

บทที่ 9 น้ำใต้ดิน (UNDERGROUND WATER)

ปริมาณน้ำในธรรมชาติที่มีอยู่เป็นจำนวนมากอาจกักอยู่ในแม่น้ำ ทะเลสาบ มหาสมุทร และน้ำที่อยู่ในสภาพของแข็ง เช่นธารน้ำแข็ง น้ำเหล่านี้จัดว่าเป็นน้ำผิวดิน แต่ยังมีน้ำบางส่วนที่ถูกกักเก็บไว้ในช่องว่างของดินและหิน หรือตามรอยแตกซึ่งจะมีอยู่เป็นจำนวนมากเช่นกัน เราเรียกน้ำใต้ดิน (underground หรือ subsurface water) น้ำใต้ดินขณะที่ไหลซึมผ่านชั้นดิน และหินลง ไปได้เปลือกโลกจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายชนิด ทั้งทางกายภาพและทางเคมี น้ำใต้ดินจึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงภูมิประเทศทั้งบนผิวโลกและใกล้ผิวของเปลือกโลก ทำให้เกิดภูมิประเทศได้หลายรูปแบบ โดยเฉพาะในบริเวณหินปูน

9.1 แหล่งกำเนิดและการกระจายของน้ำใต้ดิน

9.1.1 แหล่งกำเนิด น้ำใต้ดินที่ถูกกักอยู่ในช่องว่างของหินและดิน หรือตามรอยแตกส่วนมากมาจากน้ำบรรยากาศในลักษณะฝนและหิมะ (ดูวัฏจักรของน้ำในบทที่ 8) เราเรียกน้ำชนิดนี้ว่า meteoric water

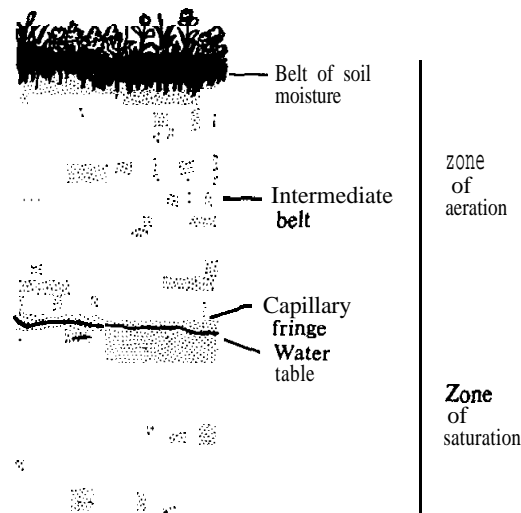
บางส่วนของน้ำใต้ดินมาจากน้ำภายในเปลือกโลกจากแหล่งที่สัมพันธ์กับการเกิดกระบวนการหินอัคนี โดยน้ำนี้จะออกมาบนผิวโลกขณะเกิดการระเบิดของภูเขาไฟ หรือยังเก็บกักอยู่ภายใต้เปลือกโลกภายหลังที่เกิดการตกผลึกของแมกมา น้ำนี้อาจทำให้เกิดแหล่งแร่ได้ เราเรียกว่า juvenile หรือ magmatic water

และน้ำใต้ดินอีกประเภทหนึ่ง เป็นน้ำที่กักเก็บอยู่ในชั้นหินระหว่างที่เกิดการทับถมของตะกอนเราเรียก connate หรือ formation water อาจจะเป็นน้ำจืดหรือน้ำเค็มก็ได้ พบมากในชั้นหินตะกอนที่อยู่ในระดับลึก ส่วนที่เป็นน้ำเค็มอาจพบรวมอยู่ในบ่อน้ำมัน

9.1.2 โซนสัมผัสดวงอากาศและโซนอ้อมตัวด้วยน้ำ น้ำใต้ดินบางส่วนที่ซึมลงสู่ผิวดิน และจะซึมลึกลงไปเรื่อย ๆ ส่วนที่กักน้ำไว้ในระดับต้นใกล้ผิวดินนี้เราเรียกโซนสัมผัสดวงอากาศ

(zone of aeration) ซึ่งในส่วนนี้ช่องว่างของหินไม่มีน้ำอยู่เต็ม บางส่วนจะมีอากาศแทรกอยู่ น้ำใต้ดินที่ถูกกักอยู่ในส่วนนี้เรียกว่า **suspended** หรือ **vadose water** น้ำจะถูกกักอยู่ได้โดยไม่ซึมลึกลงไปเนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับหิน และแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับน้ำด้วยตัวเอง

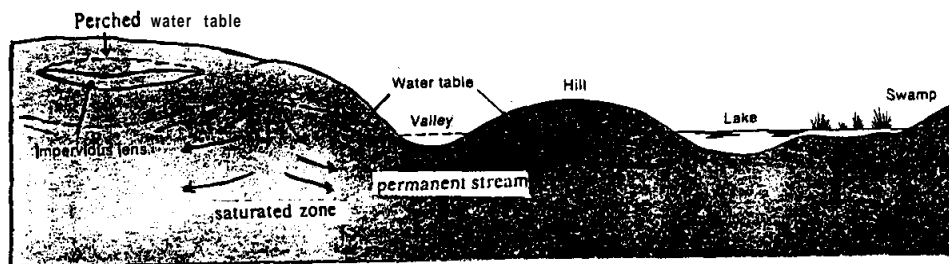
โซนสัมผัสอากาศนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ ส่วนบนอยู่ติดกับพื้นผิวดินเป็นส่วนที่มีความชื้นในดิน (**belt of soil moisture**) น้ำที่ซึมลงมาในส่วนนี้จะถูกพืชดูดไปใช้ และบางส่วนจะระเหยกลายเป็นไอกลับสู่บรรยากาศ ส่วนกลาง (**intermediate belt**) น้ำที่ถูกกักขังอยู่ในส่วนนี้ได้มาจากบางส่วนของส่วนบนซึมลงมา และน้ำในส่วนกลางนี้จะเกาะกันอยู่ได้เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล มีการเคลื่อนไหวน้อยมากนอกจากฝนตกหรือหิมะละลาย ซึ่งจะทำให้มีน้ำจากผิวดินซึมลงมามาก ในบางพื้นที่ส่วนกลางนี้จะไม่มีส่วนล่างสุดเป็นขอบบาง ๆ (**capillary fringe**) ในส่วนนี้ที่น้ำที่อยู่ในโซนอ้อมตัวด้วยน้ำที่อยู่ข้างใต้จะซึมขึ้นมาด้วยแรงดันถึงส่วนบนของขอบบาง ๆ จะมีความสูงประมาณ 2-3 เซนติเมตร ถึง 2-3 เมตร



รูปที่ 9.1 แสดงการแบ่งส่วนของชั้นน้ำใต้ดิน
(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 255)

โซนอิ่มตัวด้วยน้ำ (zone of saturation) ส่วนนี้จะอยู่ใต้โซนสัมผัสด้านอากาศ ช่องว่างในหินหรือดินจะมีน้ำซึ่งอยู่เต็มไปหมดเป็นน้ำผิที่ไหลซึมลงเบื้องล่างด้วยแรงโน้มถ่วงและน้ำหนักของน้ำจากส่วนบน น้ำในโซนนี้เรียกว่าน้ำบาดาล (Ground water) พื้นผิวระหว่างโซนอิ่มตัวด้วยน้ำและโซนสัมผัสด้านอากาศเรียกระดับน้ำบาดาล (water table) การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำบาดาลขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ได้รับจากโซนสัมผัสด้านอากาศ และนอกจากนี้ขึ้นอยู่กับ การสูญเสีย น้ำไปโดยพืชและมนุษย์

9.1.3 ระดับน้ำบาดาล ระดับน้ำบาดาลคือพื้นผิวบนของโซนอิ่มตัวด้วยน้ำหรือพื้นผิวระหว่างโซนสัมผัสด้านอากาศกับโซนที่อิ่มตัวด้วยน้ำเป็นระดับผิวของน้ำบาดาล น้ำที่อยู่ส่วนล่างของระดับน้ำบาดาลคือน้ำบาดาล และน้ำที่อยู่ส่วนบนของระดับน้ำบาดาลคือซัสเพนเดควอเตอรั ระดับน้ำบาดาลจะไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามฤดูกาลหรือปริมาณน้ำที่ได้รับ ในแถบที่มีอากาศชุ่มชื้นหรือใกล้แม่น้ำระดับน้ำบาดาลจะอยู่ใกล้ผิวดิน แต่บริเวณที่แห้งแล้งระดับน้ำบาดาลจะอยู่ลึกลงไป และระดับน้ำบาดาลจะมีลักษณะไม่เรียบสม่ำเสมอ จะขึ้นอยู่กับลักษณะของภูมิประเทศ โดยจะมีระดับสูงในส่วนที่เป็นเนินเขา และมีระดับต่ำในส่วนที่เป็นหุบเขา แต่อย่างไรก็ตามระดับน้ำบาดาลอาจเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างได้เนื่องจากการสูบน้ำขึ้นมาใช้



รูปที่ 9.2 แสดงความสัมพันธ์ของระดับน้ำบาดาลกับลักษณะภูมิประเทศ
(ที่มา : Allison & others, 1974 หน้า 352)

ในโซนสัมผัสดอากาศอาจจะมีหินเนื้อแน่นที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ ซึ่งมีรูปร่างเป็นเลนส์หรือเป็นแอ่งอยู่ เมื่อน้ำจากผิวดินไหลลงมาบางส่วนจะถูกกักในแอ่งนี้เหมือนน้ำบาดาลระดับน้ำในแอ่งนี้เรียกระดับน้ำบาดาลปลอม (perched water table)

9.2 การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินจะมีลักษณะและทิศทางของการไหลเหมือนกับน้ำผิวดินคือ ไหลในแนวระดับเพื่อลงสู่พื้นที่ต่ำกว่าและน้ำใต้ดินจะไหลตามแนวตั้งด้วย การไหลจะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับภูมิประเทศและขนาดช่องว่างในหินและการยอมให้น้ำซึมผ่านไป หากไหลไปตามหินเนื้อละเอียดก็จะได้ช้า แต่ในบางพื้นที่ที่มีรอยแตกขนาดใหญ่และติดต่อกันน้ำใต้ดินก็จะไหลเร็ว ดังนั้น การไหลของน้ำจึงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหิน ที่สำคัญคือความพรุนและความซึมได้

9.2.1 ความพรุน (Porosity) ความพรุนหมายถึงช่องว่างในหิน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรหินทั้งหมดหรือคือส่วนหนึ่งของหินที่ไม่ได้เป็นเนื้อหิน ค่าความพรุนสามารถคำนวณได้ดังนี้

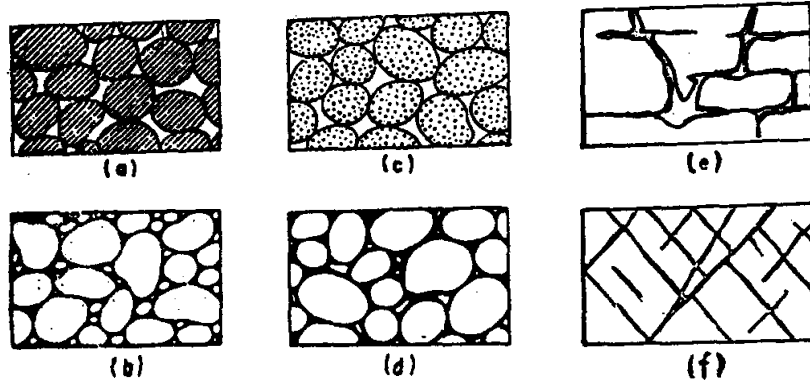
$$\text{ความพรุน (\%)} = \frac{\text{ปริมาตรของช่องว่าง}}{\text{ปริมาตรของหินทั้งหมด}} \times 100$$

ตัวอย่างเช่นทรายหนึ่งถังมีปริมาตรรวม 100 ลบ.นิ้ว แต่ในทรายถังนี้มีส่วนว่างคิดเป็นปริมาตร 20 ลบ.นิ้ว ดังนั้นทรายถังนี้มีความพรุนเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์

โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว ความพรุนที่มีค่าน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ถือว่ามีความพรุนต่ำ ความพรุน 5 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์มีความพรุนปานกลาง และความพรุนมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ถือว่ามีความพรุนสูง

เนื่องจากน้ำบาดาลเป็นน้ำที่กักเก็บอยู่ในช่องว่างของหินในโซนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ ดังนั้นความพรุนจะชี้ให้เห็นว่าหินจะเก็บน้ำไว้ได้มากหรือน้อย ความพรุนของหินจะแตกต่างกันไปตามชนิดของหินหรือขนาดของตะกอน รูปร่าง การจัดเรียงตัว และการมีสารเชื่อมของตะกอนในหินเนื้อแน่นละเอียด เช่นดินแกรนิตและหินปูนความพรุนจะมีน้อยมาก แต่จะมีรอยแตกทำให้กักน้ำได้มาก หินทรายและหินกรวดจะมีความพรุนสูงแต่ก็ขึ้นอยู่กับสารเชื่อมด้วย

ความพรุนของหินตะกอนจะมีมาก ถ้าเม็ดตะกอนที่ประกอบหินมีรูปร่างกลมมน และเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบ ตะกอนขนาดใหญ่คลุกเคล้ากันอย่างดีและแยกตัวออกจากตะกอนขนาดเล็ก ไม่มีสารซีเมนต์หรือสารเชื่อมประสานตะกอนจนแน่นและต่อเนื่องเป็นเนื้อเดียวกัน หินมีโพรงเนื่องจากหินถูกชะล้างละลายออกไปมาก และมีรอยแตกมากมายทุกทิศทาง (ดูรูปที่ 9.3)



รูปที่ 9.3 แสดงความสัมพันธ์ของช่องว่างเนื้อหินและความพรุน

- a. การคัดขนาดดี มีความพรุนสูง
- b. การคัดขนาดเลว มีความพรุนต่ำ
- c. การคัดขนาดดีและเศษหินเนื้อพรุน ความพรุนจะสูงมากขึ้น
- d. การคัดขนาดดีแต่มีสารเชื่อมมาแทรกตามช่องว่าง ความพรุนจะลดลง
- e. ความพรุนเกิดจากการละลายของหิน
- f. ความพรุนเกิดจากรอยแตกในเนื้อหิน

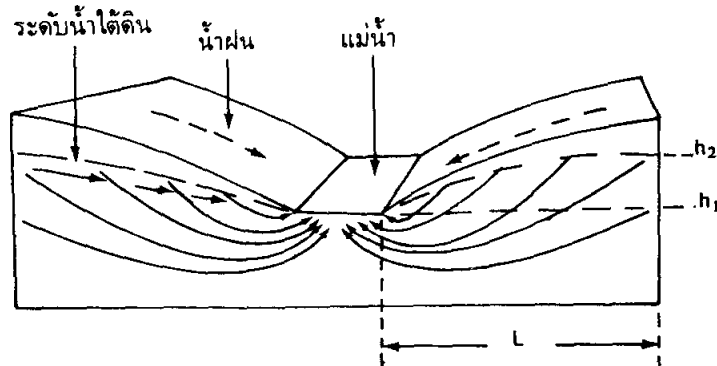
(ที่มา : Todd, 1959 หน้า 16)

9.2.2 ความซึมได้ (Permeability) ความซึมได้หมายถึง ความสามารถของชั้นหินที่ยอมให้น้ำไหลผ่านไปได้ อัตรากายอมให้น้ำผ่านได้นั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับจำนวนช่องว่างหรือความพรุนทั้งหมด แต่จะขึ้นอยู่กับขนาดของช่องว่างและช่องว่างเหล่านี้จะต้องติดต่อกัน

เพื่อให้น้ำไหลผ่านได้ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วย ชั้นหินที่น้ำซึมผ่านได้และอยู่ภายใต้ระดับน้ำบาดาลเรียกชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifer) ส่วนชั้นหินที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ (impermeable) จะเป็นหินเนื้อแน่น ตัวอย่างเช่น ดินเหนียวมีความพรุนมากกว่าทราย แต่ดินเหนียวมีช่องว่างขนาดเล็กมาก น้ำจึงไหลผ่านทรายได้ดีกว่าดินเหนียวเพราะทรายมีช่องว่างขนาดใหญ่ติดต่อกันจนน้ำไหลผ่านได้ดี โดยปกติค่าความซึมได้คิดเป็นอัตราการไหลของน้ำผ่านพื้นที่หน้าตัดของหินอุ้มน้ำภายใต้ความกดดันต่างกัน จึงอาจมีหน่วยเป็นแกลลอนต่อวันต่อตารางฟุต ค่าที่วัดได้เรียกว่า สัมประสิทธิ์ของความซึมได้ (coefficient of permeability)

9.2.3 ความเร็วของการไหล การไหลของน้ำบาดาลส่วนมากจะเป็นไปอย่างช้า ๆ จึงไหลแบบเรียบ (laminar) การไหลวัดได้เป็นเซนติเมตรต่อวันหรือบางพื้นที่อาจเป็นเซนติเมตรต่อปี ยกเว้นการไหลของน้ำบาดาลในโพรงใหญ่ของหินปูนจะไหลแบบเชี่ยว (turbulent) เช่นเดียวกับน้ำบนผิวดิน การไหลจะขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำและผนังของหิน น้ำที่อยู่ส่วนกลางของช่องว่างจะไหลได้เร็วกว่าน้ำที่เกาะกับผนังของหินเพราะมีความต้านทานน้อยกว่า

น้ำบาดาลจะไหลได้ด้วยแรงดึงดูดของโลก ดึงให้น้ำไหลลงข้างล่างจนถึงระดับน้ำบาดาล และการไหลของน้ำบาดาลจะเกิดขึ้นได้ระดับน้ำบาดาลต้องมีความลาดเอียง น้ำจะไหลจากระดับน้ำบาดาลสูง ไปสู่ที่มีระดับน้ำบาดาลต่ำกว่า เรียกความลาดของระดับน้ำบาดาลหรือความลาดของแรงดัน (hydraulic gradient) (ดูรูปที่ 9.4)



รูปที่ 9.4 การไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นหินอุ้มน้ำชนิดเดียวกัน

(ที่มา : อภิลักษณ์ เอี่ยมหนอง, 2530 หน้า 323)

- ความลาดเอียงของแรงดันสามารถวัดได้โดยเอาระยะทางของการไหล (L) ไปหารระยะทางในแนวตั้งระหว่างจุดสองจุดคือ h_2 และ h_1 ค่าความแตกต่างสองจุด ($h_2 - h_1$) เท่ากับความสูง (h) เรียกแรงดันของน้ำ (head) ดังนั้นความลาดของแรงดันเขียนออกมาได้ เป็น h/L

$$h = (h_2 - h_1) \text{ คือแรงดันของน้ำ}$$

$$L = \text{คือระยะทางของการไหล}$$

เฮนรี ดาร์ซี (Henri Darcy) วิศวกรชาวฝรั่งเศสได้ให้กฎเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างความลาดและความเร็วของการไหล ในปี ค.ศ.1856 โดยเรียกว่า กฎของ 611% (Darcy's law) ดังนี้

$$V = K \frac{h}{L}$$

เมื่อ V = ความเร็วของการไหลของน้ำ

h = แรงดันของน้ำ

L = ระยะทางของการไหล

และ K = สัมประสิทธิ์ของความซึมได้

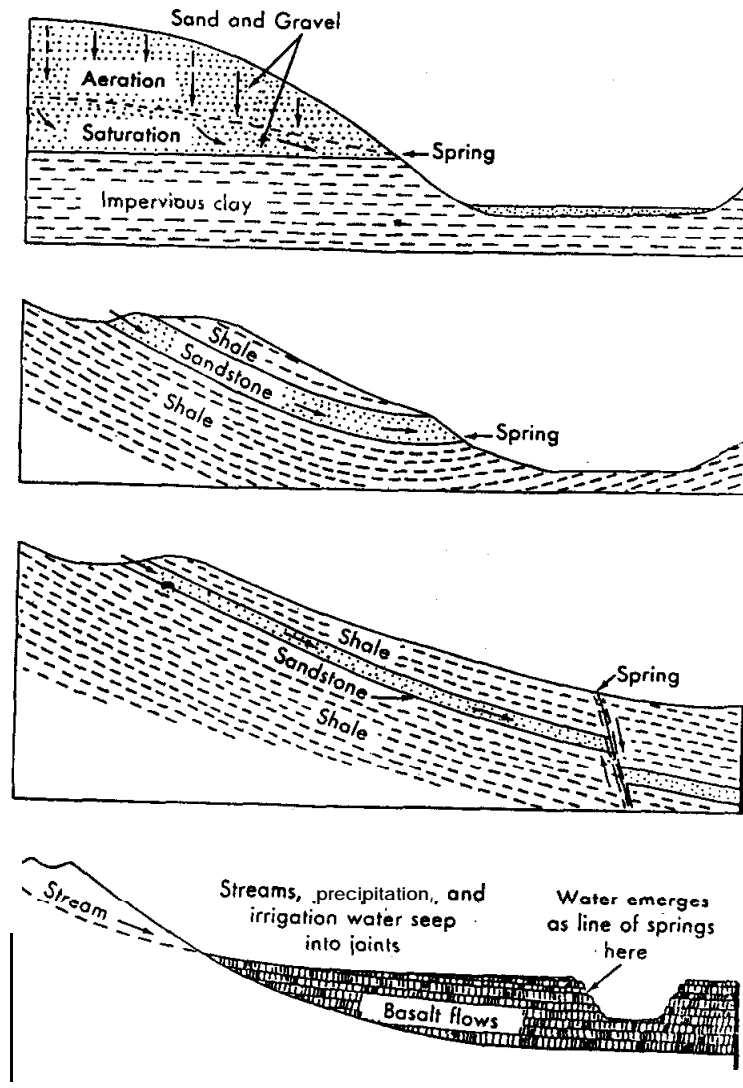
กฎนี้แสดงให้เห็นว่าถ้าหินที่มีความซึมได้คงที่ ความเร็วของการไหลของน้ำบาดาลจะเพิ่มขึ้น เมื่อความลาดของแรงดันสูงขึ้น หรือความเร็วของการไหลของน้ำบาดาลจะเปลี่ยนแปลงไปตามความลาดของระดับน้ำบาดาล ถ้าความลาดเอียงของระดับน้ำบาดาลมาก ความเร็วของการไหลก็สูง

การไหลของน้ำบาดาลในส่วนที่ลึกลงไปจะเห็นว่าน้ำจะไหลในลักษณะเป็นส่วนโค้งกว้าง ๆ ไปสู่ทางออกเช่น แม่น้ำ การไหลที่เป็นลักษณะแนวโค้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลกและการที่น้ำมักจะไหลไปตามความลาดเอียงของระดับน้ำบาดาลนั่นเอง

9.3 น้ำบาดาลในธรรมชาติ

1. น้ำพุ (springs) น้ำพุคือน้ำใต้ดินที่ขึ้นสู่ผิวดิน โดยมีความเร็วของน้ำพุ่งออก

มาเป็นผลที่เกิดจากการตัดกันโดยธรรมชาติของผิวดินและระดับน้ำบาดาล ถ้าน้ำไหลออกมาช้าเรียกว่าน้ำซึม (seepage) น้ำจากน้ำฝนจะมีแร่ธาตุอยู่มากเพราะว่าขณะที่ไหลผ่านชั้นหินและดินมันจะละลายแร่ธาตุออกมาซึ่งบางชนิดก็มีประโยชน์ บางชนิดก็มีโทษ (ดูรูปที่ 9.5) การเกิดน้ำพุในบริเวณที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาต่าง ๆ กัน

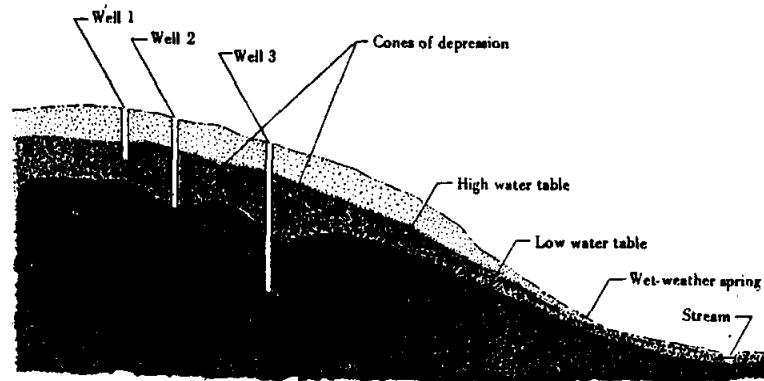


รูปที่ 9.5 แสดงการเกิดน้ำพุในบริเวณที่มีลักษณะทางธรณีวิทยาต่าง ๆ กัน
(ที่มา : Eardley, 1972. หน้า 218)

น้ำพุจะเกิดขึ้น โดยที่น้ำจะ ไหลลงชั้นหินที่น้ำซึมผ่านได้ แต่ชั้นน้ำนี้จะมึหินเนื้อแน่น ซึ่งน้ำซึมผ่าน ไม่ได้รองรับอยู่ น้ำจึง ไหลออกทางด้านข้างตามผิวบนของชั้นหินที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ ในลักษณะของน้ำพุ น้ำพุอาจเกิดจากหินที่มีความพรุนแตกต่างกันวางตัวสลับกันและมีความลาดเอียงเล็กน้อย น้ำพุจะเกิดส่วนบนของหินที่มีความพรุนน้อยและ ไหลลงไปตามความลาดชัน หรือหินบริเวณที่มีรอยเลื่อนเกิดขึ้นน้ำพุจะ ไหลออกมาตามรอยเลื่อน

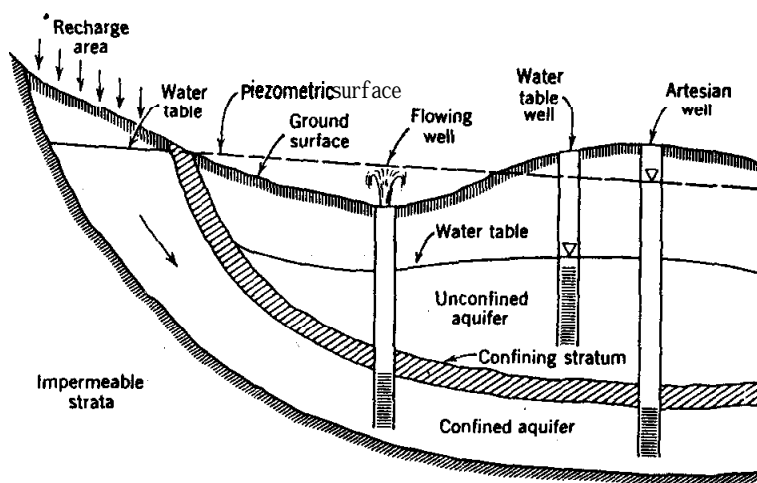
นอกจากนี้ น้ำพุยังเกิด ในภูมิประเทศที่มี โดคั โผล่ขึ้นมา ในหินที่มีความพรุนมาก น้ำพุจะ ไหลไปตามความลาดชันของพื้นที่ และน้ำพุอาจเกิด ในหินที่มีรอยแตกจำนวนมากหรือช่องว่างที่เกิดจากน้ำละลายเอาเนื้อหินไป น้ำที่ไปซึ่งอยู่จนเต็มระดับน้ำอาจจะไปติดกับผิวหิน น้ำก็จะ ไหลออกมาสู่ผิวดิน ในลักษณะน้ำพุ

2. บ่อน้ำบาดาล (water table well) บ่อน้ำบาดาลเป็นบ่อที่เจาะหรือขุด ลึกลงไปในดินจนถึงชั้นหินอุ้มน้ำและต้องเจาะลึกลงไปกว่าระดับน้ำบาดาล การไหลของน้ำบาดาลในชั้นหินอุ้มน้ำชนิดนี้ เพราะแรงโน้มถ่วงของโลกอย่างเดียว ไม่มีแรงดัน ระดับน้ำในบ่อจะสูงเท่ากับระดับน้ำบาดาล ถ้าสูบน้ำจากบ่อน้ำบาดาลจะทำให้ระดับน้ำบาดาลลดต่ำลงเกิดกรวยน้ำลด (cone of depression) รอบ ๆ บ่อ และกรวยน้ำลดนี้จะยิ่งเพิ่มความกว้างและความลึกมากขึ้นถ้าสูบน้ำขึ้นมา มาก (ดูรูปที่ 9.6) บ่อน้ำบาดาลประเภทนี้ถ้าขุดตื้นมี โอกาสที่จะขาดแคลนน้ำได้ในหน้าแล้ง เพราะระดับน้ำบาดาลจะต่ำกว่าปกติ ควรจะขุดให้ลึก เพื่อที่จะมีน้ำใช้ตลอดปี ทั้งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชั้นหินอุ้มน้ำด้วย



รูปที่ 9.6 แสดงบ่อน้ำบาดาลและกรวยน้ำลด
(ที่มา : Leet & Judson, 1971 หน้า 261)

3. น้ำอาร์ตเซียน (Artesian water) น้ำอาร์ตเซียนเป็นน้ำบาดาลที่อยู่ภายใต้ความกดดันและมีอุณหภูมิ สภาพที่ก่อให้เกิดน้ำอาร์ตเซียนจะต้องประกอบด้วยชั้นหินอุ้มน้ำที่เอียงและปลายด้านหนึ่ง ไหลที่ผิวดินเพื่อรับน้ำ ชั้นหินอุ้มน้ำนี้จะต้องมีหินเนื้อแน่นปิดทับอยู่ทั้งบนและล่าง ทำให้เกิดความดันและกันไม่ให้น้ำซึมลงสู่ข้างล่าง (ดูรูปที่ 9.7) บ่อน้ำบาดาลที่เจาะได้น้ำอาร์ตเซียนนี้เรียกบ่อน้ำอาร์ตเซียน น้ำในบ่อจะมีระดับสูงกว่าชั้นหินอุ้มน้ำ ขนาดของความดันวัดได้จากความสูงของระดับน้ำที่สูงขึ้นในบ่อ เรียกระดับความดัน (piezometric surface) บางครั้งระดับความดันในชั้นหินอุ้มน้ำมีแรงดันอยู่เหนือระดับพื้นผิวดิน บ่อที่เจาะก็จะม่น้ำไหลพุ่งขึ้นมาเหนือปากบ่อเรียก flowing well

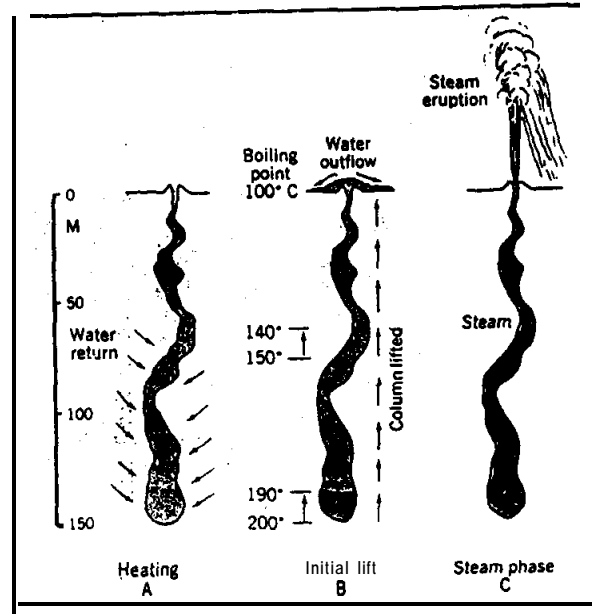


รูปที่ 9.7 แสดงชั้นน้ำอาร์ตเซียน

(ที่มา : Todd, 1959 หน้า 28)

4. น้ำพุร้อนหรือบ่อน้ำร้อน (Thermal springs or hot springs) น้ำพุร้อนหรือบ่อน้ำร้อนเป็นลักษณะของน้ำพุแต่น้ำที่ไหลออกมาบนผิวดินจะอุ่นหรือร้อนจนเดือด มักจะมีสารละลายของเกลือและก๊าซปนอยู่ ความร้อนที่ทำให้น้ำร้อนนั้นอาจเกิดจากความร้อนภายในโลกเมื่อน้ำบาดาลไหลเวียน ไปถึงที่ลึก ๆ หรือน้ำบาดาลสัมผัสกับหินอัคนีที่ยังร้อนอยู่ และน้ำร้อนนี้อาจเป็นน้ำที่ได้มาจากแมกมาแต่จะมีปริมาณน้อยมาก

5. น้ำพุร้อนไกเซอร์ (Geysers) น้ำพุร้อนไกเซอร์เป็นน้ำพุร้อนชนิดหนึ่งที่มีน้ำร้อน
 พุ่งไอน้ำร้อนพุ่งขึ้นมาเป็นช่วง ๆ เนื่องจากมีกำลังอัดดันของน้ำแรงมากและสลับกับการหยุด น้ำ
 ร้อนไกเซอร์บางแห่งมีน้ำพุ่งขึ้นสูงถึง 100 เมตร จะพบน้อยกว่าน้ำพุร้อน สาเหตุที่ทำให้ น้ำร้อน
 เช่นเดียวกับน้ำพุร้อน การเกิดน้ำพุร้อนไกเซอร์อธิบายตาม Bunsen Theory ได้ดังนี้
 (ดูรูปที่ 9.8)



รูปที่ 9.8 แสดงการเกิดน้ำพุร้อนไกเซอร์ตาม Bunsen Theory
 (ที่มา : Strahler, 1981 หน้า 401)

โครงสร้างของน้ำพุร้อนไกเซอร์จะประกอบด้วยท่อยาวแคบซึ่งมีรูปร่างคดเคี้ยว
 และส่วนคอดมาก และมีน้ำบาดาลที่ไหลจากหินข้างเคียงมาซึ่งอยู่ โดยทั่วไปจุดเดือดของน้ำจะ
 สูงขึ้นเมื่อความดันของน้ำเพิ่มขึ้นตามความลึก เช่น ที่ความลึก 150 เมตร จุดเดือดของน้ำ
 ประมาณ 200 องศาเซลเซียส ดังนั้นน้ำบาดาลที่มาซึ่งอยู่จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและอุณหภูมิจะสูงขึ้น
 เรื่อย ๆ โดยความร้อนที่ได้จากหินที่ล้อมรอบอยู่จนกระทั่งอุณหภูมิถึงจุดเดือดเกือบตลอดความ
 ยาวของท่อ แต่น้ำบริเวณตอนล่างของท่อจะถึงจุดเดือดก่อนและกลายเป็นไอน้ำดันให้น้ำตอนบน
 ไหลออกสู่ผิวดิน การขับน้ำออกมาเป็นการลดความดันของน้ำเหนือจุดเดือด ต่อมาน้ำในท่อทั้ง

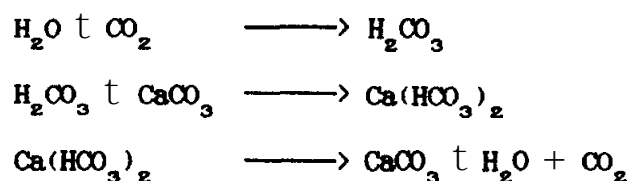
หมดจะถึงจุดเดือดและกลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็ว ภายใต้ความกดดันอย่างสูง น้ำร้อนและไอน้ำร้อนจะพุ่งสูงขึ้นไปในอากาศอยู่ประมาณ 2-3 นาที ภายหลังจากที่ถูกผลักดันขึ้นมา กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นซ้ำอีกถ้ามีน้ำบาดาลไหลเข้ามาเพิ่ม

9.4 ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากการกระทำของน้ำใต้ดิน

การกระทำของน้ำใต้ดินก็เช่นเดียวกับน้ำผิวดิน แต่จะมีความรุนแรงน้อยกว่า เพราะน้ำใต้ดินไหลช้า กระบวนการที่สำคัญคือ การละลาย โดยเฉพาะถ้ามีน้ำใต้ดินไหลผ่านหินที่ละลายน้ำได้ง่าย เช่น หินปูน สารละลายที่ได้จากการละลายอาจจะมีสาเหตุต่าง ๆ ทำให้เกิดการทับถมขึ้น แต่บางส่วนจะถูกพัดพาออกไปสู่ทะเลหรือที่ต่ำกว่า

1. ถ้ำและลักษณะที่เกี่ยวข้อง ถ้ำส่วนมากเกิดขึ้นในบริเวณที่มีน้ำใต้ดินและหินละลายน้ำได้ เช่น หินปูน หิน โดโลไมต์หรือบรเวอไรต์ ที่มีฟลักคาร์บอเนต โดยหินพวกนี้จะถูกน้ำใต้ดินกัดเซาะ โดยการละลายจนเป็นโพรงเล็ก ๆ ต่อมาโพรงจะขยายใหญ่เป็นถ้ำ ขนาดของมันจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับระดับและการไหลของน้ำบาดาล ถ้ำส่วนมากมักเกิดในหินปูนมีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ แต่ถ้ำที่เกิดในหิน โดโลไมต์จะมีขนาดเล็กเพราะมีความแข็งกว่าหินปูนจึงถูกน้ำใต้ดินละลายได้ช้ากว่า

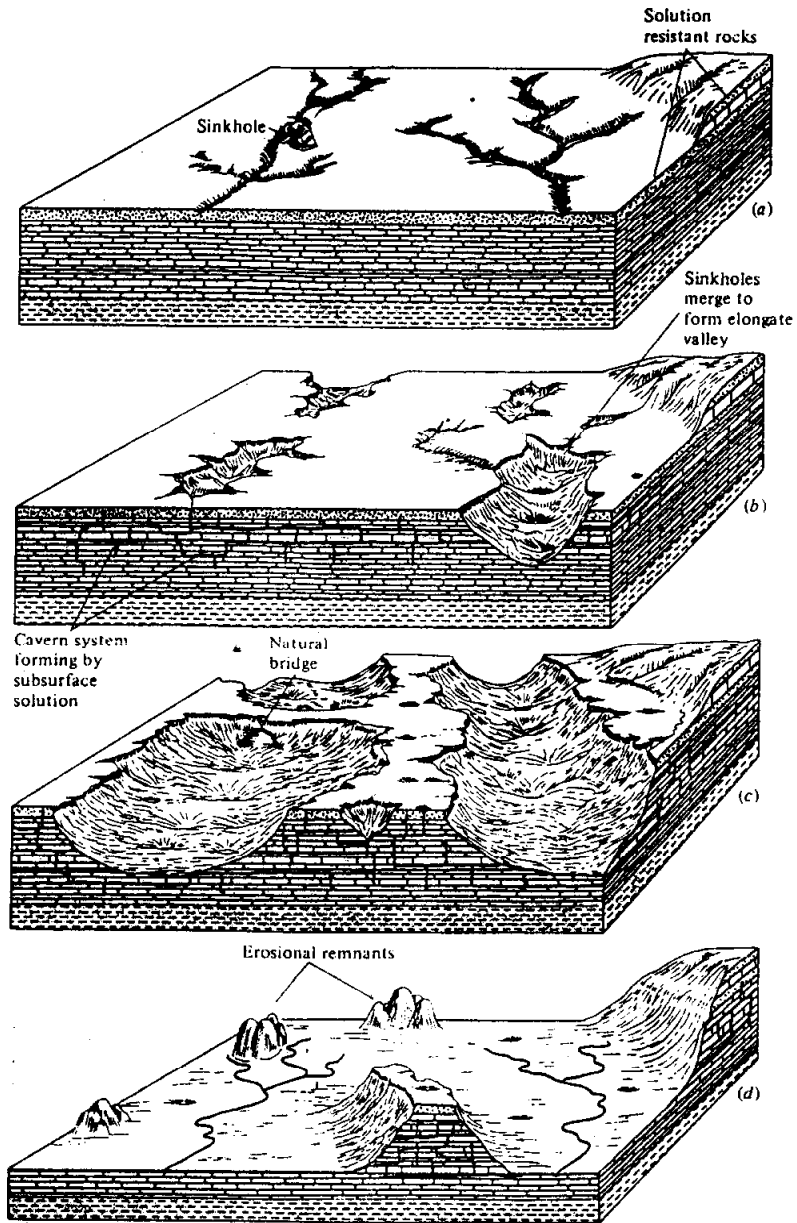
การเกิดถ้ำในหินปูนซึ่งมีแร่แคลไซต์ (CaCO_3) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ ส่วนประกอบที่เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตนั้นจะละลายน้ำได้เล็กน้อยเท่านั้น แต่น้ำที่มีกรดคาร์บอนิกอ่อน ๆ ผสมอยู่จะมีอำนาจการละลายเพิ่มขึ้นมาก โดยทั่วไปน้ำตามธรรมชาติจะมีกรดคาร์บอนิกเป็นส่วนประกอบอยู่แล้ว ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของน้ำกับคาร์บอนไดออกไซด์ และเมื่อไหลผ่านชั้นดินจะเป็นกรดมากขึ้น ซึ่งทำปฏิกิริยากับแคลไซต์ได้สารละลายแคลเซียมไบคาร์บอเนต สารละลายแคลเซียมไบคาร์บอเนตนี้จะไหลไปตามรอยแตกของหินปูน เมื่อน้ำระเหยออกไปและคาร์บอนไดออกไซด์แยกตัวออกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงใหม่ ปฏิกิริยาดังกล่าวเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



ปฏิกิริยาเคมีเหล่านี้ทำให้เกิดถ้ำขึ้นในหินปูนและลักษณะอื่น ๆ ภายในถ้ำที่พบ
เสมคือหินงอก (stalagmite) หินย้อย (stalactite) เสาหิน (column) ซึ่งเกิดสาร
ละลายแคลเซียมไบคาร์บอเนตซึมไปตามเพดานถ้ำแล้วหยดลงสู่พื้นถ้ำพร้อมทั้งมีการระเหยของ
น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้เกิดการตกตะกอนของแคลเซียมไบคาร์บอเนตเป็นแคลเซียม
คาร์บอเนต ในรูปของแร่แคลไซต์ย้อยลงจากเพดานถ้ำ ส่วนที่หยดลงสู่พื้นถ้ำจากปลายของหินย้อย
จะค่อย ๆ งามสูงขึ้นกลายเป็นหินงอก เมื่อหินงอกและหินย้อยมาชนต่อเนื่องกันเป็นแท่งเรียก
เสาหิน แต่เสาหินอาจเกิดจากหินย้อยย้อยลงมาติดพื้นถ้ำได้ ลักษณะเหล่านี้ถือว่าเป็นหินปูนน้ำจืด
(dripstone) ส่วนตามผนังหรือเพดานถ้ำหรือผิวของหินงอก หินย้อยมักจะมีเกล็ดของแร่แคล
ไซต์เกาะอยู่มีสีขาวใส สะท้อนแสงได้ดีและแวววาว เกล็ดเหล่านี้เรียก คราบหินปูน (tufa
หรือ travertine)

2. หลุมยุบ เป็นหลุมซึ่งเกิดขึ้นมากในแถบภูมิประเทศเป็นหินปูน น้ำใต้ดินจะละลาย
เอาเนื้อหินออกไป ทำให้เป็นโพรงข้างล่าง เมื่อผนังด้านบนไม่สามารถรับน้ำหนักได้มันก็จะยุบ
ตัวลงมาเป็นหลุม เรียกหลุมยุบ (sinkhole หรือ sink) หลุมยุบอาจเกิดจากการที่น้ำไป
ละลายหินโดยตรงจนเกิดเป็นหลุมขึ้น หลุมยุบอาจจะมึน้ำไปซึ่งอยู่เป็นทะเลสาบเล็ก ๆ

3. ภูมิประเทศคาร์สต์ (karst topography) เป็นชื่อที่ได้มาจากที่ราบสูงใน
ยูโกสลาเวียและทางตะวันออกเฉียงเหนือของอิตาลี ซึ่งมีภูมิประเทศแบบนี้เกิดขึ้นมาก ใช้เรียก
ภูมิประเทศที่หินปูนถูกกระทำจนมีหลุมยุบจำนวนมาก นอกจากนั้นยังเกิดในหินที่ละลายน้ำได้ซึ่งเป็น
พวกแคลคาเรียสทั้งหมด ภูมิประเทศคาร์สต์นี้ยังประกอบด้วยถ้ำ ทางน้ำใต้ดิน ลักษณะภูเขาเป็น
ตะปุ่มตะป่ำ หน้าผาสูงชัน และร่องน้ำสั้น ๆ แต่ไม่จำเป็นต้องพบทุกแบบ (ดูรูปที่ 9.9)



รูปที่ 9.9 แสดงพัฒนาการของภูมิประเทศคาร์สต์ การเกิดหลุมยุบและถ้ำ
 (ที่มา : Ludman & Coch, 1982 หน้า 225)

9.5 สรุป

น้ำใต้ดินคือน้ำที่เก็บกักอยู่ในช่องว่างหรือรอยแตกของหินและดิน น้ำใต้ดินส่วนใหญ่เป็น meteoric water และบางส่วนเป็น juvenile water และ connate water

น้ำใต้ดินที่กระจายอยู่ในโซนสัมผัสดังอากาศจะมีอากาศแทรกอยู่ด้วย น้ำในส่วนนี้เรียก ซึสเฟนเดควอเตอร์ โซนสัมผัสดังอากาศจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนความชื้นในดิน ส่วนกลาง และส่วนขอบบาง ๆ ต่ำลง ไปจากโซนนี้คือโซนอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งจะมีน้ำบรรจุอยู่เต็มช่องว่างในดิน และหิน น้ำส่วนนี้เรียกน้ำบาดาล พื้นผิวระหว่างโซนสัมผัสดังอากาศและโซนอิ่มตัวด้วยน้ำเรียกระดับน้ำบาดาล จะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามปริมาณน้ำและมีลักษณะรูปร่างตามภูมิประเทศ

การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินส่วนมากซ้ำมีการไหลแบบเรียบเพราะผ่านชั้นหิน ดังนั้น การเคลื่อนที่จึงขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหิน 2 ประเภท คือ ความพรุน ซึ่งหมายถึงช่องว่างในหิน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรหินทั้งหมด และความซึมได้คือความสามารถของชั้นหินที่ยอมให้น้ำไหลผ่านไปได้

น้ำบาดาลจะไหลได้ด้วยแรงดึงดูดของโลก ซึ่งเป็นไปตามกฎของดาร์ซี คือ

$$V = K \frac{h}{L}$$

น้ำบาดาลในธรรมชาติที่อยู่ในชั้นหินอุ้มน้ำ โดยทั่วไปจะไหลออกมาบนผิวดินในลักษณะของน้ำพุและบ่อน้ำบาดาล

น้ำพุเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวดินตัดกับระดับน้ำบาดาล

บ่อน้ำบาดาลเป็นบ่อที่ขุดลงไปในโซนที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

บ่อน้ำอาร์ติเซียนเป็นบ่อน้ำบาดาลที่ขุดลงไปในชั้นน้ำอาร์ติเซียน บ่อนชนิดนี้จะมีแรงดันทำให้น้ำระดับน้ำอยู่สูงกว่าชั้นหินอุ้มน้ำ

น้ำพุร้อนหรือบ่อน้ำร้อน ได้รับความร้อนจากการเย็นตัวของหินอัคนีหรือจากความร้อนภายในโลกที่เพิ่มขึ้นเมื่อลึกลงไป

น้ำพุร้อนไกเซอร์คือ น้ำพุร้อนที่ผ่านเอาน้ำปนไฮโดรเจนขึ้นมาเป็นระยะ ๆ อย่างรุนแรง ลักษณะภูมิประเทศที่เกิดจากการกระทำของน้ำใต้ดินที่พบมากคือถ้ำ เกิดขึ้นจากการ

ละลายของหินปูน โดยปฏิกิริยาทางเคมีที่หินปูนทำกับกรดคาร์บอนิก ซึ่งกรดนี้เกิดขึ้นจากการรวมกันของน้ำกับคาร์บอนไดออกไซด์ สารละลายของหินปูนจะตกตะกอนใหม่เมื่อน้ำเกิดการระเหยกลายเป็นหินย้อย หินงอก เส้าหิน

หลุมยุบ เป็นหลุมที่เกิดขึ้นจากการที่น้ำใต้ดินไปละลายหินปูนให้เป็นโพรง และต่อมาผนังตอนบนยุบลงมาเกิดเป็นหลุมขึ้น

บริเวณหินปูนที่มีหลุมยุบเป็นจำนวนมากเราเรียกภูมิประเทศคาร์สต์

แบบฝึกหัดบทที่ 9

1. น้ำใต้ดินคืออะไร สัมพันธ์กับวัฏจักรของน้ำอย่างไร และทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเปลือกโลกอย่างไร
2. เปรียบเทียบแหล่งกำเนิดน้ำใต้ดินเหล่านี้ meteoric water, connate water, และ juvenile water
3. บอกชื่อโซน 2 โซนที่น้ำใต้ดินไปซึ่งอยู่ อธิบายแต่ละโซนอย่างละเอียด
4. ระดับน้ำบาดาลคืออะไร และมีความสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประเทศอย่างไร
5. ความพรุนคืออะไร สัมพันธ์กับหินชนิดต่าง ๆ อย่างไร
6. ความซึมได้คืออะไร สัมพันธ์กับความพรุนอย่างไร
7. จงกล่าวถึงกฎของดาร์ซี แสดงให้เห็นว่าระดับน้ำบาดาลและกฎนี้ส่งผลกับการไหลของน้ำบาดาลอย่างไร
8. น้ำพุเกิดขึ้นได้อย่างไร อธิบายและวาดรูปประกอบ
9. อธิบายบ่อน้ำบาดาล และถ้ามีการสูบน้ำบาดาลขึ้นจากบ่อเป็นจำนวนมากจะเกิดอะไรขึ้นใกล้กับบ่อ
10. น้ำอาร์ติเซียนคืออะไร เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมอย่างไร และอธิบายบ่อน้ำอาร์ติเซียนพร้อมทั้งวาดรูปประกอบ
11. อธิบายการเกิดของบ่อน้ำร้อนหรือน้ำพุร้อน แหล่งของความร้อนคืออะไร
12. อธิบายกระบวนการที่ทำให้เกิดการระเบิดของน้ำพุร้อนไกเซอร์
13. ถ้าหินปูนเกิดขึ้นได้อย่างไร
14. หินงอก หินย้อย เส้าหิน และคราบหินปูน คืออะไร เกิดขึ้นได้อย่างไร อธิบาย
15. จงอธิบายหลุมยุบที่เกิดบนชั้นหินปูน
16. ภูมิประเทศคาร์สต์คืออะไร ชื่อนี้มีกำเนิดมาจากที่ใด