

บทที่ 7

แม่น้ำ (RIVERS)

จุดมุ่งหมาย

หลังจากที่ศึกษาบทนี้แล้ว นักศึกษาคควรมีความสามารถที่จะ

1. บอกคุณสมบัติของของไหลได้อย่างน้อย 4 คุณสมบัติ
2. บอกและอธิบายถึงลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำได้อย่างน้อย 2 ลักษณะ
3. ทำนายลักษณะของการไหลโดยการคำนวณได้
4. เข้าใจและอธิบายลักษณะของร่องน้ำได้อย่างน้อย 2 ลักษณะ
5. อธิบายถึงลักษณะของที่ราบน้ำท่วมถึงได้
6. อธิบายถึงลักษณะของลุ่มน้ำทางน้ำโค้งตัวได้
7. บอกและอธิบายถึงชั้นอายุของลำธารได้ทุกชั้น

1. คำนำ

การศึกษาเกี่ยวกับแม่น้ำนั้นจำเป็นจะต้องมีความเข้าใจถึงการไหลในร่องน้ำเปิด (open channel flow) ด้วย ทั้งนี้เพราะร่องน้ำเปิดนั้นเป็นทางธรรมชาติที่พาให้น้ำไหลไปบนผิวดินมากกว่านั้น มนุษย์ยังพยายามที่จะศึกษาถึงการควบคุมกระแสน้ำอยู่ตลอดเวลา เพราะว่ากระแสน้ำจะให้ประโยชน์ก็ต่อเมื่อสามารถควบคุมได้ และจะให้โทษก็ต่อเมื่อไม่สามารถควบคุมได้ เช่นเวลาเกิดน้ำท่วมเป็นต้น ดังนั้นคุณลักษณะของแม่น้ำจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อทุกคนที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรน้ำ ไม่ว่าจะเป็นมองจากทฤษฎีของธรณีฐานวิทยา (geomorphology) อุทกศาสตร์ (hydraulics) การควบคุมน้ำท่วม (flood control) การเดินเรือ (navigation) ลักษณะความมีเสถียรภาพ (stabilization) หรือการพัฒนาทรัพยากรน้ำเพื่อสาธารณูปโภคและอุตสาหกรรมก็ตาม

2. คุณสมบัติของของไหล

คุณสมบัติทางกายภาพของของไหล (fluids)¹ ต่อไปนี้ มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของของไหล รูปทรงเรขาคณิตของร่องน้ำ และช่วยอธิบายเกี่ยวกับการนำพาตะกอน (sediment transport)

มวล (mass) คือปริมาณของสสารในวัตถุซึ่งวัดจากความต้านทาน (resistance) ของมันที่มีต่อแรงที่มากระทำ ใช้แทนด้วยอักษร M

ความหนาแน่น (density) คือมวลต่อหน่วยปริมาตร และใช้แทนด้วยอักษรกรีก ρ (rho)

น้ำหนัก (weight) คือแรงโน้มถ่วงที่มากระทำต่อมวล น้ำหนักมีความสัมพันธ์ต่อมวลด้วยสมการ $W = gM$ ที่ซึ่ง g คืออัตราเร่งของแรงโน้มถ่วง

น้ำหนักจำเพาะ (specific weight) คือน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตร และใช้แทนด้วยอักษรกรีก γ (gamma) น้ำหนักจำเพาะมีความสัมพันธ์ต่อความหนาแน่นด้วยสมการ $\gamma = \rho g$

ความหนืด (viscosity) คือคุณสมบัติของของไหลที่ต้านทานการเปลี่ยนแปลง และใช้แทนด้วยอักษรกรีก μ (mu)

ความเค้นบิด (shear) คือคุณสมบัติในการเคลื่อนที่ของของไหล ซึ่งมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับความหนืด มันเป็นแรงสัมผัสหรือความเค้น (stress) ต่อหน่วยพื้นที่ที่ถูกส่งถ่ายผ่านหนึ่งหน่วยความหนาของของไหล ความเค้นบิดใช้แทนด้วยอักษรกรีก τ (tau) และมีความสัมพันธ์ต่อความหนืดด้วยสมการ $\tau = \mu \frac{dv}{dy}$

1. ของไหล (fluids) หมายถึง ของที่ไหลได้ซึ่งรวมทั้งอากาศและน้ำ

อุณหภูมิ (temperature) มีผลต่อความหนาแน่นของของเหลว (liquids) เล็กน้อย แต่มีผลต่อความหนืดอย่างเด่นชัด นั่นคือน้ำนั้นจะมีความสามารถยืดหยุ่นได้เป็นปัจจัยสำคัญ ความหนืดของของเหลวจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของน้ำในร่องน้ำเปิด (open channels) สามารถเปลี่ยนแปลงได้มากถึง 40°F (4.4°C) ภายในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

ความยืดหยุ่น (elasticity) และความตึงผิว (surface tension) มีผลเล็กน้อยต่อการไหลในร่องน้ำเปิด รวมถึงการนำพาตะกอนด้วย

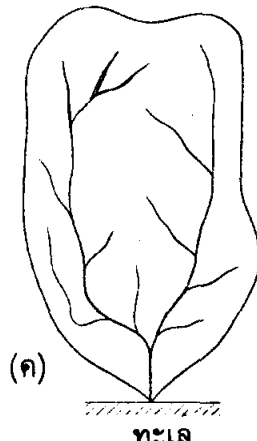
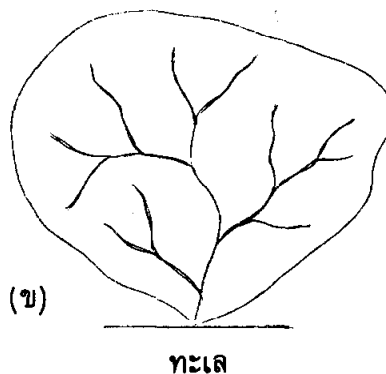
3. ลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำ

ในการศึกษาแม่น้ำสายหนึ่ง ๆ นั้น จำเป็นที่จะต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับพื้นที่ลุ่มน้ำของแม่น้ำสายหนึ่ง ๆ เสียก่อน พื้นที่ลุ่มน้ำของแม่น้ำสายหนึ่ง ๆ นั้น หมายถึงพื้นที่ซึ่งเมื่อฝนตกลงมาแล้ว น้ำจะไหลรวมกันลงสู่แม่น้ำนั้น เส้นที่แบ่งเขตของพื้นที่ลุ่มน้ำข้างเคียงกันเรียกว่า สันปันน้ำ (watershed) หรือการประมาณค่าของพื้นที่ลุ่มน้ำทำได้โดยการวัดพื้นที่ซึ่งล้อมรอบโดยสันปันน้ำ ในแผนที่ภูมิประเทศ พื้นที่ลุ่มน้ำ ลักษณะภูมิประเทศ สภาพของต้นไม้ที่ขึ้นปกคลุม และลักษณะทางธรณีวิทยาที่มีอิทธิพลต่อจำนวนปริมาณน้ำท่าวม ลักษณะของน้ำท่าวม ปริมาณน้ำพื้นฐาน (หรือปริมาณน้ำภายหลังที่ฝนได้หยุดตกไปเป็นเวลานานแล้ว) และอื่น ๆ

ลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น ถ้าหากแบ่งตามลักษณะที่สำคัญแล้ว สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะดังนี้คือ

1. ลุ่มน้ำรูปขนนก (Featherlike basin)

ลุ่มน้ำรูปขนนก คือ พื้นที่ขนาดเล็กซึ่งมีลำน้ำสาขา (distributaries) ไหลลงสู่ตัวลำน้ำสายใหญ่ทั้งสองฝั่ง ปริมาณน้ำท่าวมจากลุ่มน้ำชนิดนี้จะมีค่าค่อนข้างต่ำ เพราะวาระยะเวลาที่ปริมาณน้ำท่าวมของแควสาขาต่าง ๆ ไหลมาถึงไม่เท่ากัน แต่น้ำจะท่าวมอยู่เป็นเวลานาน ลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำรูปขนนกนั้นแสดงไว้ใน รูปที่ 7.1 (ก)



รูปที่ 7.1 ลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำ (ก) ลุ่มน้ำรูปขนนก (ข) ลุ่มน้ำรูปวงกลม (ค) ลุ่มน้ำรูปขนาน

2. ลุ่มน้ำรูปวงกลม (Radial basin)

ลุ่มน้ำรูปวงกลม คือ พื้นที่ลุ่มน้ำที่มีสันปันน้ำ (watershed) เป็นรูปพัด หรือรูปวงกลม และมีลำน้ำสาขาไหลลงสู่ลำน้ำสายใหญ่ที่จุดใดจุดหนึ่งเหมือนเป็นรัศมีของวงกลม ในพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีลักษณะเช่นนี้ ปริมาณน้ำท่าวมจะมารวมกันที่จุดจุดเดียว ทำให้เกิดน้ำท่าวมใหญ่ใกล้กับจุดบรรจบหรือ สบแม่น้ำ (junction of rivers) ลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำรูปวงกลมนั้นแสดงไว้ใน รูปที่ 7.1 (ข)

3. ลุ่มน้ำรูปขนาน (Parallel basin)

ลุ่มน้ำรูปขนาน คือ ลุ่มน้ำที่มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 2 ส่วน ซึ่งจะมาบรรจบกันในตอนล่าง หรือด้านท้ายน้ำของลุ่มน้ำ และน่าจะเกิดน้ำท่าวมบริเวณตอนใต้ของสบแม่น้ำ

4. ลุ่มน้ำรูปผสม (Complexed basin)

ลุ่มน้ำรูปผสม คือ ลุ่มน้ำที่มีลักษณะหลาย ๆ ชนิดรวมกันอยู่ ลุ่มน้ำที่พบโดยทั่วไปมักจะมีลักษณะเป็นลุ่มน้ำรูปผสมเป็นส่วนใหญ่ จะมีน้อยมากที่มีลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งดังกล่าวข้างต้น

3.1 สัมประสิทธิ์แสดงลักษณะเด่นของลุ่มน้ำ

สัมประสิทธิ์แสดงลักษณะเด่น (Feature coefficient) คือสัมประสิทธิ์แสดงความสัมพันธ์ของพื้นที่ลุ่มน้ำกับความยาวของลำน้ำ ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$F = \frac{A}{L^2}$$

ในเมื่อ F : Feature coefficient

A : พื้นที่ลุ่มน้ำ (กม.²)

L : ความยาวของลำน้ำสายใหญ่ (กม.)

ถ้าหากลักษณะอื่น ๆ เหมือนกันแล้ว ลุ่มน้ำที่มีค่า F มากขึ้น หมายความว่าลุ่มน้ำนั้นจะมีความกว้างมากขึ้น และจะมีค่าปริมาณน้ำท่าวมสูงขึ้นด้วย ในตารางที่ 7.1 แสดงค่า F ของแม่น้ำสายสำคัญ ๆ ของโลก

ในการคำนวณหาค่า F ของลุ่มแม่น้ำเอมะซอนจะได้ว่า $= \frac{7,050,000}{(6,700)^2} = 0.157$ สำหรับ

สำหรับแม่น้ำสายอื่น ๆ ก็ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกันนี้ หากเปรียบเทียบค่า F ของลุ่มแม่น้ำแยงซีเกียงกับลุ่มน้ำอวโหวแล้ว จะเห็นว่าลุ่มน้ำแยงซีเกียงมีความกว้างมากกว่าลุ่มน้ำอวโหว

ตารางที่ 7.1 สัมประสิทธิ์แสดงลักษณะของแม่น้ำสายสำคัญ ๆ ของโลก

ชื่อแม่น้ำ	พื้นที่ลุ่มน้ำ (กม. ²)*	ความยาวของแม่น้ำ (กม.)*	F
เอมะซอน	7,050,000	6,700	0.157
ไนล์	2,860,000	6,100	0.077
แยงซีเกียง	1,830,000	5,580	0.059
คองโก	3,700,000	4,700	0.167
ฮวงโห	771,000	4,630	0.036
แม่น้ำโขง	795,000	4,200	0.045
มิสซิสซิปปี	3,222,000	3,970	0.204
ดานูบ	1,165,000	2,900	0.858
คงคา	905,000	2,580	0.136
ไรน์	362,000	1,320	0.208
เจ้าพระยา	110,371	400	0.69

* ข้อมูล จาก Frijlink, 1958.

สำหรับการคาดคะเนลักษณะภูมิประเทศและลักษณะทางธรณีวิทยา ในลุ่มน้ำนั้นสามารถวัดได้จากความหนาแน่นของลำน้ำ ความหนาแน่นของลำน้ำ (river density) คือดัชนีแสดงจำนวนลำน้ำสาขาในลุ่มน้ำใดลุ่มน้ำหนึ่ง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{ความหนาแน่นของลำน้ำ} = \frac{\text{ผลบวกของความยาวของลำน้ำสายใหญ่และลำน้ำสาขา (กม.)}}{\text{พื้นที่ลุ่มน้ำ (กม.²)}}$$

ตามปกติจะมีค่าประมาณ 0.3 ถึง 0.5 ถ้าความหนาแน่นของลำน้ำใดมีค่าน้อย แสดงว่าลุ่มน้ำนั้นมีลักษณะทางธรณีวิทยาที่น้ำไหลซึมลงไปได้ง่าย และอยู่ในที่สูงที่มีความยาวลาดชันมาก หากความหนาแน่นของลำน้ำใดมีค่ามาก แสดงว่าลุ่มน้ำนั้นมีฝนตก

3.2 ความลาดชันตามแนวรูปตัดตามยาวและลักษณะของรูปตัดขวางของแม่น้ำ

รูปตัดตามยาวของแม่น้ำ (river profile) คือเส้นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับระดับท้องแม่น้ำนับตั้งแต่ปากแม่น้ำขึ้นไปหาต้นน้ำ รูปตัดตามยาวนี้จะค่อย ๆ เปลี่ยนไปจนเกือบจะคงที่หลังจากมีการพัดพาและการตกตะกอนในแม่น้ำอันเนื่องมาจากอิทธิพลของปริมาณน้ำที่ไหลมา รูปตัดตามยาวที่คงที่แล้วนี้เรียกว่า “รูปตัดตามยาวที่อยู่ในสมดุลย์” (balanced profile) อย่างไรก็ตาม

รูปตัดที่อยู่ในสมมูลนี้จะไม่มีเพียงรูปเดียวที่เหมือนกัน ทั้งนี้เพราะว่า ทั้งการพัดพาและการตกตะกอน จะเปลี่ยนแปลงไปตามจำนวนปริมาณน้ำที่ไหลมาในแม่น้ำนั้น

ลักษณะของรูปตัดขวางของแม่น้ำสายหนึ่ง ๆ จะผันแปรตามคุณลักษณะของวัตถุที่ ท้องแม่น้ำ ความเร็วของกระแส น้ำ และอื่น ๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

1. ลักษณะรูปตัว V เป็นลักษณะรูปตัดขวางของแม่น้ำช่วงต้นน้ำบนภูเขา ตอนต้นน้ำ ดังกล่าวตามปกติแล้วท้องน้ำจะถูกกัดเซาะอย่างรุนแรงจนทำให้ท้องแม่น้ำลึกชัน

2. ลักษณะรูปตัว U เป็นลักษณะรูปตัดขวางของแม่น้ำในช่วงตอนกลางของลุ่มน้ำ ในช่วงนี้กระแสน้ำจะลดความรุนแรงลง อำนาจการกัดเซาะที่ท้องลำน้ำต่าง ๆ จึงทำให้ท้องน้ำกว้างขึ้น และลดความชันลง

3. ลักษณะรูปสี่เหลี่ยมคางหมู และรูปสามเหลี่ยม เป็นลักษณะรูปตัดขวางในช่วงแม่น้ำ ตอนล่างซึ่งเป็นบริเวณที่มีตะกอนดินและทรายถูกกระแสน้ำพัดพามาตกทับถม รูปตัดขวางจะมี ลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูในช่วงลำน้ำตรง และเป็นรูปสามเหลี่ยมในช่วงที่ลำน้ำคดเคี้ยว โดยมีความลึกมากที่สุดอยู่ทางด้านท้องค้งซึ่งได้รับแรงกระแทกของน้ำ โดยทั่วไปแล้วรูปตัดขวาง ของแม่น้ำมีลักษณะอยู่ในระหว่างรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กับรูปสามเหลี่ยม

ลักษณะรูปตัดขวางของแม่น้ำสามารถพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ของรูป ตัดขวาง ความกว้าง และความลึกมากที่สุดของแม่น้ำ ดังสมการดังต่อไปนี้

$$C = \frac{A}{b \times h_{max}}$$

- ที่ซึ่ง :
- C คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงลักษณะของรูปตัดขวาง
 - A คือ พื้นที่ของรูปตัดขวาง
 - b คือ ความกว้าง
 - h_{max} คือ ความลึกมากที่สุด

ในกรณีที่รูปตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะได้ค่า $C = 1$ หากเป็นรูปสามเหลี่ยม จะได้ ค่า $C = 0.5$ และถ้าหากเป็นรูปไข่ จะได้ค่า $C = 2/3$ (หรือ 0.67) ตามปกติแล้วแม่น้ำตามธรรมชาติ จะได้ค่า C ประมาณ 0.6

4. ชนิดของการไหล

การไหลในร่องน้ำเปิดนั้นมีหลายลักษณะ ซึ่งได้แก่ (1) การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) (2) การไหลแบบสม่ำเสมอ (uniform flow) และการไหลแบบแปรปรวน (varied flow) และ (3) การไหลแบบช้า เร็ว และเร็วมาก

4.1 การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow)

การเคลื่อนที่ของของไหลนั้นอาจเกิดได้ในลักษณะที่ราบเรียบหรือปั่นป่วน ในการไหลแบบราบเรียบนั้น ส่วนประกอบของของไหลแต่ละส่วนจะเคลื่อนที่ไปตามทางที่มีลักษณะเฉพาะด้วยความเร็วที่สม่ำเสมอ จะไม่มีการแพร่กระจายระหว่างลำกระแส น้ำ ชั้นต่าง ๆ หรือส่วนประกอบต่าง ๆ ของการไหล และด้วยเหตุนี้จึงทำให้ไม่มีอาการปั่นป่วน (turbulence) เกิดขึ้น พลังงานที่ถูกใช้ไปในการรักษาความหนืดของการไหลจะหมดไปในรูปของความร้อนจากการเสียดทาน (friction) ภายในของไหล

ในการไหลแบบราบเรียบนั้น ความเค้นความเค้นบิด (shear stress) หรือ $\tau = \mu \frac{dv}{dy}$ ที่ถูกส่งถ่ายผ่านแต่ละหน่วยความลึกจะผันแปรอย่างสม่ำเสมอจากศูนย์ที่ผิวจนถึงสูงสุดที่ท้องกระแสน้ำ ในขณะที่โค้งอัตราความเร็ว (velocity curve) จะมีรูปโค้งกลมอย่างรูปไข่ (parabolic) ซึ่งมีจุดยอดอยู่ที่ผิวกระแสน้ำ

ในการไหลของกระแสน้ำนั้น อาการกวน (disturbances) ของน้ำจะเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากจนกระทั่งการไหลแบบราบเรียบพบได้ยาก ในขณะที่อัตราความเร็วหรือความลึกเพิ่มขึ้น ลักษณะการไหลแบบราบเรียบจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปจนกระทั่งกลายเป็นการไหลแบบปั่นป่วนไปในที่สุด

4.2 จำนวนของเรย์โนลด์ (Reynolds' number)

ค่าของจำนวนของเรย์โนลด์ (Re) สามารถนำมาใช้ในการทำนายชนิดของไหลได้ จำนวนที่ปราศจากมิตินี้รวมถึงผลกระทบของคุณลักษณะของการไหล ความเร็ว และความลึก ตลอดจนคุณสมบัติความหนาแน่นและความหนืดของของไหลนั้น ความสัมพันธ์สามารถแสดงเป็นสมการ

$$Re = \frac{VR}{\nu}$$

ที่ซึ่ง: ν (nu) : ความหนืดของการเคลื่อนที่ (kinematic viscosity) = $\frac{\mu}{\rho}$

V : อัตราความเร็วเฉลี่ยของการไหล

R : รัศมีอุทก (hydraulic radius) = $\frac{A}{P}$

A คือ พื้นที่หน้าตัดขวางลำน้ำ

P คือ เส้นรอบวงของลำน้ำ

ถ้าหากค่าของ Re น้อยกว่า 500 ลักษณะของการไหลจะเป็นแบบราบเรียบ (laminar flow) แต่ถ้าหากมีค่ามากกว่า 750 ลักษณะของการไหลจะเป็นแบบปั่นป่วน (turbulent flow)

1. ในกรณีของน้ำจืดซึ่งมีความหนาแน่น (ρ) = 1 จะได้ $\nu = \mu$

ในสภาวะที่ผิวลำธารราบเรียบ สำหรับร่องน้ำธรรมชาติแล้ว ค่าวิกฤตจะใกล้ 500 เนื่องจากความขรุขระของท้องลำธาร

หากพิจารณาจำนวนของเรย์โนลด์โดยอาศัยความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างกฎการเคลื่อนที่ข้อที่สองของนิวตัน หรือ แรงเฉื่อย (inertial force) กับแรงหนืด (viscous force) แล้ว จะได้สมการที่ให้ค่า Re เหมือนกับสมการแรกอีกสมการหนึ่งคือ

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

ที่ซึ่ง: D คือ ความลึกของลำน้ำ

ตัวอย่าง น้ำสายหนึ่งมีความลึก 0.25 ฟุต กำลังไหลอยู่บนผิวที่ราบเรียบด้วยความเร็ว 1.0 ฟุต/วินาที จงคำนวณหา Reynolds' number (Re) ของการไหล และให้ทำนายลักษณะของการไหลว่าจะเป็นแบบราบเรียบ (laminar) หรือแบบปั่นป่วน (turbulent)?

(Kinematic viscosity (ν) = 1.21×10^{-5} ft²/sec)

วิธีทำ

โจทย์กำหนดให้ :

ความลึกของกระแสน้ำ	(D) =	0.25	ฟุต
ความเร็วของกระแสน้ำ	(V) =	1.0	ฟุต/วินาที
ความหนืดของการเคลื่อนที่	(ν) =	1.21×10^{-5}	ตร.ฟุต/วินาที
	หรือ ν =	1.21×10^{-5}	ตร.ฟุต/วินาที

จากสูตร

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

แทนค่า

$$Re = \frac{(1.0)(0.25)}{1.21} (IO') = 20,700 \text{ Turbulent}$$

เนื่องจากกระแสน้ำนี้มีค่า Re มากกว่า 750 ถึงเกือบ 2 หมื่น นั่นหมายความว่ากระแสน้ำนี้ไหลด้วยอาการปั่นป่วนอย่างมาก

ตอบ

1. ในกรณีนี้เป็นน้ำจืด ซึ่งมี $\rho = 1$ ดังนั้น $\nu = \mu$

4.3 จำนวนเฟรตต์ (Froude number)

จำนวนเฟรตต์ (Froude number) หรือ F_r เป็นจำนวนที่ปราศจากมิติอีกจำนวนหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการทำนายลักษณะการไหลของน้ำได้ และเป็นดัชนีบอกอิทธิพลของความโน้มถ่วงในสภาวะของการไหล

หากพิจารณาจำนวนเฟรตต์ โดยอาศัยความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างแรงเฉื่อยและแรงโน้มถ่วง (gravity force) แล้ว จะได้ความสัมพันธ์ออกมาเป็นสมการดังนี้

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{Dg}}$$

- ที่ซึ่ง :
- F_r = Froude number
 - V = อัตราความเร็วเฉลี่ยของการไหล
 - D = ความลึกของกระแสน้ำ
 - G = แรงโน้มถ่วง

หากค่าของ $F_r = 1.0$ แสดงว่าการไหลอยู่ในสภาวะวิกฤต (critical flow) ถ้าหากว่าค่าของ $F_r < 1.0$ แสดงว่ามีลักษณะการไหลแบบช้า ๆ (tranquil flow) แต่ถ้าหากว่ามีค่าเกือบถึง 1 การไหลจะอยู่ในสภาวะกึ่งวิกฤต (subcritical flow) และถ้าหากว่าค่าของ $F_r > 1.0$ นั้น แสดงว่ากระแสน้ำมีลักษณะการไหลที่เร็ว (rapid flow) หรือเหนือสภาวะวิกฤต (super-critical flow)

การไหลแบบสม่ำเสมอ (uniform flow) ในร่องน้ำเปิดนั้น สามารถเกิดขึ้นได้ไม่ว่าจะในบริเวณที่มีความลาดเทเล็กน้อย วิกฤต หรือ ชัน และจะมีการไหลในอัตราที่ช้า วิกฤต และเร็ว ตามลำดับ

ตัวอย่าง จงคำนวณหา Froude number ของกระแสน้ำในร่องน้ำเปิดแห่งหนึ่งซึ่งมีอัตราความเร็วเฉลี่ย 5 ฟุต/วินาที และมีความลึก 1.5 ฟุต และให้ทำนายลักษณะการไหลของกระแสน้ำนี้โดยใช้สภาวะวิกฤตของการไหล (แรงโน้มถ่วง $g = 32.2$ ฟุต/วินาที²)

วิธีทำ

โจทย์กำหนดให้ :

- อัตราความเร็วของกระแสน้ำ (V) = 5 ฟุต/วินาที
- ความลึกของกระแสน้ำ (D) = 1.5 ฟุต
- และแรงโน้มถ่วง (g) = 32.2 ฟุต/วินาที²

จากสูตร
$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

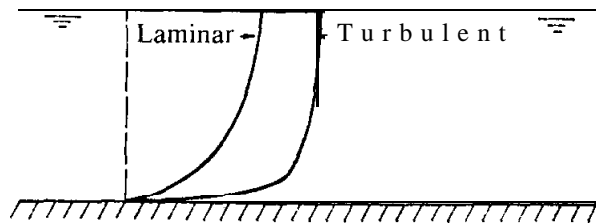
แทนค่า $F_r = \frac{v}{\sqrt{(32.2)(1.5)}} = 0.73$ tranquil or subcritical

เนื่องจากกระแสน้ำมีค่า F_r น้อยกว่า 1 แต่เกือบถึง 1 แสดงว่ากระแสน้ำนี้มีลักษณะการไหลที่ช้า และอยู่ในสภาวะกึ่งวิกฤต ตอบ

4.4 การไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow)

อาการปั่นป่วนของกระแสน้ำจะทำให้ความเร็วขึ้น ๆ ลง ๆ เล็กน้อยในทุกทิศทาง ด้วยค่าเวลาเฉลี่ยของศูนย์ ความหมดเปลืองพลังงานในการไหลแบบปั่นป่วนจะสูงมากเนื่องจากมีการสับเปลี่ยนกัน (interchange) อย่างต่อเนื่องของมวลที่มีอยู่อย่างจำกัดของของไหลที่อยู่ระหว่างแนวเขตข้างเคียงกันของการไหลของกระแสน้ำ ความต้านทาน (resistance) ที่มีต่อการไหลจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นกำลังสองของความเร็วของกระแสน้ำ

การไหลแบบปั่นป่วนนั้น จะทำให้เกิดการผสมผสาน และแลกเปลี่ยนกันของพลังงาน และทำให้ความเร็วกระจายจากผิวน้ำถึงก้นสม่ำเสมอว่าการไหลแบบราบเรียบ รูปที่ 7.2 แสดงการเปรียบเทียบการกระจายความเร็ว (velocity distribution) ระหว่างการไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน

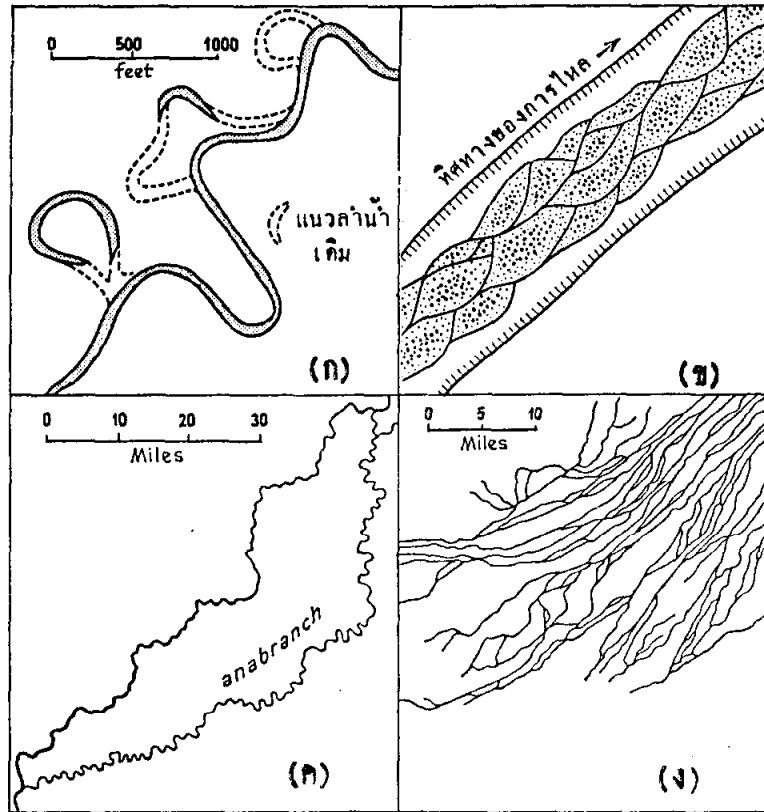


รูปที่ 7.2 การเปรียบเทียบการกระจายความเร็ว (distribution) ในการไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow)

ที่มา : Simons, 1977.

5. ลักษณะของร่องน้ำ

การแบ่งลักษณะของร่องน้ำหรือแม่น้ำนั้น ยังไม่มีใครเคยแบ่งเป็นลักษณะรูปแบบที่แน่นอนออกไป แต่พอที่จะแบ่งเป็นลักษณะเด่น ๆ ที่สำคัญได้ 4 ลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 7.3 คือ



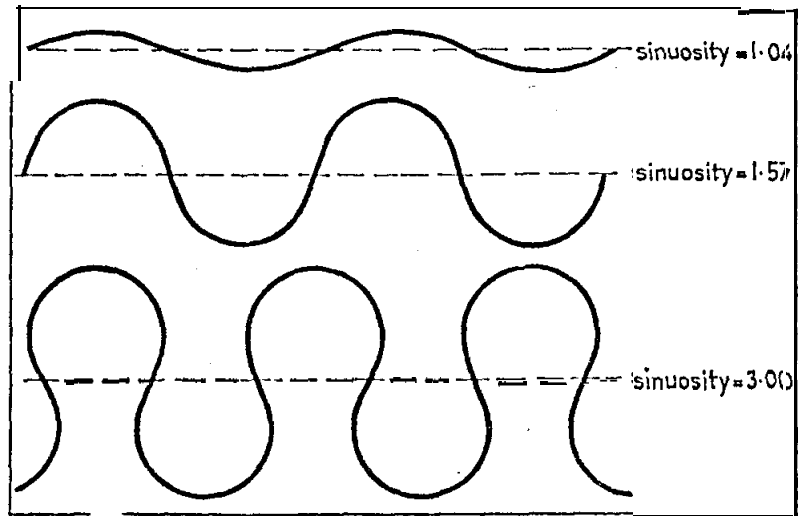
รูปที่ 7.3 ลักษณะของร่องน้ำทั้ง 4 แบบ (ก) ทางน้ำโค้งตัว (ข) ธารประสานสาย (ค) ธารแขนง (ง) ธารไขว้สาย

ที่มา : Dury (b), 1977

1. แบบทางน้ำโค้งตัว (meandering pattern)
2. แบบธารประสานสาย (braided pattern)
3. แบบธารแขนง (anabranching pattern)
4. แบบธารไขว้สาย (reticulate pattern)

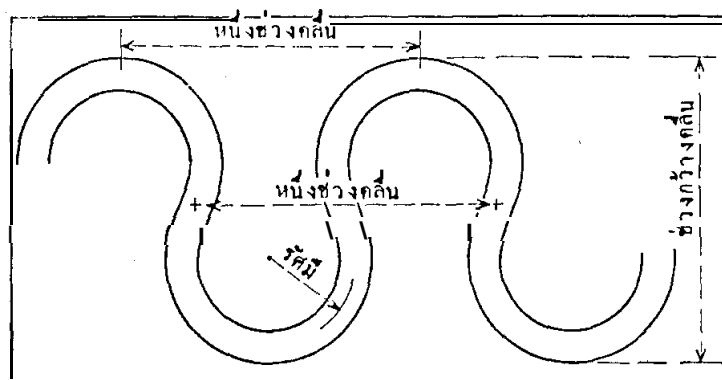
1. ทางน้ำโค้งตัว (Meanders)

ทางน้ำโค้งตัวเป็นร่องน้ำที่โค้งคดเคี้ยวไปมา ความคดเคี้ยว (sinosity) ของร่องน้ำสามารถพิจารณาได้จากอัตราส่วนของระยะทางของร่องน้ำต่อระยะทางของแกนรอยคดโค้ง (ดูรูปที่ 7.4) โดยทั่วไปแล้ว ร่องน้ำที่จัดเป็นทางน้ำโค้งตัวจะต้องมีความคดเคี้ยว 1.5 เป็นเกณฑ์



รูปที่ 7.4 ความคดเคี้ยว (sinuosity) ของร่องน้ำ

อย่างน้อย นอกจากนี้ คุณสมบัติของทางน้ำโค้งควัดยังรวมถึงช่วงกว้างคลื่น (amplitude) ความยาวคลื่น (wavelength) และรัศมี (radius) ช่วงโค้งดังแสดงไว้ในรูปที่ 7.5 อีกด้วย ในจำนวนคุณสมบัติทั้งสามนี้ ช่วงความยาวคลื่นนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีความสัมพันธ์ต่อความกว้างของพื้นที่ท้องน้ำ (bedwidth) และอัตราการไหล (discharge) และเนื่องจากอัตราส่วนระหว่างความกว้าง (width) / ความลึก (depth) นั้นจะผันแปรอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้ทราบได้ว่า

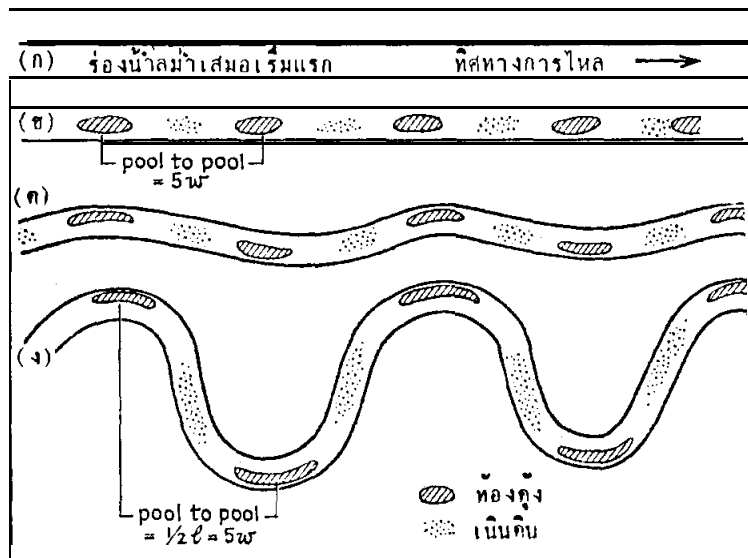


รูปที่ 7.5 ส่วนประกอบทางเรขาคณิตของทางน้ำโค้งควัด (meander)

อัตราส่วนระหว่างความยาวคลื่น/ความกว้างนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน แต่ในแม่น้ำหลายสาย ความยาวคลื่นจะอยู่ในระหว่าง 8 ถึง 12 เท่าของความกว้างพื้นที่ท้องน้ำ ส่วนค่าที่เป็นที่นิยมกันจะอยู่ในระหว่าง 9 ถึง 10 เท่าของความกว้างของพื้นที่ท้องน้ำ

ทางน้ำโค้งตัวจะไม่ได้สัดส่วนในภาคตัดขวางที่บริเวณหัวโค้ง ส่วนที่ลึกที่สุดจะอยู่ใกล้กับตลิ่งชันนอก ช่วงระหว่างหัวโค้งจะได้สัดส่วนมากกว่าและตื้นกว่า บริเวณลึกที่หัวโค้งเรียกว่า “ห้องคู้ง” (pool) และบริเวณตื้นระหว่างหัวโค้งเรียกว่า “เนินคืบ” (riffle) ทางน้ำโค้งตัวจะเริ่มเกิดขึ้นเมื่อมีห้องคู้งและเนินคืบเกิดขึ้นสลับกันเป็นลำดับในร่องน้ำสายตรง จากการทดลองในโกรกธาร (flume) พบว่าระยะห่างจากห้องคู้งหนึ่งถึงอีกห้องคู้งหนึ่ง จะประมาณเท่ากับ 5 เท่าของความกว้างของพื้นที่ท้องน้ำ (Dury (b), 1977) เมื่อทางน้ำโค้งตัวเกิดขึ้น ห้องคู้งจะเคลื่อนย้ายไปทางด้านข้างสลับกันไป และช่วงความยาวคลื่นจะเท่ากับระยะห่าง 2 ช่วงห้องคู้ง หรือ 10 เท่าของความกว้างของพื้นที่ท้องน้ำ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7.6

เนินคืบที่เกิดจากการตกตะกอนในร่องน้ำนั้นจะถูกกัดเซาะให้ไปตกจมทับถมลงในห้องคู้งเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น ห้องคู้งนั้นจะถูกถมจนเต็มกลายเป็นยอดตลิ่ง (banktop) จากนั้นยอดตลิ่งที่ทับถมกันอยู่บนห้องคู้งนั้นก็จะถูกกระแสน้ำกัดเซาะพาเอาตะกอนไปฝังอยู่บนเนินคืบถัดไปที่กลายเป็นร่องลึกเนื่องจากการกัดเซาะครั้งก่อน นั่นคือลำดับของห้องคู้งและเนินคืบ (pool-and-riffle sequence) จะเลื่อนไปตามอัตราการไหลช่วงที่มีระดับน้ำเต็มตลิ่ง (bank full)



รูปที่ 7.6 ขั้นตอนการเกิดทางน้ำโค้งตัว (ก) ร่องน้ำสมำเสมอ ซึ่งไม่มีห้องคู้ง (pool) และเนินคืบ (riffle) (ข) ร่องน้ำสายตรงที่มีห้องคู้งและเนินคืบเกิดขึ้น (ค) ร่องน้ำที่เริ่มคดเคี้ยวเล็กน้อย (ง) ร่องน้ำที่กลายเป็นทางน้ำโค้งตัวอย่างสมบูรณ์

ที่มา: Dury (b), 1977.

ความกว้างของพื้นที่รองรับน้ำบนทางน้ำโค้งตวัดและทางน้ำสายเดี่ยวโดยทั่วไปแล้วจะวัดจากช่วงบนสุดของตลิ่ง (banktops) ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของพื้นที่รองรับน้ำ (bedwidth) และอัตราการไหลช่วงที่มีน้ำเต็มตลิ่ง (bankfull discharge) จะเป็นดังนี้

$$w = 3qbf^{0.5}$$

ที่ซึ่ง : w คือ ความกว้างของพื้นที่รองรับน้ำ มีหน่วยเป็นฟุต
 qbf คือ อัตราการไหลช่วงที่มีน้ำเต็มตลิ่ง มีหน่วยเป็น ลบ.ฟุต/วินาที
 สำหรับความยาวคลื่นของทางน้ำโค้งตวัด (l) และความกว้างของพื้นที่รองรับน้ำจะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกันดังนี้

$$l = kw$$

หรือ $l = 10w$

ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นของทางน้ำโค้งตวัด และอัตราการไหลของกระแสน้ำช่วงที่มีน้ำเต็มตลิ่งดังนี้

$$l = 30qbf^{0.5}$$

ในกรณีเฉพาะรายนั้นจะมีผลกระทบต่อค่าของจำนวนคงที่นี้ โดยผันแปรไปตามอัตราส่วนความกว้าง/ความลึกของร่องน้ำนั้น

2. ธารประสานสาย (Braided Stream)

ธารประสานสายมักพบมากที่สุดบริเวณลำน้ำที่มีระดับน้ำต่ำ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากว่าแม่น้ำพัดพาเอาตะกอนมาตกทับถม จึงทำให้เกิดสันดอน (bar) ไขว้โยกกันมากมายในบริเวณตอนล่างของลำน้ำ สันดอนนี้จะแบ่งแม่น้ำสายใหญ่ออกเป็นธารน้ำเล็ก ๆ ไหลประสานกันไปมา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7.7 ลำน้ำในช่วงที่มีระดับน้ำต่ำนั้น บางที่อาจจะมีสันดอนเกิดขึ้นปกคลุมพื้นที่ถึง 80% ของท้องลำธาร

ธารประสานสายจะมีอัตราส่วนของความกว้าง/ความลึก มากกว่าทางน้ำโค้งตวัด หรือทางน้ำสายเดี่ยวอื่น ๆ ดังนั้นอัตราความเร็วสูงสุดของกระแสน้ำ (ซึ่งเกิดใกล้กับผิวน้ำ) ก็จะเกิดใกล้กับพื้นที่รองรับน้ำด้วย เช่นกันในธารประสานสาย ด้วยเหตุนี้จึงสามารถกล่าวได้ว่าความชันของอัตราความเร็ว (gradient of velocity) จากผิวน้ำถึงพื้นที่รองรับน้ำสูง และความเค้นของการเลื่อนบิด (shear stress) บนพื้นที่รองรับน้ำจะแรง ลักษณะประสานสายจะมีความสัมพันธ์กับท้องลำธารที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ซึ่งจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นสันดอนรูปเพชรหยาบ ๆ ที่จะไปแยกร่องน้ำที่มีระดับน้ำต่ำเป็นธารน้ำเล็ก ๆ หลายสาย ยิ่งพื้นที่รองรับน้ำมีตะกอนลำนํ้ามากขึ้นเท่าใด ร่องน้ำก็จะยิ่งตื้นมากขึ้นเท่านั้น และจะเป็นการเกื้อกูลให้เกิดการประสานสายมากขึ้นด้วยเช่นกัน

สาเหตุที่เป็นไปได้อย่างหนึ่งของการกว้างขึ้น ตื้นขึ้น และการประสานสาย คือความ

ย่อนของตลิ่ง ถ้าหากตลิ่งเหล่านี้ไม่เกาะติดกัน หรือร่วน ตลิ่งจะพังทลายลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่ง
ทำให้อ่างน้ำกว้างขึ้น และตื้นขึ้น อันเป็นผลทำให้เกิดการประสานสาย

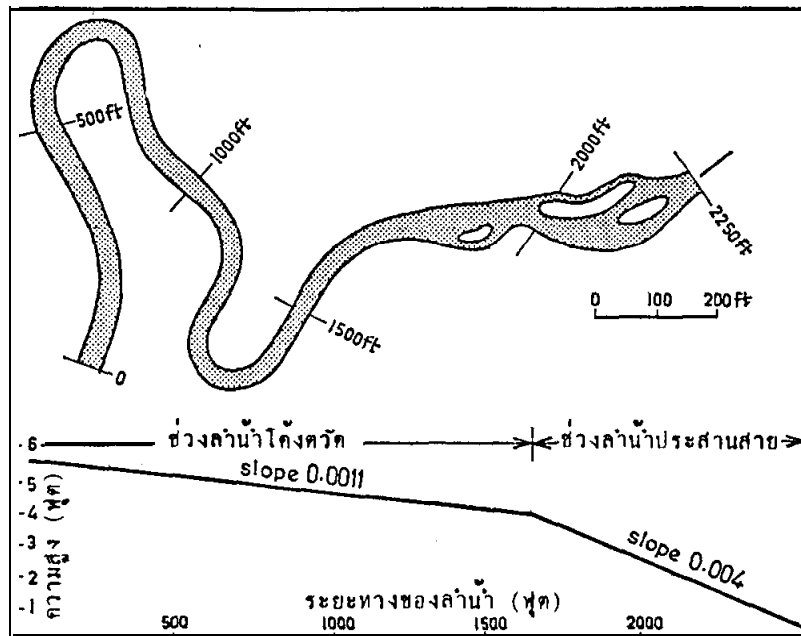


รูปที่ 7.7 ธารน้ำปีเตอร์ (Peters Creek) ในอะแลสกา ซึ่งมีลักษณะเป็นธารประสานสาย (braided stream)

ที่มา : Greenland and De Blij, 1977.

ทางน้ำโค้งตัวสามารถเปลี่ยนไปเป็นธารประสานสายได้ในช่วงล้นน้ำช่วงใดช่วงหนึ่ง
หรือช่วงล้นน้ำตอนล่าง สาเหตุที่ทำให้มีการเปลี่ยนลักษณะดังกล่าวมีอยู่ 2 ประการคือ (1) ถ้า
ตะกอนล้นน้ำในที่ราบน้ำท่วมถึง (flood plain alluvium) มีวัตถุขนาดหยาบกว่ารองรับอยู่ เช่น

เศษหินธารน้ำแข็ง (glacial outwash) หรือ ตะกอนลำน้ำเก่าที่ตกทับถมเนื่องจากลำน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่าในสมัยก่อน และ (2) ถ้าท้องค้งหนึ่งหรือมากกว่ามีความลึกเป็นพิเศษที่บริเวณหัวโค้ง (bend) ที่โค้งหักจนแหลมผิดปกติ สันดอน (bar) ที่เกิดขึ้นบริเวณลำน้ำตอนล่าง จะทำให้แอ่งลึกและหัวโค้งแหลมหมดไป และแยกร่องน้ำออกเป็นสองสาย เนื่องจากร่องน้ำที่ถูกแบ่งออก แต่ละสายนั้นมีขนาดเล็กลง มันจึงมีประสิทธิภาพน้อยกว่าร่องน้ำเดี่ยวที่เปลี่ยนไปบางส่วน การสูญเสียประสิทธิภาพไปนี้สามารถชดเชยได้โดยการทำให้ความลาดเทชันยิ่งขึ้น ดังนั้นกระแสน้ำจะเร็วขึ้นและทำให้ร่องน้ำเล็ก ๆ ที่ถูกแบ่งออกเป็นสองสายนั้นลึกยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ของสันดอนแห้งลง และยอมให้ต้นพืชขึ้นได้ หากร่องน้ำที่ถูกแบ่งออกเป็นสองสายนี้ถูกแบ่งย่อยซ้ำอีกจะทำให้ทางน้ำโค้งวัดเปลี่ยนไปเป็น ธารประสานสายได้ในที่สุด



รูปที่ 7.8 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงลักษณะของลำน้ำและการเปลี่ยนความลาดเท

ที่มา: Dury (b), 1977.

เนื่องจากการขยายประสิทธิภาพของร่องน้ำทั้งหมดของมัน ธารประสานสายจึงมีความลาดเทชันกว่าธารน้ำโค้งวัดที่มีอัตราการไหลตามลักษณะของร่องน้ำ (channel-forming discharge)¹ เท่ากันดังแสดงไว้ในรูปที่ 7.8

1. อัตราการไหลตามลักษณะของร่องน้ำ (channel-forming discharge) จะมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนระหว่างความลึกกับความกว้างของลำน้ำ

3. ธารแขนง (Anabranching channel)

ธารแขนงมักพบมากในบริเวณที่ราบลานเศษหินรอบเขา (pediplain) และลุ่มตะกอนลำน้ำ (alluviated basin) ธารแขนงเกิดขึ้นเนื่องจากแนวทางเดินของลำน้ำสายใหญ่ถูกเนินเขาขวางกั้นพื้นที่รองรับน้ำเอาไว้ จึงทำให้เกิดธารแขนงไหลแยกออกจากลำน้ำเดิมไปตามหุบเขาที่มีความลาดเทเล็กน้อย จากนั้นธารแขนงนี้จะไหลกลับมาเชื่อมต่อเข้ากับลำน้ำสายใหญ่เดิมอีกหรือไหลไปรวมกับลำน้ำสายใหญ่อื่นที่อยู่ใกล้เคียงเมื่อไหลอ้อมจนพ้นเนินเขานั้น บางครั้งจากจุดที่ไหลแยกออกไปจนถึงจุดที่ไหลมาบรรจบกันอาจจะมียระยะทางหลายสิบกิโลเมตร

4. ธารไขว้สาย (Reticulate channel)

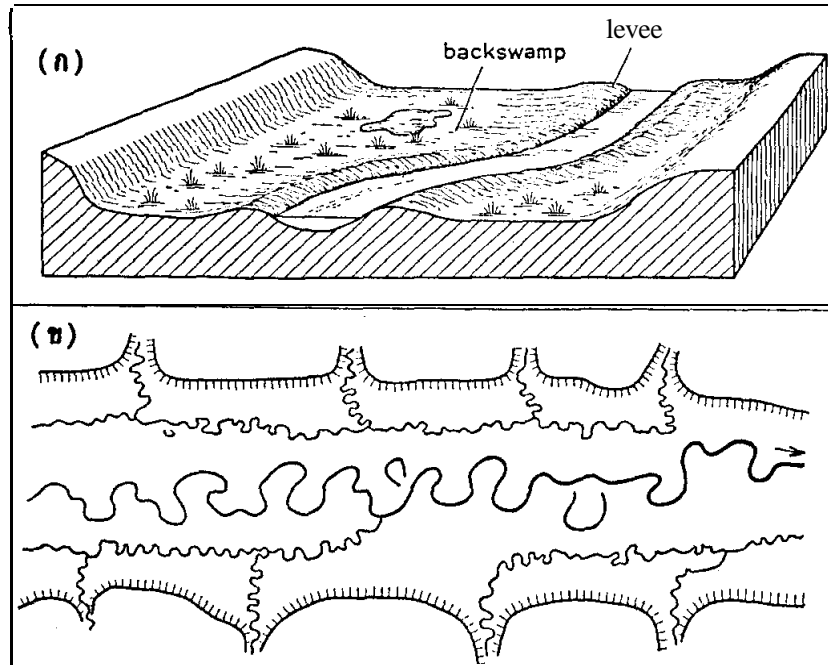
ธารไขว้สายเป็นธารน้ำเล็ก ๆ ที่ไหลไขว้กันไปมาคล้ายร่างแหดังแสดงไว้ในรูปที่ 7.3 (ง) และมักพบในบริเวณที่ราบลานเศษหินรอบเขาและที่ลุ่มตะกอนลำน้ำ เช่นเดียวกับธารแขนง ธารไขว้สายมีลักษณะคล้ายคลึงกับธารประสานสายที่ถูกแบ่งย่อยออกไปอีกอย่างสลับซับซ้อนในช่วงที่มีระดับน้ำในลำน้ำต่ำ แต่จะต่างจากธารประสานสายตรงที่มีลักษณะของการไหลชั่วคราวให้เห็นอย่างเด่นชัด และมีระบบโครงข่าย (network) กระจัดกระจายอย่างชัดเจน ธารไขว้สายจะปรากฏทั่วทั้งพื้นที่หุบเขาที่มีความลาดเทเล็กน้อย ซึ่งจะทำให้กระแสน้ำสามารถแบ่งย่อยลำน้ำได้อย่างเป็นอิสระในช่วงที่มีระดับน้ำสูง การศึกษาเกี่ยวกับธารไขว้สายนั้นยังคงอยู่ในวงจำกัด จึงทำให้ความรู้เกี่ยวกับธารไขว้สายมีน้อย

6. ที่ราบน้ำท่วมถึง

ที่ราบน้ำท่วมถึง (flood plain) เป็นพื้นที่ราบที่ง่ายต่อการเกิดน้ำท่วม และเป็นบริเวณที่มีทางน้ำโค้งตัวเกิดขึ้นมากมายจนถือได้ว่าที่ราบน้ำท่วมถึงเป็นโครงสร้างของทางน้ำโค้งตัว ทางน้ำโค้งตัวเหล่านี้จะเคลื่อนที่บ่ามเบี่ยงไปมาอยู่เหนือตะกอนลำน้ำก้นลุ่มน้ำ หัวโค้งด้านนอกของทางน้ำโค้งตัวจะถูกกระแสน้ำกัดเซาะ ซึ่งในขณะที่เดียวกันนั้นก็เกิดการตกตะกอนขึ้นที่บริเวณหัวโค้งด้านในและจะทำให้เกิดเป็นริ้วตะกอนยาวไปตามแนวของลุ่มน้ำ ที่ราบน้ำท่วมถึงบางแห่งจะมีตะกอนหัวหาด (point-bar deposits) วางตัวเรียงรายเป็นรูปเสี้ยวพระจันทร์มากมายอยู่ที่หัวโค้งด้านในของทางน้ำโค้งตัว¹ แต่บางแห่งอาจจะมีการตกตะกอนบริเวณเหนือตลิ่ง (overbank deposition) อยู่เป็นจำนวนมากแทนที่จะมีตะกอนหัวหาด

1. ตะกอนหัวหาดดังกล่าวนี้ไม่ใช่ตะกอนที่ได้จากน้ำท่วม แต่เป็นตะกอนที่ได้จากกระแสน้ำที่ไหลอยู่ในทางน้ำโค้งตัว

นอกจากนี้ที่ราบน้ำท่วมถึงบางแห่งจะมีคันดินธรรมชาติ (natural levee)¹ เกิดขึ้น แต่บางแห่งอาจจะไม่มี ที่ราบน้ำท่วมถึงที่มีคันดินธรรมชาตินั้นจะทำให้เกิดที่ลุ่มต่ำหลังลำน้ำ (backswamp) ขึ้นบริเวณด้านนอกของที่ราบน้ำท่วมถึง และยังเป็นเครื่องกีดขวางไม่ให้แควสายต่าง ๆ ไหลเข้ามาเชื่อมกับลำน้ำสายใหญ่อีกด้วย (รูปที่ 7.9) สำหรับบริเวณลำน้ำที่มีขนาดใหญ่ ๆ นั้น มนุษย์เรามักจะเลือกเอาเป็นที่ตั้งถิ่นฐานและสร้างเส้นทางถนนบนคันดินธรรมชาตินั้นอย่างหนาแน่น ทั้งนี้เนื่องจากว่าบนคันดินนั้นเป็นบริเวณที่พ้นจากอุทกภัยและยังห่างจากที่ลุ่มต่ำหลังลำน้ำที่ระบายน้ำเร็วอีกด้วย



รูปที่ 7.9 (ก) การเชื่อมต่อกันระหว่างคันดิน (levee) กับที่ลุ่มต่ำหลังลำน้ำ (backswamp)

(ข) จุดที่เชื่อมต่อกันของแควสายต่าง ๆ

ที่มา: Dury (b), 1977.

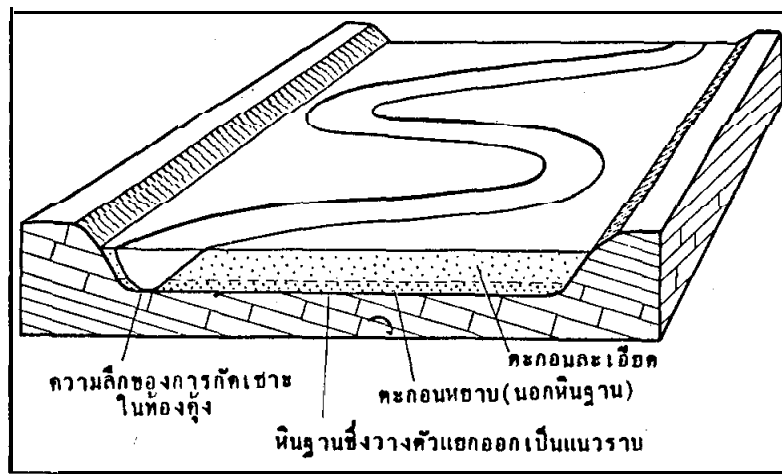
ความแตกต่างระหว่างการงอกพอกพูนขึ้นเรื่อย ๆ ของหาดทราย (channel-side accretion) กับการตกตะกอนเหนือตลิ่ง (overbank deposition) และความแตกต่างระหว่างการเกิดคันดินกับการไม่มีคันดินนั้นยังไม่เป็นที่เข้าใจกระจ่างนัก แต่จะพบว่ามีความสัมพันธ์กับความสามารถในการพัดพาเอาตะกอนผ่านลำน้ำ และมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของมวลบนพื้นท้องน้ำ (bed

1. คันดินธรรมชาติ คือตลิ่งที่ยกตัวสูงขึ้นตามธรรมชาติเป็นแนวยาวไปกับร่องน้ำ

load) และมวลแขวนลอย (suspended load) เหตุผลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งที่กล่าวมานี้สามารถนำมาใช้ในการแยกประเภทธารประสานสายเช่นเดียวกับชนิดของมวลบนพื้นที่รองรับน้ำที่ตกตะกอน

ถ้าธารน้ำโค้งตัวคดตอนที่ราบน้ำท่วมถึงกำลังกัดเซาะส่วนล่างลงอย่างช้า ๆ หรือไม่เลยก็ตาม ระดับน้ำจะสูงขึ้นจนถึงขั้นเต็มตลิ่ง (bankfull stage) ครั้งหนึ่งในทุก ๆ ปี และจะมีน้ำท่วมบริเวณที่ราบดังกล่าวประมาณสองปีในสามปี อย่างไรก็ตาม ธารน้ำโค้งตัวคดที่พบในปัจจุบันนี้ส่วนมากคาดคะเนว่าจะอยู่ตัวเล็กน้อย ดังนั้นความถี่ของการไหลเต็มตลิ่ง (bankfull flow) และการเกิดน้ำท่วมดังกล่าวจะลดลงต่ำกว่าระดับที่คาดหมาย ส่วนธารน้ำอื่น ๆ ที่มีส่วนทำให้บริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงมีระดับสูงขึ้นนั้น จะเป็นสาเหตุทำให้เกิดน้ำท่วมที่มีความถี่ที่ไม่เป็นปกติ

ถ้าหากว่าการเคลื่อนย้ายเพียงไปมาของทางน้ำโค้งตัวคดตอนที่ราบน้ำท่วมถึงมีระยะที่สม่ำเสมอพร้อมกับการกัดเซาะส่วนล่าง (downcutting) ความลึกที่สุดของท้องคูก (pools) ที่ถูกกระแสน้ำกัดเซาะนั้นจะอยู่ติดกับฐานของที่ราบน้ำท่วมถึง (รูปที่ 7.10) ตามความเป็นจริงแล้ว ฐานของที่ราบน้ำท่วมถึงมักจะตัดข้ามตะกอนลำนน้ำเก่า (older alluvium) มากกว่าที่จะตัดข้ามหินฐาน (bedrock) ซึ่งจะขอกกล่าวในหัวข้อต่อไป

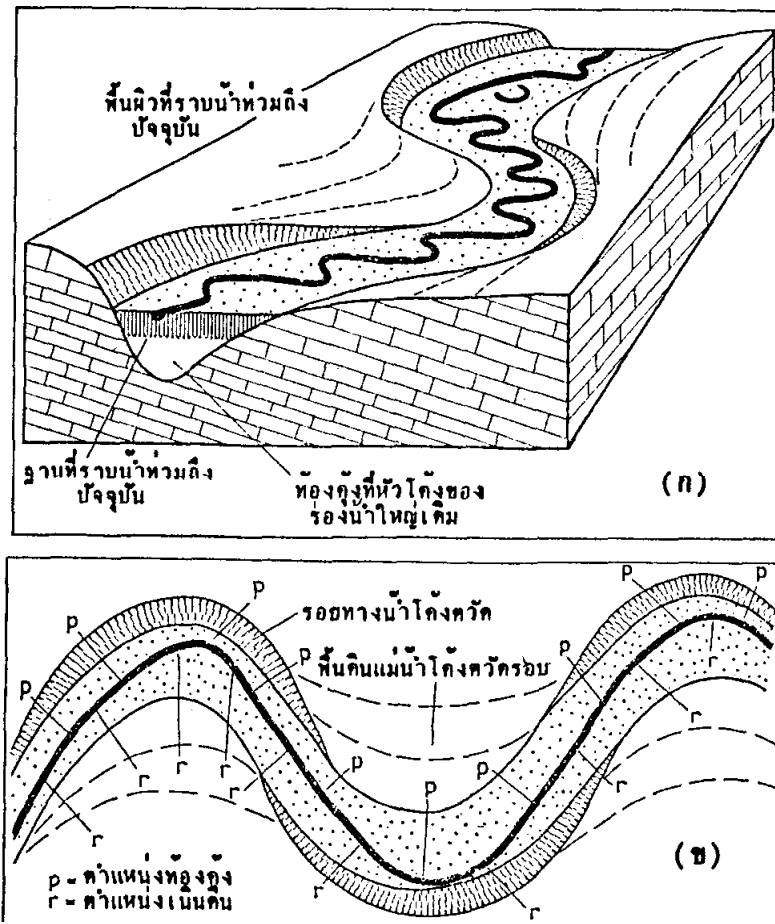


รูปที่ 7.10 ที่ราบน้ำท่วมถึง (flood plain) ที่มีฐานเป็นพื้นหินซึ่งวางตัวแยกออกเป็นแนวราบ
ที่มา: Dury (b), 1977.

7. ลุ่มน้ำทางน้ำโค้งตัวคด

ลุ่มน้ำทางน้ำโค้งตัวคด (meandering valleys) เกิดขึ้นเนื่องจากร่องน้ำโค้งตัวขนาดใหญ่สมัยก่อนมีการตกทับถมของตะกอนลำนน้ำ (alluvium) มาก จึงทำให้อ่างน้ำขนาดใหญ่เดิมตื้นเขินจนกลายเป็นทางน้ำขนาดเล็กไหลคดโค้งไปมาอยู่บนตะกอนลำนน้ำซึ่งกลายเป็นที่ราบน้ำท่วมถึง

ไปแล้วในปัจจุบัน ดังนั้นลุ่มน้ำทางน้ำโค้งตัวจึงยังคงมีร่องรอย ของการกัดเซาะของร่องน้ำ โค้งตัวขนาดใหญ่เดิมอยู่ ในรูปที่ 7.11 (ก) แสดงให้เห็นร่องรอยของการกัดเซาะบริเวณลุ่มน้ำ บริเวณหัวโค้งด้านนอกของลุ่มน้ำจะมีลักษณะเป็นตลิ่งชันรูปพระจันทร์เสี้ยว (steep crescentic slopes) ซึ่งหันหน้าเข้าหาดิ่งลาด (slip-off slopes) ที่อยู่บริเวณหัวโค้งด้านในของลุ่มน้ำ สำหรับทาง น้ำโค้งตัวที่ไหลลดโค้งอยู่บนตะกอนลำนน้ำที่ราบน้ำท่วมถึงนั้น จะมีลักษณะโค้งที่เล็กกว่าของ ลุ่มน้ำตลิ่งชันรูปพระจันทร์เสี้ยวที่อยู่บริเวณหัวโค้งด้านนอกของลุ่มน้ำเรียกว่า “รอยทางน้ำโค้งตัว” (meander scars) และตลิ่งลาดที่อยู่บริเวณหัวโค้งด้านในของลุ่มน้ำเรียกว่า “พื้นดินแม่น้ำโค้งตัวครอบ” (meander lobes) หรือ เนินแหลม (spurs)



รูปที่ 7.11 ธารน้ำที่อยู่ในลุ่มน้ำทางน้ำโค้งตัวดงอก (ingrown meandering valleys)
 (ก) ทางน้ำไม่อยู่ตัวที่มีลักษณะเห็นได้อย่างชัดเจน
 (ข) ทางน้ำไม่อยู่ตัวแบบ Osage

ที่มา : Dury (b), 1977.

ทั้งรอยทางน้ำโค้งวัดและพื้นดินแม่น้ำโค้งวัดรอบหรือเนินแหลม เกิดขึ้นเนื่องจากทางน้ำโค้งวัดงอก (ingrown meanders)¹ มีความคดเคี้ยว (sinuosity) เพิ่มขึ้นในระหว่างที่มีการกัดเซาะส่วนล่าง (downcutting) ของร่องน้ำ สำหรับทางน้ำโค้งวัดงอกที่มีความคดเคี้ยวน้อยนั้น ลำน้ำที่โค้งวัดไปมาในบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงนี้จะกัดเซาะแผ่นดินที่สูงให้พังลงมาเป็นชั้น ๆ ตามระดับทางน้ำ จนเกิดเป็นตลิ่งทางน้ำโค้งวัดที่มีลักษณะเป็นขั้นบันได ซึ่งเราเรียกว่า “ตะพักทางน้ำโค้งวัด” (meander terrace)

ถ้าหากลำน้ำโค้งวัดบนที่ราบน้ำท่วมถึงในก้นหุบเขาหรือลุ่มน้ำโค้งวัดมีหัวโค้งเล็กกว่าหัวโค้งของหุบเขาหรือลุ่มน้ำอย่างเด่นชัดแล้ว เราเรียกว่า “ทางน้ำไม่อยู่ตัวที่มีลักษณะเห็นได้อย่างชัดเจน” (manifestly underfit) หัวโค้งของหุบเขาหรือลุ่มน้ำจะถูกตัดเมื่ออัตราน้ำไหลของร่องน้ำแรงมากกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบันมาก ในทางน้ำไม่อยู่ตัวดังกล่าวบางแห่งนั้น ร่องน้ำของลำธารเดิมที่มีขนาดใหญ่จะถูกถมอยู่ใต้ที่ราบน้ำท่วมถึงปัจจุบันซึ่งเป็นชั้นที่อยู่ยอดสุดดังแสดงในรูปที่ 7.11 (ก) ตะกอนที่อยู่ใต้ฐานของที่ราบน้ำท่วมถึงปัจจุบันจะมีอายุมากกว่าตะกอนที่อยู่ข้างบน และถ้าหากพิจารณาจากตำแหน่งแล้ว ความยาวคลื่นของหัวโค้งหุบเขาหรือลุ่มน้ำจะมีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่นของหัวโค้งทางน้ำโค้งวัดปัจจุบันประมาณ 5 ถึง 10 เท่า ซึ่งมักจะแสดงด้วยอัตราส่วน 5/1

สาเหตุที่ทำให้เกิดความไม่อยู่ตัวของทางน้ำอาจเนื่องมาจากการเกิดธารหลงแม่ (river capture) การซังกของน้ำที่ละลายไหลมาจากธารน้ำแข็ง หรือการซังกของน้ำที่ล้นออกมาจากทะเลสาบที่มีทำนบน้ำแข็ง และที่สำคัญที่ทำให้ทางน้ำส่วนใหญ่ไม่อยู่ตัวในปัจจุบันคือการลดลงของอัตราการไหลของน้ำในร่องน้ำเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศ เป็นไปได้มากที่ว่าการเพิ่มขึ้นการลดลง และการเพิ่มขึ้นมาอีกครั้งหนึ่งของอัตราการไหลของน้ำได้ปรากฏซ้ำขึ้นมาอีกระหว่างสมัยไพลสโตซีน (Pleistocene) ในช่วงสุดท้ายระหว่างประมาณ 12,000 ปี และ 9,000 ปีที่แล้ว ซึ่งเป็นช่วงเวลาของการเปลี่ยนแปลงช่วงคั่นลำดับอายุธารน้ำแข็ง (interglacial stage) ที่สำคัญครั้งสุดท้าย เมื่อพิจารณาถึงอุณหภูมิของอากาศที่ลดลงในช่วงเวลานั้น จะแสดงให้เห็นว่า อัตราการไหลของน้ำในร่องน้ำที่สามารถจะกัดเซาะให้หุบเขาหรือลุ่มน้ำคดโค้งได้นั้น จะต้องได้รับปริมาณหยาดน้ำฟ้ารายปีเฉลี่ยคิดเป็น $1\frac{1}{2}$ หรือ 2 เท่าของปริมาณหยาดน้ำฟ้าที่ได้รับในปัจจุบัน การที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและปริมาณหยาดน้ำฟ้าลดลงนั้นไม่เพียงแต่เป็นสาเหตุทำให้

1. ทางน้ำโค้งวัดงอก (ingrown meander) คือ ทางน้ำโค้งวัดอยู่ตัวที่ตลิ่งทั้งสองข้างไม่เหมือนกัน เนื่องจากการกัดกร่อนตามขวางจนฝั่งหนึ่งชัน ส่วนอีกฝั่งหนึ่งเป็นตลิ่งออกมามีลักษณะลาดน้อย ๆ

ทางน้ำไม่อยู่ตัวเท่านั้น แต่ยังเป็นสาเหตุทำให้ทะเลสาบที่มีน้ำเต็มเปี่ยมเนื่องจากมีฝนชุกในอดีตแห้งลงได้ด้วย

ทางน้ำไม่อยู่ตัวชนิดที่สองที่พบคือทางน้ำไม่อยู่ตัวแบบ Osage ซึ่งพบที่แม่น้ำ Osage ในมลรัฐมิสซูรีสหรัฐอเมริกา ถึงแม้ว่าทางน้ำไม่อยู่ตัวแบบ Osage จะพบในกลุ่มน้ำทางน้ำโค้งด้วยเช่นกันก็ตาม แต่ความไม่อยู่ตัวของมันค่อนข้างน้อย กล่าวคือเป็นทางน้ำที่มีโค้งน้อย และมีลำดับของห้องคู้และเนินดินในช่วงระยะห่างร่องน้ำที่เป็นอยู่ประมาณ 5 เท่าของความกว้างของพื้นที่ห้องน้ำ (sw) ดังแสดงในรูปที่ 7.11 (ข) เนื่องจากร่องน้ำที่เป็นอยู่ในปัจจุบันมีขนาดเล็กกว่าร่องน้ำของทางน้ำเดิมแต่ก่อนที่ไหลตัดหัวโค้งของหุบเขาหรือร่องน้ำ ดังนั้นระยะห่างห้องคู้และเนินดินจึงใกล้เกินไปสำหรับหัวโค้งเหล่านี้และสำหรับส่วนโค้งที่อยู่ในร่องน้ำปัจจุบัน นั่นคือห้องคู้จะปรากฏขึ้นมาอย่างมากมากกว่าโค้งของร่องน้ำ ทางน้ำนั้นจะลดความกว้างของพื้นที่ห้องน้ำลงและจะลดระยะห่างระหว่างห้องคู้และเนินดินลงด้วยอย่างสอดคล้องกันโดยไม่มีการโค้งตัวเกิดขึ้นมา มันทำเหมือนกับว่าเป็นทางน้ำที่มีแนวตรงโดยมีแนวของร่องน้ำไหลไปตามส่วนโค้งของหุบเขาหรือลุ่มน้ำ (ดูรูปที่ 7.11 (ข) ประกอบ) ดังนั้นร่องน้ำของทางน้ำไม่อยู่ตัวแบบ Osage จึงกำหนดให้เป็นทางน้ำที่ลอกแบบธารสายตรง (straight-simulating type)

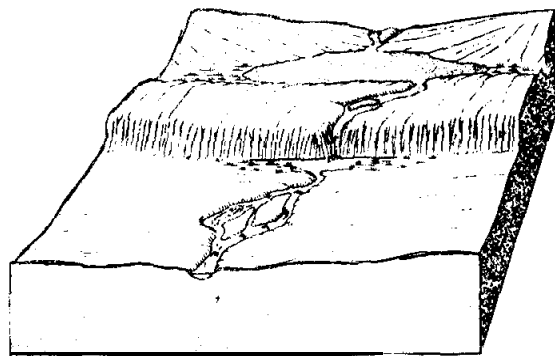
อัตราส่วนระหว่างความยาวคลื่น/ความกว้างของพื้นที่ห้องน้ำที่ชัดเจนของทางน้ำชนิดนี้มีอยู่ในหลายกรณีประมาณ 40/1 จนถึงใหญ่กว่า 10/1 สำหรับร่องน้ำโค้งตัวที่มีผิวขรุขระเนื่องจากตะกอนล้นน้ำ แต่ในความเป็นจริงแล้ว อัตราส่วนของทางน้ำไม่อยู่ตัวแบบ Osage คือ L/w ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความยาวคลื่นของทางน้ำเดิมแต่ก่อนที่มีขนาดใหญ่และความกว้างของพื้นที่ห้องน้ำของทางน้ำปัจจุบันที่มีขนาดเล็กลง หากอัตราส่วนดังกล่าวมีค่าสูงอย่างเด่นชัด นั้นแสดงว่าเป็นทางน้ำไม่อยู่ตัวแบบ Osage ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้โดยการสำรวจหน้าตัดของพื้นที่ห้องน้ำและการหาความสัมพันธ์กันระหว่างความกว้างของพื้นที่ห้องน้ำและระยะห่างของห้องคู้กับเนินดิน

8. ชั้นอายุของลำธาร

ตลอดอายุของลำธารนั้นจะต้องผ่านชั้นอายุอยู่ 5 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นอายุนั้นจะมีลักษณะเฉพาะที่ไม่เหมือนกัน ชั้นอายุของลำธารทั้ง 5 ชั้นนี้ได้แก่ ชั้นเริ่มต้น (initial stage) ชั้นวัยหนุ่ม (youth stage) ชั้นวัยกลาง (early maturity stage) ชั้นวัยแก่ (maturity stage) และชั้นวัยแก่เต็มที่ (full maturity stage)

1. **ชั้นเริ่มต้น (initial stage)** ชั้นนี้จะเกิดขึ้นในทันทีที่พื้นแผ่นดินใหม่ถูกสร้างขึ้นเนื่องจากการยกตัวหรือการเลื่อนตัวของเปลือกโลก และเพื่อให้ง่ายต่อการอธิบายจึงสมมติว่าพื้นผิว

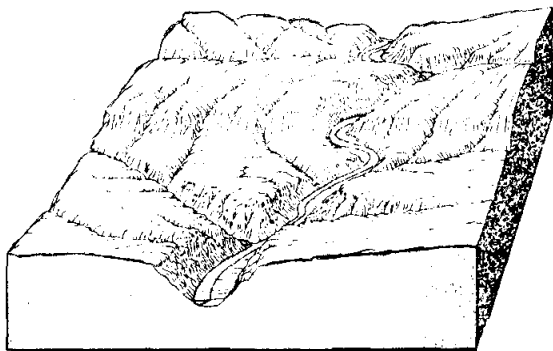
ของเปลือกโลกส่วนนี้เดิมที่เคยอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลมาก่อน แต่เดี๋ยวนี้มันโผล่ขึ้นมาอยู่เหนือระดับน้ำทะเลแล้วเป็นครั้งแรก ดังนั้นสภาพภูมิประเทศจึงยังคงมีลักษณะแผ่นดินเดิม (initial landform)¹ อยู่ทั้งหมด ฝนที่ตกลงมาบนแผ่นดินจะไหลบ่าลงมาตามพื้นลาดเดิมและจะไหลมารวมกัน



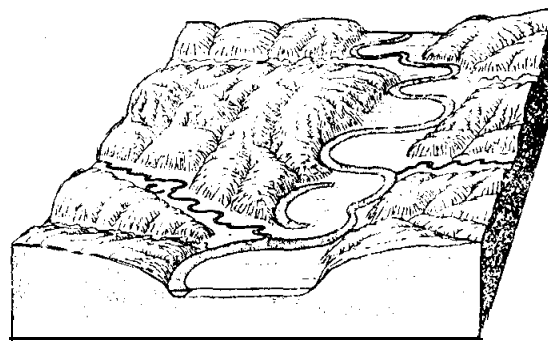
(1) ชั้นเริ่มต้น



(2) ชั้นวัยหนุ่ม



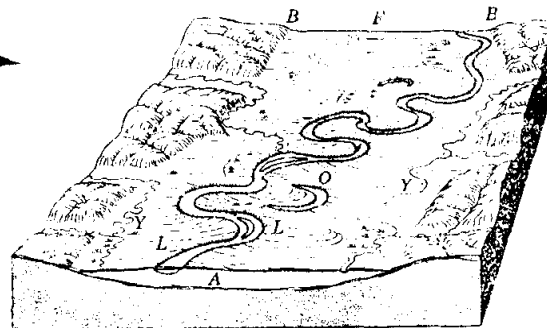
(3) ชั้นวัยกลาง



(4) ชั้นวัยแก่

(5) ชั้นวัยแก่เต็มที่

- L = คั่นดิน
- Y = ธารยาชู
- B = ผาชันริมน้ำ
- F = ที่ราบน้ำท่วมถึง
- O = ทะเลสาบรูปแอก
- A = ตะกอนลำนํ้า



รูปที่ 7.12 ชั้นอายุของลำธาร 5 ชั้น

ที่มา : Strahler, 1975.

1. ลักษณะแผ่นดินเดิม (initial landform) คือแผ่นดินที่แสดงให้เห็นลักษณะสภาพดั้งเดิมตั้งแต่เมื่อเกิดการยกตัวสูงขึ้นและยังไม่มี การแปรสภาพมากนัก

อยู่ในบริเวณที่เป็นที่ลุ่มต่ำตามแนวพื้นลาดนั้น เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดร่องน้ำซึ่งจะถูกกระแส น้ำ และอนุภาคหินหยาบ ๆ ที่น้ำพัดพามาด้วยกัดกร่อนให้ลึกลงอย่างรวดเร็ว พื้นที่ใดที่เป็นที่ลุ่มต่ำ ขนาดใหญ่ก็จะมีน้ำขังอยู่เต็มจนทำให้เกิดเป็นทะเลสาบ น้ำล้นที่จุดต่ำสุดบนขอบทะเลสาบเหล่านี้ จะไหลเชื่อมต่อจากทะเลสาบที่อยู่ในระดับสูงกว่าสู่ทะเลสาบที่อยู่ในระดับต่ำกว่า ดังนั้นลักษณะ ของระบบธารน้ำเดิมนี้อาจประกอบไปด้วยน้ำตก ไหลเชี่ยว และมีทะเลสาบตามแนวทางน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 7.12 (1)

2. **ขั้นวัยหนุ่ม (youth stage)** ในขั้นวัยหนุ่มนี้ร่องน้ำจะมีความลึกลงมากยิ่งขึ้น จึงทำให้ ระดับน้ำในร่องน้ำต่ำลง และความจุในการรับน้ำของร่องน้ำจะมากขึ้น ทะเลสาบจะถูกร่องน้ำ ตัดผ่าน ทำให้น้ำในทะเลสาบระบายออกมาตามทางน้ำที่ไหลผ่านพื้นทะเลสาบเท่านั้น ริมหน้าผา ที่มีน้ำตกไหลผ่านอยู่เดิมนั้นจะถูกกัดเซาะให้ลดต่ำลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้ระดับเดียวกับร่องน้ำ ชั้นล่าง จึงทำให้น้ำตกเดิมนั้นหายไป ธรณีสัณฐานในช่วงของร่องน้ำขั้นวัยหนุ่มนี้จะมีลักษณะ เป็นโกรกธาร (gorge) หรือหุบผาชัน (canyon) ที่มีความลึกยิ่งขึ้น ขอบชัน และมีหน้าตัดขวางเป็น รูปตัว V ความกว้างของลำธารจะกินเนื้อที่ตลอดทั้งหมดของกันโกรกธาร หินจากหน้าผาชัน ทั้งสองข้างที่ผุกร่อนเนื่องจากสภาพลมฟ้าอากาศจะหล่นลงสู่ลำธาร แผ่นดินถล่มจะเกิดขึ้น บ่อยครั้งและวัตถุขนาดใหญ่ที่หล่นลงมาบางครั้งก็จะไปขวางกั้นทางน้ำไว้ นอกจากนี้บริเวณ ลานหินดินผา (talus)¹ ที่มีความลาดเทนั้นอาจจะมีก้อนหินบางส่วนที่เกาะกันอยู่อย่างหลวม ๆ อันเป็นสาเหตุทำให้อ่อนหินเหล่านี้กลิ้งหล่นลงมาตามความลาดเทสู่ลำธารได้ เนื่องจากขอบผาชัน ของหุบเขามีการเกลี่ยผิวของแผ่นดิน (denudation)² อย่างรวดเร็ว จึงทำให้อ่อนหินไหลออกมา เด่นชัดขึ้น และกลายเป็นหน้าผาที่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 7.12 (2)

3. **ขั้นวัยกลาง (early maturity stage)** ขั้นวัยกลางนี้เป็นขั้นแห่งภาวะสมดุลของธารน้ำ (equilibrium of stream) ซึ่งเป็นภาวะสมดุลระหว่างอัตราเฉลี่ยของพลังที่นำพาเศษหิน ดิน ทราย จากแควและที่ลาดชันต่าง ๆ มาสู่ธารน้ำ กับอัตราเฉลี่ยของพลังของธารน้ำที่จะพัดพาเศษหิน ดิน ทราย นั้นต่อไป เมื่อธารน้ำเกิดมีภาวะสมดุลขึ้น จะทำให้ธารน้ำนั้นมีสภาพอยู่ตัวไม่กัดเซาะ ลึกลงไปอีก และในขณะเดียวกันก็ไม่ทับถมสูงขึ้น ภาวะสมดุลของธารน้ำนี้จะป็นอยู่ชั่วระยะเวลา หนึ่ง เมื่อใดที่ปริมาณน้ำในแม่น้ำเปลี่ยนแปลงไป หรือระดับของพื้นผิวโลกส่วนนั้น เปลี่ยนแปลง

1. ลานหินดินผา (talus) คือลานของหินที่หักพังตามธรรมชาติลงมาองอยู่ที่ดินผา

2. การเกลี่ยผิวของแผ่นดิน (denudation) คือการผุพังทำลายของหินผิวโลกทั้งโดยการผุพังอยู่กับที่ (weathering) และกัดกร่อน (erosion) ซึ่งจะเป็นผลทำให้แผ่นดินราบเรียบมีระดับเดียวกันในที่สุด

เพราะการเคลื่อนไหวของเปลือกโลก ก็อาจทำให้ภาวะสมดุลของธารน้ำที่มีอยู่นั้นหมดไปได้ นอกจากนี้ ในระยะขั้นวัยกลางยังเป็นระยะที่เริ่มมีการก่อตัวของที่ราบบริเวณกันหุบเขาอันเนื่องมาจากการคดเคี้ยวของธารน้ำ ระหว่างที่หัวโค้งของธารน้ำขยายตัวมากขึ้น จะทำให้ทรายและกรวดที่ถูกพัดพามาในลักษณะของมวลบนพื้นท้องน้ำ (bed load score) ตกตะกอนทับถมเป็นสันดอนอยู่บริเวณด้านในของหัวโค้ง ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของที่ราบน้ำท่วมถึง (flood plain) บริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงนี้จะเกิดน้ำท่วมทุกปี ซึ่งจะทำให้ดินตะกอนที่ละเอียดกว่าและดินเหนียวตกตะกอนอยู่ที่ผิวบน ทับถมตะกอนที่หนาแน่นกว่าอยู่เบื้องล่าง อันเป็นสาเหตุทำให้ที่ราบน้ำท่วมถึงนี้สูงขึ้นไปอีก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7.12 (3)

4. **ขั้นวัยแก่ (maturity stage)** ในขั้นนี้แถบที่ราบน้ำท่วมถึงจะกว้างขึ้นเนื่องจากการกัดเซาะด้านข้างของธารน้ำยังคงมีอยู่ จึงทำให้ธารน้ำไหลคดเคี้ยวได้มากขึ้น หัวโค้งของธารน้ำในตอนนี้จะใหญ่ขึ้นและโค้งราบเรียบขึ้น จนในที่สุดก็จะกลายสภาพไปเป็นทางน้ำโค้งตัว (meander) ในระยะนี้เขตของทางน้ำโค้งตัว (meander belt)¹ จะมีขนาดเท่ากับความกว้างของที่ราบน้ำท่วมถึง ดังแสดงในรูปที่ 7.12 (4)

5. **ขั้นวัยแก่เต็มที่ (full maturity stage)** เมื่อธารน้ำเข้าสู่ระยะวัยแก่ตัวเต็มที่แล้ว บริเวณที่ราบน้ำท่วมถึงจะมีความกว้างมากกว่าเขตทางน้ำโค้งตัวมาก ในขั้นนี้ระดับที่ราบน้ำท่วมถึงจะต่ำสุด ดังนั้นในระหว่างหน้าน้ำหลากแม่น้ำลำธารจะพาโคลนตมมาทับถมริมฝั่ง เมื่อน้ำลดโคลนตมที่ทับถมนั้นก็จะเป็นคันดินยาวขนานไปตามริมฝั่งแม่น้ำซึ่งเรียกว่าคันดินธรรมชาติ (natural levee) ด้านหลังคันดินนี้จะมีตะกอนตกจมทับถมกันอยู่มากมายเนื่องจากน้ำท่วมในหน้าน้ำหลาก ตะกอนเหล่านี้เรียกว่าตะกอนลำน้ำ (alluvium) ตะกอนที่อยู่ชั้นบนสุดจะมีอายุใหม่ที่สุด และตะกอนที่ถูกทับถมอยู่เบื้องล่างสุดจะมีอายุเก่าแก่ที่สุด เนื่องจากในขั้นวัยแก่เต็มที่ของลำธารนี้จะมีตะกอนตกจมทับถมกันมากที่สุด จึงทำให้ทางน้ำโค้งตัวถูกปิดหัวโค้งด้วยตะกอนหินทราย จากด้านเหนือของลำน้ำประการได้ง่าย อันเป็นสาเหตุทำให้หัวโค้งนั้นถูกตัดขาดออกจากร่องน้ำนั้นโดยสิ้นเชิง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้หัวโค้งที่ถูกตัดขาดนี้แปรสภาพไปเป็นบึงโค้ง หรือ

1. เขตทางน้ำโค้งตัว (meander belt) คือบริเวณที่ราบหุบเขาที่ทางน้ำโค้งตัวไปมาได้ไกลที่สุด โดยทั่วไปถ้าทางน้ำระบายน้ำออกไปมากเท่าใด หรือพาโคลนตมไปได้น้อยลงเท่าใด ก็ยิ่งทำให้เขตทางน้ำบริเวณนี้กว้างขึ้นเท่านั้น

ทะเลสาบรูปแอก (oxbow lake) บนที่ราบน้ำท่วมถึงในระยะนี้จะมีธารสาขาที่ไหลขนานไปกับลำน้ำประธานเป็นระยะทางไกล ๆ ซึ่งเรียกว่าธารยาซู (yazoo stream) ที่ใดลำน้ำประธานตัดเข้าหาทางข้างหุบเขา ธารยาซูก็จะเข้าบรรจบเป็นธารสาขาได้ บริเวณขอบที่ราบน้ำท่วมถึงทั้งสองด้านจะมีลักษณะเป็นผาชันริมน้ำ (bluff) ซึ่งเป็นหน้าผาริมฝั่งธารน้ำ เกิดจากธารน้ำกัดเซาะด้านข้างของหุบเขาตรงบริเวณที่ธารน้ำโค้งตัว แรงแน้ำที่กัดเซาะตลิ่งด้านนอกของทางโค้งตัวนั้นจะทำให้เชิงล่างของหุบเขาตัดหายไป จึงเกิดเป็นผาชันขึ้น ณ ที่นั้น ดังแสดงในรูปที่ 7.12 (5)

สรุป

ในการศึกษาเรื่องแม่น้ำนั้น สิ่งจำเป็นสิ่งแรกที่จะต้องทำความเข้าใจคือ คุณสมบัติทางกายภาพของของไหล ซึ่งได้แก่ มวล ความหนาแน่น น้ำหนัก น้ำหนักจำเพาะ ความหนืด ความเลือนบิด อุณหภูมิ ตลอดจนความยืดหยุ่นและความตึงผิว คุณสมบัติเหล่านี้จะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของของไหล รูปทรงเรขาคณิตของร่องน้ำ และช่วยอธิบายเกี่ยวกับการนำพาตะกอน

พื้นที่ลุ่มน้ำที่ปรากฏอยู่ทั่วไปนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะ คือ ลุ่มน้ำรูปขนนก ลุ่มน้ำรูปวงกลม ลุ่มน้ำรูปขนาน และลุ่มน้ำรูปผสม การหาลักษณะของลุ่มน้ำนั้นสามารถกระทำได้โดยวิธีการคำนวณหาสัมประสิทธิ์แสดงลักษณะเด่นของลุ่มน้ำ (F) สำหรับรูปตัดขวางของร่องน้ำนั้นจะมีลักษณะต่างกันออกไปในแต่ละช่วงของลุ่มน้ำ โดยจะมีลักษณะเป็นรูปตัว V ในช่วงตอนต้นน้ำบนภูเขาเป็นรูปตัว ในช่วงตอนกลางของลุ่มน้ำ เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูในช่วงแม่น้ำตอนล่าง และเป็นรูปสามเหลี่ยมในช่วงที่ลำนํ้าคดเคี้ยว การหาลักษณะรูปตัดขวางของร่องน้ำสามารถกระทำได้โดยวิธีการคำนวณหาสัมประสิทธิ์แสดงลักษณะของรูปตัดขวาง (C)

ลักษณะของร่องน้ำหรือแม่น้ำเด่น ๆ ที่สำคัญมีอยู่ด้วยกัน 4 ลักษณะคือ แบบทางน้ำโค้งตัวตวัด แบบธารประสานสาย แบบธารแขนง และแบบธารไขว้สาย สำหรับการไหลในร่องน้ำนั้นมียู่ด้วยกัน 3 ลักษณะคือ การไหลแบบราบเรียบและการไหลแบบปั่นป่วน การไหลแบบสม่ำเสมอและการไหลแบบแปรปรวน และการไหลแบบช้า เร็ว และเร็วมาก การหาลักษณะของการไหลในร่องน้ำสามารถกระทำได้จากการคำนวณโดยอาศัยความสัมพันธ์ของจำนวนของเรย์โนลด์ (Re) หรือโดยอาศัยความสัมพันธ์ของจำนวนเฟรardt (Fr)

ที่ราบน้ำท่วมถึงเป็นที่ราบที่ง่ายต่อการเกิดน้ำท่วม และเป็นบริเวณที่มีทางน้ำโค้งตัวตวัดเกิดขึ้นมากมายจนถือได้ว่าที่ราบน้ำท่วมถึงเป็นโครงสร้างของทางน้ำโค้งตัวตวัด มีอยู่ 2 ประเภทคือ ทางน้ำไม่อยู่ตัวที่ลักษณะเห็นได้อย่างเด่นชัด และทางน้ำไม่อยู่ตัวแบบ Osage ซึ่งบางครั้งอนุโลมให้เป็นทางน้ำอยู่ตัวได้

ลำธารและแม่น้ำจะมีชั้นอายุอยู่ 5 ชั้น ซึ่งแต่ละชั้นอายุนั้นจะมีลักษณะเฉพาะที่ไม่เหมือนกัน ได้แก่ ชั้นเริ่มต้น ชั้นวัยหนุ่ม ชั้นวัยกลาง ชั้นวัยแก่ และชั้นวัยแก่เต็มที่ ซึ่งชั้นอายุของลำธารจะเริ่มตั้งแต่เมื่อแผ่นดินใหม่ถูกยกตัวขึ้นมา จนกระทั่งแผ่นดินที่ถูกยกตัวขึ้นมานั้นแปรสภาพไปเป็นที่ราบน้ำท่วมถึงที่มีอาณาบริเวณกว้างขวางมาก

คำถามท้ายบท

- จงให้คำจำกัดความคุณสมบัติทางกายภาพของของไหลดังต่อไปนี้มาพอเข้าใจ
 - (1) มวล (mass)
 - (2) ความหนาแน่น (density)
 - (3) น้ำหนัก (weight)
 - (4) น้ำหนักจำเพาะ (specific weight)
 - (5) ความหนืด (viscosity)
 - (6) ความเค้นบิด (shear)
 - (7) อุณหภูมิ (temperature)
 - (8) ความยืดหยุ่น (elasticity)
- ลักษณะของพื้นที่ลุ่มน้ำมีกี่ลักษณะ? อะไรบ้าง จงอธิบาย
- แม่น้ำ ก มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 350,000 ตร.กม. และมีความยาวของแม่น้ำทั้งสิ้น 1,200 กม. แม่น้ำ ข มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 1,250,000 ตร.กม. และมีความยาวของแม่น้ำทั้งสิ้น 2,600 กม. ให้ใช้ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แสดงลักษณะเด่นของลุ่มน้ำ (F) เปรียบเทียบว่าแม่น้ำสายใดมีความกว้างมากกว่ากัน
- ลักษณะของรูปตัดขวางของแม่น้ำมีกี่ลักษณะ? อะไรบ้าง จงอธิบาย
- แม่น้ำสายหนึ่งมีพื้นที่ของรูปตัดขวาง 30 ตารางเมตร มีความกว้างของแม่น้ำ 15 เมตร และมีความลึกมากที่สุด 4 เมตร จงใช้ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แสดงลักษณะของรูปตัดขวาง (C) กำหนดว่าแม่น้ำสายนี้มีลักษณะของร่องน้ำเป็นแบบใด?
- น้ำสายหนึ่งมีความลึก 0.30 ฟุต กำลังไหลอยู่บนผิวที่ราบเรียบด้วยความเร็ว 1.5 ฟุต/วินาที จงคำนวณหา Reynold's number (Re) ของการไหล และให้ทำนายลักษณะของการไหลว่าจะเป็นแบบราบเรียบหรือแบบปั่นป่วน ($\mu = 1.21 \times 10^{-5}$ ตร.ฟุต/วินาที)
- จงคำนวณหา Froude number ของกระแสน้ำในร่องน้ำเปิดแห่งหนึ่งซึ่งมีอัตราความเร็วเฉลี่ย 4 ฟุต/วินาที และมีความลึก 2 ฟุต และให้ทำนายลักษณะการไหลของกระแสน้ำสายนี้โดยใช้สภาวะวิกฤตของการไหล ($g = 32.2$ ฟุต/วินาที²)
- จงอธิบายสิ่งต่อไปนี้มาพอเข้าใจ
 - (1) ส่วนประกอบทางเรขาคณิตของทางน้ำโค้งวัด
 - (2) ธารประสานสาย (braided stream)

(3) ส่วนประกอบของที่ราบน้ำท่วมถึง

9. จงอธิบายคำต่อไปนี้มาพอเข้าใจ

(1) รอยทางน้ำโค้งตวัด (meander scars)

(2) พื้นดินแม่น้ำโค้งตวัดรอบ (meander lobes)

(3) ทางน้ำโค้งตวัดงอก (ingrown meanders)

(4) ตะพักทางน้ำโค้งตวัด (meander terrace)

(5) ทางน้ำไม่อยู่ตัวที่มีลักษณะเห็นได้อย่างชัดเจน (manifestly underfit)

(6) ทางน้ำไม่อยู่ตัวแบบ Osage

10. ชั้นอายุของลำธารมีกี่ชั้น? อะไรบ้าง จงอธิบาย