เล่มที่ 2
คู่มือการใช้แบบมาตรฐานระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

คำนำ

ตามที่กรมชลประทาน ได้แต่งตั้งคณะทำงานจัดทำแบบมาตรฐานระบบส่งน้ำและระบายน้ำ เพื่อดำเนินการจัดทำแบบมาตรฐานดังกล่าว คณะทำงานได้จัดทำเอกสารเป็น 2 ส่วน คือ

1. มาตรฐานการคำนวณออกแบบระบบส่งน้ำและระบายน้ำ
2. แบบมาตรฐาน คลองส่งน้ำ คลองระบายน้ำ และระบบท่อส่งน้ำแรงดันสูง

มาตรฐานชุดนี้ คณะทำงานได้สรุปรวบรวมจากเอกสารทางวิชาการต่าง ๆ และเลือกส่วนที่จะใช้ประกอบการพิจารณาออกแบบไว้ โดยใช้ประสบการณ์ของคณะทำงานเป็นที่ตั้ง ในปัจจุบันระบบส่งน้ำในประเทศไทยได้ใช้งานแล้วมากมาย จึงเห็นสมควรให้มีการตรวจวัด ประเมินผลค่าต่าง ๆ ที่กรมชลประทานได้ประยุกต์ใช้ของต่างประเทศอยู่ เพื่อที่จะนำมาเป็นบรรทัดฐานสำหรับการปรับปรุงมาตรฐานของกรมชลประทานให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	
สารบัญ	ก
สารบัญรูป	ข
สารบัญตาราง	ค
ตัวอย่างการคำนวณหาค่าชลภาระ	1
ตัวอย่างการคำนวณออกแบบคลองส่งน้ำ	4
ตัวอย่างการคำนวณหาค่า Drainage Modulus	8
ตัวอย่างการคำนวณออกแบบคลองระบายน้ำ	10
ตัวอย่างการคำนวณท่อรับแรงดัน	15
ภาคผนวก	
บรรณานุกรม	

ระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ ผ.1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C ที่ใช้ในสูตร Rational's Formula	ผ-1
รูปที่ ผ.2	แสดงระยะเวลาการไหลรวมตัวของน้ำท่า	ผ-2
รูปที่ ผ.3	แสดงจุดที่ควรติดตั้งวาวล์ไล่อากาศ (Air Valve)	ผ-3
รูปที่ ผ.4	แสดงรูปแบบอย่างง่ายของเครื่องสูบน้ำ และแรงดัน (Head) ต่าง ๆ	ผ-4
รูปที่ ผ.5	Moody Diagram	ผ-5

ระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ ผ.1 แสดงคุณสมบัติกลของน้ำที่ความกดดันบรรยากาศ ผ-6

ตารางแสดงขนาดคลองและคุณสมบัติการไหล

ของคลองส่งน้ำ

สำหรับ S = 1:1,000 or 0.001000 ผ-8

สำหรับ S = 1:2,000 or 0.000500 ผ-8

สำหรับ S = 1:3,000 or 0.000333 ผ-8

สำหรับ S = 1:4,000 or 0.000250 ผ-15

สำหรับ S = 1:5,000 or 0.000200 ผ-15

สำหรับ S = 1:8,000 or 0.000125 ผ-15

สำหรับ S = 1:10,000 or 0.000100 ผ-23

สำหรับ S = 1:12,000 or 0.000083 ผ-23

สำหรับ S = 1:20,000 or 0.000050 ผ-23

ของคลองระบายน้ำ

สำหรับ S = 1:2,000 or 0.000500 ผ-31

สำหรับ S = 1:3,000 or 0.000333 ผ-31

สำหรับ S = 1:5,000 or 0.000200 ผ-31

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าชลภาระ (Water Duty)

ตัวอย่างการคำนวณค่าชลภาระ โดยใช้สูตรของ L.J. Wen ด้วยการเพิ่มค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องเข้าไป คือ ค่า Application efficiency ค่า Conveyance efficiency และค่า Crop intensity จึงได้สูตรดังนี้

$$q = \left(\frac{1}{54E_aE_c}\right)\left(\frac{D_tC_i}{1-e^{-(D_t/D_s)N}}\right) \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อ q = Water Duty (ลิตร/วินาที/ไร่)

D_t = Water requirement in the transplanted rice field (มม./วัน)

D_s = Water requirement for soaking the field (มม.)

N = Period of land preparation (วัน)

E_c = Conveyance efficiency

E_a = Application efficiency

C_i = Crop intensity factor = 1.00 for onfarm system

e = The base of natural logarithm = 2.718282

- ค่าชลภาระของโครงการฯ สำหรับพื้นที่ไม่เกิน 1,000 ไร่

ใช้ค่า D_t = 5.62 มม./วัน

D_s = 183.20 มม.

N = 30 วัน

E_c = 85%

E_a = 90%

C_i = 1

$$q = \left(\frac{1}{54x0.90x0.85}\right)\left(\frac{5.62x1}{1-\left(2.718282\right)^{-(5.62/183.20)30}}\right)$$

q = 0.226 ลิตร/วินาที/ไร่

- ค่าชลภาระของโครงการฯ สำหรับพื้นที่เกินกว่า 15,000 ไร่

ใช้ค่า D_t = 5.62 มม./วัน

D_s = 183.20 มม.

N = 60 วัน

E_c = 70%

$E_a = 80\%$

$C_i = 0.80$

$$q = \left(\frac{1}{54x0.70x0.80}\right)\left(\frac{5.62x0.80}{1-\left(2.718282\right)^{-\left(5.62/183.20\right)60}}\right)$$

$q = 0.177$ ลิตร/วินาที/ไร่

- ค่าชลภาระของพื้นที่ระหว่าง 1,000 ไร่ - 15,000 ไร่ กำหนดให้

$$Q_i = \frac{q_i A_i}{1,000} \qquad \text{.....(2)}$$

เมื่อ Q_i = ความต้องการปริมาณน้ำที่จุดใดๆ (ม.^{3}/วินาที)

q_i = ค่าชลภาระที่จุดใดๆ (ลิตร/วินาที/ไร่)

A_i = พื้นที่รับน้ำ ณ จุดใดๆ (ไร่)

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ความต้องการน้ำในพื้นที่ขนาดใหญ่ จะมีค่าน้อยกว่าความต้องการของพื้นที่ขนาดเล็กกว่า จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ ดังนี้

$$Q_i = Q_t - q_x(A_t - A_i) \qquad \text{.....(3)}$$

เมื่อ Q_t = ความต้องการปริมาณน้ำในพื้นที่ขนาดใหญ่ (ม.^{3}/วินาที)

q_x = ค่าของความต้องการน้ำต่อพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงไป

A_t = พื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ เท่ากับ 15,000 ไร่

จากสมการ (3) จะได้

$$q_x = \frac{Q_t - Q_i}{A_t - A_i}$$

$$= \frac{(0.177)(15,000) - (0.226)(1,000)}{(15,000 - 1,000)1,000}$$

$q_x = 1.735x10^{-4}$ ม.^{3}/วินาที/ไร่

เพื่อหาค่าชลภาระ q_i ต่อพื้นที่ใดๆนั้น สมการ (2) = สมการ (3)

$$q_i = \frac{A_t}{A_i}\left(1,000q_t - 1,000q_x\right) + 1,000q_x$$

$$= \frac{15,000}{A_i}(0.177 - 0.1735) + 0.1735$$

$$q = \frac{52.5}{A_i} + 0.1735 \qquad \text{.....(4)}$$

ความสัมพันธ์ในสมการ (4) นี้ สามารถนำไป Plot เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าชลภาระต่อพื้นที่ชลประทานได้

ตัวอย่างการคำนวณออกแบบคลองส่งน้ำ

<u>ตัวอย่าง</u> ต้องการคลองส่งน้ำเพื่อชักน้ำเข้าพื้นที่ประมาณ 5,000 ไร่ ความต้องการน้ำของต้นข้าวเท่ากับ 0.0002 ม.^{3}/วินาที/ไร่ ให้คำนวณ-ออกแบบคลองดาดคอนกรีต เพื่อชักน้ำเข้าพื้นที่นาตามความต้องการของพืช

กำหนดให้

Q = ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ (ม.^{3}/วินาที)

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งน้ำ (ม.^{2})

V = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลอง (ม./วินาที)

R = รัศมีอุทกศาสตร์ (ม.)

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวทางน้ำ = 0.018

S = ส่วนลาดเทของท้องคลอง = 1:4,000

S.S. = ส่วนลาดตลิ่งของคลอง = 1:1.5

b = ความกว้างท้องคลองดาด (ม.)

d = ความลึกของน้ำในคลอง (ม.)

P = ความยาวเส้นขอบเปียก (ม.)

ขั้นตอนในการคำนวณออกแบบ

1. ต้องทราบปริมาณน้ำทั้งหมดที่พืชต้องการใช้ (Q)

จากโจทย์ พื้นที่ทั้งหมด = 5,000 ไร่

ความต้องการน้ำของต้นข้าว = 0.0002 ม.^{3}/วินาที/ไร่

ดังนั้น ปริมาณน้ำทั้งหมดที่พืชต้องการใช้ (Q) = 0.0002 x 5,000

= 1.00 ม.^{3}/วินาที

2. คำนวณหาขนาดคลอง

การคำนวณหาขนาดคลองใช้วิธี Trial and error

กำหนดให้ b = 1.50 ม.

d = 0.75 ม.

จาก $A = (b + 1.5d)d$

แทนค่า b และ d $A = (1.50 + 1.5 \times 0.75)0.75$

$A = 1.969$ ม.^{2}

จาก $P = b + \sqrt{13} \times d$

$$P = 1.50 + \sqrt{13} \times 0.75$$

$$P = 4.204 \quad \text{ม.}$$

จาก $$R = \frac{A}{P}$$

$$= \frac{1.969}{4.204}$$

$$= 0.468 \quad \text{ม.}$$

$$R^{2/3} = 0.603$$

จากสูตร Manning's Formula

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

$$V = \frac{1}{0.018} \times 0.603 \times \left(\frac{1}{4,000} \right)^{1/2}$$

$$V = 0.530 \quad \text{ม./วินาที}$$

จากสูตร $$Q = AV$$

$$= 1.969 \times 0.530$$

$$Q = 1.043 \quad \text{ม.}^3\text{/วินาที}$$

จากการคำนวณจะได้ Q = 1.043 ม.^{3}/วินาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณน้ำทั้งหมดที่พืชต้องการใช้ = 1.00 ม.^{3}/วินาที ถือว่าใช้ได้

3. การกำหนดความหนาของคอนกรีตดาด (t)

ให้พิจารณาตามความสัมพันธ์กับความจุของคลอง ตามตัวอย่างกำหนดให้ใช้ความหนา (t) เท่ากับ 6 ซม.

สำหรับความหนาของขอบคอนกรีตดาด (Wc) กำหนดให้ใช้ = 0.20 ม. (Min.)

4. การกำหนดส่วนเผื่อความลึก (Freeboard)

การกำหนดส่วนเผื่อความลึก (Freeboard) นี้ จะกำหนดไว้เป็น 2 ส่วน คือ

- ส่วนเผื่อความลึกของขอบคอนกรีตดาด (fb) ซึ่งพิจารณาจากระยะตามแนวดิ่งระหว่างระดับน้ำสูงสุด (d) ในคลองถึงขอบบนของคอนกรีตดาด
- ส่วนเผื่อความลึกต่ำสุดของคันคลอง (fe) ซึ่งพิจารณาจากระยะตามแนวดิ่งระหว่างระดับน้ำสูงสุด (d) ในคลองถึงหลังคันคลอง

โดยจะพิจารณาตามความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในคลอง ดูได้จากแบบมาตรฐานหมายเลข มฐ.03-01-001 และ มฐ.03-01-002

ตามตัวอย่างกำหนดให้ใช้ fb = 0.20 ม.

fe = 0.60 ม.

5. ความกว้างชานคลอง (Berm width)

สำหรับงานของกรมชลประทานโดยทั่วไป นิยมใช้ประมาณ 1.00-1.50 ม. ตามตัวอย่างนี้กำหนดให้ใช้เท่ากับ 1.00 ม.

6. ความกว้างหลังคันคลอง (Top bank width)

สำหรับงานของกรมชลประทานโดยทั่วไป ความกว้างหลังคันคลองจะพิจารณาจากการใช้ประโยชน์ของคันคลองเป็นเกณฑ์กำหนดคือ

1. เพื่อการส่งน้ำ และดูแลบำรุงรักษาคลอง
2. เพื่อการลำเลียงผลผลิตของเกษตรกรออกสู่ตลาด

สำหรับตัวอย่างนี้ กำหนดให้ใช้หลังคันคลองกว้างเท่ากับ 6.00 ม. (ฝั่งขวา)

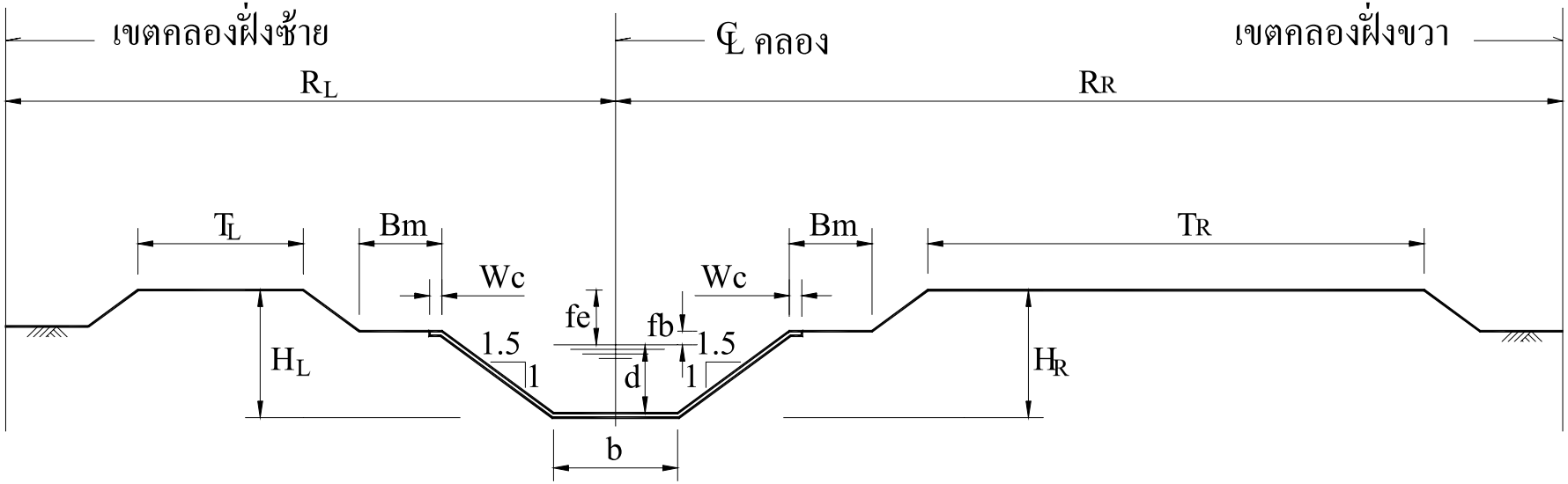
สำหรับคันคลองฝั่งที่ไม่ใช้ประโยชน์ กำหนดให้หลังคันคลองกว้างเท่ากับ 2.00 ม. (Min.)

7. รูระบายน้ำใต้ดิน

ให้ดูแบบมาตรฐานหมายเลข มฐ.03-01-003

สรุป

จากตัวอย่าง สามารถเขียนมาตรฐานรูปตัดตามขวางของคลองส่งน้ำและตารางแสดงรายละเอียดคุณสมบัติของคลองส่งน้ำได้ดังนี้



มาตรฐานรูปตัดตามขวางของคลองส่งน้ำ

ตารางแสดงรายละเอียดคุณสมบัติของคลองส่งน้ำ

Q	A	v	R	n	S	SS	B	d	t	Wc	Bm	fb	fe	H_L	H_R	T_L	T_R	R_L	R_R
1.043	1.969	0.530	0.468	0.018	1:4,000	1:1.5	1.50	0.75	0.06	0.20	1.00	0.20	0.60	1.35	1.35	2.00	6.00	*	*

* คำนวณจากระยะตามรูปตัดตามขวางคลอง+ระยะของลาดคันคลองตามแนวนอน + 2

ตัวอย่างการคำนวณหาค่า Drainage Modulus

1. ปริมาณน้ำหลากนอกโครงการฯ

ปริมาณน้ำหลากนอกโครงการฯ จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา ความชุ่มชื่นของดิน สภาพป่าและพืชปกคลุมหน้าดิน ความลาดเทของภูมิประเทศ ลักษณะของดิน และขนาดพื้นที่รับน้ำ (Catchment Area) เป็นต้น การคำนวณปริมาณน้ำหลากนอกโครงการฯใช้สูตร Rational Formula

$$Q = 0.278\ CIA$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำหลาก (ม.^{3}/วินาที)

C = สัมประสิทธิ์แสดงอัตราส่วนระหว่างน้ำท่า และน้ำฝน (Runoff - coefficient)

I = Rainfall intensity (มม./ชม.)

A = Catchment area (ตร.กม.)

2. ปริมาณน้ำหลากในโครงการฯ

ปริมาณน้ำหลากในโครงการฯ พิจารณาจากสภาพของฝนที่ตกในบริเวณโครงการฯ ว่าจะมีขนาดฝนและโอกาสที่จะเกิดขึ้นเท่าใด ในการคำนวณหาค่า Drainage Modulus ของพื้นที่ที่ต้องระบายน้ำในโครงการฯนี้ ใช้ข้อมูลสภาพฝนตก 3 วัน ในรอบ 5 ปี มีค่า 180.00 มม. จะได้ค่า Drainage Modulus (q_d) ดังนี้

$$q_d = \frac{(R - 70)x1,600}{86,400xT}$$

$$q_d = \frac{(180.00 - 70)x1,600}{86,400x3}$$

$$q_d = 0.679 \text{ ลิตร/วินาที/ไร่}$$

ค่า Drainage Modulus เฉลี่ย 0.679 ลิตร/วินาที/ไร่ นี้ จะใช้เกณฑ์กำหนดในการออกแบบสำหรับพื้นที่น้อยกว่า 2,000 ไร่ ส่วนพื้นที่ที่ใหญ่กว่านี้ใช้ค่า Area Reduction Factor และ Drainage Modulus ลดลง ดังต่อไปนี้

ตารางรายละเอียดค่า Drainage Modulus

พื้นที่ (ไร่)	Reduction Factor (%)	Drainage Modulus	
		มม./วัน	ลิตร/วินาที/ไร่
2,000	100	36.667	0.679
5,000	95	34.834	0.645
10,000	90	33.000	0.611
20,000	86	31.534	0.584
50,000	76	27.867	0.516
100,000	72	26.400	0.489
200,000	68	24.934	0.462

ในการออกแบบคลองระบายน้ำ จะพิจารณาปริมาณน้ำหลากทั้งภายในเขตโครงการฯ และปริมาณน้ำหลากภายนอกโครงการฯ โดยเลือกปริมาณน้ำหลากที่มีปริมาณน้ำมากเป็นเกณฑ์ในการคำนวณและออกแบบหาขนาดของคลองระบาย

การคำนวณคลองระบายน้ำ

<u>ตัวอย่าง</u> ออกแบบคลองระบายน้ำในจังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งรับน้ำจากพื้นที่ภายนอกโครงการ 3 ตร.กม. ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดที่พิจารณาถึงจุดไกลสุดของพื้นที่รับน้ำ 2 กม. และความแตกต่างระดับของ 2 จุดนี้ เป็น 15 ม. สภาพภูมิประเทศมีป่าไม้ปกคลุม พื้นที่ค่อนข้างชัน นอกจากนั้นยังมีพื้นที่รับน้ำในโครงการที่จะระบายน้ำลงคลองสายนี้อีก 2,500 ไร่ ข้อมูลสภาพฝนตก 3 วัน ในรอบ 5 ปี มีค่า 180 มม. และมีน้ำท่วมขังในท้องนาก่อนฝนตก 100 มม. สภาพดินเป็นดินเหนียวปนทราย

ขั้นตอนในการคำนวณออกแบบ

1. หาปริมาณน้ำหลากจากภายนอกโครงการ (Q_1)

จากสูตร $Q = 0.278\ CIA$

กำหนดให้ Q_1 = ปริมาณน้ำที่ต้องการระบาย (ม.^{3} / วินาที)

T_c = เวลาน้ำเข้มข้น (Time of Concentration) (ชม.)

L = ความยาวตามลำน้ำสายใหญ่จากจุดไกลสุดถึงจุดที่พิจารณาของพื้นที่รับน้ำ (กม.)

H = ความแตกต่างระดับพื้นดินของจุดไกลสุดถึงจุดที่พิจารณาของพื้นที่รับน้ำ (ม.)

C = สัมประสิทธิ์แสดงอัตราส่วนระหว่างน้ำท่าและน้ำฝน

I = ความเข้มฝน (มม. / ชม.)

A = พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร. กม.)

จากโจทย์ A = 3 ตร. กม.

L = 2 กม.

H = 15 ม.

หาค่า I ; $T_c = \left(\frac{0.87L^3}{H}\right)^{0.385}$

$= \left(\frac{0.87x2^3}{15}\right)^{0.385}$

= 0.744 ชม. = 44.64 นาที

จากค่า T_c = 44.64 นาที ใช้ฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี อ่านกราฟ Rainfall Intensity – Duration – Frequency Curve ของสถานีวัดน้ำฝนซึ่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงจะได้ I = 78 มม./ชม.

หาค่า C ; โดยการนำค่า I = 78 มม./ชม. และสภาพภูมิประเทศ ไปเปิดกราฟจากรูปที่ ผ.1 ได้ค่า C = 0.22

ดังนั้น $Q_1 = 0.278 \times 0.22 \times 78 \times 3$

$= 14.311$ ม.^{3}/วินาที

2. หาปริมาณน้ำหลากจากภายในโครงการ (Q_2)

ปริมาณน้ำหลากในโครงการฯ พิจารณาจากสภาพของฝนที่ตกในบริเวณโครงการว่าจะมีขนาดฝนและโอกาสที่จะเกิดขึ้นเท่าใด ในการคำนวณหาค่า Drainage Modulus ของพื้นที่จะต้องระบายในโครงการนี้ ใช้ข้อมูลสภาพฝนตก 3 วัน ในรอบ 5 ปี มีค่า 180.00 มม. โดยมีน้ำขังในท้องนาก่อนฝนตก 100 มม. กำหนดให้ความลึกของน้ำฝนท่วมได้อีก 70% ของความสูงของน้ำในท้องนาก่อนฝนตกจะได้ค่า Drainage Modulus (q_d) ดังนี้

$$q_d = \left(\frac{(R - 70)x1,600}{86,400xT} \right)$$

กำหนดให้ q_d = Drainage Modulus (ลิตร/วินาที/ไร่)

R = ปริมาณฝน (มม.)

T = ระยะเวลาที่ยอมให้แปลงนามีน้ำท่วมขัง (วัน)

$$q_d = \left(\frac{(180 - 70)x1,600}{86,400x3} \right)$$

q_d = 0.679 ลิตร/วินาที/ไร่

จากสูตร $Q_2 = \frac{q_d \mu A}{1,000}$

กำหนดให้ Q_2 = ปริมาณน้ำที่จะระบาย (ม.^{3}/วินาที)

A = พื้นที่ระบายน้ำ (ไร่) = 2,500 ไร่

μ = Reduction Factor = 0.95

จะได้ $Q_2 = \frac{0.679x0.95x2500}{1000}$

$= 1.613$ ม.^{3}/วินาที

3. หาปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะนำไปออกแบบ (Q)

$$Q = Q_1 + Q_2$$
$$= 14.311 + 1.613 = 15.924 \text{ ม.}^3/\text{วินาที}$$

4. การคำนวณขนาดคลอง

การคำนวณขนาดคลองใช้วิธี Trial and error

กำหนดให้ Q = ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ (ม.^{3}/วินาที)
A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งน้ำ (ม.^{2})
V = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำในคลอง (ม./วินาที)
R = รัศมีอุทกศาสตร์ (ม.)
n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวทางน้ำ = 0.035
S = ส่วนลาดเทของท้องคลอง = 1:5,000
S.S. = ส่วนลาดตลิ่งของคลอง = 1:Z = 1:2
b = ความกว้างท้องคลอง (ม.)
d = ความลึกของน้ำในคลอง (ม.)
P = ความยาวเส้นขอบเปียก (ม.)

สมมติให้ b = 10 ม.
d = 2.1 ม.

จาก $A = (b + Zd) d$
$= (10 + 2 \times 2.1) \times 2.1 = 29.82 \text{ ม.}^2$

จาก $P = b + (\sqrt{1 + Z^2}) \times 2d$
$= 10 + \sqrt{1 + 2^2} \times 2 \times 2.1 = 19.391 \text{ ม.}$

จาก $R = \frac{A}{P}$
$= \frac{29.82}{19.391} = 1.538 \text{ ม.}$

$R^{2/3} = 1.332$

จาก $V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$
$= \frac{1}{0.035} \times 1.332 \times \left(\frac{1}{5000} \right)^{1/2}$

V = 0.538 ม./วินาที

จากสูตร Q = VA

= 0.538 x 29.82

= 16.049 ม.^{3}/วินาที

CHECK V = CD^m

Max = $0.547 \times 2.1^{2/3}$ = 0.897 ม./วินาที > V

จากการคำนวณจะได้ Q = 16.049 ม.^{3}/วินาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 15.924 ม.^{3}/วินาที และความเร็วที่เกิดขึ้นน้อยกว่าความเร็วสูงสุดที่ทำให้เกิดการกัดเซาะ ดังนั้นใช้ความกว้างคลอง = 10 ม. และความลึกน้ำ = 2.1 ม. ยอมรับได้

5. ความกว้างชานคลอง (Berm Width)

กำหนดให้ ชานคลองฝั่งซ้ายเป็นด้านที่รถขุดวิ่ง กว้าง = 4.00 ม.

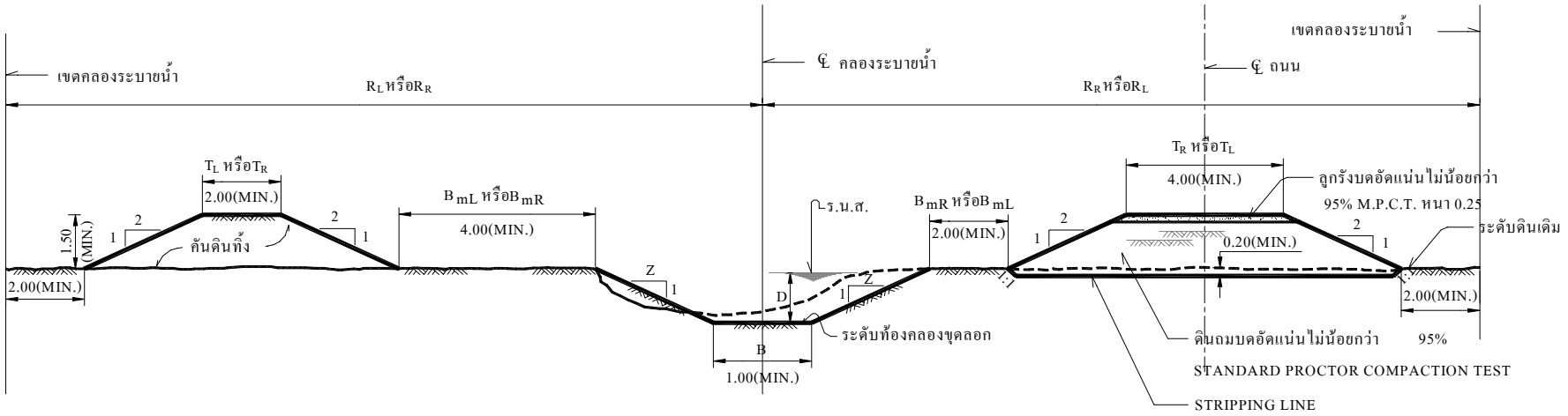
ชานคลองฝั่งขวาไม่ให้รถขุดวิ่ง กว้าง = 2.00 ม.

6. ความกว้างคันคลอง (Spoil Bank Width)

กำหนดให้ คันคลองฝั่งขวาเป็นถนน กว้าง = 5.00 ม.

คันคลองฝั่งซ้ายเป็นคันดินทิ้ง กว้าง = 2.00 ม.

จากตัวอย่างสามารถเขียนมาตรฐานรูปตัดตามขวางคลองระบายน้ำและตามแสดงรายละเอียดคุณสมบัติได้ดังนี้



คลองระบายน้ำ

ตารางแสดงรายละเอียดและขนาดของคลองระบายน้ำ

Q ม.^{3}/วิ	A ม.^{2}	V ม./วิ	R ม.	n	S.S.	L.S.	B ม.	D ม.	Bm_L ม.	Bm_R ม.	T_L ม.	T_R ม.	R_L ม.	R_R ม.	ถนน	หมายเหตุ
16.049	29.82	0.538	1.538	0.035	1:2	1:5,000	10.00	2.10	4.00	2.00	2.00	5.00	-	-	-	

การคำนวณท่อรับแรงดัน

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณน้ำ

<u>ตัวอย่างที่ 1</u> โครงการชลประทานซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำแห่งหนึ่ง มีพื้นที่ที่ต้องส่งน้ำเพื่อการปลูกพืชผักสวนครัว 1,500 ไร่ ราษฎรต้องการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภค 37,000 คน ต้องการใช้น้ำเพื่อการประปาสุขาภิบาลของอำเภอสำหรับคนอีก 3,710 คน พื้นที่โครงการมีสภาพแห้งแล้งทุรกันดาร ภูมิประเทศเป็นลูกเนินตลอดพื้นที่เพาะปลูก (Rolling Area) พิจารณาในแง่วิศวกรรมแล้วจะต้องจัดระบบส่งน้ำเป็นท่อส่งน้ำ อยากทราบว่า ปริมาณน้ำที่จะส่งให้โดยท่อส่งน้ำทั้งหมดนี้เป็นเท่าใด

<u>วิธีทำ</u>

กำหนดให้พืชผักสวนครัวใช้น้ำทั้งหมด = 0.16 ลิตรต่อวินาทีต่อไร่

คำนวณปริมาณน้ำที่ต้องใช้สำหรับพืชผัก = $\frac{0.16 \text{x} 1,500}{1,000}$ ม.^{3}/วินาที

= 0.240 ม.^{3}/วินาที

กำหนดให้คนใช้น้ำเพื่ออุปโภค บริโภค = 150 ลิตรต่อวันต่อคน

คำนวณปริมาณน้ำเพื่อการอุปโภค บริโภค = $\frac{150 \times 37,000}{1,000 \times 24 \times 3,600}$ ม.^{3}/วินาที

= 0.064 ม.^{3}/วินาที

กำหนดให้คนใช้น้ำจากการประปา = 150 ลิตรต่อวันต่อคน

คำนวณปริมาณน้ำเพื่อการประปา = $\frac{150 \times 3,710}{1,000 \times 24 \times 3,600}$ ม.^{3}/วินาที

ได้ปริมาณน้ำเพื่อการประปา = 0.006 ม.^{3}/วินาที

ฉะนั้นจะได้ปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้โดยใช้ท่อ = 0.240+ 0.064 + 0.006 ม.^{3}/วินาที

= 0.310 ม.^{3}/วินาที

= 310 ลิตร/วินาที

<u>ตัวอย่างที่ 2</u> จากตัวอย่างที่ 1 หากระดับน้ำต่ำสุดในการจัดสรรน้ำเท่ากับ+ 144 ระดับน้ำเก็บกัก + 150 และระดับศูนย์กลางท่อ Outlet ขนาด 600 มม. อยู่ที่ + 143 จงคำนวณหาปริมาณน้ำต้นทุนเฉลี่ยของโครงการนี้ว่าควรจะเป็นเท่าใด

<u>วิธีทำ</u>

จากระดับน้ำเก็บกัก = + 150

ระดับน้ำต่ำสุด = + 144

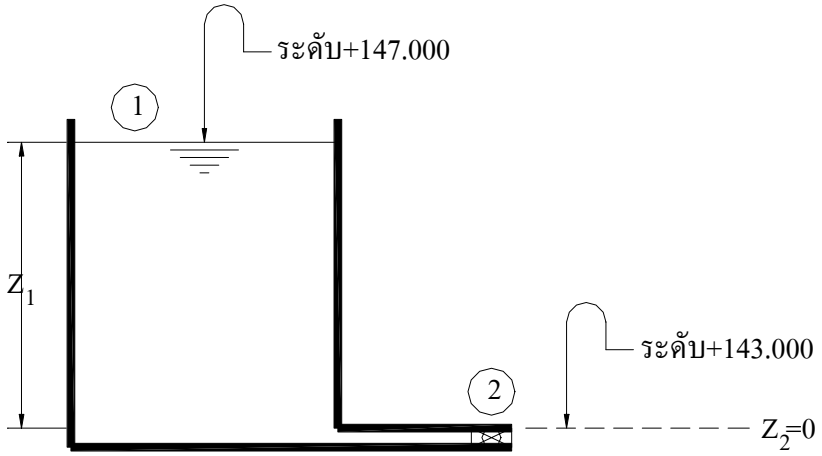
เฉลี่ยระดับน้ำใช้การ $= 144 + \frac{(150 - 144)}{2}$

$= + 147$

เพราะฉะนั้น ถ้าคิดสมการพลังงานที่จุด + 147 เป็นจุดที่ 1 และที่ระดับศูนย์กลางท่อ + 143 เป็นจุดที่ 2 จะได้ดังรูปที่ 1 (โดยไม่คิดการสูญเสียจากจุด 1 ถึงจุด 2)

สมการพลังงานระหว่าง 1 ถึง 2 คือเอาจุด 2 เป็นจุดอ้างอิง ($z_2 = 0$)

จะได้ $\frac{P_1}{\gamma}^{0} + \frac{V_1^2}{2g}^{0} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma}^{0} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2^{0}$ …….. (1)



เมื่อ Z_1 และ Z_2 คือความสูงที่วัดจากระดับที่กำหนดขึ้น

γ คือน้ำหนักจำเพาะของน้ำ (Unit Weight) กก./ม.^{3}

g คือความเร่งแรงโน้มถ่วงโลก = 9.81 ม./วินาที^{2}

P_1 และ P_2 คือความดัน Gage (เป็นศูนย์ที่ความดันบรรยากาศ)

V_1 และ V_2 คือความเร็ว และความเร็วที่จุด (1) ถือว่าน้อยมาก สมมติ เป็นศูนย์เมื่อเทียบกับความเร็วที่จุด (2)

จากสมการ (1) จะได้ $Z_1 = \frac{V_2^2}{2g}$

เพราะฉะนั้น $V_2 = \sqrt{2gZ_1} = \sqrt{2 \times 9.81 \times 3}$

$= 7.672$ ม./วินาที

จากสูตร $Q = C_d A V$ ..... (2)

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำ (ม.^{3}/วินาที)

A = เนื้อที่หน้าตัดท่อส่งน้ำ

ในที่นี้ $= \frac{\pi \times 0.60 \times 0.60}{4}$ ม.^{2}

V = ความเร็วที่ออกจากท่อส่งน้ำ (ม./วินาที)

C_d = ค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการไหลในที่นี้ประมาณ = 0.60

$Q = \frac{0.60 \times \pi \times 0.60 \times 0.60 \times 7.672}{4} = 1.302$ ม.^{3}/วินาที

ฉะนั้น ปริมาณน้ำต้นทุนเฉลี่ย = 1,302 ลิตร/วินาที

จากตัวอย่างที่ 2 นี้ จะเห็นได้ว่าผู้ออกแบบจะต้องมีความรู้พื้นฐานในการคำนวณปริมาณน้ำผ่านออรีฟิช (Orifice) โดยดูได้จากสมการ (2) และประยุกต์ใช้งานเข้ากับสมการของเบอนวลลี (Bernoulli's Equation) จากสมการ (1) ซึ่งสามารถทำความเข้าใจได้ง่าย ๆ จากหนังสือไฮดรอลิกส์ (Hydraulic) ทั่ว ๆ ไป

ตัวอย่างการคำนวณขนาดท่อที่ใช้ในระบบส่งน้ำ

<u>ตัวอย่างที่ 3</u> จงประมาณค่าขนาดท่อส่งน้ำของโครงการส่งน้ำโครงการหนึ่ง ซึ่งจะต้องส่งน้ำโดยใช้ท่อส่งน้ำรับแรงดัน โดยมีปริมาณน้ำผ่านท่อส่งน้ำได้มากสุด 0.165 ม.^{3}/วินาที (หรือ 165 ลิตร/วินาที)

<u>วิธีทำ</u>

ประมาณขนาดท่อจากสูตร $Q = AV$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำ = 0.165 ม.^{3}/วินาที

A = เนื้อที่หน้าตัดท่อ = $\frac{\pi D^2}{4}$ (D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อเป็น ม.)

V = ความเร็วน้ำผ่านท่อ (เมื่อเป็นท่อประธาน = 0.60 ม./วินาที)

แทนค่าในสูตร $0.165 = \frac{\pi D^2}{4} \times 0.60$

$D^2 = \frac{0.165 \times 4}{0.60 \times \pi} = 0.350$ ม.^{2}

$D = 0.592$ ม.

ฉะนั้น จากตัวอย่างต้องใช้ท่อขนาด 600 มม.

จากตัวอย่างที่ 3 นี้ สามารถนำไปใช้พิจารณากำหนดชนิดและขนาดท่อตามที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ซึ่งอาจใช้เป็นท่อแถวเดี่ยวทั้งระบบ หรือท่อ 2 แถว ท่อ 3 แถว ในช่วงต้น ๆ ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ทั้งนี้ จะต้องออกแบบและกำหนดชนิดท่อให้เหมาะสม พร้อมประหยัดทางด้านวิศวกรรมด้วย

ตัวอย่างการคำนวณหาการสูญเสียพลังงาน

<u>ตัวอย่างที่ 4</u> โครงการชลประทานแห่งหนึ่งใช้ท่อ PVC เป็นระบบส่งน้ำชลประทานรับแรงดัน ส่งน้ำด้วยความเร็ว 0.55 ม./วินาที โดยใช้ท่อส่งน้ำขนาด 600 มม. ความยาวท่อทั้งหมด 2,500 ม. จงคำนวณหาค่าการสูญเสียหลักของท่อ PVC โครงการนี้

<u>วิธีทำ</u>

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

เมื่อ h_f = การสูญเสียพลังงานหลัก

L = 2,500 ม.

D = 600 มม. = 0.60 ม. = 1.968 ฟุต

g = 9.81 ม./วินาที^{2}

V = 0.55 ม./วินาที

= 1.804 ฟุต/วินาที

พิจารณาค่า f = แฟคเตอร์ของความเสียดทาน จาก Moody Diagram (ภาคผนวก)

ค่า Friction Factor (f) นี้จะสัมพันธ์กับค่า Reynold Number

เมื่อ Re = Reynold Number = $\frac{VD}{\upsilon}$

โดยที่ V = ค่าความเร็ว ฟุต/วินาที

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

υ = ความหนืดจลน์ ฟุต^2/วินาที

ค่าความหนืดน้ำโดยทั่วไป จะคิดที่อุณหภูมิของน้ำที่ 22°c - 30°c แต่ในที่นี้สมมติคิดที่ 27°c หรือ 80° F ได้ $\upsilon = 0.930 \times 10^{-5}$ ฟุต^2/วินาที

$$Re = \frac{VD}{\upsilon} = \frac{1.804x1.968}{0.930x10^{-5}} = 3.818x10^{5}$$

พิจารณาค่า $\frac{\varepsilon}{D}$ หรือ $\frac{\varepsilon}{d}$ ใน Moody Diagram (ภาคผนวก)

เมื่อ ε = ความขรุขระของท่อ

D = d = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

สำหรับท่อ PVC ใช้ค่า ε = 0.000005 ฟุต

ได้ค่า $\frac{\varepsilon}{D} = \frac{\varepsilon}{d} = \frac{0.000005}{1.968} = 2.541x10^{-6}$

ค่า $\frac{\varepsilon}{d} = 2.541x10^{-6} = 0.00000254$

จะเห็นว่าอยู่ใกล้ ๆ กับช่วง Smooth Pipe

จากค่า Re = 3.818×10^{5} ค่า $\frac{\varepsilon}{d}$ = 0.00000254 จะเป็นเส้น $\frac{\varepsilon}{d}$ ที่ Smooth

และได้ค่า f = 0.0145 โดยประมาณ

ฉะนั้น $h_f = 0.0145x\frac{2,500}{0.60}x\frac{0.55^{2}}{2x9.81} = 0.9315$ ม.

นั่นคือ การสูญเสียหลักของท่อสายนี้ = 0.932 ม.

<u>ตัวอย่างที่ 5</u> โครงการชลประทานแห่งหนึ่งใช้ท่อ PVC เป็นระบบส่งน้ำชลประทานรับแรงดัน ส่งน้ำด้วยความเร็ว 0.55 ม./วินาที โดยใช้ท่อส่งน้ำขนาด 600 มม. ความยาวท่อทั้งหมด 2,500 ม. มีข้อต่อขนาด 45° จำนวน 25 แห่ง ข้อต่อ 90° จำนวน 15 แห่ง แยกสามทางตัวที (Tee) จำนวน 4 แห่ง Gate Valve ทั้งหมด 10 แห่ง จงคำนวณหาค่าการสูญเสียรองของท่อ PVC โครงการนี้

<u>วิธีทำ</u>

จากสูตร $h_m = K\frac{V^{2}}{2g}$

ค่า K ของข้อต่อ 45 = 0.45 (จากตารางใช้ 0.25 - 0.45)

ค่า K ของข้อต่อ 90 = 0.75 (จากตารางใช้ 0.35 - 0.75)

ค่า K ของแยกสามทางตัวที (Tee) = 2.0 (จากตารางใช้ 1.5 – 2.0)

ค่า K ของ Gate Valve = 0.25 (ประมาณ 0.15 –0.25)

ฉะนั้น $h_m = \{(0.45x25) + (0.75x15) + (2x4) + (0.25x10)\} x \frac{V^2}{2g}$

V = ความเร็ว = 0.55 ม./วินาที

g = 9.81 ม./วินาที ^{2}

แทนค่าต่างๆ จะได้

$$h_m = \{(0.45x25) + (0.75x15) + (2x4) + (0.25x10)\} x \frac{(0.55)^2}{2x9.81}$$

$$= (11.25 + 11.25 + 8 + 2.5) x \frac{(0.55)^2}{2x9.81}$$

= 0.5089 ม. ของน้ำ

นั่นคือ การสูญเสียรองของระบบท่อโครงการนี้ คือ 0.509 ม. จากตัวอย่างที่ 4 และ ที่ 5 จะได้ค่าการสูญเสียในเส้นท่อทั้งระบบ โดยการรวมค่าการสูญเสียหลักคือ 0.932 ม. และค่าการสูญเสียรอง คือ 0.509 ม.

ฉะนั้น ค่าการสูญเสียพลังงานในท่อทั้งระบบของโครงการนี้จะเท่ากับ 1.441 ม.

ตัวอย่างการคำนวณหาเส้น Hydraulic Grade Line

<u>ตัวอย่างที่ 6</u> จากตัวอย่างที่ 4 และตัวอย่างที่ 5 จงประมาณลาด Hydraulic Grade Line ของโครงการชลประทานนั้นว่าควรจะเท่าใด จึงจะเหมาะสมกับการส่งน้ำ และน้ำมีแรงดันพอเพียงที่จะส่งถึงท่อทั้งระบบ

<u>วิธีทำ</u>

จากตัวอย่างดังกล่าว

ความยาวท่อทั้งหมด = 2,500 ม.

การสูญเสียพลังงานหลักและรองในระบบท่อ = 1,441 ม.

ในที่นี้เพิ่มการสูญเสียเนื่องจากเหตุอื่น ๆ อีก 10 % ของการสูญเสียหลักและรอง

(เช่นการต่อท่อความดันต่ำเพิ่มขึ้นที่จุดจ่ายน้ำ ฯลฯ = 1.441+ 0.1441 ม.)

ได้การสูญเสียระบบท่อโดยประมาณ = 1.5851 ม.

ฉะนั้น ได้ลาด HGL (Hydraulic Grade Line) = $\frac{1.5851}{2,500}$

= 0.000634

หรือ ลาด HGL = 1 : 1,578

ฉะนั้น นั่นคือจาก กม. 0+000 ถึง กม. 1+578 ระดับศูนย์กลางท่อที่ กม. 1+578 จะต้องต่ำกว่า กม. 0+000 ไม่น้อยกว่า 1.00 ม. น้ำจึงจะไหลถึงปลายท่อที่ กม. 1+578 ได้ และปริมาณน้ำพอเพียงตามความต้องการ

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความดัน Water Hammer

<u>ตัวอย่างที่ 7</u> จากตัวอย่างที่ 5 ให้หาค่าความดัน Water Hammer สูงสุดเมื่อท่อ PVC ส่งน้ำด้วยความเร็ว 0.55 ม./วินาที ถูกหยุดในท่อ PVC นี้ขนาด 600 มม. หนา 15 มม. $e = 28 \times 10^3$ กก./ซม.^{2} OD = 630 มม. ID = 600 มม.

<u>วิธีทำ</u>

เนื่องจากสูตรต่างๆ การคำนวณยังเป็นระบบอังกฤษอยู่ ในที่นี้จึงเปลี่ยนค่าต่าง ๆ เข้าหาระบบอังกฤษตามสูตรด้วย

การคำนวณหาความเร็วคลื่น

จากสมการ $c = \dfrac{4,660}{\sqrt{1+\dfrac{bd}{et}}}$ ฟุต/วินาที

$b = 300,000$ ปอนด์/นิ้ว^2

$d = 600$ มม. $= \dfrac{60}{2.54}$ นิ้ว $= 23.622$ นิ้ว

$e = 28 \times 10^3$ กก./ซม.^{2} $= 400,000$ ปอนด์/นิ้ว^2

$t =$ ความหนาของท่อ (นิ้ว)

$$c = \frac{4,660}{\sqrt{1+\dfrac{300,000 \times 23.622}{400,000 \times 0.591}}}$$

$$= 837.269 \text{ ฟุต/วินาที}$$

คำนวณหาความดัน Water Hammer

จากสูตร $P = \dfrac{cV}{2.31g}$

$$= \frac{837.269V}{2.31 \times 32.2}$$

จาก V = 0.55 ม./วินาที = 0.55x3.28083 = 1.804 ฟุต/วินาที

$$P = \frac{837.269 \times 1.804}{2.31 \times 32.2} \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2$$

$$= 20.306 \text{ ปอนด์/นิ้ว}^2$$

$$= 1.427 \text{ กก./ซม.}^2$$

ฉะนั้น ความดัน Water Hammer สูงสุด = 1.427 กก./ซม.^{2}

ตัวอย่างการคำนวณหาขนาดเครื่องสูบน้ำ

<u>ตัวอย่างที่ 8</u> โครงการชลประทานโครงการหนึ่ง เป็นโครงการชลประทานในพระราชดำริ ต้องการสูบน้ำไปใช้ด้วยอัตรา 165 ลิตร/วินาที โดยมีแรงดันสุทธิรวม 4.00 ม. ถ้าที่อัตรากำลังสูบน้ำและแรงดันสุทธิดังกล่าว เครื่องสูบน้ำมีประสิทธิภาพ 75 เปอร์เซ็นต์ มอเตอร์มีประสิทธิภาพ 85 เปอร์เซ็นต์

จงหา (1) แรงม้าทางทฤษฎี
(2) แรงม้าของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนของเคลื่องสูบน้ำ
(3) พลังงานไฟฟ้าที่ต้องการ
(4) ประสิทธิภาพรวมของเครื่องสูบน้ำทั้งระบบ
(5) ควรขับด้วยมอเตอร์ขนาดเท่าใด

<u>วิธีทำ</u>

จาก Q = 165 ลิตร/วินาที

$$= \frac{165 \times 3{,}600}{1{,}000} = 594 \text{ ม.}^3\text{/ชม.}$$

จากสูตร $HP = \frac{QH}{273\eta}$

(1) แรงม้าทางทฤษฎี จะมีค่า

$$HP = \frac{Q.H}{273\eta} = \frac{594 \times 4}{273} \quad (\text{เมื่อ } \eta = 1.00)$$

$$= 8.703 \text{ แรงม้า}$$

(2) แรงม้าของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนของเครื่องสูบน้ำ จะมีค่า

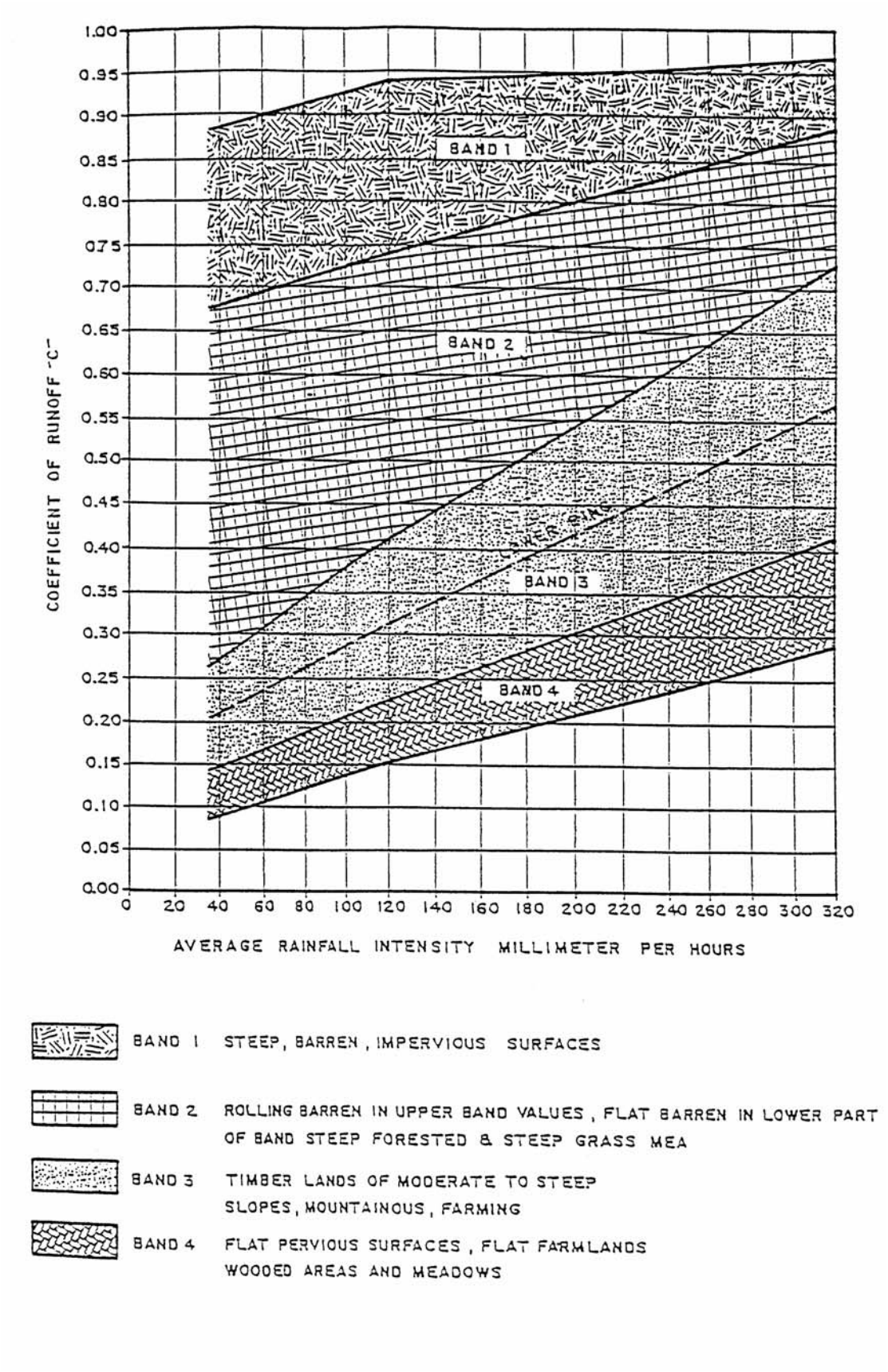
$$HP = \frac{Q.H}{273\eta} = \frac{8.703}{0.75} \quad (\text{เมื่อ } \eta = 0.75)$$

บรรณานุกรม

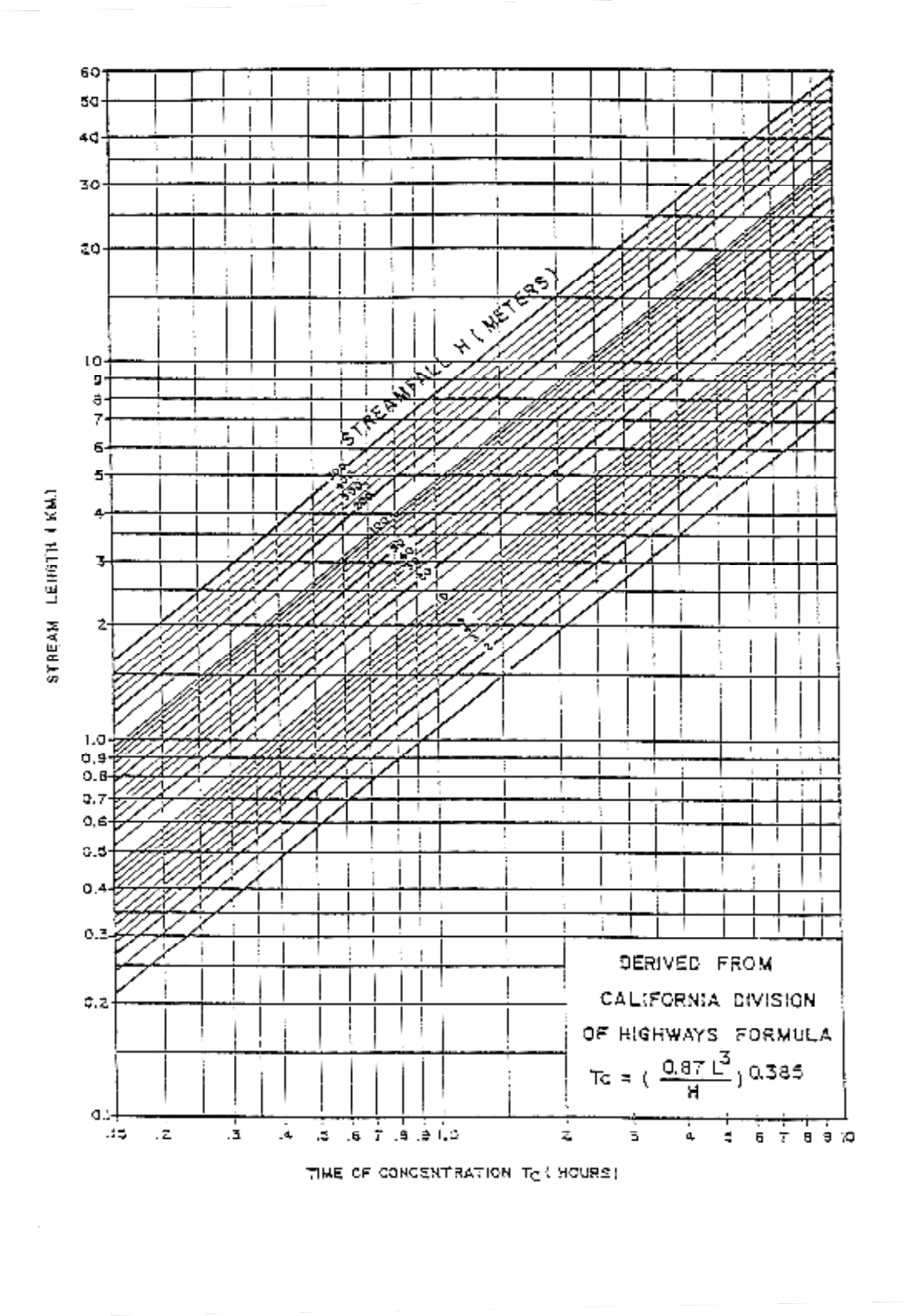
1. Irrigation Principles and Practices : Israelsen
2. Irrigation Engineering Vol.I , II : Houk
3. Design textbooks in civil Eng. Vol.I , II , III : Letiasky
4. Irrigation Practices and Eng. Vol.I-IV : Etcheverry
5. ความต้องการน้ำของพืช และค่าชลภาระในการออกแบบระบบส่งน้ำ
   โดย ดิเรก ทองอร่าม
6. การวางแผนและออกแบบระบบการส่งน้ำชลประทาน ชลกรณีบับพิเศษ 72 ปี
   อ.อรุณ อินทรปาลิต
   โดย อ.อรุณ อินทรปาลิต

ภาคผนวก

มาตรฐานระบบส่งน้ำและระบายน้ำ

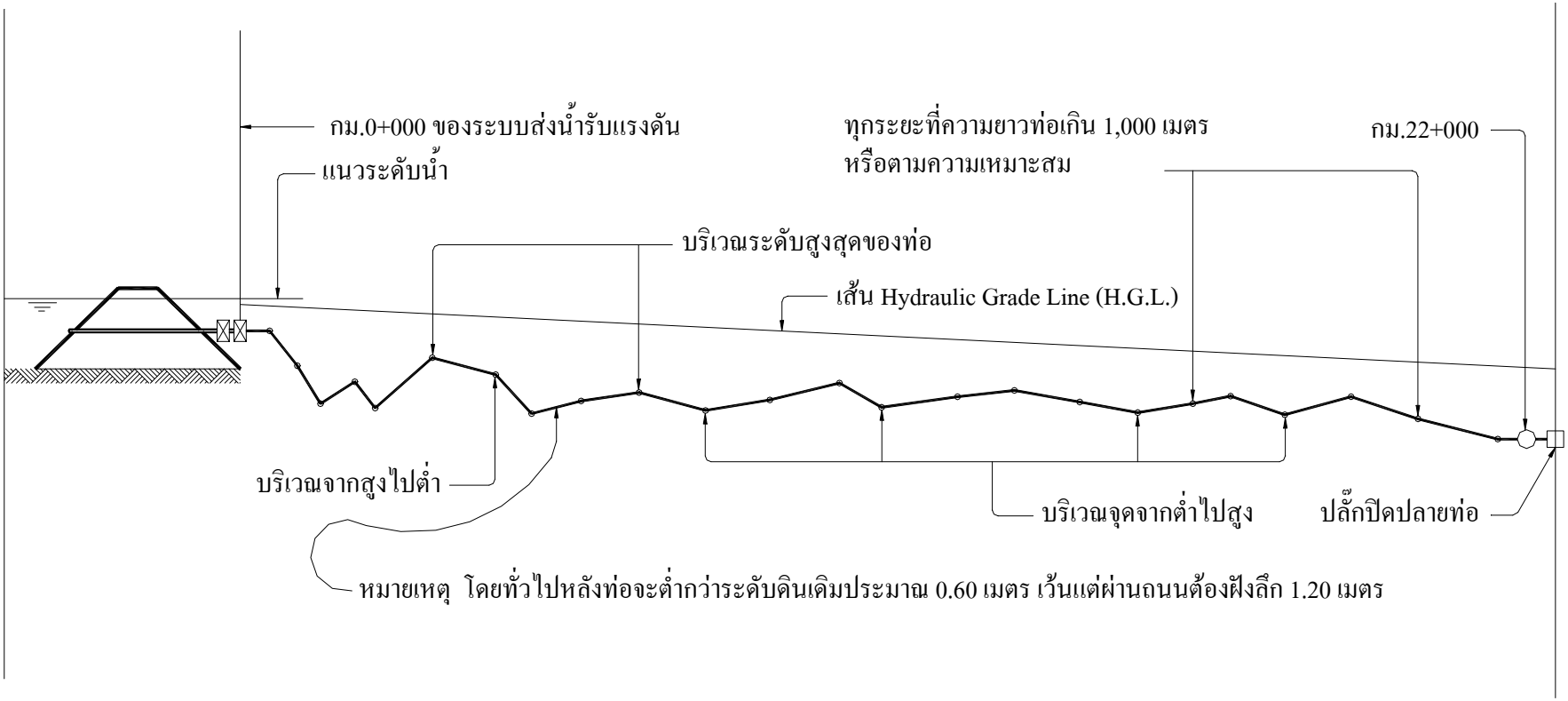


รูปที่ ผ.1 ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า C ที่ใช้ในสูตร Rational's Formula

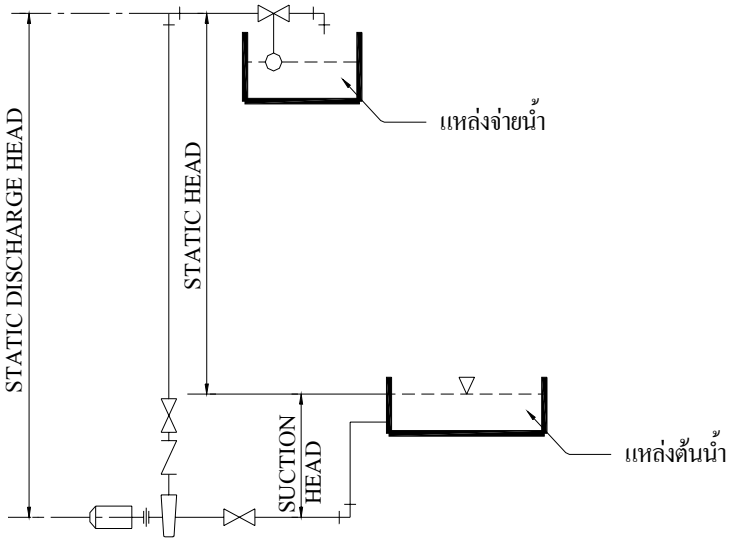


รูปที่ ผ.2 ระยะเวลาการไหลรวมตัวของน้ำท่า

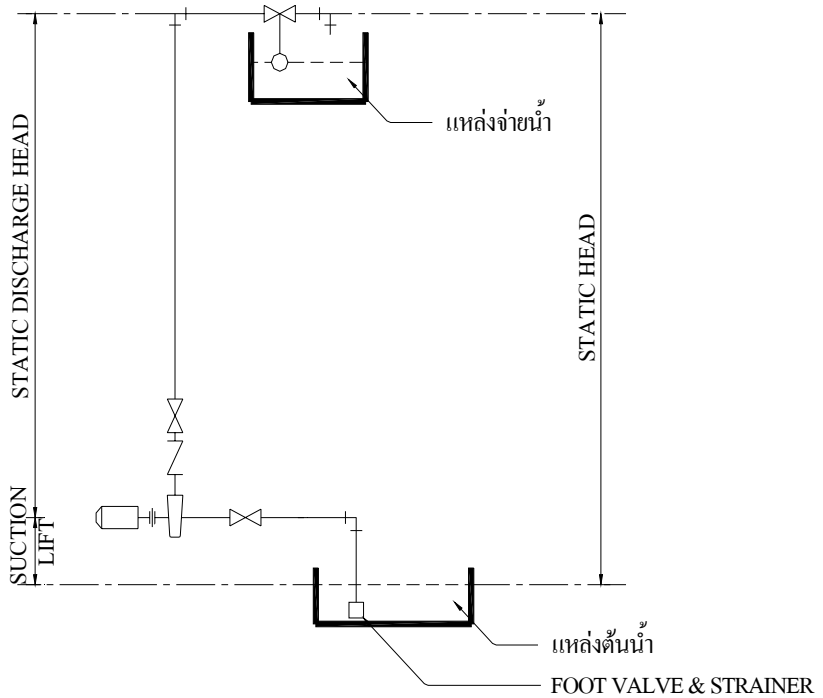
จุดที่ควรติดตั้ง Air Valve



รูปที่ ผ.3 แสดงจุดที่ควรติดตั้งวาวล์ไล่อากาศ Air Valve

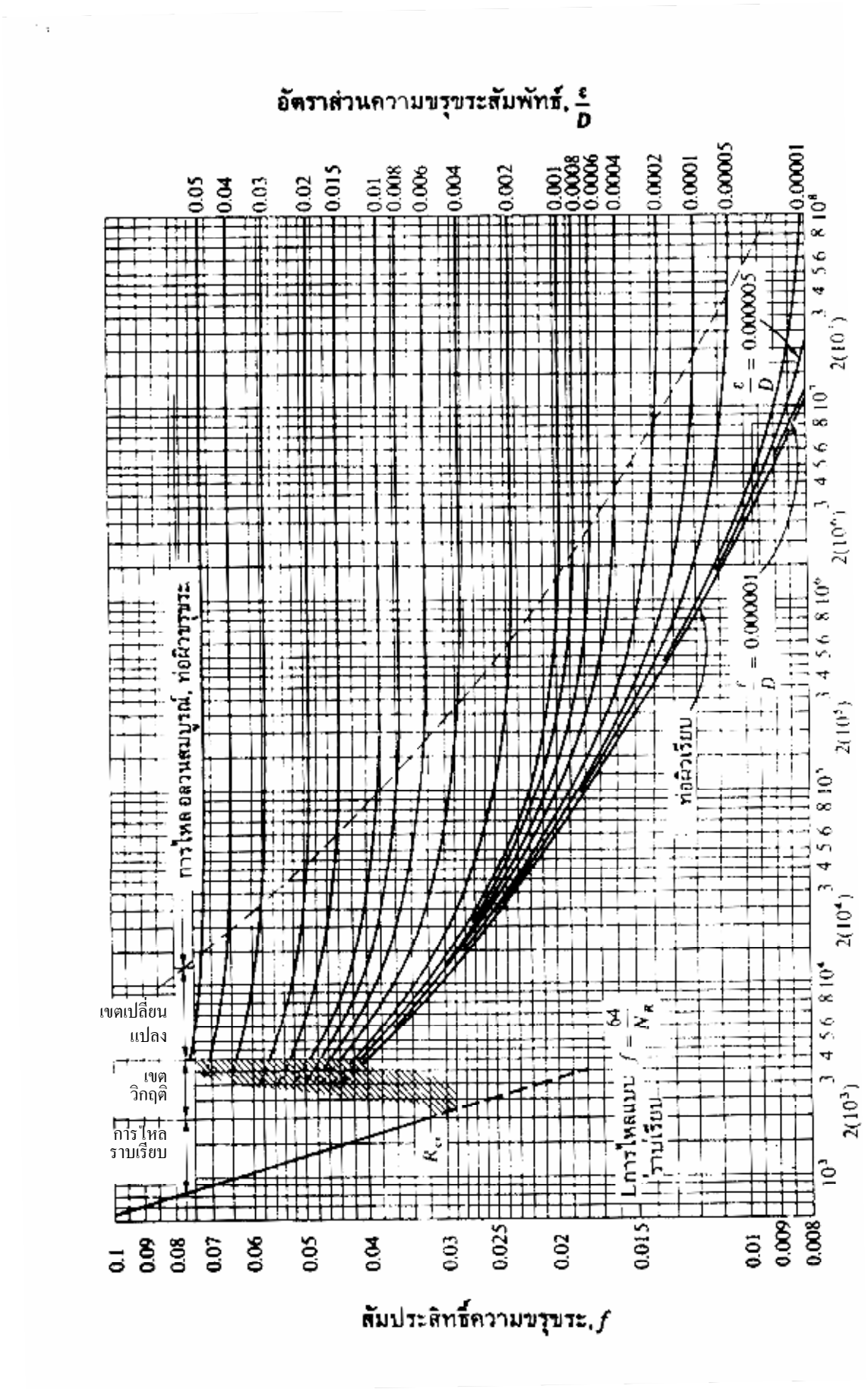


ระบบท่อเมื่อผิวแหล่งน้ำสูงกว่าเครื่องสูบน้ำ



ระบบท่อเมื่อผิวแหล่งน้ำต่ำกว่าเครื่องสูบน้ำ

รูปที่ ผ.4 แสดงรูปแบบอย่างง่ายของเครื่องสูบน้ำ และแรงดัน (Head) ต่าง ๆ



รูปที่ ผ.5 Moody Diagram

ตารางแสดงขนาดคลองและคุณสมบัติการไหล

ข้อมูลในตารางคำนวณจาก สูตร Manning's Formula

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{.....ระบบเมตริก}$$

เมื่อ V = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล

n = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของทางน้ำ
ในที่นี้สำหรับคลองส่งน้ำใช้ 0.018
ในที่นี้สำหรับคลองระบายน้ำใช้ 0.035

R = Hydraulic radius = $\frac{A}{P}$

S = Slope of energy หรือ ลาดตามยาว (Longitudinal Slope)

สำหรับคลองส่งน้ำในตาราง กำหนดค่า S ไว้ดังนี้

S = 1:1,000 or 0.001000

S = 1:2,000 or 0.000500

S = 1:3,000 or 0.000333

S = 1:4,000 or 0.000250

S = 1:5,000 or 0.000200

S = 1:8,000 or 0.000125

S = 1:10,000 or 0.000100

S = 1:12,000 or 0.000083

S = 1:20,000 or 0.000050

สำหรับคลองระบายน้ำในตาราง กำหนดค่า S ไว้ดังนี้

S = 1:2,000 or 0.000500

S = 1:3,000 or 0.000333

S = 1:5,000 or 0.000200