

บทที่ 5 น้ำไหลบ่า (RUNOFF)

จุดมุ่งหมาย

เมื่อศึกษาบทนี้แล้ว นักศึกษาควรมีความเข้าใจและสามารถที่จะ

1. บอกและอธิบายถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อน้ำไหลบ่าได้อย่างน้อย 5 ประการ
2. อธิบายถึงความแตกต่างระหว่างการไหลแผ่ซ่านและการไหลซึมเบี่ยงเบนได้
3. อธิบายถึงพื้นที่ที่ให้น้ำแก่สายน้ำได้
4. อธิบายถึงขบวนการที่เกี่ยวข้องกับการกักต่อน้ำของดินโดยน้ำได้
5. บอกและอธิบายถึงชนิดของการกักต่อน้ำโดยน้ำได้อย่างน้อย 3 ชนิด
6. อธิบายวัฏจักรของการกักต่อน้ำได้
7. บอกและอธิบายถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกักต่อน้ำโดยน้ำได้อย่างน้อย 2 ประการ

1. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อน้ำไหลบ่า

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำไหลบ่านั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ปัจจัยใหญ่ ๆ คือ ปัจจัยเกี่ยวกับฝนและปัจจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ

1.1 ปัจจัยเกี่ยวกับฝน

ปัจจัยเกี่ยวกับฝนที่มีอิทธิพลต่อน้ำไหลบ่ามีดังนี้

1. ชนิดของหยาดน้ำฟ้าที่ตกลงสู่พื้นดิน ชนิดของหยาดน้ำฟ้าจะมีอิทธิพลต่อน้ำไหลบ่าแตกต่างกันมาก เช่น น้ำฝนและหิมะ เป็นต้น ถ้าเป็นน้ำฝนก็จะมีอิทธิพลโดยตรงต่อน้ำไหลบ่า ปริมาณที่ฝนตกและความชื้นของฝนจะมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำไหลบ่า

2. ความชื้นของฝน ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินจะสัมพันธ์กับความชื้นของฝนและอัตราการไหลซึมของน้ำลงไปใต้ดิน หากอัตราความชื้นของฝนที่ตกลงมามีมากกว่าอัตราการไหลซึมของน้ำลงไปใต้ดินแล้ว ปริมาณน้ำไหลบ่าผิวดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามการเพิ่มของอัตราความชื้นของฝน

3. ระยะเวลาที่ฝนตก ในแต่ละลุ่มน้ำจะมีระยะเวลาวิกฤติ (critical period) ของฝนที่ตกอันเป็นมาตรฐานสำหรับลุ่มน้ำนั้น ๆ ในกรณีที่ฝนตกในระยะเวลาสั้นกว่าระยะเวลาวิกฤติ จะทำให้มีน้ำไหลบ่าผิวดินเป็นเวลานานใกล้เคียงหรือเท่ากับระยะเวลาที่น้ำไหลบ่าไหลอันเนื่องมาจากมีฝนตกเป็นเวลานานเท่ากับระยะเวลาวิกฤติ และในกรณีที่ฝนตกเป็นระยะเวลานานกว่าระยะเวลาวิกฤติแล้ว จะทำให้มีน้ำไหลบ่าผิวดินนานกว่าเมื่อมีฝนตกนานเท่ากับระยะเวลาวิกฤติ นอกจากนี้ระยะเวลาที่มีฝนตกยังมีอิทธิพลต่ออัตราการไหลซึมของน้ำลงไปใต้ดินอีกด้วย ในกรณีที่ฝนตกเป็นระยะเวลานาน ๆ ย่อมจะเกิดเป็นน้ำไหลบ่าได้มากกว่าถ้าหากว่าอัตราความชื้นของฝนอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

4. การแผ่กระจายของฝนในลุ่มน้ำ ในกรณีที่สภาพแวดล้อมมีลักษณะคล้ายคลึงกันตลอดทั้งลุ่มน้ำและหากมีฝนตกเท่ากันแล้ว ฝนที่ตกแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดทั้งลุ่มน้ำจะทำให้เกิดยอดปริมาณน้ำไหลบ่าต่ำสุด สำหรับลุ่มน้ำขนาดใหญ่การเกิดน้ำท่วมมักจะเนื่องมาจากฝนธรรมดาที่ตกครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของลุ่มน้ำมากกว่าฝนที่ตกหนักแต่ตกแผ่กระจายเท่า ๆ กันตลอดทั้งลุ่มน้ำ ในทางกลับกันในลุ่มน้ำขนาดเล็กนั้นยอดปริมาณน้ำไหลบ่าสูงสุดมักจะเกิดเนื่องจากฝนตกกระโชกในระยะเวลาอันสั้นและตกเป็นบริเวณแคบ ๆ

5. ความชุ่มชื้นของดิน ในกรณีที่ดินมีความชุ่มชื้นมากอยู่แล้ว ปริมาณฝนที่ตกเพิ่มเติมลงมาก็จะไหลซึมลงไปใต้ดินได้น้อยมาก ด้วยเหตุนี้จะทำให้เกิดน้ำท่วมได้ง่าย และถ้าหากว่าดิน

มีความชุ่มชื้นเพิ่มมากขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว น้ำที่ซึมลงไปใตดินนี้จะเชื่อมโยงกับระดับน้ำใต้ดินและเพิ่มปริมาณน้ำใต้ดินด้วย สำหรับในช่วงที่ความชุ่มชื้นในดินลดลงเนื่องจากพืชดูดเอาไปใช้นั้น แม้ว่าจะมีฝนตกมากก็ตาม ระดับน้ำในแม่น้ำก็จะไม่เพิ่มขึ้นเพราะเหตุว่าน้ำฝนที่ไหลซึมลงไปใตดินจะถูกดูดไว้เป็นความชื้นในดิน ในทางตรงกันข้าม ถ้าความชุ่มชื้นในดินได้เพิ่มขึ้นแล้วเนื่องจากมีฝนตกก่อนหน้านั้นมากพอสมควร และต่อมาเกิดมีฝนตกตามมาก็ถึงแม้ความเข้มของฝนจะไม่มากนักแต่ก็อาจทำให้ระดับน้ำในลำน้ำสูงขึ้นได้มากและอาจเกิดน้ำท่วมได้ในบางครั้งด้วย

6. ปัจจัยทางอ้อมอื่น ๆ ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อน้ำไหลบ่าโดยทางอ้อมนั้นได้แก่ อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันบรรยากาศเฉลี่ย ปริมาณฝนทั้งปี และอื่น ๆ ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้มีส่วนควบคุมลักษณะลมฟ้าอากาศในบริเวณนั้นด้วยการเกี่ยวโยงซึ่งกันและกัน

1.2 คุณลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ

ปัจจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำที่มีอิทธิพลต่อน้ำไหลบ่ามีดังนี้

1. สภาพของการใช้ที่ดิน สภาพของการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำจะมีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อลักษณะระดับน้ำ (hydrograph) ของแม่น้ำ สำหรับพื้นที่ป่าที่มีต้นไม้ขึ้นปกคลุมหนาแน่นนั้น น้ำจะมีโอกาสไหลซึมลงไปใตดินได้มากซึ่งทำให้น้ำส่วนที่เหลือเป็นน้ำไหลบ่าบนผิวดินมีน้อยลง ถ้ามีการพัฒนาและทำให้พื้นที่ป่าดังกล่าวโปร่งขึ้นบ้าง ผิวดินจะอัดแน่นขึ้นอันจะทำให้มีน้ำมีโอกาสไหลซึมลงไปใตดินได้น้อย ดังนั้นน้ำฝนที่ตกลงมาแล้วจะเหลือเป็นน้ำไหลบ่ามากขึ้นและรวมกันไหลด้วยความเร็วสูงในร่องน้ำซึ่งจะทำให้เกิดน้ำท่วมอย่างรุนแรงขึ้นได้ในที่สุด

2. ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ ถ้าหากว่าปริมาณฝนที่ตก ความเข้มของฝน และปัจจัยอื่น ๆ มีค่าคงที่แล้ว จำนวนน้ำไหลบ่าทั้งหมดคิดเป็นความลึกเฉลี่ยตลอดทั้งลุ่มน้ำจะมีค่าเท่ากันเสมอแม้ว่าพื้นที่ลุ่มน้ำจะไม่เท่ากันก็ตาม ด้วยเหตุนี้จำนวนน้ำไหลบ่าต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่จะมีค่าคงที่ด้วย ดังนั้นลักษณะระดับน้ำจะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนตามขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ อย่างไรก็ตาม ถ้าพื้นที่ลุ่มน้ำยิ่งมากขึ้นยอดปริมาณน้ำสูงสุดจะมีค่าน้อยลงทั้งนี้เนื่องจากว่าลักษณะระดับน้ำของปริมาณน้ำนองมีฐานกว้างขึ้นและความเข้มสูงสุดของฝนมีความสัมพันธ์เป็นอัตรากลับกันกับขนาดพื้นที่ที่ฝนตก (ถือว่าฝนตกสม่ำเสมอทุกกรณี)

3. สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำ ลักษณะระดับความสูง ความลาดชัน ทิศทาง และลักษณะอื่น ๆ ของลุ่มน้ำจะมีอิทธิพลบางส่วนต่อลำน้ำและลักษณะทางอุทกวิทยา ระดับความสูงของลุ่มน้ำมีความสัมพันธ์เป็นอย่างมากกับอุณหภูมิและปริมาณฝน ความลาดชันของลุ่มน้ำก็มีความสัมพันธ์ต่อการแทรกซึมของน้ำลงไปใตดิน จำนวนน้ำไหลบ่าบนผิวดิน ความชุ่มชื้นในดิน และจำนวนน้ำใต้ดิน นอกจากนั้นความลาดชันของลุ่มน้ำยังเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่กำหนดระยะเวลาการไหล

ของน้ำไหลบ่า สำหรับทิศทางของกลุ่มน้ำนั้นมื่อทธิพลเกี่ยวกับการสูญเสียของน้ำเนื่องจากการระเหยและการคายน้ำจากพืชในแง่ที่กลุ่มน้ำนั้นได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มากน้อยอย่างไร

4. **ชนิดของดิน** ชนิดของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อคุณลักษณะของน้ำไหลบ่าและปริมาณการไหลซึมของน้ำลงไปในดิน ความจุของการแทรกซึมของดินจะขึ้นอยู่กับความหนาและการอัดตัว (compaction) ของเนื้อดิน น้ำไหลบ่าบนผิวดินจะเกิดขึ้นได้เมื่อความชื้นของผืนที่ตกลงมามีมากกว่าหรือเกินความจุของการแทรกซึมของดิน ดินเหนียวซึ่งประกอบไปด้วยอนุภาคหรือผงละเอียดมากมายและมีน้ำอยู่ตามรูเล็ก ๆ มากมายนั้นจะมีความจุการแทรกซึมต่ำ สำหรับดินแห่งนั้นน้ำจะสามารถซึมผ่านลงไปได้ง่าย (ดูตารางที่ 5.1) ฝนที่ซึมลงไปในดินได้ยากจะมีผลต่อการอัดตัวของผิวดินที่ซาบซึมน้ำได้ (permeable soil) ซึ่งเป็นการไปลดช่องว่างในรูลง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ความจุการแทรกซึมต่ำลง การมีพืชคลุมดินหนาแน่นจะช่วยป้องกันการอัดตัวของดินเนื่องจากการขยายตัวของสารแขวนลอย (colloidal matters) จากฝนได้เป็นอย่างดีซึ่งจะทำให้ความจุการแทรกซึมเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ชัดว่าลักษณะภูมิอากาศ ธรณีวิทยา ดิน และพืชล้วนแล้วแต่มีผลต่อคุณสมบัติของน้ำไหลบ่า

ตารางที่ 5.1 ความจุการแทรกซึมของดินชนิดต่าง ๆ

เนื้อดิน	ความจุการแทรกซึม (ซ.ม./ซ.ม.)
ดินเหนียว	0.2-0.6
ดินตะกอน (โคลน)	0.7-1.5
ดินร่วน	1.2-2.5
ดินทราย	2.5-5.0

ที่มา : ดัดแปลงจาก Morgan, 1977.

2. การไหลแผ่ซ่าน (Overland Flow)

และการไหลซึมเบี่ยงเบน (Throughflow)

การไหลแผ่ซ่าน (overland flow) หมายถึงการไหลของน้ำบนพื้นดินซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความชื้นของผืนที่ตกลงมานั้นมีมากมายเสียจนน้ำไม่สามารถซึมลงไปได้หมด การไหลแผ่ซ่านนี้โดยมากมักจะพบในบริเวณที่มีภูมิอากาศแบบกึ่งแห้งแล้ง (semi-arid climate) สำหรับในบริเวณที่มีภูมิอากาศ

แบบชื้น (humid climate) และอบอุ่นชื้น (humid-temperate climate) นั้นจะไม่ค่อยพบการไหลแบบนี้ บทบาทของพืชพรรณนับว่าเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างที่วุ่นวาย พืชจะช่วยทำให้มีสิ่งปกคลุมดินหนาขึ้นเช่น เศษใบไม้ กิ่งไม้ และซากอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ อันจะทำให้เนื้อดินมีคุณสมบัติดีขึ้นจึงเป็นการเพิ่มให้อัตราการแทรกซึมสูงขึ้น นอกจากนั้นพืชยังช่วยขวางกั้นไม่ให้เม็ดฝนตกลงมากระทบเม็ดดินโดยตรงด้วย จึงนับได้ว่าพืชช่วยทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้นและยังช่วยสร้างชั้นดิน A (ดินชั้นบนสุด) ซึ่งมีอินทรีย์วัตถุผสมคลุกเคล้าอยู่มากอีกด้วยอันจะทำให้มีช่องว่างในดิน (pore) มากและการซาบซึมน้ำได้ (permeability) สูง ถ้าเม็ดฝนตกลงมากระทบกับผิวดินโดยพืชขวางกั้นแล้ว แรงกระแทกจะทำให้วัตถุละเอียดกระเด็นหลุดไปและลอยตัวอยู่ จากนั้นก็จะตกตะกอนอีกครั้งหนึ่งอันจะทำให้ผิวดินแทบไม่ซาบซึมน้ำ (impermeable) ซึ่งจะทำให้อัตราการรั่วซึมต่ำลงถึง 10 เท่า เพราะฉะนั้นพืชจึงมีอิทธิพลในการควบคุมการไหลผ่านโดยการทำให้การเก็บกักน้ำในแอ่งต่ำ (depression storage) ในตอนแรกและอัตราการแทรกซึมเพิ่มขึ้น ดังนั้นบริเวณที่มีพืชคลุมดินหนาแน่นจะมีการไหลผ่านเป็นไปอย่างปกติมาก สำหรับบริเวณพื้นดินที่ได้รับการเหยียบย่ำเนื่องจากสัตว์และยานพาหนะนั้นเท่ากับเป็นการไปลดอัตราการแทรกซึมและเพิ่มการเก็บกักน้ำในแอ่งต่ำ ดังนั้นอิทธิพลของการเหยียบย่ำนั้นจึงเป็นปัญหาที่ทำให้เกิดการไหลผ่านด้วยเช่นกัน

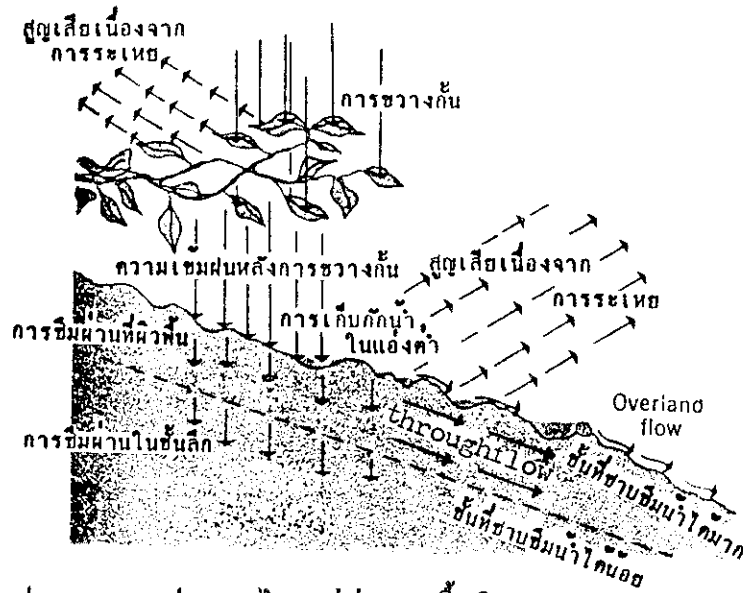
ภายในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็กซึ่งดินมีคุณสมบัติเหมือนกันมากหรือน้อยนั้น อาจจะคาดได้ว่าการขวางกั้น (interception) การเก็บกักน้ำในแอ่งต่ำและอัตราการแทรกซึมจะไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ดังนั้นการไหลผ่านจะเกิดขึ้นพร้อมกันทั่วทั้งลุ่มน้ำ ความเร็วปกติทั่ว ๆ ไปสำหรับการไหลผ่านจะเท่ากับ 200-300 เมตรต่อชั่วโมง ดังนั้นเมื่อฝนตกไปแล้วเป็นเวลา 1 ชั่วโมง น้ำทั้งหมดจากบริเวณของลุ่มน้ำที่อยู่ห่างจากธารน้ำขึ้นไป 200-300 เมตรก็จะไหลลงมาถึงทางน้ำไหล และการไหลบนผิวพื้นที่มีความชันนั้นก็จะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง เราสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ :

$$q_0 = (i - f) \cdot a \dots \dots \dots (1)$$

- ที่ซึ่ง :
- q_0 : อัตราการไหลของน้ำไหลผ่านต่อหน่วยความยาวของเส้นชั้นความสูง (contour length)
 - i : ความเข้มของฝนหลังจากผ่านการขวางกั้น (interception) แล้ว
 - f : อัตราการแทรกซึม
 - a : พื้นที่ระบายน้ำต่อหน่วยความยาวของเส้นชั้นความสูง (เท่ากับระยะทางจากแนวสันเขา (divide)¹ ถ้าเส้นชั้นความสูงทั้งหมดเป็นเส้นตรง)

1. แนวสันเขา (divide) หรือเรียกอีกอย่างว่า "สันปันน้ำ" (watershed) หมายถึง สันเนินซึ่งเป็นแนวเขตแบ่งระหว่างลุ่มน้ำ

ดังนั้นจะได้เงื่อนไขว่าถ้าความเข้มของฝนสูงพอ (หรืออัตราการรั่วซึมต่ำพอ) สำหรับการไหลแผ่ซ่านแบบนี้ ขนาดจริง ๆ ของการไหลจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หรือระยะทางของการไหลแผ่ซ่าน และเกือบจะไม่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่มียายุเลย เราเรียกการไหลแบบนี้ว่า “แบบจำลองการไหลแผ่ซ่านแบบฮอร์ตตัน” (Horton overland flow model) เพื่อเป็นเกียรติแก่ Dr. Horton ซึ่งเป็นผู้คิดแบบจำลองนี้

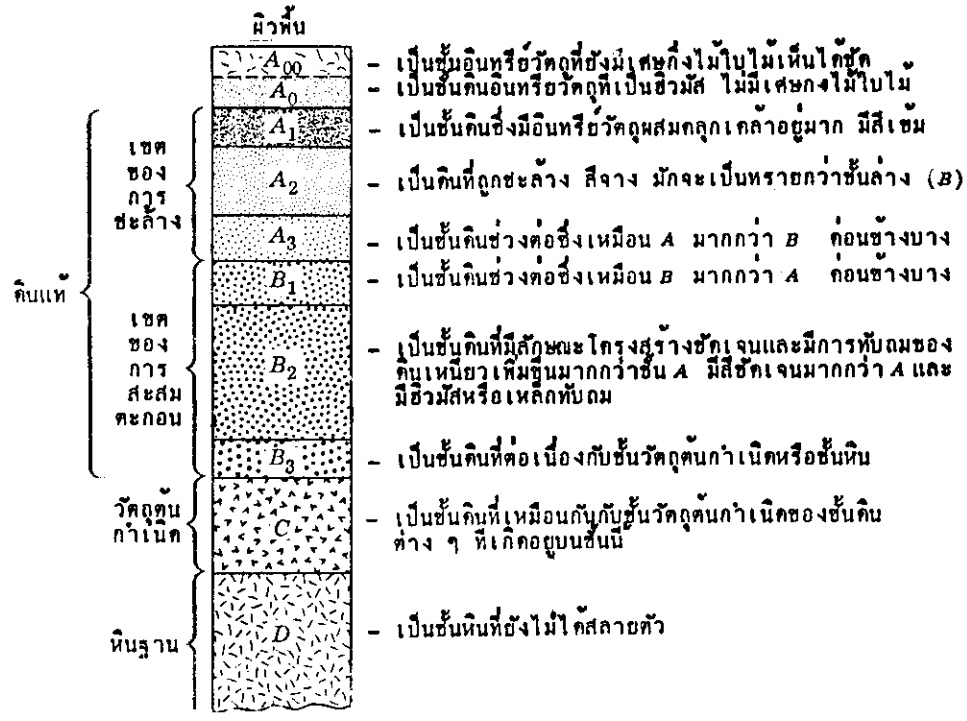


รูปที่ 5.1 ส่วนประกอบของฝน การไหลแผ่ซ่านบนพื้นดิน (overland flow) และการไหลซึม เบี่ยงเบนภายในดิน (throughflow)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Strahler, 1975. และ Kirby (a), 1977.

น้ำที่ซึมลงไปใตดินนั้นบางส่วนจะซึมผ่านลงไปชั้นล่างจนถึงระดับน้ำใต้ดิน (water table) บางส่วนซึ่งเป็นส่วนใหญ่จะไหลผ่านภายในชั้นต่าง ๆ ของดินลงสู่ไหลเขา (hillside) ซึ่งเรียกว่า “การไหลซึมเบี่ยงเบน” (throughflow) และจะระบายชดเชยลงสู่ลำธารในที่สุด (รูปที่ 5.1) ภายใตดินนั้นการซาบซึมน้ำได้ (permeability) จะแตกต่างกัน ในชั้นดินอินทรีย์ A₀ และชั้นดิน A₁ (เป็นชั้นดินที่มีการชะล้างมาก) จะมีการซาบซึมน้ำได้สูงที่สุด สำหรับชั้น B นั้นจะมีการซาบซึมน้ำได้ต่ำเนื่องจากว่าดินเหนียวถูกชะล้างลงมาสะสมอยู่ในชั้นนี้มากและในบางกรณีอาจเนื่องจากการเกิดชั้นดินแข็งขึ้นในชั้นนี้ เพื่อความเข้าใจเกี่ยวกับชั้นดินต่าง ๆ ดีขึ้นให้ดูตัวอย่างหน้าตัดดินซึ่งแสดงชั้นดินต่าง ๆ ทุกชนิดในรูปที่ 5.2 สำหรับสภาพในชั้นหินฐานต้นกำเนิด (parent bedrock) นั้นแตกต่างกันมากตั้งแต่จากหินปูน (limestone) ซึ่งมีรอยแยกและช่องเปิดให้น้ำซึมผ่านมากมายจนกระทั่งถึงดินเหนียว (clay) และหินดินดาน (shale) ซึ่งรวมกันเป็นชั้นแผ่นแข็งจนไม่สามารถซาบซึมน้ำได้ (impermeable) เลย ไม่ว่าที่ใดก็ตามการซาบซึมน้ำได้ (permeability) จะลดลงเมื่อลึกลงไปใตดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ฐานของชั้นดิน A น้ำบางส่วนที่ซึมผ่านลงไปข้างล่างนั้นจะไม่สามารถแทรกซึม

เข้าไปในชั้นล่างได้เร็วพอจึงทำให้ซึมบายเบนไปทางด้านข้างภายในดินชั้นบน จึงทำให้กลายเป็นการไหลซึมเบียงเบน (throughflow) ไป ปรากฏการณ์นี้คล้ายกับการเกิดการไหลผ่านแบบ Horton ต่างกันแต่ว่าภายในดินนั้นการซาบซึมน้ำได้จะค่อย ๆ ลดลงทีละน้อยอันเป็นเหตุทำให้เกิดการซึมหันเหไปทางด้านข้าง



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างหน้าตัดดินซึ่งแสดงชั้นดินต่าง ๆ ทุกชนิด
ที่มา : Strahler, 1975.

ถ้าฝนตกติดต่อกันเป็นเวลานาน ๆ ชั้นดินจะอิ่มตัวไปด้วยน้ำและจะทำให้การไหลซึมผ่านด้านข้างอยู่ใกล้ผิวดินมากขึ้น ดังนั้นดินชั้นบนซึ่งเป็นชั้นที่ซาบซึมน้ำได้มากกว่าจะมีอยู่เต็มไปหมดจากฐานของมันเพราะว่าการไหลซึมเบียงเบนไม่สามารถจะพาน้ำไหลไปได้เร็วพอ ด้วยเหตุนี้ดินจึงอิ่มตัวจนกระทั่งถึงผิวดินและจะทำให้เกิด "การไหลผ่านแบบอิ่มตัว" (saturation overland flow) ภายใต้การฝนตกอย่างสม่ำเสมอ การไหลบนพื้นดินแบบอิ่มตัวที่เกิดขึ้นนั้นต้องการความเข้มของฝนน้อยกว่าการไหลผ่านแบบ Horton เนื่องจากความหนาของดินและความเร็วของการไหลซึมเบียงเบนแตกต่างกับบนพื้นที่เล็ก ๆ มากกว่าการซาบซึมน้ำได้ และเนื่องจากฐานของความลาดเอียง

สามารถอ้อมตัวได้เร็วกว่าแนวสันเขา ดังนั้นบริเวณไหล่เขาดูเหมือนว่าจะทำให้เกิดการไหลแผ่ซ่านแบบอ้อมตัวได้ดีกว่าการไหลแผ่ซ่านแบบ Horton

การไหลซึมผ่านด้านข้างจะไหลผ่านช่องว่างในดินได้มากกว่าบนผิวดินและเคลื่อนที่ในอัตราความเร็วที่ช้ากว่าการไหลแผ่ซ่านมาก การไหลซึมผ่านด้านข้างจะมีอัตราการไหลอยู่ระหว่าง 20-30 ซม./ชม. ซึ่งต่ำกว่าอัตราการไหลของการไหลแผ่ซ่านถึงหนึ่งพันเท่า ดังนั้นการที่จะทำให้การไหลอย่างสม่ำเสมอเกิดขึ้นโดยตลอด ลุ่มน้ำแห่งหนึ่งนั้นจะต้องมีฝนตกเป็นระยะเวลาถึง 1,000 ชั่วโมงซึ่งในทางปฏิบัตินั้นการไหลอย่างสม่ำเสมอเช่นนี้ไม่มีโอกาสเกิดขึ้นได้เลยสำหรับการไหลแผ่ซ่าน และดังนั้นสมการแรกสำหรับการไหลแผ่ซ่านต้องถูกแทนด้วยสมการที่สองข้างล่างนี้สำหรับการไหลซึมผ่านด้านข้าง :

$$q_i = (p - f_i) \cdot v_i \dots\dots\dots(2)$$

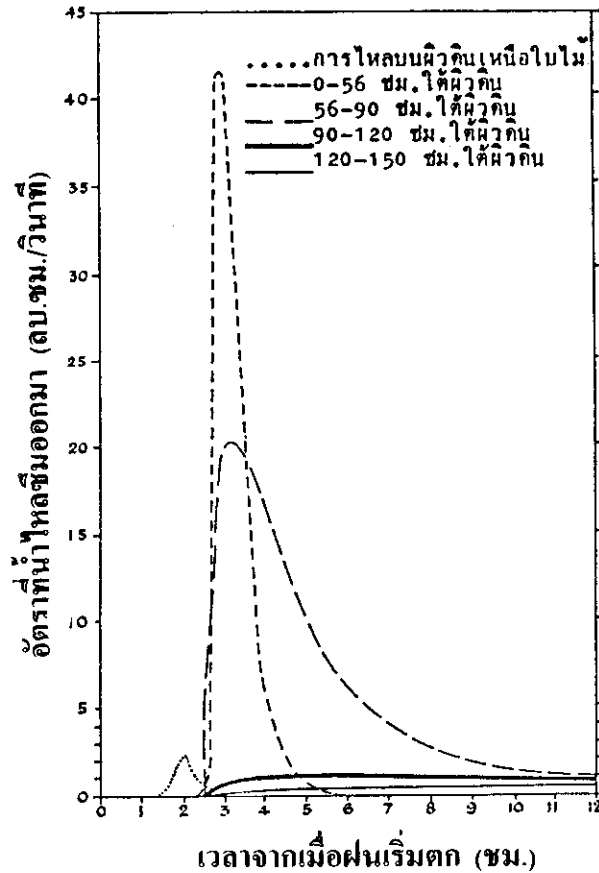
- ที่ซึ่ง :
- q_i : อัตราการไหลของน้ำใต้ผิวดินต่อหน่วยความยาวของเส้นชั้นความสูง (contour length)
 - p : อัตราการซึมผ่านพื้นผิวซึ่งเท่ากับ i หรือ r ขึ้นกับว่าอันไหนเล็กกว่า
 - f_i : อัตราการแทรกซึมที่ฐานของชั้นดินที่ซาบซึมน้ำได้มาก
 - v_i : ความเร็วของการไหลของน้ำใต้ผิวดิน
 - t_i : เวลาที่ผ่านมา (v_i ควรแทนด้วยพื้นที่/หน่วยความยาวของเส้นชั้นความสูงภายในระยะทาง v_i บนความลาดเอียง)

ในสมการนี้เวลาที่ผ่านไปเป็นตัวควบคุมที่สำคัญที่สุดต่อการไหล (จะเป็นระยะทางจากแนวสันเขาสำหรับกรณีของการไหลแผ่ซ่านแบบ Horton) ตามความเป็นจริงแล้วเวลาของการซึมผ่านจากผิวพื้นไปยังเขตที่มีการซาบซึมน้ำได้ลดลงจะเป็นตัวการที่ทำให้การไหลนั้นช้าลง ช่วงเวลาอาจจะเป็นหลายนาทีหรือสองสามชั่วโมงก็ได้

ถ้าน้ำที่ไหลออกมาจากดินในระดับความลึกต่าง ๆ วัดจากพายุที่มีความชื้นของฝนสม่ำเสมอแล้วในช่วงเวลาแรกนั้นจะไม่มีน้ำไหลหรือมีน้อยมากและการไหลนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาต่อมา (แต่การเพิ่มขึ้นนี้จะไม่เป็นเส้นตรงเนื่องจาก v ในสมการผันแปรได้) จนกระทั่งเมื่อฝนหยุดตก หลังจากนั้นการไหลจะลดลงในอัตราที่ช้ากว่าเมื่อตอนเพิ่มขึ้น ในรูปที่ 5.3 ได้แสดงค่าจริงของพายุฝนที่มีความชื้น 5.1 ซม./ชม. ซึ่งตกเป็นเวลา 2 ชั่วโมงบนดินที่มีคุณสมบัติตามที่ได้อธิบายไว้ในตารางที่ 5.2 มันเป็นไปได้ชัดจากรูปที่ 5.3 ว่าถึงแม้พายุฝนจะมีความชื้นสูง แต่การไหลแผ่ซ่านแบบ Horton มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และการไหลซึมผ่านด้านข้างในชั้นดินที่ตื้นกว่าจะช้ากว่าในชั้นดินที่ลึกกว่าเนื่องจากช่วงเวลาล้า (time lag) สำหรับการซึมผ่านของน้ำลงไปในดิน ต่อมาก็จะเกิดการอ้อมตัวจากข้างล่างขึ้นไปบริเวณพื้นที่ลาดชันที่สามารถกลายเป็นเขตอ้อมตัวได้และมีน้ำไหลแผ่ซ่าน

แบบอิ่มตัว (saturation overland flow) เกิดขึ้นบ่อยที่สุดคือ

1. พื้นที่ที่อยู่ติดต่อกับธารน้ำที่มีน้ำไหลตลอดทั้งปี
2. บริเวณไหล่เขา หุบเขา หรือหลุม
3. พื้นที่ที่มีดินที่ไม่ยอมซึมน้ำหรือชั้นดินบาง



รูปที่ 5.3 อัตราการไหลของน้ำภายในดินจากพายุจำลองที่ทำขึ้นซึ่งมีความเข้ม 5.1 ซม./ชม. เป็นเวลาต่อเนื่องกัน 2 ชั่วโมงบนพื้นที่ลาดชัน 18 องศาซึ่งมีการระบายน้ำมาแล้วเป็นเวลามากกว่า 4 วัน การไหลผ่านแบบ Horton (Horton overland flow) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอันเป็นผลจากผิวดินแห้งซึ่งมีการซึมน้ำต่ำในช่วงแรก การไหลผ่านช้าลงก่อนที่การไหลซึมเบี่ยงเบน (throughflow) เริ่มขึ้นอันเป็นเวลาทีผิวดินลงไปใต้อันจนถึงระดับความลึก 90 ซม. ซึ่งเป็นชั้นที่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้น้อย

ที่มา : Whipkey, 1965.

ตารางที่ 5.2 ความเปลี่ยนแปลงของการซบซึมน้ำได้และชนิดของดินกับความลึกของดินในป่า
แห่งหนึ่งซึ่งมีความชัน 15 องศา

ความลึกของดิน (ซม.)	ชั้นของเนื้อดิน	ความหนาแน่น ของความจุ (กรัม/ลบ.ซม.)	การซบซึมน้ำได้ จนถึงจุดอิ่มตัว (มม./ซม.)
0 - 56	ดินทราย	1.33	—
56 - 90	ดินทราย	1.41	286
90 - 120	ดินร่วน	1.78	17
120 - 150	ดินเหนียว	1.80	2

ที่มา : Whipkey, 1965.

3. พื้นที่ให้น้ำแก่สายน้ำ

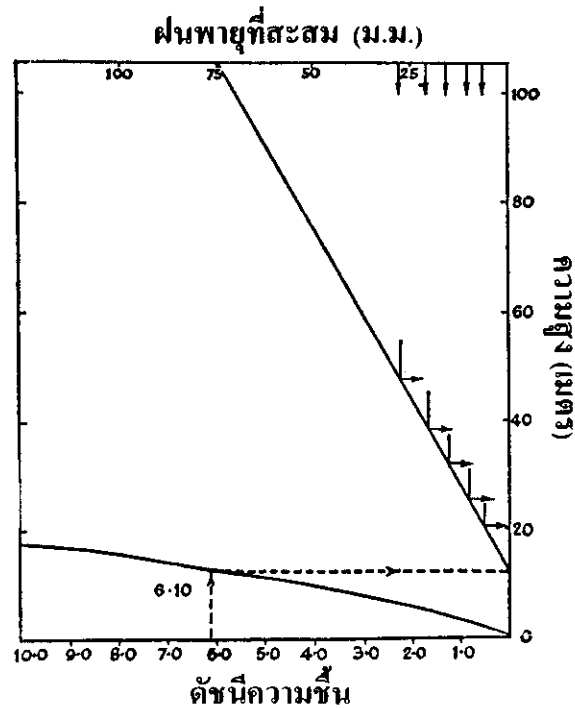
บริเวณเขตชั้นที่มีการไหลแผ่ซ่าน (overland flow) เกิดขึ้นนาน ๆ ครั้งและมีอัตราการความเร็วของการไหลซึมเบี่ยงเบน (throughflow) ช้ามากจะพบว่าส่วนใหญ่ของน้ำฝนที่ตกลงมาบนลาดเขา (hillslope) นั้นจะไหลลงมาถึงธารน้ำได้ก็ต่อเมื่อหลังจากที่ฝนหยุดตกไปแล้วและยอดน้ำท่วมของลำน้ำได้ผ่านพ้นไปแล้ว หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างว่า น้ำจากพื้นที่ให้น้ำขนาดเล็กเท่านั้นที่สามารถไหลลงมาถึงธารน้ำได้ทันทีที่จะให้น้ำแก่ลักษณะระดับน้ำท่วม (flood hydrograph) ของลำน้ำได้ "พื้นที่ให้น้ำ" (contributing area : Ac) แบบที่ง่ายที่สุดสำหรับพายุฝนที่มีความเข้มคงที่คืออัตราส่วนระหว่างอัตราการไหลของลำน้ำ (stream discharge) และความเข้มของฝนตก (rainfall intensity) หรือสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ :

$$Ac = \frac{\text{อัตราการไหลของกระแส น้ำ}}{\text{ความเข้มของฝน}}$$

ในบริเวณไหนที่ความเข้มของฝนตกเปลี่ยนแปลงระหว่างที่มีพายุก็ให้ใช้ค่าเฉลี่ยโดยมุ่งหาจากความเข้มของฝนในครั้งล่าสุด พื้นที่ให้น้ำจะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในระหว่างที่มีพายุ (ดูรูปที่ 5.4) และจะให้น้ำสูงที่สุดที่ประมาณเวลาเดียวกันกับที่ลำน้ำมีอัตราการไหลสูง การวัดพื้นที่ให้น้ำสามารถทำได้จากการไหลของน้ำบนไหลเขา 2 ชนิดคือ (1) การไหลแผ่ซ่าน 100% และ (2) การไหลซึมเบี่ยงเบน 100% ในระหว่างการไหลแผ่ซ่าน 100% นั้น น้ำจากส่วนต่าง ๆ ทั้งหมดของกลุ่มน้ำจะไหลลงมาถึงธารน้ำภายในประมาณหนึ่งชั่วโมง ดังนั้นถ้าหากมีพายุฝนเกินหนึ่งชั่วโมง พื้นที่ให้น้ำจะเท่ากับ

ค่าที่ได้จากการคำนวณจะมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ระบายทั้งหมด

$$A_c = \frac{\text{ความเข้มของฝนตก} - \text{การรั่วซึม}}{\text{ความเข้มของฝนตก}} \times 100\%$$



รูปที่ 5.4 การแปรผันของพื้นที่ให้น้ำ (contributing area) ซึ่งพิจารณาได้จากพื้นที่ไต้ระดับความสูงที่แสดงในภาพกับสถานะของความชื้นแรกเริ่มและฝนพายุที่ได้สะสมเอาไว้

ที่มา : T.V.A., 1964.

ในพื้นที่ที่มีพืชและดินบางหรือไม่มีเลยนั้น พื้นที่ให้น้ำจะให้ น้ำเป็นจำนวนมากซึ่งถ้าหากมีพืชคลุมดินน้อยกว่า 36% ของพื้นที่แล้ว จะให้น้ำถึง 85% ของพื้นที่ให้น้ำนั้น สำหรับในระหว่างการไหลซึมผ่าน 100% นั้นพื้นที่ให้น้ำจะประกอบด้วย :-

1. พื้นที่ของธารน้ำเองซึ่งปกติจะเท่ากับ 1-5% ของพื้นที่ระบายน้ำนั้น
2. พื้นที่ที่มีดินเกือบอิ่มตัวหรืออิ่มตัว (ปกติจะอยู่ติดกับธารน้ำ) ซึ่งจะไวมากต่อการเปลี่ยนแปลงในความเข้มของฝน
3. แนวพื้นที่แคบ ๆ ของไหลเขารอบ ๆ พื้นที่ที่อิ่มตัวซึ่งความกว้างหาได้จากอัตราการไหลซึมเบี่ยงเบน ที่ช้าในดินที่ไม่อิ่มตัว

ค่าจริงของพื้นที่ให้น้ำสำหรับลุ่มน้ำที่เพิ่มขึ้นนั้นปกติจะอยู่ระหว่างช่วง 10-30% ขึ้นอยู่กับดิน ความชื้นของเนินเขา การใช้ที่ดิน และเนื้อดินที่ระบายน้ำ

ปัจจัยของดินที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ให้น้ำได้แก่อัตราการแทรกซึมและความหนาของเขตที่ ซาบซึมน้ำได้ สิ่งนี้พิสูจน์ให้เห็นว่าพื้นที่ให้น้ำจะสอดคล้องกับพื้นที่ที่มีดินบางในลุ่มน้ำขนาดเล็ก ความชันความลาด (slope gradients) จะมีอิทธิพลต่ออัตราการไหลซึมเบี่ยงเบน ซึ่งจะทำให้เกิดการ แพร่กระจายของดินที่อึดตัวและการไหลแผ่ซ่านแบบอึดตัว พืชคลุมดินและการเพาะปลูกจะมี ผลกระทบอย่างรุนแรงต่อการซาบซึมน้ำได้ (permeability) ของชั้นดินที่ผิวพื้น กล่าวคือ พืชที่คลุมดิน อยู่ นั้นจะช่วยลดแรงกระแทกของเม็ดฝนที่มีต่ออนุภาคของดินลง และการเพาะปลูกนั้นจะมีผลต่อการ เก็บกักน้ำในแอ่งต่ำและโครงสร้างของดินในลุ่มน้ำที่มีความหนาแน่นของการระบายน้ำสูงนั้น พื้นที่ขนาดใหญ่ของลาดเขา (hillslope) จะอยู่ใกล้กับธารน้ำ ดังนั้นภายใต้การไหลแผ่ซ่านแบบ Horton นั้นจะมีช่วงเวลาล่า (time lag) ที่สั้นอย่างมีนัยสัมพัทธ์ระหว่างเมื่อตอนฝนเริ่มตกและตอนที่ พื้นที่ให้น้ำมากที่สุด จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้จะไม่เป็นอิสระต่อกันและกัน แต่จะมี อิทธิพลแยกกันต่อพื้นที่

สำหรับน้ำที่ไหลอยู่ใต้ท้องลำน้ำ (stream baseflow) นั้นจะได้รับน้ำจากแหล่ง 2 แหล่งคือ

1. **ระดับน้ำใต้ดิน (water table)** น้ำใต้ดินจะได้รับน้ำจากการไหลซึมผ่านลงไปได้ดิน (percolation)¹ ในระดับลึก ๆ ของน้ำ บริเวณที่มีชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifer)² ปรากฏเด่นชัดจะเป็นแหล่งให้ น้ำต่อการไหลใต้ท้องลำน้ำค่อนข้างใหญ่

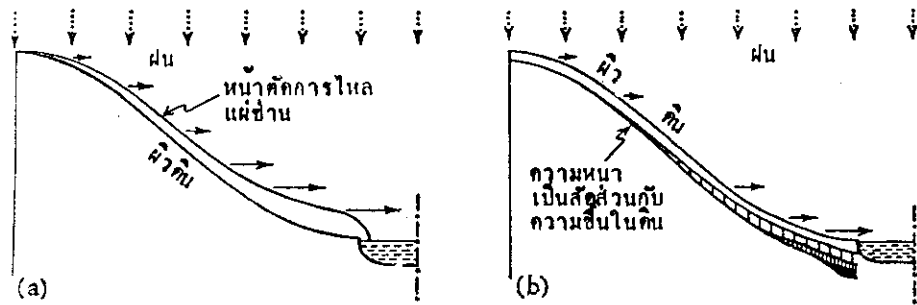
2. **การไหลซึมเบี่ยงเบน (throughflow)** ส่วนใหญ่ของการไหลในใต้ท้องลำน้ำจะมาจาก การไหลซึมเบี่ยงเบนในดินซึ่งจะใช้เวลาเป็นเดือนกว่าที่น้ำจะไหลซึมผ่านดินจากพื้นที่ระหว่าง แม่น้ำสองสาย (interfluvial areas) ลงมาถึงธารน้ำได้ แต่เมื่อไหลลงมาถึงธารน้ำแล้วจะให้น้ำอย่าง เต็มต่อการไหลใต้ท้องลำน้ำในหลายพื้นที่ด้วยกัน

จากองค์ประกอบทั้งหมดที่ได้อธิบายมานี้จะพบว่าน้ำฝนซึ่งโดยมากจะไหลซึมเบี่ยงเบน นั้นเป็นตัวกำหนดที่ทำให้การไหลในกระแสน้ำทั้งสูงและต่ำอันเป็นเหตุทำให้พื้นที่บริเวณนั้นให้น้ำ เป็นปริมาณสูงในระหว่างที่มีพายุฝน ดังนั้นส่วนใหญ่ของน้ำไหลบ่าทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระหว่างพายุ ก็จะทำให้มีน้ำขังน้อยลงด้วยหลังจากที่การไหลของน้ำหลาก (flood flows) ได้ลดลงไปแล้ว เพราะ ฉะนั้นจึงทำให้การไหลใต้ท้องลำน้ำลดลง

1. Percolation หมายถึง การซึมผ่านของน้ำลงไปได้ดินในทิศทางแนวดิ่ง

2. ชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifer) หมายถึง หินประเภทที่น้ำซึมผ่านได้ซึ่งแทรกอยู่ระหว่างชั้นของหิน ที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ ตัวอย่างของชั้นหินอุ้มน้ำได้แก่ หินทรายและหินปูน (ซึ่งน้ำซึมผ่านได้) ที่แทรกตัว อยู่ระหว่างชั้นของหินดินดาน (ซึ่งน้ำซึมผ่านไม่ได้)

ความแตกต่างที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งระหว่างการไหลแผ่ซ่านและการไหลซึมเบี่ยงเบน ก็คือ การไหลแผ่ซ่านนั้นเป็นน้ำฝนที่กำลังตกจริง ๆ ซึ่งจะไหลลงสู่ลำน้ำในระหว่างที่มีพายุฝน (ดูรูปที่ 5.5 (a)) ส่วนการไหลซึมเบี่ยงเบนนั้น น้ำส่วนมากที่ไหลลงสู่ลำธารจะไม่เหมือนกัน ในทางกายภาพกับน้ำฝนซึ่งกำลังตกอยู่เนื่องจากช่วงเวลาล่า (time lag) เข้ามาเกี่ยวข้องกับ Kirkby (1969) ได้แสดงการทดลองการแทรกซึมซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำเกือบทั้งหมดที่ไหลผ่านดินจะไหลออกจากในที่ซึ่งมันไหลเข้าเป็นลำดับ



รูปที่ 5.5 แบบการไหลบนลาดเขา (hillslope flow) ในระหว่างที่มีการไหลแผ่ซ่านแบบ Horton (Horton overland flow) และการไหลซึมเบี่ยงเบน (throughflow) ความยาวของลูกศรแสดงถึงความมากน้อยของอัตราการไหลของน้ำบนดินและภายในดิน

- (a) แสดงการไหลแผ่ซ่านแบบ Horton ความหนาของชั้นน้ำบนผิวดินที่วาดในภาพแสดงสัดส่วนของความหนาจริง
- (b) แสดงการไหลซึมผ่านด้านข้าง ความหนาของชั้นของน้ำที่วาดไว้จะเป็นสัดส่วนกับความจุความชื้นในดิน (soil moisture content) ความชื้นในดินที่ได้จากฝนที่ตกลงมาก่อนกว่าจะแสดงด้วยชั้นที่เลเยาะข้มกว่า ชั้นใต้ดินนี้ไม่ได้รวมถึงความลึกของการแทรกซึมลงในดิน

ที่มา : Kirkby (a), 1977.

นี่หมายความว่าน้ำที่ซึมลงไปนั้นจะต้องแทนที่น้ำในดินทั้งหมดก่อน ก่อนที่ตัวของมันเองจะไหลลงสู่ลำน้ำ (ดูรูปที่ 5.5 (b)) ดังนั้นน้ำส่วนมากที่ไหลลงสู่ลำน้ำ (แม้แต่ในช่วงที่มีน้ำไหลเป็นปริมาณสูงก็ตาม) จะถูกขังอยู่ในดินเป็นอาทิตย์ ๆ หรือเป็นเดือน ๆ จนกระทั่งทำให้เกิดภาวะสมดุลทางเคมี (chemical equilibrium) กับดิน

4. การกัดกร่อนของดินโดยน้ำ

การกัดกร่อนของดิน (soil erosion) หรือเรียกอีกอย่างว่า “ภัยการของดิน” หมายถึงการที่ดินถูกฝนและแม่น้ำลำธารกัดชะไป หรือถูกลมพัดพาไปจนกร่อนบางลงหรือหมดไปในที่สุด สำหรับการกัดกร่อนของดินโดยน้ำนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระแทกของเม็ดฝนที่มีต่อผิวดิน จึงทำให้น้ำกัดชะและพัดพาเอาอนุภาคของดินและวัตถุต่าง ๆ บนไหล่เขา (hillside) ลงมาอันเป็นเหตุทำให้เกิดการพังทลายของดินเป็นแบบริ้วธาร (rill) ร่องธาร (gully) และลำธาร (channel) ในที่สุด การไหลซึมเบื้องบน (throughflow) จะหอบเอาวัตถุที่อยู่ในรูปของสารละลาย (solution) และในรูปของสารแขวนลอย (suspension) ภายในมวลของดินลงสู่ที่ต่ำ และในบางกรณีจะหอบเอาวัตถุลงมาเป็นแนวรางซึ่งถ้าดินบริเวณนั้นมีการซาบซึมน้ำได้ (permeability) ดีมากก็อาจทำให้เกิดเป็นอุโมงค์เล็ก ๆ ใต้ดินได้ เช่น อุโมงค์ใต้ดินในภูมิประเทศแบบคาร์สต์ (Karst topography)¹ การไหลแผ่ซ่าน (overland flow) จะพัดพาเอาอนุภาคของดินที่ถูกกัดชะโดยฝนลงสู่ที่ต่ำจนอาจทำให้เกิดการกัดกร่อนเป็นธารน้ำได้ซึ่งบางทีอาจจะกลายเป็นโครงข่ายธารน้ำถาวรได้ด้วยเหตุที่วัตถุอื่น ๆ ถูกขบวนการการไถล (mass-wasting processes)² กำจัดไปในระหว่างพายุเหล่านั้น

4.1 ขบวนการที่เกี่ยวข้อง

การกัดกร่อนของดินโดยน้ำนี้เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่าง ๆ 3 กระบวนการตามขั้นตอนดังนี้คือ :-

1. *Detachability* หมายถึง ชีตความสามารถในการกัดชะของน้ำซึ่งทำให้อนุภาคของดินแตกตัวหลุดออกจากกัน โดยปกติแล้วชีตความสามารถในการกัดชะดินของน้ำ (soil detachability) จะมีมากขึ้นถ้าหากอนุภาคของดินมีขนาดโตขึ้นเพราะว่าการยึดเหนี่ยวของดินที่มีขนาดโตมีน้อย ขบวนการนี้นับเป็นจุดเริ่มต้นของการกัดกร่อน

2. *Transportability* หมายถึง ความสามารถในการเคลื่อนย้ายเอาอนุภาคของดินที่ถูกกัดชะให้ไหลลอยไปกับน้ำ ถ้าหากอนุภาคของดินมีขนาดเล็กลงจะทำให้ความสามารถในการเคลื่อนย้ายดินของน้ำ (soil transportability) มีมากขึ้นเพราะว่ายิ่งดินมีขนาดเล็กลงก็ยิ่งมีน้ำหนักเบาลง (ดูตารางที่ 5.3) บนผิวดินที่ปราศจากพืชนั้น อัตราการเคลื่อนย้ายมวล (mass transport rate) ทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น

1. ภูมิประเทศแบบคาร์สต์ (Karst topography) เป็นภูมิประเทศที่มีพื้นที่เป็นหินปูนซึ่งน้ำฝนน้ำไหลป่าชะละลายหินออกไปมากจนเป็นตะปุ่มตะป่ำ เต็มไปด้วยหลุมบ่อ ถ้ำ และทางน้ำใต้ดินที่น้ำละลายเอาเนื้อปูนแทรกซึมหายไป

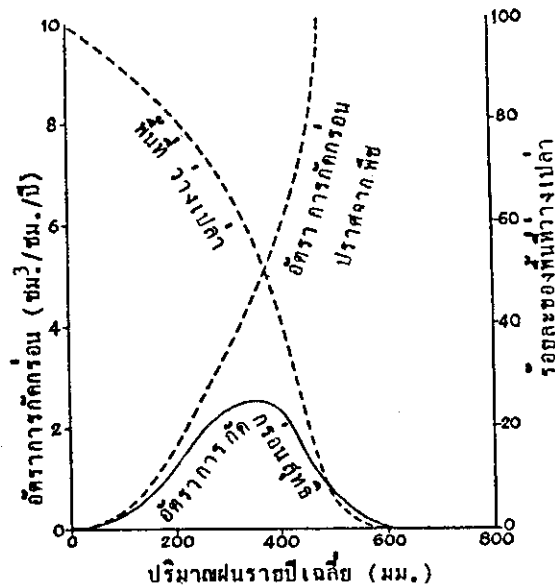
2. ขบวนการการไถล (mass-wasting processes) หมายถึงขบวนการที่ผิวดิน ดิน หรือหินเคลื่อนตัวลงตามความลาดของพื้นที่อันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลก เกิดเพราะน้ำฝนหรือหิมะละลายทำให้สั้น

ตารางที่ 5.3 ซึ่คความสามารถของน้ำในการเคลื่อนย้ายอนุภาคของดินขนาดต่าง ๆ

ขนาดของอนุภาคดิน (ม.ม.)	ระยะทางที่น้ำหอบเอาอนุภาคของดิน (ซ.ม.)
4	20
2	40
เล็กกว่า 2	150

ที่มา : ดัดแปลงจาก Kirkby (b), 1977.

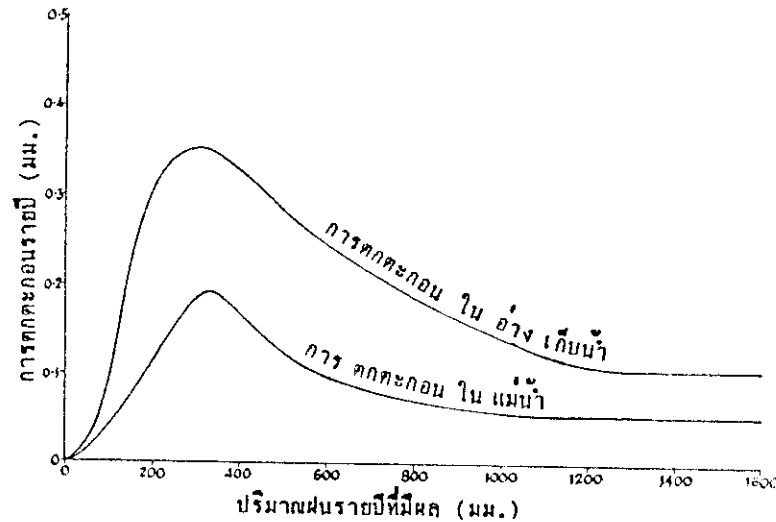
พร้อมกับปริมาณฝน อย่างไรก็ตาม เพราะว่าปริมาณพืชคลุมดินก็เพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำฝนด้วย และพืชยังป้องกันผิวดินจากการปะทะของเม็ดฝนอีกด้วย ดังนั้นการเคลื่อนย้ายมวล (mass transport) จึงไม่เพิ่มขึ้นอย่างไม่มีขีดจำกัดพร้อมกับปริมาณน้ำฝน แต่จะถึงขีดสูงสุดที่จุดหนึ่งและจากนั้นก็ลดลงถึงแม้ปริมาณฝนจะเพิ่มขึ้นอีกก็ตาม (ดูรูปที่ 5.6) Transportability เป็นขบวนการที่เกิดขึ้นต่อเนื่องจาก detachability



รูปที่ 5.6 การคลุมดินด้วยพืช การกัดกร่อนบนพื้นดินว่างเปล่า และการกัดกร่อนภายใต้พืชพรรณธรรมชาติซึ่งจะผันแปรไปตามปริมาณน้ำฝนรายปีเฉลี่ย

ที่มา : Kirkby (b), 1977.

3. **Deposition** หรือ **Sedimentation** หมายถึง การตกตะกอนเนื่องจากความเร็วของน้ำไหลช้าลงหรืออนุภาคของดินไปปะทะกับสิ่งกีดขวาง เช่น เขื่อนกั้นน้ำ หรือบริเวณปากน้ำต่าง ๆ ทำให้เกิดการตกตะกอนในอ่างเก็บน้ำหน้าเขื่อน หรือเกิดเป็นสันดอนตามปากแม่น้ำทั่ว ๆ ไป การตกตะกอนในลำน้ำจะมีน้อยกว่าในอ่างเก็บน้ำทั้งนี้เนื่องจากว่าน้ำในลำน้ำมีอัตราการไหลเร็ว ในขณะที่น้ำในอ่างเก็บน้ำมีอัตราการไหลช้ากว่ามากหรือเกือบจะเป็นน้ำนิ่ง (ดูรูปที่ 5.7)



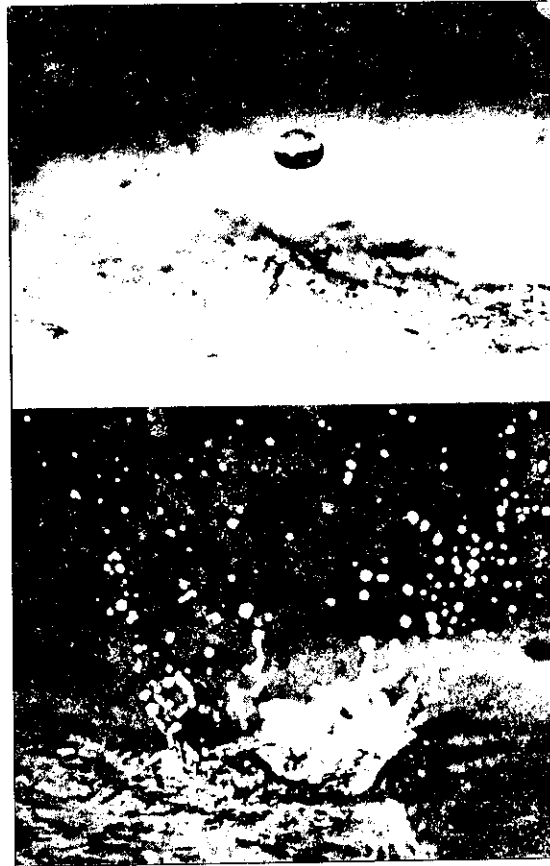
รูปที่ 5.7 การผันแปรของอัตราการตกตะกอนในลุ่มน้ำทั้งหมดกับปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยที่มีผลทำให้เกิดการกัดกร่อนสำหรับแม่น้ำ (มีพื้นที่เฉลี่ย 4,000 กม.²) และอ่างเก็บน้ำ (มีพื้นที่เฉลี่ย 80 กม.²)

ที่มา . Langbein and Schumm, 1958.

4.2 ชนิดของการกัดกร่อนโดยน้ำ

การกัดกร่อนของดินโดยน้ำที่เกิดขึ้นทั่ว ๆ ไปนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิดด้วยกันคือ :-

1. การกัดกร่อนเนื่องจากความแรงของเม็ดฝน (*splash erosion*) ในเวลาที่ฝนตกนั้น ความแรงของเม็ดฝนที่ตกกระทบผิวดินทำให้อนุภาคของดินกระเด็นหลุดออกจากกันและถูกน้ำพัดพาไหลไปในที่สุด(ดูรูปที่ 5.8)หรืออาจกล่าวได้ว่าเม็ดฝนเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ดินพัง ส่วนน้ำไหลบ่าหน้าดิน (*surface runoff*) ทำหน้าที่ส่วนใหญ่ในการพัดพาดินที่ถูกฝนกัดชะแล้วให้ไหลไปเท่านั้น แรงปะทะของเม็ดฝนทำให้สูญเสียดินมากกว่าการถูกชะล้างโดยน้ำไหลบ่าหน้าดินประมาณ 50 ถึง 90 เท่า ถ้าหากเม็ดฝนมีขนาดใหญ่ขึ้นและความเร็วที่ตกลงมาปะทะดินเร็วมากขึ้นจะยิ่งทำให้



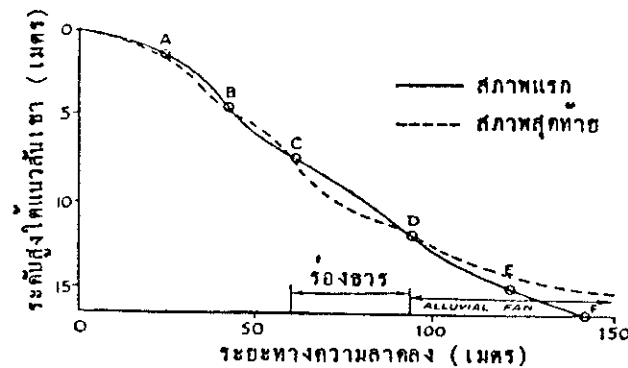
รูปที่ 5.8 หยดน้ำฝนขนาดใหญ่ (บน) กำลังตกลงมาบนผิวดินเปียกและทำให้เกิดเป็นปล่อง
 ภูเขาไฟขนาดเล็ก (ล่าง) เมื่อกระทบกับผิวดิน เม็ดดินเหนียวและดินตะกอนถูกเหวี่ยง
 ขึ้นไปในอากาศและตกลงมาบนผิวดินอีกครั้งหนึ่ง

ที่มา : Strahler, 1975.

สูญเสียดินเพิ่มมากขึ้นเป็นทวีคูณ ดังนั้นขนาดของเม็ดฝนและความเร็วที่ตกลงมาปะทะดินนับว่า
 มีความสำคัญมาก

2. การกัดกร่อนแบบผิวแผ่น (*sheet erosion*) เกิดจากแรงปะทะของเม็ดฝน ประกอบกับ
 น้ำฝนไหลบ่าลงสู่ร่องห้วยธารต่าง ๆ ไม่ทัน จึงไหลแผ่ซ่านไปตามพื้นดินที่ต่ำกว่า ทำให้ผิวดินถูก
 ชะล้างเป็นบริเวณกว้างอย่างสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งพื้นที่ บริเวณที่ปราศจากพืชคลุมดิน มีดินตื้นและ
 ร่วนจะง่ายต่อการเกิดการกัดกร่อนแบบผิวแผ่น การกัดกร่อนแบบนี้จะชะล้างเอาแร่ธาตุในดิน
 ไปหมด

3. การกัดกร่อนแบบริ้วธาร (rill erosion) เป็นกระบวนการต่อเนื่องจากการกัดกร่อนแบบผิวแผ่ เมื่อฝนตกมาก ๆ เข้าปริมาณน้ำจะรวมตัวกันไหลลงสู่ที่ต่ำและมีอัตราเร็วพอที่จะกัดเซาะพื้นผิวที่ไม่เรียบให้เป็นริ้วรอยจนเกิดเป็นร่องน้ำเล็ก ๆ ขึ้นได้ ถ้าการกัดเซาะยังมีอยู่ต่อไป ร่องน้ำเล็ก ๆ นี้ก็จะรวมกันเป็นร่องธารที่ใหญ่ขึ้นได้ การกัดกร่อนแบบริ้วธารมักเกิดในบริเวณพื้นที่ซึ่งมีความลาดเทเล็กน้อยและไม่สม่ำเสมอ ความกว้างและความลึกของริ้วธารมีขอบเขตจำกัด คือกว้างไม่เกิน 18 นิ้ว (45 ซม.) และลึกไม่เกิน 12 นิ้ว (30 ซม.) ริ้วรอยเล็ก ๆ ที่ถูกกัดเซาะนี้สามารถใช้เครื่องมือไถพรวนแบบธรรมดาไถกลับให้หายไปได้อย่างง่ายดาย หรืออาจจะใช้วิธีการเพาะปลูก (cultivation) เพื่อช่วยคลุมดิน ยึดดินและป้องกันการปะทะหน้าดินจากเม็ดฝน บริเวณลาดเขาที่มีพื้นที่ที่เป็นการไถพรวนเพื่อกำจัดริ้วธารสลับกับพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะแบบผิวแผ่นั้น การกัดกร่อนแบบริ้วธารจะพยายามกัดเซาะพื้นที่ที่ถูกไถพรวนซึ่งมีหน้าตัดหรือระดับไม่สม่ำเสมอให้เรียบขึ้น และในที่สุดก็จะเซาะต่อไปทำให้มีลักษณะนูนขึ้นและเว้าลง (convexo-concave form) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.9



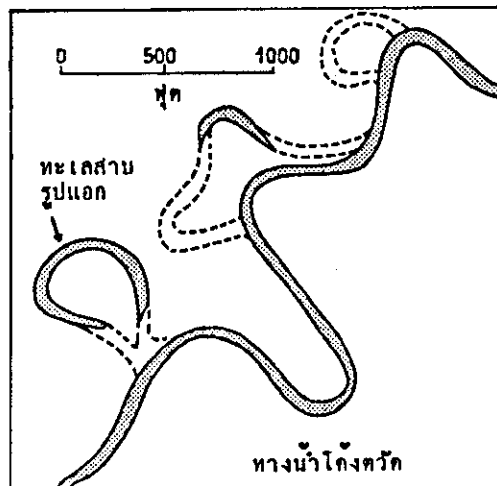
รูปที่ 5.9 การกัดกร่อนและการตกตะกอนโดยการชะล้างผิวหน้าดินและร่องธารเล็ก ๆ (หรือริ้วธาร) ในพื้นที่ที่ได้รับการไถพรวน ในรูปแสดงหน้าตัดตามยาวทั่ว ๆ ไปของทุ่งกว้างซึ่งแสดงการกัดกร่อนสุทธิหรือการตกตะกอนบนมาตราส่วนตั้งฉากเดียวกัน

ที่มา : Kirkby (b), 1977.

4. การกัดกร่อนแบบร่องธาร (gully erosion) เป็นการเซาะกร่อนที่ลึกกว้างและรุนแรงกว่าการกัดกร่อนแบบริ้วธาร เกิดขึ้นเนื่องจากสภาพภูมิประเทศเป็นที่ลาดชันมาก หรือมีดินลาดเทยาวหรืออาจเนื่องมาจากการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่เหมาะสมจนทำให้ความสมดุลทางธรรมชาติของดินเสียไป เช่น การควบคุมพืช การไถพรวน และการเกษตรที่ไม่ถูกต้องตามหลักการอนุรักษ์ จึงทำให้สภาพดินโดยทั่วไปง่ายต่อการพังทลาย เมื่อมีฝนตกแรงและนาน อำนาจการชะล้างของน้ำ

จึงมีมากขึ้น ทำให้ดินถูกพัดพาไปเป็นจำนวนมาก การกัดกร่อนแบบร่องธารนี้เองเป็นจุดกำเนิดของลำธารเป็นพัก ๆ (intermittent stream)

5. การกัดกร่อนในลำน้ำ (stream channel erosion) เป็นการพังทลายของดินริมตลิ่งและดินที่อยู่ในท้องน้ำหรือในตอนล่างของลำน้ำ ปกติมักจะเป็นลำน้ำที่มีน้ำไหลตลอดปี (perennial stream) และมีความลาดชันน้อย การพังทลายของดินสองข้างลำน้ำอาจเกิดได้จากน้ำข้างบนไหลเซาะลงไป หรือเนื่องจากกระแสที่ไหลมาตามลำน้ำกัดเซาะตลิ่งให้พังลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางและความเร็วของกระแส หากลำธารน้ำเป็นทางน้ำโค้งตัว (meander) กระแสที่ไหลมาปะทะตลิ่งด้านหนึ่งจะค่อย ๆ กัดเซาะตลิ่งด้านนั้นให้พังทลายไปทีละน้อย ๆ ในขณะที่เดียวกันตลิ่งด้านที่อยู่ตรงข้ามจะเกิดการทับถมงอกออกมาเมื่อเวลาผ่านไปนานเข้าทางน้ำจึงโค้งตัวมาประชิดกันมาก จึงทำให้กระแสน้ำกัดเซาะตรงคอคอดให้ขาดเป็นลำน้ำตัดตรงไป ดังนั้นส่วนที่โค้งของธารน้ำที่ถูกกระแสน้ำตัดไปก็จะกลายเป็นบึงโค้งหรือทะเลสาบรูปแอก (oxbow lake) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 บึงโค้งหรือทะเลสาบรูปแอก (oxbow lake) ซึ่งเดิมเคยเป็นส่วนหนึ่งของทางน้ำโค้งตัว (meander) ต่อมาโดนกัดเซาะจนขาดออกจากกัน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Dury, 1969.

4.3 วัฏจักรของการกัดกร่อน (Cycle of Erosion)

วัฏจักรของการกัดกร่อน (cycle of erosion) หรืออาจเรียกว่า **ชัฏจักร** หมายถึงการทำลายตัวของสภาพภูมิประเทศจากสมัยหนึ่งไปยังอีกสมัยหนึ่ง โดยการกระทำของตัวการแบบต่าง ๆ ตามธรรมชาติประกอบด้วยแรงดึงดูดของโลก เป็นผลทำให้ส่วนสูงของเปลือกโลกค่อย ๆ ลึกลงทีละน้อย ๆ จนในที่สุดกลายเป็นพื้นที่ราบเรียบในระดับใกล้เคียงกับระดับน้ำทะเลมากที่สุด

ต่อจากนั้นเปลือกโลกส่วนนั้นอาจถูกดันให้สูงขึ้นเนื่องจากพลังภายในโลก การสึกกร่อนพังทลายจึงเริ่มต้นดำเนินต่อไปใหม่อีกครั้งหนึ่ง หมุนเวียนเช่นนี้ไม่มีสิ้นสุดตลอดอายุขัยของโลก

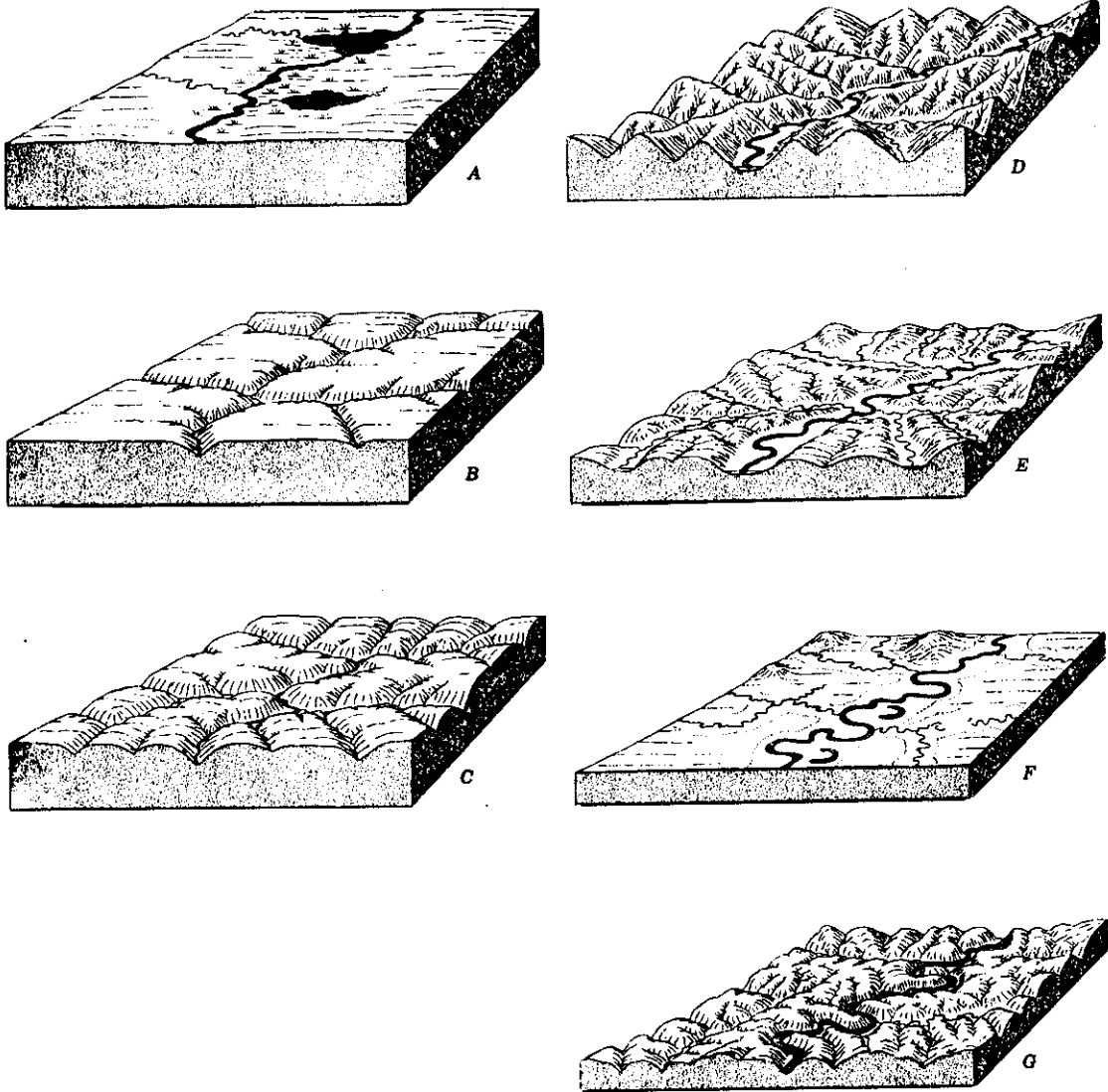
วัฏจักรของการกัดกร่อนอาจแบ่งออกได้เป็น 5 ขั้นตอน คือ :-

1. **ขั้นเริ่มแรก (initial stage)** ในขั้นเริ่มแรกนี้สภาพภูมิประเทศโดยทั่วไปค่อนข้างราบเรียบ แต่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลไม่มากนักเนื่องจากเปลือกโลกส่วนนั้นเพิ่งถูกดันให้สูงขึ้นมาใหม่ ๆ เริ่มมีแม่น้ำลำธารสายเล็ก ๆ ไม่มากนักและยังไม่กัดเซาะลึกเป็นภูเขา มีทะเลสาบและหนองบึงอยู่มาก เนื่องจากการระบายหลังไหลของน้ำไม่สู้ดี ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.11 A

2. **ขั้นอายุน้อย (youth)** ในขั้นนี้เริ่มเกิดมีหุบเขาขึ้นตามเส้นทางที่แม่น้ำลำธารไหลผ่าน แต่หุบเขาไม่ลึกหรือกว้างมากนัก แม่น้ำลำธารค่อย ๆ ขยายสาขาออกมาขึ้นและกัดเซาะในทางลึกรวดเร็วขึ้นระหว่างหุบเขาต่าง ๆ ที่อยู่ห่าง ๆ กันจะมีพื้นที่สูงกันขวางอยู่ซึ่งยังมีระดับค่อนข้างราบเรียบเสมอกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.11 B

3. **ขั้นกำลังเติบโต (adolescence)** ขั้นนี้เป็นตอนปลายของขั้นอายุน้อยก่อนที่จะเปลี่ยนเป็นขั้นเติบโตเต็มที่ สังเกตเห็นได้จากความลึกของหุบเขาซึ่งมีมากกว่าในขั้นอายุน้อยตอนต้น แม่น้ำลำธารก็แผ่ระบบออกไปกว้างขวางมากขึ้นด้วย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.11 C

4. **ขั้นเติบโตเต็มที่ (maturity)** พอถึงขั้นนี้หุบเขาต่าง ๆ จะมีความลึกมาก ความต่างระดับระหว่างส่วนที่สูงสุดของพื้นที่กับส่วนที่ต่ำสุดจะมีมากในขั้นนี้ สันปันน้ำ (watershed) มีลักษณะเป็นสันเขาแคบ ๆ และมีอยู่มากมาย แม่น้ำลำธารมีระบบแผ่กระจายกว้างขวางเต็มพื้นที่นั้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.11 D และเมื่อเวลาผ่านไปจนถึงช่วงตอนปลายของขั้นเติบโตเต็มที่ พื้นที่ระดับสูงจะถูกกัดเซาะให้ต่ำลง หุบเขาต่าง ๆ จะเริ่มมีฐานกว้างขึ้น และลำน้ำจะมีท้องน้ำกว้าง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.11 E



รูปที่ 5.11 วัฏจักรของการกัดกร่อน (cycle of erosion) ในเขตภูมิอากาศชื้น

- A คือขั้นเริ่มแรก (initial stage)
- B คือขั้นอายุน้อย (youth)
- C คือขั้นกำลังเติบโต (adolescence)
- D และ E คือขั้นเติบโตเต็มที่ (maturity)
- F คือขั้นอายุมาก (old age)
- G คือการเริ่มต้นของวัฏจักรรอบที่สองของการกัดกร่อน

ที่มา : Strahler, 1975.

5. **ชั้นอายุมาก (old age)** ในชั้นนี้พื้นที่กลับราบเรียบลงอีกครั้งหนึ่ง หุบเขาต่าง ๆ หายไปเกือบทั้งหมด ตอนใต้ที่เป็นหินแข็งสึกกร่อนได้ยากอาจเป็นเนินเขาเตี้ย ๆ อยู่ในที่ราบ แม่น้ำลำธารไหลช้าลงและคดเคี้ยวไปมามาก อำนาจในการกัดเซาะในทางลึกไม่มีเหลืออีกต่อไปแล้ว เพราะพื้นที่มีระดับใกล้เคียงกับระดับน้ำทะเลมากที่สุด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.11 F

หากไม่มีการเคลื่อนไหวยกตัวของเปลือกโลกอีก การสึกกร่อนทำลายก็สิ้นสุดลงที่ชั้นอายุมากนี้ แต่เนื่องจากเปลือกโลกมีการเคลื่อนไหวตัวเพื่อปรับให้เกิดความสมดุล ฉะนั้นเมื่อเปลือกโลกที่ถูกทำลายราบเรียบลงแล้วถูกดันให้สูงขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง สภาพภูมิประเทศก็ย้อนกลับไปที่เริ่มต้นที่ชั้นแรกเริ่มใหม่ และแม่น้ำลำธารที่หมดพลังอำนาจกัดเซาะไปแล้ว ก็กลับคืนมีพลังใหม่อีก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.11 G

4.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกัดกร่อนโดยน้ำ

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการกัดกร่อนโดยน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประการด้วยกันคือ :-

1. **ความสามารถของฝนในการกัดเซาะ (precipitation erosivity)** หมายถึงการเซาะกร่อนจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะของฝน เช่น ความหนักเบา ระยะเวลา ปริมาณน้ำฝน ขนาดความเร็ว รูปร่างและการแผ่กระจายของฝนในแต่ละฤดูกาล

2. **ความสามารถของดินที่ทนต่อการเซาะกร่อน (soil erodibility)** หมายถึงคุณสมบัติของดินที่ยากหรือง่ายต่อการถูกกัดเซาะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน แรงจับตัวกันระหว่างอนุภาคของดินและปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน

3. **สภาพสิ่งปกคลุมผิวดิน (cover condition) และการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use)** โดยทั่วไปแล้วสิ่งปกคลุมดินที่มีความหนาแน่นมากและติดต่อกันตลอด ย่อมจะป้องกันการเซาะกร่อนของดินได้ดี เพื่อป้องกันอันตรายจากการสูญเสียดินและการเกิดน้ำไหลบ่าหน้าดิน ควรจะรักษาให้มีพืชคลุมดินอย่างน้อยร้อยละ 70 ของพื้นที่

4. **ความชันและความยาวของด้านลาด (steeps and length of slopes)** บริเวณใดก็ตามถ้าสภาพอื่น ๆ เหมือนกันหมด ที่ที่มีความลาดชันมากย่อมจะเกิดการพังทลายของดินได้มากกว่าที่ที่มีความลาดชันน้อย ความยาวของด้านลาดจะทวีความรุนแรงของน้ำที่ไหลบ่า ทำให้อนุภาคของดินถูกพัดพาไปได้โดยง่าย การใช้ประโยชน์ที่ดินบนภูเขาที่มีความลาดชันมากอย่างไม่ถูกต้องตามหลักการอนุรักษ์จะทำให้เกิดการพังทลายของดินมาก

ดูเหมือนว่าพืชจะมีบทบาทสำคัญมากในการลดอัตราการพังทลายของดินบนพื้นที่ลาดชันเนื่องจากน้ำไหลบ่าได้ดี แต่มนุษย์และการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลทำให้ลักษณะพืชคลุมดินเปลี่ยนไปเช่นกัน ดังนั้นในเรื่องของการอนุรักษ์ดินจึงควรมุ่งไปที่การคลุมดิน

ด้วยพืช (vegetation cover) การเพาะปลูก (cultivation) และมนุษย์ซึ่งเป็นปัจจัยที่มนุษย์สามารถควบคุมได้ ส่วนการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศนั้นมนุษย์ไม่สามารถที่จะเข้าไปควบคุมได้เพราะเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ มนุษย์สามารถทำได้เพียงแค่ป้องกันเท่านั้น

สรุป

ปริมาณน้ำไหลป่าของพื้นที่แห่งหนึ่ง ๆ นั้นจะมากหรือน้อยย่อมขึ้นอยู่กับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อน้ำไหลป่าซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ปัจจัยใหญ่ ๆ คือ (1) ปัจจัยเกี่ยวกับฝน ซึ่งได้แก่ชนิดของหยาดน้ำฟ้าที่ตกลงสู่พื้นดิน ความเข้มของฝน ระยะเวลาที่ฝนตก การแผ่กระจายของฝนในลุ่มน้ำ ความชุ่มชื้นของดิน และปัจจัยทางอ้อมอื่น ๆ และ (2) ปัจจัยเกี่ยวกับคุณลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งได้แก่ สภาพของการใช้ที่ดิน ขนาดของพื้นที่ลุ่มน้ำ สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำ และชนิดของดิน

การไหลแผ่ซ่าน (overland flow) หมายถึงการไหลของน้ำบนพื้นดินซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความเข้มของฝนที่ตกลงมานั้นมีมากมายเสียจนน้ำไม่สามารถซึมลงไปได้หมด การไหลแผ่ซ่านนี้มักจะพบในบริเวณที่มีภูมิอากาศแบบกึ่งแห้งแล้ง ปัจจัยสำคัญที่ทำให้การไหลแผ่ซ่านมีปริมาณลดลงคือสิ่งปกคลุมดินและซากอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ฮอร์ดันได้สร้างแบบจำลองการไหลแผ่ซ่านขึ้นมาเรียกว่า “แบบจำลองการไหลแผ่ซ่านแบบฮอร์ดัน” ถ้าเมื่อน้ำซึมผ่านลงไปดินชั้นล่างแล้วไปเจอกับชั้นดินที่บีบซึ่งทำให้ไม่สามารถแทรกซึมลงไปได้อีกจึงทำให้น้ำซึมบ่ายเบนไปทางด้านข้างภายในดินชั้นบนลงสู่ไหล่เขา เราเรียกการไหลแบบนี้ว่า “การไหลซึมเบี่ยงเบน” (throughflow) และถ้าเมื่อฝนตกติดต่อกันเป็นเวลานาน ๆ จนทำให้ชั้นดินอิ่มตัวไปด้วยน้ำจนกระทั่งถึงผิวดินแล้วจะทำให้ through flow เชื่อมต่อกับ overland flow เราเรียกการไหลแบบนี้ว่า “การไหลแผ่ซ่านแบบอิ่มตัว” (saturation overland flow) ซึ่งมักจะพบในบริเวณพื้นที่ที่อยู่ติดกับธารน้ำที่มีน้ำไหลตลอดปี บริเวณไหล่เขา หุบเขา หรือหลุม และบริเวณพื้นที่ที่มีดินที่ไม่ยอมซึมน้ำหรือชั้นดินบาง

การกัดกร่อนของดินหรือกษัยการของดิน (soil erosion) หมายถึงการที่ดินถูกฝนและแม่น้ำลำธารกัดชะไป หรือถูกลมพัดพาไปจนกร่อนบางลงหรือหมดไปในที่สุด ขบวนการที่เกี่ยวข้องกับการกัดกร่อนของดินมี 3 ขบวนการ ซึ่งได้แก่ detachability transportability และ sedimentation หรือ deposition การกัดกร่อนของดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิดคือ การกัดกร่อนเนื่องจากความแรงของเม็ดฝน การกัดกร่อนแบบผิวแผ่น การกัดกร่อนแบบริ้วธาร การกัดกร่อนแบบร่องธาร และการกัดกร่อนในลำธาร การกัดกร่อนมีวัฏจักร (cycle of erosion) อยู่ 5 ขั้นตอนคือขั้นเริ่มแรก ขั้นอายุน้อย ขั้นกำลังเติบโต ขั้นเติบโตเต็มที่ และขั้นอายุมาก การกัดกร่อนของดินเนื่องจากน้ำจะรุนแรงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัย 4 ประการคือ ความสามารถของฝนในการกัดชะ ความสามารถของดินที่ทนต่อการชะกร่อน สภาพสิ่งปกคลุมผิวดิน และความชันของความยาวของด้านลาด

คำถามท้ายบท

1. จงอธิบายถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อน้ำไหลบ่ามาพอเข้าใจ
2. จงให้คำจำกัดความและอธิบายถึงการไหลแผ่ซ่าน (overland flow) และการไหลซึมผ่านด้านข้าง (through flow) มาอย่างคร่าว ๆ
3. จงเขียนสมการและอธิบายแบบจำลองการไหลแผ่ซ่านของฮอร์ตันมาพอเข้าใจ
4. จงให้คำจำกัดความและอธิบายถึงการไหลแผ่ซ่านแบบอิ่มตัว (saturation overland flow) ตลอดจนให้บอกด้วยว่ามีพบการไหลแผ่ซ่านแบบอิ่มตัวบริเวณใดบ้าง?
5. การกัดกร่อนหรือกษัยการของดินหมายถึงอะไร? และมีขบวนการใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับการกัดกร่อนของดิน? จงอธิบายมาพอเข้าใจ
6. จงอธิบายถึงชนิดของการกัดกร่อนหรือกษัยการของดินโดยน้ำมาพอเข้าใจ
7. วัฏจักรของการกัดกร่อนหรือกษัยจักรหมายถึงอะไร? มีกี่ขั้นตอนอะไรบ้าง? จงอธิบาย
8. จงอธิบายถึงปัจจัยทั้ง 4 ประการที่มีอิทธิพลต่อการกัดกร่อนโดยน้ำมาพอเข้าใจ
9. จงอธิบายคำต่อไปนี้โดยให้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน stream channel erosion, meander, และ oxbow lake
10. เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ให้น้ำ (Ac) มีวิธีการหาอย่างไร? ปัจจัยของดินที่มีอิทธิพลต่อพื้นที่ให้น้ำได้แก่อะไรบ้าง? จงอธิบาย