

## บทที่ 2

# อุทกวัฏจักร (HYDROLOGICAL CYCLE)

### จุดมุ่งหมาย

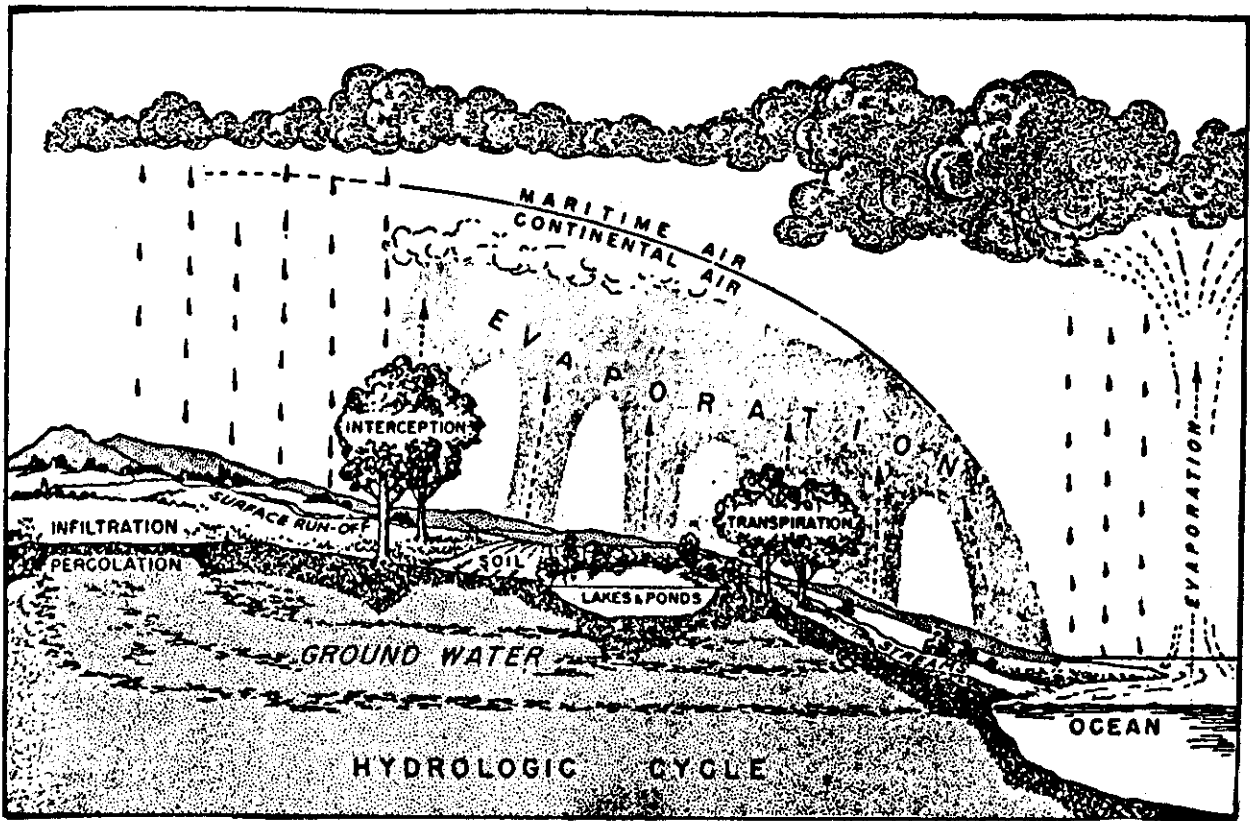
เมื่อศึกษาบทนี้แล้ว นักศึกษาควรมีความเข้าใจและสามารถที่จะ

1. อธิบายถึงกลไกของอุทกวัฏจักรได้
2. บอกและอธิบายถึงส่วนประกอบของอุทกวัฏจักรได้อย่างน้อย 4 ประการ
3. อธิบายถึงการถ่ายเทของน้ำได้

# 1. ลักษณะทั่วไปของอุทกวัฏจักร

การศึกษาเรื่องอุทกวัฏจักรนั้นจุดสำคัญของความสนใจก็คือการเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างทุกส่วนต่าง ๆ ของอุทกภาค อันได้แก่ มหาสมุทร ทะเลสาบ แม่น้ำ ลำธาร น้ำใต้ดิน ความชื้นของดิน และไอน้ำในบรรยากาศ ส่วนต่าง ๆ ของอุทกภาคเหล่านี้จะถูกเชื่อมโยงให้เข้าเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ของการหมุนเวียนของน้ำซึ่งได้แก่ การระเหย (evaporation) การถ่ายเทความชื้น (moisture transport) หยาดน้ำฟ้า (precipitation) และน้ำไหลบ่า (runoff)

อุทกวัฏจักรนั้นเริ่มต้นจากน้ำในมหาสมุทรได้ถูกแสงแดดแผดเผาจนกลายเป็นไอน้ำระเหยขึ้นสู่บรรยากาศ จากนั้นก็จับตัวเป็นก้อนเมฆและถูกลมพัดพาไป ต่อมาไอน้ำที่จับตัวเป็นก้อนเมฆนั้นจะกลั่นตัวเป็นหยาดน้ำฟ้า (precipitation) ตกลงมายังพื้นโลก ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมานี้ ส่วนหนึ่งจะถูกต้นไม้สกัดกั้นและถูกดินดูดซับจนชุ่ม ส่วนที่เหลือจะกลายเป็นน้ำไหลบ่า (runoff) ไหลไปตามผิวหน้าดินตามลาดเขาลงสู่ที่ต่ำ น้ำจำนวนนี้เองที่มีส่วนทำให้เกิดการพังทลายของดิน (erosion) และเป็นสาเหตุของการเกิดน้ำท่วม (flood) น้ำดังกล่าวนี้จะไหลไปรวมกันในช่องเขาแคบ ๆ และร่องธารกลายเป็นธารน้ำเล็ก ๆ ไหลลงสู่แม่น้ำ ส่วนน้ำที่ดินดูดซับเอาไว้ในบางส่วนก็จะระเหย (evaporate) กลับขึ้นสู่บรรยากาศ บางส่วนก็จะสะสมไว้เป็นความชื้นในดิน (soil moisture) ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโตของพืช บางส่วนก็จะแทรกซึม (infiltrate) ไปตามช่องว่างในดินและไหลซึมผ่าน (percolate) ลึกลงไปใต้ดินกลายเป็นน้ำใต้ดิน (groundwater) และค่อย ๆ ระบายออกสู่แม่น้ำทำให้แม่น้ำมีน้ำไหลตลอดเวลาแม้แต่ในฤดูแล้งก็ตาม น้ำใต้ดินนี้จะได้รับน้ำชดเชยจากแหล่งสำรองน้ำใต้ดินเมื่อความชื้นของดินซึมลงไปจนถึงชั้นที่หินตะกอนต่าง ๆ ที่มีน้ำอึดตัวตามรูพรุน (pore) น้ำใต้ดินบางส่วนจะไหลขึ้นมายังผิวดินในรูปของน้ำพุ (spring) จากนั้นในที่สุดน้ำในแม่น้ำทั้งหมดก็จะไหลลงสู่ทะเลสาบและมหาสมุทร และจะกลับระเหยกลายเป็นไอน้ำหมุนเวียนต่อไปอีกโดยไม่มีที่สิ้นสุด น้ำในทะเลสาบและมหาสมุทรที่สูญเสียไปจากการระเหยนั้นจะได้รับการชดเชยอยู่ตลอดเวลาจากน้ำฝนและน้ำในแม่น้ำ สำหรับความชื้นของดินที่ระเหยจากพื้นดินหรือจากการคายน้ำของพืชนั้นจะหมุนเวียนเข้าสู่บรรยากาศในลักษณะของไอน้ำ



รูปที่ 2.1 การหมุนเวียนของน้ำ หรือ อุทกวัฏจักร (Hydrological Cycle)

ที่มา : นิวัติ เรืองพานิช, 2527.

อุทกวัฏจักรเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันทั่วโลก และเกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ธรรมชาติมากมาย ในจำนวนนี้ได้แก่ การก่อตัวเป็นดิน การเจริญเติบโตของพืช และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของพื้นดินเนื่องจากการกัดกร่อน ตลอดจนรวมถึงน้ำใช้ทางเศรษฐกิจและในบ้นเรือนด้วย สิ่งที่เป็นตัวขับเคลื่อนให้อุทกวัฏจักรดำเนินไปได้โดยไม่รู้จักจบสิ้นนั้นคือพลังงานสองอย่างซึ่งสำคัญมากอันได้แก่ พลังงานความร้อน (*heat energy*) และแรงโน้มถ่วงของโลก (*gravity*) โดยที่พลังงานความร้อนนั้นเป็นตัวทำให้เกิดการระเหย การกลั่นตัวของไอน้ำ และกระบวนการอื่น ๆ เช่น ลมซึ่งเป็นตัวโยกย้ายความชื้นจากมหาสมุทรสู่ทวีป เป็นต้น สำหรับความโน้มถ่วงของโลกนั้นเป็นพลังงานที่ทำให้เม็ดฝนตกลงมาและทำให้น้ำไหลจากที่สูงสู่ที่ต่ำ พลังงานหรือแรงทั้งสองนี้มักจะทำงานร่วมกัน ตัวอย่างเช่น การหมุนเวียนของบรรยากาศจะได้รับอิทธิพลจากทั้งกระบวนการเกี่ยวกับความร้อน และความโน้มถ่วงของโลก

## 2. ส่วนประกอบของอุทกวัฏจักร

อุทกวัฏจักรประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ มากมายที่เชื่อมโยงต่อกันเป็นลูกโซ่ที่สำคัญได้แก่ บรรยากาศ มหาสมุทร เปลือกโลก ดิน แม่น้ำ ทะเลสาบ ตลอดจนน้ำใช้ทางด้านชีววิทยาและ เศรษฐกิจด้วย

### 2.1 บรรยากาศ (Atmosphere)

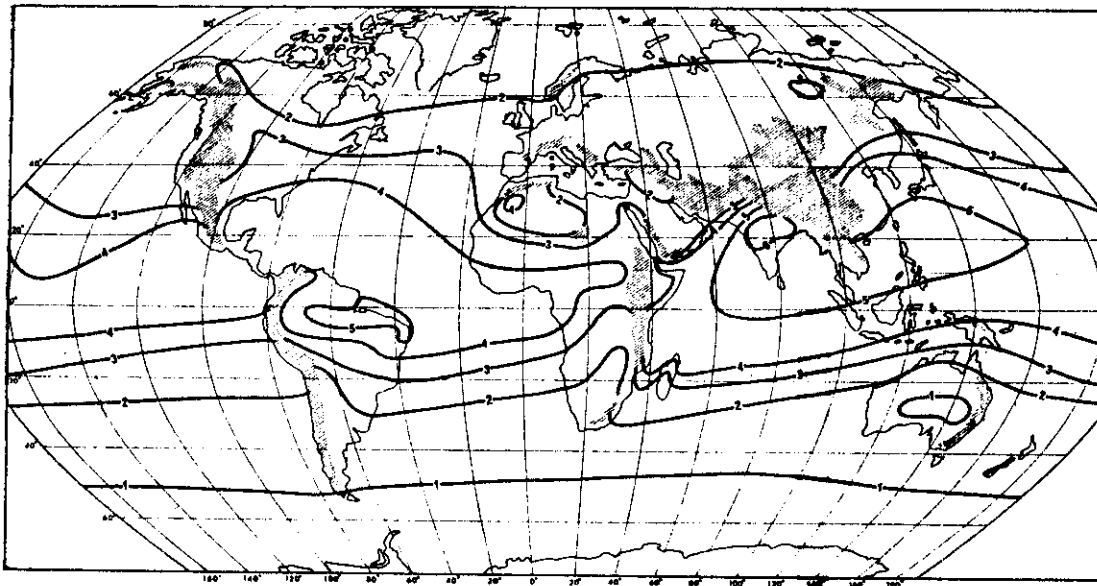
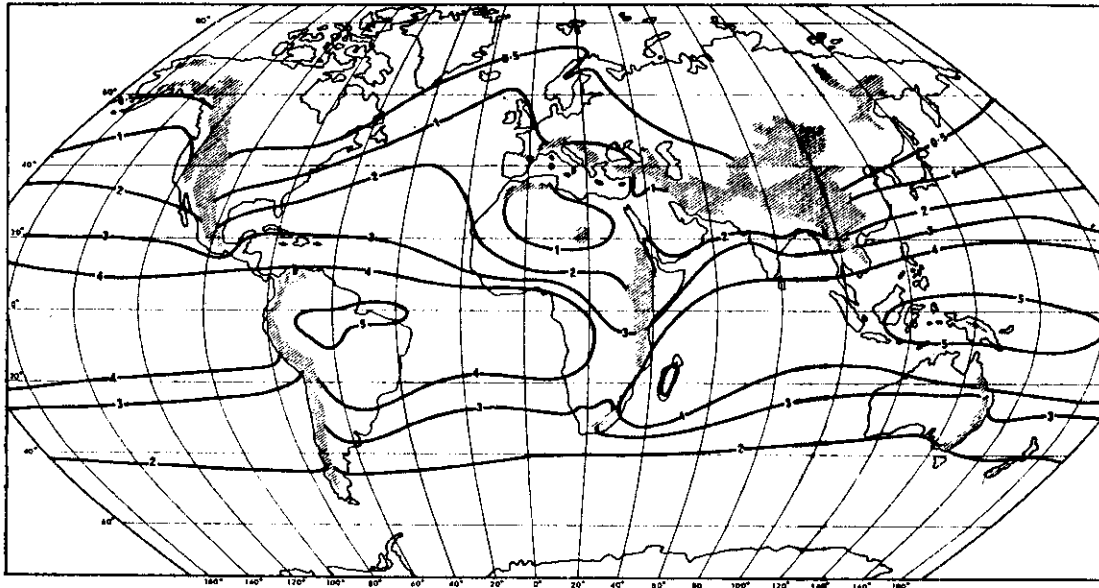
บรรยากาศเป็นส่วนหนึ่งของอุทกวัฏจักรซึ่งรับเอาความชื้นที่ระเหยจากมหาสมุทร ทะเลสาบ แม่น้ำ และการคายน้ำของพืชไว้ แล้วช่วยกระจายความชื้นที่รับไว้ซึ่งเรียกว่า ความชื้นในบรรยากาศไปทั่วโลก การหมุนเวียนของบรรยากาศจะทำให้ความชื้นที่ระเหยขึ้นไปนี้กลายเป็นฝนตกลงมา ดังนั้นจึงนับว่าบรรยากาศนั้นเป็นส่วนที่สำคัญมากและมีบทบาทโดยตรงต่ออุทกวัฏจักร

บรรยากาศกับการระเหยของน้ำนั้นมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิดอย่างแยกไม่ออก การระเหยของน้ำนั้นอาจจะกล่าวได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของอุทกวัฏจักรที่เดียว ส่วนบรรยากาศนั้นนอกจากจะเป็นแหล่งที่รับเอาความชื้นที่ระเหยขึ้นไปแล้ว ยังเป็นตัวกำหนดอัตราการระเหยของน้ำอีกด้วย กล่าวคือ การระเหยของน้ำจะเป็นไปได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิของน้ำ อุณหภูมิของบรรยากาศ ความชื้นในบรรยากาศ ความเร็วของกระแสลม (การหมุนเวียนของบรรยากาศ) ความกดของบรรยากาศ แสงแดด และอื่น ๆ

ความจุความชื้นในบรรยากาศนั้นประกอบด้วย ไออน้ำ (water vapour) หยดน้ำเล็ก ๆ (water droplets) และผลึกน้ำแข็ง (ice crystals) ในก้อนเมฆ อุณหภูมิของบรรยากาศจะกำหนดขีดจำกัดขั้นสูง (upper limit) ของการอิ่มตัวของไออน้ำ (ความชื้นสัมพัทธ์ 100%) ดังนั้นเราอาจคาดหมายการกระจายของความจุไออน้ำโดยเฉลี่ยที่มีผลกระทบต่อตัวควบคุมนี้ได้ (รูปที่ 2.2) ในเดือนมกราคมบริเวณภายในทวีปและละติจูดสูง ๆ จะมีความจุไออน้ำในบรรยากาศต่ำสุดคือ 0.1-0.2 ซม. บริเวณที่ต่ำเป็นที่สองคือบริเวณทะเลทรายเขตร้อน 0.5-1 ซม. บริเวณที่มีความจุไออน้ำในบรรยากาศสูงที่สุดซึ่งมีค่า 5-6 ซม. คือบริเวณเหนือเอเชียตอนใต้ระหว่างมรสุมฤดูร้อนและบริเวณเหนือละติจูดศูนย์สูตรของทวีปแอฟริกาและทวีปอเมริกาใต้

การหมุนเวียนของน้ำในบรรยากาศ หรือ การถ่ายเทความชื้นในบรรยากาศนั้นนับว่าเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดลักษณะภูมิอากาศที่แตกต่างกันบนพื้นโลก การเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมา (P) และปริมาณการระเหยของน้ำ (E) โดยเฉลี่ยทั้งหมดเป็นรายปีในเขตละติจูดต่ำและกลางนั้น  $P > E$  และบริเวณกึ่งเขตร้อน  $P < E$  (รูปที่ 2.3) ความไม่สมดุลในท้องที่ต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกรักษาให้อยู่ในสมดุลโดยการถ่ายเทความชื้นสุทธิเข้า (convergence :

$P - E > O$  และออก (divergence :  $P - E < O$ ) จากเขตต่าง ๆ ตามลำดับ  $\Delta D$  ที่ซึ่ง divergence เป็นบวก)



รูปที่ 2.2 ความจุไอน้ำในบรรยากาศโดยเฉลี่ยในเดือนมกราคม (บน) และเดือนกรกฎาคม (ล่าง) ในช่วงปี ค.ศ. 1951-5 มีหน่วยวัดเป็น ซม.ของน้ำที่ตกลงมา

ที่มา : Barry, 1977.

## 2.2 มหาสมุทร (Oceans)

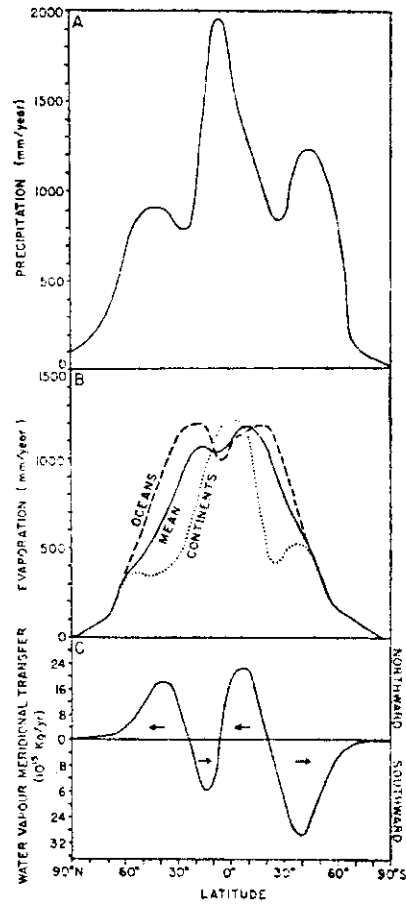
ไอน้ำในบรรยากาศจะได้น้ำซดเซยอยู่ตลอดเวลาจากการระเหยของน้ำในมหาสมุทร ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอุทกวัฏจักร ความชื้นในบรรยากาศกว่าร้อยละ 86 ได้จากการระเหยของน้ำจากมหาสมุทรของโลก และไม่ถึงร้อยละ 14 ได้จากการระเหยของน้ำจากพื้นดิน

การระเหยของน้ำในมหาสมุทรมีไม่เท่ากัน ดังจะเห็นได้จากความแตกต่างระหว่างปริมาณฝนที่ตก (P) และการระเหยของน้ำ (E) ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อของบรรยากาศ ในเขตศูนย์สูตร  $P > E$  (คิดรายปี) เนื่องจากมีเมฆมาก ในเขตขั้ว P > E สาเหตุสำคัญคือมีความร้อนไม่เพียงพอในเขตร้อนและกึ่งเขตร้อน  $P < E$  ทั้งนี้เป็นเพราะมีเมฆน้อย ภูมิอากาศร้อนและฝนค่อนข้างน้อย

เนื่องจากมหาสมุทรมีพื้นที่กว้างใหญ่ไพศาลซึ่งกินเนื้อที่มากกว่า 2 ใน 3 ของพื้นผิวโลก ดังนั้นน้ำทะเลในแต่ละแห่งจึงมีความแตกต่างกันทั้งทางด้านกายภาพและเคมี เช่น อุณหภูมิ ความหนาแน่น ความเค็ม และอื่นๆ เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดมีการถ่ายเทหรือมีการเคลื่อนที่ของมวลน้ำทะเลจำนวนมากขึ้นได้ ซึ่งกลายเป็นลักษณะสำคัญของมหาสมุทรอันเป็นส่วนหนึ่งของอุทกวัฏจักร ในตารางที่ 2.1 ได้แสดงปริมาณน้ำที่เคลื่อนที่ไปแต่ละปีโดยกระแสน้ำในมหาสมุทรทั้ง 4 ในช่องสุดท้ายของตารางนั้นแสดงจำนวนปีโดยเฉลี่ยที่น้ำในมหาสมุทรแห่งหนึ่ง ๆ และในมหาสมุทรของโลกจะต้องใช้ในการผสมกันหรือเข้าแทนที่กัน ซึ่งสำหรับมหาสมุทรของโลกนั้นจะต้องใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 60 ปี ในมหาสมุทรแปซิฟิกนั้นจะมีการเคลื่อนที่ของน้ำน้อยมากโดยจะต้องใช้เวลาทั้งหมดกว่า 100 ปี สำหรับมหาสมุทรแอตแลนติกจะใช้เวลาประมาณ 50 ปี มหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรอาร์กติกประมาณ 40 ปี

กระแสน้ำในมหาสมุทรเหล่านี้มีทั้งกระแสน้ำเขี้ยวที่เกิดจากลมสินค้าและกระแสน้ำสวนทางแถบศูนย์สูตรที่ไหลไปทางตะวันออกซึ่งไหลเคลื่อนที่ไปในระดับความลึกหลายร้อยเมตรและมีความกว้างถึง 300 กิโลเมตร สำหรับกระแสน้ำสวนทางนั้น ไหลในอัตราประมาณ 100-120 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และมีปริมาณการไหลประมาณ 3.5 ล้านลูกบาศก์กิโลเมตรต่อปี ( $3.5 \times 10^9$  ล้านลูกบาศก์เมตร)

กระแสน้ำในมหาสมุทรมีอิทธิพลต่ออุทกวัฏจักรโดยผ่านทางภูมิอากาศเพราะสามารถนำน้ำเคลื่อนที่ไปได้มากกว่าแม่น้ำในโลกถึง 20,000 เท่า และปริมาณของน้ำที่เคลื่อนที่ไปเนื่องจากกระแสน้ำในมหาสมุทรจะมีมากกว่าปริมาณน้ำที่เคลื่อนที่เนื่องจากฝนที่ตกลงมาในมหาสมุทรประมาณ 1,500 เท่า การเคลื่อนที่ของน้ำภายในมหาสมุทรด้วยตัวเองจะมีปริมาณมากกว่าการเคลื่อนที่ของน้ำกับภายนอกมหาสมุทรที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรของน้ำจืด



รูปที่ 2.3 ค่าเฉลี่ยน้ำฝนที่ตกลงมาและการระเหยของน้ำในเขต  
 ละติจูดต่าง ๆ และการถ่ายเทของไอน้ำในแนวเส้นเมริเดียน  
 ที่มา : Barry, 1977.

**ตารางที่ 2.1 ปริมาณน้ำที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับกระแสน้ำในมหาสมุทร  
และความเข้มของการเคลื่อนที่ของน้ำ**

มหาสมุทร	พื้นที่คิดเป็น ล้าน กม. <sup>2</sup>	ปริมาณคิดเป็น ล้าน กม. <sup>3</sup>	การไหลของน้ำ ตลอดปีคิดเป็น ล้าน กม. <sup>3</sup>	ความเข้มของการ เคลื่อนที่ของน้ำ- อัตราส่วนของ การไหลของน้ำ ตลอดปีต่อปริมาตร ของน้ำใน มหาสมุทร (จำนวนปี)
แปซิฟิก	180	725	6.56	110
แอตแลนติก	93	338	7.30	46
อินเดีย	75	290	7.40	39
อาร์กติก	13	17	0.44	38
มหาสมุทรของโลก	363	1,370	21.70	63

ที่มา : ไววิช. เอ็ม. ไอ., 2526.

### 2.3 เปลือกโลก (Earth Crust)

ส่วนของเปลือกโลกที่เกี่ยวข้องกับอุทกวัฏจักรนั้นก็คือส่วนของเปลือกโลกที่เป็นที่กักเก็บน้ำใต้ดินซึ่งจะมีลักษณะแตกต่างกันหลายอย่าง กล่าวคือ น้ำใต้ดินที่อยู่ในชั้นลึก ๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำเค็ม มักจะไม่ปะปนกับน้ำใต้ดินที่อยู่ชั้นบนหรือส่วนอื่น ๆ ของอุทกวัฏจักร และมักจะมีอายุเก่าแก่เท่ากับหินที่น้ำบรรจุอยู่ บางแห่งมีน้ำใต้ดินในชั้นลึก ๆ ที่สะสมกันนับล้าน ๆ ปี โดยค่อย ๆ ไหลซึมลงไปเบื้องล่างทีละหยด ๆ รวมกับน้ำที่ขั้วดินออกมาจากเปลือกโลกชั้นในกลายเป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่ มักจะอยู่ในระดับความลึกตั้งแต่ 1,000 ถึง 2,000 เมตรลงไป ในทางปฏิบัติน้ำใต้ดินในชั้นลึก ๆ นี้ไม่เข้ามาเกี่ยวข้องกับอุทกวัฏจักรและอยู่คงที่ ปริมาตรของน้ำจะเปลี่ยนน้อยมากในช่วงระยะเวลาอันสั้นและจะมีส่วนผสมของแร่ธาตุสูงมาก



น้ำใต้ดินที่เป็นน้ำจืดส่วนใหญ่จะอยู่ในชั้นที่มีการเคลื่อนที่ถ่ายเทของน้ำ คือ ในตอนบนของเปลือกโลกชั้นนอกซึ่งมีลุ่มแม่น้ำ ทะเลสาบ และทะเลต่าง ๆ เป็นทางระบายน้ำ การระบายน้ำใต้ดินตามธรรมชาตินี้มีบทบาทสำคัญในอุทกวัฏจักร กล่าวคือ แม่น้ำได้รับน้ำจากน้ำใต้ดินอย่างสม่ำเสมอ ถ้าไม่มีน้ำใต้ดิน ระดับน้ำในแม่น้ำอาจเปลี่ยนแปลงมากกว่านี้ แม่น้ำบางแห่งอาจถึงกับเหือดแห้งไปได้ นอกเสียจากเวลามีฝนตกหรือหิมะละลาย เช่น แม่น้ำในทุ่งหญ้าแห้งแล้งและในทะเลทราย เป็นต้น

เราอาจกำหนดปริมาณน้ำใต้ดินที่เกิดทดแทนใหม่ในแต่ละปีในอุทกวัฏจักรได้โดยอาศัยการคาดคะเนความสมดุลของน้ำเป็นหลัก การคำนวณน้ำใต้ดินที่สูบขึ้นมาใช้และการศึกษาระดับน้ำใต้ดินทำให้สามารถคาดคะเนน้ำใต้ดินที่เกิดทดแทนใหม่ได้ ถ้าระดับน้ำใต้ดินอยู่คงที่เป็นเวลาหลาย ๆ ปี แสดงว่าปริมาณน้ำที่ใช้ไปไม่มากกว่าน้ำที่เกิดทดแทน แต่ถ้าระดับน้ำใต้ดินต่ำลงเรื่อย ๆ ทุกปี แสดงว่าน้ำที่สูบออกไปใช้มีมากกว่าน้ำที่เกิดขึ้นใหม่ แต่ในบางครั้งความดันที่ลดลงหรือระดับน้ำใต้ดินบางส่วนที่ลดลงบางครั้งมีสาเหตุมาจากการก่อตัวของ *กรวยน้ำยุบตัว (drawdown)* ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำที่ถูกสูบออกไปจากบ่อขุดไม่ได้รับน้ำทดแทนจากหินน้ำซึมที่อยู่ใกล้เคียงได้ทัน เมื่อไม่มีการใช้น้ำในบ่อ กรวยน้ำยุบตัวนั้นก็ค่อย ๆ มีน้ำเติมเต็มขึ้น เราจะทราบอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินและอัตราการไหลของน้ำในบ่อได้จากการดูว่ากรวยน้ำยุบตัวมีน้ำเต็มเร็วเพียงใด

เราสามารถหาความรู้อย่างกว้าง ๆ เกี่ยวกับปริมาณน้ำใต้ดินได้โดยศึกษาการระบายตามธรรมชาติของน้ำใต้ดินไปยังแม่น้ำต่าง ๆ น้ำใต้ดินนับเป็นส่วนที่คงที่ที่สุดในการไหลของแม่น้ำ ในการคาดคะเนว่าน้ำใต้ดินมีส่วนเกี่ยวข้องกับมากน้อยเท่าใดกับปริมาณไหลของแม่น้ำ นักอุทกวิทยาจะใช้วิธีวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บจากปริมาณไหลของแม่น้ำตามปกติ แม้จะไม่ต้องถ่วงน้ำหนักข้อมูลดังกล่าวนี้ก็ทำให้มองเห็นภาพอย่างคร่าว ๆ ของปริมาณน้ำใต้ดินที่เกิดขึ้นทดแทนในอุทกวัฏจักรได้ ข้อมูลเหล่านี้จะแน่นอนถ้าน้ำใต้ดินที่ไหลออกไปโดยเส้นทางอื่น ๆ มีเพียงเล็กน้อยปกติแล้วน้ำใต้ดินส่วนที่ไหลอยู่ต่ำกว่าระดับที่ระบายลงสู่ทะเลโดยตรง ในที่สุดนั้นจะมีปริมาณน้อยมากจนไม่มีความสำคัญต่อคุณภาพของน้ำในทวีป

การมีแหล่งน้ำใต้ดินเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะแหล่งน้ำที่เกิดทดแทนซึ่งมีค่าที่สุดในจำนวนแหล่งน้ำทั้งหลายนั้นนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง การกระจายของน้ำใต้ดินและอัตราการเกิดน้ำใต้ดินทดแทนนั้นเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ประการ คือ ลักษณะเขตภูมิศาสตร์ และลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา

1. **ลักษณะเขตภูมิศาสตร์** ลักษณะเขตภูมิศาสตร์ที่มีอิทธิพลอย่างมากต่ออัตราการไหลของน้ำใต้ดิน คือ ภูมิอากาศ ดิน ลักษณะภูมิประเทศ และพืช นอกจากนั้นแล้วความชื้นของดิน

ก็ยิ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยเหล่านี้มากที่สุด อิทธิพลของปัจจัยดังกล่าวเหล่านี้จะมีมากที่สุดต่อน้ำใต้ดินที่อยู่ใกล้ผิวดินมาก ๆ และจะมีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่อน้ำใต้ดินในชั้นลึก ๆ

2. ลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยา โครงสร้างทางธรณีวิทยามีอิทธิพลต่ออุทกวัฏจักรและคุณภาพของน้ำในท้องถิ่นอย่างเห็นได้ชัด ตัวอย่างอิทธิพลของลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาก็คือ ลักษณะภูมิประเทศแบบคาร์สต์ (Karst landscape) ในภูมิประเทศแบบคาร์สต์นั้น หินตามภูเขาซึ่งมักจะเป็นหินปูนหรือยิปซัมนั้นจะมีผิวดินระยิบระยับ มีหลุมยุบ มีทางน้ำใต้ดินและถ้ำใต้ดิน ทำให้น้ำที่ซึมลงไปจากข้างบนสามารถไหลลงไปข้างล่างได้โดยสะดวก ถ้าบริเวณพื้นที่ใดเป็นภูมิประเทศแบบคาร์สต์เป็นส่วนใหญ่หรือทั้งหมด น้ำจะซึมลงไปใต้ดินได้รวดเร็วยิ่งขึ้น น้ำที่เหลือตกค้างอยู่ชั้นบนของหินจะมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และการสูญเสียของน้ำเนื่องจากการระเหยจะมีน้อยลง ทำให้ปริมาณน้ำไหลในแม่น้ำมีมากขึ้น จะเห็นได้จากการเปรียบเทียบคุณภาพของน้ำในลุ่มน้ำ 2 สายใกล้เมืองซาโวนาทางตอนเหนือของประเทศอิตาลีในตารางที่ 2.2 ลุ่มน้ำทั้ง 2 แห่งนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกันทุกประการนอกจากความสามารถซึมน้ำและคุณสมบัติในการเก็บกักน้ำของหิน จะเห็นได้ว่าปริมาณการไหลของลุ่มน้ำแซนโซเบีย (Sansobia) ซึ่งเป็นภูมิประเทศแบบคาร์สต์ตลอดทั้งหมดจะมีมากกว่าของลุ่มน้ำเลอทิมโบร (Letimbro) ซึ่งเป็นภูมิประเทศแบบคาร์สต์เพียงร้อยละ 15 ถึง 200 มิลลิเมตร และการระเหยของน้ำก็น้อยกว่าเกือบ 200 มิลลิเมตรเช่นกัน ปรากฏการณ์ของภูมิประเทศแบบคาร์สต์ทำให้เกิดทดแทนของน้ำใต้ดินและการระบายของน้ำใต้ดินสู่แม่น้ำต่าง ๆ เป็นไปได้สะดวกขึ้น ดังนั้นแม่น้ำจึงอืดน้ำมากขึ้นและการสูญเสียน้ำจากการระเหยก็ลดลง

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการไหลของแม่น้ำและการระเหยของน้ำตลอดปี  
 ของลุ่มน้ำเลอทิมโบ (Letimbro) ซึ่งมีภูมิประเทศแบบคาร์สต์เล็กน้อย  
 และลุ่มน้ำแซนโซเบีย (Sansobia) ซึ่งเป็นภูมิประเทศแบบคาร์สต์  
 (Karst landscape) โดยตลอด

รายการ	ช่วงของแม่น้ำ เลอทิมโบจนถึง เมืองพิคาร์โด	ช่วงของแม่น้ำ แซนโซเบียจนถึง เมืองเอลเลอร์
พื้นที่ของลุ่มน้ำ (กม <sup>2</sup> )	33	41
ความสูงโดยเฉลี่ยของพื้นที่ลุ่มน้ำ (ม.)	404	500
ส่วนของลุ่มน้ำที่เป็นภูมิประเทศ แบบคาร์สต์ร้อยละ	15	100
ปริมาณฝน (มม.)	1,360	1,376
ปริมาณไหลของแม่น้ำทั้งหมด (มม.)	744	950
การระเหยของน้ำ (ปริมาณฝนลบ ด้วยปริมาณไหลของแม่น้ำ) (มม.)	616	426

ที่มา : ไววิช, เอ็ม. ไอ., 2526.

หินทับถมจากเถาถ่านภูเขาไฟ (uff) ที่น้ำซึมผ่านได้มีอิทธิพลต่อคุณภาพของน้ำเช่นเดียวกันโดยเฉพาะต่อส่วนที่เป็นเปลือกโลกของอุทกวัฏจักร พื้นที่ซึ่งประกอบด้วยทัพฟ์นั้นแทบจะไม่มีธารน้ำบนพื้นดินเลยเนื่องจากขณะที่มีฝนตกและหิมะละลายน้ำจะซึมลงไปใต้ดินอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดแหล่งน้ำใต้ดินจำนวนมาก ในกรณีที่มีโครงสร้างทางธรณีวิทยาแตกต่างเป็นอย่างอื่น เช่นมีตะกอนดินทรายหลวม ๆ หรือมีดินที่ซึมน้ำไม่ดีความชื้นจะสะสมอยู่ในดินและเกิดการสูญเสียน้ำไปเป็นจำนวนมากเนื่องจากการระเหยในขณะอากาศแห้งแล้งจึงทำให้น้ำใต้ดินที่เกิดทดแทนมีน้อย แม่น้ำก็มีน้ำน้อยตามไปด้วย ด้วยเหตุอันนี้จึงทำให้น้ำที่ไหลผ่านหน้าดินมีบทบาทสำคัญต่อแม่น้ำมาก

#### 2.4 ดิน (Soil)

ดินเป็นส่วนหนึ่งของเปลือกโลกที่นับอยู่ในอุทกวัฏจักรเนื่องจากเกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของดินในเปลือกโลกชั้นนอกโดยตรง ความชื้นของดินมีลักษณะแตกต่างจากน้ำใต้ดินหลายประการด้วยกันคือ

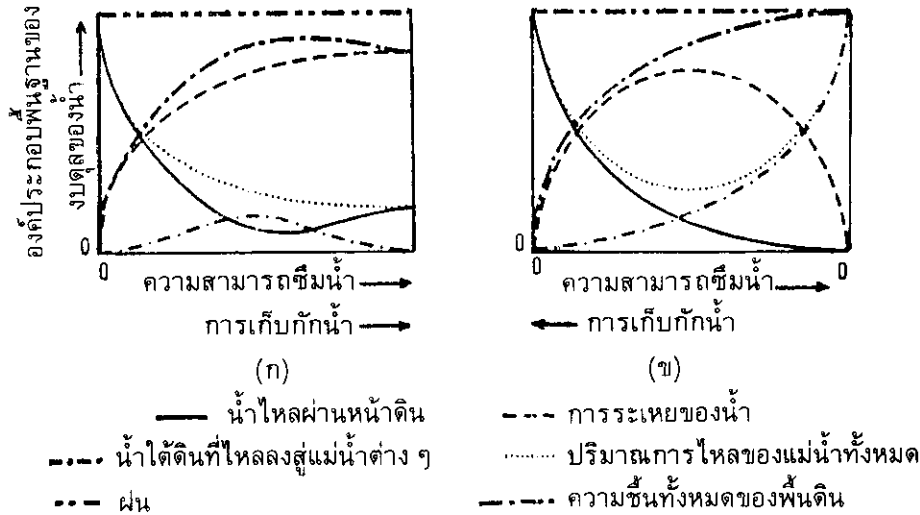
1. ความชื้นของดินเกี่ยวข้องกับอย่างใกล้ชิดกับกระบวนการทางชีววิทยา ดินชั้นบนที่มีความชื้นของดินเกิดขึ้นนั้นมิได้ประกอบไปด้วยแร่ธาตุต่าง ๆ เพียงอย่างเดียว แต่มีฮิวมอินทรีย์ (humus) ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังเป็นบางส่วนของซากพืชหรือซากสัตว์ (organic matter) ปนอยู่ด้วยในปริมาณมากน้อยแตกต่างกันไป

2. ความชื้นของดินเกี่ยวข้องกับลมฟ้าอากาศมากกว่าน้ำใต้ดิน ความชื้นจากฝนหรือหิมะละลายที่ซึมลงไปดินทำให้ดินอุดมสมบูรณ์ แต่เมื่ออากาศแห้งแล้งความชื้นของดินจะระเหยไปอย่างรวดเร็ว ความชื้นที่มีอยู่ในดินจึงมีไม่คงที่ในพื้นที่ส่วนใหญ่ของโลก ความชื้นของดินจะสูญเสียไปไม่เพียงแต่จากการระเหยเท่านั้น แต่จากการคายน้ำซึ่งเป็นหน้าที่สำคัญประการหนึ่งของพืชด้วย เพราะพืชใช้รากดูดความชื้นจากดิน การระเหยของน้ำจากดินและพืชไม่ถือว่าเป็นกระบวนการที่เปล่าประโยชน์เพราะความชื้นของดินนั้นเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อชีวิตพืช ในอุทกวัฏจักรกระบวนการนี้ทำให้เกิดความชื้นในบรรยากาศ ถ้ามองในแง่นี้การระเหยของน้ำทะเลก็มีความสำคัญด้วย แต่การระเหยของน้ำจากดินและพืชจากพื้นดินจะมีคุณประโยชน์มากเนื่องจากมันมีบทบาทสำคัญต่อชีวิตพืช ต่อการเจริญเติบโตของพืช

3. ความชื้นของดินมีหน้าที่สำคัญในการไหลซึมลงไปได้ดินทำให้มีปริมาณน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น การสูญเสียความชื้นของดินแบบนี้มีเป็นลำดับสองรองมาจากการระเหยของน้ำจากดินและพืช ปริมาณน้ำใต้ดินจะเพิ่มขึ้นมากที่สุดในพื้นที่ดินที่มีความชื้นมากโดยเฉพาะในป่าซึ่งดินชั้นบนร่วนซุยเนื่องจากระบบรากของต้นไม้ทำให้ดินมีความสามารถดูดซึมน้ำได้สูง นอกจากนี้ น้ำใต้ดินที่อยู่ใต้ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ และแม่น้ำต่าง ๆ จะได้รับน้ำเพิ่มขึ้นมากมาย บริเวณที่ความชื้นของดิน (soil moisture) และน้ำบนพื้นผิวดิน (surface water) ซึมลงไปได้ดินลึก ๆ ทำให้ปริมาณน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้นนั้นเรียกว่า “potuskuls” ซึ่งในภูมิภาคแห้งแล้งจะมีพื้นที่ดังกล่าวนี้เพียงไม่กี่แห่งและปริมาณน้ำก็มีไม่มากนัก ดังนั้นจึงมีการเกิดทดแทนของแหล่งน้ำใต้ดินในบริเวณนั้นน้อยกว่าในภูมิภาคที่ได้รับความชื้นอย่างเพียงพอซึ่งมี potuskuls เป็นบริเวณกว้างและมีน้ำซึมผ่านได้ง่าย เขตน้ำใต้ดินจะเกี่ยวข้องกับสิ่งนี้มาก

4. ความชื้นของดินแม้จะมีไม่มากนัก แต่ก็มีผลต่อการเข้าแทนที่ได้เร็วกว่าน้ำใต้ดิน จึงมีความสำคัญต่ออุทกวัฏจักร ต่อกระบวนการทางชีววิทยา และต่อเศรษฐกิจ ดินไม่เพียงแต่มีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำใต้ดินเท่านั้น แต่ยังมีอิทธิพลต่อปริมาณไหลของแม่น้ำด้วย นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการอีกมากมายทางอุทกอุตุนิยมวิทยา (hydroclimatology) ดินเป็นตัวกลางที่เชื่อมระหว่างปัจจัยด้านภูมิอากาศและอุตุนิยมวิทยาฝ่ายหนึ่ง กับลักษณะทางอุทกวิทยาของน้ำใต้ดิน แม่น้ำ และทะเลสาบอีกฝ่ายหนึ่ง

อิทธิพลของดินที่มีต่ออุทกวัฏจักรและคุณภาพของน้ำมีมากน้อยเพียงใดจะเห็นได้จากเส้นโค้งในรูปที่ 2.4 เส้นโค้งดังกล่าวแสดงองค์ประกอบพื้นฐานซึ่งเห็นได้ชัดว่าคุณภาพของน้ำย่อมขึ้นอยู่กับความสามารถในการซึมน้ำและการเก็บกักน้ำของดิน



รูปที่ 2.4 เส้นโค้งทางทฤษฎีแสดงองค์ประกอบพื้นฐานของคุณภาพของน้ำขึ้นอยู่กับความสามารถในการซึมน้ำ และการเก็บกักน้ำของดิน

- (ก) ความสามารถซึมน้ำและการเก็บกักน้ำเปลี่ยนไปตามแนวเดียวกัน  
 (ข) ความสามารถซึมน้ำและการเก็บกักน้ำเปลี่ยนไปในทางตรงกันข้าม

ที่มา : ไววิช. เอ็ม. ไอ.. 2526.

คุณสมบัติทั้ง 2 ประการนี้มีอิทธิพลต่อองค์ประกอบพื้นฐานคุณภาพของน้ำ โดยทำงานร่วมกันไม่แยกจากกันดังแสดงในเส้นโค้ง กราฟทางซ้ายมือแสดงองค์ประกอบพื้นฐานคุณภาพของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความสามารถซึมน้ำและการเก็บกักน้ำของดินเพิ่มขึ้นหรือลดลงพร้อม ๆ กัน กราฟทางขวามือแสดงการเปลี่ยนแปลงเมื่อความสามารถซึมน้ำเพิ่มขึ้นและการเก็บกักน้ำลดลงหรือในทิศทางตรงกันข้ามทั้งสองกรณีมีเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ

จะเห็นว่าองค์ประกอบพื้นฐานของคุณภาพของน้ำที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทั้ง 2 ประการของดินนั้นเปลี่ยนแปลงไปได้หลายกรณีคือ

1. ในกรณีที่ความสามารถซึมน้ำและการเก็บกักน้ำเปลี่ยนไปในทิศทางเดียวกัน (รูปที่ 2.4(ก)) ในกรณีนี้องค์ประกอบพื้นฐานของคุณภาพของน้ำจะเปลี่ยนไปได้ 2 กรณีคือ

1.1 ถ้าดินดูดซึมน้ำและเก็บกักน้ำได้น้อย ในกรณีนี้จะทำให้น้ำฝนส่วนใหญ่กลายเป็นน้ำไหลป่าหน้าดิน จึงทำให้ดินมีความชื้นน้อยหรือไม่มีเลย ดังนั้นจึงทำให้การระเหยของน้ำผิวดินมีน้อยตามไปด้วย และเนื่องจากมีน้ำไหลซึมลงไปใต้ดินน้อย จึงทำให้ปริมาณน้ำใต้ดินต่ำ ปริมาณการไหลของแม่น้ำส่วนใหญ่ได้จากน้ำไหลป่า และแม่น้ำจะเหือดแห้งไปในฤดูแล้งเนื่องจากน้ำไหลป่าหน้าดินไม่มี และน้ำใต้ดินที่ระบายลงสู่แม่น้ำมีน้อย

1.2 ถ้าดินดูดซึมน้ำและเก็บกักน้ำได้ดีหรือสูง ในกรณีนี้จะทำให้องค์ประกอบพื้นฐานของคุณภาพของน้ำเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก น้ำไหลป่าหน้าดินจะลดลง จึงทำให้มีความชื้นสะสมอยู่ในดินมาก ด้วยเหตุนี้การระเหยของน้ำผิวดินจึงเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำใต้ดินจะสูงเนื่องจากมีน้ำซึมลงไปใต้ดินมากขึ้น ปริมาณการไหลของแม่น้ำส่วนใหญ่จะได้น้ำจากน้ำใต้ดินซึ่งระบายให้แก่แม่น้ำอย่างช้า ๆ อันเป็นผลทำให้ระดับน้ำในแม่น้ำต่ำกว่าในกรณี 1.1. แต่แม่น้ำจะมีน้ำไหลตลอดปี น้ำใต้ดินจะระบายลงสู่แม่น้ำได้มากที่สุดที่ค่ามัธยฐานของความสามารถซึมน้ำและการเก็บกักน้ำซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

2. ในกรณีที่ความสามารถซึมน้ำและการเก็บกักน้ำเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางตรงกันข้าม (รูปที่ 2.4(ข)) ในกรณีนี้องค์ประกอบพื้นฐานของคุณภาพของน้ำจะเปลี่ยนไปได้ 3 กรณีคือ

2.1 ถ้าดินมีความสามารถซึมน้ำสูงแต่เก็บกักน้ำได้ต่ำ ในกรณีนี้หมายถึงดินไม่สามารถเก็บน้ำได้ ทำให้น้ำที่ซึมลงไปสะสมอยู่ในดินไหลผ่านลงสู่ที่ต่ำ เราเรียกลักษณะการไหลแบบนี้ว่าการไหลซึมเปียงเบน (throughflow) ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดต่อไปในบทที่ 5 ในกรณีนี้น้ำไหลป่าหน้าดินจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากดินมีความสามารถซึมน้ำสูง จึงทำให้ความชื้นในดินเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลลงสู่แม่น้ำต่าง ๆ จะเพิ่มสูงขึ้นทันทีเนื่องจากดินมีความสามารถในการเก็บกักน้ำต่ำ การระเหยของน้ำผิวดินจะลดลงเนื่องจากดินไม่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้และจะมีค่าต่ำสุดเมื่อคุณสมบัติทั้ง 2 ประการของดินมีค่าแตกต่างกันมากที่สุด กล่าวคือเมื่อดินมีความสามารถซึมน้ำสูงที่สุดแต่เก็บกักน้ำไว้ไม่ได้เลย ปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำจะสูงขึ้นเนื่องจากได้รับการระบายน้ำจากน้ำใต้ดิน และปริมาณการไหลจะสูงสุดเมื่อดินมีความสามารถซึมน้ำได้สูงสุด แต่ไม่สามารถเก็บกักน้ำไว้ได้เลย

2.2 ถ้าดินมีความสามารถซึมน้ำต่ำและเก็บกักน้ำไว้ได้ต่ำหรือสูง ในกรณีนี้ น้ำไหลบ่าหน้าดินจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากดินซึมน้ำได้น้อย จึงทำให้มีความชื้นสะสมอยู่ในดินน้อย ถึงแม้ว่าดินจะเก็บกักน้ำไว้ได้ดีก็ตาม แต่ก็ยังมีน้ำไว้ให้น้อยเนื่องจากดินซึมน้ำได้น้อย และน้ำส่วนใหญ่ก็ไหลบ่าลงไปหมด จึงทำให้มีน้ำสะสมอยู่ในดินน้อยอันเป็นเหตุทำให้การระเหยลดลง และการระเหยจะต่ำที่สุดเมื่อคุณสมบัติในการซึมน้ำและเก็บกักน้ำของดินมีค่าแตกต่างกันมากที่สุด กล่าวคือเมื่อดินซึมน้ำได้น้อยสุดและเก็บกักน้ำได้มากที่สุด ปริมาณการไหลของน้ำในแม่น้ำเพิ่มขึ้นเนื่องจากได้น้ำส่วนใหญ่จากน้ำไหลบ่า และจะมีปริมาณสูงที่สุดเมื่อดินมีความสามารถซึมน้ำต่ำสุด (ซึ่งจะทำให้มีน้ำไหลบ่าหน้าดินสูงสุด) และเก็บกักน้ำได้สูงสุด

2.3 ถ้าดินมีความสามารถซึมน้ำและเก็บกักน้ำอยู่ในค่ามัธยฐาน ในกรณีนี้หมายความว่าในช่วงที่ดินสามารถเก็บกักน้ำที่ซึมน้ำมาได้หมดเนื่องจากเป็นช่วงที่ดินมีความสามารถซึมน้ำได้เท่ากับหรือพอดีกับการเก็บกักน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณน้ำไหลบ่าหน้าดินมีน้อย และปริมาณการระเหยจะสูงสุดเนื่องจากเป็นช่วงที่มีน้ำสะสมอยู่ในดินมากที่สุด สำหรับปริมาณการไหลของแม่น้ำในช่วงนี้จะต่ำสุดเนื่องจากได้รับน้ำจากน้ำไหลบ่าหน้าดินและการระบายน้ำจากน้ำใต้ดินในปริมาณน้อยต่าง ๆ กัน

แผนภูมินี้แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วขององค์ประกอบพื้นฐานคุณภาพของน้ำเหล่านี้ภายใต้สภาพภูมิอากาศที่คล้ายคลึงกัน ในทุกกรณีฝนจะเป็นตัวคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้เพื่อแสดงให้เห็นชัดเจนถึงบทบาทของดินปกคลุมที่มีต่อคุณภาพของน้ำและเพื่อให้เข้าใจปัจจัยต่าง ๆ ที่กำหนดงบประมาณของน้ำ (water budget) ได้ดีขึ้น ดินปกคลุมเป็นสิ่งที่กระบวนการต่าง ๆ ทางอุทกวิทยาจักรเกี่ยวข้องซึ่งกันและกัน ความชื้นของดินอันเกิดจากน้ำซึมน้ำลงไปใต้ดินจะทำให้เกิดการระเหยของน้ำ การคายน้ำของพืช และช่วยเพิ่มปริมาณน้ำใต้ดิน

สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงก็คือคุณภาพของน้ำมิได้เป็นผลมาจากสมบัติทางอุทกกายภาพตามธรรมชาติของดินเท่านั้น แต่เป็นผลมาจากการที่มนุษย์ได้เปลี่ยนแปลงสมบัติของดินโดยการพรวนไถปลูกต้นไม้ ระบายน้ำออกจากที่ลุ่มชายฝั่ง และการกระทำอย่างอื่น ๆ ด้วย

อิทธิพลของดินปกคลุมที่มีต่อองค์ประกอบพื้นฐานคุณภาพของน้ำที่สอดคล้องกับรูปแบบทางทฤษฎีดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 นั้นเห็นได้จากตัวอย่างมากมายที่ได้จากผลของการทดลอง

จากการตรวจวัดปริมาณน้ำไหลผ่านหน้าดินในฤดูใบไม้ผลิจากที่ดินที่อยู่ในเขตป่าผสมของสหภาพโซเวียตส่วนที่อยู่ในยุโรปที่มีภูมิอากาศแบบเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำไหลบ่าอันได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของน้ำไหลบ่ากับปริมาตรของฝนหรือหิมะที่ปกคลุมจะทำให้เกิดปริมาณน้ำไหลบ่าอันมีค่าแตกต่างกันตั้งแต่ร้อยละ 1 ถึงร้อยละ 53 ขึ้นอยู่กับชนิดของที่ดินและชนิดของดิน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ชนิดของที่ดินและโครงสร้างของดินจะกำหนดคุณสมบัติทางอุทกกายภาพของสิ่งปกคลุมดิน ดินในทุ่งหญ้าจะให้น้ำซึมผ่านได้น้อยกว่าที่ดินพรวนไถและยังน้อยกว่าดินในป่าซึ่งสามารถดูดซึมน้ำได้มาก ถ้าเป็นดินร่วนปนทราย ปริมาณน้ำไหลบ่าจากพื้นที่ทุ่งหญ้าและที่ดินที่พักการเพาะปลูกจะมีอัตราส่วนสูงกว่าจากพื้นที่ป่าถึง 11 เท่า และจะสูงถึง 20 เท่าถ้าหากเป็นดินทราย

ตารางที่ 2.3 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำไหลบ่าในฤดูใบไม้ผลิในเขตป่าผสม

ดิน	ชนิดของที่ดิน		
	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ และที่ดินพัก การเพาะปลูก	พื้นดินพรวนไถ (พรวนไถใน ฤดูใบไม้ร่วง)	ป่าไม้
ดินร่วน	53 %	39 %	19 %
ดินร่วนปนทราย	33 %	23 %	3 %
ดินทราย	20 %	10 %	1 %

ที่มา : คัดแปลงจาก โววิช, เอ็ม.ไอ., 2526.

ข้อมูลในตารางที่ 2.3 สอดคล้องกับเส้นโค้งทางทฤษฎีในรูปที่ 2.4 ดินร่วนปนทรายในพื้นที่ทุ่งหญ้าและที่ดินปล่อยว่างจะเป็นไปใกล้เคียงกับกราฟที่อยู่ทางซ้ายมือมากที่สุด (ก) ซึ่งมีปริมาณน้ำไหลบ่าสูงและความสามารถซึมน้ำต่ำ ปริมาณน้ำไหลบ่าในป่าโดยเฉพาะจากดินปนทรายเป็นไปตามกราฟทางด้านขวามือ (ข) ซึ่งมีอัตราการซึมน้ำสูงและปริมาณน้ำไหลบ่าต่ำมาก

องค์ประกอบพื้นฐานของคุณสมบัติของน้ำในป่าจะแตกต่างจากในไร่นาพอสมควร ในพื้นที่ทุ่งหญ้าจะมีน้ำไหลบ่ามาก ในขณะที่ในป่ามีน้อย การระเหยของน้ำจากดินและพืชโดยเฉพาะการคายน้ำของพืชก็จะมีมากขึ้นในพื้นที่ป่าด้วย

เนื่องจากป่าสูญเสียน้ำจากน้ำไหลบ่าเพียงเล็กน้อย ความชื้นที่มีอยู่ในดินจึงมีมาก น้ำในดินชั้นล่างและน้ำใต้ดินในป่ามีปริมาณรวมกันมากกว่าในไร่นาถึง 2 เท่า ในป่าจะมีน้ำในดินชั้นล่างเกิดขึ้นเป็นปกติมาก ในขณะที่ไร่นามีการสูญเสียจากน้ำไหลบ่าเป็นจำนวนมากจะไม่มีน้ำในดินชั้นล่างเลย

ความแตกต่างสำคัญในด้านคุณภาพของน้ำระหว่างพื้นที่ป่าและทุ่งหญ้าใกล้เคียงนั้นเกิดขึ้นจากดิน ดินที่อยู่ในป่ามีความสามารถดูดซึมน้ำและควบคุมปริมาณน้ำสูง ทั้งนี้เนื่องจากดินใน



ป่ามีโครงสร้างและความสามารถซึมน้ำดีกว่าโดยอาศัยการทำงานของระบบรากต้นไม้และความอุดมสมบูรณ์ของดินที่มีมากกว่าอันเนื่องมาจากขุยอินทรีย์ที่เกิดจากการผุพังของซากใบไม้

## 2.5 แม่น้ำ (Rivers)

ในอุทกวัฏจักร ทะเลจะได้รับน้ำจากแม่น้ำสายต่าง ๆ ที่ไหลลงสู่ทะเลเพื่อชดเชยส่วนที่ระเหยขึ้นไปสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ทะเลสูญเสียน้ำจากการระเหยมากกว่าที่ได้รับจากฝน ผลต่างนี้ก็คือ ปริมาณน้ำจากแม่น้ำต่าง ๆ ที่ไหลลงสู่ทะเลตลอดปีนั่นเอง

ตารางที่ 2.4 การไหลลงสู่ทะเลของแม่น้ำสายต่าง ๆ ทั่วโลก

บริเวณแผ่นดิน	พื้นที่ (กม. <sup>2</sup> ×10 <sup>3</sup> )	การไหลโดยเฉลี่ย (ม <sup>3</sup> /วินาที× 10 <sup>3</sup> )
ยุโรป (รวมเกาะไอซ์แลนด์)	7,960	75.0
ทวีปเอเชียและหมู่เกาะอินดีสตะวันออก	31,500	226.0
ทวีปแอฟริกา	18,700	105.4
ทวีปอเมริกาเหนือ	21,400	151.4
ทวีปอเมริกาใต้	17,000	353.0
ทวีปออสเตรเลีย (รวมเกาะแทสมาเนีย และนิวซีแลนด์)	5,380	13.3
เกาะกรีนด์แลนด์	2,180	12.4
รวม	104,120	936.5
เท่ากับปริมาตรรายปี	29,500 กม. <sup>3</sup>	

ที่มา : Chorley, 1977.

ตารางที่ 2.4 ได้คาดคะเนการไหลโดยเฉลี่ยจากแม่น้ำทั้งหมดทั่วโลกลงสู่ทะเลซึ่งมีปริมาณถึง 29,500 กม.<sup>3</sup> ต่อปี มีแม่น้ำหลายร้อยสายที่ไหลลงสู่ทะเล แต่การไหลส่วนมากจะเกิดขึ้นในแม่น้ำสายใหญ่ ๆ เพียงไม่กี่สาย มีแม่น้ำสายใหญ่ ๆ 16 สายซึ่งมีอัตราการไหลลงสู่ทะเล 10,000 ม.<sup>3</sup> ต่อวินาทีหรือมากกว่านี้ไหลลงสู่ทะเล 13,600 กม.<sup>3</sup> เป็นรายปี หรือประมาณร้อยละ 45 ของทั้งหมดของโลก มีแม่น้ำอยู่อีก 50 สายซึ่งมีอัตราการไหลลงสู่ทะเลของแต่ละสาย 500 ม.<sup>3</sup> ต่อวินาทีหรือมากกว่านี้ ทำให้ผลรวมของแม่น้ำที่ไหลลงสู่ทะเลเพิ่มขึ้นเป็น 17,600 กม.<sup>3</sup> หรือประมาณร้อยละ 60

ของการไหลลงสู่ทะเลทั้งหมด มีแม่น้ำสายเล็ก ๆ หลายร้อยสายที่ไม่ได้ถูกตรวจวัดอย่างเที่ยงตรง แม่น้ำ แต่ถ้าพิจารณาในแต่ละสายแล้วจะมีผลเพียงเล็กน้อยต่อการเพิ่มขึ้นของผลรวมทั้งหมดของแม่น้ำที่ไหลลงสู่ทะเล ผลรวมของการไหลที่ไม่ได้ตรวจวัดจากแต่ละทวีปสามารถคาดคะเนได้จากลักษณะพื้นฐานของภูมิอากาศ ภูมิประเทศ พืชพรรณ คุณสมบัติของแม่น้ำ และองค์ประกอบอื่น ๆ บริเวณพื้นที่ของแม่น้ำในแต่ละทวีปที่คำนวณไว้ในตารางที่ 2.4 นั้นรวมเอาเฉพาะพื้นที่ของแม่น้ำที่ระบายน้ำออกสู่ทะเลเท่านั้น ไม่ได้รวมเอาพื้นที่ของแม่น้ำที่ระบายน้ำออกสู่แหล่งน้ำภายในทวีปอย่างเช่นทะเลสาบภายในทวีปเป็นต้น ดังนั้นปริมาตรการไหลทั้งหมดที่ได้คำนวณไว้ในตารางนี้จึงค่อนข้างจะเป็นเพียงแค่อ้อยละ 10 ของค่าจริงเท่านั้น

แม่น้ำได้รับน้ำจากแหล่งให้น้ำ 3 แหล่งด้วยกัน คือ

1. น้ำไหลป่าซึ่งไหลผ่านพื้นดินลงสู่ธารน้ำต่าง ๆ น้ำไหลป่านั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด แต่อย่างไรก็ตามน้ำไหลป่าทุกชนิดทำให้เกิดน้ำท่วมทั้งนั้น น้ำไหลผ่านหน้าดินทั้ง 3 ชนิดนั้นคือ

1.1 น้ำไหลป่าที่เกิดจากหิมะละลายในที่ราบ น้ำไหลป่าชนิดนี้มักเกิดขึ้นในฤดูใบไม้ผลิในเขตอบอุ่น ระยะเวลาที่น้ำท่วมจะแตกต่างกันมาก แม่น้ำสายใหญ่ ๆ เช่น แม่น้ำวอลกา ในยุโรป รัสเซียและแม่น้ำอ็อบในไซบีเรียตะวันตกของสหภาพโซเวียต น้ำท่วมที่เกิดจากหิมะละลายในฤดูใบไม้ผลิจะกินเวลาประมาณ 3-4 เดือนเนื่องจากระยะเวลาที่หิมะละลายจะเกิดในเวลาที่แตกต่างกันในส่วนต่าง ๆ ของลุ่มแม่น้ำ กล่าวคือบริเวณทางใต้ (บริเวณละติจูดต่ำ) ของแม่น้ำจะละลายก่อนทางเหนือ (บริเวณละติจูดสูง)

1.2 น้ำไหลป่าที่เกิดจากหิมะละลายบนภูเขา (จากการละลายของหิมะที่มีอยู่ถาวร) น้ำไหลป่าชนิดนี้มักเกิดในฤดูร้อน สำหรับน้ำไหลป่าที่เกิดจากหิมะละลายในภูมิภาคกึ่งขั้วโลกซึ่งหิมะละลายช้าก็เกิดในฤดูร้อนด้วยเช่นกัน แม่น้ำบนภูเขานั้นก็มีระยะเวลาที่น้ำท่วมเป็นเวลานาน ๆ ได้ แม้ว่าแม่น้ำเหล่านี้จะไม่มีแหล่งระบายน้ำขนาดใหญ่ก็ตาม น้ำท่วมจะอยู่นานพอสมควรเนื่องจากหิมะจะเริ่มละลายทางตอนล่าง (บริเวณเชิงเขา) ของลุ่มน้ำก่อน หลังจากนั้นจึงค่อย ๆ ขยายบริเวณสูงขึ้นไปทางตอนบนของลุ่มน้ำ จนถึงตอนกลางหรือตอนปลายของฤดูร้อน หิมะที่มีถาวรบนยอดเขาที่สูงที่สุดจึงจะเริ่มละลาย การที่ภูเขาให้น้ำแก่แม่น้ำมักจะเรียกว่า “แอลไพน์” ตามชื่อของแม่น้ำที่เกิดจากภูเขาแอลป์ซึ่งได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้เป็นแห่งแรก

1.3 น้ำไหลป่าที่เกิดจากฝน น้ำไหลป่าชนิดนี้มักจะเกิดในเขตร้อนหรือเขตร้อนชื้น โดยเฉพาะแม่น้ำที่ไหลผ่านป่าดงดิบซึ่งมีฝนตกหนักเป็นเวลานานบ่อย ๆ เช่น แม่น้ำเอมาซอน แม่น้ำคองโก และแควต่าง ๆ ของแม่น้ำเหล่านี้ จะมีน้ำท่วมหลายครั้งในระยะเวลาส่วนใหญ่ของปี สำหรับน้ำท่วมในระยะสั้น ๆ ซึ่งกินเวลาเพียง 2-3 วัน หรือ 2-3 ชั่วโมงนั้นจะเกิดกับแม่น้ำขนาดเล็กตามภูเขาและตามที่ราบเนื่องจากพายุ ธารน้ำต่าง ๆ ในทะเลทรายสะฮาราและทะเลทรายคาราฮารี

เป็นตัวอย่งที่ดี ธารน้ำเช่นนี้จะมีย่องน้ำเป็นหินหรือทรายที่ขุดแห่ง เมื่อเกิดฝนกระชอกอย่างหนัก จะทำให้เกิดน้ำท่วมอย่างรุนแรงเป็นระยะเวลาสั้น ๆ โดยเกิดขึ้นปีละครั้งหรือหลายปีต่อครั้งก็ได้

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ น้ำไหลบ่ามีส่วนเสียมากกว่าส่วนดี ส่วนเสียของน้ำไหลบ่า มีอยู่ 4 ประการคือ

1) น้ำไหลบ่าก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำสำหรับใช้ในการเกษตรที่ไม่สามารถเอากลับคืนได้ โดยเฉพาะในภูมิภาคที่มีความชื้นไม่เพียงพอจะกระทบกระเทือนมาก

2) น้ำไหลบ่าจะพัดพาเอาดินชั้นบนไปด้วย ทำให้เกิดร่องรอยของการสึกหรอนและร่องธาร ขึ้นตามภูเขาต่าง ๆ น้ำไหลผ่านหน้าดินจะทำให้เกิดกระแส น้ำโคลนตะกอนที่ไหลเชี่ยวกรากและเป็นอันตราย การพังทลายของดินเนื่องจากน้ำไหลบ่านั้นทำให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจอย่างมาก วิธีควบคุมการพังทลายของดินที่ได้ผลที่สุดก็คือลดหรือกำจัดน้ำไหลผ่านหน้าดิน

3) น้ำไหลบ่าทำให้เกิดน้ำท่วม แม่น้ำไม่สามารถรองรับปริมาณน้ำไหลบ่าจำนวนมากที่ไหลลงอย่างรวดเร็วได้ จึงทำให้น้ำในแม่น้ำล้นฝั่งและไหลท่วมพื้นที่โดยรอบเป็นอันตรายอย่างใหญ่หลวง

4) น้ำไหลบ่าไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางเศรษฐกิจส่วนใหญ่ได้ เว้นเสียแต่ว่าจะมีการควบคุมปริมาณน้ำเสียก่อนโดยการสร้างอ่างเก็บน้ำหรือปรับปรุงที่ดินซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

**2. น้ำใต้ดิน** น้ำใต้ดินเป็นแหล่งที่มีความสำคัญเป็นพิเศษในการให้น้ำแก่แม่น้ำเพราะทำให้แม่น้ำมีปริมาณการไหลคงที่และให้น้ำแก่แม่น้ำระหว่างช่วงที่ไม่มีน้ำท่วม แหล่งน้ำเหล่านี้มีประโยชน์มากที่สุดใแ่งเศรษฐกิจ แม่น้ำได้รับน้ำจากน้ำใต้ดินชนิดต่าง ๆ ด้วยวิธีที่แตกต่างกัน น้ำใต้ดินที่ให้น้ำสม่ำเสมอที่สุดได้แก่น้ำบาดาลและน้ำใต้ดินในชั้นที่ลึกที่สุดที่ระบายไปสู่ธารน้ำต่าง ๆ ส่วนน้ำใต้ดินที่เกิดจากภูมิประเทศที่เป็นหินปูนบางชนิดจะแห้งหายไปอย่างรวดเร็วหลังจากที่หมดฝนหรือไม่มีหิมะละลายแล้ว ในทางตรงกันข้ามจะมีน้ำพุเกิดจากภูมิประเทศแบบคาร์สต์ที่มีกำลังแรงและให้น้ำค่อนข้างสม่ำเสมอ

**3. น้ำที่ไหลลงสู่แม่น้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยทางภูมิศาสตร์** ส่วนใหญ่แล้วธารน้ำแข็งจะให้น้ำแก่ธารน้ำต่าง ๆ ในเขตขั้วโลกและภูเขาสูง ๆ การให้น้ำของหิมะจะมีมากในเขตอบอุ่นยกเว้นเฉพาะในภูมิภาคและละติจูดบางแห่ง ส่วนน้ำฝนให้น้ำแก่แม่น้ำในเขตร้อนและในบริเวณละติจูดต่ำจนถึงประมาณละติจูด 40°-45° เหนือและใต้ แม่น้ำส่วนใหญ่ในโลกได้รับน้ำจากฝน ตัวอย่างของแม่น้ำในเขตร้อนที่เห็นได้ชัดคือแม่น้ำโขงซึ่งได้รับน้ำส่วนใหญ่ในฤดูร้อนจากฝนที่เกิดจากลมมรสุมและมีอัตราน้ำไหลในฤดูหนาวต่ำมาก

การไหลของแม่น้ำต่าง ๆ ของโลกนั้นควรที่จะพิจารณาจากหลาย ๆ ประการเพื่อที่จะได้เห็นภาพที่ชัดเจนของแหล่งน้ำจากแม่น้ำนั้น ๆ ซึ่งสามารถพิจารณาได้ 4 ประการคือ

1. การไหลของแม่น้ำมีกระจายตามเขตภูมิศาสตร์ไม่สม่ำเสมอกัน ประชากรและโรงงานอุตสาหกรรมมักจะอยู่กันหนาแน่นในบริเวณที่มีแหล่งน้ำ อย่างไรก็ตามก็มีการส่งน้ำไปยังเมือง โรงงานอุตสาหกรรม โรงเรียน และพื้นที่ที่มีการชลประทาน

2. ปริมาณการไหลของแม่น้ำไม่สม่ำเสมอตามระยะเวลาต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงทั้งที่เป็นฤดูกาลและเป็นแต่ละปี แม่น้ำหลายสายมีปริมาณน้ำไหลในปีที่มีน้ำน้อยเพียง 1/4-1/3 ของในปีที่มีน้ำมาก อัตราน้ำไหลในแม่น้ำขนาดใหญ่จะแตกต่างกันน้อยกว่าในแม่น้ำขนาดเล็ก ในทำนองเดียวกันระบบของแม่น้ำยังมีขนาดใหญ่เพียงใด อัตราน้ำไหลโดยเฉลี่ยจะคงที่มากขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้เพราะอัตราการไหลมากของแม่น้ำหรือแควบางสายในพื้นที่ของระบบของแม่น้ำนั้นจะชดเชยกับอัตราการไหลน้อยของแม่น้ำหรือแควสายอื่นในระบบนั้น สำหรับปริมาณการไหลของแม่น้ำในโลกก็เช่นเดียวกัน โดยรวม ๆ แล้วแต่ละปีจะมีปริมาณการไหลค่อนข้างคงที่เพราะอัตราการไหลมากในบางพื้นที่จะชดเชยกับอัตราการไหลน้อยในพื้นที่อื่น ๆ

3. แม่น้ำในเขตอบอุ่นและเขตกึ่งหนาวจะเป็นน้ำแข็งปีละหลายเดือน ในการวางแผนการใช้ น้ำจากแม่น้ำจะต้องคำนึงถึงการปกคลุมของน้ำแข็ง การเคลื่อนที่ของน้ำแข็งในฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วง ตลอดจนการก่อตัวเป็นน้ำแข็งและโคลนตมในน้ำด้วย

4. ปริมาณตะกอนที่แม่น้ำพัดพาไปนับเป็นเรื่องสำคัญ นอกจากนี้แม่น้ำยังพัดพาสารละลายต่าง ๆ ไปด้วย ตะกอนที่แม่น้ำโลกพัดพาไปคาดว่ามีประมาณ 14,000 ล้านตันต่อปี แม่น้ำที่นับว่าพัดพาตะกอนมากที่สุดในโลกคือ แม่น้ำฮวงโหในประเทศจีนซึ่งพัดพาตะกอนถึงปีละ 2,000 ล้านตัน นอกจากนี้แม่น้ำในโลกยังพัดพาเอาสารละลายปีละกว่า 2,500 ล้านตันลงสู่ทะเลอีกด้วย ถ้านับรวมเอาสารละลายที่แม่น้ำพัดพาไปยังบริเวณภายในทวีปที่ไม่มีการระบายน้ำด้วยจะมีปริมาณของสารละลายที่แม่น้ำพัดพาไปรวมทั้งหมดประมาณ 3,000 ล้านตันต่อปี *พื้นดินจะสึกกร่อนพังทลายรวมกันทั้งหมดถึง 17,000 ล้านตันต่อปี และพื้นดินจะทรุดเนื่องจากการพังทลายประมาณปีละ 0.075 มิลลิเมตร*

ที่จริงแล้วการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของโลกอาจจะไม่เป็นไปตามรูปแบบที่กล่าวข้างต้น เนื่องจากมีการกระทำของปัจจัยที่มีอิทธิพลอีกประการหนึ่ง คือ กระบวนการแปรโครงสร้าง กระบวนการนี้ทำให้พื้นดินบางส่วนยกตัวสูงขึ้นและบางส่วนทรุดต่ำลง อย่างไรก็ตามก็มีการที่พื้นดินมีระดับต่ำลงเกิดจากการที่แม่น้ำพัดพาเอาตะกอนและสารละลายไปลงทะเล ในแง่ของธรณีกาลแล้วกระบวนการนี้เกิดขึ้นค่อนข้างรวดเร็ว

## 2.6 ทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำ (Lakes and Reservoirs)

ทะเลสาบและแม่น้ำเกี่ยวข้องกันในอุทกวิทยุจากรอยแยกไม่ออก มีทะเลสาบน้อยแห่งมาก

ที่ไม่เกี่ยวข้องกับแม่น้ำ โดยปกติแล้วแม่น้ำมักจะไหลลงทะเลสาบหรือไหลออกจากทะเลสาบหรือไหลผ่านทะเลสาบ

ลักษณะเด่นของทะเลสาบก็คือน้ำจะระเหยไปจากผิวหน้าของทะเลสาบมากกว่าจากพื้นดินที่อยู่โดยรอบ การระเหยของน้ำจากทะเลสาบจะเกิดอยู่ตลอดเวลา แต่พื้นดินที่อยู่โดยรอบจะมีช่วงเวลาที่ดินชั้นบนแห้งและไม่มีความชื้นที่จะสูญหายไปโดยการระเหย

น้ำในทะเลแคสเปียนลดลงปีละเกือบ 1 เมตร เนื่องจากสูญเสียน้ำจากการระเหย ตามบริเวณชายฝั่งซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่แห้งแล้ง น้ำทั้งหมดที่ได้รับจากฝนประมาณ 200-300 มิลลิเมตรจะระเหยกลายเป็นไอ คิดเป็น 1/5-1/3 ของปริมาณน้ำที่ระเหยไปจากพื้นผิวของทะเลแคสเปียนในเขตเหนือและเขตศูนย์สูตร ซึ่งดินมักจะชื้นอยู่ตลอดเวลา การระเหยของน้ำจากพื้นดินและทะเลสาบจะแตกต่างกันน้อยลง

ทะเลสาบที่ระบายน้ำได้มีบทบาทสำคัญในอุทกวัฏจักร กล่าวคือ ควบคุมปริมาณการไหลของแม่น้ำให้มีระดับคงที่ตลอดปี ตัวอย่างเช่น ทะเลสาบที่ใหญ่ที่สุดของยุโรปสองแห่งคือทะเลสาบลานโกดา และทะเลสาบโอบเนกควบคุมการไหลของแม่น้ำนีวา ซึ่งไหลผ่านเมืองเลนินกราด ทะเลสาบไบคาลซึ่งเป็นทะเลสาบที่ลึกที่สุดในโลกและใหญ่ที่สุดในเอเชีย ควบคุมปริมาณการไหลของแม่น้ำแองการาในไซบีเรีย ตัวอย่างอีกแห่งหนึ่งก็คือทะเลสาบเกรตเลกส์ซึ่งควบคุมปริมาณการไหลของแม่น้ำเซนต์ลอเรนซ์ในทวีปอเมริกาเหนือ

อย่างไรก็ดี อ่างเก็บน้ำหรือทะเลสาบที่มนุษย์สร้างขึ้นก็มีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาณการไหลของแม่น้ำ ปัจจุบันมีอ่างเก็บน้ำประมาณ 1,350 แห่งทั่วโลก ที่แต่ละแห่งสามารถกักน้ำได้กว่า 100,000,000 ลูกบาศก์เมตร สหภาพโซเวียตมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่เช่นนี้ 150 แห่งรวมปริมาณกักกักน้ำทั้งหมดของอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ทั่วโลกมีมากกว่า 4,100 ลูกบาศก์กิโลเมตร โดยส่วนที่อยู่ในสหภาพโซเวียตสามารถกักน้ำได้รวมกันถึง 810 ลูกบาศก์กิโลเมตร

การคาดคะเนปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอ่างเก็บน้ำเหล่านี้ค่อนข้างคร่าว ๆ มีแสดงไว้ในตารางที่ 2.5 ปริมาณการไหลของแม่น้ำประมาณ 1,855 ลูกบาศก์กิโลเมตรที่ควบคุมโดยอ่างเก็บน้ำนับว่าเป็นความสำเร็จอันยิ่งใหญ่ซึ่งช่วยเพิ่มปริมาณการไหลของแม่น้ำคงที่ในโลกอีกร้อยละ 15

ในสหภาพโซเวียต อ่างเก็บน้ำช่วยควบคุมปริมาณการไหลของแม่น้ำได้อย่างน้อยที่สุด 320 ลูกบาศก์กิโลเมตร ทำให้เพิ่มแหล่งที่มีการไหลของแม่น้ำคงที่ในประเทศประมาณร้อยละ 30

การควบคุมปริมาณการไหลของแม่น้ำจะช่วยเพิ่มปริมาณน้ำจืดที่สามารถนำมาใช้ได้ทันทีและทำให้เกิดน้ำท่วมน้อยลงโดยการทอนระดับน้ำที่สูงสุดลงเสียบ้างจึงช่วยลดความเสียหายที่จะเกิดจากน้ำท่วมให้น้อยลงด้วย

ตารางที่ 2.5 ปริมาณการไหลของแม่น้ำคงที่ในภูมิภาคต่าง ๆ (คิดเป็น กม.<sup>3</sup>)

ภูมิภาค	ปริมาณการไหลตามธรรมชาติ	ปริมาณการไหลที่ควบคุมโดยอ่างเก็บน้ำ	ปริมาณทั้งหมดในปัจจุบัน	เพิ่มขึ้น (ร้อยละ)
ยุโรป	1,125	200	1,325	18
เอเชีย	3,440	560	4,000	16
แอฟริกา	1,500	400	1,900	27
อเมริกาเหนือ	1,900	500	2,400	26
อเมริกาใต้	3,740	160	3,900	4.2
ออสเตรเลีย*	465	35	500	7.5
พื้นที่ทั้งหมด**	12,170	1,855	14,025	15

\* รวมทัสเมเนีย นิวกินี และนิวซีแลนด์

\*\* ไม่รวมแอนตาร์กติกาและกรีนแลนด์ซึ่งไม่มีอ่างเก็บน้ำ  
ที่มา : ไววิช, เอ็ม. ไอ., 2526.

ทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำเป็นระบบนิเวศวิทยาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการต่าง ๆ ที่เกี่ยวพันกันอย่างซับซ้อนทั้งกระบวนการทางกลศาสตร์ (เช่น กระแสน้ำ คลื่น การเคลื่อนที่ของตะกอน) กระบวนการทางฟิสิกส์ (อุณหภูมิต่ำและน้ำแข็ง) กระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางชีววิทยา ทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำที่มีอัตราการไหลของน้ำมาก กระบวนการเหล่านี้จะคล้ายคลึงกับกระบวนการที่เกิดขึ้นในแม่น้ำ ทะเลสาบขนาดใหญ่ที่มีอัตราการไหลของแม่น้ำค่อนข้างน้อย โดยมีปริมาณน้ำในทะเลสาบมากกว่าปริมาณน้ำไหลเข้าและไหลออกเช่น ทะเลสาบไบคาล ทะเลสาบในแอสซา ทะเลสาบแทนแกนยิกา ทะเลสาบวิกตอเรีย ทะเลสาบสุฟีเรีย และทะเลสาบมิชิแกน จะมีระบบนิเวศน์ที่เป็นแบบเฉพาะของมัน ระบบนิเวศน์เหล่านี้จะไวต่อการกระทำของมนุษย์มากโดยเฉพาะมลภาวะที่เกิดจากสารอินทรีย์

## 2.7 ชีววิทยา

ชีววิทยาเป็นส่วนที่ซับซ้อนและแตกต่างกันมากของอุทกวิทยาจักร ในที่นี้จะแสดงให้เห็นเฉพาะส่วนเด่น ๆ อย่างคร่าว ๆ

เราทุกคนทราบดีว่าน้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตพืชและสัตว์ ในพืชและสัตว์มีน้ำเป็นเปอร์เซ็นต์สูงมาก ปริมาณ  $\frac{3}{4}$  ของร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยน้ำซึ่งเท่ากับประมาณ 40 ลิตร มนุษย์ดื่มน้ำเป็นจำนวนไม่น้อย ในสหภาพโซเวียตปริมาณน้ำที่ดื่มต่อคนต่อวันเท่ากับ 3-4 ลิตร ซึ่งถือเป็นมาตรฐานสำหรับภูมิภาคแห้งแล้งซึ่งร่างกายมนุษย์ต้องการน้ำมาก ในสหรัฐอเมริกาปริมาณน้ำที่ถือว่าเพียงพอคือวันละ 1-2 ลิตร แม้ว่าจะดูเป็นจำนวนน้อยเกินไปสักหน่อย ฝรั่งเศสกำหนดมาตรฐานไว้คนละ 2.5-3 ลิตรต่อวัน ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราเฉลี่ย

ถ้าเราคำนวณโดยใช้มาตรฐานของฝรั่งเศสเป็นหลักจะพบว่าคนเราใช้น้ำเพื่อสนองความต้องการทางสรีรวิทยาประมาณคนละ 1 ลูกบาศก์เมตรต่อปี และ 3.5 ลูกบาศก์กิโลเมตรสำหรับประชากรทั้งโลก

ส่วนสัตว์เลี้ยงนั้นจะบริโภคน้ำมากกว่ามนุษย์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.6

### ตารางที่ 2.6 การบริโภคน้ำของสัตว์เลี้ยงในโลก

	การบริโภคประจำวัน (ลิตร)	จำนวนปศุสัตว์ (พ.ศ. 2505-06) (ล้านตัว)	รวม (กม. <sup>3</sup> )
วัวควาย	40	983	14.2
สุกร	15	554	3.0
แกะ	10	1,006	3.9
ม้า, ล่อ, อูฐ	40	64	0.9
			22.0

ที่มา : ไววิช, เอ็ม.ไอ., 2526.

เนื่องจากปศุสัตว์เพิ่มจำนวนขึ้นในระยะ 10 ปีที่ผ่านมาและตารางที่ 2.6 มิได้รวมสัตว์เลี้ยงทุกชนิด ดังนั้น จึงอาจถือว่าปริมาณน้ำที่สัตว์บริโภคทั้งหมดจะอยู่ระหว่าง 25-30 ลูกบาศก์กิโลเมตรต่อปี

เราไม่ทราบว่ปริมาณน้ำที่สัตว์ป่าบริโภคมีเท่าใด แต่ไม่ควรจะเกินกว่าสัตว์เลี้ยง กล่าวโดยสรุปสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่อยู่บนพื้นดินจะบริโภคน้ำอย่างมากที่สุดประมาณ 50 ลูกบาศก์กิโลเมตรต่อปี ซึ่งเป็นปริมาณที่เล็กน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนประกอบอื่น ๆ ของคุณภาพของน้ำในโลก นอกจากนี้เรายังจะพึงระลึกด้วยว่าน้ำเกือบทั้งหมดที่มนุษย์และสัตว์บริโภคจะระเหยในชั้น

สุดท้ายและกลับคืนมาสู่อุทกวัฏจักร แม้ว่าปริมาณน้ำที่ใช้จะไม่มากนักก็ตาม แต่ความสำคัญทาง สรีรวิทยาที่น้ำมีต่อชีวิตมนุษย์และสัตว์นั้นมากมายจนประมาณมิได้

ในตอนต่อไปเราจะพบว่ามิใช่เรื่องยากเลยที่จะหาน้ำดื่มและน้ำใช้ให้แก่คนและสัตว์ไม่ว่าจะ มีจำนวนมากน้อยเพียงใดก็ตาม การใช้น้ำมิใช่สาเหตุของการขาดแคลนน้ำ ความยากลำบากอยู่ที่ การป้องกันมิให้แม่น้ำและทะเลสาบเกิดมลภาวะเนื่องจากของเสียจากสัตว์และการทิ้งน้ำเสียจาก เทศบาลและโรงงานอุตสาหกรรม ปัญหาสำคัญของการใช้น้ำในอนาคตได้แก่คุณภาพของน้ำ

พืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในทะเล ทะเลสาบและลำธารก็เข้ามาอยู่ในวัฏจักรด้วยเช่นเดียวกัน ปลาและสัตว์ทะเลเป็นอาหารสำคัญของมนุษย์ ในอนาคตผลิตผลจากทะเลจะมีความสำคัญยิ่งกว่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบันอย่างไม่ต้องสงสัยเลย

น้ำมีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แสง อันเป็นกระบวนการทางชีววิทยาที่ทำให้การ ดำรงชีวิตของอินทรีย์ทั้งหมดในโลกมีอยู่ได้ การสังเคราะห์แสงเป็นการสร้างคาร์โบไฮเดรตในพืช จากน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแสงแดดกระทำต่อคลอโรฟิลล์ซึ่งเป็นส่วนสีเขียวที่มีอยู่ในพืช ในกระบวนการนี้พืชจะสังเคราะห์แป้ง โปรตีนและไขมันที่ใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์และสัตว์ ไฮโดรเจนจากน้ำรวมกับคาร์บอนที่ดูดจากอากาศทำให้เกิดสารอาหาร ในบรรยากาศอุดมไปด้วย ออกซิเจนซึ่งคายออกมาจากพืชบนดินและจากแหล่งค่อนพืชในทะเลด้วย ส่วนหนึ่งถ้าไม่มีการ สังเคราะห์แสง การหายใจของมนุษย์สัตว์และพืชโดยเฉพาะอย่างยิ่งการเผาถ่านหิน น้ำมันและสาร เผลาไหม้อื่น ๆ จะทำให้ปริมาณออกซิเจนในอากาศลดลงและเกิดคาร์บอนไดออกไซด์มากเกินไป สิ่งมีชีวิตก็จะดำรงอยู่ไม่ได้ตามที่เป็นอย่างนี้ ปรากฏว่ามีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศได้เพิ่มขึ้น เกือบ 2 เท่าในระยะ 50 ปีที่ผ่านมา และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นอีกในอนาคต ด้วยเหตุผลนี้เองจำเป็นที่ จะต้องพยายามในทุกวิถีทางเพื่อเพิ่มปริมาณพืชให้มากยิ่งขึ้น

การคายน้ำซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญสำหรับชีวิตพืชเป็นกระบวนการทางชีววิทยาที่ สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในอุทกวัฏจักร การคายน้ำโดยเฉลี่ยทั่วโลกมีปีละประมาณ 35,000 ลูกบาศก์- กิโลเมตร หรือประมาณครึ่งหนึ่งของการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืชทั้งหมด<sup>1</sup> และเกือบร้อยละ 7 ของการระเหยของน้ำจากพื้นผิวโลกรวมทะเลด้วย เราจะเห็นว่าการคายน้ำมีบทบาทสำคัญใน อุทกวัฏจักร

ถึงตอนนี้เราได้พิจารณาด้านต่าง ๆ ของอุทกวัฏจักรมาแล้วทุกด้านนอกจากด้านเศรษฐกิจ การใช้แหล่งน้ำทุกชนิดเกิดขึ้นภายในอุทกวัฏจักร ทั้งการใช้น้ำและผลจากการกระทำของมนุษย์ ที่มีต่อดินและชีวิตพืชย่อมจะทำลายวัฏจักรได้บ้างไม่ทางใดก็ทางหนึ่ง ในการที่จะเพิ่มแหล่งน้ำให้มี

<sup>1</sup> การระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช (evapotranspiration) หมายถึงการระเหยเนื่องจากการใช้น้ำหรือ การคายน้ำของพืชและการระเหยของน้ำจากผิวดินรวมกัน ในบทที่ 3 จะกล่าวถึงเรื่องนี้โดยละเอียด



มากขึ้นโดยเฉพาะแหล่งน้ำที่มีประโยชน์ที่สุดและมีปริมาณน้อยที่สุด มนุษย์จำเป็นต้องจัดรูปของ อุทกวัฏจักรเสียใหม่

เนื่องจากกระบวนการที่ยิ่งใหญ่นี้เกี่ยวข้องกับทุกส่วนของอุทกภาค ดังนั้นจึงควรถือว่า อุทกภาคเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน ซึ่ง วิ.ไอ. เวอร์นาตสกี นักวิทยาศาสตร์โซเวียตผู้มีชื่อเสียง เป็นคนแรกที่เสนอความคิดนี้ อุทกวัฏจักรเชื่อมโยงน้ำกับส่วนอื่น ๆ ของธรรมชาติเช่น ดิน พืช บรรยากาศและเปลือกโลก และทุกส่วนจะเกี่ยวโยงซึ่งกันและกัน เรื่องนี้สำคัญมากสำหรับกระบวนการที่เกิดตามธรรมชาติในโลก นอกจากนี้ยังทำให้มนุษย์สามารถมีอิทธิพลต่ออุทกวัฏจักรและ จัดการกับอุทกวัฏจักรเพื่อสนองความต้องการของตนอีกด้วย

### 3. การถ่ายเทของน้ำ

จากการมีอุทกวัฏจักรทำให้น้ำในอุทกภาคมีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา น้ำจะถูกนำไปใช้ และหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ได้เรื่อย ๆ อัตราการถ่ายเทของน้ำในส่วนต่าง ๆ ของอุทกภาคจะแตกต่างกัน การวัดอัตราการถ่ายเทของน้ำในมหาสมุทรของโลกสามารถคำนวณได้ เราทราบดีว่า ปริมาตรของน้ำในมหาสมุทรของโลกมีมากกว่า 1,370,000,000 ลูกบาศก์กิโลเมตรเล็กน้อย ในทุกปี น้ำจะระเหยไปจากผิวน้ำ 453,000 ลูกบาศก์กิโลเมตร และน้ำจำนวนเท่า ๆ กันจะกลับคืนมาในรูปแบบของฝนและปริมาณน้ำไหลในแม่น้ำ ดังนั้นทุกปีจะมีน้ำหมุนเวียนกลับมาใช้อีกประมาณ 453,000 ลูกบาศก์กิโลเมตร และถ้าเป็นไปในอัตรานี้จะต้องใช้เวลาถึง 3,000 ปีที่จะเปลี่ยนน้ำในมหาสมุทรโลกให้เป็นแม่น้ำใหม่ทั้งหมด ตัวเลข 3,000 ปีนี้ได้จากการเอาปริมาตรของน้ำในมหาสมุทรของโลกหารด้วยปริมาตรของน้ำที่ระเหยไปจากผิวน้ำในหนึ่งปี ตารางที่ 2.8 เป็นข้อมูลสรุปของอัตราการถ่ายเทของน้ำในส่วนต่าง ๆ ของอุทกภาค

อัตราการถ่ายเทของน้ำที่ช้าที่สุดคือน้ำแข็งขั้วโลกซึ่งทุก ๆ ปีมีน้ำเพียง 2,900 ลูกบาศก์กิโลเมตรในจำนวนทั้งหมด 24,000,000 ลูกบาศก์กิโลเมตรที่สูญเสียบและได้กลับคืนมา ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาถึง 8,300 ปีที่จะเปลี่ยนน้ำแข็งขั้วโลกให้เป็นน้ำใหม่ทั้งหมด

น้ำใต้ดินเกิดทดแทนใหม่ได้รวดเร็วกว่า แต่ 5,000 ปีก็เป็นระยะเวลาที่ยาวนานเกินกว่า จะวางแผนนำน้ำมาใช้ นอกจากนี้เพียงระลึกด้วยว่าน้ำใต้ดินที่อยู่ในระดับลึก ๆ ส่วนใหญ่เป็นน้ำเค็ม สำหรับในเขตที่น้ำใต้ดินมีการถ่ายเทของน้ำได้ง่ายและเป็นน้ำจืด การเกิดน้ำทดแทนทั้งหมดจะใช้ เวลาประมาณ 300 ปี ภายในเขตนี้อัตราการถ่ายเทของน้ำจะแตกต่างกันมากตั้งแต่ น้ำใต้ดินชั่วคราว ซึ่งมีการเกิดทดแทนทุกปีไปจนถึงแหล่งน้ำบาดาลซึ่งแทบจะไม่ระบายลงสู่แม่น้ำ และใช้เวลาหลาย ศตวรรษกว่าจะเกิดทดแทนใหม่ได้ทั้งหมด

ตารางที่ 2.7 อัตราการถ่ายเทของน้ำ

ส่วนต่าง ๆ ของอุทกภาค	จำนวนปีที่เปลี่ยนน้ำใหม่*
มหาสมุทรของโลก	3,000
น้ำใต้ดิน	(5,000)
รวมน้ำใต้ดินที่มีการถ่ายเทของน้ำอยู่ตลอดเวลา	(330)
ธารน้ำแข็งทั่วโลก	8,300
ความชื้นของดิน	1.0
แม่น้ำและทะเลสาบ	10
แม่น้ำ	0.033
ไอน้ำในบรรยากาศ	0.027

\* ใช้จำนวนค่า ๆ ตัวเลขในวงเล็บเป็นโดยประมาณ  
ที่มา : ไควซ, เอม. ไอ., 2526.

เนื่องจากทะเลสาบอย่างน้อยที่สุดครึ่งหนึ่งเป็นทะเลสาบที่มีการระบายน้ำ เราจึงสามารถคาดคะเนได้ว่าจะต้องใช้เวลาประมาณ 10 ปี จึงจะทำให้เกิดน้ำทดแทนในทะเลสาบและแม่น้ำใหม่ได้ทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราน้ำไหลในแม่น้ำตลอดปี (38,830 ลูกบาศก์กิโลเมตร) กับปริมาณน้ำในแม่น้ำระยะใดระยะหนึ่ง (1,200 ลูกบาศก์กิโลเมตร) เราพบว่า การทำให้เกิดน้ำทดแทนจะใช้เวลาเพียง 0.033 ปี หรือโดยเฉลี่ย 11 วันเท่านั้น ส่วนน้ำในบรรยากาศจะต้องใช้เวลาโดยเฉลี่ย 10 วัน การถ่ายเทของน้ำที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วนี้เนื่องมาจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในบรรยากาศ (14,000 ลูกบาศก์กิโลเมตร) และปริมาณความชื้นตลอดปี (525,000 ลูกบาศก์กิโลเมตร) ที่เข้าไปอยู่ในบรรยากาศ อันเนื่องมาจากกระบวนการระเหยและการคายน้ำจากผิวโลกทั้งหมด

# สรุป

**อุทกวัฏจักร (Hydrological Cycle)** หมายถึงการหมุนเวียนเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำที่เกิดขึ้นต่อเนื่องกันทั่วโลก มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันระหว่างพื้นโลก บรรยากาศ และมหาสมุทร โดยมีพลังงานความร้อนและแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นตัวขับเคลื่อนให้ขบวนการดำเนินไปได้โดยไม่มีวันสิ้นสุด

ส่วนประกอบที่สำคัญของอุทกวัฏจักรได้แก่ บรรยากาศ มหาสมุทร เปลือกโลก แม่น้ำ และทะเลสาบ ตลอดจนสังคมของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน์ บรรยากาศนั้นเป็นทั้งแหล่งที่รับเอาความชื้นที่ระเหยขึ้นไปและเป็นตัวกำหนดอัตราการระเหยของน้ำด้วย ส่วนมหาสมุทรนอกจากจะเป็นแหล่งให้ความชื้นแหล่งใหญ่ที่สุดกับบรรยากาศแล้ว ยังทำหน้าที่ในการถ่ายเทมวลน้ำทะเลจำนวนมากในรูปของกระแสน้ำในมหาสมุทรซึ่งมีอิทธิพลต่ออุทกวัฏจักรโดยผ่านทางภูมิอากาศอีกด้วย สำหรับเปลือกโลกบริเวณผิวพื้นนั้นจะเป็นแหล่งสะสมความชื้นในดินที่ตกลงมาในรูปของหยาดน้ำฟ้าซึ่งจะมีอิทธิพลต่อการกำหนดลักษณะหรือชนิดของดินและสิ่งปกคลุมดิน เปลือกโลกในชั้นลึก ๆ จะเป็นแหล่งสะสมน้ำใต้ดินซึ่งเป็นแหล่งให้น้ำที่สำคัญกับแม่น้ำและทะเลสาบในฤดูแล้ง แม่น้ำเป็นแหล่งรับน้ำทั้งจากหยาดน้ำฟ้า น้ำไหลบ่าหน้าดิน และน้ำใต้ดิน จากนั้นจะไหลลงสู่ทะเลซึ่งเท่ากับเป็นการให้น้ำขาดเขยกับมหาสมุทรที่สูญเสียน้ำไปเนื่องจากการระเหย ทะเลสาบและแม่น้ำจะเกี่ยวข้องกันอย่างแยกไม่ออกในอุทกวัฏจักร ทะเลสาบที่ระบายน้ำได้มีบทบาทสำคัญในการควบคุมปริมาณการไหลของแม่น้ำให้มีระดับคงที่ตลอดปีซึ่งจะเป็นการช่วยเพิ่มปริมาณน้ำจืดที่สามารถนำมาใช้ได้ทันทีและทำให้เกิดน้ำท่วมน้อยลง สังคมของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศน์เข้ามาเกี่ยวข้องทั้งกับอุทกวัฏจักร โดยผ่านการใช้น้ำ สัตว์จะบริโภคน้ำมากกว่ามนุษย์ นอกจากนี้ขบวนการการระเหยของน้ำในแปลงปลูกพืช (evapotranspiration) ยังเข้ามาเกี่ยวข้องกับการใช้น้ำของพืชอีกด้วย

น้ำที่หมุนเวียนอยู่ในอุทกวัฏจักรส่วนใหญ่จะได้จากความชื้นที่ระเหยจากมหาสมุทรและตกลงมาเป็นฝนซึ่งจะมีปริมาณรวมเฉลี่ยค่อนข้างคงที่ นั่นหมายความว่าทุกปีจะมีน้ำหมุนเวียนกลับมาให้เราใช้อีกในจำนวนค่อนข้างคงที่ ซึ่งดูเหมือนว่ามนุษย์เราไม่น่าจะประสบกับปัญหาการขาดแคลนน้ำแต่อย่างใด แต่ถ้าหากพิจารณาโดยละเอียดแล้ว แหล่งที่เก็บน้ำไว้ให้มนุษย์ใช้ไม่ว่าจะเป็นแม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบ หรือแม้แต่ใต้ดินก็กำลังถูกทำลายลงทุกขณะเนื่องจากมลภาวะ (pollution) ดังนั้นปัญหาสำคัญของการใช้น้ำในอนาคตจึงไม่ใช่เรื่องการขาดแคลนน้ำ แต่เป็นเรื่องคุณภาพน้ำที่เสียไปเนื่องจากการกระทำของมนุษย์นั่นเอง

## คำถามท้ายบท

1. อุทกวัฏจักร (hydrological cycle) หมายถึงอะไร?
2. จงอธิบายถึงขบวนการการหมุนเวียนของน้ำในอุทกวัฏจักรโดยละเอียด
3. ส่วนประกอบของอุทกวัฏจักรมีอะไรบ้าง?
4. บรรยากาศมีบทบาทสำคัญอย่างไรในอุทกวัฏจักรและมีความสัมพันธ์อย่างไรกับการระเหยของน้ำ? จงอธิบาย
5. ลักษณะเขตภูมิศาสตร์และลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาเกี่ยวข้องกับการกระจายของน้ำใต้ดินและอัตราการเกิดน้ำใต้ดินทดแทนอย่างไร? จงอธิบาย
6. ความชื้นในดินมีลักษณะแตกต่างจากน้ำใต้ดินอย่างไรบ้าง? จงอธิบาย
7. ความสามารถในการซึมน้ำและการเก็บกักน้ำของดินมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบพื้นฐานของดุลยภาพของน้ำอย่างไร? จงอธิบาย
8. แม่น้ำได้รับน้ำจากแหล่งใดบ้าง อย่างไร? จงอธิบาย
9. น้ำในอุทกวัฏจักรเกี่ยวข้องกับระบบนิเวศหรือชีววิทยาอย่างไร? จงอธิบาย
10. หากทะเลสาบแห่งหนึ่งมีน้ำคิดเป็นปริมาตรทั้งหมด 4,500 ลูกบาศก์กิโลเมตร ในปีหนึ่ง ๆ น้ำจะระเหยไปจากทะเลสาบแห่งนี้ 50 ลูกบาศก์กิโลเมตร อยากทราบว่าทะเลสาบแห่งนี้มีอัตราการถ่ายเทน้ำที่ปีในการที่จะเปลี่ยนน้ำในทะเลสาบให้เป็นน้ำใหม่ทั้งหมด?