บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำบาดาล (Groundwater) เป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรของน้ำ (Hydrologic cycle) น้ำบาดาลส่วนใหญ่ได้มาจากน้ำในบรรยากาศ (Meteoric water) และน้ำผิวดิน (Surface water) มีเพียงส่วนน้อยที่เป็นน้ำที่เกิดมาตั้งแต่มีการสะสมตัวของตะกอนชั้นน้ำ (Juvenile water) น้ำจะไหลเวียนอยู่ในโลกของเราเป็นวัฏจักร เริ่มจากน้ำในบรรยากาศตกลงมาในรูปของน้ำฝน หิมะ ลูกเห็บ บางส่วนเกิดเป็นหมอกและน้ำค้าง น้ำส่วนใหญ่ตกลงสู่พื้นดินแต่มีส่วนน้อยที่ขณะตกลงมาจะเกิดการระเหย (Evaporation) กลับขึ้นไปในอากาศในทันที น้ำส่วนที่ตกลงสู่พื้นดินนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) น้ำท่า (Runoff water) ซึ่งจะไหลไปตามผิวดินลงสู่แม่น้ำลำธาร ในขณะที่ไหลไปตามผิวดินบางส่วนก็จะระเหยกลับไปในอากาศ และเมื่อลงสู่แม่น้ำลำธารแล้วก็จะไหลลงสู่ทะเลและมหาสมุทร แล้วได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ จนทำให้ระเหยกลายเป็นไอกลับไปสู่อากาศอีก (2) น้ำซึม (Infiltration water) ซึ่งจะไหลลงสู่ใต้ดินผ่านไปตามช่องว่างของอนุภาคดินลึกลงไป เรื่อย ๆ และเข้าสู่ชั้นน้ำ เมื่อชั้นหินเอียงเทหรือมีความดันน้ำ น้ำจะไหลต่อไปภายในชั้นน้ำและไหลออกสู่แม่น้ำลำคลอง ทะเล หรือมหาสมุทร น้ำที่ไหลลงสู่ดินนี้ก่อนจะไหลลึกลงไป ถ้าเป็นเขตป่าไม้ทุ่งหญ้าหรือเกษตรกรรม มันจะถูกรากพืชดูดไปใช้บางส่วน และพืชจะคายน้ำออกมาและน้ำกลับไปสู่บรรยากาศเมื่อมันหายใจ นอกจากนี้น้ำที่ซึมลงดินบางส่วนก็จะระเหยกลับออกสู่อากาศได้ถ้ามีแสงแดดมาก ในที่สุด น้ำจะระเหยกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำจะรวมตัวเป็นเมฆหมอกอีกครั้ง เมื่ออุณหภูมิลดลง น้ำก็จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำอีก หมุนเวียนเป็นวัฏจักรของน้ำ (ฉลอง บัวผัน, 2538. หน้า 1)

ในสมัยโบราณนักปรัชญาชาวกรีกและชาวโรมัน ได้เขียนคำอธิบายเกี่ยวกับลักษณะการเกิดของน้ำพุและน้ำบาดาลไว้ มีตั้งแต่ตลกขบขันไปจนถึงใกล้เคียงกับความจริงที่ยอมรับในปัจจุบัน ในปลายคริสต์วรรษที่ 17 คนส่วนใหญ่เข้าใจว่า น้ำพุไม่ได้กำเนิดมาจากน้ำฝน เนื่องจากน้ำฝนจะมีปริมาณไม่เพียงพอ และโลกเรานี้หินเป็นเนื้อที่แน่นมากหรือทึบน้ำ จนน้ำฝนไม่สามารถซึมลงไปได้ ต่อมานักปรัชญาชาวกรีกสมัยใหม่ เช่น Homer Thales และ Plato ได้ตั้งสมมุติฐานขึ้นใหม่ว่า น้ำพุเกิดจากน้ำทะเลไหลที่ไปตามช่องว่างใต้ภูเขาแล้วถูกทำให้บริสุทธิ์ แล้วจึงยกตัวขึ้นสู่ผิวดิน ส่วน Aristole คิดว่าอากาศในถ้ำที่เย็นและและมืดข้างใต้ภูเขาจะรวมตัวกันเป็นหยดน้ำซึ่งทำให้เกิดน้ำพุ

นักปรัชญาชาวโรมัน ได้แก่ Seneca และ Ppliny สนับสนุนความคิดของนักปรัชญาชาวกรีกและช่วยกระจายแนวคิดเกี่ยวกับวิชานี้ ความก้าวหน้าครั้งสำคัญเกิดจากนักสถาปัตยกรรมชาวโรมันชื่อ Vitruvius ซึ่งเข้าได้อธิบายทฤษฎีเกี่ยวกับการซึมของน้ำที่ยอมรับกันในปัจจุบันนี้ เขาอธิบายว่าภูเขาได้น้ำปริมาณมากจากน้ำฝนที่ไหลผ่านชั้นหินแล้วพุ่งหรือลอยตัวออกมาเป็นลำธารบริเวณตีนเขา ทฤษฎีนี้มีคนยึดถือตลอดช่วงยุคกลางโดยปราศจากความก้าวหน้าของทฤษฎีอย่างอื่น จนกระทั่งถึงยุค Renassance ต่อจากนั้นได้มีคนทำหม้อและนักปรัชญาชื่อ Bernard Palissy ชาวฝรั่งเศส ได้กล่าวซ้ำสนับสนุนเกี่ยวทฤษฎี Infiltration seawater นั้น

Pierre Perrault (ค.ศ. 1611 – 1680) เป็นชาวยุโรปที่ทำการวัดปริมาณน้ำฝนเป็นเวลา 3 ปี และได้ประมาณค่า Run off บริเวณแอ่งน้ำของแม่น้ำ Seine River ตอนบน และได้รายงานในปี ค.ศ. 1674 ความว่า ปริมาณน้ำฝนและหิมะในบริเวณแหล่งน้ำมีปริมาณ 6 เท่า ของปริมาณน้ำที่ออกจากปากแม่น้ำ ดังนั้นสมมุติฐานเก่าจึงมีเหตุผลไม่เพียงพอ นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสชื่อ Edme Mariotte (ค.ศ. 1620 – 1684) ได้ทำการวัดปริมาณการไหลของแม่น้ำ Seine River และได้สนับสนุนผลงานของ Perrault และ Edmund Halley (ค.ศ. 1656 – 1742) ซึ่งเป็นนักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษ ผู้เขียนรายงานเกี่ยวกับการวัดค่า Evaporation และแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำที่ระเหยจากทะเลเพียงพอที่จะทำให้เกิดน้ำพุและน้ำที่ไหลอยู่ในแม่น้ำ

ในระหว่างคริสต์วรรษที่ 18 ได้มีหลักการเกี่ยวกับธรณีวิทยาเกิดขึ้น ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับการเกิดและการไหลของน้ำบาดาล ในช่วงต้นคริสต์วรรษที่ 19 มีการขุดบ่อน้ำบาดาลขึ้นในประเทศฝรั่งเศสซึ่งเร่งให้เกิดความสนใจเกี่ยวกับน้ำบาดาลมากขึ้น วิศวกรชาวฝรั่งเศสชื่อ Henry Darcy (ค.ศ. 1803 – 1858) ได้ศึกษาการไหลของน้ำผ่านกระบอกทรายตำราของเขาในปี 1856 ได้อธิบายถึงความสัมพันธ์เกี่ยวกับการไหลของน้ำบาดาลในตะกอนแม่น้ำและหินชั้น ปัจจุบันได้กลายเป็นกฎหนึ่งที่สำคัญทางวิทยาศาสตร์เรียกว่า Darcy's law

ชนิดของชั้นน้ำ

น้ำบาดาลจะถูกกักเก็บอยู่ในชั้นหินที่มีรูพรุน ช่องว่าง หรือรอยแตก เรียกชั้นหินนี้ว่าชั้นหินอุ้มน้ำ หรือชั้นน้ำ (Aquifer) น้ำที่เก็บอยู่ในชั้นน้ำนี้สวนใหญ่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ภายใต้แรงดึงดูดของโลก ในทางตรงกันข้าม ชั้นทึบน้ำเป็นชั้นหินที่น้ำไม่สามารถไหลผ่านได้ ได้แก่ (1) ชั้นกั้นน้ำ (Aquiclude) ซึ่งเป็นชั้นหินที่เก็บน้ำอยู่ในตัวแต่น้ำที่เก็บไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เพราะว่าช่องว่างที่บรรจุน้ำมีขนาดเล็กมาก เช่น ชั้นดินเหนียว ชั้นหินดินดาน เป็นต้น และ (2) ชั้นทึบน้ำ (Aquifuge) เป็นชั้นหินแข็งซึ่งไม่มีช่องว่างที่จะให้น้ำบรรจุได้เลย น้ำที่พบจะอยู่ในผลึกของแร่ประกอบหิน เช่น

ชั้นหินแกรนิต เป็นต้น ในบางครั้ง ชั้นหินมีคุณสมบัติอยู่กึ่งกลางระหว่างชั้นน้ำและชั้นกั้นน้ำ เช่น ชั้นกรวดทรายที่มีทรายแป้งและดินเหนียวปนอยู่ด้วย เป็นต้น ทำให้ลักษณะการเกิดของน้ำบาดาลที่เป็นชั้นน้ำไม่ชัดเจนและก็เป็นชั้นกั้นน้ำที่ไม่ดี จึงเรียกชั้นหินนี้ว่า ชั้นต้านน้ำ (Aquitard)

การจำแนกชนิดของชั้นน้ำโดยใช้วัตถุตัวกลางสามารถแบ่งชั้นน้ำได้ 2 ชนิด ดังนี้

1. ชั้นน้ำจากตะกอน

1.1 ชั้นกรวดทรายใต้แม่น้ำ เป็นชั้นน้ำที่ประกอบด้วยตะกอนน้ำพา (Alluvium) ซึ่งตกทับถมอยู่ภายใต้ลำธารหรือแม่น้ำ ทำให้บ่อบาดาลที่เจาะลงในชั้นน้ำชนิดน้ำมีปริมาณน้ำมาก

1.2 ชั้นกรวดทรายทับถมในหุบเขาเก่า (Abandoned or Burried valley) เป็นหุบเขาขนาดใหญ่ที่มีกรวดทรายมาทับถมจนหนา บริเวณผิวดินจะปราศจากแม่น้ำ หรือมีแต่น้ำจะแห้งลงในฤดูแล้ง ลักษณะกรวดทรายจะคลายกับชนิดแรก แต่ชั้นน้ำนี้จะมีปริมาณน้ำน้อยกว่า เนื่องจากน้ำที่ได้จากแม่น้ำมีปริมาณจำกัดและน้อย

1.3 ชั้นตะกอนที่ราบกว้างใหญ่น้ำท่วมถึง ชั้นน้ำบาดาลส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินร่วน ในบางบริเวณจะมีชั้นกรวดทราย ทำให้ได้น้ำในปริมาณที่เพียงพอ ในบางพื้นที่จะมีชั้นกรวดทรายบาง ๆ สลับกับชั้นดินเหนียวกับทรายแป้ง ทำให้ได้น้ำในปริมาณจำกัด บางบริเวณจะให้บ่อน้ำตื้นสำหรับใช้ในครัวเรือนและเลี้ยงสัตว์ ชั้นน้ำชนิดนี้ได้รับน้ำเพิ่มเติมมาจากแม่น้ำสายเล็ก ๆ ซึ่งแห้งในฤดูแล้งและน้ำฝนเป็นหลัก

1.4 กรวดทรายภูเขา (Intermontane valley) ชั้นตะกอนได้จากกระบวนการชะล้างพังทลายจากบริเวณภูเขาที่อยู่รอบ ๆ หุบเขา น้ำจะพัดเอาตะกอนกรวดทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว มาทับถมในหุบเขาและเชิงเขา หุบเขาอาจจะเป็นหุบเขาเดียว หรือหลาย ๆ หุบเขาติดต่อกันไปโดยได้น้ำมาจากน้ำฝนและลำธารที่ไหลลงสู่ที่ราบเชิงเขารูปพัด

2. ชั้นน้ำจากหิน

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย น้ำบาดาลที่พัฒนาขึ้นมาใช้ส่วนใหญ่จะได้จากชั้นหินแข็ง ถึงแม้ว่าปริมาณน้ำจะน้อยกว่าชั้นตะกอน แต่ก็มีปริมาณเพียงพอสำหรับใช้ในการอุปโภคและบริโภคในครัวเรือน มีเพียงส่วนน้อยที่บ่อบาดาลจากชั้นหินจะให้น้ำมากจนใช้ในการเกษตรหรืออุตสาหกรรมได้ สำหรับชั้นน้ำจากหินนี้สามารถแบ่งชนิดได้ดังต่อไปนี้

2.1 หินตะกอน ชั้นหินตะกอนเป็นชั้นน้ำบาดาลที่สำคัญ บ่อบาดาลส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกของประเทศไทยได้น้ำจากชั้นหินชนิดนี้ โดยทั่ว ๆ ไปชั้นหินที่ให้น้ำจะเป็นชั้นหินที่มีการเชื่อมตัวไม่สมบูรณ์หรือกึ่งเชื่อมตัว และมีรอยแตก รอยแยก รูโพรง และช่องว่างต่าง ๆ

2.1.1 หินกรวดมน กรวดเหลี่ยม และหินทราย พวกนี้จะมีโอกาสให้น้ำได้มาก ถ้าการเชื่อมตัวต่ำ แต่ถ้ามีการเชื่อมตัวสมบูรณ์จะไม่ให้น้ำเลยก็ได้ นอกจากนี้ปริมาณน้ำจะมากขึ้นถ้าหินดังกล่าวมีรอยแตก รอยแยก หรือรูโพรงมาก รวมทั้งปริมาณน้ำที่เพิ่มเติมจากน้ำฝน หรือลำธาร ถ้ามีมากก็ได้น้ำมากขึ้น

2.1.2 หินทรายแป้งและหินดินดาน ชั้นหินทั้งสองนี้ส่วนใหญ่จะเป็นชั้นทึบน้ำ แต่มีโอกาสเป็นชั้นหินอุ้มน้ำได้ ถ้ามีรอยแตกและรอยแยกมาก เช่น บ่อบาดาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวนหลายบ่อที่ได้น้ำจากชั้นหินทรายแป้ง

2.1.3 หินปูนและหินโดโลไมท์ ปกติชั้นหินเหล่านี้จะไม่มีน้ำบาดาล แต่ถ้าหินพวกนี้มีรอยแตกและรูโพรงจะให้น้ำบาดาลได้มาก

2.1.4 หินโคลน ส่วนใหญ่จะเป็นชั้นทึบน้ำ จะให้น้ำได้ต่อเมื่อมีเนื้อแน่นและมีรอยแตกรอยแยก ส่วนใหญ่จะเป็นบ่อตื้นที่มีปริมาณน้ำจำกัดในฤดูแล้ง

2.2 หินอัคนี ส่วนใหญ่จะเป็นชั้นหินแข็งที่ไม่มีน้ำบาดาล แต่จะมีโอกาสให้น้ำบาดาลได้เมื่อมีรูอากาศ รอยแตก และในชั้นหินผุ

2.2.1. หินบะซอลท์ พัมมิส และสคอเรีย เป็นชั้นหินที่มีรูอากาศ ดังนั้นปริมาณน้ำบาดาลจะขึ้นอยู่กับปริมาณรูอากาศและการต่อเนื่องถึงกัน ถ้าความต่อเนื่องของรูอากาศมีมากก็จะได้น้ำมาก นอกจากนี้ยังรวมถึงรอยแตกรอยแยกและการผุ ถ้ามีมากก็จะให้น้ำได้มาก

2.2.2. หินแกรนนิต แอนดีไซท์ ไดโอไรท์ ไรโอไรท์ และอื่น ๆ เป็นหินแข็งที่ไม่มีโอกาสจะเป็นชั้นน้ำได้เลย แต่ถ้าเป็นหินผุหรือมีรอยแตก ก็จะให้น้ำบาดาลได้บ้าง

2.2.3. หินทัฟฟ์ เป็นหินแข็งเช่นกัน แต่การเชื่อมตัวต่ำ ไม่สามารถกักเก็บน้ำบาดาลได้

2.3 หินแปร หินชนิดนี้คล้ายกับหินอัคนีกล่าวคือส่วนใหญ่เป็นหินแข็ง จะมีโอกาสให้น้ำบาดาลได้ในหินที่มีรอยแตก รอยแยก และหินผุ ปริมาณน้ำน้อยซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณและความต่อเนื่องของรอยแยก รวมทั้งลักษณะการผุของหิน

นอกจากนี้ การจำแนกชนิดของชั้นน้ำโดยใช้คุณสมบัติทางชลศาสตร์สามารถแบ่งชั้นน้ำได้ 3 ชนิด ดังนี้

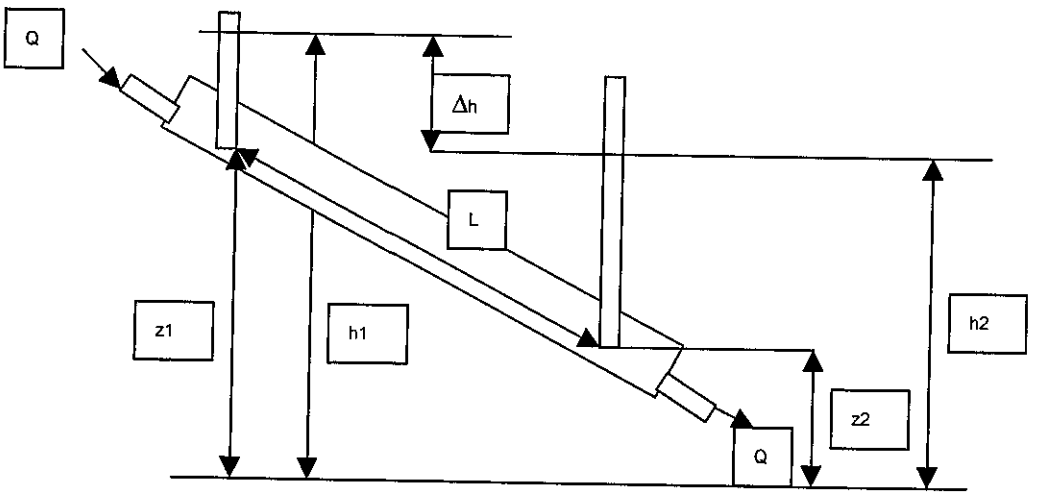
1. ชั้นน้ำไร้แรงดัน (Unconfined aquifer) เป็นชั้นน้ำที่มีระดับน้ำบาดาลเป็นเส้นกั้นผิวบนของชั้นน้ำ ลักษณะรูปร่างของระดับน้ำใต้ดินจะคดโค้งไปตามรูปลักษณะของผิวดิน นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับแหล่งสูบน้ำ ระบายน้ำ แหล่งเพิ่มเติมน้ำ และค่าการซึมซาบของน้ำ

2. ชั้นน้ำมีแรงดัน (Confined aquifer) น้ำบาดาลถูกกักเก็บอยู่ภายใต้แรงดันที่มากกว่าแรงดันบรรยากาศ ส่วนบนปิดกั้นด้วยชั้นทึบน้ำ บ่อบาดาลที่เจาะลงสู่ชั้นน้ำประเภทนี้ ระดับน้ำจะสูงกว่าระดับล่างสุดของชั้นทึบน้ำที่ปิดทับ การเติมน้ำเข้าสู่ชั้นน้ำนี้เกิดขึ้นได้เฉพาะในบริเวณที่ชั้นน้ำนี้โผล่ออกบนผิวโลกและสัมผัสกับอากาศ เรียกบริเวณนี้ว่า พื้นที่เติมน้ำ (Recharge area) การแกว่งตัวของระดับน้ำในบ่อขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงระดับความดันในชั้นน้ำมากกว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำสำรอง

3. ชั้นน้ำลอย (Perched aquifer) เป็นชั้นน้ำขนาดเล็กที่ลอยอยู่เหนือชั้นน้ำเปิด เกิดจากชั้นดินเหนียวขนาดเล็กเหนือชั้นหินอุ้มน้ำเปิดนั้นป้องกันไม่ให้น้ำไหลซึมลง จนทำให้เกิดการกักเก็บอยู่ด้านบนชั้นดินเหนียว พบบ่อยในตะกอนน้ำพาในที่ราบน้ำท่วมถึง บ่อน้ำจะมีน้ำน้อย

กฎของดาร์ซี่

น้ำบาดาลกักเก็บอยู่ในช่องว่างของหินจนหินอิ่มตัวไปด้วยน้ำ น้ำมีการไหลจากจุดหนึ่งไปสู่อีกจุดหนึ่ง เนื่องจากมีความแตกต่างของแรงดันน้ำหรือระดับน้ำ (Head) แต่การไหลของน้ำบาดาลจะมีอัตราการไหลที่ช้ากว่าน้ำท่าหรือน้ำผิวดิน เนื่องจากน้ำบาดาลไหลผ่านช่องว่างที่มีขนาดเล็ก น้ำบาดาลไหลด้วยความเร็วประมาณ 1-500 เมตรต่อปี ยกเว้นน้ำที่ไหลในรอยแตกหรือโพรงหินปูนอาจมีความเร็ว 100-200 เมตรต่อวัน ความเร็วจริงของน้ำผ่านรูพรุน (Actual velocity, Va) ขึ้นอยู่กับความพรุนของหิน (Porosity, n) ความพรุนหมายถึงปริมาตรของช่องว่างในหินต่อปริมาตรของหินทั้งหมด ความพรุนเป็นสมบัติทางกายภาพของหินแต่ละชนิด Darcy (1865) ได้ศึกษาการไหลของน้ำผ่านชั้นทรายที่มีความพรุนสม่ำเสมอโดยคำนวณอัตราการไหล (v) ดังแสดงในภาพ 2



ภาพ 2 การทดลองของดาร์ซี่ (Freeze and Cherry, 1979)

ความเร็วดาร์ซี่หรือความเร็วเฉลี่ย (v) ของน้ำจากจุดน้ำเข้าถึงจุดน้ำออกซึ่งมีระยะทาง ΔL ผ่านกระบอกที่มีพื้นที่หน้าตัด (A) และมีอัตราการไหล (Q) พบว่า

$$v = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

โดยที่ v คือความเร็วดาร์ซี่หรืออัตราการไหลเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด

A คือพื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางของน้ำไหลผ่าน

การทดลองดาร์ซี่แสดงว่าอัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่ (ความเร็วดาร์ซี่, v) แปรผันตรงกับความแตกต่างของระดับน้ำหรือ head ($h1 - h2 = \Delta h$) และแปรผกผันกับระยะทาง (ΔL) ซึ่งเมื่อเขียนเป็นสมการต้องใส่ค่าสัมประสิทธิ์ ดังนี้

$$v = \frac{-K.\Delta h}{\Delta L} \quad (2)$$

โดยที่ ΔL คือระยะทางที่ขนานกับการไหลของน้ำจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง

h_1 คือความสูงของระดับน้ำเนื่องจากแรงดัน เมื่อเทียบจากระดับมาตรฐาน ณ จุดที่ 1

h_2 คือความสูงของระดับน้ำเนื่องจากแรงดัน เมื่อเทียบจากระดับมาตรฐาน ณ จุดที่ 2

z_1 คือความสูง ณ จุดที่น้ำไหลเข้า/ออกชั้นหินอุ้มน้ำจากระดับมาตรฐานของน้ำ ณ จุดที่ 1

z_2 คือความสูง ณ จุดที่น้ำไหลเข้า/ออกชั้นหินอุ้มน้ำจากระดับมาตรฐานของน้ำ ณ จุดที่ 2

ค่า $\Delta h/\Delta L$ เป็นค่าความลาดชัน (Slope) ของความแตกต่างของระดับน้ำต่อระยะทางระหว่างจุดทั้งสอง เรียกอีกอย่างว่าความลาดชันเชิงชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) ส่วนค่าคงที่ K เรียกว่าค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) ดังนั้นค่า K ของหินแต่ละชนิดจึงมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของหิน (ตาราง 1)

น้ำบาดาลไหลจากบริเวณที่มีระดับแรงดันหรือ head ที่สูงกว่าไปยัง head ต่ำกว่าเสมอ ดังนั้นสมการ 2 ความเร็วของน้ำจึงมีค่าเป็นลบ กฎของดาร์ซี่มักใช้คำนวณความเร็วของน้ำบาดาลที่มีการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) หรือน้ำที่มีความเร็วที่ช้าที่ไหลผ่านวัตถุตัวกลางและน้ำหรือของเหลวนั้นต้องมีความหนาแน่นคงที่

ตาราง 1 ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Domenico and Schwartz, 1998)

ชนิดตัวกลาง	ค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (m/sec)
1. ตะกอน	
กรวด (Gravel)	$3\times10^{-4} - 3\times10^{-2}$
ทรายหยาบ (Coarse sand)	$9\times10^{-7} - 3\times10^{-3}$
ทรายปานกลาง (Medium sand)	$9\times10^{-7} - 3\times10^{-4}$
ทรายละเอียด (Fine sand)	$2\times10^{-7} - 3\times10^{-4}$
ทรายแป้ง (Silt sand)	$1\times10^{-9} - 3\times10^{-5}$
ดินเหนียว (Clay)	$1\times10^{-11} - 3\times10^{-9}$
2. หินตะกอน	
หินปูนมีโพรง (Karst limestone)	$1\times10^{-6} - 2\times10^{-2}$
หินปูนเนื้อแน่น (Crystalline limestone)	$1\times10^{-9} - 6\times10^{-6}$
หินทราย (Sandstone)	$3\times10^{-10} - 6\times10^{-6}$
หินทรายแป้ง (Siltstone)	$1\times10^{-11} - 1.4\times10^{-8}$
เกลือหิน (Rock salt)	$1\times10^{-12} - 1\times10^{-10}$
หินดินดาน (Shale)	$1\times10^{-13} - 2\times10^{-9}$
3. หินอัคนีและหินแปร	
หินบะซอลต์ (Basalt)	$4\times10^{-7} - 2\times10^{-2}$
หินแตก	$8\times10^{-9} - 3\times10^{-4}$
หินผุ	$3.3\times10^{-6} - 5.2\times10^{-5}$
หินแข็งไม่แตก	$3\times10^{-11} - 2\times10^{-10}$

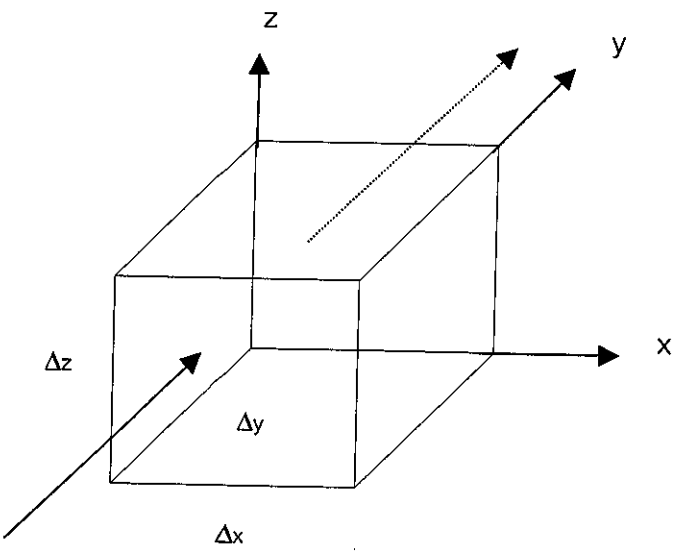
สมการการไหลของน้ำบาดาล

ก่อนทำความเข้าใจถึงสมการกำหนดพฤติกรรมการไหล (Governing equation of flow) ที่ใช้วิเคราะห์การไหลของน้ำบาดาลควรทำความเข้าใจถึงแบบจำลองกรอบแนวคิด (Conceptual model) การมองภาพเชิงกรอบแนวคิดอาศัยลักษณะทางกายภาพของชั้นน้ำเป็นหลัก (Aquifer viewpoint) โดยจัดกลุ่มของชั้นน้ำเป็นแบบมีแรงดันและไร้แรงดัน และพิจารณาความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นน้ำ หรือค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ (Transmissivity) ทั้งนี้ นิยมสมมุติให้ทิศทางการไหลอยู่ในแนวราบเรียกว่า ข้อสมมุติฐานของ Dupuit – Forchheimer นั่นคือ Flow lines อยู่ในแนวราบ และ Equipotential lines อยู่ในแนวดิ่ง ความลาดชันเชิงชลศาสตร์ให้มีค่าเท่ากับความลาดชันของผิวน้ำ

การไหลของน้ำบาดาลผ่านตะกอนหรือหินที่มีรูพรุนอธิบายได้โดยสมมุติให้วัตถุตัวกลางเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ซึ่งมีด้านกว้าง ยาว และสูง มีขนาด 1 หน่วย คุณสมบัติของวัตถุตัวกลางดังกล่าวมีขนาดเล็กพอที่ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงทุกจุดเท่ากัน รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ที่ใช้แทนวัตถุตัวกลางนี้เรียกว่า Representative Elementary Volume (REV) (ภาพ 3) ตามกฎการอนุรักษ์มวลสาร (Conservation of fluid mass) จะได้ว่า

$$S = I - O \tag{3}$$

โดยที่ S = อัตราการเปลี่ยนแปลงการเก็บกัก; I = อัตราการไหลเข้า; O = อัตราการไหลออก



ภาพ 3 หน่วยย่อยแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล

จากภาพ 3 เมื่อพิจารณาอัตราการไหลของมวลของน้ำผ่านพื้นที่หน้าตัดทิศทางการไหลในทิศทางเดียวในแนวแกน x จะได้ว่า

$$M = \rho w.\rho x.\Delta y.\Delta z \tag{4}$$

โดยที่ M = มวล มีค่าเท่ากับ ρV; ρ = ความหนาแน่น; V = ปริมาตร; Q = volumetric flux มีค่าเท่ากับ A.q; A = พื้นที่; q = flux

ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงน้ำไหลตามแนวแกน x คือ

$$= \left[p_w.q_x.\Delta y.\Delta z + \frac{\partial (p_w.q_x.\Delta x)}{\partial x} \right].(\Delta y.\Delta x) \tag{5}$$

อัตราของปริมาตรน้ำไหลออกทั้งหมดผ่านแนวแกน y คือ

$$= \frac{\partial (p_w.q_x)}{\partial y}.\Delta x.\Delta y.\Delta z \tag{6}$$

และอัตราของปริมาตรน้ำไหลออกทั้งหมดผ่านแนวแกน z คือ

$$= -\frac{\partial (p_w.q_y)}{\partial z}.\Delta x.\Delta y.\Delta z \tag{7}$$

ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของมวลของน้ำผ่านพื้นที่หน้าตัด 3 ด้าน คือ

$$= -\left[\frac{\partial (p_w.q_x)}{\partial x} + \frac{\partial (p_w.q_y)}{\partial y} + \frac{\partial (p_w.q_z)}{\partial z} \right].\Delta x.\Delta y.\Delta z \tag{8}$$

ด้านซ้ายของสมการที่ 3 คือ การเปลี่ยนแปลงมวลหนึ่งหน่วยต่อเวลาหรือเขียนได้ว่า

$$= \partial \frac{(p_w.n)}{\partial t}.\Delta x.\Delta y.\Delta z \tag{9}$$

สมการ 8 จึงมีค่าเท่ากับสมการ 9

$$\frac{\partial (p_w.q_x)}{\partial x} + \frac{\partial (p_w.q_y)}{\partial y} + \frac{\partial (p_w.q_z)}{\partial z} = -\frac{\partial (p_w.n)}{\partial t} \tag{10}$$

เมื่อความหนาแน่นของน้ำมีค่าคงที่จะได้ว่า

$$\frac{\partial qx}{\partial x} + \frac{\partial qy}{\partial y} + \frac{\partial qz}{\partial z} = -\frac{1}{p_w}\frac{\partial}{\partial t}(p_w.n) \tag{11}$$

เมื่อนำกฎของดาร์ซี่ (สมการ 2) แทนที่ในสมการ 11 จะได้ว่า

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_x.\frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(K_y.\frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k_z.\frac{\partial h}{\partial z} \right) \tag{12}$$

ถ้าชั้นน้ำมีคุณสมบัติ Isotropic หรือ Kx = Ky = Kz ดังนั้น

$$K\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)\right]=\frac{1}{p_w}\frac{\partial\left(p_w.n\right)}{\partial t} \quad (13)$$

$$K\left[\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}\right]=\frac{1}{p_w}.\frac{\partial}{\partial t}\left(p_w.n\right) \quad (14)$$

พจน์ขวามือของสมการ 14 คือการเปลี่ยนแปลงของ head ต่อเวลา

$$s_s\frac{\partial h}{\partial t}=\frac{1}{p_w}.\frac{\partial\left(p_w.n\right)}{\partial t} \quad (15)$$

$$K\left[\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}\right]=S_s.\frac{\partial h}{\partial t} \quad (16)$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial z^2}=\frac{S_s}{K}.\frac{\partial h}{\partial t} \quad (17)$$

$$\nabla^2 h=\frac{S_s}{K}.\frac{\partial h}{\partial t} \quad (18)$$

สมการ 18 คือสมการกำหนดพฤติกรรมการไหลของน้ำบาดาลใน 3 มิติ โดยที่ S_s = S/b; T = Kb ในกรณีของชั้นน้ำมีแรงดัน b จะมีค่าคงที่

$$\nabla^2=\frac{S}{T}.\frac{\partial h}{\partial t} \quad (19)$$

เมื่อการไหลของน้ำเป็นแบบสภาวะคงที่ (Steady state) จะได้ Laplace's Equation

$$\frac{\partial h}{\partial t}=0 \quad (20)$$

$$\nabla^2 h=0 \quad (21)$$

การจำลองการไหลของน้ำบาดาล

แบบจำลองน้ำบาดาล (Groundwater model) เป็นเครื่องมือที่ใช้สร้างภาพในจินตนาการถึงสภาพธรรมชาติการไหล การเคลื่อนที่ของมลสาร และอุทกธรณีเคมีของน้ำบาดาล (Gupta et al, 1996 : 349-357.; Madan, 1998 : 105-124.; Reynolds and Spruill, 1995 : 741-748.) นิยมใช้เป็นเครื่องมือจำลองสภาพต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ มีความสามารถคาดคะเนเหตุการณ์ต่าง ๆ ในอนาคต แบบจำลองน้ำบาดาลมี 2 ประเภท คือแบบจำลองทางกายภาพ (Physical model) และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) แบบจำลองทางกายภาพนั้นใช้ใน

การจำลองการไหลของน้ำในกรณีต่าง ๆ โดยใช้วัสดุจริงตามธรรมชาติมาทำการย่อส่วนลงตามต้องการ เพื่อใช้ตรวจสอบผลการทดลอง ส่วนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์แทนแบบจำลองทางกายภาพ ซึ่งปัจจุบันนี้นิยมใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณนั้น มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานทางด้านวิศวกรรม งานพัฒนาแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม เช่น การทำนายการปนเปื้อนของมลพิษ การเลือกสถานที่ฝังกลบขยะ ผลการฝังกลบหรือการกักเก็บสารพิษใต้ดิน เป็นต้น

แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ แบบจำลองนัมเมอริคัล (Numerical model) และแบบจำลองอนาไลติคัล (Analytical model) (Anderson and Woessner, 1992) ต่อไปนี้จะบรรยายเฉพาะแบบจำลองนัมเมอริคัลซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการแก้ปัญหาในกรณีที่ (1) ชั้นน้ำมีขอบเขตไม่เป็นเส้นตรง (2) ลักษณะสัมประสิทธิ์ของตัวแปรมีความแตกต่างกันในสมการ (3) เงื่อนไขขอบเขตและเงื่อนไขเริ่มต้นมีค่าไม่สม่ำเสมอ และ (4) ปริมาณน้ำเข้าและน้ำออกไม่สามารถวิเคราะห์ได้ แบบจำลองชนิดนี้อาศัยการประมาณคำตอบจาก Partial differential equation ชนิดต่อเนื่องด้วยชุดสมการที่แน่นอน พื้นที่ผิวน้ำถูกแบ่งออกเป็นตารางย่อย ๆ ที่มีขนาดแน่นอนจำนวนมาก เรียกว่า Cell ปกติมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าใน Finite–difference method และรูปสามเหลี่ยมใน Finite–element methods ช่วงเวลาจะถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลาย่อย ๆ เช่นกัน จากนั้นจึงแก้สมการโดยใช้วิธี Matrix ซึ่งคอมพิวเตอร์สามารถช่วยประมวลผลซ้ำ ๆ ได้เป็นอย่างดี แบบจำลองมีประโยชน์ดังนี้

1. แบบจำลองเพื่อใช้คาดคะเนหรือพยากรณ์ (Predictive model) การจำลองเพื่อหวังผลในการคาดคะเนมีขั้นตอนยุ่งยากและต้องการข้อมูลที่สมบูรณ์ที่สุด เช่น การจำลองการคาดคะเนระดับน้ำหรือการแพร่กระจายของสารพิษในน้ำ แบบจำลองชนิดนี้จึงมีความจำเป็นจะต้องมีการปรับค่าตัวแปรและเปรียบเทียบผลการคำนวณกับข้อมูลจริง

2. แบบจำลองเพื่อใช้ศึกษาระบบโครงร่างของพื้นที่ (Interpretative model) ใช้เป็นเครื่องมือในการวางแผนระบบเก็บข้อมูล วิเคราะห์ระบบ หรือความสัมพันธ์ของข้อมูลของพื้นที่ แบบจำลองชนิดนี้จึงไม่มีความจำเป็นต้องมีการเปรียบเทียบผลการจำลองกับข้อมูลสนาม

3. แบบจำลองใช้วิเคราะห์ระบบการไหลในกรณีสมมุติในทางทฤษฎี (Hypothetical model) ช่วยในการตรวจสอบแนวทางในการศึกษาของสภาพพื้นที่ จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องนำผลการจำลองไปเปรียบเทียบกับข้อมูลสนาม

โปรแกรมจำลองการไหลของน้ำบาดาล MODFLOW

MODFLOW ใช้วิธีการเชิงตัวเลขแก้สมการการไหลของน้ำบาดาลแบบสามมิติด้วยวิธี Finite difference โปรแกรม MODFLOW ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย และง่ายต่อการปรับปรุงพัฒนา อีกทั้งยังสามารถเพิ่มชุดของโปรแกรมการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับการไหลของน้ำบาดาลได้ง่าย เช่น ชุดโปรแกรมการแพร่ของมลพิษในน้ำบาดาล เป็นต้น MODFLOW ที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้มีชื่อว่า MODFLOW–2000

โปรแกรม MODFLOW ต้นแบบได้รับการพัฒนาขึ้นโดย McDonald and Harbaugh (1984) MODFLOW เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดใหญ่ จึงต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก ทำให้ต้องมีการปรับปรุงตัวโปรแกรมหลายครั้ง ในครั้งที่ 2 และ 3 มีชื่อโปรแกรมว่า MODFLOW–88 (Mcdonald and Harbaugh, 1988) และ MODFLOW–96 (Harbaugh and Mcdonald, 1996) ต่อมาในครั้งล่าสุดได้รับการพัฒนาโดย U.S. Geological Survey (Harbaugh et al., 2000) ในการพัฒนาครั้งนี้โปรแกรม MODFLOW มีการพัฒนาออกเป็น 2 รูปแบบ คือ โปรแกรม MODFLOW ซึ่งใช้จำลองการไหลของน้ำบาดาล และ MOC3D ซึ่งใช้จำลองการแพร่กระจายของสารปนเปื้อนในน้ำบาดาล การบรรจุข้อมูลลงในโปรแกรม MODFLOW จำเป็นต้องกรอกข้อมูลจำนวนมาก ใน MODFLOW–2000 จึงออกแบบให้มีการกรอกข้อมูลในรูปของตัวแปร ทำให้ง่ายและสะดวกต่อการกรอกข้อมูล การกรองข้อมูลจะอยู่ในรูปของตัวแปรตัวคูณ และการแบ่งโซน ทำให้ง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงข้อมูลนำเข้าที่มีขนาดใหญ่ของโปรแกรม และง่ายต่อการปรับปรุงโปรแกรมในระหว่างการเปรียบเทียบค่ากับข้อมูลจริง

การสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Finite difference จะแบ่งพื้นที่คำนวณซึ่งมีขอบเขตชัดเจนออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมเรียกว่า Cell การแบ่ง Cell ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูล ความหนาแน่นของข้อมูล ความกว้างของกริดที่ติดต่อกันไม่ควรเกิน 1.5 เท่าของกริดข้างเคียง เพื่อให้ผลการคำนวณมีความผิดพลาดน้อย พื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็นแนวตั้ง (Column) แนวนอน (Row) และแนวดิ่ง (Layer) การแก้สมการทำโดยวิธี Matrix ร่วมกับ Numerical technique

สมการการไหลของน้ำบาดาลที่ใช้ในโปรแกรม MODFLOW (McDonald and Harbaugh, 1988, p. 1-2) มีรูปแบบดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right)+W=S_s\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (22)$$

ซึ่งเป็นสมการที่ได้มาจากสมการ 13 และ 16 ที่กำหนดมี Volumetric flux (W) เพิ่มเข้ามา ซึ่งอาจเป็น sink หรือ source เมื่อนำสมาการ 22 มารวมกับขอบเขตของแบบจำลองและค่าเริ่มต้นของแบบจำลอง และใช้วิธีการ Finite-difference คำนวณการไหลของน้ำบาดาลในแต่ละเซลล์โดยค่าที่ได้จากการคำนวณคือ ระดับของน้ำบาดาลในเซลล์ สมการการไหลของน้ำบาดาลของแต่ละเซลล์ด้วยวิธี Finite-difference คือ

$$CR_{i,j-\frac{1}{2},k}\left(h^m_{i,j-1,k}-h^m_{i,j,k}\right)+CR_{i,j+\frac{1}{2},k}\left(h^m_{i,j+1,k}-h^m_{i,j,k}\right) \quad (23)$$
$$+CC_{i-\frac{1}{2},j,k}\left(h^m_{i-1,j,k}-h^m_{i,j,k}\right)+CC_{i+\frac{1}{2},j,k}\left(h^m_{i+1,j,k}-h^m_{i,j,k}\right)$$
$$+CV_{i,j,k-\frac{1}{2}}\left(h^m_{i,j,k-1}-h^m_{i,j,k}\right)+CV_{i,j,k+\frac{1}{2}}\left(h^m_{i,j,k+1}-h_{i,j,k}\right)$$
$$+P_{i,j,k}h^m_{i,j,k}+Q_{i,j,k}=ss_{i,j,k}\left(DELR_j\times DELC_i\times THICK_{i,j,k}\right)\frac{h^m_{i,j,k}-h^{m-1}_{i,j,k}}{t^m-t^{m-1}}$$

โดยที่

h คือ ระดับน้ำบาดาลในเซลล์ i,j,k ในการคำนวณครั้งที่ m (ความสูง)

CV,CR, and CC คือ Hydraulic conductances ระหว่างเซลล์ (พื้นที่ต่อเวลา)

P คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของระดับน้ำในเซลล์จาการการเก็บกักและการสูญเสียน้ำของเซลล์ (พื้นที่ต่อเวลา)

Q คือ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าหรือออกจากเซลล์ (ลูกบาศก์ต่อเวลา)

SS คือ สัมประสิทธิ์การเก็บกัก (ต่อความสูง)

DELR คือ ความกว้างเซลล์ในแนวสดมภ์ (ความยาว)

DELC คือ ความกว้างเซลล์ในแนวของแถว (ความยาว)

THICK คือ ความหนาของเซลล์ (ความยาว)

t คือ ระยะเวลาของการคำนวณในแต่ครั้งที่คำนวณ (เวลา)

ค่า C ในสมาการเป็นค่าที่คำนวณได้จากการแปลงสมการการไหลของดาร์ซี่ (สมาการที่ 25) โดยที่ C คือ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าหรือออกเซลล์ระหว่างสองเซลล์หารด้วยความแตกต่างของระดับน้ำของทั้งสองเซลล์

$$Q=\frac{-KA(h_2-h_1)}{L} \quad (24)$$

$$C=\frac{Q}{h_2-h_1}=-KA \quad (25)$$

การเติมน้ำเทียม

การเติมน้ำเทียมลงสู่ชั้นน้ำมีรูปแบบโดยสรุป ดังนี้

1. การใช้แรงโน้มถ่วงของโลก สามารถแบ่งย่อยเป็น 2 วิธี ได้แก่ การใช้สระหรืออ่างเติมน้ำ และการเติมผ่านคูเติมน้ำ การใช้สระหรืออ่างเติมน้ำเป็นการเติมน้ำเทียมโดยเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมทางธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา ขุดสระน้ำให้เป็นพื้นที่เติมน้ำ และให้น้ำไหลซึมลงสู่ชั้นน้ำโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก น้ำที่ใช้เติมอาจจะมาจากน้ำฝนหรือแหล่งน้ำที่อยู่ใกล้เคียง น้ำที่เก็บไว้ในสระจะไหลซึมผ่านดินทรายลงสู่ชั้นน้ำอย่างช้า ๆ มีข้อดีคือ (1) สามารถเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำระดับตื้นชนิดไร้แรงดันและชั้นน้ำที่แห้ง (2) สระน้ำที่ขุดทำหน้าที่เป็นเสมือนพื้นที่เติมน้ำได้ตลอดเวลา น้ำที่เติมจะถูกกรองโดยชั้นดินและทรายที่อยู่เหนือชั้นน้ำโดยวิธีธรรมชาติ (3) ดูแลรักษาได้ง่ายกว่า และ (4) ดำเนินการง่ายและประหยัดพลังงาน ส่วนข้อเสียได้แก่ (1) ไม่เหมาะกับลักษณะชั้นน้ำมีแรงดัน (2) ทำให้เกิดปัญหาดินเค็มได้ (3) มีอัตราการระเหยสูญเสียน้ำที่นำมาใช้ในการเติมสูง (4) ต้องใช้พื้นที่ขนาดใหญ่และเสียค่าใช้จ่ายในการจัดการดินจำนวนมาก และ (5) มีอัตราการเติมน้ำช้ากว่าวิธีการแบบอัด อนึ่ง ลักษณะการเติมน้ำบาดาลเทียมแบบสระเติมยังสามารถแปลงรูปแบบเป็นชนิดให้น้ำท่วม (Flooding method) แบบอ่างเติม (Basin method) แบบคูน้ำธรรมชาติ (Natural method) และแบบการให้น้ำซลประทาน (Irrigation method) ได้

ส่วนการเติมผ่านคูเติมน้ำมีวิธีการคล้ายคลึงกับวิธีการใช้สระ แต่แตกต่างกันที่วิธีแรกใช้พื้นที่น้อยกว่า ร่องคูเป็นแนวยาว มีข้อดีคือ (1) ใช้พื้นที่ในการขุดสระน้ำไม่มากนัก เหมาะสมกับการใช้ในแหล่งชุมชน และ (2) ก่อสร้างได้ง่ายแม้พื้นที่จะเป็นกรวดและทราย มีข้อเสียคือ (1) ร่องน้ำที่ขุดจะเกิดการทรุดตัวง่าย และ (2) หากสร้างใกล้ ๆ กับอาคารหรือสิ่งก่อสร้างต้องระมัดระวังเกี่ยวกับการทรุดตัวของพื้นที่ ลักษณะการเติมแบบนี้สามารถแปลงรูปแบบเป็นคูหรือร่อง (Ditch หรือ Furrow method) แบบหลุมและปล่อง (Pit and Shaft method) และแบบคูใต้ดินเพื่อชักนำการเติมน้ำ (Underground trench method)

2. การใช้แรงดัน วิธีการที่ 1 ใช้การอัดน้ำผ่านบ่อที่มีอยู่ (Well injection method) เริ่มจากการเจาะบ่อน้ำและใช้แรงดันอัดน้ำลงไปในบ่อ เช่น การเติมน้ำในภาคใต้ของประเทศออสเตรเลีย เป็นต้น บ่อที่ใช้ควรมีความลึก 100-200 เมตร มีข้อดี คือ (1) เติมน้ำได้ในชั้นน้ำตื้นไร้แรงดันและมีแรงดันที่อยู่ลึกลงไป (2) อัดน้ำเพื่อป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็มได้ (3) สูบกลับขึ้นมาใช้จากอีกพื้นที่หนึ่งหรือในช่วงเวลาอื่นได้ และ (4) เติมน้ำได้มาก ส่วนข้อเสียได้แก่ (1) มักเกิดปัญหาการอุดตันของบ่อ และ (2) ต้องสร้างบ่อพักตะกอนของน้ำดิบที่ขุ่นก่อนอัดลงสู่ชั้นน้ำ วิธีการที่ 2 ใช้เติมน้ำระหว่างชั้นน้ำ (Inter-aquifer flow via deep well) ใช้การสูบน้ำจากบ่อน้ำระดับลึกขึ้นมาอัดกลับลงสู่ชั้นน้ำระดับตื้น ซึ่งประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสียหรือด้อยคุณภาพให้เป็นน้ำสะอาดได้

3. การเติมน้ำบาดาลเทียมแบบรวม เทคนิคการเติมน้ำบาดาลเทียมแบบรวมเป็นการเติมน้ำบาดาลเทียมโดยใช้บ่ออัดน้ำ (Well injection) ร่วมกับการเติมน้ำบาดาลเทียมด้วยระบบร่องคู (Furrow method) หรืออาจเป็นแบบ Well injection ร่วมกับ Basin method เป็นต้น

ในทวีปยุโรป การเติมน้ำเทียมเริ่มมีมาตั้งแต่ต้นคริสต์วรรษที่ 19 เช่นในประเทศสวีเดน Richert รายงานว่าในปี ค.ศ.1897 มีการสร้างอ่างเก็บน้ำในลักษณะคล้ายห้องหรือช่องที่เป็นกรวดและทรายไว้บริเวณข้าง ๆ และใต้ท้องแม่น้ำเพื่อช่วยในการซึมของน้ำจากแม่น้ำลงสู่ชั้นน้ำ ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำสำหรับสูบไปทำน้ำประปาของเมือง โครงการลักษณะเดียวกันนี้ได้แพร่หลายไปสู่เมืองอื่น ๆ ของประเทศสวีเดน รวมทั้งประเทศเยอรมันและเนเธอร์แลนด์ วิธี Infiltration basin ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งของระบบการทำน้ำประปาในหลาย ๆ เมืองของประเทศสวีเดน ผลการเติมน้ำเทียมแสดงในตาราง 3 ในประเทศเยอรมัน ในระยะเริ่มต้นจะใช้แบบสระและคูน้ำ ต่อมาจึงใช้แบบการอัดผ่านบ่อน้ำ โครงการส่วนใหญ่อยู่ตามแนวแม่น้ำ Lipps Main Rhine และ Rohr เนื่องจากคุณภาพน้ำในแม่น้ำดังกล่าวไม่ดีนัก รวมทั้งระดับน้ำบาดาลลดลงเนื่องจากการใช้น้ำของภาคอุตสาหกรรม ในประเทศเนเธอร์แลนด์มีการดำเนินการเติมน้ำเทียมแบบ Basin เพื่อเพิ่มปริมาณน้ำบาดาล ในขณะเดียวกันก็เพื่อป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็มบริเวณสันทรายในบริเวณเมืองอัมสเตอร์ดัม ไลเดน และเฮาส์

ในประเทศสหรัฐอเมริกาเริ่มดำเนินการในปลายคริสต์ศตวรรษที่ 19 และมีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ ในปี ค.ศ.1955 มีรายงานว่า ปริมาณการเติมน้ำเทียมในรัฐแคลิฟอร์เนียมีถึง 375 ล้านแกลลอนต่อปี การเติมน้ำเทียมแบบการกระจายมีทั้งวิธี Flooding basin วิธี Ditch furrow และการใช้ทางน้ำธรรมชาติ ปัญหาหลักคือการรักษาอัตราการซึมที่สูงไว้ได้อย่างไร ประเด็นปัญหาของการเติบโตของจุลินทรีย์ (Microbial growth) ปัญหาตะกอนที่มีกับน้ำ และปัญหา Surface compaction ซึ่งอาจแก้ไขโดยปลูกหญ้าหรือพืชเพื่อลดปริมาณตะกอนที่จะไหลลงมายังอ่างน้ำ ในขณะเดียวกันต้องมีช่วงเวลาที่ปล่อยให้อ่างแห้งเพื่อให้แสงแดดทำลายการเติบโตของจุลินทรีย์ นอกจากนี้ การอัดน้ำผ่านบ่อมีปัญหาในเรื่องสภาพชั้นน้ำ ฟองอากาศ แบคทีเรีย และปฏิกิริยาเคมีในน้ำที่เติมกับน้ำบาดาลที่มีอยู่เดิม จึงต้องสำรวจคุณภาพน้ำก่อนที่จะมีการเติมน้ำเทียม

ในประเทศญี่ปุ่นมีการเติมน้ำเทียมผ่านทุ่งนา แต่การเติมน้ำเทียมผ่านบ่อได้เริ่มดำเนินการคริสต์ศตวรรษที่ 19 ในปี ค.ศ.1939 โรงงานแห่งหนึ่งในเมือง Uwashima มีการทดลองอัดน้ำลงในบ่อเพื่อแก้ไขปัญหาการแย่งน้ำ ปี ค.ศ.1951 M. Braihers ได้ทดลองขุดบ่อในแม่น้ำ Amagasaki เพื่อลดการทรุดตัวของแผ่นดิน ในปี ค.ศ.1960 ใช้ความเย็นของน้ำบาดาลมาใช้ในระบบหล่อเย็นของโรงงานขนาดเล็กของเอกชน ในปี ค.ศ.1970 เป็นต้นมาเป็นโครงการของรัฐที่ใช้ป้องกันการ

ทรุดตัวของแผ่นดิน พื้นที่เติมน้ำเป็นชั้นทรายที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน 10^{-2} เซนติเมตรต่อนาที โดยมีอัตราการเติมระหว่าง 0.1-2.1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

ในประเทศออสเตรเลียได้มีการเติมน้ำในในรัฐทางตอนใต้ เนื่องจากในบริเวณดังกล่าวมีการขยายพื้นที่การเกษตรและน้ำผิวดินมีปริมาณน้อย การสูบน้ำบาดาลที่มากเกินไปทำให้เกิดการรุกล้ำของน้ำเค็มเข้าสู่ชั้นน้ำ การทดลองได้ใช้น้ำท่วมขังอัดลงสู่ชั้นน้ำซึ่งได้ดำเนินการมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1993 จนถึงปัจจุบัน ปริมาณน้ำที่อัดลงไปมีมากกว่า 50 ล้านลิตร ปัญหาการอุดตันในบ่อแก้ไข้โดยการปรับปรุงลักษณะของบ่อหรือการผสมแร่ Calcite

สำหรับประเทศไทย เคยมีการทดลองเติมน้ำเทียมผ่านบ่อน้ำในพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ณ ตำบลบางพูน อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี ในระหว่างเดือนมีนาคมถึงมิถุนายน พ.ศ. 2526 โดยใช้น้ำผิวดินจากคลองเชียงรากผ่านลงสู่บ่อน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ซม. ซึ่งท่อเซาะร่องมีความยาว 22 เมตร ที่ระดับความลึก 36-58 เมตรจากผิวดิน น้ำไหลลงด้วยอัตราเร็ว 17 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ระยะเวลาอัดน้ำสูงสุดได้ 192 ชั่วโมง การทดลองพบปัญหาการอุดตันเพราะว่าน้ำที่ใช้เติมมีความขุ่นสูง

ต่อมาในปี ค.ศ.1982 มีข้อเสนอแนะให้ทำการอัดน้ำเทียมลงสู่ชั้นน้ำในกรุงเทพมหานครเพื่อป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็ม นอกจากนี้ กรมทรัพยากรธรณีได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการเติมน้ำเทียมในบริเวณอำเภอเชียงของ จังหวัดเชียงราย โดยใช้น้ำจากแม่น้ำโขง การดำเนินการมีการเจาะบ่อน้ำและสูบทดสอบ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษายังไม่มีข้อมูลสรุปที่แน่ชัด รวมทั้งต้องมีการศึกษาความต้องการใช้น้ำทางการเกษตรและสภาพการไหลของแม่น้ำโขงมาประกอบก่อนการเติมจริง

กรมโยธาธิการดำเนินการโครงการทดลองการเติมน้ำฝนลงสู่ชั้นน้ำผ่านบ่อในพื้นที่บริเวณบ้านร้อยกองข้าว ตำบลพวกด้าง อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีการปรับปรุงหลังคาบ้านและรางรับน้ำฝนเพื่อนำน้ำฝนลงสู่ถังคอนกรีตเก็บน้ำ รวมทั้งติดตั้งระบบยกร่องบ่อเติมน้ำและเก็บข้อมูลจากบ่อสังเกตการณ์ในช่วงปี พ.ศ.2530-2533 อัตราการเติมน้ำผิวดินลงบ่อมีค่าประมาณ 7-15 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือปีละ 10,600 ลูกบาศก์เมตร ถ้าเติมด้วยน้ำฝนจะได้ประมาณ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือปีละ 44 ลูกบาศก์เมตร ปริมาณการเติมน้ำด้วยน้ำฝนมีค่าน้อยกว่าการเติมด้วยน้ำผิวดินเพราะว่าปริมาณน้ำธรรมชาติและฝนที่ตกไม่สามารถควบคุมได้ สำหรับคุณภาพน้ำในพื้นที่ทดลองพบว่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักระหว่างการทดลองและอยู่ในมาตรฐานน้ำบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภค

ตาราง 2 การเติมน้ำบาดาลในระยะเริ่มต้น

ลำดับ	ปี	ประเทศ	กิจกรรม
1	1810	สก๊อตแลนด์	สร้าง Infitration Basin บนเกาะกลางแม่น้ำ Grind เพื่อเพิ่มน้ำทำประปาเมือง Glassglow
2	1820	ฝรั่งเศส	สร้าง Spreading Pond ในเทืองนอร์รูสเพื่อให้แม่น้ำซึมลงมาทำน้ำประปา
3	1871	สหรัฐอเมริกา	บริษัทประปาเดมอนด์สร้าง Undreground Trench ในแม่น้ำรากูนและในปี ค.ศ.1908 สร้างสระซึมน้ำเพื่อเพิ่มน้ำ
4	1890	สหรัฐอเมริกา	บริษัทประปาเดนเวอร์สร้างสระซึมน้ำขนาด 20 เอเคอร์เพื่อให้น้ำซึมเพิ่มปริมาณการเก็บกัก
5	1890	อังกฤษ	เมืองลอนดอนนำน้ำจากแม่น้ำลีในฤดูหนาวมาเติมในบ่อบาดาลเพื่อเพิ่มปริมาณเก็บกัก
6	1897	สวีเดน	เมืองเกอร์เตปรอก สูบน้ำจากแม่น้ำโกตะเอฟระยะทาง 650 ฟุต มาเพื่อเติมในสระ 2 สระ เพื่อยกระดับน้ำบาดาลมาทำน้ำประปา
7	1899	ฝรั่งเศส	เมืองแนนซี่ฝั่ง Trench ลึก 6.6 ฟุต เพื่อให้น้ำแม่น้ำซึมลงชั้นน้ำบาดาลและนำมาใช้เพื่อการประปา
8	1908	เยอรมัน	เมืองฟรังเฟิร์ตสูบน้ำมาปรับปรุงและเติมน้ำลงชั้นน้ำบาดาลเพื่อยกระดับน้ำบาดาลให้สูงขึ้น
9	1921	สหรัฐอเมริกา	เมืองซันเบลนาดิโด ปล่อยน้ำจากแม่น้ำให้ซึมตามทุ่ง
10	1940	เนเธอร์แลนด์	เมืองโรเดินส์ดึงน้ำจากแม่น้ำโรสขณะคุณภาพน้ำดีมาเติมบริเวณชั้นทรายเพื่อใช้เติมในช่วงฤดูร้อน
11	1957	อิสราเอล	สูบน้ำจากแม่น้ำจอร์แดนและน้ำฝนเข้าสระบ่อบาดาลเพื่อให้เก็บกักไว้ใช้ในฤดูร้อน

ที่มาของแหล่งข้อมูล : บทความวิจัยงานสถาบันวิจัยโยธาประเทศญี่ปุ่น เลขที่ 1497 , กพ 1979

ตาราง 3 การทดลองเติมน้ำเทียมในต่างประเทศ

ประเทศ	จำนวนโครงการ	แบบบ่อ	แบบสระ	แบบผสม	แบบอื่นๆ
สหรัฐอเมริกา	34	20	7	6	1
อังกฤษ	30	28	2	-	-
เยอรมัน	16	-	13	3	-
สวิส	8	1	7	-	-
เนเธอร์แลนด์	6	-	6	-	-
อิสราเอล	6	6	-	-	-
ฝรั่งเศส	5	1	3	1	-
ญี่ปุ่น	4	4	-	-	-
ฮังการี	3	-	-	2	1
ออสเตรเลีย	2	-	2	-	-
อาฟริกาใต้	2	1	1	-	-
เชคโกฯ	1	-	1	-	-
อิหร่าน	1	1	-	-	-
เม็กซิโค	1	-	-	-	1
จาไมก้า	1	-	-	-	1
มอร์อคโค	1	-	-	-	1
รวม เปอร์เซ็นต์	121	64(52.8%)	42(34.7%)	12(10%)	3(2%)

ที่มาของแหล่งข้อมูล : (IAHS, Feb 1973)

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำใต้ดินสุโขทัย

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำใต้ดินสุโขทัยตั้งอยู่ในอำเภอสวรรคโลกและอำเภอศรีนคร จังหวัดสุโขทัย ในบริเวณที่ราบลุ่มระหว่างแม่น้ำยมและแม่น้ำน่าน เป็นโครงการชลประทานขนาดใหญ่ที่สูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เพื่อการเกษตรของประเทศไทย พื้นที่โครงการฯ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนเรียกว่า โซนที่หนึ่งและโซนที่สอง มีบ่อสูบน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 35 ซม. รวม 204 บ่อ สามารถส่งน้ำให้พื้นที่เกษตรกรรมได้ประมาณ 81,000 ไร่

จากการศึกษาแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลในอดีต โครงการสามารถสูบน้ำขึ้นมาใช้ได้ประมาณ 40 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลเสียต่อสมดุลของแหล่งน้ำบาดาล แต่ปริมาณดังกล่าวน้อยกว่าความต้องการใช้น้ำของเกษตรกรในพื้นที่โครงการฯ ซึ่งต้องการใช้น้ำประมาณ 60 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี (สุวิชา มณีขัติย์, 2542)

ดังนั้นในปี พ.ศ. 2539–2540 กรมชลประทานจึงได้ว่าจ้างบริษัทปัญญาคอนซัลแตนท์ให้ศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นของวิธีการเพิ่มศักยภาพของน้ำบาดาล (จินดา ภิรมย์พงศ์. 2540.) ผลการศึกษาแสดงวิธีการเพิ่มศักยภาพน้ำบาดาลในพื้นที่โครงการโดยการเจาะบ่อน้ำทดแทนจำนวน 180 บ่อ พร้อมทั้งเพิ่มขนาดเครื่องสูบน้ำ และเสนอให้มีการเติมน้ำเทียมให้กับแหล่งน้ำบาดาลด้วยวิธีการเติมจากแหล่งน้ำผิวดินที่ปล่อยให้ซึมลงไปตามธรรมชาติ แต่ยังได้ระบุว่าไม่มีพื้นที่ที่เหมาะสมในการเติมน้ำเทียมดังกล่าว นอกจากนี้ การติดตามวัดระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ตามแผนงานเครือข่ายบ่อสังเกตการณ์ (Monitoring network) ของโครงการฯ มากว่า 10 ปี พบว่าระดับน้ำในบ่อน้ำระดับตื้นมีระดับสูงขึ้นหลังจากมีฝนตกในพื้นที่ตอนเหนือของโครงการฯ ได้ประมาณ 3–4 สัปดาห์ ระดับน้ำในบ่อน้ำสูงขึ้นหลังจากฝนตกประมาณ 2 เดือน ดังนั้นน้ำฝนจึงเป็นแหล่งน้ำหลักในการเติมน้ำให้ชั้นน้ำของโครงการฯ (ฝ่ายสำรวจน้ำบาดาลเพื่อการชลประทาน, 2543 : 21.)

เมื่อพิจารณาร่วมกับทิศทางการไหลของน้ำบาดาลที่ไหลจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือไปสู่ทิศตะวันออกเฉียงใต้ จึงคาดว่าพื้นที่เติมน้ำของโซนที่หนึ่งอยู่ไม่ไกลจากพื้นที่โครงการฯ ซึ่งน่าจะอยู่ทางทิศเหนือและตะวันตกเฉียงเหนือของโครงการฯ จากการศึกษาในพื้นที่ดังกล่าวพบว่า มีชั้นตะกอนกรวดทรายในระดับตื้นประมาณ 5 เมตร และมีชั้นทรายหนา 13 เมตร เมื่อทำการสูบทดสอบพบว่าสามารถจ่ายน้ำได้ประมาณ 20 ลิตรต่อนาที ซึ่งมีค่า Transmissivity อย่างน้อย 700 ตารางเมตรต่อวัน ความสามารถในการซึมผ่านมีค่าสูงเพียงพอ และชั้นตะกอนกรวดทราย

ดังกล่าวมีความต่อเนื่องไปถึงบริเวณโซนที่หนึ่ง โดยมีทิศทางลาดลึกลงไปใต้ดินในทิศตะวันออกของที่ตั้งอำเภอสวรรคโลก อีกทั้งมีความหนาของชั้นทรายมากขึ้น (Saykawlar et al, 1999 : 223-227.)

แต่อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีการทดลองเติมน้ำจริงในพื้นที่ดังกล่าวเพราะว่าต้องใช้งบประมาณมากและใช้ระยะเวลาในการศึกษาผลกระทบ แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลจึงเป็นทางเลือกที่ถูกนำมาใช้ในการศึกษาผลกระทบเบื้องต้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการเติมน้ำเทียม

สำหรับการศึกษาในอดีตของพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำใต้ดินจังหวัดสุโขทัย (Howard Humphreys, 1989) ได้จำลองการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้และพบว่า ชั้นน้ำในพื้นที่โครงการฯ มีจำนวน 2 ชั้น ชั้นบนประกอบด้วยทรายและกรวดเป็นส่วนใหญ่ พื้นล่างของชั้นน้ำอยู่ลึก 65–75 เมตร และชั้นล่างประกอบด้วยดินเหนียวและทรายแป้งเป็นส่วนใหญ่ การศึกษานี้กำหนดอัตราการสูบน้ำขึ้นมาใช้คือ 90.5 และ 68.7 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี เมื่อสูบน้ำในอัตรา 90.5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปีติดต่อกันเป็นเวลา 10 ปี ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่โครงการฯ จะลดลง 36 เมตร และเมื่อสูบน้ำในอัตรา 68.7 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปีติดต่อกันเป็นเวลา 10 ปี ระดับน้ำบาดาลจะลดลง 30 เมตร ต่อมาบริษัทปัญญาคอนซัลแตนท์ จำกัด (จินดา ภิรมย์สุทธิพงศ์, 2540) ได้ศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นของวิธีการเพิ่มศักยภาพของโครงการฯ พบว่า ชั้นน้ำประกอบด้วยทรายและดินเหนียวแทรกสลับกันอยู่ ชั้นหินฐานรากบริเวณทางเหนือและตะวันออกอยู่ในระดับตื้น แต่บริเวณตอนกลางของพื้นที่ไม่ทราบความลึกของฐานราก และได้แนะนำวิธีการเพิ่มศักยภาพของแหล่งน้ำบาดาลไว้ 2 วิธีคือ (1) การเติมน้ำเทียมโดยผ่านบ่อน้ำจำนวน 44 บ่อ และ (2) สร้างบ่อน้ำใหม่จำนวน 180 บ่อ ซึ่งต้องใช้งบประมาณดำเนินการเริ่มแรก 4,470 ล้านบาท

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Premchitt and Das Gupta (1981. pp. 673-685) ได้ทำการศึกษาพัฒนาแบบจำลองการทรุดตัวของแผ่นดินจากการสูบน้ำบาดาลในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยใช้แบบจำลองการไหลของน้ำบาดาลแบบสามมิติ มีชั้นน้ำจำนวน 3 ชั้น แต่ไม่ประสบความสำเร็จเนื่องจากมีปัญหาเกี่ยวกับการไหลของน้ำบาดาลผ่านชั้นทึบน้ำ เพื่อแก้ปัญหานี้ผู้ศึกษาจึงได้สร้างสมการการไหลของน้ำบาดาลขึ้นมาใหม่และรวมชั้นน้ำทั้ง 3 ชั้นให้เป็นชั้นเดียวกัน ผลการวิจัยแสดงว่า หากพื้นที่ศึกษายังคงมีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในอัตราคงที่จะทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการรุกล้ำของน้ำเค็มภายในระยะเวลา 20 ปี โดยในปี

ป
TD
403
จ136ก
2547

4740232

28 มิ.ย. 2547

สำนักหอสมุด

ค.ศ. 2000 ระดับน้ำจะอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดิน 80–100 เมตร และจะเกิดการทรุดตัวของแผ่นดินบริเวณเขตบางนาประมาณ 0.70 เมตร ในปี ค.ศ. 1979 และจะทรุดตัวมากกว่า 2 เมตร ในปี ค.ศ. 2000 ทำให้พื้นที่บริเวณนี้อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 1 เมตร

Koontanakulvong (1999. pp. 228-237) พบว่าการพัฒนาทางด้านเศรษฐศาสตร์สังคมและอุตสาหกรรมทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีการใช้น้ำบาดาลกันมากขึ้น จนทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงในระยะยาว ในขณะที่อัตราการเติมน้ำเข้าสู่ชั้นน้ำยังคงเดิม ผลการทดลองเติมน้ำเทียมชนิดปล่อยให้ซึมลงตามธรรมชาติแสดงว่า อัตราการเติมน้ำมีความสัมพันธ์กับขนาดของเม็ดกรวดทรายและดินและการกระจายตัว การเติมน้ำในห้องปฏิบัติการแตกต่างจากการเติมในจังหวัดกำแพงเพชร โดยมีความสัมพันธ์กัน 0.8-1.2 แบบจำลองในห้องปฏิบัติการต้องมีความยาวไม่น้อยกว่าร้อยละ 40 ของความหนาของชั้นน้ำจริงจึงจะนำมาใช้ในพื้นที่จริงได้ ความชื้นในดินและคุณสมบัติของน้ำที่ใช้เติมทำให้อัตราการเติมน้ำบาดาลในห้องปฏิบัติการแตกต่างจากพื้นที่จริงร้อยละ 20

ชัยยุทธ์ สุขศรี และสุจริต คูณธนกุลวงค์ (2541) ได้ทดลองเติมน้ำเทียมที่จังหวัดกำแพงเพชรในโครงการทดสอบการอนุรักษ์และฟื้นฟูน้ำใต้ดินบริเวณจังหวัดกำแพงเพชร โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก การเติมน้ำเทียมผ่านบ่อมีอัตราการเติมในระยะยาว 3.96 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่วนการเติมน้ำแบบปล่อยซึมจากผิวดินลงสู่ชั้นน้ำมีอัตรา 0.34 เซนติเมตรต่อนาที

Rahman et al (1969. pp. 641-646) ศึกษาการจำลองการเติมน้ำเทียมโดยใช้การเติมผ่านบ่อน้ำ น้ำมีส่วนผสมของ Bentonite และ Kaolinite ต่างกันคือ 100, 200 และ 500 ppm พบว่า ค่าเฉลี่ยของอัตราการเติมน้ำเทียมเท่ากับ 1,050 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที แต่อัตราการเติมน้ำเทียมลดลงไปเมื่อมีปริมาณตะกอนมากขึ้น การทดลองนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านเฉลี่ยเท่ากับ 107 ฟุตต่อวัน เมื่อนำน้ำที่มีตะกอนเติมลงในแบบจำลองพบว่าที่อัตราส่วน 500 ppm ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านลดลงร้อยละ 45 และลดลงร้อยละ 20 และ 30 เมื่อใช้น้ำที่มีตะกอนผสมอยู่ 100 และ 200 ppm อีกทั้งพบว่าร้อยละ 80–90 ของตะกอนจะไหลออกมาพร้อมกับน้ำที่ออกจากแบบจำลองส่วนตะกอนที่หายไปนั้นเป็นตะกอนที่มีขนาดใหญ่ซึ่งตกค้างอยู่รอบบ่อน้ำ เมื่อทดสอบด้วยระยะเวลานานขึ้นพบว่า ปริมาณตะกอนที่ปนอยู่กับน้ำที่ออกจากแบบจำลองลดลง

McWhorter and Brookman (1972. pp. 6-11) ศึกษาการเติมน้ำเทียมโดยใช้วิธีการขุดเหมือง วิธีนี้มักใช้กับบริเวณที่ผิวดินมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านต่ำ โดยต้องขุดชั้นผิวหน้าดินออกเพื่อให้น้ำที่ใช้เติมไหลผ่านเข้าสู่ชั้นกรวดทราย ทำให้ประสิทธิภาพของการเติมน้ำเทียมสูงขึ้น อัตราการเติมน้ำเทียมที่สูงขึ้นนั้นจะแปรผันตรงกับพลังงานศักย์ที่เกิดจากความลึกของเหมือง และความลึกที่ขุดลงไปในชั้นทราย อัตราการเติมมีค่าเท่ากับ 950 แกลลอนต่อวันต่อความลึกที่ขุดลงไปในชั้นกรวดทราย 1 ฟุต

Brown and Signor (1972. pp. 132-149) พบว่าความต้องการใช้น้ำบาดาลที่มากขึ้นทำให้มีความสนใจที่จะเติมน้ำเทียมกันมากขึ้น ในประเทศแมกซิโกและมลรัฐเท็กซัสของประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่า เมื่อน้ำที่ใช้ในการเติมมีตะกอนมาก ผิวหน้าของพื้นที่เติมน้ำจะเกิดการอุดตัน การเติมน้ำเทียมเข้าสู่ระบบน้ำบาดาลจึงต้องมีการดูแลสถานที่เติมน้ำเป็นอย่างดี สภาพของพื้นที่เติมน้ำจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณภาพของน้ำที่ใช้เติม โดยเฉพาะการเติมแบบผ่านบ่อน้ำบาดาล ต้องคำนึงถึงการออกแบบบ่อที่ใช้เติม แหล่งน้ำ คุณภาพน้ำ และการปรับปรุงคุณภาพ ส่วนใหญ่แล้วการเติมน้ำเทียมมักใช้หลายวิธีร่วมกันเพื่อประหยัดและคุ้มทุน

Nightigale and Bianchi (1973. pp. 36-43) พบว่า การนำไฟฟ้าของน้ำบาดาลลดลงจาก 140 μmhos/cm เป็น 87 μmhos/cm ปริมาณคลอไรด์และไนเตรตลดลงอย่างมาก เนื่องจากมีการเติมน้ำเข้าระบบน้ำบาดาลมาก ปริมาณเกลือในดินลดลง แต่ความเค็มของน้ำเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลต่อสภาพทางเคมีของน้ำบาดาลและดิน ในบริเวณสระที่ใช้เติมน้ำพบว่า มีการเกิดระบบนิเวศใหม่ซึ่งเป็นระบบนิเวศแบบพื้นที่ชุมน้ำ เมื่อระบบนิเวศเปลี่ยนไปก็จะเกิดผลกระทบต่อพื้นที่ใกล้เคียงด้วย ต่อมา Nightigale and Bianchi (1977. pp. 15-21) ได้ศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากการเติมน้ำเทียมที่เมือง Fresno มลรัฐ California ที่มีการเติมน้ำผิวดินคุณภาพดีลงสู่ชั้นน้ำจำนวนมากในช่วงปี ค.ศ. 1971-1975 พบว่า คุณภาพน้ำบาดาลด้อยลง ค่าการนำไฟฟ้าลดลงจากปกติร้อยละ 2.9 ปริมาณไนเตรตลดลงจากปกติร้อยละ 7.5 ความเค็มของน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นเนื่องจากการ ชะล้างชั้นดินของน้ำที่ใช้ในการเติม

Reynolds and Spruill (1995. pp. 741-748) ได้ใช้โปรแกรม MODFLOW จำลองการสูบน้ำบาดาลจากชั้นน้ำ เพื่อลดระดับน้ำบาดาลในการทำเหมืองในมลรัฐ Carolina พบว่าต้องสูบน้ำบาดาลในอัตรา 4.5 ล้านแกลลอนต่อวันเป็นอย่างน้อยจึงจะสามารถขุดเหมืองได้ หากมีการสูบในอัตราเช่นนี้จริงจะทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบประปาของเมืองใกล้เคียงคือระดับน้ำจะลดลงประมาณ 20–30 ฟุต

Sukhija et al. (1997. pp. 161-165) ได้ศึกษาผลของการเติมน้ำเทียมโดยวิธี Percolation tanks ในพื้นที่หินแข็งของประเทศอินเดียซึ่งได้ปล่อยคลอไรด์ลงไปกับน้ำ น้ำจาก Percolation tanks เฉลี่ยร้อยละ 30 – 35 ไหลเติมเข้าสู่ชั้นน้ำ มีอัตราการเติม 750 ลูกบาศก์เมตรต่อถังต่อวัน ซึ่งมากกว่าอัตราการเติมแบบผิวดิน เนื่องจากเป็นการป้องกันการระเหยของน้ำได้ดี

Vidanaachchi et al. (1998. pp. 161-166) ศึกษาที่ตั้งที่เหมาะสมของบ่อสูบน้ำบาดาลและอัตราการสูบที่เหมาะสมเมื่อมีการเติมน้ำบาดาลเทียมแบบ Infiltration Galleries ซึ่งมีความยาว 1,250 เมตร สามารถเติมน้ำบาดาลเทียมได้ 2,000 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เมื่อนำระบบนี้จำนวน 4 ชุด มาต่อกันเป็นรูปสี่เหลี่ยม จะได้ระบบปิดเพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับบริเวณใกล้เคียงด้วยการใช้แบบจำลอง A 3-D ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของสารแขวนลอยในน้ำบาดาลได้ การศึกษาพบว่าสามารถตั้งบ่อสูบน้ำบาดาลในเขตพื้นที่ได้มากที่สุดจำนวน 10 บ่อสูบ และสามารถสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ได้ 11,376 ลูกบาศก์เมตรต่อวันต่อบ่อเป็นเวลา 60 วันโดยไม่เกิดผลกระทบต่อพื้นที่นอกระบบ