



กรมชลประทาน
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

คู่มือการใช้แบบมาตรฐานท่อลอดถนน

ดำเนินการโดย
คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานอาคารระบบส่งน้ำและระบายน้ำ
กรกฎาคม 2550

คำนำ

เอกสารคู่มือการใช้แบบมาตรฐานท่อลอดถนน เป็นเอกสารที่ได้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือสำหรับวิศวกรและนายช่าง ที่ปฏิบัติงานในกรมชลประทานและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อจะได้นำแบบมาตรฐานชุดนี้ไปใช้ในการปฏิบัติงานให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ เป็นแนวทางเดียวกันตามวัตถุประสงค์ของกรมชลประทานที่ต้องการให้มีการกำหนดมาตรฐานในการปฏิบัติงานในด้านต่างๆขึ้น

คณะทำงานขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนเอกสารชุดนี้มีความสมบูรณ์

คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐาน
อาคารในระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำ

เรียน ประธานคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐาน

ตามคำสั่งของคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐานที่ 1/2547 เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานอาคารในระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำนั้น บัดนี้คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานอาคารในระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำ ได้ดำเนินการจัดทำคู่มือการใช้แบบมาตรฐานที่ออกจดนน เสร็จเรียบร้อยแล้ว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาดำเนินการต่อไป



(นายสุรพล ชูณหะวัต)

ประธานคณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐาน
อาคารในระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำ

เรียน อรช.

เพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติ



(นายพิรพงษ์ สุวรรณมนตรี)

รองอธิบดีฝ่ายวิชาการ

ประธานคณะกรรมการพิจารณาแบบมาตรฐาน

อนุมัติ



(นายสามารถ โชคคณาพิทักษ์)

อธิบดีกรมชลประทาน

8 กอ. ๕๑

สารบัญ

	หน้า
สารบัญภาพ	
สัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้	
คำชี้แจง	1
รูปแบบอาคาร	1
ข้อกำหนดการใช้งาน	2
ขั้นตอนการกำหนดมิติและระดับ	2
ตัวอย่างการออกแบบท่อลอดถนน	12
- การออกแบบท่อลอดถนน 1 แถว	12
- ตัวอย่างที่ 1 ท่อตรง 1 แถว Transition เอียง	12
- ตัวอย่างที่ 2 ท่อหักงอ 1 แถว Transition ตรง	18
- การออกแบบท่อลอดถนน 2 แถว	27
- ตัวอย่างที่ 3 ท่อตรง 2 แถว Transition ตรง	28
บรรณานุกรม	34

สารบัญภาพ

รายละเอียดภาพ	หน้า
รูปที่ 1 - กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากการหักงอท่อ	4
รูปที่ 2 - Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนน	5
- Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนน (ต่อ)	6
รูปที่ 3 - Flowchart แสดงขั้นตอนการเลือกชนิด Transition	7
รูปที่ 4 - ท่อชนิด ก1-1-1 ท่อตรง 1 แถว Transition ตรง ขนาด ϕ 0.50-0.80 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-001	8
รูปที่ 5 - ท่อชนิด ก1-1-2 ท่อตรง 1 แถว Transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-003	8
รูปที่ 6 - ท่อชนิด ก1-2-2 ท่อตรง 1 แถว Transition เอียง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-005	9
รูปที่ 7 - ท่อชนิด ก2-1-2 ท่อตรง 2 แถว Transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-007	9
รูปที่ 8 - ท่อชนิด ค1-1-1 ท่อหักงอ 1 แถว Transition ตรง ขนาด ϕ 0.50-0.80 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-009	10
รูปที่ 9 - ท่อชนิด ค1-1-2 ท่อหักงอ 1 แถว Transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-011	10
รูปที่ 10 - ท่อชนิด ค1-2-2 ท่อหักงอ 1 แถว Transition เอียง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-013	11
รูปที่ 11 - ท่อชนิด ก2-1-2 ท่อหักงอ 2 แถว Transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50 ม. แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-015	11
รูปที่ 12 - รูปตัดขวางถนนของตัวอย่างที่ 1	12
รูปที่ 13 - รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 2	18
รูปที่ 14 - รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 3	28

สัญลักษณ์และอักษรย่อที่ใช้

สัญลักษณ์

หรืออักษรย่อ

ความหมาย

h_{vp}	Velocity head ของน้ำที่ไหลภายในท่อ
h_{vc}	Velocity head ของน้ำที่ไหลในคลอง
Δh_v	ความต่างของ Velocity head ระหว่างจุดสองจุดที่อ้างอิง
g	อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ใช้เท่ากับ 9.81 เมตร/วินาที/วินาที
n	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning
R	Hydraulic radius รัศมีความโค้งของแนวท่อ
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ
ζ	สัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากการหักงอท่อ
H_{LA}	Head Loss ที่กำหนดไว้ในแบบคลอง
H_L	Head Loss ทั้งหมดของอาคารที่คำนวณได้
EL_{xx} *	ราคาดระดับตามจุดต่างๆที่กำหนดไว้ในแบบมาตรฐานที่อ้างอิงถึง
L_{xx} *	ความยาวของส่วนต่างๆ ของอาคารที่กำหนดไว้ในแบบมาตรฐานที่อ้างอิงถึง
U/S F.S.L.	ระดับน้ำสูงสุดด้านเหนือน้ำ
D/S F.S.L.	ระดับน้ำสูงสุดด้านท้ายน้ำ
Y_1	ความสูง Inlet Transition ตรง Cutoff
Y_2	ความสูง Outlet Transition ตรง Cutoff
a_1	ความสูง Headwall ของ Inlet Transition
a_2	ความสูง Headwall ของ Outlet Transition

* xx แทนตัวเลขต่างๆ ที่ปรากฏอยู่

คู่มือการใช้แบบมาตรฐานท่อลอดถนน

มฐ04 - 01

คำชี้แจง

คู่มือการใช้แบบมาตรฐานนี้ถูกจัดทำขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์ให้ผู้ใช้งานแบบมาตรฐานท่อลอดถนนชุด มฐ04 - 01 - xxx สามารถเลือกใช้แบบ กำหนดระดับและมิติต่าง ๆ ในแบบได้อย่างถูกต้อง ทฤษฎีและสมการต่างๆ จึงมีอยู่เฉพาะที่จำเป็น เพื่อให้ทราบในส่วนที่เกี่ยวข้องกับแบบเท่านั้น ดังนั้นคู่มือประกอบการใช้แบบมาตรฐานนี้จึงไม่เหมาะที่จะถูกใช้เพื่อการอ้างอิงทางวิชาการ

เนื่องจากผู้ออกแบบมาตรฐานชุดนี้ ต้องการให้มีส่วนที่ผู้นำแบบไปใช้จะต้องคำนวณน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดข้อจำกัดของการทำงานไว้ด้วยเช่นกันดังรายละเอียดในแต่ละแบบ ขอให้ผู้ที่ใช้งานแบบมาตรฐานชุดนี้ทำความเข้าใจกับรูปแบบ ข้อจำกัด และวิธีการคำนวณที่จะต้องดำเนินการให้ดีก่อนที่จะนำไปใช้งาน

อนึ่งหากผู้ใช้งานแบบมาตรฐานชุดนี้พบข้อบกพร่องหรือความไม่สะดวกใด ๆ ในการทำงาน กรุณาแจ้งให้ผู้จัดทำทราบเพื่อจะได้ปรับปรุงให้ดีขึ้นในโอกาสต่อไป

รูปแบบอาคาร

อาคารนี้สร้างขึ้นเพื่อนำน้ำในคลองส่งน้ำชนิดลาดคอนกรีตลอดใต้ถนน มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ

1. ท่อกลม ที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดหล่อสำเร็จรูปชนิดปากกลั้นราง ชั้นที่ 3 ตามมาตรฐาน มอก.128-2528 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 0.60 0.80 1.00 1.20 และ 1.50 ม. มีทั้งท่อแถวเดี่ยวและสองแถว มีทั้งท่อตรงและท่อหักงอ

2. Transition ที่ทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ เป็นแบบ Broken Back Transition เพื่อเชื่อมต่อกับคลองลาดคอนกรีต Inlet Transition มีมุมผิวน้ำ 27.5° และ Outlet Transition มีมุมผิวน้ำ 22.5°

3. พื้นของ Transition มีทั้งแบบเอียงและแบบตรง

4. รูปแบบของ Transition ที่ได้กำหนดไว้ ทำให้ความสูญเสียพลังงานที่เกิดจาก Transition มีลักษณะเป็น Broken Back Transition Loss

5. อาคารมาตรฐานนี้ไม่ได้รับการออกแบบให้มีคุณสมบัติเพื่อการทดน้ำ หรือสลายพลังงานส่วนเกิน

ข้อกำหนดการใช้งาน

1. ปริมาณน้ำสูงสุดที่ใช้ได้คือ $5.00 \text{ m}^3 / \text{วินาที}$
2. อาคารได้รับการออกแบบไว้ใช้กับคลองลาดคอนกรีต ที่มีลาดชันน้ำระหว่าง 1:2,000 ถึง 1:8,000 โดยมีอัตราส่วน b:d ประมาณ 1
3. ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับท้ายน้ำของอาคาร จะต้องไม่เกิน 0.30 ม. และไม่ควรน้อยกว่า 0.15 ม.
4. ระดับพื้นคลองจะต้องไม่ต่ำกว่าระดับพื้นตรง Cutoff ของ Transition ความลาดของพื้นระหว่างทั้งสองตำแหน่ง ด้าน Inlet จะต้องไม่ชันกว่า 1:4 และ 1:6 สำหรับด้าน Outlet

ขั้นตอนการกำหนดมิติและระดับ

1. เลือกใช้ท่อตรง
2. เลือกขนาดท่อตามปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคาร
3. เลือกรูปแบบ Transition โดยเริ่มจากการเลือกแบบพื้นเอียงก่อน กำหนดให้ระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่จุดหักของกำแพงตั้งที่ Cutoff ของ Transition ตรวจสอบว่าระดับพื้น Transition ที่ Cutoff สูงกว่าระดับก้นคลองหรือไม่ ถ้าพบว่าสูงกว่าจะต้องไปเลือกใช้แบบพื้นตรง หากเมื่อใช้แบบพื้นตรงแล้วยังพบว่าระดับพื้น Transition สูงกว่าระดับก้นคลอง จะแก้ปัญหาได้โดยเลือกท่อที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิม ถ้าแก้ไขด้วยวิธีนี้แล้วยังไม่ได้ผลจะต้องออกแบบอาคารขึ้น โดยเฉพาะ
4. กำหนดระยะและระดับ ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศและคุณสมบัติของคลองที่เกี่ยวข้อง
5. คำนวณหา Head Loss ของอาคารดังนี้
เมื่อ $D =$ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ ม.
 $L =$ ความยาวท่อ ม.
 $V_p =$ ความเร็วของน้ำในท่อ ม./วินาที
 $V_c =$ ความเร็วของน้ำในคลอง ม./วินาที

$$h_{Vp} = V_p^2 / (2 * g) = V_p^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$h_{Vc} = V_c^2 / (2 * g) = V_c^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$\Delta h_v = h_{Vp} - h_{Vc} \text{ ม.}$$

$$\text{Inlet Transition Loss} = 0.4 * \Delta h_v \text{ ม.}$$

$$\text{Outlet Transition Loss} = 0.7 * \Delta h_v \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{Pipe Friction Loss} &= (V_p * n / R^{2/3})^2 * L \\ &= (V_p * 0.016 / (D/4)^{2/3})^2 * L \end{aligned}$$

สำหรับอาคารแบบท่อตรง

$$\text{Head Loss} = \text{Inlet Transition Loss} + \text{Pipe Friction Loss} + \text{Outlet Transition Loss}$$

6. เปรียบเทียบ Head Loss ที่เกิดจากอาคาร กับ Head Loss ที่กำหนดไว้ในแบบ
คลอง หากพบว่า Head Loss ที่เกิดจากอาคารมากกว่า จะต้องไปเลือกใช้ท่อขนาดใหญ่ขึ้น
เพื่อให้ความเร็วของน้ำในท่อลดลง ซึ่งจะทำให้ Head Loss ของอาคารลดลงด้วย

7. ตรวจสอบว่าดินที่ทับหลังท่อมีความสูงที่เหมาะสมหรือไม่ตามเงื่อนไขว่า หาก
ท่ออยู่ใต้ถนนลำเลียงในไร่นา ความสูงของดินที่ทับหลังท่อจะต้องไม่น้อยกว่า 0.60 ม. แต่ถ้าท่อ
อยู่ใต้ถนนสาธารณะ ความสูงของดินที่ทับหลังท่อจะต้องไม่น้อยกว่า 0.90 ม. หากพบว่า
ความสูงของดินที่ทับหลังท่อไม่พอ จะมีวิธีการแก้ไขได้ 2 วิธี คือ

ก. เพิ่มความสูงของดินที่ทับหลังท่อให้สูงขึ้น แล้วทำเป็นลาดลงสู่ถนนเดิม
ข. เลือกใช้ท่อแบบหักงอ ซึ่งทำให้ท่อช่วงกลางลดระดับลงได้ตามที่ต้องการ
วิธีการทั้ง 2 มีทั้งข้อดีและข้อเสีย คือ ตามวิธี ก จะได้ท่อที่เป็นท่อตรง ทำให้ปัญหา
เกี่ยวกับการตกตะกอนในท่อน้อยกว่าตามวิธี ข แต่ถ้าใช้วิธี ข จะมีผลให้ระดับพื้นถนนเรียบ
ไม่มีส่วนที่จะต้องยกให้สูงเพื่อเพิ่มระดับดิน ผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาว่าสมควรจะใช้วิธีใด

หากจะเลือกใช้ท่อแบบหักงอ จะต้องดำเนินการต่อไปดังนี้คือ

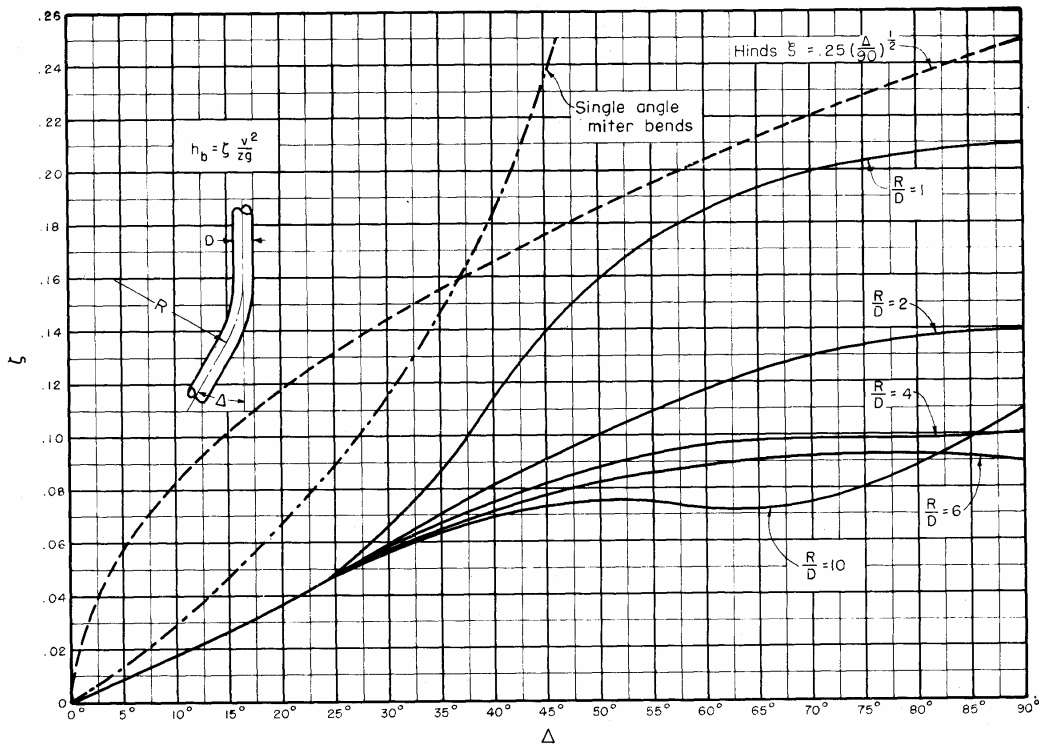
8. กำหนดให้ท่ออยู่ลึกจนได้ความสูงของดินทับหลังท่อที่ต้องการ การหักงอของ
ท่อจะต้องไม่ทำให้ท่อส่วนที่เอียงมีลาดที่ชันกว่า 1:2

9. ดำเนินการตาม ข้อ 3 ถึง ข้อ 6 ซ้ำอีกครั้ง ซึ่งเมื่อเลือกใช้ท่อแบบหักงอนี้ จะมี
ส่วนที่เกิด Head Loss เพิ่มขึ้น คือ ส่วนที่ท่อมีการหักงอจะมี Bend Loss เกิดขึ้น ซึ่งจะหาความ
สูญเสียได้จากสมการ

$$\text{Bend Loss} = \zeta * h_{Vp}$$

เมื่อ $Hind's \zeta = 0.25 * (\Delta / 90)^{1/2}$
 Δ เป็นมุมที่หักงอเป็นองศา

หรืออาจหาค่า ζ ได้จากรูปนี้

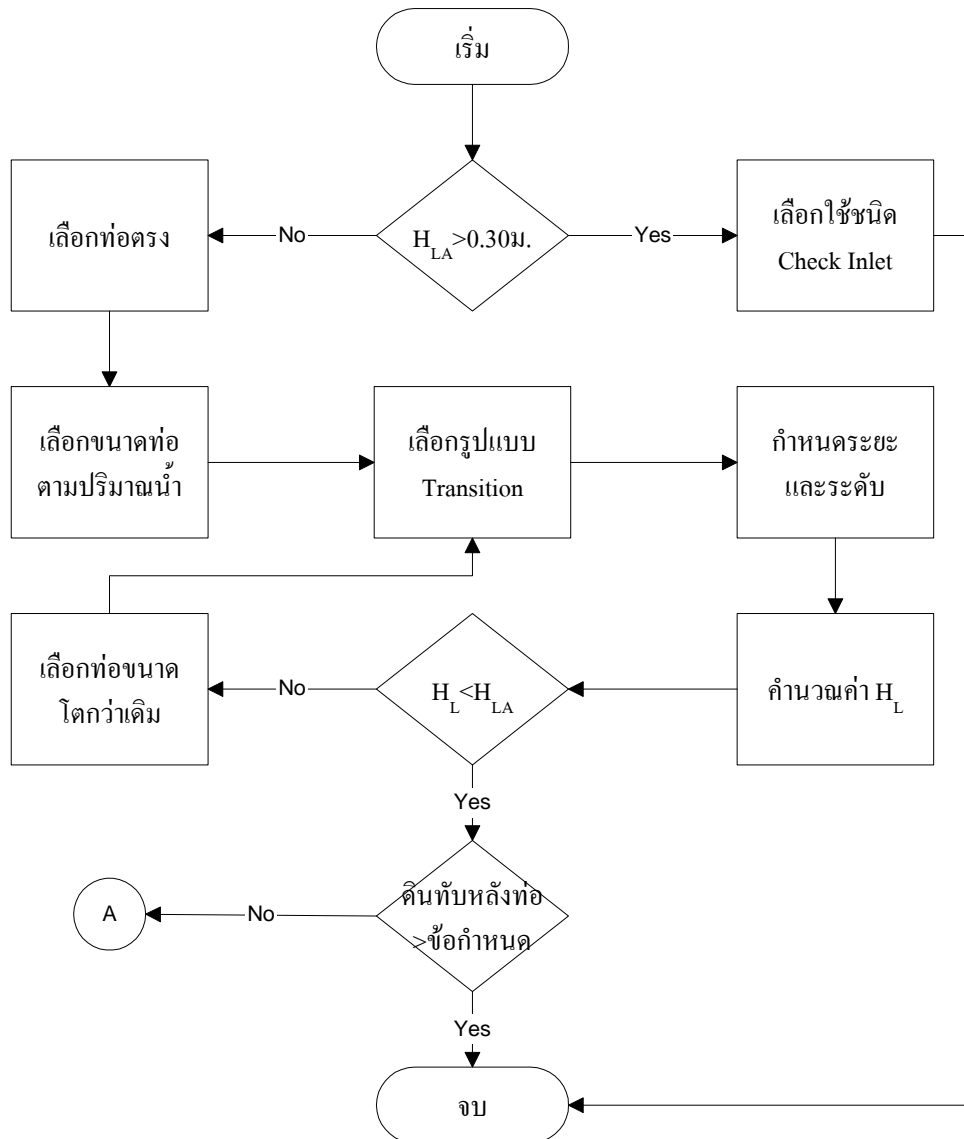


รูปที่ 1 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียจากการหักงอท่อ

ดังนั้น สำหรับอาคารแบบนี้

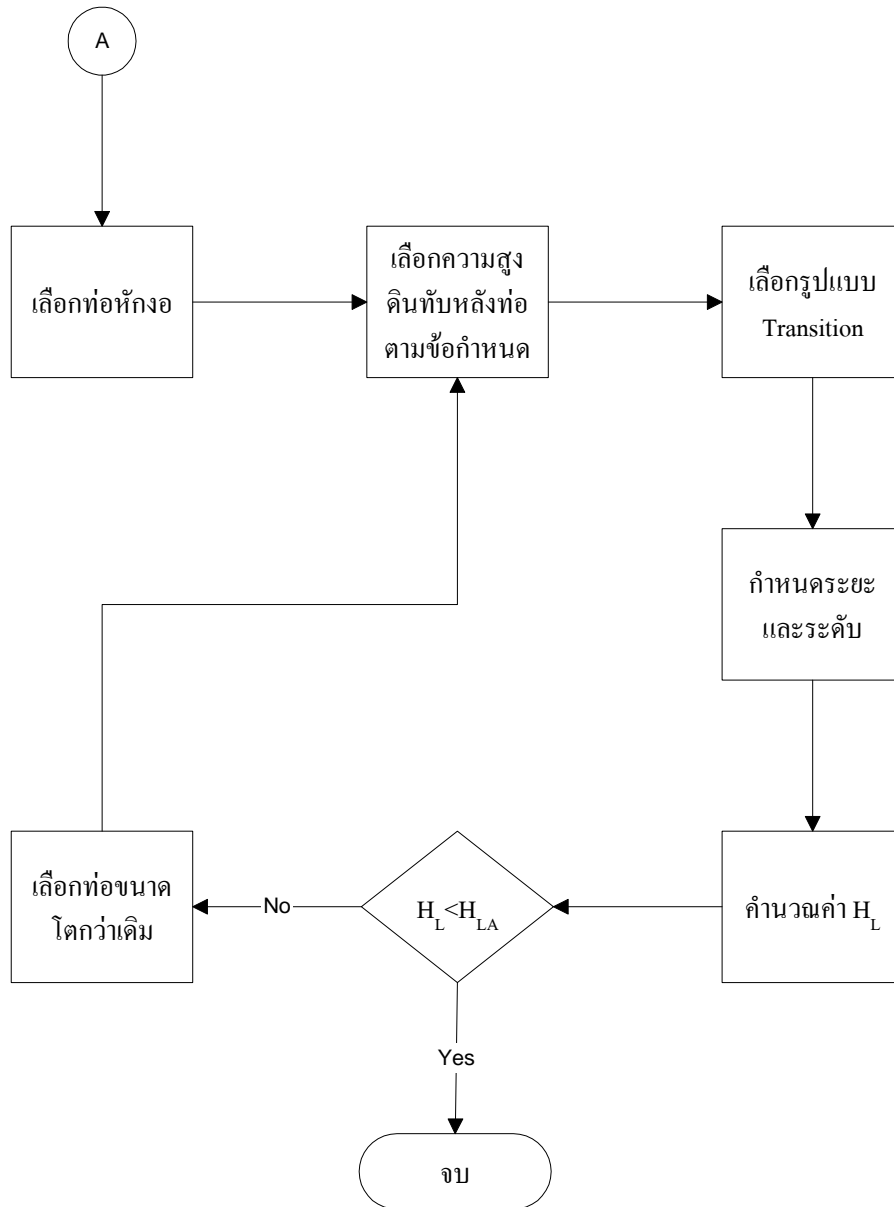
$$\text{Head Loss} = \text{Inlet Transition Loss} + \text{Pipe Friction Loss} + \text{Outlet Transition Loss} + \text{Bend Loss}$$

เนื่องจากผู้ออกแบบกำหนดความสูงของดินทับหลังท่อเอง จึงไม่จำเป็นต้อง
 ตรวจสอบความสูงของดินทับหลังท่ออีก



หมายเหตุ ปริมาณน้ำ (Q) มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที
Head Loss ที่กำหนดไว้ในแบบคลอง (H_{LA}) มีหน่วยเป็น ม.

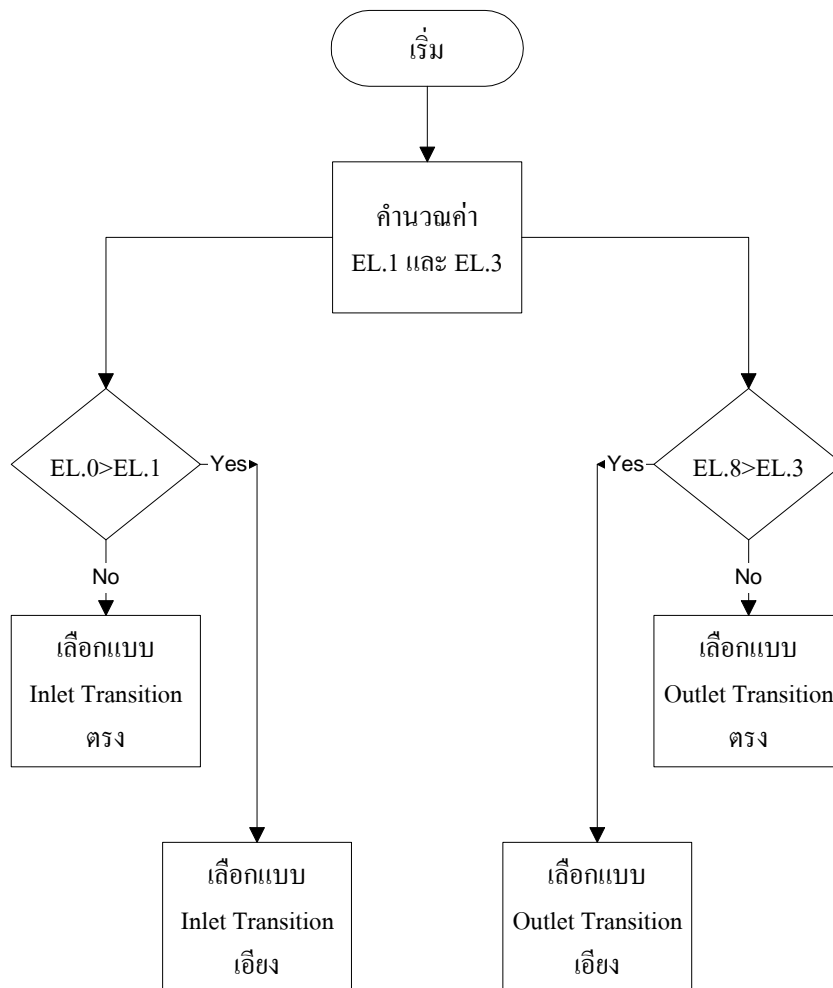
รูปที่ 2 Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนน



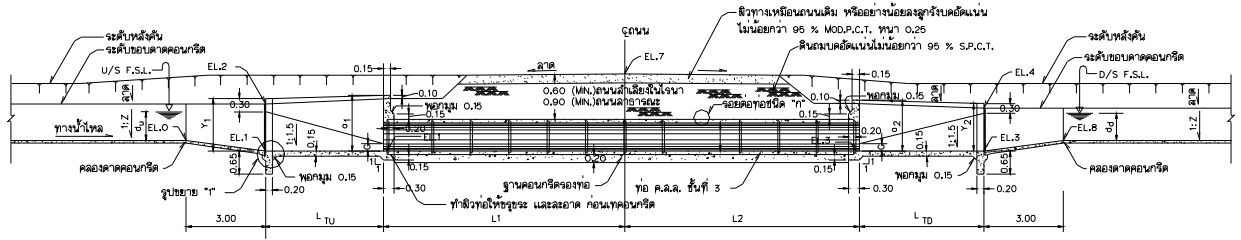
หมายเหตุ Head Loss ที่กำหนดไว้ในแบบคลอง (H_{LA}) มีหน่วยเป็น ม.

รูปที่ 2 Flowchart แสดงขั้นตอนการออกแบบท่อลอดถนน (ต่อ)

สำหรับท่อลอดถนนชนิดท่อตรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.00 1.20 และ 1.50 ม. มีทั้งแบบ Transition เอียงและตรง วิธีการจะเลือกใช้แบบใดนั้น ในขั้นแรกให้เลือกใช้แบบ Transition เอียงก่อน เพราะประหยัดกว่า ถ้าไม่เหมาะสมจึงมาใช้แบบตรง วิธีการเลือกจะเป็นไปตาม Flowchart ต่อไปนี้



รูปที่ 3 Flowchart แสดงขั้นตอนการเลือก Transition



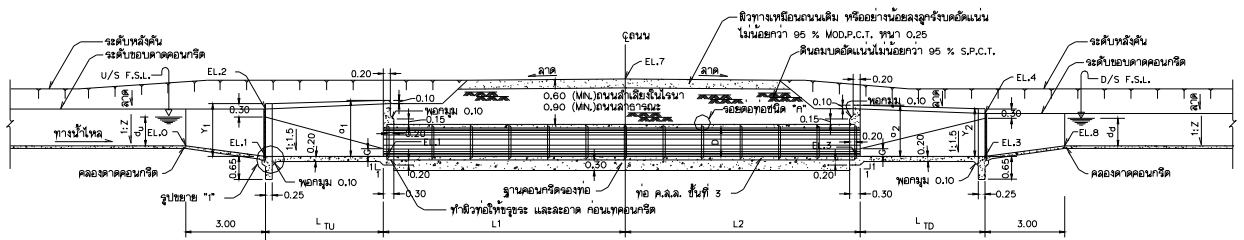
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม. ³ /วินาที	มิติ										
		D	α ₁	α ₂	B	C ₁	C ₂	G	L _{TU}	L _{TD}	Y ₁	Y ₂
1	0.25	0.50	1.05	0.95	0.15	0.35	0.30	0.12	1.75	1.75	0.95	0.85
2	0.40	0.60	1.15	1.10	0.18	0.50	0.25	0.14	2.10	2.10	1.05	1.00
3	0.75	0.80	1.35	1.30	0.24	0.85	0.40	0.19	2.80	2.80	1.25	1.20

ชนิด ก1-1-1

รูปที่ 4 ท่อตรง 1 แถว Transition ตรง ขนาด ϕ 0.50-0.80

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-001



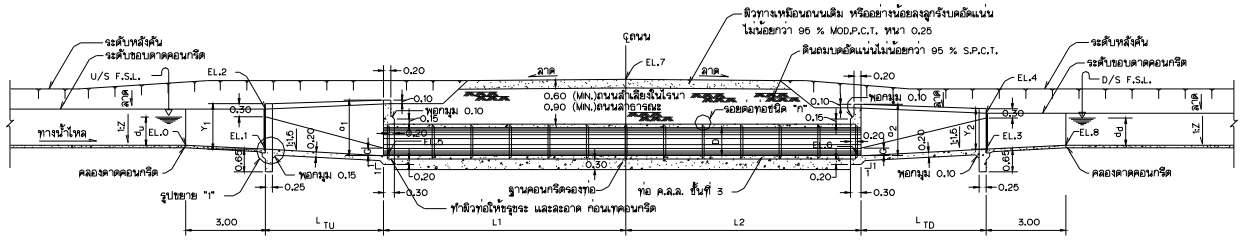
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม. ³ /วินาที	มิติ										
		D	α ₁	α ₂	B	C ₁	C ₂	G	L _{TU}	L _{TD}	Y ₁	Y ₂
4	1.00	1.00	1.55	1.50	0.30	1.15	0.60	0.23	3.50	3.50	1.45	1.40
5	1.50	1.20	1.75	1.70	0.36	1.50	0.75	0.28	4.20	4.20	1.65	1.60
6	2.50	1.50	2.05	2.00	0.45	2.00	1.05	0.35	5.25	5.25	1.95	1.90

ชนิด ก1-1-2

รูปที่ 5 ท่อตรง 1 แถว Transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-003



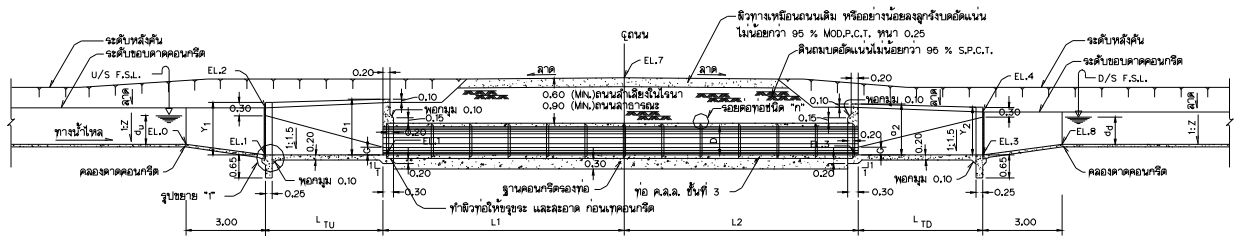
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม. ³ /วินาที	มิติ											หมายเหตุ
		D	α ₁	α ₂	B	C ₁	C ₂	G	L _{TU}	L _{TD}	Y ₁	Y ₂	
4	1.00	1.00	1.55	1.50	0.30	1.10	0.50	0.23	3.00	3.00	1.30	1.30	EL.1 - EL.5 = 0.15 EL.3 - EL.6 = 0.10
5	1.50	1.20	1.75	1.70	0.36	1.35	0.60	0.28	3.60	3.60	1.50	1.50	
6	2.50	1.50	2.05	2.00	0.45	1.65	0.75	0.35	4.50	4.50	1.80	1.80	

ชนิด ก1-2-2

รูปที่ 6 ท่อตรง 1 แถว Transition เอียง ขนาด φ 1.00-1.50

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-005



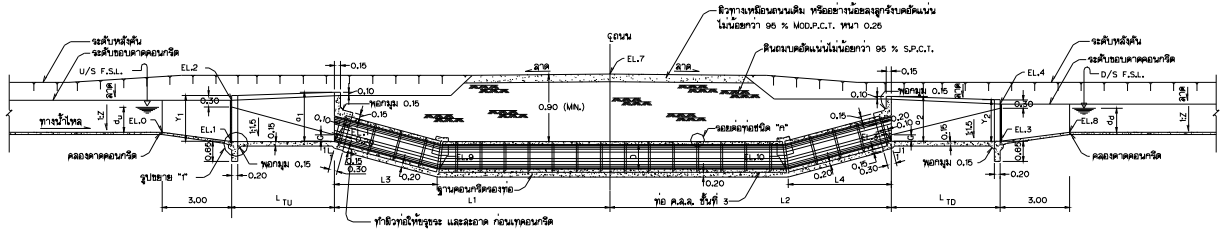
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม. ³ /วินาที	มิติ											C
		D	α ₁	α ₂	B	C ₁	C ₂	G	L _{TU}	L _{TD}	Y ₁	Y ₂	
4	2.00	2-1.00	1.60	1.55	2.10	2.35	1.85	0.23	3.00	3.00	1.50	1.45	2.80
5	3.00	2-1.20	1.80	1.80	2.36	2.90	2.15	0.28	3.60	3.60	1.70	1.70	3.20
6	5.00	2-1.50	2.10	2.10	2.75	3.75	2.80	0.35	4.50	4.50	2.00	2.00	3.80

ชนิด ก2-1-2

รูปที่ 7 ท่อตรง 2 แถว Transition ตรง ขนาด φ 1.00-1.50

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-007



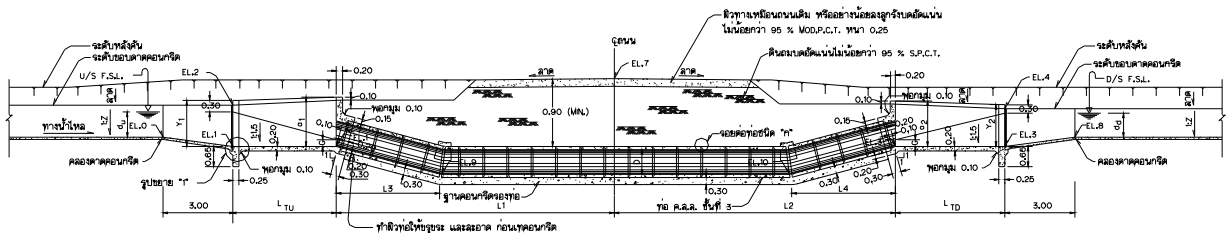
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม. ³ /วินาที	มิติ										
		D	α ₁	α ₂	B	C ₁	C ₂	G	L _{TU}	L _{TD}	Y ₁	Y ₂
1	0.25	0.50	1.05	0.95	0.15	0.35	0.30	0.12	1.75	1.75	0.95	0.85
2	0.40	0.60	1.15	1.10	0.18	0.50	0.25	0.14	2.10	2.10	1.05	1.00
3	0.75	0.80	1.35	1.30	0.24	0.85	0.40	0.19	2.80	2.80	1.25	1.20

ชนิด ก1-1-1

รูปที่ 8 ท่อหักงอ 1 แถว Transition ตรง ขนาด ϕ 0.50-0.80

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-009



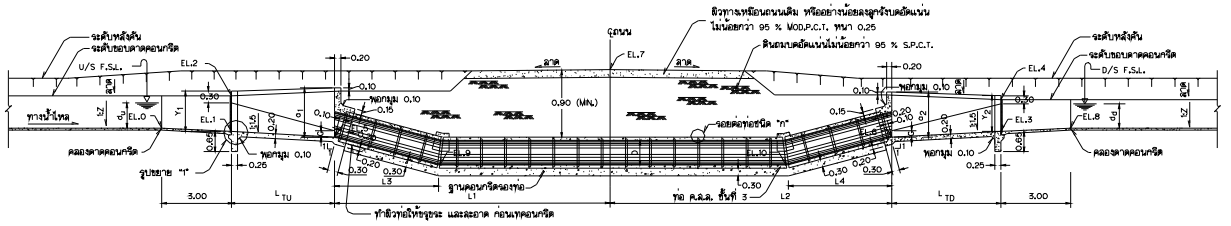
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม. ³ /วินาที	มิติ										
		D	α ₁	α ₂	B	C ₁	C ₂	G	L _{TU}	L _{TD}	Y ₁	Y ₂
4	1.00	1.00	1.55	1.50	0.30	1.15	0.60	0.23	3.50	3.50	1.45	1.40
5	1.50	1.20	1.75	1.70	0.36	1.50	0.75	0.28	4.20	4.20	1.65	1.60
6	2.50	1.50	2.05	2.00	0.45	2.00	1.05	0.35	5.25	5.25	1.95	1.90

ชนิด ก1-1-2

รูปที่ 9 ท่อหักงอ 1 แถว Transition ตรง ขนาด ϕ 1.00-1.50

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-011



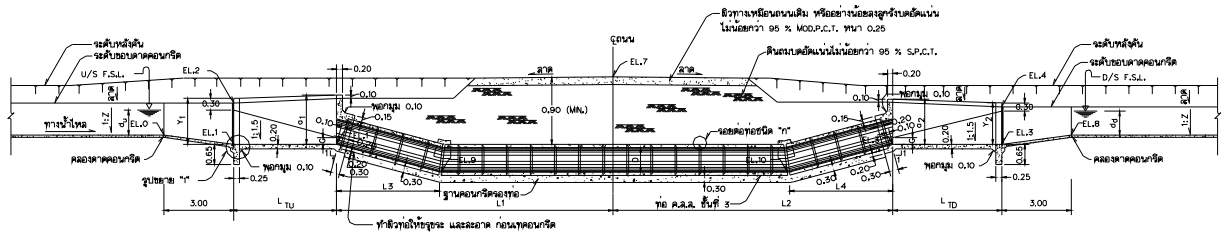
ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม. ³ /วินาที	มิติ											หมายเหตุ
		D	α ₁	α ₂	B	C ₁	C ₂	G	L _{TU}	L _{TD}	Y ₁	Y ₂	
4	1.00	1.00	1.55	1.50	0.30	1.10	0.50	0.23	3.00	3.00	1.30	1.30	EL.1 - EL.5 = 0.15 EL.3 - EL.6 = 0.10
5	1.50	1.20	1.75	1.70	0.36	1.35	0.60	0.28	3.60	3.60	1.50	1.50	
6	2.50	1.50	2.05	2.00	0.45	1.65	0.75	0.35	4.50	4.50	1.80	1.80	

ชนิด ก1-2-2

รูปที่ 10 ท่อหักงอ 1 แถว Transition เอียง ขนาด φ 1.00-1.50

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-013



ตารางแสดงมิติและรายละเอียดต่างๆของอาคารมาตรฐาน

อาคาร แบบที่	MAX. Q ม. ³ /วินาที	มิติ											
		D	α ₁	α ₂	B	C ₁	C ₂	G	L _{TU}	L _{TD}	Y ₁	Y ₂	C
4	2.00	2-1.00	1.60	1.55	2.10	2.35	1.85	0.23	3.00	3.00	1.50	1.45	2.80
5	3.00	2-1.20	1.80	1.80	2.36	2.90	2.15	0.28	3.60	3.60	1.70	1.70	3.20
6	5.00	2-1.50	2.10	2.10	2.75	3.75	2.80	0.35	4.50	4.50	2.00	2.00	3.80

ชนิด ก2-1-2

รูปที่ 11 ท่อหักงอ 2 แถว Transition ตรง ขนาด φ 1.00-1.50

แบบมาตรฐานหมายเลข มฐ04-01-015

ตัวอย่างการออกแบบท่อลอดถนน

การออกแบบท่อลอดถนน 1 แถว

ตัวอย่างที่ 1

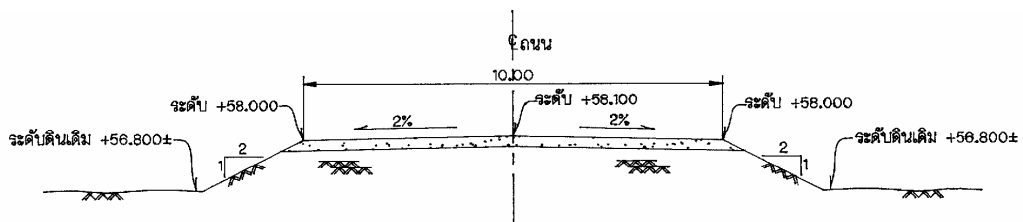
ข้อมูลคลอง

	ด้านเหนือน้ำ	ด้านท้ายน้ำ
ปริมาณน้ำ (ม. ³ /วินาที)	1.127	0.941
ความเร็ว (ม./วินาที)	0.420	0.402
ลาดตลิ่ง	1:1.5	1:1.5
ความกว้างก้นคลอง (ม.)	1.40	1.25
ความลึก (ม.)	0.95	0.90
Freeboard ขอบตาดคอนกรีต (ม.)	0.15	0.15
Freeboard ก้นคลอง (ม.)	0.50	0.50
ความกว้างหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	2.00	2.00
ความกว้างหลังคันฝั่งขวา (ม.)	3.00	3.00
ระดับดินเดิม (ม.)	+56.800±	+56.800±
ระดับหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	+57.550	+57.400
ระดับหลังคันฝั่งขวา (ม.)	+57.550	+57.400
ระดับน้ำสูงสุด (ม.)	+57.050	+56.900
ระดับก้นคลอง (ม.)	+56.100	+56.000

ข้อมูลของถนนสาธารณะ

ระดับหลังถนน +58.100 ความกว้างถนน 10.00 เมตร ลาดด้านข้างถนน 1:2

ระดับดินเดิม +56.800± คลองและถนนตัดกันเป็นมุมฉาก รูปตัดขวางถนนแสดงไว้ในรูปที่ 12



รูปที่ 12 รูปตัดขวางถนนของตัวอย่างที่ 1

วิธีทำ

1. ปริมาณน้ำ = 0.941 ม.³ / วินาที

2. ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับด้านท้ายน้ำ = 57.050 - 56.900 ม.
= 0.15 ม.

3. เลือก แบบที่ 4 และ เลือก Transition แบบเอียง ตามแบบท่อลอดถนนชนิด ก1-2-2 หมายเลข มฐ04-01-005

กำหนดให้ระดับน้ำสูงสุดทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำอยู่ที่ระดับเดียวกับระดับที่เปลี่ยนลาด จาก 1:1.5 ไปเป็นแนวตั้งฉากของ Cutoff ทั้ง Inlet Transition และ Outlet Transition

$$\begin{aligned} EL.1 &= U/S \text{ F.S.L.} - (Y_1 - 0.30) = 57.050 - (1.30 - 0.30) \\ &= 56.050 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EL.2 &= U/S \text{ F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 57.050 + 0.15 \\ &= 57.200 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EL.3 &= D/S \text{ F.S.L.} - (Y_2 - 0.30) = 56.900 - (1.30 - 0.30) \\ &= 55.900 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EL.4 &= D/S \text{ F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 56.900 + 0.15 \\ &= 57.050 \end{aligned}$$

EL.0 สูงกว่า EL.1 = 56.100 - 56.050 = 0.05 ม. ลาดคลองด้าน Inlet Transition ไม่ชันกว่า 1: 4

EL.8 สูงกว่า EL.3 = 56.000 - 55.900 = 0.10 ม. ลาดคลองด้าน Outlet Transition ไม่ชันกว่า 1: 6

ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

เมื่อใช้ Transition เอียง

$$EL.5 = EL.1 - 0.15 = 55.900$$

$$EL.6 = EL.3 - 0.10 = 55.800$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระดับหลัง Headwall ของ Inlet Transition} &= \text{EL.5} + a_1 \\
 &= 55.900 + 1.55 \\
 &= 57.450
 \end{aligned}$$

$$\text{ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Inlet Transition} = 57.450 - 0.10 = 57.350$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนน} \\
 &= 10.00 / 2 + (58.000 - 57.350) * 2 \text{ ม.} \\
 &= 6.30 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L1 = 6.30 + 1.00 = 7.30 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระดับหลัง Headwall ของ Outlet Transition} &= \text{EL.6} + a_2 \\
 &= 55.800 + 1.50 \\
 &= 57.300
 \end{aligned}$$

$$\text{ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Outlet Transition} = 57.300 - 0.10 = 57.200$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนน} \\
 &= 10.00 / 2 + (58.000 - 57.200) * 2 \text{ ม.} \\
 &= 6.60 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L2 = 6.60 + 1.00 = 7.60 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวทั้งหมดของท่อ} &= L1 + L2 \\
 &= 7.30 + 7.60 \text{ ม.} \\
 &= 14.90 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

การออกแบบควรให้เป็นจำนวนเต็มรวมกับอีก 0.20 ม. เพื่อให้ใช้ท่อได้โดยไม่ต้องตัดในเวลาก่อสร้าง จึงเลือกใช้ความยาว L1 และ L2 รวมกัน 15.20 ม. และเพื่อให้ระยะราบหลัง

Headwall ของทั้ง Inlet Transition และ Outlet Transition ใกล้เคียงกัน จึงนำความยาวที่เพิ่มขึ้นมาเฉลี่ยให้เท่ากันทั้งสองข้าง

$$\text{ความยาวแต่ละด้านที่เพิ่มขึ้น} = (15.20 - 14.90) / 2 = 0.15 \text{ ม.}$$

นำค่าที่ได้มาปรับปรุงความยาวท่อได้เป็น

$$L1 = 7.45 \text{ ม.}$$

$$L2 = 7.75 \text{ ม.}$$

4. คำนวณหา Head Loss ของอาคาร

$$\text{ความเร็วน้ำในท่อ (} V_p \text{)} = 0.941 / (\pi * 1.00 * 1.00 / 4) \text{ ม. / วินาที}$$

$$V_p = 1.198 \text{ ม. / วินาที}$$

$$h_{Vp} = (1.198)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$h_{Vp} = 0.073 \text{ ม.}$$

ด้านเหนือน้ำ

$$\text{ความเร็วน้ำในคลอง (} V_c \text{)} = 0.420 \text{ ม. / วินาที}$$

$$h_{Vc} = (0.420)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$= 0.00899 \text{ ม.}$$

$$\text{ใช้ } h_{Vc} = 0.009 \text{ ม.}$$

ด้านท้ายน้ำ

$$\text{ความเร็วน้ำในคลอง (} V_c \text{)} = 0.402 \text{ ม. / วินาที}$$

$$h_{Vc} = (0.402)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$= 0.00824 \text{ ม.}$$

$$\text{ใช้ } h_{Vc} = 0.008 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{Inlet Transition Loss} &= 0.4 * (h_{Vp} - h_{Vc}) \\ &= 0.4 * (0.073 - 0.009) \text{ ม.} \\ &= 0.026 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Outlet Transition Loss} &= 0.7 * (h_{Vp} - h_{Vc}) \\ &= 0.7 * (0.073 - 0.008) \text{ ม.} \\ &= 0.046 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pipe Friction Loss} &= (V_p * n / (R)^{2/3})^2 * L \\ &= (V_p * n / (D / 4)^{2/3})^2 * L \quad (\text{สำหรับท่อกลม } R = D / 4) \\ &= (1.198 * 0.016 / (1 / 4)^{2/3})^2 * 15.20 \text{ ม.} \\ &= (1.198 * 0.016 / (0.25)^{2/3})^2 * 15.20 \text{ ม.} \\ &= 0.035 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Head Loss รวม} &= 0.026 + 0.035 + 0.046 \text{ ม.} \\ &= 0.107 \text{ ม.} < 0.15 \text{ ม.} \end{aligned}$$

ดังนั้น Head Loss ที่เกิดจากอาคารน้อยกว่าที่กำหนดไว้สำหรับคลองเล็กน้อย การเลือกอาคารแบบนี้ เหมาะสมแล้ว

5. ตรวจสอบความสูงดินทับหลังท่อ

ระดับปากท่อที่ Headwall ของ Inlet Transition = 55.900 ท่อหนา 0.11 ม.

ระดับสูงสุดของท่อจะอยู่ที่ = 55.900 + 1.00 + 0.11 = 57.010

ดินที่ทับหลังท่อมีความสูง = 58.000 - 57.010 ม. = 0.99 ม. > 0.90 ม.

ดังนั้น การออกแบบอาคารนี้เหมาะสมแล้ว

เมื่อนำผลของระดับและมิติต่าง ๆ ที่คำนวณได้ ไปใส่ลงในตารางเพื่อใช้ประกอบกับแบบเพื่อการก่อสร้าง จะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

กม.อาคาร	คลอง	ชนิด	อาคารแบบที่	Q (ม. ³ /วินาที)	ค่ามุม α	z	ระดับดินเดิม
*	*	ก1-2-2	4	0.941	90°	1.5	+56.800±

ระดับ												
U/S F.S.L.	D/S F.S.L.	EL.0	EL.1	EL.2	EL.3	EL.4	EL.5	EL.6	EL.7	EL.8	EL.9	EL.10
+57.050	+56.900	+56.100	+56.050	+57.200	+55.900	+57.050	+55.900	+55.800	+58.100	+56.000		

มิติ													
L1	L2	L3	L4	b _u	d _u	b _d	d _d	W	T _R	T _L	B _R	B _L	W _C
7.45	7.75			1.40	0.95	1.25	0.90	10.00	3.00	2.00	*	*	*

หมายเหตุ * คือข้อมูลที่จะมีรายละเอียดอยู่ในแบบคลองที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ออกแบบ

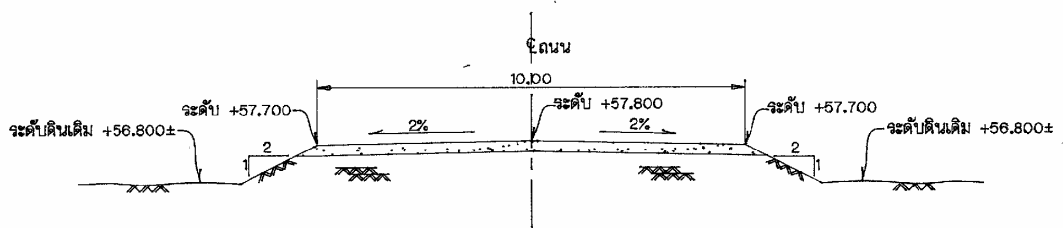
ตัวอย่างที่ 2

ข้อมูลคลอง

	ด้านเหนือ	ด้านท้ายน้ำ
ปริมาณน้ำ (ม. ³ /วินาที)	1.127	0.941
ความเร็ว (ม./วินาที)	0.420	0.402
ลาดตลิ่ง	1:1.5	1:1.5
ความกว้างก้นคลอง (ม.)	1.40	1.25
ความลึก (ม.)	0.95	0.90
Freeboard ขอบตาดคอนกรีต (ม.)	0.15	0.15
Freeboard ก้นคลอง (ม.)	0.50	0.50
ความกว้างหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	2.00	2.00
ความกว้างหลังคันฝั่งขวา (ม.)	3.00	3.00
ระดับดินเดิม (ม.)	+56.800±	+56.800±
ระดับหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	+57.550	+57.400
ระดับหลังคันฝั่งขวา (ม.)	+57.550	+57.400
ระดับน้ำสูงสุด (ม.)	+57.050	+56.900
ระดับก้นคลอง (ม.)	+56.100	+56.000

ข้อมูลของถนนสาธารณะ

ระดับหลังถนน +57.800 ความกว้างถนน 10.00 เมตร ลาดด้านข้างถนน 1:2
 ระดับดินเดิม +56.800± คลองและถนนตัดกันเป็นมุมฉาก



รูปที่ 13 รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 2

วิธีทำ

$$1. \text{ ปริมาณน้ำ} = 0.941 \text{ ม.}^3 / \text{วินาที}$$

$$2. \text{ ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับด้านท้ายน้ำ} = 57.050 - 56.900 \text{ ม.} \\ = 0.15 \text{ ม.}$$

3. เลือก แบบที่ 4 และ เลือก Transition แบบเอียง ตามแบบท่อลอดถนนชนิด ก1-2-2 หมายเลข มฐ04-01-005

กำหนดให้ระดับน้ำสูงสุดทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำอยู่ที่ระดับเดียวกับระดับที่เปลี่ยนลาด จาก 1:1.5 ไปเป็นแนวตั้งฉากของ Cutoff ทั้ง Inlet Transition และ Outlet Transition

$$EL.1 = U/S \text{ F.S.L.} - (Y_1 - 0.30) = 57.050 - (1.30 - 0.30) \\ = 56.050$$

$$EL.2 = U/S \text{ F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 57.050 + 0.15 \\ = 57.200$$

$$EL.3 = D/S \text{ F.S.L.} - (Y_2 - 0.30) = 56.900 - (1.30 - 0.30) \\ = 55.900$$

$$EL.4 = D/S \text{ F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 56.900 + 0.15 \\ = 57.050$$

EL.0 สูงกว่า EL.1 = $56.100 - 56.050 = 0.05$ ม. ลาดคลองด้าน Inlet Transition ไม่ชันกว่า 1: 4

EL.8 สูงกว่า EL.3 = $56.000 - 55.900 = 0.10$ ม. ลาดคลองด้าน Outlet Transition ไม่ชันกว่า 1: 6

ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

เมื่อใช้ Transition เอียง

$$EL.5 = EL.1 - 0.15 = 55.900$$

$$EL.6 = EL.3 - 0.10 = 55.800$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระดับหลัง Headwall ของ Inlet Transition} &= \text{EL.5} + a_1 \\
 &= 55.900 + 1.55 \\
 &= 57.450
 \end{aligned}$$

$$\text{ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Inlet Transition} = 57.450 - 0.10 = 57.350$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนน} \\
 &= 10.00 / 2 + (57.700 - 57.350) * 2 \text{ ม.} \\
 &= 5.70 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L1 = 5.70 + 1.00 = 6.70 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระดับหลัง Headwall ของ Outlet Transition} &= \text{EL.6} + a_2 \\
 &= 55.800 + 1.50 \\
 &= 57.300
 \end{aligned}$$

$$\text{ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Outlet Transition} = 57.300 - 0.10 = 57.200$$

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนน} \\
 &= 10.00 / 2 + (57.700 - 57.200) * 2 \text{ ม.} \\
 &= 6.00 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L2 = 6.00 + 1.00 = 7.00 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวทั้งหมดของท่อ} &= L1 + L2 \\
 &= 6.70 + 7.00 \text{ ม.} \\
 &= 13.70 \text{ ม.}
 \end{aligned}$$

การออกแบบควรให้เป็นจำนวนเต็มรวมกับอีก 0.20 ม. เพื่อให้ใช้ท่อได้โดยไม่ต้องตัดในเวลาก่อสร้าง จึงเลือกใช้ความยาว L1 และ L2 รวมกัน 14.20 ม. และเพื่อให้ระยะราบหลัง Headwall ของทั้ง Inlet Transition และ Outlet Transition ใกล้เคียงกัน จึงนำความยาวที่เพิ่มขึ้นมาเฉลี่ยให้เท่ากันทั้งสองข้าง

$$\text{ความยาวแต่ละด้านที่เพิ่มขึ้น} = (14.20 - 13.70) / 2 = 0.25 \text{ ม.}$$

นำค่าที่ได้มาปรับปรุงความยาวท่อได้เป็น

$$L1 = 6.95 \text{ ม. และ}$$

$$L2 = 7.25 \text{ ม.}$$

4. คำนวณหา Head Loss ของอาคาร

ความเร็วน้ำในท่อ (V_p) = $0.941 / (\pi * 1.00 * 1.00 / 4)$ ม./วินาที

$$V_p = 1.198 \text{ ม./วินาที}$$

$$h_{Vp} = (1.198)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$H_{Vp} = 0.073 \text{ ม.}$$

ด้านเหนือน้ำ

ความเร็วน้ำในคลอง (V_c) = 0.420 ม./วินาที

$$h_{Vc} = (0.420)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$= 0.00899 \text{ ม.}$$

$$\text{ใช้ } h_{Vc} = 0.009 \text{ ม.}$$

ด้านท้ายน้ำ

ความเร็วน้ำในคลอง (V_c) = 0.402 ม./วินาที

$$h_{Vc} = (0.402)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$= 0.00824 \text{ ม.}$$

$$\text{ใช้ } h_{Vc} = 0.008 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{Inlet Transition Loss} &= 0.4 * (h_{Vp} - h_{Vc}) \\ &= 0.4 * (0.073 - 0.009) \text{ ม.} \\ &= 0.026 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Outlet Transition Loss} &= 0.7 * (h_{Vp} - h_{Vc}) \\ &= 0.7 * (0.073 - 0.008) \text{ ม.} \\ &= 0.046 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pipe Friction Loss} &= (V_p * n / (R)^{2/3})^2 * L \\ &= (V_p * n / (D/4)^{2/3})^2 * L \quad (\text{สำหรับท่อกลม } R = D/4) \\ &= (1.198 * 0.016 / (1/4)^{2/3})^2 * 14.20 \text{ ม.} \\ &= (1.198 * 0.016 / (0.25)^{2/3})^2 * 14.20 \text{ ม.} \\ &= 0.033 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Head Loss รวม} &= 0.026 + 0.033 + 0.046 \text{ ม.} \\ &= 0.105 \text{ ม.} < 0.15 \text{ ม.} \end{aligned}$$

ดังนั้น Head Loss ที่เกิดจากอาคารน้อยกว่าที่กำหนดไว้สำหรับคลองเล็กน้อย การเลือกอาคารแบบนี้เหมาะสมแล้ว

5. ตรวจสอบความสูงดินทับหลังท่อ

$$\text{ระดับปากท่อที่ Headwall ของ Inlet Transition} = 55.900 \quad \text{ท่อหนา } 0.11 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{ระดับสูงสุดของท่อจะอยู่ที่} &= 55.900 + 1.00 + 0.11 \\ &= 57.010 \end{aligned}$$

$$\text{ดินที่ทับหลังท่อมีความสูง} = 57.700 - 57.010 = 0.69 \text{ ม.} < 0.90 \text{ ม.}$$

ดังนั้น การออกแบบอาคารนี้ไม่เหมาะสม จึงต้องเลือกใช้อาคารแบบอื่น

เลือกแบบที่ 4 ตามแบบท่อลอดถนนชนิด ค1-1-2 หมายเลข มฐ04-01-011

การกำหนดความยาวของท่อส่วนที่อยู่ใต้ถนน (ระหว่าง EL.9 กับ EL.10) เนื่องจากถนนกว้าง 10.00 เมตร และการตัดกันระหว่างถนนกับอาคารอยู่ในแนวตั้งฉาก ระยะระหว่าง EL.9 กับ EL.10 ควรกำหนดเป็น 12 เมตร (ให้ห่างจากแนวศูนย์กลางข้างละ 6 เมตร)

$$\begin{aligned} \text{ระดับ EL.9 จะอยู่ใต้สูงสุดที่ระดับ } & 57.700 - 0.90 - 0.11 - 1.00 \\ & = 55.690 \text{ ใช้ } 55.650 \end{aligned}$$

กำหนดให้ลาดของท่อไม่น้อยกว่า 0.005

ดังนั้น ระดับ EL.10 จะต้องต่ำกว่า ระดับ EL.9 ไม่น้อยกว่า $12 \times 0.005 = 0.06$ ม. ใช้ 0.10 ม.

$$\text{EL.10} = 55.65 - 0.10$$

$$= 55.550$$

$$\text{EL.1} = \text{U/S F.S.L.} - (Y_1 - 0.30) = 57.050 - (1.45 - 0.30)$$

$$= 55.900$$

$$\text{EL.2} = \text{U/S F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 57.050 + 0.15$$

$$= 57.200$$

$$\text{EL.3} = \text{D/S F.S.L.} - (Y_2 - 0.30) = 56.900 - (1.40 - 0.30)$$

$$= 55.800$$

$$\text{EL.4} = \text{D/S F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 56.900 + 0.15$$

$$= 57.050$$

$$\text{EL.0 สูงกว่า EL.1} = 56.100 - 55.900 = 0.20 \text{ ม. ลาดคลองด้าน Inlet Transition ไม่ชันกว่า } 1:4$$

$$\text{EL.8 สูงกว่า EL.3} = 56.000 - 55.800 = 0.20 \text{ ม. ลาดคลองด้าน Outlet Transition ไม่ชันกว่า } 1:6$$

ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

$$\text{ระดับหลัง Headwall ของ Inlet Transition} = \text{EL.1} + a_1 = 55.900 + 1.55 = 57.450$$

$$\text{ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Inlet Transition} = 57.350$$

$$\text{ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนน} = 10.00 / 2 + (57.700 - 57.350) * 2 \text{ ม.}$$

$$= 5.70 \text{ ม.}$$

$$\text{ระดับหลัง Headwall ของ Outlet Transition} = \text{EL.3} + a_2 = 55.800 + 1.50 = 57.300$$

ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Outlet Transition = 57.200

$$\begin{aligned} \text{ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนน} &= 10.00 / 2 + (57.700 - 57.200) * 2 \text{ ม.} \\ &= 6.00 \text{ ม.} \end{aligned}$$

ตรวจสอบกับความยาวท่อที่กำหนดไว้ จะพบว่า ความยาวท่อระหว่าง EL.9 กับ EL.10 ไม่สั้นกว่าชายลาดถนนทั้งสองปลาย การกำหนดนี้จึงเหมาะสมแล้ว

$$\text{EL.1} - \text{EL.9} = 55.900 - 55.650 = 0.25 \text{ ม.}$$

$$\text{EL.3} - \text{EL.10} = 55.800 - 55.550 = 0.25 \text{ ม.}$$

ลาดของท่อจะชันกว่า 1:2 ไม่ได้

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ความยาว L3 จะต้องไม่น้อยกว่า } &0.25 * 2 \\ &= 0.50 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{และความยาว L4 จะต้องไม่น้อยกว่า } &0.25 * 2 \\ &= 0.50 \text{ ม.} \end{aligned}$$

โดยที่ท่อเป็นท่อเอียง จึงต้องใช้ท่อจริงยาวกว่าความยาว L3 และ L4 ที่คำนวณได้ รวมทั้งยังต้องมีการทาบออกบางส่วนเพื่อเชื่อมต่อกับท่อช่วงราบ โดยที่ความต่างของระดับและความยาวของท่อทั้งสองปลายเท่ากัน จึงควรกำหนดให้

$$\text{L3} = 1.80 \text{ ม.}$$

$$\text{L4} = 1.80 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{มุมเอียงของท่อ} &= \tan^{-1} (0.25 / 1.80) \\ &= 7.91^\circ \end{aligned}$$

คำนวณหา Head Loss ของอาคาร

เนื่องจากปริมาณน้ำ ขนาดท่อ และรูปแบบของ Transition เหมือนกับในตัวอย่าง
ที่ 1 ดังนั้น

$$\text{Inlet Transition Loss} = 0.026 \text{ ม.}$$

$$\text{Outlet Transition Loss} = 0.046 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{Bend Loss 2 แห่ง} &= 2 * 0.25 * (\Delta / 90)^{1/2} * h_{VP} \\ &= 2 * 0.25 * (7.91 / 90)^{1/2} * 0.073 \\ &= 0.148 * 0.073 \text{ ม.} \\ &= 0.011 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความยาวท่อเอียง ทั้ง 2 ด้าน} &= 2 * 1.80 / \text{Cos } 7.91^\circ \text{ ม.} \\ &= 2 * 1.817 \text{ ม.} \\ &= 3.634 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\text{ความยาวท่อช่วงกลาง} = 12.00 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned} \text{ความยาวท่อทั้งหมด} &= 12.00 + 3.634 \text{ ม.} \\ &= 15.634 \text{ ม.} \end{aligned}$$

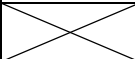
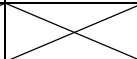
$$\begin{aligned} \text{Pipe Friction Loss} &= (V_p * n / (R)^{2/3})^2 * L \\ &= (V_p * n / (D / 4)^{2/3})^2 * L \\ &= (1.198 * 0.016 / (1 / 4)^{2/3})^2 * 15.634 \text{ ม.} \\ &= (1.198 * 0.016 / (0.25)^{2/3})^2 * 15.634 \text{ ม.} \\ &= 0.036 \text{ ม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Head Loss รวม} &= 0.026 + 0.036 + 0.046 + 0.011 \text{ ม.} \\ &= 0.119 \text{ ม.} < 0.15 \text{ ม.} \end{aligned}$$

ดังนั้น Head Loss ที่เกิดจากอาคารน้อยกว่าที่กำหนดไว้สำหรับคลองเล็กน้อย การ
เลือกอาคารแบบนี้ เหมาะสมแล้ว

เมื่อนำผลของระดับและมิติต่าง ๆ ที่คำนวณได้ ไปใส่ลงในตารางเพื่อใช้ประกอบ
กับแบบเพื่อการก่อสร้าง จะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

กม.อาคาร	คลอง	ชนิด	อาคารแบบที่	Q (ม. ³ /วินาที)	ค่ามุม α	z	ระดับดินเดิม
*	*	ค1-1-2	4	0.941	90°	1.5	+56.800±

ระดับ												
U/S F.S.L.	D/S F.S.L.	EL.0	EL.1	EL.2	EL.3	EL.4	EL.5	EL.6	EL.7	EL.8	EL.9	EL.10
+57.050	+56.900	+56.100	+55.900	+57.200	+55.800	+57.050			+57.700	+56.000	+55.650	+55.550

มิติ													
L1	L2	L3	L4	b _u	d _u	b _d	d _d	W	T _R	T _L	B _R	B _L	W _C
6.70	7.00	1.80	1.80	1.40	0.95	1.25	0.90	10.00	3.00	2.00	*	*	*

หมายเหตุ * คือข้อมูลที่จะมีรายละเอียดอยู่ในแบบคลองที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ออกแบบ

การออกแบบท่อลอดถนน 2 แถว

ตามตัวอย่างทั้ง 2 ที่ผ่านมา เป็นตัวอย่างของการใช้ท่อ 1 แถว หากปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารมาก จำเป็นจะต้องใช้ท่อ 2 แถว วิธีการออกแบบก็ไม่แตกต่างกันมาก สิ่งที่ต้องเข้าใจคือหลักการของการคำนวณหา Head Loss ของอาคาร

เมื่อปริมาณน้ำถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน แต่ละส่วนไหลผ่านท่อ 2 ท่อ ที่ถูกวางขนานกัน ความเร็วของน้ำที่ Headwall ของทั้ง Inlet และ Outlet Transition ก็เท่ากับความเร็วของน้ำในท่อเดียว Transition Loss เกิดจากความแตกต่างของความเร็วน้ำที่ Headwall ของ Transition กับความเร็วของน้ำในคลอง ดังนั้น Transition Loss ของอาคารจึงคำนวณได้จากความต่างของความเร็วน้ำในท่อ 1 ท่อ กับในคลอง

ในทำนองเดียวกัน เมื่อท่อ 2 ท่อ ถูกวางขนานกัน Friction Loss ที่เกิดขึ้นกับท่อทั้ง 2 ก็ย่อมเท่ากันและเท่ากับ Friction Loss ของท่อ 1 ท่อ นั่นเอง

สรุปได้ว่าวิธีออกแบบอาคารที่ใช้ท่อ 2 แถวจะไม่แตกต่างจากที่ใช้ท่อ 1 แถวมากนัก เพียงแต่ผู้ออกแบบจะต้องแบ่งปริมาณน้ำออกเป็น 2 ส่วนเท่ากันให้ไหลในแต่ละท่อ ใช้ความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อเพียงท่อเดียวมาคำนวณหา Transition Loss Friction Loss ที่เกิดขึ้นเท่ากับของท่อ 1 ท่อ

ตัวอย่างที่ 3

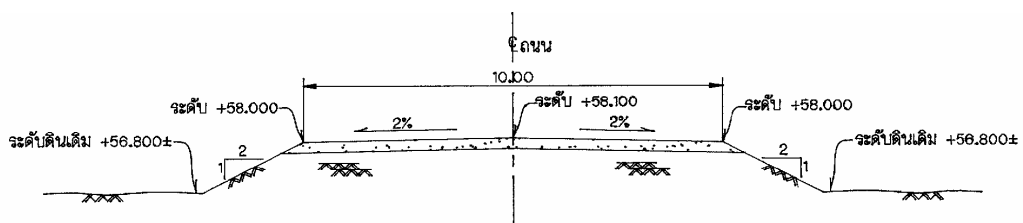
ข้อมูลคลอง

	ด้านเหนือน้ำ	ด้านท้ายน้ำ
ปริมาณน้ำ (ม. ³ /วินาที)	2.244	1.915
ความเร็ว (ม./วินาที)	0.538	0.517
ลาดตลิ่ง	1:1.5	1:1.5
ความกว้างก้นคลอง (ม.)	2.40	2.20
ความลึก (ม.)	1.05	1.00
Freeboard ขอบตาดคอนกรีต (ม.)	0.20	0.20
Freeboard ก้นคลอง (ม.)	0.60	0.60
ความกว้างหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	2.00	2.00
ความกว้างหลังคันฝั่งขวา (ม.)	3.00	3.00
ระดับดินเดิม (ม.)	+56.800±	+56.800±
ระดับหลังคันฝั่งซ้าย (ม.)	+57.550	+57.400
ระดับหลังคันฝั่งขวา (ม.)	+57.550	+57.400
ระดับน้ำสูงสุด (ม.)	+56.950	+56.800
ระดับก้นคลอง (ม.)	+55.900	+55.800

ข้อมูลของถนนสาธารณะ

ระดับหลังถนน +58.100 ความกว้างถนน 10.00 เมตร ลาดด้านข้างถนน 1:2

ระดับดินเดิม +56.800± คลองและถนนตัดกันเป็นมุมฉาก



รูปที่ 14 รูปตัดขวางถนนสาธารณะของตัวอย่างที่ 3

วิธีทำ

$$1. \text{ ปริมาณน้ำ} = 1.915 \text{ ม.}^3 / \text{วินาที}$$

$$2. \text{ ความต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำกับด้านท้ายน้ำ} = 56.950 - 56.800 \text{ ม.} \\ = 0.15 \text{ ม.}$$

3. สำหรับปริมาณน้ำ 1.915 ม.³ / วินาที จะมีทางเลือกอาคารได้ 2 ขนาด คือ อาคารแบบที่ใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.50 ม. 1 แถว หรือ 1.00 ม. 2 แถว ในตัวอย่างนี้จะเลือกใช้ท่อขนาด 1.00 ม. 2 แถวดังนั้นจึงเลือก แบบที่ 4 และ เลือก Transition แบบตรง ตามแบบที่ถอดคณนชนิด ก2-1-2 หมายเลข มฐ04-01-007

กำหนดให้ระดับน้ำสูงสุดทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำอยู่ที่ระดับเดียวกับระดับที่เปลี่ยนลาดจาก 1:1.5 ไปเป็นแนวตั้งจากของ Cutoff ทั้ง Inlet Transition และ Outlet Transition

$$EL.1 = U/S \text{ F.S.L.} - (Y_1 - 0.30) = 56.950 - (1.50 - 0.30) \\ = 55.750$$

$$EL.2 = U/S \text{ F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 56.950 + 0.20 \\ = 57.150$$

$$EL.3 = D/S \text{ F.S.L.} - (Y_2 - 0.30) = 56.800 - (1.45 - 0.30) \\ = 55.650$$

$$EL.4 = D/S \text{ F.S.L.} + \text{Freeboard ขอบคาคอนกรีต} = 56.800 + 0.20 \\ = 57.000$$

$$EL.0 \text{ สูงกว่า } EL.1 = 55.900 - 55.750 = 0.15 \text{ ม. ลาดคลองด้าน Inlet Transition ไม่ชันกว่า } 1:4$$

$$EL.8 \text{ สูงกว่า } EL.3 = 55.800 - 55.650 = 0.15 \text{ ม. ลาดคลองด้าน Outlet Transition ไม่ชันกว่า } 1:6$$

ดังนั้นการเลือกใช้อาคารแบบนี้ถูกต้องแล้ว

$$\text{ระดับหลัง Headwall ของ Inlet Transition} = EL.1 + a1 \\ = 55.750 + 1.60 \\ = 57.350$$

ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Inlet Transition = $57.350 - 0.10 = 57.250$

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนน

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 57.250) * 2 \text{ ม.}$$

$$= 6.50 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L1 = 6.50 + 1.00 = 7.50 \text{ ม.}$$

ระดับหลัง Headwall ของ Outlet Transition = $EL.3 + a2$

$$= 55.650 + 1.55$$

$$= 57.200$$

ระดับดินที่ติดกับ Headwall ของ Outlet Transition = $57.200 - 0.10 = 57.100$

ระยะจากศูนย์กลางถนนถึงชายลาดถนน

$$= 10.00 / 2 + (58.000 - 57.100) * 2 \text{ ม.}$$

$$= 6.80 \text{ ม.}$$

ให้ระยะราบหลัง Headwall ประมาณ 1 ม.

$$L2 = 6.80 + 1.00 = 7.80 \text{ ม.}$$

ความยาวทั้งหมดของท่อ = $L1 + L2$

$$= 7.50 + 7.80 \text{ ม.}$$

$$= 15.30 \text{ ม.}$$

การออกแบบควรให้เป็นจำนวนเต็มรวมกับอีก 0.20 ม. เพื่อให้ใช้ท่อได้โดยไม่ต้องตัดในเวลาก่อสร้าง จึงเลือกใช้ความยาว L1 และ L2 รวมกัน 16.20 ม. และเพื่อให้ระยะราบหลัง Headwall ของทั้ง Inlet Transition และ Outlet Transition ใกล้เคียงกัน จึงนำความยาวที่เพิ่มขึ้นมาเฉลี่ยให้เท่ากันทั้งสองข้าง

$$\text{ความยาวแต่ละด้านที่เพิ่มขึ้น} = (16.20 - 15.30) / 2 = 0.45 \text{ ม.}$$

นำค่าที่ได้มาปรับปรุงความยาวท่อได้เป็น

$$L1 = 7.95 \text{ ม.}$$

$$L2 = 8.25 \text{ ม.}$$

4. คำนวณหา Head Loss ของอาคาร

น้ำปริมาณ 1.915 ม.³ / วินาที ถูกแบ่งให้ไหลในท่อกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.00 เมตร 2 ท่อ ดังนั้นปริมาณน้ำที่ไหลในแต่ละท่อจะเท่ากับ 0.9575 ม.³ / วินาที

ความเร็วน้ำในท่อ (V_p) = $0.9575 / (\pi * 1.00 * 1.00 / 4)$ ม. / วินาที

$$V_p = 1.219 \text{ ม. / วินาที}$$

$$h_{Vp} = (1.219)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$h_{Vp} = 0.076 \text{ ม.}$$

ด้านเหนือน้ำ

ความเร็วน้ำในคลอง (V_c) = 0.538 ม. / วินาที

$$h_{Vc} = (0.538)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$= 0.0147 \text{ ม.}$$

$$\text{ใช้ } h_{Vc} = 0.015 \text{ ม.}$$

ด้านท้ายน้ำ

ความเร็วน้ำในคลอง (V_c) = 0.517 ม. / วินาที

$$h_{Vc} = (0.517)^2 / (2 * 9.81) \text{ ม.}$$

$$= 0.0136 \text{ ม.}$$

$$\text{ใช้ } h_{Vc} = 0.014 \text{ ม.}$$

$$\text{Inlet Transition Loss} = 0.4 * (h_{Vp} - h_{Vc})$$

$$= 0.4 * (0.076 - 0.015) \text{ ม.}$$

$$= 0.024 \text{ ม.}$$

$$\begin{aligned}\text{Outlet Transition Loss} &= 0.7 * (h_{Vp} - h_{Vc}) \\ &= 0.7 * (0.076 - 0.014) \text{ ม.} \\ &= 0.043 \text{ ม.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Pipe Friction Loss} &= (V_p * n / (R)^{2/3})^2 * L \\ &= (V_p * n / (D/4)^{2/3})^2 * L \quad (\text{สำหรับท่อกลม } R = D/4) \\ &= (1.219 * 0.016 / (1/4)^{2/3})^2 * 16.20 \text{ ม.} \\ &= (1.219 * 0.016 / (0.25)^{2/3})^2 * 16.20 \text{ ม.} \\ &= 0.039 \text{ ม.}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Head Loss รวม} &= 0.024 + 0.039 + 0.043 \text{ ม.} \\ &= 0.106 \text{ ม.} < 0.15 \text{ ม.}\end{aligned}$$

ดังนั้น Head Loss ที่เกิดจากอาคารน้อยกว่าที่กำหนดไว้สำหรับคลองเล็กน้อย การเลือกอาคารแบบนี้ เหมาะสมแล้ว

5. ตรวจสอบความสูงดินทับหลังท่อ

ระดับปากท่อที่ Headwall ของ Inlet Transition = 55.750 ท่อหนา 0.11 ม.

$$\begin{aligned}\text{ระดับสูงสุดของท่อจะอยู่ที่} &= 55.750 + 1.00 + 0.11 \\ &= 56.860\end{aligned}$$

ดินที่ทับหลังท่อมีความสูง = 58.000 – 56.860 ม. = 1.14 ม. > 0.90 ม.

ดังนั้น การออกแบบอาคารนี้เหมาะสมแล้ว

เมื่อนำผลของระดับและมิติต่าง ๆ ที่คำนวณได้ ไปใส่ลงในตารางเพื่อใช้ประกอบกับแบบเพื่อการก่อสร้าง จะได้ผลดังตารางต่อไปนี้

กม.อาคาร	คลอง	ชนิด	อาคารแบบที่	Q (ม. ³ /วินาที)	ค่ามุม α	z	ระดับดินเดิม
*	*	ก2-1-2	4	1.915	90°	1.5	+56.800±

ระดับ												
U/S F.S.L.	D/S F.S.L.	EL.0	EL.1	EL.2	EL.3	EL.4	EL.5	EL.6	EL.7	EL.8	EL.9	EL.10
+56.950	+56.800	+55.900	+55.750	+57.150	+55.650	+57.000			+58.100	+55.800		

มิติ													
L1	L2	L3	L4	b _u	d _u	b _d	d _d	W	T _R	T _L	B _R	B _L	W _C
7.95	8.25			2.40	1.05	2.20	1.00	10.00	3.00	2.00	*	*	*

หมายเหตุ * คือข้อมูลที่จะมีรายละเอียดอยู่ในแบบคลองที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่ออกแบบ

บรรณานุกรม

1. จรูญ กมลรัตน์และ คณะ “มาตรฐานและคู่มือการออกแบบอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำ และระบายน้ำ” กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2538
2. ปฏิภาณ อมาตยกุล “การออกแบบอาคารส่งน้ำชลประทาน” คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 2538
3. กำจร ศาสวัต “มาตรฐานรายละเอียดการเสริมเหล็กในอาคารคอนกรีต” กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2535
4. The Bureau of Reclamation of the U.S.Department of the Interior “Design of Small Canal Structures” Denver Colorado ,1974
5. Volume IV “Recommended Practice for The Design of Canal Systems” Royal Irrigation Department of The Kingdom of Thailand ,1952
6. คณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำ “คู่มือการออกแบบระบบส่งน้ำและระบายน้ำ” กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2547
7. นิพนธ์ สายหอม “ข้อแนะนำในการออกแบบและเขียนแบบ” กองออกแบบ กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2527