

# บทที่ 6

## น้ำใต้ดิน

### (GROUNDWATER)

#### จุดมุ่งหมาย

เมื่อศึกษาบทนี้แล้ว นักศึกษา/ควรมีความเข้าใจและสามารถที่จะ

1. อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำใต้ดินกับอุทกวัฏจักรได้
2. อธิบายถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ทางกายภาพของส่วนประกอบของพื้นดินที่มีผลต่อการเกิดน้ำใต้ดินได้
3. อธิบายถึงการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินได้
4. บอกและอธิบายถึงปัจจัยที่มีผลต่อระดับน้ำใต้ดินได้อย่างน้อย 3 ประการ
5. บอกถึงการเพิ่มน้ำทดแทนให้กับน้ำใต้ดินได้อย่างน้อย 2 วิธี
6. อธิบายถึงปรากฏการณ์การแทรกซอนของน้ำใต้ดินได้
7. ทราบถึงตัวแปรที่ใช้วัดคุณภาพของน้ำใต้ดิน

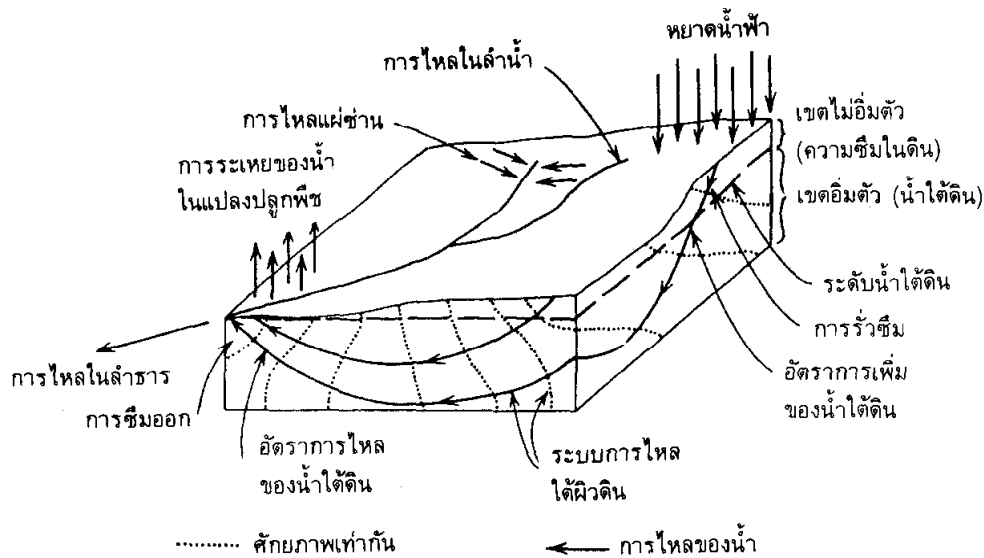
# 1. ความหมายของน้ำใต้ดิน

**น้ำใต้ดิน (groundwater)** คือ น้ำที่เกิดขึ้นภายใต้ผิวโลกภายในเขตอิ่มตัว (saturated zone) ที่ซึ่งความดันของของเหลวหรือน้ำ (hydrostatic pressure) เท่ากับหรือมากกว่าความดันของบรรยากาศ (atmospheric pressure) คำจำกัดความนี้มีประโยชน์ทำให้ทราบถึงข้อแตกต่างระหว่างน้ำใต้ดินกับน้ำในผิวดิน (subsurface water) ชนิดอื่น ๆ เช่น น้ำซึมซาบ (capillary water) หรือน้ำในดิน (soil water) อย่างไรก็ตาม ที่สำคัญยิ่งกว่าความแตกต่างระหว่างการเกิดน้ำใต้ผิวดินแบบต่าง ๆ ก็คือต้องจำไว้เสมอว่าน้ำทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นในบรรยากาศ บนผิวดิน หรือใต้ผิวโลกก็ตามล้วนเป็นส่วนของการจัดสรรน้ำธรรมชาติ ๆ นั้นเอง มนุษย์พยายามที่จะเพิ่มบทบาทของตนในการควบคุมปริมาณน้ำฝน สร้างแหล่งเก็บน้ำบนผิวดิน และใช้อย่างเก็บน้ำใต้ดินธรรมชาติเพื่อการเก็บกักและการพัฒนาสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้เป็นจุดทำให้มนุษย์ต้องตัดสินใจว่าที่ไหนและเมื่อไหร่ที่ควรที่จะสร้างระบบการประปาเพื่อการจัดหาและการแจกจ่ายน้ำ (water supply) ที่เหมาะสม

น้ำใต้ดินเป็นส่วนที่เกิดขึ้นมาอย่างน่าพิศวงของอุทกวิทยจักร เราไม่สามารถมองเห็นว่าน้ำเคลื่อนที่ภายใต้ดินได้ นอกจากที่จะเจาะหลุมและมองหามัน แต่การทำเช่นนั้นเท่ากับเป็นการไปรบกวนและทำลายส่วนที่เราต้องการเห็น เครื่องมือไฟฟ้าที่ซับซ้อนอาจจะนำมาใช้ในการมองหาน้ำใต้ผิวโลกได้ แต่ข้อมูลที่ได้อาจการคำนวณทางอ้อมนั้นมักจะผิดพลาดและไม่สมบูรณ์อยู่เสมอด้วยเหตุนี้ การเคลื่อนที่และการเกิดน้ำใต้ดินจึงยังคงเป็นสิ่งลึกลับอยู่สำหรับมนุษย์

# 2. ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำใต้ดินกับอุทกวิทยจักร

การหมุนเวียนอย่างไม่มีที่สิ้นสุดของน้ำระหว่างมหาสมุทร บรรยากาศ และพื้นดิน เรียกว่าอุทกวิทยจักรซึ่งได้กล่าวไว้โดยละเอียดแล้วในบทที่ 2 กลไกของอุทกวิทยจักรนั้นจะกำเนิดไปบนสันปันน้ำ (watershed) หนึ่ง ๆ รูปที่ 6.1 ได้แสดงขบวนการและระบบการไหลของน้ำในอุทกวิทยจักรรูปนี้ทำให้เห็นชัดว่าสันปันน้ำนั้นเป็นที่รวมของพื้นที่ระบายน้ำผิวดิน กลุ่มของผิวดินใต้ดิน และการก่อตัวทางธรณีวิทยาภายใต้สันปันน้ำนั้น ขบวนการทางอุทกใต้ผิวดินนั้นมีความสำคัญพอ ๆ กับขบวนการบนผิวดิน อันที่จริงแล้วอาจจะกล่าวได้ว่ามีความสำคัญมากกว่าเสียอีกเนื่องจากว่าวัฏจักรใต้ผิวดินนั้นเป็นตัวควบคุมอัตราการรั่วซึมและอัตราการรั่วซึมนั้นก็มีอิทธิพลต่อเวลาและการกระจายของน้ำไหลบ่าหน้าดิน



รูปที่ 6.1 แผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุทกวัฏจักรกับน้ำใต้ดิน

ที่มา : Freeze and Cherry, 1979.

ตารางที่ 6.1 ดุลยภาพของน้ำของโลก

ประเภทของน้ำ	พื้นที่ (ล้าน กม. <sup>2</sup> )	ปริมาตร (ล้าน กม. <sup>3</sup> )	ปริมาตร (%)	ความลึกเท่า (เมตร)*	จำนวนปีที่มี สภาพอยู่ได้**
มหาสมุทรและทะเล	361	1370.323	94	2500	3000
น้ำใต้ดิน	130	60	4	120	5000
รวมทั้งน้ำใต้ดิน ที่มีการถ่ายเทได้	—	4	0.28	—	330
พืดน้ำแข็งและธารน้ำแข็ง	17.8	30	1.65	60	8300
ทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำ	1.55	0.23	0.02	0.25	10
ความชื้นของดิน	130	0.083	0.01	0.13	1
ไอน้ำในบรรยากาศ	504	0.014	0.01	0.025	10 วัน
แม่น้ำ	0.1	0.001	0.01	0.003	11 วัน
บึง	0.1	0.01	0.01	0.007	1
น้ำในชีวมณฑล	0.1	0.01	0.01	0.001	7 วัน

\* คำนวณโดยค่านิ่งว่าการเก็บกักน้ำกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งโลก

\*\* เป็นอัตราการถ่ายเทของน้ำที่จะเปลี่ยนมาเป็นน้ำใหม่อีก

ที่มา : ดัดแปลงจาก Nace, 1971. และ Lvovitch, 1970.

ข้อมูลในตารางที่ 6.1 นั้นมีผลสะท้อนถึงความสำคัญในเชิงปริมาณของน้ำใต้ดินซึ่งมีความสัมพันธ์กับส่วนประกอบอื่น ๆ ของอุทกวัฏจักร ถ้าเราไม่สนใจส่วนที่เป็นมหาสมุทรอันเป็นน้ำเค็มซึ่งมีปริมาตรถึง 94% ของปริมาตรน้ำทั้งหมดของโลก แต่หันมาสนใจส่วนที่เป็นน้ำจืดซึ่งมีปริมาตรเพียงแค่ 6% ของปริมาตรน้ำทั้งหมดของโลกแล้ว เราจะพบว่าน้ำใต้ดินนั้นจะมีปริมาตรถึง 2/3 ของปริมาตรแหล่งน้ำจืดของโลกถ้าเราจำกัดเฉพาะแหล่งน้ำจืดที่สามารถใช้ประโยชน์ได้เท่านั้น (หมายถึงไม่นำเอาพืดน้ำแข็งและธารน้ำแข็งมาคิด) จะพบว่าน้ำใต้ดินมีจำนวนเกือบเท่ากับปริมาตรทั้งหมดของแหล่งน้ำจืด ถึงแม้ว่าถ้าเราจะพิจารณาเฉพาะน้ำใต้ดินส่วนที่มีการถ่ายเทได้ซึ่งเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับอุทกวัฏจักรโดยตรงอันมีจำนวนประมาณ 4 ล้านลูกบาศก์กิโลเมตรแล้วก็จะพบว่าแหล่งน้ำจืดสามารถแบ่งออกเป็นส่วน ๆ ได้ว่า :

น้ำใต้ดิน	95.0 %
ทะเลสาบ บึง อ่างเก็บน้ำ และแม่น้ำ	3.5 %
ความชื้นของดิน	1.5 %

อย่างไรก็ตาม ตัวเลขในคอลัมน์สุดท้ายของตารางที่ 6.1 นับเป็นตัวเลขที่มีประโยชน์ซึ่งบอกให้เราทราบถึงช่วงเวลาของน้ำแต่ละชนิดที่จะหมุนเวียนถ่ายเทกลับมาเป็นน้ำชนิดนั้น ๆ ใหม่อีก ในบรรดาแหล่งน้ำจืดที่สามารถใช้ประโยชน์ได้นั้น น้ำใต้ดินนับว่ามีการหมุนเวียนถ่ายเทช้าที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำใต้ดินที่อยู่ในชั้นลึกมาก ๆ ซึ่งเป็นชั้นที่น้ำใต้ดินไม่มีการถ่ายเท นั่นหมายความว่าน้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำจืดที่ได้รับน้ำซดเซยเข้ามา ผิดกับไอน้ำในบรรยากาศและน้ำในแม่น้ำซึ่งเป็นแหล่งน้ำจืดที่ได้รับน้ำซดเซยให้มีปริมาณเท่าเดิมได้เร็วมากคือ 10 และ 11 วันตามลำดับ ด้วยเหตุนี้ น้ำใต้ดินจึงเป็นแหล่งน้ำจืดที่จะต้องมีการระมัดระวังในการใช้อย่างมาก เพราะถ้าหากว่าน้ำใต้ดินถูกดูดขึ้นไปใช้ในอัตราที่มากกว่าอัตราของน้ำที่ซึมลงไปซดเซยแล้ว จะทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลงเรื่อย ๆ ถ้าหากว่าระดับน้ำใต้ดินลดลงมากเกินไปจนเสียความสมดุลแล้ว จะทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน (subsidence) อันจะเป็นสาเหตุของการเกิดน้ำท่วมบนบริเวณที่ทรุดต่ำลงได้ในที่สุด

### 3. การเกิดน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินนั้นเราสามารถขุดพบได้ทุกจุดบนผิวโลกถ้าหากว่าบ่อที่ขุดนั้นมีความลึกพอ อย่างไรก็ตามสิ่งที่สำคัญยิ่งกว่าการขุดพบน้ำใต้ดินก็คือปริมาตร (volume) หรือปริมาณของน้ำใต้ดินที่มีอยู่ (supply of groundwater) และอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน ดังนั้นการอธิบายเกี่ยวกับการเกิดน้ำใต้ดินจะมุ่งไปที่คุณสมบัติต่าง ๆ ทางกายภาพของส่วนประกอบของพื้นดินซึ่งมีผลกระทบต่อจำนวนของน้ำที่เก็บสะสมอยู่ที่พื้นดิน และมีผลกระทบต่อความยากง่ายในการดูดน้ำขึ้นมาจากพื้นดิน

### 3.1 ความพรกัตัวและสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ (porosity and permeability)

ความพรกัตัวของหินหรือดิน (porosity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างช่องว่างในหินหรือดินเทียบกับปริมาตรรวมของหินหรือดินนั้น ๆ ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ :

$$\text{ความพรกัตัวของหิน} = \frac{\text{ปริมาตรของช่องว่างในหิน}}{\text{ปริมาตรรวมของหินนั้น}}$$

ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงความพรกัตัว (porosity) และความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ (permeability) ของหินหรือดินทางธรณี

หินหรือดินทางธรณี	ความพรกัตัว (ร้อยละ)	ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ (แกลลอน/วัน/ตร.ฟุต) (ความชันอุทก = 1)
วัสดุร่วน (unconsolidated material)		
ดินเหนียว (clay)	50-60	0.00001-0.001
ดินตะกอน (silt)	20-40	0.001 -10
ตะกอนทรายน้ำพา (alluvial sands)	30-40	10-10,000
ตะกอนกรวดน้ำพา (alluvial gravels)	25-35	10,000 1 ,000,000
วัสดุแข็ง (indurated material)		
หินชั้น (sedimentary) :		
หินดินดาน (shale)	5-15	0.0000001 -0.0001
หินตะกอน (siltstone)	5-20	0.00001 -0.1
หินทราย (sandstone)	5-25	0.001-100
ก้อนกรวด (conglomerate)	5-25	0.001 1 oc
หินปูน (limestone)	0.1-10	0.0001-10
หินอัคนี (igneous) และ		
หินแปร (metamorphic) :		
หินบะซอลต์ (basalt)	0.001-50	0.0001 1
หินแกรนิตที่ถูกชะล้าง (weathered granite)	0.001-10	0.00001 -0.01

หินหรือดินทางธรณี	ความพรกตัว (ร้อยละ)	ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ (แกลลอน/วัน/ตร.ฟุต) (ความชันอุทกฯ/ปี)
หินแกรนิตที่ไม่ถูกชะล้าง (fresh granite)	0.0001 -1	0.0000001-0.00001
หินชะนวน (slate)	0.001 - 1	0.0000001-0.0001
หินชีสต์ (schist)	0.001 - 1	0.000001 - 0.001
หินไนส์ (gneiss)	0.0001 - 1	0.0000001 - 0.0001
หินทัฟฟ์ (tuff)	10-80	0.00001 -1

ที่มา : Waltz, 1977.

ความพรกตัวของหินหรือดินนั้นปกติจะแสดงในรูปของเศษส่วนทศนิยมหรือเปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างเช่นความพรกตัวของหินทรายเป็นร้อยละ 25 หมายความว่า ถ้าเอาหินทรายไปแช่น้ำให้อิมตัวเต็มที่จะอุ้มน้ำไว้ได้ 25 ส่วนใน 100 ส่วนของปริมาตรเดิม ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความพรกตัวของหินหรือดินนั้นเป็นตัวควบคุมปริมาตรของน้ำที่เก็บกักอยู่ภายในหินหรือดินนั้น ๆ ในหินหรือดินทางธรณีที่เกิดขึ้นตามธรรมชาตินั้นจะมีความพรกตัวแตกต่างกันมาก ในตารางที่ 6.2 แสดงความพรกตัวของหินหรือดินทางธรณีชนิดต่าง ๆ ในกรณีของการตกตะกอนที่มีลักษณะเป็นเม็ดนั้นขนาดของเม็ดตะกอนจะไม่มีผลกระทบต่อความพรกตัวแต่อย่างใด สิ่งที่จะมีผลกระทบต่อความพรกตัวในกรณีนี้ได้แก่ ความสม่ำเสมอของขนาด รูปร่าง และลักษณะการอัดตัวกันของเม็ดตะกอน การที่น้ำสามารถเคลื่อนที่ผ่านดินหรือหินได้ง่ายหรือไม่ขึ้นอยู่กับความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ (permeability) ของดินหรือหินนั้น ๆ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของเม็ดดินหรือหินได้แก่ ขนาด รูปร่าง การอัดตัว และความสม่ำเสมอของขนาดของเม็ดดินหรือหินนั้น ๆ ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้สามารถแสดงเป็นจำนวนตัวเลขได้หลายทางแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่นแสดงอยู่ในรูปของอัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่ (เช่น แกลลอน/วัน/ตร.ฟุต) ในตารางที่ 6.2 แสดงค่าช่วงโดยประมาณของความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้สำหรับดินหรือหินทางธรณีต่าง ๆ หลายชนิดที่สำคัญซึ่งควรทราบเอาไว้

### 3.2 ชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifers)

หินประเภทที่น้ำซึมผ่านได้และสามารถให้น้ำเป็นจำนวนมากเพียงพอแก่บ่อน้ำได้ เราเรียกหินประเภทนี้ว่า “ชั้นหินอุ้มน้ำ” (aquifer) ตัวอย่างของชั้นหินอุ้มน้ำได้แก่ หินทราย และหินปูน ชั้นหินอุ้มน้ำโดยทั่วไปจะแทรกตัวอยู่ระหว่างชั้นของหินที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ เช่น

หินดินดาน ฉะนั้น เมื่อน้ำบนพื้นดินซึมเข้ามาถึงชั้นนี้ก็จะซึมแผ่ไปทั่วชั้นของหิน และเคลื่อนที่ไปได้ในระยะทางไกล ๆ ชั้นหินอุ้มน้ำนี้มีประโยชน์ในการเก็บกักน้ำใต้ดินและน้ำบาดาล (artesian water) เพราะน้ำที่ซึมลงไปจากพื้นดินจะไปรวมตัวสะสมกันในหินประเภทนี้ และเคลื่อนที่ถ่ายเทได้ง่าย ในทางปฏิบัติจริงแล้ว ชั้นหินอุ้มน้ำจะต้องให้น้ำในปริมาณเพียงพอที่จะสูบน้ำขึ้นมาใช้ได้ทางเศรษฐกิจ

### 3.3 โครงสร้างทางธรณี (geologic framework)

การศึกษาน้ำใต้ดินไม่ว่าจะเพื่อจุดประสงค์ในการหาคุณค่าของน้ำใต้ดินที่มีต่อมนุษย์หรือเพื่อความมั่นคงปฏิบัติการอย่างไรกับพื้นโลกที่มันไหลผ่านไปก็ตาม จะต้องเริ่มต้นด้วยการศึกษาถึงโครงสร้างทางธรณีเสียก่อน ดินและหินนั้นตามปกติแล้วจะถูกแบ่งชั้นทางธรณีตามต้นกำเนิดของมัน เช่น หินอัคนี หินแปร หรือหินชั้น เป็นต้น อย่างไรก็ตามในการแบ่งชั้นเช่นนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการศึกษาน้ำใต้ดิน ในความเกี่ยวข้องกับผลกระทบที่มีต่อการเกิดน้ำใต้ดินแล้ว การแบ่งประเภทของวัตถุในพื้นโลกควรจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทกว้าง ๆ จึงจะเหมาะสม ซึ่งได้แก่ วัตถุร่วนหรือดิน และวัตถุแข็งหรือชั้นหินต่าง ๆ

#### 1) วัตถุร่วน (unconsolidated materials)

ตามคำนิยามแล้ว ตะกอนร่วน (unconsolidated deposits) นั้นจะไม่มีส่วนประกอบที่เป็นวัตถุประสาน (cement) อยู่ในรูช่องว่าง ดังนั้นลักษณะของตะกอนเหล่านั้นจึงขึ้นอยู่กับความพรกตัวของมัน (ดูตารางที่ 6.2) ตัวอย่างของวัตถุประเภทนี้ได้แก่ ตะกอนที่น้ำพัดพามา (alluvial) อนุภาคที่ลมพัดพามา (aeolian) ดินทรายที่ถูกพามาจากที่สูงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (colluvial) และวัตถุที่น้ำแข็งพัดพามา (glacial)

ในการวิเคราะห์ถึงประวัติทางธรณีใหม่ ๆ และต้นกำเนิดของตะกอนร่วนชนิดต่าง ๆ ในภูมิภาคหนึ่งนั้นจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการประเมินค่าของทรัพยากรน้ำใต้ดิน การศึกษาทางธรณีเพื่อการประเมินค่าน้ำใต้ดินนั้นจะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ที่คาดการณ์ได้ระหว่างขบวนการทางธรณีและคุณสมบัติทางกายภาพของตะกอนนั้น ตัวอย่างเช่น ลักษณะของตะกอนที่ลมพัดพามาจะขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของขนาดของเม็ดทรายและเม็ดดินตะกอนนั้น ๆ ในทางตรงกันข้าม แพะหินธารน้ำแข็ง (glacial morains) นั้นจะมีตะกอนชนิดต่าง ๆ ที่ไม่เข้าชุดกันติดมาด้วยมากมายซึ่งมีตั้งแต่ขนาดดินเหนียวไปจนถึงขนาดหินก้อนใหญ่ ๆ (boulder) นอกจากนี้ความรู้เรื่องเกี่ยวกับว่าวัตถุตกตะกอนอย่างไรก็สามารถนำมาใช้ในการคาดการณ์รูปร่างเรขาคณิตของตะกอนได้ ตัวอย่างเช่น ทรายที่ถูกลมพัดพาไป เนื่องจากความหนาของการก่อตัวของสันทราย (dune) ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนของทรายที่ลมพัดพานั้นจะเปลี่ยนแปลงอยู่บ่อย ๆ ดังนั้นถ้าเจาะบ่อน้ำสองบ่อให้ห่างกัน 45 เมตร (150 ฟุต) ในพื้นที่แห่งหนึ่งซึ่งมีตะกอนทรายที่อัดตัวไปด้วยน้ำอยู่ข้างใต้ หลุมแรกอาจจะเจาะลึกลงไป 15 เมตร (50 ฟุต) ก็เจอชั้นทรายที่มีน้ำ ในขณะที่หลุมที่สองอาจ

จะเกาะพลาตตะคอนทรายที่อึดตัวไปด้วยน้ำนั้นไปทั้งหมดก็ได้ ซึ่งจะทำให้หลุมที่สองจะไม่มีพบแต่อย่างใด

## 2) วัตถุแข็ง (indurated materials) หรือหิน

วัตถุแข็งตัว (หิน) นั้นมีบทบาทที่สำคัญในการเกิดและการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินเช่นเดียวกับตะกอนหินชั้น (sedimentary deposits) ตามปกติแล้วจะแข็งตัวเนื่องจากการตกตะกอนทางเคมีของวัตถุประสาน (cement) จำพวกเหล็ก ( $\text{FeO}_2$ ) ปูน ( $\text{CaCO}_3$ ) หรือซิลิกา (Si) ซึ่งละลายปนอยู่ในน้ำ วัตถุประสานพวกนี้จะเป็นตัวเชื่อมประสานเศษหินกรวดทรายดินที่ตกทับถมให้เกาะติดกันแน่นจนแข็งกลายเป็นหินชั้นไปในที่สุด ในตะกอนนั้นบางครั้งอาจจะมีอนุภาคดินเหนียวปะปนอยู่ด้วย ซึ่งถ้าหากตะกอนดินเหนียวเหล่านี้เริ่มแข็งตัวแล้ว จะกลายเป็นตัวเชื่อมประสานเป็นอย่างดี ตัวการเชื่อมประสานเหล่านี้อาจจะเข้าไปอุดตันในรูช่องว่างทั้งหมดภายในตะกอนนั้น ดังนั้นหินชั้นตามปกติแล้วจึงซาบซึมน้ำได้น้อยกว่าและโปร่งตัวน้อยกว่าวัตถุร่วน ยกเว้นในกรณีของหินปูนซึ่งไม่เป็นไปตามกฎที่ว่านี้ รอยแตกในหินปูนนั้นอาจจะขยายกว้างขึ้นเนื่องจากสารละลายที่มากับน้ำใต้ดินด้วยเหตุนี้จึงทำให้หินปูนซาบซึมน้ำได้สูง

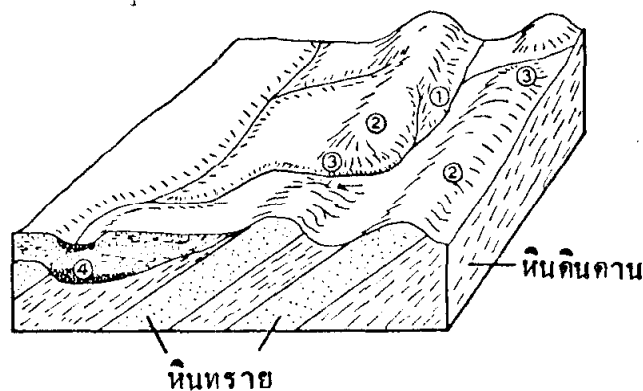
โดยทั่ว ๆ ไปแล้วหินอัคนี (igneous rock) และหินแปร (metamorphic rock) จะมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำและมีความโปร่งตัวน้อยมาก (ดูตารางที่ 6.2) ในหินอัคนีและหินแปรส่วนใหญ่ นั้นรอยแตกจะเป็นช่องว่างแหล่งแรกที่สามารรถกับและส่งถ่ายน้ำ อย่างไรก็ตาม หินภูเขาไฟบางประเภท (หินบะซอลต์) จะมีความโปร่งตัวสูงเนื่องจากมีฟองก๊าซเกิดขึ้นภายในหินระหว่างที่กำลังเย็นตัว ธารลาวา (lava flows) ก็เช่นเดียวกัน อาจจะมีมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้สูงเนื่องจากมีรอยแตกเกิดขึ้นมาภายในระหว่างการเคลื่อนที่และการเย็นตัวของธารลาวา หินภูเขาไฟที่มีรอยแตกเหล่านี้จะให้น้ำใต้ดินเป็นปริมาณมากมายแม้ว่ารอยแตกจะช่วยทำให้หินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้สูงขึ้น แต่ก็เพียงแค่ว่าบริเวณใกล้กับผิวเปลือกโลกเท่านั้น ถ้าหากในระดับความลึกมากกว่า 60 หรือ 90 เมตรไปแล้ว โดยทั่ว ๆ ไปรอยแตกนั้นจะถูกกดทับเอาไว้ จึงทำให้หินในระดับลึกขนาดนั้นให้น้ำได้เป็นปริมาณไม่มากพอแก่บ่อน้ำ

ความโปร่งตัวและความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของวัตถุที่แข็งตัวอาจจะได้รับผลกระทบจากขบวนการผุพังสลายตัว (weathering processes) ด้วยเช่นกันไม่ว่าจะเนื่องจากกรรมวิธีทางเคมี เช่น ลมฟ้าอากาศกับน้ำฝน และกรรมวิธีทางกลศาสตร์หรือทางกายภาพ เช่น การขยายตัวและหดตัวของหินเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะไม่มีผลที่ระดับความลึกมากกว่า 15-30 เมตร ความรุนแรงและขอบเขตของการผุพังสลายตัวนั้นจะมีปัจจัยต่าง ๆ เป็นตัวควบคุมซึ่งได้แก่ ภูมิอากาศ ลักษณะภูมิประเทศ เวลา และส่วนประกอบทางเคมีของหิน โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว หินอัคนีและหินแปรจะง่ายต่อการผุพังสลายด้วยกรรมวิธีทางเคมีมากกว่าหินชั้น



### 3.4 การปฐพีวิทยาชั้นหิน (stratification) และลักษณะภูมิประเทศ (topography)

การศึกษาเกี่ยวกับการปฐพีวิทยาชั้นหิน (stratigraphy) โดยทั่วไปจะศึกษามุ่งไปที่การก่อตัว (formation) ส่วนประกอบ (composition) การเรียงลำดับ (sequence) และความสัมพันธ์กัน (correlation) ของเศษหินดินทรายที่ปฐพีเป็นชั้น ในการศึกษาหน้าใต้ดินนั้น สิ่งที่สำคัญคือจะต้องทราบถึงวิธีการก่อตัวของตะกอนและธรรมชาติของเม็ดตะกอนที่ประกอบกัน ทั้งนี้เพราะว่าปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้เป็นตัวควบคุมความโพรกตัวและความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้ของตะกอน การเรียงลำดับของตะกอนที่ปฐพีเป็นชั้นในสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติของการตกตะกอนดังเช่นสิ่งตกจมทับถม (sediments) ของลักษณะเฉพาะทางกายภาพนั้นมักจะตกตะกอนเป็นชั้น ๆ อย่างเห็นได้ชัด ตัวอย่างเช่นชั้นตะกอนทรายและกรวด ตามปกติแล้วจะพบสลับกับชั้นดินตะกอนและดินเหนียว เนื่องจากในชั้นตะกอนที่มีเม็ดตะกอนหยาบ ๆ นั้นจะมีความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านได้สูงกว่าในชั้นตะกอนละเอียดถึงหลายพันเท่า ดังนั้นน้ำส่วนมากที่เคลื่อนที่อยู่ใต้ดินนั้นจึงถูกส่งถ่ายผ่านชั้นตะกอนหยาบเสียเป็นส่วนใหญ่ ด้วยเหตุนี้เราจึงสามารถนำเอาวิธีการของความสัมพันธ์กันในการศึกษาเกี่ยวกับการปฐพีวิทยาชั้นหินมาหาคำตำแหน่งของชั้นหินอุ้มน้ำได้ ตัวอย่าง สมมุติว่าท่อเจาะของบ่อน้ำซึ่งมีน้ำอยู่มากมายแห่งหนึ่งแสดงว่าเริ่มเจาะลงไปถึงชั้นหินปูนซึ่งอยู่ลึกลงไปจากชั้นหินดินดาน 30 เมตร จากนั้นจึงพบน้ำในชั้นหินทรายใต้หินดินดานนั้นทันที ห่างจากนี้ออกไปหลายกิโลเมตร บ่ออีกแห่งหนึ่งได้ทำการขุดในบริเวณใกล้เคียงกับหินโผล่ (outcrop rock) ซึ่งเปิดให้เห็นแนวเชื่อมต่อระหว่างหินปูนกับหินดินดาน ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความสัมพันธ์กันของการศึกษาถึงการปฐพีวิทยาชั้นหินชี้ให้เราทราบว่า บ่อแห่งนั้นควรจะต้องเจาะผ่านหินดินดานลงไป 30 เมตรจึงจะพบชั้นหินอุ้มน้ำซึ่งเป็นหินทราย ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับการปฐพีวิทยาชั้นหินจึงมีความสำคัญในการศึกษาถึงหน้าใต้ดิน เพราะมันช่วยอธิบายถึงธรรมชาติ ตำแหน่ง และขนาดของชั้นหินอุ้มน้ำ



รูปที่ 6.2 ปัจจัยต่างๆ ทางธรณีเป็นตัวควบคุมการเกิดน้ำภายในดิน

ที่มา : Waltz, 1977.

ชั้นหินอุ้มน้ำและหน่วยหินทางธรณีอื่น ๆ อาจจะมีการโก่งตัว (fold) หรือเลื่อนตัว (fault) เนื่องจากความเค้น (stress) ซึ่งเกิดขึ้นในเนื้อหินเปลือกโลกได้ การเปลี่ยนแปลงลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้จะกลายเป็นโครงสร้างทางธรณีซึ่งมีอิทธิพลต่อการเกิดและการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน ทั้งนี้เพราะการโก่งตัวและการเลื่อนตัวของชั้นหินนั้นจะเป็นตัวไปจำกัดขอบเขตพื้นที่บริเวณที่น้ำใต้ดินอาจจะไหลเข้าและออกจากชั้นหินแต่ละชั้น รูปที่ 6.2 แสดงระบบของน้ำใต้ดินในลักษณะที่แตกต่างกันอันเป็นผลมาจากการผสมผสานกันของโครงสร้างทางธรณีและการปูดั้วชั้นหิน

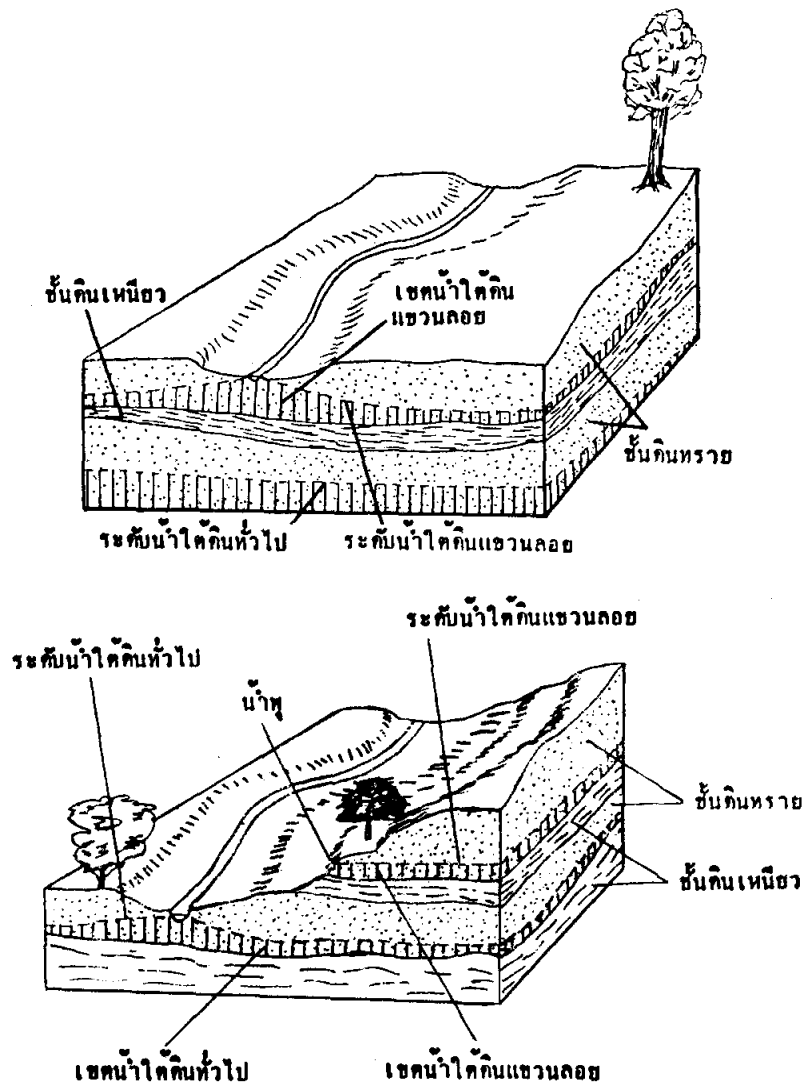
สำหรับอิทธิพลของลักษณะภูมิประเทศที่มีต่อการเกิดและการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินนั้นก็ สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 6.2 เช่นกัน ลักษณะภูมิประเทศบนพื้นดินจะมีผลกระทบต่อ การจำกัดการเคลื่อนที่เข้าและออกภายในพื้นดินของน้ำใต้ดิน และยังเป็นตัวควบคุมธรรมชาติและ ตำแหน่งของรูปลักษณะทางอุทกบนผิวดินอีกด้วย เช่น ทะเลสาบและลำธาร เป็นต้น ในรูปที่ 6.2 นั้นจะเห็นว่าชั้นของหินทรายและหินดินดานนั้นวางตัวเอียงตะแคงสลับกัน และกษัยการ (erosion) ได้ทำการกัดกร่อนหุบเขากระแส (stream valley: หมายเลข 1) จนกระทั่งทำให้ชั้นหินดินดาน โผล่ออกมา สำหรับชั้นหินทรายนั้นมีความคงทนต่อการกัดกร่อนมากกว่า จึงกลายเป็นแนวสันเขา (ridges : หมายเลข 2) ซึ่งขนานไปกับหุบเขา บริเวณที่แนวสันเขาหินทรายถูกกระแส น้ำกัดเซาะจน ขาดแยกออกจากกัน (หมายเลข 3) นั้น หินทรายที่ค่อนข้างจะซบซึมน้ำได้ดีอาจจะได้รับน้ำจาก กระแสน้ำนั้นได้ สำหรับร่องธาร (stream channel) ที่ถูกฝังอยู่ใต้ดิน (หมายเลข 4) นั้นจะมีพวกกรวด และตะกอนร่วนอื่น ๆ ตกตะกอนทับถมกันอยู่ในยุคต้น ๆ ของกระแส น้ำ ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6.2 แล้ว จะทำให้ทราบว่าโครงสร้างทางธรณีและการปูดั้วชั้นหินนั้นควบคุมลักษณะภูมิประเทศ บนผิวดินได้อย่างไร

### 3.5 น้ำใต้ดินที่ถูกเก็บกัก (confined groundwater) หรือน้ำบาดาล (artesian water) และ น้ำใต้ดินที่ไม่ถูกเก็บกัก (unconfined groundwater)

การอธิบายเกี่ยวกับผลกระทบของการปูดั้วชั้นหิน โครงสร้างทางธรณี และลักษณะ ภูมิประเทศที่มีต่อน้ำใต้ดินนั้นจะขาดความสมบูรณ์ไปถ้าไม่กล่าวถึงการเกิดน้ำใต้ดินสองแบบนี้ นั่นคือ น้ำใต้ดินที่ถูกเก็บกัก (น้ำบาดาล) และน้ำใต้ดินที่ไม่ถูกเก็บกัก

น้ำใต้ดินที่อยู่เหนือชั้นของวัตถุที่ค่อนข้างจะไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านได้ (ชั้นดินเหนียวเป็นต้น) เรียกว่า “น้ำใต้ดินที่ไม่ถูกเก็บกัก” (unconfined groundwater) และชั้นบนของเขตของน้ำใต้ดิน ที่ไม่ถูกเก็บกักเรียกว่า “ระดับน้ำใต้ดิน” (water table) ตามคำนิยามแล้ว ความกดดินของน้ำที่ ทุก ๆ จุดบนระดับน้ำใต้ดินจะเท่ากับความกดบรรยากาศ (atmospheric pressure) ในหลาย ๆ ที่ เขตของน้ำที่มีอยู่อย่างไม่จำกัดอาจจะอยู่ใกล้กับผิวดิน และข้างใต้บริเวณนั้นมีชั้นดินที่บดซึ่งไม่ยอมให้ น้ำซึมผ่านได้อยู่ด้วย จึงทำให้น้ำที่ซึมผ่านลงไปใตดินถูกขวางกั้นไม่ให้ซึมผ่านชั้นดินที่บดนั้นลงไปอีก

ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการสะสมของน้ำที่ซึมลงไปในพื้นที่ซึ่งแยกตัวออกจากน้ำใต้ดินทั่ว ๆ ไปที่อยู่ในระดับลึกกว่า เราเรียกเขตของน้ำซึ่งถูกแยกตัวออกจากน้ำใต้ดินทั่ว ๆ ไปนี้ว่า “น้ำใต้ดินแขวนลอย” (perched groundwater) ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 6.3

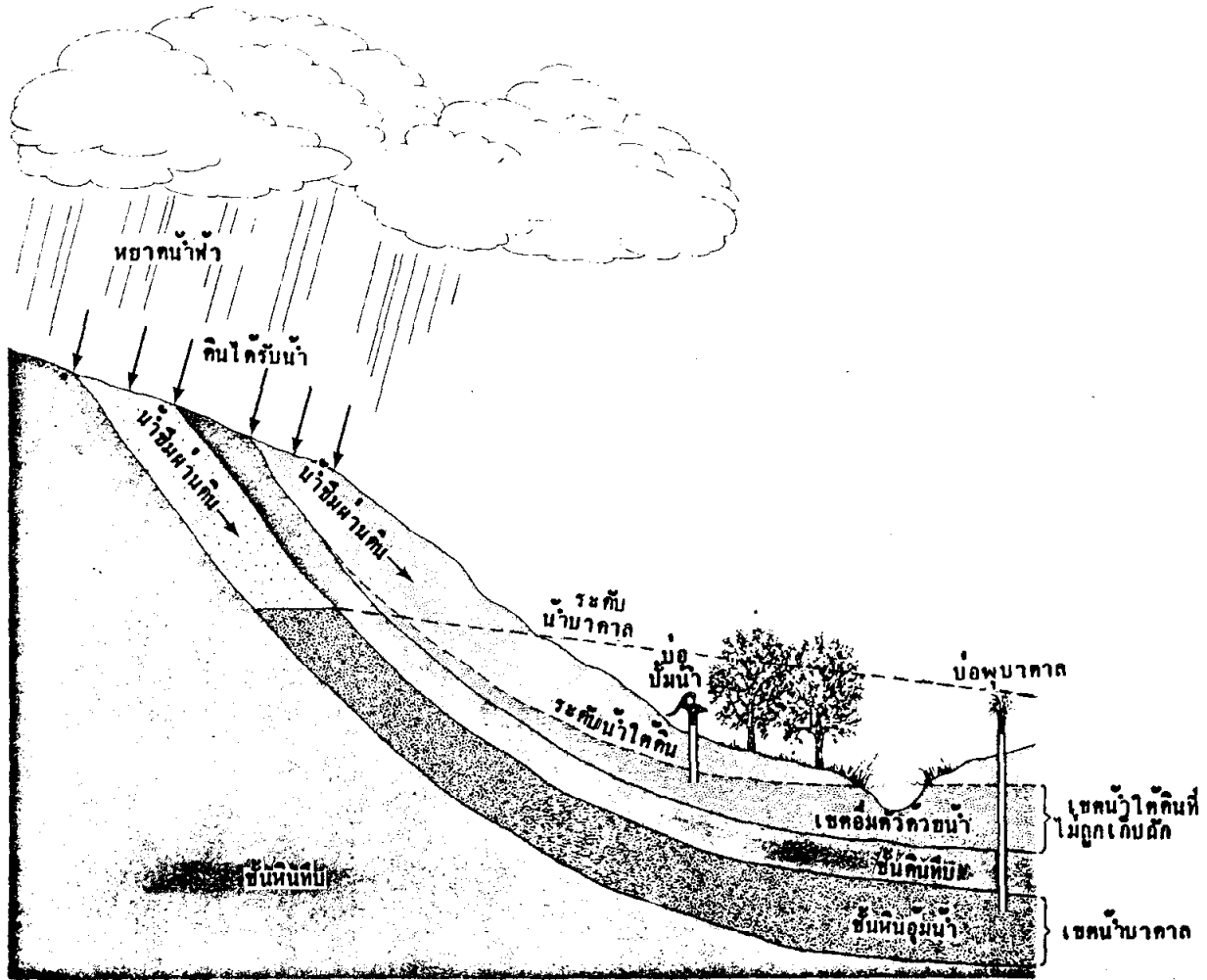


รูปที่ 6.3 น้ำใต้ดินแขวนลอย (perched groundwater) บริเวณที่ราบ (ภาพบน) และบริเวณที่ต่างระดับ (ภาพล่าง)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Waltz, 1977. และ กรมพัฒนาที่ดิน, 2522.

ในรูปที่ 6.3 นั้นแสดงให้เห็นว่าเขตของน้ำใต้ดินนั้นอาจจะเกิดแยกออกจากเขตน้ำใต้ดินทั่ว ๆ ไปได้อย่างไร ขนาดทางด้านข้างของลำน้ำใต้ดินแขวนลอยนั้นสามารถพิจารณาได้จากขนาด

ของชั้นดินที่ไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านซึ่งเป็นชั้นที่วางตัวอยู่ข้างใต้ น้ำใต้ดินแขวนลอยในภาพนั้นอาจจะได้รับน้ำจากน้ำในลำธารที่ซึมลงไปใต้ดิน (ภาพบน) หรือจากน้ำฝนที่ซึมลงไปใต้ดิน (ภาพล่าง) ลำน้ำใต้ดินทั่ว ๆ ไปซึ่งอยู่ข้างใต้นั้นจะไม่ได้รับน้ำจากน้ำผิวดินที่ซึมลงไปใต้ดิน เนื่องจากว่าน้ำใต้ดินที่อยู่ชั้นล่างนั้นถูกชั้นดินที่ไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านขวางกั้นไว้ข้างบน น้ำจึงไม่สามารถซึมผ่านลงไปเพิ่มน้ำ (recharge) ให้กับน้ำใต้ดินชั้นล่างได้



รูปที่ 6.4 ระบบน้ำใต้ดินและน้ำบาดาล (artesian groundwater system)

ที่มา : Miller, 1979.

น้ำบาดาล (artesian water) คือน้ำที่ถูกเก็บกัก (confined) อยู่ในชั้นดินที่ค่อนข้างไม่ยอมให้น้ำซึมผ่าน น้ำบาดาลจึงมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “น้ำใต้ดินที่ถูกเก็บกัก” (confined groundwater)

ซึ่งเป็นน้ำใต้ดินที่มีจำกัด ถ้าหากบ่อน้ำเจาะทะลุถึงชั้นหินอุ้มน้ำซึ่งเป็นเขตของน้ำบาดาล (หรือน้ำใต้ดินที่ถูกเก็บกัก) น้ำจะพุ่งเข้ามาในบ่อนจนมีระดับสูงเท่ากับระดับน้ำบาดาล ถ้าความกดดันของน้ำบาดาล (artesian pressure) ในชั้นหินอุ้มน้ำที่ถูกเก็บกักมีมากพอ (บ่อน้ำอยู่ที่ระดับน้ำบาดาล) น้ำจะพุ่งเข้ามาในบ่อนจนมีระดับสูงกว่าพื้นดิน (ดูรูปที่ 6.4) ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า “บ่อน้ำพุบาดาล” (flowing artesian well)

ในรูปที่ 6.4 อธิบายถึงระบบน้ำใต้ดินและน้ำบาดาล ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบน้ำบาดาล ได้แก่ ชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifer) ชั้นดินที่ไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านซึ่งอยู่ข้างบน และบริเวณพื้นที่ที่ให้น้ำซดเซย (recharge area) บ่อมีน้ำนั้นจะลึกลงไปแค่เขตของน้ำใต้ดินที่ไม่ถูกเก็บกัก (unconfined groundwater) ซึ่งระดับน้ำในบ่อจะสูงเท่ากับระดับน้ำใต้ดินในเขตนี้ สำหรับบ่อที่สองนั้นจะเจาะทะลุถึงชั้นหินอุ้มน้ำซึ่งเป็นเขตของน้ำบาดาล (artesian water) หรือน้ำใต้ดินที่ถูกเก็บกัก (confined groundwater) และปากบ่ออยู่ต่ำกว่าระดับน้ำบาดาลอีกด้วย จึงทำให้ความกดดันของน้ำบาดาลในชั้นหินอุ้มน้ำให้น้ำพุ่งเข้าไปในบ่อจนทะลักขึ้นไปพ้นระดับผิวดิน ทำให้บ่อน้ำที่สองกลายเป็นบ่อน้ำพุบาดาล (flowing artesian well) ส่วนเส้นของระดับน้ำบาดาลที่วิ่งผ่านบ่อทั้งสองนั้น แสดงให้ทราบถึงความสูงที่น้ำจะพุ่งเข้าไปในบ่อซึ่งเจาะทะลุชั้นหินอุ้มน้ำนั้น ระดับสูงของเส้นระดับน้ำบาดาลซึ่งลดต่ำลงไปเรื่อย ๆ จากบริเวณที่น้ำเพิ่มนั้นแสดงให้ทราบถึงการสูญเสียพลังงานของน้ำในขณะที่เคลื่อนที่ออกจากบริเวณที่รับน้ำเพิ่มเข้ามา (recharge area) ไปยังบริเวณที่น้ำระบายออกไป (discharge area) ซึ่งได้แก่น้ำพุหรือบ่อน้ำ เป็นต้น

## 4. การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน

น้ำใต้ดินนั้นจะเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่ได้รับน้ำเพิ่มเข้ามา (ปกติจะเป็นบริเวณที่น้ำฝนจากผิวดินซึมผ่านดินลงไป) สู่บริเวณที่น้ำถ่ายเทไหลออกไป (เป็นบริเวณที่น้ำใต้ดินปรากฏออกมาจากพื้นดินในรูปของน้ำพุ น้ำที่ซึมออกมา หรือระบายสู่บ่อน้ำ) เพราะว่าการแทรกซึมของความชื้นในรูปหยาดน้ำฟ้าเป็นแหล่งหลักของน้ำใต้ดิน ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องจำไว้ว่าการแทรกซึม (infiltration)<sup>1</sup> และการไหลซึมผ่าน (percolation)<sup>2</sup>

---

1. การแทรกซึม (infiltration) หมายถึงการที่ของเหลวแทรกตัวเข้าไปอยู่ในช่องว่างเนื่องจากเนื้อในของช่องว่างหรือรูพรุน

2. การไหลซึมผ่าน (percolation) หมายถึงการที่ของเหลวแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างหรือรูพรุน แล้วไหลซึมผ่านออกอีกทางด้านหนึ่ง

นั้นจะเปลี่ยนแปลงจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งบนผิวโลก การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยทางธรณีและลักษณะภูมิประเทศซึ่งได้กล่าวมาแล้ว

ทิศทางของธารน้ำใต้ดินและอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินสามารถพิจารณาได้ไม่เพียงแต่จากสภาพทางธรณีเท่านั้น แต่ยังสามารถพิจารณาได้จากสภาพทางอุทก (hydraulic conditions) อีกด้วย เมื่อพิจารณาสิ่งต่าง ๆ ทั้งหมดแล้วจะพบว่าน้ำจะไหลไปตามทางที่มีความต้านทานต่อการไหลของน้ำน้อยที่สุด การเคลื่อนที่ของน้ำจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งนั้นเป็นผลมาจากความแตกต่างกันในศักยภาพของการไหล (flow potential) หรือ “ความดันต่างระดับของน้ำ” (head) ระหว่างจุดสองจุดนั้น ความดันต่างระดับในน้ำใต้ดินนั้น ปกติแล้วจะประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ ส่วนประกอบที่เป็นแรงดันความกดดัน (pressure-head component) และส่วนประกอบที่เป็นแรงดันระดับสูง (elevation-head component) โดยทั่วไปแล้วเรามักจะคุ้นเคยกับแรงดันระดับสูง (elevation head) มากกว่าเพราะว่ามันเป็นตัวกำหนดศักยภาพของการไหลส่วนใหญ่ในกระแสน้ำบนผิวดิน น้ำในร่องธารจะตอบสนองต่อแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity) และจะไหลจากระดับที่สูงกว่าสู่ระดับที่ต่ำกว่า สำหรับแรงดันความกดดันนั้นเป็นตัวกำหนดการไหลของของเหลวจากจุดที่มีความดันสูงไปยังจุดที่มีความกดดันต่ำ ตัวอย่างเช่น เมื่ออากาศถูกปล่อยออกจากลูกบอลลูกหนึ่งหรือเมื่อยาสีฟันถูกบีบออกจากหลอด เป็นต้น

ศักยภาพของการไหลทั้งหมดหรือความดันต่างระดับสำหรับน้ำใต้ดินที่จุดใดจุดหนึ่งในพื้นที่ดินจะเท่ากับผลรวมของแรงดันความกดดันและแรงดันระดับสูงที่จุดนั้น ๆ ส่วนประกอบที่เป็นความกดดันของความดันต่างระดับทั้งหมดสามารถวัดได้เป็นแรงต่อหน่วยพื้นที่ (ตัวอย่าง ปอนด์ต่อตารางฟุต) สำหรับส่วนประกอบที่เป็นระดับสูงนั้นสามารถวัดได้เป็นความยาว (ตัวอย่าง ฟุตเหนือระดับน้ำทะเล) ถ้าความกดดันหารด้วยหน่วยน้ำหนัก (ตัวอย่าง ปอนด์/ฟุต<sup>3</sup>) ของของเหลวที่ทำให้เกิดความกดดันขึ้น ผลหารที่ได้จะออกมาเป็นขนาดของหน่วยความยาว

$$P = \text{ความกดดัน} = \frac{\text{แรง}}{\text{พื้นที่}}$$

$$W = \text{หน่วยน้ำหนัก} = \frac{\text{แรง(น้ำหนัก)}}{\text{ปริมาตร}}$$

$$\frac{P}{W} = \frac{\frac{\text{แรง}}{\text{พื้นที่}}}{\frac{\text{แรง}}{\text{ปริมาตร}}} = \frac{\text{ปริมาตร}}{\text{พื้นที่}} = \text{ความยาว (หรือสูง)}$$

เพราะฉะนั้นถ้าเราให้ความดันต่างระดับของระดับความสูงเป็น Z ศักยภาพของการไหลหรือความดันต่างระดับทั้งหมด (H) ที่จุดหนึ่งจะเป็น

$$H = \frac{P}{W} + Z$$

ดังนั้น ความดันต่างระดับทั้งหมดจะแสดงเป็นหน่วยความยาว ความยาวนี้จะมีค่าเด่นชัดทางกายภาพเพราะว่ามันบอกถึงความสูงของคอลัมน์ของน้ำที่ทำให้เกิดความกดดันที่ฐานของมันซึ่งเท่ากับศักย์ภาพของการไหลทั้งหมด

ถ้าน้ำไม่เคลื่อนที่ ความดันต่างระดับทั้งหมดจะมีค่าคงที่ ณ จุดทั้งหมดในน้ำนั้น ตัวอย่างเช่น ศักย์ภาพของการไหลที่ก้นทะเลสาบจะเท่ากับศักย์ภาพของการไหลที่ผิวทะเลสาบ เป็นต้น

น้ำที่กำลังเคลื่อนที่นั้นจะสูญเสียศักย์ภาพของการไหลไปในขณะที่เคลื่อนที่ พลังงานสะสมหรือพลังงานศักย์ (potential energy) จะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานความร้อนเนื่องจากความต้านทานของการเสียดทาน (frictional resistance) ที่มีต่อการไหล ในกรณีของการไหลของน้ำใต้ดินนั้น ความต้านทานที่มีต่อการไหลปกติแล้วจะแสดงด้วยสัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่าน (permeability coefficient : K) อันมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q = KA \frac{H}{L}$$

ที่ซึ่ง :

Q : อัตราการไหล (แกลลอน/นาที)

K : สัมประสิทธิ์ของการยอมให้น้ำซึมผ่าน

A : พื้นที่ภาคตัดขวางของธารน้ำ

H/L : หน่วยการสูญเสียความดันต่างระดับทั้งหมดเนื่องจากการไหลระหว่าง

จุด 2 จุดซึ่งห่างกันเป็นระยะทาง L

สมการแสดงความสัมพันธ์ของการไหลของน้ำใต้ดินนี้เรียกว่า “กฎของดาร์ซี” (Darcy's Law) เฮนรี ดาร์ซี (Henri Darcy) เป็นวิศวกรโยธาชาวฝรั่งเศสซึ่งได้ทำการทดลองเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียความดันต่างระดับของน้ำ (head loss) และอัตราการไหลของน้ำ (water discharge) ในขณะที่ไหลผ่านไส้กรองที่ทำด้วยทราย (sand filters) ในปี ค.ศ. 1856 ผลจากการทดลองทำให้ดาร์ซีสามารถเขียนออกมาเป็นกฎได้ว่า “อัตราการไหลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการสูญเสียความดันต่างระดับของน้ำ”

อัตราการไหลซึ่งหาได้จากกฎของดาร์ซีนั้นจะสัมพันธ์กับความเร็วจริงของการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินถ้าหากทำการจัดเรียงสมการของความสัมพันธ์ในกฎของดาร์ซีใหม่ จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$\frac{Q}{A} = K \frac{H}{L} = v$$

ที่ซึ่ง : v : อัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่

อัตราการไหลของน้ำต่อหน่วยพื้นที่หรือ  $v$  นี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “ปริมาตรการไหล” (volume flux) เพราะว่า  $v$  มีมิติของความเร็ว (velocity) ดังนั้นจึงมักจะสับสนกับความเร็วของการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน และด้วยเหตุที่  $v$  เป็นการวัดจริงของอัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่ ดังนั้นความเร็วของการไหลจะเท่ากับ  $v$  ได้ก็ต่อเมื่อพื้นที่หน้าตัดขวาง  $A$  เปิดให้มีการไหลอย่างสมบูรณ์เท่านั้น ในวัตถุทั้งหลายที่อยู่ภายในเปลือกโลกนั้น พื้นที่นี้จะรวมถึงพื้นที่หน้าตัดขวางของเม็ดแร่ (mineral grains) และพื้นที่หน้าตัดขวางของช่องว่างระหว่างเม็ด ของเหลวจะเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างที่เปิดออกระหว่างเม็ดเท่านั้น โดยทั่ว ๆ ไปแล้วในวัตถุที่มีรูพรุนเล็ก ๆ นั้นจะมีช่องว่างที่เปิดออก (ความพรุกตัว) อยู่ประมาณ 1/4 ถึง 1/2 ของปริมาตรทั้งหมด (หรือพื้นที่หน้าตัดขวาง) ดังนั้นในกรณีของตะกอนร่วน ความเร็วของการไหล (velocity of flow) จะเป็นสองเท่าถึงสี่เท่าของปริมาตรการไหล (volume flux) โดยประมาณ ถ้าเราแสดงความพรุกตัวของตะกอนด้วยตัวอักษร  $p$  จะได้ความเร็ว (velocity) ของการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินผ่านตะกอนนั้นดังนี้

$$\text{ความเร็ว} = v = \frac{KH}{pL}$$

ความเร็วของธารน้ำใต้ดินในธรรมชาตินั้น อาจจะผันแปรได้อย่างมากมายจากหลายเมตรต่อวินาทีจนถึงน้อยกว่าหนึ่งเมตรต่อปี อัตราการไหลปกติของน้ำใต้ดินจะอยู่ระหว่าง 1.5 เมตร/ปี และ 1.5 เมตร/วัน (Todd, 1959) สำหรับในชั้นหินอุ้มน้ำที่เป็นกรวดหยาบจะมีอัตราการไหลอยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 เมตร/วัน (Strahler and Strahler, 1973) ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของกระแสบนผิวดินแล้ว น้ำใต้ดินเคลื่อนที่ได้ช้ามาก

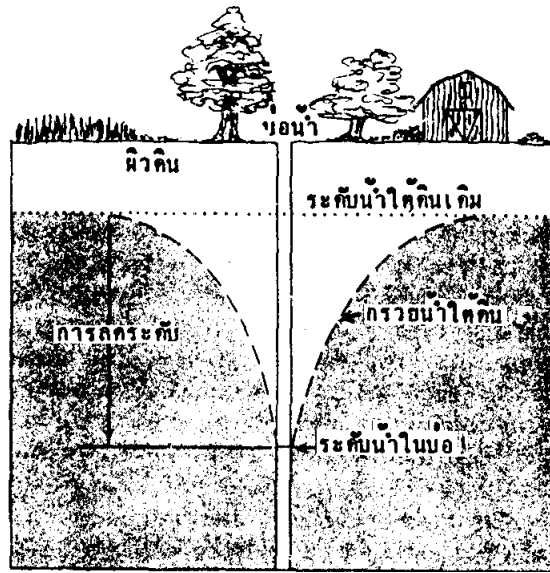
## 5. ปัจจัยที่มีผลต่อระดับน้ำใต้ดิน

ตามปกติแล้ว ระดับน้ำใต้ดินจะค่อนข้างคงที่อยู่เสมอตามสภาวะแวดล้อมธรรมชาติที่สมดุลย์ แต่เมื่อมนุษย์ทำให้สภาวะแวดล้อมธรรมชาติเสียสมดุลย์โดยการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้มากเกินไปจนเกินปริมาณปลอดภัย (safe yield) แล้ว จะทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลงอันเป็นผลทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน (subsidence) ปริมาณปลอดภัยของน้ำใต้ดิน (safe yield) หมายถึง จำนวนของน้ำใต้ดินที่สามารถสูบขึ้นมาจากชั้นหินอุ้มน้ำได้โดยปราศจากการเกิดการลดลงของระดับน้ำใต้ดิน หรือผลกระทบใด ๆ ในทางลบ

ปัจจัยที่มีผลต่อการลดระดับของน้ำใต้ดินนั้นมีอยู่ 4 ปัจจัยด้วยกันคือ

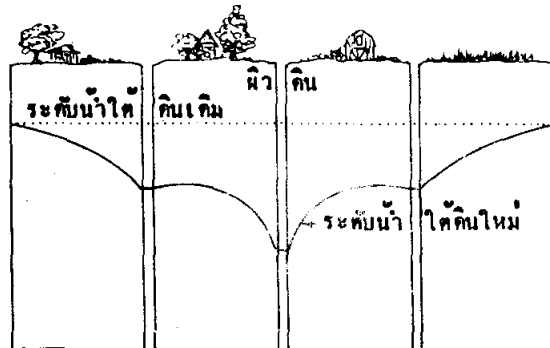
1. การสูบน้ำขึ้นมาใช้จากบ่อ การสูบน้ำจากบ่อขึ้นมาใช้นั้นจะทำให้ระดับน้ำใต้ดินเกิดการลดระดับ (drawdown) ซึ่งจะทำให้ระดับน้ำในบ่อลดลงจากระดับน้ำใต้ดินเดิม การลดระดับน้ำนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะรอบ ๆ บ่อเท่านั้น ไม่ใช่ทั้งลุ่มน้ำ เมื่ออัตราการสูบน้ำเพิ่มมากขึ้น





รูปที่ 6.5 การลดระดับ (drawdown) ของระดับน้ำใต้ดิน และกรวยน้ำใต้ดิน (cone of depression) ซึ่งเกิดจากการสูบน้ำจากบ่อ ขนาดของกรวยจะสัมพันธ์กับการสูบน้ำและการชาร์จน้ำใต้ของชั้นหินอุ้มน้ำ

ที่มา : Griggs and Gilchrist, 1977.



รูปที่ 6.6 การลดระดับ (drawdown) ของระดับน้ำใต้ดินเนื่องจากการเหลื่อมซ้อนกัน (overlapping) ของกรวยน้ำใต้ดิน (cones of depression) การสูบน้ำจากบ่อหลายๆ บ่อซึ่งอยู่ใกล้กันจะทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลงเป็นบริเวณกว้างเนื่องจากเกิดการลดระดับเหลื่อมซ้อนกัน (overlapping drawdown)

ที่มา : Griggs and Gilchrist, 1977.

จะทำให้หน้าถูกสูบออกจากชั้นหินอุ้มน้ำ ในอัตราที่เรียกว่าอัตราการไหลเข้ามาแทนที่ของน้ำบริเวณโดยรอบ ดังนั้นจึงทำให้ระดับน้ำในบ่อและระดับน้ำใต้ดินโดยรอบเริ่มลดลงจนทำให้เกิดกรวยน้ำใต้ดิน (cone of depression) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6.5 การลดระดับนี้จะทำให้เกิดความชันมากขึ้นในระดับน้ำใต้ดินซึ่งทำให้อัตราการไหลเข้าไปในบ่อของน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น การทดสอบบ่อนั้นโดยปกติแล้วจะพิจารณาจากขีดความสามารถในการสูบน้ำ (pumping capacity) ของบ่อซึ่งมักจะแสดงในรูปอัตราส่วนของการสูบน้ำออก (discharge) ต่อการลดระดับ (drawdown) หรือก็แกลลอนต่อนาทีที่สามารถสูบขึ้นมาต่อฟุตของการลดระดับ อัตราการไหลของน้ำใต้ดินเข้าไปในบ่อที่เพิ่มขึ้นนี้จะช่วยทำให้ปริมาณการลดระดับอยู่ในวงจำกัด ไม่แพร่ออกไปเป็นบริเวณกว้าง แต่ถ้าหากว่ามีบ่อน้ำขนาดใหญ่หลายบ่ออยู่ใกล้กันและมีการสูบน้ำในอัตราที่สูง จะทำให้เกิดการลดระดับเหลื่อมซ้อนกัน (overlapping drawdown) อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดกรวยน้ำใต้ดินเหลื่อมซ้อนกัน ในแต่ละบ่อจนทำให้กลายเป็นกรวยน้ำขนาดใหญ่ซึ่งอาจจะแผ่กว้างเป็นระยะทางหลายกิโลเมตรทีเดียว (ดูรูปที่ 6.6) ในกรณีนี้ อัตราการไหลเข้าไปในบ่อจะเพิ่มขึ้นและระดับน้ำใต้ดินก็จะลดลงเป็นบริเวณกว้างมากขึ้นด้วย

**2. การสูบน้ำขึ้นมาใช้มากเกินไป** การสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้อย่างต่อเนื่อง ในอัตราที่มากกว่าการเพิ่มน้ำทดแทนตามธรรมชาติ (natural recharge) เป็นเวลานาน ๆ จะทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลงอย่างมากมาย การกระทำเช่นนี้เราเรียกว่า “mining” ซึ่งมักจะพบในบริเวณพื้นที่ที่มีความต้องการใช้น้ำใต้ดินมากสำหรับแหล่งชุมชนและสำหรับการเกษตร การสูบน้ำขึ้นมาใช้จนเกินปริมาณปลอดภัย (safe yield) มากจนเกินไปเป็นเวลานาน ๆ โดยไม่มีการพักทิ้งระยะให้ผิวดินซึมลงไปชดเชยบ้างนั้น จะทำให้ปริมาณน้ำใต้ดินน้อยลงไปทุกทีอันเป็นสาเหตุทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลงอยู่เรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง (overdraft) ในที่สุดจะทำให้ภาวะสมดุลย์ของแรงดัน (pressure balance) บริเวณนั้นเสียไปโดยสิ้นเชิง จึงทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน (subsidence) เป็นบริเวณกว้างตัวอย่างที่เห็นได้ชัดคือกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้อย่างมากมาย สำหรับกิจการด้านอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน จึงทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดินโดยเฉลี่ยปีละประมาณ 10 ซม. ด้วยเหตุนี้จึงทำให้กรุงเทพมหานครกลายเป็นที่ลุ่มที่เกิดน้ำท่วมได้ง่าย

**3. ชั้นดินทึบ** ตามธรรมชาติแล้ว ชั้นหินอุ้มน้ำจะได้รับน้ำชดเชยจากลำธารหรือน้ำบนผิวดินอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ชั้นหินอุ้มน้ำหนึ่ง ๆ อาจจะได้รับสารต่าง ๆ ที่ละลายมากับน้ำที่ไหลซึมลงมาจากพื้นดินด้วย ดังนั้นบริเวณที่ให้น้ำชดเชยแก่น้ำใต้ดินที่มีสารพวกวัตถุประสาน (cement) ปกคลุมพื้นที่อยู่มาก เช่น อนุภาคดินเหนียว เหล็ก ปูน และซิลิกา จะทำให้วัตถุประสานเหล่านี้ละลายปนอยู่กับน้ำและไหลซึมลงไปดินชั้นล่าง วัตถุประสานเหล่านี้จะเป็นตัวเชื่อมเศษหิน กรวด ดิน ทราาย ที่ตกทับถมให้เกาะติดกันแน่นจนทึบ ดังนั้นน้ำจึงไม่สามารถซึมผ่านชั้นดินทึบนี้ลงไป

ยังชั้นหินอุ้มน้ำเบื้องต้นได้ สิ่งนี้จะทำให้เกิดการเสียหายอยู่ 4 ประการคือ

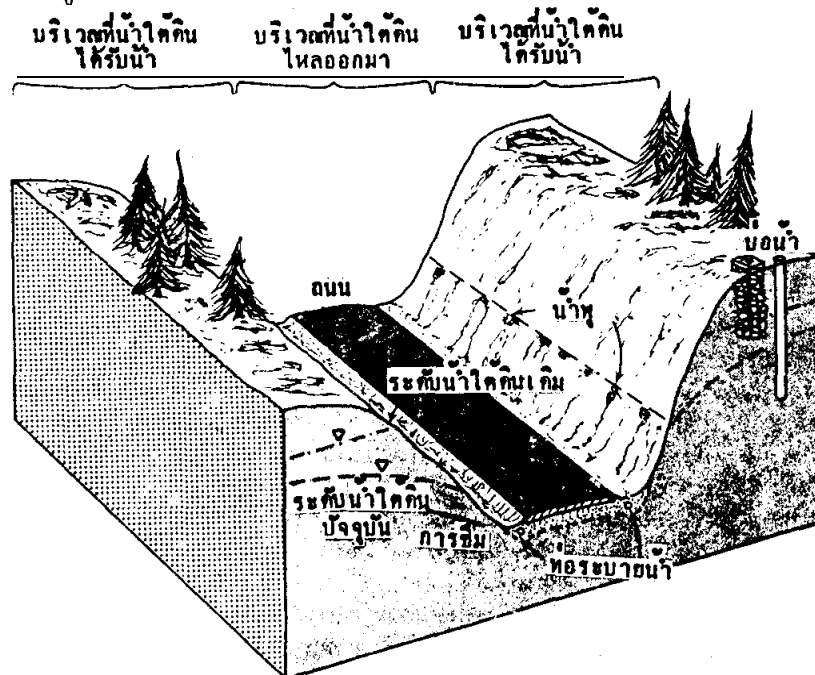
(1) ทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลงอย่างรวดเร็วถ้าหากมีการสูบน้ำขึ้นไปใช้ ทั้งนี้เพราะว่าน้ำใต้ดินมีอยู่อย่างจำกัดมากขึ้นเนื่องจากไม่ได้รับน้ำชดเชย

(2) ทำให้บริเวณที่เป็นชั้นหินอุ้มน้ำมีน้อยลง ทั้งนี้เพราะว่ารูปทรงบางส่วนของชั้นหินอุ้มน้ำถูกวัตถุประสานเชื่อมประสานจนกลายเป็นชั้นดินที่บดแล้ว

(3) ทำให้ชั้นหินอุ้มน้ำเสียขีดความสามารถในการให้น้ำที่จับไว้ไว้ในชั้นหินไปอย่างรุนแรง ทั้งนี้เพราะว่าช่องว่างที่เป็นที่สะสมของน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำมีน้อยลง

(4) ทำให้อัตราน้ำไหลบ่าผิวดินเพิ่มมากขึ้นอันเป็นสาเหตุทำให้เกิดน้ำท่วมมากขึ้น ทั้งนี้เพราะว่าความจุของการรั่วซึมของดินมีน้อยลงเนื่องจากช่องว่างในดินถูกเชื่อมประสานจนกลายเป็นชั้นดินที่บด

4. การก่อสร้างบางอย่าง การตัดถนนใหม่บนภูเขาที่ผ่านชั้นหินอุ้มน้ำสำคัญโดยตรงจะมีผลต่อระดับน้ำใต้ดินอย่างมาก การขุดโพรงหรือการตัดภูเขาทะลุชั้นน้ำบาดาล (confining layer) จะเป็นผลทำให้น้ำระบายออกจากชั้นหินอุ้มน้ำลงมาบนถนนอันเป็นสาเหตุทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลงและน้ำใต้ดินให้น้ำ (discharge) ในอัตราที่น้อยลงแก่บ่อ จึงทำให้ระดับน้ำในบ่อลึกกลงหรือแห้งไปได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 ผลกระทบจากการตัดถนนผ่านชั้นหินอุ้มน้ำ ซึ่งจะทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลงอันเป็นสาเหตุทำให้อ่างน้ำแห้งและน้ำใต้ดินซึมลงมาบนถนน

ที่มา : Griggs and Gilchrist, 1977.

## 6. การเพิ่มน้ำทดแทน

ในการชดเชยให้ระดับน้ำใต้ดินที่ลดลงเพิ่มขึ้น หรือในการที่จะหยุดยั้งการทรุดตัวของแผ่นดินนั้น การรั่วซึมตามธรรมชาติของน้ำฝนหรือน้ำบนผิวดินลงไปในพื้นที่ชั้นล่างสามารถช่วยได้ ซึ่งวิธีการนี้เป็นการเพิ่มน้ำทดแทนให้กับน้ำใต้ดินโดยวิธีธรรมชาติ การที่จะปล่อยให้ธรรมชาติซ่อมเสริมความบกพร่องที่เกิดขึ้นดังกล่าวบางครั้งก็มีข้อจำกัดหรืออาจจะช้าเกินไป ดังนั้นมนุษย์จึงพยายามที่จะหาวิธีควบคุมการเพิ่มน้ำทดแทนให้มีประสิทธิภาพกว่าธรรมชาติเพื่อที่จะแก้ไขความบกพร่องที่นับวันจะรุนแรงยิ่งขึ้นได้ทันการ การเพิ่มน้ำทดแทนให้กับน้ำใต้ดินนั้นมีอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ

1. การปล่อยให้หน้าไหลแผ่ซ่านไปบนผิวดิน วิธีนี้กระทำโดยการปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำให้ไหลแผ่ซ่านหรือไหลป่าไปบนพื้นดินเป็นบริเวณกว้าง การทำเช่นนี้จะทำให้น้ำไหลซึมลงไปในดินชั้นล่างเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้จะต้องขึ้นอยู่กับความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ (permeability) ของดินด้วย พื้นที่ตัวอย่างสำหรับวิธีนี้คือ พื้นที่ที่มีการชลประทานและทดน้ำ การควบคุมการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ และการพยายามเพิ่มน้ำชดเชยให้กับน้ำใต้ดินนั้นนับเป็นปัจจัยสำคัญ ในการควบคุมการทรุดตัวของแผ่นดินที่เกิดขึ้นในหุบเขาได้เป็นอย่างดี บริเวณพื้นที่ที่มีการปล่อยน้ำเป็นครั้งคราวโดยสลับ ให้มีช่วงเวลาที่ผิวดินแห้งบ้างนั้นจะมีประสิทธิภาพของการรั่วซึมมากกว่าพื้นที่ที่มีน้ำแช่ขังอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้แล้ว อัตราการชดเชยน้ำสู่ใต้ดินจะลดลงเมื่ออนุภาคของดินมีขนาดเล็กกลงและจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลึกหรือแรงดัน (head) ของน้ำ

2. การสูบน้ำลงไปในบ่อ วิธีนี้เหมาะสำหรับบริเวณพื้นที่ที่การปล่อยให้หน้าไหลแผ่ซ่านไปบนผิวดินทำไม่ได้เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ มีชั้นใต้ดินที่ไม่ยอมให้น้ำซึมผ่าน หรือไม่มีพื้นที่เพียงพอที่จะปล่อยน้ำได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการเจาะท่อลงไปหรือขุดบ่อลงไปจนถึงชั้นหินอุ้มน้ำ แล้วสูบน้ำผ่านท่อหรือบ่อลงไปเพิ่มน้ำให้กับชั้นหินอุ้มน้ำ อัตราการเพิ่มน้ำ (recharge rate) จะขึ้นอยู่กับอัตราที่น้ำเคลื่อนที่ออกจากบ่อซึมซาบเข้าไปในชั้นหินอุ้มน้ำ การสูบน้ำเข้าไปในชั้นหินอุ้มน้ำนั้นจะทำให้เกิดระลอกน้ำที่เพิ่มเข้าไป (recharge wave) ซึ่งระลอกนี้อาจจะเคลื่อนที่ในอัตราไม่ถึงเมตรจนถึงหลายร้อยเมตรต่อวัน ขึ้นอยู่กับความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของชั้นหินอุ้มน้ำนั้น หากชั้นหินอุ้มน้ำโดยขาดความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ จะทำให้น้ำที่เพิ่มเข้าไปในชั้นหินอุ้มน้ำนั้นหมุนกลับ (drawback) ขึ้นมาในบ่อแทน สำหรับชั้นหินอุ้มน้ำที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ จะทำให้น้ำที่เพิ่มเข้าไปนั้นเคลื่อนที่แทรกซอนเข้าไปในชั้นหินอุ้มน้ำนั้นได้ช้า จึงทำให้น้ำที่สูบน้ำเข้าไปนั้นสามารถชดเชยน้ำให้กับชั้นหินอุ้มน้ำได้เฉพาะบริเวณใกล้เคียงรอบ ๆ

บ่อเพิ่มน้ำเท่านั้น การเพิ่มน้ำทดแทนให้กับน้ำใต้ดินโดยการสูบน้ำลงไปในบ่อนั้น มีข้อเสียหรือข้อจำกัดอยู่ 3 ประการคือ

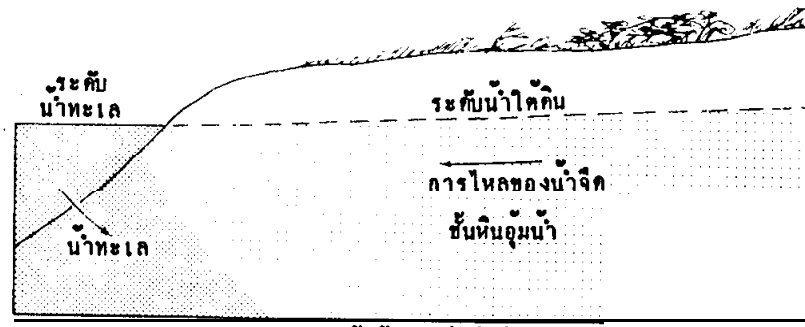
(1) ขีดความสามารถของบ่อที่เพิ่มน้ำให้กับชั้นหินอุ้มน้ำแต่ละบ่อนั้นมีอยู่น้อย จึงทำให้น้ำซดเซยได้เฉพาะบริเวณรอบ ๆ บ่อเท่านั้น ยกเว้นในกรณีที่ชั้นหินอุ้มน้ำนั้นมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้สูงมาก เช่น ชั้นหิน กรวดทราย หรือชั้นหินปูนซึ่งมีความพรกตัวสูง

(2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการฉีดน้ำเข้าไปในบ่อจะสูงกว่าค่าใช้จ่ายในการปล่อยให้น้ำไหลแผ่ซ่านไปบนผิวดิน เว้นแต่ว่าบ่อนั้นจะใช้สำหรับเพิ่มน้ำให้ชั้นหินอุ้มน้ำตามฤดูกาลเท่านั้น

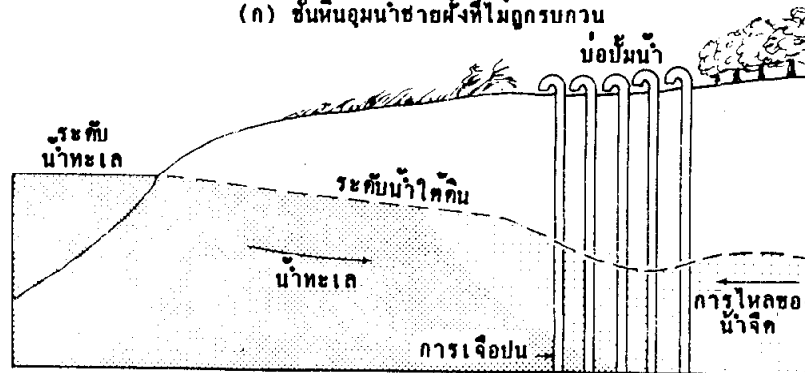
(3) คุณภาพของน้ำที่จะสูบลงไปใบบ่อเพื่อเพิ่มน้ำให้กับชั้นหินอุ้มน้ำนั้นจะต้องทำการควบคุมอย่างระมัดระวังที่สุด ตัวอย่างเช่น ดินตะกอน และดินเหนียว นั้นสามารถทำให้ชั้นหินอุ้มน้ำอุดตันได้ และแบคทีเรีย ไวรัส หรือส่วนประกอบทางเคมีต่าง ๆ อาจจะทำให้คุณภาพของน้ำใต้ดินเสียไปก็ได้ ดังนั้นจะต้องมีการศึกษาและควบคุมเกี่ยวกับคุณภาพของน้ำที่จะใช้ให้ละเอียดลออเสียก่อนก่อนที่จะสูบฉีดลงไปใบบ่อชั้นหินอุ้มน้ำนั้น ทั้งนี้เพราะว่าใบบ่อเสียนั้นจะมีพวกวัตถุเป็นพิษ รสและกลิ่นที่ไม่ถึงปรารถนา อนินทรีย์วัตถุที่ละลายอยู่ในน้ำใบบ่อปริมาณความเข้มข้นที่สูง นอกจากนี้ยังรวมถึงแบคทีเรียอีกด้วย

## 7. การแทรกซอนของน้ำทะเล

ใบบ่อในบริเวณชายฝั่ง ชั้นหินอุ้มน้ำของน้ำจืด ปกติแล้วจะปะทะกับมหาสมุทรและมีโอกาสที่จะเกิดการแทรกซอนของน้ำทะเลได้ (ดูรูปที่ 6.8) ถ้าน้ำใต้ดินภายในชั้นหินอุ้มน้ำมีระดับสูงกว่าระดับน้ำทะเล การแทรกซอนของน้ำเค็มจะถูกผลักดันออกไป และจะมีการเจือปน (contamination) อยู่น้อยมากหรือไม่มีเลย อย่างไรก็ตาม หากมีการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้ในพื้นที่ราบชายฝั่งอันอุดมสมบูรณ์ เพื่อการเกษตรและเพื่อการอุปโภคบริโภคมากเกินไปจะเป็นเหตุทำให้ระดับน้ำใต้ดินต่ำลงและจะทำให้เกิดการแทรกซอนของน้ำทะเลเข้าไปใบบ่อชั้นหินอุ้มน้ำใบบ่อในภายหลัง ซึ่งจะทำให้ใบบ่อกลายเป็นน้ำเค็มหรือน้ำกร่อยได้ เราอาจจะสรุปคำจำกัดความของการแทรกซอนของน้ำทะเลได้ว่า การแทรกซอนของน้ำทะเล (seawater intrusion) หมายถึงปรากฏการณ์ที่น้ำเค็มเคลื่อนที่เข้าไปใบบ่อชั้นหินอุ้มน้ำของน้ำจืดเนื่องจากการพัฒนาสูบน้ำใต้ดินขึ้นใบบ่อ การแทรกซอนของน้ำเค็มจะทำให้คุณภาพของน้ำใต้ดินเสียไป อันจะเป็นผลทำให้ผลผลิตของพืชที่ใบบ่อบริเวณดังกล่าวต่ำลง และจะต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการขุดบ่อน้ำใหม่ทดแทนบ่อน้ำเก่าซึ่งมีแต่น้ำเค็ม



(ก) ชั้นหินอุ้มน้ำชายฝั่งที่ไม่ถูกรบกวน



(ข) ชั้นหินอุ้มน้ำกับการแทรกซอนของน้ำทะเล

### รูปที่ 6.8 การแทรกซอนของน้ำทะเลบริเวณชั้นหินอุ้มน้ำชายฝั่ง

- (ก) แสดงชั้นหินอุ้มน้ำในสภาพปกติที่ติดกับมหาสมุทร ระดับน้ำใต้ดินจะลาดเทลงสู่น้ำทะเล ในกรณีนี้ ความชันของน้ำใต้ดินจะผลักดันไม่ให้น้ำทะเลทะลักเข้ามา
- (ข) แสดงชั้นหินอุ้มน้ำชายฝั่ง ที่มีการสูบน้ำขึ้นมาใช้อย่างหนักจนทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลง ระดับน้ำใต้ดินจะลาดเทเข้าสู่แผ่นดินทำให้น้ำทะเลเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำได้

ที่มา : Griggs and Gilchrist, 1977.

ในรูปที่ 6.8 นั้นแสดงถึงลักษณะการเกิดแทรกซอนของน้ำทะเล เมื่อเริ่มแรกนั้น (รูปที่ 6.8(ก)) ระบบอุทก (hydrologic system) จะอยู่ในดุลยภาพ เนื่องจากอัตราการเพิ่มน้ำทดแทน (recharge) ให้กับน้ำใต้ดินโดยเฉลี่ยในระยะยาวตามธรรมชาติเท่ากับอัตราการสูญเสีย (discharge) ของน้ำใต้ดิน แนวปะทะ (interface) ระหว่างน้ำจืดกับน้ำเค็มนั้นจะคงที่และเป็นเสถียรภาพตามแนวชั้นหินอุ้มน้ำชายฝั่ง เมื่อมีการพัฒนานำน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้มากขึ้น ตามการเจริญเติบโตของชุมชน (รูปที่ 6.8(ข)) จะทำให้น้ำใต้ดินสูญเสียไปในอัตราที่มากกว่า การได้รับน้ำเพิ่มชดเชย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ระดับน้ำใต้ดินลดลง และน้ำทะเลเริ่มเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นหินอุ้มน้ำ

ในสภาวะความดันอุทกธรรมดาในชั้นหินอุ้มน้ำชายฝั่งที่ไม่ถูกเก็บกัก (unconfined coastal

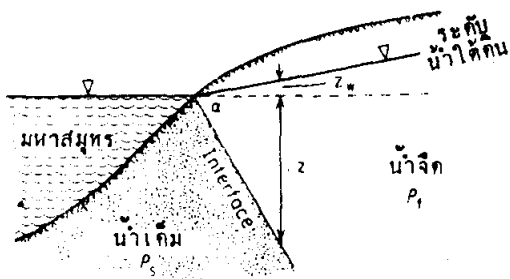
aquifer) นั้น ธรรมชาติของแนวปะทะจะแยกน้ำเค็มและน้ำจืดออกจากกัน ณ บริเวณที่มีความแตกต่างกันระหว่างความหนาแน่นของน้ำเค็ม ( $\rho_s$ ) และความหนาแน่นของน้ำจืด ( $\rho_f$ ) และแนวปะทะนี้จะต้องยื่นเข้าไปในชั้นหินอุ้มน้ำโดยทำมุม ( $\alpha$ ) น้อยกว่า  $90^\circ$  กับแนวระดับน้ำใต้ดิน น้ำหนักหนึ่งหน่วยคอลัมน์ของน้ำจืดที่ยื่นจากระดับน้ำใต้ดินถึงแนวปะทะจะได้สมดุลย์กับหนึ่งหน่วยคอลัมน์ของน้ำเค็มที่ยื่นจากระดับน้ำทะเลถึงความลึกเดียวกัน ณ จุดบนแนวปะทะนั้น เมื่อพิจารณาจากรูป 6.9 (ก) แล้ว จะได้ความสัมพันธ์ ดังต่อไปนี้

$$Z_s = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} Z_w$$

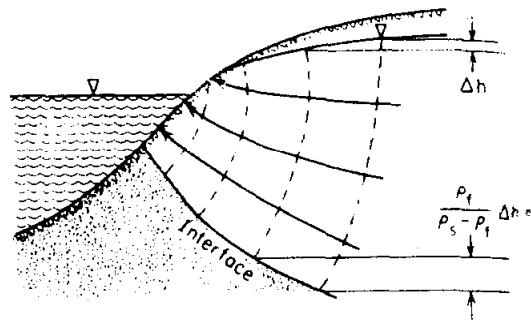
ในกรณีที่  $P_f = 1.0$  และ

$$\rho = 1.025$$

$$Z_s = 40Z_w$$



(ก)



(ข)

รูปที่ 6.9 แนวปะทะระหว่างน้ำเค็มกับน้ำจืด (saltwater-freshwater interface) ในชั้นหินอุ้มน้ำชายฝั่งที่ไม่ถูกเก็บกัก (unconfined coastal aquifer)

(ก) ภายใต้สภาวะความดันอุทก

(ข) ภายใต้สภาวะที่มีน้ำจืดไหลออกสู่ทะเลอย่างสม่ำเสมอ

ที่มา : Freeze and Cherry, 1979.

สมการท้ายสุดนี้เรียกว่า "Ghyben-Herzberg relation"

ถ้าเราให้การเปลี่ยนแปลงความสูงของระดับน้ำใต้ดินเป็น  $\Delta Z_w$  แล้วจะได้ว่า  $\Delta z_s = 40 \Delta z_w$  ดังนั้นจะสังเกตได้ว่า ถ้าระดับน้ำใต้ดินในชั้นหินอุ้มน้ำชายฝั่งที่ไม่ถูกเก็บกักต่ำลง 1 เมตร แนวปะทะด้านน้ำเค็ม (saltwater interface) จะสูงขึ้นเข้ามา 40 เมตร

ในสภาวะความเป็นจริงส่วนมากแล้ว บริเวณที่มีน้ำจืดไหลลงสู่ทะเลจะไม่สามารถใช้เงื่อนไขความดันอุทกของ Ghyben-Herzberg ได้ รูปแบบที่ใช้ได้ดีมากกว่าคือรูปแบบในรูปที่ 6.9 (ข) ซึ่งเป็นรูปแบบสำหรับบริเวณที่มีน้ำจืดไหลออกสู่ทะเลอย่างสม่ำเสมอ ตำแหน่งที่แท้จริงของแนวปะทะสำหรับสัณฐาน (configuration) ของระดับน้ำใต้ดินสามารถพิจารณาได้จากการสร้างโครง

ข่ายการไหลเชิงเส้น (graphical flow-net construction) ซึ่งสามารถสังเกตความสัมพันธ์ได้จากแนวตัดกันของเส้นศักย์ภาพเท่า (equipotential lines) ระหว่างระดับน้ำใต้ดินและแนวปะทะดังแสดงไว้ในรูปที่ 6.9 (ข)

สำหรับการควบคุมการแทรกซอนของน้ำทะเลนั้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกันคือ

1. **ลดปริมาณการสูบน้ำจากชั้นหินอุ้มน้ำชายฝั่งให้น้อยลง** วิธีนี้จะทำให้การลดลงอย่างต่อเนื่องของระดับน้ำใต้ดิน (overdraft) อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแทรกซอนของน้ำเค็มหมดไป การลดปริมาณการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้จะช่วยทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นจนเหนือระดับน้ำทะเลอีกครั้ง และเป็นการสร้างความชัน (gradient) สู่น้ำทะเลขึ้นมาใหม่ หรือเราอาจจะทำได้อีกอย่างหนึ่งโดยการย้ายบ่อให้ลึกเข้าไปในแผ่นดินยิ่งขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้ระดับน้ำใต้ดินบริเวณชายฝั่งสูงขึ้นเพียงพอที่จะผลักดันการไหลแทรกซอนเข้ามาของน้ำทะเลได้

2. **เพิ่มน้ำทดแทนให้กับชั้นหินอุ้มน้ำที่ถูกรบกวน** การเพิ่มน้ำทดแทนนี้ทำได้ทั้งวิธีการปล่อยให้น้ำไหลแผ่ซ่านกระจายไปบนผิวดินหรือการเพิ่มน้ำลงในบ่อ ดังนั้นระดับน้ำและความชันก็จะถูกรักษาให้อยู่ในสภาพที่สมดุล น้ำใต้ดินหรือแนวความชันของน้ำจืดจะก่อตัวขึ้นระหว่างพื้นที่ที่มีการสูบน้ำและทะเลซึ่งจะทำให้การแทรกซอนหยุดขังกลง หากในกรณีที่มีปัญหาเรื่องการขาดแคลนน้ำสามารถแก้ปัญหานี้ได้ด้วยการนำเอาน้ำเสียที่ผ่านขบวนการกำจัดน้ำเสียขั้นที่สอง (คุณภาพทางเคมี) และขั้นที่สาม (คุณภาพทางชีวภาพ) แล้วมาเพิ่มทดแทนให้กับชั้นหินอุ้มน้ำที่ถูกรบกวน

3. **การสร้างเครื่องกีดขวาง (barrier) ใต้ผิวดิน** วิธีนี้จะช่วยลดความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ (permeability) ของชั้นหินอุ้มน้ำได้เป็นอย่างดีเพื่อการป้องกันการแทรกซอนเข้ามาของน้ำทะเล วิธีนี้จะใช้ได้ดีกับชั้นหินอุ้มน้ำต้น ๆ เท่านั้น การก่อสร้างเครื่องกีดขวางอาจทำได้หลายวิธี เช่น การสร้างกำแพงกันน้ำใต้ดิน การเทพื้น ยางมะตอย หรือวัตถุอย่างอื่นที่จะเป็นการสร้างสิ่งกีดขวางกึ่งเนื้อที่ป (semi-impermeability barrier)

4. **กำหนดแนวของบ่อน้ำที่อยู่ชิดชายฝั่ง** วิธีการนี้จะช่วยลดความรุนแรงจากการแทรกซอนของน้ำเค็มได้ด้วยการพัฒนาบ่อสูบน้ำ (pumping wells) ที่อยู่ชิดชายฝั่ง ให้มีแนวกลางเฉลี่ยของบ่อขนานไปกับแนวชายฝั่ง ตลอดจนการพัฒนาแนวน้ำจืดที่ชิดกับชายฝั่งโดยให้มีแนวกลางเฉลี่ยของบ่อเพิ่มน้ำ (recharge wells) ขนานไปกับชายฝั่งด้วย วิธีนี้จะช่วยให้ง่ายต่อการควบคุมสภาพสมดุลของความชันของระดับน้ำใต้ดินได้

มลภาวะน้ำเค็ม (saline pollution) ที่เกิดขึ้นในชั้นหินอุ้มน้ำนั้น ไม่จำเป็นที่จะต้องเกิดที่บริเวณชายฝั่งเท่านั้น แต่อาจเกิดขึ้นได้ด้วยเช่นกันในพื้นที่แห้งแล้งหรือกึ่งแห้งแล้งที่มีการใช้น้ำทางด้านเกษตรกรรมมากจนทำให้น้ำผิวดินลดลง สาเหตุนี้จะทำให้เกิดเกลือสะสมอยู่บนผิวดินจนเป็น



อันตราย เกลือเหล่านี้จะซึมลงไปใต้ดินสู่แหล่งเก็บน้ำใต้ดิน และเมื่อถ้าหากมีการระเหยซ้ำขึ้นมาอีก และอีกทั้งยังมีการหมุนเวียนของน้ำเก่าอยู่ด้วย ยิ่งจะทำให้เกลือเหล่านี้มีความเข้มข้นในชั้นหินอุ้มน้ำนั้น ซึ่งจะเป็นผลทำให้น้ำใต้ดินกลายเป็นน้ำกร่อยได้ในที่สุด

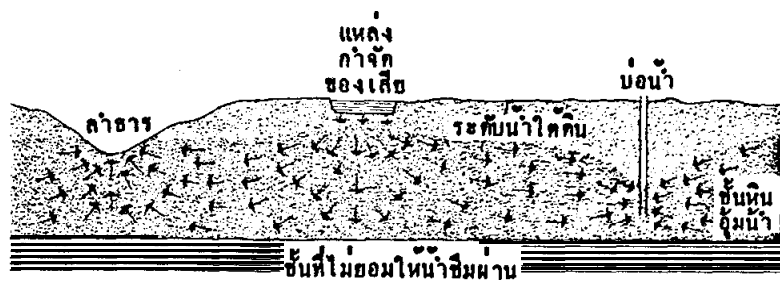
## 8. คุณภาพของน้ำบาดาล

คุณภาพน้ำบาดาลมีความสำคัญต่อการพัฒนาคุณภาพน้ำบาดาลเท่า ๆ กับปริมาณของมัน ในปัจจุบันการพัฒนาคุณภาพน้ำบาดาลเป็นไปอย่างกว้างขวาง คุณภาพน้ำจึงยิ่งทวีความสำคัญมากขึ้น มาตรฐานแห่งคุณภาพน้ำบาดาลโดยปกติขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่จะนำเอาน้ำไปใช้ เช่น เพื่อการอุปโภค บริโภค เพื่อการอุตสาหกรรมและเพื่อการเกษตรกรรม ซึ่งต้องการน้ำที่มีคุณภาพแตกต่างกันไป

น้ำบาดาลมีแร่ธาตุหรือที่เรียกทางเคมีว่า เกลือ ปนอยู่ เกลือดังกล่าวนี้ไม่ได้หมายถึงเกลือแกงอย่างเดียว แต่หมายรวมถึงสารประกอบเคมีทุกชนิดที่จะพึงมีอยู่ในดินและหิน ชนิดและปริมาณเกลือในน้ำบาดาลจะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมการไหลหลังและส่วนประกอบของชั้นน้ำเป็นเกณฑ์ เกลือที่ละลายอยู่ในน้ำบาดาลมาจากสารละลายที่ปนอยู่ในเนื้อหินเป็นส่วนใหญ่ ส่วนน้อยปนมากับน้ำที่ซึมลง และบางส่วนมาจากน้ำดั้งเดิมที่ตกค้างอยู่ในเนื้อหินตั้งแต่สมัยการเริ่มสะสมของตะกอนที่เป็นส่วนประกอบหินน้ำที่ได้จากชั้นน้ำประเภทหินอัคนีส่วนใหญ่มักจะละลายเอาแร่ธาตุไปจากหินได้น้อย เพราะส่วนประกอบของหินอัคนีละลายน้ำได้ยาก แต่ถ้าน้ำไหลผ่านหรืออยู่ในชั้นหินประเภทหินตะกอน โอกาสที่จะได้รับแร่ธาตุเพิ่มเติมก็มีมากเพราะส่วนประกอบของหินตะกอนละลายน้ำได้ง่าย สารละลายโซเดียม แคลเซียม ไบคาร์บอเนต และซัลเฟต จึงมีอยู่ทั่วไปในน้ำบาดาล สารละลายคลอไรด์มักจะมีอยู่น้อยในภาวะปกติ เว้นแต่ถ้าชั้นน้ำต่อเนื่องกับหินเกลือก็จะมีมากผิดปกติ ส่วนไนเตรทมักจะไม่ค่อยมีในน้ำนอกจากจะมีมลทินจากภายนอกเข้าไปปะปนเหล่านี้ เป็นต้น

การกำจัดของเสียโดยการฝังสิ่งปฏิกูล และของเสียในรูปต่าง ๆ ไว้ในดินมากเกินไป จะทำให้ของเสียเหล่านั้นทำปฏิกิริยากับน้ำฝนที่ซึมลงมาและมีความเข้มข้นสูง เมื่อน้ำเสียเหล่านี้ซึมลงถึงชั้นหินอุ้มน้ำจะทำให้น้ำใต้ดินเกิดการปนเปื้อนได้ ในรูปที่ 6.10 นั้นแสดงการเกิดเนิน (mound) ในระดับน้ำใต้ดินใต้แหล่งการกำจัดของเสีย หากดินบริเวณดังกล่าวเกาะตัวกันอย่างหลวม ๆ จะทำให้น้ำฝนรั่วซึมลงไปใต้ดินได้ง่ายขึ้น ดังนั้นบริเวณนี้จะมีอัตราการเพิ่มน้ำทดแทน (recharge) ให้กับน้ำใต้ดินมากกว่าบริเวณอื่น ๆ และจะเกิดเนินในระดับน้ำใต้ดินขึ้นด้วย เมื่อน้ำซึมลงเบื้องล่างเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกแล้ว การชะล้าง (leachate) จะเคลื่อนที่ลงไปตามแนวตั้งสู่เนินระดับน้ำใต้ดิน (groundwater mound) และจะเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วออกจากเนินสู่จุดที่ต่ำกว่าโดยรอบของน้ำใต้ดิน

ในรูปที่ 6.10 แสดงให้เห็นว่าบ่อน้ำที่มีกรวยน้ำใต้ดินจะทำให้น้ำใต้ดินลดระดับลงจากบริเวณโดยรอบ การเชื่อมต่อกันระหว่างกรวยไหลออก (outward flow) จากแหล่งกักจัดของเสีย และการไหลเข้า (inward-flow) สู่บ่อน้ำ สามารถนำการชะล้างเข้าไปในบ่อได้ ซึ่งเท่ากับเป็นการปนเปื้อนน้ำใต้ดินที่จะสูบขึ้นไปใช้



รูปที่ 6.10 การชะล้างจากแหล่งกักจัดของเสียสู่น้ำใต้ดิน และเคลื่อนที่เข้าไปยังบ่อน้ำ (ขวามือ) และลำธาร (ซ้ายมือ)

ที่มา : คัดแปลงจาก Strahler, 1975.

### 8.1 คุณลักษณะทางกายภาพ

คุณลักษณะทางกายภาพของน้ำบาดาลนั้นสามารถพิจารณาได้จาก สี กลิ่น รส ความขุ่น ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำ

(1) **สี กลิ่น รส ความขุ่น** มลทินที่จะทำให้น้ำมีสี ส่วนใหญ่มาจากซากเน่าเปื่อยของพืช และจุลินทรีย์ที่เจริญงอกงามอยู่ในน้ำปฏิกิริยาทางเคมีของแร่ธาตุในน้ำบางชนิดก็ทำให้เกิดสีได้เช่นกัน เช่น ปฏิกิริยาระหว่างเหล็กกับออกซิเจน สีที่เกิดในน้ำส่วนใหญ่ไม่เป็นภัยต่อร่างกาย แต่ทำให้น้ำรังเกียจ ความขุ่นของน้ำเกิดจากสารที่ไม่ละลายแขวนลอยอยู่ เช่น ดินโคลน อินทรีย์สาร ตลอดจนจุลินทรีย์บางชนิด นอกจากนี้เกลือของเหล็กที่ละลายในน้ำซึ่งค่อย ๆ ตกตะกอนลงมาช้า ๆ ก็ทำให้น้ำขุ่นได้เช่นกัน

กลิ่นที่เกิดในน้ำส่วนใหญ่เนื่องมาจากสารอินทรีย์ เกลือและแก๊สที่ละลายปนอยู่ในน้ำ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) หรือ แก๊สไข่เน่า และกลิ่นสนิมเหล็ก ส่วนรสนั้นมักเกิดจากเกลือแร่ที่ละลายอยู่ เช่นเกลือคลอไรด์ เกลือซัลเฟต น้ำที่เกลือแกงละลายอยู่จะมีรสตั้งแต่กร่อยจนเค็ม เกลือแคลเซียมคลอไรด์มักทำให้มีรสฝาด ส่วนเกลือซัลเฟตจะทำให้รสขม

(2) **ค่าการนำไฟฟ้า** เป็นตัวแสดงให้ทราบว่ามีการละลายอยู่มากน้อยเพียงใด น้ำที่มีการนำไฟฟ้าสูง ย่อมแสดงว่ามีสารประกอบละลายอยู่มาก จึงเป็นสื่อตัวนำไฟฟ้าได้ดี ส่วนน้ำที่มีเกลือแร่ละลายอยู่น้อยก็มีการนำไฟฟ้าต่ำ ดังเช่น น้ำฝน หรือน้ำกลั่น เป็นต้น

(3) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นหน่วยวัดปริมาณสารละลายไฮโดรเจนที่มีอยู่ในน้ำและเป็นตัวบอกให้รู้ว่าน้ำมีฤทธิ์เป็นกรดหรือด่าง หรือเป็นกลาง ค่า pH ที่วัดได้จะอยู่ระหว่าง 0-14 น้ำมีฤทธิ์เป็นกลางจะมีค่าเป็น 7 ต่ำกว่า 7 ลงไปถึงว่าน้ำค่อย ๆ มีฤทธิ์เป็นกรดเพิ่มขึ้นและสูงกว่า 7 ขึ้นไปถึงว่าน้ำค่อย ๆ มีฤทธิ์เป็นด่าง น้ำในธรรมชาติจะมีค่าอยู่ระหว่าง 5.5-9 ค่า pH ของน้ำมีประโยชน์สำหรับการพิจารณาควบคุมฤทธิ์กัดกร่อนของน้ำและควบคุมคุณภาพน้ำ

## 8.2 คุณลักษณะทางเคมี

คุณลักษณะทางเคมีของน้ำมักจะสังเกตไม่ได้แน่นอนจาก รูป รส กลิ่น หรือสี การวิเคราะห์ทางเคมีจึงมีความจำเป็น ในการวิเคราะห์นั้นส่วนใหญ่ไม่ได้หาความมากมายของสารในรูปที่เป็นสารประกอบทางเคมี เช่น ไม่ได้หาว่ามีแคลเซียมซัลเฟต หรือยิปซัมอยู่เท่าใด แต่มักจะหาไอออนที่อยู่ในรูปสารละลายในน้ำ (Discociated ions) เช่นหาว่ามีแคลเซียมเท่าใด และซัลเฟตอยู่เท่าใดเหล่านี้ เป็นต้น

(1) สารที่เป็นพิษต่อร่างกาย (Toxic substances) สารที่เป็นพิษเหล่านี้ ถ้าวิเคราะห์ว่ามีอยู่ในน้ำเกินมาตรฐานที่วางไว้ไม่ควรดื่มเด็ดขาด เพราะอาจจะเป็นอันตรายถึงตายได้ ได้แก่ สารหนู (As) แบริยม (Br) โครเมียม (Cr) ไซยาไนต์ (CN) ตะกั่ว (Pb) เซเลเนียม (Se) เงิน (Ag)

(2) เกือบแร่หลักที่มีปริมาณมากในน้ำบาดาล ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) คาร์บอเนต (CO<sub>3</sub>) ไบคาร์บอเนต (HCO<sub>3</sub>) คลอไรด์ (Cl) ซัลเฟต (SO<sub>4</sub>) สารเหล่านี้เมื่อมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันก็จะแสดงคุณภาพน้ำที่แตกต่างกัน เช่น ทำให้มีความกระด้าง หรือเป็นน้ำอ่อน หรือทำให้เกิดรสชาติ เนื่องจากปริมาณมากเกินกำหนด

(3) เกือบแร่รองที่มีปริมาณอยู่ในน้ำ ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมงกานีส (Mn) อลูมิเนียม (Al) ซิลิกา (Si) ฟลูออไรด์ (F) สังกะสี (Zn) ทองแดง (Cu) โบรอน (Br)

สารพวกนี้แม้มีปริมาณน้อย แต่ก็ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำได้อย่างชัดเจนเช่นกัน เช่น กรณีของเหล็กและแมงกานีส ทำให้น้ำเหลืองแดง และเกิดปัญหาเกี่ยวกับท่อกรู ท่อกรอง และเครื่องสูบน้ำ ฟลูออไรด์มีผลต่อการดื่ม ทำให้ฟันและกระดูกเป็นคราบหรือมีความแข็งแรงน้อยลง เมื่อมีปริมาณของฟลูออไรด์สูง เป็นต้น

## 8.3 คุณลักษณะทางแบคทีเรีย

ปกติ น้ำบาดาลจะปราศจากแบคทีเรีย แต่ถ้าน้ำมีมลทินจากภายนอกเข้าไปปะปนก็จะทำให้เกิดมีแบคทีเรียได้ ถ้าพบว่าน้ำมีปริมาณไนไตรท์ (NO<sub>2</sub>) และไนเตรท (NO<sub>3</sub>) สูง ควรจะทำการวิเคราะห์หาปริมาณของแบคทีเรียก่อนที่จะนำไปใช้ สำหรับน้ำดื่มโดยทั่วไปแล้วไม่ควรจะมี TCB (Total Coliform Bacteria) เกินกว่า 1 ต่อ 100 มิลลิลิตร (U.S. EPA., 1975.)

ตารางที่ 6.3 มาตรฐานน้ำบาดาลที่จะใช้บริโภคได้\*

คุณลักษณะทางกายภาพ	เกณฑ์ที่กำหนดเหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
สี (Colour)	5 (หน่วยปลาตินัม-โคบอลต์)	50 (หน่วยปลาตินัม-โคบอลต์)
ความขุ่น (Turbidity)	5 (หน่วยความขุ่น)	20 หน่วยความขุ่น)
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	7.0-8.5	6.5-9.2
คุณลักษณะทางเคมี	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
	(หน่วยส่วนในล้าน)**	(หน่วยส่วนในล้าน)
เหล็ก (Fe)	ไม่เกิน 0.5	1.0
แมงกานีส (Mn)	ไม่เกิน 0.3	0.5
ทองแดง (Cu)	ไม่เกิน 1.0	1.5
สังกะสี (Zn)	ไม่เกิน 5.0	15.0
ซัลเฟต (SO <sub>4</sub> )	ไม่เกิน 200	250
คลอไรด์ (Cl)	ไม่เกิน 200	600
ฟลูออไรด์ (F)	ไม่เกิน 1.0	1.5
ไนเตรท (NO <sub>3</sub> )	ไม่เกิน 45	45
ความกระด้างทั้งหมด (Total hardness as CaCO <sub>3</sub> )	ไม่เกิน 300	500
ความกระด้างถาวร (Non-carbonate hardness as CaCO <sub>3</sub> )	ไม่เกิน 200	250
ปริมาณมวลสารทั้งหมด (Total solids)	ไม่เกิน 750	1,500
คุณลักษณะที่เป็นพิษ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
	(หน่วยส่วนในล้าน)	(หน่วยส่วนในล้าน)
สารหนู (As)	ต้องไม่มีเลย	0.5
ไซยาไนด์ (CN)	ต้องไม่มีเลย	0.2

คุณลักษณะที่เป็นพิษ	เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม	เกณฑ์อนุโลมสูงสุด
ตะกั่ว (Pb)	ต้องไม่มีเลย	0.05
ปรอท (Hg)	ต้องไม่มีเลย	0.001
แคดเมียม (Cd)	ต้องไม่มีเลย	0.01
เซเลเนียม (Se)	ต้องไม่มีเลย	0.01
คุณลักษณะทางแบคทีรี		เกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม
standard plate count		ไม่เกิน 500 โกลีต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
Most probable number of coliform organism (MPN)		น้อยกว่า 2.2 ต่อร้อยลูกบาศก์เซนติเมตร
E. coli		ต้องไม่มีเลย

\* พระราชบัญญัติน้ำบาดาล พ.ศ. 2520 กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงอุตสาหกรรม

\*\* 1 ส่วนในล้าน (part per million หรือ ppm) = 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 8.4 คุณภาพเพื่อการอุปโภคและบริโภค

น้ำที่จะนำไปใช้ในการอุปโภค บริโภค ต้องพิจารณาคคุณลักษณะทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และแบคทีเรีย เรามีเกณฑ์ในการพิจารณา โดยยึดตามมาตรฐานของน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค ซึ่งประกาศในพระราชบัญญัติน้ำบาดาล ปี 2520 (ตารางที่ 6.3) ซึ่งได้ทำการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณต่าง ๆ ให้เหมาะสมตามสภาพและความจำเป็นของน้ำที่มีอยู่ในประเทศเป็นหลัก น้ำที่เหมาะสมสำหรับใช้ดื่ม หรือใช้ในครัวเรือนนั้นควรมีค่าทางกายภาพและปริมาณแร่ธาตุต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์กำหนดเหมาะสมตามมาตรฐาน หากวิเคราะห์ปริมาณต่าง ๆ แล้วอยู่ในเกณฑ์อนุโลม ให้ใช้บริโภค ควรใช้น้ำนั้นเท่าที่จำเป็น และพยายามหาแหล่งน้ำอื่นที่ดีกว่าทดแทน

ในตารางที่ 6.3 นั้น ส่วนประกอบสำคัญสำหรับเกณฑ์กำหนดที่เหมาะสม (ถ้าไม่รวมความกระด้างของน้ำ) คือ ปริมาณมวลสารที่ละลายปนอยู่ทั้งหมด (Total Dissolved Solids : TDS), ซัลเฟต (SO<sub>4</sub>) และคลอไรด์ (Cl) การบริโภคน้ำที่มีความเข้มข้นค่อนข้างเกินเกณฑ์ที่เหมาะสมของส่วนประกอบ 3 ชนิด โดยทั่วไปแล้วจะไม่ใช่เป็นโทษแต่อย่างใด บางครั้งเราจำเป็นต้องเติมคลอไรด์เป็นจำนวนหลายร้อยมิลลิกรัมต่อลิตร (หรือ ppm)<sup>1</sup> เพื่อกำจัดความเค็ม

1. ppm ย่อมาจากคำว่า part per million ซึ่งหมายถึง “ส่วนในล้าน” 1 ppm = 1 มิลลิกรัม/ลิตร

สำหรับการหาความกระด้างของน้ำ (hardness of water) จะพิจารณาเป็นความกระด้างทั้งหมดในฐานะแคลเซียมคาร์บอเนต (Total hardness as CaCO<sub>3</sub>) ซึ่งสามารถหาได้จาก :

$$\text{total hardness} = 2.5(\text{Ca}^{2+}) + 4.1(\text{Mg}^{2+})$$

จากสมการข้างบน ความกระด้างของน้ำหาได้จากความเข้มข้น (concentration) ทั้งหมดของ Ca<sup>2+</sup> และ Mg<sup>2+</sup> เป็นมิลลิกรัม/ลิตรเท่ากับ CaCO<sub>3</sub> ความเข้มข้นของทั้งแคลเซียมและแมกนีเซียมจะต้องคูณกับอัตราส่วนของน้ำหนักโมเลกุล (formula weight) ของ CaCO<sub>3</sub> ต่อน้ำหนักอะตอม (atomic weight) ของไอออน อัตราส่วนนั้นได้แก่ 2.5 สำหรับแคลเซียมและ 4.1 สำหรับแมกนีเซียม ซึ่งมีอยู่ในสมการแล้ว น้ำที่มีค่าความกระด้างมากกว่า 150 มิลลิกรัม/ลิตร จัดว่าเป็นน้ำที่กระด้างมาก สำหรับน้ำที่มีค่าความกระด้างน้อยกว่า 60 มิลลิกรัม/ลิตร จัดว่าเป็นน้ำอ่อน (soft water) หากนำน้ำที่มีความกระด้างเกิน 60-80 มิลลิกรัม/ลิตร มาใช้ในการหุงต้ม จะทำให้มีตะกอนในหม้อหุงต้มมากขึ้นไป

คำจำกัดความของคำว่า “ความกระด้างของน้ำ” (hardness of water) นั้น แคมป์ (Camp, 1963) ได้ให้คำจำกัดความว่า “เป็นส่วนประกอบของไอออนของเหล็กซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับสบู่โซเดียมแล้วจะทำให้เกิดสบู่แข็งหรือกากเหลือลอยอยู่บนน้ำ และซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยากับออลอนลบ (เมื่อต้มน้ำจนกลายเป็นไออยู่ในหม้อต้ม) แล้ว จะทำให้เกิดตะกอนในหม้อต้ม”

### 8.5 โทษของแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำที่ใช้อุปโภค บริโภค

แร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำ ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะทำให้โทษต่อร่างกายในการใช้บริโภคอุปโภคดังนี้คือ

Calcium (Ca) มีคุณสมบัติทำให้เกิดความกระด้างในน้ำ และทำให้เกิดตะกอนในหม้อต้ม  
Magnesium (Mg) ทำให้เกิดความกระด้างในน้ำ เช่นเดียวกับ Calcium

Sodium (Na) และ Potassium (K) โดยทั่วไปไม่มีอันตรายต่อน้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภค แต่มีผลต่อน้ำที่ใช้ในการเกษตร

Iron (Fe) มีคุณสมบัติทำให้น้ำมีสีเหลืองและมีกลิ่นคาว ทำให้เครื่องสุขภัณฑ์มีคราบสีเหลือง ติดถ้าใช้ซักผ้าทำให้ผ้าเหลือง ใช้หุงข้าวทำให้ข้าวเหลือง และบูดง่าย

Manganese (Mn) ให้โทษคล้ายกับเหล็ก โดยทั่วไปอันตรายที่เกิดจาก Manganese ในน้ำมีน้อย อันตรายที่เกิดจาก Manganese โดยตรงมักเกิดจากฝุ่นหรือไอของ Manganese และสัมผัสอยู่เป็นเวลานาน ๆ ทำให้เสียรส กลิ่น ทำให้ท่อเป็นตะกอน

Copper (Cu) ถ้ามีปริมาณมากในน้ำจะทำให้มีน้ำมีรส เข้าสู่ร่างกายจะถูกขับถ่ายออกไป แต่ถ้ากินในปริมาณมากและติดต่อกันเป็นเวลานานจะเป็นอันตรายต่อดับ

Zinc (Zn) ในน้ำถ้ามีปริมาณมากจะทำให้น้ำมีรสและกลิ่นไม่ดี แต่อันตรายต่อร่างกาย ด้านอื่น ๆ ยังไม่ปรากฏ

Sulfate ( $\text{SO}_4$ ) ถ้ามีปริมาณมากทำให้น้ำมีรสฝาดหรือเค็ม และถ้าดื่มมากอาจทำให้ท้องเสียได้ สารประกอบของ Sulfate ทำให้เกิดตะกอนในหม้อน้ำ ทำให้เกิดน้ำกระด้างถาวร

Chloride (Cl) โดยทั่วไปไม่มีอันตรายต่อร่างกาย นอกจากทำให้น้ำมีรสกร่อยหรือเค็มไม่ชวนดื่ม แต่มีผลต่อการใช้อุปโภค คือ ทำให้เกิดการกัดกร่อนในท่อน้ำ หม้อต้มน้ำ ท่อกรู ท่อกรองต่าง ๆ

Nitrate ( $\text{NO}_3$ ) ในน้ำบริโภคถ้ามีปริมาณมากจะมีผลต่อเด็กทารก ทำให้ผิวหนังมีสีคล้ำเป็นจ้ำ ๆ ซีม ไม่ร่าเริง ที่เรียกว่า โรค Cyanosis หรือ Blue baby disease

Fluoride (F) เป็นธาตุที่สำคัญตัวหนึ่งที่มีความจำเป็นในน้ำดื่ม เพราะป้องกันฟันผุได้ แต่ถ้ามีปริมาณมากเกินไปก็จะเป็นโทษ ทำให้ฟันเป็นจุดและกระดูกผุง่าย

### 8.6 โทษของสารเป็นพิษ

สารที่เป็นพิษมี As, Hg, Pb, Se, Ba, Cd, CN, Cr ในน้ำบริโภค ถ้ามีปริมาณมากเกินไปจะให้โทษ ดังนี้คือ

Arsenic (As) เข้าสู่ร่างกายจะสะสมอยู่ในร่างกายนาน ๆ เข้าก็จะเกิดอันตราย ทำให้เกิดเป็นมะเร็งที่ผิวหนังหรือปอดได้ มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง, ล้าไส้

Mercury (Hg) อันตรายจากปรอทในน้ำดื่มก็จะเกิดในรูปของการสะสม เช่นเดียวกันทำให้เกิดอาการทางระบบประสาท ความจำเลอะเลือน นอนไม่หลับ ประสาทหลอน ปวดตามข้อ ชักกระตุก พิการและตาย

Lead (Pb) ถ้าเข้าไปสะสมอยู่ในร่างกาย ทำให้เกิดอาการซีด อ่อนเพลีย ความจำเสื่อม สมองผิดปกติ ชัก หมดสติ และตาย เด็กปัญญาอ่อนจะมีระดับ Pb ในเลือดสูงกว่าปกติ

Selenium (Se) อันตรายที่เกิดจาก Se ที่เข้าไปสะสมอยู่ในร่างกาย ทำให้เกิดเป็นมะเร็งได้

Chromium (Cr) ถ้าเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมาก ๆ จะทำให้เกิดมะเร็งได้

Barium (Ba) มีอันตรายอย่างมากต่อหัวใจ หลอดเลือด ประสาท ถ้าเข้าสู่ร่างกายในปริมาณมากทำให้ถึงตายได้

Cadmium (Cd) อันตรายจาก Cd ทำให้งมุก คอ อักเสบ หายใจขัด ปอดบวม และตายได้

Cyanide (CN) อันตรายจาก CN ทำให้ตายอย่างเฉียบพลัน

### 8.7 คุณภาพเพื่อการเกษตร

ในภูมิภาคหลายแห่ง การใช้น้ำใต้ดินที่สำคัญที่สุดก็เพื่อการเกษตร ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน หรือน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับการปศุสัตว์ (livestock) และการชลประทาน (irrigation) เกณฑ์กำหนดความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการใช้ในจุดมุ่งหมายนี้ แสดงไว้ในตารางที่ 6.4 เกณฑ์กำหนดในตารางที่ 6.4 นี้ ไม่อาจนำไปใช้เป็นมาตรฐานสำหรับน้ำดื่มได้เพราะกำหนดความเข้มข้นของแต่ละส่วนประกอบไว้สูงกว่า อย่างไรก็ตาม เกณฑ์กำหนดคุณภาพน้ำเหล่านี้แสดง

ว่าการเพิ่มความเข้มข้นในส่วนประกอบต่าง ๆ เนื่องจากการกระทำของมนุษย์นั้นสามารถทำลายคุณภาพของน้ำบาดาลได้ แม้น้ำนั้นจะไม่ได้ใช้เพื่อการบริโภคก็ตาม

#### ตารางที่ 6.4 มาตรฐานน้ำบาดาลที่ใช้สำหรับการปศุสัตว์และการชลประทาน

ส่วนประกอบ	ปศุสัตว์ (mg/l)	การชลประทาน (mg/l)
Total dissolved solids		
สังกะสี	3000	700
เปิด-ไก่	5000	
สังกะสีอื่น ๆ	7000	
Nitrate (NO <sub>3</sub> )	45	—
Arsenic (As)	0.2	0.1
Boron (B)	5	0.75
Cadmium (Cd)	0.05	0.01
Chromium (Cr)	1	0.1
Fluoride (F)	2	1
Lead (Pb)	0.1	5
Mercury (Hg)	0.01	—
Selenium (Se)	0.05	0.02

ที่มา : U.S. Environmental Protection Agency, 1973.



# สรุป

น้ำใต้ดิน คือน้ำที่เกิดขึ้นภายใต้ผิวโลกภายในเขตอิมตัวที่ซึ่งความดันของของเหลวหรือน้ำเท่ากับหรือมากกว่าความดันของบรรยากาศ ในบรรดาน้ำจืดทั้งหมดของโลกนั้น น้ำใต้ดินมีปริมาณมากที่สุดคือ 2/3 ของปริมาณแหล่งน้ำจืดของโลก การใช้น้ำใต้ดินนั้นจะต้องมีความระมัดระวังอย่างมากเพราะว่าน้ำใต้ดินนั้นนับว่ามีการหมุนเวียนถ่ายเทช้าที่สุดเนื่องจากว่าน้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำจืดที่ได้รับน้ำซดเขยเข้ามา การเกิดน้ำใต้ดินนั้นจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติต่าง ๆ ทางกายภาพของส่วนประกอบของพื้นดินซึ่งมีผลกระทบต่อจำนวนของน้ำที่เก็บสะสมอยู่ที่พื้นดิน คุณสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ นั้นได้แก่ ความพรกตัวและความสามารถในการให้น้ำผ่านได้ของหินหรือดิน ชั้นหินอุ้มน้ำ โครงสร้างทางธรณีที่เป็นวัตุร่วนและวัตุแข็ง การปูดตัวของชั้นหิน น้ำใต้ดินที่ถูกเก็บกักหรือน้ำบาดาล และน้ำใต้ดินที่ไม่ถูกเก็บกัก

น้ำใต้ดินจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่ได้รับน้ำเพิ่มเข้ามาหรือบริเวณที่น้ำฝนซึมผ่านดินลงไปสู่บริเวณที่น้ำถ่ายเทไหลออกไปหรือบริเวณน้ำพุและบ่อน้ำ การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินเป็นผลมาจากความแตกต่างกันในศักยภาพของการไหล หรือ “ความดันต่างระดับของน้ำ” ความสัมพันธ์ของการไหลของน้ำใต้ดินนั้นสามารถหาได้โดยใช้กฎของดาร์ซี อัตราการไหลปกติของน้ำใต้ดินจะอยู่ระหว่าง 1.5 เมตร/ปี และ 1.5 เมตร/วัน และอาจเป็น 10 ถึง 20 เมตร/วัน ถ้าหากชั้นหินอุ้มน้ำนั้นเป็นกรวดหยาบ

ระดับน้ำใต้ดินจะลดลงหากมีผลอันเนื่องมาจากปัจจัยต่าง ๆ มากกระทำ ซึ่งได้แก่ การสูบน้ำขึ้นมาใช้จากบ่อ การสูบน้ำขึ้นมาใช้มากเกินไป เกิดชั้นดินทึบในชั้นหินอุ้มน้ำ และการก่อสร้างบางอย่างที่ผ่านชั้นหินอุ้มน้ำสำคัญโดยตรง อย่างไรก็ตาม ระดับน้ำใต้ดินที่ลดลงนั้นสามารถที่จะทำการเพิ่มน้ำทดแทนให้ใหม่ได้โดยวิธีการปล่อยให้น้ำแผ่ซ่านไปบนผิวดิน และวิธีการสูบน้ำลงไปในบ่อ

ในบริเวณชายฝั่ง ถ้าหากมีการสูบน้ำใต้ดินขึ้นมาใช้มากเกินไปจนเสียสมดุลแล้ว จะทำให้เกิดการแทรกซอนของน้ำทะเลเข้าไปในบริเวณชั้นหินอุ้มน้ำชายฝั่งได้ แต่การแทรกซอนนี้สามารถที่จะควบคุมได้โดยวิธีการลดปริมาณการสูบน้ำจากชั้นหินอุ้มน้ำชายฝั่งให้น้อยลง การเพิ่มน้ำทดแทนให้กับชั้นหินอุ้มน้ำที่ถูกรบกวน การสร้างเครื่องกีดขวางใต้ผิวดิน และการกำหนดแนวของบ่อน้ำที่อยู่ชิดชายฝั่ง เป็นต้น

สำหรับคุณภาพของน้ำใต้ดินนั้นจะมีมาตรฐานแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ในการใช้ เช่น ใช้เพื่อการบริโภค เพื่อการอุปโภค เพื่อการปศุสัตว์ เพื่อการชลประทาน และเพื่อการอุตสาหกรรม เป็นต้น

## คำถามท้ายบท

1. น้ำใต้ดินคืออะไร? เกิดขึ้นได้อย่างไร? จงอธิบาย
2. จงอธิบายหัวข้อต่อไปนี้มาพอเข้าใจ
  - (1) ความพรกตัวของหินหรือดิน (porosity)
  - (2) สมการความพรกตัวของหิน
  - (3) ความพรกตัวของหินทรายเท่ากับร้อยละ 30
  - (4) ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของหินหรือดิน (permeability)
  - (5) ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของหินหรือดิน
3. ชั้นหินอุ้มน้ำ (aquifers) หมายถึงอะไร? มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างทางธรณีอย่างไร?
4. การปฐวัตินชั้นหิน (stratification) และลักษณะภูมิประเทศ (topography) มีความสำคัญต่อการเกิดน้ำใต้ดินอย่างไร? จงอธิบาย
5. จงให้ความหมายและจงอธิบายคำต่อไปนี้มาพอเข้าใจ
  - (1) น้ำใต้ดินที่ถูกเก็บกัก (unconfined groundwater)
  - (2) น้ำใต้ดินแขวนลอย (perched groundwater)
  - (3) น้ำใต้ดินที่ถูกเก็บกัก (confined groundwater)
  - (4) น้ำบาดาล (artesian water)
  - (5) บ่อพุบาดาล (flowing artesian well)
6. น้ำใต้ดินเคลื่อนที่ได้อย่างไร? จงอธิบายถึงสมการแสดงความสัมพันธ์ของการไหลของน้ำใต้ดินตามกฎของดาร์ซี (Darcy's Law) มาพอเข้าใจ
7. ปัจจัยที่มีผลต่อระดับน้ำใต้ดินมีอะไรบ้าง? จงอธิบาย
8. การเพิ่มน้ำทดแทนให้ระดับน้ำใต้ดินนั้นมีกี่วิธี อะไรบ้าง? จงอธิบาย
9. การแทรกซอนของน้ำทะเล (seawater intrusion) หมายถึงอะไร? เกิดขึ้นได้อย่างไร? มีวิธีการควบคุมหรือแก้ไขได้อย่างไร? จงอธิบาย
10. การชะล้างจากแหล่งกักจัดของเสียสู่น้ำใต้ดิน บ่อน้ำ และลำธาร เกิดขึ้นได้อย่างไร? มีวิธีแก้ไขอย่างไร? จงอธิบาย