

การจัดทำแบบมาตรฐานที่สอดคล้องที่อัตราการไหลขนาดต่างๆ  
สำหรับงานทาง



จตุรพิช นามสนิท

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองเสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้าง

พฤษภาคม 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การจัดทำแบบมาตรฐานที่สอดคล้องที่อัตราการไหลขนาดต่าง ๆ สำหรับงานทาง



จตุรพิธ นามสนิท

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองเสนอเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้าง

พฤษภาคม 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

อาจารย์ที่ปรึกษาและคณบดีวิทยาลัยการศึกษาต่อเนื่อง ได้พิจารณาการศึกษาค้นคว้า  
ด้วยตนเอง เรื่อง “การจัดทำแบบมาตรฐานท่อลอดที่อัตราการไหลขนาดต่างๆสำหรับงานทาง”  
เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้าง ของมหาวิทยาลัยพะเยา

.....  
(รองศาสตราจารย์ กิตติพงษ์ วุฒิจำนงค์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมบัติ นพวัฏ)

คณบดีวิทยาลัยการศึกษาต่อเนื่อง

พฤษภาคม 2556



## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ กิตติพงษ์ วุฒิจำนงค์ และดร.ธีระพจน์ ศุภวิริยะกิจ อาจารย์ที่ปรึกษา และคณะกรรมการทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ ปรึกษา ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง จนการศึกษาค้นคว้าด้วยตนเองสำเร็จสมบูรณ์ได้ ผู้ศึกษาค้นคว้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ กรมทางหลวงชนบท ที่สนับสนุนแบบแปลนการวางท่อระบายน้ำ เลขที่ ทช-ท-3001 ถึง ทช-ท-3011 และกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนกราฟน้ำฝน

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากการศึกษาค้นคว้าฉบับนี้ คณะผู้ศึกษาค้นคว้าขออุทิศ แต่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน

จตุรพิธ นามสนิท



<b>ชื่อเรื่อง</b>	การจัดทำแบบมาตรฐานท่อลอดที่อัตราการไหลขนาดต่างๆ สำหรับงานทาง
<b>ผู้ศึกษาค้นคว้า</b>	จตุรพิช นามสนิท
<b>ที่ปรึกษา</b>	รองศาสตราจารย์ กิตติพงษ์ วุฒิจำนงค์
<b>ประเภทสารนิพนธ์</b>	การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วศ.ม. สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้าง, มหาวิทยาลัยพะเยา, 2556
<b>คำสำคัญ</b>	แบบมาตรฐานท่อลอด, อัตราการไหลผ่านท่อลอด, ท่อลอด

### บทคัดย่อ

การเลือกใช้ขนาดท่อลอดในงานก่อสร้างและซ่อมบำรุงทาง เป็นเรื่องค่อนข้างยุ่งยาก เพราะในแต่ละพื้นที่มีลักษณะภูมิประเทศแตกต่างกัน วิศวกร นายช่าง แต่ละหน่วยงานราชการ มักจะละเลย ข้ามขั้นตอนวิธีการที่ถูกต้องออกไป จึงเป็นเหตุให้การเลือกใช้ขนาดท่อลอดถนนคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

การศึกษานี้ได้จัดทำตารางความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำผ่านท่อลอด ในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อวินาที กับขนาดท่อที่มีหน้าตัดที่มีใช้ทั่วไปในประเทศไทย ทั้งแบบท่อลอดกลมสำเร็จรูปและท่อลอดเหลี่ยมชนิดหล่อในที่ วิศวกร นายช่าง แต่ละหน่วยงาน สามารถนำไปเลือกขนาดหน้าตัดท่อได้ เมื่อทราบอัตราการไหลของน้ำ

**Title** STANDARD DESIGN OF CULVERTS AT VARIOUS DISCHARGES FOR RURAL ROAD

**Author** Jaturapit Namsanit

**Advisor** Kittipong Vuthijumnonk

**Academic Paper** Independent Study M.Eng in Construction Administration, University of Phayao, 2013

**Keywords** Standard Design of Culverts ,Various Discharges for Culverts, Culverts

### ABSTRACT

Selection of culverts in road construction and maintenance is quite difficult, because each region has a different terrain. The designer engineer chief engineer in government administration ignored the right design process, which cause the size of culvert selection differently.

This study established tables display the relationship between the discharge flows through the culverts. in cubic meters per second and culverts cross section commonly used in Thailand, both pre-cast circular and in situ rectangular cross-section culverts. The design engineer, chief engineer in the government administration can select a suitable culverts cross-section whenever the discharges are available.

## สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย.....	1
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	2
การไหลในท่อ.....	2
สมการของ Darcy-Weisbach.....	4
สูตรของ Hazen-Williams .....	6
สมการของ Chezy-Manning .....	8
การไหลในทางน้ำเปิด .....	8
ตัวอย่างการหาปริมาณน้ำไหลสูงสุดเข้าสู่ท่อลอด.....	15
3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	24
วิธีเลือกขนาดของท่อ .....	24
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	39
ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดท่อลอด .....	39
การไหลแบบทางออกท่อลอดกลมเป็นตัวควบคุม .....	40
การไหลแบบทางเข้าท่อลอดเหลี่ยมเป็นตัวควบคุม.....	42
การไหลแบบทางออกท่อลอดเหลี่ยมเป็นตัวควบคุม.....	43
5 บทสรุป .....	51
สรุปผลการวิจัย .....	51
ข้อเสนอแนะ .....	55

## สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	57
ภาคผนวก.....	59
ภาคผนวก ก ภาคผนวก ก [แบบมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท เลขที่ ทช-ช - 3001ถึง3011 ].....	60
ประวัติผู้ศึกษาค้นคว้า.....	71



## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
1 แสดงกราฟ Moody Diagram.....	5
2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ความเข้มฝน ความถี่เกิดซ้ำที่สถานี อ.เมือง จ เชียงราย.....	13
3 แสดงCulverts Located in Natural Channel .....	17
4 แสดงMethods of Culvert Location in the Natural Channel to avoid an Inordinately Long Culvert.....	18
5 แสดง Flow Profiles for Culvert under Inlet Control.....	19
6 แสดง Flow Profiles for Culvert under Ountral.....	20
7 แสดง Hydraulics of Culvert Full under Outiet Control or ho High Tailwater.....	21
8 แสดง Determination of ho for Tailwater.....	21
9 แสดง Determination of ho for High Tailwate.....	21
10 แสดงผังขั้นตอนการออกแบบขนาดท่อลอด.....	26
11 แสดงกราฟ Inlet Control Nomograph–Concrete Pipe Culvert.....	28
12 แสดงกราฟ Inlet Control Nomograph–Box Culvert.....	29
13 แสดงกราฟ Outlet Control Nomograph–Concrete Pipe Culvert Flowing Full with $n=0.012$ .....	30
14 แสดงกราฟ Outlet Control Nomograph–Concrete Box Culvert Flowing Full with $n=0.012$ .....	31
15 แสดงกราฟ Critical Depth in a Circular Pipe.....	32
16 แสดงกราฟ Critical Depth in a Rectangular Section.....	33
17 แสดงกราฟ Hydraulic Design of Pipes Colebrook–White Formula– $k=0.60$ mm.....	34
18 แสดงกราฟ Proportional Flow Curve.....	35
19 แสดงกราฟ Relative Discharge, Velocity and Hydraulic Radius in Part–full Box Culvert Flow.....	36
24 แสดงกลุ่มที่ 5 งานหมวดการทาง.....	52
25 แสดงกลุ่มที่ 6 งานปรับซ่อม.....	52
26 แสดงปรากฏการณ์เครื่องจักรทำงานไม่สะดวก.....	54
27 แสดงแนวคิดและทฤษฎี.....	55

## สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดง Hazen–Williams Coefficients (C) .....	7
2	แสดง Manning's Coefficients n for Closed Metal Conduits.....	11
3	แสดง Manning's Coefficients n for Closed Non–Metal Conduits .....	12
4	แสดง Runoff Coefficient of Impermeability factor.C.....	15
5	แสดง Entrance Loss Coefficients (Ke).....	27
6	แสดง Maximum Recommended Flow Velocities for Conduit Materials.....	37
7	แสดง Darcy–Weisbach Roughness Heights k for Closed Conduits .....	38
8	แสดงการหามาตรฐานท่อลอดที่อัตราการไหลขนาดต่าง ๆ.....	45
9	แสดงตารางคำนวณขนาดท่อลอดเหลี่ยม.....	46
11	แสดงคำนวณหาขนาดท่อลอดกลมที่อัตราการไหลขนาดต่าง ๆ.....	50
11	แสดงท่อลอดเหลี่ยมคสล. (Box Culverts) เรียงตามหมายเลขท่อ.....	51
12	แสดงท่อลอดเหลี่ยมคสล. (Box Culverts) เรียงตามราคา .....	52
13	แสดงท่อลอดเหลี่ยมคสล. (Box Culverts) เรียงตามอัตราการไหล,Q.....	53
14	แสดงท่อลอดเหลี่ยมคสล. (Box Culverts) เรียงตามขนาดพื้นที่หน้าตัดรับน้ำ.....	54
10	แสดงท่อลอดกลมคสล. ....	55

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากการหาขนาดท่อลอดถนน ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่างที่ต้องนำมาใช้พิจารณา ในออกแบบ อีกทั้งลักษณะการไหลของน้ำผ่านท่อมีอยู่สองแบบด้วยกัน คือ การไหลที่ทางเข้าท่อเป็นตัวควบคุม (Inlet control) และการไหลที่ทางออกท่อเป็นตัวควบคุม (Outlet control) การหาขนาดโดยพิจารณาการไหลทั้งสองแบบจะต้องใช้กราฟช่วยคำนวณด้วยทุกครั้ง ทุกตำแหน่งที่ทำการออกแบบหาขนาดท่อ ทำให้เสียเวลาดค่อนข้างมาก จากความไม่สะดวกดังกล่าว จึงทำให้ผู้ใช้งานข้ามขั้นตอนวิธีการออกแบบดังกล่าวข้างต้นไป จนเป็นเหตุให้การเลือกใช้ขนาดและจำนวนท่อคลาดเคลื่อน เช่น ได้หน้าตัด และจำนวนแฉกน้อยเกินไป จนเป็นสาเหตุให้ระบายน้ำไม่ทันเกิดน้ำท่วมขัง ไหลผ่านผิวการจราจรอาจทำให้เกิดปัญหาอุบัติเหตุตามมา และจะเกิดปัญหาผิวทางชำรุดกรณีที่ปล่อยน้ำไหลผ่านหลังถนน ในทางตรงข้ามหากเลือกใช้ขนาดหน้าตัด และจำนวนแฉกมากเกินไปก็จะเป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณโดย ไม่จำเป็น

#### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อให้งานออกแบบท่อลอดถนนถูกต้องตามหลักวิชาการ โดยการศึกษาสืบค้นหาหลักการทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบท่อลอดถนน ด้านงานวิศวกรรมระบายน้ำในงานทางเพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูล สูตรคำนวณ เพื่อให้ได้ตารางช่วยในงานงานออกแบบ
2. หาขนาดและปริมาณท่อได้พอดีกับการระบายน้ำ ไม่น้อยเกินไป หรือสิ้นเปลืองเกินไป
3. ผู้ใช้งาน ผู้ออกแบบ วิศวกร นายช่างของกรมทางหลวงชนบท หน่วยงานท้องถิ่น หรือหน่วยงานอื่น ได้นำไปใช้เป็นข้อมูลเพื่อเลือกใช้ขนาดท่อลอดถนนได้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่รับน้ำ

#### ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย

ได้งานออกแบบท่อลอดถนนที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการเลือกใช้แบบมาตรฐานของขนาดท่อลอดกลม หรือจะเป็นท่อลอดเหลี่ยม คสล. ได้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ โดยพิจารณาจากอัตราการไหลของน้ำขนาดต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับพื้นที่หน้าตัดท่อ

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### การไหลในท่อ (Fluid Flow in Pipe) จำแนกการไหลของเหลว ดังนี้

##### 1. การไหลคงที่และการไหลไม่คงที่ในท่อ

การจำแนกการไหลแบบคงที่และแบบไม่คงที่นี้ พิจารณาจากค่าของอัตราการไหลเทียบกับเวลาว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ การไหลใดที่มีค่าอัตราการไหลไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา  $\frac{dQ}{dt} = 0$  ตัวอย่างเช่นการไหลของน้ำจากก๊อกน้ำที่เปิดทิ้งไว้ในช่วงเวลาใดช่วงเวลาหนึ่งที่เกิดขึ้น พบว่ามีค่าอัตราการไหลของน้ำในปริมาณที่เท่ากันตลอดในช่วงเวลานั้น เรียกการไหลแบบนี้ว่า การไหลคงที่ (Steady Flow) ส่วนการไหลที่มีอัตราการไหลเปลี่ยนแปลงตามเวลา  $\frac{dQ}{dt} \neq 0$  ในระหว่างการสังเกตตัวอย่าง เช่นการเทน้ำออกจากถัง จะเห็นว่าในตอนแรกน้ำจะไหลออกจากถังอย่างรวดเร็ว และจะค่อย ๆ ไหลช้าลงเรื่อย ๆ ลักษณะนี้เป็นการไหลแบบเปลี่ยนตามเวลา (Unsteady Flow) การไหลตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่เป็นการไหลแบบนี้

##### 2. การไหลสม่ำเสมอและการไหลไม่สม่ำเสมอในท่อ

การไหลสม่ำเสมอ (Uniform Flow) และการไหลไม่สม่ำเสมอ (Nonuniform Flow) โดยปรกติมักจะใช้อธิบายการไหลในทางน้ำเปิด (Flow in Open-channel) การพิจารณาว่า การไหลใดเป็นการไหลสม่ำเสมอและการไหลไม่สม่ำเสมอนั้น จะใช้วิธีการจำแนกด้วยรูปตัดการไหล

การไหลสม่ำเสมอ หมายถึง การไหลที่มีความลึกการไหลคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามระยะทาง  $\frac{dy}{dx} = 0$  ดังนั้น การไหลแบบนี้เป็นการไหลที่มีผิวน้ำขนานกับท้องน้ำตลอดระยะทาง

ส่วนการไหลแบบไม่สม่ำเสมอ หมายถึง การไหลที่มีความลึกการไหลเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง  $\frac{dy}{dx} \neq 0$  ดังนั้น การไหลแบบนี้จึงเป็นการไหลที่มีความลึกเปลี่ยนแปลงตลอดระยะทาง ถ้าความลึกค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามระยะทาง เรียกว่าเป็นการไหลแบบผิวน้ำเอ่อ (Backwater Curve) และหากความลึกค่อย ๆ ลดลงตามระยะทาง เรียกว่าเป็นการไหลแบบผิวน้ำลาด (Drawdown Curve)

### 3. การไหลราบเรียบและการไหลรุนแรงในท่อ

การไหลทั้งสองแบบนี้ถูกจำแนกด้วยผลจากคุณสมบัติของแรงเฉื่อย (Inertia Force) และแรงเนื่องจากความหนืด (Viscous Force) ของของไหล ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อแนวการเคลื่อนที่ของ อนุภาคของไหลให้เป็นไปอย่างมีระเบียบ หรือเป็นไปอย่างสับสน ตัวอย่างเช่น หากสังเกตการณ์ไหลของน้ำในท่อใส ๆ เมื่อเปิดวาล์วให้น้ำไหลช้า ๆ หากปล่อยสีให้เป็นเส้นเล็ก ๆ ไปในทิศทางเดียวกับการไหลของน้ำ จะพบว่า เส้นสีนั้นจะไหลเป็นสายไม่ขาดตอนปนไปกับน้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า โมเลกุลของน้ำ และสีในขณะนั้นเคลื่อนที่ขนานกันและตามกันไปอย่างเป็นระเบียบ หรือกล่าวได้ว่า เส้นแนวการไหลของอนุภาคของไหลไม่ตัดกันเรียกการไหลแบบนี้ว่า การไหลราบเรียบ (Laminar Flow)

ความหนืดของของไหลจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการเคลื่อนที่ของอนุภาคของไหล แต่เมื่อเปิดวาล์วให้น้ำไหลเร็วขึ้น จะเห็นสีแตกกระจายตัวปนกับน้ำ มองไม่เห็นเป็นเส้นสี แสดงว่า โมเลกุลของน้ำและสีในขณะนั้นเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ มีทิศทางการไหลสลับกันไปมาอย่างสับสน หรือกล่าวได้ว่า เส้นแนวการไหลของอนุภาคของไหลตัดกันตลอดเวลาเรียกการไหลแบบนี้ว่าการไหลรุนแรง (Turbulent Flow)

การไหลของของเหลวเป็นการไหลแบบราบเรียบและแบบรุนแรงแล้ว ยังมีการไหลอีกแบบหนึ่งที่อยู่ในช่วงการเปลี่ยนแปลงระหว่างการไหลทั้งสองแบบ ปี ค.ศ.1883 Osborne Reynolds ได้สร้างเครื่องมือทดลองเพื่อจำแนกการไหล สามารถบอกประเภทของการไหลได้ด้วยอัตราส่วนระหว่างผลคูณของความหนาแน่นของของไหลกับความเร็วการไหลและเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ต่อความหนืดพลศาสตร์ของของไหลซึ่งเรียกว่า เรย์โนลด์ส นัมเบอร์ (Reynolds Number; Nr)

$$Nr = \rho V D / \mu = V D / \nu$$

เมื่อ

$$\rho = \text{ความหนาแน่นของของไหล (kg / m}^3\text{)}$$

$$V = \text{ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (m / s)}$$

$$D = \text{เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (หน้าตัดที่ไม่กลม } D=4R; R=A/P; D=4.A/P; A=\text{พื้นที่หน้าตัด, } P=\text{เส้นรอบรูป)}$$

$$\mu = \text{ความหนืดพลศาสตร์ของของไหล (dynamic viscosity ;N.s / m}^2\text{)}$$

$$\nu = \text{ความหนืดเปรียบเทียบของของไหล (kinematic viscosity ;m}^2 / \text{s)}$$

การไหลราบเรียบ

$$Nr \leq 2000$$

การไหลเปลี่ยนแปลง  $2,000 < N_r < 2,800$

การไหลรุนแรง  $N_r \geq 2,800$

#### 4. การสูญเสียหัวแรงดันหรือพลังงานในท่อ (Head loss or energy losses in pipes)

การสูญเสียหัวแรงดันในเส้นท่อจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือการสูญเสียหลัก (major losses) ที่เกิดจากแรงเสียดทานของการไหลตามแนวยาวของเส้นท่อ และการสูญเสียรอง (minor losses) ที่เกิดจากอุปกรณ์ประกอบ เช่น ข้อต่อ ข้องอ ข้อลด ปากทางเข้า

การสูญเสียหลัก (major losses,  $H_f$ ) มีสมการที่ใช้คำนวณหลายสมการ เช่น

##### สมการของ Darcy-Weisbach <sup>4</sup>

คือ  $H_f = f \cdot L \cdot V^2 / (D \cdot 2g)$

$H_f$  = การสูญเสียหลักเนื่องจากความฝืด (m, ft)

$f$  = สัมประสิทธิ์ของความฝืด

$L$  = ความยาวของท่อ (m, ft)

$D$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อ (m, ft)

$V$  = ความเร็วของการไหลในท่อ (m / s, ft / s)

$g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (m / s<sup>2</sup>, ft/s<sup>2</sup>)

การศึกษาของ H. Blasius ในปี ค.ศ. 1913 ได้ทำการทดลองการไหลในท่อผิวเรียบและการไหลในช่วงการไหลรุนแรงที่มีค่า  $N_r$  ไม่เกิน 100,000

$$F = \frac{0.316}{N_r^{1/4}}$$

การศึกษาของ J. Nikuradse ในปี ค.ศ. 1932-1933 ได้ทำการทดลองการไหลรุนแรงในท่อผิวเรียบท่อที่ใช้งานจริง (Commercial Pipes) และท่อติดกาวเม็ดทราย (Sand-roughened Pipe) คือท่อที่นำ เม็ดทรายคัดขนาดมาติดไว้กับผนังท่อ แล้วทดสอบหาค่าความฝืดของผิวท่อ และได้นำเสนอความสัมพันธ์ ดังนี้

ท่อผิวเรียบ

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 0.86 \ln(N_r \sqrt{f}) - 0.8$$

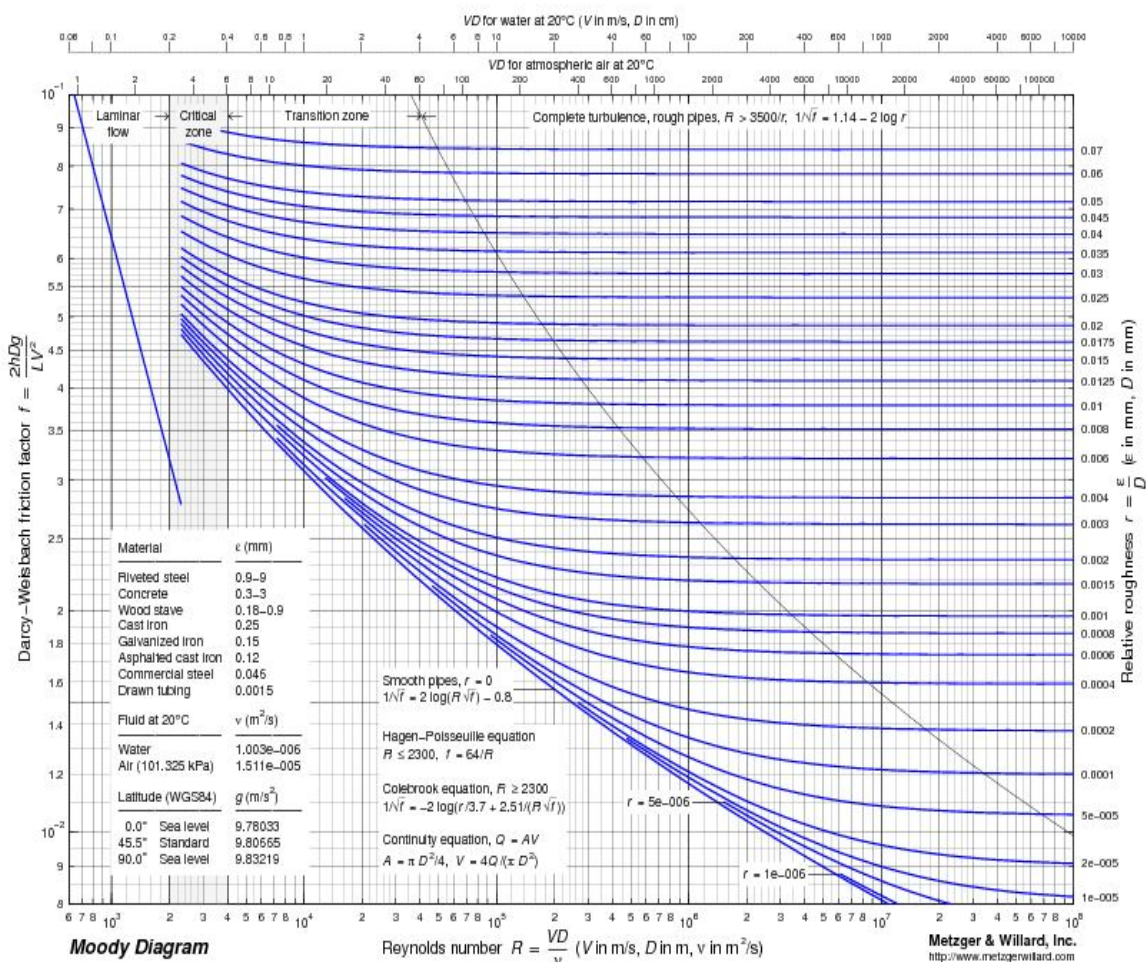
ท่อติดกาวเม็ดทรายและท่อใช้งานจริง

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 0.86 \ln \frac{\epsilon}{D}$$

การศึกษาของ C.F. Colebrook ในปี ค.ศ. 1938–1939 ได้ทำการทดลองการไหลรุนแรงในท่อผิวเรียบ ท่อใช้งานจริง และท่อติดกาวเม็ดทราย และเสนอความสัมพันธ์ของค่า  $f$  ของท่อทั้ง 3 ชนิด ไว้ ดังแสดงในสมการ (7.10)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \ln \left( \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{N_r \sqrt{f}} \right)$$

การศึกษาของ L.F. Moody ในปี ค.ศ. 1944 ได้ทำการทดลองการไหลรุนแรงในท่อใช้งานจริง ที่เป็นท่อใหม่และสะอาด โดยใช้สมการของ C.F. Colebrook แล้วทดสอบหาค่าความผิดของผิวท่อ นำมาเขียนเป็นกราฟไว้ในกระดาษกราฟแบบ log-log ดังรูปที่ 1 เพื่อสะดวกในการคำนวณออกแบบระบบงานท่อ



ภาพ 1 แสดงกราฟ Moody Diagram

จากการศึกษาของ P.K. Swamee and A. K. Jain ในปี ค.ศ. 1976 ได้เสนอผลการศึกษาโดยอาศัยสมการ Darcy-Weisbach สมการการไหลต่อเนื่อง และ Moody Diagram ในรูปสูตร Explicit Formula คือ

$$f = \frac{1.325}{\left[ -\ln \left( \frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{N_r^{0.9}} \right) \right]^2}$$

โดยที่  $10^{-6} \leq \frac{\epsilon}{D} \leq 10^{-2}$  และ  $5,000 \leq N_r \leq 10^8$

สำหรับในช่วงที่เป็นการไหลราบเรียบ (Laminar Flow) ค่า  $f$  ไม่แปรผันกับ  $\frac{\epsilon}{D}$  หรือความขรุขระของผนังท่อแต่แปรผันกับ  $N_r$  ดังในสมการ  $f = \frac{64}{N_r}$  และสำหรับในช่วงการไหลรุนแรง จากที่ได้มีการศึกษาโดยอาศัยแนวความคิดตามสมการ Darcy-Weisbach จะมีช่วงวิกฤตเกิดขึ้นเมื่อ  $2,000 < N_r < 4,000$  ซึ่งค่า  $f$  จะเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ไม่แน่นอนและจนถึงปัจจุบันก็ยังไม่สามารถหาวิธีการคาดคะเนการสูญเสียพลังงานที่เหมาะสมในช่วงการไหลนี้ได้ แต่อย่างไรก็ตาม การไหลในช่วงนี้เป็นการไหลที่ต่ำกว่าการใช้งานจริง โดยทั่วไปอยู่มาก จึงไม่เป็นปัญหาในการคำนวณออกแบบที่เกี่ยวข้องกับการไหลในท่อ

#### สูตรของ Hazen-Williams<sup>4</sup>

ในงานบางอย่าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานระบบท่อประปา วิศวกรส่วนใหญ่เลือกใช้สูตรของ Hazen-Williams ที่สามารถนำมาใช้งานได้สะดวก ไม่ยุ่งยากเหมือนสูตรของ Darcy-Weisbach และให้ค่าถูกต้องพอสมควร

$$\text{ระบบ SI } V = 0.85 CR^{0.63} S^{0.54}$$

$$\text{ระบบอังกฤษ } V = 1.318 CR^{0.63} S^{0.54}$$

เมื่อ  $V =$  ความเร็วของการไหลในท่อ (m / s, ft / s)

$C =$  สัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของท่อ (ตารางที่ 1)

$R =$  รัศมีชลศาสตร์ =  $A / P = D / 4$  เมื่อน้ำไหลเต็มท่อ (m, ft)

$S =$  ค่าการสูญเสียหัวแรงดันเนื่องจากความฝืดต่อหนึ่งหน่วยความยาวของท่อ (hydraulic gradient)

โดยที่  $S = \frac{H_f}{L}$  หรือ  $H_f = SL$  (2.15)

แทนค่า  $S$  ลงในสมการ จะได้ว่า

$$\text{ระบบ SI } H_f = \left[ \frac{v^{1.95}}{(0.85C)^{1.95} R^{1.17}} \right] L$$

$$\text{ระบบอังกฤษ } H_f = \left[ \frac{V^{1.85}}{(1.318C)^{1.85} R^{1.17}} \right]^L$$

โดย L คือ ความยาวของเส้นท่อที่พิจารณา

ตาราง 1 แสดง Hazen-Williams Coefficients

Pipe Material	C
Asbestos cement	140
Brass	130-140
Brick Sewer	100
Cast iron; New, unlined	130
Cast iron; 10 yr. old	107-113
Cast iron; 20 yr. old	89-100
Cast iron; 30 yr. old	75-90
Cast iron; 40 yr. old	64-83
Concrete or concrete lined; Steel forms	140
Concrete or concrete lined; Wood forms	120
Concrete or concrete lined; Centrifugally spun	135
Copper	130-140
Galvanized iron	120
Glass	140
Lead	130-140
Plastic	140-150
Steel; Coal tar enamel, lined	145-150
Steel; New, unlined	140-150
Steel; Riveted	110
Tin	130
Vitrified clay (good condition)	110-140

Wood stave (average condition)	120
--------------------------------	-----

เมื่อท่อมีอายุใช้งานเพิ่มขึ้นค่า C จะลดลง ในการออกแบบทั่ว ๆ ไป มักนิยมใช้ C=100 โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่เป็นท่อเหล็กหล่อ ถ้าเป็นท่อซีเมนต์ใยหิน (asbestos cement) ค่า C จะไม่ลดมากเหมือนท่อเหล็กหล่อ

เมื่ออัตราการไหลผ่านท่อ (Q) มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที (litre/s) และขนาดของท่อ (D) เป็นมิลลิเมตร (mm) สูตรของ Hazen-Williams จะอยู่ในรูปสมการ คือ

$$Q = 3.587 \times 10^{-6} C D^{2.63} S^{0.54}$$

#### สมการของ Chezy-Manning<sup>4</sup>

สมการของ Chezy-Manning สามารถประยุกต์ใช้กับการไหลแบบปั่นป่วนในท่อความดันได้และผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของการไหลในท่อ ค่าความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{ระบบหน่วยอังกฤษ: } V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$\text{ระบบหน่วย SI: } V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

เมื่อ V = คือ ความเร็วเฉลี่ย (ft/s, m/s)

n = คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

R = คือ รัศมีชลศาสตร์ (ft, m)

S = คือ ความลาดของเส้นระดับพลังงาน =  $H_f / L$

จะได้ว่า  $H_f = SL$

แทนค่า S ลงในสมการด้านล่าง จะได้ว่า

$$\text{ระบบหน่วยอังกฤษ } H_f = \frac{V^2 n^2 L}{2.21 R^{4/3}} \text{ หรือ } = \left[ \frac{n^2 L}{2.21 (AR^{2/3})} \right] Q^2$$

$$\text{ระบบหน่วย SI } H_f = \frac{V^2 n^2 L}{R^{4/3}} = \frac{2g n^2 L V^2}{R^{4/3} \cdot 2g} \text{ หรือ } = \left[ \frac{n^2 L}{(AR^{2/3})} \right] Q^2$$

#### การไหลในทางน้ำเปิด

1. การไหลในทางน้ำเปิด (Flow in Open Channels) การไหลในทางน้ำเปิด หมายถึง การไหลที่มีผิวอิสระด้านบนการไหลสัมผัสอากาศ ผิวของการไหลจึงมีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศท้องถิ่นหรือมีผิวการไหลเป็นเส้นลาดชลศาสตร์ (Hydraulic Grade Line) ค่าเรย์โนลด์ส์ นัมเบอร์ (Reynolds Number; Nr) สำหรับการไหลในทางน้ำเปิด คำนวณจาก

$$Nr = VR / \nu$$

เมื่อ R = รัศมีชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิด(m)

V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (m/s)

การไหลราบเรียบ Nr ไม่เกิน 500

การไหลเปลี่ยนแปลง  $500 < Nr < 2,000$

การไหลรุนแรง  $Nr > 2,000$

การไหลในทางน้ำเปิดโดยทั่วไปจะเป็นการไหลแบบรุนแรงเกือบทั้งหมด การไหลในทางน้ำเปิดแม้จะเป็นการไหลแบบรุนแรง แต่ยังสามารถแยกออกเป็น 2 ชนิด คือ การไหลแบบเอื่อย (Tranquil Flow) หรือการไหลใต้วิกฤต (Subcritical Flow) และการไหลเร็ว (Rapid Flow) หรือการไหลเหนือวิกฤต (Supercritical Flow) แบ่งแยกกันโดยอาศัย ฟรูดนัมเบอร์ (Froude Number; Fr) ซึ่งคำนวณได้จาก

$$Fr = V / \sqrt{gy}$$

$Fr < 1$  ถือว่าเป็นการไหลแบบเอื่อย หรือการไหลใต้วิกฤต

$Fr > 1$  ถือว่าเป็นการไหลเร็ว หรือการไหลเหนือวิกฤต

รูปแบบการไหลในทางน้ำเปิด

การจัดรูปแบบการไหลในทางน้ำเปิด อาศัยการแบ่งโดย รูปร่างการไหล (Flow Space) และการแปรผันกับเวลา โดยปกติทั่วไปพอที่จะแยกออกเป็นการไหลหลักได้ 4 แบบ ดังต่อไปนี้

2. การไหลสม่ำเสมอคงที่ในทางน้ำเปิด (Steady Uniform Flow) การไหลอย่างนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อ  $\frac{dQ}{dt} = 0$  และเป็นการไหลในทางน้ำเปิดที่ยาว ตรง มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากันตลอด ท้องทางน้ำ มีความลาดชันเท่ากันตลอด (คงที่) การสูญเสียพลังงานในขณะที่ไหล เท่ากับการลดระดับของท้องลำน้ำหรือการลดพลังงานศักย์ (Potential Energy) พอดี ความลึกการไหลจะเท่ากันตลอด  $\frac{dy}{dx} = 0$  ดังนั้น  $S_f = S_w = S_0$  และความลึกการไหลนี้เรียกว่าความลึกปกติ (Normal Depth;  $y_n$ ) การไหลแบบนี้เป็นการไหลที่สามารถนำมาศึกษาได้โดยสะดวก

3. การไหลไม่สม่ำเสมอคงที่ในทางน้ำเปิด (Steady Nonuniform Flow) การไหลแบบนี้จะเกิดขึ้นได้ในทางน้ำเปิดยาวที่มีความลาดเอียงท้องทางน้ำคงที่ แต่มีพื้นที่หน้าตัดของ

ทางน้ำเปิด ไม่เท่ากันตลอดลำน้ำ ถ้าการไหลเกิดการเปลี่ยนแปลงความลึก หน้าตัด และความเร็วการไหลเป็นไปอย่างช้า ๆ (Gradually Varied Flow) การแก้ปัญหาการไหลแบบนี้สามารถทำได้โดยวิธีการแบบค่อยเป็นค่อยไป (Step by Step Method) โดยคำนวณการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในช่วงสั้น สำหรับการไหลที่เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Rapidly Varied Flow) การศึกษาอาจทำได้โดยสร้างรูปจำลองการไหล หรือทำทางน้ำเปิดจำลองขึ้น แล้วศึกษาการไหลจากการไหลจำลองนั้น

**4. การไหลสม่ำเสมอไม่คงที่ในทางน้ำเปิด (Unsteady Uniform Flow)** การไหลแบบนี้เกิดขึ้นได้ยาก เพราะเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกับเวลาแล้ว รูปตัดการไหลจะเท่ากันตลอดลำน้ำ ย่อมเป็นไปได้ยาก

**5. การไหลไม่สม่ำเสมอไม่คงที่ในทางน้ำเปิด (Unsteady Non-uniform Flow)** การไหลในทางทางธรรมชาติเกือบทั้งหมดจะเป็นการไหลในรูปแบบนี้ ซึ่งเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาและทุกสถานที่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างเฉียบพลันและไม่แน่นอน เช่น เกิดคลื่น เกิดการปั่นป่วน และอื่น ๆ เป็นแบบที่ศึกษาได้ยาก การศึกษาจะอาศัยการตัดช่วงเวลาและความยาวลำน้ำให้สั้นลง เพื่ออาศัยวิธีการในข้อ 1 มาใช้ประเมินเหตุการณ์

**6. การคำนวณการไหลสม่ำเสมอในทางน้ำเปิด** หมายถึงการไหลสม่ำเสมอคงที่  $V = C\sqrt{RS}$  เป็นสมการของ Chezy เป็นผลการศึกษาที่นำเสนอโดยวิศวกรชาวฝรั่งเศสชื่อ Antoine Chezy ในปี ค.ศ.1769 โดยค่า C เป็นค่าที่หาได้จากการทดลองและตรวจวัดจริง ต่อมาวิศวกรชาวไอริช ชื่อ Robert Manning ทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยอาศัยข้อมูลจากการทดลองและตรวจวัดจากของจริงที่มีอยู่เดิม และได้นำเสนอผลการศึกษาในปี ค.ศ.1889 มีผลการศึกษาว่า ความเร็วการไหลมีความสัมพันธ์กับรัศมีชลศาสตร์ยกกำลังมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6499 ถึง 0.8395 มีค่าเฉลี่ยประมาณ  $2/3$  และได้เสนอสมการที่ต่อมาเรียกว่าสมการของ Manning คือ

$$\begin{aligned} \text{สำหรับหน่วยระบบ SI} \quad V &= \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \\ \text{สำหรับหน่วยระบบ อังกฤษ} \quad V &= \frac{1.486 R^{2/3} S^{1/2}}{n} \end{aligned}$$

สมการของ Manning ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางจนถึงปัจจุบันและถือเป็นสมการ หลักของการไหลในทางน้ำเปิด สมการในรูปแบบนี้เรียกว่า สมการประสบการณ์ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าหน่วยของสมการสองข้างไม่เท่ากัน สำหรับทางน้ำที่วิศวกรสร้างขึ้นเพื่อใช้งานนั้น ค่า n ของวัสดุที่ใช้สร้างลำน้ำนั้นมีอยู่ผลการศึกษาอยู่มาก ดังตาราง แต่ในลำน้ำธรรมชาตินั้น การศึกษาหาค่า n จึงควรกระทำสำหรับลำน้ำที่ยังไม่มีผู้ตรวจวัด

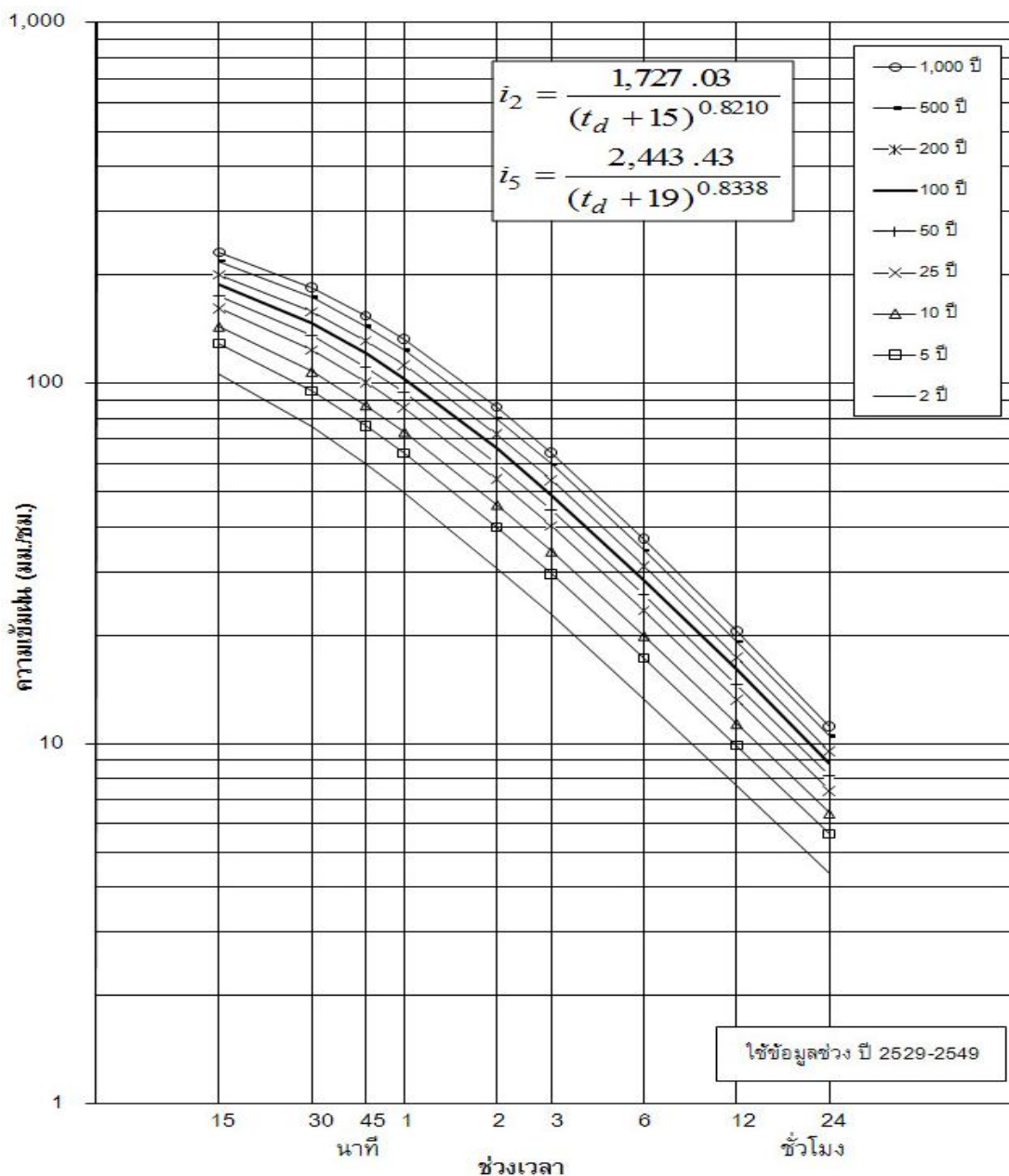
ตาราง 2 แสดง Manning's Coefficients n for Closed Metal Conduits

Channel Type and Description	Minimum	Normal	Maximum
Brass, smooth	0.009	0.01	0.013
Steel; Lockbar and welded	0.01	0.012	0.014
Steel; Riveted and spiral	0.013	0.016	0.017
Cast iron; Coated	0.01	0.013	0.014
Cast iron; Uncoated	0.011	0.014	0.016
Wrought iron; Black	0.012	0.014	0.015
Wrought iron; Galvanized	0.013	0.016	0.017
Corrugated metal; Subdrain	0.017	0.019	0.021
Corrugated metal; Storm Drain	0.021	0.024	0.03

**ตาราง 3 แสดง Manning's Coefficients n for Closed Non-Metal Conduits**

Channel Type and Description	Minimum	Normal	Maximum
Lucite	0.008	0.009	0.01
Glass	0.009	0.01	0.013
Cement; Neat, surface	0.01	0.011	0.013
Cement; Mortar	0.011	0.013	0.015
Concrete; Culvert, straight and free of debris	0.01	0.011	0.013
Concrete; Culvert with bends, connections, and some debris	0.011	0.013	0.014
Concrete; Finished	0.011	0.012	0.014
Concrete; Sewer with manholes, inlet, etc., straight	0.013	0.015	0.017
Concrete; Unfinished, steel form	0.012	0.013	0.014
Concrete; Unfinished, smooth wood form	0.012	0.014	0.016
Concrete; Unfinished, rough wood form	0.015	0.017	0.02
Wood; Stave	0.01	0.012	0.014
Wood; Laminated, treated	0.015	0.017	0.02
Clay; Common drainage tile	0.011	0.013	0.017
Clay; Vitrified sewer	0.011	0.014	0.017
Clay; Vitrified sewer with manholes, inlet, etc.	0.013	0.015	0.017
Clay; Vitrified subdrain with open joint	0.014	0.016	0.018
Brickwork; Glazed	0.011	0.013	0.015
Brickwork; Lined with cement mortar	0.012	0.013	0.016
Sanitary sewers coated with sewage slimes, with bends and connections	0.012	0.013	0.016
Paved invert, sewer, smooth bottom	0.016	0.019	0.02
Rubble masonry, cemented	0.018	0.025	0.03

ในการออกแบบโครงสร้างระบายน้ำสำหรับงานทาง เราสนใจปริมาณน้ำรันออฟ ออกจากพื้นที่รับน้ำฝน รันออฟที่ใช้ในการออกแบบคือปริมาณน้ำรันออฟสูงสุดภายในจำนวนปีที่เรียกว่า Return period ดังตัวอย่างรูปที่ 2



ภาพ 2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ความเข้มฝน ความถี่เกิดซ้ำที่สถานี อ.เมือง จ.เชียงราย

จะเห็นว่าที่คิวเรชั่น  $t$  ใด ๆ อินเทนซิตีเพิ่มขึ้นตาม Return period ยาวเช่น 50 ปี จะเป็นผลให้ต้องใช้โครงสร้างระบายขนาดใหญ่ขึ้น ราคาแพง แต่ลดโอกาสที่จะเกิดความเสียหายหรือ failure ในทางกลับกันถ้าเลือก Return period น้อย (อินเทนซิตีที่น้อยลง) ในการออกแบบจะได้โครงสร้าง ระบายน้ำขนาดเล็กลง ราคาถูกกว่า แต่เพิ่มโอกาสที่จะพิบัติเสียหาย

นอกจากเลือก Return period แล้วคิวเรชั่นก็เป็นตัวที่ต้องเลือก ในการคำนวณให้เลือกใช้คิวเรชั่นนาน เท่ากับ Time of concentration,  $t_c$ \* เมื่อฝนตกนานมีคิวเรชั่น เท่ากับ  $t_c$  พื้นที่ทุกส่วนในพื้นที่รับน้ำจะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำรันออฟ จะทำให้ได้ปริมาณน้ำรันออฟสูงสุดไหลเข้าสู่โครงสร้างระบายน้ำ Time of concentration,  $t_c$  สามารถคำนวณได้จากสูตรหลายสูตร เช่น

(1) Bransby-Williams Formula

$$t_c = \frac{L}{1.48 D} \cdot \sqrt[5]{\frac{M^2}{F}}$$

- $t_c$  = time of concentration, hours.  
 $L$  = ระยะจากโครงสร้างระบายน้ำไปยังจุดไกลสุด, กิโลเมตร  
 $D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของวงกลมที่มีพื้นที่เท่ากับพื้นที่รับน้ำ, กิโลเมตร  
 $M$  = พื้นที่จริงของพื้นที่รับน้ำ, ตารางกิโลเมตร  
 $F$  = ระดับลดลงเฉลี่ยของทางน้ำ คิดเป็นเมตรต่อระยะทาง 100 เมตร

(2) Kirpich Equation

$$t_c = 0.02L^{0.77} S^{-0.385}$$

- $t_c$  = Time of concentration, min.  
 $L$  = ระยะไหลยาวที่สุด, เมตร  
 $S$  = ความลาดชันของทางน้ำ, เมตรต่อเมตร

เมื่อได้อินเทนซิตีจากภาพ 1 โดยการเลือกใช้ return period กับคิวเรชั่นที่เหมาะสมแล้ว ปริมาณน้ำรันออฟสำหรับพื้นที่รับน้ำขนาดเล็ก ไม่เกิน 25 ตร.กม. อาจคำนวณจาก Rational Formula:

$$Q = CIA$$

- $Q$  = ปริมาณน้ำรันออฟ  
 $C$  = Runoff coefficient (ตาราง 4)  
 $I$  = อินเทนซิตี  
 $A$  = ขนาดของพื้นที่รับน้ำ

Runoff Coefficient,  $C$  เป็นอัตราส่วนของรันออฟต่อปริมาณฝนตกขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของพื้นที่รับน้ำหลายประการ เช่นลักษณะภูมิประเทศ พืชที่ขึ้นในพื้นที่ อัตราการ

ซีมของดิน ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน Drainage pattern ฯลฯ ผลขององค์ประกอบเหล่านี้มีผลต่อรันออฟรวมอยู่ในค่า C เช่นในตาราง 4 เพียงค่าเดียว

ตารางที่ 4 แสดง Runoff Coefficient of Impermeability factor.C

Type of drainage area	Impermeability factor
Concrete or macadam surfacing	0.8 to 0.9
Gravel or macadam surfacing	0.4 to 0.7
*Bare impervious soils	0.4 to 0.7
*Impervious soils, with turf	0.3 to 0.6
*Bare, slightly pervious soils	0.2 to 0.4
*Slightly pervious soils, with turf	0.1 to 0.3
*Pervious soils	0.1 to 0.2
Wooded areas	0.1 to 0.2

ค่า C ที่ให้ในตารางนี้จะเพิ่มขึ้นอีก 0.2 ถ้าพื้นที่รับน้ำมีความลาดชันเพิ่มขึ้นทุก ๆ 2% แต่ค่า C สูงสุดไม่เกิน 1

ตัวอย่างการหาปริมาณน้ำสูงสุดที่ไหลเข้าสู่ท่อลอด(Peak Runoff; Q ลบ.ม./วินาที)

1. Find Time of concentration,  $t_c$

1.1 Brandsby-Williams Formula,  $t_c = \frac{L}{1.5D} \cdot \sqrt{\frac{M^2}{F}}$

L = 1.3 km.

D = 1.13 km. ( $\frac{\pi D^2}{4} = 1.0 \therefore D = \sqrt{\frac{4}{\pi}}$ )

M = 1. Sq.km

F = 50 m./1300 m = 3.85 m/100 m.

$$\therefore t_c = \frac{1.3}{1.5 \times 1.13} \times \sqrt{\frac{5 \times (1)^2}{3.85}} = 0.58 \text{ hour} = 35 \text{ min}$$

1.2 Kirpich Equation,  $t_c = 0.02 L^{0.77} S^{-0.385}$

L = 1300 m.

S = 50/1300 = 0.0385 m/m

$$\begin{aligned} \therefore t_c &= 0.02(1300)^{0.77} (0.0385)^{-0.385} \\ &= 18 \text{ min.} \end{aligned}$$

2. Select minimum  $t_c = 18$  min; from Figure 1 and 20 yr return Period. = 105 mm/hr

3. Estimated Value of C; from table

For level ground to 2% grade  $C \cong 0.20$

With average slope 3.8%  $C \cong 0.40$

4. Peak Runoff , Q = CIA

$$= 0.40 \times 105 \frac{\text{mm}}{\text{hr}} \times 1 \text{ km}^2 ; Q = 0.278 \times 0.4 \times 105 = 11.6 \frac{\text{m}^3}{\text{sec.}}$$

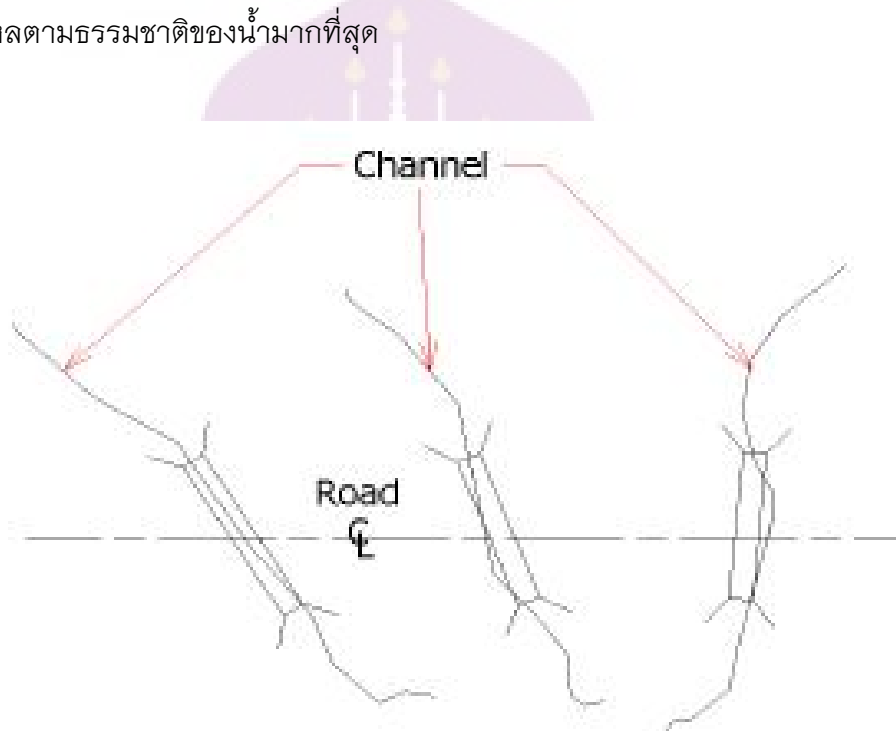
ท่อ (Culvert) คำว่า ท่อ หมายถึง เหล็กหรือไม้หรือวัสดุอื่นใดที่มีลักษณะคล้ายปล่องมีหน้าที่นำน้ำผ่านตัวถนน สะพานก็ทำหน้าที่คล้ายท่อแต่สะพานกับท่อต่างกัน ข้อแตกต่างที่พอจะมองเห็นได้ง่ายก็คือ พื้นสะพานทำหน้าที่เป็นผิวทางของถนนไปในตัว ในขณะที่หลังท่อยังอยู่ใต้ทางวิ่งนอกจากนั้นในแง่ของการออกแบบ เรามักออกแบบท่อโดยถือว่าน้ำไหลเต็มท่อ ในขณะที่สะพานนั้น เราออกแบบให้น้ำไหลเพียงบางส่วน มีช่องว่างสำหรับสิ่งที่มาทับน้ำหรือในบางที่ เรือแพสามารถลอดผ่านได้

ชนิดของท่อ เช่นเดียวกับโครงสร้างถนนท่อก็มีสองชนิด คือ ท่อชนิดเหล็กซีเมนต์ (Flexible) และท่อชนิดรีจิด (Rigid) ท่อชนิดเหล็กซีเมนต์เป็นท่อที่ทำจากเหล็กหรือวัสดุอื่นที่ผนังท่อบาง ท่อบางเหล่านี้ได้รับการผลิตให้เปลี่ยนรูปร่าง (Deform) ได้เมื่อรับน้ำหนัก น้ำหนักทั้งหมดที่ลงบนหลังท่อจะแบ่งรับส่วนหนึ่งด้วยความแข็งแรงของท่อเอง อีกส่วนหนึ่งให้ดินรอบท่อรับไป ความวิบัติ (Failure) ของท่อชนิดนี้จะเนื่องมาจากการโก่ง การแอ่นและการเปลี่ยนรูปร่างมากเกินไป ในทางตรงข้าม ท่อชนิดรีจิดมักทำด้วยเหล็กหรือคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งความสามารถในการรับน้ำหนักได้จากความแข็งแรงของตัวท่อเอง ความวิบัติจะเกิดเมื่อผนังท่อแตกหักพังทลาย (Collapse) ลงมา

ท่อที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ เช่น ท่อกลม ท่อรูปอาร์ค (Arch) ท่อรูปไข่ (Oval) และท่อเหลี่ยม (Box) ท่อกลมดูเหมือนจะเป็นท่อที่ใช้มากที่สุด โดยเฉพาะสำหรับท่อระบายขนาดเล็ก ท่อกลมในประเทศไทยเป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็กมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.30 เมตรถึง 1.50 เมตร หล่อไว้เป็นท่อน ๆ 1.00 เมตร (เพื่อสะดวกในการขนส่ง) ท่อกลม ท่อรูปอาร์คและท่อรูปไข่ มีทั้งแบบเหล็กซีเมนต์และแบบรีจิดในขณะที่ท่อเหลี่ยม (ซึ่งส่วนใหญ่เป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก) เป็นท่อแบบรีจิดเท่านั้น

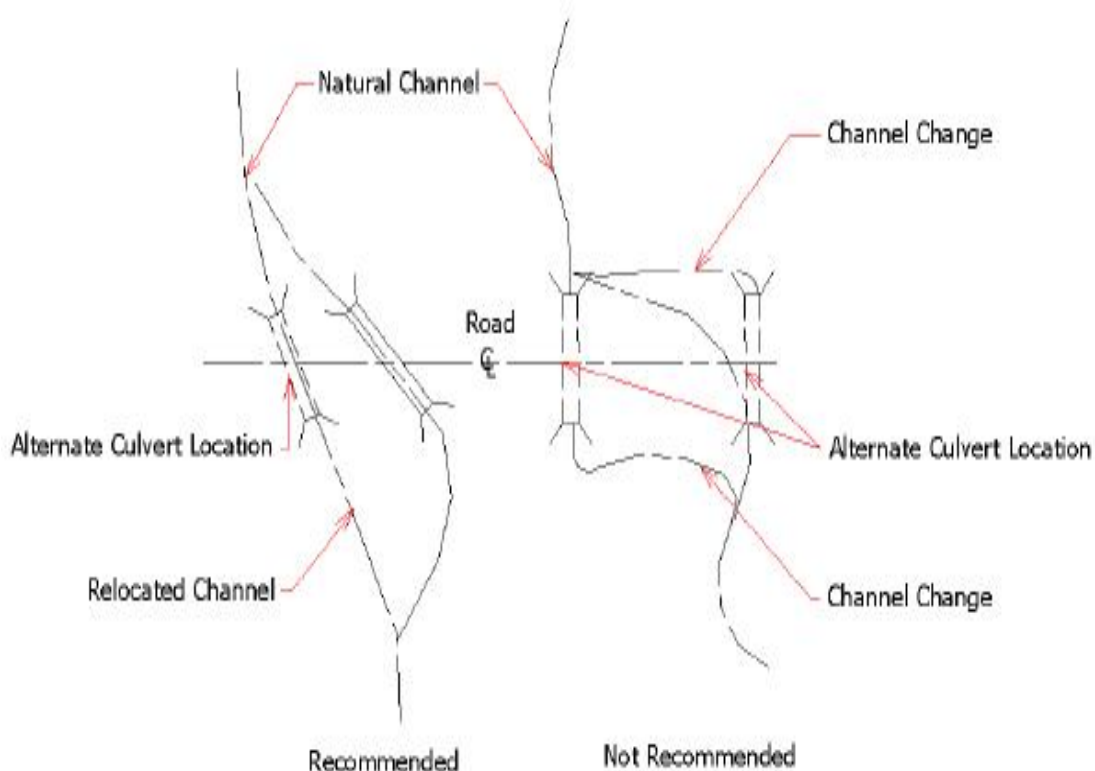
การวางตำแหน่งและแนวของท่อ (Culvert Location & alignment) ในหัวข้อนี้เป็นกรกล่าวถึงการวางตำแหน่งและการวางแนว (ทั้งทางราบและทางตั้ง) ของท่อให้สอดคล้องกับทางน้ำและถนน สิ่งเหล่านี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพในการระบายน้ำของท่อ ตำแหน่งและแนวที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้ถนนขาดเมื่อน้ำหลากหรือมีน้ำขังมากด้านเหนือน้ำ หรืออาจทำให้ถนนอ่อนตัว เพิ่มทั้งค่าก่อสร้างและบำรุงรักษา

แปลน ไม่ว่าทางน้ำธรรมชาติจะคดโค้ง อย่างไรก็ตาม เมื่อจะตัดข้ามตัวถนนเราจะใช้ท่อที่เป็นแนวตรงซึ่งอาจจะอยู่ในแนวตั้งฉากหรือทำมุมใด ๆ (Skew) กับเส้นศูนย์กลางทางก็ได้ ท่อเป็นช่องซึ่งทำหน้าที่แทนทางน้ำธรรมชาตินำน้ำลอดใต้ถนนมันจะทำหน้าที่ได้ดี เมื่อวางอยู่ในท้องทางน้ำเต็มรูป การวางลักษณะดังกล่าวจะทำให้แนวทางเข้าและทางออกของท่อสอดคล้องกับการไหลตามธรรมชาติของน้ำมากที่สุด



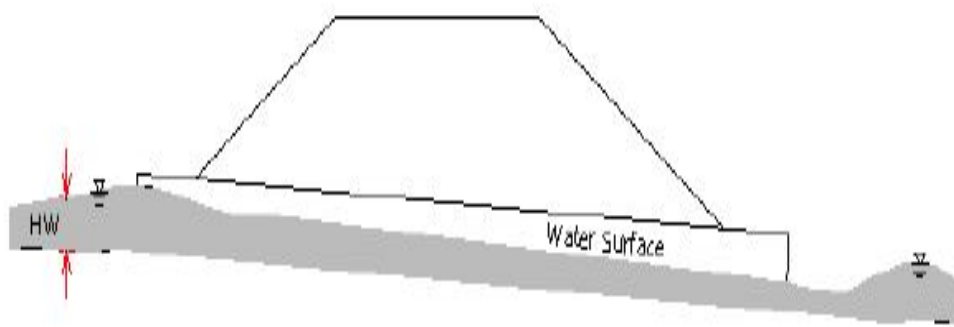
ภาพ 3 แสดง Culverts Located in Natural Channel

ในกรณีทางน้ำเต็มมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแนวหรือถ้าวางท่อลงตามทางน้ำเต็มจะต้องใช้ท่อยาวมากก็อาจจะปรับแนวทางน้ำเสียใหม่ อย่างไรก็ตาม การปรับแนวเพียงเพื่อให้แนวท่อตั้งฉาก กับศูนย์กลางทาง โดยต้องมีการหักแนวทางน้ำอย่างกะทันหันก็ไม่ควรกระทำ ทั้งการกัดเซาะ และตกตะกอนจะเกิดขึ้นได้ง่าย

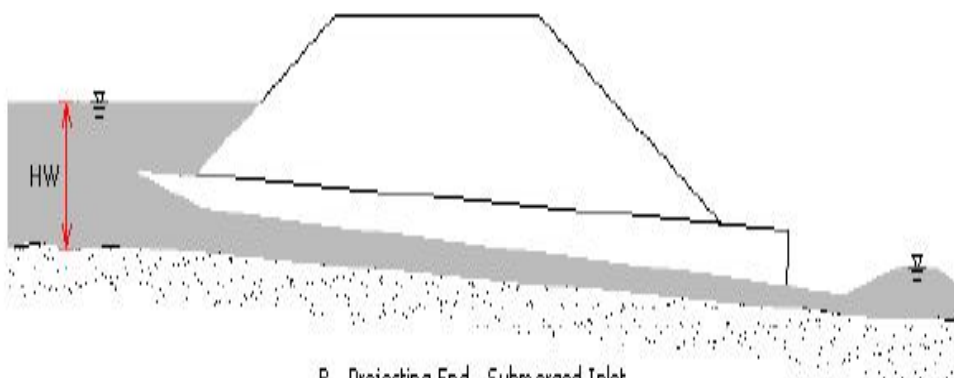


ภาพ 4 แสดง Methods of Culvert Location in the Natural Channel to avoid an Inordinately Long Culvert

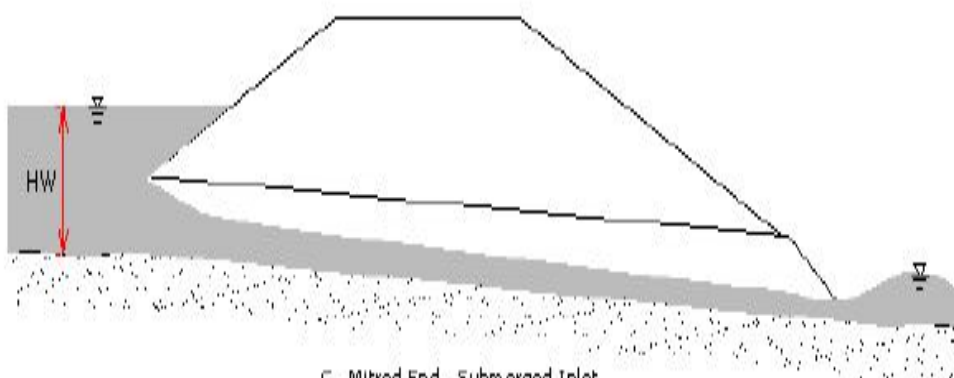
โปรไฟล์ แนวทางตั้งของท่อปกติแล้วมักจะวางให้ความลาดของท่อใกล้เคียงกับความลาดชันของทางน้ำเดิม ซึ่งจะทำให้การตกตะกอนและการกัดเซาะมีน้อย เนื่องจากความสามารถในการนำพา Load ของน้ำแปรผันตามกำลังสองของความเร็วน้ำ ดังนั้น ถ้าเราเปลี่ยนความลาดชันแล้วทำให้ความเร็วน้ำลดลงการตกตะกอนก็จะเกิดขึ้นซึ่งจะทำให้ท่อตันขึ้น การปรับความลาดของท่อให้แตกต่าง ๆ กัน เช่น เพิ่มประสิทธิภาพการไหลของท่อ ลดความยาวท่อ ลดน้ำหนักที่กดหลังท่อหรือลดการตกตะกอนภายในท่อเป็นต้น ในบางกรณีก็จะต้องทำสิ่งป้องกันการกัดเซาะบริเวณทางเข้าและทางออกของท่อ การทำกำแพงเรียงหินปากท่อกลมหรือกำแพงปีก (Wing wall) ที่ปากท่อเหลี่ยมก็เป็นสิ่งจำเป็น ณ บริเวณ Side-hill section ก็จะต้องระมัดระวังมิให้น้ำไหลออกจากท่อกัดเซาะลาดดินถมคันทาง



A. Projecting End - Unsubmerged Inlet

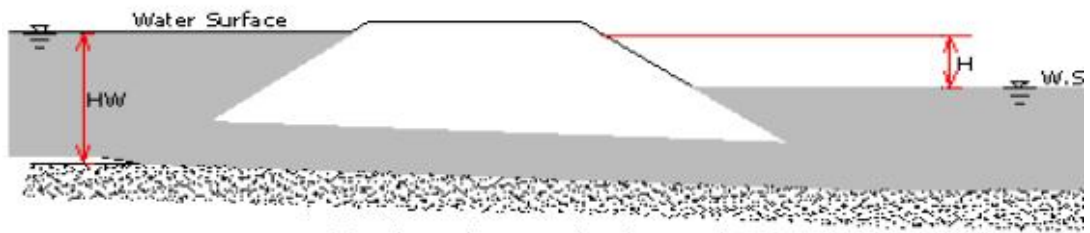


B. Projecting End - Submerged Inlet

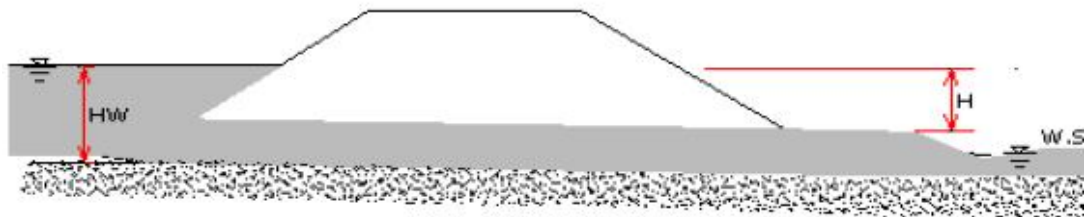


C. Mitred End - Submerged Inlet

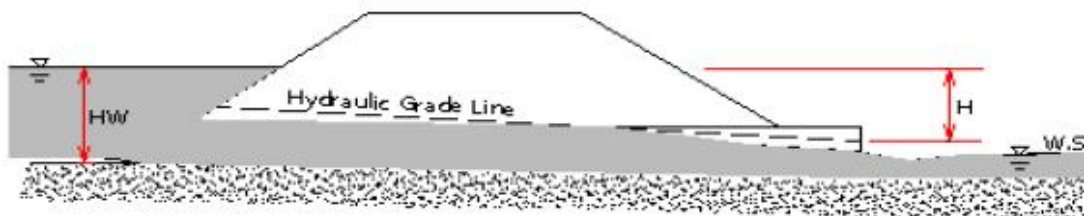
ภาพ 5 แสดง Flow Profiles for Culvert under Inlet Control



(a) Culvert Flowing Full, Submerged Outlet



(b) Culvert Flowing Full, Unsubmerged Outlet

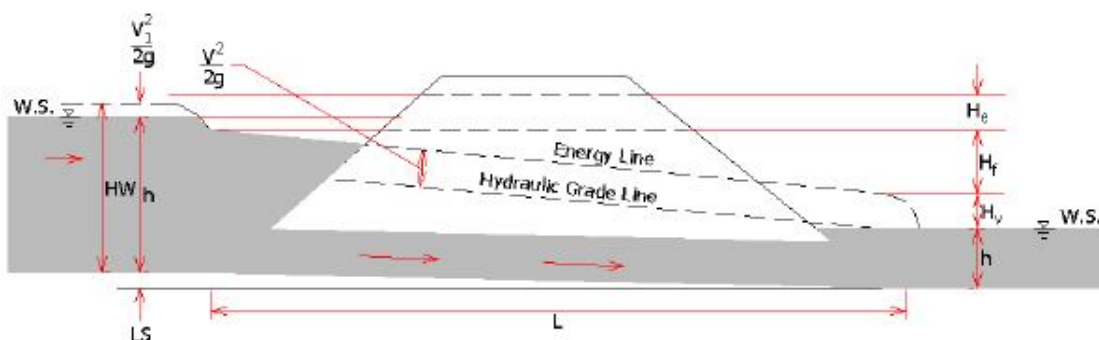


(c) Culvert Flowing Full, for Part of Length

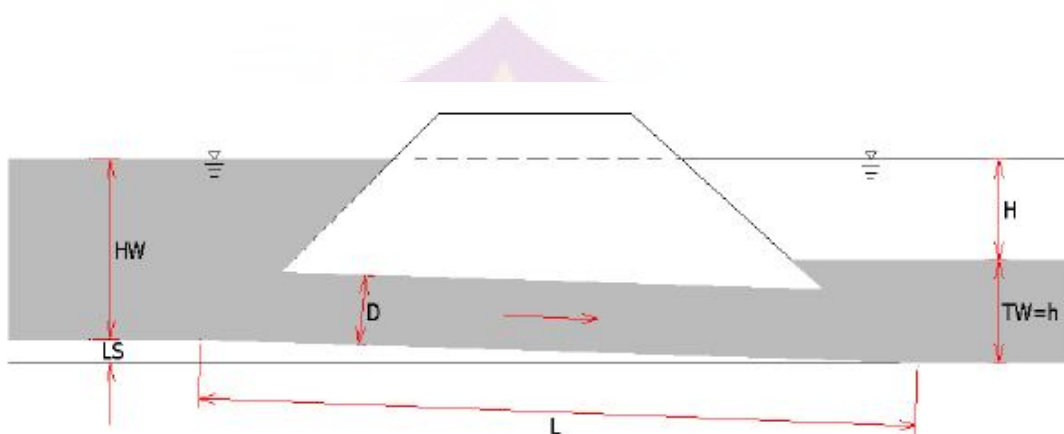


(d) Culvert Not Flowing Full

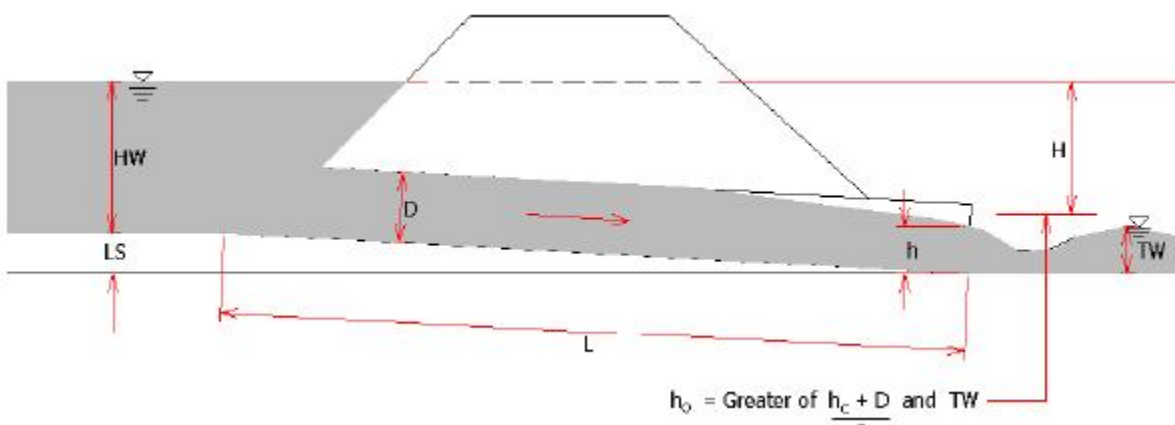
ภาพ 6 แสดง Flow Profiles for Culvert under Ountral



ภาพที่ 7 แสดง Hydraulics of Culvert Full under Outlet Control or ho High Tailwater



ภาพ 8 แสดง Determination of  $h_o$  for Tailwater



ภาพ 9 แสดง Determination of  $h_o$  for High Tailwater

การออกแบบด้านชลศาสตร์ของท่อ จากการทดลองในห้องปฏิบัติการและการสังเกต ในสนามพบว่า ลักษณะการไหลของน้ำผ่านท่อมีอยู่สองแบบ คือ (1) การไหลที่ทางเข้าท่อเป็นตัวควบคุม (Inlet control) และ (2) การไหลที่ทางออกท่อเป็นตัวควบคุม (Outlet control) ในการไหลแต่ละแบบ แพคเตอร์และสูตรที่ใช้ในการหาความสามารถของท่อก็แตกต่างกันไป ในขณะที่พื้นที่ภาคตัดของปากท่อ รูปทรงเรขาคณิตของทางเข้าและความสูงแอ่งน้ำข้างต้นเหนือหน้า (Headwater, Hw) เป็นแพคเตอร์ที่สำคัญต่อการไหลแบบ Inlet control แบบ Outlet control นั้นเราจะต้องเอาระดับน้ำด้านท้ายน้ำ (Tailwater, Tw) ความลาดชัน ความขรุขระและความยาวท่อเข้ามาพิจารณาเพิ่มเติมอีกด้วย

ภาพ 5 แสดงลักษณะการไหลของน้ำผ่านท่อแบบ Inlet control ซึ่งหมายความว่าความสามารถในการระบายน้ำผ่านท่อถูกควบคุมด้วยความลึกของแอ่งน้ำด้านเหนือหน้า (Hw) รูปทรงเรขาคณิตของทางเข้าอันรวมถึงลักษณะของปากท่อ พื้นที่หน้าตัดและชนิดของขอบทางเข้า ภาพ 5 A เป็นการไหลแบบ Inlet control ปากท่อไม่จมน้ำ ขณะที่ภาพ 5 B และ ภาพ 5 C ปากทางเข้าจมน้ำอยู่ใต้น้ำ

ในการไหลแบบ Inlet control นี้ ความขรุขระ ความยาวของท่อและลักษณะด้านปลายท่อ (รวมทั้งความลึกของน้ำด้านท้ายน้ำ) ไม่เป็นแพคเตอร์ที่สำคัญในการหาความสามารถของท่อ การเพิ่มความลาดชันของท่อแม้จะช่วยลด Hw ลงได้บ้าง แต่ก็น้อยมากจนไม่จำเป็นต้องคิดสำหรับท่อทั่ว ๆ ไปในงานทาง การหาความสามารถของท่อในที่นี้แนะนำให้ใช้โนโมกราฟ (Nomograph) ซึ่งจัดขึ้นโดย US. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION ภาพ 11 ใช้สำหรับออกแบบท่อเหลี่ยมคอนกรีต ภาพ 10 ใช้สำหรับท่อกลมคอนกรีตภายใต้การไหลแบบ Inlet control

ท่อที่ไหลแบบ Outlet Control นั้นน้ำอาจจะไหลเต็มตลอดความยาวท่อหรือไหลเต็มบางส่วนของความยาวท่อก็ได้ ภาพ 6 (a) และ ภาพ 6 (b) ตลอดความยาวท่อมินน้ำอยู่เต็ม ซึ่งสภาพแบบนี้เรียกว่าน้ำไหลเต็มท่อ (Flowing full) ส่วนใน ภาพ 6 (c) และ ภาพ 6 (d) แม้จะเป็นการไหลแบบ Outlet control แต่น้ำก็ไหลไม่เต็มท่อ

Head, H (ภาพ 7) คือพลังงานที่ต้องใช้หรือพลังงานที่ต้องสูญเสียไป ในการที่น้ำไหลผ่านท่อในแบบ Outlet control (น้ำไหลเต็มท่อ) ประกอบขึ้นจาก 3 ส่วนคือ Velocity head:  $H_v$ , Entrance loss:  $H_e$ , และ Friction loss:  $H_f$

$$H = H_v + H_e + H_f$$

Velocity head:  $H_v$  มีค่าเท่ากับ  $V^2/2g$  เมื่อ  $V$  เป็นความเร็วเฉลี่ยของน้ำไหลภายในท่อ

Entrance loss:  $H_e$  เป็นพลังงานที่สูญเสียไปที่ทางเข้า ขึ้นอยู่กับรูปทรงเรขาคณิตของขอบ

ทางเข้าซึ่งอาจเขียนเป็นสูตรได้ว่า  $H_e = k_e \cdot V^2/2g$  เมื่อ  $k_e =$  Entrance loss coefficient

Friction loss:  $H_f$  เป็นพลังงานที่ต้องเสียไปเพื่อเอาชนะความขรุขระของผนังท่อซึ่งอาจ

แทนได้ด้วยสมการของ Manning :  $H_f = \frac{2g \cdot n^2 \cdot L \cdot V^2}{R^{4/3} \cdot 2g}$  หรือสมการอื่นที่กล่าวมาข้างต้น

$$H = H_v + H_e + H_f$$

$$H = \left(1 + k_e + \frac{2g \cdot n^2 \cdot L}{R^{4/3}}\right) \cdot V^2/2g$$

เมื่อ  $n =$  Manning friction factor

$L =$  ความยาวท่อ (m)

$V =$  ความเร็วเฉลี่ยของน้ำไหลภายในท่อ (m/s)

$G =$  ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (m/s<sup>2</sup>)

$R =$  Hydraulic radius (m)

ในการออกแบบท่อที่ไหลแบบ Outlet control ให้ใช้โนโมกราฟ ภาพ 13 ใช้สำหรับท่อเหลี่ยมคอนกรีตและ ภาพ 12 ใช้สำหรับท่อกกลมคอนกรีต โนโมกราฟดังกล่าวสามารถใช้หาค่า  $H$  ได้อย่างถูกต้องสำหรับลักษณะการไหลใน ภาพ 6 (a), ภาพ 6 (b), ภาพ 6 (c) ส่วนสำหรับ ภาพ 6 (d) นั้นปรากฏว่าความถูกต้องลดลงไป ขณะที่  $H_w$  น้อยลง

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในขั้นตอนการออกแบบเลือกใช้ขนาดท่อลอด ผู้ศึกษาค้นคว้าได้กำหนดตามมาตรฐานงานทางโดยกำหนดให้ ความสูงของระดับน้ำด้านเหนือน้ำควรต่ำกว่าผิวทางอย่างน้อย 60 เซนติเมตร เพื่อป้องกันปัญหาน้ำซึมขึ้นพื้นทาง (Capillary Rising) ในช่วงฤดูฝนที่มีน้ำหลาก

ผู้ศึกษาค้นคว้าได้พิจารณาตามแบบก่อสร้างทางแล้วพบว่าคันทางส่วนใหญ่จะเลือกใช้ระยะความหนาแน่นที่สุดจากหลังท่อลอดกลมถึงผิวทางที่ความหนา 1 เมตร และเลือกใช้ระยะความหนาแน่นที่สุดจากหลังท่อลอดเหลี่ยมถึงผิวทางที่ความหนา 60 เซนติเมตร โดยท่อลอดกลมมีความหนาของคอนกรีตประมาณ 10 เซนติเมตร และท่อลอดเหลี่ยมมีความหนาของคอนกรีตที่ประมาณ 40 เซนติเมตร ด้วยเหตุผลก็เพื่อให้การออกแบบสอดคล้องกับงานก่อสร้างทางที่หลายหน่วยงานดำเนินการ โดยทั้งนี้ หากใช้ความสูงคันทางมากกว่าตัวเลขที่กำหนดไว้ แม้ว่าจะทำให้ความสามารถในการระบายน้ำของท่อสูงขึ้นตามความสูงของระดับด้านเหนือน้ำก็ตาม แต่ก็เป็นการสิ้นเปลือง งบประมาณในการก่อสร้างคันทางที่สูงขึ้น

### วิธีเลือกขนาดของท่อควรทำเป็นขั้นตอนต่าง ๆ โดยย่อดังนี้

1. กำหนดข้อมูลสำหรับการออกแบบได้แก่ปริมาณน้ำที่จะระบาย (Q) ความยาวโดยประมาณของท่อ (L) ความลาดชันของท่อ (So) ระดับน้ำ Headwater ความเร็วเฉลี่ยและความเร็วสูงสุดขณะน้ำหลากของทางน้ำเดิม ชนิดและลักษณะท่อที่คาดว่าจะใช้

2. หาขนาดของท่อเพื่อการลอง (Trial) ครั้งแรก

3. หาความลึกของ Headwater จากขนาดของท่อในข้อ (2)

3.1 สมมุติการไหลในท่อเป็นแบบ Inlet control

3.1.1 ใช้ขนาดท่อในข้อ (2) ใช้โนโมแกรมรูปที่ 10 หาความลึกของ Headwater, Hwi

3.1.2 ถ้า Hwi ที่ได้มากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่ยอมให้ ให้เปลี่ยนขนาดท่อจนกระทั่งได้ค่า Hwi ที่ยอมรับได้สำหรับ Inlet control แล้วจึงจะคำนวณ Hwo สำหรับ Outlet control

3.2 สมมุติการไหลในท่อเป็นแบบ Outlet control

3.2.1 ประมาณความลึกของ Tailwater,  $T_w$  เหนือผนังด้านในท้องท่อถ้าท่อนั้นรับน้ำปริมาณ  $Q$

3.2.2 ถ้าระดับน้ำ  $T_w$  สูงเท่าหรือมากกว่าหลังท่อที่ทางออกให้  $h_o$  เท่ากับ  $T_w$  แล้วหา  $H_w$  จากสูตร  $H_w = H + h_o - L \cdot S_o$  (รูปที่ 8)

3.2.3 ถ้าระดับของ  $T_w$  ต่ำกว่าระดับหลังท่อที่ทางออก หาค่า  $H_w$  จากสมการ  $H_w = H + h_o - L \cdot S_o$  (รูปที่ 9) ถ้า  $dc > D$ ;  $dc = D$ ;  $h_o = (dc + D)/2 = D$  หรือถ้า  $dc < D$ ;  $h_o = (dc + D)/2$  หรือเท่ากับ  $T_w$  แล้วแต่ว่า ค่าไหนจะมากกว่า เมื่อ  $dc = \text{Critical depth}$ ;  $dc \leq D$  (กราฟ Design chart รูปที่ 14, 15)  $D = \text{ความสูงของท่อ}$

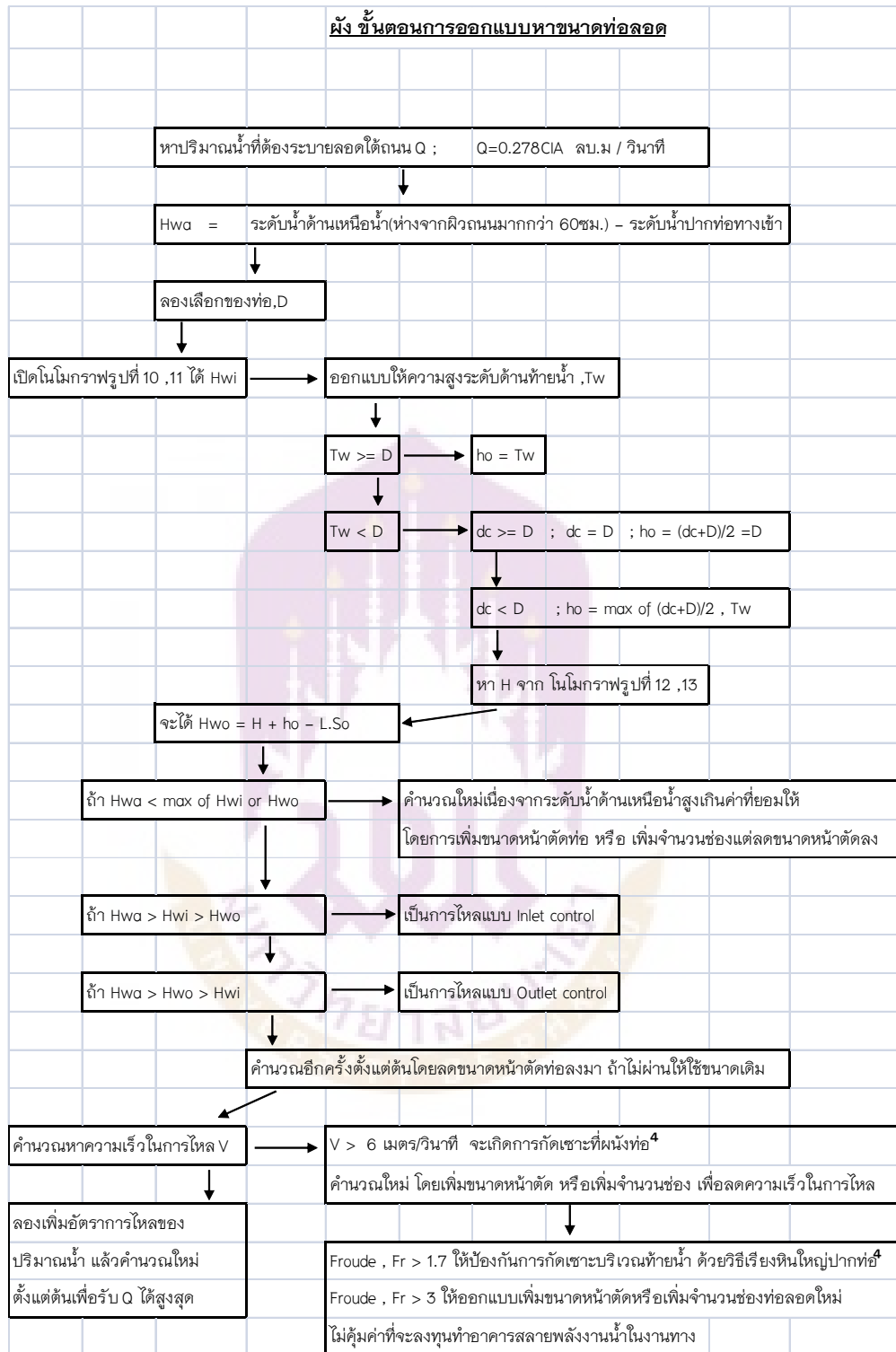
3.3 เปรียบเทียบค่า  $H_{wi}, H_{wo}$  ที่หาได้จากข้อ (3) ก. และ ข้อ (3) ข. ค่าที่สูงกว่าจะบอกให้ทราบว่าในสภาวะที่กำหนดให้ นั้นการไหลจะเป็นแบบไหน (Inlet or Outlet control) สำหรับขนาดท่อที่เลือกนั้น

3.4 ถ้าการไหลเป็นแบบ Outlet control และ  $H_w$  ยังสูงกว่าที่จะยอมรับได้ก็ให้เลือกขนาดท่อให้โตขึ้นแล้วหา  $H_{wo}$  ใหม่ตามข้อ 3.2.2

3.4.1 ลองเปลี่ยนไปใช้ท่อชนิดอื่นหรือรูปร่างอื่นแล้วหาขนาดที่ต้องใช้พร้อมกับ  $H_{wi}, H_{wo}$  ตามวิธีการในข้อ (1) ถึง (3)

3.4.2 คำนวณความเร็วน้ำท้ายท่อเพื่อประกอบการพิจารณาว่าต้องทำเครื่องป้องกันทางน้ำเซาะหรือไม่ อย่างไร

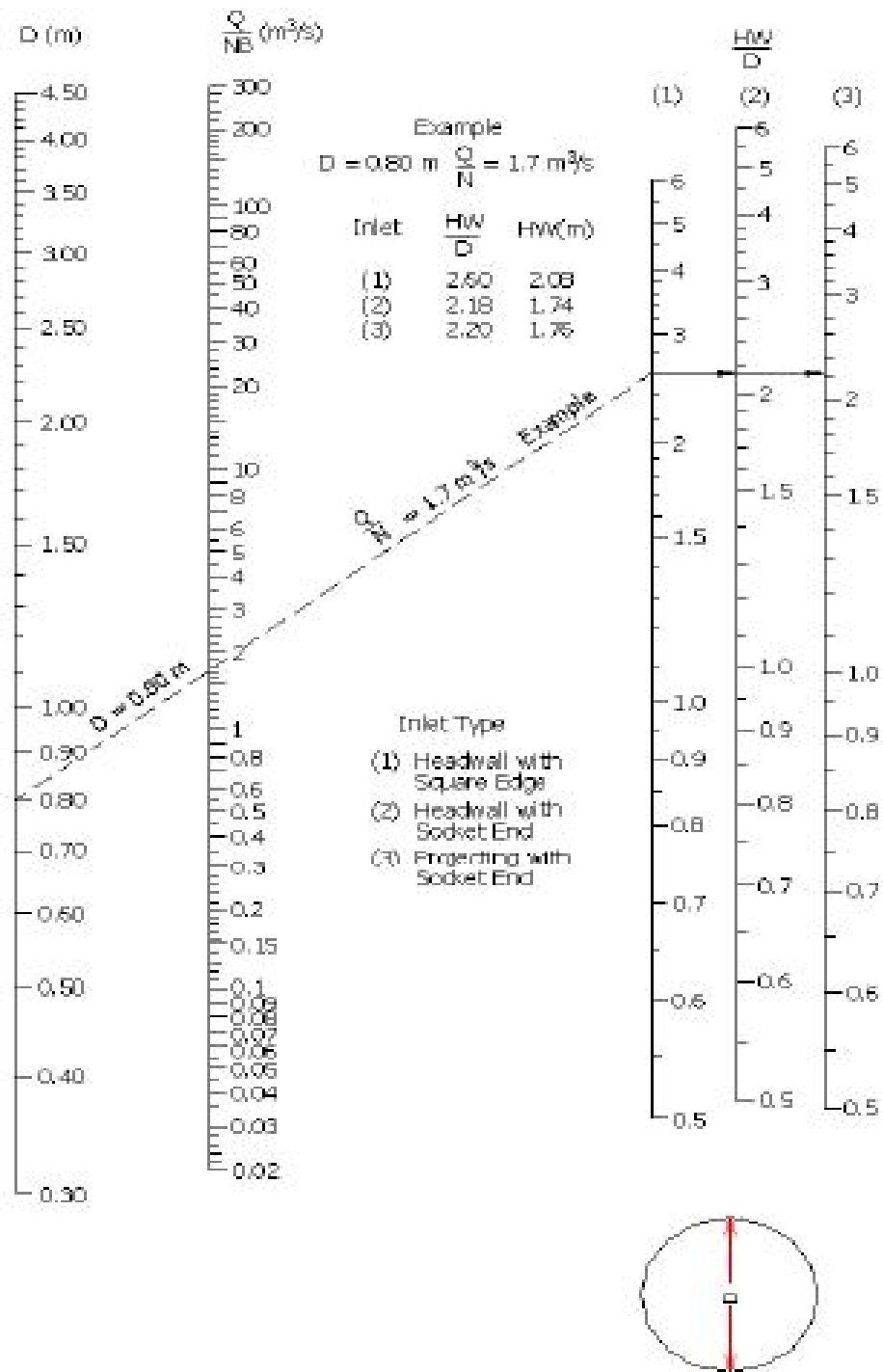
3.4.3 สรุปผลการเลือกใช้ท่อเกี่ยวกับขนาดท่อ ชนิดของท่อ ระดับ Headwater ความเร็วน้ำท้ายท่อ หรือผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์



ภาพ 10 แสดงผังขั้นตอนการออกแบบหาขนาดท่อลอด

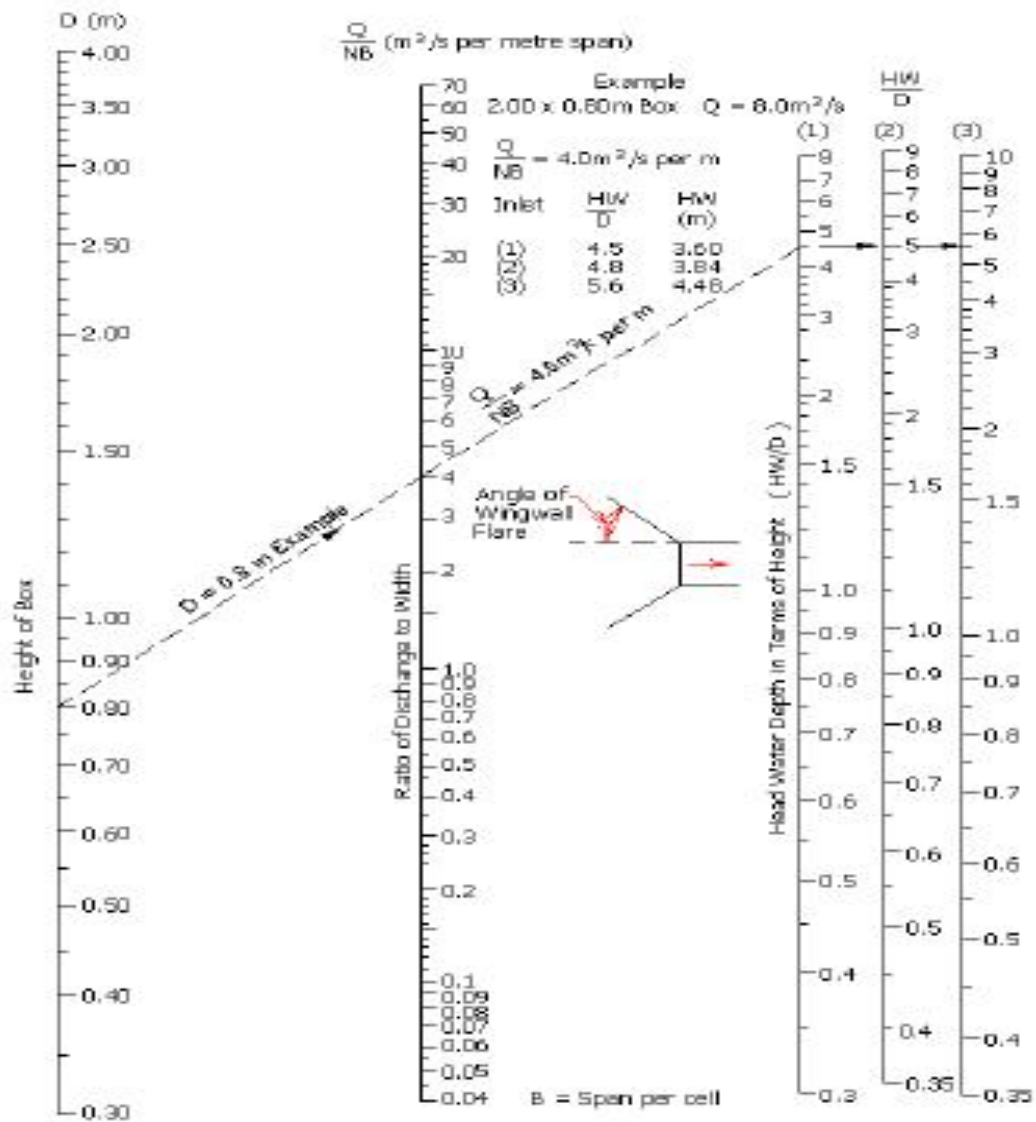
ตาราง 5 แสดง Entrance Loss Coefficients

TYPE OF BARREL AND INLET	
<b>Pipe, Concrete</b>	$K_e$
Projecting from fill, socket end	0.2
Projecting from fill, square cut end	0.5
Headwall or headwall and wingwalls	
Socket end of pipe	0.2
Square-edge	0.5
Rounded (radius = 1/12 D)	0.2
Mitred to conform to fill slope	0.7
End-section conforming to fill slope (standard precast)	0.5
Bevelled edges, 33.7° or 45° bevels	0.2
Side-tapered or slope-tapered inlets	0.2
<b>Pipe, or Pipe-Arch, Corrugated Steel</b>	
Projecting from fill	0.9
Headwall or headwall and wingwalls, square edge	0.5
Mitred to conform to fill slope	0.7
End-section conforming to fill slope (standard prefab)	0.5
Bevelled edges, 33.7° or 45° bevels	0.25
Side-tapered or slope-tapered inlets	0.2
<b>Box, Reinforced Concrete</b>	
Headwall	
Square-edged on 3 edges	0.5
Rounded on 3 edges to radius of 1/12 barrel dimension, Or bevelled edges on 3 sides	0.2
Wingwalls at 30° to 75° to barrel	
Square-edged at crown	0.4
Crown edge rounded to radius of 1/12 barrel dimension Or bevelled top edge	0.2
Wingwalls at 10° to 25° to barrel	
Square-edged at crown	0.5
Wingwalls parallel (extension of sides)	
Square-edged at crown	0.7
Side-tapered or slope-tapered inlet	0.2
Projecting	
Square-edged	0.7*
Bevelled edges, 33.7° or 45° bevels	0.2*
* Estimated	



Inlet Control Nomograph - Concrete Pipe Culvert

ภาพ 11 แสดงกราฟ Inlet Control Nomograph-Concrete Pipe Culvert

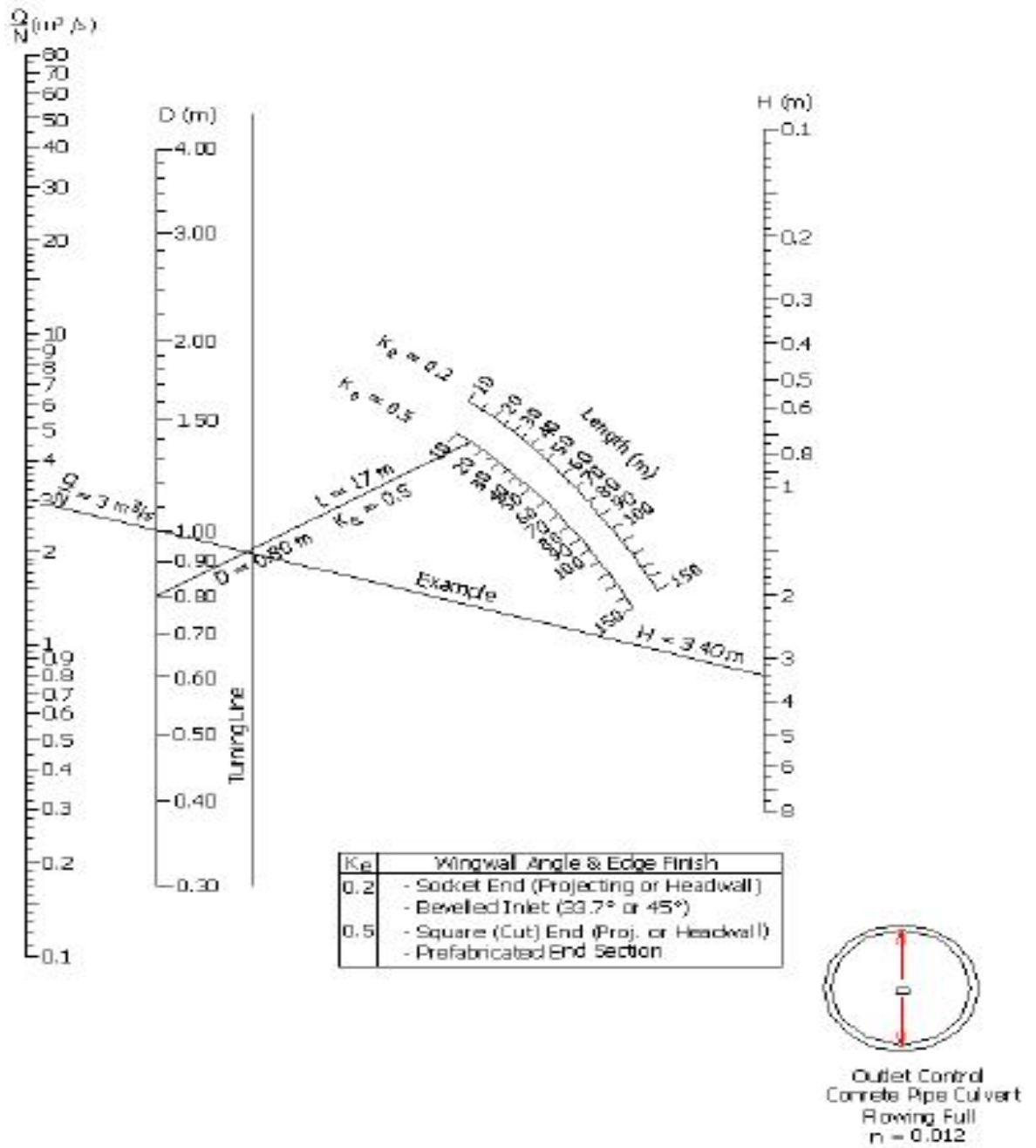


Wingwall Flare	HW/D Scale
30° - 75°	1
90° (headwall)	2
0° (parallel)	3



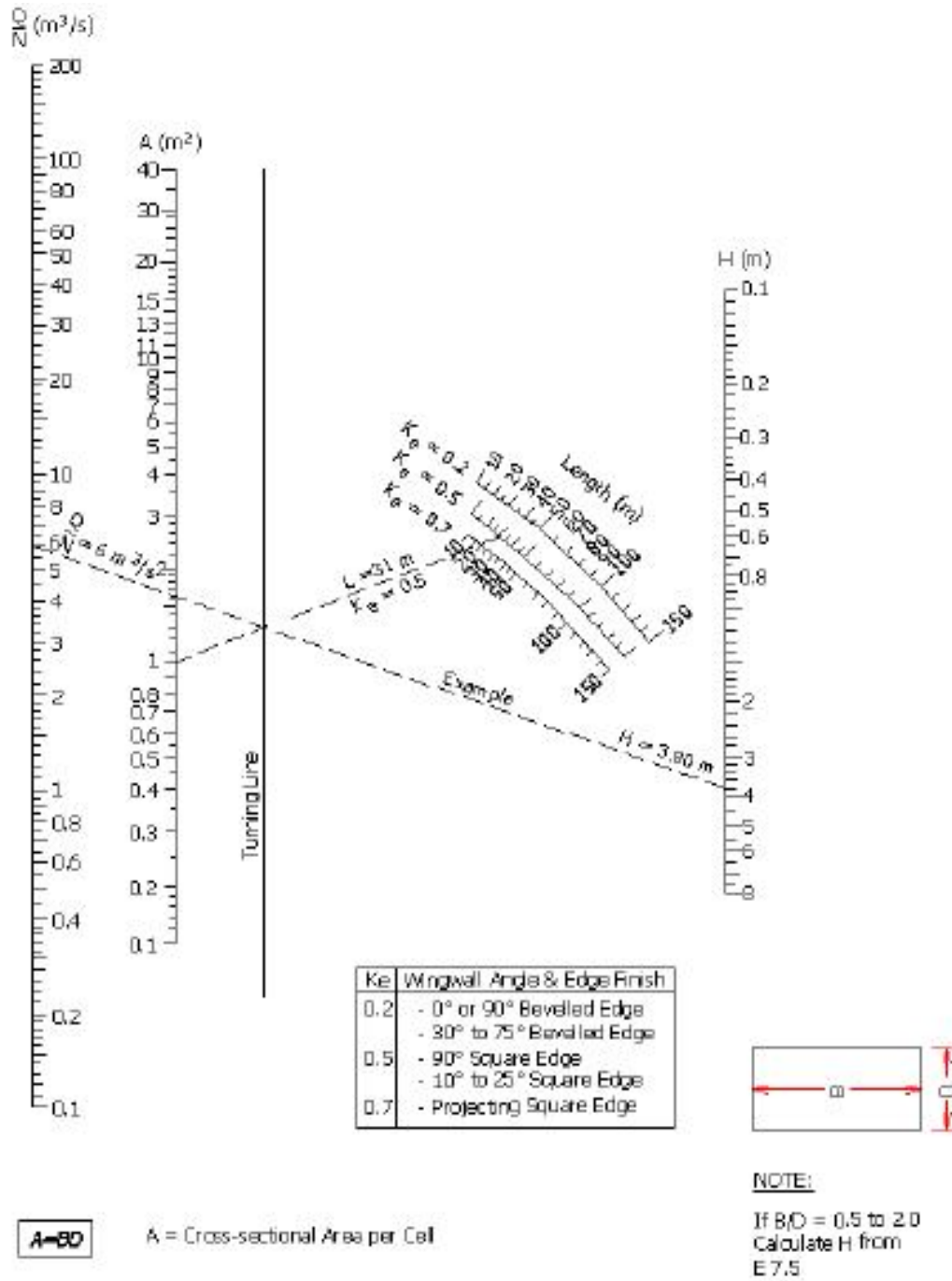
Inlet Control Nomograph - Box Culvert

ภาพ 12 แสดงกราฟ Inlet Control Nomograph-Box Culvert



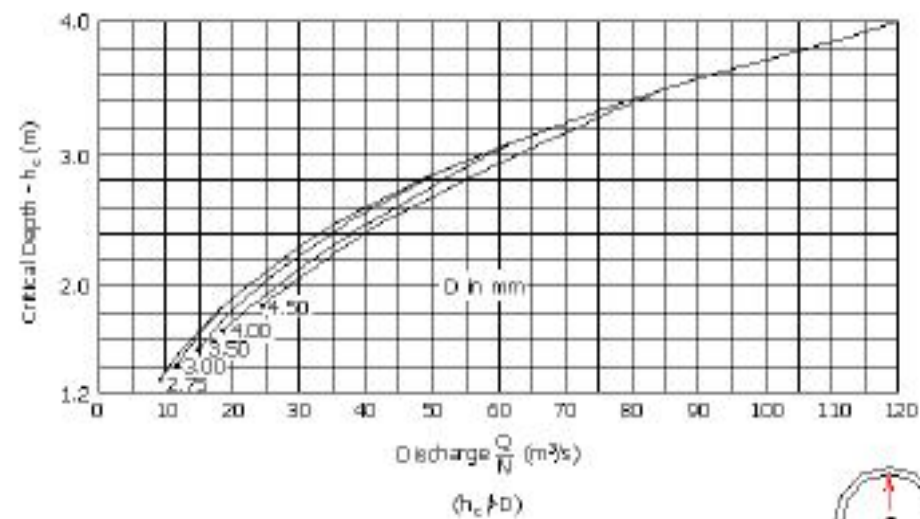
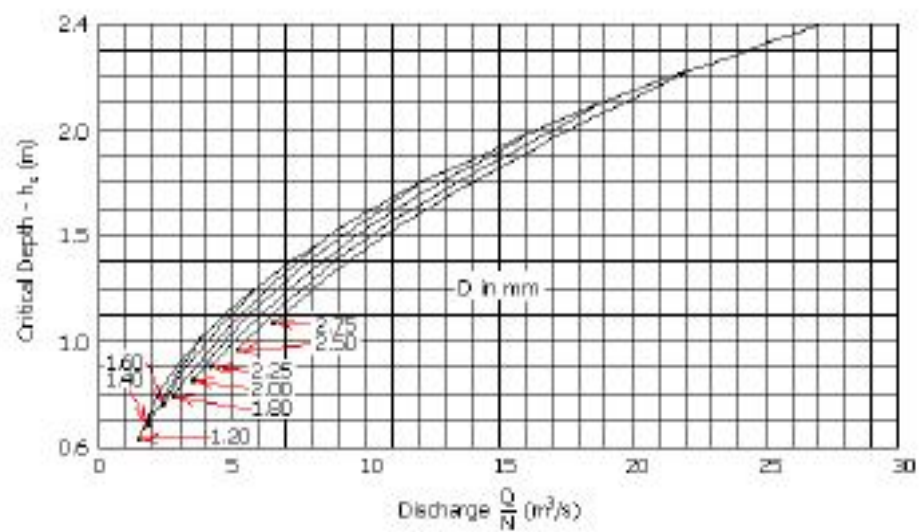
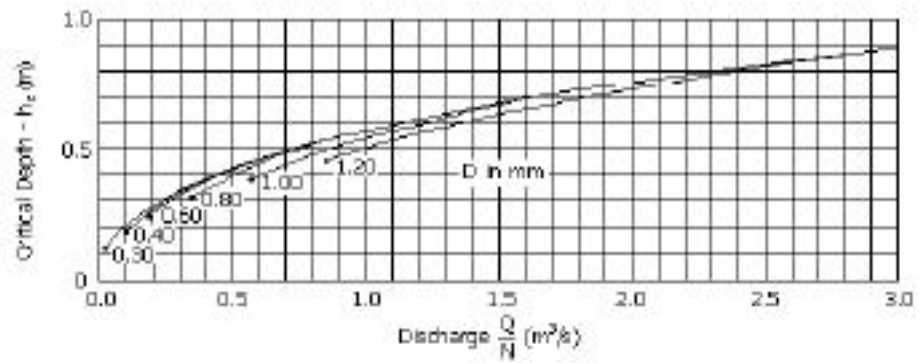
Outlet Control Nomograph - Concrete Pipe Culvert Flowing Full with  $n=0.012$

ภาพ 13 แสดงกราฟ Outlet Control Nomograph—Concrete Pipe Culvert Flowing Full with  $n=0.012$

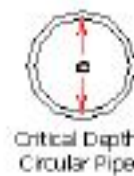


Outlet Control Nomograph - Concrete Box Culvert Flowing Full with  $n = 0.012$

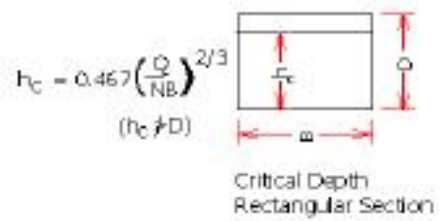
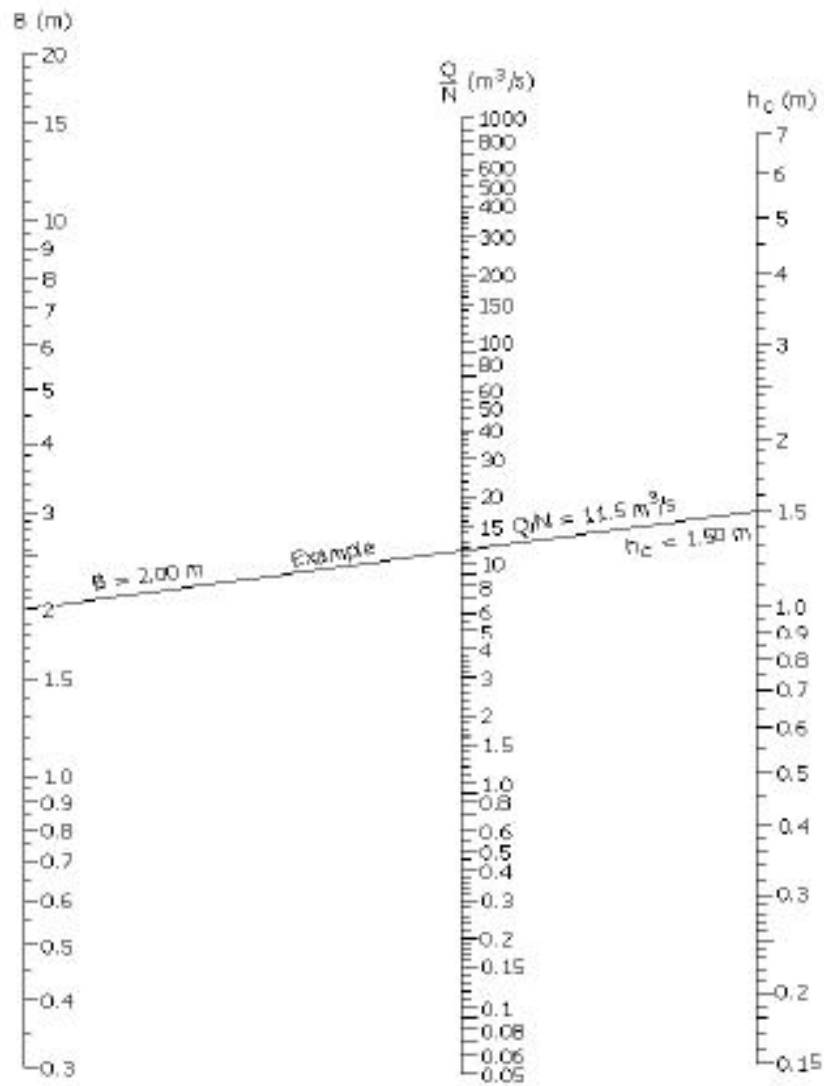
ภาพ 14 แสดงกราฟ Outlet Control Nomograph—Concrete Box Culvert Flowing Full with  $n=0.012$



critical Depth in a Circular Pipe

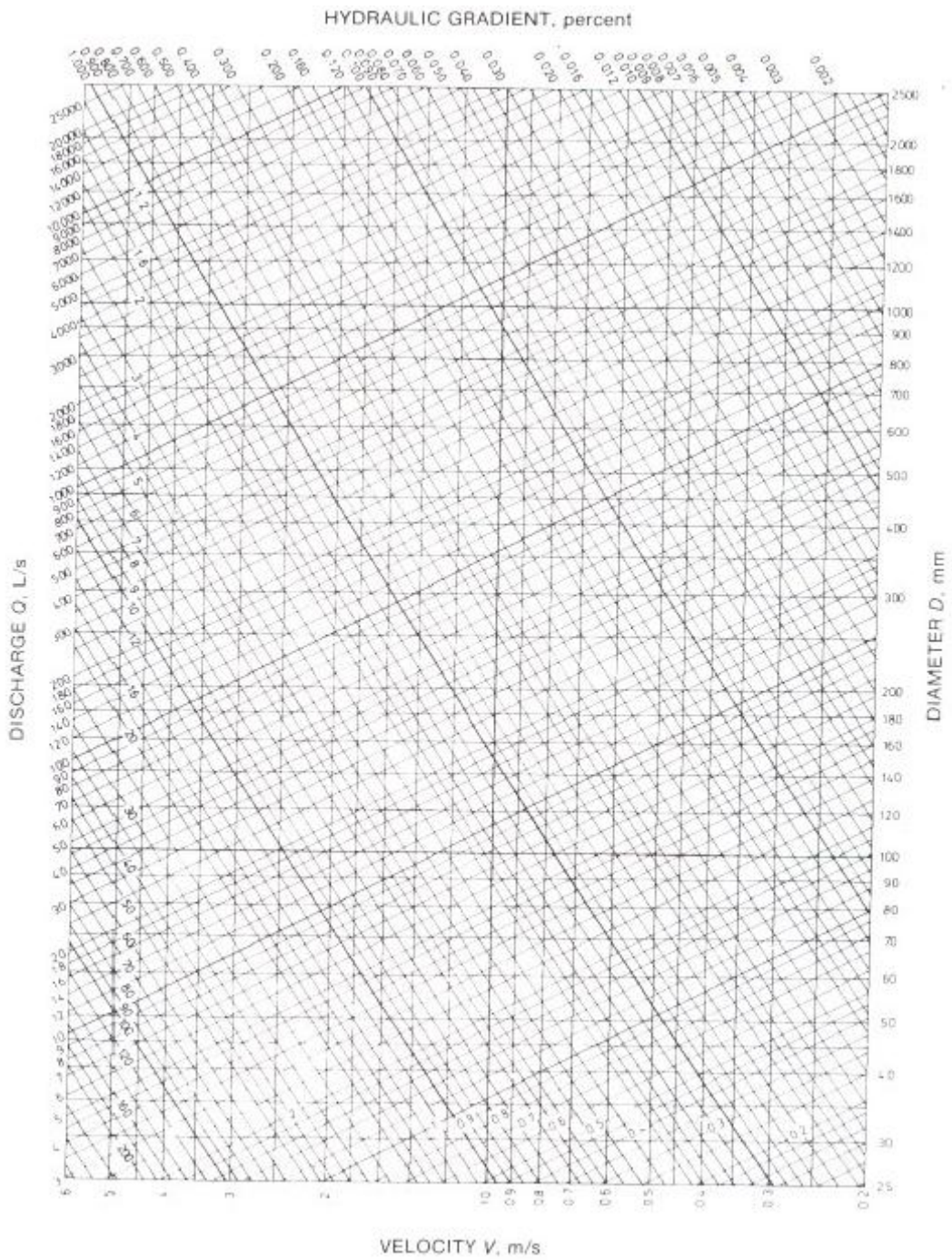


ภาพ 15 แสดงกราฟ Critical Depth in a Circular Pipe

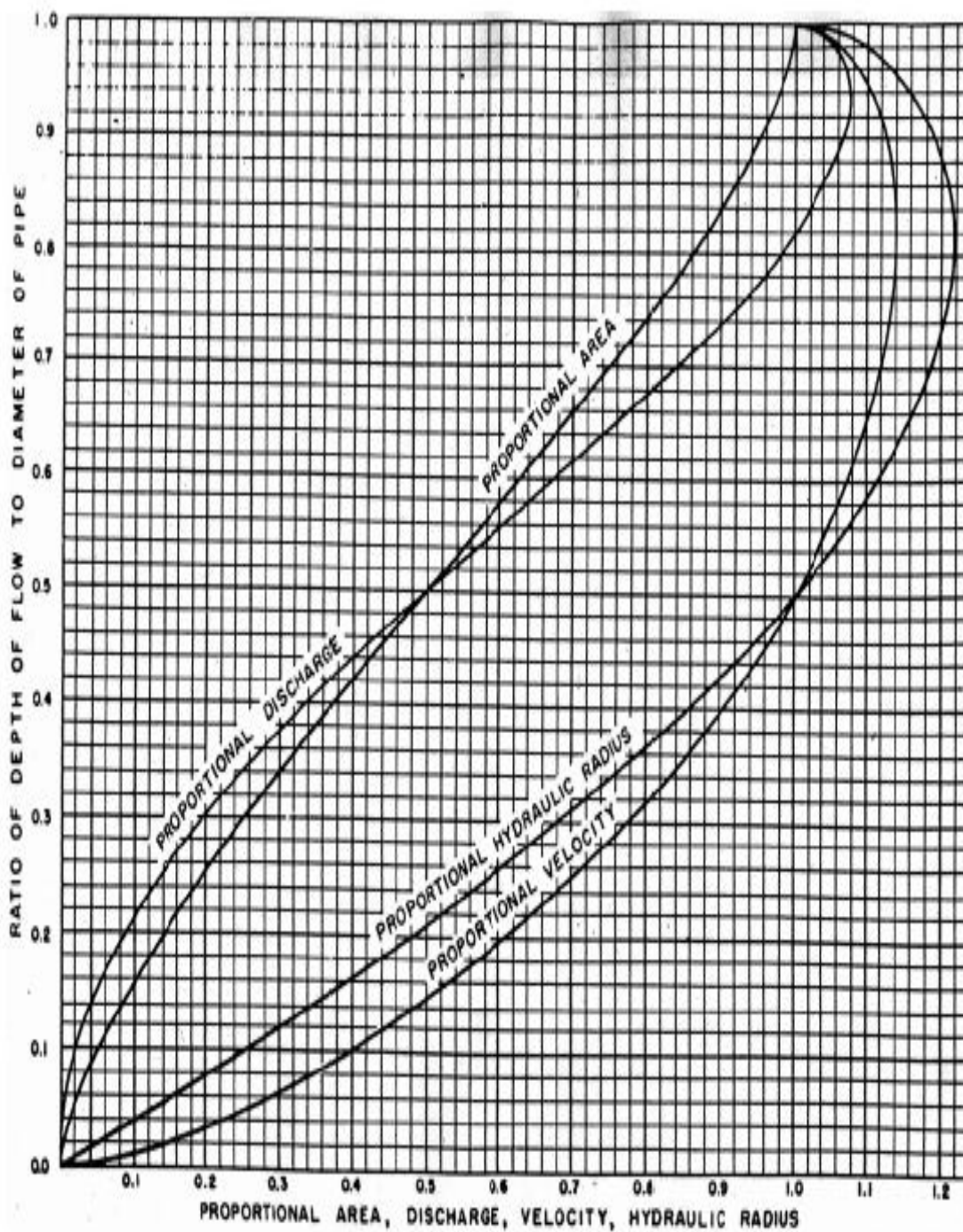


Critical Depth in a Rectangular Section

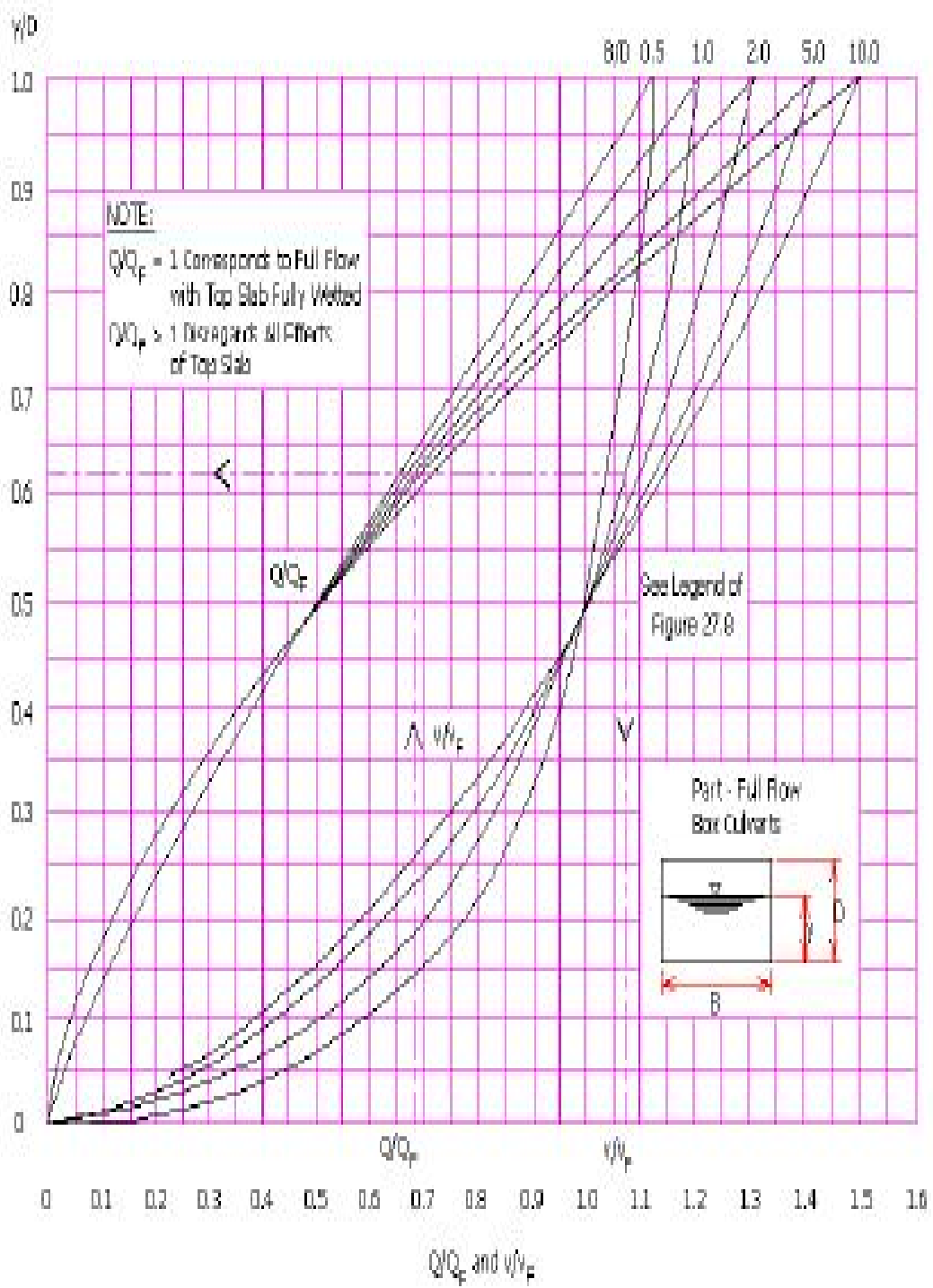
ภาพ 16 แสดงกราฟ Critical Depth in a Rectangular Section



ภาพ 17 แสดงกราฟ Hydraulic Design of Pipes Colebrook-White Formula- $k=0.60$  mm



ภาพ 18 แสดงกราฟ Proportional Flow Curve



ภาพ 19 แสดงกราฟ Relative Discharge, Velocity and Hydraulic Radius in Part-full Box Culvert Flow

ตาราง 6 แสดงตาราง Maximum Recommended Flow Velocities for Conduit Materials

Material	Maximum V (m/s)
Precast concrete pipes	8.0
Precast box culverts	8.0
In situ concrete and hard packed rock (300mm min)	6.0
Beaching or boulders (250mm min)	5.0
Stones (150 – 100mm)	3.0 – 2.5
Grass covered surfaces	1.8
Stiff, sandy clay	1.3 – 1.5
Coarse gravel	1.3 – 1.8
Coarse sand	0.5 – 0.7
Fine sand	0.2 – 0.5

Maximum Recommended Flow Velocities ,  
(m/s) for various conduit materials

ตาราง 7 Darcy-Weisbach Roughness Heights  $k$  for Closed Conduits

Pipe Material	$k$ (mm)	$k$ (ft)
Glass, drawn brass, copper (new)	0.0015	0.000005
Seamless commercial steel (new)	0.004	0.000013
Commercial steel (enamel coated)	0.0048	0.000016
Commercial steel (new)	0.045	0.00015
Wrought iron (new)	0.045	0.00015
Asphalted cast iron (new)	0.12	0.0004
Galvanized iron	0.15	0.0005
Cast iron (new)	0.26	0.00085
Wood stave (new)	0.18 ~ 0.9	0.0006 ~ 0.003
Concrete (steel forms, smooth)	0.18	0.0006
Concrete (good joints, average)	0.36	0.0012
Concrete (rough, visible, form marks)	0.6	0.002
Riveted steel (new)	0.9 ~ 9.0	0.003 ~ 0.03
Corrugated metal	45	0.15

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดท่อลอด

การไหลแบบทางเข้าท่อลอดกลมเป็นตัวควบคุม

(Concrete Pipe Culverts Inlet control)

ปริมาณการระบายน้ำ  $Q = 1.50 \text{ cu.m. / s}$

เลือกหน้าตัดท่อกลมขนาด  $D = 1.00 \text{ m}$ .

ความยาวท่อ  $L = 10 \text{ m}$ .

Slope  $S_o = 0.01$

$H_{wa} = D + 0.50 \text{ m}$ . ให้ระดับน้ำต่ำกว่าผิวถนนไม่น้อยกว่า 60 ซม.

ระดับท้ายน้ำ,  $T_w = 20\%$  ของ  $H_{wa}$

สมมติการไหลเป็นแบบ Inlet control

จากภาพ 9  $Q = 1.50 \text{ cu.m./s}$

เลือกเส้นที่ (3)  $H_{wi}/D = 1.11$

Projecting with  $H_{wi} = 1.11 \times 1.00 = 1.11 \text{ m}$ .

Socket End  $H_{wa} = D + 0.50 = 1.00 + 0.50 = 1.50 \text{ m}$ .

$H_{wi} < H_{wa}$

ตรวจสอบการไหลถ้าเป็นแบบ Outlet control

$T_w = 20\%$  from  $H_{wa} = 0.20 \times 1.50 = 0.30 \text{ m}$ .

$T_w < D$ ; รูปที่ 9

จากภาพ 14;  $d_c = 0.66 \text{ m}$ .

$(d_c + D)/2 = 0.83$ ;  $d_c < D$ ;  $h_o = \max \text{ of } (d_c + D)/2, T_w$ ;  $h_o =$

0.83 m.

จาก ภาพ 12

ความยาวท่อ  $L = 10 \text{ m}$ .

เลือกหน้าตัดท่อขนาด Dia 1.00 m.

$K_e = 0.2$  (Socket end)

$H = 0.26 \text{ m}$ .

จากสมการ  $H_{wo} = H + h_o - L \cdot S_o$

$H_{wo} = 0.26 + 0.83 - 10 \times 0.01 = 0.99 \text{ m}$ .

$H_{wo} \leq H_{wa} \dots \text{OK}$

$H_{wi} > H_{wo}$ ; การไหลแบบทางเข้าท่อเป็นตัวควบคุม (Inlet control)

หาความเร็วการไหล;  $V$  (m/s) ไม่เต็มท่อ

$A = 0.79 \text{ sq.m}$ .

$S_o = 1 \%$

จาก ภาพ 16  $Q_f = 2.6 \text{ cu.m./s}$   $V_f = 3.4 \text{ m/s}$

เนื่องจากน้ำไหลไม่เต็มท่อ จึงใช้กราฟ ภาพ 17 หาความสัมพันธ์

$Q/Q_f = 1.5 / 2.6 = 0.58$

$V/V_f = 1.13$  จะได้  $V = 1.13 \times 3.4 = 3.84 \text{ m/s}$  ไม่เกิน  $8 \text{ m/s}$

$y/D = 0.75$  จะได้  $y = 0.75 \times 1.00 = 0.75 \text{ m}$ .  $< d_c = 0.80 \text{ m}$ .

เป็นการไหลเหนือวิกฤต (Super critical flow)

### การไหลแบบทางออกท่อลอดกลมเป็นตัวควบคุม

(Concrete Pipe Culverts Outlet control)

ปริมาณการระบายน้ำ  $Q = 1.50 \text{ cu.m. / s}$

เลือกหน้าตัดท่อกลมขนาด Dia 1.00 m.

ความยาวท่อ  $L = 10 \text{ m}$ .

Slope  $S_o = 0.01$

$H_{wa} = D + 0.50 \text{ m}$ . ให้ระดับน้ำต่ำกว่าผิวถนนไม่น้อยกว่า 60 ซม.

ระดับทำynnน้ำ,  $T_w = 80\%$  ของ  $H_{wa}$

สมมุติการไหลเป็นแบบ Inlet control

จากภาพ 9	$Q=1.50 \text{ cu.m./s}$
เลือกเส้น Hw/D (3)	$H_{wi}/D = 1.11$
Projecting with	$H_{wi} = 1.11 \times 1.00 = 1.11 \text{ m.}$
Socket End	$H_{wa} = D + 0.50 = 1.00 + 0.50 = 1.50 \text{ m.}$
	$H_{wi} < H_{wa}$

ตรวจสอบการไหลถ้าเป็นแบบOutlet control

$$T_w = 80 \% \text{ from } H_{wa} = 0.80 \times 1.50 = 1.20 \text{ m.}$$

$$T_w > D; \text{ ภาพ 12}$$

$$h_o = T_w; h_o = 1.20 \text{ m.}$$

จากภาพ 11

$$\text{ความยาวท่อ } L = 10 \text{ m.}$$

$$\text{เลือกหน้าตัดท่อขนาด Dia } 1.00 \text{ m.}$$

$$K_e = 0.2 \text{ (Socket end)}$$

$$H = 0.26 \text{ m.}$$

$$\text{จากสมการ } H_{wo} = H + h_o - L \cdot S_o$$

$$H_{wo} = 0.26 + 1.20 - 10 \times 0.01 = 1.36 \text{ m.}$$

$$H_{wo} \leq H_{wa} \dots \text{OK}$$

$H_{wo} > H_{wi}$ ; การไหลแบบทางออกท่อเป็นตัวควบคุม (Outlet control)

หาความเร็วการไหล  $V$  (m/s) เต็มท่อ

$$V = Q/A = 1.5 / 0.79 = 1.90 \text{ m/s ไม่เกิน } 8 \text{ m/s ตารางที่ 6}$$

### การไหลแบบทางเข้าที่อลอดเหลี่ยมเป็นตัวควบคุม

(Concrete Box Culverts Inlet control)

ปริมาณการระบายน้ำ  $Q = 7.5 \text{ cu.m. / s}$

เลือกหน้าตัดท่ออลอดเหลี่ยมขนาด  $B \times D - 2.1 \times 1.5 \text{ m.}$

ความยาวท่อ  $L = 10 \text{ m.}$

Slope  $S_o = 0.01$

$H_{wa} = D + 0.50 \text{ m.}$  ให้ระดับน้ำต่ำกว่าผิวถนนไม่น้อยกว่า 60 ซม.

ระดับท้ายน้ำ,  $T_w = 20\%$  ของ  $H_{wa}$

สมมุติการไหลเป็นแบบ Inlet control

จากภาพ 11  $Q = 7.5 \text{ cu.m./s}$   $Q/B = 3.57 \text{ cu.m./s}$

เลือกเส้น  $H_w/D$  (2)  $H_{wi}/D = 1.27$

Angle of Wingwall  $H_{wi} = 1.27 \times 1.50 = 1.91 \text{ m.}$

Flare 15 Degree  $H_{wa} = D + 0.50 = 1.50 + 0.50 = 2.00 \text{ m.}$

$H_{wi} < H_{wa}$  .....OK

ตรวจสอบการไหลถ้าเป็นแบบ Outlet control

$T_w = 20\%$  from  $H_{wa} = 0.20 \times 2.00 = 0.40 \text{ m.}$

$T_w < D$ ; รูปที่ 9

จากภาพ 15;  $d_c = 1.10 \text{ m.}$

$(d_c + D)/2 = 1.30$ ;  $d_c < D$ ;  $h_o = \max$  of  $(d_c + D)/2$ ,  $T_w$ ;  $h_o = 1.30 \text{ m.}$

จากภาพ 13

ความยาวท่อ  $L = 10 \text{ m.}$

เลือกหน้าตัดท่ออลอดเหลี่ยมขนาด  $B \times D - 2.1 \times 1.5 \text{ m.}$

$K_e = 0.5$  ( Wingwall Angle 15 Degree, Square Edge )

$H = 0.45 \text{ m.}$

จากสมการ  $H_{wo} = H + h_o - L \cdot S_o$

$$H_{wo} = 0.45 + 1.30 - 10 \times 0.01 = 1.65 \text{ m.}$$

$$H_{wo} \leq H_{wa} \dots \text{OK}$$

$H_{wi} > H_{wo}$ ; การไหลแบบทางเข้าท่อเป็นตัวควบคุม (Inlet control)

หาความเร็วการไหล;  $V$  (m/s) ไม่เต็มท่อ

รัศมีชลศาสตร์;  $R = A / P$ ;  $A =$  พื้นที่หน้าตัด,  $P =$  เส้นขอบเปียก

$$R = A / P = (2.1 \times 1.5) / (2 \times (2.1 + 1.5)) = 0.44 \text{ m.}$$

แปลงเป็นหน้าตัดกลมเพื่อจะได้ใช้กราฟรูปที่ 16

$$\text{Diameter; } D = 4R = 4 \times 0.44 = 1.76 \text{ m.}$$

$$V_f = 4.7 \text{ m/s} \quad Q_f = A_f \cdot V_f = 2.1 \times 1.5 \times 4.7 = 14.8 \text{ cu.m/s}$$

เนื่องจากน้ำไหลไม่เต็มท่อ จึงใช้ กราฟรูปที่ 18 หาความสัมพันธ์

$$Q/Q_f = 7.5/14.8 = 0.51 ; B/D = 1.4;$$

$$V/V_f = 1.08 \text{ จะได้ } V = 1.08 \times 4.7 = 5.08 \text{ m/s ไม่เกิน } 6 \text{ m/s ตารางที่ 6}$$

$$y/D = 0.62 \text{ จะได้ } y = 0.62 \times 1.5 = 0.93 \text{ m. } < d_c = 1.10 \text{ m.}$$

เป็นการไหลเหนือวิกฤต (Super critical flow)

### การไหลแบบทางออกท่อลอดเหลี่ยมเป็นตัวควบคุม

(Concrete Box Culverts Outlet control)

$$\text{ปริมาณการระบายน้ำ } Q = 7.5 \text{ cu.m. / s}$$

เลือกหน้าตัดท่อลอดเหลี่ยมขนาด  $B \times D - 2.1 \times 1.5 \text{ m.}$

$$\text{ความยาวท่อ } L = 10 \text{ m.}$$

$$\text{Slope } S_o = 0.01$$

$$H_{wa} = D + 0.50 \text{ m. ให้ระดับน้ำต่ำกว่าผิวถนนไม่น้อยกว่า } 60 \text{ ซม.}$$

$$\text{ระดับท้ายน้ำ, } T_w = 80\% \text{ ของ } H_{wa}$$

สมมติการไหลเป็นแบบ Inlet control

$$\text{จากภาพ 11} \quad Q = 7.5 \text{ cu.m./s} \quad Q/B = 3.57 \text{ cu.m./s}$$

$$\text{เลือกเส้น } H_w/D (2) \quad H_{wi}/D = 1.27$$

Angle of Wingwall       $H_{wi} = 1.27 \times 1.50 = 1.91 \text{ m.}$

Flare 15 Degree       $H_{wa} = D + 0.50 = 1.50 + 0.50 = 2.00 \text{ m.}$

$$H_{wi} < H_{wa}$$

ตรวจสอบการไหลถ้าเป็นแบบOutlet control

$$T_w = 80 \% \text{ from } H_{wa} = 0.80 \times 2.00 = 1.60 \text{ m.}$$

$$T_w > D; \text{ รูปที่ 8}$$

$$h_o = T_w; h_o = 1.60 \text{ m.}$$

จากภาพ 13

$$\text{ความยาวท่อ } L = 10 \text{ m.}$$

$$\text{เลือกหน้าตัดท่อลอดเหลี่ยมขนาด } B \times D = 2.1 \times 1.5 \text{ m.}$$

$$K_e = 0.5 \text{ ( Wingwall Angle 15 Degree, Square Edge ) } H = 0.45 \text{ m.}$$

จากสมการ  $H_{wo} = H + h_o - L$ . So

$$H_{wo} = 0.45 + 1.60 - 10 \times 0.01 = 1.95 \text{ m.}$$

$$H_{wo} \leq H_{wa}$$

$H_{wo} > H_{wi}$ ; การไหลแบบทางออกท่อเป็นตัวควบคุม (Outlet control)

หาความเร็วการไหล;  $V$  (m/s) เต็มท่อ

$$V = Q/A = 7.5 / (2.1 \times 1.5) = 2.38 \text{ m/s ไม่เกิน } 6 \text{ m/s ตารางที่ 6}$$



ตาราง 9 แสดงคำนวณขนาดท่อลอดเหลี่ยม

ตารางคำนวณขนาดท่อลอดเหลี่ยม																				
Inlet Control													Outlet Control , Hwo = H + ho - Lso				Hw_allow = D + 0.50 (m.)			
Q	B		D	Af=B.D	Q/B	Hwi / D	Hwi	H (m.)	Tw (m.)	dc	(dc+D) / 2	ho	Lso	Hwo	Hw_control	Hw_allow	Control Type			
(m <sup>3</sup> /s)	(m.)		(m.)	(m <sup>2</sup> )		รูปที่11		รูปที่13	%of Hwo	รูปที่15		(m.)	(m.)	(m.)	(m.)	(m.)				
11	2.4	x	1.8	4.32	4.58	1.27	2.29	0.52	80%Hwo	1.84	1.27	1.54	Tw >= D	1.84	0.1	2.26	2.29	2.30	Inlet	
11	2.4	x	1.8	4.32	4.58	1.27	2.29	0.52	60%Hwo	1.38	1.27	1.54	Tw < D	1.535	0.1	1.96	2.29	2.30	Inlet	
11	2.4	x	1.8	4.32	4.58	1.27	2.29	0.52	40%Hwo	0.92	1.27	1.54	Tw < D	1.535	0.1	1.96	2.29	2.30	Inlet	
11	2.4	x	1.8	4.32	4.58	1.27	2.29	0.52	20%Hwo	0.46	1.27	1.54	Tw < D	1.535	0.1	1.96	2.29	2.30	Inlet	
9	2.4	x	1.5	3.6	3.75	1.3	1.95	0.46	80%Hwo	1.60	1.11	1.31	Tw >= D	1.6	0.1	1.96	1.96	2.00	Outlet	
9	2.4	x	1.5	3.6	3.75	1.3	1.95	0.46	60%Hwo	1.20	1.11	1.31	Tw < D	1.305	0.1	1.67	1.95	2.00	Inlet	
9	2.4	x	1.5	3.6	3.75	1.3	1.95	0.46	40%Hwo	0.80	1.11	1.31	Tw < D	1.305	0.1	1.67	1.95	2.00	Inlet	
9	2.4	x	1.5	3.6	3.75	1.3	1.95	0.46	20%Hwo	0.40	1.11	1.31	Tw < D	1.305	0.1	1.67	1.95	2.00	Inlet	
6	2.4	x	1.2	2.88	2.50	1.25	1.50	0.37	80%Hwo	1.36	0.85	1.03	Tw >= D	1.36	0.1	1.63	1.63	1.70	Outlet	
6	2.4	x	1.2	2.88	2.50	1.25	1.50	0.37	60%Hwo	1.02	0.85	1.03	Tw < D	1.025	0.1	1.30	1.50	1.70	Inlet	
6	2.4	x	1.2	2.88	2.50	1.25	1.50	0.37	40%Hwo	0.68	0.85	1.03	Tw < D	1.025	0.1	1.30	1.50	1.70	Inlet	
6	2.4	x	1.2	2.88	2.50	1.25	1.50	0.37	20%Hwo	0.34	0.85	1.03	Tw < D	1.025	0.1	1.30	1.50	1.70	Inlet	
12	2.1	x	2.1	4.41	5.71	1.23	2.58	0.6	80%Hwo	2.08	1.50	1.80	Tw < D	2.08	0.1	2.58	2.58	2.60	Inlet	
12	2.1	x	2.1	4.41	5.71	1.23	2.58	0.6	60%Hwo	1.56	1.50	1.80	Tw < D	1.8	0.1	2.30	2.58	2.60	Inlet	
12	2.1	x	2.1	4.41	5.71	1.23	2.58	0.6	40%Hwo	1.04	1.50	1.80	Tw < D	1.8	0.1	2.30	2.58	2.60	Inlet	
12	2.1	x	2.1	4.41	5.71	1.23	2.58	0.6	20%Hwo	0.52	1.50	1.80	Tw < D	1.8	0.1	2.30	2.58	2.60	Inlet	

Q	B	D	P=2(B+D)	R=Af / P	Do=4R	B / D	Vf	Qf=Vf.Af	Q / Qf	V / Vf	V	V_full	y / D	y	Ac	Dc	Fr	Comments <sup>5</sup>		
(m <sup>3</sup> /s)	(m.)	(m.)	(m.)	(m.)	<=2.5	รูปที่16		<=1.20รูปที่18			Vmax < 6 m/sรูปที่18		รูปที่18	(m.)		(m.)				
11	2.4	x	1.8	8.40	0.51	2.06	1.3	5.2	22.5	0.49	-	-	-	-	-	-	-	-		
11	2.4	x	1.8	8.40	0.51	2.06	1.3	5.2	22.5	0.49	1.1	5.46	-	0.58	1.04	y < dc	2.01	0.84	1.90	1.7 < Fr < 3, Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
11	2.4	x	1.8	8.40	0.51	2.06	1.3	5.2	22.5	0.49	1.1	5.46	-	0.58	1.04	y < dc	2.01	0.84	1.90	1.7 < Fr < 3, Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
11	2.4	x	1.8	8.40	0.51	2.06	1.3	5.2	22.5	0.49	1.1	5.46	-	0.58	1.04	y < dc	2.01	0.84	1.90	1.7 < Fr < 3, Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
9	2.4	x	1.5	7.80	0.46	1.85	1.6	5	9.0	1.00	-	2.50	-	-	-	-	-	-		
9	2.4	x	1.5	7.80	0.46	1.85	1.6	5	18.0	0.50	1.1	5.25	-	0.55	0.83	y < dc	1.71	0.71	1.98	1.7 < Fr < 3, Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
9	2.4	x	1.5	7.80	0.46	1.85	1.6	5	18.0	0.50	1.1	5.25	-	0.55	0.83	y < dc	1.71	0.71	1.98	1.7 < Fr < 3, Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
9	2.4	x	1.5	7.80	0.46	1.85	1.6	5	18.0	0.50	1.1	5.25	-	0.55	0.83	y < dc	1.71	0.71	1.98	1.7 < Fr < 3, Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
6	2.4	x	1.2	7.20	0.40	1.60	2.0	4.5	6.0	1.00	-	2.08	-	-	-	-	-	-		
6	2.4	x	1.2	7.20	0.40	1.60	2.0	4.5	13.0	0.46	1.2	5.54	-	0.83	1.00	y > dc	1.08	0.45	2.63	1.7 < Fr < 3, Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
6	2.4	x	1.2	7.20	0.40	1.60	2.0	4.5	13.0	0.46	1.2	5.54	-	0.83	1.00	y > dc	1.08	0.45	2.63	1.7 < Fr < 3, Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
6	2.4	x	1.2	7.20	0.40	1.60	2.0	4.5	13.0	0.46	1.2	5.54	-	0.83	1.00	y > dc	1.08	0.45	2.63	1.7 < Fr < 3, Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
12	2.1	x	2.1	8.40	0.53	2.10	1.0	5.3	23.4	0.51	-	-	-	-	-	-	-	-		
12	2.1	x	2.1	8.40	0.53	2.10	1.0	5.3	23.4	0.51	1.1	5.62	-	0.60	1.26	y < dc	2.14	1.02	1.78	1.7 < Fr < 3, Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
12	2.1	x	2.1	8.40	0.53	2.10	1.0	5.3	23.4	0.51	1.1	5.62	-	0.60	1.26	y < dc	2.14	1.02	1.78	1.7 < Fr < 3, Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
12	2.1	x	2.1	8.40	0.53	2.10	1.0	5.3	23.4	0.51	1.1	5.62	-	0.60	1.26	y < dc	2.14	1.02	1.78	1.7 < Fr < 3, Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ

ตาราง 9 (ต่อ)

ตารางคำนวณหาขนาดท่อออกเหลี่ยม																			
Inlet Control													Outlet Control , Hwo = H + ho - Lso				Hw_allow = D + 0.50 (m.)		
Q	B		D	Af=B.D	Q / B	Hwi / D	Hwi	H (m.)	Tw (m.)	dc	(dc+D) / 2	ho	Lso	Hwo	Hw_control	Hw_allow	Control Type		
(m³ / s)	(m.)		(m.)	(m²)		รูปที่11		รูปที่13	%of Hwa	รูปที่15		(m.)	(m.)	(m.)	(m.)	(m.)			
9.5	2.1	x	1.8	3.78	4.52	1.25	2.25	0.5	80%Hwa	1.84	1.30	1.55	Tw >= D	1.84	0.1	2.24	2.25	2.30	Inlet
9.5	2.1	x	1.8	3.78	4.52	1.25	2.25	0.5	60%Hwa	1.38	1.30	1.55	Tw < D	1.55	0.1	1.95	2.25	2.30	Inlet
9.5	2.1	x	1.8	3.78	4.52	1.25	2.25	0.5	40%Hwa	0.92	1.30	1.55	Tw < D	1.55	0.1	1.95	2.25	2.30	Inlet
9.5	2.1	x	1.8	3.78	4.52	1.25	2.25	0.5	20%Hwa	0.46	1.30	1.55	Tw < D	1.55	0.1	1.95	2.25	2.30	Inlet
7.5	2.1	x	1.5	3.15	3.57	1.27	1.91	0.45	80%Hwa	1.60	1.10	1.30	Tw >= D	1.6	0.1	1.95	1.95	2.00	Outlet
7.5	2.1	x	1.5	3.15	3.57	1.27	1.91	0.45	60%Hwa	1.20	1.10	1.30	Tw < D	1.3	0.1	1.65	1.91	2.00	Inlet
7.5	2.1	x	1.5	3.15	3.57	1.27	1.91	0.45	40%Hwa	0.80	1.10	1.30	Tw < D	1.3	0.1	1.65	1.91	2.00	Inlet
7.5	2.1	x	1.5	3.15	3.57	1.27	1.91	0.45	20%Hwa	0.40	1.10	1.30	Tw < D	1.3	0.1	1.65	1.91	2.00	Inlet
5.5	2.1	x	1.2	2.52	2.62	1.3	1.56	0.38	80%Hwa	1.36	0.88	1.04	Tw >= D	1.36	0.1	1.64	1.64	1.70	Outlet
5.5	2.1	x	1.2	2.52	2.62	1.3	1.56	0.38	60%Hwa	1.02	0.88	1.04	Tw < D	1.04	0.1	1.32	1.56	1.70	Inlet
5.5	2.1	x	1.2	2.52	2.62	1.3	1.56	0.38	40%Hwa	0.68	0.88	1.04	Tw < D	1.04	0.1	1.32	1.56	1.70	Inlet
5.5	2.1	x	1.2	2.52	2.62	1.3	1.56	0.38	20%Hwa	0.34	0.88	1.04	Tw < D	1.04	0.1	1.32	1.56	1.70	Inlet
8	1.8	x	1.8	3.24	4.44	1.23	2.21	0.49	80%Hwa	1.84	1.25	1.53	Tw >= D	1.84	0.1	2.23	2.23	2.30	Outlet
8	1.8	x	1.8	3.24	4.44	1.23	2.21	0.49	60%Hwa	1.38	1.25	1.53	Tw < D	1.525	0.1	1.92	2.21	2.30	Inlet
8	1.8	x	1.8	3.24	4.44	1.23	2.21	0.49	40%Hwa	0.92	1.25	1.53	Tw < D	1.525	0.1	1.92	2.21	2.30	Inlet
8	1.8	x	1.8	3.24	4.44	1.23	2.21	0.49	20%Hwa	0.46	1.25	1.53	Tw < D	1.525	0.1	1.92	2.21	2.30	Inlet

Q	B	D	P=2(B+D)	R=Af / P	Do=4R	B / D	Vf	Qf=Vf.Af	Q / Qf	V / Vf	V	V_full	y / D	y	Ac	Dc	Fr	Comments <sup>5</sup>		
(m³ / s)	(m.)	(m.)	(m.)	(m.)	<=2.5		รูปที่16	<=1.20	รูปที่18		Vmax< 6 m/s	รูปที่18	(m.)		(m.)					
9.5	2.1	x	1.8	7.80	0.48	1.94	1.2	5.1	19.3	0.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9.5	2.1	x	1.8	7.80	0.48	1.94	1.2	5.1	19.3	0.49	1.1	5.41	-	0.60	1.08	y < dc	1.76	0.84	1.89	1.7<Fr<3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
9.5	2.1	x	1.8	7.80	0.48	1.94	1.2	5.1	19.3	0.49	1.1	5.41	-	0.60	1.08	y < dc	1.76	0.84	1.89	1.7<Fr<3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
9.5	2.1	x	1.8	7.80	0.48	1.94	1.2	5.1	19.3	0.49	1.1	5.41	-	0.60	1.08	y < dc	1.76	0.84	1.89	1.7<Fr<3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
7.5	2.1	x	1.5	7.20	0.44	1.75	1.4	4.7	7.5	1.00	-	2.38	-	-	-	-	-	-	-	
7.5	2.1	x	1.5	7.20	0.44	1.75	1.4	4.7	14.8	0.51	1.1	5.08	-	0.62	0.93	y < dc	1.48	0.70	1.93	1.7<Fr<3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
7.5	2.1	x	1.5	7.20	0.44	1.75	1.4	4.7	14.8	0.51	1.1	5.08	-	0.62	0.93	y < dc	1.48	0.70	1.93	1.7<Fr<3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
7.5	2.1	x	1.5	7.20	0.44	1.75	1.4	4.7	14.8	0.51	1.1	5.08	-	0.62	0.93	y < dc	1.48	0.70	1.93	1.7<Fr<3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
5.5	2.1	x	1.2	6.60	0.38	1.53	1.8	4.9	5.5	1.00	-	2.18	-	-	-	-	-	-	-	
5.5	2.1	x	1.2	6.60	0.38	1.53	1.8	4.9	12.3	0.45	1.2	5.98	-	0.82	0.98	y > dc	0.92	0.44	2.88	1.7<Fr<3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
5.5	2.1	x	1.2	6.60	0.38	1.53	1.8	4.9	12.3	0.45	1.2	5.98	-	0.82	0.98	y > dc	0.92	0.44	2.88	1.7<Fr<3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
5.5	2.1	x	1.2	6.60	0.38	1.53	1.8	4.9	12.3	0.45	1.2	5.98	-	0.82	0.98	y > dc	0.92	0.44	2.88	1.7<Fr<3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
8	1.8	x	1.8	7.20	0.45	1.80	1.0	4.8	8.0	1.00	-	2.47	-	-	-	-	-	-	-	
8	1.8	x	1.8	7.20	0.45	1.80	1.0	4.8	15.6	0.51	1.1	5.18	-	0.65	1.17	y < dc	1.54	0.86	1.79	1.7<Fr<3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
8	1.8	x	1.8	7.20	0.45	1.80	1.0	4.8	15.6	0.51	1.1	5.18	-	0.65	1.17	y < dc	1.54	0.86	1.79	1.7<Fr<3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
8	1.8	x	1.8	7.20	0.45	1.80	1.0	4.8	15.6	0.51	1.1	5.18	-	0.65	1.17	y < dc	1.54	0.86	1.79	1.7<Fr<3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ

ตาราง 9 (ต่อ)

ตารางคำนวณขนาดท่อลอดเหลี่ยม																			
Inlet Control										Outlet Control , Hwo = H + ho - Lso							Hw_allow = D + 0.50 (m.)		Control Type
Q	B	D	Af=B.D	Q / B	Hwi / D	Hwi	H (m.)	Tw (m.)	dc	(dc+D) / 2	ho	Lso	Hwo	Hw_control	Hw_allow				
(m³ / s)	(m.)	(m.)	(m²)		รูปที่11	รูปที่13	% of Hwa	รูปที่15			(m.)	(m.)	(m.)	(m.)	(m.)				
6.5	1.8	x	1.5	2.7	3.61	1.25	1.88	0.46	80%Hwa	1.60	1.10	1.30	Tw >= D	1.6	0.1	1.96	1.96	2.00	Outlet
6.5	1.8	x	1.5	2.7	3.61	1.25	1.88	0.46	60%Hwa	1.20	1.10	1.30	Tw < D	1.3	0.1	1.66	1.88	2.00	Inlet
6.5	1.8	x	1.5	2.7	3.61	1.25	1.88	0.46	40%Hwa	0.80	1.10	1.30	Tw < D	1.3	0.1	1.66	1.88	2.00	Inlet
6.5	1.8	x	1.5	2.7	3.61	1.25	1.88	0.46	20%Hwa	0.40	1.10	1.30	Tw < D	1.3	0.1	1.66	1.88	2.00	Inlet
5	1.8	x	1.2	2.16	2.78	1.4	1.68	0.44	80%Hwa	1.36	0.88	1.04	Tw >= D	1.36	0.1	1.70	1.70	1.70	Outlet
5	1.8	x	1.2	2.16	2.78	1.4	1.68	0.44	60%Hwa	1.02	0.88	1.04	Tw < D	1.04	0.1	1.38	1.68	1.70	Inlet
5	1.8	x	1.2	2.16	2.78	1.4	1.68	0.44	40%Hwa	0.68	0.88	1.04	Tw < D	1.04	0.1	1.38	1.68	1.70	Inlet
5	1.8	x	1.2	2.16	2.78	1.4	1.68	0.44	20%Hwa	0.34	0.88	1.04	Tw < D	1.04	0.1	1.38	1.68	1.70	Inlet
5.5	1.5	x	1.5	2.25	3.67	1.28	1.92	0.47	80%Hwa	1.60	1.10	1.30	Tw >= D	1.6	0.1	1.97	1.97	2.00	Outlet
5.5	1.5	x	1.5	2.25	3.67	1.28	1.92	0.47	60%Hwa	1.20	1.10	1.30	Tw < D	1.3	0.1	1.67	1.92	2.00	Inlet
5.5	1.5	x	1.5	2.25	3.67	1.28	1.92	0.47	40%Hwa	0.80	1.10	1.30	Tw < D	1.3	0.1	1.67	1.92	2.00	Inlet
5.5	1.5	x	1.5	2.25	3.67	1.28	1.92	0.47	20%Hwa	0.40	1.10	1.30	Tw < D	1.3	0.1	1.67	1.92	2.00	Inlet
4	1.5	x	1.2	1.8	2.67	1.35	1.62	0.4	80%Hwa	1.36	0.90	1.05	Tw >= D	1.36	0.1	1.66	1.66	1.70	Outlet
4	1.5	x	1.2	1.8	2.67	1.35	1.62	0.4	60%Hwa	1.02	0.90	1.05	Tw < D	1.05	0.1	1.35	1.62	1.70	Inlet
4	1.5	x	1.2	1.8	2.67	1.35	1.62	0.4	40%Hwa	0.68	0.90	1.05	Tw < D	1.05	0.1	1.35	1.62	1.70	Inlet
4	1.5	x	1.2	1.8	2.67	1.35	1.62	0.4	20%Hwa	0.34	0.90	1.05	Tw < D	1.05	0.1	1.35	1.62	1.70	Inlet

Q	B	D	P=2(B+D)	R=Af / P	Do=4R	B / D	Vf	Qf=Vf.Af	Q / Qf	V / Vf	V	V_full	y / D	y	Ac	Dc	Fr	Comments <sup>5</sup>		
(m³ / s)	(m.)	(m.)	(m.)	(m.)	<=2.5	รูปที่16	<=1.20	รูปที่18	Vmax< 6 m/s	รูปที่18	(m.)	(m.)	(m.)	(m.)	(m.)	(m.)				
6.5	1.8	x	1.5	6.60	0.41	1.64	1.2	4.7	6.5	1.00	-	2.41	-	-	-	-	-	-		
6.5	1.8	x	1.5	6.60	0.41	1.64	1.2	4.7	12.7	0.51	1.1	4.98	-	0.59	0.89	y < dc	1.30	0.72	1.87	1.7<Frc3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
6.5	1.8	x	1.5	6.60	0.41	1.64	1.2	4.7	12.7	0.51	1.1	4.98	-	0.59	0.89	y < dc	1.30	0.72	1.87	1.7<Frc3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
6.5	1.8	x	1.5	6.60	0.41	1.64	1.2	4.7	12.7	0.51	1.1	4.98	-	0.59	0.89	y < dc	1.30	0.72	1.87	1.7<Frc3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
5	1.8	x	1.2	6.00	0.36	1.44	1.5	4.3	5.0	1.00	-	2.31	-	-	-	-	-	-		
5	1.8	x	1.2	6.00	0.36	1.44	1.5	4.3	9.3	0.54	1.2	5.16	-	0.83	1.00	y > dc	0.97	0.54	2.25	1.7<Frc3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
5	1.8	x	1.2	6.00	0.36	1.44	1.5	4.3	9.3	0.54	1.2	5.16	-	0.83	1.00	y > dc	0.97	0.54	2.25	1.7<Frc3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
5	1.8	x	1.2	6.00	0.36	1.44	1.5	4.3	9.3	0.54	1.2	5.16	-	0.83	1.00	y > dc	0.97	0.54	2.25	1.7<Frc3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
5.5	1.5	x	1.5	6.00	0.38	1.50	1.0	4.3	5.5	1.00	-	2.44	-	-	-	-	-	-		
5.5	1.5	x	1.5	6.00	0.38	1.50	1.0	4.3	9.7	0.57	1.1	4.90	-	0.85	1.28	y > dc	1.12	0.75	1.81	1.7<Frc3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
5.5	1.5	x	1.5	6.00	0.38	1.50	1.0	4.3	9.7	0.57	1.1	4.90	-	0.85	1.28	y > dc	1.12	0.75	1.81	1.7<Frc3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
5.5	1.5	x	1.5	6.00	0.38	1.50	1.0	4.3	9.7	0.57	1.1	4.90	-	0.85	1.28	y > dc	1.12	0.75	1.81	1.7<Frc3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
4	1.5	x	1.2	5.40	0.33	1.33	1.3	4	4.0	1.00	-	2.22	-	-	-	-	-	-		
4	1.5	x	1.2	5.40	0.33	1.33	1.3	4	7.2	0.56	1.2	4.76	-	0.84	1.01	y > dc	0.84	0.56	2.03	1.7<Frc3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
4	1.5	x	1.2	5.40	0.33	1.33	1.3	4	7.2	0.56	1.2	4.76	-	0.84	1.01	y > dc	0.84	0.56	2.03	1.7<Frc3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ
4	1.5	x	1.2	5.40	0.33	1.33	1.3	4	7.2	0.56	1.2	4.76	-	0.84	1.01	y > dc	0.84	0.56	2.03	1.7<Frc3,Head+Endwall+เรียงหินปากท่อ

ตาราง 9 (ต่อ)

ตารางคำนวณหาขนาดท่อออกลม													Hw <sub>allow</sub> = D + 0.50 (m.)		
Q (m <sup>3</sup> /s)	D (m.)	Inlet Control		Outlet Control , H <sub>wo</sub> = H + h <sub>o</sub> - L <sub>so</sub>								H <sub>wo</sub> (m.)	Hw-control (m.)	Hw-allow (m.)	control
		H <sub>wi</sub> / D	H <sub>wi</sub>	H	Tw (m.)	dc	(dc+D) / 2	ho	L <sub>so</sub>						
		รูปที่10	รูปที่12	% of H <sub>w</sub> -allow	รูปที่14										
3	1.20	1.36	1.632	0.62	80%H <sub>w</sub>	1.36	0.93	1.065	Tw >= D	1.36	0.1	1.88	> H <sub>w</sub> -allow	1.70	Try Larger D
3	1.20	1.36	1.632	0.62	60%H <sub>w</sub>	1.02	0.93	1.065	Tw < D	1.065	0.1	1.585	1.59	1.70	Inlet
3	1.20	1.36	1.632	0.62	40%H <sub>w</sub>	0.68	0.93	1.065	Tw < D	1.065	0.1	1.585	1.59	1.70	Inlet
3	1.20	1.36	1.632	0.62	20%H <sub>w</sub>	0.34	0.93	1.065	Tw < D	1.065	0.1	1.585	1.59	1.70	Inlet
2.5	1.20	1.17	1.404	0.32	80%H <sub>w</sub>	1.36	0.81	1.005	Tw >= D	1.36	0.1	1.58	1.58	1.70	Outlet
2.5	1.20	1.17	1.404	0.32	60%H <sub>w</sub>	1.02	0.81	1.005	Tw < D	1.02	0.1	1.24	1.24	1.70	Inlet
2.5	1.20	1.17	1.404	0.32	40%H <sub>w</sub>	0.68	0.81	1.005	Tw < D	1.005	0.1	1.225	1.25	1.70	Inlet
2.5	1.20	1.17	1.404	0.32	20%H <sub>w</sub>	0.34	0.81	1.005	Tw < D	1.005	0.1	1.225	1.25	1.70	Inlet
1.5	1.00	1.11	1.11	0.26	80%H <sub>w</sub>	1.20	0.66	0.83	Tw >= D	1.2	0.1	1.36	1.36	1.50	Outlet
1.5	1.00	1.11	1.11	0.26	60%H <sub>w</sub>	0.90	0.66	0.83	Tw < D	0.9	0.1	1.06	1.11	1.50	Inlet
1.5	1.00	1.11	1.11	0.26	40%H <sub>w</sub>	0.60	0.66	0.83	Tw < D	0.83	0.1	0.99	1.11	1.50	Inlet
1.5	1.00	1.11	1.11	0.26	20%H <sub>w</sub>	0.30	0.66	0.83	Tw < D	0.83	0.1	0.99	1.11	1.50	Inlet
0.75	0.80	1	0.8	0.16	80%H <sub>w</sub>	1.04	0.5	0.65	Tw >= D	1.04	0.1	1.1	1.10	1.30	Outlet
0.75	0.80	1	0.8	0.16	60%H <sub>w</sub>	0.78	0.5	0.65	Tw < D	0.78	0.1	0.84	1.00	1.30	Outlet
0.75	0.80	1	0.8	0.16	40%H <sub>w</sub>	0.52	0.5	0.65	Tw < D	0.65	0.1	0.71	1.00	1.30	Inlet
0.75	0.80	1	0.8	0.16	20%H <sub>w</sub>	0.26	0.5	0.65	Tw < D	0.65	0.1	0.71	1.00	1.30	Inlet

Q	D	A <sub>f</sub>	Q <sub>f</sub>	V <sub>f</sub>	Q / Q <sub>f</sub>	V / V <sub>f</sub>	y / D	y	Outlet V	D	V <sub>inlet</sub>	y-D/2	D/2-y	θ / 2	T <sub>c</sub>	A <sub>c</sub>	D <sub>c</sub>	Fr	Comments <sup>5</sup>	
(m <sup>3</sup> /s)	(m.)	(m <sup>2</sup> )	รูปที่16	<=1.075	รูปที่17	(m.)			V partial	(m.)	Vf=QA	(m.)	(m.)	Degree	(m.)	(m <sup>2</sup> )	(m.)			
3	1.20	1.131	4.25	3.75	0.71	1.08	0.62	0.744	y < dc	1.20	2.65	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1.20	1.131	4.25	3.75	0.71	1.08	0.62	0.744	y < dc	4.05	1.20	-	0.14	-	76.11	1.16	0.74	0.64	1.62	Fr<1.7,Head-Endwall
3	1.20	1.131	4.25	3.75	0.71	1.08	0.62	0.744	y < dc	4.05	1.20	-	0.14	-	76.11	1.16	0.74	0.64	1.62	Fr<1.7,Head-Endwall
3	1.20	1.131	4.25	3.75	0.71	1.08	0.62	0.744	y < dc	4.05	1.20	-	0.14	-	76.11	1.16	0.74	0.64	1.62	Fr<1.7,Head-Endwall
2.5	1.20	1.131	4.25	3.75	0.59	1.08	0.62	0.744	y < dc	1.20	2.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.5	1.20	1.131	4.25	3.75	0.59	1.08	0.62	0.744	y < dc	4.05	1.20	-	0.14	-	76.11	1.16	0.62	0.53	1.78	1.7<Fr<3,Head-Endwall+สี่เหลี่ยมทrape
2.5	1.20	1.131	4.25	3.75	0.59	1.08	0.62	0.744	y < dc	4.05	1.20	-	0.14	-	76.11	1.16	0.62	0.53	1.78	1.7<Fr<3,Head-Endwall+สี่เหลี่ยมทrape
2.5	1.20	1.131	4.25	3.75	0.59	1.08	0.62	0.744	y < dc	4.05	1.20	-	0.14	-	76.11	1.16	0.62	0.53	1.78	1.7<Fr<3,Head-Endwall+สี่เหลี่ยมทrape
1.5	1.00	0.7854	2.6	3.4	0.58	1.13	0.75	0.75	y > dc	1.00	1.91	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	1.00	0.7854	2.6	3.4	0.58	1.13	0.75	0.75	y > dc	3.84	1.00	-	0.25	-	60.00	0.87	0.39	0.45	1.83	1.7<Fr<3,Head-Endwall+สี่เหลี่ยมทrape
1.5	1.00	0.7854	2.6	3.4	0.58	1.13	0.75	0.75	y > dc	3.84	1.00	-	0.25	-	60.00	0.87	0.39	0.45	1.83	1.7<Fr<3,Head-Endwall+สี่เหลี่ยมทrape
1.5	1.00	0.7854	2.6	3.4	0.58	1.13	0.75	0.75	y > dc	3.84	1.00	-	0.25	-	60.00	0.87	0.39	0.45	1.83	1.7<Fr<3,Head-Endwall+สี่เหลี่ยมทrape
0.75	0.80	0.5027	1.45	2.9	0.52	1.14	0.79	0.632	y > dc	0.80	1.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.75	0.80	0.5027	1.45	2.9	0.52	1.14	0.79	0.632	y > dc	0.80	1.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.75	0.80	0.5027	1.45	2.9	0.52	1.14	0.79	0.632	y > dc	3.31	0.80	-	0.23	-	54.55	0.65	0.23	0.35	1.79	1.7<Fr<3,Head-Endwall+สี่เหลี่ยมทrape
0.75	0.80	0.5027	1.45	2.9	0.52	1.14	0.79	0.632	y > dc	3.31	0.80	-	0.23	-	54.55	0.65	0.23	0.35	1.79	1.7<Fr<3,Head-Endwall+สี่เหลี่ยมทrape

ตาราง 9 (ต่อ)

ตารางคำนวณหาขนาดท่อลอดกลม													Hw <sub>allow</sub> = D + 0.50 (m.)				
Inlet Control				Outlet Control , Hwo = H + ho - Lso									Hw-control		Hw-allow		control
Q	D	Hwi / D	Hwi	H	Tw (m.)	dc	(dc+D) / 2	ho	Lso	Hwo	(m.)	(m.)	(m.)	(m.)	(m.)	(m.)	
(m <sup>3</sup> / s)	(m.)	รูปที่10	รูปที่12	รูปที่12	%of Hw-allow	รูปที่14		(m.)	(m.)	(m.)							
0.4	0.60	1.05	0.63	0.15	80%Hwa	0.88	0.38	0.49	Tw >= D	0.88	0.1	0.93	1.05	1.10	Outlet		
0.4	0.60	1.05	0.63	0.15	60%Hwa	0.66	0.38	0.49	Tw >= D	0.66	0.1	0.71	1.05	1.10	Outlet		
0.4	0.60	1.05	0.63	0.15	40%Hwa	0.44	0.38	0.49	Tw < D	0.49	0.1	0.54	1.05	1.10	Inlet		
0.4	0.60	1.05	0.63	0.15	20%Hwa	0.22	0.38	0.49	Tw < D	0.49	0.1	0.54	1.05	1.10	Inlet		

Q	D	Af	Of	Vf	O / Of	V / Vf	y / D	y	Outlet V	D	Vtuf	y-D/2	D/2-y	θ / 2	Tc	Ac	Dc	Fr	Comments <sup>5</sup>	
(m <sup>3</sup> / s)	(m.)	(m <sup>2</sup> )	รูปที่16	รูปที่16	<= 1.075	รูปที่17	รูปที่17	(m.)	V partial < 6 m/s	(m.)	Vf-Q/A < 6 m/s	(m.)	(m.)	Degree	(m.)	(m <sup>2</sup> )	(m.)			
0.4	0.60	0.2827	0.7	2.5	0.57	1.14	0.82	0.492	y > dc	0.60	1.41	-	-	-	-	-	-	-	-	
0.4	0.60	0.2827	0.7	2.5	0.57	1.14	0.82	0.492	y > dc	0.60	1.41	-	-	-	-	-	-	-	-	
0.4	0.60	0.2827	0.7	2.5	0.57	1.14	0.82	0.492	y > dc	2.85	0.60	-	0.19	-	50.21	0.46	0.14	0.30	1.65	Fr<1.7;Head+Endwall
0.4	0.60	0.2827	0.7	2.5	0.57	1.14	0.82	0.492	y > dc	2.85	0.60	-	0.19	-	50.21	0.46	0.14	0.30	1.65	Fr<1.7;Head+Endwall

ตาราง 10 แสดงคำนวณหาขนาดท่อลอดกลมที่อัตราการไหลขนาดต่าง ๆ

ตารางคำนวณหาขนาดท่อลอดกลม									
ที่อัตราการไหลขนาดต่าง ๆ									
Rational Formula ; Q = 0.278.CIA					Kirpich Equation , tc = 0.02 L <sup>0.77</sup> . S <sup>-0.385</sup>				
diff EL(m.)	L (m.)	S	tc(min)	C	I (mm/ hr)	A (sq.km)	Q (cu.m./s)	S = diff Elev / L	
3	200	0.015	6	0.4	180	0.04	0.8	l - 25 year	mm. / hr
3	400	0.008	13	0.4	120	0.16	2.1	L	m.
3	600	0.005	21	0.4	115	0.36	4.6	A=L <sup>2</sup>	sq.km.
3	800	0.004	30	0.4	110	0.64	7.8	Q=25 year	cu.m./ s
3	1200	0.003	47	0.4	100	1.44	16.0		

Assume	Tw = 0.8 , 0.6 , 0.4 , 0.2 * Hwa	ke =	0.2	y < dc . Supercritical flow .		
Tw < D ; dc < D ; ho = max (dc+D) / 2 or Tw	L =	10	m.	y > dc . Subcritical flow .	Ac = Q / V	cos (θ/2) = (y - D/2) / (D/2) ; y >= D/2
Tw < D ; dc >= D ; dc = D ; ho = (dc+D)/2+D	So =	0.01		Dc = Ac / Tc		cos (θ/2) = (D/2 - y) / (D/2) ; y < D/2
Tw >= D ; ho = Tw			Froude number.	Fr = Vpart / √(g.Dc)		sin (θ/2) = (Tc / 2) / (D/2) ; Tc = Dc . sin(θ/2)

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบเพื่อหาอัตราการไหลของน้ำลอดผ่านถนนที่ปริมาณลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีกับประสิทธิภาพของหน้าตัดที่รับน้ำได้ สรุปเป็นตาราง ดังนี้

ตาราง 11 แสดงท่อลอดเหลี่ยม คสล. (Box Culverts) เรียงตามหมายเลขท่อ

หมายเลขท่อ	B (m.)		D (m.)	Af=B.D (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> / s) 1cell	ราคาต้นทุน 10ม.** Headwall 2 ช่อง
1	2.7	x	2.4	6.48	18	650,844
2	2.4	x	2.4	5.76	16	498,332
3	2.4	x	2.1	5.04	13.5	468,582
4	2.4	x	1.8	4.32	11	441,021
5	2.4	x	1.5	3.6	9	420,242
6	2.4	x	1.2	2.88	6	397,763
7	2.1	x	2.1	4.41	12	450,430
8	2.1	x	1.8	3.78	9.5	424,566
9	2.1	x	1.5	3.15	7.5	402,292
10	2.1	x	1.2	2.52	5.5	380,774
11	1.8	x	1.8	3.24	8	408,018
12	1.8	x	1.5	2.7	6.5	385,812
13	1.8	x	1.2	2.16	5	364,900
14	1.5	x	1.5	2.25	5.5	365,755
15	1.5	x	1.2	1.8	4	364,343
16	1.2	x	1.2	1.44	3	335,900

ตาราง 12 แสดงท่อลอดเหลี่ยม คสล.(Box Culverts) เรียงตามราคา

หมายเลขท่อ	B (m.)		D (m.)	Af=B.D (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> / s) 1cell
1	2.7	x	2.4	6.48	18
2	2.4	x	2.4	5.76	16
3	2.4	x	2.1	5.04	13.5
7	2.1	x	2.1	4.41	12
4	2.4	x	1.8	4.32	11
8	2.1	x	1.8	3.78	9.5
5	2.4	x	1.5	3.6	9
11	1.8	x	1.8	3.24	8
9	2.1	x	1.5	3.15	7.5
6	2.4	x	1.2	2.88	6
12	1.8	x	1.5	2.7	6.5
10	2.1	x	1.2	2.52	5.5
14	1.5	x	1.5	2.25	5.5
13	1.8	x	1.2	2.16	5
15	1.5	x	1.2	1.8	4
16	1.2	x	1.2	1.44	3

ตาราง 13 แสดงท่อลอดเหลี่ยม คสล.(Box Culverts) เรียงตามอัตราการไหล,Q

หมายเลขท่อ	B (m.)		D (m.)	Af=B.D (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> / s) 1cell	ราคาต้นทุน 10ม.** Headwall 2 ข้าง
1	2.7	x	2.4	6.48	18	650,844
2	2.4	x	2.4	5.76	16	498,332
3	2.4	x	2.1	5.04	13.5	468,582
7	2.1	x	2.1	4.41	12	450,430
4	2.4	x	1.8	4.32	11	441,021
8	2.1	x	1.8	3.78	9.5	424,566
5	2.4	x	1.5	3.6	9	420,242
11	1.8	x	1.8	3.24	8	408,018
9	2.1	x	1.5	3.15	7.5	402,292
12	1.8	x	1.5	2.7	6.5	385,812
6	2.4	x	1.2	2.88	6	397,763
10	2.1	x	1.2	2.52	5.5	380,774
14	1.5	x	1.5	2.25	5.5	365,755
13	1.8	x	1.2	2.16	5	364,900
15	1.5	x	1.2	1.8	4	364,343
16	1.2	x	1.2	1.44	3	335,900

ตาราง 14 แสดงท่อลอดเหลี่ยม คสล.(Box Culverts) เรียงตามขนาด พื้นที่หน้าตัดรับน้ำ

หมายเลข	B (m.)		D (m.)	Af=B.D (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> / s) 1cell	ราคาต้นทุน 10ม.** Headwall 2 ข้าง
1	2.7	x	2.4	6.48	18	650844
2	2.4	x	2.4	5.76	16	498332
3	2.4	x	2.1	5.04	13.5	468582
7	2.1	x	2.1	4.41	12	450430
4	2.4	x	1.8	4.32	11	441021
8	2.1	x	1.8	3.78	9.5	424566
5	2.4	x	1.5	3.6	9	420242
11	1.8	x	1.8	3.24	8	408018
9	2.1	x	1.5	3.15	7.5	402292
6	2.4	x	1.2	2.88	6	397763
12	1.8	x	1.5	2.7	6.5	385812
10	2.1	x	1.2	2.52	5.5	380774
14	1.5	x	1.5	2.25	5.5	365755
13	1.8	x	1.2	2.16	5	364900
15	1.5	x	1.2	1.8	4	364343
16	1.2	x	1.2	1.44	3	335900

ตาราง 15 แสดงท่อลอดกลม คสล.

D (m.)	Af (m <sup>2</sup> )	Q (m <sup>3</sup> / s)			ราคาต้นทุนท่อ คสล.ชั้น3 10m.Headwall 2 ข้าง**		
		1cell	2cell	3cell	1cell	2cell	3cell
1.20	1.13	3.0	6.0	9.0	53,512	107,024	160,536
1.00	0.79	2.4	4.8	7.2	42,458	84,916	127,374
0.80	0.50	1.4	2.8	4.2	34,153	68,306	102,459
0.60	0.28	0.7	1.4	2.1	26,345	52,690	79,035
** ราคาผลงานวางท่อ คสล.ชั้น 3 สำนักทางหลวงชนบทที่3(ชลบุรี) พศ.2555							

### ข้อเสนอแนะ

1. ราคาท่อแปรผันไปทางเดียวกับพื้นที่รับน้ำของหน้าตัดท่อ คือพื้นที่มาก ราคาสูงตาม
2. พื้นที่หน้าตัดและราคาท่อลอดเหลี่ยมหมายเลขที่14 น้อยกว่าท่อลอดเหลี่ยมหมายเลขที่10 แต่ประสิทธิภาพในการระบายน้ำเท่ากันที่ 5.5 ลบ.ม.ต่อวินาที เพราะเนื่องจากท่อลอดเหลี่ยมที่ 14 มีความสูงมากกว่า ดังนั้นท่อลอดเหลี่ยมที่มีขนาดพื้นที่รับน้ำใกล้เคียงกัน ควรเลือกท่อที่มีขนาดความสูงมากกว่า เนื่องจากได้จะประสิทธิภาพการรับน้ำสูงกว่าขณะที่ราคาใกล้เคียงกัน
3. ปริมาณน้ำอัตราการไหลลอดผ่านถนนต่ำกว่า 7.5 ลบ.ม.ต่อวินาที ควรใช้ท่อลอดกลมจะประหยัดกว่า แต่หากอัตราการไหลสูงกว่านี้ ต้องใช้ท่อลอดเหลี่ยม เนื่องจากเกินประสิทธิภาพการระบายของท่อลอดกลม
4. ถ้าอัตราการไหลสูงเกินจากประสิทธิภาพการระบายของท่อลอดเหลี่ยม ควรจะก่อสร้างอาคารระบายน้ำประเภทอื่นแทน เช่นสะพาน จะเหมาะสมกว่า

### ข้อเสนอแนะ

1. งานก่อสร้างทางที่ผิวทางสูงกว่าหลังท่อลอดเหลี่ยมมากกว่า 60 เซนติเมตร และผิวทางที่สูงกว่าหลังท่อลอดกลมเกิน 1 เมตร สามารถใช้ตารางความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับขนาดหน้าตัดท่อนี้ได้
2. งานก่อสร้างทางที่ผิวทางห่างจากหลังท่อลอดเหลี่ยมน้อยกว่า 60 เซนติเมตร และผิวทางที่ห่างจากหลังท่อลอดกลมน้อยกว่า 1 เมตร ไม่สามารถใช้ตารางความสัมพันธ์

ระหว่างอัตราการไหลกับขนาดหน้าตัดท่อนี้ได้ เนื่องจาก  $H_{wi} > H_{w \text{ allow}}$  ต้องขยายหน้าตัดท่อเพื่อลด  $H_{wi}$

3. กรณีที่วางท่อลอดถนนมีความยาวมากกว่า 20 เมตร ควรเพิ่มความลาด (Slope) เป็น 2% ขึ้นไป เพื่อทดแทนการสูญเสียพลังงานจากแรงเสียดทานภายในท่อ (Head loss)





บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

"Hydraulic Charts for the Selection of Highway Culverts," L.A. Herr and H.G. Bossy, HEC No. 5, Hydraulics Branch, Bridge Division, Office of Engineering, FHWA, Washington, D.C. 20590, 1965.

ลำดวน ศรีศักดิ์ดา (2527). วิศวกรรมทางหลวง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
ไพฑูรย์ กิติสุนทร (2552). ชลศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 1) กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

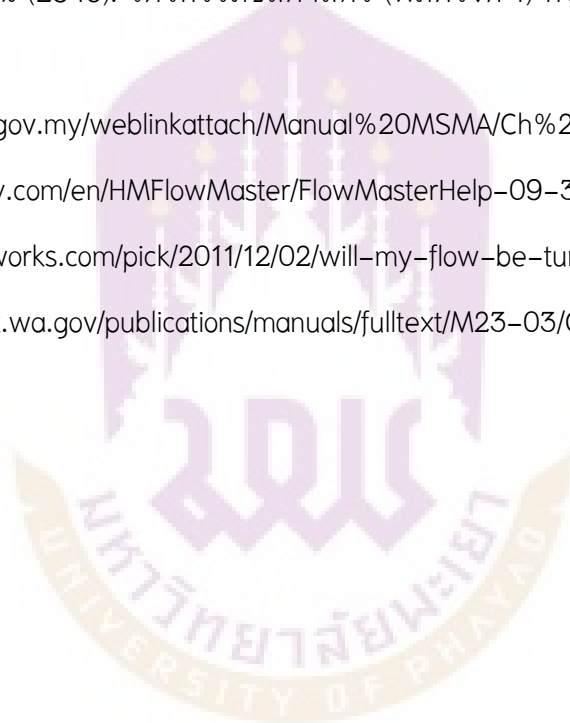
โชติโกร ไชยวิจารณ์ (2546). วิศวกรรมชลศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่ 1) กรุงเทพมหานคร สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

<http://jps.penang.gov.my/weblinkattach/Manual%20MSMA/Ch%2027%20-%20Culverts.pdf>

<http://docs.bentley.com/en/HMFlowMaster/FlowMasterHelp-09-3.html>

<http://blogs.mathworks.com/pick/2011/12/02/will-my-flow-be-turbulent/>

<http://www.wsdot.wa.gov/publications/manuals/fulltext/M23-03/Chapter3.pdf>





ภาคผนวก



(A) CONCRETE CRADLE BEDDING  
ขนาด: 1:20

(B) ORDINARY BEDDING  
ขนาด: 1:20

(C) BEDDING FOR ROCK OR UNYIELDING FOUNDATION  
ขนาด: 1:20

การวางตำแหน่งรถไฟบนรางแบบรางคู่ 9.00 เมตร

**ชนิดของราก**

1. ใต้ดินลึกกว่า 10 เมตร
2. ใต้ดินลึกกว่า 10-20 เมตร
3. ใต้ดินลึกกว่า 20-30 เมตร
4. ใต้ดินลึกกว่า 30-40 เมตร
5. ใต้ดินลึกกว่า 40-50 เมตร
6. ใต้ดินลึกกว่า 50-60 เมตร
7. ใต้ดินลึกกว่า 60-70 เมตร
8. ใต้ดินลึกกว่า 70-80 เมตร
9. ใต้ดินลึกกว่า 80-90 เมตร
10. ใต้ดินลึกกว่า 90-100 เมตร
11. ใต้ดินลึกกว่า 100-110 เมตร
12. ใต้ดินลึกกว่า 110-120 เมตร
13. ใต้ดินลึกกว่า 120-130 เมตร
14. ใต้ดินลึกกว่า 130-140 เมตร
15. ใต้ดินลึกกว่า 140-150 เมตร
16. ใต้ดินลึกกว่า 150-160 เมตร
17. ใต้ดินลึกกว่า 160-170 เมตร
18. ใต้ดินลึกกว่า 170-180 เมตร
19. ใต้ดินลึกกว่า 180-190 เมตร
20. ใต้ดินลึกกว่า 190-200 เมตร
21. ใต้ดินลึกกว่า 200-210 เมตร
22. ใต้ดินลึกกว่า 210-220 เมตร
23. ใต้ดินลึกกว่า 220-230 เมตร
24. ใต้ดินลึกกว่า 230-240 เมตร
25. ใต้ดินลึกกว่า 240-250 เมตร
26. ใต้ดินลึกกว่า 250-260 เมตร
27. ใต้ดินลึกกว่า 260-270 เมตร
28. ใต้ดินลึกกว่า 270-280 เมตร
29. ใต้ดินลึกกว่า 280-290 เมตร
30. ใต้ดินลึกกว่า 290-300 เมตร
31. ใต้ดินลึกกว่า 300-310 เมตร
32. ใต้ดินลึกกว่า 310-320 เมตร
33. ใต้ดินลึกกว่า 320-330 เมตร
34. ใต้ดินลึกกว่า 330-340 เมตร
35. ใต้ดินลึกกว่า 340-350 เมตร
36. ใต้ดินลึกกว่า 350-360 เมตร
37. ใต้ดินลึกกว่า 360-370 เมตร
38. ใต้ดินลึกกว่า 370-380 เมตร
39. ใต้ดินลึกกว่า 380-390 เมตร
40. ใต้ดินลึกกว่า 390-400 เมตร
41. ใต้ดินลึกกว่า 400-410 เมตร
42. ใต้ดินลึกกว่า 410-420 เมตร
43. ใต้ดินลึกกว่า 420-430 เมตร
44. ใต้ดินลึกกว่า 430-440 เมตร
45. ใต้ดินลึกกว่า 440-450 เมตร
46. ใต้ดินลึกกว่า 450-460 เมตร
47. ใต้ดินลึกกว่า 460-470 เมตร
48. ใต้ดินลึกกว่า 470-480 เมตร
49. ใต้ดินลึกกว่า 480-490 เมตร
50. ใต้ดินลึกกว่า 490-500 เมตร
51. ใต้ดินลึกกว่า 500-510 เมตร
52. ใต้ดินลึกกว่า 510-520 เมตร
53. ใต้ดินลึกกว่า 520-530 เมตร
54. ใต้ดินลึกกว่า 530-540 เมตร
55. ใต้ดินลึกกว่า 540-550 เมตร
56. ใต้ดินลึกกว่า 550-560 เมตร
57. ใต้ดินลึกกว่า 560-570 เมตร
58. ใต้ดินลึกกว่า 570-580 เมตร
59. ใต้ดินลึกกว่า 580-590 เมตร
60. ใต้ดินลึกกว่า 590-600 เมตร
61. ใต้ดินลึกกว่า 600-610 เมตร
62. ใต้ดินลึกกว่า 610-620 เมตร
63. ใต้ดินลึกกว่า 620-630 เมตร
64. ใต้ดินลึกกว่า 630-640 เมตร
65. ใต้ดินลึกกว่า 640-650 เมตร
66. ใต้ดินลึกกว่า 650-660 เมตร
67. ใต้ดินลึกกว่า 660-670 เมตร
68. ใต้ดินลึกกว่า 670-680 เมตร
69. ใต้ดินลึกกว่า 680-690 เมตร
70. ใต้ดินลึกกว่า 690-700 เมตร
71. ใต้ดินลึกกว่า 700-710 เมตร
72. ใต้ดินลึกกว่า 710-720 เมตร
73. ใต้ดินลึกกว่า 720-730 เมตร
74. ใต้ดินลึกกว่า 730-740 เมตร
75. ใต้ดินลึกกว่า 740-750 เมตร
76. ใต้ดินลึกกว่า 750-760 เมตร
77. ใต้ดินลึกกว่า 760-770 เมตร
78. ใต้ดินลึกกว่า 770-780 เมตร
79. ใต้ดินลึกกว่า 780-790 เมตร
80. ใต้ดินลึกกว่า 790-800 เมตร
81. ใต้ดินลึกกว่า 800-810 เมตร
82. ใต้ดินลึกกว่า 810-820 เมตร
83. ใต้ดินลึกกว่า 820-830 เมตร
84. ใต้ดินลึกกว่า 830-840 เมตร
85. ใต้ดินลึกกว่า 840-850 เมตร
86. ใต้ดินลึกกว่า 850-860 เมตร
87. ใต้ดินลึกกว่า 860-870 เมตร
88. ใต้ดินลึกกว่า 870-880 เมตร
89. ใต้ดินลึกกว่า 880-890 เมตร
90. ใต้ดินลึกกว่า 890-900 เมตร
91. ใต้ดินลึกกว่า 900-910 เมตร
92. ใต้ดินลึกกว่า 910-920 เมตร
93. ใต้ดินลึกกว่า 920-930 เมตร
94. ใต้ดินลึกกว่า 930-940 เมตร
95. ใต้ดินลึกกว่า 940-950 เมตร
96. ใต้ดินลึกกว่า 950-960 เมตร
97. ใต้ดินลึกกว่า 960-970 เมตร
98. ใต้ดินลึกกว่า 970-980 เมตร
99. ใต้ดินลึกกว่า 980-990 เมตร
100. ใต้ดินลึกกว่า 990-1000 เมตร

**ตาราง 1. ขนาดของรากตามความลึกของดิน**

ขนาดราก (ม.)	ความลึกดิน (ม.)	ขนาดราก (ม.)	ความลึกดิน (ม.)
0.75	0-10	1.00	10-20
0.80	10-20	1.25	20-30
0.85	20-30	1.50	30-40
0.90	30-40	1.75	40-50
0.95	40-50	2.00	50-60
1.00	50-60	2.25	60-70
1.05	60-70	2.50	70-80
1.10	70-80	2.75	80-90
1.15	80-90	3.00	90-100
1.20	90-100	3.25	100-110
1.25	100-110	3.50	110-120
1.30	110-120	3.75	120-130
1.35	120-130	4.00	130-140
1.40	130-140	4.25	140-150
1.45	140-150	4.50	150-160
1.50	150-160	4.75	160-170
1.55	160-170	5.00	170-180
1.60	170-180	5.25	180-190
1.65	180-190	5.50	190-200
1.70	190-200	5.75	200-210
1.75	200-210	6.00	210-220
1.80	210-220	6.25	220-230
1.85	220-230	6.50	230-240
1.90	230-240	6.75	240-250
1.95	240-250	7.00	250-260
2.00	250-260	7.25	260-270
2.05	260-270	7.50	270-280
2.10	270-280	7.75	280-290
2.15	280-290	8.00	290-300
2.20	290-300	8.25	300-310
2.25	300-310	8.50	310-320
2.30	310-320	8.75	320-330
2.35	320-330	9.00	330-340
2.40	330-340	9.25	340-350
2.45	340-350	9.50	350-360
2.50	350-360	9.75	360-370
2.55	360-370	10.00	370-380
2.60	370-380	10.25	380-390
2.65	380-390	10.50	390-400
2.70	390-400	10.75	400-410
2.75	400-410	11.00	410-420
2.80	410-420	11.25	420-430
2.85	420-430	11.50	430-440
2.90	430-440	11.75	440-450
2.95	440-450	12.00	450-460
3.00	450-460	12.25	460-470
3.05	460-470	12.50	470-480
3.10	470-480	12.75	480-490
3.15	480-490	13.00	490-500
3.20	490-500	13.25	500-510
3.25	500-510	13.50	510-520
3.30	510-520	13.75	520-530
3.35	520-530	14.00	530-540
3.40	530-540	14.25	540-550
3.45	540-550	14.50	550-560
3.50	550-560	14.75	560-570
3.55	560-570	15.00	570-580
3.60	570-580	15.25	580-590
3.65	580-590	15.50	590-600
3.70	590-600	15.75	600-610
3.75	600-610	16.00	610-620
3.80	610-620	16.25	620-630
3.85	620-630	16.50	630-640
3.90	630-640	16.75	640-650
3.95	640-650	17.00	650-660
4.00	650-660	17.25	660-670
4.05	660-670	17.50	670-680
4.10	670-680	17.75	680-690
4.15	680-690	18.00	690-700
4.20	690-700	18.25	700-710
4.25	700-710	18.50	710-720
4.30	710-720	18.75	720-730
4.35	720-730	19.00	730-740
4.40	730-740	19.25	740-750
4.45	740-750	19.50	750-760
4.50	750-760	19.75	760-770
4.55	760-770	20.00	770-780
4.60	770-780	20.25	780-790
4.65	780-790	20.50	790-800
4.70	790-800	20.75	800-810
4.75	800-810	21.00	810-820
4.80	810-820	21.25	820-830
4.85	820-830	21.50	830-840
4.90	830-840	21.75	840-850
4.95	840-850	22.00	850-860
5.00	850-860	22.25	860-870
5.05	860-870	22.50	870-880
5.10	870-880	22.75	880-890
5.15	880-890	23.00	890-900
5.20	890-900	23.25	900-910
5.25	900-910	23.50	910-920
5.30	910-920	23.75	920-930
5.35	920-930	24.00	930-940
5.40	930-940	24.25	940-950
5.45	940-950	24.50	950-960
5.50	950-960	24.75	960-970
5.55	960-970	25.00	970-980
5.60	970-980	25.25	980-990
5.65	980-990	25.50	990-1000
5.70	990-1000	25.75	
5.75		26.00	
5.80		26.25	
5.85		26.50	
5.90		26.75	
5.95		27.00	
6.00		27.25	
6.05		27.50	
6.10		27.75	
6.15		28.00	
6.20		28.25	
6.25		28.50	
6.30		28.75	
6.35		29.00	
6.40		29.25	
6.45		29.50	
6.50		29.75	
6.55		30.00	
6.60		30.25	
6.65		30.50	
6.70		30.75	
6.75		31.00	
6.80		31.25	
6.85		31.50	
6.90		31.75	
6.95		32.00	
7.00		32.25	
7.05		32.50	
7.10		32.75	
7.15		33.00	
7.20		33.25	
7.25		33.50	
7.30		33.75	
7.35		34.00	
7.40		34.25	
7.45		34.50	
7.50		34.75	
7.55		35.00	
7.60		35.25	
7.65		35.50	
7.70		35.75	
7.75		36.00	
7.80		36.25	
7.85		36.50	
7.90		36.75	
7.95		37.00	
8.00		37.25	
8.05		37.50	
8.10		37.75	
8.15		38.00	
8.20		38.25	
8.25		38.50	
8.30		38.75	
8.35		39.00	
8.40		39.25	
8.45		39.50	
8.50		39.75	
8.55		40.00	
8.60		40.25	
8.65		40.50	
8.70		40.75	
8.75		41.00	
8.80		41.25	
8.85		41.50	
8.90		41.75	
8.95		42.00	
9.00		42.25	
9.05		42.50	
9.10		42.75	
9.15		43.00	
9.20		43.25	
9.25		43.50	
9.30		43.75	
9.35		44.00	
9.40		44.25	
9.45		44.50	
9.50		44.75	
9.55		45.00	
9.60		45.25	
9.65		45.50	
9.70		45.75	
9.75		46.00	
9.80		46.25	
9.85		46.50	
9.90		46.75	
9.95		47.00	
10.00		47.25	

การวางตำแหน่งรถไฟบนรางแบบรางเดี่ยว TRENCH METHOD

กรมการขนส่งทางบก  
กองวิศวกรรมและเทคนิคการขนส่งทางราง

แบบร่างสถาปัตย์  
แบบร่างโครงสร้าง  
แบบร่างไฟฟ้า

นาย  
นาย  
นาย

นาย  
นาย  
นาย

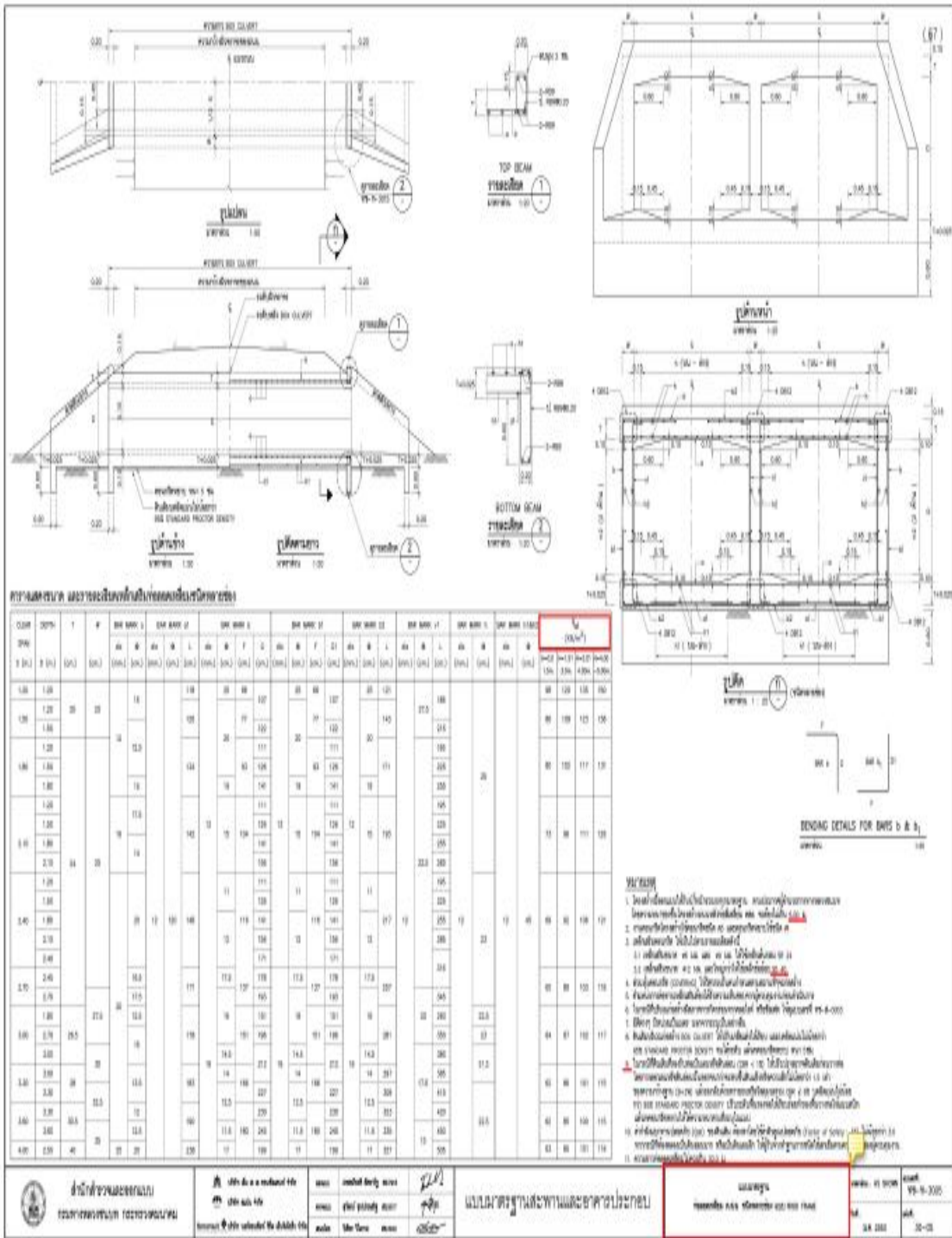
นาย  
นาย  
นาย

นาย  
นาย  
นาย

นาย  
นาย  
นาย







Technical drawings showing roof truss sections with labels for components like 'RAFTERS', 'PURLIN', and 'ROOF PANEL'. Scale: 1:10.

**ตารางขนาดไม้กระดาน**

SIZE OF SHEET	DIMENSIONS (IN)												NO. OF SHEETS	
1 x 8	1	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	100
10 x 10	10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	100
10 x 12	10	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	100
10 x 16	10	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176	192	100
10 x 20	10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	100
10 x 24	10	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240	264	288	100
10 x 30	10	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	100
10 x 36	10	36	72	108	144	180	216	252	288	324	360	396	432	100
10 x 42	10	42	84	126	168	210	252	294	336	378	420	462	504	100
10 x 48	10	48	96	144	192	240	288	336	384	432	480	528	576	100
10 x 54	10	54	108	162	216	270	324	378	432	486	540	594	648	100
10 x 60	10	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	100
10 x 66	10	66	132	198	264	330	396	462	528	594	660	726	792	100
10 x 72	10	72	144	216	288	360	432	504	576	648	720	792	864	100
10 x 78	10	78	156	234	312	390	468	546	624	702	780	858	936	100
10 x 84	10	84	168	252	336	420	504	588	672	756	840	924	1008	100
10 x 90	10	90	180	270	360	450	540	630	720	810	900	990	1080	100
10 x 96	10	96	192	288	384	480	576	672	768	864	960	1056	1152	100
10 x 102	10	102	204	306	408	510	612	714	816	918	1020	1122	1224	100
10 x 108	10	108	216	324	432	540	648	756	864	972	1080	1188	1296	100
10 x 114	10	114	228	342	456	570	684	798	912	1026	1140	1254	1368	100
10 x 120	10	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200	1320	1440	100

**ตารางขนาดไม้พื้น**

SIZE OF SHEET	DIMENSIONS (IN)										NO. OF SHEETS
1 x 8	1	8	16	24	32	40	48	56	64	72	100
10 x 10	10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10 x 12	10	12	24	36	48	60	72	84	96	108	100
10 x 16	10	16	32	48	64	80	96	112	128	144	100
10 x 20	10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	100
10 x 24	10	24	48	72	96	120	144	168	192	216	100
10 x 30	10	30	60	90	120	150	180	210	240	270	100
10 x 36	10	36	72	108	144	180	216	252	288	324	100
10 x 42	10	42	84	126	168	210	252	294	336	378	100
10 x 48	10	48	96	144	192	240	288	336	384	432	100
10 x 54	10	54	108	162	216	270	324	378	432	486	100
10 x 60	10	60	120	180	240	300	360	420	480	540	100
10 x 66	10	66	132	198	264	330	396	462	528	594	100
10 x 72	10	72	144	216	288	360	432	504	576	648	100
10 x 78	10	78	156	234	312	390	468	546	624	702	100
10 x 84	10	84	168	252	336	420	504	588	672	756	100
10 x 90	10	90	180	270	360	450	540	630	720	810	100
10 x 96	10	96	192	288	384	480	576	672	768	864	100
10 x 102	10	102	204	306	408	510	612	714	816	918	100
10 x 108	10	108	216	324	432	540	648	756	864	972	100

Technical drawings showing roof truss sections with labels for components like 'RAFTERS', 'PURLIN', and 'ROOF PANEL'. Scale: 1:10.

**หมายเหตุ**

- ใช้ไม้กระดานขนาด 10 x 12
- ใช้ไม้พื้นขนาด 10 x 12
- ใช้ไม้โครงขนาด 10 x 12
- ใช้ไม้โครงขนาด 10 x 12
- ใช้ไม้โครงขนาด 10 x 12

Technical drawings showing roof truss sections with labels for components like 'RAFTERS', 'PURLIN', and 'ROOF PANEL'. Scale: 1:10.

Technical drawings showing roof truss sections with labels for components like 'RAFTERS', 'PURLIN', and 'ROOF PANEL'. Scale: 1:10.

Technical drawings showing roof truss sections with labels for components like 'RAFTERS', 'PURLIN', and 'ROOF PANEL'. Scale: 1:10.

Technical drawings showing roof truss sections with labels for components like 'RAFTERS', 'PURLIN', and 'ROOF PANEL'. Scale: 1:10.

Technical drawings showing roof truss sections with labels for components like 'RAFTERS', 'PURLIN', and 'ROOF PANEL'. Scale: 1:10.

Technical drawings showing roof truss sections with labels for components like 'RAFTERS', 'PURLIN', and 'ROOF PANEL'. Scale: 1:10.

Technical drawings showing roof truss sections with labels for components like 'RAFTERS', 'PURLIN', and 'ROOF PANEL'. Scale: 1:10.

Technical drawings showing roof truss sections with labels for components like 'RAFTERS', 'PURLIN', and 'ROOF PANEL'. Scale: 1:10.

Technical drawings showing roof truss sections with labels for components like 'RAFTERS', 'PURLIN', and 'ROOF PANEL'. Scale: 1:10.









ปีงบประมาณ		แผนปฏิบัติการ																					
ปี	งบ	L	H	T	D	DEC 17			DEC 18			DEC 19			VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
						U	S	SI	U	S	SI	U	S	SI									
120	120	180	220	220	110	180	170	180	210	120	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
130	120	180	220	220	120	180	120	120	120	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	220	270	220	120	240	140	120	120	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
180	120	180	220	220	140	180	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	220	270	220	140	240	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	270	320	220	140	300	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
210	120	180	220	220	140	180	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	220	270	220	140	240	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	270	320	220	140	300	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	320	370	220	140	360	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
240	120	180	220	220	170	180	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	220	270	220	140	240	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	270	320	220	140	300	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	320	370	220	140	360	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	370	420	220	140	420	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
270	120	320	370	220	140	360	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	370	420	220	140	420	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
300	120	420	470	220	140	480	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	470	520	220	140	540	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	520	570	220	140	600	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
330	120	470	520	220	140	540	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	520	570	220	140	600	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
360	120	520	570	220	140	600	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
	120	570	620	220	140	660	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
420	120	570	620	220	140	660	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140

ประวัติผู้ศึกษาค้นคว้า



## ประวัติผู้ศึกษาค้นคว้า

ชื่อ นามสกุล	จตุรพิช นามสนิท
วัน เดือน ปี เกิด	14 มีนาคม 2516
ที่อยู่ปัจจุบัน	188 หมู่ที่ 9 ตำบล กระแสน อำเภอ แกลง จังหวัด ระยอง 21110
ที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักงานหลวงชนบทที่ 3 (ชลบุรี) เลขที่ 409 หมู่ 3 ตำบล หนองซาก อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี 20170
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน	วิศวกรโยธาชำนาญการ กลุ่มวิชาการและถ่ายทอดเทคโนโลยี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ.(โยธา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	พ.ศ. 2538

