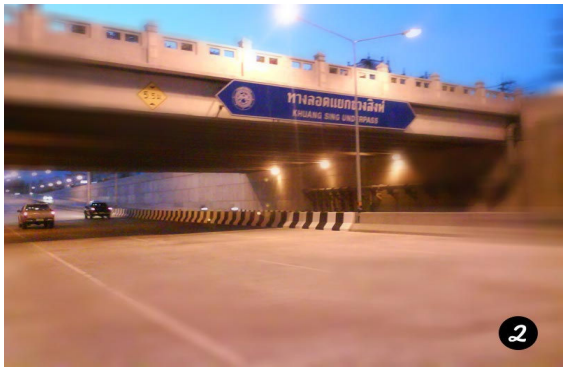
คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานและในทางลอด



จัดทำโดย

คณะทำงานพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง

สำนักสำรวจและออกแบบ

กรมทางหลวง

คำนำ

ในแต่ละปีสะพานและทางหลวงเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากน้ำท่วมและการกัดเซาะของน้ำ โดยมูลค่าความเสียหายเนื่องจากน้ำท่วมและน้ำกัดเซาะทางหลวงเป็นมูลค่ามากกว่า ร้อยล้านบาท ซึ่งส่งผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อความเป็นอยู่ของประชาชนและเศรษฐกิจเป็นอย่างมาก สาเหตุที่น้ำท่วมทางหลวงนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของธรรมชาติอันเนื่องมากจากผลของ Global Warming และ Elninyo Effect การเปลี่ยนแปลงการใช้งานของที่ดินและประเภทการใช้งานรวมทั้งสภาพของพื้นที่รับน้ำโดยรอบของทางหลวง และ การขาดการบริหารจัดการในงานด้านบำรุงทางหลวงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายน้ำ สาเหตุเหล่านี้ทำให้ปริมาณน้ำที่ไหลมายังทางหลวงมีค่าความแตกต่างอย่างมากไปจากสภาวะเริ่มต้นที่ใช้ในการออกแบบหรือตอนก่อสร้างใหม่ ทำให้เกิดน้ำท่วมและการกัดเซาะของน้ำตามมา ซึ่งจากสาเหตุข้างต้นการป้องกันความเสียหายของทางหลวงเนื่องจากน้ำท่วมและการกัดเซาะสามารถทำได้โดยส่วนหนึ่งคือการปรับปรุงวิธีการออกแบบ และ การเลือกใช้ข้อมูลที่ใหม่และตรงกับสภาพของพื้นที่ตั้งของทางหลวง

จากเหตุผลนี้ สำนักสำรวจและออกแบบได้แต่งตั้งคณะทำงานพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง เพื่อทำการพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำที่ให้ข้อมูลที่วิศวกรและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้อ้างอิงงานด้านการออกแบบงานด้านระบายน้ำในทางหลวงได้

คู่มือนี้เป็นการนำเสนอ การออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานและในทางลอด เป็นส่วนหนึ่งของงานการจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวงซึ่งคณะทำงานได้อ้างอิงเนื้อหาและรายละเอียดมา และ นำมาทำการเรียบเรียงและจัดทำออกมาเป็นรูปเล่มแยกเฉพาะเพื่อให้กระฉับและเหมาะสมกับการนำไปใช้ในการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานและทางลอดได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง

คณะทำงานหวังว่าคู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานและในทางลอดนี้จะเป็นประโยชน์ต่อวิศวกรรวมทั้ง หน่วยงานต่างๆที่ทำงานด้านการออกแบบและงานด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบระบายน้ำบนสะพานและในทางลอด

คณะทำงานพิจารณาจัดทำคู่มือการออกแบบงานระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง

สำนักสำรวจและออกแบบ

กรมทางหลวง

สารบัญ

บทที่ 1 ระบบระบายน้ำบนสะพาน 5

1.1 การระบายน้ำบนสะพาน 5

1.2 อุปกรณ์ระบายน้ำบนและใต้พื้นสะพาน 5

1.3 การระบายน้ำจากบนสะพานไปสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะและทางหลวง 15

บทที่ 2 แนวความคิดและหลักการออกแบบระบายน้ำบนสะพาน 16

2.1 การออกแบบโดยการพิจารณาการกระจายตัวของพื้นที่น้ำขังบนพื้นสะพาน 16

2.2 การออกแบบเพื่อป้องกันการลื่นไถลของยานพาหนะ 16

2.3 การออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นของผู้ขับขี่ 16

2.4 การออกแบบโดยพิจารณาขนาดและลักษณะของโครงสร้างสะพาน 17

2.5 การออกแบบโดยพิจารณาปัจจัยด้านความสวยงามของโครงสร้างสะพาน 17

2.6 การออกแบบเพื่อลดการบำรุงรักษาระบบระบายน้ำบนสะพาน 18

2.7 มาตรฐานการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน 18

บทที่ 3 การออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน 19

3.1 ขั้นตอนการออกแบบ 19

3.2 การประมาณค่าปริมาณน้ำที่ระบายบนสะพาน 19

3.2.1 การเลือกค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจรและคาบของพายุฝน ที่ใช้ในการออกแบบ 19

3.2.2 การคำนวณค่าปริมาณน้ำโดยใช้ Rational Method 20

3.3 การออกแบบรางระบายน้ำบนพื้นสะพาน 22

3.4 การออกแบบขนาดและระยะห่างของช่องเปิดบนพื้นสะพาน 23

3.4.1 สะพานที่มีความชันของความโค้งดิ่งเป็นศูนย์ 23

3.4.2 สะพานที่มีความชันของความโค้งดิ่งคงที่ 24

3.4.3 สะพานโค้งดิ่งทั่วไป 27

3.5 การออกแบบระบบระบายน้ำใต้พื้นสะพาน 31

3.6 การออกแบบระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพาน 41

บทที่ 4 ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน 45

4.1 การออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้สมการ 45

4.2 การออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้ตารางช่วยออกแบบ 47

4.3 การออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้กราฟช่วยออกแบบ 48

บทที่ 5 ระบบระบายน้ำในทางลอด 49

5.1 การระบายน้ำในทางลอด 49

5.2 อุปกรณ์ระบายน้ำในทางลอด 50
5.3 การระบายน้ำในทางลอดไปสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะและทางหลวง 52
5.4 แนวความคิดและหลักการออกแบบระบายน้ำในทางลอด 52
5.5 มาตรฐานการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด 52
บทที่ 6 การออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด 53
6.1 ขั้นตอนการออกแบบ 53
6.2 การประมาณค่าปริมาณน้ำที่ระบายในทางลอด 53
6.3 การออกแบบรางระบายน้ำในทางลอด 55
6.4 การออกแบบขนาดและระยะห่างของช่องเปิดในทางลอด 56
6.5 การออกแบบระบบ pump ในทางลอด 58
บทที่ 7 ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด 59

ภาคผนวก ก. หนังสืออ้างอิง 72

บทที่ 1

ระบบระบายน้ำบนสะพาน

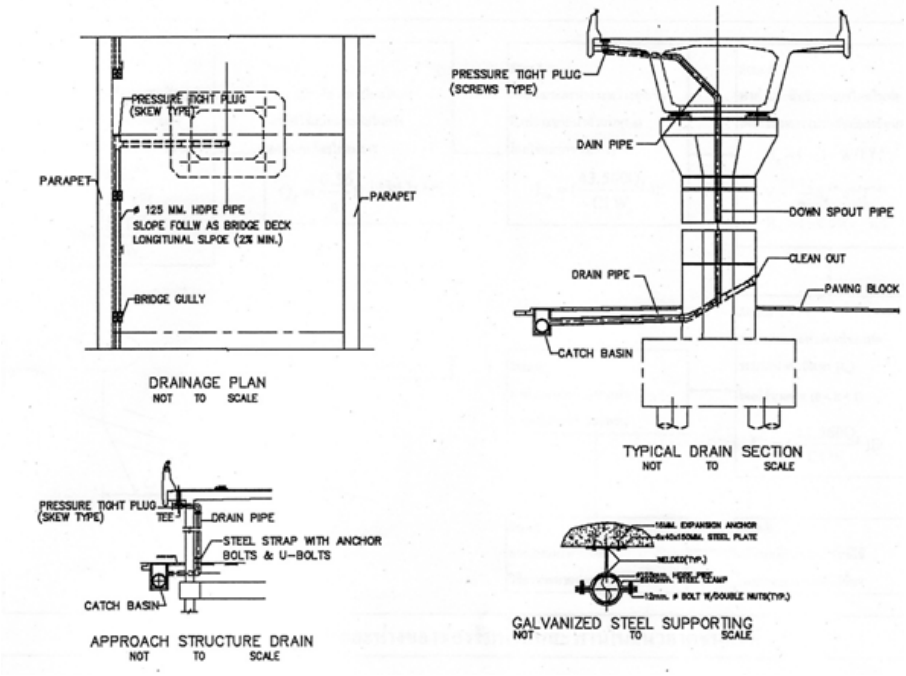
1.1 การระบายน้ำบนสะพาน

การระบายน้ำบนสะพานเป็นการดำเนินการรวบรวมน้ำที่ขังอยู่บริเวณรางตื้นที่ริมผิวจราจร (Gutter) ระบายลงสู่ช่องระบาย ซึ่งอาจเป็นตะแกรงเหล็ก (Grating Inlet) หรือ ท่อระบาย เหล็กหล่อ (Pipe Inlet) ซึ่งติดตั้งเป็นระยะๆ ตามแต่ปริมาณการไหลที่จะต้องการระบาย โดยปกติจะรวบรวมน้ำด้วยท่อ PVC หรือ HDPE ที่ติดตั้งมาตามเสาของโครงสร้างยกระดับต่อเชื่อมลงสู่บ่อพักน้ำ (Catch Inlet) ซึ่งระบายลงสู่ระบบระบายน้ำของถนนสายหลัก หรือ แหล่งธรรมชาติ

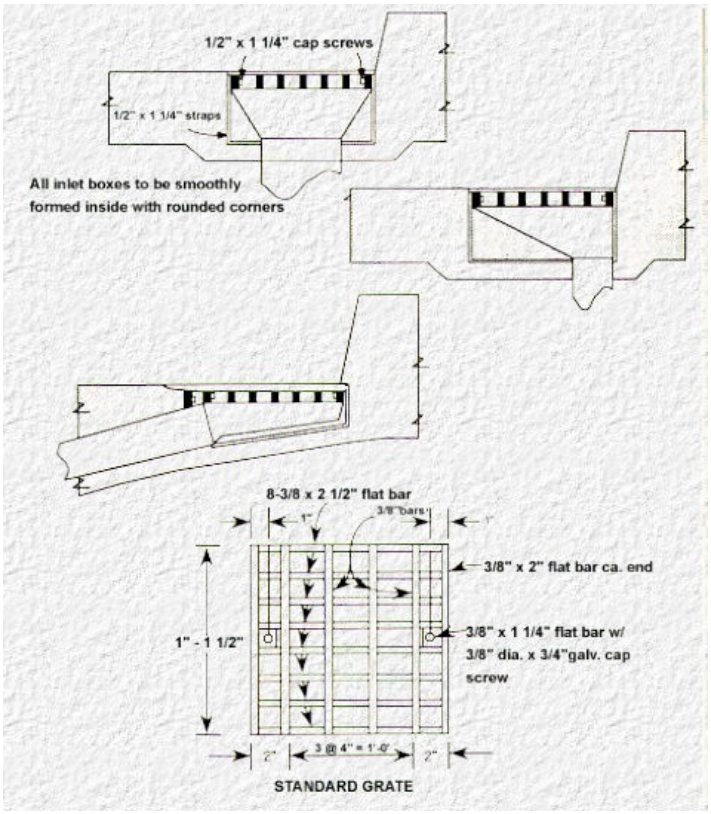
1.2 อุปกรณ์ระบายน้ำบนและใต้พื้นสะพาน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการระบายน้ำบนและใต้พื้นสะพานมีดังต่อไปนี้ เช่น รางตื้นที่ริมผิวจราจร (Gutter) ตะแกรงเหล็ก (Grating Inlet) ท่อเหล็กระบายน้ำ (Pipe Inlet) ท่อรวบรวมน้ำชนิด PVC และ HDPE บ่อพักน้ำ (Catch Inlet)

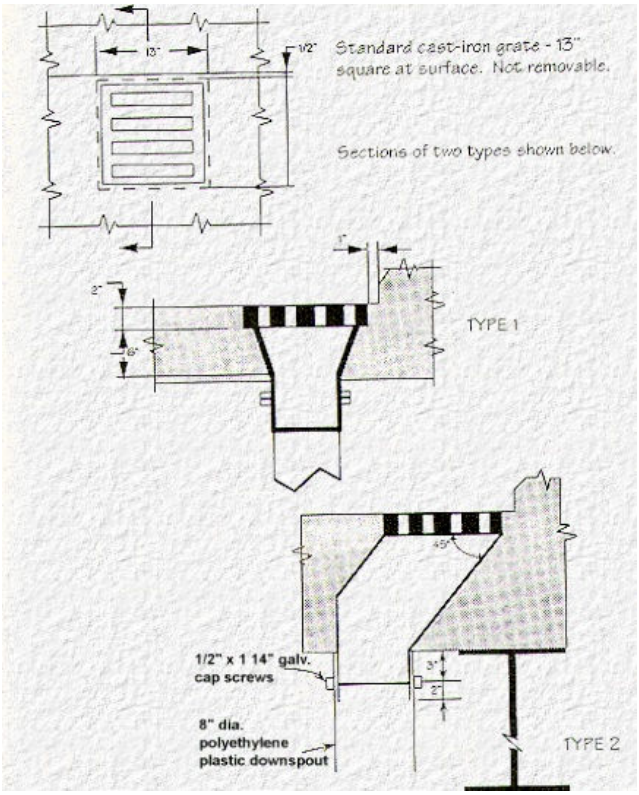
ตัวอย่างของอุปกรณ์ระบายน้ำที่ใช้อย่างแพร่หลายในงานก่อสร้างสะพานของกรมทางหลวงแสดงดังรูปดังต่อไปนี้



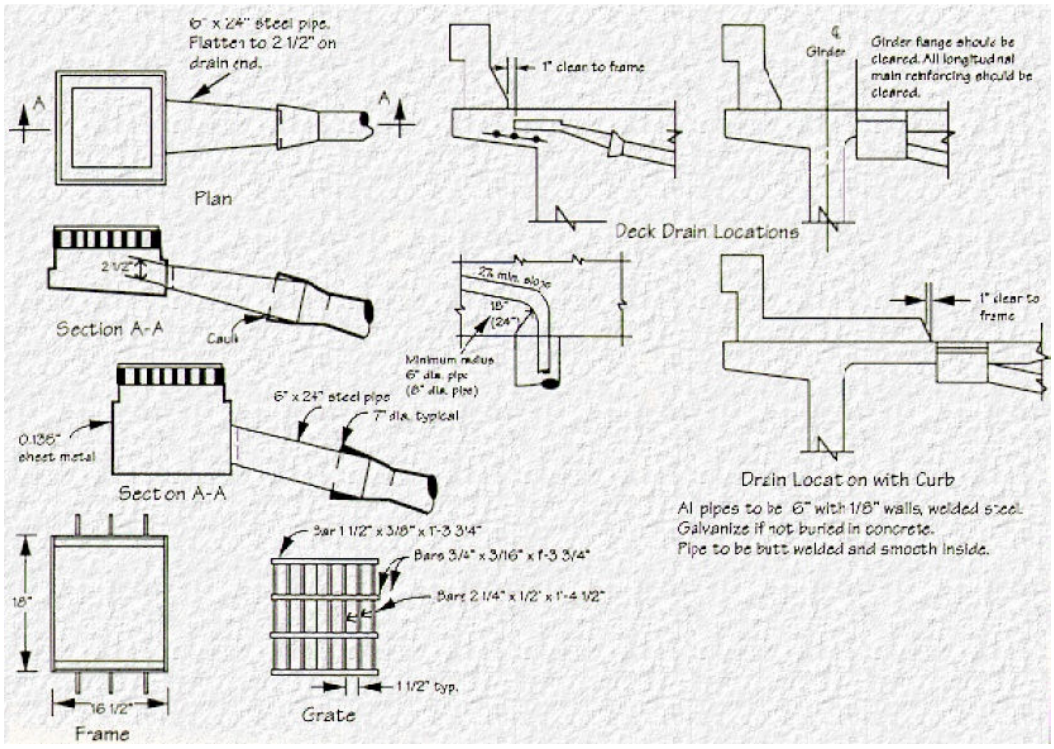
รูปที่ 1.1 ลักษณะการระบายน้ำบนโครงสร้างสะพานลอยข้ามทางแยก



รูปที่ 1.2 อุปกรณ์ Grates with formed concrete inlet chamber



รูปที่ 1.3 อุปกรณ์ Grates with cast-ironed inlet chamber



รูปที่ 1.4 อุปกรณ์ Grates with welded-steel inlet chambers

รูปที่ 1.5 แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Slab Type

รูปที่ 1.6 แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Slab Type

รูปที่ 1.7 แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Slab Type

รูปที่ 1.8 แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Slab Type

รูปที่ 1.9 แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Plank Beam

รูปที่ 1.10 แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Plank Beam

รูปที่ 1.11 แสดง Mortar Pipe ในสะพานประเภท Plank Beam

รูปที่ 1.12 แสดงท่อ PVC ในสะพานประเภท Box Beam

รูปที่ 1.13 แสดงท่อ PVC ในสะพานประเภท Box Beam

รูปที่ 1.14 แสดงท่อ PVC ในสะพานประเภท Box Beam

รูปที่ 1.15 ท่อ HDPE เพื่อใช้ระบบน้ำจากบนสะพานในสะพานประเภท I-Girders

รูปที่ 1.16 ระหว่างการติดตั้ง ท่อ Drain Pipe ประเภท HDPE ในสะพานประเภท I-Girders

รูปที่ 1.17 ท่อ Drain Pipe ประเภท HDPE ในสะพานประเภท I-Girders

รูปที่ 1.18 ท่อ Drain Pipe ประเภท PVC ที่ไม่ควรใช้ ในสะพาน

รูปที่ 1.19 ท่อ Drain Pipe ประเภท PVC ที่ไม่ควรใช้ ในสะพาน

รูปที่ 1.20 ลักษณะของ Grating Inlet ที่ใช้ระบายน้ำบนสะพานประเภท I-Girders

รูปที่ 1.21 ลักษณะของ Grating Inlet ที่ใช้ระบายน้ำบนสะพานประเภท I-Girders

รูปที่ 1.22 ท่อ HDPE เพื่อใช้สำหรับระบบระบายน้ำจากบนสะพานในสะพานประเภท Box Girders

รูปที่ 1.23 ท่อ HDPE เพื่อใช้สำหรับระบบระบายน้ำจากบนสะพานในสะพานประเภท Box Girders

รูปที่ 1.24 ท่อ HDPE เพื่อใช้สำหรับระบบระบายน้ำจากบนสะพานในสะพานประเภท Box Girders

รูปที่ 1.25 ท่อ HDPE เพื่อใช้สำหรับระบบระบายน้ำจากบนสะพานในสะพานประเภท Box Girders

1.3 การระบายน้ำจากบนสะพานไปสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะและทางหลวง

โดยทั่วไปน้ำฝนหรือน้ำธรรมชาติที่ตกบนผิวทางของสะพานจะไหลไปสู่ช่องเปิดบนพื้นสะพานและถูกลำเลียงไปสู่ระบบระบายน้ำใต้พื้นสะพาน ส่วนน้ำที่เหลือจากช่องเปิดบนพื้นสะพานจะไหลไปยังบริเวณปลายสะพานและลำเลียงไปสู่ระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพาน ซึ่งน้ำที่ระบายทั้งหมดจะถูกลำเลียงโดยท่อทั้งแบบเปิดหรือแบบปิดก่อนระบายไปยังระบบระบายน้ำสาธารณะและทางหลวงต่อไป

บทที่ 2

แนวความคิดและหลักการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน

2.1 การออกแบบโดยการพิจารณาการกระจายตัวของพื้นที่น้ำขังบนพื้นสะพาน

การออกแบบโดยการพิจารณาการกระจายตัวของพื้นที่น้ำขังบนพื้นสะพานเป็นการออกแบบที่พิจารณาปริมาณน้ำฝน Rainfall Intensity จากสมการ Rational Method โดยในการออกแบบจะนำค่าของความกว้างหรือการกระจายตัวของพื้นที่น้ำขัง หรือที่เรียกว่า Spread (T) มาร่วมพิจารณาด้วย โดยปกติ ค่าของความกว้างของน้ำขังจะใช้ประมาณ 0.8เมตร และ หาก จำนวนช่องจราจรมีมากกว่าหนึ่งช่องในแต่ละทิศทาง สามารถสมมุติให้ความกว้างของน้ำขังเท่ากับ ความกว้างของช่องจราจรได้ สำหรับความเหมาะสมและความปลอดภัยที่ได้จากการใช้วิธีนี้นั้น ในต่างประเทศมักจะนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ทำให้เกิดการลื่นไถลของยานพาหนะและค่าที่ทำให้เกิดการลดประสิทธิภาพของการมองเห็นของผู้ขับขี่ยานพาหนะ อย่างไรก็ตาม โดยปกติ ปริมาณน้ำที่ประมาณจากการปริมาณน้ำขังและ Rational Method มักจะให้ค่าที่ปลอดภัยเพียงพอในการออกแบบและค่าการก่อสร้างที่ยอมรับได้

2.2 การออกแบบเพื่อป้องกันการลื่นไถลของยานพาหนะ

การออกแบบเพื่อป้องกันการลื่นไถลของยานพาหนะเป็นวิธีที่ประมาณปริมาณน้ำที่ต้องระบายบนสะพานโดยพิจารณาค่าความเข้มข้นของฝนซึ่งสร้างจากหลักการลื่นไถลของยานพาหนะ ซึ่งค่าความเข้มข้นนี้เป็นค่าความเข้มข้นของน้ำฝนที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดปริมาณน้ำขังที่อยู่ในระดับความลึกที่ทำให้ยานพาหนะลื่นไถล หลักการออกแบบนี้เพื่อที่จะทำการระบายน้ำที่ทำให้เกิดการลื่นไถลนี้ให้หมดไปจากผิวจราจร ดังนั้นการใช้หลักการออกแบบนี้จะใช้ก็ต่อเมื่อมีความต้องการความปลอดภัยสูงมากต่อผู้ขับขี่ ซึ่งทำให้ในบางกรณีค่าที่ใช้ในการออกแบบนี้จะค่อนข้างเพิ่มค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างค่อนข้างมาก ซึ่งโดยปกติวิธีที่ใช้ในกรมทางหลวงและในประเทศไทย มักจะใช้วิธีแรกเท่านั้น สำหรับผู้ที่สนใจขั้นตอนการออกแบบโดยใช้หลักการนี้สามารถอ้างอิงได้จากคู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำของหน่วยงาน Hydrologic Engineering Center (HEC) – www.hec.usace.army.mil

2.3 การออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นของผู้ขับขี่

การออกแบบโดยใช้ระยะการมองเห็นของผู้ขับขี่เป็นการออกแบบโดยประมาณปริมาณน้ำที่ต้องการระบายบนพื้นสะพานซึ่งหาจากค่าความเข้มข้นของฝนที่หาได้จากค่าที่หาจากหลักการระยะการมองเห็นของคนขับขี่ยานพาหนะ โดยค่าที่ใช้จะเป็นค่าความเข้มข้นที่ทำให้ผู้ขับขี่มีระยะมองเห็นที่สั้นเกินกว่าค่าที่ใช้ในการออกแบบ โดยสมการที่ใช้ในการค่าความเข้มข้นของฝนที่มีความสัมพันธ์กับระยะการมองเห็นของคนขับขี่ยานพาหนะหาได้จากสมการที่เสนอโดย Lvey et al (1975) ซึ่งแสดงดังนี้คือ

$$S_v = \frac{2000}{i^{0.68}} \text{x} \frac{40}{v}$$

โดยที่ Sv = ระยะการมองเห็นของคนขับ (ft)

I = Railfall Intensity (in/hr)

V = ความเร็วของยานพาหนะ (mi/hr)

สำหรับข้อควรระวังในการใช้หลักการนี้ในคือการประมาณปริมาณน้ำบนสะพานในประเทศไทยควรทำการปรับแก้แบบจำลองให้ตรงกับพฤติกรรมของผู้ใช้ถนนในประเทศไทยก่อน ด้วยเหตุนี้โดยปกติวิธีที่ใช้ในกรมทางหลวงและในประเทศไทย มักจะใช้วิธีแรกเท่านั้น สำหรับผู้ที่สนใจขั้นตอนการออกแบบโดยใช้หลักการนี้สามารถอ้างอิงได้จากคู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำของหน่วยงาน Hydrologic Engineering Center (HEC) – www.hec.usace.army.mil

2.4 การออกแบบโดยพิจารณาขนาดและลักษณะของโครงสร้างสะพาน

ในการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน ใต้สะพาน และ บริเวณปลายสะพานมีความจำเป็นที่ต้องพิจารณาขนาดและลักษณะของโครงสร้างสะพานร่วมด้วย ดังเช่นการวางตำแหน่งของช่องเปิดบริเวณบนพื้นสะพานนั้นจะต้องเลือกตำแหน่งที่สอดคล้องกับแนวการวางและระยะห่างของเหล็กเสริมสำหรับสะพานที่ออกแบบเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก และต้องพิจารณาการวางแนวของลวดแรงอัดในกรณีของสะพานแบบคอนกรีตอัดแรง โดยจะต้องคำนึงถึงโอกาสที่น้ำที่ลำเลียงออกมาอาจเกิดการรั่วซึมหรืออาจมีส่วนผสมของสารหรือตะกอนต่างๆที่ทำให้เกิดสนิมหรือการเสื่อมถอยของกำลังของโครงสร้างได้

สำหรับกรณีที่ระบบระบายน้ำบริเวณใต้พื้นสะพานไม่ได้ออกแบบให้มีท่อลำเลียงน้ำตามยาวและอนุญาตให้น้ำที่ระบายตกลงมาจากใต้ท้องสะพาน ตำแหน่งของช่องเปิดควรอยู่ห่างจากเสาและตอม่อสะพานเพื่อป้องกันน้ำที่ตกลงมาจากสะพานถูกลมพัดย้อนกลับไปหาเสาและตอม่อซึ่งทำให้เกิดกัดกร่อนหรือสนิมกับโครงสร้างส่วนล่างดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตามหากมีความจำเป็นต้องให้ตำแหน่งของช่องเปิดใกล้กับเสาควรออกแบบให้มีท่อลำเลียงน้ำในแนวดิ่งติดกับแนวของเสาและตอม่อของสะพาน

2.5 การออกแบบโดยพิจารณาปัจจัยด้านความสวยงามของโครงสร้างสะพาน

ในการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานผู้ออกแบบควรคำนึงถึงปัจจัยด้านความสวยงามของโครงสร้างสะพานเพิ่มเติมจากปัจจัยด้านวิศวกรรม โดยปกติระบบท่อที่ใช้ลำเลียงน้ำจากรูระบายน้ำบนพื้นสะพานไปสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะหรือพื้นดินมักจะถูกออกแบบให้ยึดติดไปกับแนวของโครงสร้างส่วนบนและส่วนล่าง เช่น ระบบท่อที่ยึดไปกับส่วนของพื้นยื่นของโครงสร้างส่วนบน ระบบท่อที่ยึดไปตามแนวของตอม่อสะพาน เป็นต้น ซึ่งการเดินระบบท่อแบบภายนอกนี้หากผู้ออกแบบไม่คำนึงถึงการวางแนวและการเปลี่ยนมุมของแนวท่อในตำแหน่งที่ดูสวยงาม เรียบร้อย จะทำให้ภาพลักษณ์ของสะพานเสียไป ด้วยสาเหตุดังกล่าววิธีที่นิยมปฏิบัติคือการใช้ส่วนประกอบที่ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นโครงสร้าง

หลักของสะพานมาช่วยบังแนวท่อให้แลดูสวยงามมากขึ้น เช่น การออกแบบให้ส่วนของตอม่อสะพานมีร่องที่สามารถทำการเดินแนวของท่อระบายน้ำได้ หรือ การใช้ส่วนของ Fin หรือ Parapet ของโครงสร้างสะพานส่วนบนมาบังแนวการเดินท่อ อย่างไรก็ตามเพื่อให้การบำรุงรักษาระบบระบายน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็วและง่าย ผู้ออกแบบควรหลีกเลี่ยงการฝังท่อหรือระบบระบายน้ำไว้ในส่วนของโครงสร้างสะพาน

2.6 การออกแบบเพื่อลดการบำรุงรักษาระบบระบายน้ำบนสะพาน

โดยทั่วไปการลดการบำรุงรักษาระบบระบายน้ำบนสะพานที่ดีที่สุดคือไม่ควรมี หรือลดจำนวนของรูรับน้ำบนพื้นสะพานให้น้อยที่สุด เนื่องจากปัญหาหลักที่พบในช่วงบำรุงรักษาระบบระบายน้ำบนสะพานคือการอุดตันของรูรับน้ำ ซึ่งหากลดจำนวนของรูรับน้ำให้น้อยแล้วก็จะทำให้โอกาสการเกิดการอุดตันน้อยลงไป

นอกจากนั้นการเลือกขนาดของท่อควรที่จะคำนึงถึงขนาดที่สามารถรองรับการทำความสะอาดได้ง่ายในภายหลัง และควรพิจารณาขนาดท่อและมุมเอียงของข้อต่อต่างๆ ไม่ให้เกิดการอุดตันของท่อเนื่องจากเศษดิน และขยะต่างๆที่อาจไหลมากับน้ำที่ระบายมาจากบนสะพาน

2.7 มาตรฐานการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน

มาตรฐานการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบและจัดทำคู่มือนี้ได้อ้างอิงจากคู่มือที่จัดทำขึ้นจากหน่วยงานในต่างประเทศดังต่อไปนี้

- Texas Department of Highways (Texas DOT)
- Hydrologic Engineering Center (HEC)
- Federal Highway Administration (FHWA)
- AASHTO LRFD Bridge Design Specification
- AASHTO Model Drainage Manual

บทที่ 3

การออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน

3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานเริ่มจาก การรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบเบื้องต้น จากนั้นทำการเลือกมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ ทำการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการระบายน้ำ จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการคำนวณหาปริมาณน้ำบนสะพานที่จำเป็นต้องระบาย ซึ่งโดยปกติใช้ วิธี Rational Method ในการหา Rainfall Intensity จากนั้นคำนวณหาอัตราการไหล เมื่อได้อัตราการไหลแล้วจึง ทำการคำนวณหาขนาดและรูปร่าง ระยะห่างของช่องเปิดรับน้ำ และขั้นตอนสุดท้ายทำการลงรายละเอียดในแบบจากขั้นตอนทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปในรูปข้างล่างคือ

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน

3.2 การประมาณค่าปริมาณน้ำที่ระบายบนสะพาน

3.2.1 การเลือกค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจรและคาบของพายุฝนที่ใช้ในการออกแบบ

การเลือกค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร (T) นั้น โดยปกติจะใช้ค่าความกว้างหรือการกระจายตัวของน้ำขัง ประมาณ 0.8 เมตร แต่ในต่างประเทศอาจใช้ความกว้างของหนึ่งช่องจราจรเป็นความกว้างที่ให้น้ำกระจายตัวได้

สำหรับรอบปีการเกิดซ้ำ (Return Period) หรือคาบของพายุฝน ซึ่งสัมพันธ์กับพื้นที่รับน้ำและชนิดของอาคารระบายน้ำสามารถแจกแจงได้ดังนี้

- 5 ปี สำหรับการคำนวณระบายน้ำบนผิวจราจร เกาะกลาง และคูระบายน้ำข้างทาง

- 25 ปี สำหรับการคำนวณระบบระบายน้ำ สำหรับท่อลอดหรือสะพานขนาดเล็ก (Cross Drain)

- 50 ปี สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำมากกว่า 1,000 ตร.กม. หรือสำหรับสะพานขนาดใหญ่

โดยทั่วไปคาบของพายุฝนที่ใช้ในการออกแบบปริมาณน้ำฝนที่ต้องระบายบนสะพานจะใช้ประมาณ 25 ปี ซึ่งเท่ากับในกรณีที่ใช้สำหรับการคำนวณระบบระบายน้ำในท่อลอดหรือสะพานขนาดเล็ก

3.2.2 การคำนวณค่าปริมาณน้ำโดยใช้ Rational Method

ในการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญได้แก่ การคำนวณค่าปริมาณน้ำโดยใช้สมการ Rational Method ซึ่งแสดงดังนี้

$$Q = 0.278CIA$$

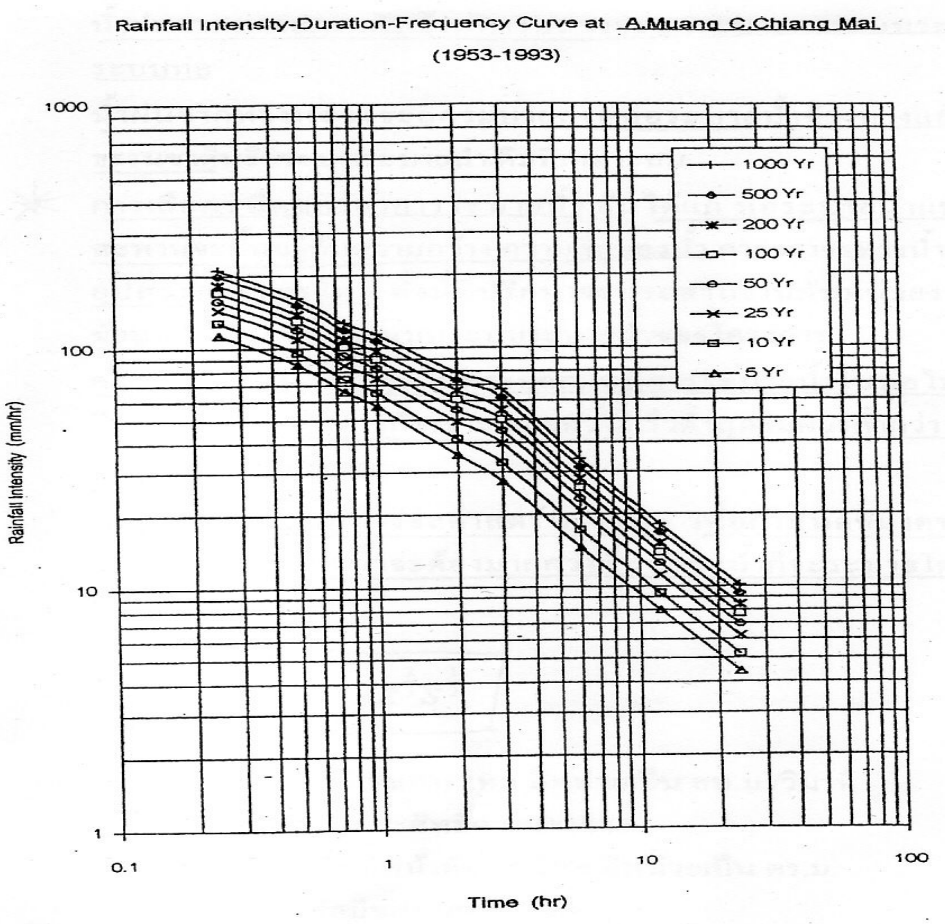
โดยที่ Q = ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที

C = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9)

I = ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ซม.

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน มีหน่วยเป็น ตร.กม

สำหรับการหาค่าความเข้มของฝน ที่มีหน่วยเป็น มม./ซม. นั้นจะหาได้จากกราฟน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก (Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curve) หรือที่เราเรียกกันว่า IDF Curve ดังแสดงข้างล่าง ซึ่งกราฟนี้จะขึ้นกับข้อมูลในพื้นที่ในแต่ละจังหวัด โดยที่ปรึกษาจะพัฒนากราฟน้ำฝนจากข้อมูลน้ำฝนในพื้นที่ที่ใกล้เคียงกับพื้นที่โครงการมากที่สุดและเป็นข้อมูลที่ทันสมัยที่สุดที่มีการบันทึกไว้



รูปที่ 3.2 กราฟความเข้มฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ (IDF Curve) ที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

โดยปกติการหาค่าปริมาณความเข้มฝน จำเป็นต้องทราบ คาบหรือรอบปีการเกิดซ้ำ และ ช่วงเวลาการไหลของน้ำฝนมายังตำแหน่งของอาคารระบายน้ำ (Time of Concentration) แต่ในกรณีที่ใช้กราฟนี้หาความเข้มของน้ำฝนบนสะพาน ช่วงเวลาการไหลมักจะประมาณจากผลรวมของสมการดังต่อไปนี้

$$t_0 = 0.93\frac{(W_p n)^{0.6}}{(C_i)^{0.4} S^{0.3}}$$

$$t_g = \frac{484\ (SxT)^2}{C_i W_p}$$

โดยที่ Wp = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

S = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร
C = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ
(โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9)

ซึ่งหลังจากประมาณค่าปริมาณน้ำฝนที่ต้องระบายบนสะพานแล้ว จะนำไปใช้ออกแบบขนาดรางระบายน้ำ และ หาขนาดและจำนวนของช่องเปิดรับน้ำบนสะพานต่อไป

3.3 การออกแบบรางระบายน้ำบนพื้นสะพาน

โดยทั่วไปการออกแบบรางระบายน้ำบนพื้นสะพานจะใช้หลักการเดียวกับการไหลบนผิวทางนั่นคือใช้สมการของ Manning Formula ได้แก่

$$Q = \frac{0.376}{n} Cr^{1.67} S^{0.5} T^{2.67}$$

โดยที่ n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning
Cr = Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน
S = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน
T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

ซึ่งจากสมการข้างต้นทำให้สามารถออกแบบขนาดของรางระบายน้ำบนพื้นสะพานให้เพียงพอต่อปริมาณน้ำฝนที่ต้องระบายได้ หลังจากการประมาณหาขนาดของรางระบายน้ำบนพื้นสะพาน เพื่อให้น้ำที่ไหลบนรางสามารถที่จะระบายออกไปสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะได้ ผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องประมาณหาขนาดและจำนวนของช่องเปิดเพื่อรับน้ำที่ไหลในรางนี้เพื่อระบายออกไปได้ โดยการระบายน้ำลักษณะนี้จะใช้แนวความคิดเหมือนกับการระบายน้ำบนทางยกระดับที่เรียกว่า Deck Drain Capacity ซึ่งจะระบายน้ำผ่านช่องเปิดซึ่งติดตั้งอยู่เป็นระยะๆ มีลักษณะการไหลเหมือนกับการไหลของน้ำผ่านฝาย ซึ่งมีลักษณะเป็นการไหลลงสู่ที่ต่ำด้วยแรงโน้มถ่วงผ่านช่องเปิดที่มีลักษณะเป็นสัน ทั้งรูปแบบของการระบายน้ำผ่านช่องตะแกรงที่ติดตั้งอยู่บนพื้นผิวจราจร และ ช่องตะแกรงแบบติดตั้งด้านข้าง ซึ่งสามารถทำได้โดยพิจารณาสมการดังนี้

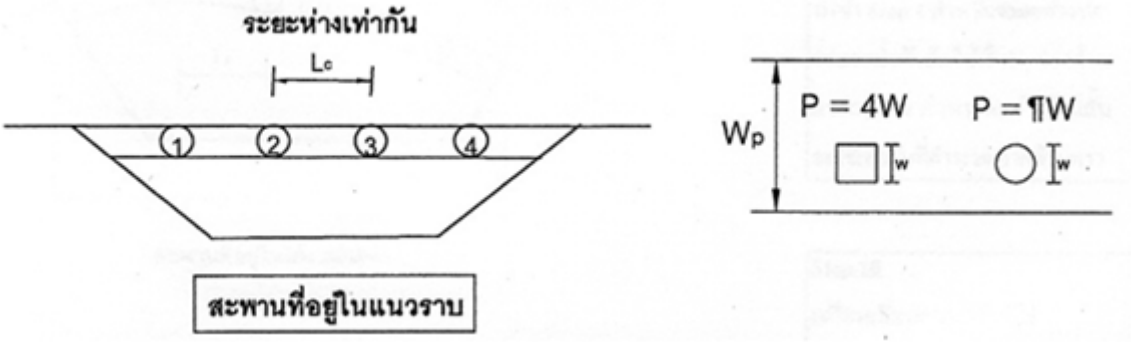
$$Q_i = C_w P d^{1.5}$$

โดยที่ Qi = อัตราการระบายน้ำ มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที
P = ค่าความยาวรอบรูปของช่องเปิด (Inlet)
Cw = สัมประสิทธิของฝายน้ำล้น โดยปกติสมมุติให้เป็น 1.66
d = ความลึกของการไหลโดยปกติสมมุติให้เป็น 0.05 เมตร

3.4 การออกแบบขนาดและระยะห่างของช่องเปิดบนพื้นสะพาน

จากสมการที่ใช้ในการประมาณปริมาณน้ำที่ต้องระบายบนพื้นสะพานและขนาดของช่องเปิดและรางระบายน้ำเพื่อใช้ระบายน้ำบนสะพานไปสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะ เพื่อให้การคำนวณหาขนาดและระยะห่างของช่องเปิดบนพื้นสะพานเป็นไปอย่างรวดเร็วขึ้น สมการในหัวข้อ 3.2 และ 3.3 จึงนำมาปรับให้ตรงกับลักษณะสะพานแบบต่างๆ เช่น สะพานที่มีความชันของความโค้งดิ่งเป็นศูนย์ สะพานที่มีความชันของความโค้งดิ่งคงที่ และสะพานโค้งดิ่งทั่วไป

3.4.1 สะพานที่มีความชันของความโค้งดิ่งเป็นศูนย์



รูปที่ 3.3 การออกแบบระยะห่างของช่องรับน้ำของสะพานในแนวราบ

สมการและขั้นตอนการออกแบบระยะห่างของช่องรับน้ำบนสะพาน ในแนวลาดชันเป็นศูนย์มีดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> คำนวณหาความเข้มฝนโดยใช้เวลารวมน้ำฝนคงที่เท่ากับ 5 นาที

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> คำนวณหาระยะห่างคงที่ของท่อ (Lc) โดยใช้วิธีแบบกระจายในการออกแบบ ซึ่งสมการการหาระยะห่างคงที่คือ

$$L_C = \frac{1312}{(nCiW_p)^{0.67}} S_x^{1.44} T^{2.11}$$

โดยที่ n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

Wp = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

C = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9)

I = ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ซม.

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบค่าที่คำนวณในขั้นตอนที่ 2 ถ้าหากระยะห่างของท่อระบายน้ำที่คำนวณได้มากกว่าความยาวสะพาน ไม่จำเป็นต้องใส่ท่อ อย่างไรก็ตามหากน้อยกว่าความยาวสะพานจำเป็นต้องใส่ท่อระบายน้ำ โดยขนาดท่อคำนวณจาก

$$P = \frac{(CiW_p)^{0.33} T^{0.61}}{102.5 S_x^{0.06} n^{0.67}}$$

โดยที่ n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

Wp = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

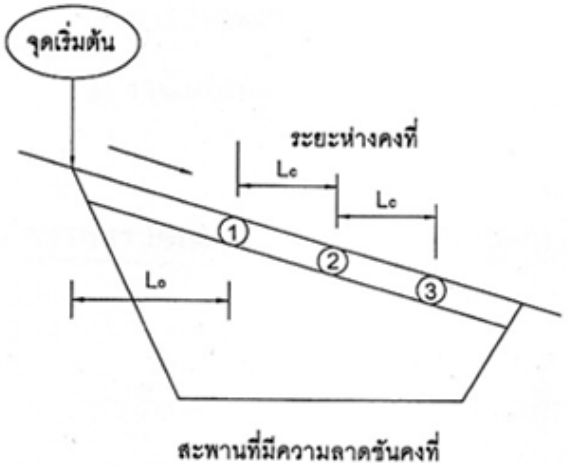
C = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9)

I = ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ชม.

P = ค่าความยาวรอบรูปของช่องเปิด (Inlet)

ซึ่งเมื่อคำนวณหาค่าความยาวรอบรูปชองช่องเปิดจากสมการข้างต้น จะสามารถเลือกขนาดของท่อที่ใช้ติดตั้งบนสะพานได้ต่อไป ตัวอย่างของชนิดและขนาดของท่อบนพื้นสะพานประเภท Slab Type ได้แก่ ท่อแบบ Mortar Drainage Pipe ซึ่งมีขนาดเส้นรอบรูปภายในเท่ากับ 2x(0.1+0.2) = 0.6 เมตร ซึ่งรูปแบบของท่อนี้สามารถอ้างอิงได้จากแบบมาตรฐานกรมทางหลวงของสะพานประเภท Slap Type (DWG NO. ST-01)

3.4.2 สะพานที่มีความชันของความโค้งดิ่งคงที่



รูปที่ 3.4 การออกแบบระยะห่างของช่องรับน้ำของสะพานที่มีความชันคงที่

สมการและขั้นตอนการออกแบบระยะห่างของช่องรับน้ำบนสะพานที่มีความชันของความโค้งดิ่งคงที่ มีดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> คำนวณหาความเข้มข้นของฝน สำหรับเวลาที่น้ำไหลลงท่อระบายน้ำตัวแรก โดยใช้สมการร่วมกับ IDF Curve ดังนี้

$$t_0 = 0.93\frac{(W_P n)^{0.6}}{(Ci)^{0.4} S^{0.3}}$$

$$t_g = 484\frac{(SxT)^2}{CiW_p}$$

โดยที่ Wp = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

S = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

C = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9)

I = ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ซม.

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> คำนวณหาอัตราการไหลในท่อโดยใช้วิธีการกระจายของน้ำขังบนผิวจราจรในการออกแบบ ซึ่งแสดงในสมการดังต่อไปนี้

$$Q_f = \frac{0.56}{n} Sx^{1.67} S^{0.5} T^{2.67}$$

โดยที่ n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Cr = Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

S = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> คำนวณหาระยะห่างระหว่างจุดเริ่มถึงท่อระบายน้ำตัวแรก (Lo) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$L_0 = (\frac{43{,}560 Q_f}{CiW_p})E$$

โดยที่ Wp = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

C = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9)

I = ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ซม.

Qf = อัตราการไหลในท่อที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 2

E = ประสิทธิภาพการไหลในรางระบายน้ำ ตัวแรกจะสมมุติให้เป็น 1.0

หากค่า Lo ที่คำนวณได้มีค่ายาวกว่าความยาวสะพาน L_B ผู้ออกแบบไม่จำเป็นต้องติดตั้งรูระบายน้ำบนสะพาน อย่างไรก็ตามระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพานควรพิจารณาเพิ่มเติม

หากค่า Lo ที่คำนวณได้มีค่าสั้นกว่าความยาวสะพาน L_B ให้ทำต่อในขั้นตอนที่ 6

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> คำนวณหาประสิทธิภาพการไหลในรางระบายน้ำ โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$E = Eo(Rf)$$

โดยค่า Eo และ Rf หาได้จากรูปที่ 3.6 ถึง 3.8

<u>ขั้นตอนที่ 5</u> คำนวณหาระยะห่างคงที่ของท่อระบายน้ำตัวถัดมา (Lc) โดยใช้สมการ (0 < E < 1)

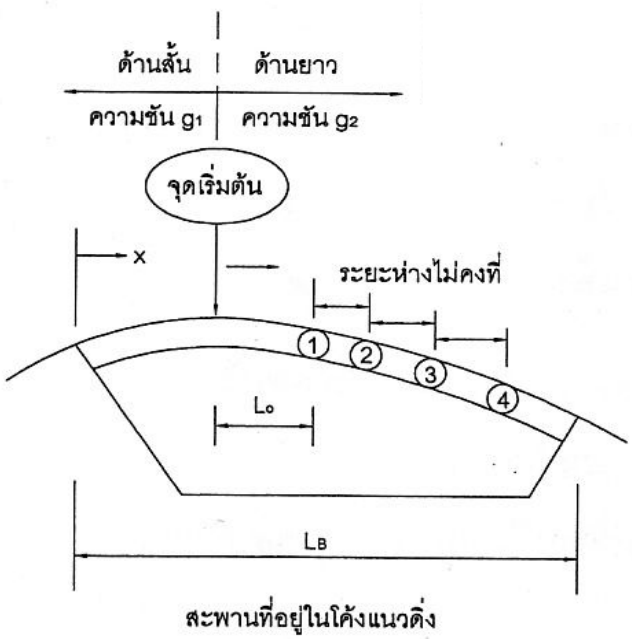
$$L_C = (\frac{43{,}560Q_f}{CiW_p})E$$

<u>ขั้นตอนที่ 6</u> ลงตำแหน่งท่อระบายน้ำลงบนโครงสร้างสะพาน

<u>ขั้นตอนที่ 7</u> ออกแบบสะพานและวิธีการระบายน้ำถนนระดับพื้น

<u>ขั้นตอนที่ 8</u> เปรียบเทียบความเข้มที่ใช้ในการออกแบบกับวิธีอื่นๆ

3.4.3 สะพานโค้งดิ่งทั่วไป



รูปที่ 3.5 การออกแบบระยะห่างของช่องรับน้ำของสะพานที่มีความชันของโค้งดิ่งทั่วไป

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> หาความยาวของด้านสั้น และด้านยาวจากจุดสูงสุดของสะพานถึงปลายสะพานทั้ง 2 ด้าน L_{E1} และ L_{E2}

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> คำนวณหาความเข้มข้นของฝน สำหรับเวลาที่น้ำไหลลงท่อระบายน้ำตัวแรก โดยใช้สมการร่วมกับ IDF Curve ดังนี้

$$t_0 = 0.93\frac{(W_P n)^{0.6}}{(Ci)^{0.4} S^{0.3}}$$

$$t_g = 484\frac{(SxT)^2}{CiW_p}$$

โดยที่ Wp = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

S = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

C = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9)

I = ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ซม.

โดยเวลาน้ำไหลลงรูระบายน้ำตัวแรก หาได้จาก tc= to+tg

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> เลือกระยะห่างระหว่างจุดสูงสุดด้านยาวของสะพานถึงท่อระบายน้ำตัวแรก และคำนวณหาความชันดังสมการข้างล่าง

$$S = \frac{g_2 - g_1}{L_B} x + g_1$$

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> คำนวณหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำข้างสะพาน (gutter flow) โดยใช้วิธีการกระจายของน้ำขังบนผิวจราจรในการออกแบบ ซึ่งแสดงในสมการดังต่อไปนี้

$$Q_f = \frac{0.56}{n} Sx^{1.67} S^{0.5} T^{2.67}$$

โดยที่ n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Cr = Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

S = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

<u>ขั้นตอนที่ 5</u> คำนวณหาระยะห่างระหว่างจุดเริ่มถึงท่อระบายน้ำตัวแรก (Lo) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$L_0 = (\frac{43{,}560 Q_f}{CiW_p})$$

$$L = (\frac{43{,}560 Q_f E}{CiW_p})$$

โดยที่ Wp = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนสะพานที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

C = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนสะพานใช้ค่าประมาณ 0.9)

I = ความเข้มของฝน มีหน่วยเป็น มม./ซม.

Qf = อัตราการไหลในท่อที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 2

E = ประสิทธิภาพการไหลในท่อ ตัวแรกจะสมมุติให้เป็น 1.0

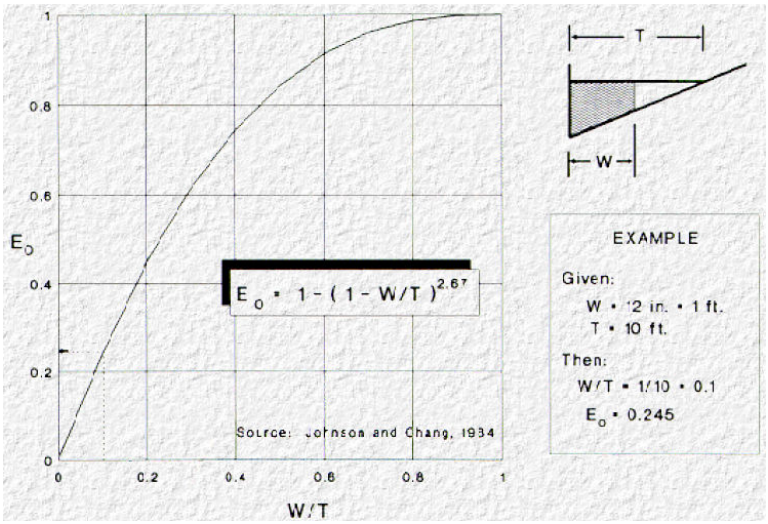
หากค่า Lo ที่คำนวณได้มีค่ายาวกว่าความยาวสะพาน L_B ผู้ออกแบบไม่จำเป็นต้องติดตั้งระระบายน้ำบนสะพาน อย่างไรก็ตามระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพานควรพิจารณาเพิ่มเติม

หากค่า Lo ที่คำนวณได้มีค่าสั้นกว่าความยาวสะพาน L_B ให้ทำต่อในขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณหาระยะของท่อระบายน้ำตัวถัดไปทางด้านยาวของสะพาน โดยใช้ค่า E ตามค่าที่แนะนำจากผู้ผลิตอุปกรณ์รูระบายน้ำ (inlet) หากไม่มีข้อมูลสามารถใช้สมการดังต่อไปนี้

$$E = Eo(Rf)$$

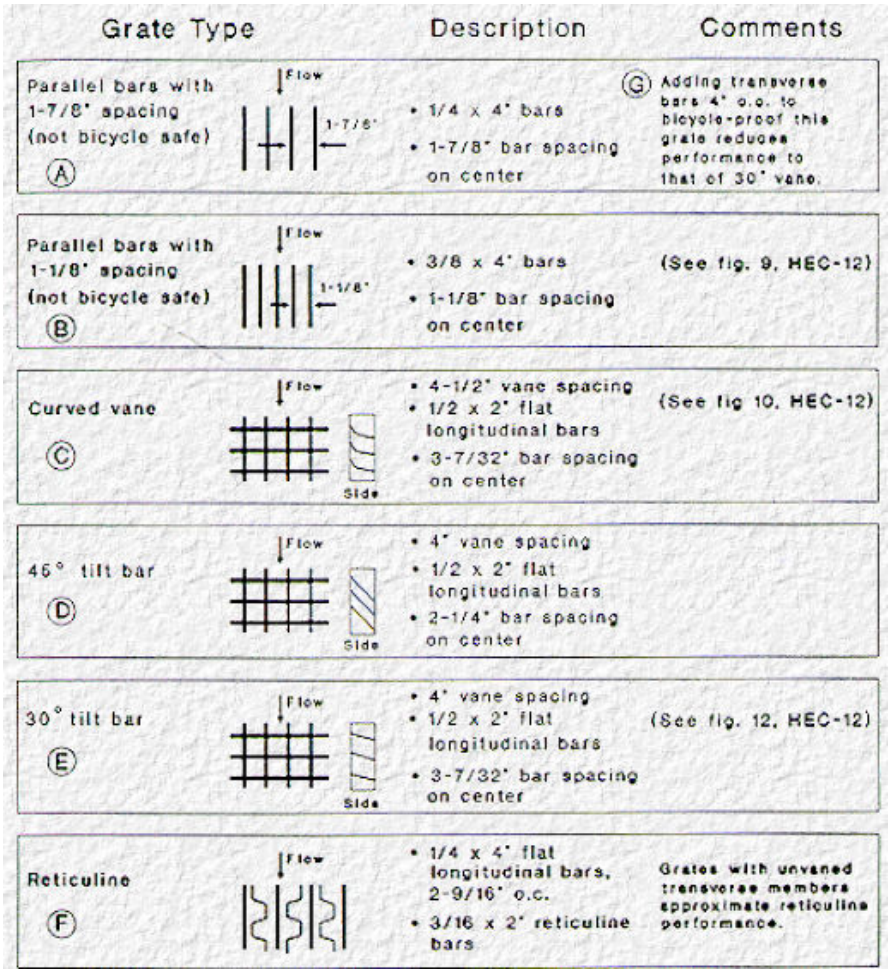
โดยที่ค่า Eo หาจากกราฟข้างล่างนี้



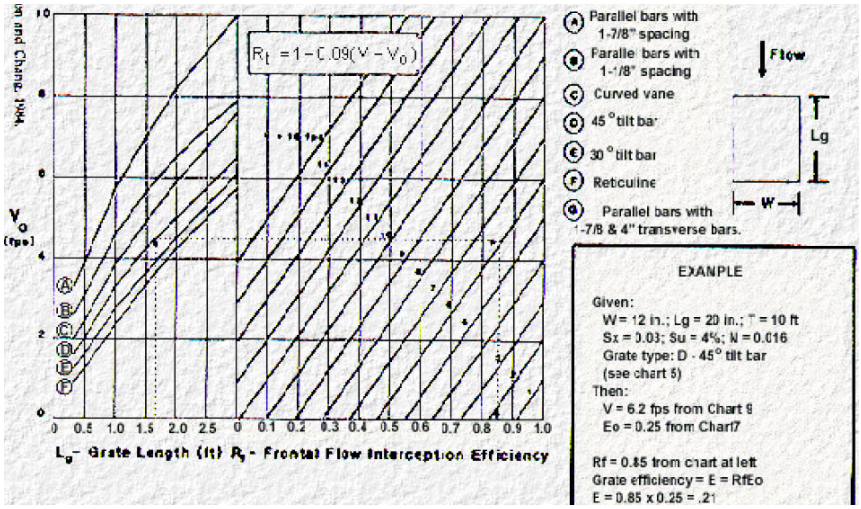
รูปที่ 3.6 กราฟสำหรับหาค่า Eo

สำหรับค่า Rf หาจากกราฟข้างล่างนี้ โดยใช้ร่วมกับสมการหาค่า V และชนิดของ Inlet Grating โดยสมการหาค่า V หาได้จาก

$$V = \frac{1.12}{n} Sx^{0.67} S^{0.5} T^{0.67}$$



รูปที่ 3.7 ชนิดและรูปแบบของ Inlet Grating



รูปที่ 3.8 กราฟสำหรับหาค่า Rf

ขั้นตอนที่ 7 ทำซ้ำ ขั้นตอนที่ 6 สำหรับระยะห่างระบายน้ำตัวถัดไปเรื่อยๆ ของด้านยาวสะพาน ส่วนระยะห่างด้านสั้นจะใช้เท่ากับที่คำนวณจากด้านยาว

ขั้นตอนที่ 8 ลงตำแหน่งท่อระบายน้ำลงบนโครงสร้างสะพาน

ขั้นตอนที่ 9 ออกแบบสะพานและวิธีการระบายน้ำถนนระดับพื้น

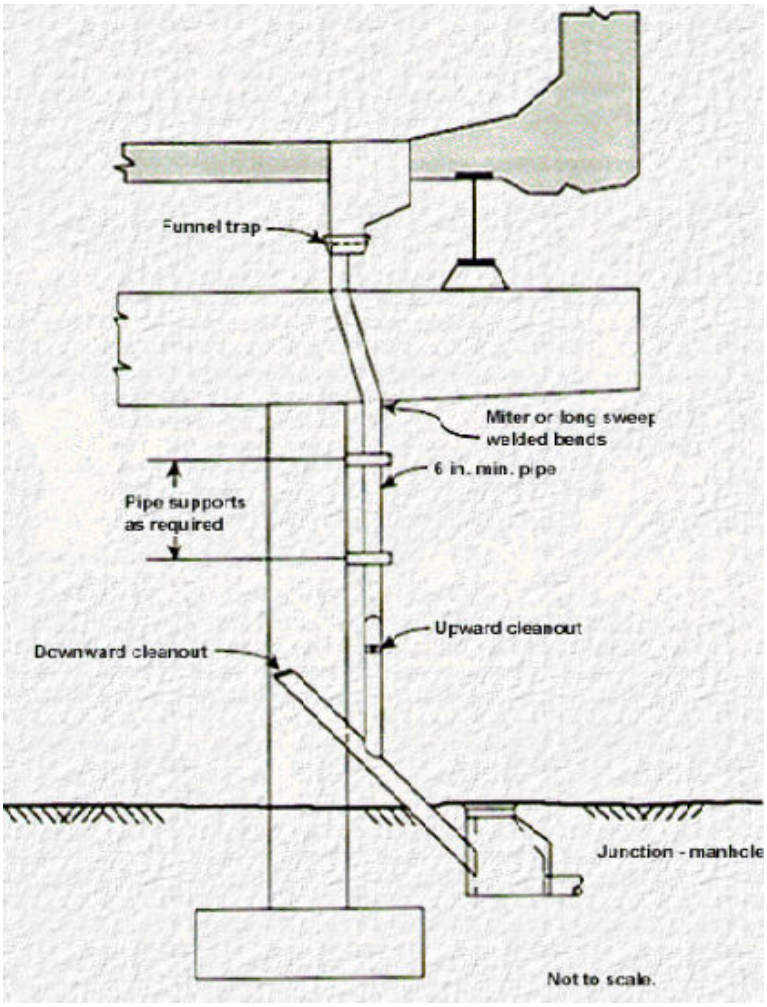
ขั้นตอนที่ 10 เปรียบเทียบความเข้มที่ใช้ในการออกแบบกับวิธีอื่นๆ

3.5 การออกแบบระบบระบายน้ำใต้พื้นสะพาน

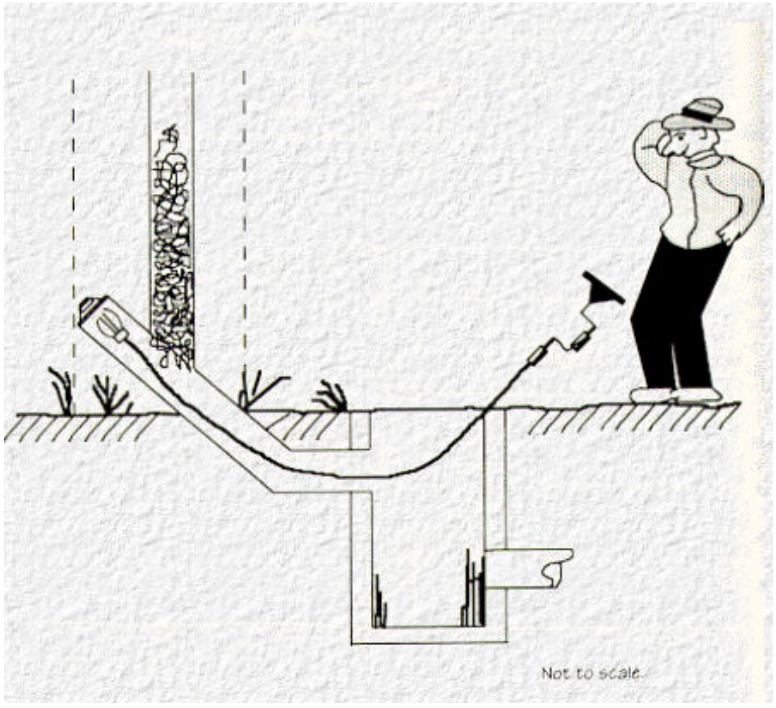
หลังจากน้ำฝนที่ตกบนพื้นสะพานถูกระบายมาตามช่องเปิดและรางระบายน้ำบนพื้นสะพาน ปริมาณน้ำที่ระบายจะถูกลำเลียงมาตามท่อใต้สะพาน ซึ่งโดยปกติท่อที่ใช้จะเป็นท่อ เหล็กหล่อ (cast-iron pipe) หรือ ท่อพลาสติก (Plastic Pipe) ซึ่งในกรมทางหลวง ภายหลังจะใช้ท่อ HDPE ในการลำเลียงน้ำบริเวณใต้พื้นสะพานแทนท่อเหล็กหล่อเนื่องจากมีค่าบำรุงรักษาที่ต่ำกว่า

สำหรับขนาดท่อที่ใช้กันโดยทั่วไปในต่างประเทศจะมีขนาดอย่างน้อย 6 ถึง 8 นิ้ว สำหรับท่อที่เป็นเหล็กหล่อควรมีความหนาอย่างน้อย 1/8 นิ้ว และท่อพลาสติกควรที่แข็งแรงเพียงพอและสามารถฝังในเนื้อคอนกรีตได้ นอกจากนั้นในการออกแบบควรพิจารณาขนาดท่อและมุมเอียงของข้อต่อต่างๆ ไม่ให้เกิดการอุดตันของท่อเนื่องจากเศษดิน และขยะต่างๆที่อาจไหลมากับน้ำที่ระบายมาจากบนสะพาน ซึ่งโดยปกติแนวทางหนึ่งที่ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันของท่อคือการกำหนดความเร็วในการไหลของน้ำที่ระบายในท่อ สำหรับค่าที่นิยมใช้ในการออกแบบการไหลในท่อ จะอยู่ที่ 2.5 ฟุตต่อวินาที ซึ่งสำหรับท่อขนาด 6-8 นิ้วควรให้มีความชันของท่ออย่างน้อย 8% เพื่อให้ความเร็วขั้นต่ำในการไหลอยู่ที่ 2.5 ฟุตต่อวินาที

สำหรับตัวอย่างของระบายระบายน้ำภายใต้สะพานแสดงในรูปดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างระบบระบายน้ำใต้สะพาน



รูปที่ 3.10 ทำความสะอาดท่อลำเลียงน้ำใต้สะพาน

จากรูปแบบของท่อระบายน้ำใต้สะพานที่แสดงข้างต้น ผู้ออกแบบสามารถทำการออกแบบระบบระบายใต้พื้นสะพานเพื่อประมาณหาขนาดของท่อและข้อต่อต่างๆโดยใช้ทฤษฎีและสมการดังต่อไปนี้

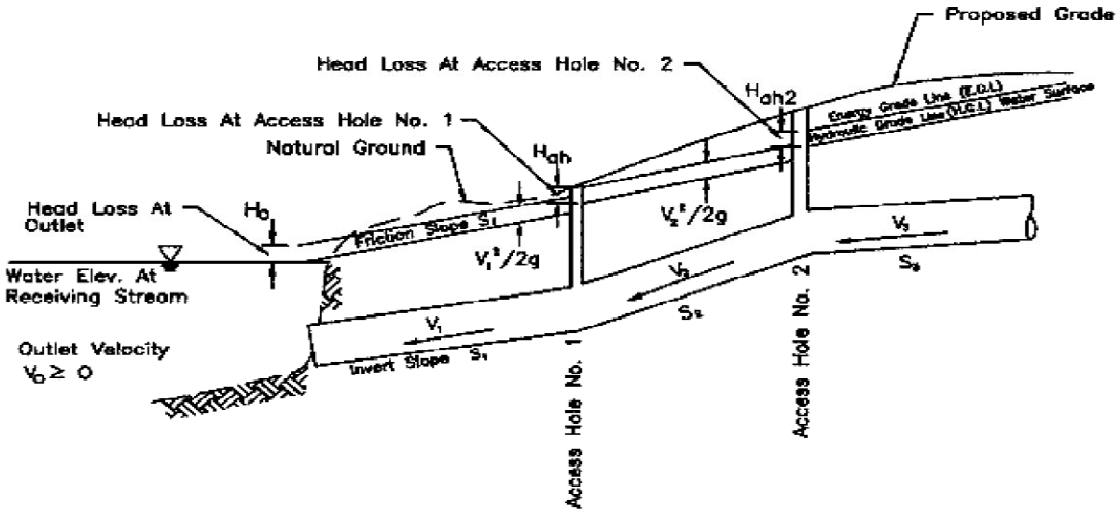
การสูญเสียเฮดแรงดันในเส้นท่อ จำแนกได้ 2 ลักษณะ คือการสูญเสียหลัก (Major losses) ที่เกิดจากแรงเสียดทานของการไหลตามแนวยาวของเส้นท่อ และการสูญเสียรอง (Minor losses) ที่เกิดจากอุปกรณ์ เช่น ข้อต่อ ข้องอ ข้อลด ปากทางเข้า เป็นต้น

1) การสูญเสียหลัก (Major losses, H_f) มีสมการที่ใช้คำนวณหลายสมการแต่จะเลือกใช้สมการดังต่อไปนี้

1.1) สมการของ Darcy-Weisbach ค่าการสูญเสียเฮดแรงดันเนื่องจากความฝืด (h_f) ในเส้นท่อกลม (ดังแสดงในรูปที่ 3.14) ซึ่งมีค่าเท่ากับการสูญเสียหลัก (H_f) คำนวณได้จาก

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

โดยที่ f = สัมประสิทธิ์ของความฝืด
L = ความยาวของท่อ (m)
D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m)
V = ความเร็วของการไหลในท่อ (m/s)
g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก



รูปที่ 3.11 รูปแสดงเส้นลาดพลังงาน (Federal Highway Administartion,2001)

1.2) สมการของ Manning ในอดีตสมการนี้ถูกคิดขึ้นมาเพื่อการออกแบบรางเปิด แต่ปัจจุบันก็ใช้สมการนี้ออกแบบทั้งรางน้ำเปิดและท่อปิดทั้งสองกรณีจากสมการนี้

$$V=\frac{1}{n}R^{2/3}S^{1/2}$$

โดยที่ n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (ดังแสดงในตารางที่ 3.7)
R = รัศมีชลศาสตร์ (m)
S0 = ความลาดชันของเส้นลาดพลังงาน (m/m)

รัศมีทางชลศาสตร์ หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของการไหล (m^2/Wetted perimeter) สำหรับท่อที่มีการไหลเต็มท่อ, R จะเท่ากับ

$$R=\frac{\left[\frac{\pi}{4}\right]D^2}{\pi D}=\frac{D}{4}$$

หรืออยู่ในรูปอัตราการไหล

$$Q=\frac{0.312}{n}D^{8/3}S_0^{1/2}$$

ตารางที่ 3.1 แสดงค่า Manning's Coefficients for Strom Drain (Federal Highway Administartion,2001)

Type of Culvert	Roughness or Corrugation	Manning s (n)
Concrete Pipe	Smooth	0.010-0.011
Concrete Pipe	Smooth	0.012-0.013
Spiral Metal Pipe	Smooth	0.012-0.013
Corrugated Metal Pipe, Pipe-Arch and Box (Annular or Helical Corrugation)	68 by 13 mm. 2-2/3 by in. Annular	0.022-0.011
	68 by 13 mm. 2-2/3 by in. Helical	0.011-0.023
	150 by 25 mm 6 by 1 in. Helical	0.022-0.025
	125 by 25 mm. 5 by 1 in	0.025-0.026
Corrugated Metal Pipe, Pipe-Arch and Box (Annular or Helical Corrugation)	75 by 25 mm 5 by 1 in	0.027-0.028
	150 by 50 mm 6 by 2 in Structural Plate	0.033-0.035
	230 by 64 mm 9 by 2-1/2 in Structural Plate	
Type of Culvert	Roughness or Corrugation	Manning s (n)
Corrugated Polyethylene	Smooth	0.009-0.015
Corrugated Polyethylene	Corrugated	0.018-0.025
Polyvinyl chloride (PVC)	Smooth	0.009-0.011

2) การสูญเสียรอง (Minor loss, H_m) นอกจากความสูญเสียหัวในรูปที่เกิดจากความเสียดทานและความสูญเสียหัวในรูปอื่นๆ เช่น เกิดขึ้นเมื่อขนาดและทิศทางของความเร็วของการไหลเปลี่ยนแปลงไป มักเรียกกันว่าเป็นความสูญเสียรอง และความสูญเสียรองเหล่านี้ สามารถแสดงได้ในรูปของฟังก์ชั่นของกำลังสองของความเร็วของการไหล ($V^2/2g$) อนึ่งความสูญเสียรองในท่อปิดและในรางเปิดก็มีความแตกต่างกัน ความสูญเสียรองเนื่องจากการไหลในท่อปิดนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.61)

2.1) การสูญเสียรองในท่อปิด ความสูญเสียรองเนื่องจากการไหลในท่อปิดนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.61) โดยค่าความเร็ว V นั้นเป็นค่าความเร็วพอดีต้นน้ำ

(immediately upstream) ภายในหรือพอดีใต้น้ำหรือรอยต่อหรือข้อต่อ ทำให้เกิดความสูญเสียหัวขึ้น

$$H_{\mathrm{m}} = K_{ah}\frac{V^2}{2g}$$

โดยที่ Hm = ค่าความสูญเสียรอง
Kah = สัมประสิทธิ์ความสูญเสียรอง (ดังแสดงในตารางที่ 3.8)
V = ความเร็วต้นน้ำ
G = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

ตารางที่ 3.2 แสดงค่า head loss Coefficients (Federal Highway Administartion,2001)

Structure Configuration	K_{ah}
Inlet-straight run	0.50
Inlet-angled through	
90°	1.50
60°	1.25
45°	1.10
22.5°	0.70
Manhole-straight run	0.15
Manhole-angled through	
90°	1.00
60°	0.85
45°	0.75
22.5	0.45

2.2) การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานในท่อ

$$H_f = S_f L$$

โดยที่ Hf = ค่าความสูญเสียจากแรงเสียดทานในท่อ
Sf = ค่าความเสียดทานเนื่องจากความชัน (friction slope)
L = ค่าความยาวของท่อ

เมื่อให้ค่า S_0 มีค่าเท่ากับ S_f สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังนี้

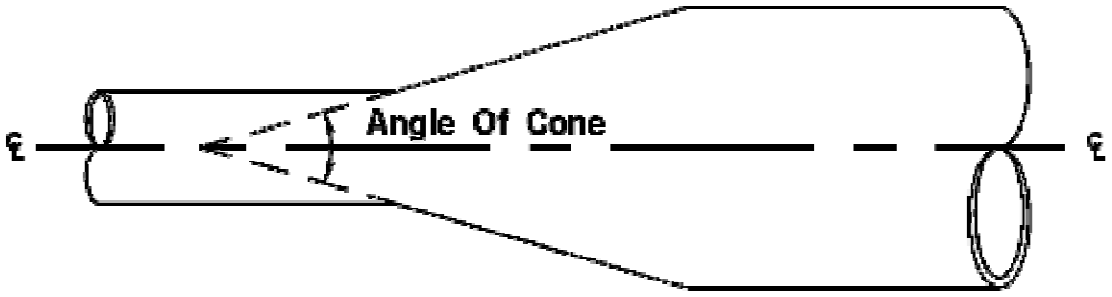
$$S_f = \frac{H_f}{L} = \left[\frac{Qn}{0.312D^{2.67}}\right]^2$$

2.3) การสูญเสียในท่อโค้ง (Bend losses) สามารถหาค่าได้จากสมการต่อไปนี้

$$h_b = 0.0033(\Delta)\left[\frac{V^2}{2g}\right]$$

โดยที่ Δ = มุมที่ท่องอ (angle of curvature in degrees)

2.4) การสูญเสียเนื่องจากเปลี่ยนขนาดอย่างกะทันหัน ความสูญเสียหัวเนื่องจากการลดและการเพิ่มขนาดจะขึ้นกับความแตกต่างของหัวความเร็วก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัด ดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.12 รูปแสดงการเปลี่ยนขนาดของท่อ (Federal Highway Administartion, 2001)

ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

สำหรับการลดขนาด

$$h_c = K_c\left[\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}\right]$$

สำหรับการเพิ่มขนาด

$$h_e = K_e\left[\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g}\right]$$

โดยที่ hc = ค่าความสูญเสียหัวเนื่องจากการลดขนาด, (m)
he = ค่าความสูญเสียหัวเนื่องจากการเพิ่มขนาด, (m)
Kc = ค่าคงที่สำหรับการลดขนาด (ดังแสดงในตารางที่ 3.9)
Ke = ค่าคงที่สำหรับการเพิ่ม (0.5Kc) (ดังแสดงในตารางที่ 3.10)
V1 = ความเร็วของการไหลก่อนการเปลี่ยนหน้าตัด (m/s)
V2 = ความเร็วของการไหลหลังการเปลี่ยนหน้าตัด (m/s)

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงค่า K_c เมื่อท่อขยายขนาด (Federal Highway Administartion,2001)

D_2/D_1	ค่าความเร็ว ,V_1 (m/s)												
	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.7	4.6	6.1	6.1	9.1
1.2	0.11	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.08
1.4	0.26	0.26	0.25	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.23	0.22	0.22	0.21	0.20
1.6	0.40	0.39	0.38	0.37	0.37	0.36	0.36	0.35	0.35	0.34	0.33	0.32	0.32
1.8	0.51	0.49	0.48	0.47	0.47	0.46	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40
2.0	0.60	0.58	0.56	0.55	0.55	0.54	0.53	0.52	0.52	0.51	0.50	0.48	0.47
2.5	0.74	0.72	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.60	0.58
3.0	0.83	0.80	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.70	0.69	0.67	0.65
4.0	0.92	0.89	0.87	0.85	0.84	0.83	0.82	0.80	0.79	0.78	0.76	0.74	0.72
5.0	0.96	0.93	0.91	0.89	0.88	0.87	0.86	0.84	0.83	0.82	0.80	0.77	0.75
10.0	1.00	0.99	0.96	0.95	0.93	0.92	0.91	0.89	0.88	0.86	0.84	0.82	0.80
∞	1.00	1.00	0.98	0.96	0.95	0.94	0.93	0.91	0.90	0.88	0.86	0.83	0.81

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงค่า K_e เมื่อท่อมีขนาดลดลง (Federal Highway Administartion,2001)

D_2/D_1	ค่าความเร็ว , V_1 (m/s)												
	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.7	4.6	6.1	9.1	12.2
1.1	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
1.2	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.10	0.11
1.4	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20
1.6	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.24
1.8	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32	0.29	0.27
2.0	0.38	0.38	0.37	0.37	0.37	0.37	0.36	0.36	0.35	0.34	0.33	0.31	0.29
2.2	0.40	0.40	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39	0.38	0.37	0.37	0.35	0.33	0.30
2.5	0.42	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41	0.40	0.40	0.39	0.38	0.37	0.34	0.31
3.0	0.44	0.44	0.44	0.43	0.43	0.43	0.42	0.42	0.41	0.40	0.39	0.36	0.33
5.0	0.48	0.48	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.45	0.45	0.44	0.42	0.38	0.35
10.0	0.49	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.47	0.46	0.46	0.45	0.43	0.40	0.36
∞	0.49	0.49	0.48	0.48	0.48	0.47	0.47	0.47	0.46	0.45	0.44	0.41	0.38

D2/D1 คือ อัตราส่วนระหว่างท่อขนาดใหญ่ต่อท่อขนาดเล็ก

V1 คือ ค่าความเร็วในท่อเล็ก

2.5) การสูญเสียเนื่องจากปากทางเข้าและบ่อพักน้ำเข้าโดยวิธี เส้นลาดพลังงาน (Inlet and Access Hole Losses for EGL calculations) เป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาค่าการสูญเสียพลังงานซึ่งเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ การสูญเสียพลังงานที่เกิดจากการไหลจากท่อหนึ่งไปยังท่ออื่นๆ จะมีความเร็วค่าหนึ่ง

กับการไหลที่ทางออก ดังนั้นเมื่อมีน้ำไหลทวนภายในท่อสามารถเขียนสมการได้เป็น

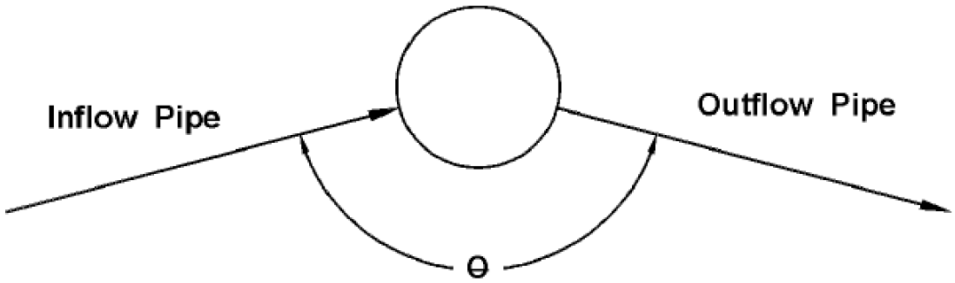
$$H_{\mathrm{ah}} = \mathrm{K}\left[\frac{V_0^2}{2g}\right]$$

และ

$$K = K_0 C_D C_d C_Q C_p C_b$$

โดยที่ K = ค่าปรับแก้สัมประสิทธิ์การสูญเสีย
K0 = สัมประสิทธิ์การสูญเสียหลักที่เกี่ยวข้องกับขนาดทางเข้า
CD = ปัจจัยการตรวจแก้สำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (ความดันการไหลเท่านั้น)
Cd = ปัจจัยการตรวจแก้ที่เกี่ยวข้องสำหรับการไหลเวียน
CQ = ปัจจัยการตรวจแก้สำหรับการไหลเวียนที่การจุ่ม
Cp = ปัจจัยการตรวจแก้สำหรับ benching
V0 = ความเร็วการไหลออกจากท่อ

ค่า K_0 ในสมการที่ (3.68) เป็นค่าที่สัมพันธ์ระหว่างขนาดของบ่อพักน้ำเข้า (access hole size) และมุมระหว่างการไหลเข้าที่ท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.13 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของบ่อพักน้ำเข้าและมุมระหว่างการไหลเข้าและไหลออกในท่อ (Federal Highway Administartion, 2001)

ซึ่งสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$K_0 = 0.1\left[\frac{b}{D_0}\right](1 - \sin\theta) + 1.4\left[\frac{b}{D_0}\right]^{0.15}\sin\theta$$

โดยที่ θ = มุมระหว่างท่อน้ำเข้ากับท่อน้ำออก
b = ขนาดของบ่อทางน้ำเข้า หรือ ขนาดของข้อต่อ
D0 = ขนาดท่อช่วงทางออก

ขนาดของท่อที่แตกต่างกันสามารถทำให้การสูญเสียหัวเปลี่ยนแปลงได้ ส่งผลเฉพาะความดันก็จะมีการเปลี่ยนแปลง ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่าง ความลึกของปากบ่อ

รับน้ำต่อขนาดของท่อระบายออก d_{aho}/D_0 ค่าที่ดีควรจะมากกว่า 3.2 ค่า C_D เมื่อท่อมีขนาด ต่างกันสามารถใช้สมการดังนี้

$$C_D = \left[\frac{D_0}{D_i}\right]^3$$

เมื่อท่อมีขนาดเท่าหรือใกล้เคียงกันให้ C_D เท่ากับ 1

โดยที่ D0 = ขนาดท่อช่วงน้ำไหลออก
Di = ขนาดท่อช่วงน้ำไหลเข้า

ค่าแก้ค่าความลึกของการไหล C_d ส่งผลเฉพาะกรณี การไหลที่ผิว หรือที่มีความดันต่ำเท่านั้น หรือเมื่อ d_{aho}/D_0 มีค่าน้อยกว่า 3.2 ถ้ามากกว่า 3.2 จะให้ค่า C_d เท่ากับ 1 ความลึกขอ ระดับน้ำในบ่อพักน้ำเข้า จะคล้ายคลึงกับ Hydraulic grade line ที่ต้น น้ำของท่อระบาย สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$C_d = 0.5\left[\frac{d_{aho}}{d_0}\right]^{0.6}$$

โดยที่ daho = ความลึกการไหลในท่อทางเข้าที่อยู่เหนือกว่าท่อทางออก
D0 = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทางออก

ค่าแก้ค่าสัมพันธ์กับการไหล (Relative Flow) ,C_Q เป็นค่าระหว่างมุมของการไหลเข้าและเปอร์เซ็นต์ ของการไหลเข้าเปรียบเทียบกับการไหลเข้าของท่ออื่น ถ้าค่าที่ได้ต้องมีค่ามากกว่า 3 ถึงจะนำมาใช้ในการออกแบบ ถ้าต่ำกว่าให้คิดเป็น 1 สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C_Q = (1 - 2\sin\theta)\left[1 - \frac{Q_i}{Q_0}\right]^{0.75} + 1$$

โดยที่ CQ = ค่าปรับแก้สำหรับการไหลเวียนที่เกี่ยวข้อง
θ = มุมระหว่างท่อที่น้ำไหลเข้ามาและท่อที่น้ำไหลออก
Qi = อัตราการไหลเข้าในท่อ
Qo = อัตราการไหลออกในท่อ

ค่าแก้เนื่องจากการลดลงของการไหลอย่างรวดเร็ว (plumping Flow) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.73) เป็นค่าแก้ไขเนื่องจากการไหลเข้าไปในบ่อพักน้ำ การเข้าสู่บ่อพักอย่างรวดเร็ว ค่า Cp จะใช้เมื่อ $h > d_{aho}$ จะใช้สมการที่ (3.73) ในการหาค่า Cp ถ้าค่าน้อยกว่า ($h < d_{aho}$) จะให้ค่า Cp เท่ากับ 1

$$C_p = 1 + 0.2\left[\frac{h}{D_0}\right]\left[\frac{h - d_{aho}}{D_0}\right]$$

โดยที่ Cp = ค่าถูกต้องสำหรับ plunging Flow

h = ระยะในแนวดิ่งของ plunging จากระดับการไหลของท่อทางเข้าถึงจุดกึ่งกลางการ ไหลในท่อทางออก

ค่า C_B เป็นค่าแก้สำหรับการลดลงอย่างรวดเร็วของการไหล สามารถหาค่าได้จากตารางที่ 3.11 การไหลที่ปากทางเข้าส่งผลต่อการสูญเสียนพลังงานเช่นกัน

ตารางที่ 3.5 แสดงค่า Correction for Benching (Federal Highway Administartion,2001)

Bench Type	Correction Factors , C_B	
	Submerged*	Unsubmerged**
Flat or Depressed Floor	1.00	1.00
Half Bench	0.95	0.15
Full Bench	0.75	0.07
*pressure Flow, $d_{aho}/D_o \geq 3.2$		
** free surface Flow, $d_{aho}/D_o \leq 1.0$		

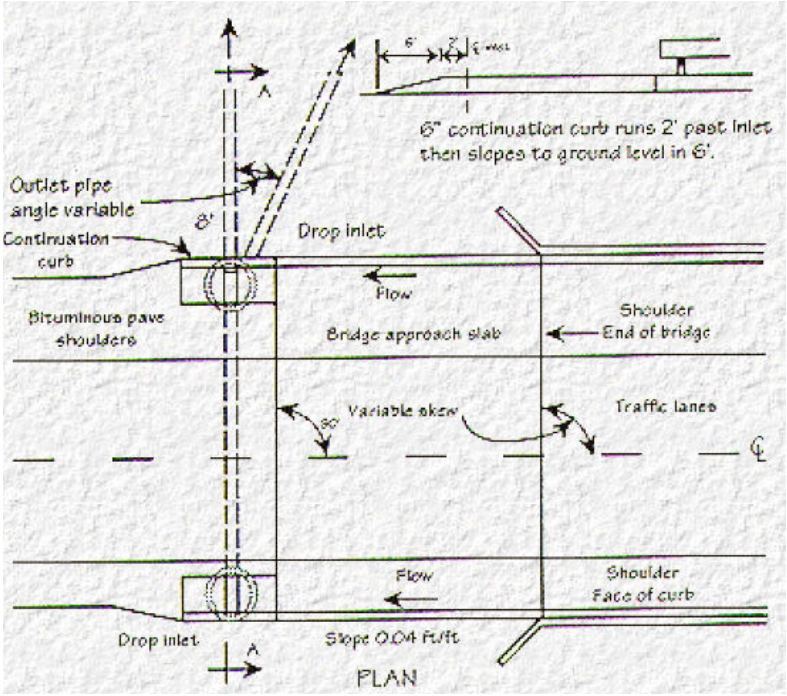
3.6 การออกแบบระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพาน

ระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพานเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้บริเวณปลายสะพานเพื่อดักน้ำที่ระบายมาจากบริเวณผิวถนนช่วง Approach ก่อนไหลเข้ามาบริเวณพื้นที่สะพาน และ ดักน้ำที่เหลือจากการระบายบริเวณผิวของพื้นที่สะพาน โดยทั่วไปช่องเปิดบริเวณปลายสะพานด้านที่มีความชันมากกว่า (Upslope) ควรติดตั้งในตำแหน่งต่อจากส่วนเริ่มของพื้นสะพานก่อนต่อชนกับช่วง Approach เพื่อช่วยระบายน้ำจากช่วง Approach ไม่ให้ไหลเข้ามาบนพื้นสะพาน ส่วนช่องเปิดบริเวณปลายสะพานด้านที่มีความชันน้อยกว่า (Downslope) ควรติดตั้งอุปกรณ์ก่อนถึงส่วนของ Approach เพื่อดักน้ำที่อาจระบายไม่ทันในส่วนของพื้นสะพาน ซึ่งหากในกรณีที่บริเวณช่วงความยาวของสะพานไม่มีระบบระบายน้ำหรือกรณีที่ระบบระบายน้ำบนสะพานเกิดการอุดตันทั้งหมด ช่องเปิดบริเวณปลายสะพานด้าน downslope ก็จะทำหน้าที่ในการระบายน้ำที่ไหลมาบนสะพานทั้งหมด (100% of the bridge deck drainage) นอกจากนั้นในกรณีที่สะพานเป็นลักษณะโค้งหงาย หรือ Sag Curve อุปกรณ์ที่ใช้ดักน้ำควรติดตั้งเพิ่มที่ตำแหน่งต่ำสุดของโค้งหงาย

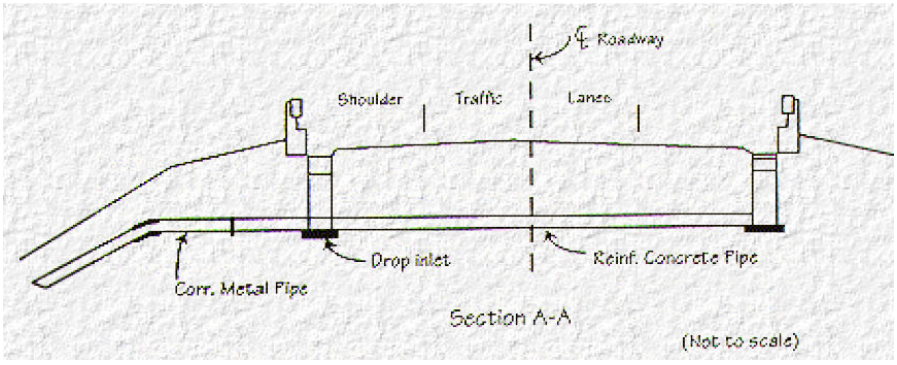
สำหรับอุปกรณ์ที่นิยมติดตั้งเพื่อช่วยระบายน้ำบริเวณ Upslope และ Downslope ได้แก่ Grate Inlets Curb opening inlets หรือ slotted drain inlets ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้มีความจำเป็นที่ต้อง

ติดตั้งร่วมกับระบบท่อหรือรางระบายน้ำเพื่อทำการระบายน้ำที่รับจากปลายสะพานไปบนผิวบนของดินคันทาง (embankment) เพื่อป้องกันการกัดเซาะของดินคันทาง และ ระบายไปสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะหรือ ไหลลงไปสู่ลำน้ำธรรมชาติหรือผิวดินต่อไป ซึ่งโดยปกติในการระบายน้ำไปบนดินคันทางควรใช้ท่อน้ำเพื่อลำเลียงออกไป ซึ่งวิธีนี้ดีกว่าการใช้รางระบายน้ำแบบเปิดหรือการปล่อยให้น้ำที่ระบายออกไหลไปบนดินคันทาง นอกจากนั้นการออกแบบท่อเพื่อลำเลียงน้ำบนดินคันทางควรพิจารณาออกแบบเป็นพิเศษเนื่องจากมีความชันของท่อค่อนข้างมาก ซึ่งโดยปกติจะเท่ากับความชันของดินคันทาง ทำให้ความเร็วน้ำที่ระบายออกค่อนข้างสูงทำให้ควรต้องพิจารณาติดตั้ง การป้องกันการกัดเซาะบริเวณดินคันทางเพิ่มเติมเช่นการใช้ หินทิ้ง หรือ riprap

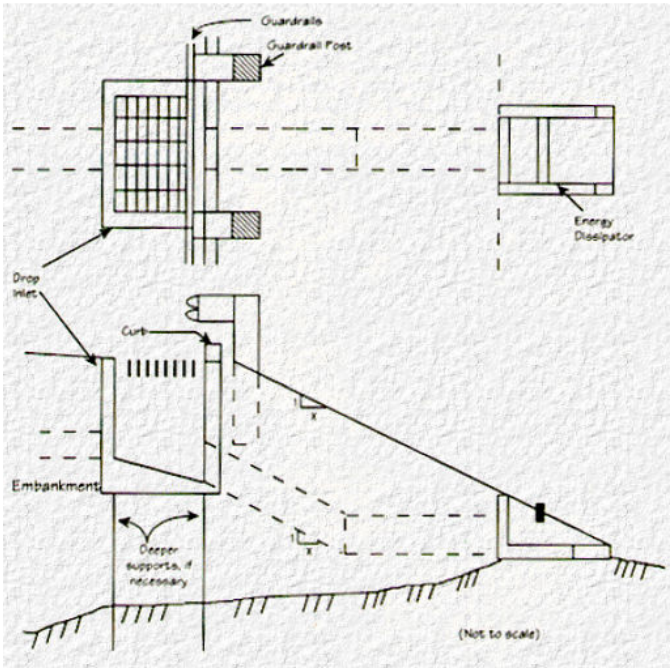
รูปที่ 3.11 ถึง 3.15 แสดงตัวอย่างของระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพานที่ใช้มากในต่างประเทศ



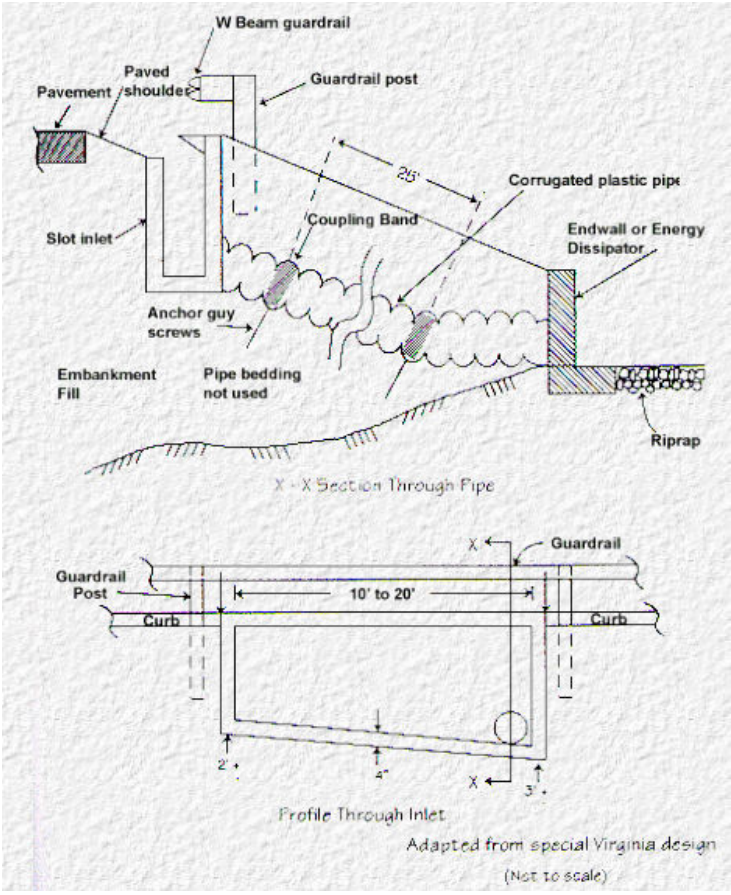
รูปที่ 3.14 แปลนแสดงรูปแบบของระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพาน



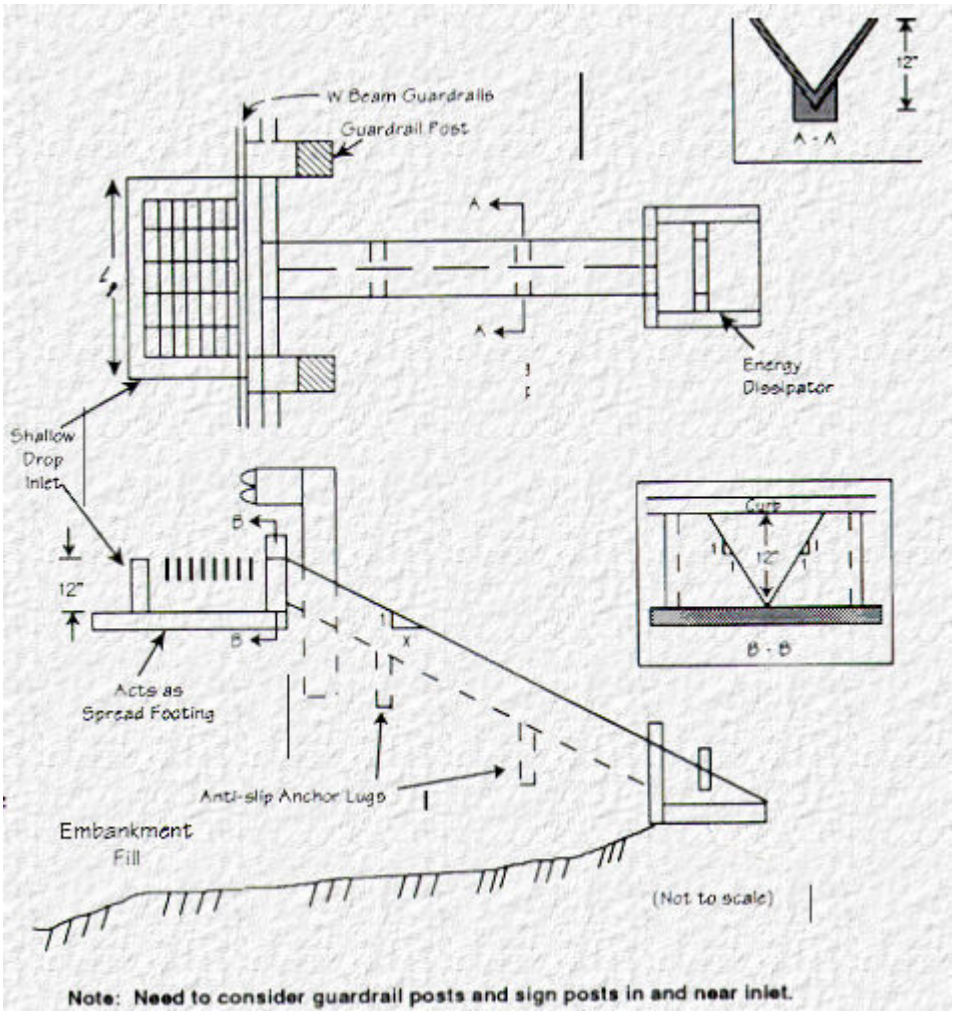
รูปที่ 3.15 รูปตัด A-A แสดงระบบระบายน้ำบริเวณปลายสะพาน



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้ CMP Drop Inlet



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้ End Shoulder Slot Inlet with Plastic Pipe



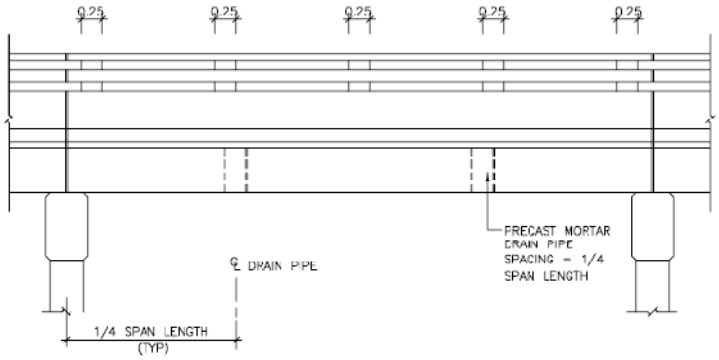
รูปที่ 3.18 ตัวอย่างระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้ V-Ditch Drop Inlet

บทที่ 4

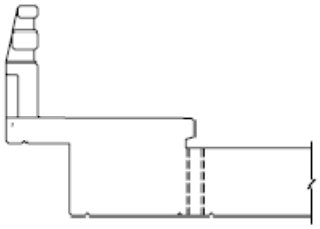
ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพาน

4.1 ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้สมการ

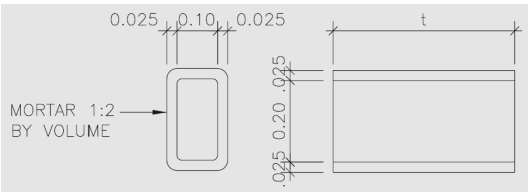
สำหรับตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานนี้ เป็นตัวอย่างของสะพานประเภท Slab Bridge ซึ่งใช้รางระบายน้ำเป็นส่วนขอบของทางเดินเท้า และใช้ท่อแบบ Mortar Drainage Pipe ซึ่งมีขนาดเส้นรอบรูปภายในเท่ากับ 2x(0.1+0.2) = 0.6 เมตร เป็นตัวระบายน้ำออกจากผิวสะพาน ซึ่งรูปแบบของท่อนี้สามารถอ้างอิงได้จากแบบมาตรฐานกรมทางหลวงของสะพานประเภท Slap Type (DWG NO. ST-01)



รูปที่ 4.1 ตำแหน่งของท่อ Mortar Drainage Pipeอ้างอิงจาก DWG NO. ST-01



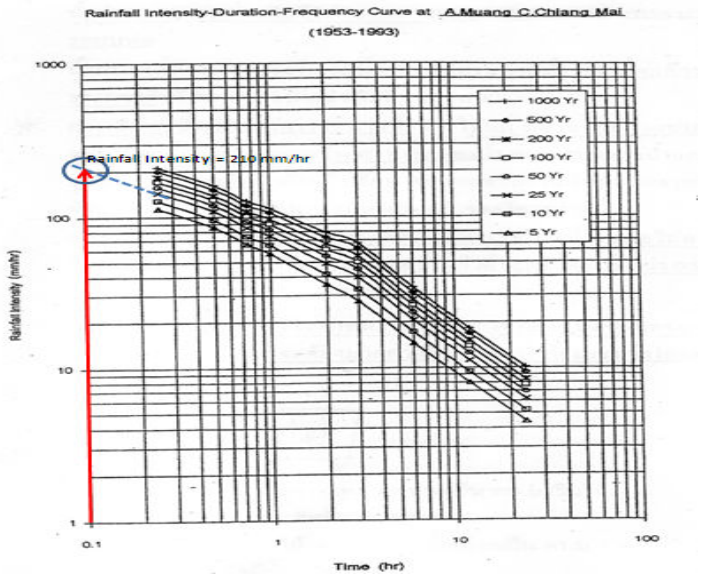
รูปที่ 4.2 รูปแบบของรางระบายน้ำบริเวณรอยต่อขอบของทางเดินและพื้นสะพาน



รูปที่ 4.3 ขนาดและรูปแบบของ Precast Mortar Drain Pipe

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการออกแบบในตัวอย่างนี้ได้แก่

1) ความยาวช่วงสะพานเท่ากับ 10 เมตร
2) ความกว้างของสะพานเท่ากับ 14 เมตร
3) ความชันตามยาวของสะพานเท่ากับ 0
4) ความชันตามขวางของสะพาน เท่ากับ 1.5 % สองด้านของสะพาน (หลังเต่า)
5) ที่ ตั้งของ สะพาน ที่ อ. เมือง จ. เชียงใหม่
6) คาบของปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการออกแบบ เท่ากับ 25 ปี
7) เวลารวมน้ำฝน (Time of Concentration) เท่ากับ 5 นาที



รูปที่ 4.4 การอ่านค่าความเข้มน้ำฝนจากกราฟ IDF

จากข้อมูลข้างต้นทำการคำนวณค่า ดังต่อไปนี้

I = 210/25.4 = 8.27 นิ้ว/ชั่วโมง

C = 0.9 (สมมุติ)

N = 0.016

Sx = 0.015 ฟุต/ฟุต

Wp กรณีหลังเต่า = 14/2/0.0254/12 = 22.97 ฟุต

T = 0.8 เมตร = 2.62 ฟุต

จากสมการระยะห่างระหว่างช่องเปิดรับน้ำ

$$L_C = \frac{1312}{(nCiW_p)^{0.67}} S_x^{1.44} T^{2.11}$$

ดังนั้น คำนวณ ค่า Lc = 12.11 ฟุต หรือ 3.69 เมตร

จากค่าที่กำหนดในแบบมาตรฐาน สำหรับสะพานประเภท Slab Type ที่มีความยาวช่วง 10 เมตร จะใช้ค่าระยะห่างระหว่างท่อ เท่ากับ ความยาวช่วง/4 หรือ 10/4 เท่ากับ 2.5 เมตร ซึ่งน้อยกว่า 3.69 เมตร จึงสามารถใช้ค่าตามที่แบบกำหนดได้

ในขั้นตอนต่อไป ทำการคำนวณขนาดของท่อที่ใช้ในการระบายน้ำ จากสมการหาความยาวรอบรูปของช่องเปิด

$$P = \frac{(CiW_p)^{0.33} T^{0.61}}{102.5 S_x^{0.06} n^{0.67}}$$

ซึ่งให้ค่า P = 1.97 ฟุต หรือ 0.6 เมตร เมื่อทำการตรวจสอบกับขนาดที่ใช้ในแบบมาตรฐาน พบว่าในแบบใช้ขนาดท่อ Mortar Pipe เท่ากับ 0.1 เมตร x 0.2 เมตร ซึ่งมีค่าความยาวรอบรูปเท่ากับ 0.6 เมตร ซึ่งเท่ากับค่าที่คำนวณได้ ดังนั้นค่าที่กำหนดในแบบสามารถใช้ได้

4.2 ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้ตารางช่วยออกแบบ

ตัวอย่างนี้แสดงการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานประเภท Slab Type โดยใช้ตารางกราฟช่วยออกแบบที่ให้ไว้ในภาคผนวก 11.1 โดยข้อมูลเบื้องต้นของสะพานใช้ตามตัวอย่างในหัวข้อ 4.1)

จากข้อมูลของสะพานเบื้องต้น คือ Wp = 7 เมตร ค่า Sx = 1.5% ค่า T = 0.8 เมตร และใช้ค่า C = 0.9 หากทำการใช้ท่อระบายน้ำตามแบบมาตรฐานนั่นคือ Mortar Drainage Pipe ขนาด 0.1เมตร x0.2 เมตร หรือ มี ค่าความยาวเส้นรอบรูป เท่ากับ 0.6 เมตร และใช้ ค่าระยะห่างระหว่างท่อ เท่ากับ 2.5 เมตร อ่านค่า ความเข้มข้นของปริมาณน้ำฝนที่รับได้สูงสุด ในตารางเท่ากับ 310 มิลลิเมตร ต่อ ชั่วโมง ซึ่งมากกว่า ค่าความเข้มน้ำฝน (210 มิลลิเมตร ต่อ ชั่วโมง) ที่อ่านจาก IDF Curve ดังนั้นขนาดและระยะห่างของท่อสามารถใช้ได้

Wp=7.00 m.

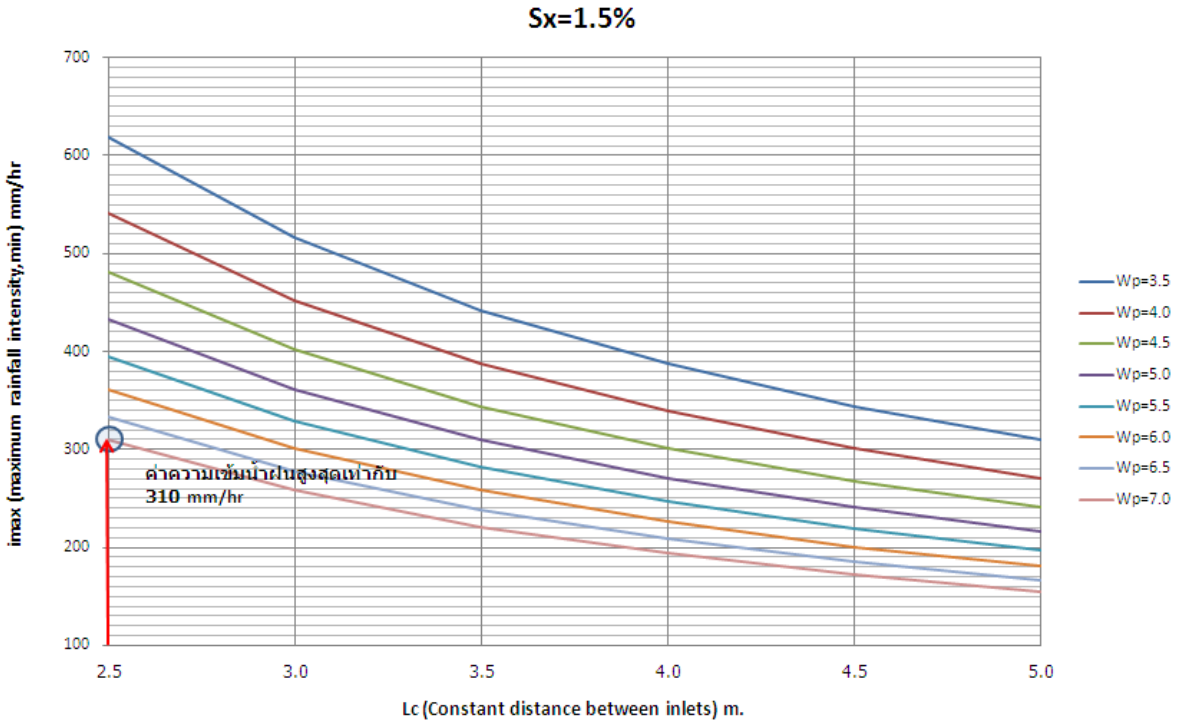
i(mm/hr) / Lc(m.)	Sx(%)							
	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00
2.00	387	596	833	1095	1380	1687	2013	2357
2.50	310	477	667	876	1104	1349	1610	1886
3.00	258	398	556	730	920	1124	1342	1571
3.50	221	341	476	626	789	964	1150	1347
4.00	194	298	417	548	690	843	1006	1179
4.50	172	265	370	487	614	750	894	1048
5.00	155	239	333	438	552	675	805	943

รูปที่ 4.5 การอ่านค่าความเข้มน้ำฝนที่รับได้สูงสุดจากตารางช่วยออกแบบ

4.3 ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานโดยใช้กราฟช่วยออกแบบ

ตัวอย่างนี้แสดงการออกแบบระบบระบายน้ำบนสะพานประเภท Slab Type โดยใช้กราฟช่วยออกแบบที่ให้ไว้ในภาคผนวก 11.2 โดยข้อมูลเบื้องต้นของสะพานใช้ตามตัวอย่างในหัวข้อ 4.1)

จากข้อมูลของสะพานเบื้องต้น คือ Wp = 7 เมตร ค่า Sx = 1.5% ค่า T = 0.8 เมตร และใช้ค่า C = 0.9 หากทำการใช้ท่อระบายน้ำตามแบบมาตรฐานนั่นคือ Mortar Drainage Pipe ขนาด 0.1เมตร x0.2 เมตร หรือ มี ค่าความยาวเส้นรอบรูป เท่ากับ 0.6 เมตร และใช้ ค่าระยะห่างระหว่างท่อ เท่ากับ 2.5 เมตร อ่านค่า ความเข้มข้นของปริมาณน้ำฝนที่รับได้สูงสุด ในกราฟเท่ากับ 310 มิลลิเมตร ต่อชั่วโมง ซึ่งมากกว่า ค่าความเข้มน้ำฝน (210 มิลลิเมตร ต่อ ชั่วโมง) ที่อ่านจาก IDF Curve ดังนั้นขนาดและระยะห่างของท่อสามารถใช้ได้



รูปที่ 4.6 การอ่านค่าความเข้มน้ำฝนที่รับได้สูงสุดจากกราฟช่วยออกแบบ

บทที่ 5

ระบบระบายน้ำในทางลอด

5.1 การระบายน้ำในทางลอด

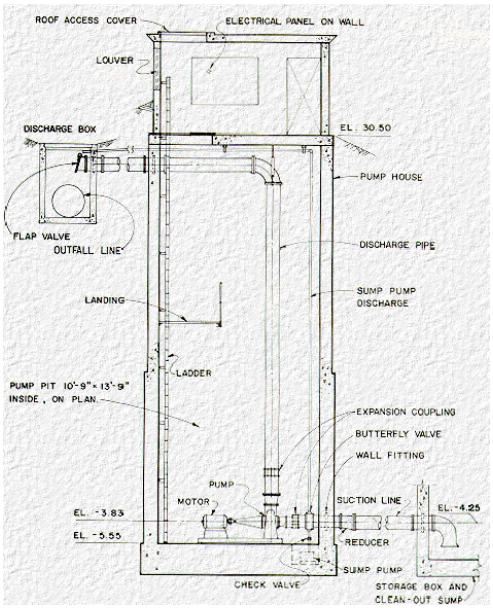
การระบายน้ำในทางลอดสามารถทำได้โดยออกแบบและติดตั้งระบบระบายน้ำในทางลอดนั้น เพื่อที่จะให้ทางลอดสามารถรองรับปริมาณน้ำฝนที่ตกและระบายน้ำออกได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันน้ำท่วมบริเวณผิวจราจรและภายใน Underpass

โดยทั่วไปการระบายน้ำในทางลอดจะถูกออกแบบให้รองรับและลำเลียงน้ำฝนที่ตกลงมาบนผิวจราจรในทางลอดให้ไหลเข้าสู่ RC Ditch แล้วจึงไหลต่อไปยังบ่อสูบ (Pump Sump) ซึ่งได้ติดตั้งเครื่องสูบน้ำฝนไว้ หลังจากนั้นน้ำฝนที่ผ่านระบบรวบรวมดังกล่าวจะถูกสูบระบายออกไปยังระบบระบายน้ำสาธารณะต่อไป

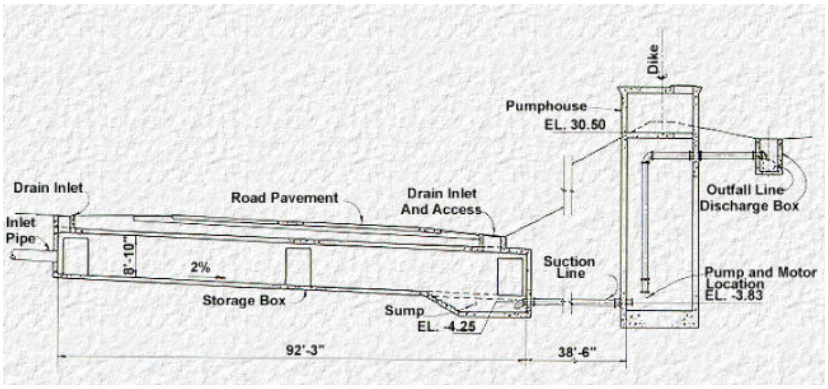
5.2 อุปกรณ์ระบายน้ำในทางลอด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการระบายน้ำในทางลอดมีดังต่อไปนี้ เช่น รางตื้นที่ริมผิวจราจร (Gutter) ตะแกรงเหล็ก (Grating Inlet) ท่อเหล็กระบายน้ำ (Pipe Inlet) บ่อสูบ (Pump Sump) เครื่องสูบน้ำในรูปแบบต่างๆ

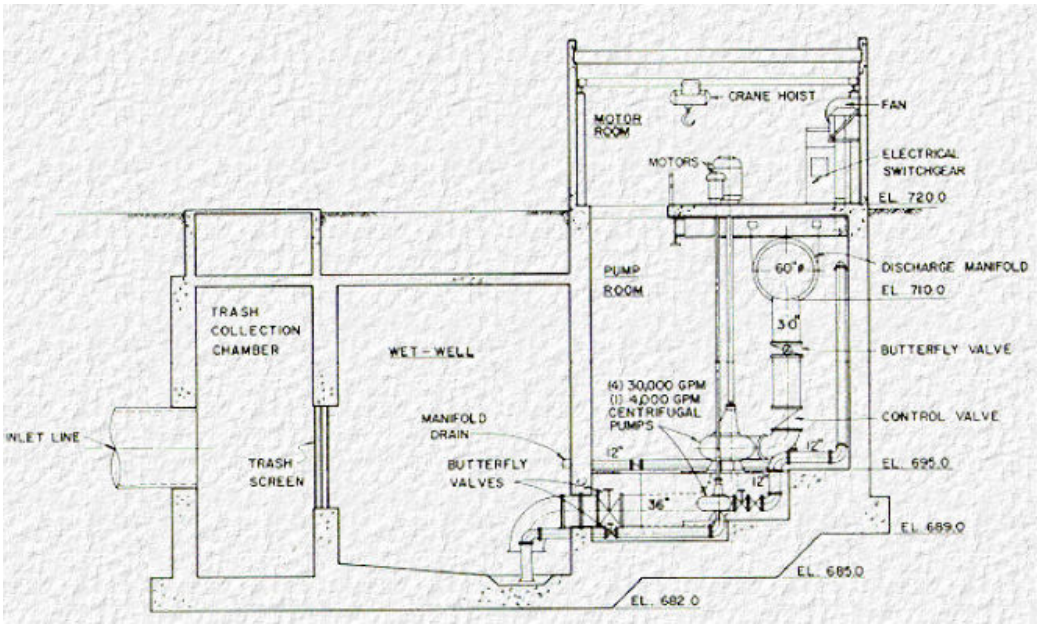
ตัวอย่างของอุปกรณ์ระบายน้ำที่ใช้อย่างแพร่หลายในงานก่อสร้างทางลอดแสดงดังรูปดังต่อไปนี้



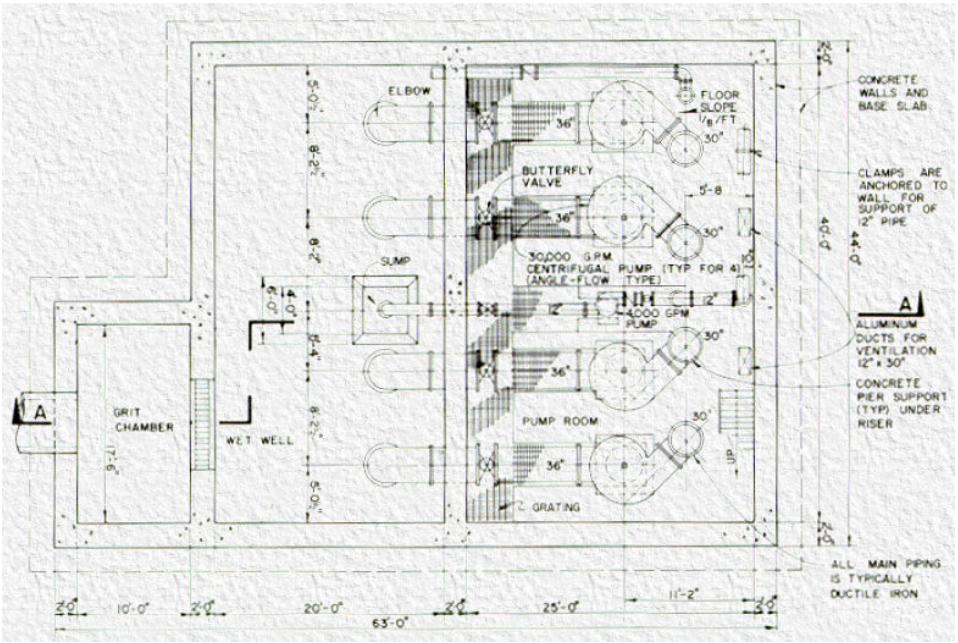
รูปที่ 5.1 รูปแบบของ Dry-Pit Pump Station



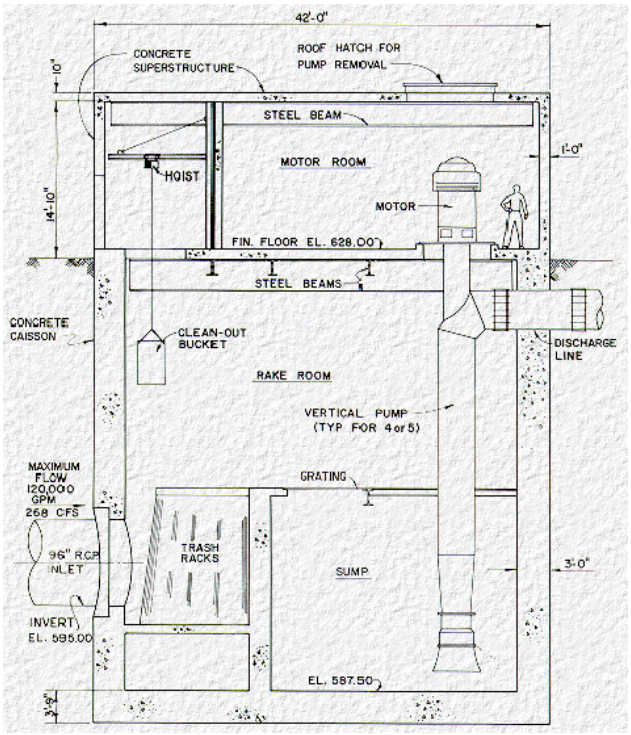
รูปที่ 5.2 รูปตัดแสดงระบบระบายน้ำจากผิวทางลอดไปสู่ Dry-Pit Pump Station



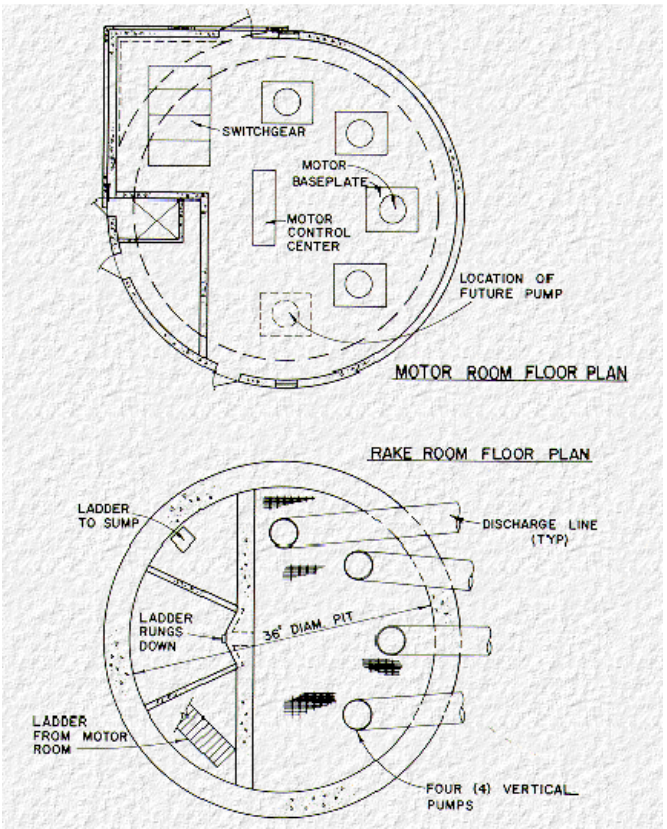
รูปที่ 5.3 รูปตัดแสดง Pump Sump และ Dry-Pit Pump Station



รูปที่ 5.4 Plan แสดงตำแหน่งของเครื่องสูบน้ำสำหรับ Dry-Pit Pump Station



รูปที่ 5.5 รูปแบบของ Wet-Pit Pump Station แบบทรงกระบอก



รูปที่ 5.6 Planแสดงตำแหน่งของเครื่องสูบน้ำของ Wet-Pit Pump Station แบบทรงกระบอก

5.3 การระบายน้ำในทางลอดไปสู่ระบบระบายน้ำสาธารณะและทางหลวง

โดยทั่วไปน้ำฝนหรือน้ำธรรมชาติที่ตกบนผิวทางของถนนก่อนส่วนที่เป็นทางลอดจะไหลลงไปสู่บริเวณผิวทางของทางลอดซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าระดับถนนและบางส่วนจะไหลไปตามรางระบายน้ำที่ติดตั้งไว้ข้างทางลอด น้ำที่ไหลเข้ามาในทางลอดจะถูกลำเลียงไปตามรางระบายน้ำไปสู่บ่อสูบ หลังจากนั้นจะถูกสูบออกไปสู่ระบบท่อระบายน้ำที่ออกแบบให้ลำเลียงน้ำไปสู่ท่อทั้งแบบเปิดหรือแบบปิดก่อนระบายไปยังระบบระบายน้ำสาธารณะและทางหลวงต่อไป

5.4 แนวความคิดและหลักการออกแบบระบายน้ำในทางลอด

การออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดนั้นเพื่อที่จะให้ทางลอดสามารถรองรับปริมาณน้ำฝนที่ตกและระบายน้ำออกไปอย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพื่อป้องกันน้ำท่วมบริเวณผิวจราจรและภายใน Underpass โดยปกติปริมาณน้ำฝนจะถูกประเมินโดยใช้วิธี Rational Method ที่ Return Period เท่ากับ 50 ปี และ ที่ tc เท่ากับ 10 นาที สำหรับค่าของปริมาณน้ำขังบนผิวจราจรที่ใช้ในการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดนิยมใช้เท่ากับ 0.8 เมตร ซึ่งค่าที่ใช้นี้จะขึ้นกับแนวทางในการออกแบบและดุลพินิจของผู้ออกแบบ

5.5 มาตรฐานการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด

มาตรฐานการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดที่ใช้อ้างอิงในการออกแบบและจัดทำคู่มือนี้ได้อ้างอิงจากคู่มือที่จัดทำขึ้นจากหน่วยงานในต่างประเทศดังต่อไปนี้

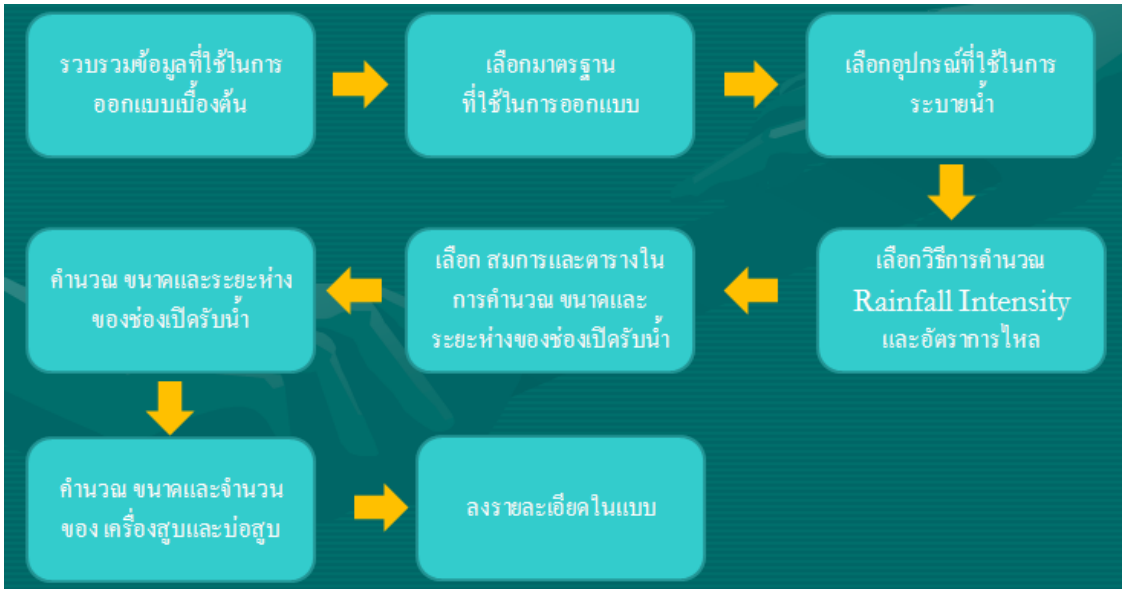
- Texas Department of Highways (Texas DOT)
- Hydrologic Engineering Center (HEC)
- Federal Highway Administration (FHWA)
- AASHTO LRFD Bridge Design Specification
- AASHTO Model Drainage Manual

บทที่ 6

การออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด

6.1 ขั้นตอนการออกแบบ

ขั้นตอนการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดเริ่มจาก การรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบเบื้องต้น จากนั้นทำการเลือกมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ ทำการเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในการระบายน้ำ จากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอนการคำนวณหาปริมาณน้ำในทางลอดที่จำเป็นต้องระบาย ซึ่งโดยปกติใช้ วิธี Rational Method ในการหา Rainfall Intensity จากนั้นคำนวณหาอัตราการไหล เมื่อได้อัตราการไหลแล้วจึง ทำการคำนวณหาขนาดและรูปร่าง ระยะห่างของช่องเปิดรับน้ำ ทำการคำนวณขนาดและจำนวนเครื่องสูบและบ่อสูบและขั้นตอนสุดท้ายทำการลงรายละเอียดในแบบ จากขั้นตอนทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปในรูปข้างล่างคือ



รูปที่ 6.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด

6.2 การประมาณค่าปริมาณน้ำที่ระบายในทางลอด

การประมาณค่าปริมาณน้ำที่ระบายในทางลอดสามารถทำได้โดยใช้วิธี Rational Method ดังแสดงในสมการดังนี้

$$Q = 0.278CIA$$

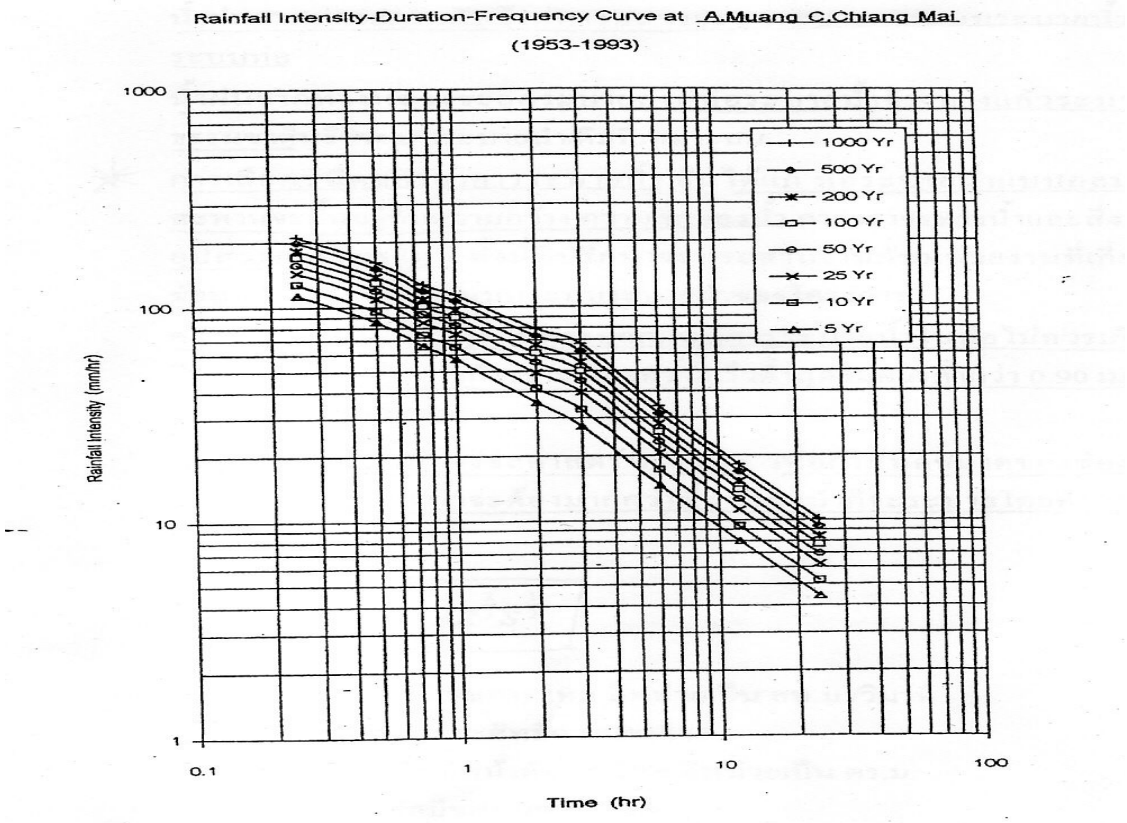
โดยที่ Q = ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที

C = สัมประสิทธิ์การไหลผ่านของน้ำ (โดยทั่วไปการไหลบนผิวทางลอดจะใช้ค่าประมาณ 0.9)

I = ความเข้มของฝน ที่ tc = 10 นาที มีหน่วยเป็น มม./ชม.

A = ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน มีหน่วยเป็น ตร.กม

สำหรับการหาค่าความเข้มของฝน ที่มีหน่วยเป็น มม./ชม. นั้นจะหาได้จากกราฟน้ำฝนกับระยะเวลาฝนตก (Rainfall Intensity-Duration-Frequency Curve) หรือที่เราเรียกกันว่า IDF Curve ดังแสดงข้างล่าง ซึ่งกราฟนี้จะขึ้นกับข้อมูลในพื้นที่ในแต่ละจังหวัด โดยที่ปรึกษาจะพัฒนากราฟน้ำฝนจากข้อมูลน้ำฝนในพื้นที่ที่ใกล้เคียงกับพื้นที่โครงการมากที่สุดและเป็นข้อมูลที่ทันสมัยที่สุดที่มีการบันทึกไว้



รูปที่ 6.2 กราฟความเข้มฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ (IDF Curve) ที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

โดยปกติการหาค่าปริมาณความเข้มฝน จำเป็นต้องทราบ คาบหรือรอบปีการเกิดซ้ำ และช่วงเวลาการไหลของน้ำฝนมายังตำแหน่งของอาคารระบายน้ำ (Time of Concentration) โดยปกติในการออกแบบระบบระบายน้ำทางลอดมักจะนิยมสมมุติค่าของ Time of Centration (tc) ประมาณ 10 นาที ซึ่งปริมาณน้ำที่คำนวณได้อยู่ในระดับที่เหมาะสมในการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดในประเทศไทย

6.3 การออกแบบรางระบายน้ำในทางลอด

หลังจากประมาณปริมาณน้ำที่ต้องการระบายในทางลอดจากสมการข้างต้น ในขั้นตอนต่อมาคือการออกแบบรางระบายน้ำในทางลอด โดยทั่วไปการออกแบบรางระบายน้ำในทางลอดนั้นจะเริ่มจากการคำนวณหาอัตราการไหลในรางระบายน้ำที่ไม่ทำให้เกิดการเอ่อและการขังของน้ำในผิวจราจร หรือที่เราเรียกกันว่า Spread (T) ซึ่งโดยทั่วไปเพื่อเป็นการเหมาะสมในทางหลักเศรษฐศาสตร์และวิศวกรรมความปลอดภัย ค่า Spread ที่ใช้ในการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดไม่ควรเกิน 0.8 เมตร

สำหรับสมการที่ใช้ในการประมาณอัตราการไหลในรางระบายน้ำข้างถนนในทางลอดสามารถหาได้จากสมการ

$$Q_s = \frac{0.376}{n} S_x^{5/3} S_L^{1/2} T^{8/3}$$

โดยที่ Qs = ปริมาณการไหลสูงสุดในรางระบายน้ำ

n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Cr = Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

SL = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

หากผู้ออกแบบใช้รางระบายน้ำแบบ Composite Gutter (Sw) ที่มีค่าความลาดเอียงตามขวางมากกว่าหนึ่งค่า อัตราการไหลรวมของน้ำฝนทั้งหมดจะถูกรองรับจากรางน้ำทั้งสองส่วน โดยที่อัตราการไหลในกรณีนี้จะต้องพิจารณาอัตราการไหลใน Composite Gutter ด้วย โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลได้แก่

$$Q = Q_w + Q_s = \frac{Q_s}{1 - E_o}$$

$$E_o = 1 / \left\{ \frac{S_w / S_x}{\left[1 + \frac{S_w / S_x}{\frac{T}{W} - 1} \right]^{2/3} - 1} \right\} = Q_w / Q$$

โดยที่ Qs = ปริมาณการไหลสูงสุดในรางระบายน้ำส่วนที่มี ความชันตามขวางเท่ากับ Sx

Qw = ปริมาณการไหลสูงสุดในรางระบายน้ำส่วนที่มี ความชันตามขวางเท่ากับ Sw

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที คำนวณโดยใช้วิธี Rational Method

W = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนผิวจราจรของทางลอดที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

Eo = ประสิทธิภาพการไหลในรางแบบ Composite Gutter

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำส่วนบนของ Composite Gutter

Sw = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำส่วน Depressed Segment ของ Composite Gutter ซึ่งคำนวณได้จาก Sx + a/w

a = ความลึกของ Depressed Segment

W = ความกว้างของ Depressed Segment

หลังจากคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำที่สามารถระบายในรางระบายน้ำ ขั้นตอนต่อไปทำการคำนวณหาความเร็วการไหลในรางระบายน้ำ ซึ่งหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

โดยที่ V = ความเร็วในการไหลในรางระบายน้ำ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

R = ความยาวรอบรูปที่เปียกน้ำ มีหน่วยเป็น เมตร

n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning โดยปกติสมมติค่าเท่ากับ 0.013

SL = ความชันของรางระบายน้ำตามยาว มีหน่วยเป็น เมตรต่อเมตร

โดยทั่วไปในการออกแบบควรใช้ค่าของ S_L เท่ากับค่าของความชันในแนวยาวของถนนหรือทางลอดเพื่อให้ง่ายต่อการก่อสร้าง และควรเลือกขนาดของรางระบายน้ำให้ได้ความเร็วของการไหล(V)ไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตรต่อวินาที ซึ่งขนาดของรางระบายน้ำสามารถหาได้จากความยาวรอบรูปที่เปียกน้ำตามสมการข้างต้น

6.4 การออกแบบขนาดและระยะห่างของช่องเปิดในทางลอด

หลังจากประมาณของรางระบายน้ำแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณหาขนาดของช่องเปิดเพื่อรับน้ำจากผิวจราจรซึ่งสามารถพิจารณาจากค่าความยาวรวมของช่องเปิดที่บริเวณ Curb (LT) ที่สามารถรับนำที่ระบายจากผิวจราจรโดยคำนวณได้จากสมการดังนี้คือ

สำหรับ Gutter แบบ Non-Composite

$$L_T = 0.817 Q^{0.42} S_L{}^{0.3} \left(\frac{1}{nS_x} \right)^{0.6}$$

โดยที่ LT = ความยาวรวมของช่องเปิดบริเวณ Curb ที่สามารถรับปริมาณการไหลสูงสุด Q มีหน่วยเป็น เมตร

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที คำนวณโดยใช้วิธี Rational Method

SL = ความชันของรางระบายน้ำตามยาว มีหน่วยเป็น เมตรต่อเมตร

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

สำหรับ Gutter แบบ Composite

$$L_T = 0.817 Q^{0.42} S_L{}^{0.3} \left(\frac{1}{nS_e} \right)^{0.6}$$

โดยที่ LT = ความยาวรวมของช่องเปิดบริเวณ Curb ที่สามารถรับปริมาณการไหลสูงสุด Q มีหน่วยเป็น เมตร

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที คำนวณโดยใช้วิธี Rational Method

SL = ความชันของรางระบายน้ำตามยาว มีหน่วยเป็น เมตรต่อเมตร

Se = Sx+SWEo

SW = Sw – Sx

ในกรณีที่ความยาวช่องเปิดที่ใช้ในการออกแบบจริงมีค่าน้อยกว่า L_T จะต้องหาค่าประสิทธิภาพการรับน้ำของช่องเปิดจริง (E) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$E = 1 - \left[1 - \frac{L}{L_T} \right]^{1.8}$$

โดยที่ E = ประสิทธิภาพการรับน้ำของช่องเปิดจริง

L = ความยาวรวมของช่องเปิดจริง มี หน่วยเป็น เมตร

หลังจากคำนวณหาค่าความยาวของช่องเปิดจริง จะทำให้สามารถหาระยะห่างหรือความถี่ของการติดตั้ง Curb Inlet ได้ต่อไป

6.5 การออกแบบระบบ pump ในทางลอด

การออกแบบบ่อสูบและระบบในทางลอดจะสามารถหาได้โดยอาศัยคำแนะนำของ TEXUS DOT โดยที่

$$Q = \frac{CiAD}{Z}$$

โดยที่ Q = ปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่จะระบาย มีหน่วยเป็น ลบ.ม
CiA = อัตราการไหลของน้ำฝน ลบ.ม ต่อ วินาที
D = ช่วงเวลาที่ฝนตก มีหน่วยเป็นวินาที
Z = ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 360

หลังจากคำนวณหาปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่จะระบายแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการคำนวณหาขนาดของบ่อสูบ และ ขนาดของเครื่องสูบน้ำ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของบ่อสูบและขนาดของเครื่องสูบน้ำสามารถหาได้ดังนี้คือ

$$\textbf{Average Pump Capacity} = \frac{\textbf{CiAD - Volume of sump}}{\textbf{D}}$$

ซึ่งในการใช้สมการข้างต้นจะต้องทำการสมมติเหตุการณ์ที่แตกต่างกันของระยะเวลาที่ฝนตกก่อนที่เครื่องสูบน้ำแต่ละตัวจะเริ่มทำงาน รวมทั้งจำนวนของเครื่องสูบน้ำทั้งหมดและจำนวนของเครื่องที่ทำงานพร้อมกันในขณะสูบน้ำและขนาดของบ่อสูบ ซึ่งตัวแปรเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์กันทั้งหมดจึงต้องทำการออกแบบให้ครอบคลุมทุกเหตุการณ์ที่เป็นไปได้และยังต้องพิจารณาความคุ้มค่าของราคาของอุปกรณ์ที่ใช้อีกด้วย

บทที่ 7

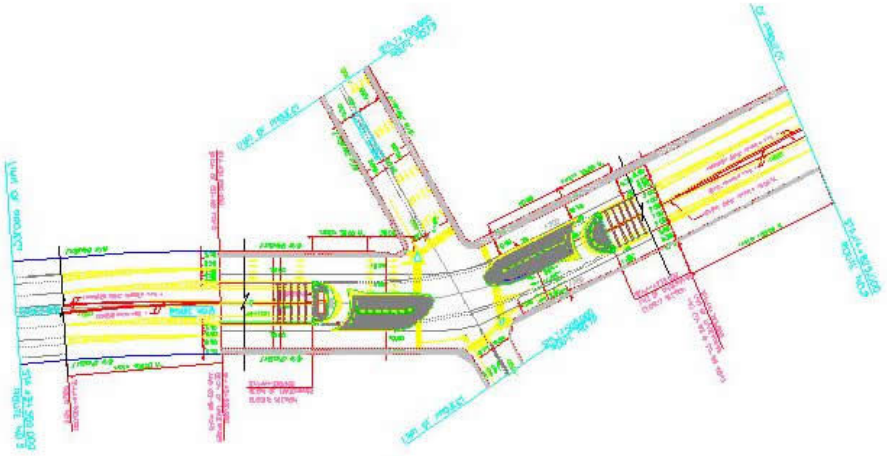
ตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอด

สำหรับตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดนี้ เป็นตัวอย่างที่แสดงหลักการและแนวทางการออกแบบระบบระบายน้ำในทางลอดที่ประกอบด้วย รางระบายน้ำข้างถนน (Gutter) รางระบายน้ำแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Ditch) รูรับน้ำบริเวณขอบทาง (Curb Inlet) บ่อสูบ (Pump Sump) และ เครื่องสูบน้ำ (Pump Machine) ของทางลอด

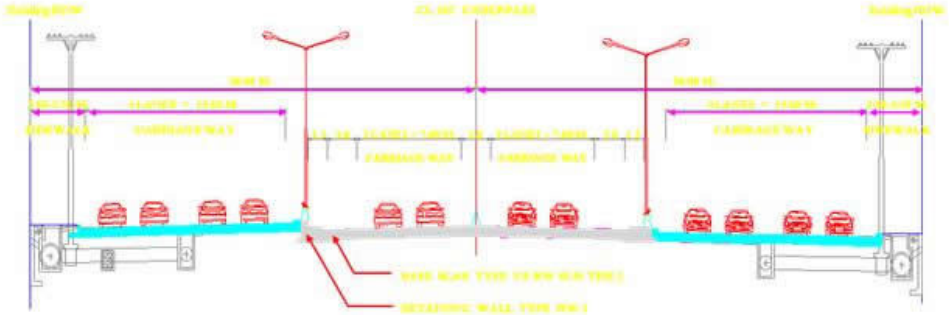
ลักษณะและรายละเอียดอย่างย่อของทางลอดคือ ทางลอดเป็นชนิดลดระดับตามแนวทางหลวงและมีถนนคอนกรีตอยู่ด้านข้างทางลอดที่ระดับเดียวกับถนนเดิม โดยมีความยาวทางลอด 1.035 กิโลเมตร ความกว้างของทางลอดเท่ากับ 22.60 เมตร ทางลอดถูกออกแบบเพื่อรองรับปริมาณจราจรบริเวณจุดตัดทางหลวง ซึ่งจำนวนช่องจราจรที่ออกแบบให้รองรับมีทั้งหมด 4 ช่องจราจร โดยแบ่งเป็นทิศทางละ 2 ช่องจราจร (ไป-กลับ) มี Safety Barrier ขั้นกลางเพื่อแยกทิศทางจราจร ทางลอดถูกออกแบบให้ประกอบด้วยช่วงเปิดและช่วงปิด โดยที่บริเวณจุดตัดทางแยก ซึ่งเป็นสี่แยกสามเหลี่ยมได้ถูกออกแบบเป็นทางลอดลดระดับแบบปิดด้วยโครงสร้างพื้นสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กระดับราบตามแนวถนนบริเวณทางแยก โดยมีความยาวสะพานเท่ากับ 22.60 เมตร ระยะทางช่วงปิดของทางลอด 195 เมตร ซึ่งจาก Plan ของทางลอดที่แสดงข้างล่าง ระยะทางช่วงปิดจะอยู่ระหว่าง กม. 44+038.5 ถึง กม. 44+233.5 โดยตัวอย่างรูปแบบของทางลอด Plan รวมทั้งรูปตัดของช่วงเปิดและช่วงปิดของทางลอดแสดงดังต่อไปนี้

รูปที่ 7.1 รูปแบบของทางลอดที่ใช้ในตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำ

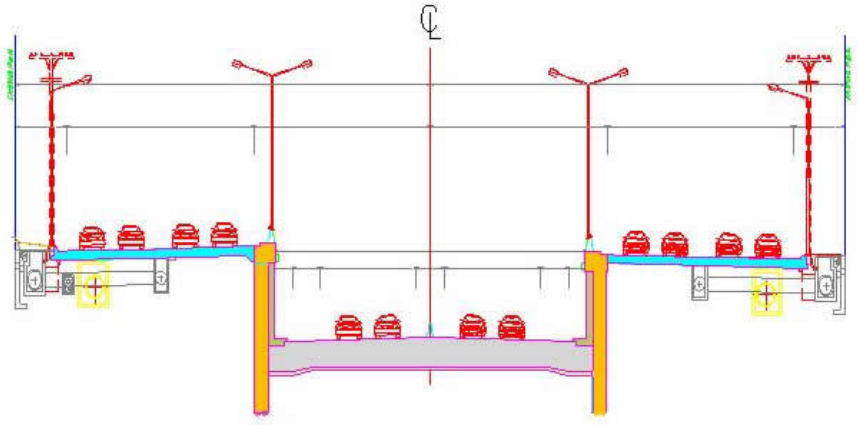
รูปที่ 7.2 รูปแบบภายในของทางลอดที่ใช้ประกอบตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำ



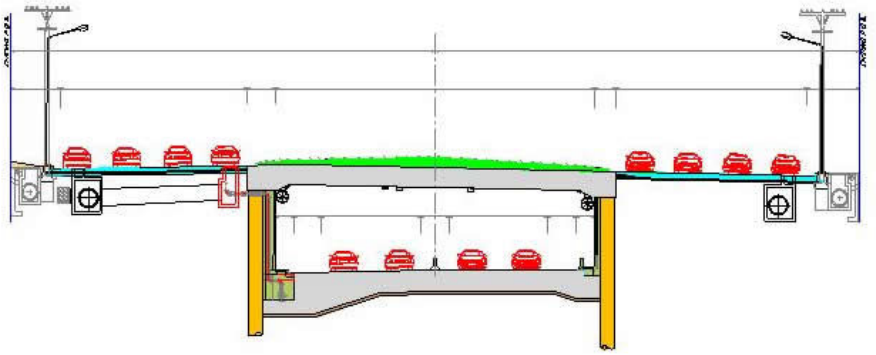
รูปที่ 7.3 Plan ของทางลอดที่ใช้ประกอบตัวอย่างการออกแบบระบบระบายน้ำ



รูปที่ 7.4 รูปตัดแสดงช่องจราจรและลักษณะของทางลอดช่วงเริ่มเข้าสู่ทางลอด



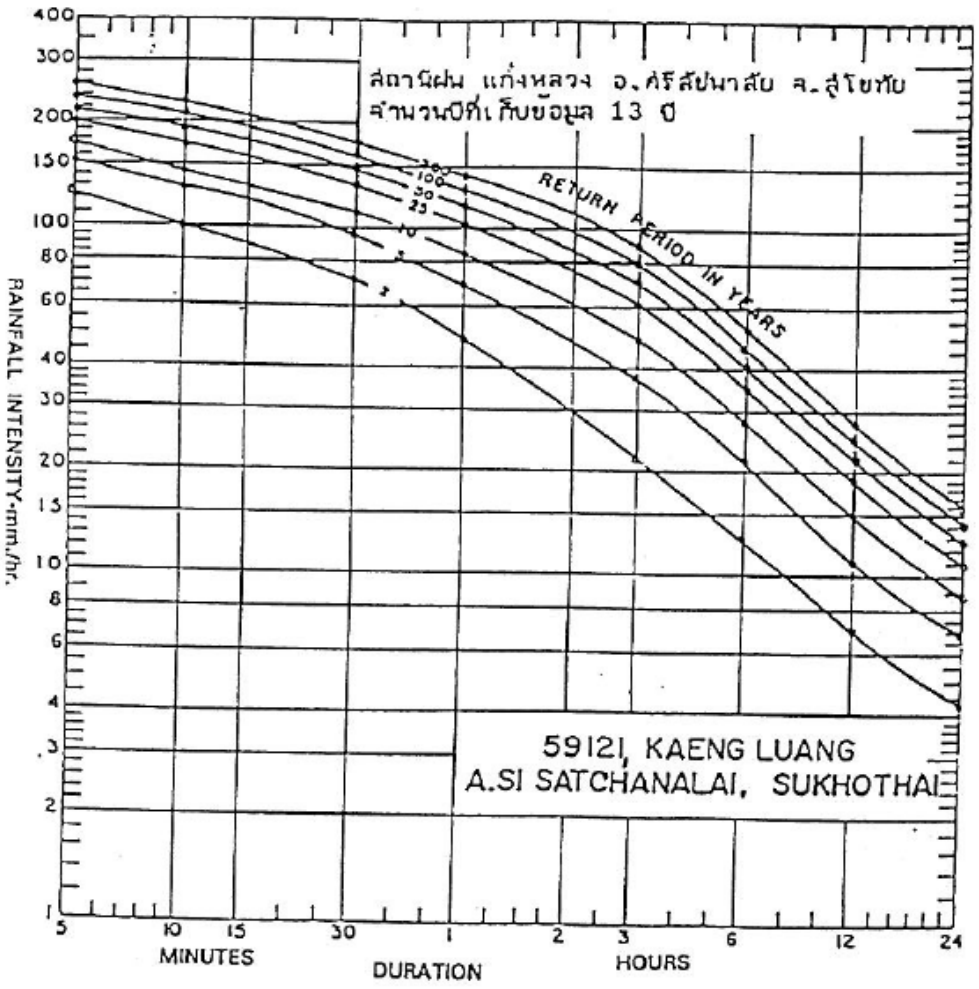
รูปที่ 7.5 รูปตัดแสดงช่องจราจรและลักษณะของทางลอดช่วงเปิด



รูปที่ 7.6 รูปตัดแสดงช่องจราจรและลักษณะของทางลอดช่วงปิด

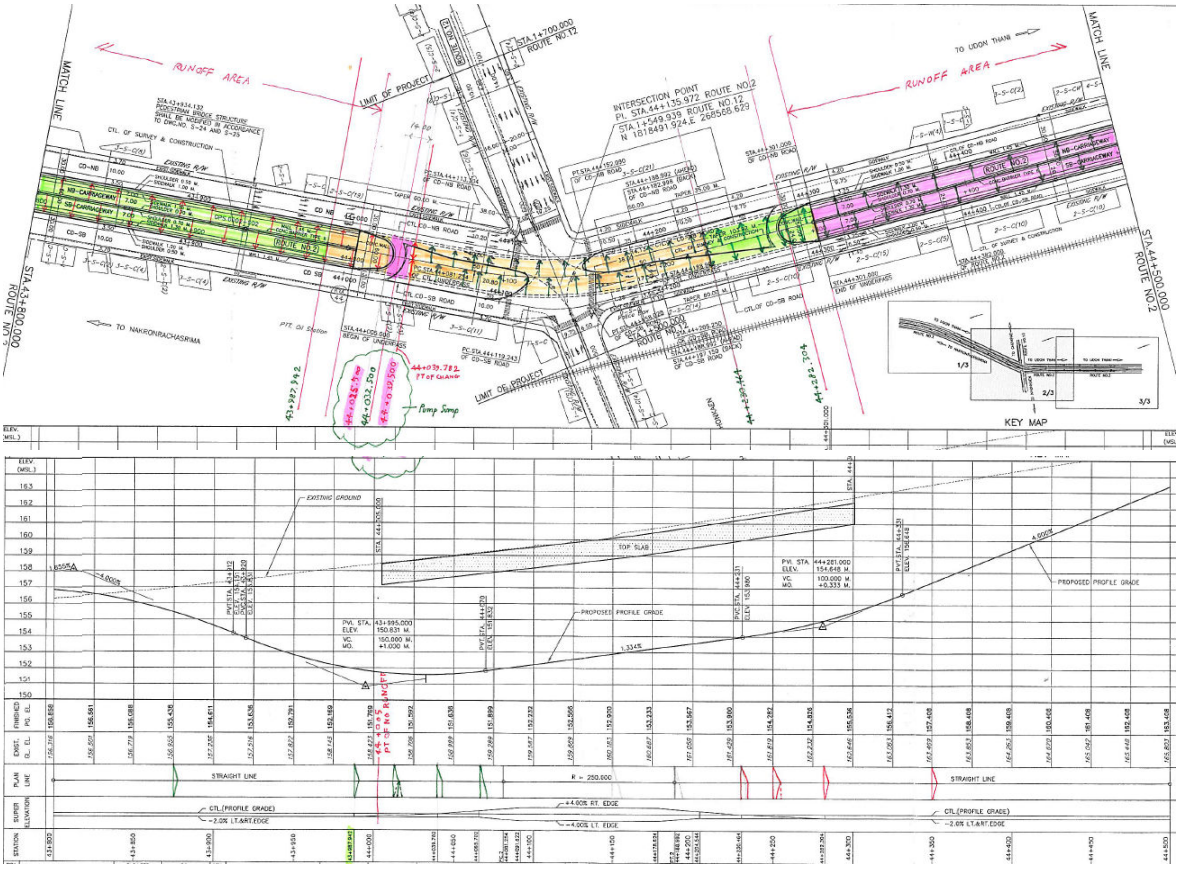
สำหรับระบบระบายน้ำในทางลอดนี้กำหนดให้ใช้ Gutter ที่ตำแหน่งด้านข้างของทางลอดช่วยในการลำเลียงน้ำฝนที่ตกลงมาในบริเวณพื้นที่รับน้ำของทางลอดให้ไหลไปสู่ช่องเปิด Curb Inlet หลังจากนั้นน้ำฝนจะถูกลำเลียงโดย RC Ditch เพื่อไหลต่อไปยัง บ่อสูบ (Pump Sump) เพื่อทำการสูบน้ำโดยเครื่องสูบน้ำ (Pump Machine) เพื่อลำเลียงออกไปยังระบบระบายน้ำสาธารณะต่อไป

สำหรับแนวทางออกแบบนั้น ปริมาณน้ำฝนที่ตกและจำเป็นต้องระบายออกเพื่อป้องกันน้ำท่วมบริเวณผิวจราจรและภายในทางลอด จะประเมินโดยใช้ Rational Method ซึ่งค่า Return Period ที่ใช้ในการออกแบบมีค่าเท่ากับ 50 ปี และสมมุติ ค่าของ Time of Concentration (tc) เท่ากับ 10 นาที ค่าที่ของความเข้มน้ำฝนสมมุติให้ใช้กราฟ IDF ของจังหวัดสุโขทัย ดังแสดงข้างล่าง โดยพบว่าที่ tc = 10 นาที และค่า Return Period เท่ากับ 50 ปี จะได้ค่า ความเข้มน้ำฝน (i) เท่ากับ 190 มิลลิเมตร ต่อชั่วโมง ซึ่งจะนำไปใช้ในการออกแบบต่อไป

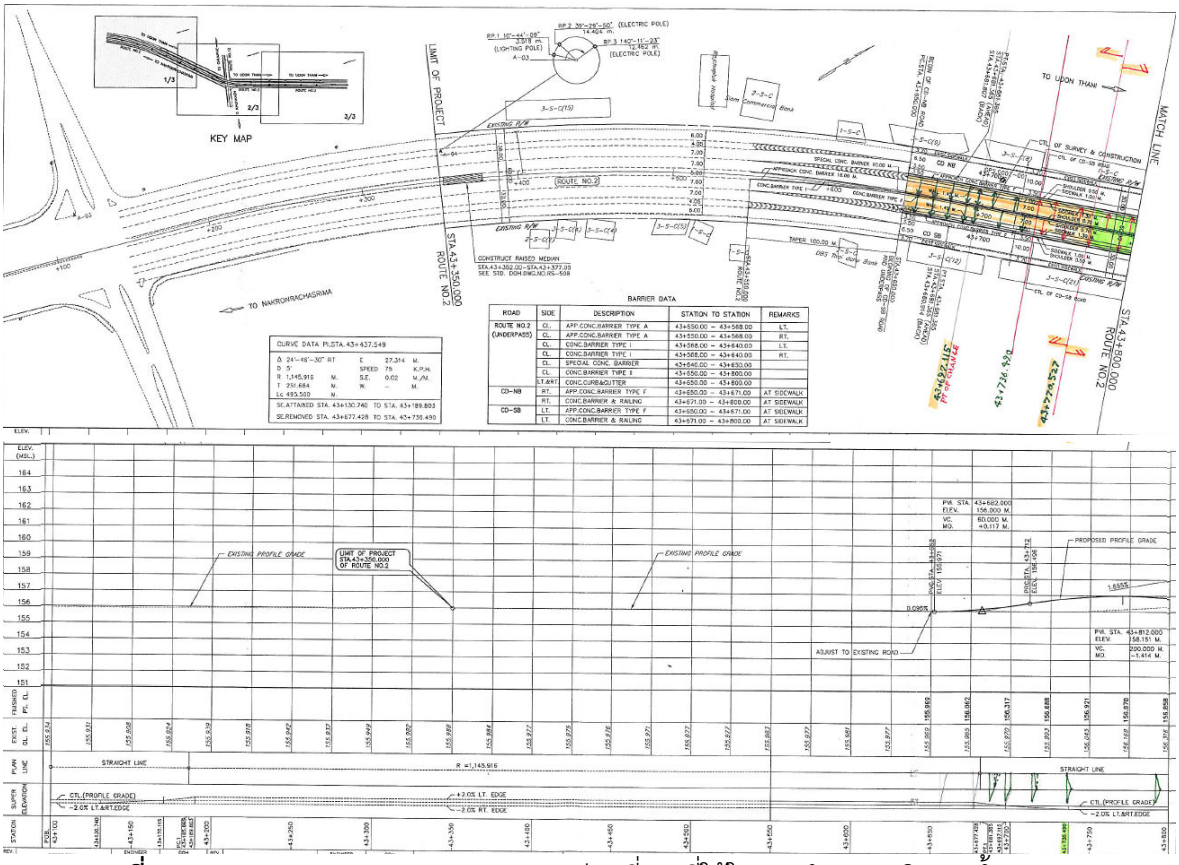


รูปที่ 7.7 กราฟความเข้มฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ (IDF Curve) ที่อำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัย

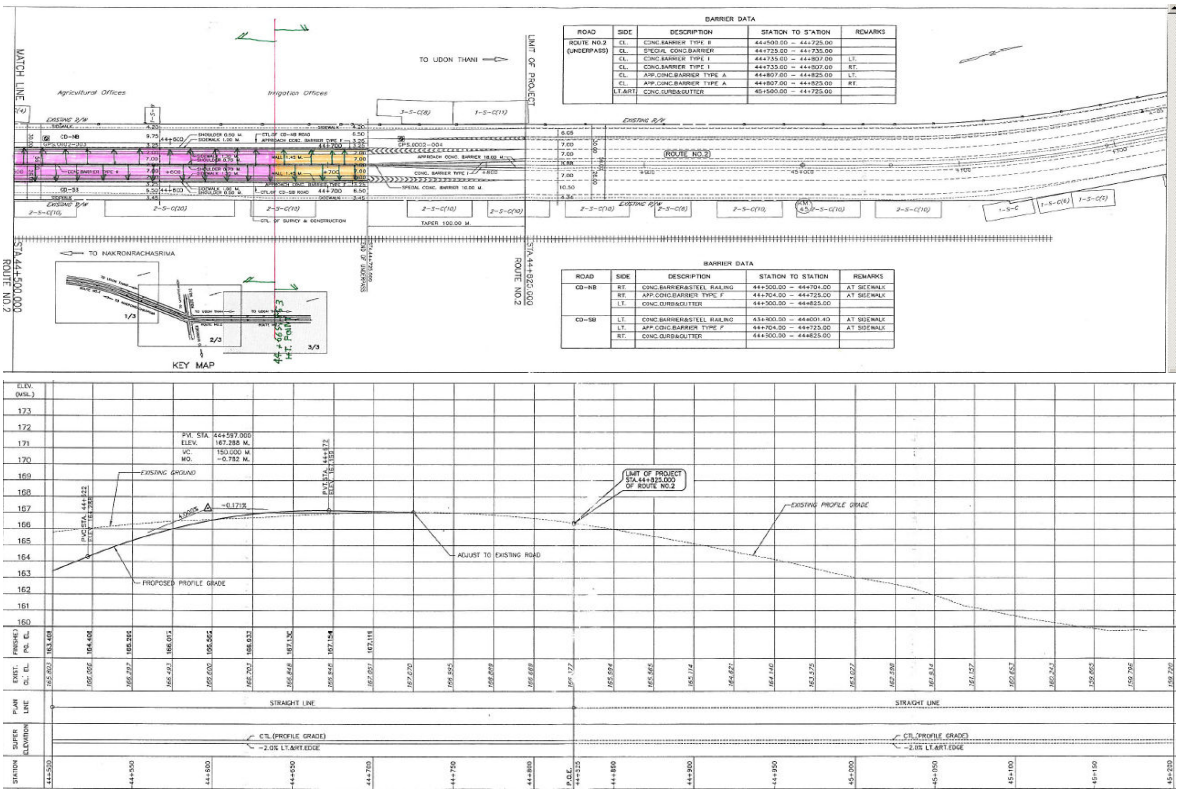
หลังจากประมาณปริมาณความเข้มของน้ำฝนในตำแหน่งก่อสร้างทางลอดได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการประมาณค่าของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในส่วนของทางลอดที่จำเป็นต้องระบายออก ซึ่งพื้นที่รับน้ำฝนที่ตกลงมาในทางลอดสำหรับในตัวอย่างนี้สามารถพิจารณาจากรูปของ Plan และ Profile ดังแสดงในรูปข้างล่างนี้ โดยตำแหน่งที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่รับน้ำฝนที่ตกลงในทางลอดอยู่ในช่วง STA.43+770.5270 ถึง STA.44+005.000 และจากช่วง STA.44+301.000 ถึง STA.44+665.8530 โดยช่วงแต่ละช่วงเลือกจากจุดที่มีความชันเปลี่ยนจากบวกเป็นลบหรือมีความลาดเอียงลงไปในทางลอด ซึ่งเป็นผลให้น้ำฝนที่ตกมาบริเวณนี้จะไหลลงสู่ทางลอดซึ่งผู้ออกแบบจะต้องออกแบบระบบระบายน้ำเพื่อระบายน้ำฝนนี้



รูปที่ 7.8 Plan และ Profile ของทางลอด (ส่วนที่ 1) ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำฝน



รูปที่ 7.9 Plan และ Profile ของทางลอด (ส่วนที่ 2) ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำฝน



รูปที่ 7.10 Plan และ Profile ของทางลอด (ส่วนที่ 3) ที่ใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำฝน

โดยจากช่วงรับน้ำฝนข้างต้นปริมาณน้ำฝนที่ต้องระบายในทางลอดทั้งหมดคำนวณดังนี้

ROUTE	START	FINISH	LENGTH	WIDTH	0.278	C	I	AREA	RUNOFF
ROUTE 2-NB	43770.5270	44005.0000	234.4730	11.30	0.278	0.95	205	2649.545	0.1434
ROUTE 2-NB	44301.0000	44665.8530	364.8530	11.30	0.278	0.95	205	4122.839	0.2232
								TOTAL (CUM/S)	0.3667

จากนั้นจึงทำการคำนวณความเร็วในการไหลในรางระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก (RC Ditch) ที่ใช้ในการลำเลียงน้ำไปสู่บ่อพักน้ำ โดยในตัวอย่างนี้ตำแหน่งที่ใช้ในการคำนวณความเร็วในการไหลใน RC Ditch ได้แบ่งออกเป็นจุดย่อยๆ ดังแสดงในภาพข้างล่าง โดยตัวอย่างจะแสดงรายการคำนวณเฉพาะตำแหน่ง L1 ถึง L14

สำหรับสมการที่ใช้คำนวณความเร็วการไหลจะใช้ตามสมการข้างล่างนี้

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

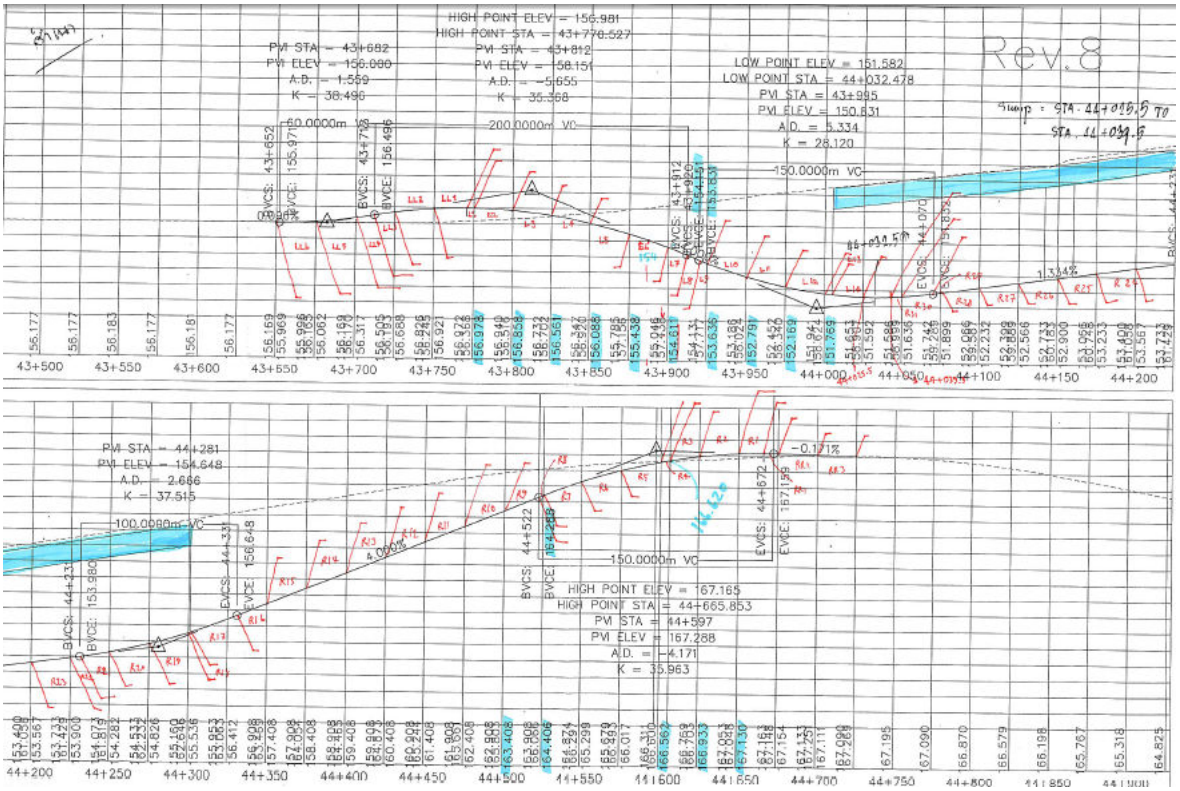
โดยที่ V = ความเร็วในการไหลในรางระบายน้ำ มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

R = ความยาวรอบรูปที่เปียกน้ำ มีหน่วยเป็น เมตร

n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning โดยปกติสมมติค่าเท่ากับ 0.013

SL = ความชันของรางระบายน้ำตามยาว มีหน่วยเป็น เมตรต่อเมตร

ในตัวอย่างนี้ใช้ค่าของ S_L เท่ากับค่าของความชันในแนวยาวของถนนหรือทางลอดเพื่อให้ง่ายต่อการก่อสร้าง และการคำนวณหาขนาดของรางระบายน้ำทำโดยการสมมุติค่าของความลึกของน้ำที่ไหลในรางโดยเลือกค่าความลึกที่ทำให้ได้ความเร็วของการไหล(V)ไม่ต่ำกว่า 0.6 เมตรต่อวินาที ซึ่งขนาดของรางระบายน้ำสามารถหาได้จากความยาวรอบรูปที่เปียกน้ำตามสมการข้างต้น



รูปที่ 7.11 แสดงตำแหน่งของการคำนวณ RC Ditch ของทางลอดที่ใช้ในการรองรับปริมาณน้ำฝนจาก Inlet

ตารางที่ 7.1 แสดงการคำนวณปริมาณการไหลที่ช่วงต่างๆของ RC Ditch

	SLOPE	Distance	C	I (mm/hr)	Width	Area sqm	Constant	Flow cum/s
L1	0.0070	4.4730	0.95	205	11.3	50.54	0.278	0.003
L2	0.0048	25.0000	0.95	205	11.3	282.50	0.278	0.015
L3	0.0119	25.0000	0.95	205	11.3	282.50	0.278	0.015
L4	0.0189	25.0000	0.95	205	11.3	282.50	0.278	0.015
L5	0.0260	25.0000	0.95	205	11.3	282.50	0.278	0.015
L6	0.0331	25.0000	0.95	205	11.3	282.50	0.278	0.015
L7	0.0383	12.0000	0.95	205	11.3	135.60	0.278	0.007
L8	0.0400	8.0000	0.95	205	11.3	90.40	0.278	0.005
L9	0.0390	5.0000	0.95	205	11.3	56.50	0.278	0.003
L10	0.0338	25.0000	0.95	205	11.3	282.50	0.278	0.015
L11	0.0249	25.0000	0.95	205	11.3	282.50	0.278	0.015
L12	0.0160	25.0000	0.95	205	11.3	282.50	0.278	0.015
L13	0.0138	5.0000	0.95	205	11.3	56.50	0.278	0.003
L14	0.0053	20.5000	0.95	0	11.3	231.65	0	0.000

ตารางที่ 7.2 แสดงการคำนวณความเร็วการไหลและหน้าตัดของที่ช่วงต่างๆของ RC Ditch

	SLOPE	n	W	Depth	Area	P	R^2/3	Velocity m/s	NOTE
L1	0.0070	0.0130	0.5	*0.01*	0.01	0.53	0.0578	0.372	Assume Depth
L2	0.0048	0.0130	0.5	*0.05*	0.03	0.61	0.1254	0.668	
L3	0.0119	0.0130	0.5	*0.06*	0.03	0.62	0.1327	1.113	
L4	0.0189	0.0130	0.5	*0.07*	0.03	0.63	0.1396	1.476	
L5	0.0260	0.0130	0.5	*0.07*	0.04	0.64	0.1451	1.800	
L6	0.0331	0.0130	0.5	*0.08*	0.04	0.65	0.1499	2.098	
L7	0.0383	0.0130	0.5	*0.08*	0.04	0.65	0.1506	2.268	
L8	0.0400	0.0130	0.5	*0.08*	0.04	0.66	0.1523	2.343	
L9	0.0390	0.0130	0.5	*0.08*	0.04	0.66	0.1548	2.351	
L10	0.0338	0.0130	0.5	*0.09*	0.05	0.69	0.1665	2.355	
L11	0.0249	0.0130	0.5	*0.11*	0.06	0.73	0.1823	2.213	
L12	0.0160	0.0130	0.5	*0.14*	0.07	0.79	0.2021	1.967	
L13	0.0138	0.0130	0.5	*0.15*	0.08	0.81	0.2079	1.879	
L14	0.0053	0.0130	0.5	0.22	0.11	0.93	0.2376	1.330	

	Velocity m/s	Flow cum/s	Acc cum/s	Section	W	Depth m	1.5000	0.200	Use depth
L1	0.37	0.003	0.00	0.01	0.5	*0.01*	0.02	0.22	***0.35***
L2	0.67	0.015	0.02	0.03	0.5	*0.05*	0.08	0.28	***0.35***
L3	1.11	0.015	0.03	0.03	0.5	*0.06*	0.09	0.29	***0.35***
L4	1.48	0.015	0.05	0.03	0.5	*0.07*	0.10	0.30	***0.35***
L5	1.80	0.015	0.06	0.04	0.5	*0.07*	0.11	0.31	***0.35***
L6	2.10	0.015	0.08	0.04	0.5	*0.08*	0.11	0.31	***0.40***
L7	2.27	0.007	0.09	0.04	0.5	*0.08*	0.11	0.31	***0.40***
L8	2.34	0.005	0.09	0.04	0.5	*0.08*	0.12	0.32	***0.45***
L9	2.35	0.003	0.09	0.04	0.5	*0.08*	0.12	0.32	***0.45***
L10	2.35	0.015	0.11	0.05	0.5	*0.09*	0.14	0.34	***0.50***
L11	2.21	0.015	0.13	0.06	0.5	*0.11*	0.17	0.37	***0.50***
L12	1.97	0.015	0.14	0.07	0.5	*0.14*	0.21	0.41	***0.50***
L13	1.88	0.003	0.14	0.08	0.5	*0.15*	0.23	0.43	***0.60***
L14	1.33	0.000	0.14	0.11	0.5	*0.22*	0.32	0.52	***0.60***

จากนั้นจะทำการออกแบบรางระบายน้ำฝนข้างทาง (Gutter) ในส่วนของทางลอดเพื่อลำเลียงน้ำที่รับมาในส่วนของทางลอดไปสู่รูระบายน้ำ (Curb Inlet) โดยตัวอย่างจะแสดงรายการคำนวณเฉพาะตำแหน่ง L1 ถึง L14

สำหรับสมการที่ใช้ออกแบบขนาดของรางระบายน้ำในข้างทางใช้ตามสมการข้างล่างนี้

$$Q_s = \frac{0.376}{n} S_x^{5/3} S_L^{1/2} T^{8/3}$$

โดยที่ Qs = ปริมาณการไหลสูงสุดในรางระบายน้ำ

n = สัมประสิทธิความขุรขระของ Manning

Cr = Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนนสำหรับในตัวอย่างนี้

SL = ความลาดเอียงตามแนวยาวของถนน

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจรในตัวอย่างนี้สมมติให้เท่ากับ 1.5 เมตร

นอกจากนั้นในตัวอย่างนี้สมมุติให้ออกแบบโดยใช้รางระบายน้ำแบบ Composite Gutter (Sw) ที่มีค่าความลาดเอียงตามขวางมากกว่าหนึ่งค่า อัตราการไหลรวมของน้ำฝนทั้งหมดจะถูกรองรับจากรางน้ำทั้งสองส่วน โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลได้แก่

$$Q = Q_w + Q_s = \frac{Q_s}{1 - E_o}$$

$$E_o = 1 / \left\{ \frac{S_w / S_x}{\left[1 + \frac{S_w / S_x}{\frac{T}{W} - 1} \right]^{2/3} - 1} \right\} = Q_w / Q$$

โดยที่ Qs = ปริมาณการไหลสูงสุดในรางระบายน้ำส่วนที่มี ความชันตามขวางเท่ากับ Sx

Qw = ปริมาณการไหลสูงสุดในรางระบายน้ำส่วนที่มี ความชันตามขวางเท่ากับ Sw

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที คำนวณโดยใช้วิธี Rational Method

W = ความกว้างของพื้นที่รับน้ำบนผิวจราจรของทางลอดที่ไหลลงสู่รางระบายน้ำที่ออกแบบ

Eo = ประสิทธิภาพการไหลในรางแบบ Composite Gutter

T = ค่าการกระจายตัวของน้ำขังบนผิวจราจร

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำส่วนบนของ Composite Gutter

Sw = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำส่วน Depressed Segment ของ Composite Gutter ซึ่งคำนวณได้จาก Sx + a/w

a = ความลึกของ Depressed Segment

W = ความกว้างของ Depressed Segment

ซึ่งจากสมการข้างต้นสามารถทำการประมาณหาค่าของขนาดของรางระบายน้ำข้างทางโดยขนาดของรางระบายน้ำควรเลือกให้ได้ค่าอัตราการไหลในช่วงที่พิจารณาใกล้เคียงกับอัตราการไหลที่ต้องระบายใน RC Ditch ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 7.3 แสดงการประมาณขนาดของรางระบายน้ำข้างทาง (Gutter)

TABLE 3-1 Gutter Capacity of UnderPASS STA 43770.5270 to 44026.2100

L Section	Start KM	Finish KM	Distance (m)	n	Sl (m/m)	Sx (m/m)	Sw (m/m)	T (m)	W (m)	Ts (m)	Eo (%)	Qs (cum/s)	Q (cum/s)
1	43770.5270	43775.0000	4.4730	0.016	0.0007	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0014	***0.0032***
2	43775.0000	43800.0000	25.0000	0.016	0.0048	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0037	***0.0087***
3	43800.0000	43825.0000	25.0000	0.016	0.0119	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0058	***0.0136***
4	43825.0000	43850.0000	25.0000	0.016	0.0189	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0074	***0.0172***
5	43850.0000	43875.0000	25.0000	0.016	0.0260	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0086	***0.0202***
6	43875.0000	43900.0000	25.0000	0.016	0.0331	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0097	***0.0228***
7	43900.0000	43912.0000	12.0000	0.016	0.0383	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0105	***0.0245***
8	43912.0000	43920.0000	8.0000	0.016	0.0400	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0107	***0.0250***
9	43920.0000	43925.0000	5.0000	0.016	0.0390	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0106	***0.0247***
10	43925.0000	43950.0000	25.0000	0.016	0.0338	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0098	***0.0230***
11	43950.0000	43975.0000	25.0000	0.016	0.0249	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0084	***0.0197***
12	43975.0000	44000.0000	25.0000	0.016	0.0160	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0068	***0.0158***
13	44000.0000	44005.0000	5.0000	0.016	0.0138	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0063	***0.0147***
14	44005.0000	44026.2100	21.2100	0.016	0.0053	0.02	0.08	1.50	0.3	1.2	0.5728	0.0039	***0.0091***

NOTE Spread = 1.5 m

จากนั้นจะทำการออกแบบรูรับน้ำฝน (Curb Inlet) โดยใช้สมการซึ่งพิจารณาจากค่าความยาวรวมของช่องเปิดที่บริเวณ Curb (LT) ที่สามารถรับน้ำที่ระบายจากผิวจราจรโดยคำนวณได้จากสมการดังนี้คือ

สำหรับ Gutter แบบ Non-Composite

$$L_T = 0.817 Q^{0.42} S_L{}^{0.3} \left(\frac{1}{n S_x} \right)^{0.6}$$

โดยที่ LT = ความยาวรวมของช่องเปิดบริเวณ Curb ที่สามารถรับปริมาณการไหลสูงสุด Q มีหน่วยเป็น เมตร

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที คำนวณโดยใช้วิธี Rational Method

SL = ความชันของรางระบายน้ำตามยาว มีหน่วยเป็น เมตรต่อเมตร

Sx = ความลาดเอียงตามแนวขวางของรางระบายน้ำซึ่งสมมติให้เท่ากับความลาดเอียงตามแนวขวางของถนน

สำหรับ Gutter แบบ Composite

$$L_T = 0.817 Q^{0.42} S_L^{0.3} \left(\frac{1}{n S_e} \right)^{0.6}$$

โดยที่ LT = ความยาวรวมของช่องเปิดบริเวณ Curb ที่สามารถรับปริมาณการไหลสูงสุด Q มีหน่วยเป็น เมตร

Q = ปริมาณการไหลสูงสุด มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที คำนวณโดยใช้วิธี Rational Method

SL = ความชันของรางระบายน้ำตามยาว มีหน่วยเป็น เมตรต่อเมตร

Se = Sx+SWEo

SW = Sw - Sx

ในกรณีที่ความยาวช่องเปิดที่ใช้ในการออกแบบจริงมีค่าน้อยกว่า L_T จะต้องหาค่าประสิทธิภาพการรับน้ำของช่องเปิดจริง (E) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$E = 1 - \left[1 - \frac{L}{L_T} \right]^{1.8}$$

โดยที่ E = ประสิทธิภาพการรับน้ำของช่องเปิดจริง

L = ความยาวรวมของช่องเปิดจริง มี หน่วยเป็น เมตร

ซึ่งจากสมการข้างต้นสามารถทำการประมาณหาจำนวนและความถี่ในการติดตั้งของรูรับน้ำฝนได้ โดยจำนวนและความถี่ควรเลือกให้เหมาะสมและควรออกแบบให้อัตราการไหลเข้ารูรับน้ำมีค่ามากกว่าอัตราการไหลในรางระบายน้ำข้างทางในช่วงที่ทำการออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าค่าของน้ำขังบนพื้นถนนมีค่าไม่เกินค่าที่ใช้ในการออกแบบ

ตารางที่ 7.4 แสดงการประมาณระยะห่างของรูรับน้ำฝน

TABLE 4-1 Curb Inlet Interval for UNDERPASS from 43770.5270 to 44026.2100

L Section	Start KM	Finish KM	Const	Q inlet (cum/s)	SI (m/m)	(1/(nSe))^0.6	Lt (m)	L (m)	1-(L/Lt)^1.8	EFF (%)	Qintercept (cum/s)	Carry Over (cum/s)	Inlet Interval (m)	Gutter Capacity (cum/s)	Check (cum/s)
1	43770.5270	43775.0000	0.817	0.0037	*0.0007*	76.5619	0.6705	0.65	0.0019	1.00	0.0037	*0.0000*	*5*	*0.0032*	-0.0005
2	43775.0000	43800.0000	0.817	0.0046	*0.0048*	76.5619	1.3129	0.65	0.2923	0.71	0.0032	*0.0013*	*7.5*	*0.0087*	0.0041
			0.817	0.0059	*0.0048*	76.5619	1.4615	0.65	0.3468	0.65	0.0039	*0.0021*	*7.5*	*0.0087*	0.0028
			0.817	0.0066	*0.0048*	76.5619	1.5330	0.65	0.3705	0.63	0.0042	*0.0025*	*7.5*	*0.0087*	0.0021
3	43800.0000	43825.0000	0.817	0.0070	*0.0119*	76.5619	2.0625	0.65	0.5059	0.49	0.0035	*0.0036*	*7.5*	*0.0136*	0.0066
			0.817	0.0081	*0.0119*	76.5619	2.1925	0.65	0.5310	0.47	0.0038	*0.0043*	*7.5*	*0.0136*	0.0055
			0.817	0.0089	*0.0119*	76.5619	2.2766	0.65	0.5460	0.45	0.0040	*0.0049*	*7.5*	*0.0136*	0.0047
			0.817	0.0094	*0.0119*	76.5619	2.3334	0.65	0.5556	0.44	0.0042	*0.0052*	*7.5*	*0.0136*	0.0042
4	43825.0000	43850.0000	0.817	0.0098	*0.0189*	76.5619	2.7283	0.65	0.6127	0.39	0.0038	*0.0060*	*7.5*	*0.0172*	0.0074
			0.817	0.0106	*0.0189*	76.5619	2.8167	0.65	0.6236	0.38	0.0040	*0.0066*	*7.5*	*0.0172*	0.0066
			0.817	0.0112	*0.0189*	76.5619	2.8815	0.65	0.6312	0.37	0.0041	*0.0071*	*7.5*	*0.0172*	0.0060
5	43850.0000	43875.0000	0.817	0.0116	*0.0260*	76.5619	3.2231	0.65	0.6667	0.33	0.0039	*0.0078*	*7.5*	*0.0202*	0.0086
			0.817	0.0123	*0.0260*	76.5619	3.3031	0.65	0.6741	0.33	0.0040	*0.0083*	*7.5*	*0.0202*	0.0079
			0.817	0.0129	*0.0260*	76.5619	3.3649	0.65	0.6795	0.32	0.0041	*0.0088*	*7.5*	*0.0202*	0.0073
6	43875.0000	43900.0000	0.817	0.0133	*0.0331*	76.5619	3.6690	0.65	0.7040	0.30	0.0039	*0.0094*	*7.5*	*0.0228*	0.0095
			0.817	0.0140	*0.0331*	76.5619	3.7407	0.65	0.7092	0.29	0.0041	*0.0099*	*7.5*	*0.0228*	0.0088
			0.817	0.0145	*0.0331*	76.5619	3.7982	0.65	0.7133	0.29	0.0042	*0.0103*	*7.5*	*0.0228*	0.0083
7	43900.0000	43912.0000	0.817	0.0149	*0.0383*	76.5619	4.0174	0.65	0.7278	0.27	0.0041	*0.0108*	*7.5*	*0.0245*	0.0096
			0.817	0.0154	*0.0383*	76.5619	4.0756	0.65	0.7314	0.27	0.0041	*0.0113*	*7.5*	*0.0245*	0.0091
8	43912.0000	43920.0000	0.817	0.0159	*0.0400*	76.5619	4.1774	0.65	0.7375	0.26	0.0042	*0.0117*	*7.5*	*0.0250*	0.0091
9	43920.0000	43925.0000	0.817	0.0163	*0.0390*	76.5619	4.1910	0.65	0.7383	0.26	0.0043	*0.0120*	*7.5*	*0.0247*	0.0085
10	43925.0000	43950.0000	0.817	0.0166	*0.0338*	76.5619	4.0477	0.65	0.7297	0.27	0.0045	*0.0121*	*7.5*	*0.0230*	0.0064
			0.817	0.0167	*0.0338*	76.5619	4.0571	0.65	0.7303	0.27	0.0045	*0.0122*	*7.5*	*0.0230*	0.0063
			0.817	0.0168	*0.0338*	76.5619	4.0649	0.65	0.7308	0.27	0.0045	*0.0122*	*7.5*	*0.0230*	0.0062
11	43950.0000	43975.0000	0.817	0.0168	*0.0249*	76.5619	3.7148	0.65	0.7074	0.29	0.0049	*0.0119*	*7.5*	*0.0197*	0.0029
			0.817	0.0165	*0.0249*	76.5619	3.6824	0.65	0.7050	0.30	0.0049	*0.0116*	*7.5*	*0.0197*	0.0032
			0.817	0.0162	*0.0249*	76.5619	3.6556	0.65	0.7030	0.30	0.0048	*0.0114*	*7.5*	*0.0197*	0.0035
			0.817	0.0160	*0.0249*	76.5619	3.6334	0.65	0.7013	0.30	0.0048	*0.0112*	*7.5*	*0.0197*	0.0037
12	43975.0000	44000.0000	0.817	0.0142	*0.0160*	76.5619	3.0335	0.65	0.6479	0.35	0.0050	*0.0092*	*5*	*0.0158*	0.0016
			0.817	0.0123	*0.0160*	76.5619	2.8501	0.65	0.6278	0.37	0.0046	*0.0077*	*5*	*0.0158*	0.0035
			0.817	0.0108	*0.0160*	76.5619	2.6960	0.65	0.6086	0.39	0.0042	*0.0065*	*5*	*0.0158*	0.0050
			0.817	0.0096	*0.0160*	76.5619	2.5699	0.65	0.5916	0.41	0.0039	*0.0057*	*5*	*0.0158*	0.0062
			0.817	0.0087	*0.0160*	76.5619	2.4696	0.65	0.5771	0.42	0.0037	*0.0050*	*5*	*0.0158*	0.0071
13	44000.0000	44005.0000	0.817	0.0081	*0.0138*	76.5619	2.2879	0.65	0.5479	0.45	0.0037	*0.0044*	*5*	*0.0147*	0.0066
14	44005.0000	44026.2100	0.817	0.0044	*0.0053*	76.5619	1.3336	0.65	0.3003	0.70	0.0031	*0.0013*	*5*	*0.0091*	0.0047
			0.817	0.0013	*0.0053*	76.5619	0.8047	0.65	0.0514	0.95	0.0013	*0.0001*	*5*	*0.0091*	0.0078
			0.817	0.0001	*0.0053*	76.5619	0.2313	0.65	0.0000	1.00	0.0001	*0.0000*	*5*	*0.0091*	0.0090
			0.817	0.0000	*0.0053*	76.5619	0.0000	0.65	0.0000	1.00	0.0000	*0.0000*	*5*	*0.0091*	0.0091

NOTE

1 Road Section as Describe in Gutter Capacity defined by Longitudinal slope (S/)
2 Q inlet = Carry Over+ Runoff from each interval
3 L = Open length of Inlet 0.80 meter
4 Check = Compare Gutter Capacity to Qinlet

จากนั้นจะทำการประมาณหาขนาดของบ่อสูบน้ำที่ใช้ในการรับน้ำจาก RC Ditch ก่อนที่จะถูกสูบออกไปโดยเครื่องสูบน้ำโดยสมการที่ใช้ในการประมาณขนาดของบ่อสูบและขนาดของเครื่องสูบน้ำแสดงดังนี้ โดยอาศัยคำแนะนำของ TEXUS DOT โดยที่

$$\textbf{Average Pump Capacity} = \frac{\textbf{CiAD - Volume of sump}}{\textbf{D}}$$

โดยที่ Q = ปริมาณน้ำฝนทั้งหมดที่จะระบาย มีหน่วยเป็น ลบ.ม

CiA = อัตราการไหลของน้ำฝน ลบ.ม ต่อ วินาที

D = ช่วงเวลาที่ฝนตก มีหน่วยเป็นวินาที

Z = ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 360

โดยในตัวอย่างนี้ได้เลือกขนาดของบ่อสูบเป็น 30 ลบ.ม โดยพิจารณาจากเนื้อที่ข้างเคียงของกำแพงกันดินของทางลอด จากนั้นทำการประมาณหาค่าโดยเฉลี่ยของอัตราการสูบของเครื่องสูบน้ำสำหรับค่าของ tc ที่ต่างๆกันเพื่อให้สามารถเลือกค่าที่สูงสุดที่ควรใช้ในการประมาณค่าเฉลี่ยของเครื่องสูบน้ำ โดยจากตารางแสดงการคำนวณข้างล่าง ซึ่งจากตารางพบว่าค่าของอัตราการสูบของเครื่องสูบน้ำควรใช้ประมาณ 0.3 ลบ.ม ต่อวินาที

ตารางที่ 7.5 แสดงการประมาณขนาดของเครื่องสูบน้ำ

TABLE 5 : PUMP SUMP EVALUATION

Duration (min)	i (mm/hr)	C	A (sqm)	CA	CiA (cum/sec)	DCiA (cum)	Sump (cum)	Excess Volumn(cum)	Pump Rate (cum/sec)
10	205	0.95	6525.09	6198.83	0.353	211.96	30	181.96	0.30
11	203	0.95	6525.09	6198.83	0.350	230.88	30	200.88	0.30
12	200	0.95	6525.09	6198.83	0.345	248.15	30	218.15	0.30
13	196	0.95	6525.09	6198.83	0.338	263.45	30	233.45	0.30
14	193	0.95	6525.09	6198.83	0.333	279.38	30	249.38	0.30
15	190	0.95	6525.09	6198.83	0.327	294.68	30	264.68	0.29
20	175	0.95	6525.09	6198.83	0.302	361.89	30	331.89	0.28
25	165	0.95	6525.09	6198.83	0.284	426.51	30	396.51	0.26
30	150	0.95	6525.09	6198.83	0.258	465.28	30	435.28	0.24
35	140	0.95	6525.09	6198.83	0.241	506.64	30	476.64	0.23
40	128	0.95	6525.09	6198.83	0.221	529.39	30	499.39	0.21
45	120	0.95	6525.09	6198.83	0.207	558.34	30	528.34	0.20
50	110	0.95	6525.09	6198.83	0.190	568.68	30	538.68	0.18
55	105	0.95	6525.09	6198.83	0.181	597.11	30	567.11	0.17
60	95	0.95	6525.09	6198.83	0.164	589.36	30	559.36	0.16

เนื่องจากในการออกแบบสามารถใช้เครื่องสูบน้ำได้มากกว่าหนึ่งตัวดังนั้นอัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำอาจใช้น้อยกว่า 0.3 ลบ.ม ต่อวินาทีได้ เช่นหากใช้ เครื่องสูบน้ำ 4 ตัว อาจใช้อัตราสูบตัวละประมาณ 0.3/4 หรือ 4.5 ลบ.ม ต่อนาที ซึ่งเพื่อให้เผื่ออัตราการสูบที่สูงกว่าในตัวอย่างนี้ได้เลือกใช้เครื่องสูบน้ำ 4 ตัว ตัวละ 6 ลบ.ม ต่อนาที

จากนั้นทำการวิเคราะห์ลำดับการทำงานของเครื่องสูบน้ำ โดยในตัวอย่างนี้กำหนดให้ใช้ระยะเวลาประมาณ 21 นาทีในการสูบน้ำที่เกิดจากฝนตกที่มีค่า tc = 10 นาที หรือ ค่าอัตราการไหลสู่บ่อสูบสูงสุดเท่ากับ0.353 ลบ.ม ต่อวินาที โดยในการออกแบบได้เลือกใช้ค่าที่สูงกว่าเพื่อสามารถระบายน้ำที่สูงกว่าเล็กน้อยคือเท่ากับ 0.388 ลบ.ม โดยตารางการวิเคราะห์แสดงดังต่อไปนี้

ตารางที่ 7.6 แสดงการการวิเคราะห์ลำดับการทำงานของเครื่องสูบน้ำ

TABLE 6 : ANALYSIS PUMP RATE

Ananlysis of Initiation Times for 6 cum/min Pumps

Duration (min)	inflow rate (cum/s)	increment (cum)	Acc Inflow (cum)	Pump 1 Start(cum)	Remin in Sump (cum)	Pump 2 Start(cum)	Remin in Sump (cum)	Pump 3 Start(cum)	Remin in Sump (cum)	Pump 4 Start(cum)	Remin in Sump (cum)
0	0.000										
1	0.035	1.059	1.059								
2	0.071	3.177	4.236								
3	0.106	5.295	***9.531***	6	3.531						
4	0.141	7.413	16.944	12	4.944						
5	0.177	9.531	26.475	18	8.475						
6	0.212	11.649	38.124	24	***14.124***	6	8.124				
7	0.247	13.767	51.891	30	21.891	12	9.891				
8	0.282	15.885	67.776	36	31.776	18	13.776				
9	0.318	18.003	85.779	42	43.779	24	***19.779***	6	13.779		
10	0.353	20.121	105.900	48	57.900	30	27.900	12	15.900		
11	0.388	22.239	128.139	54	74.139	36	38.139	18	20.139		
12	0.388	23.298	151.437	60	91.437	42	49.437	24	***25.437***	6	19.437
13	0.388	23.298	174.735	66	108.735	48	60.735	30	30.735	12	18.735
14	0.388	23.298	198.033	72	126.033	54	72.033	36	36.033	18	18.033
15	0.353	22.239	220.272	78	142.272	60	82.272	42	40.272	24	16.272
16	0.318	20.121	240.393	84	156.393	66	90.393	48	42.393	30	12.393
17	0.282	18.003	258.396	90	168.396	72	96.396	54	42.396	36	6.396
18	0.247	15.885	274.281	96	178.281	78	100.281	60	40.281	42	-1.719
19	0.212	13.767	288.048	102	186.048	84	102.048	66	36.048	48	-11.952
20	0.177	11.649	299.697	108	191.697	90	101.697	72	29.697	54	-24.303
21	0.141	9.531	309.228	114	195.228	96	99.228	78	21.228	60	-38.772

ภาคผนวก ก.

หนังสืออ้างอิง

1) AASHTO-AGC-ARTBA Joint Cooperation Committee Task Force No. 13, A Guide to Standardized Highway Drainage Products, December 1986
2) AASHTO LRFD Bridge Design Specification (2007)
3) Bridge Deck Drains, FHWA/CA/SD-81/15, Division of Transportation Facilities Design, Sacramento, California, August 1981
4) Chow, Ven Te, Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill, New York, NY, 1964
5) Colorado Department of Highways, Drainage Inlet Details, Eastbound Walnut Viaduct, Denver, Colorado, May 1986.
6) Department of Highways, Thailand, Standard Drawings for Highway Construction, 1994
7) Federal Highway Administration, Standard Bridge Drains Used by Maine, Memo from H.H. Davis, Washington, D.C., July 24, 1968
8) Federal Highway Administration, Bridge End Drainage, Internal Memo from M.F. Maloney, Washington, D.C., January 4, 1971
9) HEC 21, Design of Bridge Deck Drainage
10) Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels, HEC-14, Washington, D.C., 1983
11) Jens, S.W., Design of Urban Highway Drainage, FHWA-TS-79-225, Federal Highway Administration, Washington, D.C., August 1979
12) Marsalek, J., Road and Bridge Deck Drainage Systems, Ontario Ministry of Transportation and Communications, Ontario, Canada, 1982
13) North Dakota State Highway Department, Bridge Approach Drain Details, Bismark, North Dakota, January 1975
14) Young, G.K., et al., Bridge Deck Drainage Guidelines, Report to FHWA, FHWA/RD-87/014, Washington, D.C., December 1986