

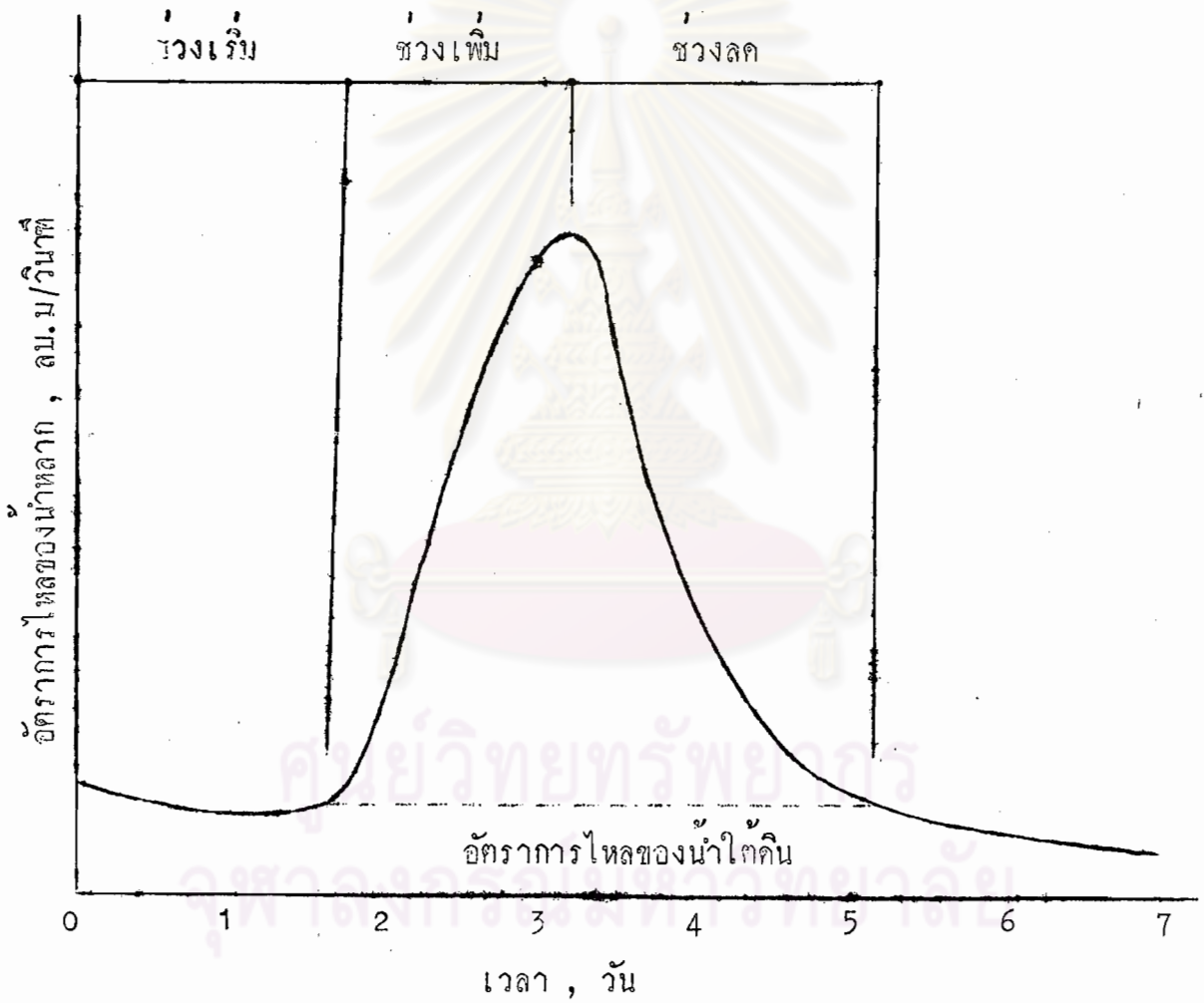
บทที่ 4
ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย



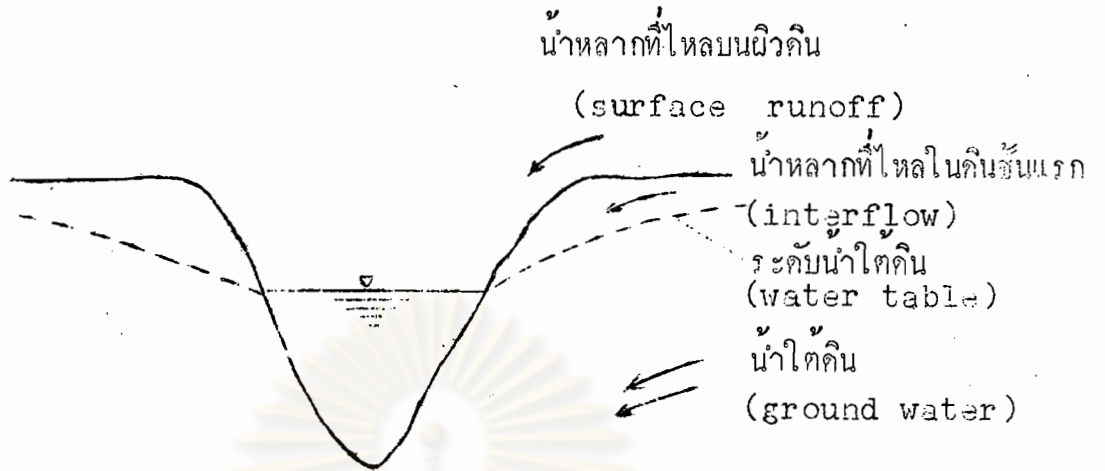
4.01 รูปไฮโดรกราฟน้ำหลากและส่วนประกอบ

รูปไฮโดรกราฟน้ำหลาก (Flood Hydrograph) เป็นรูปที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำหลากตามเวลาที่ต่อเนื่องกันไป ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากคุณลักษณะของลุ่มน้ำ และลักษณะภูมิอากาศ ถ้ารูปไฮโดรกราฟเกิดจากพายุฝนที่มีอัตราการตกสม่ำเสมอเพียงลูกเดียวจะได้อรูปที่มีความเบ (Skewness) ไปทางซ้าย และมีค่าน้ำหลากสูงสุดเพียงคาเดียว แต่ถาเกิดจากพายุฝนหลายลูกหรือเพียงลูกเดียว แต่มีอัตราการตกไม่สม่ำเสมอ จะได้อรูปที่มีค่าน้ำหลากสูงสุดหลายคา (Multiple Peak) ในการวิจัยนี้จะกล่าวถึงไฮโดรกราฟน้ำหลากที่เกิดจากพายุฝนที่มีอัตราการตกสม่ำเสมอเพียงอย่างเดียว (ดูรูปที่ 9 หน้า 29 ประกอบ) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงเริ่ม (Approach curve) ช่วงเพิ่ม (Rising curve) และช่วงลด (Recession curve) โดยรูปร่างในช่วงเพิ่มจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาฝนตก อัตราฝนตก ลักษณะการกระจายของฝนที่ตก และรูปร่างของลุ่มน้ำ ตามปกติ น้ำหลากสูงสุดจะเกิดขึ้นหลังจากที่ฝนหยุดตกเป็นระยะเวลาหนึ่งที่แน่นอน ซึ่งระยะเวลานี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของฝนที่ตก แต่อย่างไรก็ตามน้ำหลากของรูปไฮโดรกราฟยังประกอบด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ ตามแหล่งที่มาดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 10 หน้า 30 ประกอบ)

- 4.1.1 น้ำหลากส่วนที่ได้จากการไหลบนผิวดิน (Surface runoff) จะมีปริมาณซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของดิน ถ้าผิวดินเป็นดินประเภทยอมให้ซึมผ่านได้ง่าย จะได้อปริมาณน้ำหลากที่ได้จากการไหลบนผิวดินจำนวนลดลง
- 4.1.2 น้ำหลากส่วนที่ได้จากการไหลในดินชั้นแรกไปแนวข้าง ทันทีที่น้ำฝนไหลซึมผ่านมาอยู่ใต้ผิวดินโดยไหลออกไปบรรจบที่ร่องน้ำ (Interflow)
- 4.1.3 น้ำหลากส่วนที่ได้จากน้ำใต้ดิน (Ground Water) ซึ่งเกิดจากน้ำฝนบางส่วนไหลซึมลงไปใ้ดินด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Water) จนถึงชั้นของดินที่อุ้มน้ำได้ระดับน้ำใต้ดินแล้วไหลไปทางแนวข้างออกไปสู่อ่างน้ำ แต่อย่างไรก็ตามน้ำใต้ดินสามารถแบ่งออกตามแหล่งเกิดเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่



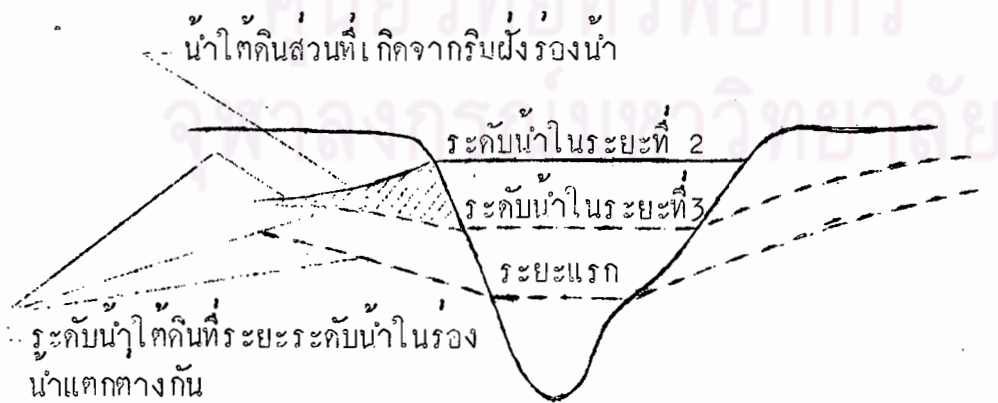
รูปที่ 9 รายละเอียดส่วนประกอบรูปไฮโดรกราฟน้ำไหล



รูปที่ 10 ส่วนประกอบของน้ำหลากตามแหล่งที่มา



รูปที่ 11 น้ำใต้ดินส่วนที่เกิดจากฝั้ร่องน้ำ



รูปที่ 12 น้ำใต้ดินส่วนที่เกิดริมฝั้ร่องน้ำ

เกิดไกลจากฝั่งร่องน้ำ และส่วนที่เกิดริมฝั่งร่องน้ำ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. น้ำใต้ดินส่วนที่เกิดไกลจากฝั่งร่องน้ำ น้ำใต้ดินส่วนนี้เกิดมาจากน้ำฝนบางส่วน ไหลซึมลงไปใต้อินทรีย์แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Water) จนถึงชั้นของดินที่อิ่มน้ำซึ่งอยู่ที่ระดับน้ำใต้ดิน แล้วไหลไปทางแนวข้างออกไปสู่ร่องน้ำคอนข้างชา เมื่อเทียบกับการไหลของน้ำหลากในข้อ 3.1.1 และข้อ 3.1.2 ส่วนปริมาณน้ำใต้ดินส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของพื้นที่ตก และประเภทของดิน และคุณลักษณะของลุ่มน้ำ
 2. น้ำใต้ดินส่วนที่เกิดริมฝั่งร่องน้ำ น้ำใต้ดินส่วนนี้เกิดมาจาก ในขณะที่ระดับน้ำในร่องน้ำขึ้นสูงถึงนั้นจะมีน้ำบางส่วนไหลเข้าไปอยู่ในดินริมฝั่ง ต่อมาระดับน้ำเกิดลดลงจะทำให้บางส่วนที่ไหลเข้าไปอยู่ในดินริมฝั่งไหลออกมาสู่ร่องน้ำอย่างรวดเร็ว ซึ่งปริมาณน้ำนี้จะน้อยกว่าน้ำใต้ดินส่วนที่เกิดไกลจากฝั่งร่องน้ำ
- น้ำหลากส่วนที่เกิดจากน้ำใต้ดินแสดงไว้ในรูปที่ 11 และ 12 หน้า 30

4.02 การคาดคะเนน้ำฝนสูงสุดในรอบปีต่าง ๆ

การคาดคะเนน้ำฝนสูงสุดในรอบ T ปี หาได้โดยวิธีวิเคราะห์ความถี่ของน้ำฝนสูงสุดรายปี ซึ่งมีวิธีทำอยู่หลายวิธี แต่ในการวิจัยนี้ใช้วิธีแจกแจงความถี่แบบ Gumbel ซึ่งมีสูตรดังนี้

รอบปีของการเกิดฝนสูงสุด,
$$T = \frac{1}{1 - e^{-e^{-b}}} \text{----- (2)}$$

ค่ารีคิวर्सแวลเวียต,
$$b = a'(X_T - X_F) \text{----- (3)}$$

ค่าสูงสุดในการกระจายข้อมูล X_i ,
$$X_F = \bar{X} - 0.45005S_x \text{----- (4)}$$

ค่าพารามิเตอร์ของการกระจายข้อมูล X_i ,
$$a' = \frac{1.28255}{S_x} \text{----- (5)}$$

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล X_i ,
$$S_x = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1} \text{----- (6)}$$

จากสมการ (3), (4) และ (5) จะได้
$$b = \frac{1.28255(X_T - \bar{X} + 0.45005S_x)}{S_x} \text{ ----- (7)}$$

จากสมการ (2) จะได้
$$b = -\ln(-\ln(1 - \frac{1}{T})) \text{ ----- (8)}$$

สมการ (7) เทียบสมการ (8) จะได้

$$X_T = \bar{X} - 0.45005S_x \cdot \frac{S_x}{1.28255} \ln(-\ln(1 - \frac{1}{T})) \text{ ----- (9)}$$

เมื่อ e เป็นฐานของ Napierian logarithm

a' เป็นพารามิเตอร์ของการกระจาย

b เป็นรีวิสต์แวลเวียต

X_i เป็นข้อมูลอัตราการตกสูงสุดของน้ำฝนรายปีในปีที่ i

X_T เป็นค่าสูงสุดของการกระจาย

X_T เป็นค่าคาดคะเนของอัตราการตกสูงสุดของฝนในรอบ T ปี

\bar{X} เป็นค่าเฉลี่ยของ X_i ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sum X_i / N$

N เป็นจำนวนปีของสถิติของน้ำฝนที่มีการบันทึก

4.03 เส้นแสดงน้ำฝนเท่ากัน (Isohyets)

การเขียนเส้นแนวน้ำฝนเท่ากันมีจุดประสงค์เพื่อต้องการหาปริมาณฝนเฉลี่ยที่ตกในลุ่มน้ำ (Basin area) การหาปริมาณฝนเฉลี่ยอาจหาได้หลายวิธี เช่น หาค่าเฉลี่ยตามตัวเลข (Arithmetic mean) หาฝนเฉลี่ยโดยวิธี ทีเอสเซน (Thiessen mean) และหาค่าฝนเฉลี่ยโดยวิธีเขียนเส้นแนวน้ำฝนเท่ากัน (Isohyetal mean) แต่ในการวิจัยนี้ได้ใช้วิธีเขียนเส้นแนวน้ำฝนเท่ากัน เพราะเชื่อว่าเป็นวิธีที่สะดวกกว่าวิธีอื่น เนื่องจากสถานีวัดน้ำฝนส่วนใหญ่อยู่ภายนอกบริเวณลุ่มน้ำ

วิธีหาค่าฝนเฉลี่ย โดยวิธีเขียนเส้นแนวน้ำฝนเท่ากันได้ลำดับไว้ดังนี้

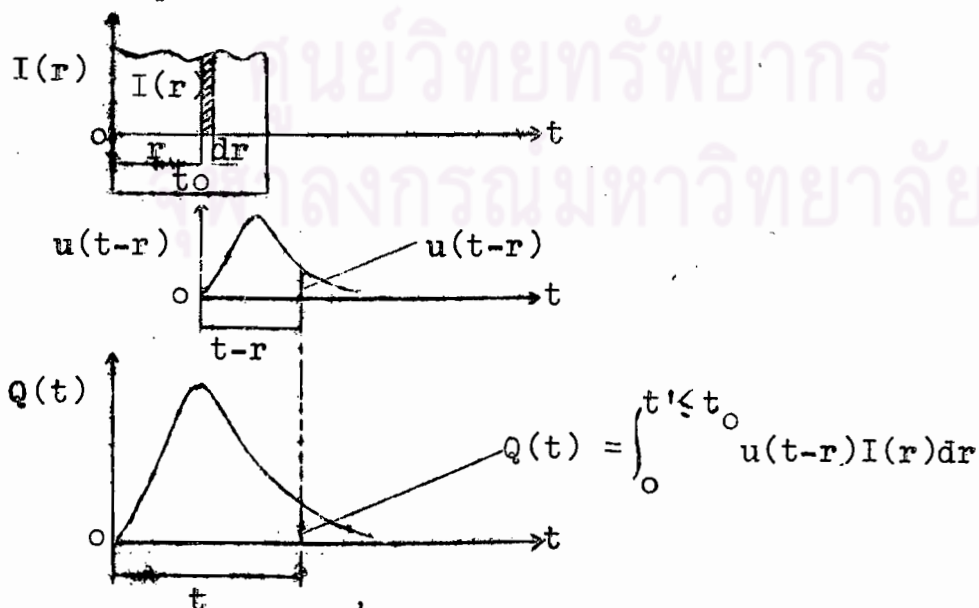
1. เขียนเส้นแนวน้ำฝนเท่ากันลงในบริเวณลุ่มน้ำ เรียกว่า Isohyets
2. หาพื้นที่ระหว่างเส้นแนวน้ำฝนเท่ากันแต่ละคู่

3. หาค่าเฉลี่ยจากสูตร
$$r_a = \frac{W}{I} \frac{r_w A_w}{A} \text{ ----- (10)}$$

เมื่อ r_a เป็นค่าน้ำฝนเฉลี่ยในลุ่มน้ำ
 r_w เป็นค่าน้ำฝนเฉลี่ยในระหว่างเส้นแนวน้ำฝนเท่ากัน (คู่ที่อยู่ติดกัน)
 A_w เป็นพื้นที่ระหว่างเส้นแนวน้ำฝนเท่ากัน (ที่อยู่ติดกัน)

4.04 รูปหน่วยไฮโดรกราฟฉบับพลัน (Instantaneous Unit Hydrograph)

รูปหน่วยไฮโดรกราฟฉบับพลัน หมายถึง รูปหน่วยไฮโดรกราฟลากที่ได้จากการตกของฝนหนึ่งหน่วยความสูงเหนือบริเวณทั้งหมดของลุ่มน้ำ โดยมีช่วงเวลาการตกน้อยมากซึ่งอาจเทียบได้เท่ากับศูนย์ หรือพิกัดของรูปหน่วยไฮโดรกราฟฉบับพลันอาจแทนได้ด้วยสัญลักษณ์ $u(0, t)$ หรือ $u(t)$ รูปหน่วยไฮโดรกราฟฉบับพลันมิได้เป็นไฮโดรกราฟน้ำหลากที่เกิดขึ้นจริง ๆ แต่เป็นเพียงแนวความคิด (concept) อันหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์หารูปหน่วยไฮโดรกราฟน้ำหลากที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำโดยประมาณ โดยมีหลักการสำคัญเป็นไปตามทฤษฎีของรูปหน่วยไฮโดรกราฟเชิงเส้น (Linear unit hydrograph theory) ดูรายละเอียดรูปที่ 13 ประกอบ



รูปที่ 13 CONVOLUTION OF I(r) AND IUH.

เมื่อให้ฟังก์ชันในการตกของฝนเป็น $I(r)$ และตกในช่วงเวลา t_0 ดังนั้นถ้าแบ่งรูปไฮโดรกราฟของน้ำฝนออกเป็นส่วนเล็ก ๆ (infinitesimal element) แต่ละส่วนจะทำให้เกิดไฮโดรกราฟน้ำท่าซึ่งเป็นผลจากฟังก์ชัน $I(r)$ และเมื่อพิภักของรูปหน่วยไฮโดรกราฟผันแปรตามหน่วย $u(t-r)$ หรือ $u(t-r)$ พิกัดของไฮโดรกราฟน้ำท่าที่ช่วงเวลา t เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q(t) = \int_0^{t' \leq t_0} u(t-r)I(r)dr \text{ -----(11)}$$

ซึ่งเรียกสมการนี้ว่า "Convolution integral" หรือเรียกว่า "Duhamel integral"

ในเมื่อ $u(t-r)$ เป็น เคอร์เนลฟังก์ชัน (Kernel function)

$I(r)$ เป็น ฟังก์ชันของน้ำฝนที่ตกในลุ่มน้ำ (input function)

$$t' = t \text{ เมื่อ } t \leq t_0$$

$$\text{และ } t' = t_0 \text{ เมื่อ } t > t_0$$

รูปหน่วยไฮโดรกราฟผันแปรจะมีรูปร่างเป็นไฮโดรกราฟที่มีค่าสูงสุดเพียงค่าเดียว (Single Peaked Hydrograph) ถ้าหากมีการวัดน้ำฝนและน้ำท่าในหน่วยเดียวกัน พิกัดของรูปหน่วยไฮโดรกราฟผันแปรจะต้องมีหน่วยเป็น (เวลา⁻¹) และคุณสมบัติของรูปหน่วยไฮโดรกราฟผันแปรเป็นดังนี้

1. $u(t)$ ค่าสูงสุดในทางบวก สำหรับ $t > 0$
2. $u(t) = 0$ สำหรับ $t \leq 0$
3. $u(t) \rightarrow 0$ สำหรับ $t \rightarrow \infty$

$$4. \int_0^{\infty} u(t)dt = 1.0$$

$$5. \int_0^{\infty} u(t)t dt = t_L$$

ในขณะที่ t_L เป็นเวลาที่เกิดค่าสูงสุดของรูปหน่วยไฮโดรกราฟัมพลัน และเมื่อ Convolution integral เป็นขบวนการเชิงเส้น (linear process) นั้นก็แสดงว่าค่า t_L มีค่าเท่ากับช่วงเวลาระหว่างจุดศูนย์กลางของรูปไฮโดรกราฟนำฝนกับรูปไฮโดรกราฟนำหลากผิวดิน

4.4.1 แนวความคิดของรูปหน่วยไฮโดรกราฟัมพลัน (Conceptual Model of IUH)

มีแนวความคิดอยู่หลายรูปแบบในการหารูปหน่วยไฮโดรกราฟัมพลัน อันอาจเป็นรูปแบบของความคล้ายคลึงทางกายภาพ (Physical analogy) หรือการจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical simulation) ซึ่งทุกรูปแบบจะต้องประกอบด้วยส่วนประกอบจำลอง (simulated components) ที่ง่าย เช่น แบบอ่างเก็บน้ำเชิงเส้น (linear reservoirs) แบบคลองเชิงเส้น (linear channels) หรือ แบบการเขียนกราฟแสดงพื้นที่ลุ่มน้ำกับเวลาที่เกิดน้ำหลาก (time-area diagram)

ในการวิจัยนี้ได้ใช้แนวความคิดแบบอ่างเก็บน้ำเชิงเส้น (linear reservoirs) ซึ่งในแต่ละอ่างเก็บน้ำมีแหล่งกักเก็บน้ำ (storage) และปริมาณกักเก็บเป็นอัตราส่วนโดยตรงกับปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำ (out flow), Q หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$s = kQ \quad \text{----- (12)}$$

ซึ่ง k เป็นค่าคงที่หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ (storage coefficient) เนื่องจากผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่เข้าในอ่างเก็บน้ำ และปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำ Q เป็นอัตราของการเปลี่ยนแปลงปริมาณกักเก็บ (storage), s สมการต่อเนื่อง (continuity equation) จึงเขียนได้เป็น

$$I - Q = \frac{ds}{dt} \quad \text{----- (13)}$$

เมื่อแทนค่าสมการ (12) ลงในสมการ (13) และพิจารณาเงื่อนไขที่ $Q=0$ เมื่อ $t=0$ ฉะนั้น จะได้สมการของปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำเป็น

$$Q = I(1 - e^{-t/k}) \quad \text{----- (14)}$$

เมื่อ $t = \infty$ จะได้ $Q=I$ ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำเข้าสู่สภาวะสมดุล (equilibrium condition) ถ้าปริมาณน้ำที่เข้าอ่างเก็บน้ำจนกระทั่งเริ่มมีปริมาณน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำใช้เวลา t_0 ก็จะหาสมการของปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำที่เวลา t ใด ๆ ในเทอมของปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำที่เวลา t_0 ได้ดังนี้

$$Q = Q_0 e^{-r/k} \quad \text{----- (15)}$$

เมื่อ Q_0 เป็นปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำที่เวลา

$r = t - t_0$ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ไม่ได้นำเข้าไปในอ่างเก็บน้ำแล้ว

สำหรับปริมาณน้ำที่เข้าไปในอ่างเก็บน้ำอย่างฉับพลัน (instantaneous rainfall) ที่กักเก็บของอ่างเก็บน้ำ (reservoir of storage) จะกักเก็บน้ำปริมาณ s_0 ในเวลา $t = 0$ สมการที่ (12) จะเขียนได้เป็น

$$Q = s_0/k \quad \text{----- (16)}$$

และสมการที่ (13) จะเขียนได้เป็น

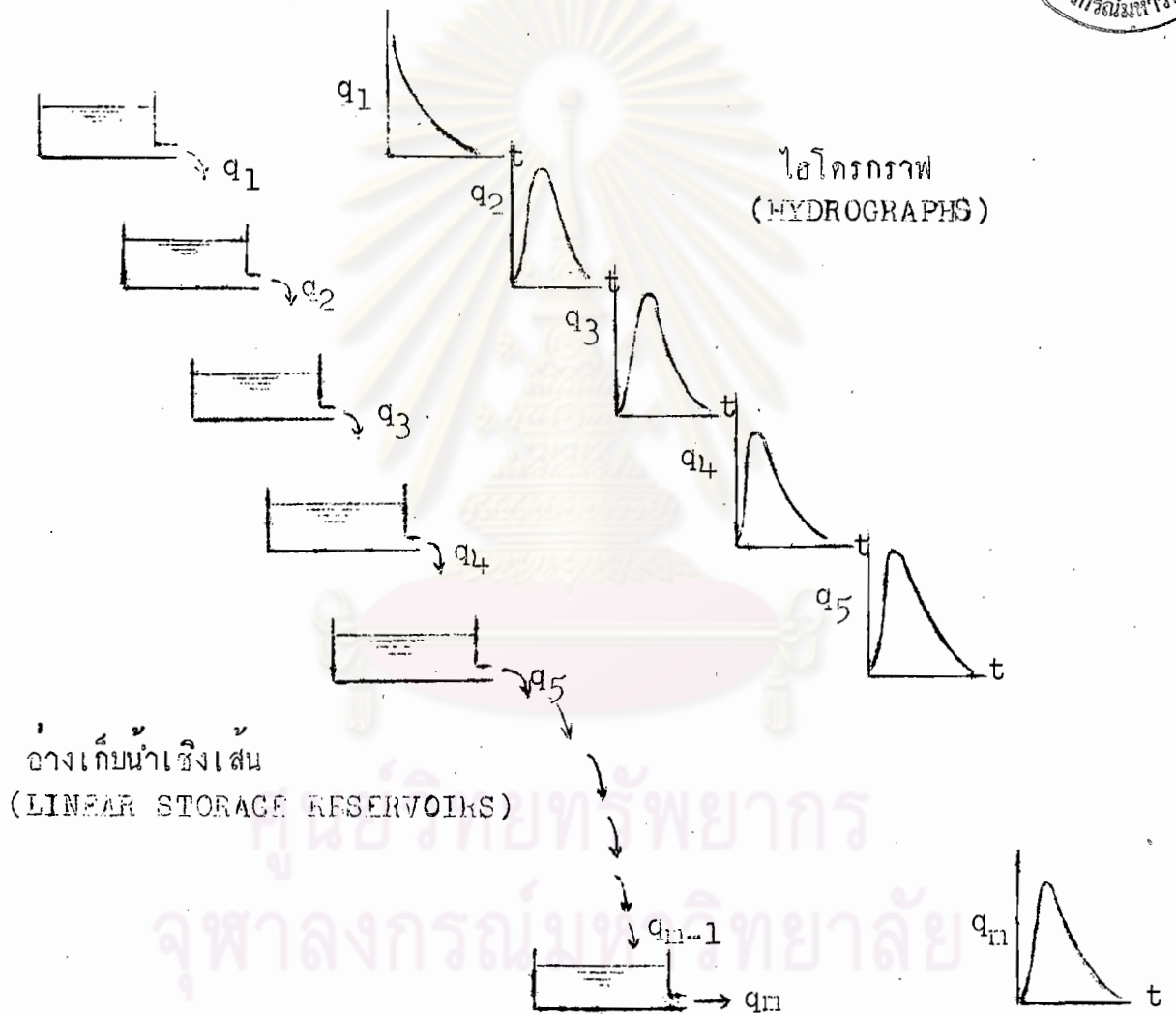
$$Q = I e^{-t/k} = \frac{s_0}{k} e^{-t/k} \quad \text{----- (17)}$$

และถ้าปริมาณน้ำที่เข้าไปในอ่างเก็บน้ำเป็น 1 หน่วยความสูง

หรือ $s_0=1$ ก็จะได้สมการของรูปหน่วยไฮโดรกราฟฉับพลันตามแบบของอ่างเก็บน้ำเชิงเส้น (linear reservoir) ดังนี้

$$u(t) = \frac{1}{k} e^{-t/k} \quad \text{----- (18)}$$

ซึ่งเป็นสมการที่ใช้แทนรูปหน่วยไฮโดรกราฟฉับพลันสำหรับปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำอันที่ 1 (ดูรูปที่ 14 หน้า 37 ประกอบ)



รูปที่ 14 การ ROUT ปริมาณน้ำเข้าอ่างเก็บน้ำอย่างฉับพลัน ผ่านอ่างเก็บน้ำเชิงเส้น (NASH'S MODEL)

ในปี 1957, Nash ได้เสนอแนะแนวความคิดของรูปหน่วยไฮโดรกราฟ
 ฉับพลันโดยพิจารณาจากการแบ่งลมน้ำออกเป็น m ลวน (m identical
 linear reservoirs) ซึ่งจัดเรียงกันเป็นแบบอนุกรม (ดูรูปที่ 14 หน้า
 37 ประกอบ) และโดยการ rout ปริมาณน้ำที่ผานวางเก็บน้ำเหล่านั้น ก็จะสามารถหาสมการของรูปหน่วยไฮโดรกราฟฉับพลันได้ดังนี้

ปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำอันที่ 1 แสดงไว้ในสมการที่ (18) ในการ
 rout ตามแบบปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำอันที่ 1 พิจารณาเป็นปริมาณน้ำ
 เข้าในอ่างเก็บน้ำอันที่ 2 จะได้สมการของปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำอันที่ 2
 ดังนี้

$$q_2 = \int_0^t \frac{1}{k} e^{-r/k} \cdot \frac{1}{k} e^{-(t-r)/k} dr = \frac{1}{k^2} e^{-t/k} \quad \text{----- (19)}$$

(เมื่อแทนฟังก์ชัน r และเคอร์เนลฟังก์ชัน $t-r$ ซึ่งเป็นตัวแปรลงในสมการ
 ที่ (19) และปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำอันที่ 2 ก็จะพิจารณาเป็นปริมาณน้ำ
 ที่เข้าสู่อ่างเก็บน้ำอันที่ 3 และ rout ต่อ ๆ ไปจนถึงอ่างเก็บน้ำอันที่ m จะ
 ได้เป็นสมการของปริมาณน้ำที่ออกจากอ่างเก็บน้ำอันที่ m ดังนี้

$$q_m = u(t) = \frac{1}{k^{(m-1)}} \left(\frac{t}{k}\right)^{m-1} e^{-t/k} \quad \text{----- (20)}$$

หรือ

$$u(t) = \frac{1}{k \Gamma(m)} \left(\frac{t}{k}\right)^{m-1} e^{-t/k} \quad \text{----- (21)}$$

เมื่อ $u(t)$ เป็นฟังก์ชันของรูปหน่วยไฮโดรกราฟฉับพลัน

$\Gamma(m)$ เป็นเกรมมาฟังก์ชันมีค่าเท่ากับ $(m-1)!$

m เป็นจำนวนอ่างเก็บน้ำ

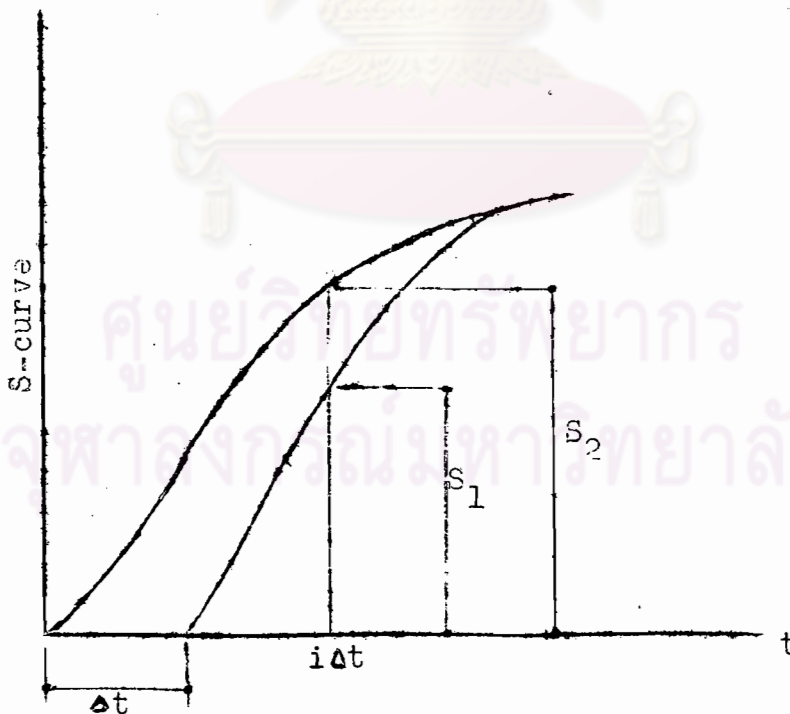
k เป็นสัมประสิทธิ์ของการกักเก็บ

t เป็นเวลา

4.05 รูปหน่วยไฮโดรกราฟปกติ

รูปหน่วยไฮโดรกราฟเป็นรูปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการไหลกับอัตราการไหล โดยมีปริมาณน้ำท่าเทียบเท่า 1 หน่วยความสูง ซึ่งมีแนวความคิดสำคัญดังนี้ รูปไฮโดรกราฟน้ำท่าเป็นรูปที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการไหลกับอัตราการไหล เวลาของการไหลจะไม่เปลี่ยนแปลง เพราะรูปร่างของลุ่มน้ำไม่เปลี่ยนแปลงขณะที่มีพายุฝน ดังนั้นพายุฝนแต่ละครั้งแม้จะแตกต่างกันก็จะให้รูปไฮโดรกราฟน้ำท่างานฐานเวลาเดียวกัน แต่แตกต่างกันที่อัตราการไหลเท่านั้น ดังนั้นถ้าขอส่วนรูปไฮโดรกราฟน้ำทาลงมาให้เหลือปริมาณน้ำท่าเทียบเท่า 1 หน่วยความสูง ก็จะไ้รูปหน่วยไฮโดรกราฟ (Unit Hydrograph)

การแปลงค่าพิคค์ของรูปหน่วยไฮโดรกราฟฉบับลงไปเป็นพิคค์ของรูปหน่วยไฮโดรกราฟปกติอาจทำได้โดยวิธีของ S-curve ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 15 ประกอบ)



รูปที่ 15 แสดงการเหลือของ S-curve

S-curve คือ ปริมาณสะสมของพิคค์ของรูปหน่วยไฮโดรกราฟฉบับพลันในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งเพิ่มขึ้นครั้งละ t ถ้าหากต้องการย้อนหาพิคค์ของรูปหน่วยไฮโดรกราฟที่เวลา ก็สามารถหาได้โดยนำ S-curve มาเลื่อนกัน (lagged) เท่ากับช่วงเวลา จะได้

$$\text{ความลาดชันของ S-curve, } h_i = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad \text{----- (22)}$$

$$\text{เมื่อให้ขีดจำกัด (limit) } \Delta t \rightarrow 0, h_i = \frac{dS}{dt} \quad \text{----- (23)}$$

$$\text{ดังนั้น พิคค์ของรูปหน่วยไฮโดรกราฟฉบับพลัน, } u(t) = \left. \frac{dS}{dt} \right|_t \quad \text{----- (24)}$$

ในทำนองเดียวกันถ้าต้องการหาพิคค์ของรูปหน่วยไฮโดรกราฟปกติ สามารถทำได้โดยนำ S-curve มาเลื่อนกันเท่ากับช่วงเวลาของรูปหน่วยไฮโดรกราฟปกติที่ต้องการ แล้วหาผลต่างของพิคค์ของ S-curve และหารด้วยช่วงเวลาที่เหลือไป

4.06 การออกแบบคลองระบายน้ำ

คลองระบายน้ำออกแบบเป็นคลองรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal section) และยึดทฤษฎีเป็นหลักในการออกแบบดังนี้

การหาค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ของคลองระบายน้ำ หาได้จากสมการของการไหลอย่างเป็นระเบียบ (uniform flow) ในคลองระบายน้ำนั้น สมการที่อ้างถึงได้แก่

1. สมการของเชซี (Chezy's equation)

$$V = C_c \sqrt{RS} \quad \text{----- (25)}$$

เมื่อ V เป็นความเร็วของน้ำไหล (flow)

C_c เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของเชซี

R เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดส่วนที่เปียก (wetted area)

กับเส้นรอบรูปของหน้าตัดคลองส่วนที่มีน้ำ (wetted perimter)

หรือเรียกว่า Hydraulic Radius

S เป็นความลาดชันของเส้นบอกพลังงานของน้ำ (energy grade line)

2. สมการของแมนนิง (Manning's equation)

$$V = C_n R^{2/3} S^{1/2} / n \quad \text{-----} (26)$$

เมื่อ V เป็นความเร็วของน้ำไหล (flow)

R เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดส่วนที่มีน้ำ (wetted area)

กับเส้นรอบรูปของหน้าตัดคลองส่วนที่มีน้ำ (wetted perimter)

หรือเรียกว่า Hydraulic Radius

C_n เป็นค่าคงที่ มีค่าเป็น 1 ในหน่วย SI. และมีค่าเป็น 1.49 ในหน่วย FT.

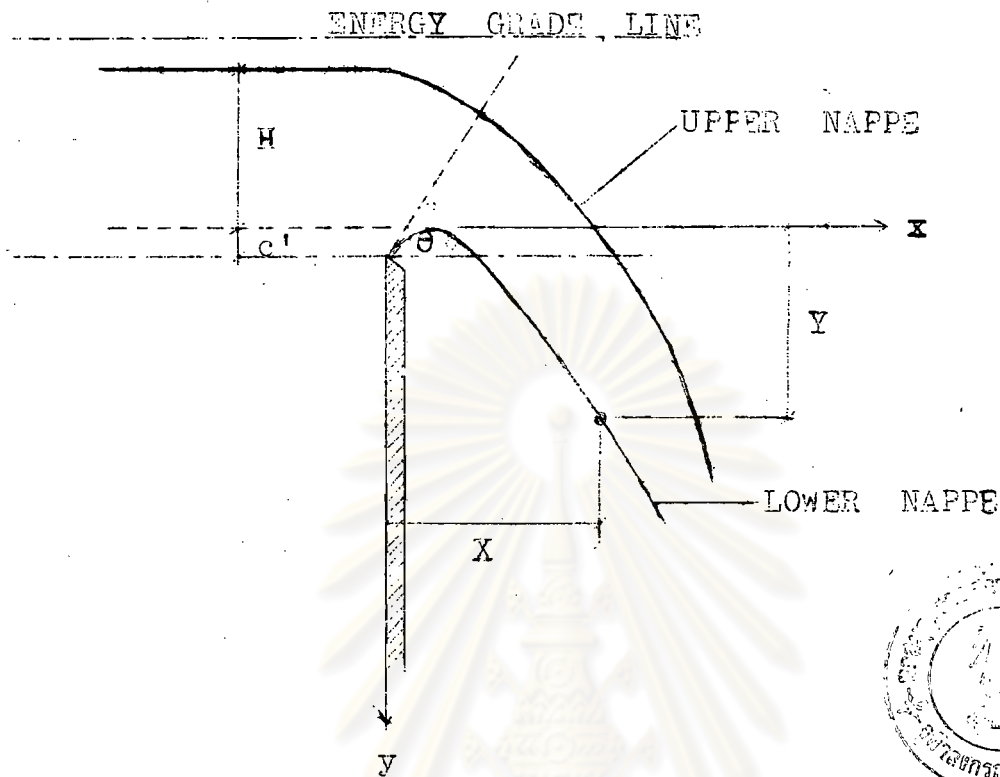
S เป็นความลาดชันของเส้นบอกพลังงานของน้ำ (energy grade

line) ซึ่งเท่ากับความลาดของท้องคลองถ้าเป็นการไหลความลึกคงที่

n เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของความหยาบของท้องคลอง (Manning roughness coefficient)

4.07 การออกแบบฝายน้ำล้น (Spillway)

รูปลักษณะของทางน้ำล้นเป็นแบบไหลล้น (overfall) คือมีส่วนโค้งที่ยกและพื้นผิวด้านหลังจะมีลักษณะโค้งเป็นรูปคล้ายตัว S กลับ (ทางน้ำล้นแบบนี้มีชื่อโดยทั่วไปว่า "Ogee") รูปลักษณะผิวของทางน้ำล้นนี้จำลองจากส่วนกลางของรูปลักษณะการไหลของน้ำผ่านท่อบก้นน้ำแบบปลายคมที่ยก (Sharp-Crested Weir) ดังปรากฏในรูปที่ 16



รูปที่ 16 การไหลของน้ำผ่านท่ำนก้นน้ำแบบปลายคมที่ขอด

ต่อมา WES (ขอมจาก Water Experiment Station) ได้พัฒนาแบบของทางน้ำล้นโดยถือเป็นแบบมาตรฐาน เรียกว่า WES shapes ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 17 หน้า 43 นี้มาตรฐานในการออกแบบดังนี้

1. สำหรับ Downstream Quadrant (EC) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

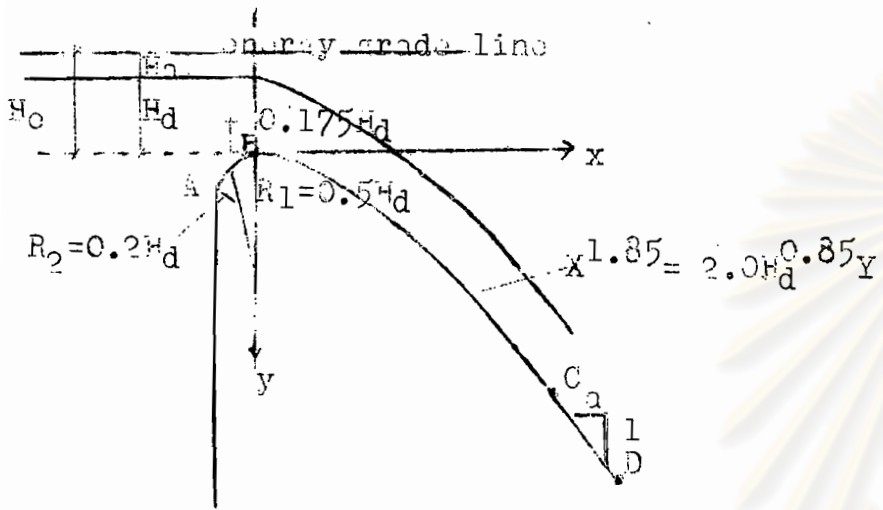
$$X^{N_1} = KH_d^{N_1-1} Y \quad \text{-----} (27)$$

เมื่อ X, Y เป็นพิกัด (co-ordinates) ของจุดบนพื้นผิวขวาง EC

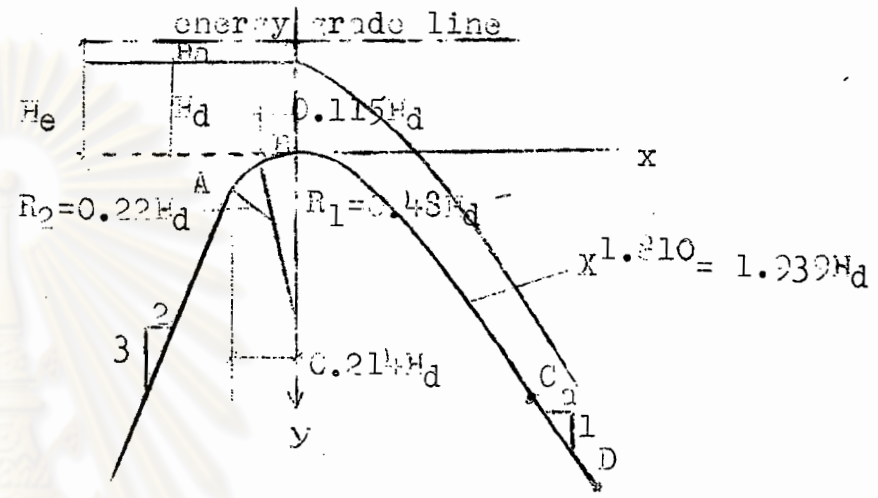
โดยมีจุดเริ่ม (origin) อยู่ที่จุดสูงสุดของพื้นผิว (จุด B)

หน่วยเป็นฟุต

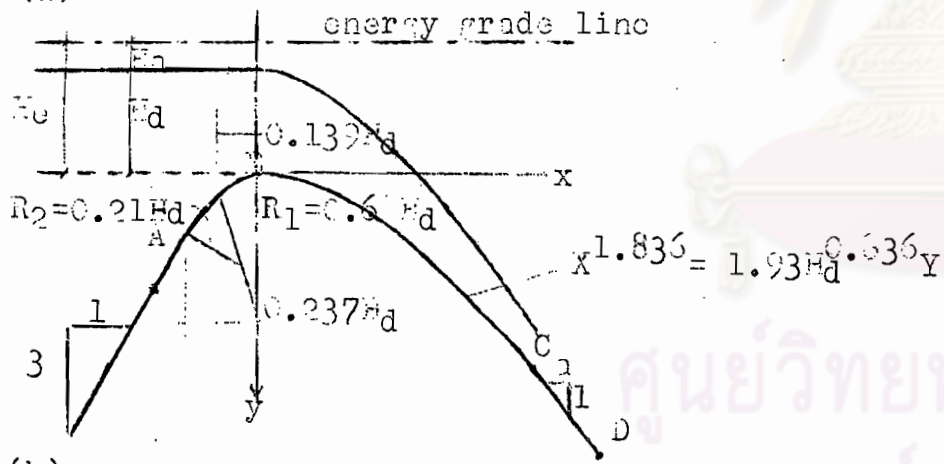
H_d เป็นระดับน้ำที่ใช้ในการออกแบบ (Design Head) หน่วยเป็นฟุต



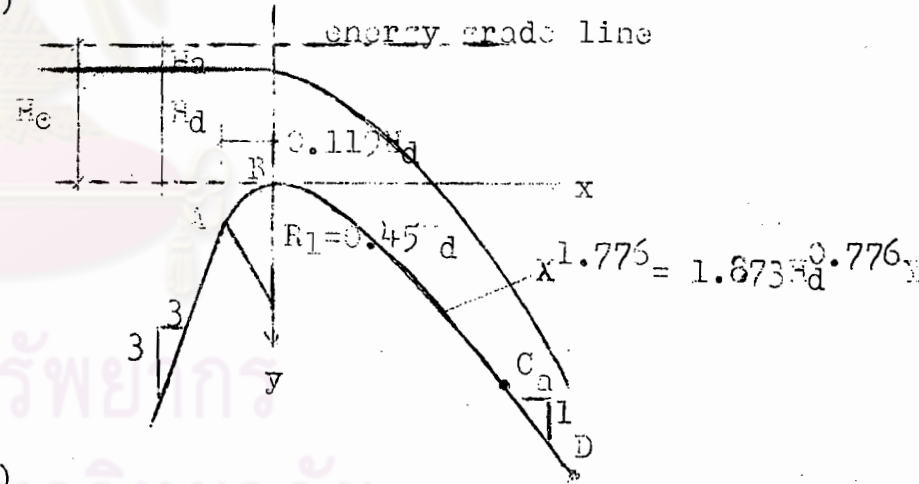
(a)



(c)



(b)



(d)

K, N_1 เป็นค่าพารามิเตอร์ (parameter) ซึ่งขึ้นอยู่กับความลาดเอิน

คานหนาของทางน้ำล้น (slope of upstream face)

ค่าของ K และ N_1 ให้ไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4

ค่าพารามิเตอร์ K และ N_1

ความลาดเอินคานหนาของทางน้ำล้น (Shape of Upstream Face)	K	N_1
อยู่ในแนวตั้ง (vertical)	2.000	1.850
3 : 1	1.936	1.936
3 : 2	1.939	1.810
3 : 3	1.852	1.780

2. สำหรับ Upstream Quadrant (AB) ดูรายละเอียดในรูปที่ 17 หน้า 43

3. เส้นตรงที่ต่อปลาย Downstream Quadrant ณ จุด PT. (เส้น CD)

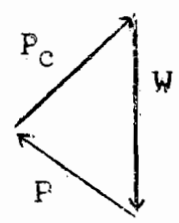
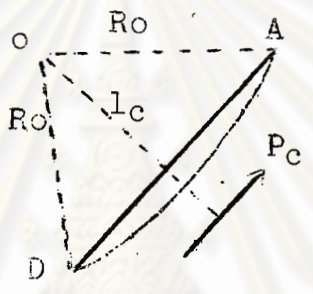
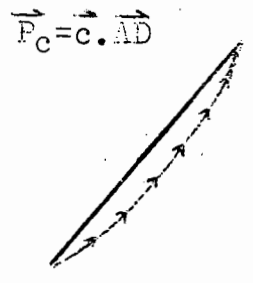
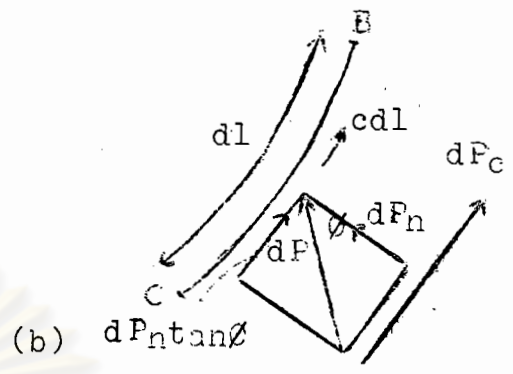
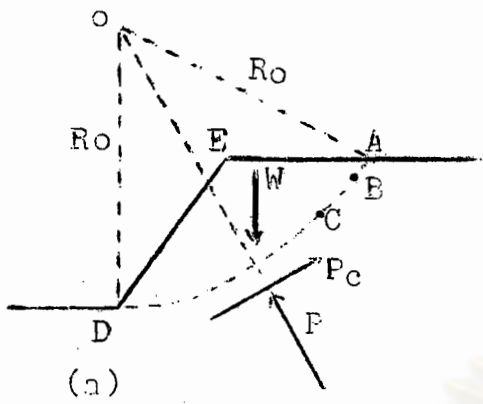
เรียกว่าเส้นสัมผัส (tangent) เพื่อทราบความลาดเอินของเส้นสัมผัส

โดยเฉพาะค่า a ก็สามารถหาค่าพิกัด (X, Y) ของจุดสัมผัส PT.

ได้จากรูปที่ 17 หน้า 43

4.08 การออกแบบคันดิน (Perimeter Bund)

การออกแบบคันดินได้จากการหาความมั่นคงของความลาดเอียงโดยวิธีวิเคราะห์ ส่วนโค้งของวงกลม (Stability of Slope by Circular Arc Analysis) วิธีนี้สามารถใช้ได้ทั้งดินที่มีแรงยึดเกาะระหว่างดิน (cohesion), c และมุมภายในของความฝืด ϕ (internal friction angle) แต่ไม่คำนึงถึงแรงดันในดินของน้ำ (pore pressure)



(a) (b) (c) (d) (e)

รูปที่ 18 แรงในภาวะสมดุลของการพังทะลายของดิน

อธิบายรูป a, b, c และ d

รูปที่ 18a แสดงขอบชายของดิน (soil mass boundary) โดยให้ผิวของการพังทะลาย (failure surface) เป็นรูปส่วนโค้งของวงกลมตามแนว A, B, C และ D ผิวของการพังทะลายนี้มีศูนย์กลางอยู่ที่จุด O ซึ่งเลือกเอาได้ตามอำเภอใจ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในกรณีนี้ คือ จะต้องพิจารณาส่วนปลายตอนกลางของดินที่จะพังทะลายลงมา เพราะส่วนของวงกลมที่ลึกลงมา (slip circle) จะต้องผ่านไปยังจุดนี้ ซึ่งในกรณีอื่นอาจจะไม่เกิดการพังทะลายแบบนี้ เช่น อาจเกิดการพังทะลายของส่วนฐานเกิดขึ้น (base failure)

จากการพิจารณาความมั่นคง (stability) ของดิน ABCDE ทั้งหมดจะได้แรงกระทำดังนี้

1. น้ำหนักของก้อนดิน, W
2. แรงที่กระทำตั้งฉากบนผิวของการพังทะลาย

3. แรงเฉือน (shear stress) ที่เกิดขึ้นบนผิวของการพังทลาย รูป 18 b ถ้าหากพิจารณาโดยแบ่งผิวของการพังทลายออกเป็นส่วน ๆ (element) เช่น BC แรง P ก็จะถูกแตกออกเป็นแรงประกอบ 2 แรง (2 components) คือแรงประกอบ dP_n กระทำตั้งฉากกับผิวของการพังทลาย และแรงประกอบ dP_t กระทำสัมผัสกับผิวของการพังทลาย หรือนัยหนึ่งคือแรงเฉือนนั่นเอง จากการพังทลายนี้สามารถนิยามเป็นสมการได้ดังนี้

$$dP_t = c(dl) + (dP_n)(\tan\phi) \quad \text{.....(27)}$$

$c(dl)$ ได้มาจากการยึดเกาะของดิน (cohesion of soil) ซึ่งเป็นอิสระ มีได้ขึ้นกับแรงที่มากกระทำตั้งฉาก

dP_n คือ ส่วนหนึ่งของแรงที่กระทำตั้งฉาก เมื่อรวมแรง dP_n และ $dP_n \tan\phi$ เข้าด้วยกันจะให้แรง dP ซึ่งกระทำเป็น ϕ กับ dP_n (ดูรูป 18d)

dP_n เป็นแรงที่กระทำตั้งฉากกับส่วนโค้งของวงกลมและผ่านไปถึงจุด o โดยสมมุติว่าแรงลัพธ์ของ dP และ $c(dl)$ ได้มาจาก P และ P_c (ดูรูป 18a)

ดังนั้น $P_c = \sum cdl$ แรงประกอบอันเกิดจากแรงยึดเกาะของดิน (cohesive force) นี้จะเกิดขึ้นตามแนวของส่วนโค้ง AD

ฉะนั้น
$$P_c = \sum c \cdot \overline{AD} \quad \text{.....(28)}$$

เพราะว่าแรงประกอบทั้งหมดจะถูกรวมกันตามทิศทางของแรงในรูป force polygon (ดูรูป 18 e) เส้นแนวกระทำ (line of action) ของ P_c จึงเป็นแรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์รอบจุด o เช่นเดียวกับเส้นแนวกระทำของแรงยึดเกาะดินที่กระจายไปตามแนวของผิวของการพังทลาย

จะได้
$$P_c \cdot l_c = c \cdot \widehat{AD} \cdot R_o$$

$$l_c = \frac{c \cdot \widehat{AD} \cdot R_o}{P_c} \quad \text{----- (30)}$$

แต่จากสมการที่ (29)
$$P_c = c \cdot \overline{AD}$$

$$l_c = \frac{\widehat{AD}}{\overline{AD}} \cdot R_o \quad \text{----- (31)}$$

จากการที่รู้ตำแหน่งและทิศทางของน้ำหนักของดิน W และแรงเนื่องจากการยึดเกาะของดิน P_c แรงลัพธ์ P ซึ่งเป็นแรงอันที่ 3 จะต้องหักผานแรง W และ P_c นั่นคือเมื่อ dP ทำมุม ϕ กับแรง dP_n ซึ่งกระทำตั้งฉากกับทุก ๆ จุดบนผิวของการพังทะลาย แรงลัพธ์จะตรงทำมุม ϕ กับแรง $\sum dP_n$ เช่นกัน ในขณะที่ $\sum dP_n$ ผ่านจุด O แรง P ต้องเป็นแรงที่สัมผัสกับศูนย์กลางของวงกลมที่จุด O ซึ่งมีรัศมี $R_o \sin \theta$ ภาย (ดูรูป 18 a) ดังนั้นทิศทางของ P จึงเป็นทิศทางที่แน่นอน (fixed)

ในขณะที่จะทำให้เกิดการพังทะลายแรงทั้ง 3 ได้แก่แรง W, P, P_c จะต้องอยู่ในสภาพสมดุล (equilibrium) หรืออยู่ในลักษณะของสามเหลี่ยมของแรง (ดูรูป 18 e) ถ้าจัดความลาดเอียงของดินให้อยู่ในลักษณะที่มั่นคง (stable) และใครจะหา factor of safety (F.S.) อาจหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$dP_t = c(dl) + (dP_n)(\tan \theta)$$

ซึ่งถูกเปลี่ยนเป็น
$$dP_t = \frac{c \cdot (dl) + (dP_n)(\tan \theta)}{F.S.} \quad \text{----- (32)}$$

เมื่อให้แรงยึดเกาะของดิน (cohesive strength) และแรงเสียดของดิน (frictional strength) มี F.S. อันเดียวกัน

และจะได้
$$dP_t = c'(dl) + (dP_n)(\tan \theta') \quad \text{----- (33)}$$

เมื่อ $c' = \frac{c}{F.S.}$ หรือ $P_c' = \frac{P_c}{F.S.}$ และ $\tan \theta' = \frac{\tan \theta}{F.S.}$

ในการใช้สูตรและวิธีการเช่นเดียวกับที่กล่าวไว้ข้างต้น จะสามารถหาและรู้

1. ขนาดและเส้นแนวกระทำของแรงเนื่องจากน้ำหนักกิน , W
2. เส้นแนวกระทำของแรง P_c แต่ในทราบขนาด
3. เส้นแนวกระทำของแรง P' ต้องสัมพันธ์กับวงกลมของความฝืด (friction circle) ที่มีรัศมีเป็น $R_0 \sin \phi'$

ควยเหตุมหาทุกแรงต้องอยู่ในสภาพสมดุล ดังนั้นจากผลการคำนวณจะคงกระทำ โดยการ trial & error โดยการสมมุติค่า ϕ' ต่าง ๆ แล้วคำนวณหาค่า $R_0 \sin \phi'$ ซึ่งเป็นรัศมีของวงกลมของความฝืด (friction circle) แล้ววัดความยาวของ P_c

สำหรับการหา F.S. หาได้ 2 ทางคือ $F.S. = \frac{P_c}{P_c'}$ และ $F.S. = \frac{\tan \phi}{\tan \phi'}$

ซึ่งค่า F.S. ทั้งสองจะต้องเท่ากัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย