บทที่ 2

ทฤษฎี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของตะกอนในลำน้ำ

การเคลื่อนที่ของตะกอนในลำน้ำ แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1. ตะกอนท้องน้ำ (Bed load) คือ การเคลื่อนที่ของตะกอนในลักษณะกลิ้ง (Rolling) หรือลื่นไถล (Slid) ไปตามท้องน้ำ ด้วยแรงการไหลของกระแสน้ำ

2. ตะกอนแขวนลอย (Suspended load) คือ การที่ตะกอนเคลื่อนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ด้วยกระแสการปั่นป่วนของการไหล (Turbulent flow)

ในความเป็นจริง ตะกอนบางขนาดในบางเวลาก็อาจเคลื่อนที่แบบตะกอนท้องน้ำ และในบางเวลาก็เคลื่อนที่แบบตะกอนแขวนลอย ดังนั้นการจำแนกลักษณะดังที่กล่าวมาจึงเป็นการจำแนกโดยประมาณเท่านั้น

2.2 รูปแบบลักษณะความขรุขระของท้องน้ำ (Forms of bed roughness)

การเคลื่อนที่ของตะกอนในลำน้ำ ทำให้เกิดรูปแบบความขรุขระของท้องน้ำไว้หลายลักษณะ สำหรับลำน้ำซึ่งตะกอนทรายท้องน้ำ เคลื่อนที่โดยการพัดพาของกระแสน้ำ (Alluvial Channels) จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าแบบความขรุขระของท้องน้ำมีดังนี้

1. ที่ความเร็วของการไหลต่ำมาก จะไม่พบการเคลื่อนที่ของตะกอนทรายท้องน้ำเลย

2. ถ้าความเร็วของอัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้นถึงค่าๆ หนึ่ง จะ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เริ่มเห็นการเคลื่อนที่ของตะกอนทายท้องน้ำ และต่อไปรูปแบบของตะกอนทรายท้องน้ำก็จะเกิดเป็นรูปคลื่นเล็กๆ เรียกว่า "ริปเปิ้ล (Ripples)" ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก)

3. ถ้าเพิ่มความเร็วของการไหลขึ้นไปอีก ลักษณะรูปคลื่นทรายท้องน้ำจะใหญ่ขึ้น เรียกว่า "ดูน (Dunes)" ในช่วงแรกๆ ดูนจะมีริปเปิ้ลอยู่ด้วย (รูปที่ 1 (ข)) ต่อเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นอีก ริปเปิ้ลจะหายไป เหลือแต่ดูน (รูปที่ 1 (ค))

4. ถ้าเพิ่มความเร็วการไหลขึ้นอีก ลักษณะดูนจะค่อยๆ หายไป ซึ่งเรียกช่วงนี้ว่า "ทรานซิชั่น (Transition)" (รูปที่ 1(ง)) เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นจนกระทั่งกลายเป็น"เพลนเบด (Plane bed)" (รูปที่ 1 (จ))

5. เมื่อเพิ่มความเร็วมากกว่า ข้อ 4 จนกระทั่งเกิดดูนขึ้นอีก พร้อมทั้งผิวน้ำเกิดคลื่นขึ้นด้วย เรียกว่า "แสตนดิ้งเวฟ (Standing wave)" รูปที่ 1 (ฉ)

6. ถ้าเพิ่มความเร็วของการไหลขึ้นอีก คลื่นน้ำจะเริ่มเกิดการแตก (Break water) และตะกอนทรายท้องน้ำ จะเคลื่อนที่กลับไปทางต้นน้ำ (Upstream) เรียกว่า "แอนติดูน (Antidunes)" (รูปที่ 1 (ช)) และเมื่อเพิ่มความเร็ว การไหลขึ้นอีกก็จะเกิดลักษณะการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำดังรูปที่ 1 (ซ)

2.3 สมการการเคลื่อนที่ของตะกอน

มีสมการมากมายที่ถูกเสนอขึ้นโดยวิศวกรชลศาสตร์ เพื่อใช้คำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่องตะกอนท้องน้ำ (Bed load) ตะกอนแขวนลอย (Suspended load) และตะกอนทั้งหมด (Total load) ซึ่งสมการที่ใช้ในการประมาณอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนในลำน้ำ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทแรกเป็นสมการเอมไพริกัล และประเภทที่ 2 เป็นกึ่งเอมไพริกัล

แต่ละประเภทมีทั้งข้อดี ข้อเสีย และความยากง่ายในการคำนวณแตกต่างกันไป ในการศึกษานี้ได้นำสมการทั้ง 2 ประเภทคือ วิธีของ Meyer - Peter และ Muller (1948) และวิธีของ Einstein (1950) มาใช้เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ผลการศึกษา

2.3.1 สมการของ Meyer - Peter และ Muller เป็นประเภทเอมไพริกัล โดยพัฒนาสมการจากการสังเกตุผลที่ได้จากการทดลองวิจัย ในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์ ซึ่งสมการที่คิดขึ้นมีดังนี้

สำหรับกรณีที่น้ำหนักจำเพาะเปลี่ยนแปลงได้

$$g_s = \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_s''}\right)\left(\frac{g}{\gamma_w}\right)^{\frac{1}{2}} \left[0.0661\gamma_w \left(\frac{Q_s}{Q}\right)\left(\frac{d_{90}^{\frac{1}{6}}}{n_s}\right)^{\frac{3}{2}} DS - 0.0076\gamma_s'' d_m\right]^{\frac{3}{2}} \qquad (2\text{-}1)$$

กรณีที่ตะกอนเป็นทรายและเคลื่อนที่ในลำน้ำ

$$g_s = 1.606\left[3.306\left(\frac{Q_s}{Q}\right)\left(\frac{d_{90}^{\frac{1}{6}}}{n_s}\right)^{\frac{3}{2}} DS - 0.627 d_m\right]^{\frac{3}{2}} \qquad (2\text{-}2)$$

เมื่อพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

$$n_s = n_m\left[1 - \frac{2D}{B}\left\{1 - \left(\frac{n_w}{n_m}\right)^{\frac{3}{2}}\right\}\right]^{\frac{2}{3}} \qquad (2\text{-}3)$$

$$\frac{Q_s}{Q} = \frac{1}{1 + \frac{2D}{B}\left(\frac{n_w}{n_m}\right)^{\frac{3}{2}}} \qquad (2\text{-}4)$$

หรือพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

$$n_s = n_m\left[1 + \frac{2D}{B}(1 + H^2)^{\frac{1}{2}}\left\{1 - \left(\frac{n_w}{n_m}\right)^{\frac{3}{2}}\right\}\right]^{\frac{2}{3}} \qquad (2\text{-}5)$$

$$\frac{Q_s}{Q} = \frac{1}{1 + \frac{2D}{B}(1 + H^2)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{n_w}{n_s}\right)^{\frac{3}{2}}} \qquad (2\text{-}6)$$

$$d_m = \frac{\Sigma d \Delta P}{100} \qquad (2\text{-}7)$$

โดยที่ g_s = ปริมาณตะกอนที่เคลื่อนที่ต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของลำน้ำ, ตัน/วัน/ฟุต

Q_s = ปริมาณอัตราการไหลสำหรับปริมาณตะกอนท้องน้ำ, ฟุต^3/วินาที

Q = ปริมาณอัตราการไหลทั้งหมดของน้ำ, ฟุต^3/วินาที

D = ความลึกของการไหล, ฟุต

S = ความลาดเอียงของเส้นพลังงาน

γ_w = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ, ปอนด์/ฟุต^3

γ_s = น้ำหนักจำเพาะของตะกอน, ปอนด์/ฟุต^3

γ_s'' = น้ำหนักจำเพาะของตะกอนในน้ำ = $\gamma_s - \gamma_w$ ปอนด์/ฟุต^3

n_s = ค่า Manning n ของท้องน้ำลำน้ำ

n_w = ค่า Manning n ของด้านข้างลำน้ำ

n_m = ค่า Manning n ทั้งหมดของลำน้ำ

B = ความกว้างของลำน้ำ, ฟุต

H = ความลาดเอียงด้านข้างของลำน้ำ, ฟุต

d_m = ขนาดสัมฤทธิผล (Effective size) ของวัสดุท้องน้ำ, มิลลิเมตร

d = ขนาดเฉลี่ยของเม็ดวัสดุ สำหรับขนาดวัสดุช่วงใดช่วงหนึ่งจากกราฟการกระจายของขนาดเม็ดวัสดุ

p = ค่า % Finer ของขนาดเม็ดวัสดุ

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, ฟุต/วินาที^{2}

d_{90} = ขนาดของเม็ดวัสดุที่ค่า % Finer เท่ากับ 90 มิลลิเมตร

2.3.2 สมการของ Einstein เป็นประเภทกึ่งเอมไพริกัล โดยใช้แนวคิดทางสถิติและกายภาพของเม็ดตะกอน ซึ่งสมการที่เสนอไว้มีดังนี้

1. อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนแขวนลอยทั้งหมด ที่เคลื่อนที่ผ่านระหว่างความลึกที่ระดับอ้างอิง (y = a) จากท้องน้ำ กับระดับพื้นผิวน้ำ (y = D) คิดเป็นต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของลำน้ำ ซึ่งคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$q_s = 11.6V'_* C_a a[2.303\log_{10}(\frac{30.2D}{\Delta})I_1 + I_2] \qquad (2\text{-}8)$$

$$\Delta = k_s/x$$

$$I_1 = 0.216\frac{A^{Z-1}}{(1-A)^Z}\int_A^1 \frac{(1-y)^Z}{y}dy \qquad (2\text{-}9)$$

$$I = 0.216\frac{A^{Z-1}}{(1-A)^Z}\int_A^1 \frac{(1-y)^Z}{y}\ln(y)dy \qquad (2\text{-}10)$$

โดยที่ q_s = ปริมาณของตะกอนแขวนลอยต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง คิดเป็นน้ำหนักของตะกอนที่เคลื่อนที่ต่อหนึ่งหน่วยของเวลา ระหว่างระดับผิวน้ำกับระดับอ้างอิง, ปอนด์/วินาที/ฟุต

V'_* = Shear velocity ในส่วนของเม็ดวัสดุ (Grain) เท่ากับ $\sqrt{R'Sg}$, ฟุต/วินาที

R' = รัศมีชลศาสตร์ในส่วนของเม็ดวัสดุ, ฟุต

S = ความลาดเอียงของเส้นพลังงาน

a = ระยะทางตามแนวดิ่งจากท้องน้ำถึงระดับอ้างอิง y=a, ฟุต

D = ความลึกของการไหลทั้งหมด, ฟุต

A = อัตราส่วนระหว่าง a/D

Z = $V_s/0.40V'_*$

V_s = ความเร็วของการตกตะกอน (Settling velocity) , ฟุต/วินาที

k_s = เป็นตัวแทนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของตะกอนท้องน้ำ

หรือความขรุขระที่ท้องน้ำ = d_{65}

δ' = ความหนาของชั้น Laminar sublayer สำหรับ v_*', ฟุต

x = เป็นค่าความสัมพันธ์ของ k_s/δ' กำหนดโดย Einstein (1950)

y = ระยะทางตามแนวดิ่งวัดจากท้องน้ำขึ้นมา, ฟุต

I_1, I_2 = อ่านได้จากกราฟเมื่อทราบค่า A และ Z

ถ้าทราบค่าปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย, C_a มีระยะทางเท่ากับ a ค่าปริมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย, C_y ที่ระยะทางเท่ากับ y สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\frac{C_y}{C_a} = \left(\frac{D - y}{y} \cdot \frac{a}{D - a}\right) \qquad (2\text{-}11)$$

2. อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ จากสมการที่ Einstein (1950) นำมาใช้เพื่ออธิบายอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำทั้งหมด สำหรับขนาดวัสดุที่กำหนดมีดังนี้

ปริมาณของตะกอนทั้งหมด q_T คำนวณได้สมการ

$$i_T q_T = i_B q_B + i_S q_S = i_B q_B (PI_1 + I_2 + 1) \qquad (2\text{-}12)$$

ตะกอนแขวนลอยเป็นส่วนหนึ่งของตะกอนทั้งหมด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2-8) และแสดงไว้ดังนี้

$$i_S q_S = i_B q_B \left[2.303 \log_{10} \left(\frac{30.2x}{k_s/D}\right) I_1 + I_2\right] \qquad (2\text{-}13)$$

เมื่อ $$P = 2.303 \log_{10} \left(\frac{30.2x}{k_s/D}\right)$$

โดยที่ i_T = ค่าความแตกต่างของ % Finer สำหรับขนาดเม็ดวัสดุในช่วงใดช่วงหนึ่ง ของกราฟการกระจายขนาดเม็ดวัสดุของตะกอนทั้งหมด

i_b = ค่าความแตกต่างของ % Finer สำหรับขนาดเม็ดวัสดุในช่วงใดช่วงหนึ่ง ของกราฟการกระจายขนาดเม็ดวัสดุของวัสดุท้องน้ำ

i_B = ค่าความแตกต่างของ % Finer สำหรับขนาดเม็ดวัสดุในช่วงใดช่วงหนึ่ง ของกราฟการกระจายขนาดเม็ดวัสดุของตะกอนท้องน้ำ

i_S = ค่าความแตกต่างของ % Finer สำหรับขนาดเม็ดวัสดุในช่วงใดช่วงหนึ่ง ของกราฟการกระจายขนาดเม็ดวัสดุของตะกอนแขวนลอย

q_B = อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ, ปอนด์/วินาที/ฟุต

q_S = อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนแขวนลอย, ปอนด์/วินาที/ฟุต

q_T = อัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนทั้งหมด, ปอนด์/วินาที/ฟุต

Einstein (1950) กำหนดขั้นตอนการคำนวณไว้ 44 ขั้นตอน เมื่อต้องการคำนวณหาตะกอนท้องน้ำทั้งหมด การคำนวณอาจลดลงได้โดยใช้วิธีอ่านค่าจากกราฟ เพื่อหารัศมีทางชลศาสตร์ (R") จากรูปแบบของความขรุขระ (Form roughness) กราฟที่ใช้สร้างโดย Vanoni และ Brooks (1957)

013049

i 10296372