การออกแบบทางระบายน้ำล้นโดยวิธีกราฟ

Graphical Method for Spilway Design

โดย นาย วราวุธ วุฒิวณิชย์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

บทนำ

เทคนิคในการออกแบบทางระบายน้ำล้นมีหลายวิธี ง่ายที่สุดก็ได้แก่การคำนวณหาความยาวของสันฝาย (L) โดยตรง จากสูตร $Q = CLH^{1.5}$ เมื่อรู้ค่าอื่น ๆ และสมมุติว่าอ่างเก็บน้ำไม่ได้ช่วยทำหน้าที่หน่วงน้ำนอง (Flood detention) เลย ความจริงแล้วอ่างเก็บน้ำมีปริมาตรเก็บกักน้ำส่วนเกิน (Surcharge storage) ซึ่งทำหน้าที่หน่วงน้ำนอง ได้จำนวนหนึ่ง ทำให้ปริมาณน้ำนองสูงสุด (Flood Peak) ที่ไหลผ่านทางระบายน้ำล้นมีขนาดเล็กกว่าที่ไหลเข้าอ่าง การออกแบบจึงควรต้องพิจารณาว่าอ่างจะช่วยหน่วงน้ำนองได้มากน้อยเท่าใด ซึ่งทำได้โดยใช้วิธีฟลัดเร้าติ้ง (Flood Routing) ในการออกแบบทางระบายน้ำล้น วิธีฟลัดเร้าติ้งจะเริ่มจากการสมมติค่าความยาวของสันฝาย แล้วทำการเร้า (Route) กราฟน้ำนอง (Flood Hydrograph) ผ่านอ่าง และทางระบายน้ำล้น เพื่อหาว่าอัตราการระบายน้ำสูงสุดของทางระบายน้ำล้นและระดับสูงสุด มีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการหรือไม่ ถ้าไม่อยู่ในเกณฑ์ก็ทำการสมมติค่าความยาวของสันฝายใหม่ จนได้ค่าที่ต้องการ วิธีการดังกล่าวถ้าต้องคำนวณด้วยมือก็นับว่ายุ่งยากพอสมควร

วิธีการออกแบบทางระบายน้ำล้นที่จะพูดถึงต่อไปนี้คือวิธีกราฟ ซึ่งทำได้ง่าย รวดเร็ว และให้ความถูกต้องพอสมควร

ข้อมูลที่ต้องการในการออกแบบ

ในการออกแบบทางระบายน้ำล้นต้องการข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(1) โค้งความจุของอ่างเก็บน้ำ (Reservoir volume-elevation curve) ดังแสดงในรูปที่ 1

(2) ระดับสันทางระบายน้ำล้น (Spillway Crest) ซึ่งกำหนดจากขนาดความจุของอ่างเก็บน้ำที่ออกแบบไว้

(3) ลักษณะของทางน้ำล้น

(4) กราฟน้ำนองที่ไหลเข้าอ่าง (Inflow Design Flood Hydrograph) รูปที่ 2

(5) วัตถุประสงค์ของอ่างเก็บน้ำ เช่น

เพื่อการเก็บกักน้ำไว้ใช้งาน หรือเพื่อการป้องกันน้ำท่วม

(6) สมมติว่าระดับน้ำอยู่ที่สันฝายของทางระบายน้ำล้น ขณะคลื่นน้ำนองเคลื่อนตัวเข้าสู่อ่าง ซึ่งเป็นกรณีที่แย่ที่สุด

วิธีการออกแบบ

ให้ทางระบายน้ำล้นเป็นประเภทฝาย(Weir) แบบไม่มีบานประตูควบคุม ซึ่งมีสูตรในการคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลผ่านดังนี้

$$Q = CLH^{1.5}$$

เมื่อ Q = อัตราการระบายน้ำของทางระบายน้ำล้น, ลบ.เมตร/วินาที

C = สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านฝาย

L = ความยาวของสันฝาย, เมตร

H = เฮดของน้ำเหนือสันฝาย, เมตร

การวิเคราะห์ปัญหาการออกแบบทางระบายน้ำล้น แบ่งออกได้เป็น 3 กรณี คือ

กรณีที่ 1 กำหนดค่าปริมาณน้ำสูงสุดที่ไหลผ่านทางระบายน้ำล้น (Q_{max})

ถ้าการป้องกันน้ำท่วม คือ วัตถุประสงค์ที่สำคัญของอ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำที่ระบายผ่านทางระบายน้ำล้นจะต้องไม่ก่อให้เกิดน้ำท่วมทางด้านท้ายน้ำ ดังนั้นขนาดของลำน้ำจะเป็นตัว กำหนดค่า Q_{max} ในกรณีนี้สิ่งที่ต้องการหาคือค่า H_{max} (เฮดของน้ำสูงสุดเหนือสันฝาย หรือระดับน้ำในอ่างสูงสุดเหนือสันฝาย) และ L

วิธีการ

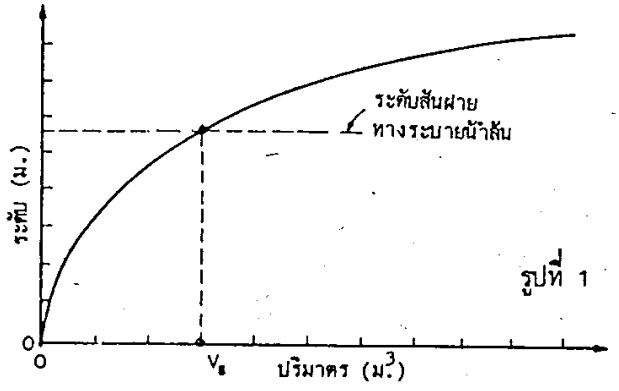
(1) เขียนกราฟน้ำไหลผ่านฝาย (Outflow Hydrograph) ลงไปในรูปเดียวกับกราฟน้ำนอง โดยให้ Q_{max} อยู่บนช่วงโค้งน้ำลด (Recession Limb) ของกราฟน้ำนอง ดังแสดงในรูปที่ 3 และใช้แพลนนิมิเตอร์ (Planimeter) วัดหาปริมาตรเก็บกักน้ำส่วนเกิน (V_t) จากรูป

(2) หาปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำที่ระดับสันฝาย (V_s) จากโค้งความจุของอ่างเก็บน้ำในรูปที่ 1 และคำนวณหาปริมาตรอ่างทั้งหมด,

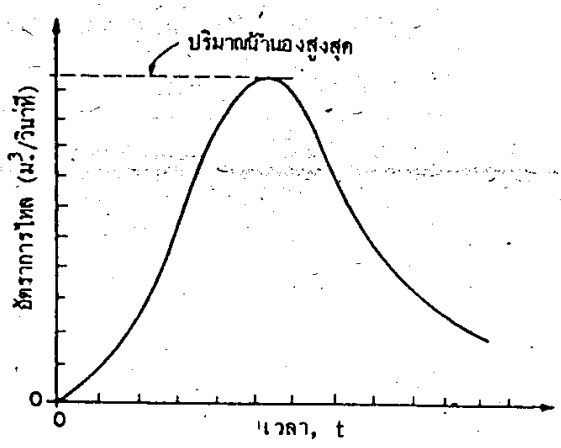
$$V_o = V_s + V_t$$

(3) ใช้โค้งความจุของอ่างเก็บน้ำหาระดับของอ่างที่ปริมาตรเท่ากับ V_o หลังจากนั้นจึงคำนวณหาค่า H_{max} (เฮดสูงสุดเหนือระดับสันฝาย) ได้ โดยเอาระดับที่ V_o ลบด้วยระดับสันฝาย

(4) คำนวณหาความยาวของสันฝายจากสมการที่ (1)

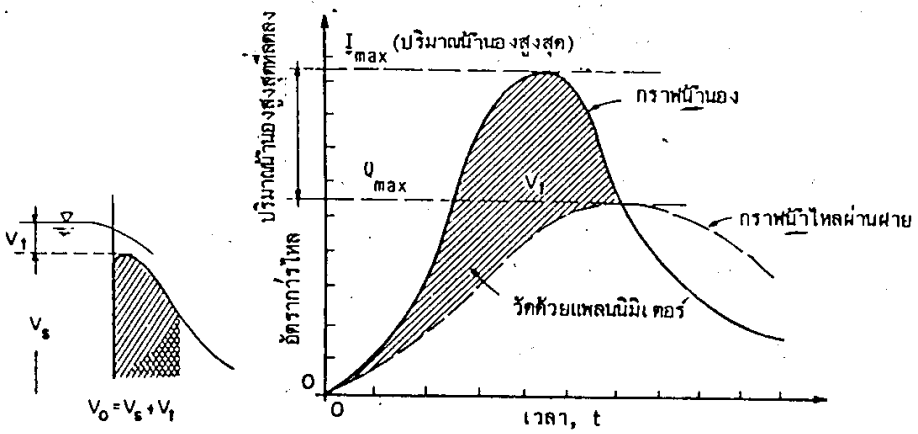


รูปที่ 1 โค้งความจุของอ่างเก็บน้ำ



รูปที่ 2 กราฟน้ำนอง

รูปที่ 3 กราฟน้ำนองและกราฟน้ำไหลผ่านสันฝาย



$$L = \frac{Q_{max}}{C\ H_{max}^{1.5}}$$

กรณีที่ 2 กำหนดค่าเฮดน้ำสูงสุดเหนือสันฝาย (H_{max})

ค่า H_{max} จะเป็นตัวบอกค่าระดับน้ำสูงสุดของอ่างเก็บน้ำ ซึ่งระดับน้ำสูงสุดอาจถูกจำกัดเนื่องจากลักษณะตามธรรมชาติหรือลักษณะการใช้ที่ดินในบริเวณอ่างเก็บน้ำ ในกรณีนี้สิ่งที่ต้องหาคือ Q_{max} และ L

วิธีการ

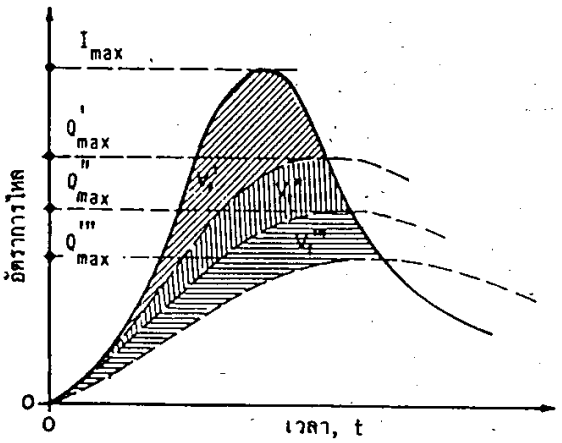
(1) เขียนกราฟน้ำไหลผ่านสันฝายหลาย ๆ กราฟ ตามค่า Q_{max} ที่สมมติขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4

(2) หาค่าปริมาตรเก็บกักน้ำส่วนเกินสำหรับค่า Q_{max} แต่ละค่าที่สมมติขึ้นจากรูปที่ 4 โดยใช้แพลนนิมิเตอร์ ซึ่งจะได้ว่า

Q'_{max} ปริมาตรเก็บกักน้ำส่วนเกิน V'_t

Q''_{max} " " $V'_t+V''_t$

Q'''_{max} " " $V'_t+V''_t+V'''_t$



รูปที่ 4 กราฟน้ำนองและกราฟน้ำไหลผ่านสันฝายที่ Q_{max} ต่าง ๆ กัน

อ่านค่า V_s จากรูปที่ 1 และคำนวณหา V_o

$$V'_o = V_s + V'_t$$

$$V''_o = V_s + V'_t + V''_t$$

$$V'''_o = V_s + V'_t + V''_t + V'''_t$$

(3) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_o และ Q_{max} ดังแสดงในรูปที่ 5

(4) จากค่า H_{max} และระดับสันฝายที่กำหนดให้ จะสามารถหาค่าระดับน้ำสูงสุดได้ ซึ่งจะสามารถนำไปหาค่า V_o ได้ จากรูปที่ 1

จากค่า V_o ที่หาได้จะทำให้รู้ค่า Q_{max} จากความสัมพันธ์ระหว่าง V_o และ Q_{max} ในรูปที่ 5

(5) คำนวณหาค่าความยาวของสันฝาย

$$L = \frac{Q_{max}}{C\, H_{max}^{1.5}}$$

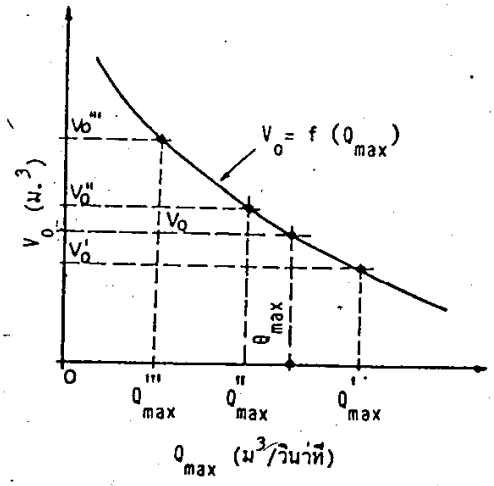
กรณีที่ 3 กำหนดความยาวของสันฝาย (L) ให้หา Q_{max} และ H_{max}

วิธีการ

(1) หากราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_o และ Q_{max} ตามขั้นตอนที่ (1) ถึง (3) ของกรณีที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 6

(2) ทำตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง H, V_o และ Q โดยการสมมติค่า H แล้วหา V_o จากโค้งความจุของอ่างเก็บน้ำในรูปที่ 1 และคำนวณ Q จากสมการที่ (1)

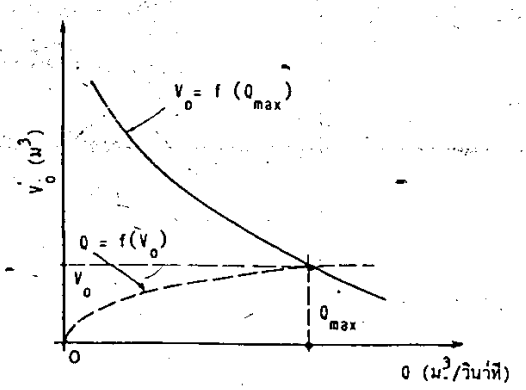
(3) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q และ V_o [$Q = f(V_o)$] ลงในรูปที่ 6 ซึ่งกราฟนี้จะตัดกับกราฟ $V_o = f(Q_{max})$ อ่านค่า Q_{max} กับ V_o ที่จุดตัด หาค่า H_{max} จากโค้งความจุ เมื่อทราบ V_o



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_o และ Q_{max}

ตัวอย่างการออกแบบทางระบายน้ำล้นด้วยวิธีกราฟ

ในการออกแบบทางระบายน้ำล้น กำหนดว่าเฮดของน้ำเหนือสันฝายควรจะไม่เกิน 2.0 เมตร เนื่องจากข้อจำกัดบางประการ ต้องการหาค่า Q_{max} และ L ตามวิธีในกรณีที่ 2 สมมุติให้มีน้ำเต็มอ่างอยู่ที่ระดับสันฝายของทางระบายน้ำล้น ขณะที่น้ำนองเคลื่อนที่มาถึงเขื่อน ซึ่งกรณีนี้เป็นกรณีที่เลวร้ายที่สุด



รูปที่ 6 กราฟ $V_o = f(Q_{max})$ vs. $Q = f(V_o)$

ข้อมูล (1) กราฟน้ำนองในรูปที่ 7

(2) โค้งความจุอ่างเก็บน้ำในรูปที่ 8

(3) ระดับสันฝายอยู่ที่ + 330 เมตร

(4) ปริมาตรความจุของอ่างที่ระดับสันฝาย (V_s) 20 ล้าน ลบ.ม.

(5) สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านสันฝาย C= 2.0

วิธีทำ

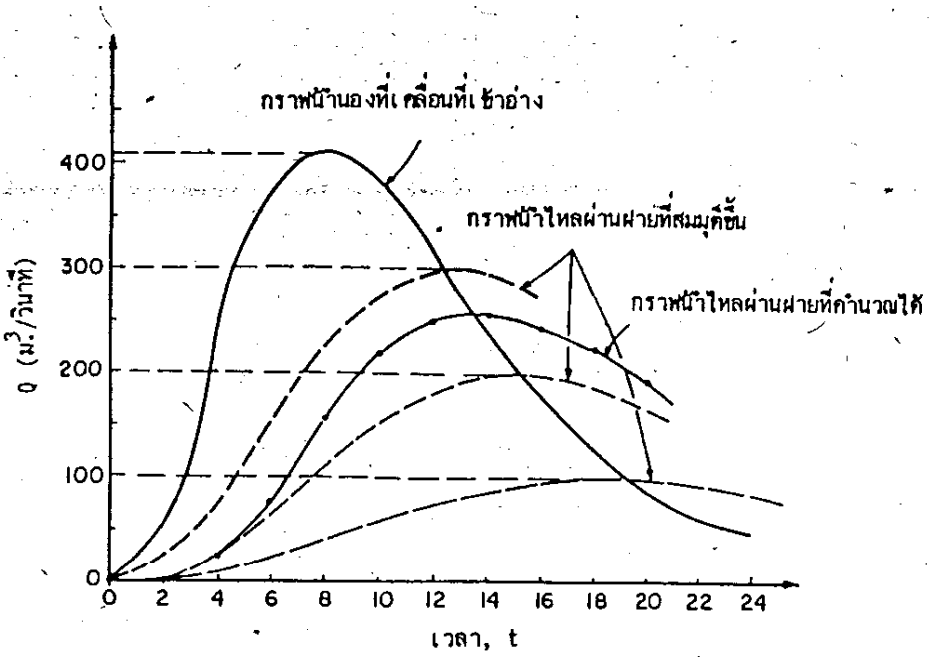
ขั้นที่ 1 สมมติค่า Q_{max} = 100, 200 และ 300 ม^3/ วินาที

เขียนกราฟน้ำไหลผ่านฝาย 3 กราฟ ให้มีค่า Q_{max} ตามที่สมมติลงในรูปที่ 7

ขั้นที่ 2 ใช้แพลนนิมิเตอร์หาปริมาตรเก็บกักน้ำส่วนเกิน V_t สำหรับกราฟน้ำไหลผ่านฝายแต่ละกราฟที่สมมติขึ้นมา และทำการคำนวณหา $V_o = V_s + V_t$ ดังแสดงในตารางที่ 1

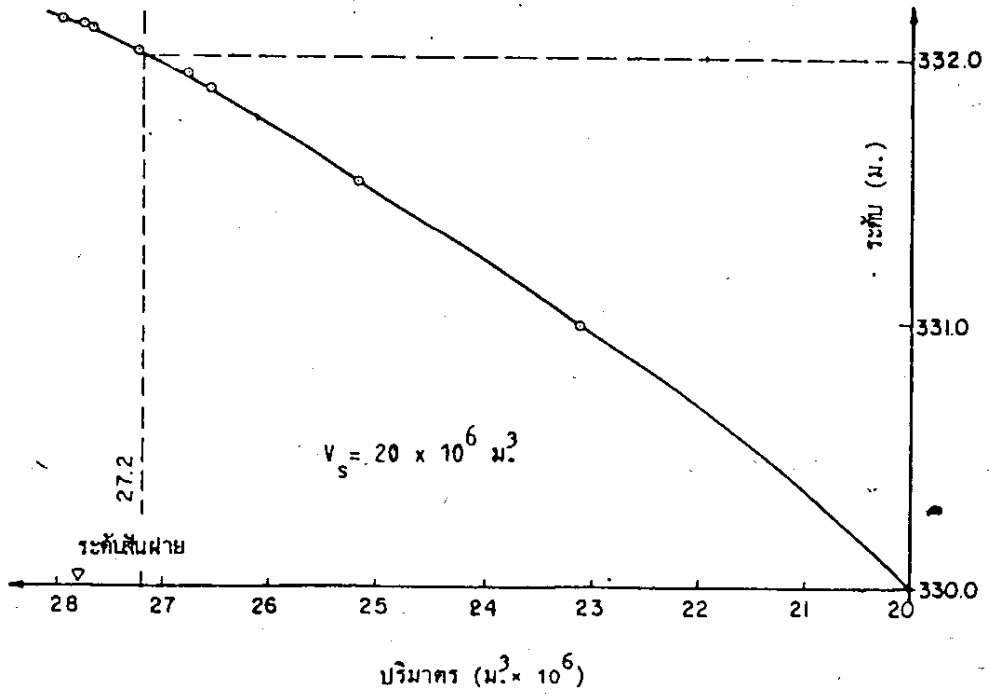
ตารางที่ 1 ผลการคำนวณหาค่า V_o

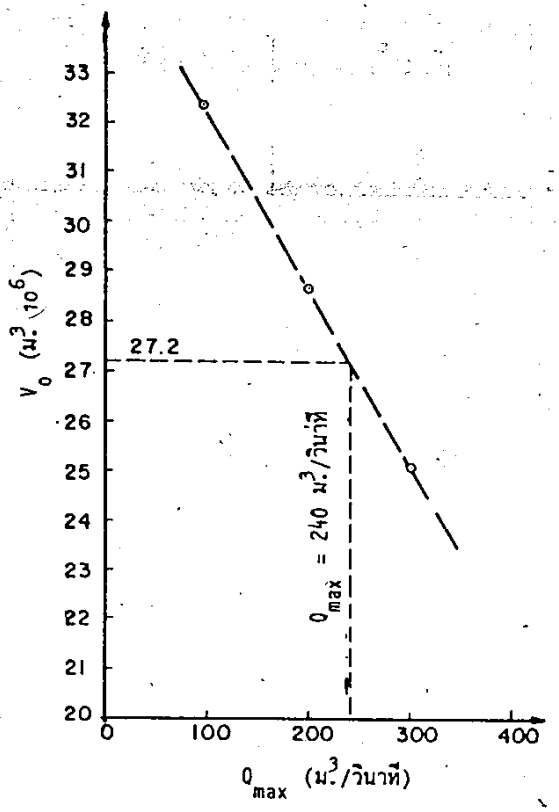
Q_{max} ม.^{3}/วินาที	V_t ล้าน ม.^{3}	V_s ล้าน ม.^{3}	V_o ล้าน ม.^{3}
300	5.12	20.0	25.12
200	8.65	20.0	28.65
100	12.33	20.0	32.33



รูปที่ 7 กราฟน้ำนองสำหรับการออกแบบทางน้ำล้น

รูปที่ 8 โค้งความจุของอ่างเก็บน้ำ





รูปที่ 9 กราฟ $V_o = f(Q_{max})$

ขั้นที่ 3 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_o และ Q_{max} ดังแสดงในรูปที่ 9

ขั้นที่ 4 ระดับน้ำสูงสุดในอ่าง = ระดับสันฝาย + H_{max}
= 332.0 ม.

จากรูปที่ 8 V_o = 27.2 ล้าน M^3/วินาที
จากรูปที่ 9 จะได้ Q_{max} = 240 M^3/วินาที

ขั้นที่ 5 คำนวณหาความยาวสันฝาย

$$L = \frac{240}{2 \times 2^{1.5}} = 42.4$$

เพื่อตรวจสอบคำตอบผลการออกแบบทางระบายน้ำล้นโดยวิธีกราฟ จึงได้ทำการเร้ากราฟน้ำนองผ่านทางระบายน้ำล้นที่ออกแบบไว้ (L=42.4เมตร) ดังแสดงในตารางที่ 2

ผลการคำนวณ Q_{max} และระดับน้ำสูงสุดของทั้ง 2 วิธีแตกต่างกันไม่มาก ดังแสดงในตาราง

	วิธีกราฟ	ฟลัดเร้าติ้ง	% ต่าง
Q_{max} ม.^{3}/วินาที	240	255	5.9
ระดับน้ำสูงสุด (เมตร)	332	332.08	0.02

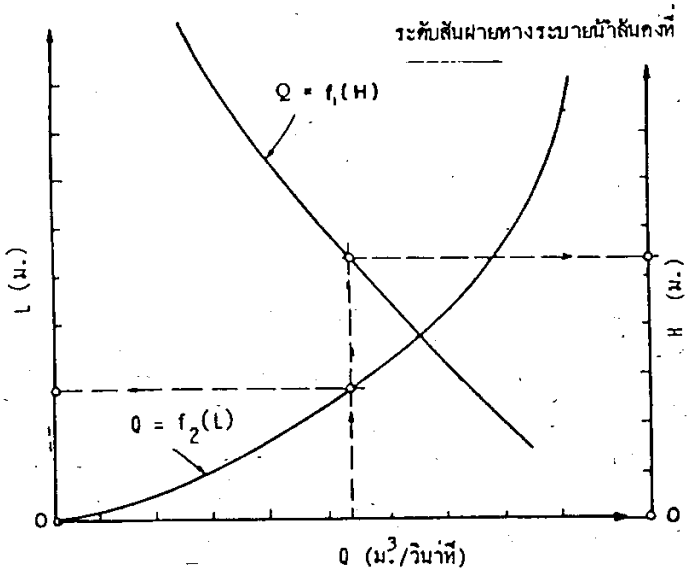
กราฟออกแบบทางระบายน้ำล้น

การออกแบบตามวิธีการที่กล่าวมาแล้วเป็นเพียงหนึ่งในหลายๆ กรณีที่ต้องลอง (Trial) ก่อนที่จะได้ผลการออกแบบที่ดีที่สุด (Optimun Solution) เพื่อให้สะดวกในการพิจารณาควรทำตาราง ดังแสดงในตารางที่ 3 (สำหรับระดับสันฝายที่กำหนดให้) และนำผลการคำนวณไปสร้างกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งจะมีประโยชน์ในการเลือก L, Q_{max} และ H_{max} ที่เหมาะสมสำหรับระดับสันฝายที่กำหนดให้

เอกสารอ้างอิง

(1) วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2531. เอกสารคำสอนวิชา วศ.ทน. 333 อุทกวิทยาประยุกต์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม. เกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

(2) Kinori, B.Z., and J. Mevorach, 1984, Manual of Surface Drainage Engineering, Volume II: Stream Flow Engineering and Flood Protection, Elserier.



รูปที่ 10 กราฟออกแบบทางระบายน้ำล้น

ตารางที่ 2 การคำนวณฟลัดเร้าติ้ง

$$V_{o_{t+\Delta t}} = V_{o_t} + \bar{I}\,(7200\,\Delta t) - \bar{Q}(7200\,\Delta t)$$

t	Δt	I	$\bar{I}$	$\bar{I}$ (7200 Δt)	ระดับน้ำในอ่างที่สมมุติ	$Q = 84.8\,H^{1.5}$	$\bar{Q}$	$\bar{Q}$ (7200 Δt)	ΔS	$S_{t+\Delta t}$	ระดับน้ำในอ่างที่หาได้	หมายเหตุ
ชม.	ชม.	ม.^{3}/วินาที	ม.^{3}/วินาที	10^6 ม.^{3}	ม.	ม.^{3}/วินาที	ม.^{3}/วินาที	10^6 ม.^{3}	10^6 ม.^{3}	10^3 ม.^{3}	ม.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0		0		0	330.00					20,000	333.00	OK
2	2	60	30.0	216	330.09	2.3	1.15	8.3	207.7	20,208	330.09	OK
4	2	250	155.0	1,116	330.44	24.8	13.5	97.6	1018.4	21,229	330.44	OK
6	2	373	311.5	2,243	330.94	77.5	51.5	368.1	1874.9	23,104	330.94	OK
8	2	410	391.5	2,819	331.49	154.6	116.0	835.5	1983.5	25,087	331.49	OK
10	2	380	395.0	2,844	331.87	217.4	186.0	1339.0	1505.0	26,592	331.87	OK
12	2	310	345.0	2,484	332.05	249.5	233.4	1680.8	803.2	27,395	332.05	OK
14	2	235	272.5	1,962	332.08	255.0	252.2	1816.1	145.9	27,541	332.08	OK
16	2	178	206.5	1,487	332.02	244.0	249.5	1796.5	-309.5	27,232	332.02	OK
18	2	130	154.0	1,109	331.90	222.6	233.3	1679.8	-570.8	26,661	331.90	OK
20	2	90	110.0	792	331.73	193.4	208.0	1497.6	-705.6	25,955	331.73	OK

I = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่าง (จากกราฟน้ำนอง)

ตารางที่ 3 การคำนวณสำหรับสร้างกราฟออกแบบทางระบายน้ำล้น

1	2	3	4
Q_{max}	V_o	H	L
ม^3/วินาที	10^3 ม^3	ม.	ม.

ช่องที่ 1 – สมมติ Q_{max} ในช่วงที่ต้องการ

ช่องที่ 2 – หาค่า V_o สำหรับ Q_{max} ที่สมมติ จากรูปที่ 9

ช่องที่ 3 – หาระดับน้ำสูงสุดในอ่าง จากรูปที่ 8

ช่องที่ 4 – คำนวณหา $L = \frac{Q_{max}}{C\ H^{1.5}}$