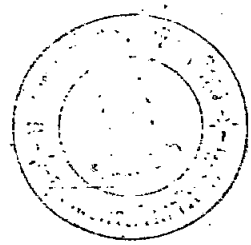


บทที่ 2

หลักวิชาการเกี่ยวกับน้ำใต้ดิน

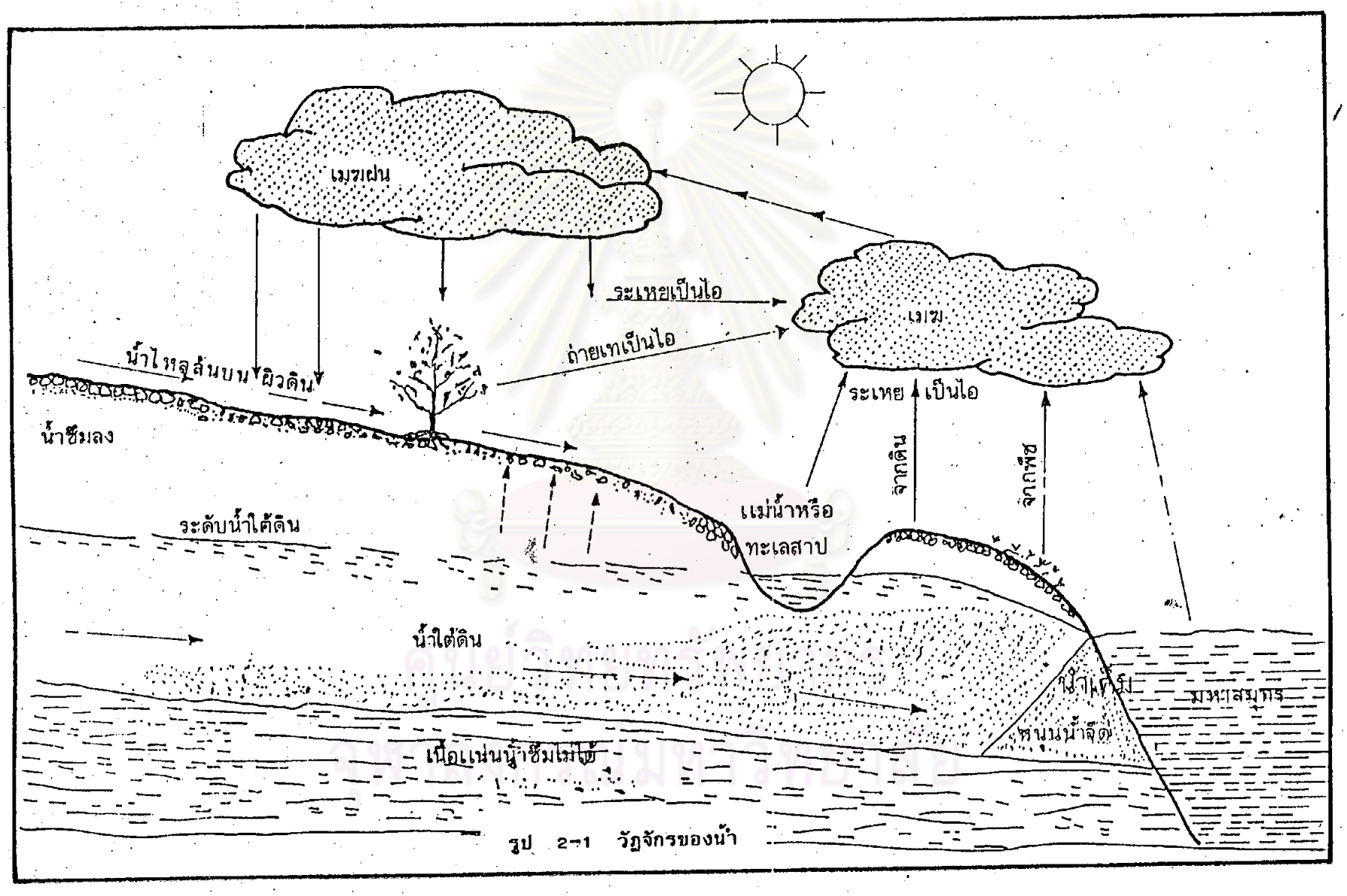
ในบทนี้จะกล่าวถึง เรื่องราว เกี่ยวกับน้ำใต้ดิน ประกอบด้วยความ เป็นมาทางด้านอุทกวิทยา เช่นการเกิด ชนิดของน้ำใต้ดิน และความรู้โดยทั่ว ๆ ไปของบ่อบาดาล ได้แก่ ลักษณะ การใช้งาน ตลอดจนชลศาสตร์ของบ่อบาดาลในการคำนวณปริมาณน้ำ ซึ่งได้คิดตามรวบรวมภาคทฤษฎีจาก เอกสารหรือตำราที่มีผู้บันทึกประสพการณ์การปฏิบัติงานไว้ทั้งในประ เทศและต่างประ เทศ เท่าที่มีมาก่อน เพื่อ เป็นพื้นฐานในการพัฒนาการศึกษาค้นคว้าต่อไป

2.1 การ เกิดน้ำใต้ดิน

ปรากฏการณ์ตามธรรมชาติแสดงการ เคลื่อนที่ การ เปลี่ยนรูป และการ เปลี่ยนสภาวะของน้ำ เรียกรวม ๆ ว่าวัฏจักรของน้ำ (Hydrologic Cycle) ดังรูป 2-1 ซึ่งสรุปได้ย่อ ๆ เป็น 3 ส่วนดังนี้

1. ไอน้ำกลั่นตัว เป็นฝน หิมะ หรือหมอก แต่ระ เหยกลาย เป็นไออีกก่อนจะตกถึงพื้นดิน
2. ไอน้ำในชั้นบรรยากาศกลั่นตัว เป็นฝนหรือหิมะ ตกลงมาถึงผิวดิน มีบางส่วนระ เหยขณะที่ยัง เป็นฝนโดยตรง ส่วนที่ เหลือจะอยู่ในรูปแบบน้ำไหลผิวดิน น้ำไหลตามแม่น้ำลำธาร น้ำในทะ เลสาปและมหาสมุทร น้ำส่วนนี้ระ เหยกลับสู่บรรยากาศโดยไม่ เคยไหลซึมลงดิน เลย
3. ไอน้ำในชั้นบรรยากาศกลั่นตัว เป็นฝนหรือหิมะ ตกลงสู่พื้นดินแล้วไหลซึมลงใต้ผิวดิน มีบางส่วนระ เหยขณะ เป็นความชื้นในดินโดยตรงและการคายน้ำของพืช ส่วนที่ เหลือไหลซึมลงจนถึงระดับน้ำใต้ดินโดยแรงโน้มถ่วงของโลก แล้วไหลซึมต่อไปตามความลาดของระดับผิวน้ำ หรือ เคลื่อนที่คล้ายการไหลในท่อ เมื่อไหลในชั้นน้ำบาดาล จนไหลซึมพ้นผิวดิน เป็นน้ำพุหรือไหลออกทะ เล ระหว่างขั้นตอนการไหลใต้ผิวดินดังกล่าวมีการระ เหยจากชั้นดินหรือการคายน้ำของพืช เมื่อน้ำยกตัวขึ้นสู่ผิวดินโดยอิทธิพลของแรงดึงดูดระหว่างไม เลกุลของ

008934



รูป 2-1 วัฏจักรของน้ำ

น้ำและหินในช่องว่าง เล็ก ๆ

ปรากฏการณ์นี้จะ เกิดขึ้นตลอด เวลาและตลอดไป แต่ปริมาณน้ำในวัฏจักร มีจำนวน ไม่แน่นอน เสมอไปแล้วแต่สภาพแวดล้อมตามธรรมชาติของแต่ละท้องที่ นักอุทกวิทยาหลายท่าน ได้ประ เมินว่ามีปริมาณน้ำจืด เก็บกักอยู่ในโลก จำนวน 62,000 ลูกบาศก์กิโล เมตร/ปี (1) เป็นน้ำใต้ดินและความชื้นในดิน 0.612% แต่อีกหลายท่านมีความ เห็นแตกต่างกัน เช่น Michael Overman (1976) (27) คาดคะ เนว่ามีน้ำใต้ดิน เก็บกักอยู่ภายใต้ผิวโลกจนถึงความลึก $3\frac{1}{4}$ กิโล เมตร มีจำนวนประมาณห้าล้านลูกบาศก์กิโล เมตร ซึ่งมีปริมาณ เท่ากับประมาณน้ำฝน อันตกบนพื้นแผ่นดิน เป็น เวลาประมาณ 40 ปี และปัจจุบันมีทฤษฎีใหม่ ๆ อธิบายถึงความน่าสนใจ ต่อน้ำที่อยู่ในบริ เวณแกนโลกอัน เป็นผลได้จากการทำปฏิกริยาของก๊าซไฮโดร เจนและอ๊อกซิ เจน โดยตรง

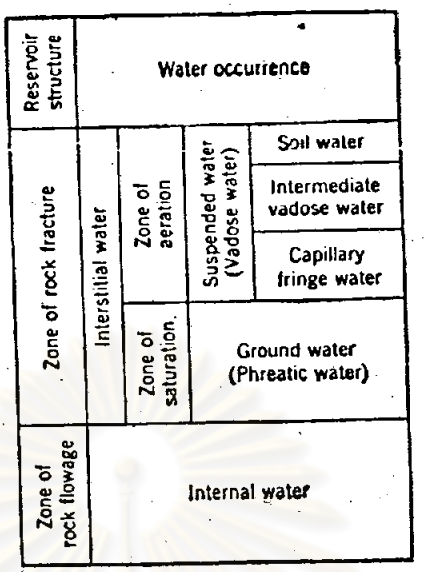
อย่างไรก็ตามแม้น้ำใต้ดินมีปริมาณการ เก็บกักอยู่มากก็จริง แต่ต้องลงทุนสูงจึงจะ สามารถนำน้ำขึ้นมาใช้ได้ เพียงพอกับความต้องการ ถึงกระนั้นก็ยัง เป็นความหวังของมนุษย์ ในอนาคต

2.2 <u>การซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน</u> (Vertical Distribution of Ground Water)

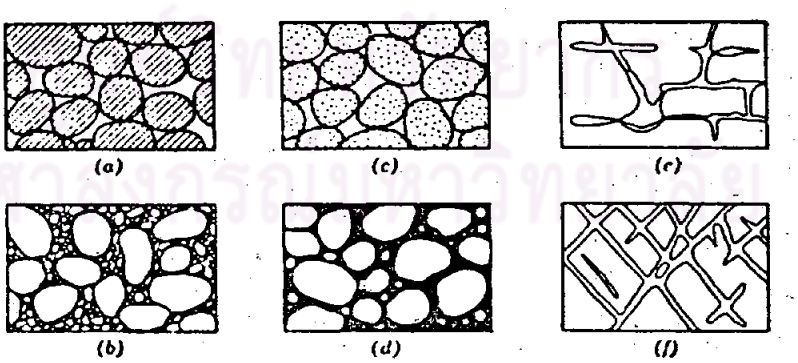
เพื่อ เป็นการศึกษา เรื่องราวการ เกิดของน้ำใต้ดินให้ เข้าใจมากยิ่งขึ้น จำ เป็นต้อง เรียนรู้ เกี่ยวกับพฤติการณ์ของน้ำขณะไหลซึมลงสู่ชั้นหินใต้ผิวโลก และคุณสมบัติของหินซึ่งมี อิทธิพลต่อการพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดิน เนื่องจากภายใต้ผิวโลกตั้งแต่ขอบผิวลึกลงไปจะมีหิน ชนิดต่าง ๆ วางตัว เรียง เป็นชั้น ๆ มีความ เกี่ยวข้องกับน้ำใต้ดินแตกต่างกันออกไป

2.2.1 <u>ลักษณะชั้นหินภายใต้พื้นผิวโลก</u>

C.O. Wisler และ E.F. Brater (1949) (32) ได้จัดแบ่งชั้นหินใต้พื้น ผิวโลกตามหลักของชนิดโครงสร้างในการ เก็บกักน้ำ เป็นชั้นรอยแตกของหิน (Zone of Rock Fracture) และชั้นหินหลอม เหลว (Zone of Rock Flowage) ดังรูป 2-2



รูป 2-2 การแบ่งชั้นอุทกธรณีวิทยาโดยทั่วไป ของพื้นผิวโลก (C.O. WISLER และ E.F. BRATER, 1967 (32))



รูป 2-3 ตัวอย่างลักษณะช่องว่างในหิน (MEINZER (29))

1. <u>ชั้นรอยแตกของหิน</u> (Zone of Rock Fracture) เนื่องจากความเค้น (Stress) ที่เกิดขึ้นในหินชั้นนี้อยู่ต่ำกว่าข้อจำกัดยืดหยุ่น (elastic limit) จึงมีช่องว่างในหินมากมาย น้ำถูกเก็บกักอยู่ในช่องว่างของหินเหล่านี้ ถึงแม้ไม่มีความสัมพันธ์กันโดยตรงระหว่างความพรุนและความลึก แต่โดยทั่วไปพบว่า เมื่อลึกจากผิวโลกมาก ๆ เปอร์เซนต์ความพรุนจะลดน้อยลง เช่น มีน้ำเก็บกักอยู่ได้เพียงเล็กน้อย เมื่อลึกลงไปมากกว่า 2,000 ฟุต

น้ำที่เก็บกักอยู่ในช่องว่างของหินชั้นนี้จะถูกแบ่งเป็นสองส่วนโดยระดับน้ำใต้ดิน (Water table) ซึ่งมีการเกิดและการเคลื่อนที่แตกต่างกัน อันได้แก่ เขตสัมผัสอากาศ (Zone of Aeration) และเขตน้ำอิ่มตัว (Saturation Zone)

ก. <u>เขตสัมผัสอากาศ</u> (Zone of Aeration) เป็นส่วนที่น้ำยังไม่อยู่ได้ความดันน้ำ (Hydrostatic Pressure) ภายในช่องว่างของหินมีทั้งน้ำและอากาศ น้ำที่ค้างอยู่ในเขตนี้เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำและของหินในช่องว่างเล็ก ๆ เรียกว่า Pellicular, Suspended Water น้ำส่วนที่เหลือ (Vadose Water) ไหลลงสู่ชั้นต่อไปด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ความลึกของเขตนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยา อุทกวิทยา และลักษณะทางภูมิศาสตร์ เช่น บริเวณที่ลุ่ม หนอง บึง ไม่มีเขตนี้ แต่บริเวณเป็นเนินสูงซึ่งแห้งแล้ว อาจมีความหนาถึง 1,000 ฟุต เขตนี้แบ่งเป็นชั้นย่อย ๆ ได้ดังนี้

ชั้นน้ำในดิน (Soil water) เป็นชั้นดินซึ่งรากต้นไม้ พืชผักสามารถชอนไชไปได้ พืชใช้น้ำและปุ๋ยในชั้นนี้เพื่อการเจริญเติบโต ปริมาณน้ำมากที่สุดที่ชั้นนี้เก็บกักไว้ได้เรียกว่า Wilting Point ความหนาของชั้นไม่สามารถบอกได้ชัดแจ้งทางกายภาพขึ้นอยู่กับชนิดของดินและพืช อาจหนาเพียง 2-3 ฟุต หรือมากกว่า 50 ฟุตในท้องถิ่นแห้งแล้ง

ชั้นช่วงกลางของน้ำที่เคลื่อนที่โดยแรงโน้มถ่วงของโลก (Intermediate Vadose Water) น้ำในชั้นนี้ห่อหุ้มเม็ดดินด้วยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและการยกตัวของน้ำ เนื่องจากแรงดึงผิวของน้ำในช่องว่างเล็ก ๆ พืชไม่สามารถดูดนำน้ำไปใช้ได้ ชั้นนี้เป็นเพียงทางไหลซึมผ่านของน้ำจากชั้นน้ำในดินลงสู่ชั้นต่อไป

ชั้นน้ำยกตัว เนื่องจากแรงดึงผิวของน้ำในช่องว่าง เล็ก ๆ (Capillary fringe water) อยู่ระหว่างชั้นช่วงกลางของน้ำที่ เคลื่อนที่โดยแรงโน้มถ่วงของโลกกับ เขตน้ำอิ่มตัว น้ำในชั้นนี้ เป็นน้ำที่ยกตัวขึ้นสูงจาก เขตน้ำอิ่มตัว ความหนาของชั้นขึ้นอยู่กับขนาดของ เม็ดดิน ดังแสดงในตาราง 2-1

ข. <u>เขตน้ำอิ่มตัว</u> (Saturated Zone) เป็น เขตที่มีความสำคัญต่อวิศวกร แหล่งน้ำและนักขุดบ่อ เพราะ เป็นแหล่ง เก็บกักน้ำใต้ดินขนาดใหญ่สำหรับบ่อและน้ำพุ ทุกช่องว่าง ในหินของ เขตนี้บรรจุ เต็มไปด้วยน้ำ ผิวบนของ เขตน้ำนี้ เรียกว่าระดับน้ำใต้ดิน (Water Table)

2. <u>ชั้นหินหลอม เหลว</u> (Zone of Rock Flowage) ความ เค้นที่ เกิดขึ้นในหิน ชั้นนี้ เหนือกว่าข้อจำกัดยืดหยุ่น (Elastic Limit) หินอยู่ในสภาวะพลาสติกบิดตัวไปอย่าง ถาวร อยู่ลึกลงไปจากผิวโลกหลายไมล์ ยังไม่ เคยมีใครศึกษาอย่างละ เอียด

2.2.2 <u>คุณสมบัติของหินซึ่งมีอิทธิพลต่อการพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดิน</u>

ดังทราบแล้วว่าแหล่งน้ำใต้ดินขนาดใหญ่ เก็บกักอยู่ในช่องว่างระหว่าง เม็ดดินหรือ รอยแตกของหินใน เขตน้ำอิ่มตัว ช่องว่าง เหล่านี้มีลักษณะแตกต่างกันดังรูป 2.3 แต่ในการ พัฒนาแหล่งน้ำใต้ดินจะต้องมีการนำน้ำออกมาใช้ประโยชน์ หินอุ้มน้ำ (Aquifer) ต้อง เก็บ กักน้ำและจ่ายน้ำได้ หินกัก เก็บน้ำ (Water Bearing Rocks) ชนิดใดหากจ่ายน้ำไม่ได้ จัด เป็นหินทึบน้ำ (Confining Bed) ดังนั้นคุณสมบัติอันสำคัญของหินที่มีอิทธิพลต่อการพัฒนา แหล่งน้ำใต้ดิน คือ ความพรุน (Porosity) ความซึมได้ (Permeability) และอัตราการ ให้น้ำจำ เพาะ (Specific Yield) ค่า เหล่านี้ของหินหรือดินชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ใน ตาราง 2-2

1. <u>ความพรุน</u> (Porosity) หมายถึงปริมาณ-ของช่องว่างในปริมาตรของ เนื้อหิน ทั้งหมด ช่องว่าง เหล่านี้อาจ เกิดขึ้นพร้อมกับการกำ เนิดหิน (Original Interstices) หรือ เกิดขึ้นหลังจากการกำ เนิด (10) นักอุทกวิทยาน้ำใต้ดินใช้ค่าความพรุนของหินประกอบการ คำนวณหาปริมาณน้ำซึ่ง เก็บกักในแหล่งน้ำใต้ดิน ค่าความพรุนหาได้จากสมการ

ตาราง 2-1 ความสูงของน้ำ เนื่องจากการยกตัว เพราะแรงดึงดูดระหว่างโม เลกุล ในหินร่วนขนาดต่าง ๆ กัน (C.F. TOLMAN, 1937 (31))

ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง มม.	ความสูงที่น้ำยกตัว นิ้ว	เวลาที่ใช้ในการยกตัวได้สูงสุด วัน
ดิน เหนียว	60.5	350
ดินตะกอน		
0.016	122	475
0.025	105	300
0.036	52 (ไม่สมบูรณ์)	147
ทราย		
0.047	53.25	160
0.072	34.75	144
0.12	26.25	158
0.16	19.25	171
0.30	13	188
0.5	11	138
กรวดทราย		
	9.5	100
	4.5	80
ดิน เหนียวปนทราย	52	144

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2-2 ค่าของความพรุน ค่าความซึมได้ และอัตราการให้น้ำจำเพาะของดินและหินชนิดต่าง ๆ (สวัสดิ์ บางสายน้อย, 2524 (12))

ชนิดของดินหรือหิน	ความพรุน %	ความซึมได้ แกลลอน/วัน/ตารางฟุต	ประสิทธิภาพในการจ่ายน้ำ %
ดินเหนียว	45-55	.001-2	1-10
ทราย	35-40	100-3000	10-30
กรวด	30-40	1000-15000	15-30
กรวดทราย	20-35	200-5000	15-25
หินทราย	10-20	0.1-50	5-15
หินดาน	1-10	0.0001-0.1	0.5-5
หินปูน	1-10		0.5-5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\alpha = \frac{100\ W}{V} \qquad (2.1)$$

เมื่อ α = ความพรุน มีหน่วย เป็น เปอร์ เซนต์

W = ปริมาตรน้ำที่ เติม เต็มช่องว่างของหินหรือดินทั้งหมด

V = ปริมาตรของหินหรือดินทั้งหมด

2. <u>ความซึมได้</u> (Permeability) หินที่มีประโยชน์ต่อการพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดิน ไม่ เพียงแต่สามารถ เก็บกักน้ำไว้ได้ เท่านั้น จำ เป็นต้องมีคุณสมบัติให้น้ำไหลซึมผ่านได้ด้วย การไหลซึมผ่านได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติ เรียกว่าความซึมได้ (Permeability) หินชนิดใดมีค่าความซึมได้มากก็จะมีโอกาสจ่ายน้ำได้มาก ค่าความซึมได้คิด เป็นอัตราการไหล ของน้ำผ่านพื้นที่หน้าตัดของหินอุ้มน้ำภายใต้ความกดดันต่างกัน 1 หน่วย (Unit of Hydraulic Gradient) ต่อระยะทาง 1 ฟุต มีหน่วย เป็นแกลลอน/วัน/ตารางฟุต ค่าที่วัดได้นี้ เรียกว่า สัมประสิทธิของการซึมได้ (Coefficient of Permeability)

3. <u>อัตราการให้น้ำจำ เพาะ</u> (Specific Yield) เนื่องจากการสูบน้ำใต้ดิน จากแหล่ง เก็บไม่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้จนหมดสิ้น จะต้องมีน้ำบางส่วน เหลือติดค้างอยู่ใน ช่องว่างของหิน เพราะมีอิทธิพลจากแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงดึงดูดระหว่างโม เลกุล ของหินและน้ำควบคุมบังคับให้น้ำไหลออกหรือค้างติดอยู่ในหิน คุณสมบัติของหินที่จะจ่ายน้ำ ออกมาได้ เรียกว่า อัตราการให้น้ำจำ เพาะ (Specific Yield, S_y) ส่วนคุณสมบัติของ หินที่ดูดค้างน้ำไว้ เรียกว่า อัตราการดูดค้างจำ เพาะ (Specific Retention, S_r) ซึ่ง สามารถหาได้จากสมการและผลรวมของค่าทั้งสองจะ เป็นค่าของความพรุน

$$S_y = \frac{100\ W_y}{V} \qquad (2.2)$$

$$S_r = \frac{100\ W_r}{V} \qquad (2.3)$$

เมื่อ W_y = ปริมาตรน้ำที่ไหลออกมาได้

W_r = ปริมาตรน้ำที่ถูกดูดค้างไว้ในหิน

V = ปริมาตรของหินหรือดินทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

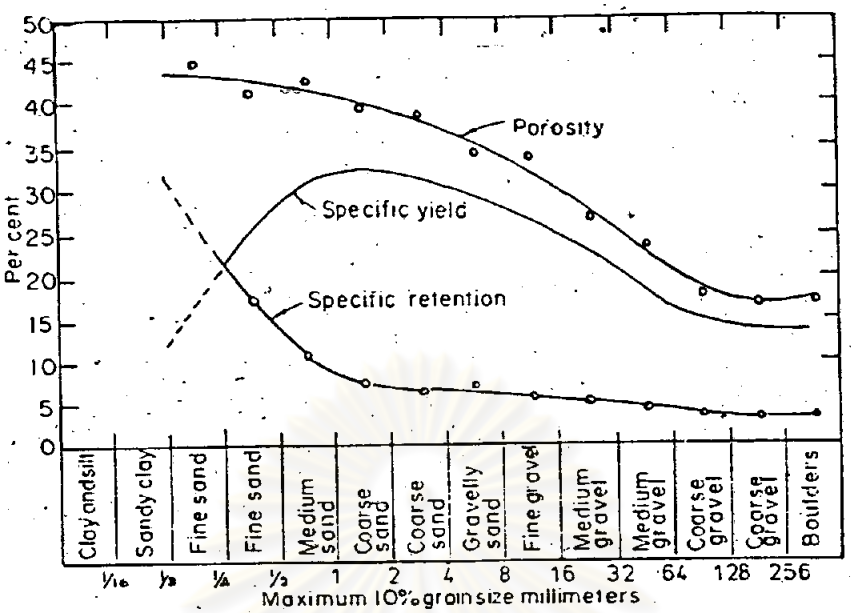
จากการทดลองปรากฏว่าหินหรือดินที่มีช่องว่างขนาด เล็ก ๆ เช่น ดิน เหนียว อาจมีค่า อัตราการให้น้ำจำ เพาะน้อยกว่าดินหรือหินที่มีช่องว่างโตกว่าทั้งที่ค่าความพรุนมากกว่า (29) ดังรูป 2-4

2.3 น้ำใต้ดินอิสระและน้ำบาดาล (Free and Confined Ground Water)

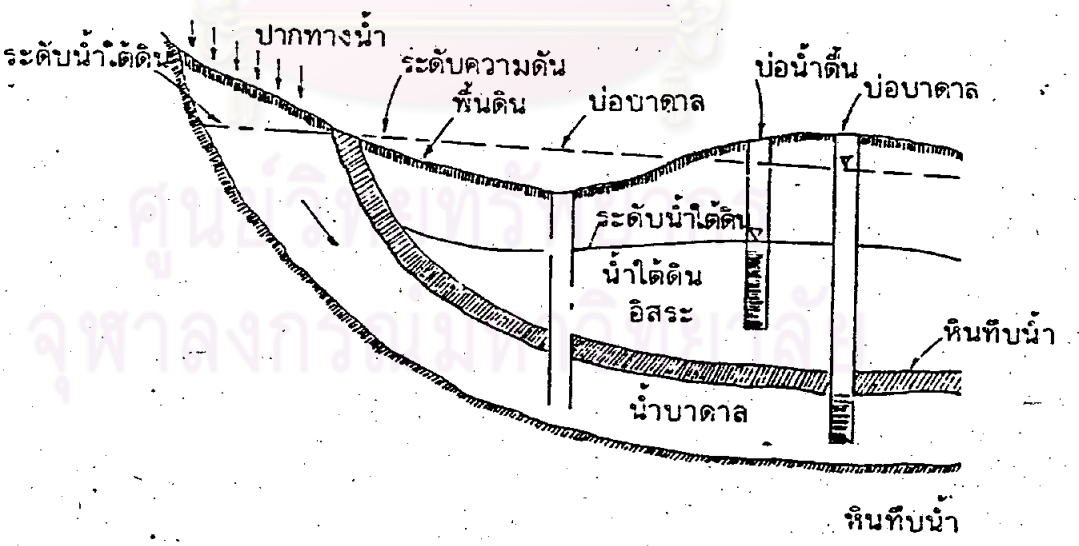
นักอุทกวิทยาน้ำใต้ดินได้แบ่งแหล่งน้ำใต้ดินออก เป็น 2 ประเภทโดยถือหลักการวางตัวของชั้นหินอุ้มน้ำและการไหลของน้ำใต้ดิน การไหล เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก และการไหล เนื่องจากมีอิทธิพลของความดัน เข้ามา เกี่ยวข้อง ดังรูป 2-5

1. น้ำใต้ดินอิสระ (Free Ground Water) หมายถึงชั้นหินอุ้มน้ำใน เขตน้ำอิ่มตัว ไม่อยู่ภายใต้แรงกดดัน มีระดับผิวน้ำซึ่งอยู่ตอนบนสุดของ เขตน้ำอิ่มตัว เรียกว่า ระดับน้ำใต้ดิน (Water Table) การ เปลี่ยนแปลงขึ้นลงของระดับน้ำใต้ดิน เป็น เครื่องชี้บอกถึงการ เปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในแหล่ง เก็บ น้ำใต้ดิน ในชั้นนี้ไหลไปตามแนว เอียง เทของระดับน้ำใต้ดินซึ่งมีส่วนสัมพันธ์กับลักษณะภูมิประ เทศโดยประมาณ กล่าวได้ว่ามีการไหลไปตามแรงโน้มถ่วงของโลก
2. น้ำบาดาล (Confined Ground Water) หมายถึงชั้นหินอุ้มน้ำใน เขตน้ำอิ่มตัวที่มีหินทึบน้ำวางทับอยู่ข้างบนและรองรับอยู่ด้านล่าง น้ำบาดาลจึงอยู่ภายใต้ความกดดันและมีลักษณะการไหลคล้ายกับการไหลในท่อ โดยธรรมชาติผิวระดับน้ำบาดาลจะมีขอบ เขต เฉพาะรอยสัมผัสระหว่างผิวหินอุ้มน้ำกับหินทึบน้ำที่กดทับอยู่ แต่หากมีการทำให้หินทึบน้ำแตกหรือ เจาะบ่อลงไปจนถึงชั้นน้ำบาดาล แรงดันที่มีอยู่ในน้ำจะดันให้น้ำพุ่งสูงขึ้น โดยทฤษฎีจะมีค่าสูง เท่ากับระดับผิวน้ำในชั้นหินอุ้มน้ำ เดียวกันซึ่งอยู่บริ เวณปากทางน้ำ เข้า (Intake Area) ระดับผิวน้ำที่พุ่งสูงขึ้นมานี้ เรียกว่าระดับความดัน (Piezomatic Pressure)

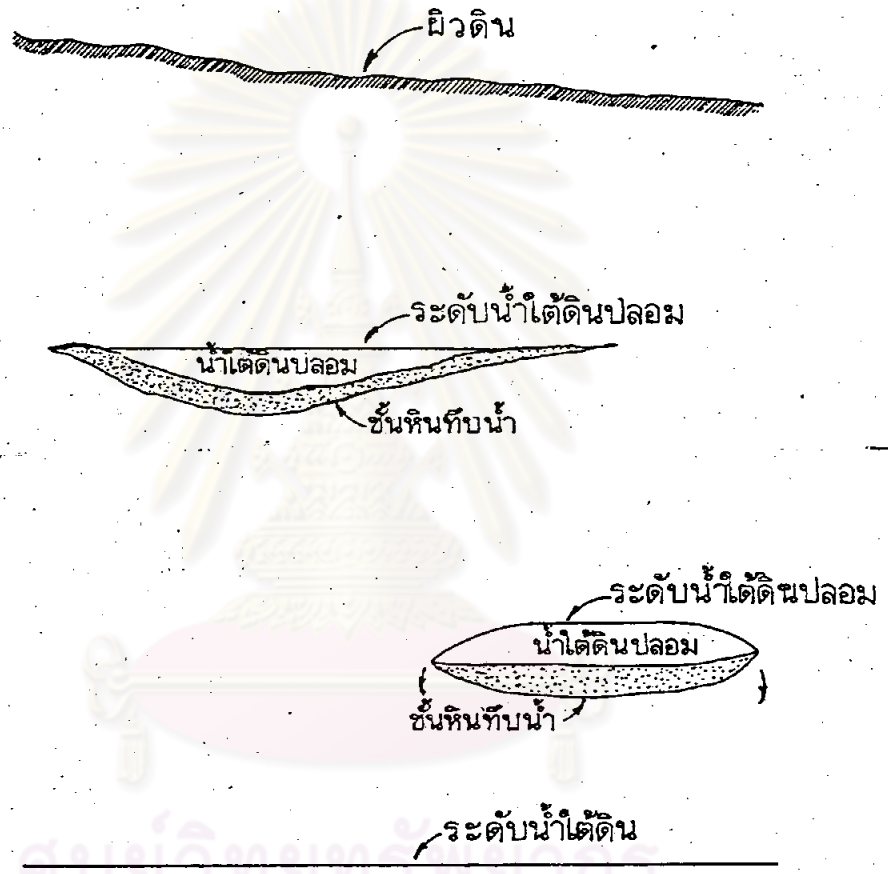
อนึ่งนอกจากน้ำใต้ดินทั้ง 2 ประ เภทนี้แล้ว ยังมีน้ำอีกประ เภทหนึ่งซึ่งไม่ถือ เป็นน้ำใต้ดิน มีกระบวนการ เกิด เหมือนน้ำใต้ดิน แต่ เก็บกักอยู่ใน เขตสัมผัสอากาศโดยมีหินทึบน้ำลอยตัว เป็นแอ่งรองรับหินอุ้มน้ำ น้ำส่วนนี้ เรียกว่าน้ำแปลกปลอม (Perched Water) มีระดับผิวน้ำ เรียกว่าระดับน้ำใต้ดินปลอม (Perched Water Table) ดังแสดงในรูป 2-6



รูป 2-4 ความสัมพันธ์ของความพรุน อัตราการให้น้ำจำเพาะ และอัตราการดูดค้างจำเพาะ ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามขนาดเม็ดดิน (Todd, 1959 (29))



รูป 2-5 แสดงลักษณะชั้นน้ำใต้ดินอิสระและน้ำบาดาล (Todd, 1959 (29))



รูป 2-6 แสดงลักษณะน้ำแปลกปลอม (Todd, 1959 (29))

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน (Ground Water Movement)

โดยทั่วไปในธรรมชาติน้ำใต้ดินมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) โดยมี Reynold Number, $N_r < 1$ เว้นแต่กรณีพิเศษ เช่นการไหลในช่องเปิดใหญ่ ๆ น้ำไหลซึมผ่านหินอุ้มน้ำอันเปรียบเสมือนตัวกลางมีรูพรุน วิศวกรแหล่งน้ำจึงยอมรับ Darcy's Law เป็นหลักพื้นฐานด้านชลศาสตร์ในการอธิบายถึงการไหลของน้ำใต้ดิน แต่จะให้คำตอบที่น่าเชื่อถือ เมื่อมีการไหลแบบราบเรียบ (29)

Darcy's Law กล่าวว่าความเร็วของการไหลซึมผ่านตัวกลางซึ่งมีรูพรุน (Porous Media) เป็นปฏิภาคโดยตรงกับการสูญเสียพลังงาน (head loss) และเป็นปฏิภาคกลับกับระยะทางของการไหล เขียนเป็น

$$v = k \frac{dh}{dl}$$

เมื่อ v = ความเร็วในการไหล

k = สัมประสิทธิของการซึมได้

$\frac{dh}{dl}$ = ความลาดชลศาสตร์ (Hydraulic Gradient)

เกี่ยวกับการพิจารณาการไหลของน้ำใต้ดินโดย Darcy's Law นี้ Todd (29) ได้มีข้อเสนอแย้งไว้ ซึ่งสรุปดังนี้

1. Reynold Number, N_r ไม่ใช่ค่าที่ดีพอในการตัดสินเกี่ยวกับขอบเขตของการเริ่มไหลแบบปั่นป่วน (Turbulence) ในตัวกลางมีรูพรุน
2. การไหลแบบราบเรียบไม่ได้เกิดขึ้นในตัวกลางมีรูพรุนตาม Darcy's Law เสมอไป เพราะอนุภาคของน้ำไหลคดเคี้ยวไปตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วยความเร็วและความเร่งต่างกัน ที่ความเร็วช้า (N_r = 1-10) หากแรงเนื่องจากความเฉื่อยมีอิทธิพลสูงกว่าแรงเนื่องจากความหนืด ก็จะเกิดการไหลแบบปั่นป่วน ส่วนการไหลแบบราบเรียบซึ่ง Darcy's Law จะใช้ได้อย่างน่าเชื่อถือ เกิดขึ้นเมื่อแรงเนื่องจากความหนืดมีอิทธิพลมากกว่า และหากแรงทั้งสองดังกล่าวเท่าเทียมกันแล้ว ช่วงนั้นจะเป็นช่วงที่มีสภาวะการไหลเปลี่ยนแปรไม่แน่นอน Darcy's Law ก็ใช้ไม่ได้ ช่วงนี้แสดงให้เห็น

เป็นโค้งราบ ๆ ระหว่างช่วง $N_T = 1$ และ $N_T = 1,000$

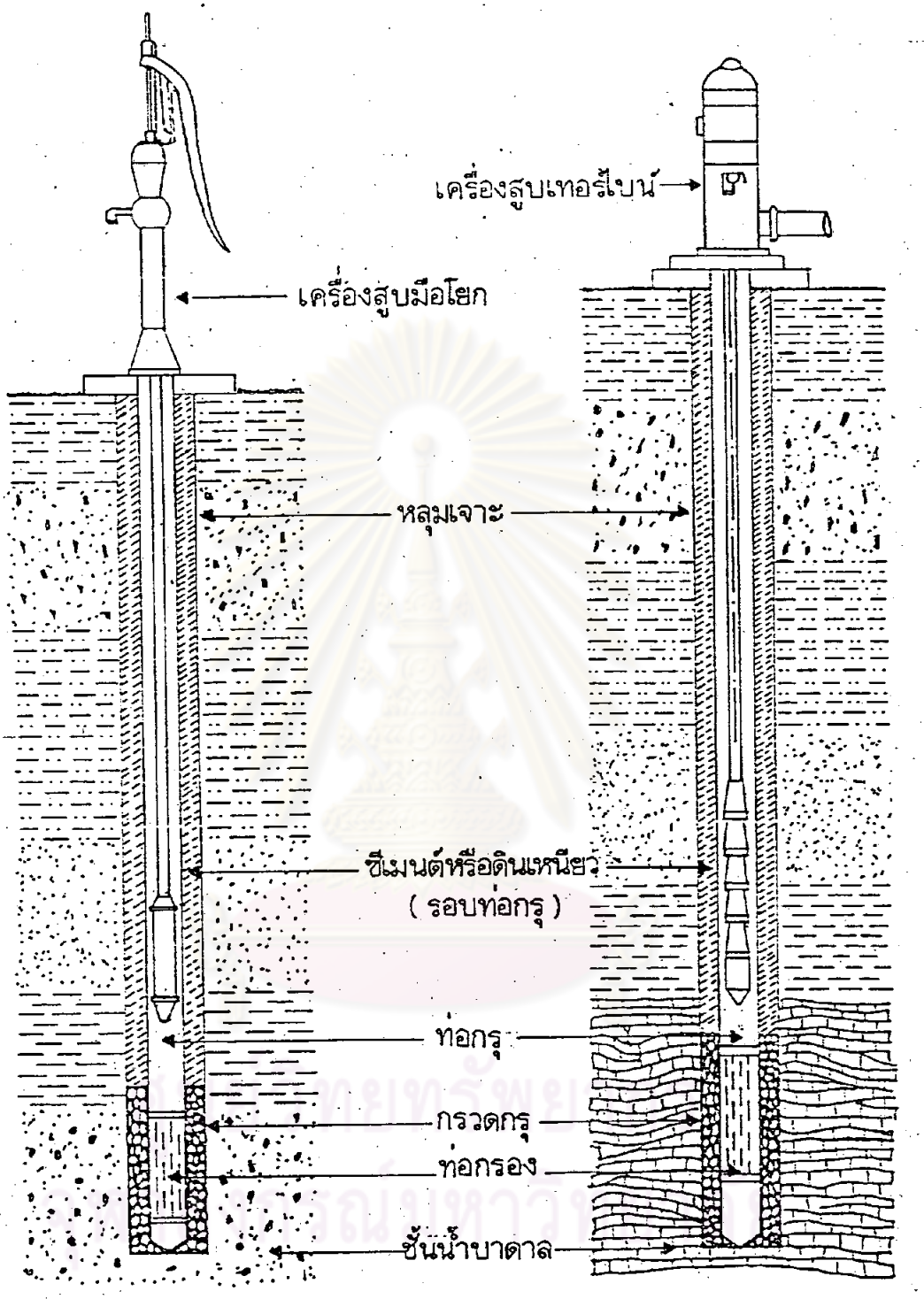
2.5 บ่อบาดาล (Deep Well)

บ่อบาดาลหมายถึงบ่อที่ทำการขุดให้ลึกลงไปในดินด้วย เครื่อง เจาะ จนผ่านหินทึบน้ำ เข้าไปในชั้นน้ำบาดาล เพื่อนำน้ำจากแหล่งน้ำใต้ดินมาใช้ให้ เป็นประโยชน์ตามความต้องการ บ่อบาดาลจะมีขนาด เล็ก แต่มีความลึกมากกว่าบ่อน้ำตื้นมาก การก่อสร้างบ่อบาดาลโดยส่วนใหญ่ สามารถอำนวยประโยชน์ให้ได้ทั้งทางด้านการอุปโภคบริโภค การ เพาะปลูก และอื่น ๆ ดีกว่า บ่อน้ำตื้น เสมอ (13) แต่บางท้องที่มีน้ำบาดาล เป็นน้ำ เค็ม เนื่องจากมี เกลือสะสมอยู่ในดินมาก ก็จะนำมาใช้ประโยชน์ไม่ได้

2.5.1 ลักษณะและองค์ประกอบของบ่อบาดาล

รูป 2-7 แสดงองค์ประกอบของบ่อบาดาลโดยทั่ว ๆ ไป ขนาดของบ่อบาดาล เป็นขนาดท่อกรุซึ่งโผล่ขึ้นมาที่ระดับผิวดิน มีขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 4.00-24 นิ้ว แต่บ่อบาดาลในชนบทไทย เป็นบ่อ เพื่อการอุปโภคบริโภคจะมีขนาดตั้งแต่ 4.00-8.00 นิ้ว ส่วนความลึกไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนขึ้นอยู่กับความลึกของชั้นน้ำบาดาลซึ่งมีความลึกตั้งแต่ 10 เมตร ถึง 550 เมตรโดยประมาณ แต่ทั้งนี้ยังมีตัวประกอบอื่นที่จะต้องนำมาร่วมพิจารณา อีก เช่น

1. ความสามารถของ เครื่อง เจาะที่จะ เจาะได้รูโคขนาด เท่าไร และ เจาะลึก ผ่านหินแข็งได้ เพียงใด
2. ปริมาณน้ำที่ต้องการสูบขึ้นมาใช้
3. ปริมาณน้ำที่ชั้นน้ำบาดาลสามารถให้ได้
4. คุณภาพน้ำ เพราะหาก เจาะลงไปลึกมากน้ำอาจ เค็มดัง เช่น เกิดขึ้นใน ภาคตะวันออก เฉียง เหนือ



รูป 2-7 รูปแบบทั่ว ๆ ไปของบ่อน้ำบาดาล

2.5.2 การสำรวจและเลือกสถานที่ก่อสร้าง

การเลือกสถานที่เพื่อเจาะบ่อบาดาลให้ได้น้ำตามความต้องการทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ เป็นการยากที่จะบ่งบอกได้แน่ชัด จึงจำเป็นต้องดำเนินการสำรวจวิเคราะห์ด้วยวิธีดังต่อไปนี้

1. วิเคราะห์ศึกษาความเป็นไปได้จากแผนที่อุทกธรณีวิทยาซึ่งกรมทรัพยากรธรณีได้จัดทำไว้
2. ศึกษาจากข้อมูลบ่อบาดาลซึ่งเคยมีการเจาะไว้ในบริเวณที่ต้องการหรือบริเวณใกล้เคียง
3. เพื่อให้ได้ข้อมูลสภาพแหล่งน้ำบาดาลละเอียดยิ่งขึ้น จึงควรมีการสำรวจด้วยเครื่องมือธรณีฟิสิคส์ซึ่งในประเทศไทยนิยมสำรวจโดยวิธีการวัดความต้านทานด้วยไฟฟ้า (Resistivity Survey) (10) อันมีหลักใหญ่ ๆ คือการปล่อยกระแสไฟฟ้าลงไปในดิน ใช้เครื่องมือวัดความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าของชั้นหินแต่ละชั้น และแปลค่าตัวเลขความต้านทานที่ความลึกต่าง ๆ เขียนออกมาเป็นกราฟ ค่าความต้านทานไฟฟ้าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับส่วนประกอบ ความหนาแน่น ความพรุน ขนาดและรูปร่างของช่องว่างในหิน ปริมาณและคุณภาพของของเหลวในเนื้อหิน กล่าวคือหินที่มีเนื้อแน่นและแข็งจะมีความต้านทานสูง แต่หินที่มีน้ำความต้านทานต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากมีเกลือแร่ต่าง ๆ ละลายปนอยู่ในน้ำค่าความต้านทานก็ยิ่งต่ำ อย่างไรก็ตามผลที่ได้รับจากการสำรวจนี้ก็ยังเชื่อถือแน่นอนไม่ได้ การสำรวจที่แน่นอนต้องมีการเจาะสำรวจแต่มีค่าใช้จ่ายสูงมาก

เมื่อได้ข้อมูลศักยภาพน้ำบาดาลแล้ว จะต้องพิจารณาถึงจุดที่ตั้งโครงการให้อยู่บริเวณใกล้เคียงศูนย์กลางชุมชน เพื่อความสะดวกในการใช้งาน แต่ต้องคำนึงถึงเรื่องสิทธิอันเท่าเทียมกันของผู้ใช้น้ำ ดังนั้นควรก่อสร้างในเขตสาธารณะ เช่น วัด โรงเรียน ศาลาประชาคม กีดกันการเข้าครอบครองบ่อบาดาลของเจ้าของที่ดินในภายหลัง ในการแก้ปัญหานี้บางครั้งต้องยอมเจาะบ่อบาดาลในเขตทางของกรมทางหลวง หรือสำนักงาน รพช. อันเป็นการแก้ปัญหาเฉพาะหน้าที่ดีที่สุดในขณะนั้น

2.5.3 วิธีการเจาะบ่อบาดาล

การเจาะจะต้องเลือกใช้เครื่องเจาะให้ถูกต้องตามสมรรถนะและคุณลักษณะซึ่งมีวิธีการเจาะที่เหมาะสมกับสภาพธรณีของบริเวณพื้นที่แตกต่างกัน สำหรับในประเทศไทยตามที่พบเครื่องเจาะมีอยู่ 2 ชนิดดังนี้

1. เครื่องเจาะแบบกระแทก (Percussion Rig หรือ Cable Tool) มีหลักการทำงานเหมือนปั้นจั่นตอกเสาเข็ม (10) ใช้น้ำหล่อลื่นหัวเจาะและตักเศษหินด้วยกระบอกตัก (Bailer) โดยทั่วไปเจาะรูได้โตขนาด 4-15 นิ้ว ลึกไม่เกิน 600 ฟุต เจาะได้ในหินทุกประเภท ค่าใช้จ่ายค่อนข้างถูก แต่ใช้เวลาในการเจาะมาก รูที่เจาะได้มักจะคดหรือไม่กลม ทำให้มีปัญหายุ่งยากในการใส่ท่อกรุ ท่อกรองหรือติดตั้งเครื่องสูบ
2. เครื่องเจาะโรตารี่ (Rotary Rig) มีหลักการทำงานเหมือนสว่านไฟฟ้า (10) และสูบน้ำโคลนลงไปพะยุงเศษหินขึ้นมา เจาะได้รูขนาดใหญ่ถึง 20 นิ้ว ลึกตั้งแต่ 500-2,500 ฟุต เจาะได้เร็วและมีอุปกรณ์สมบูรณ์ที่จะพัฒนาบ่อได้ดีทุกสภาพแหล่งน้ำบาดาล แต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก

2.5.4 การทดสอบปริมาณน้ำ

บ่อบาดาลทุกบ่อมีการทดสอบปริมาณน้ำเพื่อประเมินปริมาณน้ำที่จะได้รับจากบ่อ ใช้ในการเลือกขนาดและชนิดของเครื่องสูบน้ำ ตลอดจนเป็นข้อมูลสำหรับศึกษาความเป็นไปได้ของบ่อที่จะเจาะขึ้นใหม่ในบริเวณใกล้เคียงต่อไป

บ่อบาดาลใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคในเขตชนบทส่วนมากนิยมใช้วิธีการประเมินปริมาณน้ำด้วยวิธีการตัก (Bailing) ซึ่งเป็นวิธีประหยัด สะดวกและรวดเร็ว โดยการใช้กระบอกตัก (Bailer) หย่อนลงไปตักน้ำในบ่อ บันทึกจำนวนครั้งของการตักและเวลาตั้งแต่เริ่มตักจนระดับน้ำลดของน้ำบาดาลคงที่ ระดับน้ำลดนี้วัดโดยใช้สายวัดไฟฟ้า (Electric Tape) หย่อนลงทางช่องว่างในบ่อ ปริมาณน้ำที่บ่อจะให้ได้เป็นอัตราส่วนของปริมาณน้ำที่ตักได้ในการทดสอบทั้งหมดกับช่วงเวลาทั้งหมดในการตัก

ส่วนบ่อบาดาล เพื่อการ เกษตรหรืออุตสาหกรรมนิยมประ เมินปริมาณน้ำโดยวิธีการสูบ (Pump Test) ใช้สูตรบ่อสภาวะไม่สมดุลย์ของ Theis หรือสูตรปรับปรุงของ Jacob ดัง เช่นการทดสอบปริมาณน้ำของบ่อบาดาลที่โรงงานน้ำตาล จังหวัดชัยภูมิ (35)

2.5.5 วิธีการนำน้ำขึ้นมาใช้

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของโครงการบ่อบาดาล เครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งอาจจะ เป็น เครื่องสูบน้ำไฟฟ้า เครื่องสูบน้ำฉุดด้วย เครื่องยนต์ และ เครื่องมือสูบน้ำมือโยก ฯลฯ แต่สำหรับโครงการบ่อบาดาลของสำนักงาน รพช. และหน่วยราชการอื่น ๆ ที่ เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชนบทจะติดตั้ง เครื่องสูบมือโยก เท่านั้น เพราะ เพียงพอแก่การอุปโภคบริโภคและต้องการการบำรุงรักษาน้อย กอรปด้วยราษฎรในชนบทส่วนใหญ่มีฐานะยากจนไม่สามารถ เสียค่าไฟฟ้าหรือน้ำมัน เชื้อ เพลิงได้

เครื่องสูบมือโยก (10) (Hand Pump) เป็น เครื่องสูบแกนตั้งแบบง่าย ๆ ใช้แรงคนโยกคันโยก โดยประสิทธิภาพของ เครื่องสูบขึ้นอยู่กับแรงคนโยก ขนาดลูกสูบ ช่วงชักของลูกสูบ และความลึกที่ติดตั้ง เครื่องสูบที่มีลูกสูบ 3 นิ้ว ช่วงชักประมาณ 6-8 นิ้ว ติดตั้งลึกไม่ เกิน 60 ฟุต จะสูบโยกน้ำได้ประมาณ 3-5 แกลลอนต่อนาที แต่หากตั้งลึกกว่า 60 ฟุต กำลังแรงขนาดคนไทยจะโยกไม่ได้นาน เครื่องสูบมือโยกมีราคาถูก ติดตั้งได้ง่าย ไม่มีกลไกยุ่งยาก ค่าบำรุงรักษาน้อย แต่มีชิ้นส่วนบางอย่างชำรุดลึกหรอหรือแตกหักได้ง่าย

เนื่องจาก เครื่องสูบมือโยกมีการชำรุดได้ง่าย สำนักงาน รพช. จึงแก้ปัญหานี้โดยการทำพิธีมอบบ่อบาดาลแก่ผู้ใหญ่บ้านและสภาตำบล เพื่อความรู้สึก เป็น เจ้าของบ่อของราษฎร อบรมราษฎรในการบำรุงรักษาและมอบไปรษณียบัตร เพื่อแจ้งให้ รพช. ทราบ เมื่อบ่อมีการเสียหายมาก เกินกว่าที่ราษฎรซ่อมแซมได้ เอง แต่ก็ยังพบว่าในหมู่บ้านที่สภาตำบลหรือผู้ใหญ่บ้านไม่ เข้มแข็ง ไม่ เอาใจใส่ในการบำรุงรักษาจะมีสูบมือโยก เสียหาย พร้อมทั้งในแต่ละจังหวัดมีบ่อ รพช. เป็นจำนวนมาก แต่มี เจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุงบ่อบาดาลจำนวนน้อยไม่ เพียงพอที่จะเดินทางไปทุกหมู่บ้านที่มีปัญหาด้วย เวลาอันรวด เร็ว จึงปรากฏว่ามีการปล่อยให้บ่อบาดาลทิ้งร้างใช้งานไม่ได้ เป็นจำนวนมาก

2.5.6 ชลศาสตร์ของบ่อในการคำนวณปริมาณน้ำ

แม้ว่า Darcy's Law (1856) สามารถใช้วิเคราะห์แก้ไขปัญหาเกี่ยวกับชลศาสตร์ของน้ำใต้ดินได้บางประการในระดับหนึ่ง แต่จำเป็นต้องใช้ค่าคุณสมบัติของหินอุ้มน้ำจากห้องปฏิบัติการอันแตกต่างไปจากสภาพเป็นจริงในสนาม จึงมีนักวิจัยหลายท่านพยายามคิดค้นหาวิธีการทดสอบปริมาณน้ำให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น โดยการพัฒนาวิธีการต่าง ๆ กินเวลาหลายร้อยปี ดังต่อไปนี้

1. สูตรของบ่อสภาวะสมดุลย์ (Equilibrium Well Formula)

C.S. Slichter (1899) F.E. Turneaure กับ H.L. Russell (1901) และ G. Thiem (1906) (30) เสนอวิธีการศึกษาชลศาสตร์ของบ่อโดยสูตรบ่อสภาวะสมดุลย์ ประกอบด้วยสูตรพื้นฐานจำนวน 2 สูตร สำหรับบ่อรับน้ำใต้ดินอิสระและบาดาล โดยตั้งสมมุติฐานในการพิจารณาดังนี้

ก. ชั้นหินอุ้มน้ำภายในรัศมีอิทธิพลของบ่อมีอาณาเขตแผ่กว้างไม่สิ้นสุดและมีค่าสัมประสิทธิความซึมได้เท่ากันโดยตลอด

ข. หินอุ้มน้ำเป็นชั้นเดียวไม่แบ่งเป็นชั้น ๆ

ค. ชั้นหินอุ้มน้ำมีความหนาคงที่โดยตลอด

ง. เครื่องสูบน้ำมีประสิทธิภาพ 100%

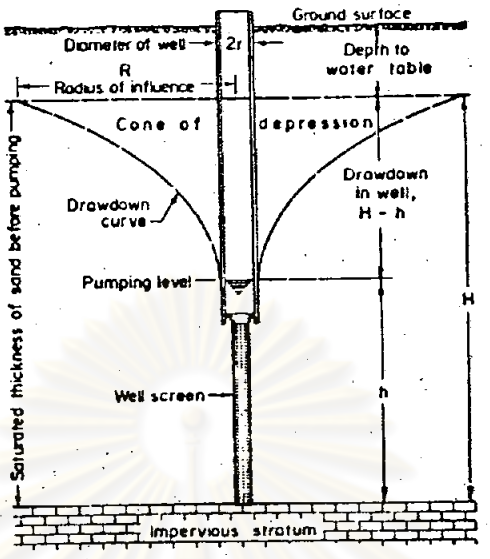
จ. บ่อทดสอบเจาะลึกจนถึงก้นของชั้นหินอุ้มน้ำ

ฉ. ระดับน้ำใต้ดิน (Water Table) หรือระดับความดัน (Piezometric Surface) อยู่ในแนวราบ

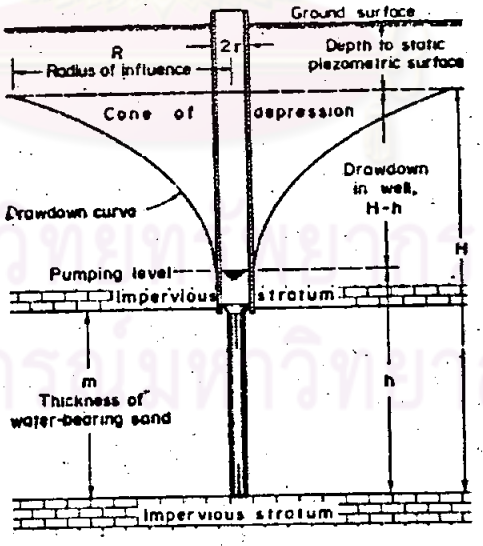
ช. น้ำภายในรัศมีอิทธิพลไหลแบบราบเรียบโดยตลอด

ซ. การทดสอบอยู่ในสภาวะสมดุลย์

สูตรสำหรับน้ำใต้ดินอิสระได้อาศัยแนวคิดในการไหลของน้ำใต้ดินเข้าสู่บ่อบาดาล ดังแสดงในรูป 2-8 ซึ่งแสดงรูปตัดตามแนวตั้งของบ่อ และมีสมการดังนี้



รูป 2-8 รูปตัดของบ่อรับน้ำใต้ดินอิสระในสูตรสภาวะสมดุลย์ (30)



รูป 2-9 รูปตัดของบ่อบาดาลในสูตรสภาวะสมดุลย์ (30)

$$Q = \frac{K\ (H^2-h^2)}{1{,}055\ \log\ R/r} \qquad (2.5)$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำได้จากบ่อหรือปริมาณน้ำจากการสูบ หน่วยแกลลอน /นาที

K = ค่าความซึมได้ของชั้นหินอุ้มน้ำ หน่วยแกลลอน /วัน /ตารางฟุต

H = ความลึกของระดับน้ำใต้ดินในบ่อก่อนสูบ หน่วยฟุต

h = ความลึกของระดับน้ำใต้ดินในบ่อขณะทดสอบ หน่วยฟุต

R = รัศมีอิทธิพล หน่วยฟุต

r = รัศมีของบ่อ หน่วยฟุต

สูตรสำหรับบ่อบาดาล - ใช้สำหรับกรณีที่น้ำใต้ดินไหลภายใต้ความดัน เนื่องจากมีชั้นหินทึบน้ำอยู่ด้านบน ดังแสดงในรูป 2-9 ซึ่งแสดงรูปตัดตามแนวดิ้งของบ่อ และมีสมการดังนี้

$$Q = \frac{K\ m\ (H-h)}{528\ \log\ R/r} \qquad (2.6)$$

เมื่อ m = ความหนาของชั้นหินอุ้มน้ำ หน่วยฟุต

H = ความลึกระดับน้ำนิ่ง (Static water level) ในบ่อ หน่วยฟุต

ในความเป็นจริงแล้วสมมุติฐานสำหรับ 2 สมการนี้เป็นไปได้ยาก แต่ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจึงพอเชื่อถือได้ (30)

2. <u>สูตรของบ่อสภาวะไม่สมดุลย์</u> (Non Equilibrium Well Formula)

Theis (1935) ได้พัฒนาสูตรศึกษาคุณสมบัติของบ่อในขณะที่การไหลเข้าบ่ออยู่ในสภาวะไม่สมดุลย์และ เป็นครั้งแรกสุดที่มีการนำอิทธิพลของ เวลาในการสูบมาร่วมพิจารณา สามารถคำนวณได้จากการทดสอบช่วงต้น ๆ ไม่ต้อง เสีย เวลารอจนการทดสอบอยู่ในสภาวะสมดุลย์ จึงประหยัดทั้ง เวลาและงบประมาณ โดยมีสมมุติฐานคล้ายคลึงกับสูตรของสภาวะสมดุลย์ เว้นแต่การทดสอบไม่อยู่ในสภาวะสมดุลย์และไม่กล่าวถึงประสิทธิภาพ เครื่องสูบน้ำ เขียน เป็นสมการได้

$$Z = \frac{114.6\ Q\ W\ (u)}{T} \qquad (2.7)$$

$$u = 1.87\ r^2 S/Tt \qquad (2.8)$$

เมื่อ Z = ระดับน้ำลดในบ่อตรวจสอบขณะกำลังสูบด้วยปริมาณคงที่ หน่วยฟุต

Q = ปริมาณน้ำในการสูบ หน่วยแกลลอน/นาที

T = สัมประสิทธิของการไหลผ่าน (Coefficient of Transmissibility) หน่วยแกลลอน/วัน/ฟุต

W (u) = Well function เขียนในรูปของ exponential integrate ได้

$$\int_u^{\infty} e^{-u} du = W(u) = -0.5772 - \log_e U + U - \frac{U^2}{2.2_!} + \frac{U^4}{3.3_!} - \frac{U^4}{4.4_!} \qquad (2.9)$$

r = ระยะทางจากศูนย์กลางบ่อทดสอบไปยังศูนย์กลางบ่อตรวจสอบ หน่วยฟุต

S = สัมประสิทธิของการเก็บกัก (Coefficient of Storage) ไม่มีหน่วย

t = เวลาตั้งแต่เริ่มสูบ หน่วยวัน

3. <u>การปรับปรุงสูตรสภาวะไม่สมดุลย์</u> (Modified Non-Equilibrium Formula)

Jacob (1947) เสนอความคิดว่าค่าจากสมการ (2.9) จะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นและผลบวกของค่าในอนุกรมถัดไปจาก $\log_e u$ จะมีค่าน้อย เมื่อ u น้อย จึงควรปรับปรุงสูตรได้ใหม่โดยมีค่าคลาดเคลื่อนไม่มากนักได้ดังนี้

$$Z = \frac{264}{T} Q \left(\log \frac{0.3\ Tt}{r^2 S}\right) \qquad (2.10)$$

และหากมีการทดสอบบ่อที่มีสภาวะพิเศษ จะได้ความสัมพันธ์อันทำให้เกิดหลักการพิจารณาที่สำคัญ 2 ประการ ซึ่งสามารถหาคุณสมบัติของชั้นหินอุ้มน้ำได้ (30) คือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17810528

$$T = \frac{264\ Q}{\Delta S} \qquad (2.11)$$

$$S = \frac{0.3\ Tt_o}{r^2} \qquad (2.12)$$

เมื่อ ΔS = ความลาดชันของกราฟเส้นตรงระหว่าง เวลาและระดับน้ำลด (อยู่ในรูปของความต่างค่าระดับน้ำลดในช่วงใด ๆ ของ เวลา 2 ค่าซึ่งห่างกัน 1 0 หน่วย เวลาในมาตราส่วนลอกาลิทมิค) หน่วยฟุต

t_o = เวลาที่ลากต่อกราฟเส้นตรงระหว่าง เวลาและระดับน้ำลดไปตัด เมื่อระดับน้ำลด เป็นศูนย์ หน่วยวัน

4. Recovery Formula

ใน เอกสารประกอบการสอนวิชา Ground Water and Drainage ของศาสตราจารย์ ดร. นิวัตต์ ดารานันท์ ได้บรรยายถึงการศึกษาคุณสมบัติของบ่อประยุกต์จากสูตรของบ่อสภาวะไม่สมดุลย์ โดยการวัดระดับน้ำลดที่ เวลาหนึ่ง เมื่อน้ำไหลคืนกลับเข้าบ่อหลังจากหยุดสูบ ด้วยสมการ Recovery Formula

$$Z = \frac{Q}{4\pi T}\ (W(u) - W(u')) \qquad (2.13)$$

เมื่อ Z = ระดับน้ำลดในบ่อตรวจสอบ เมื่อ เวลาที่พิจารณา หน่วยฟุต

Q = ปริมาณน้ำในการสูบ หน่วยแกลลอน/นาที

T = สัมประสิทธิของการไหลผ่าน (Coefficient of Transmissibility) หน่วยแกลลอน/วัน/ฟุต

$W(u)$ = Well function ซึ่งหาได้จากค่า u ในสมการ 2.8 โดย t มีหน่วยวันนับแต่ เริ่มสูบถึง เวลาที่พิจารณา

$W(u')$ = Well function หาได้จากค่า u ในสมการ 2.8 โดย t มีหน่วยวันนับตั้งแต่หยุดสูบถึง เวลาที่พิจารณา