

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่ใช้

2.1 ลักษณะการเคลื่อนตัวของตะกอน

การเคลื่อนตัวของตะกอนสามารถแบ่งออกได้หลายวิธีด้วยกัน การเคลื่อนตัวอาจจะเป็นวิธีเดียวหรือหลายวิธีผสมกัน นอกจากนี้ตะกอนอาจเคลื่อนตัวด้วยวิธีการหนึ่ง ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ๆ และอาจเคลื่อนตัวด้วยวิธีการอื่นต่อไปก็ได้

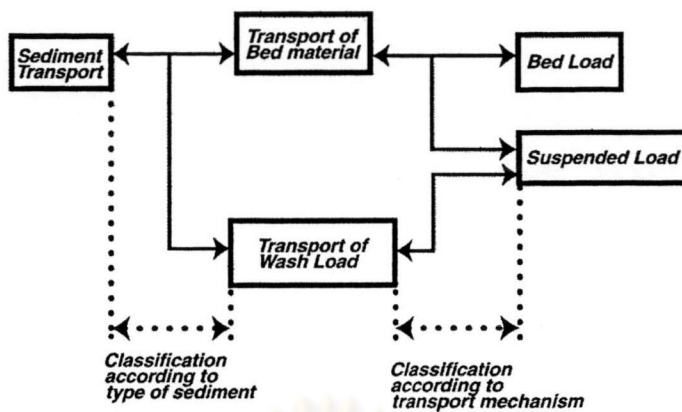
การเคลื่อนตัวของตะกอนอาจแบ่งออกตามคำจำกัดความได้ 3 ลักษณะด้วยกัน คือ การแขวนลอย (Suspension) การสัมผัส (Contact) และการกระโดด (Saltation)

โดยทั่วไปแล้วตะกอนแขวนลอย ประกอบด้วยอนุภาควัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าตะกอนท้องน้ำ ซึ่งเคลื่อนตัวสัมผัสไปกับท้องน้ำด้วยแรง Tractive forces วิธีการเคลื่อนของตะกอนท้องน้ำในลักษณะกระโดดนั้น จะแยกออกจากการเคลื่อนตัวแบบสัมผัสไปตามท้องน้ำ และขนาดตะกอนจะใหญ่กว่าตะกอนที่เคลื่อนตัวแบบแขวนลอย ตะกอนที่เคลื่อนตัวแบบกระโดดนี้มีความสำคัญในทางอุทกวิทยาน้อยมาก เพราะมีจำนวนน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนประเภทอื่น

ในลำน้ำส่วนมากตะกอนจะเคลื่อนตัว 2 ลักษณะ หรือทั้ง 3 ลักษณะผสมกัน ตะกอนที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะเคลื่อนตัวสัมผัสไปตามท้องน้ำ สำหรับภายในชั้นความหนาบาง ๆ เหนือท้องน้ำ ตะกอนจะมีลักษณะหยาบและมีความเข้มข้นสูง ตะกอนเหล่านี้อาจเคลื่อนตัวในลักษณะสัมผัส หรือกระโดดหรือทั้งสองวิธีผสมกัน ส่วนตะกอนแขวนลอยจะเคลื่อนที่เหนือชั้นความหนามากกว่าสองเท่าของขนาด D_{50} จนถึงผิวน้ำ ตะกอนแขวนลอยจะมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับตะกอนทั้งหมดในลำน้ำ

2.2 ประเภทของการนำพาตะกอน

การนำพาตะกอนแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ขึ้นอยู่วิธีการแบ่ง 2 วิธีดังแสดงในรูป 2.1 ได้ดังนี้



รูป 2-1 การแบ่งประเภทของการนำพาตะกอน เสนอโดย ทวนทัน กิจไพศาลสกุล (2000)

1. แบ่งตามชนิดของตะกอน

การแบ่งประเภทของการนำพาตะกอนตามชนิดของตะกอน จะแบ่งโดยใช้ที่มาของตะกอนเป็นสำคัญ ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

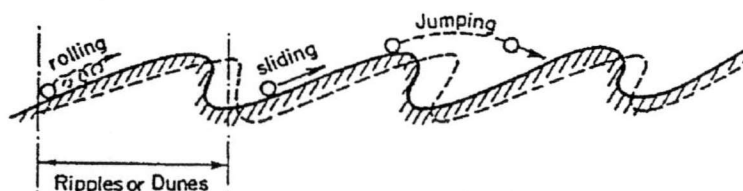
1.1 ตะกอนวัสดุท้องน้ำ (Bed material load) เป็นผลรวมของตะกอนท้องน้ำและตะกอนแขวนลอย ยกเว้นตะกอนละเอียด ในการคำนวณการเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอน จะพิจารณาเฉพาะตะกอนวัสดุท้องน้ำ เนื่องจากตะกอนละเอียดจะไม่มีผลต่อการกัดเซาะหรือทับถม

1.2 ตะกอนละเอียด (Wash load) เป็นการเคลื่อนที่ของตะกอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 60 μm เล็กกว่าวัสดุท้องน้ำและไม่ค่อยพบในท้องน้ำ มีการกระจายตัวสม่ำเสมอตลอดความลึก

2. แบ่งตามกลไกการเคลื่อนที่

การแบ่งประเภทของการนำพาตะกอนตามกลไกการเคลื่อนที่ จะแบ่งโดยใช้ลักษณะของการเคลื่อนตัวของตะกอนในน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.1 ตะกอนท้องน้ำ (Bed load) เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอนโดยการไถลกลิ้ง หรือกระโดดไปมาระหว่างเนินของท้องน้ำที่มีรูปร่างเป็นริ้วคลื่น หรือลอนคลื่น ดังรูป 2-2



รูป 2-2 การเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ เสนอโดย ทวนทัน กิจไพศาลสกุล (2000)

2.2 ตะกอนแขวนลอย (Suspended load) เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอนในลักษณะแขวนลอยอยู่ห่างจากท้องน้ำ เมื่อแรงโน้มถ่วงที่มีต่อน้ำหนักตะกอนถูกสมดุลโดยแรงต้านขึ้นเนื่องจากความปั่นป่วนของการไหลรวมทั้งแรงลอยตัว

2.3 การเริ่มต้นเคลื่อนตัว

การเริ่มต้นเคลื่อนตัวของตะกอนที่ท้องน้ำหรือผิวท้องน้ำ เป็นจุดเริ่มต้นของกระบวนการกัดเซาะทางน้ำ มีผลต่อเสถียรภาพและคุณสมบัติชลศาสตร์ต่าง ๆ ของทางน้ำ ในการออกแบบทางน้ำจะมีข้อกำหนด คือ ควบคุมไม่ให้เกิดการเริ่มเคลื่อนตัวของตะกอนที่ท้องน้ำ ดังนั้นจึงมีการศึกษาการเริ่มต้นเคลื่อนตัวของตะกอนที่ท้องน้ำในปี ค.ศ.1963 ชิลด์ ได้เสนอทฤษฎีที่ใช้อธิบายการเริ่มต้นเคลื่อนตัวของตะกอนท้องน้ำโดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของชิลด์ (Shields parameter) ดังต่อไปนี้

1) พารามิเตอร์การไหล (Flow parameter, ψ) หาได้จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$\psi = \frac{u_*^2}{\Delta g D} = \frac{\tau_0}{(\rho_s - \rho) g D} = \frac{h i}{\Delta D} \quad (2.1)$$

โดยที่ $\Delta = \frac{(\rho_s - \rho)}{\rho} = S_s - 1$

$$u_* = \sqrt{g h i} = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$$

$$\tau_0 = \rho g h i = \rho u_*^2$$

เมื่อ u_* = ความเร็วเฉือน (shear velocity) หรือความเร็วเนื่องจากความเสียด (friction velocity)

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดตะกอน

h = ความลึกการไหล

i = ความลาดเอียงของผิวน้ำ

ρ = ความหนาแน่นเชิงมวลของน้ำ

ρ_s = ความหนาแน่นเชิงมวลของตะกอน

S_s = ความถ่วงจำเพาะของตะกอน

τ_0 = หน่วยแรงเฉือนที่ผิวสัมผัสทางน้ำหรือท้องน้ำ

2) เรโนลด์นัมเบอร์ของอนุภาคตะกอน (Particle Reynold Number, Re_*)

$$Re_* = \frac{u_* D}{\nu} \quad (2.2)$$

เมื่อ ν = ความหนืดจลน์ศาสตร์ของน้ำ

ซิลด์ ได้ทำการศึกษาการเริ่มต้นเคลื่อนตัวของตะกอน และพบว่าที่สภาวะการเริ่มต้นเคลื่อนตัวของตะกอน

$$\psi = f\left(\frac{D}{\delta}\right) \quad (2.3)$$

เมื่อ δ = ความหนาของชั้นอิทธิพลความหนืดของการไหลราบเรียบ (thickness of laminar sublayer)

จากพฤติกรรมการไหลบนผิวเรียบ พบว่าความหนาของชั้นอิทธิพลความหนืดของการไหลราบเรียบมีค่าความสัมพันธ์คือ

$$\frac{u_* \delta}{\nu} = 11.5 \quad (2.4)$$

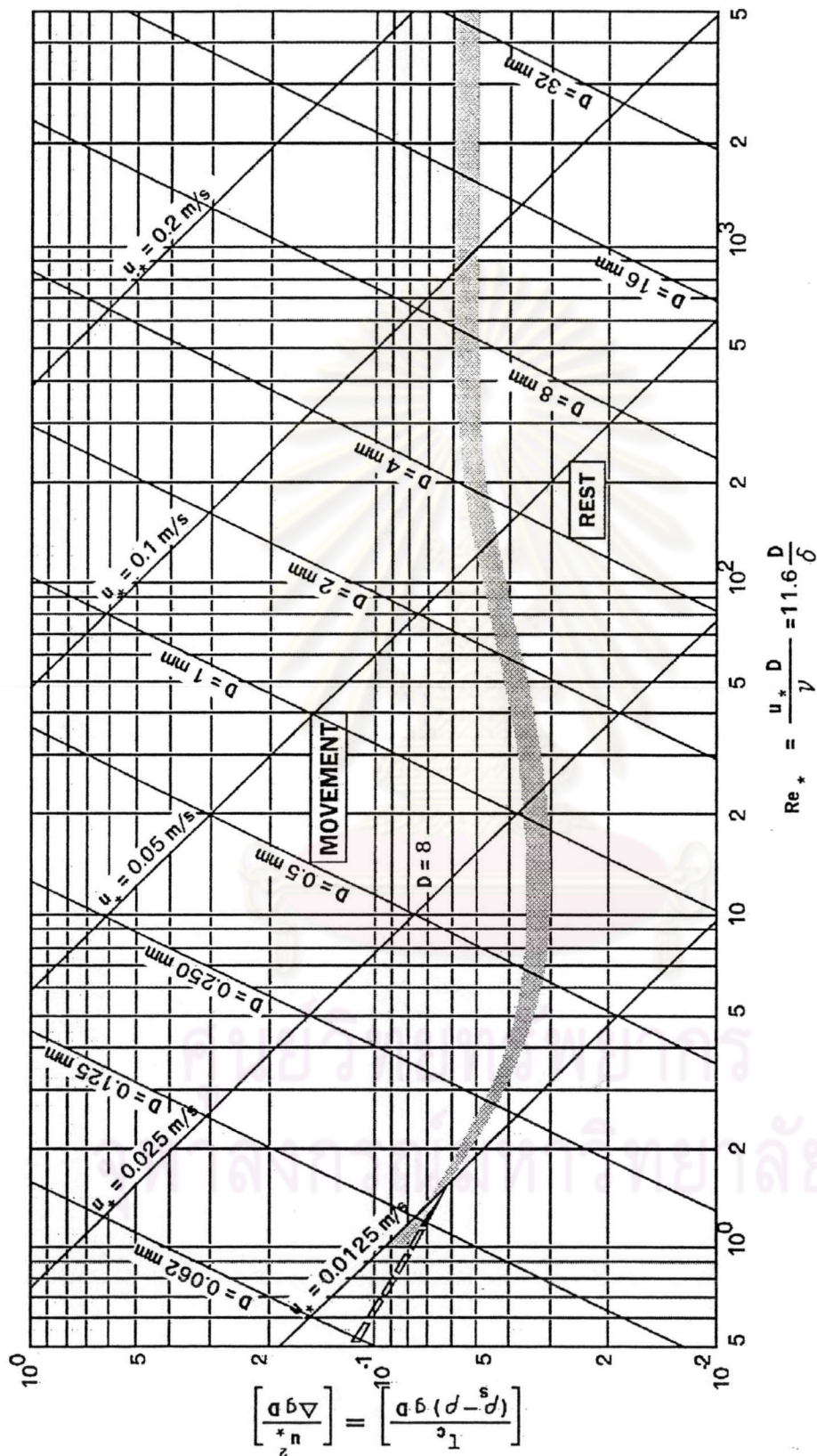
คูณด้วย $\frac{D}{\delta}$ จะได้

$$\frac{u_* D}{\nu} = 11.5 \frac{D}{\delta} = Re_* \quad (2.5)$$

ดังนั้น จะได้ว่า $\psi = f(Re_*)$ ความสัมพันธ์นี้แสดงในรูป 2-3 เรียกว่า Shields' Diagram โดยแบ่งออกเป็น 2 โซนคือ

1. สภาวะที่ตะกอนไม่เคลื่อนที่ (REST) โดยมีค่า $\psi < \psi_c$
2. สภาวะที่ตะกอนเคลื่อนที่ (MOVEMENT) โดยมีค่า $\psi > \psi_c$

โดยมีการกำหนดเส้นวิกฤติที่มีค่า $\psi = \psi_c$ เมื่อ ψ_c = พารามิเตอร์การไหลวิกฤตที่มีการเริ่มต้นเคลื่อนตัวของตะกอน เป็นเส้นแบ่งเขตระหว่างสภาวะที่ตะกอนไม่เคลื่อนที่กับสภาวะที่ตะกอนเคลื่อนที่



Lines of equal u_* and D based on $\rho_s = 2,650 \text{ kg/m}^3$ and $\nu = 1.25 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} (12^\circ\text{C})$

รูป 2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนวิกฤตกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุท้องน้ำที่มีขนาดสม่ำเสมอ เสนอโดย Shields (1936)

2.4 รูปร่างของท้องน้ำ

ทางน้ำที่มีท้องน้ำเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง จะมีรูปร่างหรือรูปตัดตามยาวของท้องน้ำในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของการไหล และตะกอน โดยสามารถแบ่งเป็น 8 ประเภท ดังแสดงในรูป 2-4 จะเห็นว่ารูปร่างของท้องน้ำจะสัมพันธ์กับรูปร่างของผิวน้ำ

จากการทดลองพบว่า รูปร่างของท้องน้ำรวมทั้งอัตราการไหลของน้ำ และอัตราการนำพาของตะกอน จะผันแปรตามค่า Fr (Froude number) ของการไหลเป็นสำคัญ ดังนี้

1. เมื่อ Fr มีค่าน้อย รูปร่างของท้องน้ำจะเป็นริ้วคลื่น (ripple) อัตราการไหลของน้ำ และอัตราการนำพาของตะกอนจะมีค่าน้อย
2. เมื่อ Fr เพิ่มขึ้นรูปร่างของท้องน้ำจะเปลี่ยนเป็นลอนคลื่น (dunes) อัตราการไหลของน้ำ และอัตราการนำพาของตะกอนจะเพิ่มขึ้นตาม
3. จนกระทั่งที่ Fr มีค่าสูงมาก รูปร่างของท้องน้ำจะมีลักษณะเป็นแบบท้องน้ำในอ่างน้ำที่ต่อเชื่อมกับรางเท (chuted pools) อัตราการไหลของน้ำ และอัตราการนำพาของตะกอนจะมีค่ามาก

โดยทั่วไป รูปร่างของท้องน้ำจะเป็น ripple dune หรือ antidune

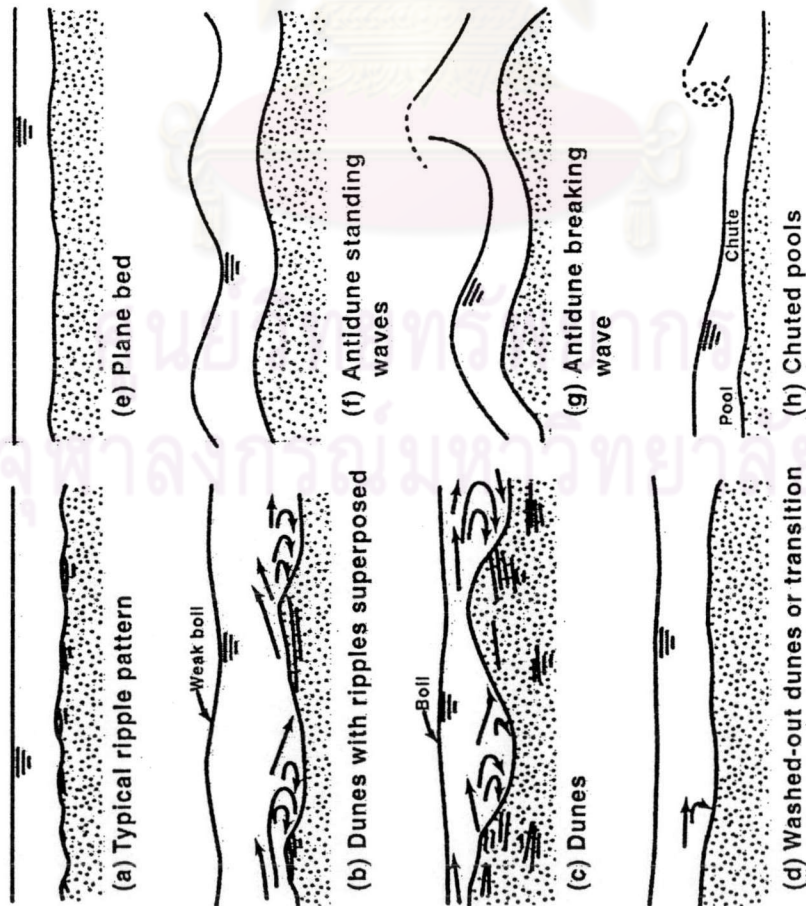
2.5 วิธีการพยากรณ์รูปร่างของท้องน้ำ

2.5.1 วิธีของ Liu

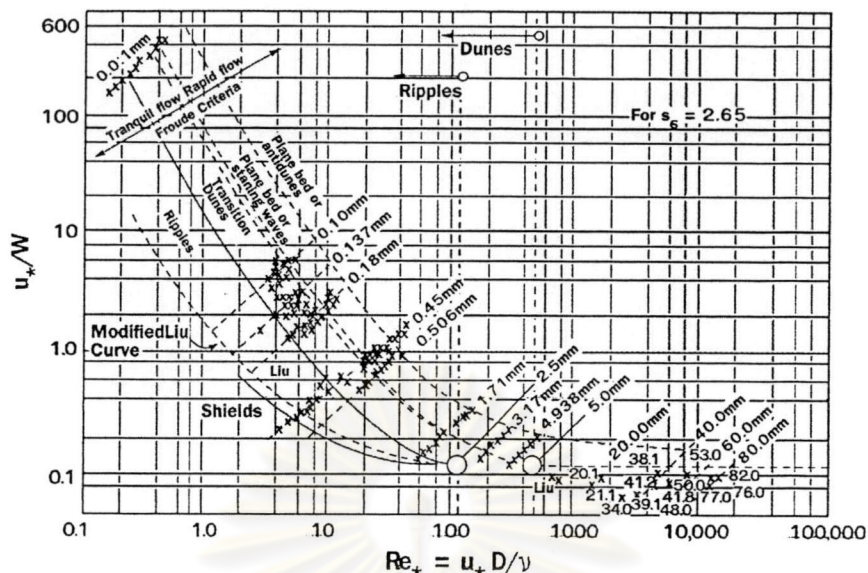
ในปี 1957 Liu ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{u^*}{\omega}$ และ Re. ที่สัมพันธ์กับรูปร่างของท้องน้ำแบบริ้วคลื่น (ripple) และต่อมาในปี 1961 ได้มีการขยายความสัมพันธ์ออกไปกับรูปร่างของท้องน้ำแบบต่าง ๆ โดย Simons และคณะ ดังแสดงในรูป 2-5 ซึ่งสามารถใช้ความสัมพันธ์นี้พยากรณ์รูปร่างของท้องน้ำได้

- เมื่อ ω = ความเร็วการตกของตะกอนในน้ำ (sediment fall velocity)
 D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวัสดุ ปกติใช้ค่า D_{50}

bed form or configuration	dimensions	shape	behavior and occurrence
ripples	Wavelength < 0.3 m. Height < 3 cm.	Roughly triangular in profile, with gentle, slightly convex upstream slopes and downstream slopes nearly equal to the angle of repose. Generally short crested and three-dimensional	Move downstream with velocity much less than that of the flow. Generally do not occur in sediments coarser than about 0.6 mm.
bars	Lengths comparable to the channel width. Height comparable to mean flow depth	Profile similar to ripples. Plan form variable	Four types of bars are distinguished: (1) Point; (2) Alternating; (3) Transverse; and (4) Tributary. Ripples may occur on upstream slopes
dunes	Wavelength and height greater than ripples but less than bars	Similar to ripples	Upstream slopes of dunes may be covered with ripples. Dunes migrate downstream in manner similar to ripples
transition	Vary widely	Vary widely	A configuration consisting of a heterogeneous array of bed forms, primarily low-amplitude ripples and dunes interspersed with flat regions.
flat bed			A bed surface devoid of bed forms. May not occur for some ranges of depth and sand size
antidunes	Wavelength $\approx 2\pi u^2/g$ Height depends on depth and velocity of flow	Nearly sinusoidal in profile. Crest length comparable to wavelength	In phase with and strongly interact with gravity water surface waves. May move upstream, downstream, or remain stationary, depending on properties of flow and sediment.



รูป 2-4 รูปร่างและค่าอธิบายของท้องน้ำแบบต่างๆ ในทางน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ เสนอโดย Overbeek (1977)

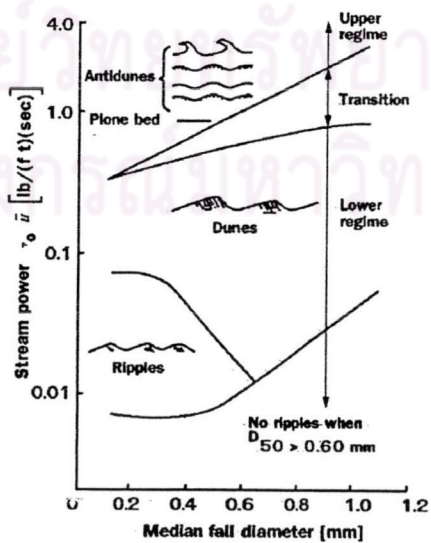


รูป 2-5 เกณฑ์สำหรับหารูปร่างของท้องน้ำ เสนอโดย Simons และคณะ (1961)

2.5.2 วิธีของ Simons และคณะ

ในปี 1966 Simons และคณะ ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง ขนาด D_{50} และ stream power (τV) ที่สัมพันธ์กับรูปร่างของท้องน้ำแบบต่าง ๆ ดังแสดงในรูป 2-6

- เมื่อ τ = หน่วยแรงเฉือนที่ผิวสัมผัสทางน้ำหรือท้องน้ำ
- V = ความเร็วการไหล
- D_{50} = ขนาดตรงกลางของวัสดุท้องน้ำ (median particle diameter)



รูป 2-6 เกณฑ์สำหรับหารูปร่างของท้องน้ำ เสนอโดย Simons และคณะ (1966)

2.6 สมการการเคลื่อนที่ของตะกอนทั้งหมด

พารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 ค่าที่แสดงความสัมพันธ์กันในสูตรทั่วไปของอัตราการเคลื่อนที่ของตะกอนคือ

- 1) พารามิเตอร์การเคลื่อนที่ของตะกอน (transport parameter)

$$\phi = \frac{s}{\sqrt{\Delta g D^3}} \quad (2.6)$$

- 2) พารามิเตอร์การไหล (flow parameter)

$$\psi = \frac{h_i}{\Delta D} \quad (2.7)$$

ในบางครั้ง

$$\psi = \frac{\mu h_i}{\Delta D} \quad (2.8)$$

โดยที่ μ = สัมประสิทธิ์ปรับแก้

เมื่อ s = อัตราการนำพาของตะกอนต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของทางน้ำ

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดตะกอน

h = ความลึกการไหล

i = ความลาดเอียงของผิวน้ำ

$\Delta = S_s - 1$

S_s = ความถ่วงจำเพาะของตะกอน

2.6.1 สมการของ Shinohara และ Tsubaki (1959)

ในปี 1959 Shinohara และ Tsubaki ได้แสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้งสองในรูปของสมการเอมไพริคัล ดังนี้

$$\phi = 25\psi^{1.3}(\psi - 0.038) \quad (2.9)$$

โดยที่

$$\psi = \frac{\mu h_i}{\Delta D_{50}}$$

และ

$$\mu = \frac{C}{C'}$$

$$C = \text{สัมประสิทธิ์ความขรุขระทั้งหมดของ Chezy} = \frac{V}{\sqrt{hi}}$$

$$C' = \text{สัมประสิทธิ์ความขรุขระเนื่องจาก เม็ดวัสดุ} = 18 \log \frac{12h}{D_{90}}$$

2.6.2 สมการของ Ackers และ White (1973)

เป็นสมการที่ถูกพัฒนาขึ้นมาในปี 1973 และมีคนรู้จักกันมากมาย ใช้สำหรับหาอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดสมการหนึ่ง โดยนำเสนอสมการสำหรับวิเคราะห์อัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดในรูปของตัวแปรไร้หน่วย 3 กลุ่ม คือ G_{gr} (transport rate), F_{gr} (sediment mobility number) และ D_{gr} (dimensionless grain size number) ดังนี้

$$G_{gr} = C \left[\left(\frac{F_{gr}}{A} \right) - 1 \right]^m \quad (2.10)$$

$$F_{gr} = \frac{u_*^n}{\sqrt{\Delta g D_{35}}} \left[\frac{V}{\sqrt{32 \log \left(\frac{10h}{D_{35}} \right)}} \right]^{(1-n)} \quad (2.11)$$

$$D_{gr} = D_{35} \left(\frac{\Delta g}{v^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.12)$$

เมื่อ C, A, m และ n = ค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

สำหรับตะกอนขนาดใหญ่ ($D_{gr} > 60$) ค่าสัมประสิทธิ์จะมีค่าคงที่ ดังนี้

$$C = 0.025$$

$$A = 0.17$$

$$m = 1.5$$

$$n = 0$$

สำหรับตะกอนขนาดกลาง ($1 < D_{gr} < 60$) ค่าสัมประสิทธิ์จะเป็นฟังก์ชันของค่า D_{gr} ดังนี้

$$\log C = 2.86 \log D_{gr} - (\log D_{gr})^2 - 3.53 \quad (2.13)$$

$$A = \frac{0.23}{\sqrt{D_{gr}}} + 0.14 \quad (2.14)$$

$$m = \frac{9.66}{D_{gr}} + 1.34 \quad (2.15)$$

$$n = 1 - 0.56 \log D_{gr} \quad (2.16)$$

2.6.3 สมการของ Yang (1973)

ในปี 1973 Yang ได้เสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด ในรูปความเข้มข้นของตะกอนทั้งหมด โดยสามารถใช้ได้ทั้งหน่วย SI และหน่วยอังกฤษ ซึ่งสมการนี้ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลอง 153 ข้อมูล และขนาดวัสดุท้องน้ำที่ใช้มีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังนี้

$$\log C_{ppm} = 5.165 - 0.153 \log \frac{\omega_{50} D_{50}}{v} - 0.297 \log \frac{u^*}{\omega_{50}} + \left(1.780 - 0.360 \log \frac{\omega_{50} D_{50}}{v} - 0.480 \log \frac{u^*}{\omega_{50}} \right) \log \frac{V_i}{\omega_{50}} \quad (2.17)$$

เมื่อ C_{ppm} = อัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดในรูปของความเข้มข้น (ppm by weight)

u^* = ความเร็วเฉือน (shear velocity)

ω_{50} = ความเร็วการตกของตะกอนในน้ำของตะกอนขนาด D_{50} (sediment fall velocity of median particle)

v = ความหนืดจลน์ศาสตร์ของน้ำ

D_{50} = ขนาดตรงกลางของวัสดุท้องน้ำ (median particle diameter)

V = ความเร็วการไหล

i = ความลาดเอียงของผิวน้ำ

2.6.4 สมการของ Engelund และ Hansen (1967)

เป็นสมการที่เสนอโดย Engelund และ Hansen ในปี 1967 และเป็นสมการที่มีคนนิยมใช้แพร่หลายทั่วไป เนื่องจากตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณมีไม่มาก ดังนี้

$$\frac{s}{\sqrt{\Delta g D_{50}^3}} = 0.05 \frac{C^2}{g} \left[\frac{h_i}{\Delta D_{50}} \right]^{\frac{5}{2}} \quad (2.18)$$

หรือแสดงความสัมพันธ์ในรูปของพารามิเตอร์ทั้งสองได้ดังนี้

$$\phi = 0.05 \psi^{\frac{5}{2}} \quad (2.19)$$

โดยที่

$$\psi = \frac{\mu h_i}{\Delta D_{50}}$$

เมื่อ

$$\mu = \left(\frac{C^2}{g} \right)^{\frac{2}{5}}$$

2.6.5 สมการของ Molinas และ Wu (1998)

ในปี 1998 Molinas และ Wu ได้ทำการศึกษาผลของการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำที่มีต่ออัตราการเคลื่อนที่ของตะกอน โดยใช้ข้อมูลที่รวบรวมมาจำนวน 118 ข้อมูล ซึ่งมีขนาดและการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำ ดังนี้ $D_{50} = 0.10-0.90$ มม., $\sigma_g = 1.25-2.97$ โดยในการศึกษาพบว่า การกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำมีผลต่ออัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด ดังรูป 2-7 ก. คือ สำหรับทรายที่มีขนาดสม่ำเสมอ ค่าอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดที่คำนวณได้จากสมการของ Engelund และ Hansen จะมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้ และสำหรับทรายที่มีการกระจายขนาดสูง ค่าอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดที่คำนวณได้จากสมการของ Engelund และ Hansen จะมีค่าต่ำกว่าค่าที่วัดได้ ดังนั้น Molinas และ Wu จึงได้ทำการปรับปรุงสมการของ Engelund และ Hansen โดยเสนอค่าปรับแก้ K_g ซึ่งเป็นฟังก์ชันของการกระจายขนาดของวัสดุท้องน้ำ (geometric standard deviation, σ_g) และลักษณะของการไหล (flow condition) โดยค่าปรับแก้ นี้ จะนำไปใช้ปรับแก้ขนาดของวัสดุท้องน้ำ ที่ใช้ในสมการคำนวณอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดของ Engelund และ Hansen ให้อยู่ในรูปของขนาดตะกอนประสิทธิผล (D_e) ดังนี้

$$\frac{s}{\sqrt{\Delta g D_e^3}} = 0.05 \frac{C^2}{g} \left[\frac{h_i}{\Delta D_e} \right]^{\frac{5}{2}} \quad (2.20)$$

หรือ $f' \phi = 0.1 \theta^{\frac{5}{2}} \quad (2.21)$

โดยที่ $\phi = \frac{s}{\sqrt{\Delta g D_e^3}}$

$$f' = \frac{2g}{C^2}$$

$$\theta = \frac{h_i}{\Delta D_e}$$

และ $D_e = K_g D_{50} = \frac{1.8 D_{50}}{1 + 0.8 \left(\frac{u^*}{\omega_{50}} \right)^{0.1} (\sigma_g - 1)^{2.2}}$

เมื่อ $\sigma_g =$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดของวัสดุท้องน้ำ (geometric standard deviation)

$$= \sqrt{\frac{D_{84}}{D_{16}}}$$

$u^* =$ ความเร็วเฉือน (shear velocity)

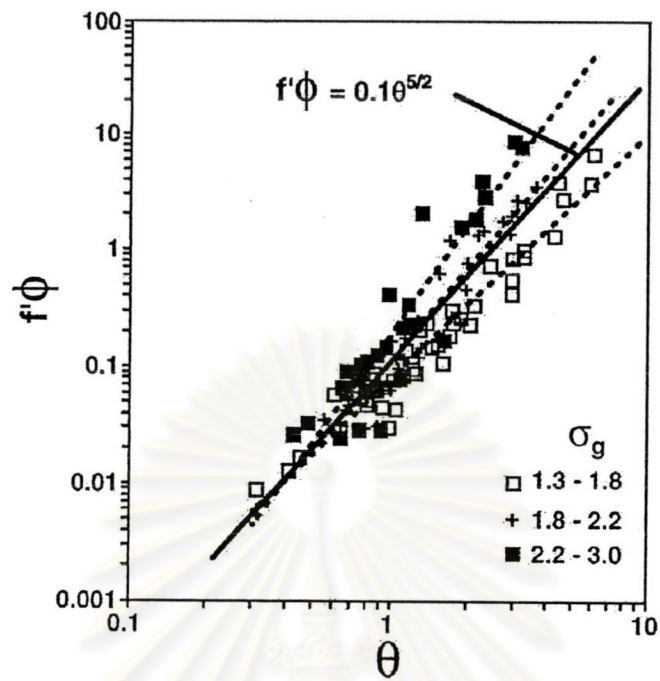
$\omega_{50} =$ ความเร็วการตกของตะกอนในน้ำของตะกอนขนาด D_{50}

$D_{50} =$ ขนาดตรงกลางของวัสดุท้องน้ำ (median particle diameter)

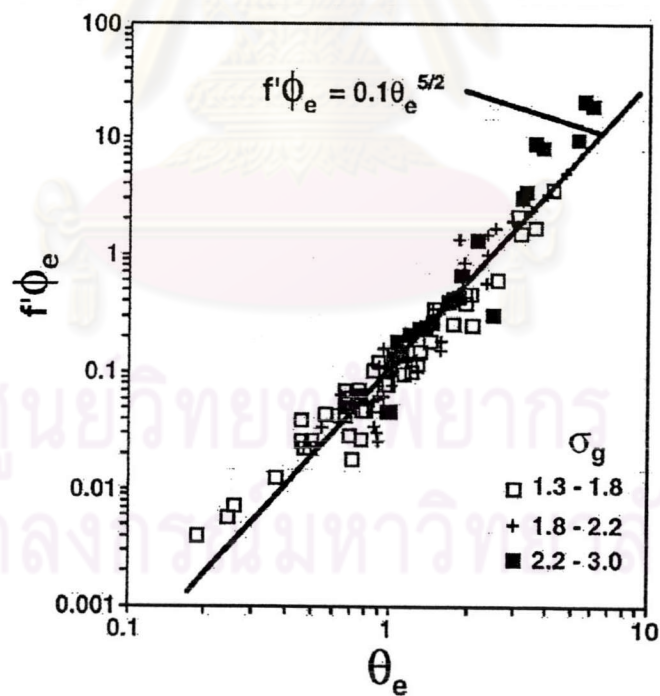
$D_{16} =$ ขนาดลำดับที่ 16 ของวัสดุท้องน้ำ (16th particle diameter)

$D_{84} =$ ขนาดลำดับที่ 84 ของวัสดุท้องน้ำ (84th particle diameter)

และจากการใช้ค่าปรับแก้ K_g นี้ พบว่า ผลการคำนวณอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดด้วยสมการข้างต้น มีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้มากขึ้น โดยค่าปรับแก้ K_g จะทำให้ค่า D_e ที่คำนวณได้มีค่าสูงขึ้น สำหรับท้องน้ำที่มีการกระจายขนาดสม่ำเสมอ จึงทำให้ค่าที่คำนวณได้จากสมการข้างต้นมีค่าน้อยลง และจากการใช้ค่าปรับแก้ นี้ จะทำให้ค่า D_e ที่คำนวณได้มีค่าน้อยลง สำหรับท้องน้ำที่มีการกระจายขนาดสูง จึงทำให้ค่าที่คำนวณได้จากสมการข้างต้นมีค่าสูงขึ้น และใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้มากขึ้น ดังรูป 2-7 ข.



ก. ไม่ใช้ค่าปรับแก้ K_g



ข. ใช้ค่าปรับแก้ K_g

รูป 2-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง θ และ $f'\phi$ เมื่อใช้และไม่ใช้ค่าปรับแก้ K_g เสนอโดย

Molinas และ Wu (1998)