS = \text{Last Elev.} - \text{First Elev}$$

วิธีที่ ๒ ส่องจาก BM ไปเข้าบรรจบ BM วิธีนี้ให้ความละเอียดมากกว่าวิธีที่ ๑ เพราะสามารถตรวจสอบการส่องกล้องได้

ตัวอย่างการบันทึกข้อมูล Cross – Section Party (วิธีที่๑)

CROSS SECTION

FROM STATO STA.....ROUTE NO.๔

PROJECT.....

PC.....

DATE.....

INST.....

INST.NO.

ROD.....

WEATTHER.....

ROD.....

CHINMAN.....

CHINMAN.....

LT		CRT		RT	
<u>STA ๐ + ๐๒๕</u>		BS = ๑.๕๔๖		HI = ๕๑.๖๘๙	Elev.
= ๕๐.๑๔๐					
Dist_	๑๕	๑๐	๕	๐ / ๐	๔ ๙ ๒๐
Rod		๑.๗๓	๒.๕๗	๑.๘๑	๑.๕๔๖ ๑.๒๑ ๑.๖๙ ๑.๓๓
Elev.		๔๙.๙๖	๔๙.๑๒	๔๙.๘๘	๕๐.๑๔๐ ๕๐.๔๘ ๔๙.๙๙ ๕๐.๓๖
<u>STA ๐ + ๐๕๐</u>		BS = ๑.๙๑๒		HI = ๕๓.๑๓๒	Elev. = ๕๑.๒๒๐
Dist_	๑๕	๗	๔	๐ / ๐	๓ ๗ ๑๕
Rod		๑.๕๖	๓.๑๔	๒.๖๑	๑.๙๑๒ ๑.๔๔ ๑.๖๑ ๓.๐๒
Elev.		๕๑.๕๗	๔๙.๙๙	๕๐.๕๒	๕๑.๒๒๐ ๕๑.๖๙ ๕๑.๕๒ ๕๐.๑๑

หมายเหตุ ถ้าหากว่าในระหว่าง STA ๐ + ๐๒๕ และ STA ๐ + ๕๐ มีลักษณะภูมิประเทศเปลี่ยนแปลงมาก หรือเป็นที่ ที่ต้องวางท่อระบายน้ำจะต้องแบ่งซอยทำ Cross section เพิ่มขึ้นอีก

ตัวอย่างการบันทึกข้อมูล Cross – Section Party (วิธีที่๒)

วิธีที่ ๒ ส่องจาก BM ไปเข้าบรรจบ BM วิธีนี้ให้ความละเอียดมากกว่าวิธีที่ ๑ เพราะสามารถตรวจสอบการ
ส่องกล้องได้

CROSS SECTION

FROM STATO STA..... ROUTE NO.....

PROJECT.....

PC.....

DATE.....

INST.....

INST.NO.

ROD.....

WEATHER.....

ROD.....

๓.๕.๗ วิธีปฏิบัติในสนามสำหรับงานของ ทช.

เนื่องจากการสำรวจถนนทางหลวงชนบทเป็นการสำรวจระยะทางสั้นๆ ประมาณ ๒-๕ กม. เขตทางในการก่อสร้างข้างละไม่เกิน ๑๐.๐๐ เมตร และให้แล้วเสร็จในระยะเวลาอันสั้น การสำรวจจึงนิยมใช้การหาระดับให้ทำ Profile ไปพร้อมกับ Cross Section (วิธีที่๒) ซึ่งสะดวกและรวดเร็ว แต่การหาระดับวิธีนี้จะทำได้ดี ก็ต่อเมื่อมีการวาง Staff ออกจากแนวสำรวจเป็นระยะเท่าๆ กัน เช่น ตั้ง Staff ที่ระยะ ๓ , ๖ , ๙ และ ๑๒ เมตร ตามพื้นราบหรือตามทุ่งนา

ซึ่งไม่ตรงกับสภาพความเป็นจริงที่ส่วนใหญ่เป็นการสำรวจถนนที่มีคันทางเดิม เพื่อนำมาออกแบบเป็นถนนลาดยาง เพราะฉะนั้นงานสำรวจจำเป็นที่จะต้องเก็บสภาพคันทางเดิมให้เป็นจริงมากที่สุด โดยเพิ่มการจดระยะที่มีการตั้ง Staff พร้อม Sketch ภาพคันทางแต่ละ Sta. สมุดสำรวจระดับควรประกอบด้วย

โดยให้แบ่งสมุดจดระดับเป็น ๒ เล่ม

๑. สมุดระดับ Cross Section สำหรับจดค่าระดับจากกล้อง

๒. สมุด X – Section สำหรับจดระยะตั้ง Staff และ Sketch ภาพ

โดย ผู้สำรวจต้องเก็บระดับในทุกจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับตามตำแหน่งที่ตั้ง Staff คันทางเดิมตามตำแหน่งที่ระดับเปลี่ยนแปลง เช่น



๖. การสำรวจเก็บรายละเอียดช่องเปิดระบายน้ำ

รายการสำรวจเพื่อประกอบการจัดทำแบบก่อสร้าง ประกอบด้วย

๖.๑ แปลน จะต้องทำแผนผังบริเวณที่จะเปิดช่องน้ำสะพานและท่อนั้น โดยรายละเอียด (ถ้าเป็นไปได้ควรทำแผนที่ Contour ได้ก็ยิ่งดี) ในแปลนจะต้องแสดงแนวถนนทางโค้ง แนวลำน้ำที่ผ่านทางทิศทางน้ำไหล ภูมิประเทศโดยรอบ เช่น บ้านคน ต้นไม้ใหญ่ ถนนอื่นๆ ทางรถไฟ ประตุน้ำ เป็นต้น ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้อาจกระทบกระเทือนต่อการก่อสร้างสะพาน และท่อได้

๖.๒ รูปตัด ทำรูปตัดของร่องน้ำแห่งนั้น ประกอบด้วยระดับท้องคลอง ระดับดินเดิมทั้งสองฝั่งตามแนวศูนย์กลางทาง ค่าระดับของถนนเดิม สะพานเดิม ตำแหน่งตอม่อของสะพานเดิม (ถ้ามี) ถ้าในกรณีที่เป็นทางเขาจะต้องทำรูปตัดหรือ Profile ออกไปทั้งสองข้างของลำน้ำ ให้ยาวพอที่จะพิจารณากำหนดระดับหลังสะพานหรือหลังทางได้ นอกจากนี้แล้วจะต้องให้ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด ซึ่งอาจสังเกตรอยคราบน้ำท่วม หรือสอบถามจากชาวบ้านในบริเวณนั้นก็จะได้ค่าระดับหลังสะพานเดิมหรือสะพานใกล้เคียง เช่น สะพานรถไฟระดับหลังประตุน้ำ หรือหลังเขื่อน ฝายในบริเวณนั้น เป็นต้น

๖.๓ รายละเอียดอื่นๆ นอกเหนือไปจากแปลนและรูปตัดแล้ว ขณะที่สำรวจยังจะต้องให้รายละเอียดอื่นๆ เพิ่มเติมอีก ดังนี้คือ

- รายละเอียดที่เกี่ยวกับสายทาง ประกอบด้วยระยะกิโลเมตร ที่จะสร้างสะพานหรือท่อ ชื่อ ลำน้ำ ชื่อสายทาง เป็นต้น

- ลักษณะดิน ต้องสำรวจลักษณะดินริมฝั่ง และท้องน้ำ เป็นดินชนิดไหน เช่น ดินเหนียว ทราย หรือหิน เป็นต้น ในขั้นนี้เพียงเพื่อต้องการเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาออกแบบฐานราก เท่านั้น
- สิ่งลอยน้ำ หมายถึง ขอนไม้ และสิ่งลอยน้ำอื่นๆ รวมถึง เรือ แพ ชุง ด้วย จะต้องระบุความกว้าง ยาว และสูงไว้ด้วย ทั้งนี้เพื่อกำหนดระดับท้องสะพาน และขนาดความยาวช่วงของสะพาน
- น้ำ นอกจากจะสำรวจระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุดแล้ว จะต้องบอกด้วยว่าเป็นน้ำจืดหรือน้ำเค็ม ขึ้นลงประจำวันหรือไม่ หรือมีร่องรอยการกัดเซาะตลิ่งด้านขวาหรือซ้ายอย่างไรหรือไม่ เป็นต้น
- สะพานและถนนเดิม ควรให้ชนิดและขนาดของสะพานเดิม ตลอดจนผิวทางบริเวณคอสะพานด้วย
- คำแนะนำของผู้สำรวจ ผู้สำรวจเป็นผู้ใกล้ชิดและเห็นสถานที่ ดังนั้นจึงควรให้คำแนะนำไปด้วยว่า ตรงร่อนน้ำนี้ควรสร้างสะพานหรือทำท่อ ระดับควรอยู่ที่ไหน ควรเปลี่ยนทางน้ำหรือไม่หรือนำแนะอื่นๆ อันเป็นประโยชน์แก่การออกแบบในภายหลัง

๗. เก็บตัวอย่างและทดสอบตัวอย่างดินเดิม เจาะสำรวจชั้นดิน และแหล่งวัสดุ

๗.๑ งานถนน

ชุดทดสอบจะต้องสำรวจสภาพพื้นผิวดินและสภาพใต้พื้นผิวดินที่จำเป็นสำหรับออกแบบรายละเอียดของถนนและโครงสร้างต่างๆ ศึกษาการทรุดตัวของคันทางที่จะเกิดขึ้น และเสถียรภาพของคันทางที่สามารถรับได้ โดยให้เก็บตัวอย่างจาก Test pit ทุกระยะไม่เกิน ๕๐๐ เมตร และตามความเหมาะสม

ในกรณีเป็นสภาพพื้นที่ดินอ่อน การเจาะสำรวจชั้นดินอ่อน ให้ทดสอบ Vane Shear Test อย่างน้อยสะพานละ ๒ หลุม ตามลักษณะของดินที่เปลี่ยนแปลงไป หรือเพียงพอต่อการพิจารณาวิเคราะห์เสถียรภาพของคันทาง และออกแบบโครงสร้างทาง

ในกรณีบริเวณเป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันและต้องมีการตัด (Cut) และมีการถม (Fill) ในบริเวณโครงการ ให้ตรวจสอบความแข็งแรงของพื้นที่บริเวณโครงการ เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดคันทาง (Side Slope) โดยต้องดำเนินการทดสอบความแข็งแรงของดินในบริเวณโครงการด้วยวิธีที่เหมาะสม

งานทดสอบ ให้ทดสอบอย่างน้อยดังต่อไปนี้

- Sieve Analysis
- Atterberg Limits
- Standard Procter
- C.B.R. และ Swell

๗.๒ งานสะพาน

งานเจาะสำรวจดินฐานราก จะต้องเจาะดินกลางลำน้ำอย่างน้อย ๑ หลุม และเจาะดินบนตลิ่งฝั่งละ ๑ หลุม รวมเป็นอย่างน้อย ๓ หลุม โดยต้องแสดงพิกัดตำแหน่งและระดับของหลุมเจาะด้วย หากพบว่าสภาพดินมีความแปรปรวนสูง จะต้องพิจารณาดำเนินการสำรวจเจาะเพิ่มเติมจนได้ข้อมูลเพียงพอต่อการออกแบบฐานรากตามโครงการแห่งนั้นๆ การเจาะให้เจาะจนถึงชั้นทรายแน่นหรือชั้นดินแข็ง โดยพิจารณาจาก Blow Counts ที่มีค่าน้อยกว่า ๕๐ ครั้ง/ฟุต จำนวน ๓ ครั้งติดต่อกัน และหนาไม่น้อยกว่า ๓ ม. หากกรณีเจาะพบชั้น ที่คาดว่าจะเป็ชั้นหินแข็งที่ระดับความลึกที่ไม่เพียงพอที่จะนำไปออกแบบระบบฐานรากที่เหมาะสมได้ ให้พิจารณาเลือกเจาะสำรวจเพิ่มเติมลงไปในพื้นที่บริเวณกลางลำน้ำ อย่างน้อย ๑ หลุม ให้มีความลึกเพียงพอที่จะสามารถนำไปใช้ในการออกแบบฐานรากของโครงการได้อย่างมั่นคงแข็งแรงหรือ

พิจารณาทำ Soil Resistivity เพิ่มเติมจนได้ข้อมูลเพียงพอต่อการวิเคราะห์และคำนวณออกแบบฐานรากของสะพานที่ปลอดภัยจากการกัดเซาะ การทรุดตัว และรับน้ำหนักโครงสร้างได้ตามกำหนด

งานทดสอบ ให้ทดสอบอย่างน้อยดังต่อไปนี้

- Sieve Analysis
- Atterberg Limits
- Natural Water Content
- Unit Weight
- Unconfined Compression (Q_u) – ถ้าทดสอบได้
- S_u จาก Unconfined Compression = $Q_u/2$
- S_u จาก Pocket Penetrometer
- Point Load Strength Index ในตัวอย่างหิน (ถ้ามี)
- Unconfined Compression Test : Without Strain Gauge ในตัวอย่างหิน (ถ้ามี)
- ค่า RQD ของหิน

๗.๓ งานสำรวจแหล่งวัสดุก่อสร้างและการทดสอบ

ชุดสำรวจจะต้องตรวจสอบหาแหล่งวัสดุที่เหมาะสมและเพียงพอต่องานก่อสร้าง จะต้องทำการเก็บตัวอย่างประเภทวัสดุมวลรวม หินโม้ ทรายแม่น้ำ ให้เก็บตัวอย่างประเภทละไม่น้อยกว่า ๑ ตัวอย่างต่อชนิดวัสดุของแต่ละแหล่ง สำรวจแหล่งวัสดุที่มีปริมาณไม่น้อยกว่า ๒ เท่าของปริมาณที่คาดว่าจะใช้จริง

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุก่อสร้างให้ดำเนินการทดสอบ อย่างน้อย ดังต่อไปนี้

- Sieve Analysis
- Atterberg Limits
- Modified Procter
- C.B.R. และ Swell
- Los Angeles Abrasion

๘. มาตรฐานงาน

๑.๒ ขั้นตอนและความละเอียดของงานถนน

ความละเอียดของงานถนน แยกตามประเภทของงานได้ดังนี้

๑.๒.๑ Alignment (Opened Traverse)

งานชั้นที่ ๓ ในการทำ Alignment มีกฎข้อบังคับดังนี้

๑) Angular Error ไม่เกิน ๑๐-๑๕” N (N = จำนวนมุมที่ตั้งกล้อง)

๒) Error of Closure ไม่เกิน ๑:๑๐,๐๐๐ / ๑:๕,๐๐๐ (ดูในข้อกำหนด)

๑.๒.๒ Bench Mark & Profile Leveling

งานชั้นที่ ๓ ในการทำ Bench Mark & Profile Leveling มีกฎข้อบังคับดังนี้

- งานระดับที่ทำไปกลับค่าระดับจะผิดได้ไม่เกิน ๘-๑๒ mm. $\sqrt{K}$ (K = ระยะทางระหว่าง Bench Mark คิดเป็นกิโลเมตร)

๑.๒.๓ Cross Section

งานชั้นที่ ๓ ในการทำ Cross Section มีกฎข้อบังคับดังนี้

- งานที่จะทำไปกลับค่าระดับจะผิดไม่เกิน ๒๐ mm. $\sqrt{K}$ (K = ระยะทางระหว่างจุดที่ทำไปกลับแต่การทำ Cross Section ของงาน Route Surveying ไม่มีการตรวจสอบเพราะเป็นระยะใกล้ๆ แต่ต้องอ่านค่า Back Sight ด้วยความระมัดระวัง)

๑.๒.๔ Topographic (Horizontal Detail)

งานชั้นที่ ๔ ในการทำ Topographic (Horizontal Detail) มีกฎข้อบังคับ

๑) Angular Error ไม่เกิน ๑๒๐" N (N = จำนวนหมุดที่ตั้งกล้อง)

๒) Error of Closure ไม่เกิน ๑:๓,๐๐๐

แต่การทำ Topographic (Horizontal Detail) ของงาน Route Surveying โดยมากไม่มีการตรวจสอบการทำงานจึงต้องวัดเทปผ้า และจับฉากอย่างระมัดระวัง

การทำงานให้ได้ผลตามความละเอียดของงานดังกล่าวแล้ว ช่างสำรวจจะต้องมีวิธีปฏิบัติดังนี้

๑. งาน Alignment

- การวัดมุมต้องทำ Double Center ทุกมุม ความคลาดเคลื่อนในการวัดมุม ไม่เกิน ๑๐" เมื่อทำการต่อแนวการทำ Double Center ในระยะ ๕๐๐ เมตร ไม่ควรห่างกันเกิน ๔ ซม.
- การวัดระยะทางใช้ Tape เหล็กมาตรฐานตั้งด้วยแรงที่กำหนดไว้ ๑๐-๑๒ ปอนด์ และตั้งด้วยแต่ไม่ต้องแก้ Tape Correction

๒. งาน BM & Profile Leveling

- การตั้งกล้องให้อยู่ในที่ที่ดินแข็งพอสมควร ในการอ่านค่า Foresight และ Backsight ต้องปรับลูกน้ำเขาควย (Telescope Bubble) ให้ได้ศูนย์ทุกครั้ง และอ่านค่าระดับเป็นมิลลิเมตร IFS อ่านแค่เซนติเมตร
- ไม้สตาฟ (Rod) ไม้สตาฟที่ใช้ต้องมีลูกน้ำและไม้ชำรุด ทุกครั้งต้องตั้งอยู่บนหมุดที่ตอกแน่นไม่หลุดตัว ลูกน้ำต้องเข้าศูนย์ หัวไม้สตาฟต้องขีดให้สะอาด ระยะระหว่าง Foresight และ Backsight ต้องใกล้เคียงกัน เพื่อลด error จากกล้อง
- หมุด BM ต้องอยู่ในที่แข็งแรงมั่นคงและแน่ใจว่าไม่มีการหลุด

๓. งาน X - section

- การตั้งกล้องและอ่านค่าระดับ ตั้งกล้องให้ได้ศูนย์ อ่านระดับละเอียดเป็นเซนติเมตร
- การตั้งไม้สตาฟ (Rod) ตั้งทุกครั้งที่ดินเปลี่ยนแปลงและรักษาแนวให้ตั้งฉากกับ Alignment
- การวัดระยะด้วย Tape ผ้า พยายามดึง Tape ให้ตึงและรักษาระดับ Horizontal

๔. งาน Topography เก็บรายละเอียดให้แน่นอนคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ๑๐ ซม. อ่านค่าเป็นจุดทศนิยม หนึ่งตำแหน่ง

๒.๓) บันทึกข้อมูลโครงการ (ดำเนินการโดยผู้สำรวจ)

ผู้สำรวจควรถ่ายภาพโครงการทุกระยะที่กำหนด ภาพตำแหน่งสำคัญในโครงการ หรืออาจจะบันทึกวิธีทัศนของโครงการ โดยการบันทึกข้อมูลต่างๆในแต่ละขั้นตอนการสำรวจ มีแบบการเก็บรายละเอียดต่างๆประกอบด้วย

๑. เอกสารหมายเลข ๑. การติดต่อประสานงานด้วยวาจา

๒. เอกสารหมายเลข ๒. บันทึกข้อมูลรายละเอียดการสำรวจแนวทางเบื้องต้น
๓. เอกสารหมายเลข ๓ รายการสำรวจแนวทางเบื้องต้นโครงการ งานก่อสร้างทางและสะพาน
๔. เอกสารหมายเลข ๔ ข้อมูลลำน้ำ

หมายเหตุ : รายละเอียดภาคผนวก ก. แบบฟอร์มตรวจสอบการสำรวจทางและสะพาน

๒.๔) ประมวลผลข้อมูลจากการสำรวจ

การประมวลผลข้อมูลการสำรวจในขั้นตอนนี้ คือการรวบรวม ปรับแก้ และบันทึกข้อมูลลงในโปรแกรมช่วยเขียนแบบ ออกแบบ อย่างเช่น ROAD PACK ตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล เพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการเขียนแบบ และออกแบบต่อไป

หมายเหตุ : รายละเอียดภาคผนวก ก. แบบฟอร์มการประมวลผลข้อมูลการสำรวจ

๒.๕) จัดทำแบบแปลนพื้นที่โครงการ (ดำเนินการโดยผู้สำรวจ)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการจัดทำแบบรายละเอียดของโครงการ เพื่อส่งมอบต่อให้ผู้ผู้ออกแบบ โดยจะต้องมีรายละเอียด ครบถ้วน เพียงพอต่อการออกแบบ ซึ่งผู้สำรวจจะต้องเขียนแบบแปลนสภาพสายทางเดิม, จัดทำโปรไฟล์สายทางเดิม, ระบุตำแหน่งทางเรขาคณิตโครงการ, ระบุตำแหน่งรายละเอียด ต่างๆ ดังตัวอย่างแบบแปลนพื้นที่โครงการข้างล่างนี้

๒.๖) ตรวจสอบความถูกต้อง

สำรวจความถูกต้องโดยผู้ออกแบบตามแบบฟอร์มด้านล่างี้

แบบฟอร์มการตรวจสอบการสำรวจทางและสะพาน (สอ 1)

โครงการ.....

ผู้สำรวจ.....

ส่งวันที่

เวลาที่ใช้ในการดำเนินการ	☐ ก่อนกำหนดเวลา.....วัน ☐ ตามกำหนดเวลา ☐ ช้ากว่ากำหนดเวลา.....วัน สาเหตุ.....
--------------------------	--

รายการ	มี	ไม่มี	ความเห็นเพิ่มเติม
1. การตรวจสอบเครื่องมือสำรวจ			
2. การตรวจสอบหมุดระดับ BM			
3. การทดสอบวัสดุดินเดิม			
4. ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์			
5. ข้อมูลปริมาณจราจร			
6. ข้อมูลเขตทาง			
7. ข้อมูลอื่นๆ.....			

.....

(.....)

ผู้ตรวจสอบ

วันที่/...../.....

รูปที่ ๑๘.แบบฟอร์มตรวจสอบการสำรวจทางและสะพาน

แบบฟอร์มการตรวจสอบนี้ มีไว้เพื่อเตือนให้ผู้สำรวจดำเนินงานให้ถูกต้องตามหลักการ และเป็นการตรวจสอบว่าผู้สำรวจได้ดำเนินการตามรายการที่ระบุไว้หรือไม่ โดยตรวจสอบจากรายงานผลการตรวจสอบเครื่องมือสำรวจที่ผู้สำรวจเป็นผู้จัดทำ โดยหากมีการตรวจสอบ ผู้ตรวจสอบจะทำเครื่องหมายในช่อง “มี” แต่ถ้าหากไม่มี ก็จะทำเครื่องหมายในช่อง “ไม่มี” โดยจะบันทึกเหตุผลที่ผู้สำรวจไม่ได้ทำการตรวจสอบอุปกรณ์ในช่อง “ความคิดเห็นเพิ่มเติม”

ภาคผนวก ก.(แบบฟอร์มต่างๆ)
แบบฟอร์มตรวจสอบการสำรวจทางและสะพาน

รายละเอียดการประสานงานทางวาจา
โครงการ งานก่อสร้างทางหรือสะพาน
กรมทางหลวงชนบท

ชื่อโครงการ

อำเภอ จังหวัด

๑. ผู้ประสานงาน ตำแหน่ง

หน่วยงาน วันที่ เวลา

๒. จุดที่ตั้งโครงการ

๓. สภาพสายทาง

๔. สายทางอยู่ในพื้นที่

- เขตป่าสงวน ระยะทาง กม.

- เขตอุทยานฯ ระยะทาง กม.

- เขตชลประทาน ระยะทาง กม.

- เขตอับจ. ระยะทาง กม.

- เขตอับต. ระยะทาง กม.-

- จำนวนอาคารระบายน้ำ กม.

บันทึกข้อมูลรายละเอียดการสำรวจแนวทางเบื้องต้น

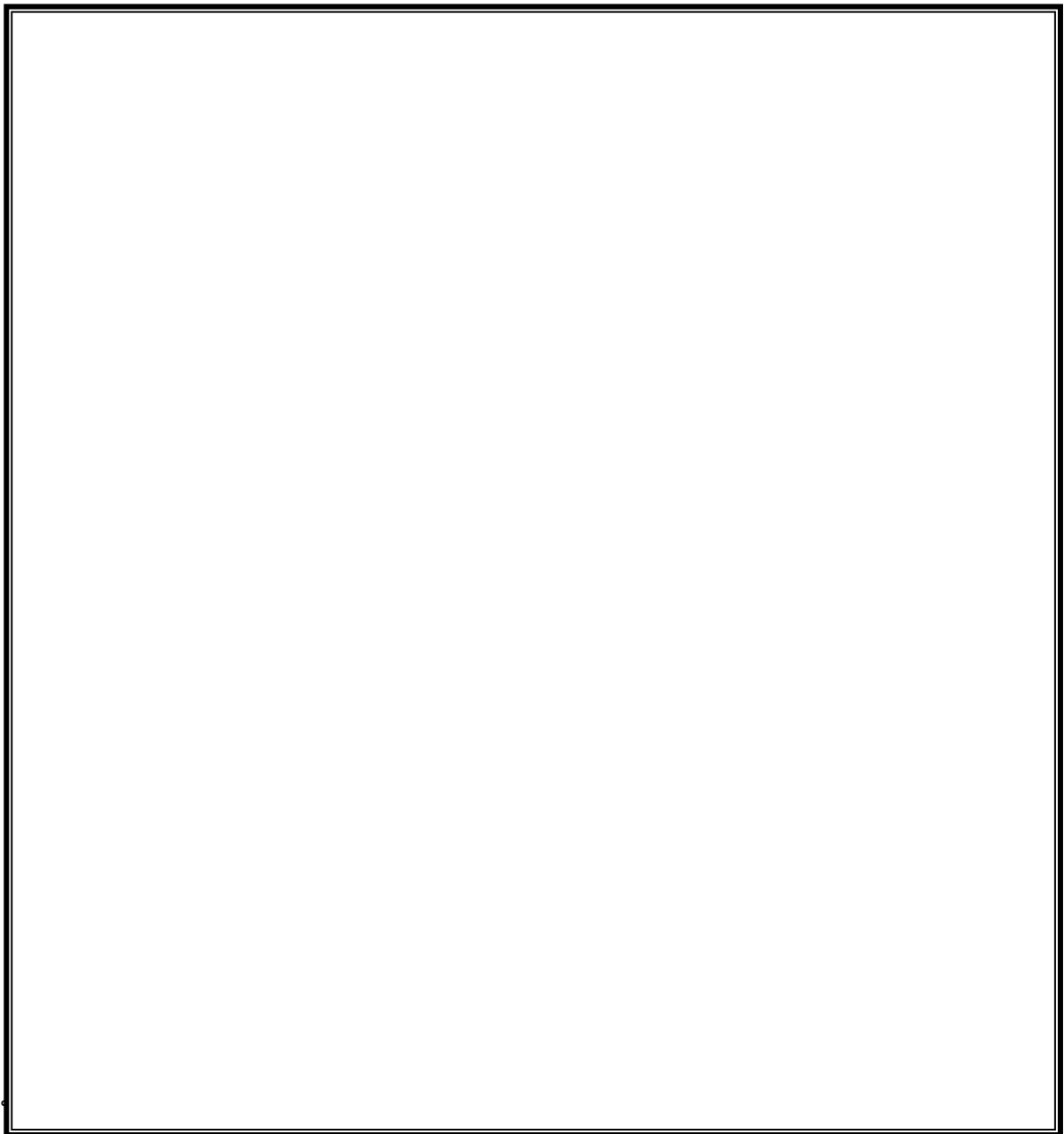
โครงการ สายทาง

ที่ตั้งโครงการ

ค่าพิกัดจุดเริ่มต้น N , E

ค่าพิกัดจุดสิ้นสุด N , E

แผนที่แสดงภูมิประเทศและแนวทาง



ภาพถ่ายจุดเริ่มต้นการสำรวจ

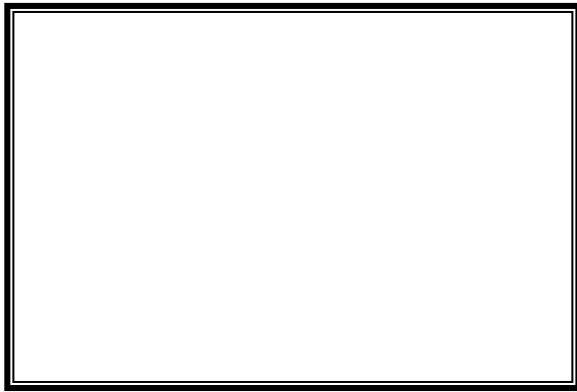
กม.ที่.....



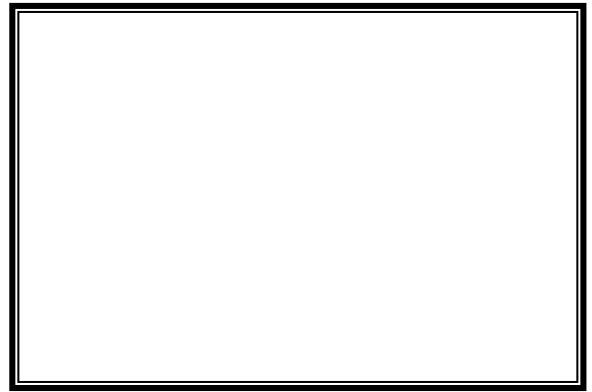
ภาพถ่ายจุดสิ้นสุดการสำรวจ

กม.ที่.....

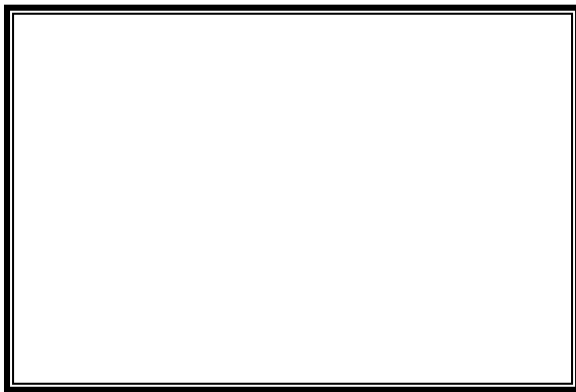




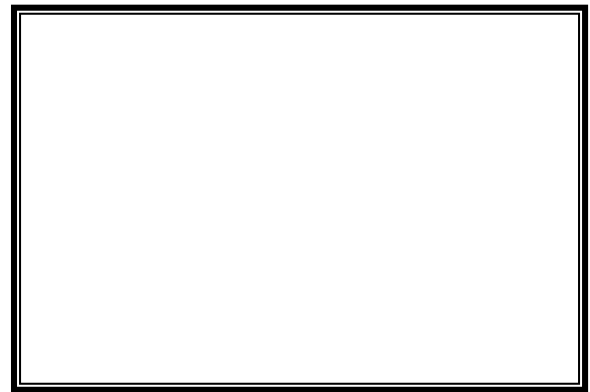
กม.ที่.....



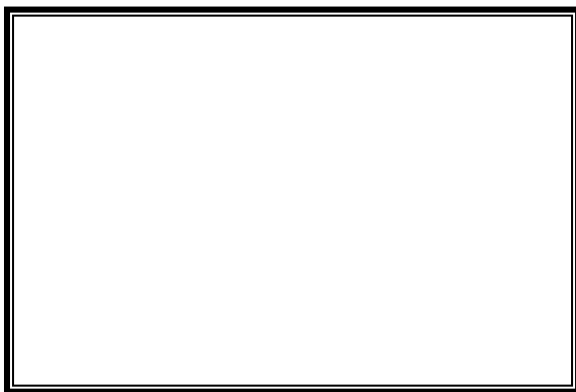
กม.ที่.....



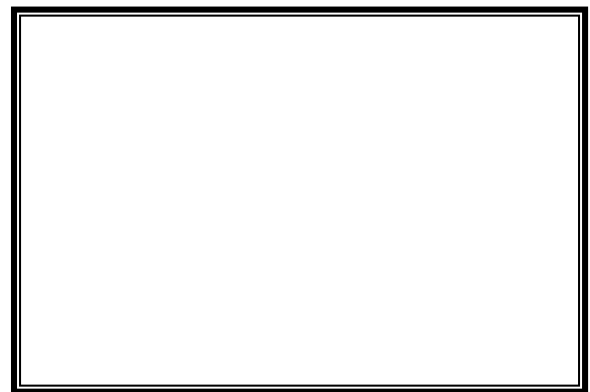
กม.ที่.....



กม.ที่.....



กม.ที่.....



กม.ที่.....

ภาพถ่ายปัญหาอุปสรรคในสายทาง,แหล่งน้ำ,สะพาน,ท่อหรือจุดที่เกิดชำรุดเสียหาย
กม.ที่.....



ภาพถ่ายปัญหาอุปสรรคในสายทาง,แหล่งน้ำ,สะพาน,ท่อหรือจุดที่เกิดชำรุดเสียหาย
กม.ที่.....



โครงการ งานก่อสร้างทางและสะพาน

กรมทางหลวงชนบท

ชื่อโครงการ

อำเภอ จังหวัด

๑) ระยะทางตามแผนงาน กม.

๒) ระยะทางจากการสำรวจเบื้องต้น (ตลอดสายทาง) กม.

๓) ระยะทางที่แนะนำเพิ่มเติมเพื่อให้บรรจบกับถนนสายหลักหรือหมู่บ้าน กม.

จุดสิ้นสุดโครงการที่แนะนำ (บอกให้ชัดเจน)

๔) จุดเริ่มต้นการสำรวจ กม.ที่..... ของ.....

เขตทาง() ไม่มี () มี ระยะเขตทาง.....ม.

ชนิดผิวทาง.....กว้าง.....ม.

จุดสิ้นสุดการสำรวจ กม.ที่..... ของ.....

เขตทาง() ไม่มี () มี ระยะเขตทาง.....ม.

๕) แนวเส้นทาง ผ่านบ้านเรือนประชาชนหลัง โรงเรียนแห่ง

ศาสนสถานแห่ง หน่วยงานราชการ.....แห่ง

อื่น.....แห่ง

๖) ลักษณะภูมิประเทศ () ทางราบ.....กม.() ทางเนิน.....กม.

() ทางภูเขา.....กม.() ทางน้ำ.....กม.

๗) บ้านเรือนประชาชน ด้านซ้ายทาง.....หลัง ด้านขวาทาง.....หลัง

๘) จำนวนยานพาหนะ รถจักรยานยนต์.....คัน รถยนต์.....คัน รถบรรทุก.....คัน

๙) สภาพสองข้างทาง ด้านซ้ายทาง

ช่วง กม.ที่.....ถึง กม.ที่.....

ด้านขวาทาง

ช่วง กม.ที่.....ถึง กม.ที่.....

ด้านซ้ายทาง

ช่วง กม.ที่.....ถึง กม.ที่.....

ด้านขวาทาง

ช่วง กม.ที่.....ถึง กม.ที่.....

ด้านซ้ายทาง

ช่วง กม.ที่.....ถึง กม.ที่.....

สภาพเดิมของโครงการเป็น

ทางลัดลงกว้าง ม.ระหว่าง กม.ระยะทางกม

คันทางสูงเฉลี่ยม.สภาพผิวทาง () ดี () พอใช้ () ชำรุด

ทางลูกรังกว้าง ม.ระหว่าง กม.ระยะทางกม

คันทางสูงเฉลี่ยม.สภาพผิวทาง () ดี () พอใช้ () ชำรุด

ทางลาดยางกว้าง ม.ระหว่าง กม.ระยะทางกม

คันทางสูงเฉลี่ยม.สภาพผิวทาง () ดี () พอใช้ () ชำรุด

ทาง คสล.กว้าง ม.ระหว่าง กม.ระยะทางกม

คันทางสูงเฉลี่ยม.สภาพผิวทาง () ดี () พอใช้ () ชำรุด

อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วย.....

ผู้ชี้แนะตำแหน่ง.....

ลายมือชื่อ.....วันที่

ทางลำลองกว้าง ม.ระหว่าง กม.ระยะทางกม
 คั่นทางสูงเฉลี่ยม.สภาพผิวทาง () ดี () พอใช้ () ชำรุด
 ทางลูกรังกว้าง ม.ระหว่าง กม.ระยะมางกม
 คั่นทางสูงเฉลี่ยม.สภาพผิวทาง () ดี () พอใช้ () ชำรุด
 ทางลาดยางกว้าง ม.ระหว่าง กม.ระยะมางกม
 คั่นทางสูงเฉลี่ยม.สภาพผิวทาง () ดี () พอใช้ () ชำรุด
 ทาง คสล.กว้าง ม.ระหว่าง กม.ระยะมางกม
 คั่นทางสูงเฉลี่ยม.สภาพผิวทาง () ดี () พอใช้ () ชำรุด

อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วย.....

ผู้ชี้แนะตำแหน่ง.....

ลายมือชื่อ.....วันที่

ทางลำลองกว้าง ม.ระหว่าง กม.ระยะทางกม
 คั่นทางสูงเฉลี่ยม.สภาพผิวทาง () ดี () พอใช้ () ชำรุด
 ทางลูกรังกว้าง ม.ระหว่าง กม.ระยะมาง
กม
 คั่นทางสูงเฉลี่ยม.สภาพผิวทาง () ดี () พอใช้ () ชำรุด
 ทางลาดยางกว้าง ม.ระหว่าง กม.ระยะมางกม
 คั่นทางสูงเฉลี่ยม.สภาพผิวทาง () ดี () พอใช้ () ชำรุด
 ทาง คสล.กว้าง ม.ระหว่าง กม.ระยะมางกม
 คั่นทางสูงเฉลี่ยม.สภาพผิวทาง () ดี () พอใช้ () ชำรุด

อยู่ในความรับผิดชอบของหน่วย.....

ผู้ชี้แนะตำแหน่ง.....

ลายมือชื่อ.....วันที่

๑๐) สภาพระดับน้ำตามสายทาง

() ไม่ท่วมคันทาง

() ท่วมคันทาง ช่วง กม.ที่ - สูง ม. พ.ศ.
ช่วง กม.ที่ - สูง ม. พ.ศ.
ช่วง กม.ที่ - สูง ม. พ.ศ.
ช่วง กม.ที่ - สูง ม. พ.ศ.

๑๑) สามารถเขตทางได้กว้าง () มี () ไม่มี

() ข้างละ เมตร ระหว่าง กม.ที่ -
ระหว่าง กม.ที่ -
ระหว่าง กม.ที่ -
() ข้างละ เมตร ระหว่าง กม.ที่ -
ระหว่าง กม.ที่ -
ระหว่าง กม.ที่ -
() ข้างละ เมตร ระหว่าง กม.ที่ -
ระหว่าง กม.ที่ -
ระหว่าง กม.ที่ -
() ข้างละ เมตร ระหว่าง กม.ที่ -
ระหว่าง กม.ที่ -
ระหว่าง กม.ที่ -

๑๒) แนวถนนตัดผ่าน ทางหลวงสาย -
ทางหลวงท้องถิ่นสาย -
ทางรถไฟ -
ที่กั้นรถไฟ แบบ () ไม่มี
คลองชลประทาน -

๑๓) ลักษณะพื้นดินเดิม () ดินเหนียว.....กม. () ดินทราย.....กม.

() ดินลูกรัง, หินผุ.....กม. () อื่นๆ.....กม.

(เก็บตัวอย่างดินเดิม (SUBGRADE) ใช้ทดสอบหา ค่า C.B.R.)

๑๔) ปริมาณการจราจร () ไม่หนาแน่น () ปานกลาง () หนาแน่น

๑๕) อาคารระบายน้ำเดิม

กม.	ชื่อลำน้ำ	ชนิดโครงสร้าง	ขนาด	สภาพ

๑๖) ข้อมูลการสำรวจออกแบบที่มีปัญหาอุปสรรคของสายทาง

ลำดับที่	สาเหตุ	ช่วง กม.ที่	ปัญหาอุปสรรค	การแก้ไข
๑	ความกว้างของผิวทางไม่สามารถ ออกแบบได้ตามที่กำหนด			
๒	แนวเขตทางที่ตัดผ่านเขตป่าไม้			
๓	แนวเขตทางที่ตัดผ่านเขตอุทยานฯ			
๔	แนวทางตัดผ่าน ทางหลวงแผ่นดิน ทางหลวงท้องถิ่น ทางรถไฟ คลองชลประทาน แม่น้ำ,ลำคลอง เลียบบคลองชลประทาน พื้นที่ของส่วนราชการอื่นๆ (เช่น กรมเจ้าท่า.....)			
๕	แนวทางข้ามลำน้ำ ทำมุมกับลำน้ำไม่เกิน ๓๐ องศา ทำมุมกับลำน้ำเกิน ๓๐ องศา			
๖	ระบบสาธารณูปโภค แนวสายไฟแรงสูง แนวสายไฟฟ้าแรงต่ำ แนวท่อประปา อื่นๆ(เช่นคลองชลประทาน)			

ผู้นำการชี้แนว

(.....)

วันที่.....

ลงชื่อ

(.....)

หัวหน้าชุดสำรวจ

หมายเหตุ ให้แนบภาพช่วงที่มีปัญหาและอุปสรรคมาด้วย

ข้อมูลลำน้ำ

โครงการ สายทาง

ที่ตั้งโครงการ

ตำแหน่ง ค่าพิกัด N , E

รายละเอียดสถานที่ก่อสร้าง

๑) ประเภทลำน้ำ () คลองชลประทาน () คลองส่ง () คลองขอย () ลำน้ำธรรมชาติ

๒) ลักษณะภูมิประเทศ

- เหนือน้ำ

- ท้ายน้ำ

๓) ลักษณะดินริมฝั่ง ท้องน้ำ

๔) ชนิดของลำน้ำ () น้ำเค็ม () น้ำกร่อย () น้ำจืด

๕) ความเร็วของกระแสน้ำขณะสำรวจ ม./นาทึ

๖) ความเร็วของกระแสน้ำในช่วงฤดูน้ำหลาก(จากการสอบถาม) () เชี่ยว () เชี่ยวปานกลาง () ไม่เชี่ยว

๗) ระดับขณะสำรวจ

- ระดับน้ำสูงสุดเฉลี่ย ม. ระดับน้ำต่ำสุด ม.

- ระดับน้ำขณะสำรวจ ม. ระดับน้ำสูงสุด ม.ปีพ.ศ.

๘) เรือสัญจร () ไม่มี () มี ประเภท ขนาด ม.

ประเภท ขนาด ม.

ประเภท ขนาด ม.

๙) ปริมาณขอนไม้หรือท่อนซุง () ไม่มี () มีบ้าง () หนาแน่น

๑๐) ปริมาณแพซุง ขนาด ม. () ไม่มี () มีบ้าง () หนาแน่น

๑๑) ปริมาณวัตถุลอยน้ำ ระบุ

ขนาด ม. () ไม่มี () มีบ้าง () หนาแน่น

๑๒) ประเภทของน้ำ () น้ำจืด () น้ำกร่อย () น้ำเค็ม

๑๓) การไหลของน้ำ () น้ำขึ้น-น้ำล () น้ำนิ่ง () ไหลตลอดเวลา

๑๔) การกััดเขาะตลิ่ง.....() ซ้ายทาง.....ม. () ขวาทาง.....ม.

๑๕) ลำน้ำเอียงทำมุมกับแนวทางองศา

๑๖) สะพาน () ท่อเหลี่ยม () ท่อเดิม () กม.ที่..... () ไม่มี

() มี สภาพ () ดี () ชำรุด ก่อสร้างเมื่อ ปี พ.ศ.....

สะพาน () ท่อเหลี่ยม () ท่อเดิม () กม.ที่..... () ไม่มี

() มี สภาพ () ดี () ชำรุด ก่อสร้างเมื่อ ปี พ.ศ.....

สะพาน () ท่อเหลี่ยม () ท่อเดิม () กม.ที่..... () ไม่มี

() มี สภาพ () ดี () ชำรุด ก่อสร้างเมื่อ ปี พ.ศ.....

๑๗) รายละเอียดโครงสร้างอาคารระบายน้ำ

ขนาด อาคารระบายน้ำเดิม ยาว.....ม.จำนวนช่วง.....ช่วงๆละ.....ม.

- ประเภทพื้นสะพาน () ไม้ () คสล.จำนวน.....ช่วง () คอ.จำนวน.....ช่วง

- ตอม่อสะพาน () ไม้ () คสล.จำนวน.....ช่วง สูง.....ม.

- ประเภทฐานราก () เสาค้ำคอก () ฐานแผ่

สภาพการใช้งาน

- ขนาด อาคารระบายน้ำเดิม ยาว.....ม.จำนวนช่วง.....ช่วงๆละ.....ม.

- ประเภทพื้นสะพาน () ไม้ () คสล.จำนวน.....ช่วง () คอ.จำนวน.....ช่วง

- ตอม่อสะพาน () ไม้ () คสล.จำนวน.....ช่วง สูง.....ม.

- ประเภทฐานราก () เสาค้ำคอก () ฐานแผ่

สภาพการใช้งาน

- ขนาด อาคารระบายน้ำเดิม ยาว.....ม.จำนวนช่วง.....ช่วงๆละ.....ม.

- ประเภทพื้นสะพาน () ไม้ () คสล.จำนวน.....ช่วง () คอ.จำนวน.....ช่วง

- ตอม่อสะพาน () ไม้ () คสล.จำนวน.....ช่วง สูง.....ม.

- ประเภทฐานราก () เสาค้ำคอก () ฐานแผ่

- สภาพการใช้งาน

๑๘) ก่อสร้างทางเบี่ยง () ไม่จำเป็น เหตุผล.....

() จำเป็น เหตุผล.....

ประเภททางเบี่ยง.....

ยาว.....ขนาด.....ม.

๑๙) ความยาวเสาเข็มโดยประมาณ.....ม.(พิจารณาจากเสาเข็มสะพาน คสล.ใกล้เคียง)

๒๐) อาคารเก็บกักน้ำในลำน้ำ

- ดันน้ำ () ไม่มี

() มี ประเภท.....ห่าง.....ม. ของ.....

- ท้ายน้ำ () ไม่มี

() มี ประเภท.....ห่าง.....ม. ของ.....

- ลักษณะโครงสร้าง

- สภาพการใช้งาน () ชำรุด () ใช้งานได้ ของ

๒๑) แนวทางผ่านหน่วยงาน.....() ผ่าน () ไม่ผ่าน

๒๒) ลำน้ำอยู่ในการควบคุมดูแลของ.....

๒๓) ความสูงของช่องลอด.....ม. ความกว้างของช่องลอด.....ม.

- หน่วยงานที่รับผิดชอบดูแล.....

๒๔) หมดหลักฐาน(หมดระดับ ร.ท.ก.)ในสายทางหรือใกล้เคียง.....ม.

๒๕) อาคารระบายน้ำเดิมที่จะต้องรื้อทิ้งหรือไม่ () ไม่มี () มี ขนาด.....ม.

๒๖) ปัญหาและอุปสรรคในการออกแบบและก่อสร้าง.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

๒๓) ภาพถ่ายแสดงภูมิประเทศ ณ.สถานที่ก่อสร้างสะพาน

- เหนือน้ำ ()
- ท้ายน้ำ ()
- จุดเริ่มต้นสะพาน ()
- จุดสิ้นสุดสะพาน ()
- ลักษณะดินท้องน้ำ และ ริมตลิ่ง ()
- ลักษณะภูมิประเทศทั่วไป ()

ผู้นำผู้นำการชี้แนว

(.....)

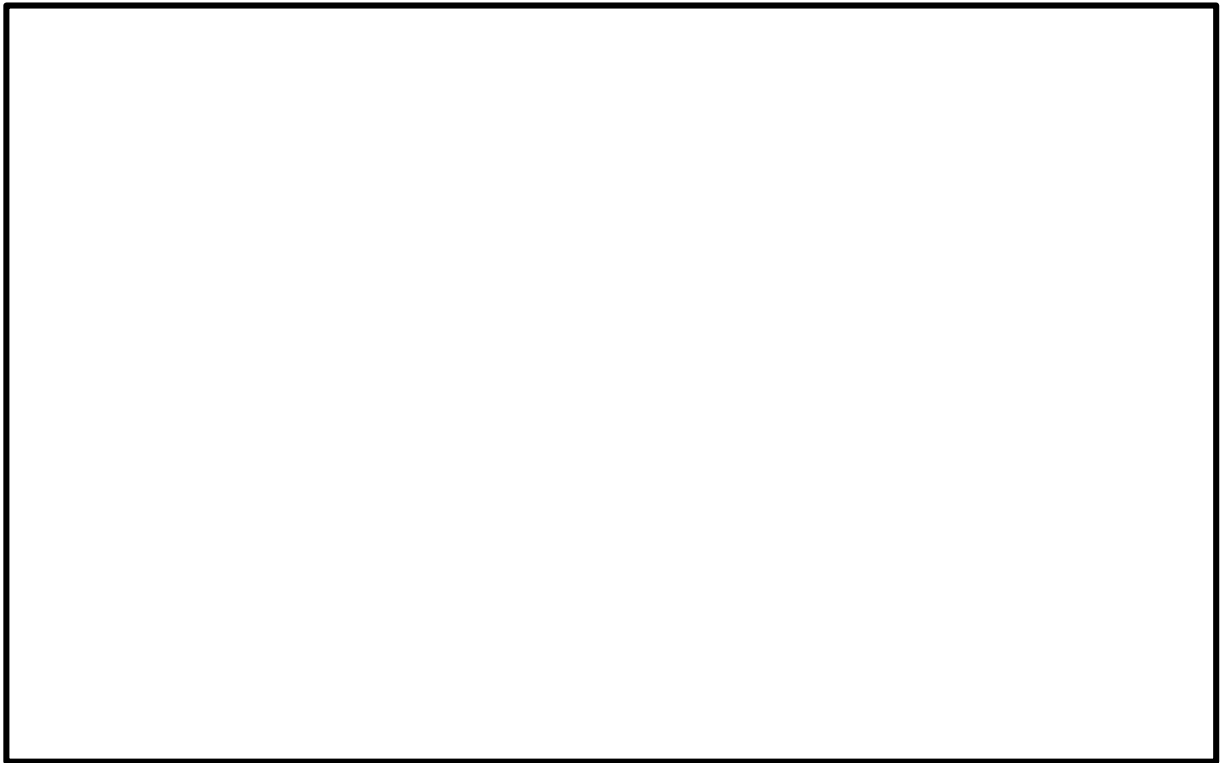
วันที่

ลงชื่อ

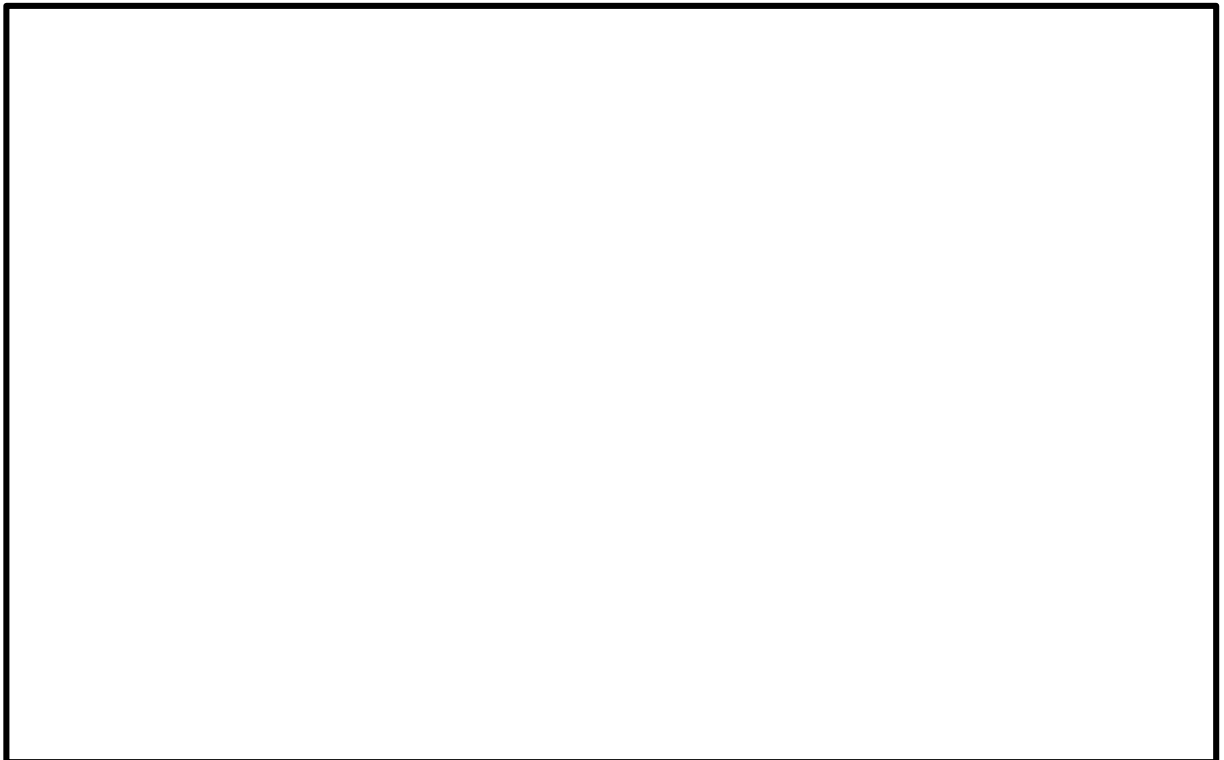
(.....)

หัวหน้าชุดสำรวจ

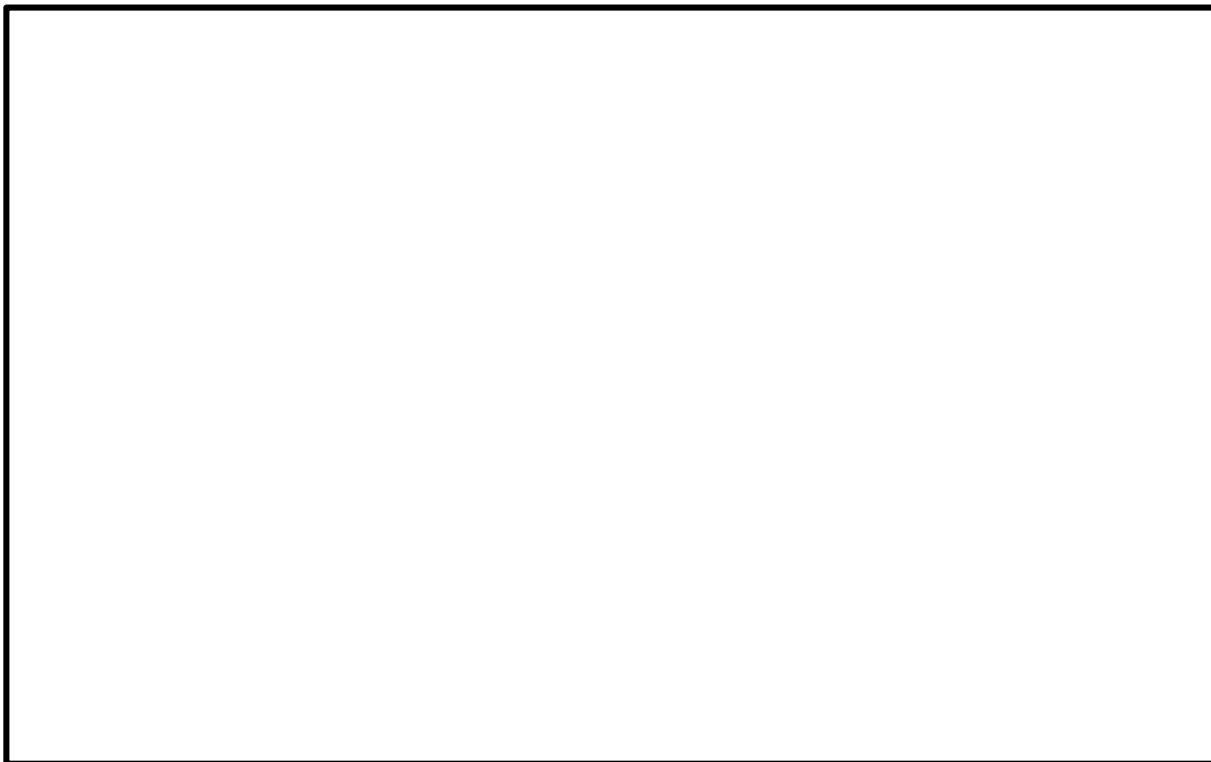
ภาพถ่ายแสดงภูมิประเทศ ณ.สถานที่ก่อสร้างสะพาน



เหนือน้ำ



ท้ายน้ำ

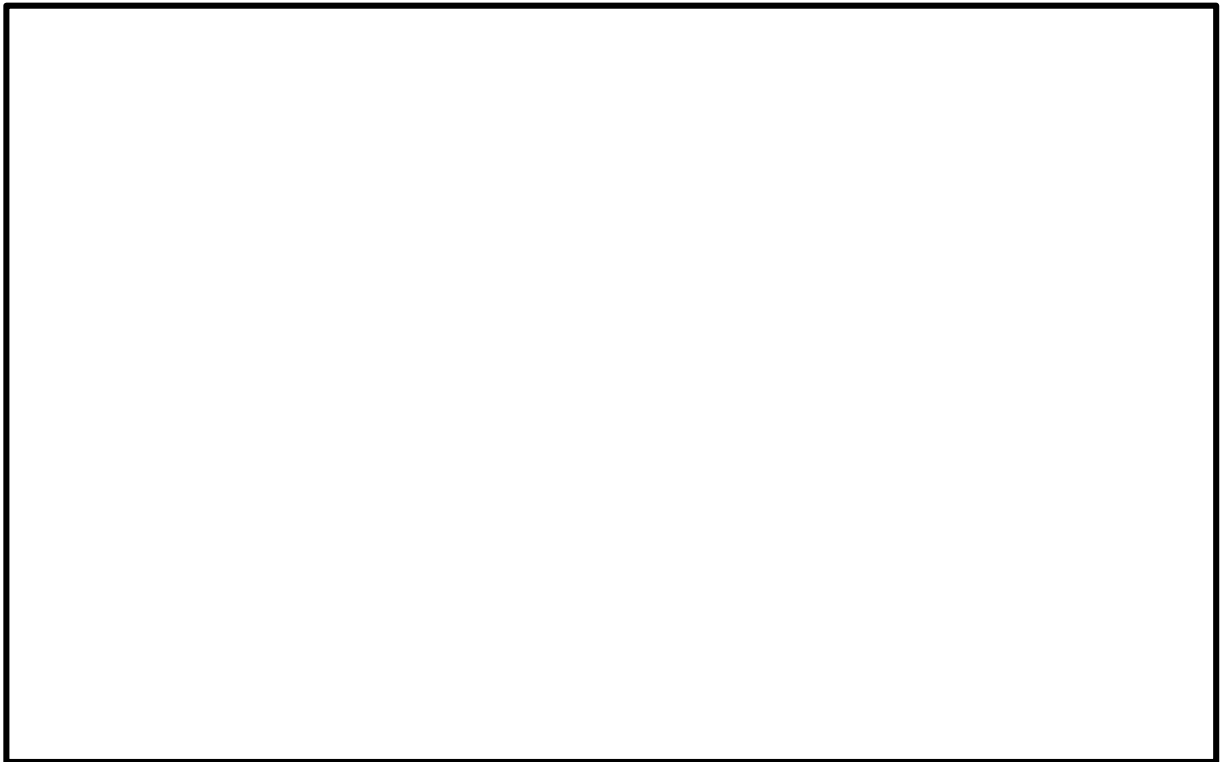


จุดเริ่มต้นสะพาน

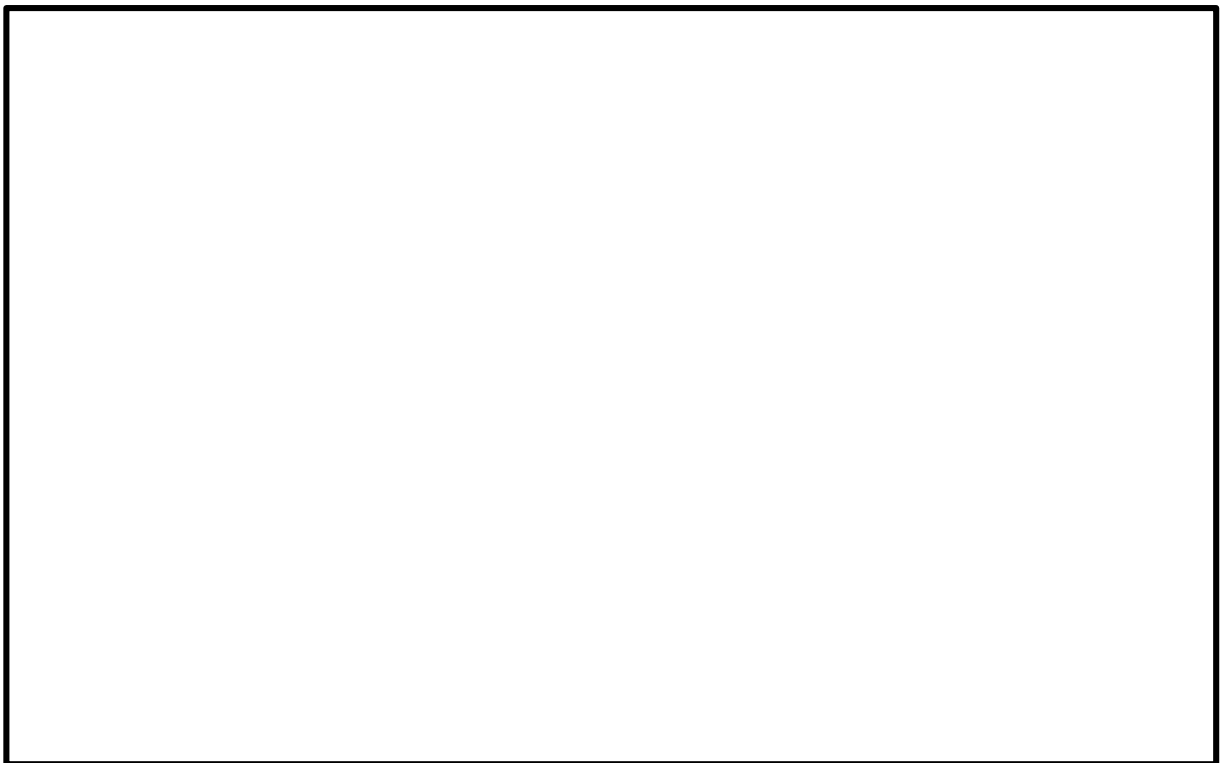


จุดสิ้นสุดสะพาน

ลักษณะดินท้องน้ำ และ ริมตลิ่ง



ลักษณะภูมิประเทศทั่วไป



แบบฟอร์มการประมวลผลข้อมูลการสำรวจ

โครงการ.....

ผู้สำรวจ..... ส่งวันที่.....

ระยะเวลา สำรวจ จำทำแบบร่าง

ส่งแบบร่าง.....แก้ไขแบบ

การตรวจสอบข้อมูล

ลำดับ	รายการ	มี	ไม่มี	รายการแก้ไข
๑	การติดต่อประสานงานด้วยวาจา			
๒	บันทึกข้อมูลรายละเอียดการสำรวจ แนวทางเบื้องต้น			
๓	รายการสำรวจแนวทางเบื้องต้นโครงการ งานก่อสร้างทางและสะพาน			
๔	แผนที่ ใบประกอบ			
๕	สารบัญและรายการประกอบแบบ			
๖	รูปตัดโครงสร้างทาง			
๗	แปลนโปรไฟล์			
๘	รูปตัดตามขวาง			
๙	ทอกลม			
๑๐	สะพานและท่อเหลี่ยม			
๑๑	ป้ายจราจร			
๑๒	อื่นๆ			

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างการบันทึกรูปภาพแนวสายทาง

บันทึกข้อมูลรายละเอียดการสำรวจแนวทางเบื้องต้น

โครงการ สายทาง

ที่ตั้งโครงการ

ค่าพิกัดจุดเริ่มต้น N , E

ค่าพิกัดจุดสิ้นสุด N , E

แผนที่แสดงภูมิประเทศและแนวทาง



กม.ที่ ๐+๐๐๐.๐๐.๐๐

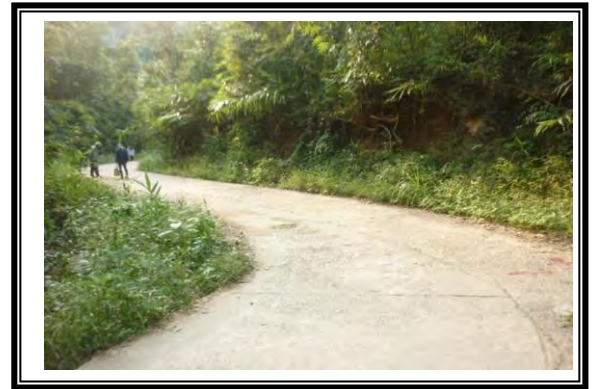


กม.ที่ ๐+๕๐๕.๐๐.๐๐





กม.ที่.....๐+๕๐๐.๐๐.....



กม.ที่.....๐+๑๒๕.๐๐.....



กม.ที่.....๑+๓๕๐.๐๐๐.....



กม.ที่.....๑+๔๕๐.๐๐๐.....



กม.ที่.....๑+๗๐๐.๐๐๐.....



กม.ที่.....๑+๘๐๐.๐๐๐.....

ภาพถ่ายปัญหาอุปสรรคในสายทาง,แหล่งน้ำ,สะพาน,ท่อหรือจุดที่เกิดชำรุดเสียหาย
กม.ที่.....๑+๓๕๐.๐๐๐.....

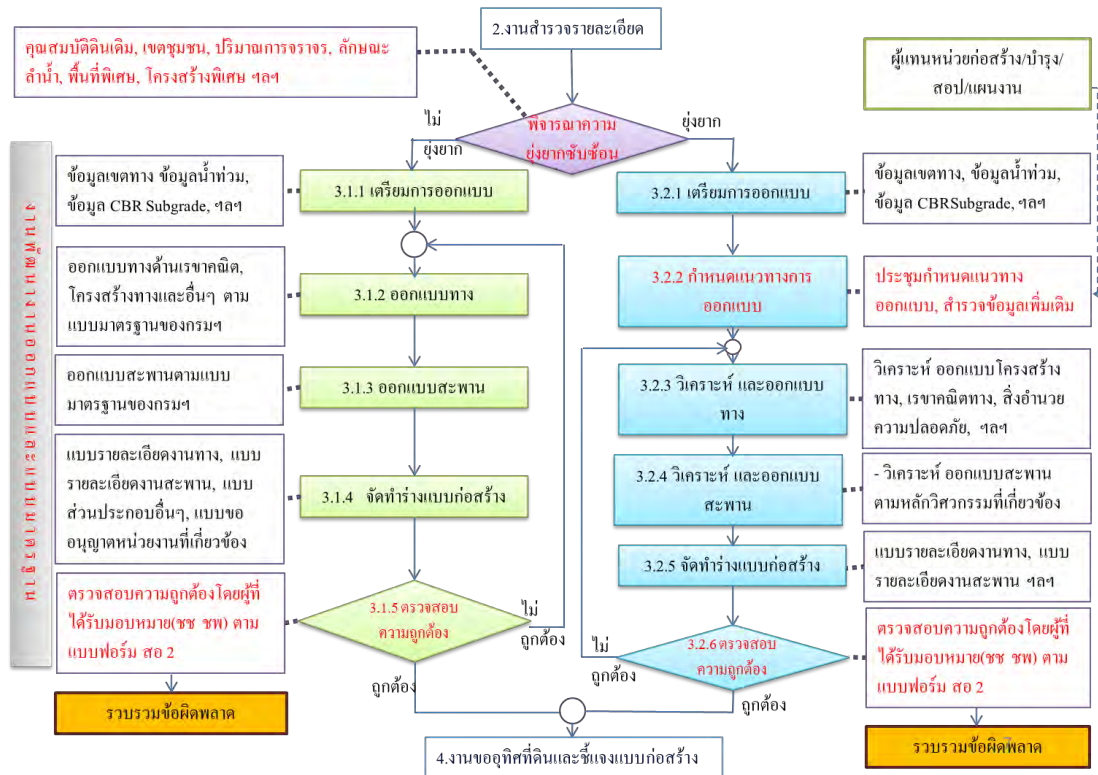


ภาพถ่ายปัญหาอุปสรรคในสายทาง,แหล่งน้ำ,สะพาน,ท่อหรือจุดที่เกิดชำรุดเสียหาย
กม.ที่.....๑๐+๑๐๐.๐๐๐.....

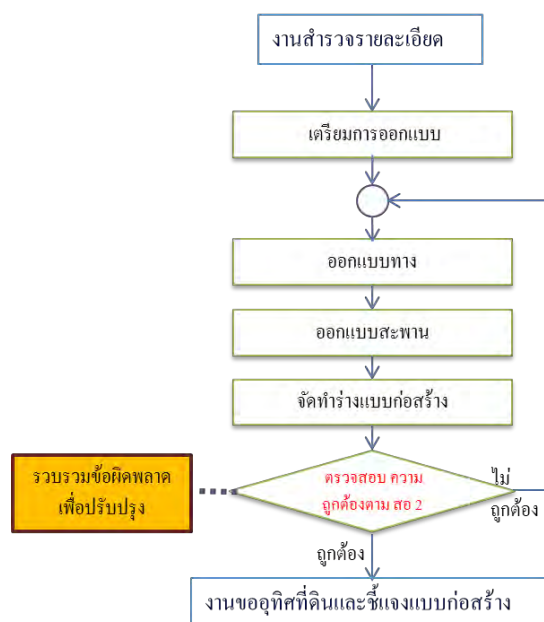


บทที่ ๓

งานออกแบบรายละเอียดและร่างแบบก่อสร้าง



รูปที่ 3-1 กระบวนการออกแบบรายละเอียดและร่างแบบก่อสร้าง สำหรับ สสอ.



รูปที่ 3-2 กระบวนการออกแบบรายละเอียดและร่างแบบก่อสร้าง สำหรับส่วนภูมิภาค

งานออกแบบรายละเอียดและร่างแบบก่อสร้าง

สามารถแบ่งประเภทของงาน ออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะความยุ่งยากซับซ้อนของงาน ได้แก่

3.1 งานไม่ยุ่งยากซับซ้อน

คือ งานออกแบบถนน หรือสะพานที่สามารถออกแบบเพื่อก่อสร้าง หรือซ่อมบำรุงได้ตามแบบมาตรฐานของกรมทางหลวงชนบท หรือเป็นงานออกแบบทั่ว ๆ ไปที่เคยดำเนินการมาแล้วเป็นปกติ สำหรับงานที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมีขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

3.1.1 งานเตรียมการออกแบบ

3.1.2 งานออกแบบทาง (ตามแบบมาตรฐาน และคู่มือการติดตั้งป้ายจราจร)

3.1.3 งานออกแบบสะพาน (หาระดับน้ำหลาก เลือกใช้ตามแบบมาตรฐาน)

3.1.4 งานจัดทำร่างแบบก่อสร้าง ในแบบก่อสร้างจะต้องประกอบไปด้วย หน้าปก สารบัญ รายการประกอบแบบ รูปตัดโครงสร้างทาง แพลนและรูปตัดตามยาว รูปตัดตามขวาง จราจร ไฟฟ้า ระบายน้ำ และงานโครงสร้าง เป็นต้น ภาควิชา 3

3.1.5 งานตรวจสอบความถูกต้อง ตามแบบฟอร์มตรวจสอบ สอ. ๒ ข้างล่างนี้

แบบฟอร์มการตรวจสอบการออกแบบทาง และสะพาน (สอ 2) แผ่นที่ 1/2

โครงการ.....
 ผู้ออกแบบ.....

วันที่.....

เวลาที่ใช้ในการดำเนินการ ☐ ก่อนกำหนดเวลา.....วัน ☐ ตามกำหนดเวลา
☐ ช้ากว่ากำหนดเวลา.....วัน สาเหตุ.....

รายการ	เหมาะสม	ส่วนที่ควรปรับปรุง	หมายเหตุ
1. การออกแบบทาง			
1.1. การออกแบบความกว้างทาง			
1.2. การออกแบบระดับ			
1.3. การออกแบบโค้ง การยกโค้ง ขยายโค้ง			
1.4. การออกแบบโครงสร้างทาง			
1.5. การออกแบบระบบระบายน้ำ			
1.6. การออกแบบ ป้าย อุปกรณ์อำนวยความสะดวก			
1.7. การออกแบบทางเชื่อม ทางแยก			
2. การออกแบบสะพาน			
2.1. การออกแบบความกว้าง ความยาว			
2.2. การออกแบบช่องลอด การจัดช่วง			
2.3. รูปแบบของโครงสร้างสะพาน			
2.4. การออกแบบระบบป้องกันการกัดเซาะ			
2.5. การออกแบบ ป้าย อุปกรณ์อำนวยความสะดวก			
3. การออกแบบด้านภูมิทัศน์และสถาปัตยกรรม			

ความเห็นเพิ่มเติม.....

.....
 (.....)
 ผู้ตรวจสอบ
 วันที่/..../.....

แบบฟอร์มตรวจความถูกต้องงานออกแบบ (สอ. ๒)

สำหรับผู้ตรวจสอบจะตรวจสอบการออกแบบโดยหากพิจารณาแล้วว่ามีเหมาะสมแล้ว จะทำเครื่องหมายในช่อง “เหมาะสม” แต่ถ้าหากเห็นว่าควรปรับปรุงเพิ่มเติมในประเด็นใด จะบันทึกลงในช่อง “ส่วนที่ควรปรับปรุง” นอกจากนี้ ผู้ตรวจสอบจะพิจารณาเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานของผู้ออกแบบด้วยว่าเป็นไปตามแผนงานหรือไม่ ซึ่งปรากฏอยู่ในส่วนบนของแบบฟอร์มดังกล่าว และหากผู้ตรวจสอบมีข้อคิดเห็นเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับงานออกแบบที่อยู่นอกเหนือรายการที่ปรากฏในแบบฟอร์ม ผู้ตรวจสอบสามารถบันทึกข้อคิดเห็นดังกล่าวได้ในส่วนท้ายของแบบฟอร์ม สำหรับรายการที่จะต้องตรวจสอบมีดังต่อไปนี้

3.2 งานยุ่งยากซับซ้อน

คือ งานออกแบบก่อสร้าง หรือซ่อมบำรุง ถนน หรือสะพาน ที่อยู่นอกเหนือจากแบบมาตรฐาน งานที่ต้องออกแบบเป็นโครงสร้างพิเศษ หรือมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยรวมทั้งสังคม ฯลฯ ตัวอย่างเช่น งานก่อสร้างถนนบนชั้นดินอ่อน ปรับปรุงถนนในเขตชุมชน ปรับปรุงจุดอันตราย สะพานข้ามลำน้ำขนาดใหญ่ งานออกแบบแก้ไขต่าง ๆ เป็นต้น โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.2.1 งานเตรียมการออกแบบ

3.2.2 งานกำหนดแนวทางการออกแบบ

3.2.2.1 การออกแบบทาง

- การออกแบบความกว้างทาง จะต้องพิจารณา ปริมาณจราจร ลักษณะของยานพาหนะ และความเร็วในการออกแบบ เป็นต้น

- การออกแบบโค้ง การยกโค้ง ขยายโค้ง จะต้องพิจารณา แนวของถนนว่าที่ทางตรง ทางโค้ง ทางราบ ทางลาดชัน ตำแหน่งของทางแยก และโครงสร้าง รวมทั้งระยะการมองเห็นของการขับขี่ยานพาหนะ เป็นต้น

- การออกแบบโครงสร้างทาง จะต้องพิจารณา ลักษณะผิวทางที่จะออกแบบ วิธีการออกแบบ คุณสมบัติชั้นโครงสร้างทางเดิม ปริมาณจราจรในอนาคต เช่นผิวลาดยางควรคำนวณที่อายุ 7-10 ปี ผิวคอนกรีตควรคำนวณที่อายุ 20 ปี เป็นต้น

- การออกแบบระบบระบายน้ำ จะต้องพิจารณา ปริมาณน้ำ ช่องเปิด และการกัดเซาะ เป็นต้น

- การออกแบบ ป้าย อุปกรณ์อำนวยความสะดวก จะต้องพิจารณา ตำแหน่งที่จะติดตั้ง รูปแบบและประเภทของป้ายจราจรที่ติดตั้ง รวมทั้งอุปกรณ์อำนวยความสะดวก โดยที่สามารถให้ผู้ใช้งานสามารถขับขี่ยานพาหนะได้อย่างสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย บริเวณทางแยก ทางเชื่อม และสามารถเดินทางถึงจุดหมายปลายทางได้อย่างถูกต้อง เป็นต้น

การออกแบบทางเชื่อม ทางแยก จะต้องพิจารณา ประเภททางที่จะเชื่อม ทางหลักหรือทางรอง จำนวนช่องจราจรของถนนที่จะเชื่อม ระยะการมองเห็นบริเวณทางเชื่อม องศาและแนวถนนที่จะทำการเชื่อม เป็นต้น

3.2.2.2 การออกแบบสะพาน

- การออกแบบความกว้าง ความยาว จะต้องพิจารณา...
- การออกแบบช่องลอด การจัดช่วง จะต้องพิจารณา...
- รูปแบบของโครงสร้างสะพาน จะต้องพิจารณา...
- การออกแบบระบบป้องกันการกัดเซาะ จะต้องพิจารณา...

3.2.2.3 การออกแบบด้านภูมิทัศน์ และสถาปัตยกรรม จะต้องพิจารณา...

3.2.3 งานวิเคราะห์และออกแบบทาง

งานออกแบบทางแบ่งออกเป็น งานออกแบบเรขาคณิต งานออกแบบโครงสร้างทาง และงานออกแบบอาคารระบายน้ำ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ก. งานออกแบบเรขาคณิต

การออกแบบทางด้านเรขาคณิตเป็นการออกแบบในด้านขนาด รูปร่าง ลักษณะที่สามารถมองเห็นได้ เช่น ความกว้างของช่องจราจร (Lane Width) ความลาดชันของถนนเมื่อขึ้นและลงเนิน (Grade) ระยะทาง

ที่คนขับสามารถมองเห็นพร้อมที่จะหยุดหรือแซงโดยปลอดภัย (Sight Distance) รัศมีทางโค้งทั้งแนวราบและแนวตั้ง (Vertical and Horizontal Curve) ที่สามารถขับขึ้นยานพาหนะด้วยความเร็วสูงอย่างปลอดภัยทางแยก (Intersection) ฯลฯ การก่อสร้างทางสมัยก่อน มิได้เน้นถึงการออกแบบในด้านนี้มากนัก เนื่องจากความเร็วของยานพาหนะที่ใช้ยังมีไม่สูงนัก ปัจจุบันเทคโนโลยีอุตสาหกรรมยนต์ได้พัฒนาออกแบบให้สามารถขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูงบรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้โดยสารและยานพาหนะให้สามารถขับด้วยความสะดวกสบาย ประหยัด ถึงหมายโดยรวดเร็ว

องค์ประกอบที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบทางเรขาคณิต ได้แก่

1) ปริมาณการจราจร (Traffic Volume) ใช้ในการแบ่งประเภทและมาตรฐานของทางหลวง ปริมาณการจราจรที่นำมาประกอบการออกแบบใช้งาน (Design life) จะต้องคำนวณทำนายปริมาณการจราจรในอนาคตล่วงหน้า 7-20 ปี เป็นข้อมูลในการออกแบบ

2) ลักษณะของยานพาหนะ (Vehicles) เช่น ความกว้าง ยาว ประเภท น้ำหนัก สมรรถนะยานพาหนะที่นำมาพิจารณามี 3 ประเภท คือ รถยนต์นั่ง (Passenger Car) รถบรรทุก (Trucks) และรถโดยสาร (Bus)

3) ความเร็ว (Design Speed) ของยานพาหนะที่จะพิจารณาออกแบบให้รถแล่นบนถนนได้สูงสุดอย่างปลอดภัยตามสภาพการใช้งานและลักษณะภูมิประเทศ

องค์ประกอบสำคัญทั้ง 3 ประการดังกล่าว นำไปใช้ในการออกแบบความกว้างของช่องจราจร จำนวนช่องจราจร ความกว้างของไหล่ทาง รัศมีทางโค้ง การยกโค้ง การขยายขอบทางโค้ง ความลาดชันของทาง การหยุดและการแซง ชนิดของผิวทางสิ่งอำนวยความสะดวกและความสะดวกต่าง ๆ ฯลฯ

ก-1 มาตรฐานการออกแบบทางหลวงชนบท (Rural Road Design Standard)

มาตรฐานการออกแบบทางหลวงชนบท ตามประกาศกรมทางหลวงชนบท เรื่องมาตรฐานและลักษณะของทางหลวงและงานทาง รวมทั้งกำหนดเขตทางหลวง ที่จัดระยะแนวต้นไม้ และเสาพาดสาย เกี่ยวกับทางหลวงชนบท พ.ศ. 2549 ซึ่งได้ประกาศ ณ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2549 แบ่งชั้นทางหลวงชนบทออกเป็น 4 ชั้น ดังนี้

- 1) ทางหลวงชนบทชั้นที่ 1
- 2) ทางหลวงชนบทชั้นที่ 2
- 3) ทางหลวงชนบทชั้นที่ 3
- 4) ทางหลวงชนบทชั้นที่ 4

ตารางที่ 3-1 มาตรฐานและลักษณะทางของทางหลวงชนบท

ชั้นทาง	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	ชั้นที่ 4
อัตราความเร็วที่ใช้ออกแบบ (กม./ชม.)				
- ทางราบ	ไม่เกิน 90			
- ทางเนิน	ไม่เกิน 80			
- ทางเขา	ไม่เกิน 70			
ความลาดชันสูงสุด (%)				
- ทางราบ	ไม่เกิน 4		ไม่เกิน 4	
- ทางเนิน	ไม่เกิน 6		ไม่เกิน 8	
- ทางเขา	ไม่เกิน 8		ไม่เกิน 12	
ประเภทผิวจราจร	ลาดยาง, คสล.			ลูกรัง ¹ /
ความกว้างของผิวจราจร (เมตร)	≥ 13	≥ 7	≥ 6	≥ 8 ² /
ความกว้างของไหล่ทางหรือทางเท้า (เมตร)	≥ 1.50 ³ /	≥ 1.50	≥ 1.50	0
ความกว้างของเขตทาง (เมตร)	20		15	
การรับน้ำหนักและน้ำหนักบรรทุก (ตัน)	25			
การยกระดับของถนนบนทางโค้ง	ไม่เกิน 10			
รัศมีทางโค้งทางแยกหัวมุม (ม.)	≥ 5			
ช่องลอดของถนน (ม.)	≥ 5			

¹/ หรือวัสดุอื่นที่มีคุณภาพดีกว่าลูกรัง เช่น ลาดยาง คอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นต้น

²/ กรณีทางจราจรเป็นลาดยาง จะต้องมีความกว้างผิวจราจรไม่น้อยกว่า 6.00 เมตร

³/ ถนน 4 ช่องทาง แต่ละช่องทางกว้างไม่น้อยกว่า 3.25 เมตร

ตารางที่ 3-2 Minimum Design Speeds for Rural Collectors (AASHTO)

Type of terrain	Metric			US Customary		
	Design speed (km/h) for specified design volume (veh/day)			Design speed (mph) for specified design volume (veh/day)		
	0 to 400	400 to 2000	over 2000	0 to 400	400 to 2000	over 2000
Level	60	80	100	40	50	60
Rolling	50	60	80	30	40	50
Mountainous	30	50	60	20	30	40
Note: Where practical, design speeds higher than those shown should be considered.						

การออกแบบองค์ประกอบต่าง ๆ ทางเรขาคณิตแบ่งออกเป็น การออกแบบแนวทางราบ การออกแบบแนวทางตั้ง และการออกแบบรูปตัด เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก-2 การออกแบบแนวในทางราบ (Horizontal Alignment)

การเลือกแนวในทางราบควรมีข้อพิจารณาดังนี้

- 1) ควรเลือกแนวทางที่มีระยะสั้นและไม่มีทางโค้งมาก
- 2) หลีกเลี่ยงแนวทางที่ไม่เหมาะสมยากแก่การก่อสร้างและมีราคาค่าก่อสร้างค่าบำรุงรักษาสูง เช่น ที่มีความลาดชันมาก เป็นที่ลุ่มต่ำ ที่ตัดผ่านลำน้ำมากแห่ง ที่บริเวณมีน้ำใต้ดินสูงมากตลอดจนบริเวณที่มีปัญหาในเรื่องการเวนคืนที่ดิน
- 3) หลีกที่ทางตรงยาวมากแล้วต่อด้วยโค้งสั้น จะทำให้มีอุบัติเหตุสูง
- 4) ทางแยกที่ตัดกันของทาง 2 สาย ไม่ควรให้มีมุมตัดกันเฉียงมากกว่า 60 องศา
- 5) เส้นทางที่มุมหักเหของแนวทางตรงน้อยกว่า 1 องศา ไม่ต้องออกแบบใส่โค้งราบ
- 6) แนวทางที่ตัดกับลำน้ำที่ต้องสร้างสะพานไม่ควรให้มีมุมตัดเฉียงมากกว่า 30 องศา
- 7) ความเร็วที่ใช้ออกแบบในทางโค้งในช่วงที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน ควรออกแบบให้รถแล่นด้วยความเร็วเท่ากัน
- 8) หลีกเลี่ยงการออกแบบทางโค้งอันตราย เช่น โค้งหักมาก (Sharp Curve) โค้งกลับทางกันที่อยู่ติดกัน (Reversing Curve) โค้งทางเดียวกันแต่อยู่ใกล้กันมาก (Broken Back Curve) โค้งทางเดียวกันอยู่ติดกัน (Compound Curve) ซึ่งมีรัศมีต่างกันอย่าง
- 9) หลีกเลี่ยงการออกแบบให้สะพานอยู่ในทางโค้ง ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็ควรให้ตัวสะพานอยู่ในช่วงยกโค้งเต็มที่ (Full Super Elevation)
- 10) ช่วงที่เป็นบริเวณดินถมสูงและยาว ช่วงใกล้ทางแยกและทางรถไฟ ควรออกแบบโค้งให้มีรัศมียาวที่สุดเท่าที่จะทำได้
- 11) โค้งราบที่ออกแบบให้รถใช้ความเร็วสูงควรมี Spiral Curve
- 12) ควรพิจารณาถึงระยะมองเห็นและหยุดโดยปลอดภัย (Stopping Sight Distance) ตลอดแนวเส้นทาง

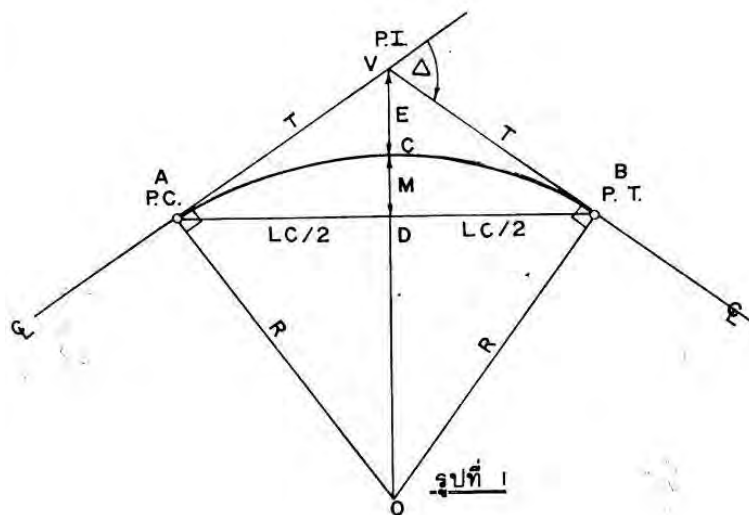
• การออกแบบโค้งทางราบ (Horizontal Curve Design)

การออกแบบก่อสร้างทางโค้งจะต้องพิจารณาถึง ความปลอดภัยในการขับขี่รถยนต์ ให้สามารถขับเคลื่อนด้วยความเร็วสูง การออกแบบโค้งมาตรฐานอาจกำหนดเป็นความยาวของรัศมีทางโค้ง หรือกำหนด

เป็น Degree of Curve คือกำหนดมุมที่จุดศูนย์กลางของส่วนโค้ง ซึ่งรองรับทางโค้งยาว 100 เมตร ค่า Degree of Curve ที่เหมาะสมจะมีค่าอยู่ระหว่าง $5^{\circ} - 7^{\circ}$ ในบริเวณที่โล่งราบ และไม่เกิน 10° ในบริเวณภูมิประเทศเป็นเนินเขา ทางโค้งแบ่งออกได้ดังนี้

1) ทางโค้งวงกลม (Circular Curve)

ทางโค้งมีรัศมีเท่ากันตลอด และมีจุดศูนย์กลางของรัศมีจุดเดียว



รูปที่ 3-3 โค้งวงกลม

- P.I. = Point of Intersection คือจุดเบนมุม หรือจุดเลี้ยว
- Δ = Delta ค่านุมเบน เป็นค่ามุมภายนอกระหว่างเส้นสัมผัสทั้งสอง มีค่าเท่ากับมุมที่จุดศูนย์กลางโค้งที่รองรับด้วยส่วนโค้งคือมุม $\angle AOB$ ซึ่งรองรับส่วนโค้ง AB (L) ในภาพที่ 2.2-1
- P.C. = Point of Curvature จุดเริ่มต้นโค้งที่เบี่ยงเบนออกจากเส้นตรงคือจุด A ในภาพที่ 2.2-1
- P.T. = Point of Tangency จุดสิ้นสุดโค้ง ซึ่งเข้าบรรจบกับเส้นตรงคือจุด B ในภาพที่ 2.2-1
- T = Tangent distance ระยะเส้นสัมผัสจากจุด P.I. ถึงจุดกึ่งกลางของโค้ง P.C. หรือปลายโค้ง P.T. คือระยะ AV หรือ VB
- R = Radius ค่าระยะรัศมีโค้งที่มีจุดศูนย์กลางที่ O

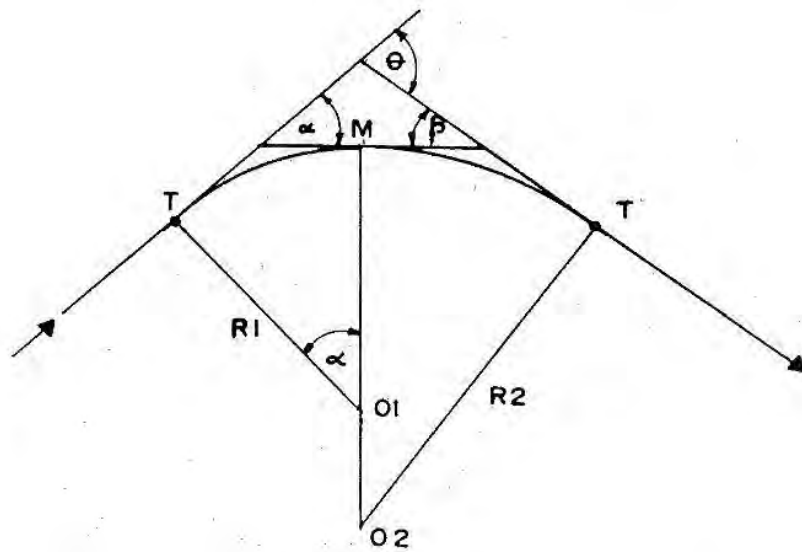
- E = External Distance คือ ระยะจากจุด P.I ถึงจุดกึ่งกลางของโค้ง AB คือระยะ VC
- LC = Long Chord คือ ระยะเส้นตรงจากจุดเริ่มต้นโค้ง P.C ถึงจุดสิ้นสุดโค้ง P.T หรือคือ ระยะ AB
- M = Middle Ordinate คือ ระยะจากจุดกึ่งกลางทางโค้งถึงจุดกึ่งกลางคอร์ด คือระยะ CD
- L = Length of Curve คือระยะความยาวทางโค้ง AB
- D = Degree of Curve มุมที่จุดศูนย์กลางรอบรับส่วนโค้งยาว 100 เมตร หรือคอร์ดยาว 100 เมตร ใช้เป็นค่ากำหนดความโค้ง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่ารัศมีโค้ง R

$$R = \frac{5729.58}{D}$$

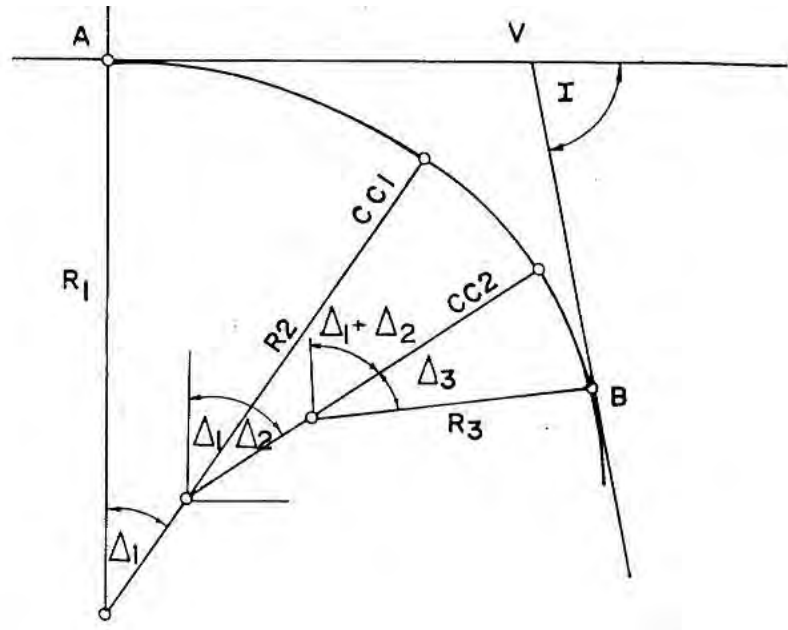
(R มีหน่วยเป็นเมตร , D มีหน่วยเป็นองศา)

2. โค้งผสม (Compound Curve)

ประกอบด้วยโค้งวงกลม มีรัศมีขนาดต่างกันมาเชื่อมต่อกัน มีจุดศูนย์กลางรัศมี 2 จุด ทางโค้งลักษณะนี้ใช้กับพื้นที่บริเวณเนินเขา หรือมีเหลี่ยมเพื่อความสะดวกในการก่อสร้างส่วน โค้งผสม 3 ศูนย์กลางใช้ลบมุมทางแยกให้ล้อรถกลมกลื่นกับมุมทางแยก



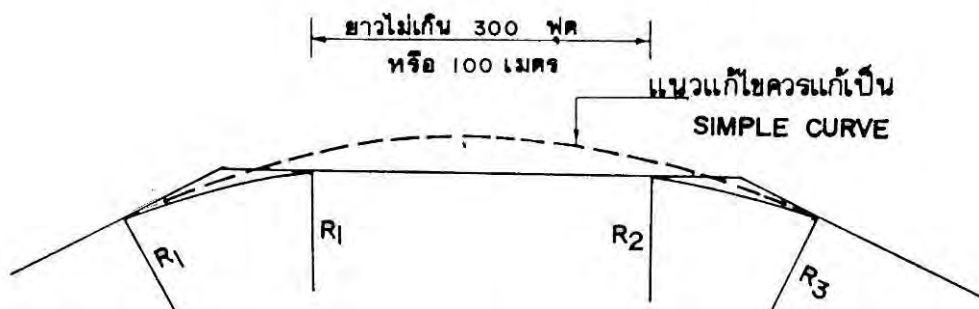
รูปที่ 3-4 โค้งผสมมี 2 ศูนย์กลาง



รูปที่ 3-5 โค้งผสมมี 3 ศูนย์กลาง

3. โค้งหลังหัก (Broken Back Curve)

โค้ง 2 โค้งหันเหไปในทิศทางเดียวกันเชื่อมต่อกันด้วยทางตรงยาวไม่เกิน 100 เมตร ควรออกแบบแก้ไขให้เป็นโค้งวงกลม เพราะยากแก่การยกโค้ง ในเวลากลางคืนผู้ขับขี่รถยนต์มองไม่เห็นแนวทางข้างหน้า จะเกิดอุบัติเหตุได้ง่าย

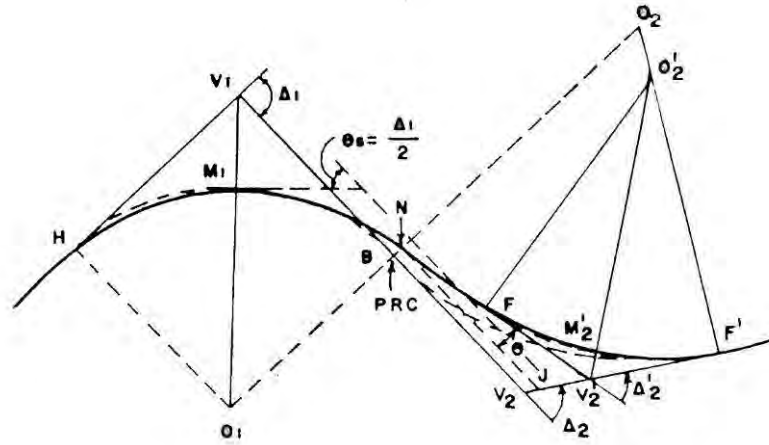


รูปที่ 3-6 โค้งหลังหัก

4. โค้งผสมย้อนทาง (Reverse Curve)

มีโค้งวงกลม 2 โค้ง ต่อเนื่องกันในลักษณะที่จุดศูนย์กลางของโค้งอยู่ในทิศตรงกันข้าม ทางโค้งลักษณะนี้ใช้กับบริเวณที่เป็นไหล่เขา หรือบริเวณถนนขนานทางรถไฟและต้องตัดข้ามทางรถไฟ ระยะเชื่อมต่อ

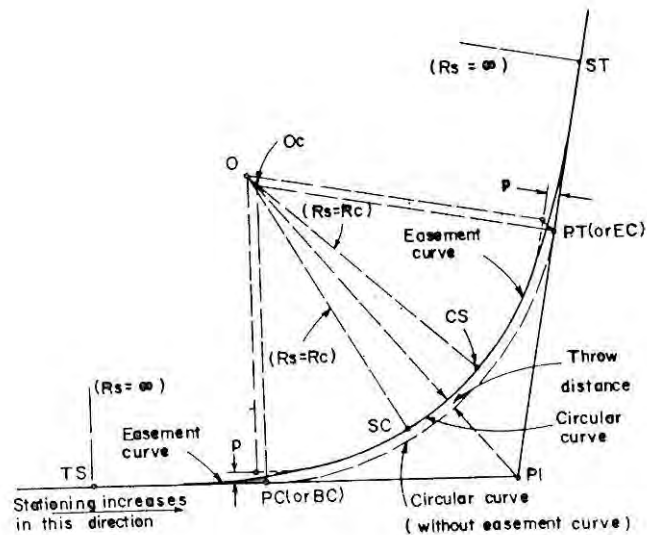
ระหว่างโค้งทั้ง 2 ควรจะมีอย่างน้อย 100 เมตร เพื่อให้รถที่แล่นออกจากโค้งแรกปรับตัวให้ได้ระดับก่อนเข้าโค้งที่ 2 โค้งที่มีรัศมีสั้นจะต้องมีรัศมีมีความยาว $> 50\%$ ของโค้งที่มีรัศมียาวกว่าและควรมีรัศมีมีความยาวของโค้ง > 300 เมตร



รูปที่ 3-7 โค้งผสมย้อนทาง

5. โค้งก้นหอย (Spiral Curve)

ขณะที่รถแล่นจากทางตรงเข้าสู่ทางโค้งวงกลมด้วยความเร็วสูง จะเกิดแรงเหวี่ยงขึ้นทันทีทำให้ผู้โดยสารรู้สึกว่าจะถูกเหวี่ยงออกไปนอกทางโค้ง เพื่อจะช่วยให้ขับได้อย่างสบายและปลอดภัยจึงควรเพิ่มโค้งเปลี่ยนแนว (Transition Curve) เข้าไปในช่วงระหว่างทางตรงก่อนจะเข้าทางโค้ง โดยที่รัศมีของโค้งเปลี่ยนแนวจะเปลี่ยนแปลงจากอนินิตีจนกระทั่งมีระยะความยาวเท่ากับรัศมีของโค้งวงกลม โค้งเปลี่ยนแนวมีหลายแบบ เช่น Lemniscate , Cubic Parabola . Spiral แต่ที่นิยมใช้คือโค้งก้นหอย



รูปที่ 3-8 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างโค้งก้นหอยและโค้งวงกลม

ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องในการออกแบบโค้งราบโดยทั่วไป ได้แก่

1. ระยะมองเห็น (Sight Distance)
2. ความเร็วสูงสุดที่ให้ความปลอดภัย (Safe Maximum Speed)
3. ลักษณะของงานและอุปสรรคตามลักษณะภูมิประเทศ

ก-2.1 ระยะมองเห็น (Sight Distance)

เป็นระยะทางเบื้องหน้าของผู้ขับยานพาหนะสามารถมองเห็นได้ไกลสุด ที่ผู้ขับยานพาหนะจะหยุดหรือแซงอย่างกะทันหัน เมื่อเกิดอุบัติเหตุมาขวางทางข้างหน้าโดยมิได้คาดการณ์ไว้ก่อน ซึ่งจะมีการพิจารณาออกแบบทั้งในทางราบและทางขึ้นเนิน ระยะมองเห็นโดยทั่วไปที่ใช้ในการออกแบบ คือ ระยะมองเห็นสำหรับหยุดรถได้ และระยะมองเห็นสำหรับแซงรถได้

1) ระยะมองเห็นสำหรับหยุดโดยปลอดภัย (Stopping Sight Distance)

เป็นระยะทางที่รถซึ่งแล่นด้วยความเร็วสูง (Design Speed) สามารถหยุดได้ทันก่อนที่จะชนวัตถุ ซึ่งผู้ขับเห็นขวางหน้าอยู่ทันทีทันใด ประกอบด้วย 2 ระยะทาง คือ

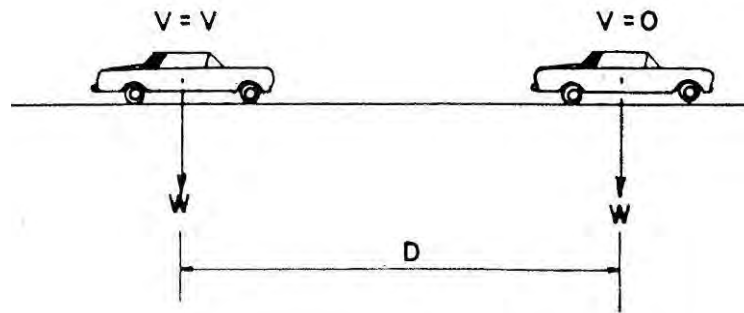
1.1) ระยะเมื่อผู้ขับยานพาหนะเริ่มเห็นวัตถุขวางหน้าและเริ่มยกเท้าไปแตะหน้าล้อ (Perception and Reaction Distance)

ถ้าให้ V = ความเร็วของยานพาหนะ กม./ชม.

t = ระยะเวลาที่เริ่มเห็นวัตถุและยกเท้าไปแตะห้ามล้อใช้ 2.5 วินาที

Braking Reaction Distance = $0.278 Vt$ เมตร

1.2) ระยะเมื่อผู้ขับขี่เริ่มเหยียบห้ามล้อจนกระทั่งหยุด



รูปที่ 3-9 ระยะห้ามล้อบนทางราบ

- ระยะห้ามล้อบนทางราบ ถ้ากำหนดให้

D = ระยะทางตั้งแต่เริ่มเหยียบห้ามล้อจนกระทั่งรถหยุด (ม.)

a = deceleration rate, ม/วินาที² ใช้ 3.4 ม²/วินาที

$$\text{Braking Distance on Level } D = 0.0039 \frac{V^2}{a}$$

∴ Stopping Sight Distance = Braking Reaction Distance + Braking Distance

$$= 0.278 Vt + 0.0039 \frac{V^2}{a}$$

- ระยะห้ามล้อบนทางลาดชัน จะต้องนำค่าของน้ำหนักรถในทางเอียงมาพิจารณาด้วย

ให้ G = ความลาดชัน (เปอร์เซ็นต์ grade หารด้วย 100)

$$\text{Braking Distance on Grade} = \frac{V^2}{254 \left(\left(\frac{a}{9.81} \right) \pm G \right)}$$

$$\therefore \text{Stopping Sight Distance on Grade} = 0.278 Vt + \frac{V^2}{254 \left(\left(\frac{a}{9.81} \right) \pm G \right)}$$

ระยะเวลา Perception and Reaction Time (t) ขึ้นอยู่กับสภาวะของร่างกายและจิตใจของผู้ขับขี่ยานพาหนะและความเร็วของยานพาหนะ ถ้ารถแล่นเร็วมาก ค่า t จะน้อยเพราะผู้ขับขี่จะต้องระมัดระวังอยู่ตลอดเวลา แต่จะน้อยเพราะผู้ขับขี่จะต้องระมัดระวังอยู่ตลอดเวลา แต่ถ้าผู้ขับขี่อยู่ในสภาพอ่อนเพลีย

เนื่องจากขั้บรมมาตลอดทั้งวันแล้วสภาพความตื่นตัวน้อยมากค่า t จะมาก โดยเฉลี่ยแล้วในสภาพปกติค่าเฉลี่ย t ประมาณ 2.5 วินาที

Metric					US Customary				
Design speed (km/h)	Brake reaction distance (m)	Braking distance on level (m)	Stopping sight distance		Design speed (mph)	Brake reaction distance (ft)	Braking distance on level (ft)	Stopping sight distance	
			Calculated (m)	Design (m)				Calculated (ft)	Design (ft)
20	13.9	4.6	18.5	20	15	55.1	21.6	76.7	80
30	20.9	10.3	31.2	35	20	73.5	38.4	111.9	115
40	27.8	18.4	46.2	50	25	91.9	60.0	151.9	155
50	34.8	28.7	63.5	65	30	110.3	86.4	196.7	200
60	41.7	41.3	83.0	85	35	128.6	117.6	246.2	250
70	48.7	56.2	104.9	105	40	147.0	153.6	300.6	305
80	55.6	73.4	129.0	130	45	165.4	194.4	359.8	360
90	62.6	92.9	155.5	160	50	183.8	240.0	423.8	425
100	69.5	114.7	184.2	185	55	202.1	290.3	492.4	495
110	76.5	138.8	215.3	220	60	220.5	345.5	566.0	570
120	83.4	165.2	248.6	250	65	238.9	405.5	644.4	645
130	90.4	193.8	284.2	285	70	257.3	470.3	727.6	730
					75	275.6	539.9	815.5	820
					80	294.0	614.3	908.3	910

Note: Brake reaction distance predicated on a time of 2.5 s; deceleration rate of 3.4 m/s² [11.2 ft/s²] used to determine calculated sight distance.

Exhibit 3-1. Stopping Sight Distance

Metric							US Customary						
Design speed (km/h)	Stopping sight distance (m)						Design speed (mph)	Stopping sight distance (ft)					
	Downgrades			Upgrades				Downgrades			Upgrades		
	3 %	6 %	9 %	3 %	6 %	9 %		3 %	6 %	9 %	3 %	6 %	9 %
20	20	20	20	19	18	18	15	80	82	85	75	74	73
30	32	35	35	31	30	29	20	116	120	126	109	107	104
40	50	50	53	45	44	43	25	158	165	173	147	143	140
50	66	70	74	61	59	58	30	205	215	227	200	184	179
60	87	92	97	80	77	75	35	257	271	287	237	229	222
70	110	116	124	100	97	93	40	315	333	354	289	278	269
80	136	144	154	123	118	114	45	378	400	427	344	331	320
90	164	174	187	148	141	136	50	446	474	507	405	388	375
100	194	207	223	174	167	160	55	520	553	593	469	450	433
110	227	243	262	203	194	186	60	598	638	686	538	515	495
120	263	281	304	234	223	214	65	682	728	785	612	584	561
130	302	323	350	267	254	243	70	771	825	891	690	658	631
							75	866	927	1003	772	736	704
							80	965	1035	1121	859	817	782

Exhibit 3-2. Stopping Sight Distance on Grades

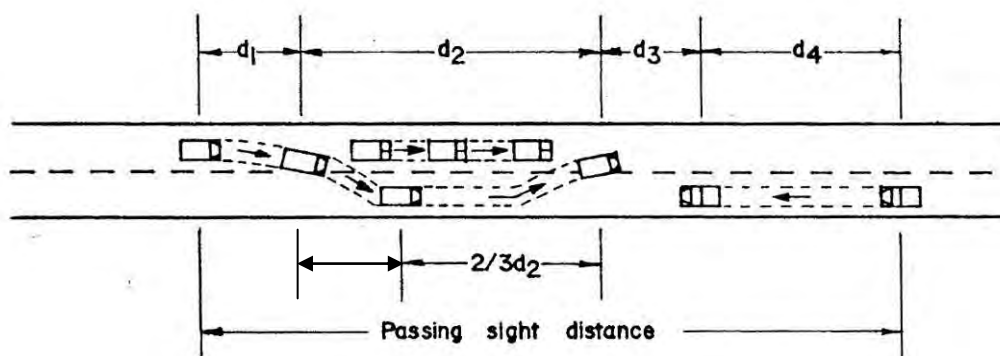
ตารางที่ 3-3 ระยะหยุดโดยปลอดภัย

2) ระยะมองเห็นสำหรับแซงโดยปลอดภัย (Passing Sight Distance)

เป็นระยะทางที่สั้นที่สุดในถนนที่มี 2 ช่องจราจร ซึ่งผู้ขับขี่รถสามารถเร่งความเร็วแซงรถข้างหน้า

และเบี่ยงกลับเข้าช่องทางเดิมโดยปลอดภัย โดยมีข้อกำหนดดังนี้

- 2.1) รถคันที่ถูกแซงจะต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่
- 2.2) รถคันที่แซงจะต้องลดความเร็วลงและแล่นตามรถคันที่จะแซง เพื่อรอจังหวะแซงโดยปลอดภัย
- 2.3) เมื่อผู้ขับรถคันที่จะแซงเห็นทางข้างหน้ามีระยะห่างจากรถคันที่แล่นสวนมาพอที่จะแซงได้โดยปลอดภัย จึงเริ่มแซง
- 2.4) ขณะที่ทำการเร่งความเร็วแซง รถคันที่ถูกแซงต้องไม่เร่งความเร็วขึ้น และความเร็วของรถทั้ง 2 คัน จะต้องมีความเร็วต่างกันอย่างน้อย 15 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- 2.5) เมื่อแซงพ้นแล้วและเบี่ยงกลับเข้าช่องทางเดิมแล้วจะต้องมีระยะห่างจากรถคันที่วิ่งสวนมาพอเพียงและปลอดภัย



รูปที่ 3-10 แสดงให้เห็นภาพการแซงและระยะแซงโดยปลอดภัย

ซึ่งประกอบด้วยระยะทางต่าง ๆ ดังนี้

- d_1 = ระยะทางที่รถคันที่จะแซงแล่นตามรถข้างหน้าไปเพื่อรอจังหวะปลอดภัยข้างหน้าแล้วจึงแซง (เมตร)
- $$= 0.278 V_1 t_1 + (V_1 - m + \frac{at_1}{2})$$
- d_2 = ระยะทางที่รถเริ่มเร่งความเร็วแซงจนพ้นและเคลื่อนรถกลับมายู่ในช่องทางเดิม (เมตร)
- $$= 0.278 V_2 t_2$$
- d_3 = ระยะทางระหว่างที่รถแล่นสวนมาข้างหน้ากับรถที่แซงเสร็จเรียบร้อยแล้ว (เมตร)
- $$= 35-90 \text{ เมตร ขึ้นอยู่กับความเร็วของรถทั้งสองคัน}$$
- d_4 = ระยะทางของรถคันที่แล่นสวนมาเคลื่อนที่นับตั้งแต่เริ่มแซงจนกระทั่งเคลื่อนกลับเข้าช่องทางเดิมโดยปลอดภัย
- $$= \frac{2}{3} d_2$$

กำหนดให้

V_1 = ความเร็วเฉลี่ยของรถคันที่ถูกระง (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

t_1 = ระยะเวลาที่รถจังหวะจะระง (วินาที)

a = อัตราเร่งเฉลี่ยของรถคันที่จังหวะ (เมตร/วินาที)

t_2 = ระยะเวลาที่อยู่ในช่องจราจรช่องตรงข้ามขณะระง (วินาที)

V_2 = ความเร็วเฉลี่ยของรถคันที่จังหวะ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)

AASHTO ได้แนะนำค่าระยะมองเห็นและระงโดยปลอดภัยดังแสดงในตาราง Exhibit 3-7

Metric					US Customary				
Design speed (km/h)	Assumed speeds (km/h)		Passing sight distance (m)		Design speed (mph)	Assumed speeds (mph)		Passing sight distance (ft)	
	Passed vehicle	Passing vehicle	From Exhibit 3-6	Rounded for design		Passed vehicle	Passing vehicle	From Exhibit 3-6	Rounded for design
30	29	44	200	200	20	18	28	706	710
40	36	51	266	270	25	22	32	897	900
50	44	59	341	345	30	26	36	1088	1090
60	51	66	407	410	35	30	40	1279	1280
70	59	74	482	485	40	34	44	1470	1470
80	65	80	538	540	45	37	47	1625	1625
90	73	88	613	615	50	41	51	1832	1835
100	79	94	670	670	55	44	54	1984	1985
110	85	100	727	730	60	47	57	2133	2135
120	90	105	774	775	65	50	60	2281	2285
130	94	109	812	815	70	54	64	2479	2480
					75	56	66	2578	2580
					80	58	68	2677	2680

Exhibit 3-7. Passing Sight Distance for Design of Two-Lane Highways

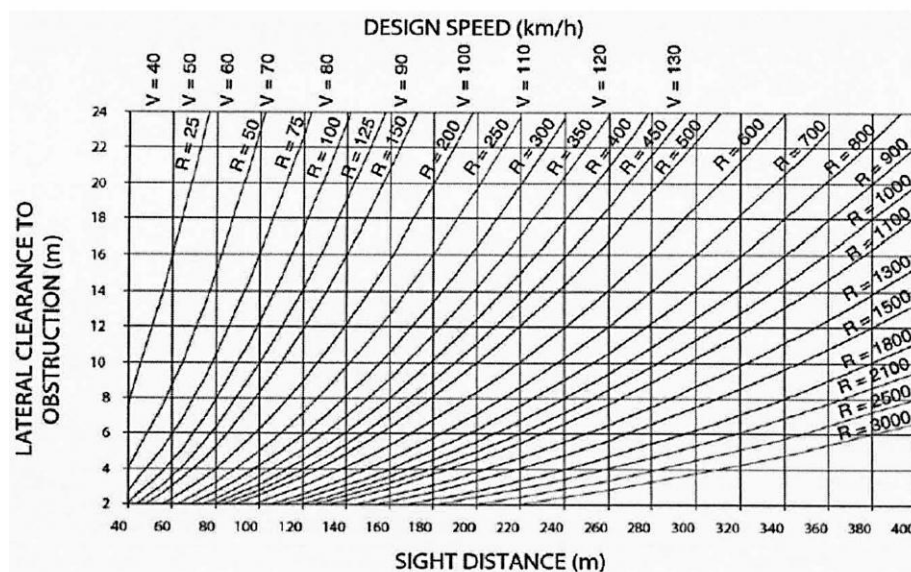
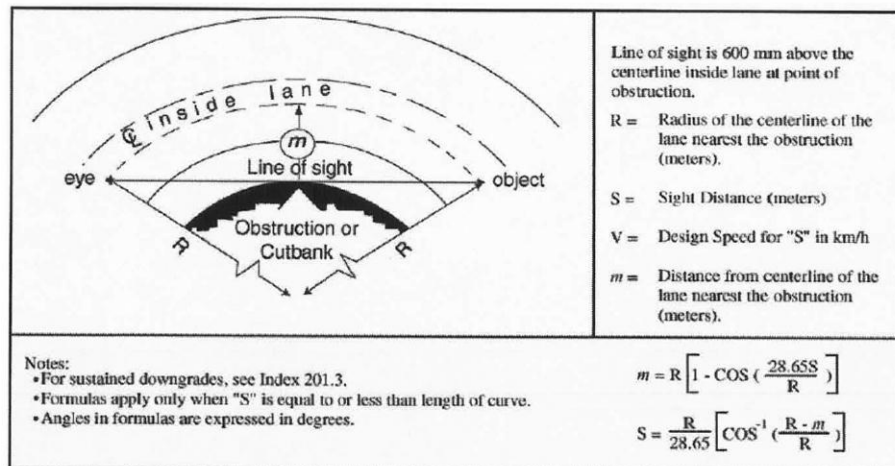
ตารางที่ 3-4 ระยะระงโดยปลอดภัย

ตามปกติแล้วจะต้องออกแบบโค้งระงและทุกจุดบนทางหลวง

ให้ได้ระยะมองเห็นสำหรับหยุดรถได้เป็นอย่างน้อย ระยะมองเห็นดังกล่าวข้างต้น จะเป็นตัวกำหนดรัศมีของโค้งระงและความเร็วที่ออกแบบซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

3. ระยะมองเห็นโดยปลอดภัยในทางโค้งระง

การออกแบบทางโค้งจะต้องพิจารณากำหนดระยะมองเห็นปลอดภัย (Sight Distance) ให้พอเพียงเพื่อความปลอดภัยของผู้ขับยานพาหนะและทรัพย์สินสิ่งปลูกสร้าง อาคาร ต้นไม้ หรือวัตถุใด ๆ ที่อยู่ชิดขอบทางด้านใน อาจจะต้องรื้อถอนหรือตัดออกเพื่อให้มีระยะมองเห็นโดยปลอดภัยที่เหมาะสม ในทางหลวงที่มีเขตทางแคบหรือมีสิ่งรื้อถอนไม่ได้อยู่ชิดแนวทาง ระยะห่างระหว่างสิ่งของหรือวัตถุดังกล่าวกับระยะมองเห็นต่ำสุดที่หยุดรถโดยปลอดภัยจะเป็นตัวกำหนดรัศมีโค้งระงและความเร็วที่ออกแบบ



รูปที่ 3-11 ระยะมองเห็นในการหยุดรถโดยปลอดภัยสำหรับทางโค้งแนวนราบ

ระยะมองเห็นในการแซงโดยปลอดภัยสำหรับทางโค้งแนวนราบ จะมีค่าประมาณ 4 เท่า ของระยะมองเห็นในการหยุดโดยปลอดภัย

ก-2.2 ความเร็วสูงสุดที่ให้ความปลอดภัย (Safe maximum Speed)

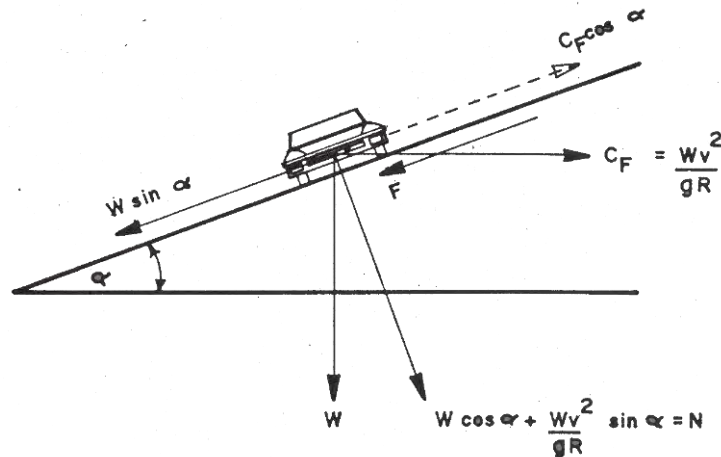
ในการออกแบบโค้งราบ จะต้องออกแบบให้โค้งราบสามารถอำนวยให้รถที่แล่นเข้าโค้งราบนั้น ใช้ความเร็วให้สูงสุดตามที่กำหนดด้วยความสะดวกและปลอดภัย ปัจจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบ ได้แก่

1) ความเร็วที่ออกแบบ (Design Speed)

ให้ได้ความเร็วตามที่กำหนด ตามลักษณะภูมิประเทศ ปริมาณการจราจรและประเภทของทางหลวงตามมาตรฐาน

2) การยกโค้ง (Super Elevation)

ในถนนที่รถแล่นด้วยความเร็วสูงเมื่อเข้าโค้งราบ จะเกิดแรงหนีศูนย์กลางอาจทำให้รถเสียหลักไถลหลุดออกจากทางโค้งได้ จึงจำเป็นต้องยกผิวทางด้านนอกให้ลาดเอียงเพื่อด้านรับแรงหนีศูนย์กลาง เพื่อให้รถสามารถใช้ความเร็วได้สูงตามที่กำหนดด้วยความปลอดภัย



รูปที่ 3-12 การยกโค้ง

ถ้าให้

$$V = \text{ความเร็ว (กิโลเมตร/ชั่วโมง)}$$

$$e = \text{อัตราการยกโค้งของผิวทาง (เมตร/เมตร)}$$

$$f = \text{สปส. ความเสียดทานระหว่างล้อกับถนน}$$

$$R = \text{รัศมีของโค้งราบ (เมตร)}$$

$$\therefore e + f = \frac{V^2}{127R}$$

ค่า f ซึ่งเป็น สปส. ความเสียดทานระหว่างล้อกับผิวทาง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ความเร็วของรถ สภาพยาง สภาพผิวจราจร และสภาวะอากาศแห้งหรือมีฝนตก

ตารางที่ 3-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับ f

ความเร็วออกแบบ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	50	65	80	95	110	130
f	0.16	0.15	0.14	0.13	0.12	0.11

อัตราการเพิ่มค่า e หรือ $\tan \alpha$ (Rate of Super Elevation) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.12 และค่า e ขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ สภาพภูมิประเทศ (Terrain) จำนวนรถบรรทุกซึ่งแล่นเข้าถ้ากำหนดให้ f มีค่าต่ำสุด = 0.1 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความปลอดภัยสูง และทำนองเดียวกันให้ค่า e มีค่า = 0.1 จะได้

$$e = \frac{0.004V^2}{R} \quad (e = f)$$

2.1) อัตราการยกโค้งที่เหมาะสม

ขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ความสะดวกสบายในการขับรถ สภาพดินฟ้าอากาศ ถนนในเมืองหรือนอกเมือง สภาพภูมิประเทศเป็นเนินเขาหรือที่ราบ ความเร็วออกแบบ จากการพิจารณาองค์ประกอบเหล่านี้ จากการทดลองและจากประสบการณ์ AASHTO แนะนำให้ใช้อัตราการยกโค้งดังแสดงในตารางที่ 2.2-4

ตารางที่ 3-6 อัตราการยกโค้งสูงสุดที่ AASHTO แนะนำให้ใช้

อัตราการยกโค้ง	ประเภทของถนน
4%	ค่าเฉลี่ยสำหรับถนนสายหลักในย่านการค้า
6%	ค่าสูงสุดสำหรับถนนสายหลักในย่านการค้า
8%	ค่าสูงสุดสำหรับถนนสายในเมือง
10%	ค่าเฉลี่ยสำหรับถนนนอกเมืองและทางด่วน
12%	ค่าเฉลี่ยสำหรับถนนนอกเมืองและทางด่วน

METRIC

e (%)	$V_d = 20$ km/h	$V_d = 30$ km/h	$V_d = 40$ km/h	$V_d = 50$ km/h	$V_d = 60$ km/h	$V_d = 70$ km/h	$V_d = 80$ km/h	$V_d = 90$ km/h	$V_d = 100$ km/h
	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)
1.5	163	371	679	951	1310	1740	2170	2640	3250
2.0	102	237	441	632	877	1180	1490	1830	2260
2.2	75	187	363	534	749	1020	1290	1590	1980
2.4	51	132	273	435	626	865	1110	1390	1730
2.6	38	99	239	345	508	720	944	1200	1510
2.8	30	79	167	263	422	605	802	1030	1320
3.0	24	64	137	236	356	516	690	893	1150
3.2	20	54	114	199	303	443	597	779	1010
3.4	17	45	96	170	260	382	518	680	879
3.6	14	38	81	144	222	329	448	591	767
3.8	12	31	67	121	187	278	381	505	658
4.0	8	22	47	86	135	203	280	375	492

Note: Use of $e_{max} = 4\%$ should be limited to urban conditions.

Exhibit 3-25. Minimum Radii for Design Superelevation Rates, Design Speeds, and $e_{max} = 4\%$

METRIC

e (%)	$V_d = 20$ km/h	$V_d = 30$ km/h	$V_d = 40$ km/h	$V_d = 50$ km/h	$V_d = 60$ km/h	$V_d = 70$ km/h	$V_d = 80$ km/h	$V_d = 90$ km/h	$V_d = 100$ km/h	$V_d = 110$ km/h	$V_d = 120$ km/h	$V_d = 130$ km/h
	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)	R (m)
1.5	194	421	738	1050	1440	1910	2360	2880	3510	4060	4770	5240
2.0	138	299	525	750	1030	1380	1710	2090	2560	2970	3510	3880
2.2	122	265	465	668	919	1230	1530	1860	2300	2670	3160	3500
2.4	109	236	415	599	825	1110	1380	1700	2080	2420	2870	3190
2.6	97	212	372	540	746	1000	1260	1540	1890	2210	2630	2930
2.8	87	190	334	488	676	910	1150	1410	1730	2020	2420	2700
3.0	78	170	300	443	615	831	1050	1290	1590	1870	2240	2510
3.2	70	152	269	402	561	761	959	1190	1470	1730	2080	2330
3.4	61	133	239	364	511	697	882	1100	1360	1600	1940	2180
3.6	51	113	206	329	465	640	813	1020	1260	1490	1810	2050
3.8	42	96	177	294	422	586	749	939	1170	1390	1700	1930
4.0	36	82	155	261	380	535	690	870	1090	1300	1590	1820
4.2	31	72	136	234	343	488	635	806	1010	1220	1500	1720
4.4	27	63	121	210	311	446	584	746	938	1140	1410	1630
4.6	24	56	108	190	283	408	538	692	873	1070	1330	1540
4.8	21	50	97	172	258	374	496	641	812	997	1260	1470
5.0	19	45	88	156	235	343	457	594	755	933	1190	1400
5.2	17	40	79	142	214	315	421	549	701	871	1120	1330
5.4	15	36	71	128	195	287	386	506	648	810	1060	1260
5.6	13	32	63	115	176	260	351	463	594	747	980	1190
5.8	11	28	56	102	156	232	315	416	537	679	900	1110
6.0	8	21	43	79	123	184	252	336	437	560	756	951

Exhibit 3-26. Minimum Radii for Design Superelevation Rates, Design Speeds, and $e_{max} = 6\%$

โดย AASHTO ได้แนะนำตารางค่าอัตราการยกโค้งไว้ ดังนี้

ตารางที่ ๓-๗ อัตราการยกโค้ง ๕%

ตารางที่ ๓-๘ อัตราการยกโค้ง ๖%

METRIC

e (%)	$V_d = 20$ km/h R (m)	$V_d = 30$ km/h R (m)	$V_d = 40$ km/h R (m)	$V_d = 50$ km/h R (m)	$V_d = 60$ km/h R (m)	$V_d = 70$ km/h R (m)	$V_d = 80$ km/h R (m)	$V_d = 90$ km/h R (m)	$V_d = 100$ km/h R (m)	$V_d = 110$ km/h R (m)	$V_d = 120$ km/h R (m)	$V_d = 130$ km/h R (m)
1.5	184	443	784	1090	1490	1970	2440	2970	3630	4180	4900	5360
2.0	133	322	571	791	1090	1450	1790	2190	2680	3090	3640	4000
2.2	119	288	512	711	976	1300	1620	1980	2420	2790	3290	3620
2.4	107	261	463	644	885	1190	1470	1800	2200	2550	3010	3310
2.6	97	237	421	587	808	1080	1350	1650	2020	2340	2760	3050
2.8	88	216	385	539	742	992	1240	1520	1860	2160	2550	2830
3.0	81	199	354	496	684	916	1150	1410	1730	2000	2370	2630
3.2	74	183	326	458	633	849	1060	1310	1610	1870	2220	2460
3.4	68	169	302	425	588	790	988	1220	1500	1740	2080	2310
3.6	62	156	279	395	548	738	924	1140	1410	1640	1950	2180
3.8	57	144	259	368	512	690	866	1070	1320	1540	1840	2060
4.0	52	134	241	344	479	648	813	1010	1240	1450	1740	1950
4.2	48	124	224	321	449	608	766	948	1180	1380	1650	1850
4.4	43	115	208	301	421	573	722	895	1110	1300	1570	1760
4.6	38	106	192	281	395	540	682	847	1050	1240	1490	1680
4.8	33	96	178	263	371	509	645	803	996	1180	1420	1610
5.0	30	87	163	246	349	480	611	762	947	1120	1360	1540
5.2	27	78	148	229	328	454	579	724	901	1070	1300	1480
5.4	24	71	136	213	307	429	549	689	859	1020	1250	1420
5.6	22	65	125	198	288	405	521	656	819	975	1200	1360
5.8	20	59	115	185	270	382	494	625	781	933	1150	1310
6.0	19	55	106	172	253	360	469	595	746	894	1100	1260
6.2	17	50	98	161	238	340	445	567	713	857	1060	1220
6.4	16	46	91	151	224	322	422	540	681	823	1020	1180
6.6	15	43	85	141	210	304	400	514	651	789	982	1140
6.8	14	40	79	132	198	287	379	489	620	757	948	1100
7.0	13	37	73	123	185	270	358	464	591	724	914	1070
7.2	12	34	68	115	174	254	338	440	561	691	879	1040
7.4	11	31	62	107	162	237	318	415	531	657	842	998
7.6	10	29	57	99	150	221	296	389	499	621	803	962
7.8	9	26	52	90	137	202	273	359	462	579	757	919
8.0	7	20	41	73	113	168	229	304	394	501	667	832

Exhibit 3-27. Minimum Radii for Design Superelevation Rates, Design Speeds, and $e_{\max} = 8\%$

ตารางที่ 3-9 อัตราการยกโค้ง 8%

METRIC

e (%)	$V_d = 20$ km/h R (m)	$V_d = 30$ km/h R (m)	$V_d = 40$ km/h R (m)	$V_d = 50$ km/h R (m)	$V_d = 60$ km/h R (m)	$V_d = 70$ km/h R (m)	$V_d = 80$ km/h R (m)	$V_d = 90$ km/h R (m)	$V_d = 100$ km/h R (m)	$V_d = 110$ km/h R (m)	$V_d = 120$ km/h R (m)	$V_d = 130$ km/h R (m)
1.5	197	454	790	1110	1520	2000	2480	3010	3690	4250	4960	5410
2.0	145	333	580	815	1120	1480	1840	2230	2740	3160	3700	4050
2.2	130	300	522	735	1020	1340	1660	2020	2480	2860	3360	3680
2.4	118	272	474	669	920	1220	1520	1840	2260	2620	3070	3370
2.6	108	249	434	612	844	1120	1390	1700	2080	2410	2830	3110
2.8	99	229	399	564	778	1030	1290	1570	1920	2230	2620	2880
3.0	91	211	368	522	720	952	1190	1460	1790	2070	2440	2690
3.2	85	196	342	485	670	887	1110	1360	1670	1940	2280	2520
3.4	79	182	318	453	626	829	1040	1270	1560	1820	2140	2370
3.6	73	170	297	424	586	777	974	1200	1470	1710	2020	2230
3.8	68	159	278	398	551	731	917	1130	1390	1610	1910	2120
4.0	64	149	261	374	519	690	866	1060	1310	1530	1810	2010
4.2	60	140	245	353	490	652	820	1010	1240	1450	1720	1910
4.4	56	132	231	333	464	617	777	953	1180	1380	1640	1820
4.6	53	124	218	315	439	586	738	907	1120	1310	1560	1740
4.8	50	117	206	299	417	557	703	864	1070	1250	1490	1670
5.0	47	111	194	283	396	530	670	824	1020	1200	1430	1600
5.2	44	104	184	269	377	505	640	788	975	1150	1370	1540
5.4	41	98	174	256	359	482	611	754	934	1100	1320	1480
5.6	39	93	164	243	343	461	585	723	896	1060	1270	1420
5.8	36	88	155	232	327	441	561	693	860	1020	1220	1370
6.0	33	82	146	221	312	422	538	666	827	976	1180	1330
6.2	31	77	138	210	298	404	516	640	795	941	1140	1280
6.4	28	72	130	200	285	387	496	616	766	907	1100	1240
6.6	26	67	121	191	273	372	476	593	738	876	1060	1200
6.8	24	62	114	181	261	357	458	571	712	846	1030	1170
7.0	22	58	107	172	249	342	441	551	688	819	993	1130
7.2	21	55	101	164	238	329	425	532	664	792	963	1100
7.4	20	51	95	156	228	315	409	513	642	767	934	1070
7.6	18	48	90	148	218	303	394	496	621	743	907	1040
7.8	17	45	85	141	208	291	380	479	601	721	882	1010
8.0	16	43	80	135	199	279	366	463	582	699	857	981
8.2	15	40	76	128	190	268	353	448	564	679	834	956
8.4	14	38	72	122	182	257	339	432	546	660	812	932
8.6	14	36	68	116	174	246	326	417	528	641	790	910
8.8	13	34	64	110	166	236	313	402	509	621	770	888
9.0	12	32	61	105	158	225	300	386	491	602	751	867
9.2	11	30	57	99	150	215	287	371	472	582	731	847
9.4	11	28	54	94	142	204	274	354	453	560	709	828
9.6	10	26	50	88	133	192	259	337	432	537	685	809
9.8	9	24	46	81	124	179	242	316	407	509	656	786
10.0	7	19	38	68	105	154	210	277	358	454	597	739

Exhibit 3-28. Minimum Radii for Design Superelevation Rates, Design Speeds, and $e_{\max} = 10\%$

ตารางที่ 3-10 อัตราการยกโค้ง 10%

METRIC													
e (%)	$V_d = 20$ km/h R (m)	$V_d = 30$ km/h R (m)	$V_d = 40$ km/h R (m)	$V_d = 50$ km/h R (m)	$V_d = 60$ km/h R (m)	$V_d = 70$ km/h R (m)	$V_d = 80$ km/h R (m)	$V_d = 90$ km/h R (m)	$V_d = 100$ km/h R (m)	$V_d = 110$ km/h R (m)	$V_d = 120$ km/h R (m)	$V_d = 130$ km/h R (m)	
1.5	210	459	804	1130	1540	2030	2510	3040	3720	4280	4990	5440	
2.0	165	338	594	835	1150	1510	1870	2270	2770	3190	3740	4080	
2.2	139	306	536	755	1040	1360	1690	2050	2510	2900	3390	3710	
2.4	127	278	488	688	942	1250	1550	1880	2300	2650	3110	3400	
2.6	116	255	448	631	855	1140	1420	1730	2110	2440	2860	3140	
2.8	107	235	413	583	799	1060	1320	1600	1960	2280	2680	2910	
3.0	99	218	382	541	742	980	1220	1490	1820	2110	2480	2720	
3.2	92	202	356	504	692	914	1140	1390	1700	1970	2320	2550	
3.4	86	189	332	472	648	856	1070	1300	1600	1850	2180	2400	
3.6	81	177	312	443	609	805	1010	1230	1510	1750	2060	2270	
3.8	76	166	293	417	573	759	947	1160	1420	1650	1950	2150	
4.0	71	157	276	393	542	718	896	1100	1350	1560	1850	2040	
4.2	67	148	261	372	513	680	850	1040	1280	1490	1760	1940	
4.4	64	140	247	353	487	648	808	988	1220	1420	1680	1850	
4.6	60	132	234	335	463	615	770	941	1160	1350	1600	1770	
4.8	57	126	222	319	441	586	734	899	1110	1290	1530	1700	
5.0	54	119	211	304	421	560	702	860	1060	1240	1470	1630	
5.2	52	114	201	290	402	535	672	824	1020	1190	1410	1570	
5.4	49	108	192	277	384	513	644	790	973	1140	1360	1510	
5.6	47	103	183	265	368	492	618	759	936	1100	1310	1460	
5.8	45	98	175	254	353	472	594	730	900	1060	1260	1410	
6.0	43	94	167	244	339	454	572	703	867	1020	1220	1360	
6.2	41	90	159	234	326	436	551	678	837	981	1180	1310	
6.4	39	86	153	225	313	420	531	654	808	948	1140	1270	
6.6	37	82	146	216	302	405	512	632	781	917	1100	1230	
6.8	35	78	140	208	290	391	494	611	755	888	1070	1200	
7.0	34	75	134	200	280	377	478	591	731	860	1040	1160	
7.2	32	71	128	192	270	364	462	572	708	834	1010	1130	
7.4	30	68	122	185	260	352	447	554	686	810	974	1100	
7.6	29	65	117	178	251	340	433	537	666	786	947	1070	
7.8	27	61	112	172	243	329	420	521	646	764	921	1040	
8.0	26	58	107	165	235	319	407	506	628	743	897	1020	
8.2	24	55	102	159	227	309	395	491	610	723	874	989	
8.4	23	52	97	154	219	298	383	477	593	704	852	965	
8.6	22	50	93	148	212	290	372	464	577	686	831	942	
8.8	20	47	88	142	205	281	361	451	562	668	811	921	
9.0	19	45	85	137	198	273	351	439	547	652	792	900	
9.2	18	43	81	132	191	264	341	428	533	636	774	880	
9.4	18	41	77	127	185	256	332	416	520	621	756	861	
9.6	17	39	74	123	179	249	323	406	507	606	739	843	
9.8	16	37	71	118	173	241	314	395	494	592	723	826	
10.0	15	36	68	114	167	234	305	385	482	579	708	809	
10.2	14	34	65	110	161	226	296	375	471	566	693	793	
10.4	14	33	62	105	155	219	288	365	459	553	679	778	
10.6	13	31	59	101	150	212	279	355	448	541	665	763	
10.8	12	30	57	97	144	204	270	345	436	529	652	749	
11.0	12	28	54	93	139	197	261	335	423	516	639	735	
11.2	11	27	51	89	133	189	252	324	411	503	626	722	
11.4	11	25	49	85	127	182	242	312	397	488	613	709	
11.6	10	24	46	80	120	173	232	300	382	472	598	697	
11.8	9	22	43	75	113	163	219	285	364	453	579	685	
12.0	7	18	36	64	98	143	194	255	328	414	540	665	

Exhibit 3-29. Minimum Radii for Design Superelevation Rates, Design Speeds, and $e_{\max} = 12\%$

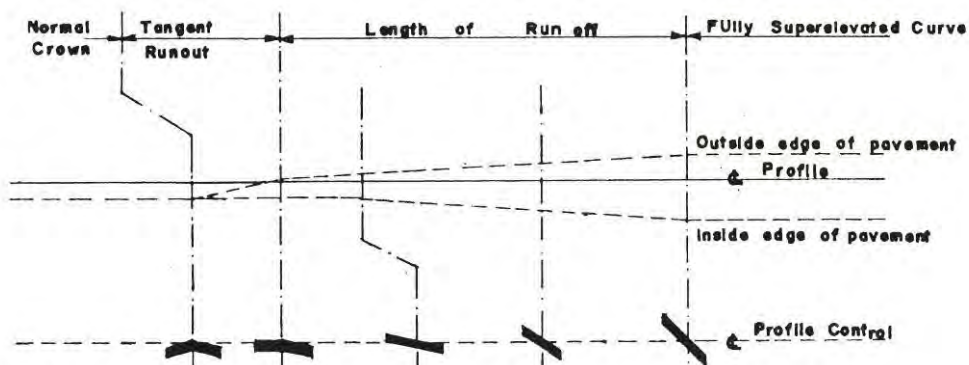
ตารางที่ 3-11 อัตราการยกโค้ง 12%

2.2) วิธีการยกขอบทางโค้ง

ในช่วงที่จะเข้าโค้งและจำเป็นต้องยกขอบถนนด้านนอกให้สูงขึ้นจากลักษณะหลังเต่า (Crown Slope) จนกระทั่งสูงได้ระดับ (Full Super Elevation) วิธีการยกขอบถนนอาจจะกำหนดจุดหมุนได้ 3 ตำแหน่ง คือ

- ให้เส้นแบ่งครึ่งถนนเป็นจุดหมุน

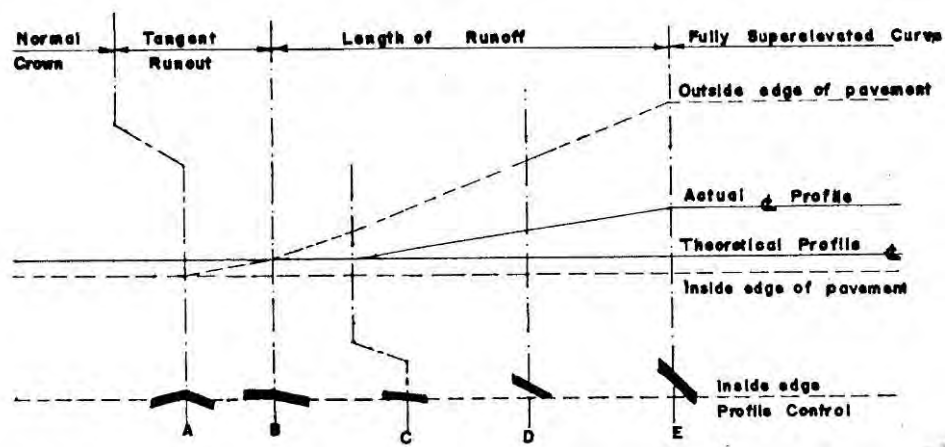
เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด เพราะระดับ Profile ของศูนย์กลางทางไม่เปลี่ยนแปลง และระดับของขอบผิวจราจรเปลี่ยนแปลงไม่มาก



รูปที่ 3-13 การยกขอบทางโค้ง ใช้เส้นแบ่งครึ่งถนนเป็นจุดหมุน

- ให้ขอบถนนด้านในเป็นจุดหมุน (Inner Edge)

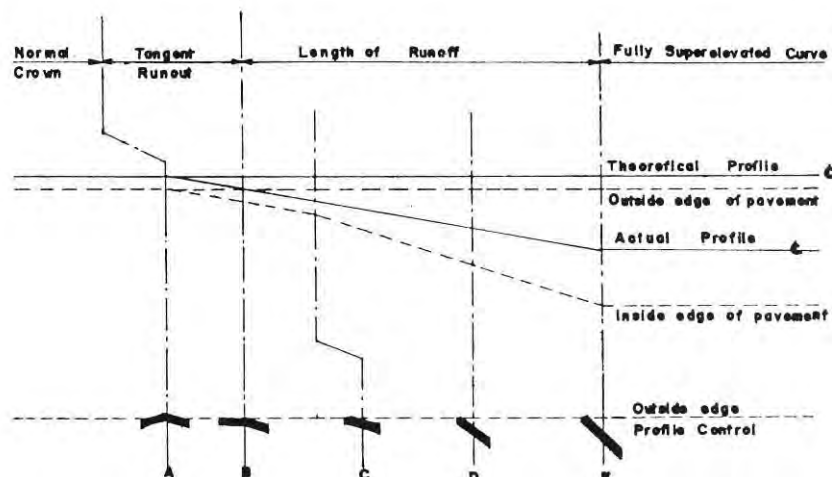
ใช้เมื่อคันทางต่ำกว่า 1.00 เมตร เพราะระดับขอบทางด้านในไม่เปลี่ยนแปลง คันทางจะไม่กดต่ำลงอีก สูงพ้นจากระดับน้ำท่วมขัง



รูปที่ 3.14 การยกขอบทางโค้ง ใช้ขอบถนนด้านนอกเป็นจุดหมุน

- ให้ขอบถนนด้านนอกเป็นจุดหมุน (Outer Edge)

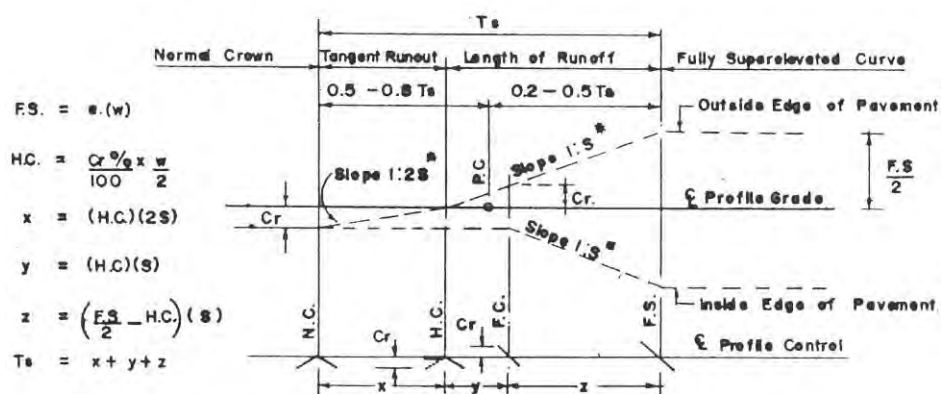
ใช้ในกรณีที่เส้นทางเขาที่เมื่อยกโค้งตามข้อ ก. และ ข. แล้วจะทำให้ปริมาณงานมากทั้งงานตัดและงานถม โดยที่ระดับของทางด้านนอกไม่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 3.15 การยกขอบทางโค้ง ใช้ขอบถนนด้านนอกเป็นจุดหมุน

การคำนวณระยะและระดับของผิวจราจรตามจุดต่าง ๆ ในการยกโค้งหาได้ดังนี้ คือ

- ในทางโค้งวงกลม (Simple Curve)



รูปที่ 3-16 การยกโค้งในทางโค้งวงกลม

กำหนดให้ เส้นแบ่งครึ่งถนน (Center line) ของถนนเป็นจุดหมุน

- Ts = Super Elevation Transition
- Ls = Length of Spiral
- HC = Half Crown
- FS = Full Super Elevation
- NC = Normal Crown
- FC = Full Crown

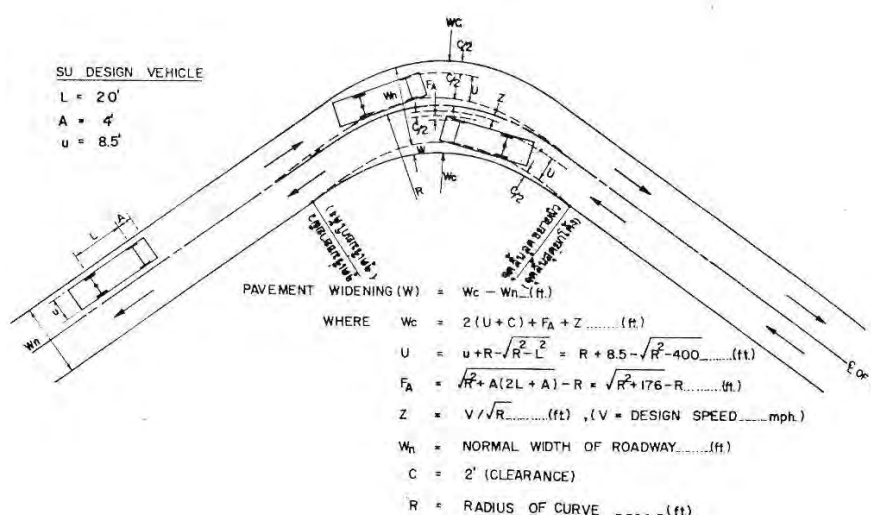
รูปที่ 3-18 ภาพตัดถนนแสดงการยกโค้งที่ระยะต่าง ๆ

2.3) การขยายผิวจราจรในทางโค้ง (Curve widening)

ขณะรถแล่นเข้าทางโค้งล้อหน้าและล้อหลังจะแล่นเข้าโค้งด้วยรัศมีไม่เท่ากัน กล่าวคือ ล้อหลังจะมีรัศมีสั้นกว่าล้อหน้าและถ้าช่วงระหว่างล้อหน้าและล้อหลังห่างกันมาก รัศมีในทางโค้งของล้อทั้งสองก็ยิ่งห่างกันมากขึ้น เพื่อให้ความปลอดภัยกับรถที่แล่นด้วยความเร็วสูง จุดที่เริ่มขยายขอบทางก็เริ่มจากจุดเกี่ยวกับการยกโค้ง คือ เริ่มขยายจากจุดเริ่มต้นการยกโค้งทั้งสองข้าง และขยายเต็มที่เมื่อถึงจุดเริ่มยกโค้งสูงสุดวิธีคำนวณมีหลายวิธี เช่น

- วิธีของ AASHTO

ใช้ข้อมูลจากรถบรรทุกหนักประเภท Single Unit Truck มาคำนวณหาความกว้างของผิวทางที่จะขยาย ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น ความกว้างปกติของผิวทาง ขนาดของรถ รัศมีทางโค้ง และความเร็วออกแบบ ดูภาพที่ 2.2-16



รูปที่ 3-19 การขยายขอบทางโค้งตามวิธีของ AASHTO

Widening (ft) for Two-Lane Pavements on Curves for Width of Pavement on Tangent of:														
Degree of Curve	24 ft					22 ft					20 ft			
	Design Speed (mph)					Design Speed (mph)					Design Speed (mph)			
	30	40	50	60	70	30	40	50	60	70	30	40	50	60
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	1.5	1.5	1.5	2.0
2	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5
3	0.0	0.0	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5
4	0.0	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0
5	0.5	0.5	1.0	1.0		1.5	1.5	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0
6	0.5	1.0	1.0	1.5		1.5	2.0	2.0			2.5	3.0	3.0	3.5
7	0.5	1.0	1.5			1.5	2.0	2.5			2.5	3.0	3.5	
8	1.0	1.0	1.5			2.0	2.0	2.5			3.0	3.0	3.5	
9	1.0	1.5	2.0			2.0	2.5	3.0			3.0	3.5	4.0	
10-11	1.0	1.5				2.0	2.5				3.0	3.5		
12-14.5	1.5	2.0				2.5	3.0				3.5	4.0		
15-18	2.0					3.0					4.0			
19-21	2.5					3.5					4.5			
22-25	3.0					4.0					5.0			
26-26.5	3.5					4.5					5.5			

NOTES : Values less than 2.0 may be disregarded

3-lane pavements : multiply above values by 1.5.

4-lane pavements : multiply above values by 2.

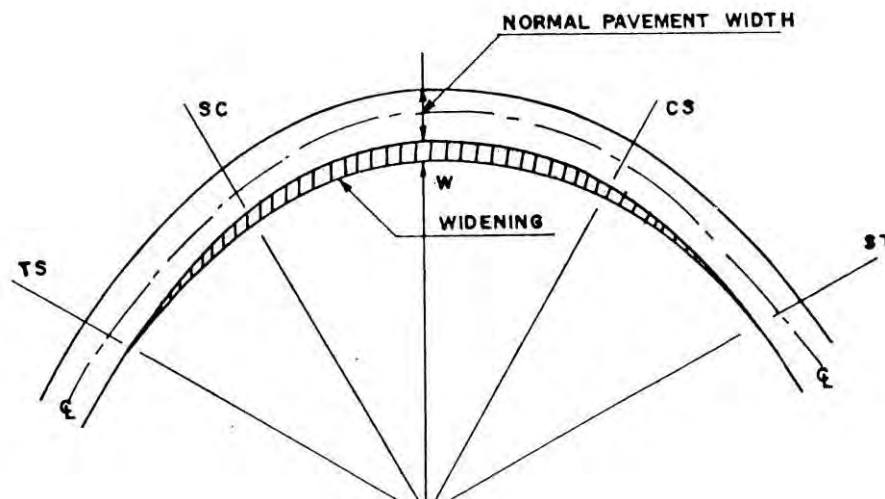
Where semitrailers are significant, increase tabular values of widening by 0.5 for curves of 10 ° to 16 °, and by 1.0 for curves 17 ° and sharper.

Radius of curve (m)	Metric																	
	Roadway width = 7.2 m						Roadway width = 6.6 m						Roadway width = 6.0 m					
	Design Speed (km/h)						Design Speed (km/h)						Design Speed (km/h)					
	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100
3000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
2500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
1500	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
1000	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
900	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9
800	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
700	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0
600	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0
500	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1
400	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
300	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4
250	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9		0.9	1.0	1.1	1.1	1.2		1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	
200	0.8	0.9	1.0	1.0			1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6		
150	1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6			1.7	1.8	1.9	1.9		
140	1.2	1.3					1.5	1.6					1.8	1.9				
130	1.3	1.4					1.6	1.7					1.9	2.0				
120	1.4	1.5					1.7	1.8					2.0	2.1				
110	1.5	1.6					1.8	1.9					2.1	2.2				
100	1.6	1.7					1.9	2.0					2.2	2.3				
90	1.8						2.1						2.4					
80	2.0						2.3						2.6					
70	2.3						2.6						2.9					

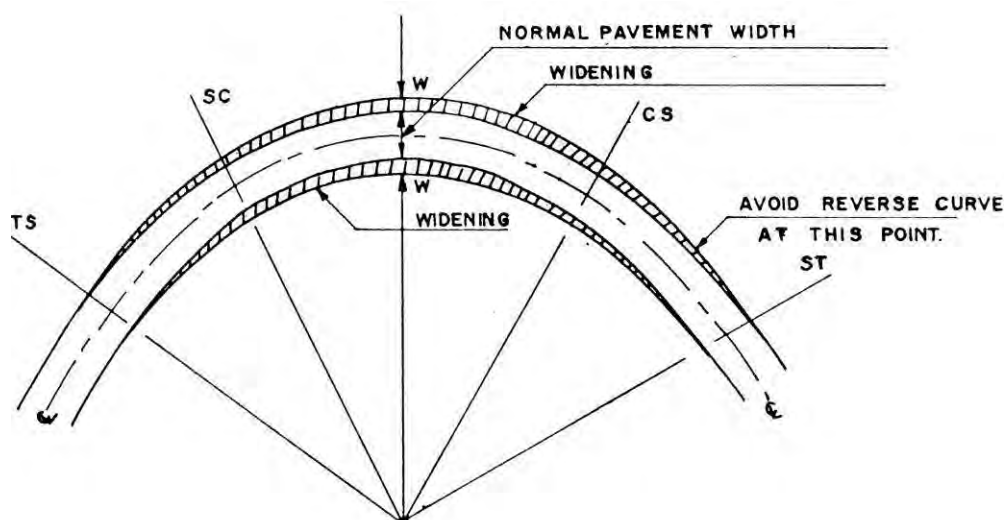
Notes: Values shown are for WB-15 design vehicle and represent widening in meters. For other design vehicles, use adjustments in Exhibit 3-48.
Values less than 0.6 m may be disregarded.
For 3-lane roadways, multiply above values by 1.5.
For 4-lane roadways, multiply above values by 2.

Exhibit 3-47. Calculated and Design Values for Traveled Way Widening on Open Highway Curves (Two-Lane Highways, One-Way or Two-Way)

ตารางที่ 3-12 การขยายขอบทางโค้ง



รูปที่ 3-20 การขยายขอบถนนด้านใน



รูปที่ 3-21 การขยายขอบถนนทั้งสองข้าง

การขยายผิวจราจรมี 2 แบบคือ การขยายขอบถนนด้านในและการขยายขอบถนนทั้งสองข้าง โดยจะเริ่มขยายจากจุดเริ่มต้นการยกโค้ง แล้วขยายเต็มความกว้างตามที่คำนวณได้ที่จุดเริ่มยกโค้งเต็มที่ ไปจนถึงจุดเริ่มคลายการยกโค้งเต็มที่ ก็จะเริ่มแคบลงไปถึงจุดหมดการยกโค้ง ก็จะหมดการขยายผิว การขยายผิวจราจรโดยทั่วไปนิยมกระทำที่บริเวณขอบผิวทางด้านในโค้งแต่เพียงด้านเดียว ถ้าค่าของการขยายผิว ตามที่คำนวณได้น้อยกว่า 40 เซนติเมตร ให้ตัดทิ้งไม่ต้องทำการขยายผิวในโค้งนั้น

ก-2.3 ลักษณะของงาน และลักษณะของภูมิประเทศที่เป็นอุปสรรค

ในบางกรณี การออกแบบวางโค้งราบจะขึ้นอยู่กับลักษณะของทางหลวงที่จะทำการก่อสร้าง หรือ

ขึ้นอยู่กับอุปสรรคต่าง ๆ ที่บังคับอยู่ข้างแนวทาง กรณีดังกล่าวจะได้แก่

1) ในกรณีของงานบูรณะปรับปรุงทางเดิม ซึ่งการวางแนวทางก่อสร้างมักจะพยายามให้ทับแนวของถนนเดิม เพื่อจะใช้ประโยชน์จากถนนเดิมให้มากที่สุด เพื่อลดค่างาน การวางโค้งจึงมักจะขึ้นอยู่กับลักษณะตามปรากฏของโค้งราบเดิม ยกเว้นในกรณีที่โค้งราบเดิมมีลักษณะไม่เหมาะสมทางวิศวกรรมต่าง ๆ หรือรับความเร็วสูงตามที่ต้องการไม่ได้จึงจะออกแบบโค้งแบบใหม่ โดยไม่คำนึงถึงรูปโค้งราบเดิม

2) ในกรณีของถนนในย่านชุมชน หรือในเมือง ซึ่งจะมีปัญหาเรื่องแนวเขตทาง หรือแนวครอบครองของผู้ที่อยู่อาศัยสองข้างทาง ที่ในบางกรณีจะเป็นลักษณะเขตทางแคบ รือถนนเวนคืนไม่ได้ ทำให้ไม่สามารถออกแบบโค้งราบได้ตามที่ต้องการ ในกรณีนี้ระยะห่างจากแนวศูนย์กลางทางถึงแนวครอบครองด้านข้าง และรูปแบบของทางหลวงที่จะปรับปรุงจะเป็นตัวกำหนดรัศมีของโค้งราบนั้น โดยยอมลดความเร็วที่ออกแบบให้เหลือน้อยที่สุดด้วย

3) ในกรณีที่เส้นทางในภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงชัน หรือสลับซับซ้อนการวางโค้งราบมักจะต้องคำนึงถึงปริมาณงานตัดและงานถมที่จะมีปริมาณมาก ตลอดจนความโค้งของตัวคันทาง เช่น กรณีที่เป็นครั้งตัดครั้งถม หรือถมลึกมาก ทั้งนี้ จะพิจารณาจากเส้นชั้น ความสูง รูปตัด ค่าระดับก่อสร้าง และสภาพอื่น ๆ เพื่อเลือกหรือปรับแนวของโค้งราบแต่ละโค้งและความเร็วต่ำสุดที่ยอมให้อีกทางหนึ่งด้วยอย่างไรก็ตาม จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบข้อมูลของโค้ง โดยเฉพาะค่ารัศมีที่ได้ ตามกรณีต่างๆ ข้างต้น กับระยะมองเห็นปลอดภัยให้ได้ทุกครั้ง

ก-3 การออกแบบระดับก่อสร้าง (Grade line design) หรือแนวทางตั้ง (Vertical Alignment)

การออกแบบระดับก่อสร้างต้องพิจารณาถึงความสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย ประหยัดค่าก่อสร้าง การบำรุงรักษา ตลอดจนค่าใช้จ่าย (road user cost) ซึ่งมีหลักการออกแบบโดยทั่วไป ดังนี้

1) ต้องเป็นไปตามมาตรฐานชั้นทาง และลักษณะของภูมิประเทศ ที่กำหนดให้ลาดชันสูงสุดไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด

2) ไม่ควรออกแบบระดับก่อสร้างในแต่ละช่วงลาดชันมาก หรือเปลี่ยนอย่างกะทันหัน และในแต่ละช่วงเป็นระยะทางสั้น ๆ ซึ่งมีลักษณะเป็นลูกคลื่น ควรออกแบบให้ค่อย ๆ เปลี่ยนไปตามลักษณะส่วนใหญ่ของภูมิประเทศ โดยให้ความรู้สึกเป็นเส้นที่ต่อเนื่องกันและให้ระดับก่อสร้างในแต่ละช่วงยาวที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ต้องคำนึงระยะการไต่ลาดชันวิกฤต (Critical length of grade)

3) วัสดุโครงสร้างชั้นทาง (Pavement structure) ชั้นล่างสุดจะต้องอยู่สูงสุดจากระดับน้ำสูงสุดอย่างน้อย 30 เซนติเมตร

4) การออกแบบถนนที่อยู่บนดินอ่อน ต้องพิจารณาถึงการทรุดตัวของถนนกับอายุการใช้งาน ความสูงวิกฤต (Critical height) ระดับน้ำใต้ดิน และความมั่นคงแข็งแรงของคันทาง ถ้าออกแบบระดับก่อสร้างไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดความวิบัติ (failure) ของคันทางได้

5) งานบูรณะลาดยางผิวทางเดิมที่สามารถนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างชั้นทางใหม่ได้ ระดับก่อสร้างกำหนดโดยใช้ความหนาของวัสดุที่เสริมทับบนผิวทางเดิม และค่าระดับน้ำสูงสุด

6) ทางในย่านชุมชน การกำหนดระดับก่อสร้างจะต้องพิจารณาถึงความสูงของอาคารสองข้างทาง หรือเขตทางที่แคบ เป็นเหตุให้ลาดดินคันทาง (toe slope) เข้าอาคาร หรืออยู่นอกเขตทาง

7) การปรับระดับก่อสร้างให้เข้ากับถนน ทางแยก สะพาน ที่ได้มาตรฐานแล้วควรให้มีระยะปรับระดับ (transition) ยาวเพียงพอ

8) ระยะมองเห็น (sight distance) ต้องมีระยะเพียงพอต่อการแซงรถและหยุดรถ (passing and stopping sight distance) ได้ด้วยความปลอดภัย โดยให้ความยาวโค้งตั้งไม่น้อยกว่าค่าที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.3-1 และอาจใช้ความยาวโค้งตั้งมากกว่าที่แสดงไว้ในตารางได้ เพื่อแก้ปัญหาการตัดลิคมสูง

9) ไม่ควรออกแบบให้มีระยะตรง (tangent) ระหว่างสองโค้งที่อยู่ใกล้กันนั้นจนเกินไป

10) บริเวณทางแยก บริเวณที่มีผู้ใช้ทางจักรยานมาก และบริเวณสะพาน ให้กำหนดระดับก่อสร้างลาดชันน้อยที่สุด ในบริเวณทางแยก บริเวณที่มีผู้ใช้ทางจักรยานมาก ให้ลาดชันไม่เกิน 2% และบริเวณสะพานไม่เกิน 6%

11) ทางขึ้นที่เนินและภูเขา

11.1) ให้พิจารณากำหนดระดับก่อสร้างให้มีลาดชันน้อยที่สุดเท่าที่ลักษณะภูมิประเทศจะอำนวยให้ ความลาดชันต้องไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด และไม่ยาวเกินไป จนเป็นเหตุให้ความเร็วของรถที่ไต่ลาดชันลดลงมากเกินไปถึงที่กำหนด (25 kph)

11.2) ในกรณีที่ลักษณะภูมิประเทศลาดชันเป็นระยะทางยาว ควรออกแบบ ให้ระดับก่อสร้างที่ชันกว่าอยู่ช่วงเริ่มต้นขึ้นเนิน และลดลงบริเวณยอดเนิน และไม่ควรออกแบบให้มีระดับก่อสร้างระดับเดียวกัน ยาวนานเกินไป ควรมีระดับก่อสร้างที่ราบหรือลาดชันน้อยเป็นระยะ ๆ เพื่อให้รถสามารถเพิ่มความเร็วได้

11.3) พยายามกำหนดระดับก่อสร้างให้ปริมาณงานดินตัดใกล้เคียงกับปริมาณงานดินถม เพื่อลดปัญหาการนำดินตัดส่วนเกินไปทิ้ง หรือลดปัญหาการนำดินจากที่อื่นมาถมซึ่งเป็นการช่วยลดค่างานก่อสร้าง

11.4) พยายามกำหนดระดับก่อสร้างให้รูปตัดคันทางเป็นรูปตัดเต็มพื้นที่คันทาง (full cut) หรือตัดบางส่วน (partial cut partial fill) เพื่อลดค่างานก่อสร้าง

12) ในบางช่วงลำน้ำที่ต้องออกแบบเป็นสะพาน กรณีที่ไม่มีการสัญจรทางน้ำหรือสิ่งของลอยน้ำ ระดับก่อสร้างกำหนดโดยค่าระดับน้ำสูงสุด ความสูงของช่องลอด และความหนาของพื้นสะพาน กรณีที่มีการสัญจรทางน้ำ หรือสิ่งลอยน้ำ ระดับก่อสร้างกำหนดโดย ค่าระดับน้ำสูงสุด ความสูงของช่องลอด ความสูงของสิ่งลอยน้ำ หรือการสัญจรทางน้ำและความหนาของพื้นสะพาน

ตารางที่ 3-13 ความยาวขั้นต่ำสุดของโค้งตั้ง พิจารณาจากระยะหยุดโดยปลอดภัย

ผลต่างทางพีชคณิต ความลาดชัน (%)	ความยาวโค้งหนาย (ม.)						ความยาวโค้งคว่ำ (ม.)					
	ความเร็ว (กม./ชม.)						ความเร็ว (กม./ชม.)					
	40	50	60	70	80	90	40	50	60	70	80	90
1	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
2	50	50	50	50	50	70	50	50	50	50	70	100
3	50	50	50	60	80	80	50	50	50	70	100	140
4	50	50	60	80	100	130	50	50	60	90	130	190
5	50	60	80	100	130	160	50	50	70	110	160	230
6	50	70	90	120	150	190	50	60	80	130	170	280
7	50	70	110	140	180	220	50	60	90	150	220	330
8	60	80	120	160	200	250	50	70	100	170	250	370
9	60	90	140	180	230	280	50	80	120	190	280	420
10	70	100	150	200	260	310	50	90	130	210	310	460
11	80	110	170	220	280	340	60	100	150	230	340	510
12	80	120	180	240	310	370	60	110	160	260	370	560
13	90	130	190	260	330	400	70	120	170	280	410	600
14	100	140	210	280	360	430	70	120	190	300	440	650
15	100	150	220	300	380	460	80	130	200	320	470	690
16	110	160	240	320	410	490	80	140	210	340	500	740
17	120	170	250	340	430	520	80	150	220	360	530	790
18	120	180	260	360	460	550	90	160	240	380	560	830
19	130	190	280	380	480	580	90	160	250	400	590	880
20	130	200	290	400	510	610	100	170	260	430	620	920
21	140	210	310	420	530	650	100	180	280	450	650	970
22	150	220	320	440	560	680	110	190	290	470	680	1020
23	150	230	340	460	580	710	110	200	300	490	720	1060
24	160	240	350	480	610	740	120	210	320	510	750	1110

ที่มา : AASHTO 1965 – A Policy on Geometric Design of Rural Highways

12.1) ช่องลอด (Clearance)

- หากไม่มีสิ่งลอยน้ำ ให้ใช้ 0.50-0.70 เมตร
- สำหรับเรือแจว หรือเรือเล็ก ให้ใช้ 1.50 เมตร
- สำหรับเรือของกรมชลประทาน ให้ใช้ 3.80 เมตร
- หากมีซุงหรือขอนไม้ ฯลฯ ให้ใช้ประมาณ 1.00 เมตร
- ในกรณีพิเศษ ให้กำหนดตามลักษณะของความสูงพิเศษนั้น ๆ

12.2) ความหนาของพื้นสะพาน (Super Structure)

- สำหรับแผ่นพื้น (slab type) ประมาณ 53 เซนติเมตร (span 10 เมตร)
- สำหรับ Box Girder ประมาณ 73 เซนติเมตร (span 20 เมตร)
- สำหรับ I-Girder ประมาณ 110 เซนติเมตร (span 30 เมตร)

การออกแบบระดับก่อสร้างตามที่กล่าวมาแล้ว เป็นแนวทางในการออกแบบเท่านั้นซึ่งขึ้นกับข้อมูลการออกแบบและประสบการณ์ของผู้ออกแบบ ทั้งนี้จะต้องพิจารณาถึงความสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย ประหยัดค่าก่อสร้าง ค่าบำรุงรักษา และค่าใช้จ่าย ความสะดวกสบาย ในการขับรถ ความสวยงามของทางเหมาะสมในทางปฏิบัติและถูกต้องตามหลักวิชาการด้วย

ก-3.1 ระยะการไต่ลาดชันวิกฤต (Critical length of grade)

ระยะการไต่ลาดชันวิกฤต คือ ความยาวของการขึ้นลาดชันที่ออกแบบให้รถบรรทุกสามารถไต่ขึ้นได้โดยความเร็วไม่ลดลงมากเกินไป ซึ่งเป็นเหตุให้รถวิ่งช้ามาก และกีดขวางการจราจรประเภทอื่น ในการขึ้นที่ลาดชัน ความเร็วของรถบรรทุกขึ้นอยู่กับความลาดชัน ระยะทางที่ไต่ลาดชัน น้ำหนักต่อกำลังของรถบรรทุก ความเร็วก่อนการไต่ลาดชัน และความชำนาญของผู้ขับขี่ โดยทั่วไปการออกแบบจะพิจารณาถึงความเร็วของรถบรรทุกให้ลดลงได้ไม่มากกว่า 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อถึงปลายของลาดชัน เมื่อเทียบกับความเร็วก่อนการไต่ลาดชัน สำหรับทางมาตรฐานสูงทั่วไป ถ้าหากจำเป็นต้องใช้ลาดชันยาวเกินกว่าระยะการไต่ลาดชันวิกฤตและปริมาณรถมาก จำเป็นต้องเพิ่มช่องทางวิ่งสำหรับรถบรรทุกที่วิ่งช้า ช่องทางวิ่งที่เพิ่มขึ้นนี้ เรียกว่า climbing lane สำหรับทางมาตรฐานต่ำกว่าอาจยอมให้ความเร็วลดลงมากขึ้นเพื่อให้ได้ระยะลาดชันยาวขึ้น ทั้งนี้ เพื่อลดค่างานตัด

ก-3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันสูงสุดกับความเร็วที่ใช้ออกแบบ

ในทางหลวงสายหลัก (Main Highway) ความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันสูงสุดกับความเร็วที่ใช้ออกแบบ ได้แสดงไว้ในตารางข้างล่าง กรณีที่ระยะการไต่ลาดชันสั้นกว่า 150 เมตร ให้เพิ่มอีก 1% จากค่าที่แสดงไว้ในตาราง และกรณีของทางหลวงนอกเมือง (Rural Highway) ที่มีปริมาณการจราจรน้อย ให้เพิ่มความลาดชันอีก 2% จากค่าที่แสดงไว้ในตาราง 2.3-2

ตารางที่ 3-14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันสูงสุดกับความเร็วที่ใช้ออกแบบ

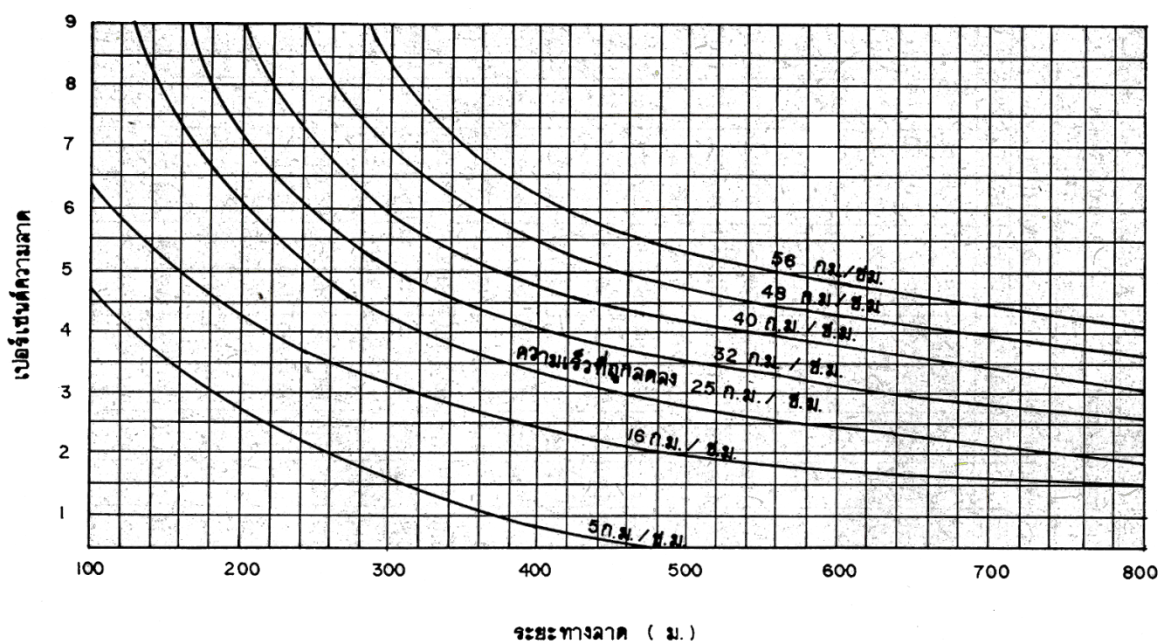
ลักษณะภูมิประเทศ	ความเร็วที่ใช้ออกแบบ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)				
	40	50	60	80	100
ที่ราบและลูกเนิน (flat & rolling)	7%	6%	5%	4%	3%
ภูเขา (hilly)	8%	7%	6%	5%	4%
ภูเขา (mountainous)	10%	9%	8%	7%	6%

MAXIMUM GRADES OF URBAN COLLECTORS ROAD

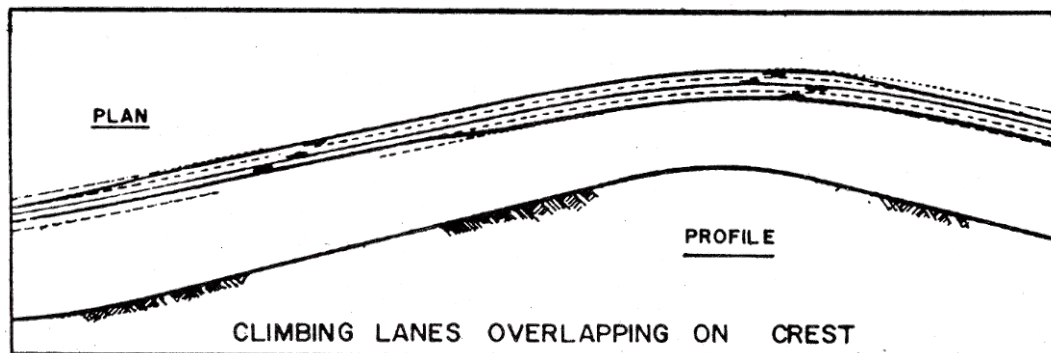
Type of terrain	Metric								US Customary								
	Maximum grade (%) for specified design speed (km/h)								Maximum grade (%) for specified design speed (mph)								
	30	40	50	60	70	80	90	100	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Level	9	9	9	9	8	7	7	6	9	9	9	9	9	8	7	7	6
Rolling	12	12	11	10	9	8	8	7	12	12	11	10	10	9	8	8	7
Mountainous	14	13	12	12	11	10	10	9	14	13	12	12	12	11	10	10	9

Note: Short lengths of grade in urban areas, such as grades less than 150 m [500 ft] in length, one-way downgrades, and grades on low-volume urban collectors may be up to 2 percent steeper than the grades shown above.

รูปที่ 3-22 ช่องจราจรสำหรับรถแล่นช้า (Climbing Lane)



ความยาวทางลาดวิกฤตใช้ในการออกแบบ กำหนดโดยพิจารณาจากรถบรรทุกหนัก 20 ตัน
(ส่วนมากใช้ค่าที่ 25 กิโลเมตร/ชั่วโมง)



รูปที่ 3.23 ช่องจราจรสำหรับรถแล่นช้า (Climbing Lane)

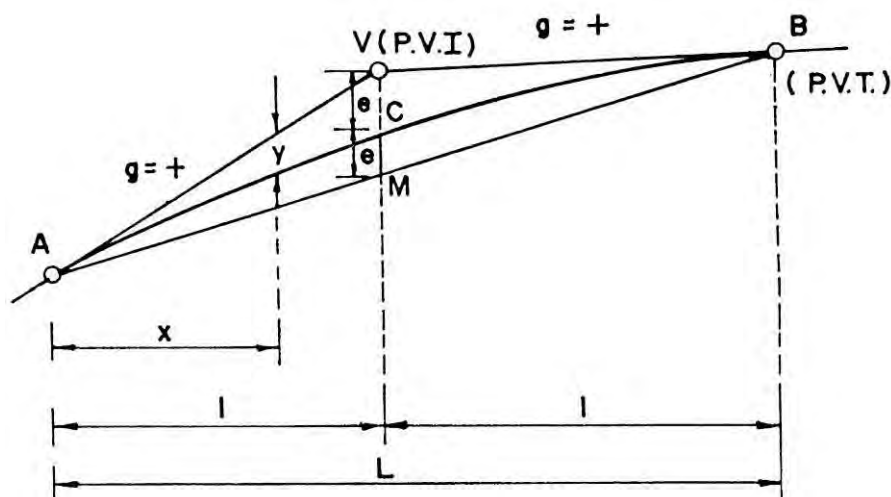
ก-3.3 โค้งทางตั้ง (Vertical curve)

โค้งทางตั้งคือ โค้งที่ใช้เชื่อมความลาดชันสองลาดที่ต่อเนื่องกันเข้าด้วยกัน เพื่อให้การเปลี่ยนลาดชันค่อยๆ เปลี่ยนสำหรับกรณีที่ความลาดชันติดกันแล้ว ผลรวมทางพีชคณิตของความลาดชันทั้งสองไม่เกิน 0.3 % ไม่จำเป็นต้องใช้โค้งทางตั้ง ส่วนการวัดระยะทางในทางตั้งนั้นให้วัดระยะทางไปตามระยะราบ (Horizontal Projection) โค้งตั้งแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

- 1) โค้งทางตั้งหยาย (Sag Vertical Curve)
- 2) โค้งทางตั้ง (Crest Vertical Curve)

โค้งตั้งแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ โค้งสมมาตร (Symmetrical Curve) และโค้งไม่สมมาตร (Unsymmetrical Curve)

2.1) โค้งสมมาตร คือโค้งที่ความยาวแต่ละข้างของจุดตัดโค้งตั้งยาวเท่ากัน



รูปที่ 3-24 โค้งสมมาตร

กำหนดให้

e = ระยะระหว่างจุด PVI มายังจุดยอดของโค้ง, เมตร

g_1, g_2 = เปอร์เซ็นต์ความลาดชัน

ลาดขึ้นมีเครื่องหมาย +

ลาดลงมีเครื่องหมาย -

A = ผลต่างทางพีชคณิตของความลาดชัน, %

L = ความยาวทางโค้งวัดตามทางราบ, เมตร

Y = ระยะทางจากจุดต่าง ๆ บนทางลาดมายังโค้ง, เมตร

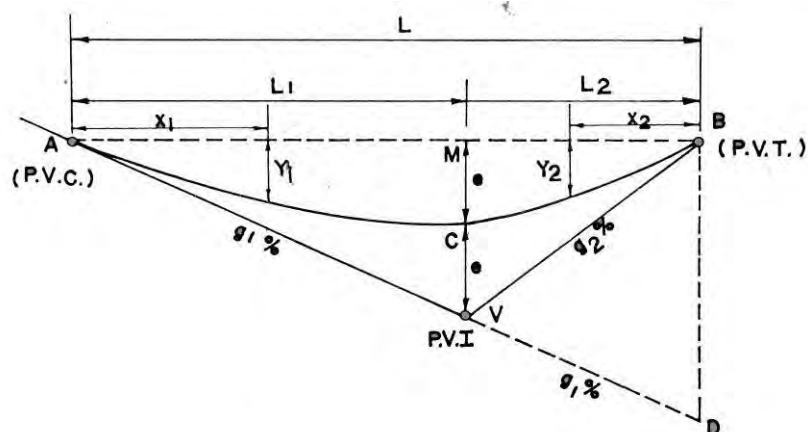
X = ระยะจากจุดเริ่มโค้งไปยังจุดต่าง ๆ บนทางโค้ง, เมตร

จะได้

$$e = \frac{AL}{800}$$

$$Y = \left(\frac{X^2}{L}\right)e$$

2.2) โค้งไม่สมมาตร คือ โค้งที่ความยาวแต่ละข้างของจุดตัดโค้งตั้งยาวไม่เท่ากัน



รูปที่ 3-25 โค้งไม่สมมาตร

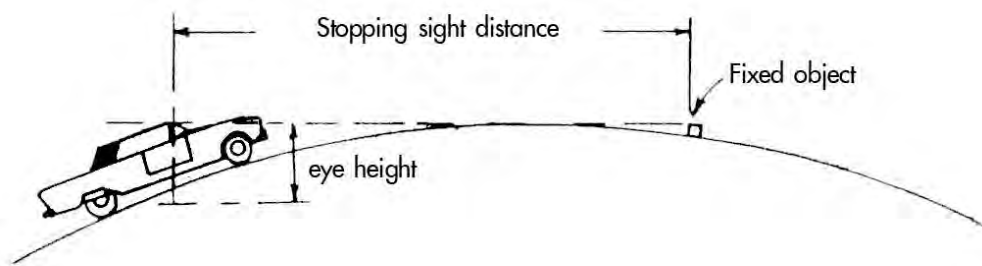
$$e = \frac{A l_1 l_2}{200L}$$

$$y_1 = \left(\frac{x_1}{l_1}\right)^2 \cdot e$$

$$y_2 = \left(\frac{x_2}{l_2}\right)^2 \cdot e$$

ก-3.4 ระยะหยุดโดยปลอดภัยบนทางขึ้นเนิน (Stopping Sight Distance Over Crest)

เป็นระยะทางที่สั้นที่สุดซึ่งตาของผู้ขับรถมองเห็นวัตถุวางอยู่บนพื้นทางข้างหน้าของผู้ขับรถบนยอดเนิน โดยที่ผู้ขับรถสามารถหยุดรถได้อย่างกะทันหันและปลอดภัย โดยที่ตาของผู้ขับรถอยู่สูงจากพื้น 1.08 เมตร สามารถมองเห็นวัตถุ อยู่สูงจากพื้น 0.60 เมตร



รูปที่ 3-26 แสดงระยะหยุดโดยปลอดภัย

กรณีที่ 1 ระยะหยุดโดยปลอดภัยสั้นกว่าความยาวโค้งตั้ง ($S < L$)

$$L = \frac{AS^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

ตามมาตรฐานของ AASHTO กำหนดให้ $h_1 = 1.08$ เมตร $h_2 = 0.60$ เมตร จะได้

$$L = \frac{AS^2}{658} \text{ เมตร}$$

กรณีที่ 2 ระยะหยุดโดยปลอดภัยยาวกว่าความยาวทางโค้งขึ้นเนิน ($S > L$) จะได้

$$L = 2S - 200 \frac{(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$$

$$\text{ถ้า } h_1 = 1.08 \text{ เมตร , } h_2 = 0.60 \text{ เมตร}$$

$$L = \frac{2S - \frac{658}{A}}{A} \text{ เมตร}$$

การที่จะเลือกใช้สมการไหนในการคำนวณอาจพิจารณาได้จาก

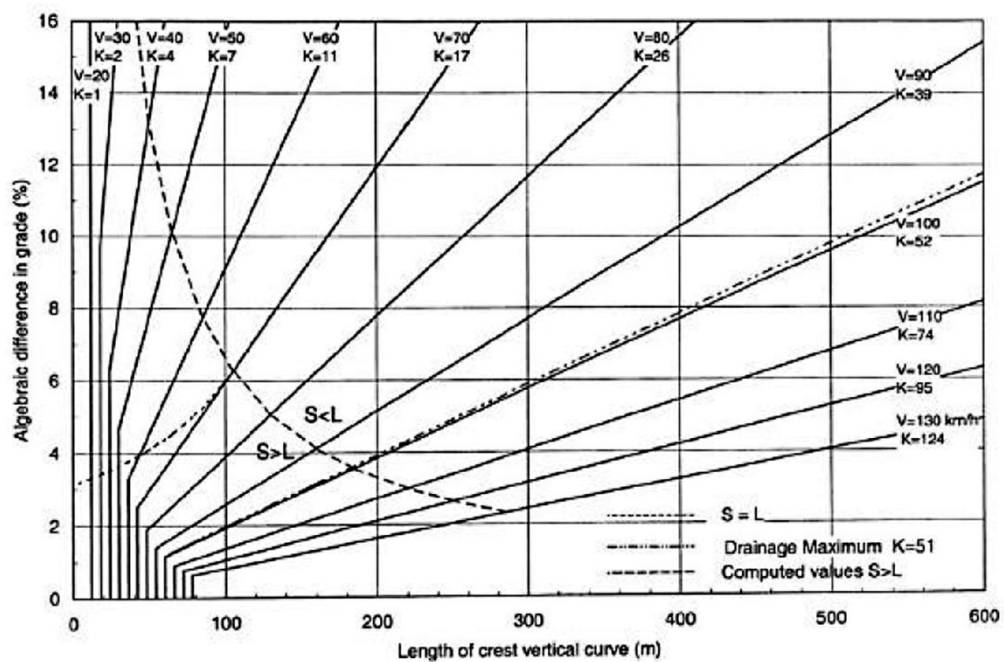
ก. ถ้ารู้ค่า L

$$e = \frac{(g_2 - g_1)L}{800}$$

ข. ถ้ารู้ค่า S

$$e = \frac{(g_2 - g_1)S}{800}$$

ถ้าตัวเลขที่คำนวณได้จากสมการปรากฏว่า $e > h_1$ ให้ใช้สมการในกรณีของ $S < L$ และถ้าปรากฏว่า $e < h_1$ ก็ต้องพิจารณาสมการในกรณีของ $S > L$



Metric				US Customary			
Design speed (km/h)	Stopping sight distance (m)	Rate of vertical curvature, K ^a		Design speed (mph)	Stopping sight distance (ft)	Rate of vertical curvature, K ^a	
		Calculated	Design			Calculated	Design
20	20	0.6	1	15	80	3.0	3
30	35	1.9	2	20	115	6.1	7
40	50	3.8	4	25	155	11.1	12
50	65	6.4	7	30	200	18.5	19
60	85	11.0	11	35	250	29.0	29
70	105	16.8	17	40	305	43.1	44
80	130	25.7	26	45	360	60.1	61
90	160	38.9	39	50	425	83.7	84
100	185	52.0	52	55	495	113.5	114
110	220	73.6	74	60	570	150.6	151
120	250	95.0	95	65	645	192.8	193
130	285	123.4	124	70	730	246.9	247
				75	820	311.6	312
				80	910	383.7	384

^a Rate of vertical curvature, K, is the length of curve per percent algebraic difference in intersecting grades (A). $K = L/A$

ตารางที่ 3-15 ระยะมองเห็นในการหยุดรถโดยปลอดภัยสำหรับทางโค้งตั้งขึ้นเนิน

ก-3.5 ระยะแซงโดยปลอดภัยบนทางขึ้นเนิน (Passing Sight Distance Overcrests)

เป็นระยะทางที่ยาวที่สุดซึ่งตาของผู้ขับรถอยู่สูงจากพื้น 1.08 เมตร สามารถมองเห็นวัตถุอยู่สูงจากพื้น 1.08 เมตร

กรณีที่ 1 ระยะแซงโดยปลอดภัยสั้นกว่าความยาวทางโค้งขึ้นเนิน ($S < L$)

$$L = \frac{S^2 A}{864} \text{ เมตร}$$

กรณีที่ 2 ระยะแซงโดยปลอดภัยยาวกว่าความยาวทางโค้งขึ้นเนิน ($S > L$)

$$L = 2S - \frac{864}{A} \text{ เมตร}$$

ถนนขึ้นเนินที่มีเพียง 2 ช่องจราจร ถ้าจะออกแบบให้มีระยะแซงโดยปลอดภัย จะต้องเป็นบริเวณที่ไม่ลาดชันมากนัก เพราะจะสิ้นเปลืองค่าก่อสร้างเกี่ยวกับงานดินสูง และถ้าไม่ได้กำหนดระยะแซงโดยปลอดภัยก็จะต้องมีเครื่องหมายจราจรกำหนดไว้ให้ชัดเจน เช่น เส้นแบ่งช่องจราจรเป็นเส้นที่บดลวดทางขึ้นเนิน แสดงความหมายห้ามแซง และในบริเวณที่มีรถบรรทุกทุกหนักแล่นผ่านเป็นจำนวนมากก็จำเป็นจะต้องมีช่องจราจรที่สามสำหรับรถบรรทุกทุกหนักทางด้านขึ้นเนิน (Slow Vehicle Lane)

Metric			US Customary		
Design speed (km/h)	Passing sight distance (m)	Rate of vertical curvature, K* design	Design speed (mph)	Passing sight distance (ft)	Rate of vertical curvature, K* design
30	200	46	20	710	180
40	270	84	25	900	289
50	345	138	30	1090	424
60	410	195	35	1280	585
70	485	272	40	1470	772
80	540	338	45	1625	943
90	615	438	50	1835	1203
100	670	520	55	1985	1407
110	730	617	60	2135	1628
120	775	695	65	2285	1865
130	815	769	70	2480	2197
			75	2580	2377
			80	2680	2565

Note: *Rate of vertical curvature, K, is the length of curve per percent algebraic difference in intersecting grades (A). $K=L/A$

ตารางที่ 3-16 ข้อกำหนดสำหรับออกแบบระยะแซงโดยปลอดภัยบนทางขึ้นเนิน

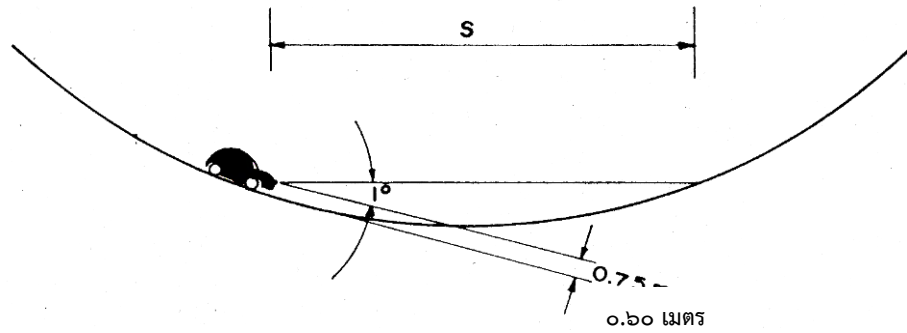
หมายเหตุ : Intermediate Sight Distance คือ เป็นระยะที่มีไว้เพื่อให้ความมั่นใจว่ามีระยะทาง 2 เท่าของระยะหยุดเพื่อปลอดภัยไว้ให้แก่ผู้ขับขี่ ระยะทางสองเท่าของระยะหยุดปลอดภัยนี้ต้องการสำหรับรถสองคันวิ่งสวนกันด้วยความเร็วออกแบบและหยุดได้พอดีเมื่อรถจอดกัน

ก-3.6 ระยะมองเห็นโดยปลอดภัยในทางโค้งลักษณะก้นกระทะ (Sag Vertical Curve)

การออกแบบถนนลักษณะนี้จะต้องพิจารณาถึง

1. ระยะไฟสูงส่องสว่างที่สามารถส่องได้ไกลสุดเป็นตัวกำหนดระยะมองเห็นโดยปลอดภัย
2. ความสะดวกสบายของผู้ขับและผู้โดยสารรถ
3. การระบายน้ำฝนไม่ให้ท่วมถนนซึ่งก่อให้เกิดอันตรายและความเสียหาย
4. ลักษณะโดยทั่วไปมองแล้วไม่น่ากลัวหรือหวาดเสียว

AASHTO กำหนดให้ระยะส่องสว่างของไฟหน้ารถในเวลากลางคืน (Head Light Sight Distance) เป็นระยะกำหนดที่สำคัญ โดยบ่งให้ไฟหน้าของยานพาหนะอยู่สูงจากผิวจราจร 0.60 เมตร มีลำแสงทำมุม 1° Upward Divergence



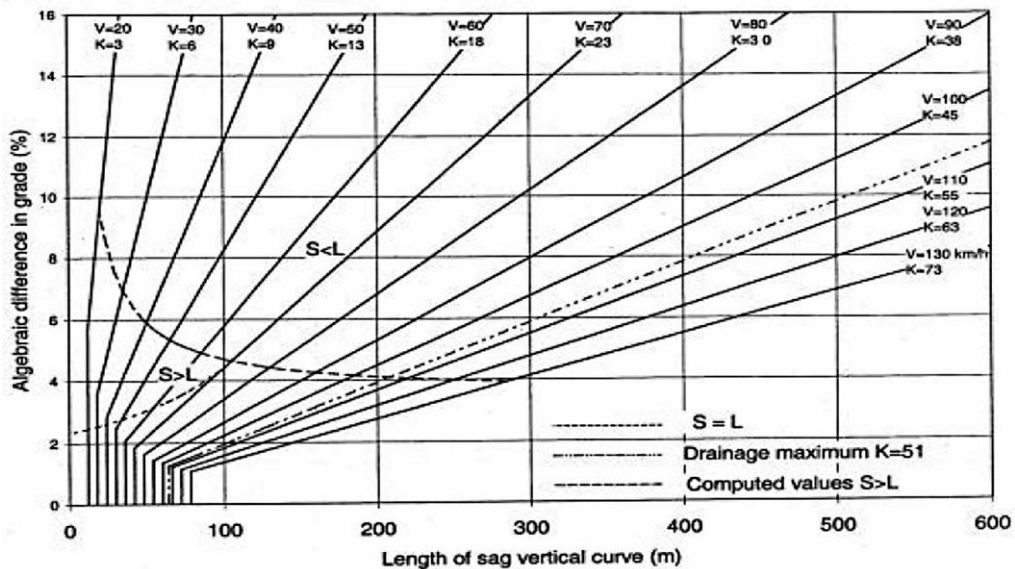
รูปที่ 3-27 ระยะมองเห็นโดยปลอดภัยในทางโค้งลักษณะก้นกระทะ

กรณีที่ 1 ระยะมองเห็นโดยปลอดภัยสั้นกว่าความยาวทางโค้ง $S < L$

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3.5S} \quad \text{เมตร}$$

กรณีที่ 2 ระยะมองเห็นโดยปลอดภัยยาวกว่าความยาวทางโค้ง $S > L$

$$L = 2S \frac{120 + 3.5S}{A} \quad \text{เมตร}$$



รูปที่ 3-28 ระยะมองเห็นในการหยุดรถโดยปลอดภัยสำหรับทางโค้งดิ่งแบบก้นกระทะ

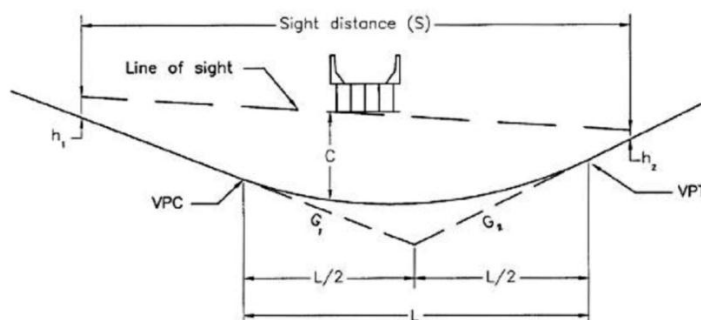
ตารางที่ 3-17 ข้อกำหนดสำหรับออกแบบระยะมองเห็นในการหยุดรถบนทางโค้งแบบกั้นกระทะ

Metric				US Customary			
Design speed (km/h)	Stopping sight distance (m)	Rate of vertical curvature, K ^a		Design speed (mph)	Stopping sight distance (ft)	Rate of vertical curvature, K ^a	
		Calculated	Design			Calculated	Design
20	20	2.1	3	15	80	9.4	10
30	35	5.1	6	20	115	16.5	17
40	50	8.5	9	25	155	25.5	26
50	65	12.2	13	30	200	36.4	37
60	85	17.3	18	35	250	49.0	49
70	105	22.6	23	40	305	63.4	64
80	130	29.4	30	45	360	78.1	79
90	160	37.6	38	50	425	95.7	96
100	185	44.6	45	55	495	114.9	115
110	220	54.4	55	60	570	135.7	136
120	250	62.8	63	65	645	156.5	157
130	285	72.7	73	70	730	180.3	181
				75	820	205.6	206
				80	910	231.0	231

^a Rate of vertical curvature, K, is the length of curve (m) per percent algebraic difference intersecting grades (A). $K = L/A$

ถนนลอดใต้สะพาน ค่า Stopping Sight Distance จะเป็นตัวกำหนดความยาวของ Vertical Curve มี 2 กรณี

รูปที่ 3-29 ระยะมองเห็นในการหยุดรถโดยปลอดภัยสำหรับทางโค้งแบบกั้นกระทะ



เมื่อพิจารณาระดับสายตาของผู้ขับรถบรรทุกอยู่สูงจากพื้น 2.40 เมตร และมองเห็นวัตถุอยู่สูงจากพื้น 0.60 เมตร จะได้

รูปที่ 3-30 ระยะมองเห็นในทางโค้งลอดใต้สะพาน

สูตร

Metric	Metric
$L = 2S - \frac{800 \left(C - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)}{A}$	$L = \frac{AS^2}{800 \left(C - \frac{h_1 + h_2}{2} \right)}$
where: $S > L$	where: $S < L$
- L = length of vertical curve, m; - S = sight distance, m; - A = algebraic difference in grades, percent; - C = vertical clearance, m; h_1 = height of eye, m; h_2 = height of object, m	- L = length of vertical curve, m; - S = sight distance, m; - A = algebraic difference in grades, percent; - C = vertical clearance, m; h_1 = height of eye, m; h_2 = height of object, m

เมื่อพิจารณาระดับสายตาของผู้ขับรถบรรทุกอยู่สูงจากพื้น 2.40 เมตร และมองเห็นวัตถุอยู่สูงจากพื้น 0.60 เมตร จะได้

Case 1—Sight distance greater than length of vertical curve ($S > L$):

Metric	US Customary
$L = 2S - \left(\frac{800(C - 1.5)}{A} \right)$	$L = 2S - \left(\frac{800(C - 5)}{A} \right)$ (3-56)

Case 2—Sight distance less than length of vertical curve ($S < L$):

Metric	US Customary
$L = \frac{AS^2}{800(C - 1.5)}$	$L = \frac{AS^2}{800(C - 5)}$ (3-57)

ก-4 การออกแบบรูปตัด (Cross – Sections)

การออกแบบองค์ประกอบของรูปตัดทางตามขวาง โดยทั่วไปจะประกอบด้วย

1) ตัวคันทาง (Road Bed) คือความกว้างทั้งหมดจากขอบไหล่ทางด้านหนึ่งมาอีกด้านหนึ่ง หรือเท่ากับความกว้างของผิวจราจรรวมกับไหล่ทางทั้งสองข้าง ซึ่งความกว้างจะขึ้นกับมาตรฐานชั้นทาง

2) ช่องจราจร (Roadway Width) หรือผิวทาง ความกว้างของช่องจราจร และจำนวนช่องจราจร จะขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจร และจุดประสงค์ที่ใช้งาน ความกว้างของช่องจราจร จะขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจรตามปกติจะกว้าง 2.50 – 3.50 เมตร และความกว้างของช่องจราจรของถนนประเภท Multilane หรือ Divided Highway จะกว้างช่องละ 3.50 เมตร แต่ในบางกรณีอาจจะใช้กว้าง 3.25 เมตร หรือ 3.00 เมตร ก็ได้

3) ไหล่ทาง (Shoulder) เป็นส่วนนอกที่ต่อจากผิวจราจร ไหล่ทางตามปกติจะกว้าง 1.50 – 2.50 เมตร ตามมาตรฐานทางที่ต่างกัน ไหล่ทางมีหน้าที่

- 3.1) เป็นที่จอดรถชั่วคราวหรือเป็นทางวิ่งฉุกเฉิน
- 3.2) เป็นทางคนเดิน หรือใช้เป็นทางจักรยานในบางกรณี
- 3.3) เป็นที่จอดรถทำงานของเครื่องจักรที่ใช้ซ่อมบำรุงทาง และเป็นที่กองวัสดุซ่อมบำรุงทาง
- 3.4) เป็นที่ติดตั้งป้ายจราจร หลักแนวโค้ง และราวกันอันตราย
- 3.5) เป็นตัวยันด้านข้าง (Lateral Support) ของชั้นทาง
- 3.6) ทำให้ถนนดูกว้างขึ้น ช่วยความรู้สึกในการขับรถให้ดีขึ้น ลาดเอียง (Slope) ของไหล่ทาง

จะใช้ลาด 5% สำหรับไหล่ทางลูกรัง และ 4% สำหรับไหล่ทางที่เป็นหินคลุกและลาดยางที่ทับที่เป็นไหล่ทางของทางมาตรฐานสูง มีปริมาณรถมาก ผิวของไหล่ทางอาจลาดยางหรือเป็นดินลูกรังก็ได้ สีของไหล่ทางกับสีของผิวทางควรจะทำให้แตกต่างกันจนเห็นได้ชัด (Contrast) เพื่อจุดประสงค์มิให้ยานพาหนะใช้ไหล่ทางเป็นช่องจราจรซึ่งจะทำให้ถนนชำรุดเสียหายเร็ว เนื่องจากความแข็งแรงของไหล่ทางมีต่ำกว่าผิวทาง

ตารางที่ 3-18 ความลาดเอียงของไหล่ทาง (แนะนำ)

ชนิดของไหล่ทาง	ความลาดเอียง %
<u>มีคันคอนกรีตเป็นขอบทางเท้า</u>	
ลาดยาง	3-4
ลูกรัง หรือโรยหิน	4-6
ปลูกหญ้า	8
<u>ไม่มีคันคอนกรีตของทางเท้า</u>	2
ลาดยาง	2-4
ลูกรัง หรือโรยหิน	3-4
ปลูกหญ้า	

4) ลาดหลังทาง (Crown Slope) หรือโค้งหลังผิวทางเพื่อการระบายน้ำ ออกสองข้างทาง ลาดหลังทางแบ่งออกเป็น

- 4.1) ลาดหลังทางของผิวจราจรชั่วคราวของถนนลูกรัง ตามปกติจะใช้ ลาด 4%
- 4.2) ลาดหลังทางของผิวจราจรลาดยางจะใช้ลาด 2.5% - 3.5 % ขึ้นอยู่กับชนิดของผิวลาดยาง
- 4.3) ลาดหลังทางของผิวจราจรคอนกรีต ตามปกติจะใช้ลาด 2.0 %

5) ลาดคันทาง (Side slope) เพื่อความมั่นคงของคันทางหรือดินถม ความลาดชันจะขึ้นอยู่กับความสูงของคันทาง และประเภทของดินถม กรณีพื้นที่ดินอ่อนต้องคำนวณเสถียรภาพของความลาดเอียง (Slope Stability) ของลาดคันทางด้วย

6) ลาดตัดคันทาง (Back slope cut) เพื่อความมั่นคงของดินเดิมที่ถูตัดออกความลาดชันจะขึ้นอยู่กับความสูงที่ตัด ความปลอดภัยด้านเสถียรภาพ ประเภทของดิน และระยะมองเห็นทางด้านข้างราบ (Horizontal Sight Distance)

ตารางที่ 3-19 ความลาดชันของดินข้างขอบถนน

ความสูงของดินถมหรือดินตัด เมตร	ดิน		หินผุ		หินแข็ง	
	ถม	ตัด	ถม	ตัด	ถม	ตัด
ต่ำกว่า 1.0 เมตร	4:1	3:1	3:1	2:1	$1\frac{1}{2}$:1	0:1
1.0 – 3.0	2:1	2:1	$1\frac{1}{2}$:1	1:1	1:1	0:1
> 3.0	$1\frac{1}{2}$:1	$1\frac{1}{2}$:1	1:1	$\frac{1}{2}$:1	1:1	0:1

7) ร่องน้ำข้างทาง (Side ditch) เพื่อการระบายน้ำตามยาวข้างทางในกรณีที่เป็นงานตัดดินเดิม หรือในกรณีที่คันทางก่อสร้างสูงน้อยกว่า 1.20 ม. จากระดับดินเดิมหรือในกรณีช่วยแก้ไขปัญหาน้ำใต้ดิน

8) เกาะกลาง (Median) ใช้กับถนนประเภท Divided highway หรือถนนในย่านชุมชนหนาแน่น เกาะกลางมีหน้าที่

- 8.1) เพื่อแยกรถในทิศทางสวนกันออกจากกัน และป้องกันการวิ่ง ข้ามช่องทาง
- 8.2) ใช้เป็นพื้นที่สำหรับช่องทางรถอเลี้ยวและกลับรถ
- 8.3) ใช้เป็นพื้นที่พักของคนเดิมข้ามถนน ในกรณีที่ถนนกว้าง มีหลายช่องจราจร
- 8.4) ใช้เป็นพื้นที่ติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง ไฟสัญญาณ ป้ายจราจรสิ่งสาธารณูปโภค
- 8.5) ใช้เป็นพื้นที่เพื่อขยายช่องจราจรเพิ่มในอนาคต

เกาะกลางแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทกดเป็นร่อง (Depressed median) และประเภท ยกสูงถมดิน (Raised median) ความกว้างของเกาะกลางที่ต้องการให้มีพื้นที่สำหรับช่องจราจรเลี้ยวเพิ่ม จะกว้างอย่างน้อย 4.20 เมตร และจะต้องกว้าง 6.00 เมตร ถึง 10.00 เมตร ถ้าต้องการกลับรถได้สะดวก ความกว้างเกาะกลางที่แคบที่สุดไม่ควรน้อยกว่า 1.20 ม. สำหรับติดตั้งป้ายจราจร ไฟฟ้าแสงสว่าง หรือไฟสัญญาณ การเปิดเกาะกลางไม่ควรเปิดระยะใกล้ ๆ กันหรือใกล้เชิงสะพาน หรือตรงทางแยกเลี้ยวเข้าซอย เพราะจะทำให้การจราจรติดขัดหรือเกิดอันตรายได้ง่าย

9) ทางเดินเท้า (Side walk) ในทางหลวงที่การจราจรใช้ความเร็วสูงและผ่านชุมชนหรือบริเวณที่มีคนเดินเท้ามาก ควรพิจารณาก่อสร้างทางเดินเท้า ความกว้างของทางเท้าควรกว้างไม่น้อยกว่า 1.50 เมตร อาจสร้างเป็นคอนกรีต ลาดยาง คอนกรีตแผ่นสำเร็จรูปก็ได้

10) อาคารระบายน้ำตามยาว (Longitudinal drainage structures) คือ การวางท่อกลมระบายน้ำ หรือท่อเหลี่ยมระบายน้ำด้านข้างถนนไปตามยาวของถนน ช่วงที่ผ่านชุมชนหนาแน่น ซึ่งขนาดและรูปแบบจะขึ้นอยู่กับความกว้างของเขตทาง ลักษณะของทางหลวงและลักษณะของย่านชุมชนหนาแน่น

11) สิ่งสาธารณูปโภค (Utilities) ในการออกแบบทางในย่านชุมชนหนาแน่นจำเป็นต้องกำหนดตำแหน่งของสิ่งสาธารณูปโภคต่าง ๆ เช่น เสาคู่ไฟฟ้า สายโทรศัพท์ใต้ดิน ท่อประปา น้ำประปา ท่อจ่ายน้ำประปา ด้านข้าง สายไฟฟ้าใต้ดิน ฯลฯ ซึ่งจะกำหนด เป็นส่วนหนึ่งของรูปตัดที่จะต้องจัดให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมไม่ติดขัดกับองค์ประกอบอื่น ๆ ของรูปตัด และอยู่ภายในเขตขยายทาง

12) เขตทาง (Right of way) เขตทางใช้เป็นพื้นที่สำหรับงานก่อสร้างทางหลวง และเพื่อขยายทางหลวงเพิ่มเติมในอนาคต เขตทางจำเป็นต้องเพื่อไว้ให้เพียงพอต่อการขยายช่องจราจรในอนาคต หากกันไว้ไม่เพียงพอจะต้องเวนคืนที่ดินในราคาแพงเมื่อดินบริเวณนั้นได้รับการพัฒนาขึ้น อีกทั้ง เป็นพื้นที่สำหรับใช้กองวัสดุก่อสร้าง เป็นพื้นที่สำหรับกองวัสดุและเครื่องจักรในการซ่อมบำรุงทาง และให้ระยะมองเห็นปลอดภัยทางด้านข้าง

13) สิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการออกแบบรูปตัดทาง อุปกรณ์อำนวยความสะดวกจะเป็นสิ่งหนึ่งในส่วนประกอบของรูปตัด ซึ่งได้แก่

- 13.1) หลักกันโค้ง (Guide post) เพื่อใช้เป็นตัวนำทางให้แก่ ผู้ใช้รถในทางช่องที่เป็นปัญหา

เช่น โค้งราบ บริเวณคอสะพานหรือทางแยก

13.2) ราวกันอันตราย (Traffic Barrier) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- ราวที่เกาะกลาง (Median Barrier) ติดตั้งเพื่อช่วยลดอุบัติเหตุในกรณีที่เกาะกลางแคบ หรือลักษณะที่จะทำให้รถวิ่งออกนอกช่องทาง และชนกับรถที่วิ่งสวนทางมาได้ง่าย
- ราวที่ด้านข้าง (Roadside Barrier) ติดตั้งเพื่อป้องกันรถให้วิ่งออกนอกคันทางตรงจุดที่เป็นอันตราย เช่นในกรณีที่ลาดข้างทางสูงชัน หรือป้องกันมิให้รถวิ่งไปชนสิ่งกีดขวางข้างทางที่อยู่ใกล้ (Roadside Obstruction) เช่น ตอม่อสะพาน ลาดตัดที่อยู่ใกล้เสาไฟฟ้า เสาป้ายจราจร ฯลฯ

หลักการเลือกใช้ราวกันอันตราย จะต้องเลือกประเภทของราวให้เหมาะสม โดยพิจารณาถึงระยะแอ่นตัว (Deflection) ของราว พื้นที่ด้านหลังราว ความเสียหายที่จะเกิดแก่รถที่ชน ความแข็งแรง และความปลอดภัย ราคาค่าก่อสร้าง ค่าบำรุงรักษา และความสวยงาม

14) ทางขนาน (Frontage Road) ทางขนานจำเป็นสำหรับถนนความเร็วสูง หรือในย่านชุมชน (Freeway) ทั้งนี้เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยสองข้างทางใช้เป็นทาง เข้า – ออก ไม่เกิดอันตรายต่อรถที่วิ่งทางเดียว ความเหมาะสมในการต้องสร้างหรือไม่สร้างขึ้นอยู่กับลักษณะที่อยู่อาศัยและการใช้พื้นที่ใช้สอยสองข้างทาง

15) รั้ว (Fencing) รั้วกันมีไว้กันคนหรือสัตว์ วิ่งเข้ามาในถนนอย่างฉับพลัน โดยเฉพาะถนนนอกเมืองที่ใช้ความเร็วสูง รั้วโดยมากทำด้วยลวดหนาม หรือลวดตาข่าย หรือกำแพงคอนกรีต สำหรับถนนในเมืองมีรั้วกันเฉพาะบริเวณที่จำเป็น เช่น บริเวณสะพานลอย เพื่อบังคับให้คนเดินเท้าใช้สะพาน ในบางกรณีใช้กันช่องจราจรสำหรับรถทางตรงเพื่อกันคนข้ามถนนกะทันหัน

AASHTO—Geometric Design of Highways and Streets for Rural Collector Roads

Metric					US Customary				
Design speed (km/h)	Minimum width of traveled way (m) for specified design volume (veh/day) ^a				Design speed (mph)	Minimum width of traveled way (ft) for specified design volume (veh/day) ^a			
	under 400	400 to 1500	1500 to 2000	over 2000		under 400	400 to 1500	1500 to 2000	over 2000
30	6.0 ^b	6.0	6.6	7.2	20	20 ^b	20	22	24
40	6.0 ^b	6.0	6.6	7.2	25	20 ^b	20	22	24
50	6.0 ^b	6.0	6.6	7.2	30	20 ^b	20	22	24
60	6.0 ^b	6.6	6.6	7.2	35	20 ^b	22	22	24
70	6.0	6.6	6.6	7.2	40	20 ^b	22	22	24
80	6.0	6.6	6.6	7.2	45	20	22	22	24
90	6.6	6.6	7.2	7.2	50	20	22	22	24
100	6.6	6.6	7.2	7.2	55	22	22	24	24
					60	22	22	24	24
All speeds	Width of shoulder on each side of road (m)				All speeds	Width of shoulder on each side of road (ft)			
	0.6	1.5 ^c	1.8	2.4		2.0	5.0 ^c	6.0	8.0
^a On roadways to be reconstructed, a 6.6-m [22 ft] traveled way may be retained where the alignment and safety records are satisfactory.									
^b A 5.4-m [18-ft] minimum width may be used for roadways with design volumes under 250 veh/day.									
^c Shoulder width may be reduced for design speeds greater than 50 km/h [30 mph] as long as a minimum roadway width of 9 m [30 ft] is maintained.									
See text for roadside barrier and offtracking considerations.									

ตารางที่ 3-20 Minimum Width of Traveled Way and Shoulders

Metric			US Customary		
Design volume (veh/day)	Minimum clear roadway width for bridges ^a	Design loading structural capacity	Design volume (veh/day)	Minimum clear roadway width for bridges ^a	Design loading structural capacity
400 and under	Traveled way + 0.6 m (each side)	MS-18	400 and under	Traveled way + 2 ft (each side)	HS-20
400 to 1500	Traveled way + 1 m (each side)	MS-18	400 to 1500	Traveled way + 3 ft (each side)	HS-20
1500 to 2000	Traveled way + 1.2 m (each side) ^b	MS-18	1500 to 2000	Traveled way + 4 ft (each side) ^b	HS-20
over 2000	Approach roadway (width) ^b	MS-18	over 2000	Approach roadway (width) ^b	HS-20
^a Where the approach roadway width (traveled way plus shoulders) is surfaced, that surface width should be carried across the structures. ^b For bridges in excess of 30 m [100 ft] in length, the minimum width of traveled way plus 1 m [3 ft] on each side is acceptable.					

ตารางที่ 3-21 Minimum Roadway Widths and Design Loadings for New and Reconstructed Bridges

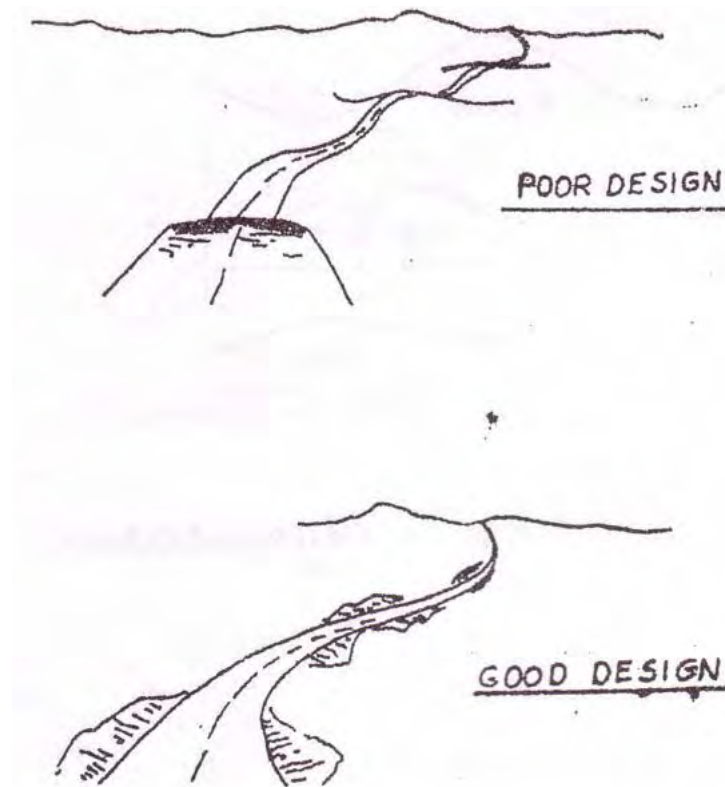
Metric			US Customary		
Design volume (veh/day)	Design loading structural capacity	Minimum clear roadway width (m) ^a	Design volume (veh/day)	Design loading structural capacity	Minimum clear roadway width (ft) ^a
under 400	MS 13.5	6.6	under 400	H 15	22
400 to 1500	MS 13.5	6.6	400 to 1500	H 15	22
1500 to 2000	MS 13.5	7.2	1500 to 2000	H 15	24
over 2000	MS 13.5	8.4	over 2000	H 15	28
^a Clear width between curbs or railings, whichever is less, should be equal to or greater than the approach traveled way width, wherever practical.					

ตารางที่ 3-22 Structural Capacities and Minimum Roadway Widths for Bridges to Remain in Place

ความสัมพันธ์ของแนวราบและแนวดิ่ง

การออกแบบแนวทางดิ่ง จะต้องจัดให้สอดคล้องกับแนวทางราบ เช่น

- ตำแหน่งยอดของโค้งในแนวราบและแนวดิ่งควรอยู่ตรงกัน
- จุดออกจากโค้งแนวราบ ไม่ควรเป็นจุดเริ่มต้นโค้งแนวดิ่ง
- จุดออกจากโค้งแนวดิ่ง ไม่ควรเป็นโค้งแนวราบ
- จุดออกจากโค้งแนวดิ่ง ไม่ควรใกล้กับทางแยก ทางร่วม หรือสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 3-31 การออกแบบถนน

ข. การออกแบบโครงสร้างถนน (Pavement Design)

โดยทั่วไปการออกแบบโครงสร้างถนนจะต้องอาศัยข้อมูลหลัก 3 ประการที่จะนำมาพิจารณาในการออกแบบความหนาของโครงสร้างถนน ดังนี้

- ปริมาณการจราจร (Traffic Volume)
- กำลังรับน้ำหนักของดินคันทาง (Subgrade Strength)
- คุณภาพของวัสดุโครงสร้างผิวคันทาง (Pavement Materials)

นอกเหนือจากข้อมูลหลัก 3 ประการดังกล่าวแล้ว อาจจะต้องมีข้อมูลอื่นมาประกอบในการออกแบบ เพิ่มเติมอีก ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ของสายทางแต่ละสาย ที่มีขีดจำกัดแตกต่างกันไป

การออกแบบชนิดของผิวจราจรมีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด คือ ผิวจราจรคอนกรีต ผิวจราจรลาดยาง และผิวจราจรลูกรัง การออกแบบผิวทางคอนกรีตก็คล้ายคลึงกับผิวทางลาดยาง ส่วนความแตกต่างที่สำคัญของผิวทางลาดยางและผิวทางคอนกรีตจะอยู่ที่จุดด้อยของแต่ละอย่าง สำหรับผิวทางลาดยางจะมีจุดด้อยอยู่ที่การเกิดร่อง (rutting) รอยแตก (fatigue cracking) และรอยแตกแบบหนังจระเข้ (alligator cracking) ส่วนผิวทางคอนกรีตมีจุดด้อยอยู่ที่รอยเชื่อมและรอยแตกเสื่อม (crack deterioration) รอยแตกตามขวางตามยาว และรอยแตกตามมุม เหล่านี้ล้วนเป็นจุดอ่อนของระบบผิวทางคอนกรีตทั้งสิ้น

สำหรับเกณฑ์กำหนดในการออกแบบโครงสร้างถนน (Code) มีอยู่ด้วยกันมากมายหลายวิธีสำหรับในการออกแบบโครงสร้างถนนแนะนำให้ใช้วิธีการออกแบบดังต่อไปนี้

1) การออกแบบถนนลาดยางแนะนำใช้วิธี Asphalt Institute 1991 เพราะจำนวนเพลามาตรฐานสะสม 18,000 lbs (ESAL) ที่นำมาใช้ในการออกแบบได้จากการคำนวณปริมาณการจราจรที่มีการแยกประเภทของรถและน้ำหนักลงเพลารถบรรทุกแต่ละประเภท ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและเห็นภาพความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของรถในรูป ESAL อีกทั้งสามารถออกแบบได้สอดคล้องตามสภาพปริมาณการจราจรที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้น ๆ

2) การออกแบบถนนคอนกรีตแนะนำใช้วิธี Road Note 29 และ วิธี Portland Cement Association (PCA) 1984 เพราะทั้ง 2 วิธีต้องใช้ข้อมูลปริมาณรถบรรทุกเป็นตัวสำคัญในการหา ทำให้สามารถคำนวณหาค่าความหนาของคอนกรีตที่จะนำมาใช้ก่อสร้าง โดยวิธี Road Note 29 สามารถแบ่งการคำนวณตามคุณสมบัติของชั้นดินเดิม ว่าแข็งมากหรือน้อย และวิธี PCA ต้องวิเคราะห์เพื่อควบคุมการแตกของคอนกรีตเนื่องจากความล้า (Fatigue Analysis) และการวิเคราะห์เพื่อควบคุมการกัดเซาะของดินฐานราก (Erosion Analysis) ซึ่งทั้ง 2 วิธีสามารถออกแบบถนนคอนกรีตได้อย่างเหมาะสม

3) การออกแบบถนนลูกรังแนะนำให้ใช้แบบมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท

โดยปกติ การออกแบบโครงสร้างถนน จะต้องอาศัยข้อมูลด้านปริมาณการจราจรมาคำนวณหาน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อผิวจราจรในช่วงอายุของการออกแบบ ข้อมูลดังกล่าวหาได้โดยการสำรวจปริมาณการจราจรในแต่ละสายทางในกรณีถนนมีอยู่เดิม และคาดคะเนจากสภาพสิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจในแต่ละพื้นที่ที่มีอิทธิพลต่อแต่ละสายทาง ในกรณีที่ไม่มีถนนอยู่เดิม หรือ ตัดสายทาง นำมาเป็นข้อมูลในการคาดคะเนปริมาณจราจรในปีแรก หลังการก่อสร้าง

ส่วนอัตราการเพิ่มปริมาณการจราจรในแต่ละปี ซึ่งโดยปกติถ้าไม่มีข้อมูลจากการสำรวจปริมาณจราจร ก็ให้ใช้อัตราการเพิ่มปริมาณจราจร 4% ต่อปี ส่วน Design Period ที่กำหนดใช้ในการออกแบบนี้ กำหนดให้ใช้ตามความเหมาะสมของแต่ละชนิดของผิวจราจร โดยกำหนดให้ Design Period ของถนนคอนกรีต 15 - 20 ปี ถนนลาดยาง 7 - 10 ปี และถนนลูกรังใช้ 3 ปี หลัง ปีแรกของการเปิดการจราจร

น้ำหนักลงเพลาน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบให้ใช้ตามแนวทางการประกาศน้ำหนักบรรทุกทุกเป็นการถาวรของคณะกรรมการพิจารณาผลกระทบและกำหนดพิกัดน้ำหนักบรรทุก ตามที่ สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร เสนอ โดยคณะกรรมการพิจารณาผลกระทบและกำหนดน้ำหนักสำหรับรถบรรทุกได้กำหนดน้ำหนักบรรทุกใหม่ ดังนั้นในการออกแบบโครงสร้างถนนจึงต้องใช้น้ำหนักลงเพลาดังตารางต่อไปนี้

ประเภทของรถ	น้ำหนักบรรทุก รวมรถ (ตัน)	น้ำหนักลงเพล (ตัน)						
รถ 6 ล้อ 2 เพล	15	4		11				
รถ 10 ล้อ 3 เพล	25	5		10	10			
รถ 12 ล้อ 4 เพล	30	5	5	10	10			
รถกึ่งพ่วงรถ 18 ล้อ 5 เพล	45	5		10	10	10	10	
รถกึ่งพ่วงรถ 22 ล้อ 6	50.5	5		10	10	8.5	8.5	8.5

เพลลา								
รถพ่วง 18 ล้อ 5 เพลลา	47	5		10	10	11	8.5	

ตารางที่ 3-23 แสดงการคำนวณน้ำหนักลงเพลลา

ข-1 การออกแบบโครงสร้างถนนลาดยางโดยวิธี AI

วิธีการออกแบบของ Thickness Design Asphalt Pavements for Highways & Streets, MS – 1 โดย The Asphalt Institute มีข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบดังนี้

การวิเคราะห์ปริมาณการจราจร

ในการออกแบบความหนาของโครงสร้างทาง จะต้องอาศัยข้อมูลปริมาณการจราจร ในปีแรกหลังการก่อสร้างเสร็จ และอายุการออกแบบใช้งาน (Design Period) นำมาเป็นข้อมูลประกอบการออกแบบดังนี้

หาค่าเปอร์เซ็นต์รถบรรทุกในช่องทางจราจรควบคุม (Design Lane)

ซึ่งเป็นช่องทางจราจรที่รถบรรทุกวิ่งเป็นหลัก อาจประมาณจากตารางข้างล่างนี้ได้ (โดยปกติในถนนที่มีช่องทางวิ่งในทิศทางใดทิศทางหนึ่งมากกว่าหนึ่งช่องทางช่องทางรถบรรทุกจะใช้ทางด้านนอกสุดมากกว่า) ให้สังเกตด้วยว่าในถนนบางสายรถบรรทุกอาจมีในทิศทางเดียว เช่น ทางเข้าสู่เหมืองแร่ โรงงานบางชนิด ท่าเรือ ฯลฯ

ตารางที่ 3-24 แสดงค่าแนะนำเปอร์เซ็นต์ของรถบรรทุกในช่องทางจราจรควบคุม (Design Lane)

จำนวนช่องทางวิ่ง (2 - ทิศทาง)	เปอร์เซ็นต์ของรถบรรทุกใน Design lane
2	50
4	45 หรือ 35-48
6 หรือมากกว่า	40 หรือ 25-48

Design Period

การออกแบบโครงสร้างทางจะต้องออกแบบให้ทนต่อจำนวนสะสม (Cumulative effect) ของการจราจรได้ในระยะใดระยะหนึ่งจำนวนเป็นปี (year) ที่ออกแบบให้โครงสร้างทางรับใช้ได้นี้เรียกว่า “Design Period” โดยในช่วงสุดท้ายของ design period ก็คาดว่าโครงสร้างทางจะต้องได้รับการเสริมแต่งผิว (overlay) หรือการบูรณะ (rehabilitation) เพื่อให้คงสภาพใช้ได้ติดเดิมเรื่อย ๆ จนกระทั่งคันทางหมดสภาพ เช่น เกรด แนว หรือ สิ่งอื่น ๆ เสียไป

Traffic Growth

คือการเพิ่มของยานยนต์ในแต่ละปีของ design period เมื่อทราบอัตราการขยายการเพิ่มปริมาณการจราจรต่อปี (growth rate) ก็สามารถหาค่า Growth Factor (GF) ได้แล้วนำค่า GF ไปคูณปริมาณการจราจรในปีแรก ก็จะได้ปริมาณการจราจรตลอดอายุการออกแบบ

$$GF = \frac{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^n - 1}{\left(\frac{r}{100}\right)}$$

เมื่อ r คือ อัตราร้อยละการเพิ่มปริมาณการจราจรต่อปี

n คือ จำนวนปีของอายุการออกแบบ

Design period ,years(n)	Annual growth Rate ,Percent(r)							
	No Growth	2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.0	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.0	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.0	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.0	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.0	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.0	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.0	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.0	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.0	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.0	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.0	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.0	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.0	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.0	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.0	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.0	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.0	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.0	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.0	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	25.0	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	30.0	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	35.0	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

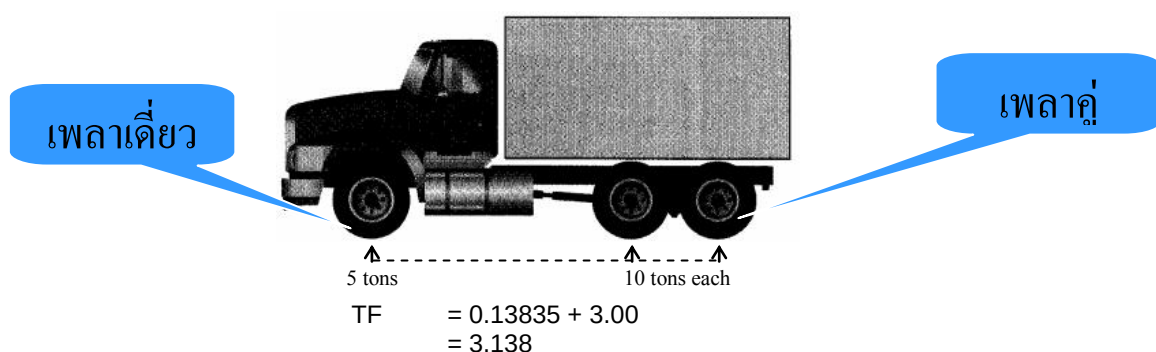
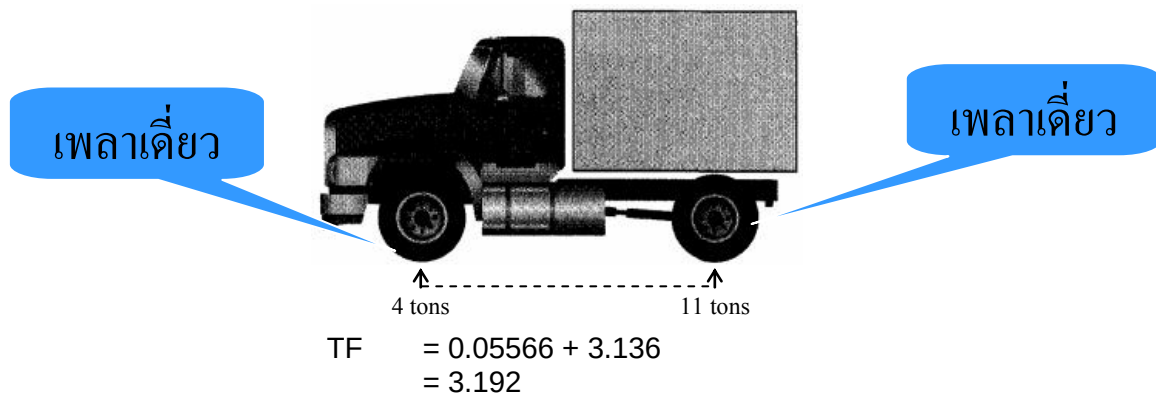
* Factor = $\frac{(1+r)^n - 1}{r}$, where $r = \frac{\text{rate}}{100}$ and is not zero. If Annual Growth is zero,

Growth Factor = Design Period.

การวิเคราะห์เพลามาตรฐานสะสม

1) Load Equivalency Factor คือ ค่าเทียบเท่ากับน้ำหนักล้อ 18,000 ปอนด์ Single – axle load (EAL) ต่อจำนวน 1 axle (one passage of an axle) และค่า Load Equivalency Factor ของน้ำหนักเพลามาตรฐานต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง

2) Truck Factor คือ ค่าเฉลี่ยเทียบเท่ากับน้ำหนักล้อ 18,000 ปอนด์ Single – axle load (EAL) ต่อจำนวน 1 truck (one passage of a vehicle) เมื่อพิจารณารถ Truck ทุกชนิด ซึ่งค่านี้จะนำไปใช้ในการออกแบบ การหาค่า Truck Factor (Based on AI, 1991) ดังแสดงในภาพ



TF is about 3.2 regardless the 6 tires/10 – tires proportion

รูปที่ 3-32 แสดงน้ำหนักของเพลามาตรฐานของรถบรรทุก

Gross Axle Load		Load Equivalency Factors		
KN	lb	Single Axles	Tandem Axles	Tridem Axles
4.45	1.000	0.00002		
8.90	2.000	0.00018		
17.80	4.000	0.00209	0.0003	
26.70	6.000	0.01043	0.001	0.0003
35.60	8.000	0.0343	0.003	0.001
44.50	10.000	0.0877	0.007	0.002
53.40	12.000	0.189	0.014	0.003
62.30	14.000	0.360	0.027	0.006
71.20	16.000	0.623	0.047	0.011
80.00	18.000	1.000	0.077	0.017
89.00	20.000	1.51	0.121	0.027
97.90	22.000	2.18	0.180	0.040
106.80	24.000	3.03	0.260	0.057
115.60	26.000	4.09	0.364	0.080
124.50	28.000	5.39	0.495	0.109
133.40	30.000	6.97	0.658	0.145
142.30	32.000	8.88	0.857	0.191
151.20	34.000	11.18	1.095	0.246
160.10	36.000	13.93	1.38	0.313
169.00	38.000	17.20	1.70	0.393
178.00	40.000	21.08	2.08	0.487
187.00	42.000	25.64	2.51	0.597
195.70	44.000	31.00	3.00	0.723
204.50	46.000	37.24	3.55	0.868
213.50	48.000	44.50	4.17	1.033
222.40	50.000	52.88	4.86	1.22
231.30	52.000		5.63	1.43
240.20	54.000		6.47	1.66
249.00	56.000		7.41	1.91
258.00	58.000		8.45	2.20

267.00	60.000		9.59	2.51
275.80	62.000		10.84	2.85
284.50	64.000		12.22	3.22
293.50	66.000		13.73	3.62
302.50	68.000		15.38	4.05
311.50	70.000		17.19	4.52
320.00	72.000		19.16	5.03
329.00	74.000		21.32	5.57
338.00	76.000		23.66	6.15
347.00	78.000		26.22	6.78
356.00	80.000		29.0	7.45
364.70	82.000		32.0	8.2
373.60	84.000		35.3	8.9
382.50	86.000		38.8	9.8
391.40	88.000		42.6	10.6
400.30	90.000		46.8	11.6

ตารางที่ 3-25 LOAD EQUIVALENCY FACTORS*

การคำนวณเพลามาตรฐานสะสมตลอดอายุการออกแบบ (ESAL or Equivalent Single Axle Load)

ในการคำนวณจะต้องแปลงจำนวนรถบรรทุกทุกหนักตลอดอายุการออกแบบของถนนเป็นจำนวนเพลามาตรฐานสะสม 18,000 ปอนด์ (ESAL) โดยการคำนวณจำนวนเพลามาตรฐาน หรือ เพลาเดียวน้ำหนัก 18,000 ปอนด์ ตลอดอายุการออกแบบทำได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้

$$ESAL = ADT \times \text{Percent Trucks} \times DL \times TF \times GF \times 365$$

เมื่อ ADT คือ Average Daily Traffic หรือ ปริมาณการจราจรโดยเฉลี่ยต่อวัน

Percent Trucks คือ เปอร์เซ็นต์รถบรรทุกทุกหนักต่อปริมาณการจราจรทั้งหมด

DL คือ Design Lane หรือ สัดส่วนของปริมาณจราจรช่องจราจรทิศทางที่จะใช้ในการออกแบบ (0.5 หากปริมาณการจราจรทั้ง 2 ทิศทางใกล้เคียงกัน)

TF คือ Truck Factor หรือ ดัชนีเทียบอัตราการทำลายของรถบรรทุกเทียบกับเพลามาตรฐาน

GF คือ Growth Factor หรือ สัดส่วนเทียบปริมาณจราจรสะสมตลอดอายุการออกแบบ

ต่อปริมาณจราจรในปีแรก

$$GF = \frac{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^n - 1}{\left(\frac{r}{100}\right)}$$

เมื่อ r คือ อัตราร้อยละการเพิ่มปริมาณการจราจรต่อปี

N คือ จำนวนปีของอายุการออกแบบ

กำลังรับน้ำหนักของดินคันทางเดิม หรือพื้นทางเดิม (Sub grade Strength)

กำลังรับน้ำหนักของดินคันทางเดิม หรือ พื้นทางเดิม คือความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกชนิดของดิน ซึ่งสามารถทำการทดสอบได้หลายวิธี โดย Plate Bearing Test, CBR Test, Soil Classification หรือ Modulus of Subgrade Reaction

สำหรับการออกแบบถนนนี้ใช้ค่า CBR ซึ่งนิยมใช้กันแพร่หลายมาเป็นค่ากำหนดกำลังรับน้ำหนักของดินคันทางเดิม หรือ พื้นทางเดิม โดยการสำรวจเจาะดินในสายทางแต่ละสายนำตัวอย่างดินมาทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่า CBR ของดินคันทาง เป็นข้อมูลในการออกแบบ

ตารางที่ 3-26 Sub grade Design Limits

Traffic Level ESAL	Design Subgrade Value (Percentile)
ไม่มากกว่า 10,000	60
ระหว่าง 10,000 ถึง 1,000,000	75
มากกว่า 1,000,000	87.5

ขั้นตอนการเลือกค่ากำลังรับน้ำหนักของดินคันทางเดิมหรือพื้นทางเดิมที่ใช้ในการออกแบบมีดังนี้

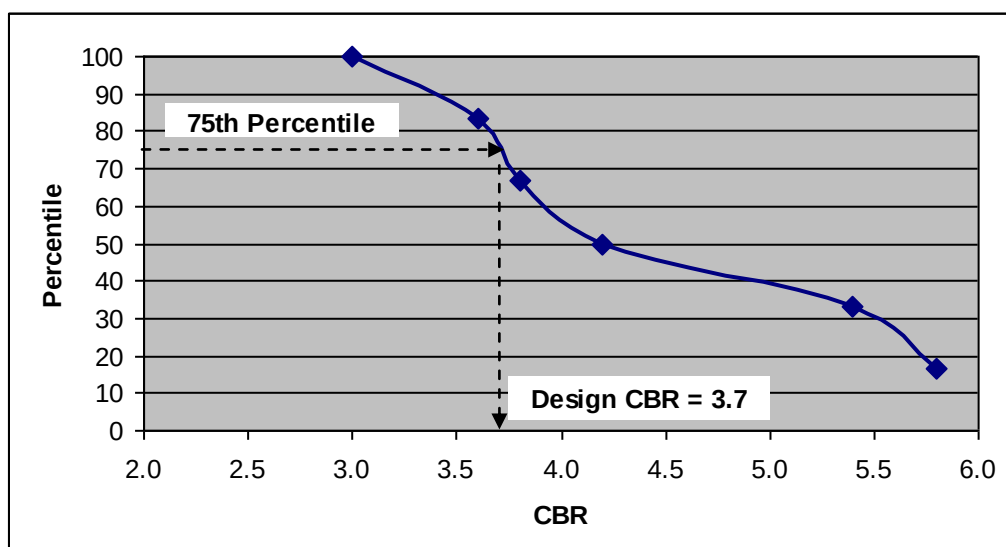
- 1) เก็บข้อมูลตัวอย่างดินทุกระยะไม่เกิน 1 กิโลเมตร
- 2) เรียงข้อมูลกำลังดินที่ทดสอบได้จากค่า CBR น้อยไปหามาก
- 3) คำนวณเปอร์เซ็นต์ไทล์ (Percentile) ของแต่ละค่าในรูปแบบมากกว่าหรือเท่ากับของค่านั้น
- 4) นำค่าที่ได้มาเขียนลงกราฟค่า CBR ของดินเดิมเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์
- 5) ลากเส้นค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่เหมาะสมในการออกแบบ เพื่อหากำลังดินเดิมที่เหมาะสมในการออกแบบ

ตัวอย่าง : SELECTION OF DESIGN SUBGRADE CBR

ข้อกำหนด : DESIGN SUBGRADE CBR VALUE IS SELECTED AT 75 PERCENTILE

เนื่องจากถนนที่จะทำการออกแบบมีค่าปริมาณการจราจร 750,000 ESAL

BEFORE SORTING		AFTER SORTING		NUMBER OF EQUAL TO OR GREATER THAN	PERCENT OF EQUAL TO OR GREATER THAN
STATION	CBR	STATION	CBR		
0 + 000	3.8	5 + 000	3.0	6	100.00
1 + 000	3.6	1 + 000	3.6	5	83.33
2 + 000	5.8	0 + 000	3.8	4	66.67
3 + 000	4.2	3 + 000	4.2	3	50.00
4 + 000	5.4	4 + 000	5.4	2	33.33
5 + 000	3.0	2 + 000	5.8	1	16.67
DESIGN SUBGRADE CBR VALUE = 3.70					



หมายเหตุ ค่า Resilience Modulus (M_r) สามารถประมาณจากค่า CBR จากสูตรต่อไปนี้

$$M_r \text{ (MPa)} = 10.3 \text{ CBR}$$

คุณภาพของวัสดุงานทาง (Pavement Materials)

การเลือกใช้วัสดุงานทางในการออกแบบให้ถูกต้องเหมาะสมเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดราคาค่า

ก่อสร้างลงมาได้ เนื่องจากราคาค่าก่อสร้างส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับราคาวัสดุโครงสร้างทาง ดังนั้นในการออกแบบถนนแต่ละสายจะต้องคำนึงถึงแหล่งวัสดุ ราคาวัสดุแต่ละชนิด ระยะทางและค่าขนส่ง ตลอดจนปริมาณวัสดุในแต่ละแหล่งมาประกอบการพิจารณาออกแบบ เพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพและประหยัดที่สุด

ในบางพื้นที่ที่แหล่งวัสดุหินที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างถนนอยู่ไกล หรือถนนที่จะทำการก่อสร้างอยู่บนหุบเขาหรือภูเขา ทำให้ไม่สามารถขนส่งวัสดุได้ ก็อาจนำวัสดุท้องถิ่นที่มีอยู่ในพื้นที่นำมาปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมให้ดีขึ้นใช้ก่อสร้างทดแทนหินคลุกได้ เช่น การใช้พื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement) พื้นทางตะกรัน เหล็กไม้ เป็นต้น

โดยสามารถใช้อัตราส่วนแทน (Substitute Ratio, Sr) ได้ดังนี้

Base (หินคลุก) : Asphalt Concrete	=	2 : 1
Base (Soil Cement) : Asphalt Concrete	=	1.8 : 1
Subbase : Asphalt Concrete	=	2.7 : 1
Selected Material : Asphalt Concrete	=	3.5 : 1

หมายเหตุ

- สำหรับการออกแบบถนนลาดยางประเภท Cape Seal จะไม่นำผิว Cape Seal มาคำนวณในการออกแบบ เนื่องจากมีความหนาน้อยมาก
- หากเป็นการออกแบบถนนลาดยางแบบ Asphalt Concrete อัตราส่วนแทน (Substitute Ratio, Sr) ที่ใช้ในการออกแบบคือ Asphalt Concrete : Asphalt Concrete = 1 : 1
- กรณีใช้ชั้นพื้นทาง Soil Cement ต้องมีค่า Unconfined Compressive Strength ไม่น้อยกว่า 17.5 KSC และข้อกำหนดการก่อสร้างเป็นไปตาม ทข.-2-305(1-2)/47
- กรณีใช้ชั้นรองพื้นทาง Soil Cement ต้องมีค่า Unconfined Compressive Strength ไม่น้อยกว่า 6.9 KSC

การออกแบบความหนาโครงสร้างผิวจราจรลาดยาง

The Asphalt Institute (1991) ได้เสนอกราฟสำหรับออกแบบความหนาโครงสร้างผิวจราจรเป็น Full Depth Asphalt Concrete โดยแบ่งตามอุณหภูมิคือ 7°C, 15.57°C, และ 24°C สำหรับประเทศไทย จะใช้ค่าอุณหภูมิที่มากที่สุด คือ 24 OC ดังแสดงใน Design Chart A-13

Asphalt Institute และ AASHTO ได้แนะนำการใช้ความหนาชั้นผิวทาง โดยขึ้นอยู่กับระดับปริมาณการจราจร ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 3-27 MINIMUM THICKNESS OF ASPHALT CONCRETE OVER EMULSIFIED ASPHALT BASES

โดย AI

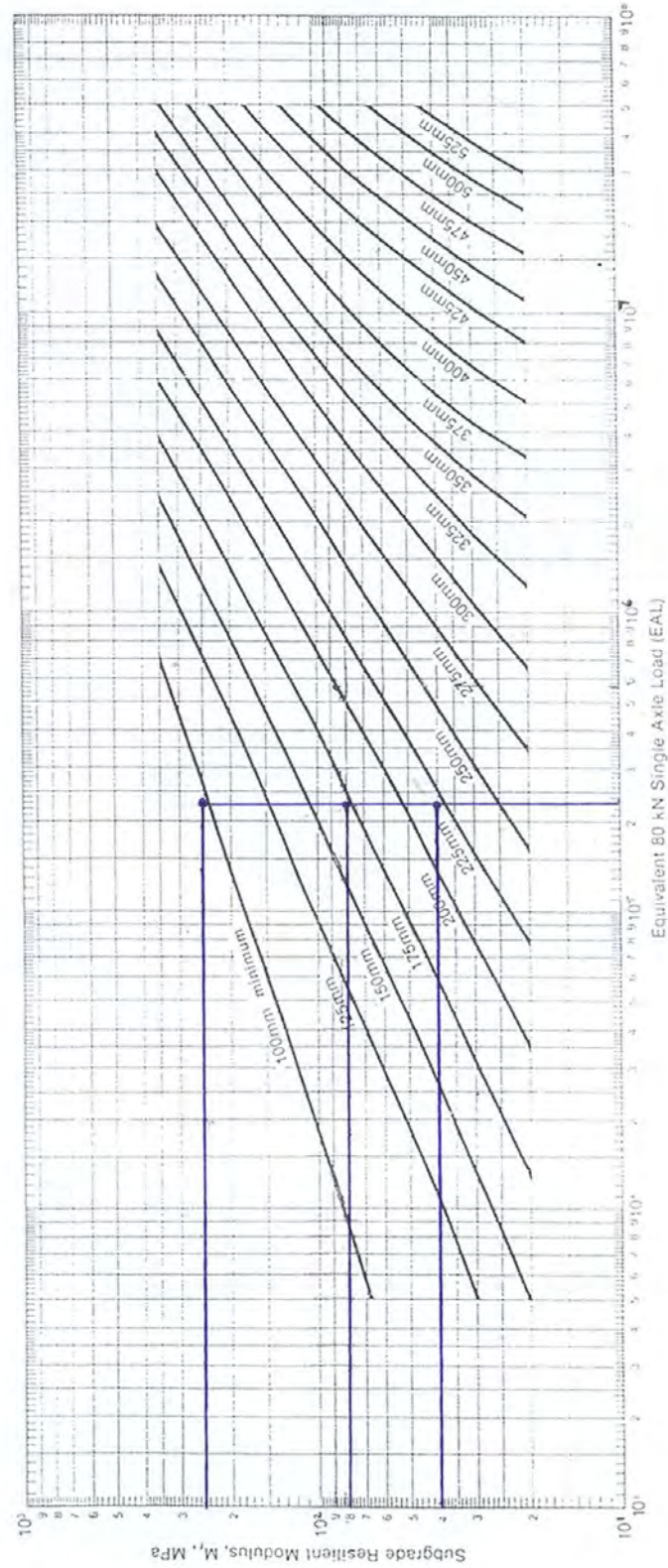
Traffic Level EAL	Type II and III ¹	
	mm.	(In.)
10^4	50	(2)
10^5	50	(2)
10^6	75	(3)
10^7	100	(4)
$>10^7$	130	(5)

ตารางที่ 3-28 Minimum Thickness (inches) โดย AASHTO

Traffic, ESAL'S	Asphalt Concrete	Aggregate Base
Less than 50,000	1.0 (or surface treatment)	4
50,001 - 150,000	2.0	4
150,001 - 500,000	2.5	4
500,001 - 2,000,000	3.0	6
2,000,001 - 7,000,000	3.5	6
greater than 7,000,000	4.0	6

Full Depth Asphalt Concrete

MAAT 24°C



Design Chart A-13

รูปที่ 3-33 Design Chart ด้วยวิธี AI

ตัวอย่างการคำนวณ

1. จงออกแบบความหนาของถนนลาดยาง 2 ช่องจราจร โดยมีข้อมูลสายทางดังนี้
 - 1.1 ปริมาณการจราจร 500 คันต่อวัน
 - 1.2 เปอร์เซ็นต์รถบรรทุกหนัก 10%
โดยแยกเป็นสัดส่วนของรถบรรทุก 10 ล้อ 25% และรถบรรทุก 6 ล้อ 75%
 - 1.3 Growth Rate 4%
 - 1.4 อายุการออกแบบ 7 ปี
 - 1.5 Design CBR Subgrade = 4%

2. ขั้นตอนการคำนวณ

- 2.1 หาค่า Truck Factor
TF = 3.2 จากภาพที่แสดงที่แนบ

- 2.2 หาค่า Growth Factor

$$\begin{aligned} GF &= \frac{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^n - 1}{\left(\frac{r}{100}\right)} \\ &= \frac{\left(1 + \frac{4}{100}\right)^7 - 1}{\left(\frac{4}{100}\right)} = 7.9 \end{aligned}$$

- 2.3 หาเปอร์เซ็นต์ของรถบรรทุกหนักใน Design Lane

$$DL = 0.5 \text{ เนื่องจากเป็นถนน 2 ช่องจราจร 2 ทิศทาง}$$

- 2.4 หาจำนวนเพลามาตรฐานสะสม

$$\begin{aligned} \text{ESAL Design} &= \text{ADT} \times \%T \times DL \times TF \times GF \times 365 \\ &= 500 \times 0.10 \times 0.5 \times 3.2 \times 7.9 \times 365 \\ &= 230,680 \approx 230,000 \text{ ESALS} \end{aligned}$$

- 2.5 หาค่า TA

โดยนำค่า ESAL Design และค่า CBR Sub grade ไปหาค่า TA ที่ต้องการจาก Design Chart A – 13 ทั้งนี้ จะต้องมีการตรวจสอบความหนา TA ที่ต้องการของแต่ละชั้นด้วย การกำหนดความหนาของวัสดุชั้นทาง จะกระทำในลักษณะจากบนลงล่าง (Top – Down)

จากการลากกราฟจะได้ค่า TA ดังนี้

- Ta เหนือชั้นดินเดิม = 21.7 เซนติเมตร
- Ta เหนือชั้นวัสดุคัดเลือก = 17.1 เซนติเมตร

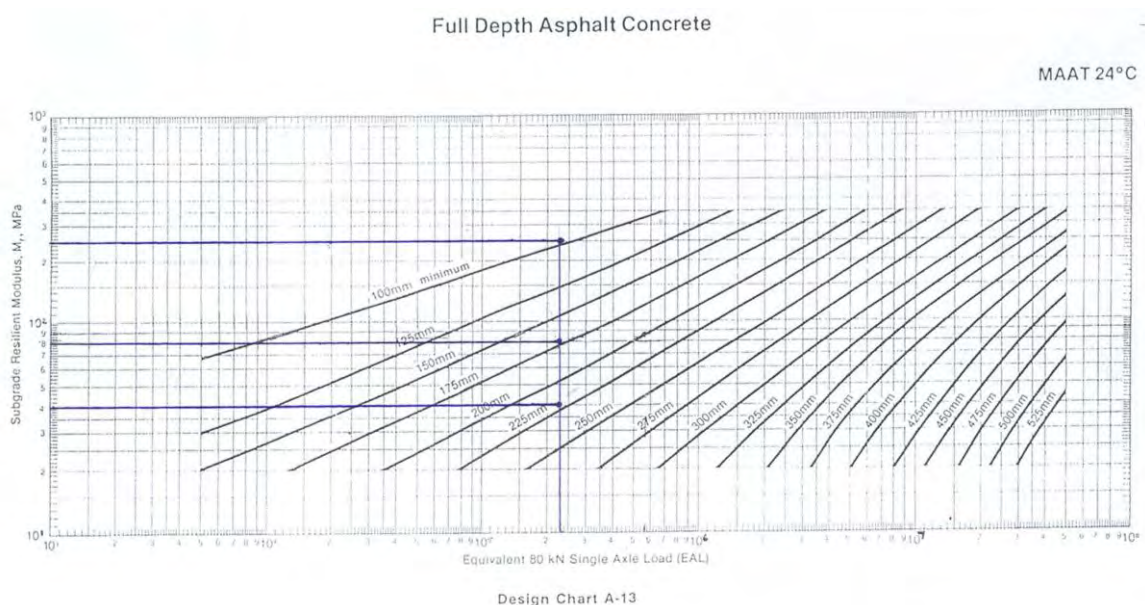
- Ta เนื้อชั้นวัสดุลูกรัง = 10.0 เซนติเมตร

2.6 กำหนดความหนาวัสดุชั้นทาง

จากค่าความหนา Asphalt Concrete (TA) ที่ได้จะนำมาแปลงเป็นวัสดุประเภทอื่นแทน (วัสดุท้องถิ่น) โดยใช้อัตราส่วนแทน (Substitute Ratio, Sr)

ชั้นโครงสร้างถนน	ความหนา (ซม.)	Design TA (ซม.)	ตรวจสอบ TA ที่ต้องการแต่ละชั้น (ซม.)
ผิวจราจร Cape Seal	-		
ชั้นพื้นผิวหินคลุก	20	10	10 > 10
ชั้นรองพื้นทางลูกรัง	20	7.4	17.4 > 17.1
ชั้นวัสดุคัดเลือก	20	5.7	23.1 > 21.7

} OK



ข-2 การออกแบบโครงสร้างถนนคอนกรีตโดยวิธี Road Note 29

การออกแบบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตโดยวิธีนี้ จะต้องมียอดประกอบที่ใช้พิจารณาหลายประการด้วยกันคือ ปริมาณการจราจร คุณสมบัติของดินคันทาง คุณสมบัติของวัสดุรองพื้นทาง และคอนกรีตผิวทาง

ตามหลักเกณฑ์การออกแบบตามวิธีของ Road Note 29 จะต้องอาศัยข้อมูลปริมาณการจราจรในช่องจราจรที่รถวิ่งซ้ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเป็นช่องจราจรของรถบรรทุกหนักอัตราค่าการเพิ่มของปริมาณการจราจรและอายุการออกแบบใช้งานของถนน ในกรณีที่ทราบค่าปริมาณการจราจรใน 2 ทิศทาง ครึ่งหนึ่งของค่าดังกล่าวคือปริมาณการจราจรที่ใช้ในการออกแบบ เมื่อทราบปริมาณการจราจรดังกล่าว นำมาคำนวณผลรวมของรถบรรทุก

หนัก ในช่องจราจรที่ออกแบบตลอดอายุการออกแบบใช้งาน จากนั้น นำมาแปลงเป็นผลรวมของจำนวนน้ำหนักเพลา มาตรฐาน 18,000 ปอนด์ (8,200 กิโลกรัม) เพื่อนำไปใช้ออกแบบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตต่อไป

คุณสมบัติของดินคันทางและรองพื้นทาง เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งที่นำมาพิจารณาใช้ในการออกแบบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต Road Note 29 ได้แบ่งคุณสมบัติของดินคันทางออกเป็น 3 ลักษณะด้วยกัน คือ ดินอ่อน ดินปกติ และดินแข็ง ถ้าดินคันทางมีคุณสมบัติเป็นดินอ่อน ต้องมี ชั้นรองพื้นทางรองรับผิวทางด้วย ซึ่งการออกแบบตามวิธีนี้ ได้กำหนดความหนาต่ำสุดของชั้นรองพื้นทางตามประเภทของดินคันทาง ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งตามตารางนี้แสดงความหนาต่ำสุดของชั้นรองพื้นทางในกรณีที่ไม่มีการจราจรของรถบรรทุกในระหว่างการก่อสร้าง หากระหว่างการก่อสร้างมีรถบรรทุกหนักวิ่งบนชั้นรองพื้นทางที่อยู่บนชั้นดินคันทางชนิดอ่อน (weak) หรือปกติ (normal) และอาจก่อให้เกิดความเสียหายขึ้น ให้เพิ่มความหนาของชั้นรองพื้นทางอีก 15 ซม. เมื่อชั้นดินคันทางมีค่า CBR 4% หรือน้อยกว่า และ 8 ซม. เมื่อชั้นดินคันทางเป็นชนิดปกติ ส่วนวัสดุที่ใช้ในชั้นรองพื้นทางให้ใช้วัสดุแบบ Granular Sub base คอนกรีตหยาบ หรือวัสดุ cement – stabilized สำหรับความหนาจากระดับบน 15 ซม.

ประเภทดินคันทาง	คำอธิบาย	ความหนาต่ำสุด ชั้นรองพื้นทาง (ซม.)
ดินอ่อน	ดินทุกประเภทที่มี CBR < 2%	15
ดินปกติ	ดินทุกประเภทที่มี CBR < 3-14%	8
ดินแข็ง	ดินทุกประเภทที่มี CBR > 15%	0

ตารางที่ 3-29 แสดงความหนาต่ำสุดของชั้นรองพื้นทาง ตามประเภทของดินคันทาง

คุณสมบัติของคอนกรีตที่กำหนดให้ใช้ตามการออกแบบโดยวิธีนี้ จะต้องมีการรับแรงอัดของคอนกรีต (Crushing Strength) อย่างน้อย 285 กิโลกรัม/เซนติเมตร ที่อายุ 28 วัน

รูปที่ 1 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของแผ่นคอนกรีตกับผลรวมของจำนวนเพลา มาตรฐานที่หาได้ ประกอบกับรูปที่ 1 ก็สามารถหาความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตได้

การเสริมเหล็กในแผ่นพื้นคอนกรีต ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการแตกร้าว หรือลดการแตกร้าวในแผ่นพื้นคอนกรีต อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและยืดอายุการใช้งานของถนนคอนกรีต ปริมาณของเหล็กเสริมในแผ่นพื้นคอนกรีตคำนวณได้จาก

$$As = \frac{WFL}{2fs}$$

โดยกำหนดให้

$$As = \text{พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมของคอนกรีต (ตารางเซนติเมตร/เมตร)}$$

W	=	น้ำหนักของแผ่นพื้นคอนกรีต (กิโลกรัม/ตารางเมตร)
f	=	สัมประสิทธิ์ของความเสียหาย
L	=	ความยาวของแผ่นพื้นคอนกรีต (เมตร)
f _s	=	Allowable Steel Stress (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

ในการคำนวณหาเหล็กเสริมตามยาว แทนค่า L ด้วยความยาวของแผ่นพื้น และการคำนวณหาเหล็กเสริมตามขวาง แทนค่า L ด้วยความกว้างของแผ่นพื้น

ตารางที่ 3-30 Equivalence factor and damaging power of different axle loads

Axle load		Equivalence factor
Kg	(lbs)	
910	(2000)	0.0002
1810	(4000)	0.0025
2720	(6000)	0.01
3630	(8000)	0.03
4540	(10000)	0.09
4600	(10000)	0.096
5440	(12000)	0.19
6350	(14000)	0.35
7260	(16000)	0.61
8160	(18000)	1.0
8200	(18000)	1.022
9070	(20000)	1.5
9980	(22000)	2.3
10890	(24000)	3.2
11790	(26000)	4.4
12700	(28000)	5.8
13610	(30000)	7.6
14620	(32000)	9.7
15420	(34000)	12.1
16320	(36000)	15.0
17230	(38000)	18.6
18140	(40000)	22.8

ตัวอย่างการคำนวณ

1. ข้อมูลการออกแบบ

- ถนน คสล. 2 ช่องจราจร มีปริมาณการจราจร 2,000 คัน/วัน โดยมีชนิดของรถบรรทุกหนัก 14% แยกเป็นรถบรรทุก 6 ล้อ 70% รถบรรทุก 10 ล้อ 30%
- yearly rate of traffic growth (Approx.) = 4%
- CBR ดินเดิม = 4%
- อายุการใช้งาน 20 ปี

2. ขั้นตอนการคำนวณ

2.1 หาปริมาณการจราจรของรถบรรทุกในทิศทางเดียวต่อวัน

- รถบรรทุก 6 ล้อ (LT) = $2,000 \times 0.5 \times 0.14 \times 0.7 = 98$ คัน/วัน
- รถบรรทุก 10 ล้อ (HT) = $2,000 \times 0.5 \times 0.14 \times 0.3 = 42$ คัน/วัน

2.2 หาปริมาณการจราจรตลอดอายุการออกแบบ

จาก $Y = X(1+r)^{n-1}$

และ $Z = 365 \times \frac{(1+r)^n - 1}{r} = \frac{(1+0.04)^{20} - 1}{0.04} \times 365 = 365 \times 29.852$

เมื่อ $X =$ AADT ของปีที่เริ่มเปิดการจราจร

$Y =$ AADT ของปีที่ออกแบบ n ปี

$Z =$ Commutative No. of Vehicles

$r =$ Annual growth rate

$n =$ Design year

รถบรรทุก 6 ล้อ = $98 \times 365 \times 29.852 = 1,067,806$ คัน

รถบรรทุก 10 ล้อ = $42 \times 365 \times 29.852 = 457,631$ คัน

2.3 หา Standard Axle Equivalence Factor (18,000 lb.)

Type	Gross Weight (Tons)	น้ำหนักลงเพลากg			Equivalence Factor			ESA
		หน้า	หลัง (1)	หลัง (2)	หน้า	หลัง (1)	หลัง (2)	
รถ 6 ล้อ	15.0	4,500	10,500	-	0.09	2.814	-	2.904
รถ 10 ล้อ	25.0	5,000	10,000	10,000	0.139	2.300	2.300	4.739

2.4 หา Cumulative Equivalent Standard Axles (20 years)

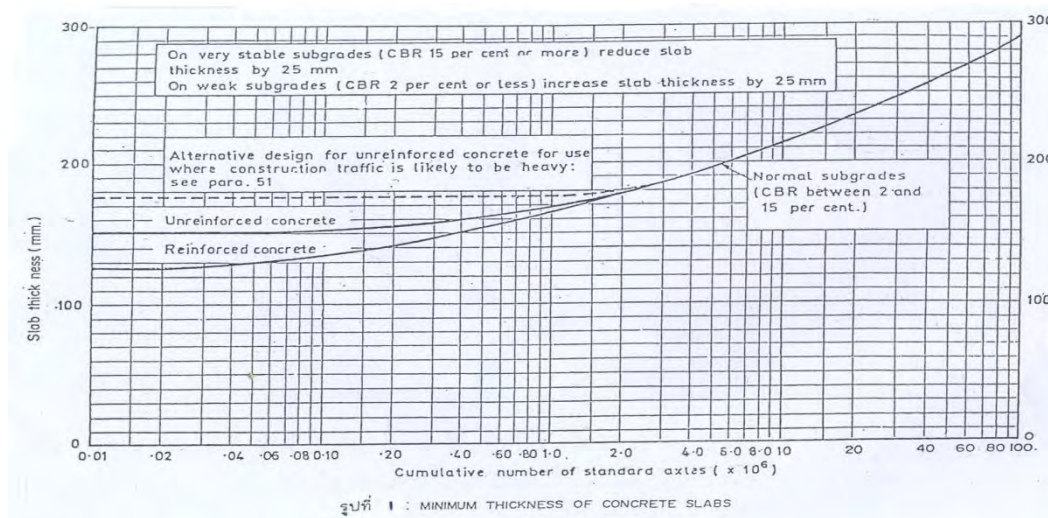
Type	Commutative No. of Vehicles	Vehicle Equivalence Factors	Cumulative Standard Axles
รถ 6 ล้อ	1,067,806	2.904	3,100,908
รถ 10 ล้อ	457,631	4.739	2,168,713
Total =			5,269,621

2.5 หาความหนาของคอนกรีต

จากกราฟ Cumulative number of standard axles $\times 10^6$ จะได้ความหนาของ Concrete pavement slab 19.5 เซนติเมตร (ประมาณ) ดังนั้น จึงกำหนดความหนาของผิวคอนกรีตเสริมเหล็กหนา 20 เซนติเมตร

2.6 หาความหนาชั้นรองพื้น

จากค่าความแข็งของแรงพื้นดินเดิมเท่ากับ 4% ซึ่งจัดเป็นดินประเภทปกติ และระหว่างการก่อสร้างมีรถบรรทุกหนักวิ่งบนชั้นรองพื้นทาง จึงได้ความหนาชั้นรองพื้นทาง $8 + 8 = 16$ ซม. ดังนั้น จึงกำหนดความหนาชั้นรองพื้นทางหนา 20 ซม.



รูปที่ 3-34 กราฟแสดง Minimum Thickness of Concrete Slab

ข.3 การออกแบบโครงสร้างถนนคอนกรีตโดยวิธีของ Portland Cement Association (PCA) 1984

การออกแบบวิธีนี้ เป็นการออกแบบความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต โดยคำนึงถึง Load Repetitions ของ Wheel Load ขนาดต่าง ๆ เป็นหลัก PCA ได้จัดสร้าง Design Worksheet ขึ้นดังแสดงอยู่ในตาราง 1 และ 2 การใช้ Design Worksheet ชุดนี้จะต้องสมมติความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีตเพื่อวิเคราะห์:

1 Fatigue Analysis เป็นการวิเคราะห์เพื่อควบคุมการแตกของคอนกรีตเนื่องจากความล้า โดยจะหาค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนผิวของแผ่นพื้นคอนกรีต อันเนื่องมาจากน้ำหนักเพลาขนาดต่างๆ และจากค่า

ความเครียด (Equivalent Stress) ที่อ่านได้จาก Design Worksheet เมื่อหารด้วย Modulus of Rupture ของคอนกรีตก็จะได้เทอมที่เรียกว่า Stress Ratio Factor ซึ่งจะเป็นค่าเฉพาะสำหรับรับน้ำหนักเพลาค่าหนึ่ง ๆ

2 Erosion Analysis เป็นการวิเคราะห์เพื่อควบคุมการกัดเซาะของดินฐานราก และไหล่ทาง รวมทั้งควบคุมการเกิด Pumping โดยจะหาค่า Erosion Factor ที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากน้ำหนักเพลาน้ำหนักต่าง ๆ ได้จาก Design Worksheet ซึ่งจะเป็นค่าเฉพาะสำหรับน้ำหนักเพลาค่าหนึ่ง ๆ

จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ และการทำ Model Test ของแผ่นพื้นคอนกรีต PCA สามารถพัฒนา Chart แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress Ratio Factor และ Allowable Load Repetitions ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 และ 2 โดยที่ค่า Stress Ratio Factor
$$= \frac{\text{Equivalent Stress}}{\text{Modulus of Rupture}}$$

สำหรับน้ำหนักเพลแต่ละค่า ได้จากข้อมูลปริมาณการจราจร หรือโดยการคาดคะเนปริมาณการจราจร และอัตราการเพิ่มของปริมาณการจราจร ก็สามารถคำนวณจำนวนเที่ยวของ Load Repetitions ที่เกิดขึ้นจริงจาก Allowable Load Repetitions ของน้ำหนักเพลแต่ละค่า นำมาคำนวณได้ว่า Load Repetitions ที่เกิดขึ้นจริง คิดเป็นร้อยละเท่าใดของ Allowable Load Repetitions ในช่วงอายุของแผ่นพื้นคอนกรีต ถ้า Load Repetitions ที่เกิดขึ้นจริงมีค่าสูงกว่า Allowable Load Repetitions (100%) แสดงว่าแผ่นพื้นคอนกรีตหนาไม่พอที่จะรับน้ำหนักบรรทุก และใช้งานได้ยาวนานตามอายุที่กำหนดจะต้องทำการทดลองใหม่ โดยเพิ่มความหนาของแผ่นพื้นคอนกรีต หรือโดยการลดอายุบริการของแผ่นพื้นคอนกรีตให้น้อยลงกว่าที่กำหนดไว้

ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบ (Design Factor)

การออกแบบความหนาโครงสร้างผิวจราจรคอนกรีตโดยวิธี PCA ค่าความหนาจะขึ้นอยู่กับปริมาณจราจร กำลังรับน้ำหนักของดินเดิม คุณสมบัติของวัสดุผิวจราจรคอนกรีต

นอกจากข้อมูลหลัก 3 ประการดังกล่าวแล้วจะต้องมีข้อมูลอื่นประกอบในการออกแบบเพิ่มเติมอีก ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ของสายทางแต่ละสาย

ตารางที่ 3-31 Equivalent Stress – No Concrete Shoulder (Single Axle/Tandem Axle)

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	825/679	726/585	671/542	634/516	584/486	523/457	484/443
4.5	699/586	616/500	571/460	540/435	498/406	448/378	417/363
5	602/516	531/436	493/399	467/376	432/349	390/321	363/307
5.5	526/461	464/387	431/353	409/331	379/305	343/278	320/264
6	465/416	411/348	382/316	362/296	336/271	304/246	285/232
6.5	417/380	367/317	341/286	324/267	300/244	273/220	256/207
7	375/349	331/290	307/262	292/244	271/222	246/199	231/186
7.5	340/323	300/268	279/241	265/224	246/203	224/181	210/169
8	311/300	274/249	255/223	242/208	225/188	205/167	192/155
8.5	285/281	252/232	234/208	222/193	206/174	188/154	177/143
9	264/264	232/218	216/195	205/181	190/163	174/144	163/133
9.5	245/248	215/205	200/183	190/170	176/153	161/134	151/124
10	228/235	200/193	186/173	177/160	164/144	150/126	141/117
10.5	213/222	187/183	174/164	165/151	153/136	140/119	132/110
11	200/211	175/174	163/155	154/143	144/129	131/113	123/104
11.5	188/201	165/165	153/148	145/136	135/122	123/107	116/98
12	177/192	155/158	144/141	137/130	127/116	116/102	109/93
12.5	168/183	147/151	136/135	129/124	120/111	109/97	103/89
13	159/176	139/144	129/129	122/119	113/106	103/93	97/85
13.5	152/168	132/138	122/123	116/114	107/102	98/89	92/81
14	144/162	125/133	116/118	110/109	102/98	93/85	88/78

ตารางที่ 3-32 Equivalent Stress – Concrete Shoulder (Single Axle/Tandem Axle)

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci						
	50	100	150	200	300	500	700
4	640/534	559/468	517/439	489/422	452/403	409/388	383/384
4.5	547/461	479/400	444/372	421/356	390/338	355/322	333/316
5	475/404	417/349	387/323	367/308	341/290	311/274	294/267
5.5	418/360	368/309	342/285	324/271	302/254	276/238	261/231
6	372/325	327/277	304/255	289/241	270/225	247/210	234/203
6.5	334/295	294/251	274/230	260/218	243/203	223/188	212/180
7	302/270	266/230	248/210	236/198	220/184	203/170	192/162
7.5	275/250	243/211	226/193	215/182	201/168	185/155	176/148
8	252/232	222/196	207/179	197/168	185/155	170/142	162/135
8.5	232/216	205/182	191/166	182/156	170/144	157/131	150/125
9	215/202	190/171	177/155	169/146	158/134	146/122	139/116
9.5	200/190	176/160	164/146	157/137	147/126	136/114	129/108
10	186/179	164/151	153/137	146/129	137/118	127/107	121/101
10.5	174/170	154/143	144/130	137/121	128/111	119/101	113/95
11	164/161	144/135	135/123	129/115	120/105	112/95	106/90
11.5	154/153	136/128	127/117	121/109	113/100	105/90	100/85
12	145/146	128/122	120/111	114/104	107/95	99/86	95/81
12.5	137/139	121/117	113/106	108/99	101/91	94/82	90/77
13	130/133	115/112	107/101	102/95	96/86	89/78	85/73
13.5	124/127	109/107	102/97	97/91	91/83	85/74	81/70
14	118/122	104/103	97/93	93/87	87/79	81/71	77/67

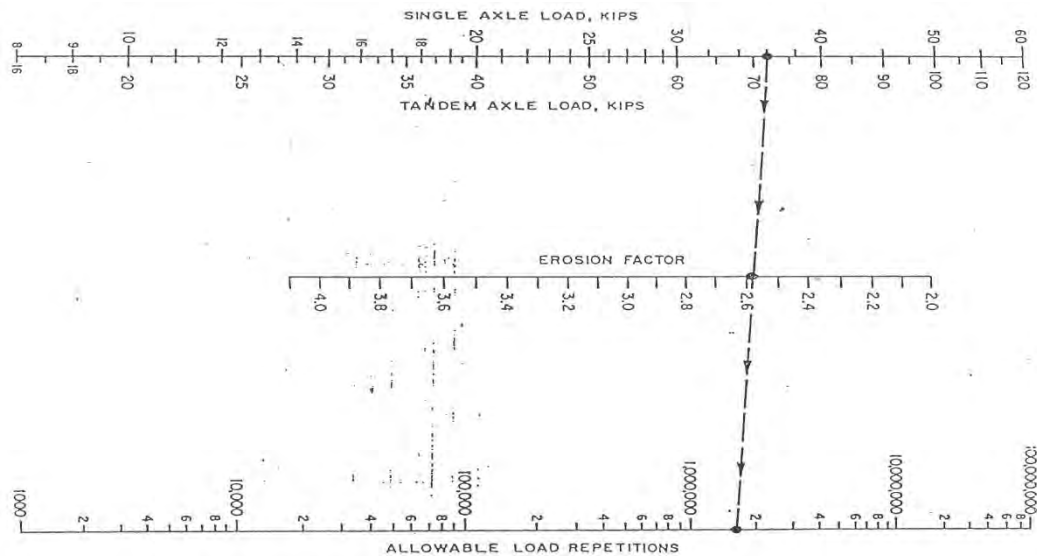
ตารางที่ 3-33 Erosion Factors – Doweled Joints, No Concrete Shoulder
(Single Axle/Tandem Axle)

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.74/3.83	3.73/3.79	3.72/3.75	3.71/3.73	3.70/3.70	3.68/3.67
4.5	3.59/3.70	3.57/3.65	3.56/3.61	3.55/3.58	3.54/3.55	3.52/3.53
5	3.45/3.58	3.43/3.52	3.42/3.48	3.41/3.45	3.40/3.42	3.38/3.40
5.5	3.33/3.47	3.31/3.41	3.29/3.36	3.28/3.33	3.27/3.30	3.26/3.28
6	3.22/3.38	3.19/3.31	3.18/3.26	3.17/3.23	3.15/3.20	3.14/3.17
6.5	3.11/3.29	3.09/3.22	3.07/3.16	3.06/3.13	3.05/3.10	3.03/3.07
7	3.02/3.21	2.99/3.14	2.97/3.08	2.96/3.05	2.95/3.01	2.94/2.98
7.5	2.93/3.14	2.91/3.06	2.88/3.00	2.87/2.97	2.86/2.93	2.84/2.90
8	2.85/3.07	2.82/2.99	2.80/2.93	2.79/2.89	2.77/2.85	2.76/2.82
8.5	2.77/3.01	2.74/2.93	2.72/2.86	2.71/2.82	2.69/2.78	2.68/2.75
9	2.70/2.96	2.67/2.87	2.65/2.80	2.63/2.76	2.62/2.71	2.61/2.68
9.5	2.63/2.90	2.60/2.81	2.58/2.74	2.56/2.70	2.55/2.65	2.54/2.62
10	2.56/2.85	2.54/2.76	2.51/2.68	2.50/2.64	2.48/2.59	2.47/2.56
10.5	2.50/2.81	2.47/2.71	2.45/2.63	2.44/2.59	2.42/2.54	2.41/2.51
11	2.44/2.76	2.42/2.67	2.39/2.58	2.38/2.54	2.36/2.49	2.35/2.45
11.5	2.38/2.72	2.36/2.62	2.33/2.54	2.32/2.49	2.30/2.44	2.29/2.40
12	2.33/2.68	2.30/2.58	2.28/2.49	2.26/2.44	2.25/2.39	2.23/2.36
12.5	2.28/2.64	2.25/2.54	2.23/2.45	2.21/2.40	2.19/2.35	2.18/2.31
13	2.23/2.61	2.20/2.50	2.18/2.41	2.16/2.36	2.14/2.30	2.13/2.27
13.5	2.18/2.57	2.15/2.47	2.13/2.37	2.11/2.32	2.09/2.26	2.08/2.23
14	2.13/2.54	2.11/2.43	2.08/2.34	2.07/2.29	2.05/2.23	2.03/2.19

ตารางที่ 3-34 Erosion Factors – Aggregate – Interlock Joints, No Concrete Shoulder
(Single Axle/Tandem Axle)

Slab thickness, in.	k of subgrade-subbase, pci					
	50	100	200	300	500	700
4	3.94/4.03	3.91/3.95	3.88/3.89	3.86/3.86	3.82/3.83	3.77/3.80
4.5	3.79/3.91	3.76/3.82	3.73/3.75	3.71/3.72	3.68/3.68	3.64/3.65
5	3.66/3.81	3.63/3.72	3.60/3.64	3.58/3.60	3.55/3.55	3.52/3.52
5.5	3.54/3.72	3.51/3.62	3.48/3.53	3.46/3.49	3.43/3.44	3.41/3.40
6	3.44/3.64	3.40/3.53	3.37/3.44	3.35/3.40	3.32/3.34	3.30/3.30
6.5	3.34/3.56	3.30/3.46	3.26/3.36	3.25/3.31	3.22/3.25	3.20/3.21
7	3.26/3.49	3.21/3.39	3.17/3.29	3.15/3.24	3.13/3.17	3.11/3.13
7.5	3.18/3.43	3.13/3.32	3.09/3.22	3.07/3.17	3.04/3.10	3.02/3.06
8	3.11/3.37	3.05/3.26	3.01/3.16	2.99/3.10	2.96/3.03	2.94/2.99
8.5	3.04/3.32	2.98/3.21	2.93/3.10	2.91/3.04	2.88/2.97	2.87/2.93
9	2.98/3.27	2.91/3.16	2.86/3.05	2.84/2.99	2.81/2.92	2.79/2.87
9.5	2.92/3.22	2.85/3.11	2.80/3.00	2.77/2.94	2.75/2.86	2.73/2.81
10	2.86/3.18	2.79/3.06	2.74/2.95	2.71/2.89	2.68/2.81	2.66/2.76
10.5	2.81/3.14	2.74/3.02	2.68/2.91	2.65/2.84	2.62/2.76	2.60/2.72
11	2.77/3.10	2.69/2.98	2.63/2.86	2.60/2.80	2.57/2.72	2.54/2.67
11.5	2.72/3.06	2.64/2.94	2.58/2.82	2.55/2.76	2.51/2.68	2.49/2.63
12	2.68/3.03	2.60/2.90	2.53/2.78	2.50/2.72	2.46/2.64	2.44/2.59
12.5	2.64/2.99	2.55/2.87	2.48/2.75	2.45/2.68	2.41/2.60	2.39/2.55
13	2.60/2.96	2.51/2.83	2.44/2.71	2.40/2.65	2.36/2.56	2.34/2.51
13.5	2.56/2.93	2.47/2.80	2.40/2.68	2.36/2.61	2.32/2.53	2.30/2.48
14	2.53/2.90	2.44/2.77	2.36/2.65	2.32/2.58	2.28/2.50	2.25/2.44

รูปที่ 3-35 fatigue analysis – allowable load repetitions based on stress ratio factor
(with and without concrete shoulder)



รูปที่ 3-36 Erosion analysis – allowable load repetitions based on erosion factor
(without concrete shoulder).

1. ปริมาณการจราจร

โดยปกติ การออกแบบโครงสร้างผิวจราจรจะต้องอาศัยข้อมูลด้านปริมาณการจราจรมาคำนวณหาจำนวนบรรทุกที่กระทำต่อผิวจราจรในช่วงอายุของการออกแบบ ข้อมูลดังกล่าวหาได้โดยการสำรวจปริมาณจราจรในแต่ละสายทางในกรณีถนนมีอยู่เดิม และคาดคะเนจากสภาพสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจในแต่ละพื้นที่ที่มีอิทธิพลต่อแต่ละสายทางในกรณีไม่มีถนนอยู่เดิมหรือตัดสายทางใหม่

1.1 การเพิ่มของปริมาณการจราจร

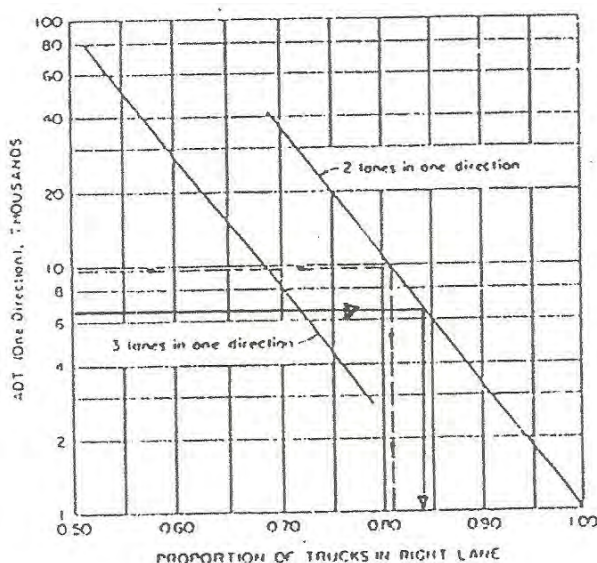
หากมีการเพิ่มของปริมาณการจราจรทุกๆ ปี ก็ต้องมีแฟกเตอร์ปรับแก้ (Projection Factor) ตามอัตราการเพิ่มต่อปีของปริมาณการจราจรด้วย ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3-35 Yearly Rates of Traffic Growth and Corresponding Projection Factors*

Yearly rate of traffic growth %	Projection Factor 20 years	Projection factor 40 years
1	1.1	1.2
1½	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2½	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3½	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4½	1.6	2.4
Yearly rate of traffic growth %	Projection Factor 20 years	Projection factor 40 years
5	1.6	2.7
5½	1.7	2.9
6	1.8	3.2

1.2 Truck Directional Distribution

โดยทั่วไปจะสมมุติว่าน้ำหนักและจำนวนของรถบรรทุกจะมีการกระจายตัวในแต่ละทิศทางเท่ากัน = 50 – 50 แต่ในกรณีของถนนหลายช่องจราจรรถบรรทุกหนักโดยส่วนใหญ่จะวิ่งช่องขวาสุด โดยมีสัดส่วนดังแสดงในรูปที่ 3-37



รูปที่ 3-37 Proportion of trucks in right lane of a multilane divided highway.
(Derived from Reference 38.)

1.3 การกระจายน้ำหนักเพลารถบรรทุก (Truck axle distribution)

ข้อมูลการกระจายน้ำหนักเพลารถบรรทุกขนาดต่าง ๆ ของรถบรรทุก จำเป็นที่จะต้องทราบและนำมาใช้ในการคาดคะเนจำนวนเพลาดียวและเพลาคู่ที่น้ำหนักต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นตลอดอายุการออกแบบ หากมิได้มีการศึกษาการกระจายตัวของน้ำหนักเพลารถบรรทุกเป็นการเฉพาะโครงการ ก็สามารถคาดคะเนได้จาก Axle – load Data ดังตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4

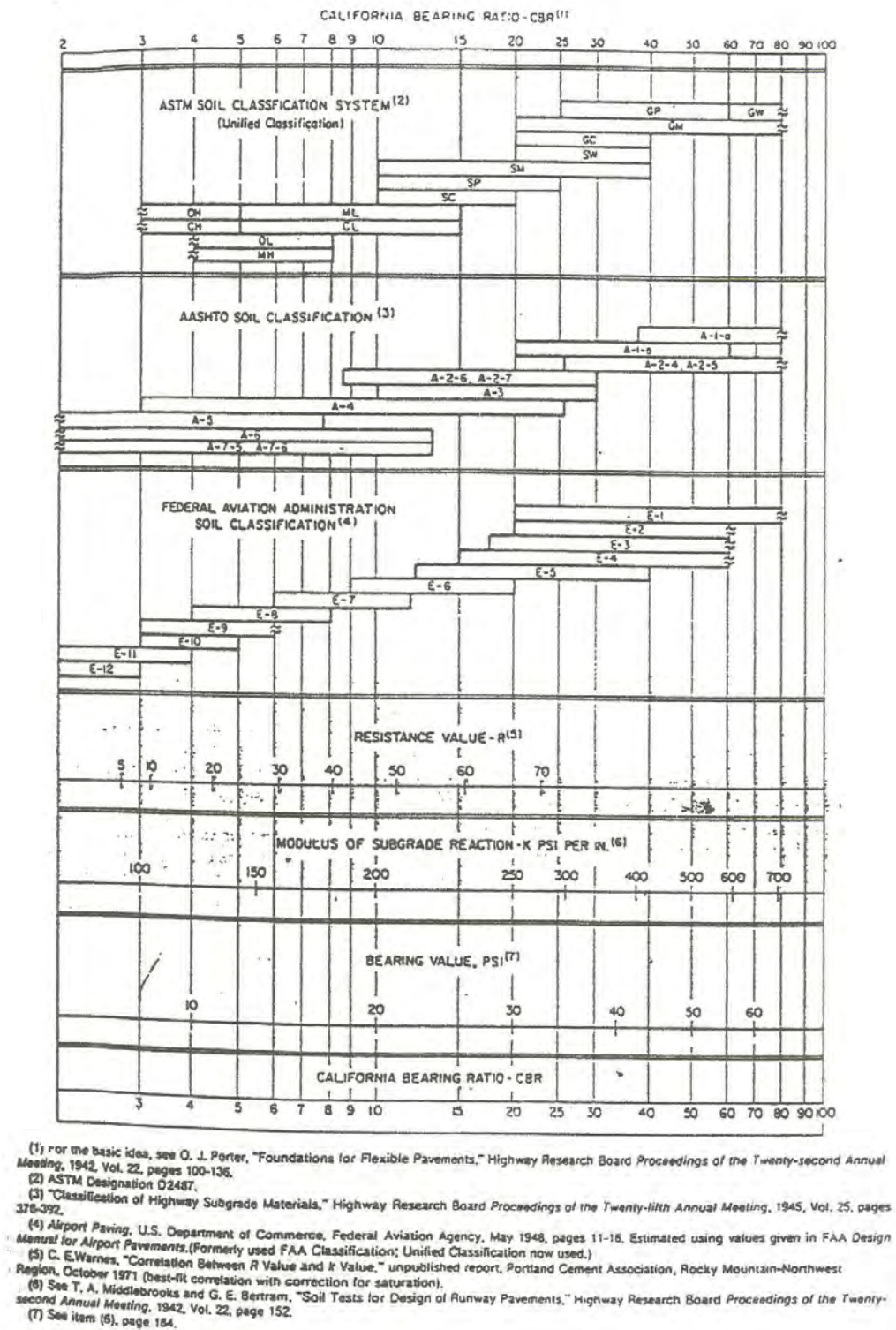
ตารางที่ 3-36 Axle – Load Data

(1) Axle load.	(2) Axles per 1000 trucks	(3) Axles per 1000 trucks (adjusted)
Single axles		
28-30	0.28	0.58
26-28	0.55	1.35
24-26	1.33	2.77
22-24	2.84	5.92
20-22	4.72	9.83
18-20	10.40	21.67
16-18	13.56	28.24
14-16	18.64	38.83
12-14	25.89	53.94
10-12	81.05	168.85
Tandem axles		
48-52	0.94	1.96
44-48	1.89	3.94
40-44	5.51	11.48
36-40	16.45	34.27
32-36	39.08	81.42
28-32	41.06	85.54
24-28	73.07	152.23
20-24	43.45	90.52
16-20	54.15	112.81
12-16	59.85	124.69

Columns 1 and 2 derived from loadometer w4 Table. This table also show 13,215 total trucks counted with 6,918 two-axle, four -tire trucks (52%). Column 3: column 2 values adjusted for two-axle, four -tire trucks: equal to Column 2/(1-52/100).

2. กำลังรับน้ำหนักของดินเดิม Subgrade

ที่รองรับผิวคอนกรีต จะขึ้นอยู่กับความแข็งของ modulus of subgrade reaction (K) โดยค่า k จะมีหน่วยเป็นปอนด์ต่อลูกบาศก์นิ้ว (pci) ค่า k สามารถประมาณได้จากความสัมพันธ์ของค่า CBR และ R - Value ดังแสดงในรูป



รูปที่ 3-38 Approximate interrelationships of soil classifications and bearing values.

นอกจากนี้การมีชั้น Subbase ก็จะต้องพิจารณาเพิ่มค่า k โดยค่า k ที่จะเพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะใช้เป็นชั้นรองพื้นทาง ค่า Modulus of Subgrade – Subbase Reaction ดังแสดงในตารางที่ 5 และตารางที่ 6

ตารางที่ 3-37 Effect of Untreated Subbase on k Values,

Subgrade k Value, pci	Subbase k Values, pci			
	in	6 in	9 in	12 in
50	65	75	85	110
100	130	140	160	190
200	220	230	270	320
300	320	330	370	430

ตารางที่ 3-38 Design k Values for Cement-Treated Subbases

Subgrade k Value, pci	Subbase k Value, pci			
	4 in	6 in	8 in	10 in
50	170	230	310	390
100	280	400	520	640
200	470	640	830	-

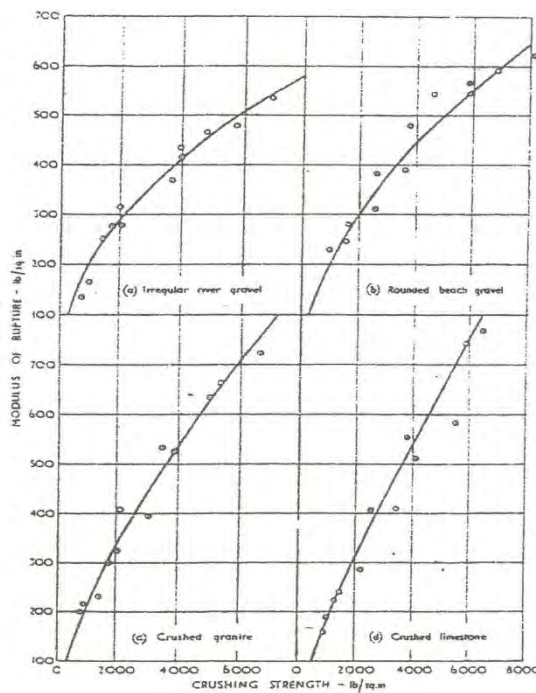
3. คุณสมบัติของวัสดุผิวจราจรคอนกรีต

ในขบวนการออกแบบวิเคราะห์ความล้า (Fatigue) ของแผ่นคอนกรีตเพื่อควบคุมการแตกร้าวจากการกระทำซ้ำของน้ำหนักบรรทุก ถูกควบคุมโดยค่า Flexural strength ของคอนกรีต หรือ ค่า Modulus of rupture ของคอนกรีต ซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า Compressive strength กับค่า Modulus of rupture ของคอนกรีตดังแสดงในตารางที่ 7, ภาพที่ 5 และภาพที่ 6

ตารางที่ 3-39 ความสัมพันธ์ระหว่าง Cube Crushing Strength และ Modulus of Rupture ของคอนกรีต
(ROAD RESEARCH LABORATORY, 1995)

ชนิดของดิน	Modulus of Rupture ในเทอมของ Cube Crushing Strength, lb/in ²
Irregular River Gravel	$6.5 F^{0.5}$
Round Beach Gravel	$4.6 F^{0.55}$
Crushed Granite	$1.6 F^{0.7}$
Crushed Limestone	$0.7 F^{0.8}$

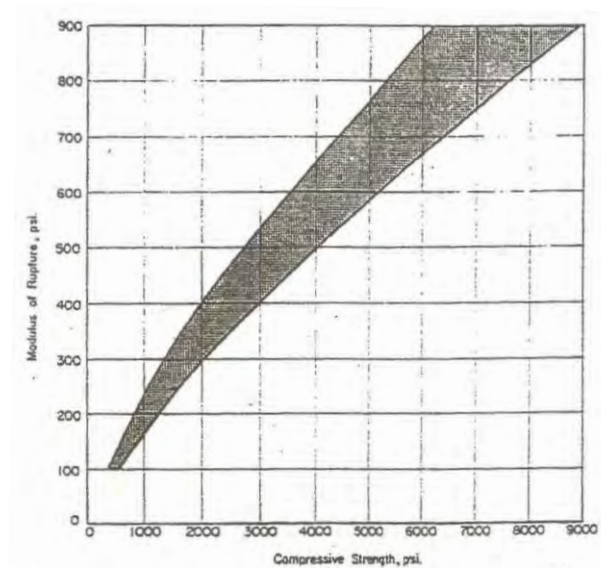
F = Cube Crushing Strength , lb/in²



รูปที่ 3-39 RELATION BETWEEN MODULUS OF RUPTURE AND CRUSHING STRENGTH OF CONCRETE
MADE WITH DIFFERENT AGGREGATES

6-in. beams loaded at the third points on a span of 27 in. and 4-in. cubes

(ROAD RESEARCH LABORATORY, 1955)



รูปที่ 3-40 Average relationship between compressive strength of 6x12-in. cylinders and Modulus of rupture of beams fasted by third-point loadings.

W/C Ratio --- 4 to 8 gal. per sack

Age --- 1 to 28 days

Types 1 and III Portland cements (PCA, 1955)

4. Load Safety Factor

ในการออกแบบจะต้องเพิ่มแฟกเตอร์ของแรงกระทำของน้ำหนักบรรทุก ดังนั้น ค่า axle loads ที่หามาได้จากการวิเคราะห์ปริมาณการจราจรจะต้องนำมาคูณด้วย load safety factor (LSF) โดย PCA ได้แนะนำค่าดังนี้

- For Interstate and other multilane projects where there will be uninterrupted traffic flow and high volumes of truck traffic, LSF = 1.2.
- For highways and arterial streets where there will be moderate volumes of truck traffic, LSF = 1.1.
- For roads, residential streets, and other streets that will carry small volumes of truck traffic, LSF = 1.0.

การวิเคราะห์หาจำนวนรถบรรทุกหนักเฉลี่ยต่อวัน (ADTT)

1) ข้อมูลปริมาณการจราจรที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบ

ADT (Average Daily Traffic)	=	200	vpd
No. of Medium Truck (MT)	=	10	vpd
No. of Heavy Truck (HT)	=	10	vpd
Use Percentile of Heavy Vehicle	=	10.00	%

Growth Rate = 5 %

2) Average Daily Traffic at design period

$$\begin{aligned} \text{ADT} &= X(1 + r)^{(n/2)} \\ &= 200(1 + .05)^{(5)} \\ &= 200(1.276) \\ &= 255 \end{aligned}$$

3) Average Daily truck traffic at design period

$$\begin{aligned} \text{ADTT} &= (\text{ADT}) (\% \text{HV}) \\ &= (255) (0.10) \\ &= 25.5 \sim 26 \text{ one lane} = 13 \text{ vpd} \end{aligned}$$

ตัวอย่าง การคำนวณออกแบบโครงสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ช่องจราจร ในพื้นที่ชนบท

Design Criteria :

CBR	=	6	%
Growth Rate of Thailand	=	5	%
Design period	=	10	Years
Modulus of subgrade reaction ; k	=	160	pci
Modulus of subbase – subgrade reaction ; k	=	205	pci
Modulus of rupture of concrete	=	544	psi (325 ksc)
ADT (Average Daily Traffic)	=	200	vpd
Percentile of heavy Vehicle	=	10	%
Percentile of Full Truck	=	50	%
Slab Design	=	7	in 17.5 cm

Remarks : 1) Proportion of Heavy Truck :-

- Ten wheel truck = 50 %
- Six wheel truck = 50 %

$$\begin{aligned} 2) \text{ MR} &= 8 - 10 \sqrt{f'c'} \quad (f'c' = \text{Cylinder Compressive Strength , psi}) \\ &\text{หรือ } \text{MR} = 0.7F^{0.8} \quad (F = \text{Cube Crushing Strength , psi}) \\ 325 \text{ ksc} &= 4623 \text{ psi} \quad (1 \text{ ksc} = 14.22334 \text{ psi}) \\ &= 8 \sqrt{f'c'} = 8 \sqrt{4623} = 544 \text{ psi} \end{aligned}$$

Note : น้ำหนักของรถบรรทุกทุกตามประกาศผู้อำนวยการทางหลวงชนบท จะเป็นดังนี้

รถบรรทุก 6 ล้อ (2 เพลา) 15 ตัน นน. เพลาหลัง 11 ตัน
 รถบรรทุก 10 ล้อ (3 เพลา) 25 ตัน นน. เพลาหลัง 20 ตัน
 รถบรรทุกกึ่งพ่วง (5 เพลา) 45 ตัน
 รถบรรทุกพ่วง (5 เพลา) 47 ตัน
 (1 kips = 454 kg)

หาน้ำหนักเพลาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งาน

- Expected Repetitions of 10 wheel axle = $13 \times 365 \times 0.5 \times 0.5 = 11862$ tandem axles
- Expected Repetitions of 6 wheel axle = $13 \times 365 \times 0.5 \times 0.5 = 11862$ single axles
- เพลาเดี่ยวหน้ามีอำนาจการทำลายน้อยจึงไม่นำมาคิด

Calculation of Pavement Thickness

Project ถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก

Trial thickness 7 in. Doweled joints : yes
 Subbase – subgrade ; k 205 pci. Concrete shoulder : no
 Modulus of rupture ; MR 544 psi. (325 ksc) Design period 10 years
 Load safety factor ; LSF 1 Type of subbase Aggregate 20 cm.

ตารางแสดงรายการคำนวณความล้าของแผ่นพื้นคอนกรีต

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Axle load Kips	Multiplied by LSF (1.0)	Expected Repetitions	Fatigue analysis		Erosion Analysis	
			Allowable Rep.	Fatigue %	Allowable Rep.	Damage %

Single Axles

Equivalent stress 235 Erosion Factor 3.17
 Stress ratio factor 0.43

24 (11 ตัน)	24	11862	70,000	16.95	310,000	3.83
-------------	----	-------	--------	-------	---------	------

Tandem Axles

Equivalent stress 197

Erosion Factor 3.29

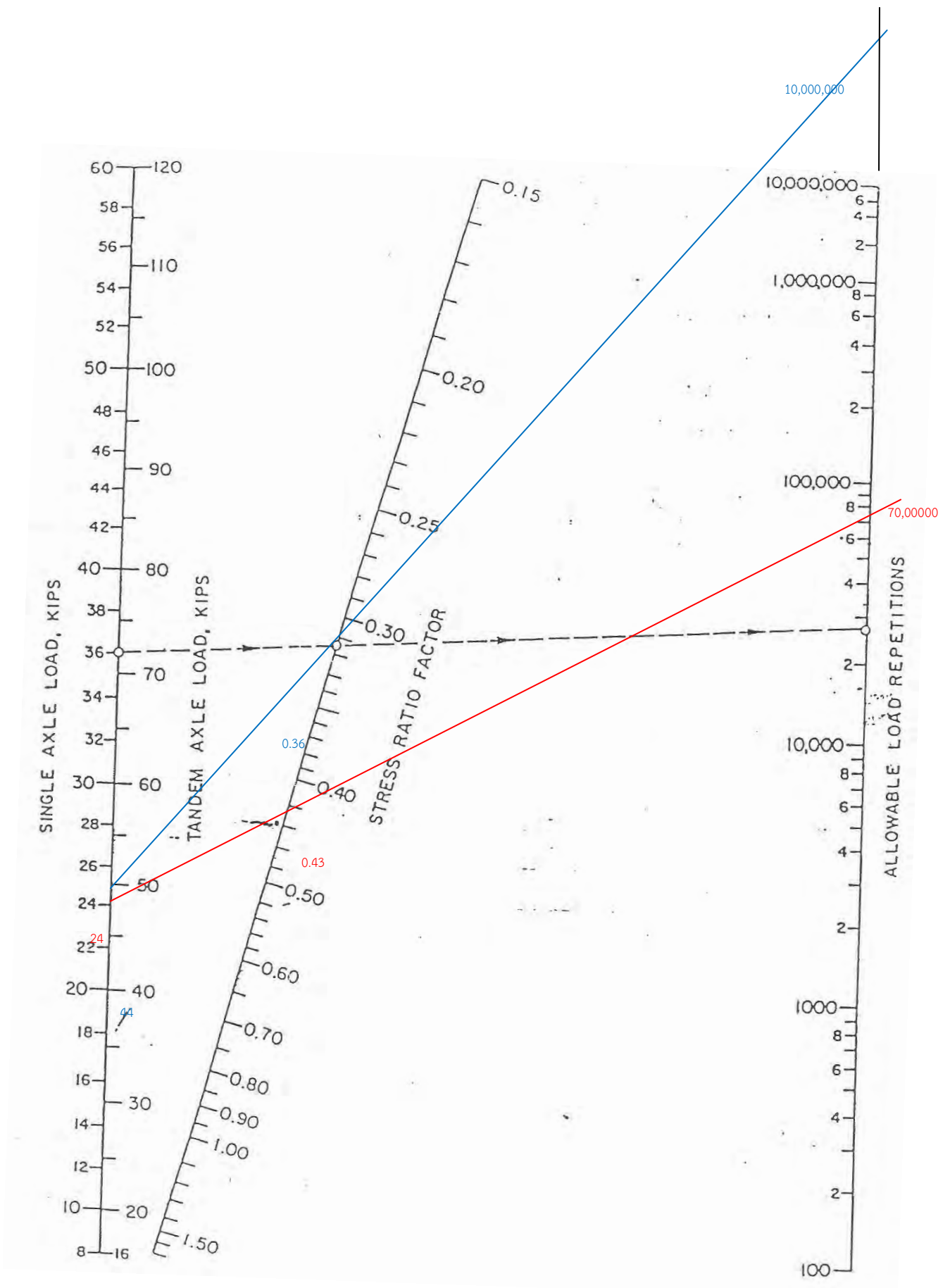
Stress ratio factor

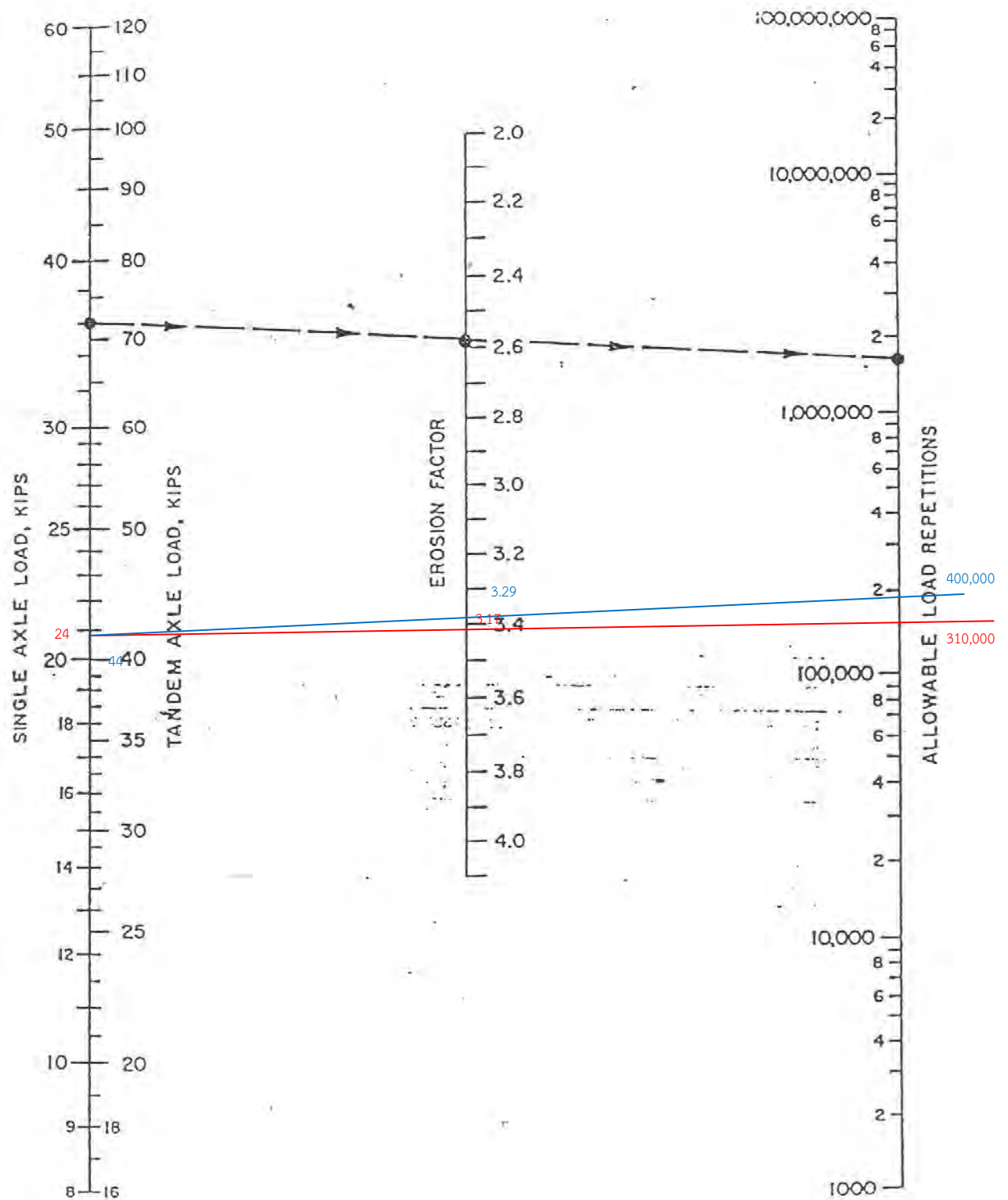
0.36

44 (20 ตัน)	44	11862	10,000,000	0.12	400,000	2.97
Total				17.07	Total	6.80

- The totals of fatigue or erosion damage is less than 100 % ; the trial thickness is adequate design (pass).

- Use uniform slab = $7 \times 2.5 = 17.5$ cm , use 18 cm.





ค. งานออกแบบอาคารระบายน้ำ

งานออกแบบอาคารระบายน้ำ

ในการออกแบบถนนแต่ละสาย มักจะหลีกเลี่ยงไม่พื้นที่แนวสายทางจะตัดผ่านลำน้ำ ซึ่งอาจจะเป็นได้ตั้งแต่ลำรางขนาดเล็ก ไปจนถึงแม่น้ำขนาดใหญ่ ซึ่งผู้ออกแบบจำเป็นต้องออกแบบอาคารระบายน้ำให้เหมาะสม และมีขนาดเพียงพอสำหรับการระบายน้ำที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ทั้งปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่โครงการและปริมาณน้ำท่าจากภายนอกพื้นที่ เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อคันทาง หรือเมื่อแนวทางผ่านในบริเวณที่เป็นย่านชุมชน ก็จำเป็นต้องออกแบบอาคารระบายน้ำเพื่อระบายน้ำออกจากผิวจราจร และน้ำเสียจากอาคารสองข้างทางที่แนวทางผ่าน

อาคารระบายน้ำถือได้ว่าเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของงานทาง เนื่องจากความเสียหายของ ทางหลวงหายสาบสูญมาจากการระบายน้ำมีขนาดเล็กหรือไม่เหมาะสมกับพื้นที่ จึงไม่สามารถระบาย น้ำที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ได้ทัน ดังนั้นในการออกแบบงานทาง ผู้ออกแบบจะต้องออกแบบอาคารระบายน้ำให้เหมาะสมกับพื้นที่

● หน้าที่ของอาคารระบายน้ำ

อาคารระบายน้ำมีหน้าที่หลักๆ ดังนี้

- (๑) รับน้ำหนักเนื่องจากการจราจร และน้ำหนักคันทางที่อยู่เหนืออาคารระบายน้ำ
- (๒) ระบายน้ำได้ดี
- (๓) เป็นทางผ่านของจราจรทางน้ำ

● ชนิดของอาคารระบายน้ำ

อาคารระบายน้ำแบ่งออกตามทิศทางการระบายน้ำได้เป็น ๒ ชนิด ได้แก่

- (๑) อาคารระบายน้ำตามแนวขนานกับแนวทาง เป็นอาคารระบายน้ำที่อยู่สองข้างทางของแนวทาง ใช้ประโยชน์สำหรับระบายน้ำออกจากผิวจราจรและ/หรือน้ำเสียจากอาคารสองในย่านชุมชนที่ แนวทาง ตัวอย่างของอาคารระบายน้ำชนิดนี้ เช่น U-DITCH, SIDE DITCH, ท่อระบายน้ำและบ่อพัก และรางต้น เป็นต้น
- (๒) อาคารระบายน้ำตามแนวตั้งฉากกับแนวทาง เป็นอาคารระบายน้ำที่ตัดผ่านหรือตั้งฉากกับ แนวทางใช้ประโยชน์สำหรับระบายน้ำของลำรางหรือแม่น้ำลอดผ่านคันทาง ตัวอย่างของอาคาร ระบายน้ำชนิดนี้ เช่น สะพานและท่อลอดต่างๆ เป็นต้น

● การสำรวจและการรวบรวมข้อมูล

ในการออกแบบอาคารระบายน้ำทั้งที่เป็นอาคารระบายน้ำตามแนวขนานกับแนวทาง และอาคาร ระบายน้ำตามแนวตั้งฉากกับแนวทาง จะต้องทำการรวบรวมข้อมูล เอกสาร และรายงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการวางแผนและกำหนดรายละเอียดในการออกแบบระบบระบายน้ำ รวมทั้งเป็นข้อมูลพื้นฐานในการ วิเคราะห์ โดยมีข้อมูลหลักๆ ดังนี้

- ๑) ข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แผนที่แสดงสภาพภูมิประเทศ แผนที่แสดงชั้นความสูง รูปถ่าย ทางอากาศ เป็นต้น
- ๒) ข้อมูลสภาพการระบายน้ำในปัจจุบัน โดยขอข้อมูลจากหน่วยงานราชการ และทำการ สำรวจสภาพจริงในสนาม โดยมีรายละเอียดข้อมูลการสำรวจดังนี้

ก. แพลน ต้องจัดทำแผนที่ผังบริเวณที่จะทำการเปิดช่องทางระบายน้ำ สะพาน และ งานวางท่อ โดยละเอียด ถ้าเป็นไปได้ควรทำแผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง (Contour) ในแบบแปลนจะต้องแสดงแนวกั้น ทางโค้ง แนวลำน้ำที่ตัดผ่าน ทิศทางการไหล ของน้ำ ภูมิประเทศโดยรอบ เช่น บ้านคน ต้นไม้ใหญ่ ถนนอื่นๆ ทางรถไฟ ประตุน้ำ เป็นต้น

ข. รูปตัด การทำรูปตัดของร่องน้ำแห่งนั้น ซึ่งประกอบด้วยระดับท้องคลอง ระดับดิน เดิมทั้งสองฝั่ง ตามแนวศูนย์กลางทาง ค่าระดับของถนนเดิม สะพานเดิม ตำแหน่ง ของตอม่อสะพานเดิม (ถ้ามี) ถ้าในกรณีที่เส้นทางเขาจะต้องทำรูปตัดหรือแสดงรูป

ค) รายละเอียดอื่นๆ สำหรับรายละเอียดอื่นๆ นอกเหนือไปจากแปลนและรูปตัด แล้วขณะสำรวจจะต้องให้รายละเอียดอื่นเพิ่มเติมดังนี้

- รายละเอียดเกี่ยวกับสายทาง ประกอบด้วย ระยะกิโลเมตรที่จะสร้างสะพาน หรือท่อ ชื่อลำน้ำ ชื่อสายทาง เป็นต้น
- ลักษณะดิน สำรวจลักษณะดินริมฝั่งและท้องน้ำ ว่าเป็นดินชนิดไหน ในขั้นนี้ เพียงเพื่อต้องการเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาออกแบบฐานรากเท่านั้น
- สิ่งลอยน้ำ หมายถึงขอนไม้และสิ่งลอยน้ำอื่นๆ รวมถึงเรือและแพซุง จะต้อง ระบุความกว้าง ยาวและความสูงไว้ด้วย เพื่อกำหนดระดับท้องสะพาน และขนาดความยาวของช่วงสะพาน
- น้ำ นอกจากจะสำรวจค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่เคยเกิดแล้ว จะต้องบอก ว่าเป็นน้ำจืดหรือน้ำเค็ม มีการขึ้นลงประจำวันหรือไม่ หรือมีร่องรอยการกัดเซาะตลิ่งด้านซ้ายหรือขวาอย่างใดหรือไม่ เป็นต้น

๓) ข้อมูลด้านอุทกวิทยา ได้แก่

ข้อมูลน้ำฝน จากสถานีวัดน้ำฝนในบริเวณพื้นที่โครงการ ซึ่งเก็บข้อมูลโดยหลาย หน่วยงาน เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมชลประทาน หรือ กรม อุตุวิทยามิทยา เป็นต้น

ข้อมูลน้ำท่า จากสถานีวัดน้ำท่าในบริเวณพื้นที่โครงการของกรมชลประทาน หรือ กรมทรัพยากรน้ำ

๔) รายงานการศึกษาหรือวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับงานระบบป้องกันน้ำท่วมและระบายน้ำ งาน ด้านอุตุ-อุทกวิทยา การจัดการพื้นที่ลุ่มน้ำ ที่ได้เคยดำเนินการไว้ก่อนแล้วในพื้นที่โครงการ หรือพื้นที่ใกล้เคียง โดยหน่วยงานราชการ เช่น กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำ หรือกรมโยธาธิการและผังเมือง รวมถึงหน่วยงานท้องถิ่นอื่นๆ เช่น องค์การบริหารส่วนจังหวัด เทศบาล เป็นต้น

๕) ข้อมูลดินและการใช้ที่ดินในบริเวณพื้นที่โครงการ โดยพิจารณาการใช้ที่ดินในปัจจุบันและ ในอนาคต สภาพของดินบริเวณโครงการ เพื่อกำหนดขนาดของระบบระบายน้ำและระบบ ป้องกันการกัดเซาะที่อาจเกิดจากการระบายน้ำให้เหมาะสม

๖) ข้อมูลปัญหาเกี่ยวกับการระบายน้ำที่จะทำให้เป็นอุปสรรคหรือกีดขวาง เพื่อจะได้วางแผน แก้ไขและหลีกเลี่ยง

● มาตรฐานในการออกแบบ

การออกแบบงานชลศาสตร์ / ระบบระบายน้ำ ประกอบด้วยงาน ๒ ส่วน คือ งานออกแบบด้านอุทก วิทยาเพื่อคำนวณปริมาณน้ำหลาก และงานออกแบบชลศาสตร์เพื่อคำนวณขนาดอาคารระบายน้ำที่เหมาะสม โดยกำหนดมาตรฐานไว้ดังนี้

ข้อกำหนดทางอุทกวิทยา

ข้อกำหนดทางอุทกวิทยา ประกอบด้วย

(๑) ปริมาณน้ำที่ต้องระบาย ได้แก่ น้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่รับน้ำ และ รวมตัวกันไหลมายัง สองฝั่งถนน รวมกับ น้ำฝนที่ตกลงบนผิวจราจร และปริมาณน้ำฝนในพื้นที่รับน้ำที่ไหลตาม แนวร่องน้ำตัดผ่านกับถนน

(๒) ปริมาณน้ำฝนจากสะพาน/ทางยกระดับจะถูกระบายลงระบบระบายน้ำระดับดินโดยระบบท่อ

(๓) ปริมาณน้ำฝนจากถนนระดับดินจะถูกระบายลงสู่ระบบระบายน้ำข้างทาง แล้วระบายลงสู่ทางน้ำธรรมชาติ หรือระบบระบายน้ำเดิมตามความเหมาะสม

(๔) การหาขนาดปริมาณน้ำหลากหรือปริมาณน้ำที่ต้องระบายนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่รับน้ำ กล่าวคือถ้า พื้นที่รับน้ำมีขนาดไม่เกิน ๒๕ ตร.กม. จะใช้วิธี Rational และถ้าพื้นที่ รับน้ำมีขนาดใหญ่กว่า ๒๕ ตร.กม. จะใช้วิธี Modify Rational หรือ SPECIFIC YIELD OF FLOOD FLOW

(๕) รอบปีการเกิดซ้ำ หรือความถี่ในการเกิดซ้ำ (Return Period) ใช้ในการหาความเข้มฝน เฉลี่ย ซึ่งจะมี ส่วนสัมพันธ์กับขนาดของพื้นที่รับน้ำและชนิดของอาคารระบายน้ำที่เลือกใช้ ดังนี้

(ก) ๑๐ ปี สำหรับพื้นที่รับน้ำไม่เกิน ๒๕ ตร.กม. หรือสำหรับการออกแบบขนาดท่อลอด ชนิดกลม

(ข) ๒๕ - ๕๐ ปี สำหรับพื้นที่รับน้ำ ๒๕ - ๑,๐๐๐ ตร.กม. หรือสำหรับการออกแบบขนาดท่อ ลอดชนิดเหลี่ยม

(ค) ๕๐ - ๑๐๐ ปี สำหรับพื้นที่รับน้ำเกินกว่า ๑,๐๐๐ ตร.กม. หรือสำหรับการออกแบบระบบ ระบายน้ำบน สะพาน

(ง) ๑๐๐ ปี สำหรับการออกแบบระบบระบายน้ำทางลอด (Underpass)

(๖) เวลาน้ำท่าสูงสุด (Time of Concentration) คือเวลาที่น้ำฝนที่ตกลงในส่วนต่างๆ ของพื้นที่ รับน้ำใช้ในการไหลจากจุดที่ไกลที่สุดในเชิงศาสตร์ถึงจุดที่พิจารณา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ สภาพความลาดเอียงของพื้นที่ เวลา น้ำท่าสูงสุดหรือเวลาในการไหลของน้ำจะนำไปใช้ใน การหาความเข้มฝนเฉลี่ยต่อไป โดยที่จะแยกการ คำนวณออกเป็น ๒ ลักษณะ กล่าวคือ

๑) เวลาน้ำท่าสูงสุดสำหรับการระบายน้ำในคลองหรือทางน้ำธรรมชาติ จะหาจากสูตร ของ Kirpich

๒) เวลาน้ำท่าสูงสุดสำหรับการระบายน้ำบนผิวจราจร โดยที่ปรึกษาจะยึดตามวิธีของ American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) ที่ได้แนะนำไว้

(๗) ความเข้มฝนเฉลี่ย (Rainfall Intensity) ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มของฝน - ช่วงเวลา - ความถี่ในการเกิดซ้ำ (กราฟ IDF) ของจังหวัดที่จะออกแบบ หรือในกรณีที่ไม่มี การจัดทำกราฟ IDF ในจังหวัด นั้น จะใช้กราฟ IDF จากสถานที่ใกล้เคียง

(๘) สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ (Runoff Coefficient) เป็นสัมประสิทธิ์ที่ใช้เพื่อคำนวณในการ เปลี่ยนน้ำฝนให้เป็นน้ำท่า อิทธิพลทั้งหมดของพื้นที่รับน้ำที่มีผลต่อขบวนการเปลี่ยนน้ำฝน ให้เป็นน้ำท่านี้ ได้แก่ อัตราการซึม น้ำของดิน การเก็บกักน้ำบนผิวดิน ความลาดเทของพื้นที่ และรูปร่างลักษณะของพื้นที่รับน้ำเป็นสำคัญ

ข้อกำหนดทางชลศาสตร์

ข้อกำหนดทางชลศาสตร์ ประกอบด้วย

(๑) ความกว้างผิวน้ำท่วมบนสะพาน/ทางยกระดับ และถนน เป็นการกำหนดการยอมให้น้ำท่วม ผิวจราจร บริเวณขีดขอบทางได้บ้าง

(๒) การหาขนาดอาคารระบายน้ำ ทั้งในส่วนของการระบายน้ำตามแนวนานกับแนวเส้นทาง และทางน้ำธรรมชาติที่ตัดผ่านแนวเส้นทาง จะพิจารณาเป็นการไหลในทางน้ำเปิดโดยมีส่วน ผีของช่องเปิดตามความเหมาะสมของชนิดอาคารระบายน้ำ แล้วใช้สมการ Manning หา ขนาดและตรวจสอบความเร็วของกระแสน้ำ

(๓) การเลือกชนิดของอาคารระบายน้ำตามแนวนานกับแนวเส้นทาง อันได้แก่ ท่อระบายน้ำ ช่องรับน้ำ บ่อพักน้ำ U – DITCH, SIDE DITCH และรางต้น เป็นต้น จะขึ้นอยู่กับลักษณะ โครงสร้างของสะพาน/ทางยกระดับ ถนนใหม่ และระบบระบายน้ำเดิม

(๔) การเลือกชนิดของอาคารระบายน้ำธรรมชาติสำหรับทางน้ำที่ตัดผ่านแนวเส้นทาง แบ่งเป็น ๓ ประเภท ได้แก่ ท่อ ค.ส.ล. กลม ท่อ ค.ส.ล. เหลี่ยม และสะพานข้ามทางน้ำ จะขึ้นอยู่กับ ความกว้าง ความลึกของทางน้ำ รวมทั้งการจราจรทางน้ำและสิ่งลอยน้ำ อันจะเป็นอุปสรรค ต่อการไหล นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์และด้าน วิศวกรรมอีกด้วย

● การวิเคราะห์และออกแบบด้านชลศาสตร์และระบายน้ำ

งานออกแบบงานชลศาสตร์ / ระบายน้ำเป็นการดำเนินงาน เพื่อพิจารณาจัดเตรียมอาคารระบายน้ำ ที่เหมาะสม และมีขนาดเพียงพอสำหรับการระบายน้ำที่เกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ทั้งปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจาก ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่โครงการและปริมาณน้ำท่าจากภายนอกพื้นที่ ที่จะมีผลกระทบต่อโครงการ เพื่อป้องกันการ ความเสียหายอันอาจเกิดขึ้นต่อถนนและสะพาน/ทางยกระดับ รวมถึงป้องกันอันตรายซึ่งอาจ เกิดขึ้นกับผู้ใช้งานในขณะฝนตก

ในการออกแบบงานชลศาสตร์ / ระบายน้ำ จะศึกษาลักษณะทางอุทกวิทยาและสภาพการระบายน้ำในพื้นที่โครงการ รวมถึงสภาพและจำนวนของอาคารชลศาสตร์ต่างๆ ในปัจจุบันที่มีในพื้นที่โครงการ เพื่อใช้เป็นข้อมูล ในการกำหนดระดับ จำนวนช่องรับน้ำจากอาคาร สะพาน และรูปแบบของโครงสร้างระบายน้ำใหม่ ให้ สอดคล้องกับ โครงสร้างและระดับของถนนเดิม เพื่อไม่เป็นเหตุให้สภาพการระบายน้ำของพื้นที่เปลี่ยนแปลงไป จนมีผลกระทบต่อความสามารถในการระบายน้ำของคุณคลองต่างๆ ในพื้นที่ซึ่งจะเป็นสาเหตุสำคัญในการเกิด ปัญหาน้ำท่วมในพื้นที่ได้

การวิเคราะห์และออกแบบด้านชลศาสตร์และระบายน้ำ ประกอบด้วยงานวิเคราะห์และออกแบบด้านอุทก วิทยา และงานออกแบบด้านชลศาสตร์ ดังนี้

งานออกแบบด้านอุทกวิทยา

งานออกแบบด้านอุทกวิทยาเป็นการคำนวณหาปริมาณน้ำหลาก โดยใช้ข้อมูลด้านอุทกวิทยาในบริเวณโครงการ ซึ่งค่าปริมาณ น้ำหลากจะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่รับน้ำฝนที่จำแนกออกเป็น ๒ กรณี คือ

(๑) กรณีพื้นที่รับน้ำน้อยกว่า ๒๕ ตารางกิโลเมตร ใช้วิธี Rational

$$Q = 0.278 CIA$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลของน้ำฝนในพื้นที่รับน้ำ ณ จุดที่พิจารณา (ลบ.ม./วินาที)

C = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ

I = ความเข้มของฝน (มม./ชม.)

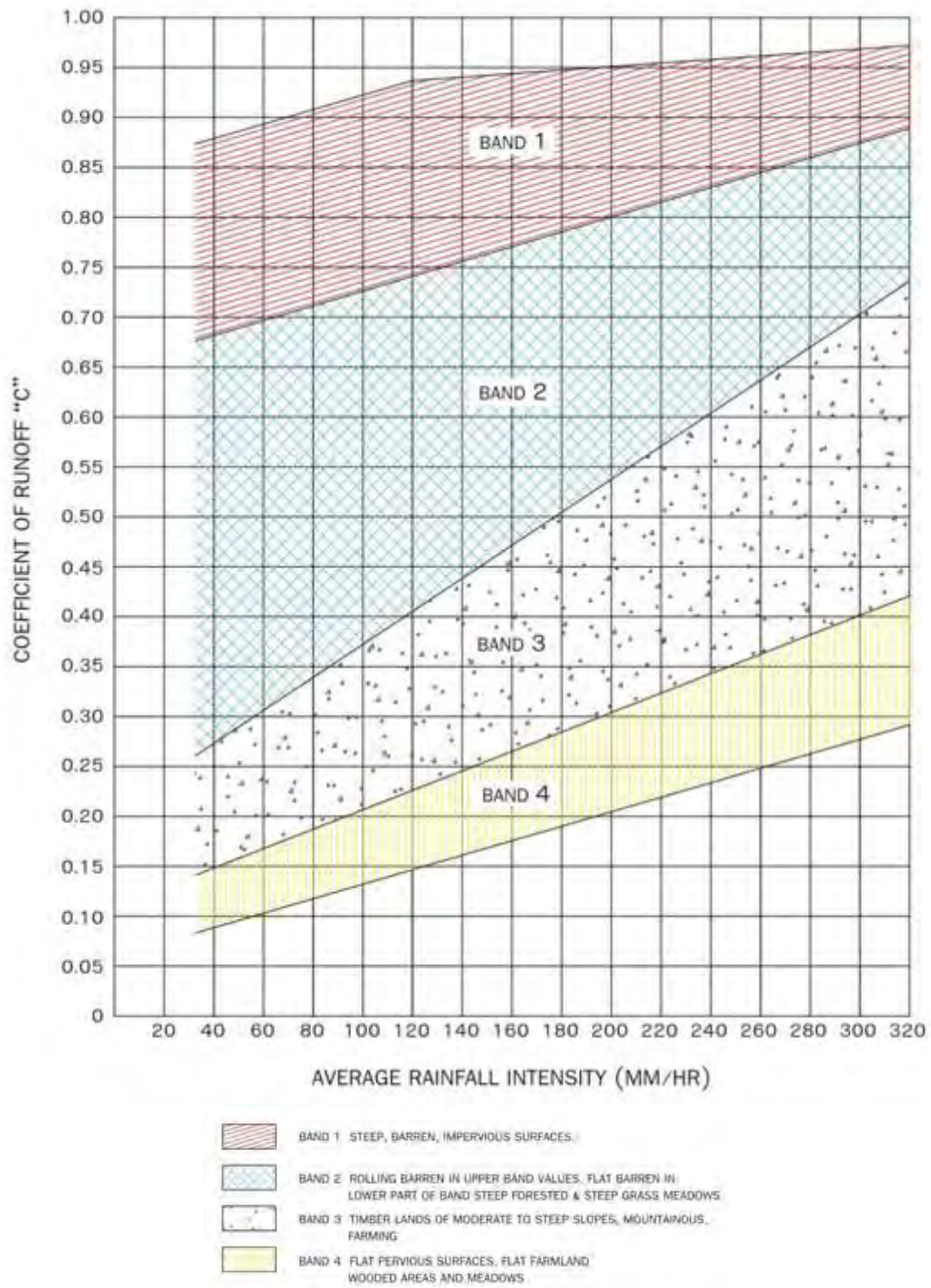
A = พื้นที่รับน้ำฝน (กม.๒)

$$\text{*การหาค่า } C = (C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_nA_n) / A_{\text{Total}}$$

ก) สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำขึ้นอยู่กับสภาพผิวของพื้นที่รับน้ำ สามารถหาได้จาก

กราฟ ๑ จากตาราง



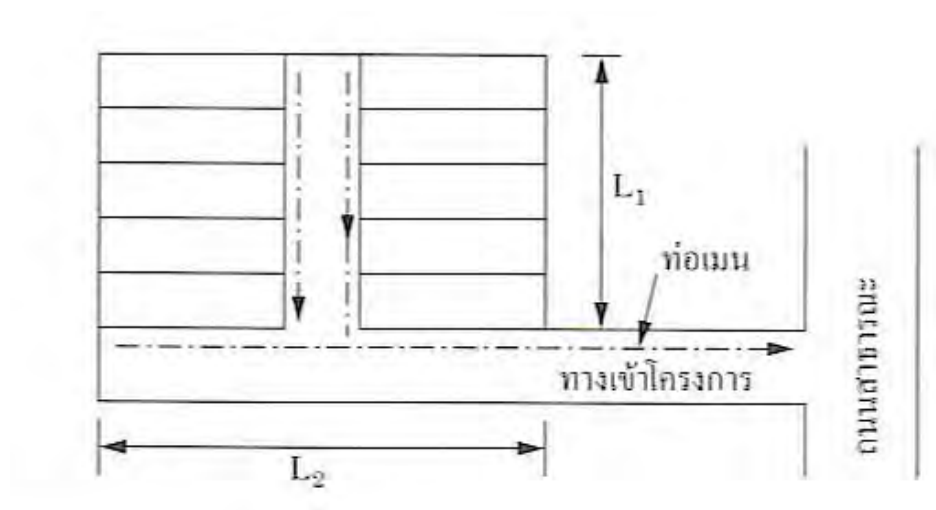
รูปที่ ๔๑ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ

ตารางค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ

พื้นผิวระบายน้ำ	สัมประสิทธิ์การไหล, c
ผิวคอนกรีตหรือผิวลาดยาง	0.70 - 0.95
ผิวกรวดหรือ Macadam	0.40 - 0.70
ดินที่บ้น้ำ	0.40 - 0.60
ดินที่บ้น้ำมีหญ้าคลุม	0.30 - 0.55
ดินโปร่งน้ำเล็กน้อย	0.15 - 0.40
ดินโปร่งน้ำ	0.05 - 0.10
พื้นที่ป่า	0.05 - 0.20

ข) เวล่าน้ำท่าสูงสุด

การกำหนดเวล่าน้ำท่าสูงสุดสำหรับการระบายน้ำ หมายถึงเวลายาวนานที่ ที่น้ำไหลจากจุดไกลสุดของพื้นที่รับน้ำมาถึงทางออก ดังรูปที่ ๒



รูปที่ ๔๒ เวล่าน้ำท่าสูงสุดสำหรับการระบายน้ำ

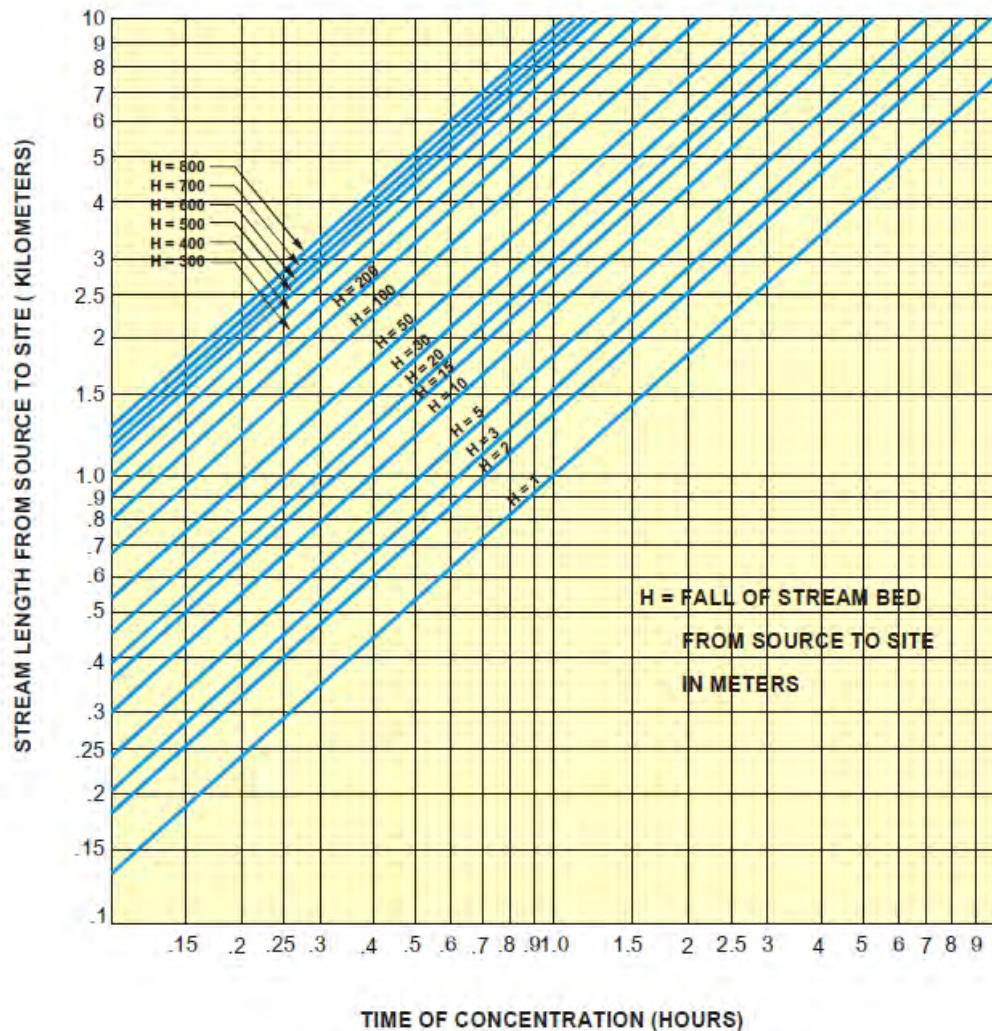
เวล่าน้ำท่าสูงสุดสำหรับการระบายน้ำในคลองหรือทางน้ำธรรมชาติ สามารถหาได้จากกราฟช่วงเวล่าน้ำท่าสูงสุดซึ่งแสดงดังรูปที่ ๓ หรือหาได้จากสูตรของ Kirpich ดังนี้

$$T_c = (0.87 L^{0.77} / H) 0.385$$

โดยที่ T_c = เวลาน้ำท่าสูงสุด (ชั่วโมง)

L = ระยะทางตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดไกลสุดในเชิงศาสตร์ ถึงทางออก (กิโลเมตร)

H = ความต่างระดับระหว่างจุดที่ไกลที่สุดและทางออก (เมตร)



รูปที่ ๔๓ กราฟช่วงเวลาน้ำท่าสูงสุด

เวลาน้ำท่าสูงสุดสำหรับการระบายน้ำบนผิวดินหาได้จากสมการ

$$t_c = t_o + t_t$$

โดยที่ t_c = เวลาน้ำท่าสูงสุด (นาท)

t_o = Inlet Time หรือระยะเวลาที่น้ำไหลจากจุดที่ไกลที่สุดในพื้นที่ระบายน้ำย่อยถึงท่อน้ำ (นาท)

t_t = ระยะเวลาที่น้ำไหลในท่อ/คลองระบายน้ำที่อยู่ทางด้านเหนือของจุดที่พิจารณา (นาท)

ตามที่ AASHTO ได้เสนอวิธีการต่างๆ ในการคำนวณค่า Inlet Time ได้เลือกใช้ Federal Aviation Equation (FAA) ในการคำนวณ ดังนี้

$$t_o = (0.1 - C) L^{0.5} / (2.6 S^{0.33})$$

โดยที่ C = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ

L = ความยาวของทางเดินของการไหล (เมตร)

S = ความลาดชันของพื้นที่ (เมตร/เมตร)

ระยะเวลาที่น้ำไหลในท่อ/คลองระบายน้ำ สามารถหาได้จากข้อมูลที่ได้เคยมีการตรวจวัดไว้ของพื้นที่ระบายน้ำที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน หรือโดยการคำนวณดังนี้

$$t_t = L / (60 V)$$

โดยที่ L = ความยาวท่อหรือคลองระบาย (เมตร)

V = ความเร็วออกแบบของน้ำในท่อหรือคลองระบาย (เมตร/ วินาที)

ค) ค่าความเข้มของฝน

ค่าความเข้มของฝนหาได้จากแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม- ช่วงเวลา-ความถี่ของฝนที่แต่ละรอบปีของการเกิดซ้ำของพื้นที่โครงการ (IDF CURVE) ที่ได้ทำการวิเคราะห์จากข้อมูลน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนอัตโนมัติ โดยพิจารณาค่าความเข้มของฝนที่ตรงกับความถี่ในการเกิดซ้ำ (Return Period) ที่ออกแบบ แสดงดังรูปที่ ๔ หรือใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับช่วงเวลาที่ความถี่ของฝนต่าง ๆ โดยการคำนวณดังนี้

$$I_{tr} = \frac{a}{(T_c + b)^c}$$

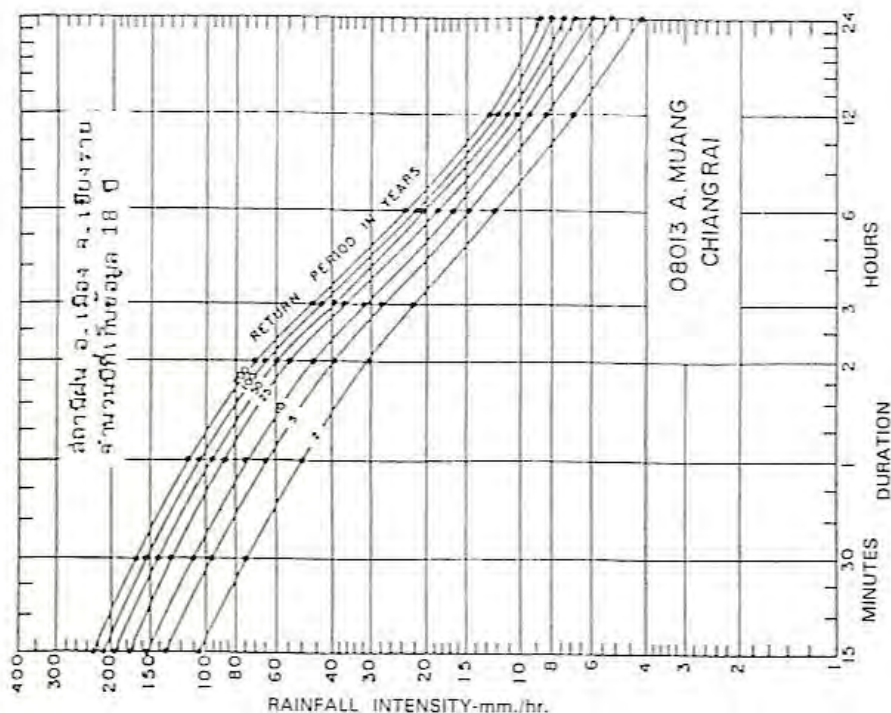
โดยที่ I_{tr} = ค่าความเข้มของฝนที่รอบปีของการเกิดซ้ำ (มม./ชม.)

T_c = เวล่าน้ำท่าสูงสุด (นาท)

a = ค่าคงที่

b = ค่าคงที่

c = ค่าคงที่



รูปที่ ๔๔ แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม-ช่วงเวลา-ความถี่ของฝน
ที่แต่ละรอบปีของการเกิดซ้ำ บางแห่งในประเทศไทย

(๒) กรณีพื้นที่รับน้ำมากกว่า ๒๕ ตารางกิโลเมตร

(๒.๑) ใช้วิธี Modify Rational ซึ่งเป็นวิธีที่ได้ประยุกต์จากหลักการของวิธี Rational Formula เนื่องจากวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ถือว่าการกระจายตัวของอัตราการไหลในช่วงเวลาเป็นรูปสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมที่มีการแปรอัตราการไหลเป็นลักษณะเส้นตรงจึงรู้จักกันในชื่อของ Linearized Subhydrograph Method วิธีการนี้เหมาะสมสำหรับใช้กับพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นที่ ลุ่มค่อนข้างราบมีระบบคลองเชื่อมถึงกันอย่างทั่วถึง หลักการพื้นฐานของวิธี Modify Rational มีดังนี้

รูปแบบของการกระจายอัตราการไหลเนื่องจากฝนเฉลี่ยในช่วงเวลา ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ฝนตก (duration, tr) และระยะเวลาที่น้ำไหลจากจุดบนพื้นที่รับน้ำที่ใช้เวลานานที่สุดในการเดินทางมายังจุดที่พิจารณาหรือ Time of Concentration (tc) ค่าอัตราการไหลสูงสุด และรูปแบบการกระจายของอัตราการไหลที่กำหนดโดยวิธีนี้ได้แสดงในรูปที่ ๕ ซึ่งสรุปได้ ดังนี้

$$Q = 0.278 CIA(2tr/tb)$$

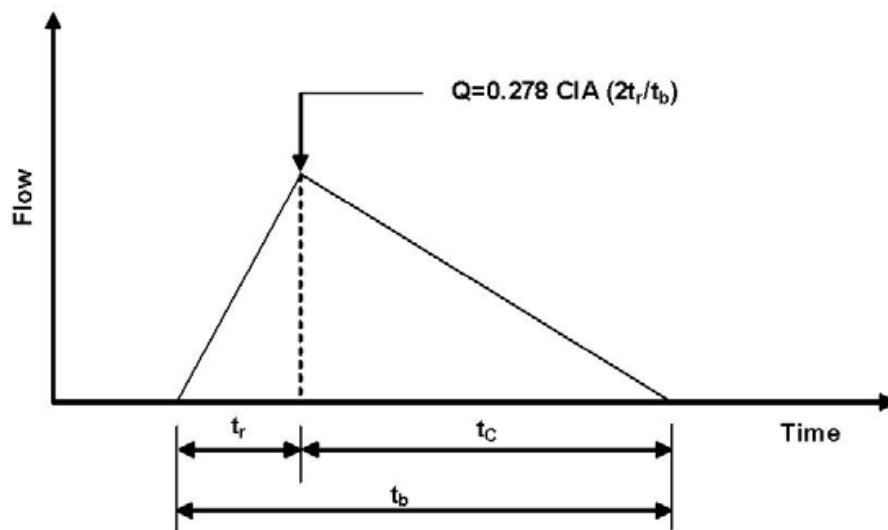
โดยที่ Q = อัตราการไหลของน้ำฝนในพื้นที่รับน้ำ ณ จุดที่พิจารณา(ลบ.ม./วินาที)

C = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำ

I = ความเข้มของฝน (มม./ชม.)

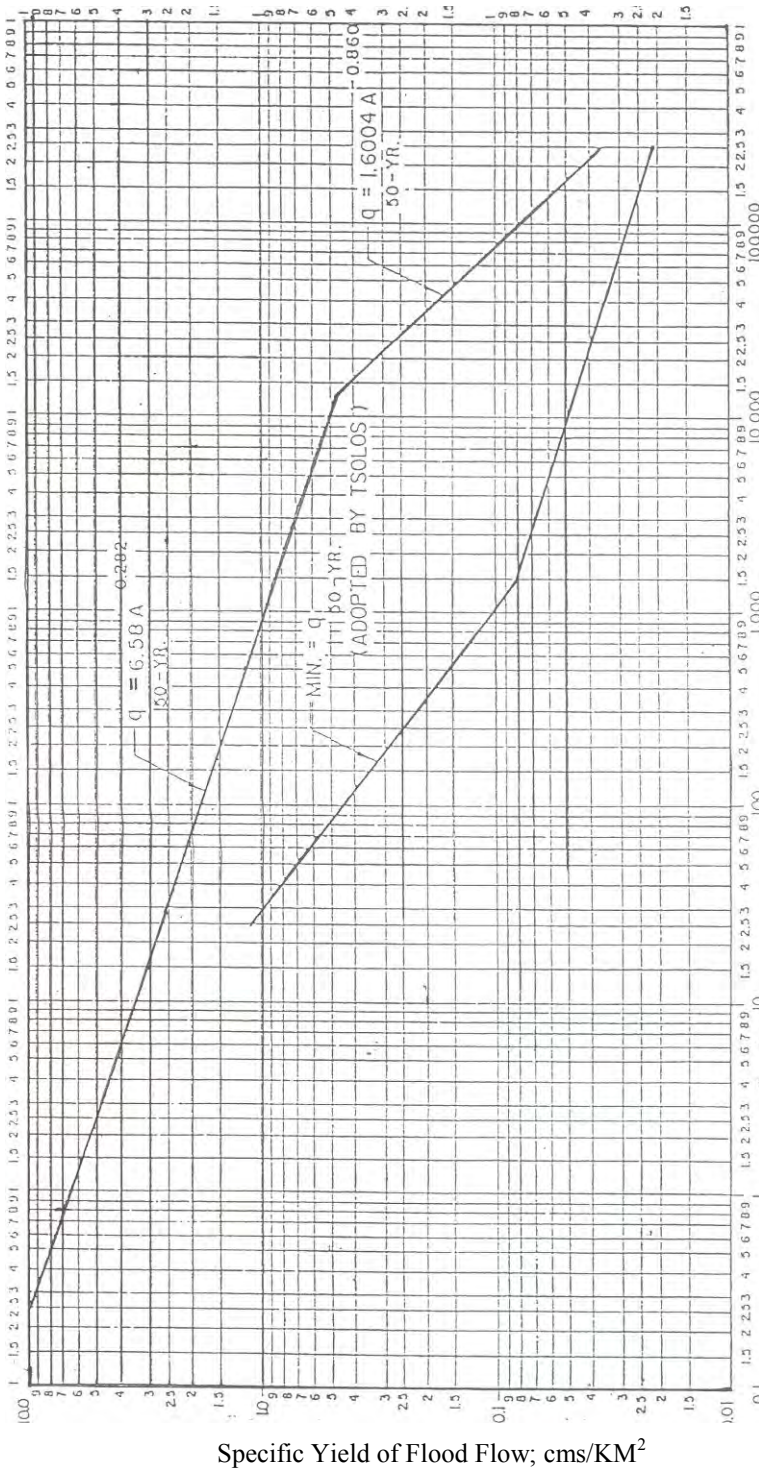
A = พื้นที่รับน้ำฝน (ตร.กม.)

tb = tr + tc (นาที)



รูปที่ ๔๕ รูปแบบการกระจายของอัตราการไหลเนื่องจากฝนตก

(๒.๒)วิธีใช้ SPECIFIC YIELD OF FLOOD เป็นวิธีการหาปริมาณน้ำไหลที่มากที่สุดโดยใช้กับพื้นที่รับน้ำ (Catchments Area) มากกว่า ๒๕ ตร.กม. โดยอาศัยกราฟรูปที่ ๖ ซึ่งสร้างจากความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่รับน้ำของกลุ่มน้ำต่าง ๆ ทั่วประเทศไทย กับปริมาณน้ำที่สูงสุดของแต่ละกลุ่มน้ำในรอบ ๕๐ ปี ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังกล่าวสร้างโดยวิธีการทางสถิติ แต่อย่างไรก็ตามการคิดปริมาณน้ำโดยวิธีนี้อาจจะมีความแปรเปลี่ยนพอสมควร ดังนั้นผู้ออกแบบควรจะใช้ระดับสูงสุดพิจารณาประกอบเพื่อความถูกต้องอีกชั้นหนึ่ง



Drainage Area; KM²

รูปที่ ๔๖ กราฟ The Specific Yield of Flood – Flow for River in Thailand

งานออกแบบด้านชลศาสตร์

หลังจากได้ค่าปริมาณน้ำหลาก ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบด้านอุทกวิทยาแล้ว จะทำการออกแบบขนาดอาคารระบายน้ำลงทางน้ำธรรมชาติ โดยออกแบบเป็นการไหลในทางน้ำเปิด (Open Channel) ด้วยแรงดึงดูดของโลก (Gravity Flow) ที่มีขนาดเหมาะสมต่อไป

๒.๓. SNYDER'S EQUATIONS

ใช้คำนวณหาอัตราการไหลสูงสุดสำหรับพื้นที่รับน้ำมากกว่า ๒๕ ตร.กม.

	Q_p	=	$0.001 q_p (\infty I - \emptyset) T_r A$
เมื่อ	Q_p	=	อัตราการไหลสูงสุด (ลบ.ม./ว.)
	∞	=	Reduction Factor ขึ้นกับขนาดลุ่มน้ำและช่วงเวลาฝนตก
	I	=	ความเข้มฝน (มม./ชม.)
	$\emptyset$	=	อัตราการซึมผ่านได้ของดิน (มม./ชม.) ขึ้นกับลักษณะผิวดินและพืชคลุมดิน
	A	=	พื้นที่รับน้ำ (ตร.กม.)
	T_r	=	$\frac{0.5 L^{0.60} L_d^{0.30}}{5.5}$
เมื่อ	T_r	=	ช่วงเวลาฝนวิกฤต (ชม.)
	L	=	ความยาวของลำน้ำจากจุดไกลสุดถึงจุดที่จะทำการก่อสร้างอาคารระบายน้ำ (กม.)
	L_d	=	อัตราส่วน L_c/L
	L_c	=	ความยาวของลำน้ำจากจุดที่ใกล้จุดศูนย์ถ่วงมากที่สุดถึงจุดที่จะทำการก่อสร้างอาคารระบายน้ำ (กม.)
	q_p	=	อัตราการไหลสูงสุด ของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า ซึ่งเกิดจากฝนส่วนเกิน ๑ มม. (ลิตร/ว./ตร.กม.)
		=	k_p/T_r
	k_p	=	สัมประสิทธิ์มีค่าประมาณ ๒๘ ถึง ๓๔ ขึ้นกับความลาดชันของลุ่มน้ำ และพืชคลุม

ดิน

รูป กราฟ Retuction Factor (∞) ตามขนาดพื้นที่
ตาราง แฟกเตอร์ของพืชปกคลุมดินที่มีผลต่อการซึมผ่านผิวดิน
ตาราง อัตราการซึมผ่านได้ของดิน ($\emptyset$)
ตาราง สัมประสิทธิ์การไหลสูงสุด (k_p)

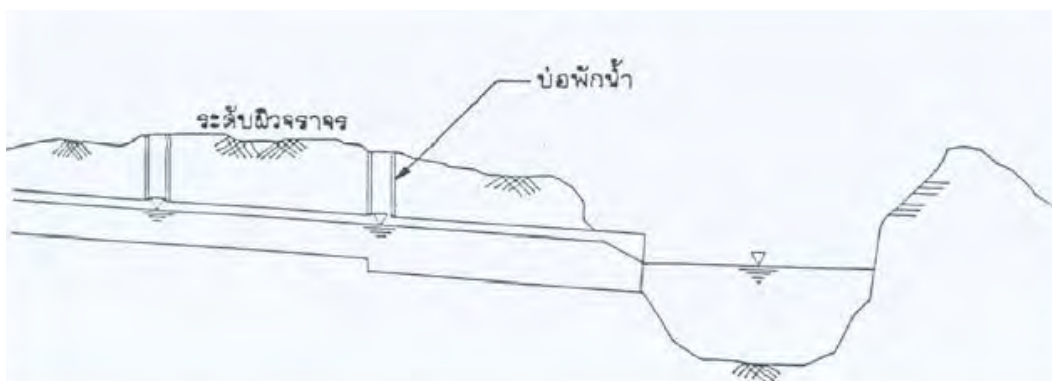
ขั้นตอนการคำนวณ SNYDER

๑. จากแผนที่ ๑: ๕๐,๐๐๐ แบ่งพื้นที่รับน้ำย่อยและคำนวณหาขนาดพื้นที่ A
๒. หาค่า L และ L_d ของพื้นที่
๓. คำนวณหาค่า T_r
๔. จากลักษณะภูมิประเทศ หาค่า k_p จากตาราง
๕. คำนวณ $q_p = k_p/T_r$ (ลิตร/ว./ตร.กม.)
๖. จากกราฟ IDF - CURVE ของพื้นที่ฝนตกโดยใช้ค่า T_r อ่านค่า I ตามช่วงเวลาออกแบบ (RETURN PERIOD)
๗. จากขนาดพื้นที่ (A) , ช่วงเวลาฝนตก (T_r) อ่านค่า α จากกราฟ
๘. จากลักษณะผิวดินและพืชคลุมดิน หาค่า ϕ (มม./ชม.)
๙. คำนวณ $Q_p = 0.001 q_p (\alpha I - \phi) T_r A$ (ลบ.ม./ว.)
๑๐. คำนวณ REQUIRED OPENING AREA , ROA
$$ROA = Q_p/V$$
๑๑. ออกแบบชนิดและขนาดอาคารระบายน้ำ (DESIGN OPENING AREA , DOA)
๑๒. คำนวณหาอัตราส่วน $DOA/ROA > 1$

ท่อระบายน้ำ

การคำนวณหาขนาดท่อระบายน้ำจะแบ่งการพิจารณาออกแบบเป็น ๒ กรณี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของพื้นที่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

(ก) กรณีจุดทิ้งน้ำมีระดับน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะต่ำกว่าระดับท้องท่อระบายน้ำกรณีนี้ ระดับน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะมีระดับต่ำกว่าระดับท้องท่อระบายน้ำดังแสดงในรูปที่ ๗



รูปที่ ๔๗ จุดทิ้งน้ำมีระดับน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะต่ำกว่าระดับท้องท่อระบายน้ำ

การไหลของน้ำในเส้นท่อระบายน้ำเป็นลักษณะของ Steady Flow in Open Channel โดยใช้สูตร Manning ซึ่งมีสูตรคำนวณดังนี้

$$V = (1/n) R^{2/3} S^{1/2}$$

โดยที่ V = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในเส้นท่อ (ม./วินาที)

R = รัศมีชลศาสตร์ของหน้าตัดการไหล (ม. = A/P)

A = พื้นที่หน้าตัดของทางน้ำไหล (ตร.ม.)

P = ความยาวเส้นขอบเปียก (ม.)

S = ลาดตามยาวของการไหล

n = สัมประสิทธิ์ของแมนนิง (Manning Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์ของแมนนิง สำหรับผิวคอนกรีตกำหนดให้มีค่าเท่ากับ ๐.๐๑๕ โดย

ตั้งสมมุติฐานว่าเป็นทางระบายน้ำตรง (มีมุมเบี่ยงเบนไม่เกิน ๕ องศา) และรวมค่าความสูญเสียเล็กน้อย (Minor Loss) ต่างๆ ไว้แล้ว เช่น ที่รอยต่อเชื่อมระหว่างท่อ ที่รอยต่อเชื่อมระหว่างท่อกับบ่อตรวจระบาย เป็นต้น หรือหาได้จากตารางที่ ๒

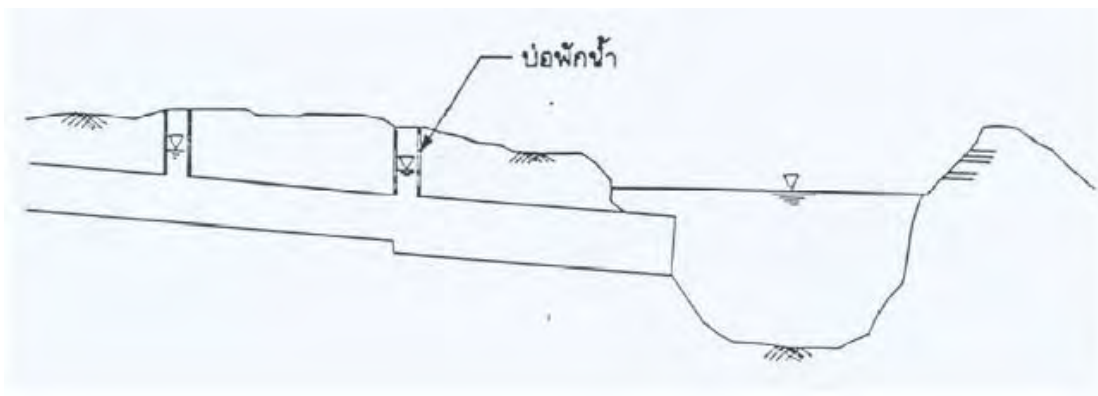
$$Q = VA$$

โดยที่ Q = อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)

V = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในเส้นท่อ (ม./วินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของทางน้ำไหล (ตร.ม.)

(ข) กรณีจุดทั้งน้ำมีระดับน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะสูงกว่าระดับท้องท่อระบายน้ำกรณีนี้ ระดับน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะมีระดับสูงกว่าระดับท้องท่อระบายน้ำดังแสดงในรูปที่ ๘



รูปที่ ๔๘ จุดทั้งน้ำมีระดับน้ำในแหล่งน้ำสาธารณะสูงกว่าระดับท้องท่อระบายน้ำ

การไหลของน้ำในเส้นท่อระบายน้ำเป็นลักษณะของ Steady Flow under Pressure โดยใช้สูตร Darcy-Weisbach โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$h_f = \frac{f \cdot L \cdot V^2}{D \cdot 2g}$$

โดยที่ h_f = การสูญเสียระดับในท่อ (ม.)

f = Friction Factor

L = ความยาวท่อ (ม.)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อ (ม.)

V = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในเส้นท่อ (ม./วินาที)

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก (ม./วินาที^๒)

ตารางที่ค่าสัมประสิทธิ์ของแมนนิง (n)

ผิวทางน้ำเปิด	n
(1) ทางน้ำเปิดธรรมชาติ (Natural Channels)	
เรียบและตรง	0.030
ไหลช้าเนื่องจากมีสระลึกเป็นช่วงๆ	0.040
แม่น้ำสายหลัก	0.035
(2) ลุ่มแม่น้ำที่มีน้ำท่วมถึง (Flood Plains)	
ทุ่งหญ้า	0.035
ไม้พันธุ์เดี่ยวบางๆ	0.050
ไม้พันธุ์เดี่ยวมาก	0.075
ต้นไม้	0.150
(3) ทางน้ำเปิดดินขุด (Excavated Earth Channels)	
เรียบ	0.022
มีกรวดบ้าง	0.025
เต็มไปด้วยหญ้า	0.030
ก้อนหิน	0.035
(4) ทางน้ำเปิดคาดผิว (Artificially Lined Channels)	
แก้ว	0.010
ทองเหลือง	0.011
เหล็กเรียบ	0.012
เหล็กทาสี	0.014
เหล็กมีหมุดย้ำ	0.015
เหล็กหล่อ	0.013
คอนกรีตขีดผิว	0.012
คอนกรีตผิวหยาบ	0.014
ไม้ไผ่เรียบ	0.012
ไม้ไม่ได้ไล	0.013
ดินเหนียว	0.014
ก่ออิฐ	0.015
แอสฟัลต์	0.016
โลหะลูกฟูก	0.022
หินเรียง	0.025

(ค) การสูญเสียพลังงานย่อยของท่อ

ในกรณีที่น้ำไหลผ่านอาคารพิเศษหรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือทิศทางการระบายน้ำ จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการไหล โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$HL = \frac{K \cdot V^2}{2g}$$

โดยที่ HL = การสูญเสียพลังงาน (ม.)

K = สัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงาน

V = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในเส้นท่อ (ม./วินาที)

g = อัตราเร่งของแรงโน้มถ่วงของโลก (ม./วินาที^๒)

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงาน (K) แสดงในตารางที่ ๓

ตารางค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงาน (K)

อาคาร	ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงาน (K)
1. บ่อตรวจระบาย (Manholes)	
0° < θ < 5°	0.05-0.10
5° < θ < 15°	0.10-0.30
15° < θ < 30°	0.30-0.50
30° < θ < 90°	0.50-1.00
2. ทางเข้าท่อลอดขอบเหลี่ยม	0.50

(ง) สมการต่อเนื่อง

พิจารณาสภาพการไหลของน้ำที่หน้าตัด (๑) ต้องเท่ากับที่หน้าตัด (๒) บริเวณเหนือน้ำ และท้ายน้ำ

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$

โดยที่ Q = อัตราการไหล

A_๑V_๑ = ความเร็วของการไหลที่หน้าตัด (๑) และหน้าตัด (๒)

A_๒V_๒ = พื้นที่หน้าตัดของการไหลที่หน้าตัด (๑) และหน้าตัด (๒)

อาคารน้ำลอด

อาคารน้ำลอด ได้แก่ ท่อลอด (Culvert) และไซฟอน (Syphon) ซึ่งมีไว้สำหรับให้น้ำในคลองไหลลอดหรือไหลผ่านเมื่อแนวคลองตัดกับถนนหรือทางน้ำ มีรายละเอียดดังนี้

(ก) ท่อลอด

ขนาดของท่อลอดควรจะมีขนาดใหญ่พอที่จะทำความสะอาดท่อจากการสะสมของตะกอนที่พัดพามากับน้ำในขณะที่เกิดน้ำหลาก ซึ่งอาจจะใช้น้ำฉีดตะกอนออกจากท่อหรือลอดเข้าไปทำความสะอาดภายในท่อ ท่อขนาด

เล็กที่สุดสำหรับอาคารท่อลอดลักษณะเส้นผ่าศูนย์กลาง ๐.๘๐ ม.ขนาดของท่อลอดในอาคารท่อลอดสำหรับระบายน้ำหลากประมาณได้จากสูตร ดังนี้

$$h_1 = 0.141 \frac{(Q^2)}{D^4} + 0.017 \frac{(Q^2)}{D^{5.3}} L$$

โดยที่ h_1 = หัวน้ำในการระบายน้ำ (เมตร)

Q = อัตราการระบายน้ำเป็น (ลบ.ม./วินาที)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (เมตร)

L = ความยาวของท่อ (เมตร)

(ข) ไชฟอน

ส่วนไชฟอนควรใช้ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ โดยที่ขนาดของท่อคิดมาจากรวดเร็วของน้ำภายในท่อที่จะไม่ให้เกิดการตกตะกอน และมีความเร็วสูงพอที่จะพัดพาตะกอนที่อาจตกค้างภายในท่อหลังจากการส่งน้ำในแต่ละวันให้หลุดออกไป ความเร็วต่ำสุดภายในท่อไม่น้อยกว่า ๑.๒ ม./วินาที แต่ไม่เกิน ๒.๕ ม./วินาที และหัวน้ำที่ใช้ในการดันน้ำผ่านท่อมีค่าโดยประมาณดังนี้

$$h = 0.0248 + 0.0015 \times 33.1DL$$

โดยที่ h = หัวน้ำในการระบายน้ำ (เมตร)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (เมตร)

L = ความยาวของท่อ (เมตร)

- การออกแบบอาคารระบายน้ำตามแนวนานกับแนวทาง

องค์ประกอบของระบบระบายน้ำ

องค์ประกอบของระบบระบายน้ำตามแนวนานกับแนวทางประกอบด้วย

๑) ท่อระบายน้ำ

ในการออกแบบระบบระบายน้ำตามแนวนานสำหรับทางหลวง โดยทั่วไปจะเลือกใช้ท่อระบายน้ำ คสล. ซึ่งปกติที่นิยมใช้กันมี ๒ ชนิด ได้แก่

ก) ท่อระบายน้ำ คสล. ชนิดกลม

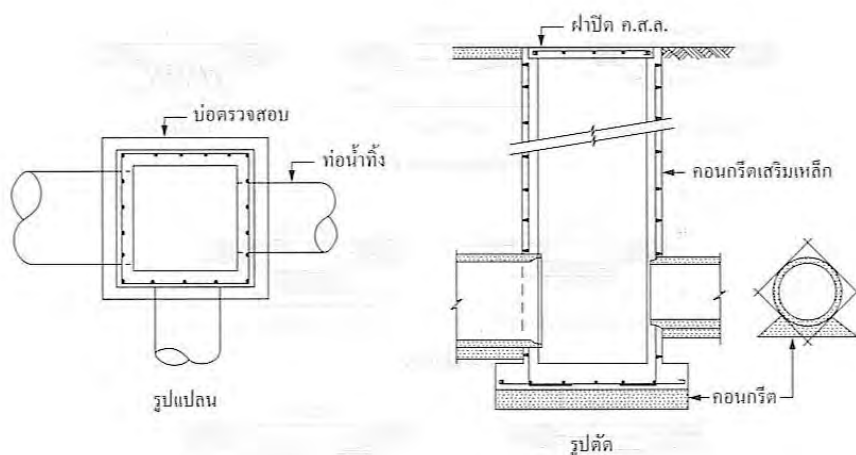
ท่อระบายน้ำ คสล. ชนิดกลมที่ใช้เป็นท่อตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเป็นชนิดหล่อสำเร็จความยาวท่อนละ ๑.๐๐ ม. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในตั้งแต่ ๐.๖๐ เมตรถึง ๑.๒๐ เมตร

ข) ท่อระบายน้ำ คสล. ชนิดสี่เหลี่ยม

ท่อระบายน้ำ คสล. ชนิดสี่เหลี่ยมที่ใช้มีทั้งชนิดหล่อสำเร็จ และแบบหล่อในที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ตั้งโครงการ และลักษณะการใช้งานนอกจากท่อระบายน้ำ คสล. ยังมีทางระบายน้ำรูปแบบอื่นๆ ได้แก่ รางระบายน้ำรูปตัวยู รางระบายน้ำรูปสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นต้น

๒) บ่อพักน้ำ (manhole)

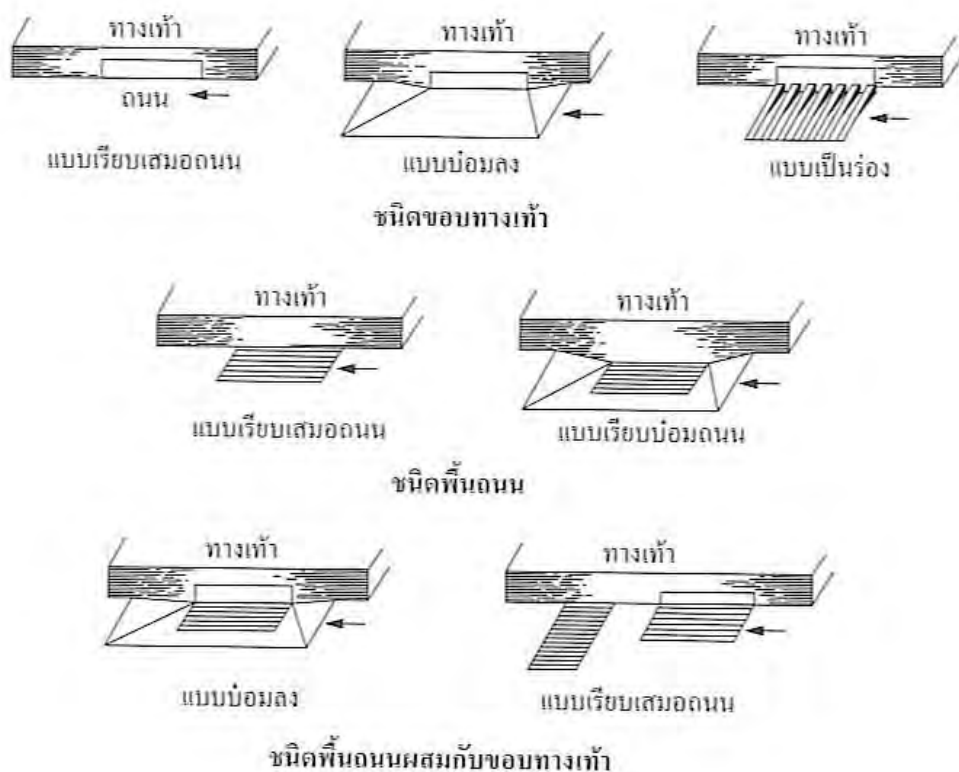
ในระบบระบายน้ำจะมีการก่อสร้างบ่อพักน้ำเป็นระยะ ๆ ตลอดแนวท่อระบายน้ำ เพื่อใช้ในการทำความสะอาด และบำรุงรักษาท่อระบายน้ำ โดยระยะห่างระหว่างบ่อพักน้ำแต่ละบ่อพักน้ำจะต้องไม่ห่างกันมากเกินไป จนทำให้ไม่สามารถลงไปทำความสะอาดท่อระบายน้ำได้หรือทำความสะอาดท่อระบายน้ำได้ไม่สะดวก รูปแบบของบ่อพักน้ำโดยทั่วไปแสดงใน รูปที่ ๔๙



รูปที่ ๔๙ รูปแบบของบ่อพักน้ำ

๓) ทางน้ำเข้าข้างถนน (street inlet)

จะทำหน้าที่รับน้ำจากถนนให้ไหลลงสู่ท่อระบายน้ำฝน ซึ่งพอจะแบ่งได้เป็น ๓ รูปแบบ คือชนิดขอบทางเท้า ชนิดพื้นถนน และชนิดผสมดังแสดงในรูปที่ ๕๐



รูปที่ ๕๐ รูปแบบของทางน้ำเข้าข้างถนน

เกณฑ์และข้อกำหนดในการออกแบบ

๑) กำหนดให้ความเร็วของน้ำภายในท่อระบายน้ำต่ำสุดไม่น้อยกว่า ๐.๖๐ ม./วินาที เพื่อป้องกันการตกตะกอนของตะกอนในเส้นท่อ และความเร็วของน้ำภายในท่อระบายน้ำสายหลักสูงสุดไม่เกิน ๓.๐๐ ม./วินาที เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของท่อ เนื่องจากแรงเฉือนของน้ำในเส้นท่อระบายน้ำ

๒) ขนาดท่อระบายน้ำต่ำสุด จะใช้ท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย ๐.๖๐ เมตร เพื่อป้องกันการอุดตันของตะกอนภายในเส้นท่อ และเพื่อความสะดวกในการทำความสะดวกท่อระบายน้ำสายหลัก

๓) ความลาดชันตามยาวของท่อระบายน้ำจะขึ้นอยู่กับขนาดของท่อระบายน้ำ และลักษณะสภาพภูมิประเทศของพื้นที่โครงการ และมีความลาดชันน้อยที่สุด แต่ต้องไม่ทำให้ความเร็วของน้ำภายในท่อน้ำน้อยเกินไปจนเกิดการตกตะกอนของตะกอนในเส้นท่อ ซึ่งค่าความลาดชันตามยาวของท่อระบายน้ำต้องไม่น้อยกว่า ๑:๑๒๕๐

๔) ระดับน้ำภายในท่อระบายน้ำสายหลัก กำหนดให้น้ำไหลเต็มท่อระบายน้ำพอดีที่อัตราไหลของน้ำท่าสูงสุดที่คำนวณได้จากวิธี Rational Method

๕) การเปลี่ยนขนาดท่อระบายน้ำสายหลัก กำหนดให้ทำการเชื่อมต่อท่อระบายน้ำที่มีขนาดต่างกันโดย ให้ระดับสันท่อระบายน้ำสายหลักทั้ง ๒ ขนาดอยู่ในระดับเดียวกัน

๖) การวางท่อระบายน้ำจะต้องมีดินถมหลังท่อระบายน้ำสูงไม่น้อยกว่า ๐.๖๐ เมตร และจะฝังท่อระบายน้ำลึกที่สุดไม่ควรเกิน ๖.๐ เมตร แต่ทั้งนี้ความลึกในการฝังท่อระบายน้ำนี้ จะขึ้นอยู่กับพิจารณาถึงความเหมาะสมในด้านต่าง ๆ ประกอบด้วย เช่น ค่าลงทุนก่อสร้าง ความจำเป็นในการลดจำนวนสถานีสูบน้ำ และความยาก-ง่ายในการก่อสร้าง เป็นต้น

ขั้นตอนการออกแบบ

๑) ทำการสำรวจและการรวบรวมข้อมูล เพื่อจัดทำแบบแปลนและรูปตัดของถนนหรือทางหลวงที่จะทำการออกแบบ

๒) ทำการหาพื้นที่รับน้ำ (catchment area) สำหรับระบบระบายน้ำแต่ละสาย

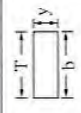
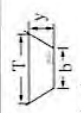
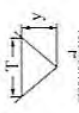
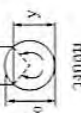
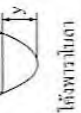
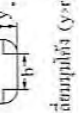
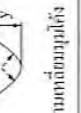
๓) เลือกแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้ม-ช่วงเวลา-ความถี่ของฝนที่แต่ละรอบปีของการเกิดซ้ำของพื้นที่โครงการ (IDF CURVE)

๔) คำนวณหาค่าเวลาน้ำท่าสูงสุดสำหรับการระบายน้ำ (Tc) โดยการคำนวณด้วยสูตร $t_c = t_o + t_t$ จากนั้นนำค่าเวลาน้ำท่าสูงสุดสำหรับการระบายน้ำไปหาค่าความเข้มของฝน คาบความถี่ของฝนที่กำหนด จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณน้ำท่าจากสมการ $Q = 0.278CIA$ (พื้นที่รับน้ำน้อยกว่า ๒๕ ตร.กม.)

๕) ทำการคำนวณหาขนาดทางระบายน้ำที่เหมาะสมกับด้วยใช้สูตร Manning

$V = (๑/n)R^{๒/๓} S^{๑/๒}$ ทั้งนี้รูปทรงทางเรขาคณิตและสูตรที่ใช้ในการคำนวณสำหรับทางน้ำเปิดรูปแบบต่างๆ แสดงในตารางที่ ๓

ตารางที่ ๓ รูปทรงทางเรขาคณิตและสูตรที่ใช้ในการคำนวณสำหรับทางน้ำเปิดรูปแบบต่างๆ

หน้าตัด	พื้นที่ A	เส้นขอบเปียก P	รัศมีไฮดรอลิก R	ความกว้างผิว T	ความลึกไฮดรอลิก D	ปัจจัยหน้าตัด Z
 สี่เหลี่ยมผืนผ้า	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y	$by^{1.5}$
 สี่เหลี่ยมคางหมู	$(b + Zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + Z^2}$	$\frac{(b + Zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + Z^2}}$	$b + 2zy$	$\frac{(b + Zy)y}{b + 2zy}$	$\frac{[(b + Zy)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2zy}}$
 สามเหลี่ยม	Zy^2	$2y\sqrt{1 + Z^2}$	$\frac{Zy}{2\sqrt{1 + Z^2}}$	$2zy$	$\frac{y}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2} Zy^{2.5}$
 วงกลม	$\frac{1}{8} (9 - \sin \theta) d_o^3$	$\frac{1}{2} \theta d_o$	$\frac{1}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right) d_o$	$\frac{(\sin \frac{1}{2} \theta) d_o}{2\sqrt{y} (d_o - y)}$	$\frac{1}{8} \left(\frac{9 - \sin \theta}{\sin \frac{\theta}{2}} \right) d_o$	$\frac{\sqrt{2}}{32} \frac{(9 - \sin \theta)^{1.5}}{\left(\sin \frac{\theta}{2} \right)^{0.5}} d_o^{2.5}$
 โค้งพาราโบลา	$\frac{2}{3} Ty$	$T + \frac{8}{3} \frac{y^3}{T}$	$\frac{2Ty^3}{3T^3 + 8y^3}$	$\frac{3}{2} \frac{A}{y}$	$\frac{2}{3} y$	$\frac{2}{9} \sqrt{6Ty^{1.5}}$
 สี่เหลี่ยมไข่ (y-r)	$\left[\frac{\pi}{2} - 2 \right] r^2 + (b + 2r) y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{(\pi/2 - 2)r^2}{b + 2r} + y$	$\frac{[(\pi/2 - 2)r^2 + (b + 2r)y]^{1.5}}{\sqrt{b + 2r}}$
 สามเหลี่ยมครึ่งวงกลม	$\frac{\pi r^2}{4z} - \frac{r^2}{4z} (1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{\pi}{z} \sqrt{1 + z^2} - \frac{2\pi}{z} (1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{A}{P}$	$2[z(y - r) + r\sqrt{1 + z^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

หมายเหตุ * ใช้ปริมาณได้ในช่วง $0 < x \leq 1$ โดยที่ $x = 4y/T$ ส่วนในกรณีที่ $x > 1$ สามารถหาเส้นขอบเปียกได้จาก $P = (T/2) [\sqrt{1 + x^2} + 1/x \ln(x + \sqrt{1 + x^2})]$

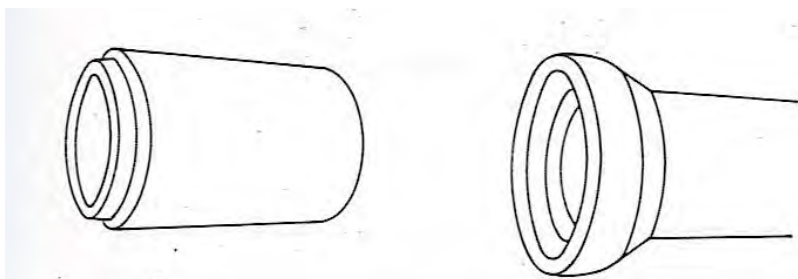
- การออกแบบอาคารระบายน้ำตามแนวตั้งฉากกับแนวทาง

รูปแบบของระบบระบายน้ำ

อาคารระบายน้ำตามแนวตั้งฉากกับแนวทางที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบันมี ๓ ประเภท ได้แก่

๑) ท่อกลม (RCP CULVERT)

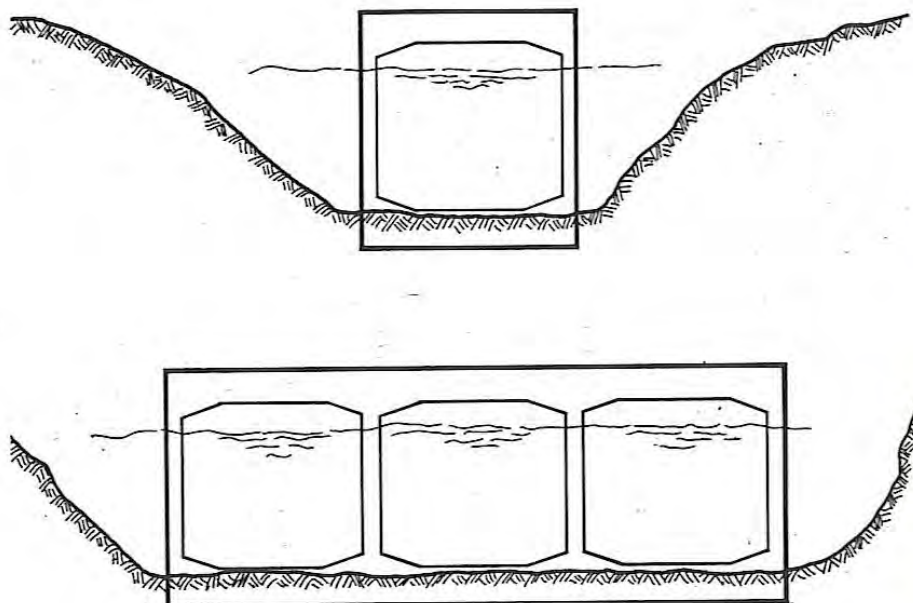
ใช้ในกรณีที่เส้นทางน้ำเล็กๆ ไม่ลึกมากนัก ในฤดูแล้งน้ำแห้ง ไม่มีสิ่งลอยน้ำ เช่น ขอนไม้ใหญ่ถ้ามีต้องไม่เป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำในท่อ ท่อกลมใช้ในกรณีระบายน้ำเอ่อ เช่น เมื่อถนนตัดผ่านที่ลุ่ม เป็นต้น และใช้ในกรณีเร่งด่วน เช่น เมื่อสะพานไม้เดิมสั้นๆ ที่มีอยู่เดิมชำรุด ก็รื้อออกแล้วฝังท่อกลมแทน เพราะท่อกลมสามารถก่อสร้างได้เร็วมาก รูปแบบของท่อกลม แสดงในรูปที่ ๑๑



รูปที่ ๕๑ ท่อกลม

๒) ท่อเหลี่ยม (BOX CULVERT)

ใช้ในกรณีที่เส้นทางน้ำไม่ใหญ่นักขนาดความกว้างไม่เกิน ๑๕.๐๐ เมตร และลึกไม่เกิน ๓.๕๐ เมตร ในฤดูแล้งน้ำแห้ง (ถ้ามีน้ำตลอดปี การเลือกใช้ท่อเหลี่ยมจะไม่ค่อยเหมาะสมนัก) ไม่มีการจราจรทางน้ำ ไม่มีสิ่งลอยน้ำ เช่น ขอนไม้ใหญ่ ที่อาจเป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำในท่อรูปแบบของท่อเหลี่ยมแสดงในรูปที่ ๑๒



รูปที่ ๕๒ ท่อเหลี่ยม

๓) สะพาน

ใช้ในกรณีที่เส้นทางน้ำไม่เหมาะสมจะใช้ท่อกลมหรือท่อเหลี่ยม ความกว้างลำน้ำไม่ควรน้อยกว่า ๑๐.๐๐ เมตร และมีความลึกมากกว่า ๔.๐๐ เมตร มีน้ำไหลตลอดปี มีการจราจรทางน้ำ มีสิ่งลอยน้ำ เช่น ขอนไม้ใหญ่ แพ ซุง เป็นต้น การเลือกขนาดของสะพานควรยาวพอ และพยายามให้มีจำนวนตอม่อในลำน้ำน้อยที่สุด ในทางทฤษฎีแล้วไม่ควรมียอดม่อในลำน้ำ แต่ในทางปฏิบัติแล้วทำได้ยาก เนื่องจากจะมีราคาแพง ซึ่งการมียอดม่อในลำน้ำจำนวนมากจะเป็นอุปสรรคต่อการไหลของน้ำ ดังนั้นจึงควรเลือกขนาดของช่วงสะพานที่เหมาะสมกับลำน้ำ โดยคำนึงถึงองค์ประกอบอื่น ๆ พร้อมกัน ได้แก่ ขนาดของเรือ ขนาดของขอนไม้ และแพซุง

ข้อกำหนดในการออกแบบลอดถนน

การวางท่อระบายน้ำข้ามถนนต้องพยายามวางให้ตั้งฉากกับศูนย์กลางของถนนและมีความลาดชันของท่อเท่ากับความลาดชันของท้องน้ำหรือของพื้นที่บริเวณนั้น เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการตกตะกอน หรือเกิดการกัดเซาะบริเวณท่อลอด การกำหนดขนาดท่อลอดควรพิจารณาถึงส่วนประกอบดังนี้

๑) ความลึกของระดับน้ำตรงปากทางเข้าท่อ เป็นตัวช่วยกำหนดขนาดของท่อ ในทางกลับกันปริมาณการไหลของน้ำในท่อจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับน้ำเหนือท่อเช่นกัน จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ สรุปว่าท่อจะถือว่าจมน้ำเมื่ออัตราส่วนระหว่างความสูงของระดับน้ำสูงกว่าระดับหลังท่อ ๑:๒ ซึ่งทำให้น้ำไหลเต็มท่อ

๒) ความลึกของระดับน้ำตรงปากทางออกจากท่อ ถ้าระดับน้ำทั้งทางเข้าและทางออกสูงกว่าระดับหลังท่อ น้ำจะไหลเต็มท่อ

๓) ลักษณะของปากทางเข้าท่อ ถ้าออกแบบไม่เหมาะสมจะทำให้การระบายน้ำมีประสิทธิภาพลดลง จากการศึกษาพบว่าถ้าลักษณะปากทางเข้าท่อตลอดเป็นชนิด Flared หรือ Wing Type จะมีประสิทธิภาพดีกว่าชนิด Square Edge ซึ่งน้ำจะไหลไม่เต็มท่อ

๔) ลักษณะผิวภายในของท่อตลอด (Roughness) ผิวท่อเรียบจะระบายน้ำได้ดีกว่าผิวท่อขรุขระ

๕) ความลาดชันของท่อ ถ้าลาดชันน้อยอาจจะทำให้ระดับน้ำปากทางเข้าท่อสูงเอ่อ และตกตะกอน ถ้าชันมากเกินไปจะทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณท่อตลอด เป็นต้น

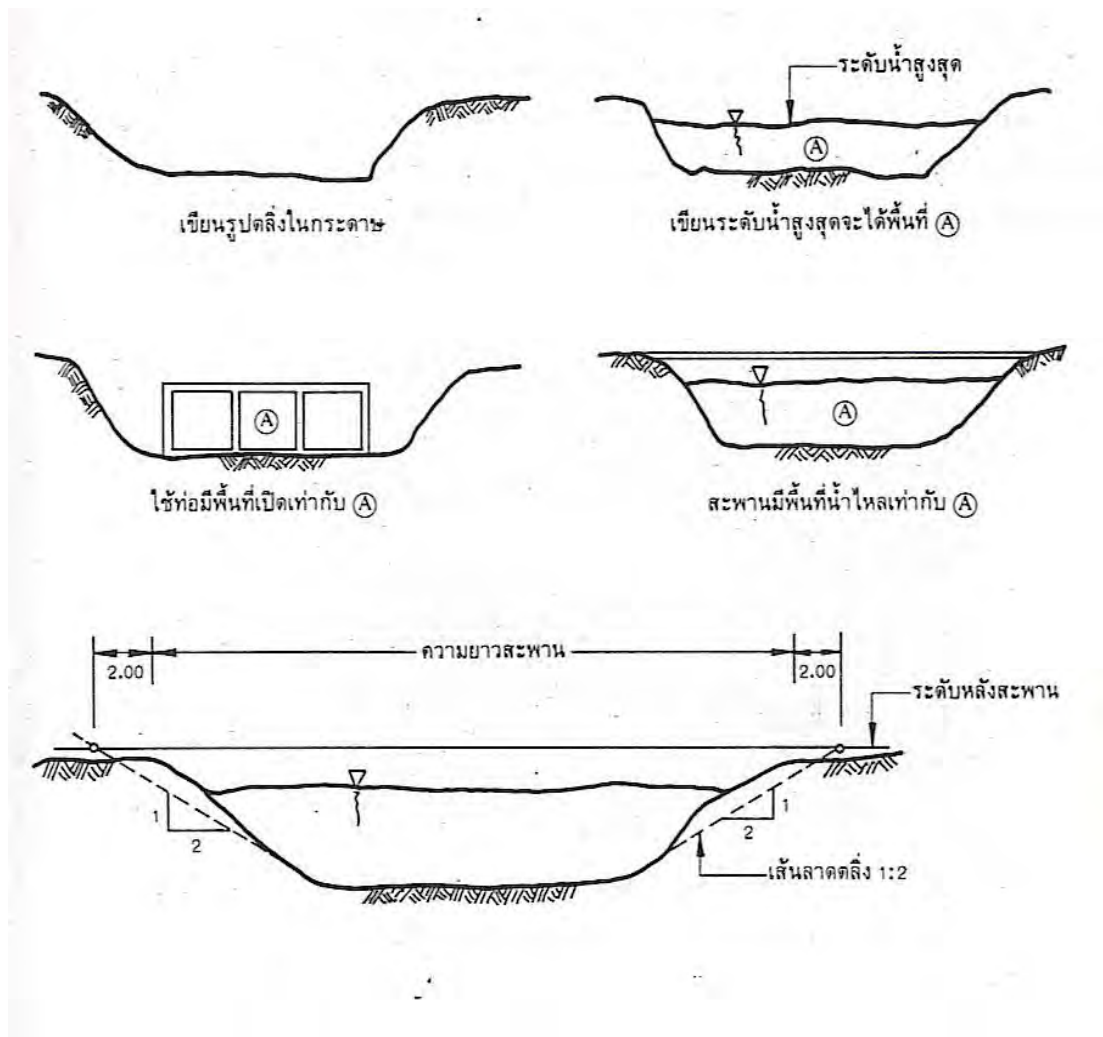
การกำหนดขนาดท่อหรือสะพาน

การกำหนดขนาดท่อหรือสะพานมีวิธีการกำหนดดังนี้

๑) ใช้ค่าระดับน้ำสูงสุดในสนาม

นำรูปตัดที่ได้จากการสำรวจในสนามมาเขียนระดับน้ำสูงสุดลงไปจะได้พื้นที่ (A) ดังแสดง

ในรูปที่ ๑๒ จากนั้นทำการกำหนดขนาดท่อหรือสะพานให้มีขนาดช่องเปิดเท่ากับพื้นที่(A) สำหรับขนาดของท่อนั้นสามารถกำหนดให้มีขนาดเท่ากับ (A) ส่วนสะพานนั้นความยาวหาได้จากการลากเส้นลาดของตลิ่ง ๑:๒ จากกันคลองขึ้นไปตัด กับเส้นระดับหลังสะพาน แล้ววัดจากจุดตัดทั้งสองฝั่งเข้าไปในลำน้ำข้างละ ๒.๐๐ เมตร จะได้เป็นความยาวของสะพาน



รูปที่ ๕๓ การกำหนดขนาดท่อ หรือสะพาน

๒) ใช้วิธี การคำนวณ

ตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ตัวอย่างการคำนวณวิธี RATIONAL METHOD

ทางหลวงชนบท สาย สี่แยกทุ่งคา - บ.ถ้ำสิงห์ ต.ทุ่งคา ต.ถ้ำสิงห์ อ.เมือง จ.ชุมพร ระยะทาง ๗.๗ กม.

- เขียนแนวถนนลงในแผนที่ ๑ : ๕๐,๐๐๐ ลากเส้นของเขตพื้นที่รับน้ำตามแนวสันปันน้ำที่มีอิทธิพลต่อแนวถนน แบ่งพื้นที่รับน้ำย่อยตามระยะทางเป็นช่วงๆ โดยดูจากค่าระดับของสายทางที่มีค่าระดับสูงๆ และเป็นแนวสันปันน้ำที่ไหลลงลงน้ำ (เส้นขอบเขตพื้นที่รับน้ำย่อยไม่ควรตัดแนวลำน้ำ) และคำนวณหาพื้นที่รับน้ำย่อยละช่วง **ดูรูปที่ ๑**

AREA NO A๑ STA. ๐+๐๐๐ - STA. ๐+๘๐๐

AREA = ๐.๑๘ ตร.กม. < ๒๕ ตร.กม.

๒. L = ๐.๔ กม.

H = ๕ ม.

ทิศทางการไหล จาก RT → LT

$$T_c = \left(\frac{0.847 L}{H} \right)^{0.385} \quad 0.385$$

$$= 0.018 \text{ ซม. ใช้ } 30 \text{ นาที}$$

๓. จาก IDF – CURVE ของ จ.ชุมพร รูปที่ ๒

RETURN PERIOD ๒๕ ปี

$$\text{ได้ค่า } I = 145 \text{ มม./ชม.}$$

๔. หาค่า RUNOFF COEFFICIENT, C รูปที่ ๓

ลักษณะพื้นที่ BAND ๓

$$C = 0.32$$

๕. หาค่า Q = 0.278 CIA

$$= 0.278 \times 0.32 \times 145 \times 0.18$$

$$= 2.32 \text{ ลบ.ม./ว.}$$

๖. หาค่า REQUIRED OPENING AREA, ROA

$$\text{สมมติ } V = 2.0 \text{ ม./ว.}$$

$$ROA = Q/V = 2.32/2$$

$$= 1.16 \text{ ตร.ม.}$$

๗. DESIGN OPENING AREA, DOA

ใช้ RCP. $\phi 0.80$ ม.

$$DOA = 2.01 \text{ ตร.ม.}$$

๘. DOA/ROA = $\frac{2.01}{1.16}$

$$1.73$$

$$= 1.73 > 1 \text{ Ok.}$$

เพื่อให้ได้ความเร็วการไหล ๒.๐ ม./ว.

ใช้ Slope ท่อ = ๐.๐๐๗๗ (ใช้สูตร MANNING)

ท่อยาว ๑๕ ม. ระดับแตกต่างของปากท่อ = ๐.๑๒ ม.

หมายเหตุ

กรณีระดับสองข้างทางแตกต่างกันมากๆ ไม่ควรวางท่อลาดเอียงมากเกินไป โดยควบคุมความเร็วการไหลไม่ให้เกิน ๕ ม./ว. และคำนวณหา Slope ท่อ หากระดับที่ระบายออก (OUTLET) อยู่สูง ให้ก่อสร้างราง คสล. รองรับน้ำลงสู่ด้านล่าง

ตารางการคำนวณหาปริมาณน้ำ

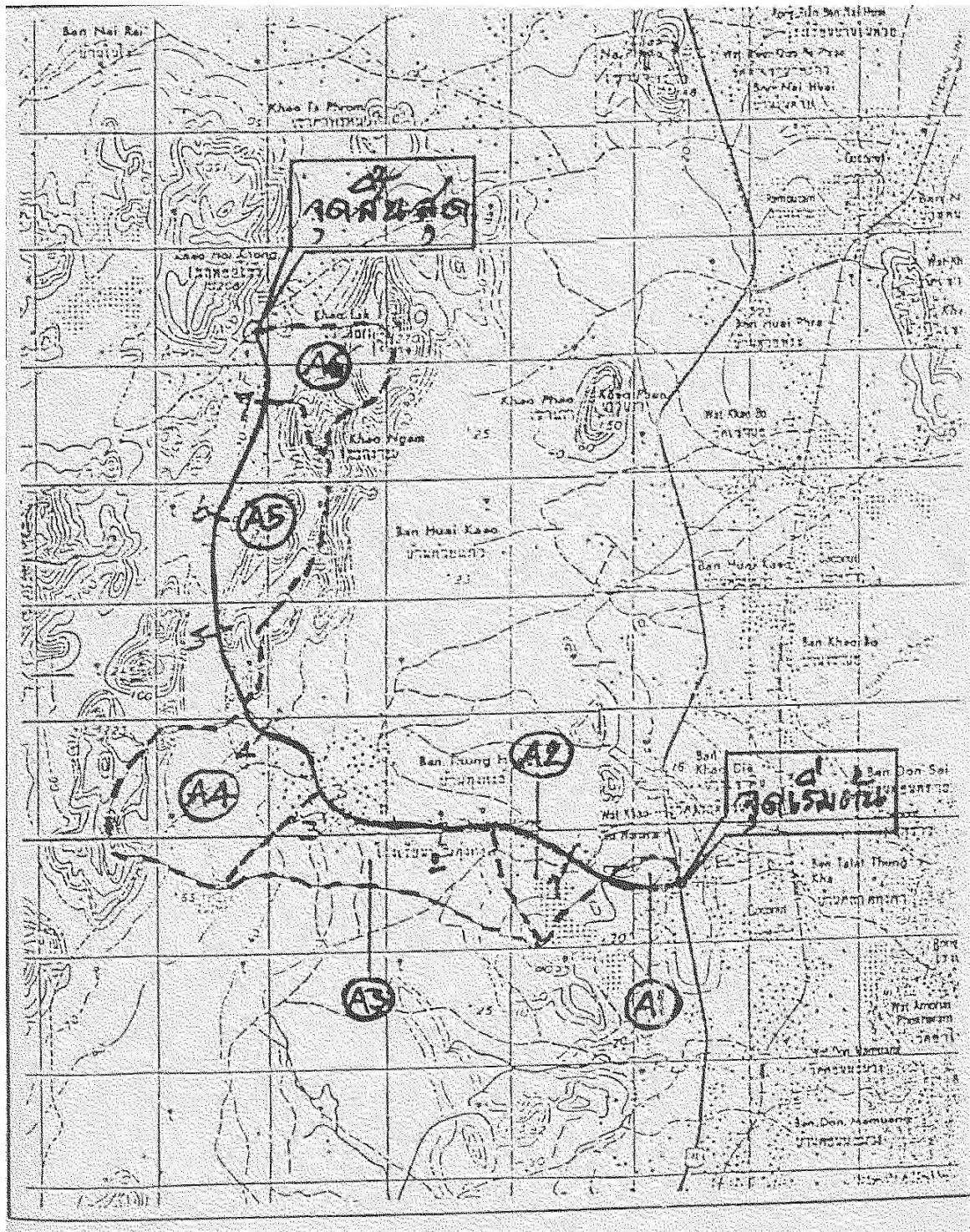
(Tr = ๒๕ yrs.)

AREA NO.	WATERSHED BOUNDARY		A (sq.m.)	L (km)	H (m)	Te		I (mm/hr)	C	Q (cms)	REMARK
	FROM STA.	TO STA.				(hr.)	(min)				
๑	๐+๐๐๐	๐+๘๐๐	๐+๑๘	๐.๔	๕	๐.๑๘	๓๐.๐	๑๔๕	๐.๓๒	๒.๓๒	R → L
๒	๐+๓๐๐	๑+๘๐๐	๐+๔๐	๑.๐	๒๕	๐.๒๘	๓๐.๐	๑๔๕	๐.๓๒	๕.๑๖	L → R
๓	๑+๘๐๐	๓+๒๐๐	๑+๒๐	๑.๕	๑๐	๐.๖	๓๗.๔	๑๒๔	๐.๒	๑๐.๓๔	L → R

						๒			๕		
๔	๓+๒๐๐	๔+๕๐๐	๑.๘๐	๑.๘	๓๐	๐.๕ ๐	๓๐.๐	๑๒๙	๐.๒ ๔	๑๕.๔๙	L → R
๕	๔+๕๐๐	๗+๑๐๐	๑.๔๐	๑.๐	๑๒๐	๐.๑ ๕	๓๐.๐	๑๔๕	๐.๓ ๒	๑๘.๐๖	R → L
๖	๗+๑๐๐	๗+๗๐๐	๐.๘๕	๑.๒	๑๒๐	๐.๑ ๙	๓๐.๐	๑๔๕	๐.๓ ๒	๑๐.๙๖	R → L

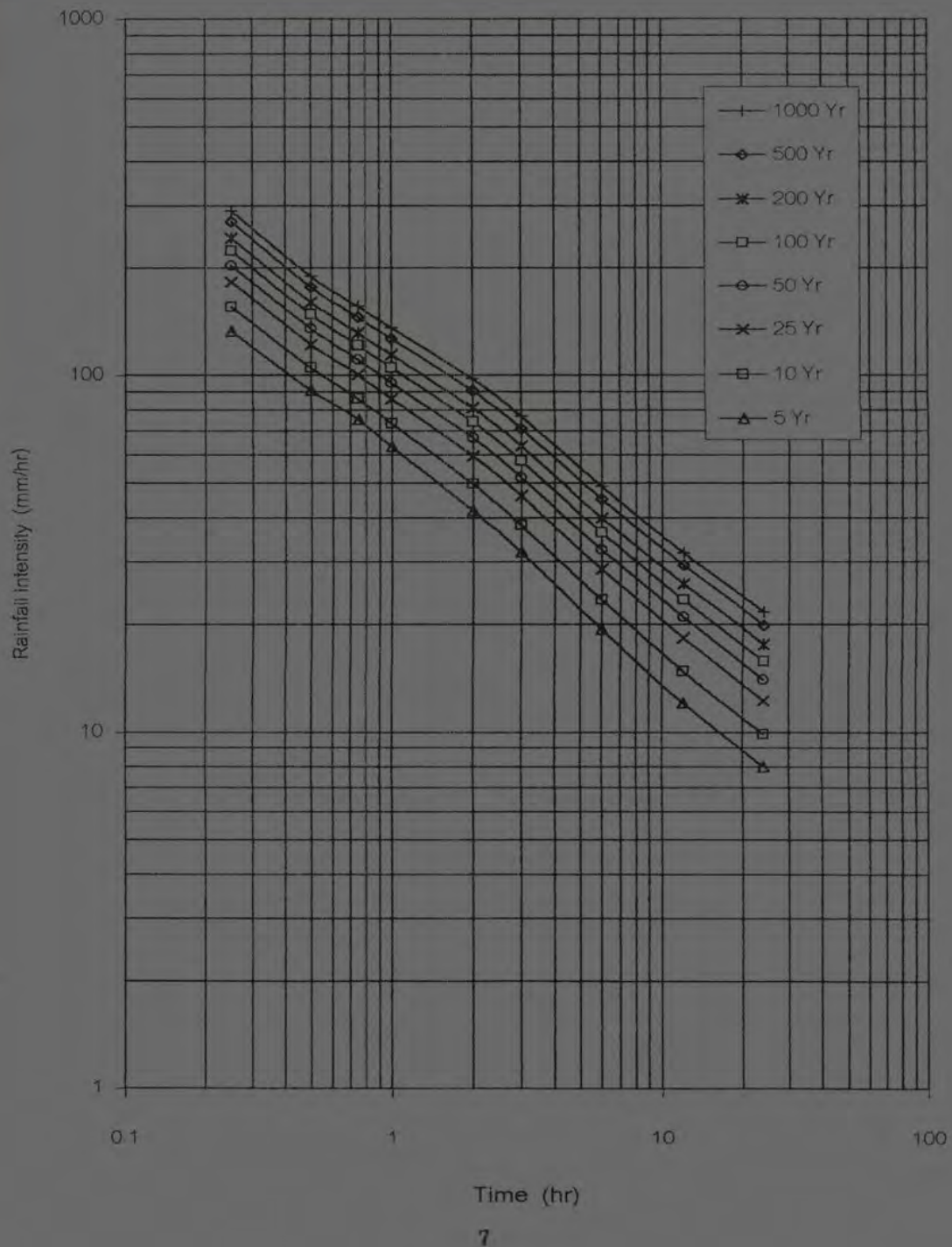
ตารางคำนวณหาขนาดอาคารระบายน้ำ

AREA NO.	WATERSHED BOUNDARY		Q (m/s)	V (m/s)	REQUIRED OPENING AREA (sg.m.)	DRAINAGE STRUCTURE	DESIGN OPENING AREA (sg.m.)	F.S.
	FROM STA.	(cms)						
๑	๐+๐๐๐	๐+๘๐๐	๒.๓๒	๒.๐	๑.๑๖	๔ - Ø ๐.๘๐	๒.๐๑	๑.๗๓
๒	๐+๘๐๐	๑+๘๐๐	๕.๑๖	๒.๐	๒.๕๘	๗ - Ø ๐.๘๐	๓.๕๒	๑.๓๖
๓	๑+๘๐๐	๓+๒๐๐	๑๐.๓๔	๒.๐	๕.๑๗	๘ - Ø ๑.๐๐	๖.๒๘	๑.๒๒
๔	๓+๒๐๐	๔+๕๐๐	๑๕.๔๙	๒.๐	๗.๗๕	๑๒ - Ø ๑.๐๐	๙.๔๒	๑.๒๒
๕	๔+๕๐๐	๗+๑๐๐	๑๘.๐๖	๒.๐	๙.๐๓	๒๐ - Ø ๑.๐๐	๑๕.๑๗	๑.๗๔
๖	๗+๑๐๐	๗+๗๐๐	๑๐.๙๖	๒.๐	๕.๔๘	๑๒ - Ø ๑.๐๐	๙.๔๒	๑.๗๒

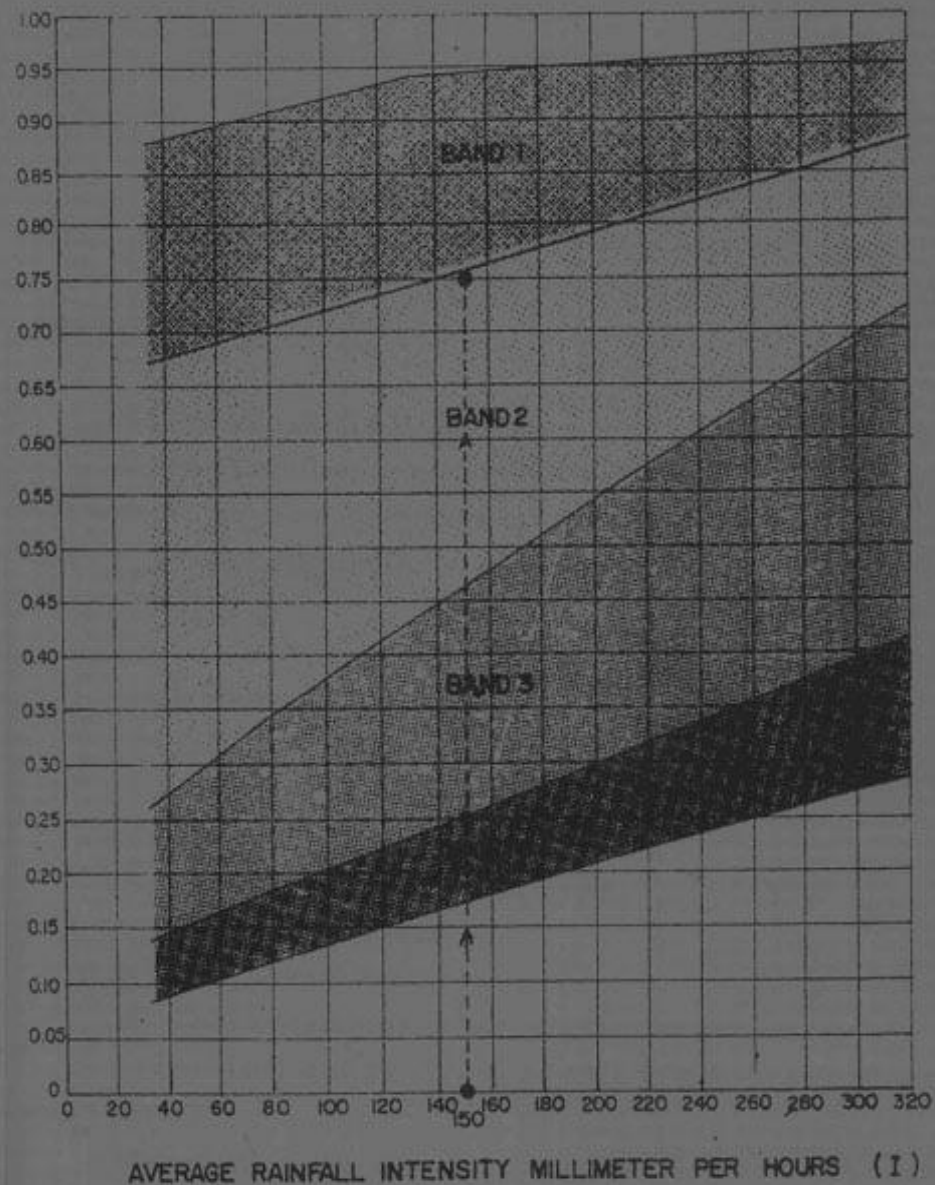


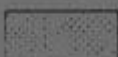
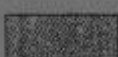
แผนที่พื้นที่รับน้ำ สายทาง สีแยกทุ่งคา—บ.ถ้ำสิงห์ ค.ทุ่งคา ค.ถ้ำสิงห์ อ.เมือง จ.ชุมพร
รูปที่ 54 พื้นที่รับน้ำย่อย

Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curve at C.Chumporn
(1954-1983, 1986-1998)



รูปที่ ๕๕ IDF - CURVE ของ จ.ชุมพร



-  BAND 1. สภาพ ลาดชัน ไล่เตียน ดินน้ำซึมยาก
-  BAND 2. สภาพ ลูกเนิน ไล่เตียนในลุ่มบนของ BAND สภาพที่ราบ ไล่เตียน และสภาพป่าที่ลาดชัน และทุ่งหญ้าลาดชันในลุ่มล่างของ BAND ตามลำดับ
-  BAND 3. สภาพป่าที่ลาดชันปานกลางถึงชันมาก และสภาพภูเขาที่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม
-  BAND 4. สภาพที่ราบดินน้ำซึมง่าย สภาพพื้นที่เกษตรกรรมที่ราบ สภาพป่าละเมาะ และทุ่งหญ้า

รูปที่ ๕๖ RUNOFF COEFFICIENT, C

ตัวอย่างการคำนวณ วิธี SPECIFIC YIELD OF FLOOD FLOW

สะพานข้ามลำภาชี ต.แก้มอ้น อ.จอมบึง จ.ราชบุรี

๑. หา SUBCATCHMENT AREA ใช้แผนที่ ๑: ๕๐,๐๐๐ ลงตำแหน่งสะพานและแนวถนน จากนั้นลากเส้นขอบเขตพื้นที่รับน้ำโดยดูจากเส้นระดับ (CONTOUR) ตามแนวสันปันน้ำ

๒. ได้พื้นที่รับน้ำ $A = ๑๑๘$ ตร.กม.

จากกราฟ รูปที่ ๒ ได้ $q = ๑.๒$ ลบ.ม./ว./ตร.กม.

(ใช้ RETURN PERIOD ๕๐ ปี)

๓. คำนวณ $Q_p = Aq$

$$= ๑๑๘ \times ๑.๒ = ๑๔๑.๖ \text{ ลบ.ม./ว.}$$

๔. คำนวณ REQUIRED OPENING AREA , ROA

สมมติค่า $V = ๑.๒$ ม./ว.

$$ROA = ๑๔๑.๖ / ๑.๒ = ๑๑๘ \text{ ตร.ม.}$$

๕. ออกแบบขนาดอาคารระบายน้ำ (DESIGN OPENING AREA , DOR) พิจารณาจากระดับน้ำสูงสุด คำนวณหาช่องเปิดของลำน้ำบริเวณสะพาน

$$DOA = ๒๓๖ \text{ ตร.ม.}$$

$$๖. \therefore \frac{DOA}{ROA} = \frac{๒๓๖}{๑๑๘} = ๒ > ๑ \text{ Ok}$$

พิจารณาจากระดับพื้นสะพานให้มีช่องลอดแนวตั้ง และช่วงสะพานแนวราบตามขนาดของสิ่งลอยน้ำ เช่น เรือ กิ่งไม้ต่างๆ ฯลฯ ควรออกแบบช่องเปิดทางราบให้เพียงพอ โดยพิจารณาความปลอดภัยและประหยัด

3.2.4 งานวิเคราะห์และออกแบบสะพาน

งานออกแบบสะพาน..... ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

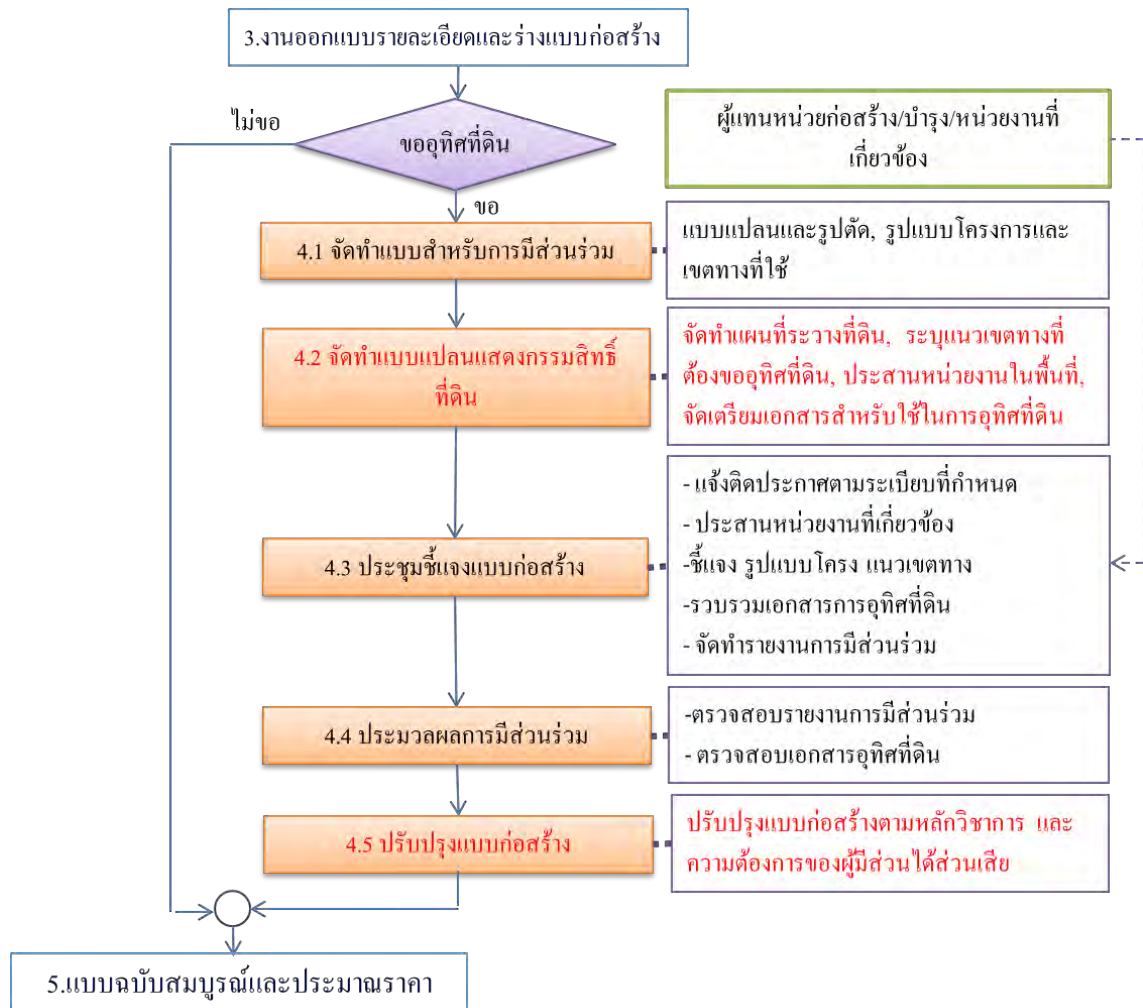
3.2.5 งานจัดทำร่างแบบก่อสร้าง ในแบบก่อสร้างจะต้องประกอบไปด้วย หน้าปก สารบัญ

รายการประกอบแบบ รูปตัดโครงสร้างทาง แพลนและรูปตัดตามยาว รูปตัดตามขวาง จราจร ไฟฟ้า ระบายน้ำ และงานโครงสร้าง เป็นต้น ดังแสดงในภาคผนวก 3

3.2.6 งานตรวจสอบความถูกต้อง ตามแบบฟอร์มตรวจสอบ สอ. ๒ ข้างล่างนี้

บทที่ ๔

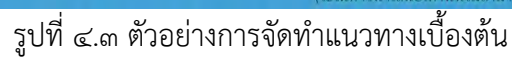
งานขออนุญาตที่ดินและชี้แจงแบบก่อสร้าง



รูปที่ ๔.๑ กระบวนการขออนุญาตที่ดินและชี้แจงแบบก่อสร้าง สำหรับ สสอ.



จัดทำแบบแปลนและรูปตัด, รูปแบบโครงการ และเขตทางที่ใช้สำหรับก่อสร้างถนนโครงการ เพื่อนำเสนอแก่ประชาชนผู้มีส่วนได้เสียจากการดำเนินโครงการ





รูปที่ ๔.๖ ตัวอย่างการจัดทำแนวกถนนเพื่อประสานหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

๔.๓) งานประชุมชี้แจงแบบก่อสร้าง

- ดำเนินการประกาศเชิญชวน ประชาสัมพันธ์การดำเนินงานตามระเบียบที่กำหนด
- ประสานงานหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและประชาชนผู้มีส่วนได้เสียกับโครงการเพื่อรับทราบข้อมูลและให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ
- การจัดการประชุมชี้แจงแบบก่อสร้าง ควรประกอบด้วย ลักษณะโครงการ รูปแบบแนวเส้นทาง รูปแบบโครงการ รวมทั้งการชี้แจงผลกระทบต่อผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย
- รับฟังข้อร้องเรียนหรือข้อเสนอแนะของผู้รับบริการและผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เพื่อประโยชน์ในการนำมาปรับปรุง พัฒนาแบบก่อสร้างให้มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับสภาพพื้นที่
- จัดทำรายงานเพื่อสรุปข้อมูลแนวทางในการจัดทำแบบก่อสร้างหลังจากการประชุมการมีส่วนร่วม



กรมทางหลวงชนบท
DEPARTMENT OF RURAL ROAD

งานสำรวจออกแบบรายละเอียด
โครงการก่อสร้างถนนตามผังเมืองรวมถนนสาย ค๑ ค๒ และ ง๒
ผังเมืองรวมเมืองแม่สอด จังหวัดตาก

รายงานผลการรับฟังความคิดเห็น



จัดทำโดย
กลุ่มออกแบบทางในเขตเมือง สำนักสำรวจและออกแบบ
กรมทางหลวงชนบท กระทรวงคมนาคม

รูปที่ ๔.๗ ตัวอย่างการจัดทำรายงานผลการรับฟังความคิดเห็น

๔.๔) งานประมวลผลการมีส่วนร่วม

- ตรวจสอบรายงานผลการประชุมการมีส่วนร่วม เพื่อกำหนดแนวทางในการปรับปรุงแบบก่อสร้างต่อไป
- รวบรวมเอกสารอุทกศาสตร์ที่ดินเพื่อนำส่งให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนต่อไป

๔.๕) งานปรับปรุงแบบก่อสร้าง

ปรับปรุงแบบก่อสร้างตามหลักวิชาการ และความต้องการของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียให้มีความสอดคล้องกัน

หนังสือขอกู้ที่ดิน

หนังสือฉบับนี้ทำขึ้นที่

วันที่ เดือน พ.ศ.

โดยข้าพเจ้า อายุ ปี

อยู่บ้านเลขที่ หมู่ที่ จ.ระยอง / ชลบุรี

ถนน ตำบล อำเภอ จังหวัด

ขอลงอุทธรณ์ที่ดินของข้าพเจ้า เพื่อประโยชน์ต่อสาธารณชน มีข้อความดังต่อไปนี้

ข้อ 1. ข้าพเจ้าในฐานะเจ้าของ / ผู้ครอบครอง ที่ดิน มี โฉนด / น.ส.3 ก. / น.ส.3 / ส.ค.1 /

รวาง เลขที่ เลขที่ดิน หน้าสำรวจ

ตั้งอยู่ที่บ้าน หมู่ที่ ตำบล / แขวง

อำเภอ / เขต จังหวัด

ขออุทธรณ์ที่ดินให้กับการทางหลวงชนบท เพื่อเข้าครอบครอง ใช้ประโยชน์ ในที่ดินดังกล่าว จำนวนเนื้อที่ประมาณ

..... ไร่ งาน ตารางวา หรือ มีขนาดประมาณ กว้าง เมตร

ยาว เมตร คิดเป็นพื้นที่ ตารางเมตร ทั้งนี้ เพื่อประโยชน์กับโครงการ

ซึ่งตั้งอยู่ที่บ้าน หมู่ที่ ตำบล / แขวง

อำเภอ / เขต จังหวัด

ข้อ 2. ข้าพเจ้ายินยอมให้กรมทางหลวงชนบท เข้าทำการรื้อถอนสิ่งก่อสร้าง ตัดหรือถางต้นไม้พืชพันธุ์

หรือสิ่งกีดขวางอื่น สำหรับการดำเนินการโครงการดังกล่าวข้างต้น ที่ดินของข้าพเจ้าที่อุทธรณ์ให้ตาม ข้อ 1. เพื่อประโยชน์

แก่ประชาชน หรือเป็นสาธารณะประโยชน์ร่วมกัน โดยไม่เรียกร้องค่าเสียหาย ค่าตอบแทนใดๆ จากทางราชการทั้งสิ่งอุปการะ

เพื่อเป็นหลักฐาน ข้าพเจ้าจึงได้ลงลายมือชื่อไว้ต่อหน้าพยานข้างท้ายนี้

(ลงชื่อ) ผู้อุทธรณ์ที่ดิน

(.....)

(ลงชื่อ) พยาน (สามี / ภรรยา ของผู้อุทธรณ์)

(.....)

(ลงชื่อ) พยาน

(.....)

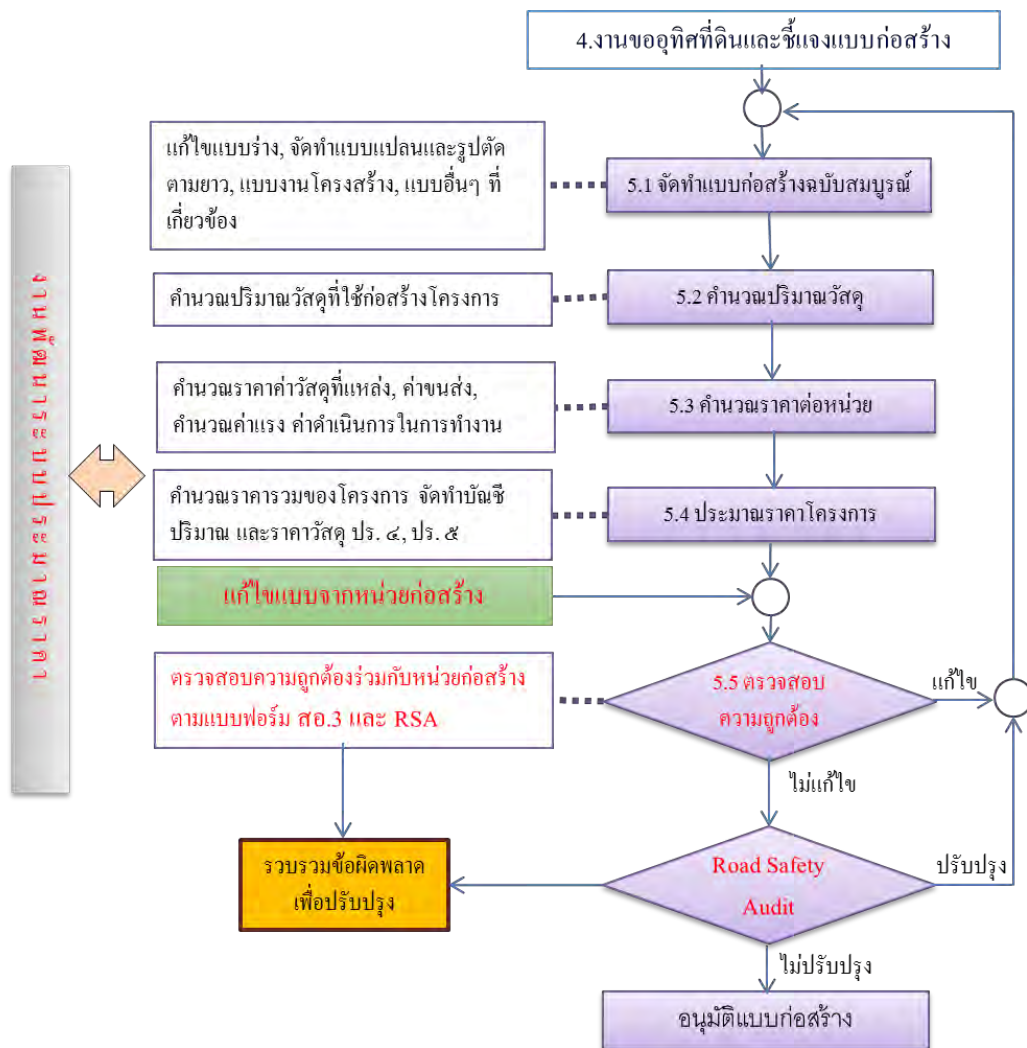
(ลงชื่อ) พยาน

(.....)

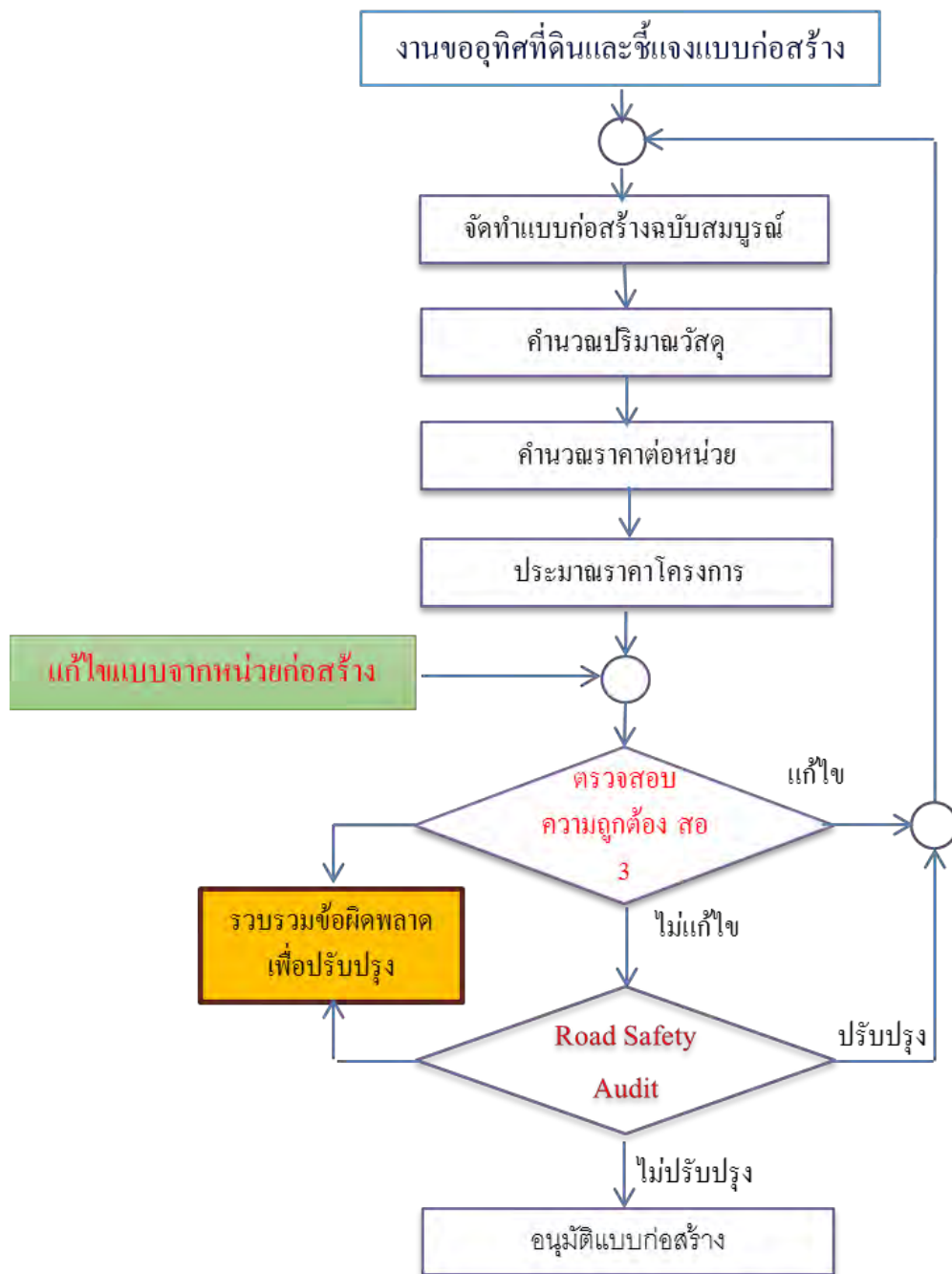
รูปที่ ๔.๘ ตัวอย่างหนังสือขอกู้ที่ดิน

บทที่ ๕

งานจัดทำแบบฉบับสมบูรณ์และประมาณราคา



รูปที่ ๕-๑ กระบวนการจัดทำแบบฉบับสมบูรณ์และประมาณราคา สำหรับ สสอ.



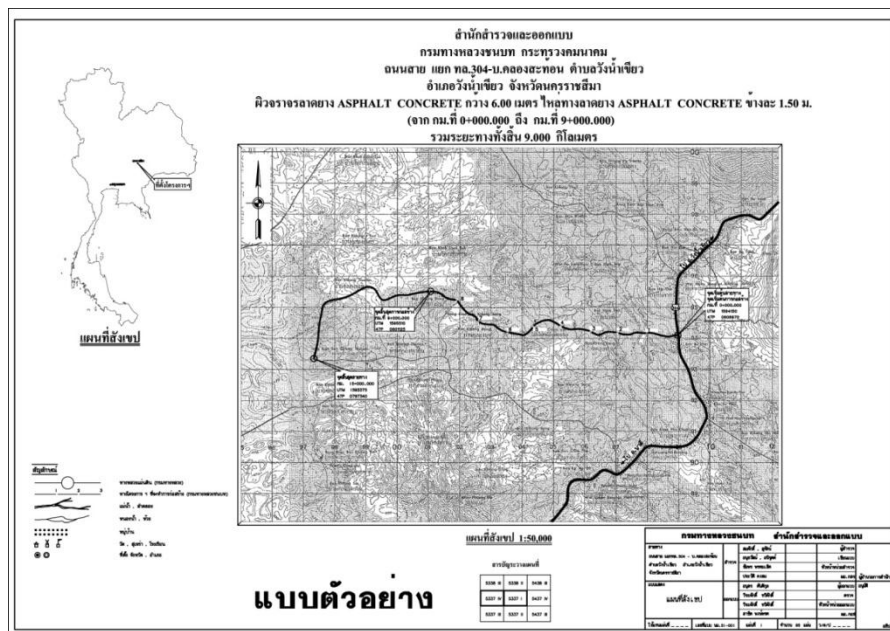
รูปที่ ๕-๒ กระบวนการจัดทำแบบฉบับสมบูรณ์และประมาณราคา สำหรับส่วนภูมิภาค

๕.๑) งานจัดทำแบบก่อสร้างฉบับสมบูรณ์

แบบก่อสร้าง (Construction Drawing) คือแบบที่แสดงรูปทรง โครงสร้าง ตลอดจนรายละเอียดต่างๆ ของงาน ที่สถาปนิกและวิศวกรได้ออกแบบไว้ เพื่อนำไปประกอบการก่อสร้าง แบบที่ดี คือ แบบที่ชัดเจน อ่านง่าย ไม่มีความยุ่งยากมาก แต่รวมรายละเอียดเท่าที่จำเป็นไว้หมด มีการปรับปรุง แก้ไข เพิ่มเติมแบบก่อสร้างตามที่เหมาะสมและสอดคล้องตามความต้องการของประชาชน และถูกต้องตามหลักวิศวกรรม และแบบที่เขียนขึ้นมาแล้วนั้นผู้อ่านแบบและผู้เขียนแบบจะต้องเข้าใจความหมายเป็นอย่างเดียวกัน การปฏิบัติงานจึงจะไม่มีปัญหา การจัดทำแบบก่อสร้าง มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

หน้าปกแบบ มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- ชื่อสายทาง เป็นส่วนสำคัญ ที่แสดง ชื่อหน่วยงานที่รับผิดชอบในการจัดทำแบบ ชื่อสายทาง ประเภทลักษณะเส้นทางรวมไปถึงลักษณะของสายทางเบื้องต้น เช่น ประเภทของผิวจราจร ความกว้างถนน และระยะทางของสายทาง
- แผนที่สังเขปและผังบริเวณ คือแผนที่ที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของสายทาง โดยทั่วไปจะใช้แผนที่มาตราส่วน ๑: ๕๐,๐๐๐ แสดงลักษณะภูมิประเทศ ตำแหน่งที่ตั้งของโครงการ โดยแสดงในพิกัดทางภูมิศาสตร์แบบ UTM (ค่า N,E) ของจุดเริ่มต้นโครงการและจุดสิ้นสุดโครงการ รวมไปถึงถึงสะพานหรือโครงสร้างพิเศษตามความเหมาะสม
- สารบัญระวางแผนที่ เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของแผนที่แต่ละระวาง เพื่อเป็นการระบุลงไปอีกทีหนึ่งว่าแผนที่ชุดนี้คลุมบริเวณขอบเขตของสายทางขอบเขตของสายทาง ซึ่งจะบอกเลขพิกัดของแผนที่มาตราส่วน ๑: ๕๐,๐๐๐ ที่นำไปขยายเป็นแผนที่สังเขปและผังบริเวณ โดยสารบัญระวางแผนที่ควรจะบอกพิกัดในครอบคลุมทั้งสายทาง
- สัญลักษณ์ประกอบแบบ แสดงรายการสัญลักษณ์ต่าง ๆ หรืออักษรย่อ และความหมายของสัญลักษณ์หรืออักษรย่อนั้น ๆ อาจมีการรวมทุกสัญลักษณ์ของแบบทุกประเภทในหน้าเดียวกัน หรือแยกชุดสัญลักษณ์ในแต่ละประเภทของแบบก็ได้
- กรอบชื่อแบบ แสดงรายชื่อสายทาง รหัสเลขที่แบบ ชื่อผู้ออกแบบและสำรวจ รวมไปถึงแสดงข้อความต่างที่จำเป็นเช่น หน่วยงานที่รับผิดชอบ เป็นต้น



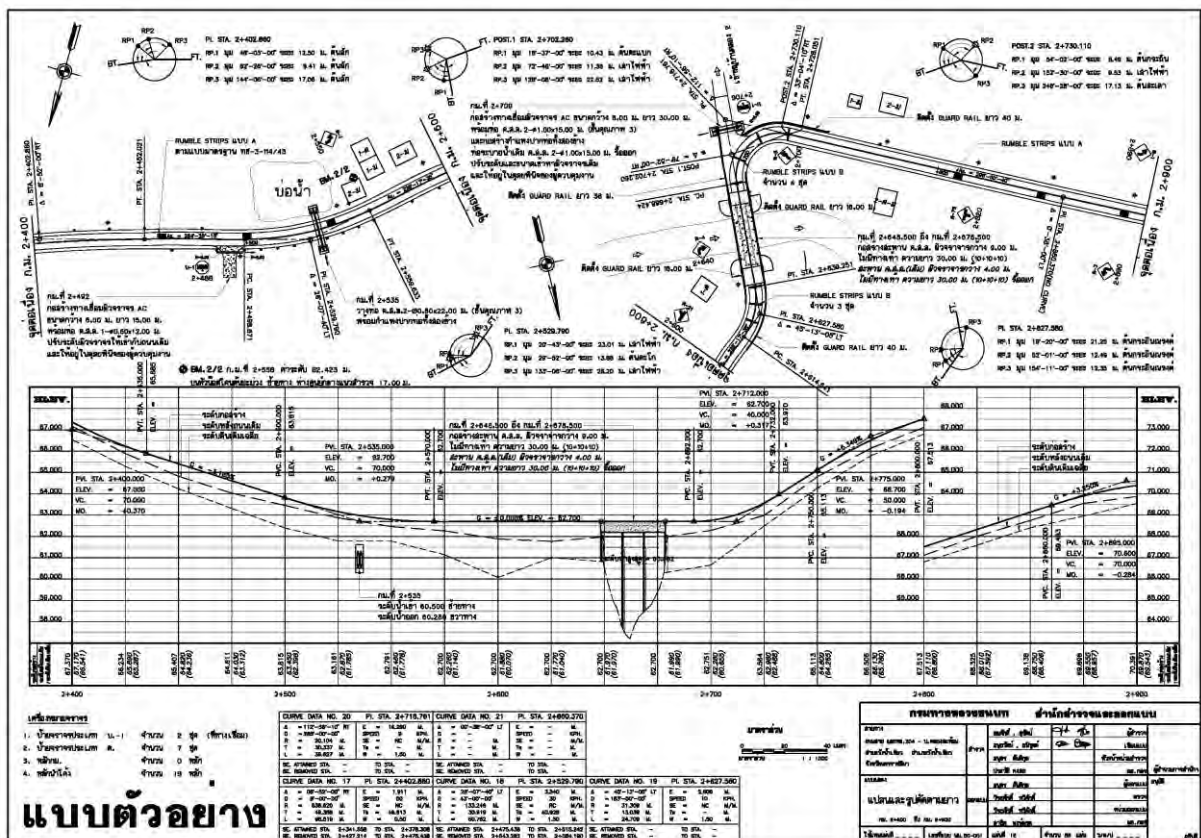
รูปที่ ๕-๓ แบบตัวอย่างหน้าปกแบบ

- สารบัญแบบ แสดงสารบัญของแบบทั้งหมด มีการเรียงให้เป็นหมวดหมู่ตามประเภทของแบบ เพื่อให้สามารถค้นหาแบบที่ต้องการได้โดยสะดวก โดยกำหนดรหัสตามหมวดหมู่ตามประเภทของงาน เช่นงานสถาปัตยกรรม งานวิศวกรรมโครงสร้าง ไฟฟ้า หรือระบบสุขาภิบาล
- รายการประกอบแบบก่อสร้าง แสดงวัตถุประสงค์ของแบบ ข้อกำหนดต่าง ๆ รวมถึงมาตรฐานงานก่อสร้างทั่วไป มักจะแยกตามแต่ละประเภทของแบบเพราะมีรายละเอียดที่แตกต่างกัน
- รายการแบบมาตรฐาน แสดงรายการและเลขที่แบบมาตรฐานงานทางและงานสะพานที่เกี่ยวข้องในการออกแบบและก่อสร้างของงาน โดยควรระบุให้ครบถ้วนและถูกต้อง

รูปที่ ๕-๔ แบบตัวอย่างสารบัญแบบและรายการประกอบแบบ

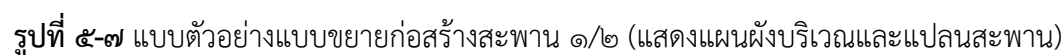
แปลนและรูปตัดตามยาว มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- ▲ แปลน (Plan) ซึ่งประกอบด้วยแนวทางในทางราบ ซึ่งประกอบด้วยแนวทางแสดงขนาดความกว้างของผิวจราจร ไหล่ทาง เขตทาง ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง อาคารบ้านเรือน และสิ่งปลูกสร้างที่บริเวณสองข้างทาง เครื่องหมายงานจราจรสาราณูปโภคต่าง ๆ รูปร่างของร่องระบายน้ำข้างทาง (Side Ditch) ตำแหน่งที่วางท่อลอด โดยแสดงระดับน้ำไหลเข้า (Inlet Elevation) และระดับน้ำไหลออก (Outlet Elevation) ข้อมูลโค้ง (Curve Data) ตำแหน่งของท่อลอดหรือสะพาน ตำแหน่งและระดับของหมุดหลักฐานระดับความสูง (Benchmark) จุดตั้งกล้องและจุดอ้างอิงต่าง ๆ (Reference Points) ค่า Azimuth ของแนวสายทาง เป็นต้น
- ▲ รูปตัดตามยาว (Profile) ซึ่งประกอบด้วยแนวทางในทางตั้ง โดยแสดงระยะทางจากจุดเริ่มต้น (Sta.) ในแกนราบ และระดับความสูงในแกนตั้ง ในส่วนนี้จะแสดงระดับดินเดิมเฉลี่ย ระดับถนนเดิม และระดับก่อสร้างในทุกๆระยะ ๒๕ เมตร มีตำแหน่งที่วางท่อลอดและ Grade line โดยจะแสดง ความชัน (Percent Grade) ความยาวของโค้งทางตั้ง จุด PVC, PVI และ PVT ตำแหน่งหรือขนาดของท่อลอดหรือสะพาน ฯลฯ เป็นต้น



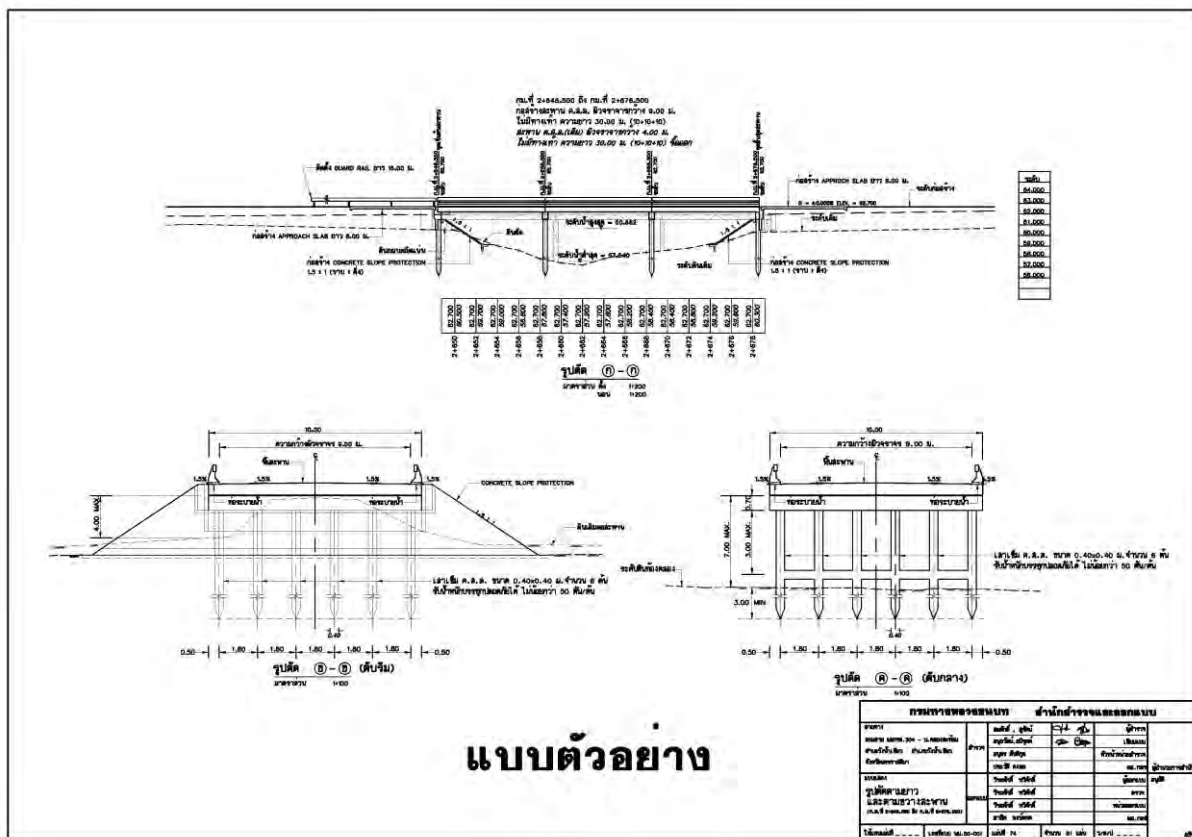
รูปที่ ๕-๖ แบบตัวอย่างแปลนและรูปตัดตามยาว

- ผังบริเวณสะพาน แสดงแนวทางในแนวราบบริเวณจุดที่มีสะพานโดยจะแสดงประเภทและรูปแบบของสะพาน ระยะทาง (Sta) ของจุดเริ่มก่อสร้างความยาว ข้อมูลโค้ง (Curve Data) ตำแหน่งของท่อลอดหรือสะพาน ตำแหน่งและระดับของหมุดหลักฐานระดับความสูง จุดตั้งกล้องและจุดอ้างอิงต่าง ๆ ของบริเวณที่เกี่ยวข้อง
- แปลนสะพาน แสดงรูปแบบสะพานความกว้าง ระยะทาง มิติต่างของสะพาน
- รายการประกอบแบบ แสดง ข้อกำหนดต่าง ๆ รวมถึงมาตรฐานงานก่อสร้างสะพานทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับงานชิ้นโครงสร้างและงานอื่นๆ



แบบขยายก่อสร้างสะพาน ๒/๒ (แสดงรูปตัดตามยาวและรูปตัดตามขวางสะพาน) (ถ้ามี)

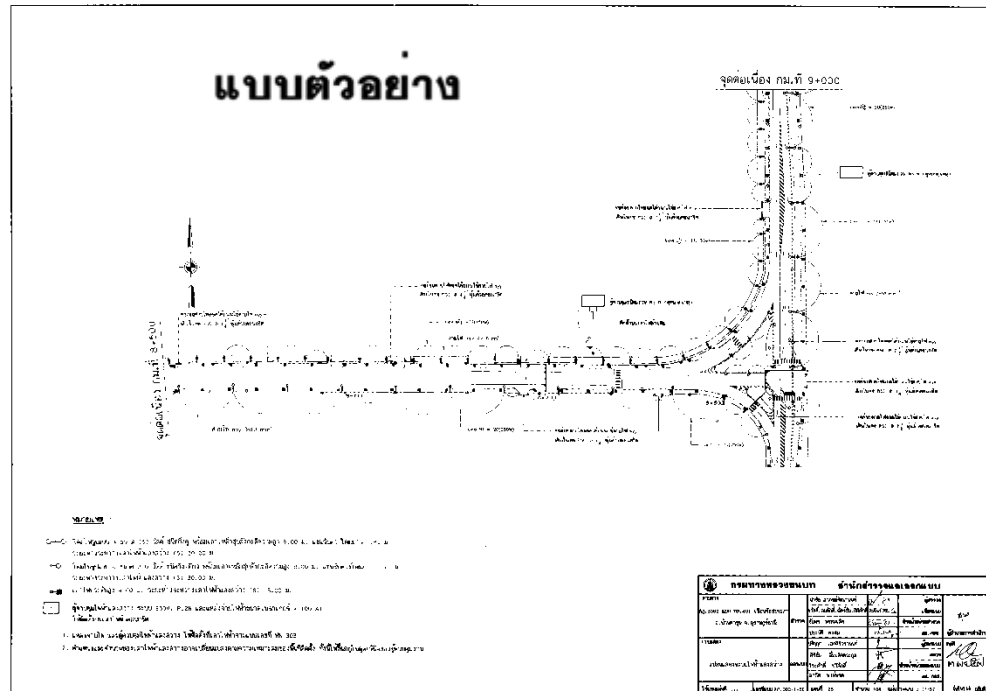
- ↑ แสดงรูปตัดทั้งตามยาวและแนวนองของสะพาน โดยแบ่งเป็นโครงสร้างส่วนบน (Upper Structure) และโครงสร้างส่วนล่าง (Lower Structure) โครงสร้างส่วนบน (Upper Structure) แสดงเป็นระยะความกว้างของผิว ตำแหน่งการวางระบบระบายน้ำ รวมไปถึงประเภทของพื้นสะพานที่ออกแบบไว้ ส่วนโครงสร้างส่วนล่าง(Lower Structure) แสดงระยะห่างของตอม่อสะพาน (Span Length) ระดับแนวติ่งเช่น ระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด ระยะการก่อสร้างการป้องกันทางลาด (Concrete Slope Protection) รูปแบบขนาดของตอม่อและเสาเข็ม เป็นต้น ซึ่งระบุรายการและเลขที่มาตรฐานที่ใช้ไว้ในแบบแผ่นนี้ด้วย



รูปที่ ๕-๘ แบบตัวอย่างแบบขยายก่อสร้างสะพาน ๒/๒ (แสดงรูปตัดตามยาวและรูปตัดตามขวางสะพาน)

แบบขยายแปลนการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง (ถ้ามี) มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- แสดงรายละเอียดการติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระยะห่างของการติดตั้งเสาไฟฟ้า จุดติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า ระยะการเดินสายไฟฟ้า รวมไปถึงประเภทของระบบไฟฟ้าที่ออกแบบไว้และรูปแบบการติดตั้ง ในที่นี้แบบขยายแปลนไฟฟ้าแสงสว่างอาจทำแยกในเฉพาะจุดเช่น ช่วงทางแยก ช่วงชุมชน หรือในช่วงที่เป็นจุดเสี่ยงอันตราย



รูปที่ ๕-๙ แบบตัวอย่างแบบขยายแปลนการติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่าง

รูปตัดตามขวาง มีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

- ซึ่งเป็นกระดาดกราฟทั้งแผ่นขนาดเดียวกับแปลนและรูปตัดตามยาว (Plan-Profile) แสดงส่วนรูปภาคตัดขวางถนนทุกระยะ ๒๕ เมตร (Cross-Section) โดยแสดงระดับภาคตัดตามขวางของดินเดิม รูปถนนก่อสร้างใหม่ ระดับกึ่งกลางและขอบถนนทั้ง ๒ ฝั่งถนน แสดงลักษณะการขยายผิวจราจร ในทางโค้ง สาธารณูปโภคต่าง ๆ ลักษณะของดินถมและดินตัด (Fill and Cut) และสาธารณูปโภคต่าง ๆ (ถ้ามี)

๕.๒ งานคำนวณปริมาณวัสดุ

๕.๒.๑ ปริมาณงานต่างๆ สำหรับงานทาง สามารถแยกเป็นหัวข้อสำคัญได้ดังนี้

- ๑ ปริมาณงานดิน (Earthwork)
- ๒ ปริมาณงานโครงสร้างถนน (Pavement Structure)
- ๓ ปริมาณงานโครงสร้างทางระบายน้ำ (Drainage Structure)
- ๔ ปริมาณงานส่วนประกอบอื่นๆ (Misoellaneous)

๑ ปริมาณงานดิน (Earthwork)

- งานดินตัด (ดินธรรมดา หินผุ และหินแข็ง จุดอ่อนตัว วัสดุไม่เหมาะสม และงาน Scarified คั่นทางเดิม)
- งานดินถม

ข้อมูลที่ใช้

๑. X – Section ดินเดิมทุกระยะ ๑๒.๕๐ , ๒๕ หรือ ๕๐ แล้วแต่ความละเอียด
๒. กำหนด Typical Cross – Section ถึงชั้น Finished Subgrade
๓. ค่าระดับ Finished Subgrade
๔. Side Slope และ Back Slope
๕. Additional Factor

การคำนวณ

- หาปริมาณงานดิน เป็นลูกบาศก์เมตร โดยวิธี End Area Method
- หาปริมาณงานดิน สำหรับทางเชื่อมเดิมที่จะต้องดำเนินการปรับให้
- หาปริมาณงานดิน สำหรับที่จอดรถประจำทาง (Bus Stop) ตามความจำเป็นในแบบ
- หาปริมาณงานดิน บริเวณทางแยก หรือบริเวณขยายคันทาง (ย่านชุมนุมชน)
- หาปริมาณงานดิน ส่วนที่เพิ่มเนื่องจาก Superelevation
- หาปริมาณงานดิน ส่วนที่เพิ่มเนื่องจาก Widening
- เลือกใช้ Additional Factor ให้เหมาะสม โดยแยกงานดินถม และงานดินตัด
- ในการคำนวณปริมาณงานดินถม และดินตัด อาจพิจารณาตัดตอนสรุปที่ละ ๕๐๐ เมตร

หรือ ๑ กม. ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการนำตัวเลขมาจัดทำ Earthwork Diagram

๒ ปริมาณงานโครงสร้างถนน (Pavement Structure)

- วัสดุคัดเลือก “ ก ” (Selected Material “ A ”)
- วัสดุคัดเลือก “ ข ” (Selected Material “ B ”)
- วัสดุรองพื้นทาง (Soil-Aggregate Subbase)
- วัสดุพื้นทาง (Soil-Aggregate Base)
- ลาดยาง (Prime Coat)
- ผิวทาง (Surface)
- ขอบผิวทาง (Surface Edge)
- ไหล่ทาง (Shoulder)
- Soil – Aggregate Type Subbase
- Crushed Rock Type Base

ข้อมูลที่ใช้

๑. ความกว้างผิวจราจร
๒. ความกว้าง Surface Edge (ถ้ามี)
๓. ความกว้างไหล่ทาง
๔. ความหนาของ Pavement Structure แต่ละชั้น
๕. Crown Slope ของผิวจราจร และไหล่ทาง
๖. Side Slope
๗. Additional Factor
๘. Cross-Section ทางเดิม

การคำนวณ

- คำนวณหาค่า Constant Value ของแต่ละ Item ของงานโครงสร้างทาง
- ทางระยะ Net Distance ของสายทาง โดยหักส่วนที่เป็นสะพาน และ Equation
- หาปริมาณงานแต่ละ Item
- หาปริมาณงานวัสดุโครงสร้างทาง สำหรับทางเชื่อมที่ได้กำหนดไว้ในแบบ หรือบัญชีทางเชื่อม
- หาปริมาณงานสำหรับที่จอดรถประจำทาง
- หาปริมาณงานบริเวณทางแยก (Intersection) หรือบริเวณขยายคันทาง (ย่านชุมชน)
- หาปริมาณงานส่วนที่เพิ่มเนื่องจาก Widening
- เลือกใช้ Additional Factor ตามที่กำหนดใน Table ที่ให้

๓ ปริมาณงานโครงสร้างทางระบายน้ำ (Drainage Structure)

- งานสะพาน คสล.
- งานท่อเหลี่ยม (Box Culvert)
- งานท่อกลม (Pipe Culvert)
- งานกำแพงปากท่อกลม (Headwall)

ข้อมูลที่ใช้

๑. รายละเอียดแบบของสะพาน และท่อเหลี่ยม ได้จากหน่วยออกแบบโครงสร้าง
๒. สะพาน ควรระบุความกว้างของสะพาน และทางเท้าด้วย
๓. แยกชนิดของสะพานออกเป็น Slab Type และ Girder Type
๔. ในกรณีสะพานมีหลายแห่ง ให้รวมรายละเอียด ผ่าน List of Drainage Structure ไว้

ด้วยเพื่อใช้ประกอบ

๕. ในกรณีสะพานมีน้อยแห่ง ในแบบปริมาณงานอาจจะระบุ Sta. ที่ใช้ก่อสร้างสะพาน และระบุ Span ที่จะต้องดำเนินการโดยมีหน่วยเป็นเมตร

๖. สำหรับงานท่อเหลี่ยมถ้ามีจำนวนช่อง (Cell) และขนาดต่างกันต้องระบุให้ครบส่วน ปริมาณที่มีขนาดและช่องเท่ากันไว้การคำนวณหาความยาวท่อลอดถนน

- ในกรณีกำหนด Inlet และ Outlet Elevation ให้ใช้ค่าดังกล่าวคำนวณหาความยาวท่อ
- ในกรณีมิได้กำหนดระดับ Invert Elevation ให้ใช้ค่าดินเดิม หรือดินเดิมร่อนน้ำเป็นจุดวางท่อ

- ความยาวท่อ = ความกว้างคันทาง + ๒ (Side Slope X ผลต่างค่าระดับก่อสร้างกับระดับวางท่อ)

การคำนวณหา Headwall ปากท่อกลม

- Headwall ปากท่อกลม มีปริมาณอยู่ ๒ ชนิดคือ Plain.Conc. และ Reinforced Conc. ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของ Headwall โดยดูรายละเอียดในแบบแผ่นมาตรฐานแบบ Headwall
- ปริมาณ Headwall ปากท่อกลม มีหน่วยเป็นตัว

๕.๒.๒ ปริมาณงานส่วนประกอบอื่นๆ (Misoellaneous)

วิศวกรผู้ออกแบบจะเป็นผู้กำหนดรายละเอียดส่วนประกอบงานทางนี้ลงในแบบ โดยพิจารณาถึงความจำเป็น (Criteria) ตามแบบมาตรฐานที่ใช้ ตลอดจนการปรับให้เหมาะสมกับนโยบาย และกำลังงบประมาณเป็นสำคัญ

๑. Guide Post

การคำนวณ

$$๑. \text{บริเวณโค้งด้านนอกคำนวณจากสูตร } No \text{ of Required } = \frac{Lc + ๗}{๘}$$

๒. สำหรับจุดติดตั้งอื่นๆ ผู้ออกแบบจะเป็นผู้พิจารณา โดยพิจารณาจากความจำเป็นด้านอื่นๆ ประกอบ

๒. Steel Beam Guard Rail

การคำนวณปริมาณ

- วิศวกรผู้ออกแบบควรกำหนดจุดติดตั้งลงในแบบ โดยพิจารณาตามความเหมาะสม
- ปริมาณของ Guard Rail มีหน่วยเป็นเมตร โดยคิดระยะทางตามแนวราบ
- ความยาวของ Guard Rail คิดวัดจากเสาถึงเสา จุดต้นทางและปลาย Guard Rail ไม่รวมอยู่ใน

ความยาว

๓. Steel Beam Guard Rail Barricade at T-Intersection

การคำนวณปริมาณ

- ใช้ติดตั้งบริเวณ T - Intersection
- ปริมาณมีหน่วยเป็นแห่ง

๔. Curb และ Curb & Gutter

Curb และ Curb & Gutter มีรูปแบบและชนิดให้เลือกหลายรูปแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การใช้งาน ซึ่งผู้ออกแบบพิจารณาแล้วเห็นว่าเหมาะสม

การคำนวณ

- ปริมาณตรวจวัดจากในแบบ
- ปริมาณมีหน่วยเป็นเมตร ตามระยะที่ทำ

๕. Sodding

การปลูกหญ้าบนลาดคันทาง เป็นการป้องกันการกัดเซาะของคันทาง ซึ่งผู้ออกแบบจะได้ใช้ดุลยพินิจเหมาะสมหรือจำเป็นเพียงใด ทั้งนี้โดยมีการพิจารณาถึงปริมาณน้ำฝน ชนิดขอบดินคันทางเป็นสำคัญ

การคำนวณปริมาณ

- หาค่าเฉลี่ยของลาดคันทาง ซึ่งอาจจะพิจารณาแบ่งออกเป็นช่วง เพื่อการคำนวณ
- คิดปริมาณออกมาเป็นตารางเมตร

๖. Pavement Markings

โดยทั่วไป สีดีเส้นมี ๒ ชนิด คือ

๑. Reflective Thermoplastic Road Marking Material

๒. Traffic Paint

การที่จะเลือกใช้สีชนิดใดขึ้นอยู่กับ ปริมาณการจราจร มาตรฐานทางหลวง ตลอดจนงบประมาณซึ่งสีทั้งสองชนิดดังกล่าวในการใช้งานจริงมีแยกออกเป็น ๒ สี คือ สีเหลือง และสีขาว

การคำนวณปริมาณงาน

- หาระยะ Net Distance
- คิดปริมาณงานของเส้นแบ่งช่องจราจร (Center Line) ซึ่งเป็นเส้นปะสีเหลือง โดยมีหน่วยเป็นตารางเมตร
- สำหรับสายทางซึ่งเข้าหลักเกณฑ์ ตามแบบมาตรฐานการทาสีดีเส้นจราจรกำหนดให้ ดีเส้นขอบทางสีขาว ก็ให้คิดปริมาณไว้ด้วย
- สำหรับเส้นทึบห้ามแซง สำหรับโค้งตั้งและโค้งนอน ให้พิจารณาว่า ถ้ามีปริมาณมากพอ ก็ให้คิดรวมไว้ด้วย แต่ถ้าตรวจสอบแล้วมีปริมาณไม่มากนัก ปริมาณส่วนนี้จะเผื่อไว้ในส่วนที่เป็น Additional Factor
- เลือกใช้ Additional Factor ระหว่าง ๓-๗% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะทางความละเอียดในการคิดคำนวณ และส่วนที่เป็นทางแยก เป็นสำคัญ
- ปริมาณของสีที่ใช้ดีเส้นให้ระบุชนิดของสีที่ใช้ ตลอดจนแยกสรุปว่าเป็นสีขาวหรือสีเหลือง

๗. Traffic Sign and Frame (ป้ายจราจร) , Traffic Post (เสาป้าย)

- ตรวจสอบจาก Plan และกำหนดจุดที่ติดตั้งป้ายลงในแบบฟอร์มเรื่องป้ายจราจร โดยแยกประเภทของป้าย พร้อมทั้งรายละเอียดขนาดของป้ายไว้ด้วย
- สำหรับป้ายบริเวณทางแยก ซึ่งถือเป็นกรณีพิเศษ ก็ให้ทำในลักษณะเดียวกัน

๘. Slope Protection for Bridge

การพิจารณาออกแบบ Slope Protection for Bridge ผู้ออกแบบพิจารณาหลักเกณฑ์ที่สำคัญคือ ความเร็วกระแสน้ำ สภาพดินคันทาง ความสูงของคอสะพาน ระดับน้ำสูงสุด แต่โดยหลักปฏิบัติแล้ว ผู้มีหน้าที่ออกแบบโครงสร้างสะพานจะเป็นผู้กำหนดลงในแบบของงานสะพาน แต่ปริมาณงานนั้น ไม่รวมอยู่ในงานสะพาน

การคำนวณปริมาณงาน

- ปริมาณงาน Slope Protection for Bridge คำนวณเป็นตารางเมตร
- หาตามความกว้างของตัวผิวจราจรและไหล่ทาง
- หาค่าเฉลี่ยของความสูง
- ตัวเลขที่กำหนดไว้ในตาราง เป็นตารางเมตร ของ Slope Protector ทั้งสองข้างตามแบบมาตรฐาน
- เลือกใช้ค่า Additional Factor ให้เหมาะสม โดยทั่วไปไม่เกิน ๕%

๙. Concrete Ditch Lining Type “ A ” or “ B ” และ Concrete Interceptor งาน Concrete Ditch Lining และงาน Concrete Interceptorเป็นงานการระบายน้ำเนื่องจากน้ำฝน สำหรับทางช่วงตัดเขา ทั้งนี้เพื่อป้องกันน้ำเซาะตัวคันทาง ในการพิจารณางานดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝน (Rainfall Intersity) ชนิดของดินคันทาง เปอร์เซนต์เกรดของทาง สภาพของ Back Slope และความยาวของส่วนที่เป็นดินตัดตามแนวยาว (Long Grade)

การคำนวณปริมาณงาน

- ปริมาณงานของ Ditch Lining และ Interceptorมีหน่วยเป็นเมตร
- ระยะความยาววัดตามแนวราบขนานไปกับเส้นศูนย์กลางทาง

๕.๓) งานคำนวณราคาต่อหน่วย

คำนวณราคาค่าวัสดุที่แหล่ง, ค่าขนส่ง, คำนวณค่าแรง ค่าดำเนินการในการทำงาน

๕.๔) งานประมาณราคาโครงการ

คำนวณราคารวมของโครงการ จัดทำบัญชี ปริมาณ และราคาวัสดุ

๕.๕) งานตรวจสอบความถูกต้อง

ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบความถูกต้อง ครบถ้วน ของงานจัดทำแบบก่อสร้างฉบับสมบูรณ์และประมาณราคา รวมถึงเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน ซึ่งผู้วิศวกรอาวุโส ที่มีประสบการณ์สูงจะเป็นผู้ดำเนินการตรวจสอบ โดยผลการตรวจสอบจะถูกบันทึกไว้ในแฟ้มบันทึกการทำงานของโครงการ เพื่อนำข้อบกพร่องในการทำงาน มาเป็นบทเรียน และหาทางแก้ไขต่อไป สำหรับการตรวจสอบนั้นจะใช้แบบฟอร์ม สอ ๓ในการตรวจสอบดังแสดงในรูปข้างล่างนี้

แบบฟอร์มการตรวจสอบแบบฉบับสมบูรณ์และประมาณราคา (สอ 3)

โครงการ.....

ผู้ออกแบบ.....ผู้ประมาณราคา..... วันที่.....

เวลาที่ใช้ในการดำเนินการ ☐ ก่อนกำหนดเวลา.....วัน ☐ ตามกำหนดเวลา
☐ ช้ากว่ากำหนดเวลา.....วัน สาเหตุ.....

รายการ	ครบถ้วน	ส่วนที่ควรปรับปรุง	หมายเหตุ
1. แบบก่อสร้าง			
1.1 ชื่อโครงการ แผนที่สังเขป รายละเอียดโครงการ			
1.2. รายการสารบัญแบบ การอ้างอิงแบบมาตรฐาน			
1.3. แปลนและรูปตัดตามยาว			
1.4. รูปตัดตามขวาง			
1.5. แบบขยายสะพาน หรือ โครงสร้างประกอบอื่นๆ			
2. เอกสารประมาณราคา			

ความเห็นเพิ่มเติม.....

.....
 (.....)

ผู้ตรวจสอบ

วันที่/...../.....

แบบฟอร์มการตรวจสอบแบบฉบับสมบูรณ์และประมาณราคา

สำหรับผู้ตรวจสอบจะตรวจสอบการจัดทำแบบก่อสร้างและเอกสารประมาณราคา โดยหากพิจารณาแล้วว่าถูกต้องแล้ว จะทำเครื่องหมายในช่อง “ครบถ้วน” แต่ถ้าหากเห็นว่าควรปรับปรุงเพิ่มเติมในประเด็นใด จะบันทึกลงในช่อง “ส่วนที่ควรปรับปรุง” นอกจากนี้ ผู้ตรวจสอบจะพิจารณาเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานของผู้ออกแบบด้วยว่าเป็นไปตามแผนงานหรือไม่ ซึ่งปรากฏอยู่ในส่วนบนของแบบฟอร์มดังกล่าว และหากผู้ตรวจสอบมีข้อคิดเห็นเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับงานออกแบบที่อยู่นอกเหนือรายการที่ปรากฏในแบบฟอร์ม ผู้ตรวจสอบสามารถบันทึกข้อคิดเห็นดังกล่าวได้ในส่วนท้ายของแบบฟอร์ม สำหรับรายการที่จะต้องตรวจสอบมีดังต่อไปนี้