บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พื้นที่ราบภาคกลางเป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่สำคัญของประเทศ และมีการขยายตัวของภาคธุรกิจ อุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง ความต้องการใช้น้ำในพื้นที่ดังกล่าวจึงเพิ่มสูงขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ แหล่งน้ำที่สำคัญสำหรับพื้นที่นี้ นอกจากฝน ก็คือแม่น้ำสายหลัก 5 สาย ได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำน้อย แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำลพบุรีและแม่น้ำป่าสัก รวมทั้งระบบชลประทานที่ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของที่ราบภาคกลาง นอกจากนั้นในหลายพื้นที่ น้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งโดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเขื่อนเก็บน้ำไว้ใต้ดินสำหรับพื้นที่ลุ่มภาคกลาง และบทบาทของน้ำใต้ดินก็มีแนวโน้มเพิ่มมากยิ่งขึ้น อันจะสังเกตได้จากปริมาณการขุดเจาะบ่อน้ำใต้ดินที่มีเพิ่มมากขึ้นทุกปี

สถานการณ์ดังกล่าวนี้ เป็นมูลเหตุให้เกิดการศึกษาและวางแผน แนวทางการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในแง่ของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ในส่วนของน้ำผิวดินและระบบชลประทานนั้น สามารถทำการวิเคราะห์วางแผนได้โดยทราบปริมาณน้ำต้นทุนได้ชัดเจนพอสมควร เนื่องจากมีระบบเขื่อนและการชลประทานต้นน้ำอย่างเป็นระบบ หากแต่สำหรับการวางแผนจัดการแหล่งน้ำใต้ดินนั้น มีข้อจำกัดอยู่มากเกี่ยวกับการจำลองสภาพการไหล การประเมินศักยภาพของแหล่งน้ำที่มีอยู่และปริมาณการใช้น้ำใต้ดินที่เหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยและผลกระทบในด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น ผลการลดระดับน้ำใต้ดิน การทรุดตัว ปริมาณน้ำที่ไหลสู่ชั้นน้ำด้านท้ายน้ำอันได้แก่ชั้นน้ำในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล ซึ่งมีปริมาณความต้องการใช้น้ำสูงมาก ดังนั้นการศึกษาศักยภาพของแหล่งน้ำใต้ดินจึงเป็นประเด็นสำคัญอันจะนำไปสู่การวางแผนจัดการลุ่มน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการประเมินศักยภาพของแหล่งน้ำใต้ดินเป็นเรื่องสลับซับซ้อน การสร้างแบบจำลองทางกายภาพเพื่ออธิบายการไหลของน้ำใต้ดินในลุ่มน้ำขนาดใหญ่ดูจะเป็นเรื่องเกินจริงอยู่มาก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงเป็นทางออกที่เหมาะสมที่สุด และก็ได้มีการพัฒนาแบบจำลองมายาวนาน ปัจจุบันมีการพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานสะดวกมากมาย แต่ถึงกระนั้นความยุ่งยากต่อปัญหานี้ก็ยังคงอยู่ในส่วนของการพยายามสร้างแบบจำลองให้เหมาะสม การรวบรวมข้อมูล และการประเมินค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบชั้นน้ำใต้ดิน อาทิเช่น ค่าระดับน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลในชั้นน้ำ และปริมาณการใช้น้ำใต้ดินทั้งในปัจจุบันและในอดีต

การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะสร้างกระบวนการในการวิเคราะห์ ประเมินค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อพัฒนาการจำลองให้มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือ เพื่อจำลองการไหลของชั้นน้ำใต้ดินสำหรับพื้นที่ด้านบนของที่ราบภาคกลางตอนล่าง แล้วทำการวิเคราะห์ผลที่ได้อันจะเป็นเครื่องมือนำไปสู่การทำความเข้าใจต่อทรัพยากรแหล่งน้ำใต้ดิน และเป็นแนวทางในการจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำภาคกลาง ซึ่งเป็นอู่ข้าวอู่น้ำของเกษตรกรไทยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

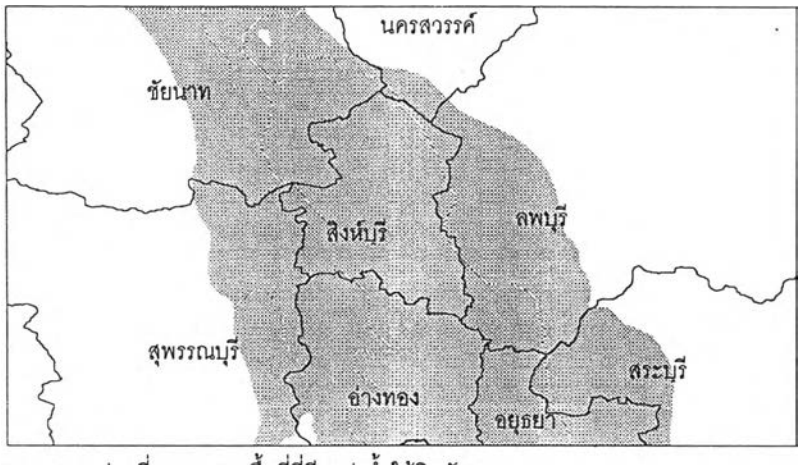
1. ประเมินอัตราการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา
2. พัฒนาการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินสำหรับพื้นที่ศึกษา
3. หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองที่เหมาะสม
4. ศึกษาสมดุลของระบบน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมบริเวณด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง และเป็นพื้นที่ที่ยังไม่เคยมีการศึกษาวิเคราะห์ หรือรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ และจำลองพฤติกรรมการไหลของน้ำใต้ดินมาก่อน การศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 10,000 ตารางกิโลเมตร ของจังหวัด สุพรรณบุรี สิงห์บุรี อ่างทอง ชัยนาท นครสวรรค์ ลพบุรี สระบุรีและพระนครศรีอยุธยา ในบริเวณที่ชั้นน้ำมีศักยภาพในการให้น้ำได้สูง ได้แก่ชั้นน้ำในตะกอนลุ่มน้ำ (Flood Plain Aquifer; Qcp) และชั้นน้ำในตะกอนตะพักลุ่มน้ำใหม่ (Younger Terrace Aquifer; Qcr) ดังแสดงในรูปที่ 1-1 ส่วนที่เป็นพื้นที่แรเงา การศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมชั้นน้ำในพื้นที่ศึกษา 4 ชั้น ซึ่งชั้นน้ำชั้นแรกมีความหนาประมาณ 50 เมตร โดยมีชั้นดินเหนียวปิดทับด้านบนและคั่นระหว่างชั้นน้ำ ส่วนชั้นน้ำอื่น ๆ มีความหนาแต่ละชั้นตั้งแต่ 30 – 100 เมตร (สุจริต และคณะ, 2545)

ประเด็นสำคัญในการศึกษาครั้งนี้คือการพัฒนากระบวนการในการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน รวมทั้งการออกแบบวิธีการและวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลเพื่อพัฒนาการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 - 2544 แล้วทำการวิเคราะห์ผลการจำลองสภาพการไหล ระบบสมดุลของชั้นน้ำใต้ดิน และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับน้ำใต้ดินกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการทำความเข้าใจ และวางแผนจัดการทรัพยากรแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษานี้ต่อไป

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา จะใช้ข้อมูลจากการรวบรวมจากหน่วยงานราชการหรือการศึกษาในพื้นที่ใกล้เคียงเท่าที่มี และทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมในภาคสนามเกี่ยวกับ การตรวจวัดระดับน้ำ การสูบทดสอบ และพฤติกรรมการใช้น้ำของประชาชน ส่วนการเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับพื้นที่ศึกษาอาศัยการประยุกต์ใช้โปรแกรม GMS รุ่นที่ 3.1 และMODFLOW 96 เพราะได้มีการใช้แบบจำลองชุดนี้ในการศึกษาที่ผ่านมาในพื้นที่ใกล้เคียง แล้วปรับเทียบผลการจำลองกับข้อมูลระดับน้ำที่ทำการเก็บรวบรวมในปี พ.ศ. 2542 – 2544 และข้อมูลบ่อน้ำใต้ดินย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ. 2532 – 2542)



หมายเหตุ ส่วนที่แรเงาแสดงพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำใต้ดินศักยภาพสูง

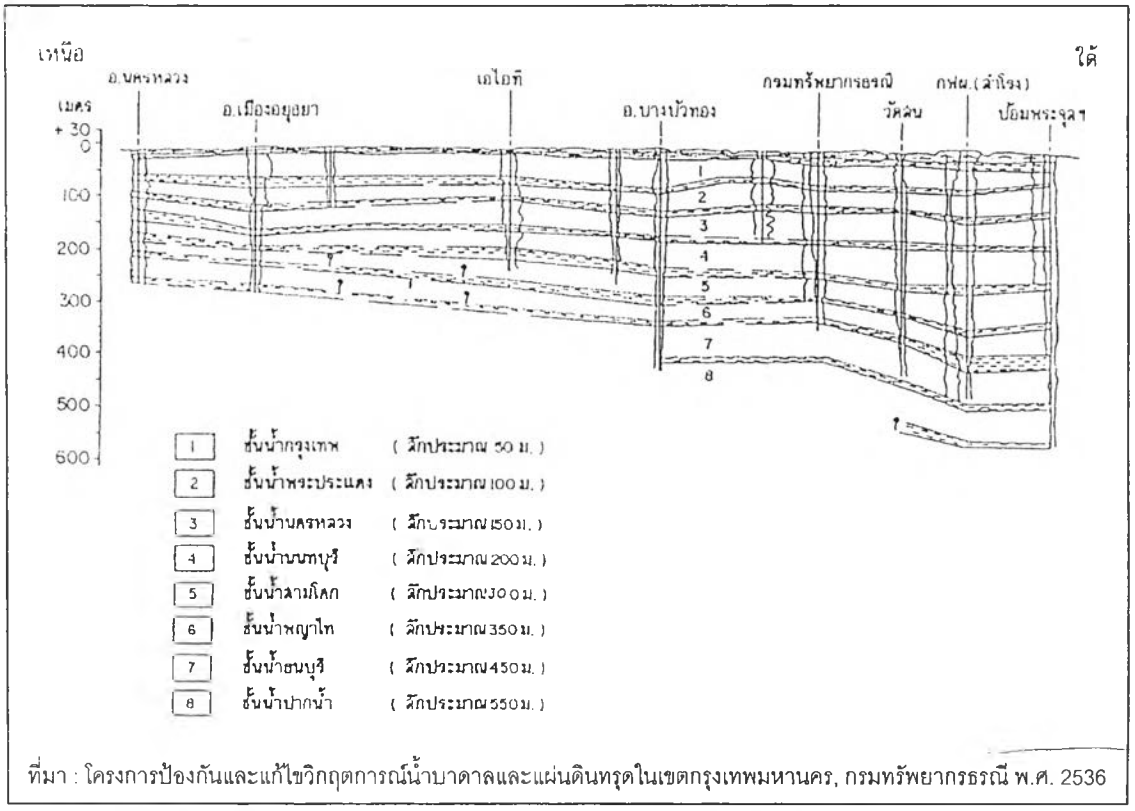
รูปที่ 1-1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

1.4 การศึกษาที่ผ่านมา

การทบทวนการศึกษาต่าง ๆ ในการศึกษาครั้งนี้ จำแนกออกตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้เป็น 5 ส่วน ได้แก่ การศึกษาด้านอุทกธรณีวิทยา การศึกษาที่เกี่ยวกับการประเมินค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ของน้ำใต้ดิน การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินปริมาณน้ำที่เติมให้แหล่งน้ำใต้ดิน การศึกษาเกี่ยวกับการประเมินปริมาณการใช้น้ำใต้ดิน และการศึกษาเกี่ยวกับการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน การศึกษาที่ผ่านมาในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 ด้านอุทกธรณีวิทยา

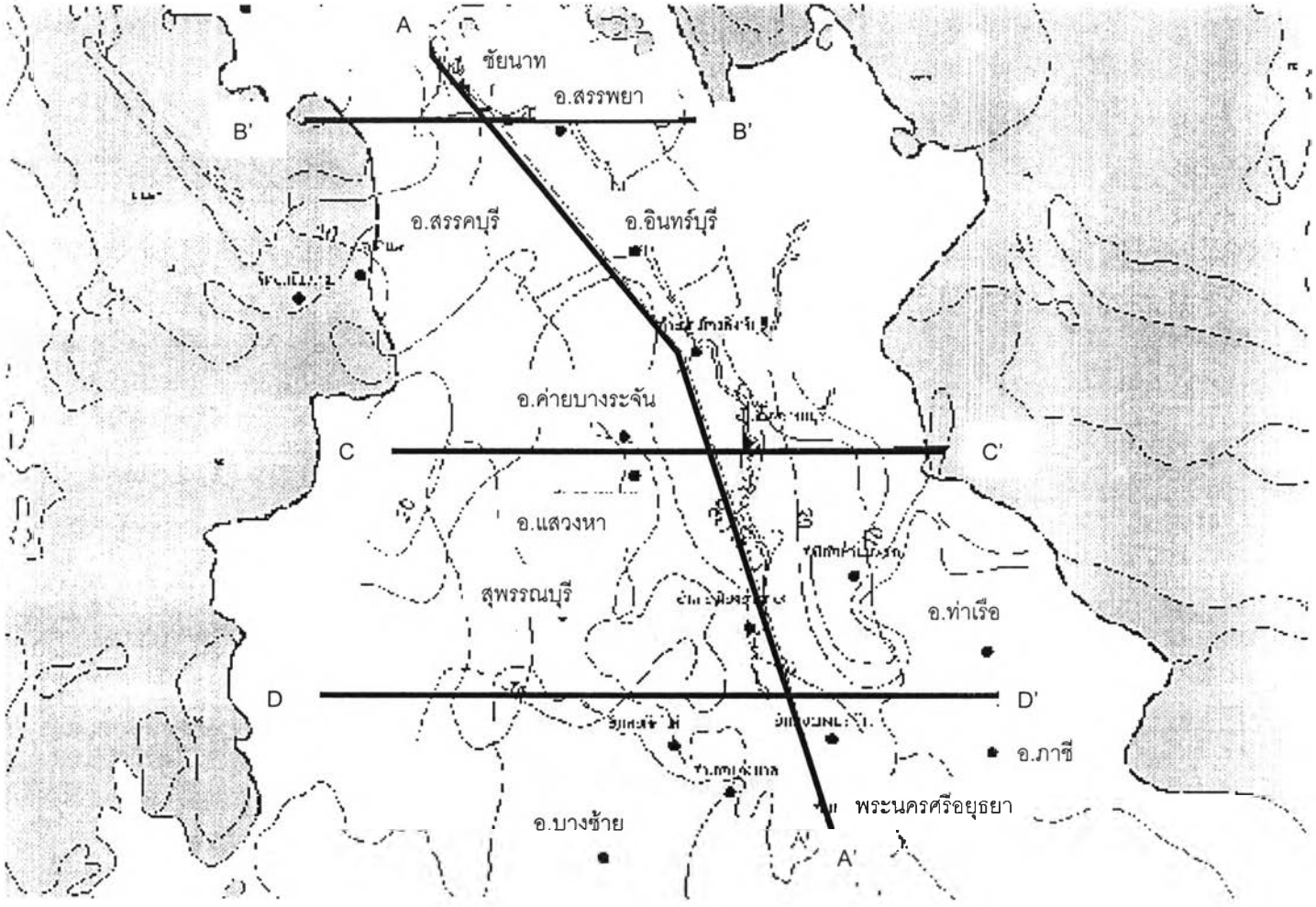
กรมทรัพยากรธรณี, 2542 ศึกษาบริเวณที่ราบภาคกลางพบว่าเป็นแหล่งน้ำใต้ดินที่เกิดจากตะกอนกรวดทรายและดินสะสมกันอยู่เป็นชั้น ๆ ระหว่างชั้นของตะกอนกรวดทรายซึ่งมีที่ว่างสำหรับกักเก็บน้ำใต้ดิน ถูกคั่นด้วยดินเหนียวเป็นชั้นกั้นน้ำ จากการศึกษาของกองน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณีโดยใช้ข้อมูลจากการทดสอบด้วยเครื่องหยั่งธรณี (Well Logging Techniques) เป็นเกณฑ์ประกอบกับข้อมูลจากการเจาะบ่อน้ำใต้ดิน และอาศัยหลักการว่า ในชั้นน้ำแต่ละชั้นต้องไม่มีความสัมพันธ์เชิงชลศาสตร์กับชั้นน้ำอื่น และมีการแผ่ขยายไปในแนวราบอย่างกว้างขวางโดยมีคุณสมบัติทางอุทกธรณีวิทยาเฉพาะตัว ทำให้สามารถจำแนกชั้นน้ำใต้ดินในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลซึ่งเป็นพื้นที่ต่อเนื่องทางทิศใต้ของพื้นที่ศึกษาจากระดับผิวดินลงไปจนถึงความลึกประมาณ 650 เมตร ได้เป็น 8 ชั้น ดังรูปที่ 1-2 ได้แก่ ชั้นน้ำกรุงเทพ ชั้นน้ำพระประแดง ชั้นน้ำนครหลวง ชั้นน้ำนนทบุรี ชั้นน้ำสามโคก ชั้นน้ำพญาไท ชั้นน้ำธนบุรี และชั้นน้ำปากน้ำ



ที่มา : โครงการป้องกันและแก้ไขวิกฤตการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดในเขตกรุงเทพมหานคร, กรมทรัพยากรธรณี พ.ศ. 2536

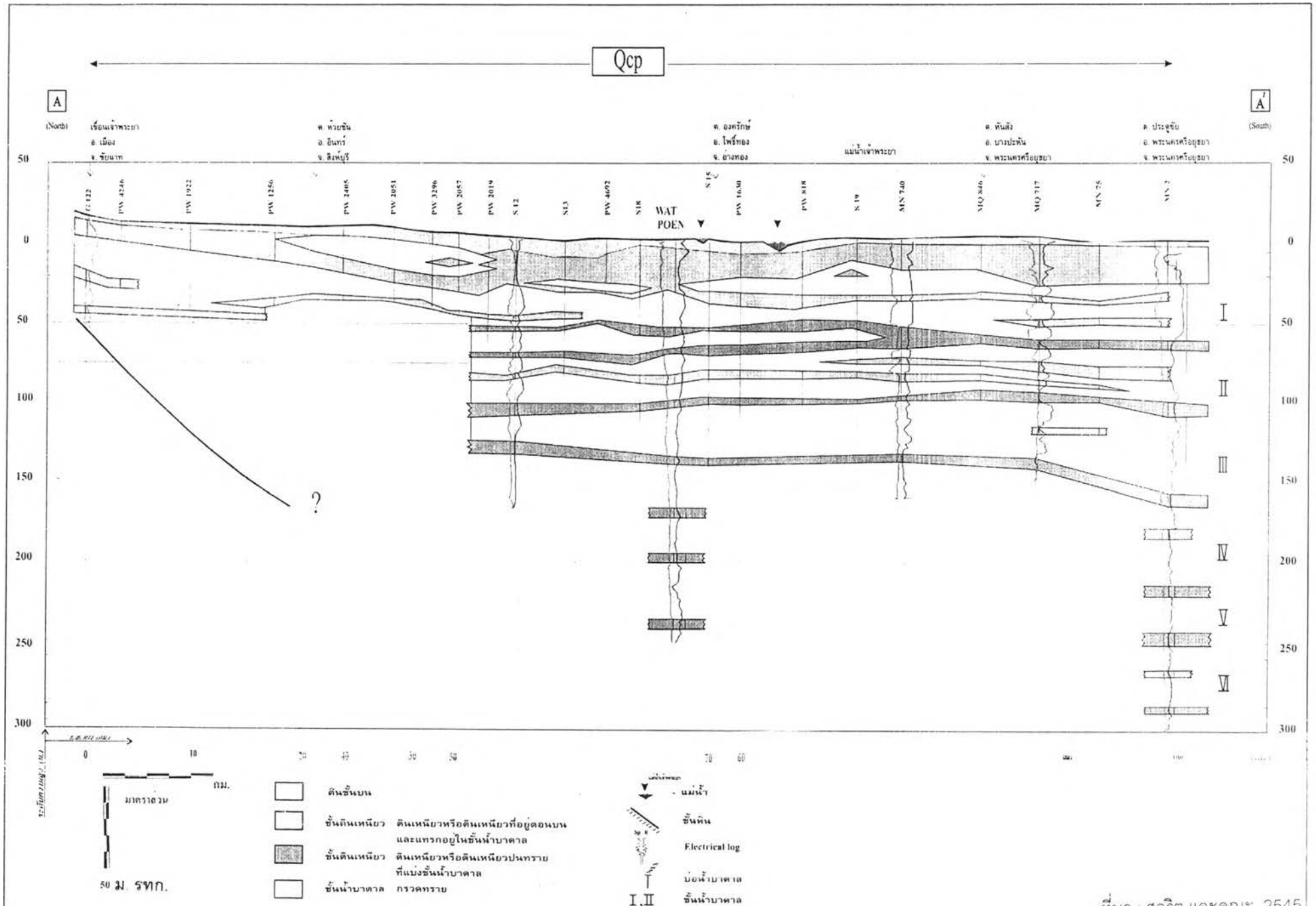
รูปที่ 1-2 รูปตัดแนวเหนือ-ใต้ แสดงชั้นน้ำใต้ดินบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

สุจริต และคณะ, 2545 ศึกษาสภาพธรณีวิทยา และอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง พบว่าพื้นที่ศึกษาประกอบไปด้วยแหล่งน้ำใต้ดินที่เกิดอยู่ในชั้นหินร่วนของตะกอนลำน้ำ (Flood Plain, Qcp) วางตัวอยู่ในพื้นที่กลางแอ่งขนานไปกับทั้ง 2 ฝั่งของลำน้ำเจ้าพระยา และในบริเวณที่เป็นตะกอนตะพักลุ่มน้ำต่ำ (Young Terrace, Qcr) ซึ่งปรากฏให้เห็นอยู่ในบริเวณขอบแอ่งทั้งสองข้าง ชั้นน้ำใต้ดินภายใต้ตะกอนลำน้ำและตะพักลุ่มน้ำ ชั้นน้ำใต้ดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ มีลักษณะและชนิดของตะกอนแตกต่างกันออกไปในแต่ละบริเวณ ผลการศึกษาสามารถจำแนกชั้นน้ำใต้ดินในช่วงความลึก 0 – 200 เมตร ที่มีข้อมูลทางธรณีฟิสิกส์ และประวัติบ่อน้ำใต้ดิน ออกเป็น 4 ชั้น ซึ่งมีความลึกเฉลี่ยประมาณ 30 50 80 และ 120 เมตรจากผิวดินตามลำดับ และแสดงเป็นแผนที่รูปตัดขวางในแนวเหนือ-ใต้ (A-A′) และในแนวตะวันออก-ตะวันตก (B-B′, C-C′, D-D′) ได้ดังรูปที่ 1-3



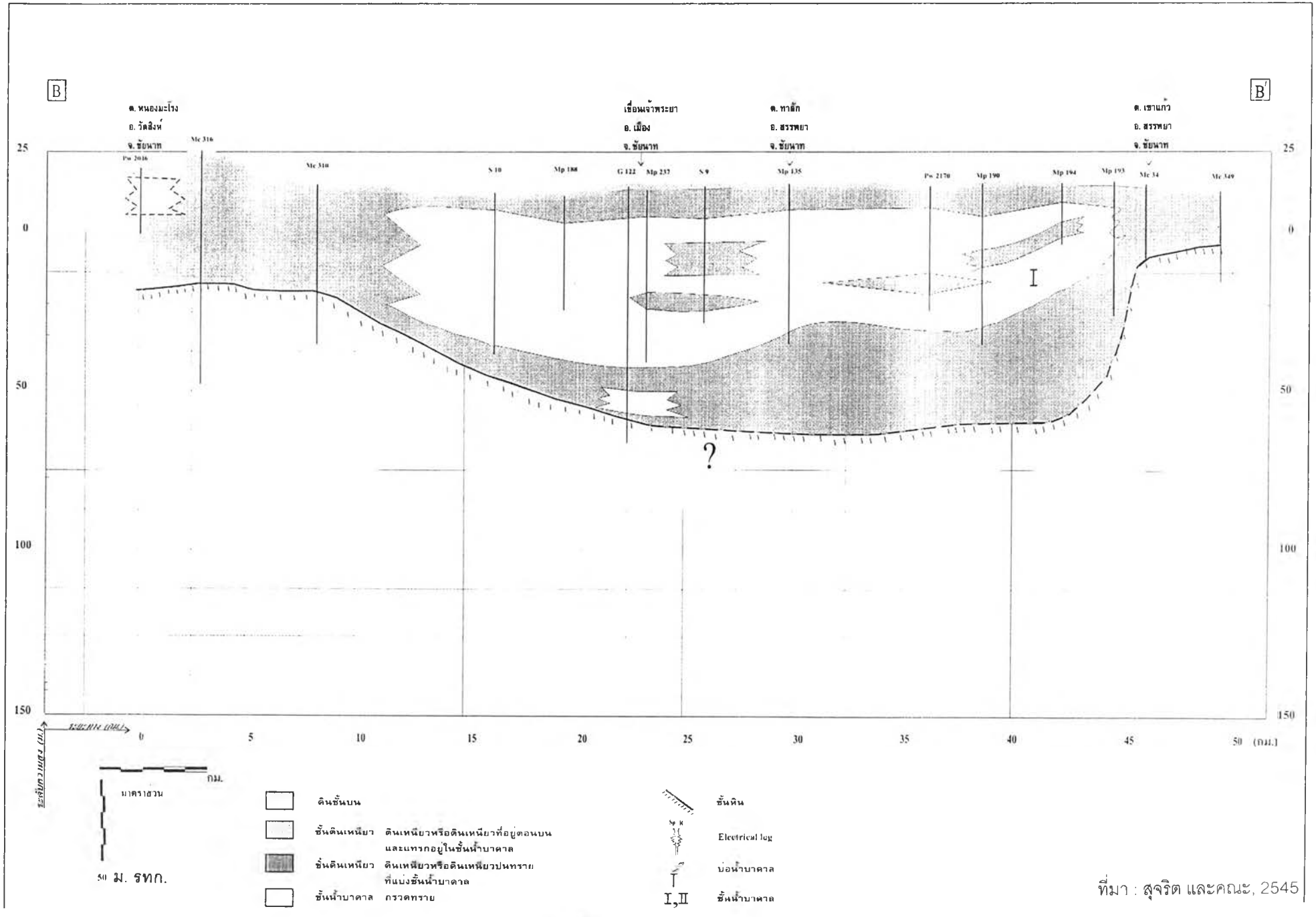
รูปที่ 1-3 รูปตัดแสดงชั้นน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา

(ก) แนวภาพตัดขวาง A-A′, B-B′, C-C′ และ D-D′



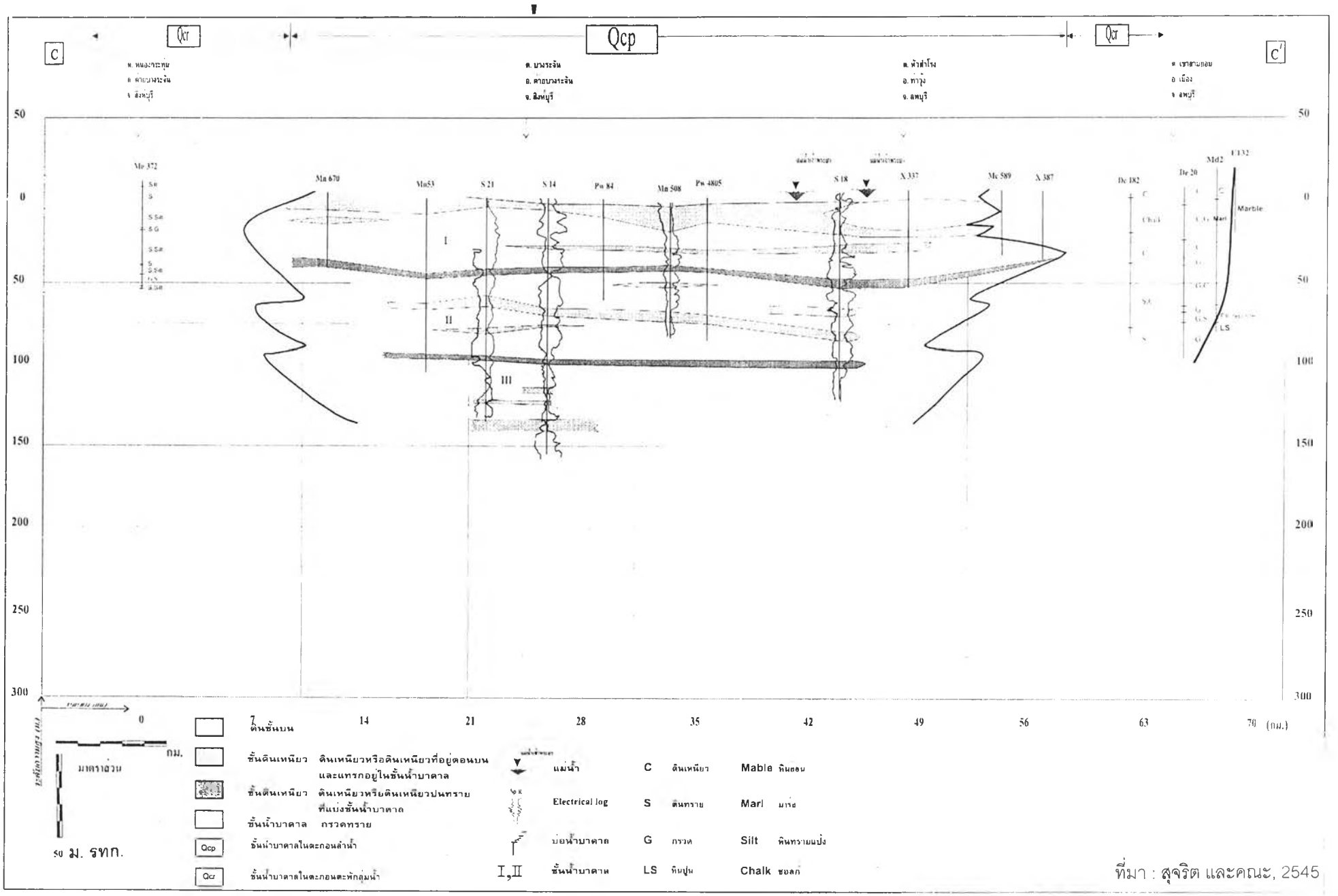
ที่มา : สุจริต และคณะ, 2545

รูปที่ 1-3 รูปตัดแสดงชั้นน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา (ข) ภาพตัดขวางแนว A-A′



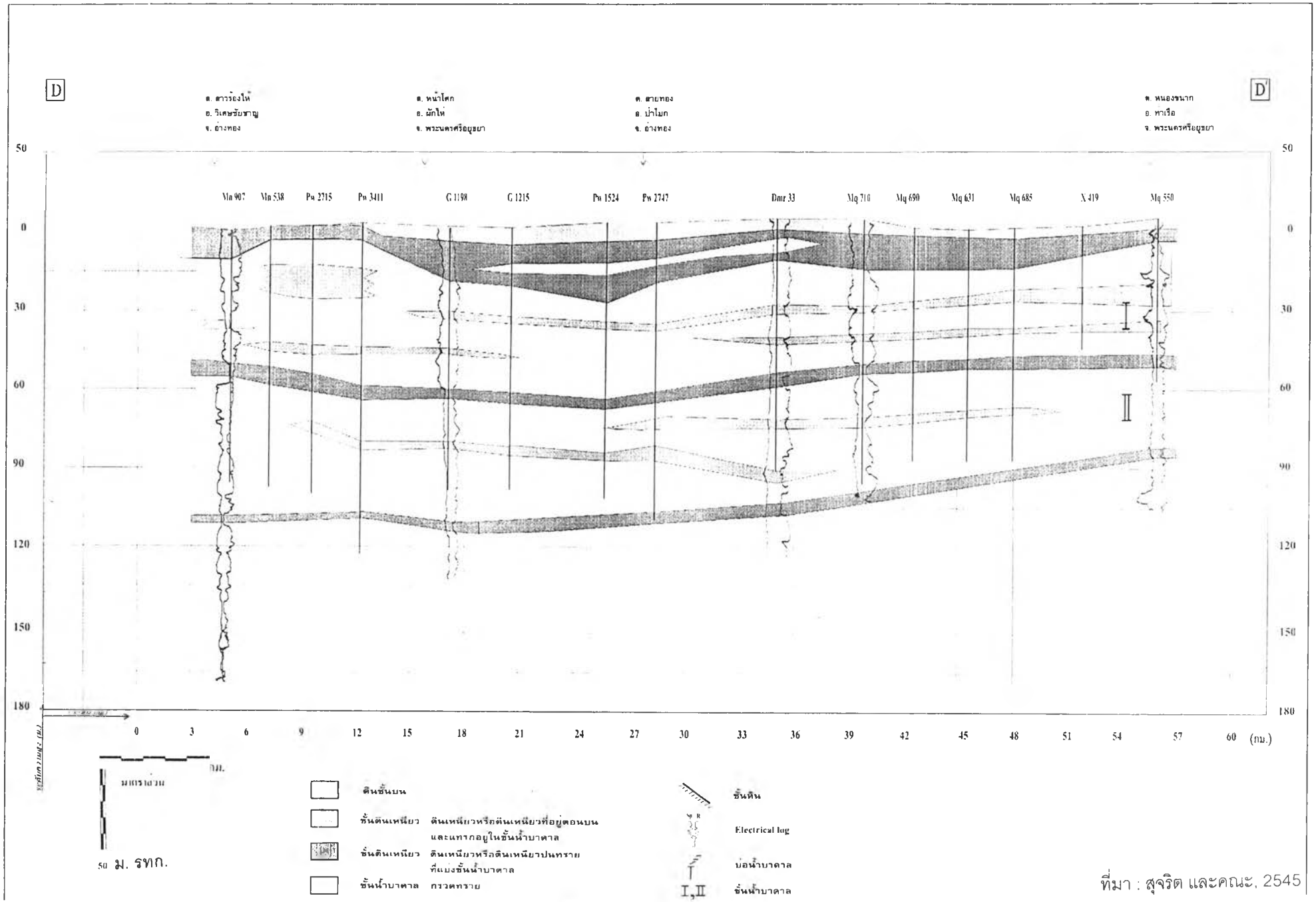
ที่มา : สุจริต และคณะ, 2545

รูปที่ 1-3 รูปตัดแสดงชั้นน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา (ค) ภาพตัดขวาง B-B′



ที่มา : สุจริต และคณะ, 2545

รูปที่ 1-3 รูปตัดแสดงชั้นน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา (ง) ภาพตัดขวางแนว C-C′



ที่มา : สุจริต และคณะ, 2545

รูปที่ 1-3 รูปตัดแสดงชั้นน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา (จ) ภาพตัดขวางแนว D-D′

1.4.2 ด้านการประเมินค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ของน้ำใต้ดิน

การสูบทดสอบเป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำใต้ดิน การศึกษาจำนวนมากแสดงถึงวิธีการทดสอบ และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ อาทิเช่น

Goyal S. K. (1984) เสนอวิธีการวิเคราะห์ผลการสูบทดสอบสำหรับชั้นน้ำแบบมีความดันที่ไม่มีการรั่วซึมตามทฤษฎีของ Theis โดยใช้วิธีการคำนวณด้วยฟังก์ชั่นแบบ Implicit แทนการวิเคราะห์ด้วยกราฟ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผู้ทำการวิเคราะห์ (Subjectivity) ปรากฏว่าให้ผลดีสำหรับผลการทดลองที่มีข้อมูลไม่มากนัก

Sen Z. (1986) ทำการศึกษาการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำ (Hydraulic conductivity) และสัมประสิทธิ์การกักเก็บจำเพาะ (Specific storage) จากผลการทดสอบที่ใช้บ่อที่มิได้มีความลึกตลอดชั้นน้ำ โดยสร้างเป็นกราฟ (Type curve) สำหรับการวิเคราะห์ในกรณีต่าง ๆ

Swamee P. K., Ojha C.S.P. (1990) เสนอรูปแบบสมการการไหลในบ่อน้ำใต้ดิน (Well function) ที่สามารถใช้ทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ (Storage coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำ (Transmissivity) ได้ถูกต้องมากกว่าสมการในรูปแบบการประมาณโดยทั่วไป

Sen Z. (1994) แสดงความเห็นว่าการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดินนั้นมิใช่การแก้สมการ หรือเปรียบเทียบเส้นกราฟเพื่อหาคำตอบเท่านั้น หากแต่เป็นศิลปะที่ต้องอาศัยความรู้ทางธรณีวิทยา ประกอบกับการสำรวจเพิ่มเติมทางธรณีวิทยา และประสบการณ์ของผู้ทำการวิเคราะห์ด้วย

Singh S.K., 2000 สร้างสมการในการวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยใช้ข้อมูลการสูบทดสอบในระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตตามทฤษฎีของ Theis ($u > 0.01$) พบว่าสามารถทำการคำนวณได้ง่าย และให้ผลที่น่าเชื่อถือเทียบเท่ากับการคำนวณโดยวิธีของ Theis อีกทั้งมิต้องใช้การเทียบรูปกราฟซึ่งอาจคลาดเคลื่อนได้ง่าย

ในทางปฏิบัติแล้ว ข้อมูลการสูบทดสอบมีอยู่น้อยมาก อีกทั้งการสูบทดสอบต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง ใช้เวลามาก และมีความคลาดเคลื่อนได้ โดยเฉพาะการทดสอบในบ่อที่ผ่านการใช้งานแล้ว (Egbaka B.C.E., Uma K.O., 1986) จึงมีการศึกษาอีกด้านหนึ่งที่พยายามจะประเมินค่าพารามิเตอร์เหล่านี้โดยวิธีการ หรือข้อมูลอื่น ๆ แทนการสูบทดสอบ การศึกษาเหล่านี้ มีอาทิ

Farr J.M., 1842 เสนอวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำจากการสังเกตการแกว่งตัวของระดับน้ำในบ่อเนื่องจากการแกว่งตัวขึ้นลงของระดับน้ำในระบบชั้นน้ำใต้ดิน โดยพิจารณาจากคาบการแกว่งและขนาดของการแกว่ง

Niwas S., Singhal D.C., 1985 เสนอวิธีการประเมินค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำจากผลการทดสอบธรณีวิทยาด้วยไฟฟ้า (Resistivity sounding data) ทั้งนี้รูปแบบความสัมพันธ์ที่ได้ขึ้นกับคุณภาพของน้ำ และทดสอบพบว่ารูปแบบความสัมพันธ์ที่ได้สามารถใช้การได้ดีกับชั้นน้ำที่เกาะ Rhode ประเทศสหรัฐอเมริกา และชั้นน้ำต่าง ๆ อีก 3 แห่งในอินเดีย

นอกจากการสูบทดสอบและการสำรวจในภาคสนามดังกล่าวแล้วยังมีการศึกษามากมายที่เสนอวิธีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำจากคุณสมบัติของตะกอนของชั้นน้ำ เช่น สมการของ Hazen (1892) , สมการของ Kozeny-Carman (1956) ซึ่งเป็นสมการที่ขึ้นกับตัวแปรต่าง ๆ อาทิขนาดของวัสดุชั้นน้ำ ความหนาแน่นและความหนืดของน้ำ ความพรุน และขนาดเฉลี่ยของวัสดุ Sperry และ Peirce (1995) เปรียบเทียบสมการดังกล่าว และสมการในลักษณะใกล้เคียงกันนี้อีกจำนวนหนึ่งแสดงว่า สามารถใช้ประมาณค่าได้ถูกต้องในช่วง 70 – 330 % (Batu, 1998)

Driscoll. 1986 (อ้างถึงใน Batu, 1998) เสนอสมการในการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำ จากค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ (Specific capacity) โดยอาศัยพื้นฐานสมการของ Theis และข้อมูลบ่อทั่ว ๆ ไปสำหรับชั้นน้ำแบบมีความดัน (Confined aquifer) และแบบไม่มีความดัน (Unconfined aquifer)

Berdring S., Gottschalk L., 1987 เสนอวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของระบบชั้นน้ำที่เชื่อมโยงกับการไหลหลากของน้ำผิวดิน (Flood Plain Aquifer) จากการเปรียบเทียบข้อมูลระดับน้ำในชั้นน้ำ กับระดับน้ำในทางน้ำ แล้วอธิบายความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปของค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำนั้น

Rao G.N., et al, 1991 เสนอวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำจากค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ โดยทำการศึกษาในชั้นน้ำ Chicot , Louissiana, North America ซึ่งเป็นแหล่งน้ำใต้ดินขนาดใหญ่ แต่ข้อมูลการสูบทดสอบมีจำนวนจำกัด จึงสร้างความสัมพันธ์เพื่อใช้ประมาณค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำและค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำ จากค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะซึ่งได้จากขั้นตอนการก่อสร้างบ่อและได้มีการเก็บรวบรวมไว้โดย USGS ทำให้สามารถสร้างแผนที่อธิบายการกระจายของค่าพารามิเตอร์ทั้งสองในพื้นที่ศึกษาได้

Sun N.Z., Jeng M.C., Yeh W.W.G., 1995 ประมาณค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลทางธรณีวิทยา อาทิเช่น ข้อมูลดินของบ่อน้ำใต้ดิน แล้วทำการจำลองสภาพย้อนกลับ (Inverse modeling) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของชั้นดิน ซึ่งจุดเด่นของการศึกษานี้คือ การพิจารณาข้อมูลทางธรณีวิทยาอย่างละเอียดทำให้คำตอบที่ได้มีความหมายทางกายภาพที่ชัดเจน

Genereux D.,Guardiario J.,1998 ทำการทดลองลดระดับน้ำในทางน้ำผิวดิน ร่วมกับการวัดสภาพการไหลในชั้นน้ำใต้ดิน เพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำและค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำ รวมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การซึมและการนำพา (Conductance) ผลการทดสอบได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการจ่ายน้ำในระดับ 10^5 ตารางเมตรต่อวัน

Gangopadhyay S., et al, 1999 ทำการศึกษาเพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดินโดยใช้ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) วิธี Back-propagation ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) แล้วใช้ระบบที่ผ่านการฝึกแล้วมาใช้ทำนายค่าพารามิเตอร์และแสดงผลผ่านระบบ GIS การศึกษานี้ได้ทดลองวิธีการดังกล่าวกับระบบชั้นน้ำในเขตกรุงเทพฯ พบว่าได้ผลดี และมีประสิทธิภาพสูงมาก

อรนุช, 2542 ได้ทำการรวบรวมข้อมูลการสูบทดสอบในเขตจังหวัดชัยนาททั้งสิ้น 175 บ่อ สร้างเป็นสมการสำหรับประมาณค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำจากค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ (Specific capacity) โดยได้ทำการวิเคราะห์ผลการสูบทดสอบโดยวิธี Cooper-Jacob และตั้งสมมติฐานว่าความยาวท่อกรองเท่ากับความหนาของชั้นน้ำ (Fully penetration) แล้วใช้วิธีปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยการหารด้วยความยาวของท่อกรองเพื่อตัดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสมมติฐานดังกล่าว

Ciss Y., 2000 ใช้การจำลองสภาพแบบย้อนกลับเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ โดยใช้แบบจำลอง Modinv ในพื้นที่ Police Cretaceous Basin ในสาธารณะรัฐเชกและสโลวัค และแสดงข้อมูลว่า การประมาณค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำในการจำลองสภาพโดยประมาณต่ำกว่าความเป็นจริง ให้ผลดีกว่าการประเมินที่สูงกว่าความเป็นจริง

Christiaens K., Feyen J., 2001 วิเคราะห์ความไม่แน่นอน และผลที่มีต่อผลการคำนวณของแบบจำลอง MIKE SHE เนื่องจากวิธีการประเมินค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ที่แตกต่างกัน 4 วิธี ได้แก่ (1) การวิเคราะห์ค่าความชื้นในดินโดยการทดลองในห้องปฏิบัติการ (2) การใช้ Pseudo-Transfer-Functions (PTFs) ประกอบกับข้อมูลเนื้อดินจากภาคสนาม (3) การใช้ Pseudo-Transfer-Functions กับการแบ่งกลุ่มดินแบบ USDA และ (4) การใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบ Bootstrap ร่วมกับข้อมูลเนื้อดินจากภาคสนาม ผลการศึกษาพบว่า การใช้โครงข่ายประสามเทียมให้ผลที่มีความไม่แน่นอนต่ำที่สุด ส่วนผลการคำนวณของแบบจำลองนั้นขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์หลายอย่าง และวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถใช้การได้ดี

1.4.3 **ด้านการประเมินปริมาณน้ำเติมให้แหล่งน้ำใต้ดิน**

การศึกษาเรื่องการเติมน้ำให้แก่แหล่งน้ำใต้ดินที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาครั้งนี้สามารถจำแนกได้เป็น 2 ลักษณะ คือการเติมจากฝนที่ตกในพื้นที่โดยตรง และการไหลระหว่างทางน้ำเปิดกับชั้นน้ำใต้ดิน

การศึกษาเกี่ยวกับวิธีการประเมินอัตราการเติมน้ำจากฝนสู่ชั้นน้ำใต้ดิน มีดังนี้

Caro R., Eagleson P. S., 1981 ประมาณอัตราการเติมน้ำให้กับชั้นน้ำใต้ดินในประเทศซาอุดิอารเบียจากปริมาณฝนที่ตกและอาศัยแบบจำลองระบบสมดุลน้ำเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์

Naff R. L., Gutfahr A. L., 1983 ประมาณอัตราการเติมน้ำสู่แหล่งน้ำใต้ดินโดยการวิเคราะห์อนุกรมเวลาเปรียบเทียบระดับน้ำใต้ดิน กับปริมาณน้ำฝนใช้การในแต่ละช่วงเวลา

Colville J. S., 1984 ประมาณอัตราการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดินโดยการวิเคราะห์ปริมาณของ Tririum ธรรมชาติในน้ำใต้ดิน จากสมมติฐานที่ว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาใหม่และเพิ่งซึมลงสู่ชั้นน้ำมีความเข้มข้นของประมาณ Tririum ต่ำกว่าน้ำใต้ดินที่มีอายุมากกว่า เมื่อทำการเก็บตัวอย่างน้ำใต้ดินมาตรวจสอบและทำการคำนวณด้วยแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน สามารถวิเคราะห์ปริมาณการซึมของน้ำผนลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้

Gupta A.D., Paudyal G.N., 1988 พัฒนาวิธีการประมาณค่าการเติมน้ำโดยธรรมชาติ และค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำ โดยการเปรียบเทียบข้อมูลระดับน้ำและข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาต่าง ๆ อาทิเช่นข้อมูลฝน ข้อมูลการระเหย เป็นต้น

Sukhija B. S., et al, 1996 อาศัยเทคนิคของการทำ Tracer โดยฉีดสารเคมีให้กับฝนที่ตก แล้วทำการสำรวจหาปริมาณสารดังกล่าวประกอบกับการวิเคราะห์ไอโซโทปของสารในชั้นน้ำใต้ดินแบบมีความดัน

Wu J., Zhang R., Yang J., 1996 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับอัตราการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินโดยใช้เครื่อง Lysimeter ทำการทดสอบในภาคสนาม และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์วิเคราะห์การซึมที่ระดับความลึก 1.5, 3.0, 4.5 และ 5.0 เมตร สำหรับฝนที่ตกที่มีความเข้มและระยะเวลาแบบต่าง ๆ ทำให้ได้รูปแบบความสัมพันธ์ที่ใช้ประมาณการอัตราการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้จากข้อมูลฝนที่ตกในพื้นที่

Srinivas A., et al, 1999 วิเคราะห์ปริมาณน้ำที่เติมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินสำหรับพื้นที่ขนาดเล็กเพียง 11 ตารางกิโลเมตร โดยใช้แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน ทำการคำนวณการไหลสภาวะคงตัวด้วยข้อมูลปี ค.ศ. 1977 และคำนวณการไหลสภาวะไม่คงตัวด้วยข้อมูลปี ค.ศ. 1977 – 1994 ด้วยข้อมูลประมาณการอัตราการเติมน้ำ แล้วตรวจสอบกับผลการคำนวณระดับน้ำจากแบบจำลอง พบว่าอัตราการเติมน้ำรายเดือนมีความสอดคล้องเป็นอย่างดีกับการแกว่งตัวของระดับน้ำจากชลภาพน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา

Thorpe H. R., Scott D. M., 1999 ใช้ข้อมูลอัตราการซึมจากเครื่อง Lysimeter ที่ติดตั้งในสถานีวิจัยชลประทาน Winchmore, Ashburton, New Zealand จำนวน 6 เครื่อง ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1953 – 1978 และปี ค.ศ. 1994 – 1997 เพื่อทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองในการประมาณปริมาณน้ำที่เติมให้กับชั้นน้ำใต้ดิน 4 แบบจำลอง ได้แก่ SOILMOD, Calder three-layer, SWIM© และ Groves ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง SOILMOD และ SWIM© ให้ผลการประมาณการที่ดี โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีพืชปกคลุม และแสดงว่าข้อมูลฝนเป็นข้อมูลหลักที่ส่งผลต่อผลการคำนวณมากที่สุด สำหรับข้อมูลหลักที่ใช้ในแบบจำลอง SOILMOD (Scott, Thorpe, 1986) คือ ความชื้นในดิน ปริมาณฝน ประมาณน้ำชลประทาน การคายระเหยรายวัน การระบายน้ำออกจากพื้นที่ คุณสมบัติของดิน และลักษณะของพืชที่ปกคลุมดิน

Donovan D. J., Katzer T., 2000 เสนอผลการศึกษาล่าสุดเกี่ยวกับปริมาณน้ำที่เติมโดยธรรมชาติให้กับลุ่มน้ำ Las Vegas ว่าเท่ากับ 57,000 เอเคอร์-ฟุต ต่อปี ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาปริมาณน้ำที่ไหลออกจากพื้นที่ดังกล่าว โดยมีปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้นจากการศึกษาในช่วงก่อนปี ค.ศ. 1990 ที่ระบุว่ามีเพียง 21,000 – 35,000 เอเคอร์-ฟุต ต่อปี และทำให้การพัฒนาแบบจำลองน้ำใต้ดินในพื้นที่มีความถูกต้อง และนำไปสู่ความเข้าใจระบบสมดุลน้ำใต้ดินในพื้นที่ได้ดียิ่งขึ้น

Maeda S. et al, 2001 เสนอวิธีการอธิบายเชิงตำแหน่งเพื่อระบุพื้นที่ที่มีศักยภาพในการเติมน้ำใต้ดิน โดยใช้เทคนิค GIS วิเคราะห์ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการเติมน้ำตามสมการสมดุลน้ำ และสมการการไหลของ Manning ซึ่งได้แก่ ปริมาณฝน อัตราการระเหย ความลาดชันและความขรุขระของพื้นที่ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้สะท้อนถึงสภาพพื้นที่ทางภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และการใช้พื้นที่ได้พอสมควร แล้วทำการซ้อนภาพของปัจจัยต่าง ๆ เข้าด้วยกันก็จะสามารถระบุศักยภาพในการเติมน้ำของแต่ละพื้นที่ในเชิงเปรียบเทียบได้ ซึ่งการศึกษานี้พบว่าพื้นที่ที่มีบทบาทสูงในการเติมน้ำใต้ดินคือที่นา

สำหรับการศึกษาในประเทศไทย โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคกลางนั้น วจี รามณรงค์ และสมชัย วงศ์สวัสดิ์ , 2541 ศึกษาศักยภาพของแหล่งน้ำบาดาลในประเทศไทย ผลการศึกษาแสดงว่าอัตราการซึมของน้ำฝนสู่แหล่งน้ำบาดาลในพื้นที่ภาคกลางของชั้นน้ำบาดาลที่มีสภาพทางธรณีวิทยาแบบหินแข็งน้ำปานกลาง, หินแข็งน้ำมาก, และหินร่วน เท่ากับ 3, 5 และ 10 % ของปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ ตามลำดับ

Molle Francois, et al, 2001 ศึกษาระบบสมดุลน้ำในพื้นที่ลุ่มเจ้าพระยาทั้งหมดว่ามีปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินเท่ากับ 400 ล้านลูกบาศก์เมตรในฤดูแล้ง คิดเป็น 8% ของฝนที่ตกในพื้นที่

ส่วนที่สองคือการศึกษาเกี่ยวกับการไหลระหว่างทางน้ำเปิดกับชั้นน้ำใต้ดิน ซึ่งมีการศึกษาที่น่าสนใจดังต่อไปนี้

Singh S. R., Sagar B., 1977 พัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินโดยการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตระหว่างแบบจำลองกับทางน้ำด้วยค่าความแตกต่างของระดับน้ำทั้งสอง แล้วตรวจสอบผลการคำนวณด้วยค่าระดับน้ำสังเกตการณ์ในแบบจำลองถังทราย (Sand tank model) พบว่าผลการคำนวณระดับน้ำที่เวลาต่าง ๆ ได้ผลดี

Dillon P. J., Liggett J. A., 1983 พัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างชั้นน้ำใต้ดินแบบไม่มีความดัน กับทางน้ำแบบ Ephemeral ด้วยการคำนวณแนวดิ่ง 2 มิติอธิบายการไหลระหว่างทางน้ำและชั้นน้ำใต้ดิน ตามสภาวะของระดับน้ำในทางน้ำโดยอาศัยสมการของ Green-Ampt พบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถผ่านการปรับเทียบได้เป็นอย่างดี

Rastogi A. K., 1985 ใช้วิธี MIADI (Modified Iterative Alternating Direction Implicit) ศึกษาสภาพการไหล 2 มิติ ในสภาวะคงตัว ซึ่งมีขอบเขตของแบบจำลองเป็นคลอง 2 สาย และแม่น้ำอีก1 สาย ผลการศึกษาแสดงว่า ค่าระดับน้ำในทางน้ำ ค่าการซึมได้ของท้องน้ำ และความหนาของชั้นน้ำใต้ดินมีนัยสำคัญต่อผลการคำนวณ

Wachyan E., Rushton K. R., 1987 ศึกษาปริมาณน้ำที่รั่วซึมจากระบบคลองชลประทาน พบว่ามีปริมาณสูงมากแม้จะมีการดาดท้องคลอง และได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลกระทบ ซึ่งได้แก่ ระดับของน้ำใต้ดิน สภาพเงื่อนไขด้านข้างของคลอง รวมทั้งประสิทธิภาพของการดาดคลอง และได้ข้อสรุปเน้นหนักในการทำงานในภาคสนามเกี่ยวกับการรั่วซึมของคลองชลประทาน

Morel-Seytoux H. J., 1988 เสนอวิธีการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างดิน ชั้นน้ำใต้ดิน และทางน้ำ ด้วยวิธีการที่ง่ายแต่มีนัยสำคัญทางกายภาพซึ่งประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ การซึม การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน และการไหลเข้า-ออกจากชั้นน้ำใต้ดิน เพื่อให้ได้ระเบียบวิธีการที่เหมาะสมในการพัฒนาแบบจำลองในระดับลุ่มน้ำต่อไป

Li Y., Chu S. T., 1995 กล่าวว่าแบบจำลองที่ใช้อธิบายการไหลระหว่างทางน้ำกับชั้นน้ำใต้ดินมีมากมาย แต่ส่วนมากมักมีความละเอียดและซับซ้อนมากจนไม่สามารถคำนวณได้อย่างมีประสิทธิภาพและขาดข้อมูลที่วัดได้จริงในภาคสนาม อีกทั้งการศึกษาในเรื่องนี้ก็มักมิได้มีการเก็บข้อมูลในสนามอย่างเพียงพอ การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นที่การพัฒนาแบบจำลอง 1 มิติอย่างง่าย เพื่อหาความดันน้ำในดินที่ความลึกต่าง ๆ และระดับน้ำใต้ดินในระหว่าง และหลังจากที่ฝนตก แล้วทำการเก็บข้อมูลในสนามเพื่อตรวจสอบแบบจำลอง พบว่าแบบจำลองสามารถผ่านการปรับเทียบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากการศึกษาดังที่กล่าวมานี้ ยังมีการศึกษาอีกมากมายที่ได้พัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินเพื่ออธิบายการไหลระหว่างทางน้ำกับชั้นน้ำผิวดิน โดยมีกรณีตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาที่แตกต่างกันไป อาทิเช่นการศึกษาของ Hill B. R. (1990), Sorman A. U., et al (1997), Carey M. A., Chadha D. (1998), Generuex D., Slater E. (1999) และ Arnold J. G., et al (2000)

1.4.4 ด้านการประเมินปริมาณการใช้น้ำใต้ดิน

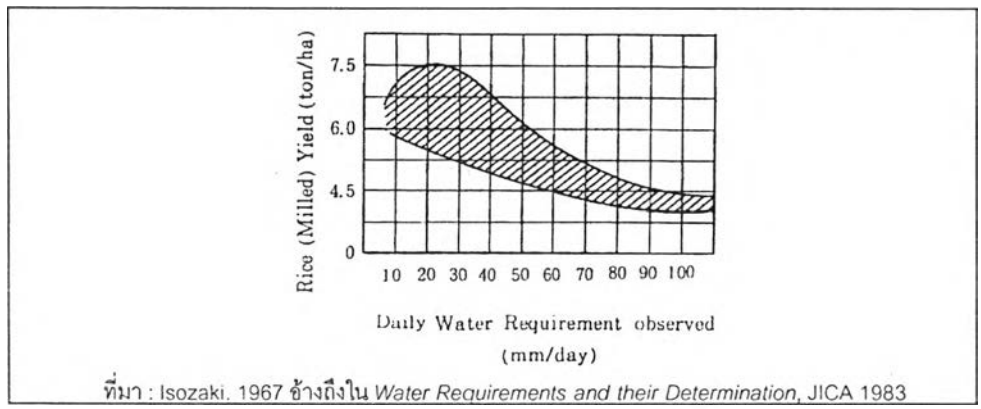
การทบทวนการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินปริมาณการใช้น้ำใต้ดินทั้งในประเทสและต่างประเทศ มีวัตถุประสงค์ที่ต่างกันอย่างชัดเจน การศึกษาในต่างประเทศมีประโยชน์ในเชิงหลักการและกระบวนการ ส่วนการศึกษาในประเทศนั้นมีนัยสำคัญในส่วนของผลการศึกษาที่เป็นปริมาณการใช้น้ำที่สามารถใช้อ้างอิงในการศึกษาขั้นต่อไป

การศึกษาในต่างประเทศที่น่าสนใจมีดังนี้

JICA, 1983 เป็นเอกสารประกอบการอบรมเรื่อง Water Requirements and their Determination ซึ่งกล่าวว่า การประเมินปริมาณการใช้น้ำ หรือความต้องการน้ำเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมาก และสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การวิเคราะห์จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา การพัฒนาสูตรจากข้อมูลในภาคสนาม ตลอดจนถึงการสำรวจและทดลองในภาคสนาม แต่อย่างไรก็ดี การจะระบุว่าปริมาณการใช้น้ำที่แท้จริงเป็นเท่าไรนั้นเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ยากมาก ในการศึกษาของ JICA ครั้งนี้ แสดงตัวอย่างของผลการศึกษาที่น่าสนใจยิ่ง เช่น ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการเกษตรในพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศญี่ปุ่นซึ่งเป็นที่เพาะปลูกข้าว อยู่ในช่วง 10 – 20 มิลลิเมตรต่อวัน โดยมีการศึกษาจำนวนมากแสดงว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17 มิลลิเมตรต่อวัน ซึ่งค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับประเทศในเขตร้อน (ดังแสดงในตารางที่ 1-1) เนื่องจากสภาพพื้นที่ของญี่ปุ่นเป็นที่สูง ความชันมาก และดินมีความพรุนมาก ส่วนในประเทศไทย ได้มีการศึกษาในพื้นที่ภาคกลาง บริเวณอำเภอสามชุก จังหวัดสุพรรณบุรี ทั้งในช่วงนาปี และนาปรังพบว่าความต้องการน้ำเท่ากับ 6.5 และ 8.2 มิลลิเมตรต่อวัน ตามลำดับ โดยจำแนกได้เป็นการคายน้ำของพืช 3.9 มิลลิเมตรต่อวัน การระเหย 2.8 – 3.8 มิลลิเมตรต่อวัน และการซึมลงสู่ดิน 8.5 – 8.6 มิลลิเมตรต่อวัน นอกจากนั้น จากผลการศึกษาในประเทศญี่ปุ่นยังพบความสัมพันธ์ที่น่าสนใจระหว่างปริมาณความต้องการน้ำกับปริมาณผลผลิตที่ได้ (ดังรูปที่ 1-4) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าความต้องการน้ำในการปลูกข้าวที่เหมาะสมที่สุดในประเทศญี่ปุ่นควรอยู่ในช่วง 10 – 25 มิลลิเมตรต่อวัน

ตารางที่ 1-1 ผลการศึกษาความต้องการน้ำของข้าวในบางประเทศในเอเชีย (หน่วย : มิลลิเมตรต่อวัน)

ประเทศ	จีน	ญี่ปุ่น	เวียดนาม	ไทย	ปากีสถาน
ความต้องการน้ำ (การคายระเหย + การซึม)	5.6 – 20.4	6.2 – 17.2	14.4	6.5 – 8.2	10.0 – 15.4



ที่มา : Isozaki, 1967 อ้างถึงใน *Water Requirements and their Determination*, JICA 1983

รูปที่ 1-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความต้องการน้ำกับปริมาณผลผลิตที่ได้

Zabier M. Z., et al. 1986 ศึกษาเกี่ยวกับการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในประเทศอินโดนีเซีย โดยทำการศึกษาทั้งในด้านของความต้องการ (อุปสงค์) และปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำที่สามารถจัดหาได้ (อุปทาน) ในส่วนของการศึกษาปริมาณความต้องการน้ำนั้นขึ้นกับปัจจัยหลักคือ ขนาดครอบครัว รายได้ การศึกษา การเข้าถึงระบบประปา ค่าใช้จ่ายในการได้น้ำ และสภาพอากาศของแต่ละพื้นที่ ในการประเมินความต้องการขั้นต่ำอาศัยใช้สมมติฐานของความต้องการน้ำพื้นฐานในการดำรงชีวิตของมนุษย์ตามมาตรฐานของ WHO ซึ่งระบุว่า ความต้องการน้ำเพื่อการดื่มเท่ากับ 2 ลิตรต่อคนต่อวัน และเพื่อการประกอบอาหารอีก 3 ลิตรต่อคนต่อวัน รวมเป็น 5 ลิตรต่อคนต่อวัน

Wilson S. D., Kimpel B. C., 1990 ทำการศึกษาหาปริมาณการสูบน้ำใต้ดินเพื่อใช้ในการเกษตร ในรัฐ Illinois โดยศึกษาเปรียบเทียบ 3 วิธี คือ (1) การประมาณโดยเกษตรกร (2) การใช้มาตรวัดน้ำฝนวัดปริมาณน้ำในแปลงที่ให้น้ำแบบฉีดพ่น และ (3) การใช้มาตรวัดอัตราการไหล การประมาณการของเกษตรกรมักมีความผิดพลาดเนื่องจากความไม่สมบูรณ์จากการปรับแต่งระบบสูบน้ำและระบบส่งน้ำ การใช้มาตรวัดน้ำฝนวัดปริมาณน้ำที่ฉีดพ่นก็อาจคลาดเคลื่อนเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของการให้น้ำในแต่ละตำแหน่งของแปลงเพาะปลูก ส่วนการใช้มาตรวัดอัตราการไหลของน้ำก็มักประสบปัญหากับความแตกต่างของสภาพพื้นที่และถึงแม้จะเป็นวิธีที่มีความผันแปรของค่าที่วัดได้น้อยแต่ก็มักจะไม่ตรงกับการประมาณการของเกษตรกร ดังนั้นโดยสรุป การศึกษานี้กล่าวว่า ในการประเมินปริมารการสูบน้ำเพื่อการเกษตรกรรมนั้น ไม่มีวิธีการใดที่จะให้ผลได้ถูกต้อง แน่นอนอย่างสมบูรณ์ แต่การศึกษาจากวิธีที่หลากหลายจะช่วยในการตรวจสอบซึ่งกันและกัน

Tracy J. C., Marino A., 1991 เสนอวิธีการประเมินประวัติการสูบน้ำของบ่อน้ำใต้ดินและอัตราการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำไปพร้อมกันโดยใช้แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินร่วมกับ Linear Regression Technique ทำการคำนวณย้อนกลับ วนซ้ำจนกระทั่งได้ผลการคำนวณลู่เข้าสู่ค่าคำตอบ (Convergence) วิธีการดังกล่าวได้ถูกทดสอบโดยกรณีตัวอย่าง 2 กรณีซึ่งมีบ่อน้ำใต้ดินที่รู้ตำแหน่งแน่นอน แต่ไม่มีข้อมูลประวัติการสูบน้ำจำนวน 1 และ 2 บ่อตามลำดับ ผลที่ได้แสดงว่าวิธีการดังกล่าวสามารถใช้ประเมินอัตราการสูบน้ำในอดีตได้ดี

Salmon M. A., 2000 และ Foster S., et al, 2000 เสนอกรอบการพิจารณาและจัดการทรัพยากรแหล่งน้ำใต้ดินในรายงานทางวิชาการของธนาคารโลก โดยพิจารณาจากระบบสมดุลของแหล่งน้ำใต้ดิน และนิยามศัพท์ Optimum yield ว่าเป็นปริมาณการใช้น้ำสูงสุดที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบเกินกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งแนวคิดในการพิจารณาเงื่อนไขผลกระทบที่ยอมรับได้นั้นขึ้นอยู่กับบริบทของสังคมหลายประการ แต่ในเบื้องต้นพึงพิจารณาลักษณะของผลกระทบที่คาดว่าจะเกิดขึ้นว่า เป็นผลกระทบที่สามารถฟื้นฟูแก้ไขได้ หรือเป็นผลกระทบที่ถาวร ยากต่อการแก้ไข จากนั้นจึงพิจารณาหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization)

ส่วนการศึกษาในประเทศ โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคกลาง มีดังนี้

กรมชลประทาน, 1977 ศึกษาการใช้น้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา (รวมลุ่มน้ำย่อยปิง วัง ยม น่าน) และลุ่มน้ำแม่กลอง ซึ่งมีพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูกทั้งหมด 7.95 ล้านไร่ในฤดูฝน และ 2.88 ล้านไร่ในฤดูแล้ง พบว่าปริมาณการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรมในปี พ.ศ. 2518 ในฤดูแล้งและฤดูฝน เท่ากับ 13,100 และ 6,100 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับ ส่วนการใช้น้ำในครัวเรือนเท่ากับ 690 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ทั้งนี้โดยมิได้พิจารณาการใช้น้ำเพื่ออุตสาหกรรมในลุ่มน้ำแม่กลอง

คณะอนุกรรมการวางแผนแหล่งน้ำ, 1977 ทำการศึกษาระบบสมดุลน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา (รวมลุ่มน้ำย่อยปิง วัง ยม น่าน) และลุ่มน้ำแม่กลอง โดยระบุปริมาณการใช้น้ำในปี พ.ศ. 2518 เพื่อการเกษตรกรรมและการอุปโภคบริโภค เท่ากับ 16,800 และ 550 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับ และคาดการณ์ความต้องการในปี 2533 เพื่อการเกษตรกรรมและการ

อุปโภคบริโภค เท่ากับ 16,700 และ 2,740 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี ตามลำดับ โดยกำหนดให้ประสิทธิภาพของระบบชลประทานในฤดูฝนเพิ่มขึ้นจาก 0.28 เป็น 0.60 ส่วนการใช้น้ำใต้ดินนั้น พบว่ามีการขุดเจาะบ่อโดยหน่วยงานราชการ 1,300 บ่อ และมีบ่อของเอกชนในเขตกรุงเทพมหานครอีก 1,300 บ่อ ส่วนผลการวิเคราะห์ระบบสมดุลน้ำในระยะยาวแสดงว่าปริมาณน้ำที่เติมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินในลุ่มน้ำย่อย ปิง ยม และน่าน คิดเป็นร้อยละของปริมาณฝนได้เท่ากับ 12.6, 11.4, 7.4 และ 17.5 ตามลำดับ

กรมการปกครอง, 2536 จัดทำสารบบแหล่งน้ำธรรมชาติในพื้นที่ภาคกลาง โดยระบุว่าที่ราบลุ่มภาคกลางเป็นแหล่งน้ำใต้ดินที่ใหญ่ที่สุดของประเทศ โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานคร ปทุมธานี นนทบุรี สมุทรสาคร และสมุทรปราการ ซึ่งสามารถพัฒนาน้ำใต้ดินมาใช้ได้ในเกณฑ์ 1,000 – 2,000 แกลลอนต่อนาที (200 - 400 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) เอกสารฉบับนี้ชี้ให้เห็นว่าผลจากการจำนวนประชากรและอุตสาหกรรมมีการขยายตัวส่งผลทำให้ปริมาณการสูบน้ำใต้ดินเพิ่มขึ้น โดยในปี พ.ศ. 2514 ประมาณว่ามีการสูบน้ำใต้ดินมาใช้วันละ 300,000 ลูกบาศก์เมตร และเพิ่มขึ้นเป็น 600,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวันในปี พ.ศ. 2536 และเอกสารฉบับนี้ได้วิเคราะห์ระบบสมดุลของแหล่งน้ำใต้ดินในพื้นที่ดังกล่าวว่าปริมาณน้ำฝนที่ซึมลงไปเติมในชั้นน้ำใต้ดินมีน้อยกว่าปริมาณที่สูบออกไปใช้ ทำให้ปริมาณ ระดับ และความดันของน้ำใต้ดินชั้นต่าง ๆ ลดลง และอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดิน และการรุกล้ำของน้ำเค็มในบริเวณดังกล่าว

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2537 แสดงตัวเลขปริมาณการใช้น้ำของประชาชนในพื้นที่ลักษณะต่าง ๆ ไว้ดังตารางที่ 1-2

ตารางที่ 1-2 ปริมาณการใช้น้ำจำแนกตามชุมชนและเขตบริการผู้ผลิตน้ำประปา (หน่วย : ลิตรต่อคนต่อวัน)

ประเภท	ชนบท	ชานเมือง	เทศบาล	นครหลวง	ประปาภูมิภาค	ประปานครหลวง
ปริมาณน้ำ	30-50	50-75	100-120	200	120	200

(ที่มา : วิศวกรรมประปา เล่ม1, มั่นสิน, 2537)

อุดร จารุรัตน์ และจารุรัตน์ วรนิสรากุล, 2537 อธิบายปริมาณการใช้น้ำของประชาชนตามลักษณะของที่ตั้งชุมชนและการต่อท่อส่งน้ำเข้าสู่บ้านเรือน โดยหมู่บ้านที่ไม่มีการต่อท่อส่งน้ำ การใช้น้ำเท่ากับ 40 ลิตรต่อคนต่อวัน หากมีการต่อท่อส่งน้ำเข้าถึงบ้านเรือนเป็นจำนวนประมาณครึ่งหนึ่งของจำนวนครัวเรือนทั้งหมด ค่าการใช้น้ำอยู่ในช่วง 80 – 100 ลิตรต่อคนต่อวัน ส่วนในเขตอำเภอหรือสุขาภิบาลที่มีฐานะเศรษฐกิจปานกลาง มีการใช้น้ำ 100 – 200 ลิตรต่อคนต่อวัน และสำหรับพื้นที่เขตเมือง (เทศบาล) และกรุงเทพมหานคร ใช้น้ำในเกณฑ์ 250 และ 400 ลิตรต่อคนต่อวัน ตามลำดับ

JICA, 1995 ได้ทำการศึกษาการจัดการแหล่งน้ำใต้ดินและปัญหาแผ่นดินทรุดในพื้นที่กรุงเทพ ฯ และปริมณฑล โดยอาศัยแบบจำลอง MODFLOW , MOCDENSE MT3D ทำการศึกษาในกรณีการไหลแบบคงตัวโดยไม่พิจารณาการใช้น้ำจากชั้นน้ำที่ไม่มีความดัน (Unconfined aquifer) และชั้นดินเหนียวชั้นบน (Bangkok Clay) พบว่าอัตราการใช้น้ำใต้ดินในปี 2535 เท่ากับ 1.48 ล้าน ลบ.ม. ต่อวัน (540.6 ล้าน ลบ.ม. / ปี) ระดับน้ำใต้ดินลดลงถึงระดับ –30 ถึง -60 เมตร รทก. เนื่องจากการสูบน้ำใต้ดินมากเกินไป ทำให้แผ่นดินทรุดมากกว่า 20 มม. ต่อปี พื้นที่ที่มีปัญหาคือ สมุทรปราการ มีนบุรี ลาดกระบัง และปริมาณคลอไรด์มีค่าประมาณ 3000 – 16000 มิลลิกรัมต่อลิตร พื้นที่ที่มีปัญหามากคือ สมุทรปราการ ในการศึกษาครั้งนั้นได้ทำการก่อสร้าง monitoring station ที่ ลาดกระบัง AIT และสมุทรสาคร และคาดการณ์ระดับน้ำและการทรุดตัวของผิวดิน ในปี 2560 ตามสมมติฐานการใช้น้ำในอนาคตกรณีต่าง ๆ ทำให้ได้ค่าระดับน้ำในปี 2560 อยู่ในช่วง 35 – 200 เมตร ผลสรุปของการศึกษาเสนอว่าประมาณอัตราการใช้น้ำที่เหมาะสม (Permissible yield) เท่ากับ 1.6 ล้าน ลบ.ม./วัน ตามเงื่อนไขที่จะควบคุมให้ระดับน้ำไม่ต่ำกว่า –50 ม.รทก. นอกจากนี้ยังได้เสนอแผนการจัดการลุ่มน้ำโดย ควบคุมอัตราการใช้น้ำให้ได้ภายในปี 2548 ขยายพื้นที่วิกฤติ และปรับกฎหมายการใช้น้ำใต้ดิน

กรมทรัพยากรธรณี, 2542 ได้ทำการศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการอุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวม 10 จังหวัด การศึกษานี้ได้หาปริมาณการใช้น้ำใต้ดิน โดยทำการสำรวจภาคสนามแล้วสร้างเป็นสมการการใช้น้ำใต้ดินที่ขึ้นกับชนิดและขนาดของโรงงานอุตสาหกรรมตามกำลังของเครื่องจักร (แรงม้า) พบว่าปริมาณการใช้น้ำปี พ.ศ. 2540 เท่ากับ 6.46 ล้าน ลบ.ม. / วัน เพิ่มขึ้น 4 – 18 % ต่อปี และได้เสนอแนะแนวทางการจัดการโดยควบคุมปริมาณการใช้น้ำสูงสุดที่ 3.4 ล้าน ลบ.ม. / วัน ในปี พ.ศ. 2555 การศึกษาครั้งนี้อาศัยรูปแบบการศึกษาของ JICA ปี 1995 แล้วทำการจำลองสภาพเหตุการณ์ในอนาคต 5 กรณี โดยกำหนดเงื่อนไขของการใช้น้ำว่า ระดับน้ำต้องไม่ลดลงเกินกว่าระดับ – 60 เมตร รทก.

กรมชลประทาน, 2543 ทำการศึกษาการจัดการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยาและลุ่มน้ำสาขา การศึกษานี้จำแนกความต้องการน้ำในปัจจุบันออกเป็น 4 ส่วน คือการใช้น้ำด้านอุปโภคบริโภค ด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว และด้านการรักษาสมดุลนิเวศวิทยาท้ายน้ำ ในส่วนของการอุปโภคบริโภคแยกได้เป็นการใช้น้ำในเขตเมืองและในเขตชนบท ในชุมชนเมืองอัตราการใช้น้ำจะแตกต่างกันไปตามขนาดของชุมชน โดยชุมชนขนาดใหญ่มีอัตราการใช้น้ำต่อประชากรสูงกว่าชุมชนขนาดเล็ก (ดังตารางที่ 1-3) ส่วนการใช้น้ำในเขตชนบทนั้นมีค่าเฉลี่ยประมาณ 50 ลิตรต่อคนต่อวัน ซึ่งเนื่องจากลักษณะความเป็นอยู่และพฤติกรรมการใช้น้ำมีความคล้ายคลึงกัน จึงใช้ค่าเดียวกันสำหรับทุกภาคของประเทศ โดยสรุป สำหรับพื้นที่ในลุ่มเจ้าพระยาใหญ่และท่าจีน ในปี พ.ศ. 2536 มีความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคเท่ากับ 1,200 ล้านลูกบาศก์เมตร เพื่อการเกษตร 7,900 ล้านลูกบาศก์เมตร เพื่อการอุตสาหกรรม 550 ล้านลูกบาศก์เมตร และเพื่อรักษาระบบนิเวศ 2,860 ล้านลูกบาศก์เมตร รวมทั้งสิ้น 12,510 ล้านลูกบาศก์เมตร และจากการวิเคราะห์ระบบสมดุลน้ำพบว่าปริมาณความต้องการสูงกว่าปริมาณน้ำต้นทุนของระบบชลประทานประมาณ 420 ล้านลูกบาศก์เมตร ในปี พ.ศ. 2539

ตารางที่ 1-3 อัตราการใช้น้ำของประชาชนในเขตเมือง (หน่วย : ลิตรต่อคนต่อวัน)

จำนวนประชากร	3,000-10,000	10,000-20,000	20,000-30,000	30,000-50,000	มากกว่า 50,000
อัตราการใช้น้ำ	120	170	200	250	300

(ที่มา : โครงการศึกษาการจัดการน้ำในลุ่มน้ำเจ้าพระยา, กรมชลประทาน, 2543)

Molle Francois, et al, 2001 ศึกษาการจัดการและการจัดสรรน้ำในฤดูแล้งในพื้นที่ลุ่มเจ้าพระยา พบว่ากว่า 85% เป็นพื้นที่เพื่อการเกษตรกรรม ประมาณ 9% ของพื้นที่ลุ่มเจ้าพระยามีการทำนามากกว่า 2 ครั้งต่อปี ประสิทธิภาพโดยรวมของการจัดสรรน้ำในพื้นที่เท่ากับ 66% โดยมีประสิทธิภาพการใช้น้ำในภาพรวมในฤดูแล้งสูงถึง 88% ในบางพื้นที่ประสิทธิภาพในระดับแปลงนาโดยเฉพาะในช่วงขาดแคลนน้ำมีค่าสูงมาก การอ้างเหตุผลด้านการขาดแคลนน้ำว่ามีสาเหตุมาจากประสิทธิภาพชลประทานต่ำ ไม่ถูกต้องและผิดหลักการ การเพิ่มประสิทธิภาพ 10% ไม่สามารถลดภาวะวิกฤติได้ การมุ่งเน้นเพิ่มประสิทธิภาพระดับแปลงนาเป็นไปได้ยาก แต่อาจกระทำได้โดยลดประมาณการใช้น้ำของพืชโดยการปรับปฏิทินการเพาะปลูก และวิธีการเพาะปลูก

1.4.5 การจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน

Freeze R.A., Witherspoon P.A., 1966 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) โดยอาศัยหลักการของสมดุลน้ำเพื่อหารูปแบบการไหลของน้ำใต้ดิน

Bredehoeft J.D., Pinder G.F., 1968 ใช้หลักการคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical Method) แบบ Finite Difference จำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินแบบมีความดัน กึ่งสามมิติ (Quasi 3-Dimension) กล่าวคือพิจารณาสมการการไหลสองมิติโดยรวมค่าสัมประสิทธิ์ในแนวดิ่งของชั้นน้ำเข้ากับพารามิเตอร์ในแนวราบ

Bergstrom S., Sandberg G., 1983 จำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินแบบมีความดัน และไม่มีความดัน พบว่าความถูกต้องของคำตอบที่ได้ขึ้นอยู่กับการประมาณค่าการเติมน้ำผ่านชั้นน้ำแบบไม่มีความดัน

Suddiqui A. H., 1987 ใช้แบบจำลองกึ่งสามมิติซึ่งถูกพัฒนาในช่วงปี 1978 – 1981 สำหรับชั้นน้ำในกรุงเทพฯ แล้วทำการปรับเทียบกับข้อมูลระดับน้ำในปี 1982 และ 1985 พบว่าผลของแบบจำลองในช่วงปี 1982 – 1986 สอดคล้องกับผลการสำรวจภาคสนาม

Gould G., Siegel D.I., 1988 ศึกษาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินโดยใช้แบบจำลอง MODFLOW จำลองสภาพการไหลแบบคงที่ ส่วนค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใช้การตั้งสมมติฐาน ซึ่งพบว่ามีผล (Sensitivity) ต่อผลลัพธ์ที่ได้

Rudolph D.L., Sudicky E.A., 1990 ใช้การจำลองสภาพน้ำใต้ดินแบบกึ่งสามมิติ เพื่อแก้ปัญหาระบบชั้นน้ำหลายชั้น (Multiaquifer system) พบว่าสามารถให้คำตอบได้ดี เปรียบเทียบกับการคำนวณแบบ Finite Element โดยแบ่งระบบชั้นน้ำที่ศึกษาเป็นชั้นย่อย ๆ

Mahadeva K.T., 1991 ปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ทางอุทกธรณีวิทยาสำหรับชั้นน้ำในพื้นที่กรุงเทพฯ แล้วสร้างแบบจำลอง MODFLOW ผลที่ได้พบว่า MODFLOW ให้ค่าระดับน้ำที่ใกล้เคียงกว่าแบบจำลองกึ่งสามมิติ

Konikow L.F., Bredehoeft J.D., 1992 แสดงความเห็นว่าแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินนั้นเป็นเพียงผลิตผลของสมมติฐานทางวิทยาศาสตร์ที่ไม่สามารถพิสูจน์ความถูกต้องได้แน่ชัด หากแต่เพียงตรวจสอบและพิสูจน์ความไม่ถูกต้องได้บ้างเท่านั้น แต่อย่างไรก็ดีข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นกับแบบจำลองหนึ่งก็จะนำไปสู่การพัฒนาปรับปรุงให้เกิดความเข้าใจต่อปรากฏการณ์ธรรมชาติใต้ดินได้ดียิ่งขึ้น และก็นับว่าดีที่สุดในขณะเวลานั้น ๆ ในทางปฏิบัติความผิดพลาดของแบบจำลองมักมีสาเหตุหลักคือ ความไม่สอดคล้องของเงื่อนไขตั้งต้น และการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

กรมโยธาธิการ, 2538 ใช้แบบจำลอง MODFLOW จำลองสภาพน้ำใต้ดินจังหวัดกำแพงเพชรเพื่อศึกษาความเหมาะสมในการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน ประกอบกับการทดลองในสนาม พบว่ามีความเป็นไปได้ในการเติมน้ำจากผิวดินลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน

JICA, 1995 จำลองสภาพชั้นน้ำใต้ดิน การรุกล้ำของน้ำเค็ม และการทรุดตัวในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑล ด้วยโปรแกรม MODFLOW และ MOCDENCE MT-3D การศึกษานี้ได้ประเมินค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำอยู่ในช่วง 0.5 – 500 เมตรต่อวัน โดยกระจายตามค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ ตามสมการของ Logan (1964) และประเมินค่าการสูบน้ำจากตัวเลขที่มีการขออนุญาตต่อกรมทรัพยากรธรณีคูณกับตัวคูณที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม

Indelman P., et al, 1996 ศึกษาความผันแปรของผลการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินเนื่องจากค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำในกรณีต่าง ๆ รวมทั้งระบบแหล่งน้ำใต้ดินที่มีหลายชั้น พบว่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลต่อผลการคำนวณ

Piggot A.R., et al, 1996 วิเคราะห์แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินแบบถดถอย และแบบย้อนกลับ (Regression and Inverse Analysises) สำหรับชั้นน้ำในพื้นที่ Lambton County, Ontario, Canada การวิเคราะห์แบบถดถอยเพื่อสร้างพฤติกรรมการไหลจากข้อมูลทางกายภาพต่าง ๆ ส่วนการวิเคราะห์แบบย้อนกลับอาศัยข้อมูลการสำรวจระดับน้ำประกอบเพื่อใช้แสดงถึงปริมาณและการกระจายของการสูบน้ำ และการเติมน้ำ

Watkins D. W., et al, 1996 ประยุกต์ใช้ระบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ในการพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในส่วนของการจัดเตรียมข้อมูล การจัดการข้อมูลให้อยู่ในระบบกริด การตรวจสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์ต่างๆ รวมทั้งการปรับเทียบ การสอบทาน และการแสดงผลการจำลองสภาพการไหล การศึกษานี้เสนอวิธีการทำงานของแบบจำลองน้ำใต้ดิน เช่น MODFLOW ร่วมกับ GIS ไว้ 3 วิธี คือ (1) ArcMod เป็นการเชื่อมโยงข้อมูลกันระหว่าง MODFLOW และ ARCView เป็นวิธีที่ง่ายแต่ใช้หน่วยความจำและเวลาในการคำนวณมาก (2) MODFLOWARC เป็นการรวม MODFLOW และ ARCView เข้าเป็นโปรแกรมเดียวกันทำให้ประสิทธิภาพในการคำนวณและจัดเก็บข้อมูลสูงขึ้น และ (3) การสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินบนระบบ GIS โดยใช้ฟังก์ชั่นการทำงานของ GIS โดยตรง วิธีนี้ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญสูง แต่ได้ความสะดวกมาในการนำเข้าข้อมูลแบบ Vector แล้วแปลงเป็นแบบ Raster ซึ่งสามารถทำการคำนวณและแสดงผลได้ง่าย แต่มีข้อจำกัดที่ GIS ไม่สามารถสร้างแบบจำลองที่ซับซ้อนมาก ๆ ได้ และขนาดของกริดเซลล์ต้องเท่ากันทั้งหมด

สนฑ์ จินดาสงวน, 2541 ทำการจำลองสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW และโปรแกรม GMS สรุปว่า โปรแกรม GMS มีประโยชน์ในการนำเข้าข้อมูล และแสดงผลเชิงรูปภาพ และแบบจำลอง MODFLOW มีความสามารถในการจำลองสภาพได้ทั้งในกรณีสภาวะคงที่ และไม่คงที่ และใช้สำหรับการจำลองสภาพที่มีชั้นน้ำหลายชั้นได้ด้วย สำหรับค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำที่เหมาะสมในการจำลองสภาพนี้ผู้ทำการศึกษากำหนดค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำเท่ากับ 70 เมตรต่อวัน ส่วนความต้องการใช้น้ำใต้ดินในจังหวัดกำแพงเพชร ปี 2538 มีค่าประมาณ 631 ล้านลูกบาศก์เมตร และจากการปรับเทียบแบบจำลองพบว่า ประมาณการสูบน้ำใต้ดินในฤดูฝน และฤดูแล้งมีค่าประมาณ 50% และ 20% ของความต้องการใช้น้ำใต้ดินทั้งหมด ตามลำดับ

สุจริต คูณธนกุลวงศ์ และโชคชัย สุทธิธรรมจิต, 2542 เสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลอง GMS และ MODFLOW ร่วมกันในการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อช่วยในการจัดการข้อมูลตั้งแต่ขั้นเริ่มต้น การนำเข้าสู่การคำนวณ การปรับเทียบ และการแสดงผล การโอนถ่ายข้อมูลระหว่างแบบจำลองทั้งสองทำให้การจัดเตรียมข้อมูลและการคำนวณง่ายยิ่งขึ้น ส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ดีขึ้นด้วย

วินัย เชาวน์วิวัฒน์, 2542 จำลองสภาพการรุกล้ำของน้ำเค็มในชั้นน้ำนนทบุรี โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW และ MT3D ร่วมกับโปรแกรม GMS โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากผลการศึกษาของ JICA (1995) ผลการศึกษาพบว่า อัตราการสูบน้ำมีค่าประมาณ 2.5 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นปีละ 5.1% นอกจากนั้นผลการจำลองสภาพยังแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบของการรุกล้ำของน้ำเค็มในปี 2540 เท่ากับ 1824 ตารางกิโลเมตร

Holder A. W., et al, 2000 เสนอแบบจำลอง FLOTRAN สำหรับการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน คุณสมบัติเด่นของแบบจำลองแบบใหม่นี้คือการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีการเชิงตัวเลขที่ก้าวหน้าและทันสมัย การแก้สมการการไหลและการแพร่ใช้วิธี Godunov-mix และการผสมผสานวิธี Finite element ทำให้แบบจำลอง FLOTRAN สามารถให้ผลการคำนวณในกรณีตัวอย่างใกล้เคียงหรือดีกว่าการวิเคราะห์และแบบจำลองอื่น ๆ ที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบ ได้แก่ 1-D และ 2-D analytical solutions, Galya's 3-D horizontal plane source solution, 2 radial semi-analytical solutions, รวมทั้งเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ BIOPLUME II และ MT3D

Tsou M. S., Whittemore D. O., 2001 ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Watkins D. W., et al (1996) ในการเชื่อมต่อการทำงานของแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินกับระบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยใช้วิธีการสร้างส่วนการคำนวณเพิ่มเติม (Extension) ให้กับ ArcView เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลกับ MODFLOW และ MT3D ในส่วนการคำนวณเพิ่มเติมนี้ทำหน้าที่ตั้งแต่การประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ ในเชิงตำแหน่ง เพื่อนำเข้าสู่แบบจำลอง รวมถึงกระบวนการหลังการคำนวณของแบบจำลองน้ำใต้ดิน ได้แก่ การปรับเทียบและแสดงผล

จากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาในแต่ละด้าน สามารถสรุปได้ดังนี้

การประเมินค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ของน้ำใต้ดินมีหลายวิธี แต่ส่วนใหญ่ต้องใช้ข้อมูลที่ไม่สามารถหาได้ในพื้นที่ศึกษา เมื่อเปรียบเทียบการศึกษาที่ผ่านมาทั้งหมดกับข้อมูลที่มีในพื้นที่ศึกษาพบว่า วิธีการที่เหมาะสมที่สุดคือการสูบทดสอบ และการประเมินตามการศึกษาของ อรนุช (2542) ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการศึกษาในพื้นที่ศึกษาครั้งนี้

การประเมินปริมาณน้ำที่เติมให้กับแหล่งน้ำใต้ดินทั้งทางผิวดิน และทางน้ำต่าง ๆ หากต้องการศึกษาค่าที่แน่นอนจำเป็นต้องทำการทดลองในสนาม เช่นการศึกษาของ Wu J., Zhang R., Yang J. (1996) สำหรับการพัฒนาแบบจำลองการประเมินค่าการเติมน้ำอาจเหมาะสมกว่าที่จะทำการวิเคราะห์จากข้อมูลที่มีอยู่โดยอาศัยเทคนิค GIS เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ เช่นการศึกษาของ Maeda S, et al (2001) แล้วทำการตรวจสอบผลการวิเคราะห์ที่ได้กับการศึกษาที่ผ่านมาในพื้นที่ใกล้เคียง ตามการศึกษาของ วจี และสมชัย (2541)

ในการประเมินปริมาณการใช้น้ำใต้ดิน การศึกษาจำนวนมากแสดงว่าเป็นการยากที่จะวิเคราะห์ให้ถูกต้องแน่นอน แต่สิ่งสำคัญที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมาคือกรอบในการพิจารณาประเภทของการใช้น้ำ และปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณความต้องการใช้น้ำ เช่นการศึกษาของ Zabier M. Z., et al (1986) ส่วนการศึกษาที่ผ่านมาจำนวนมากในประเทศไทยจะถูกนำมาใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณความต้องการใช้น้ำ และเพื่อตรวจสอบกับผลการประเมินที่ได้ เพราะการประเมินความต้องการใช้น้ำให้ถูกต้องนั้นเป็นเรื่องยาก ควรทำการศึกษาหลาย ๆ ทาง เพื่อตรวจสอบซึ่งกันและกัน (Wilson S. D., Kimpel B. C., 1990)

การจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินนั้นมีวิวัฒนาการของแบบจำลองมากกว่า 40 ปี แบบจำลองที่ใช้แพร่หลายในปัจจุบัน ในประเทศไทย และสอดคล้องกับสภาพพื้นที่ศึกษาครั้งนี้ คือ แบบจำลอง MODFLOW ซึ่งได้มีการศึกษาจำนวนมากได้ใช้แบบจำลองดังกล่าวในการศึกษาสภาพปัญหาที่คล้ายคลึงกันในประเทศไทย และประเทศอื่น ๆ เช่นการศึกษาของ กรมโยธาธิการ (2538), JICA (1995), สณฑ์ (2541), วินัย (2542), Tsou M. S., Whittemore D. O. (2001) นอกจากนี้การศึกษาของ Watkins D. W., et al (1996) สุจริต และโชคชัย (2542) และ Tsou M. S., Whittemore D. O. (2001) เสนอวิธีการในการนำเข้าและแสดงผลของแบบจำลอง MODFLOW ด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่น่าจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน

1.5 แนวทางการศึกษา

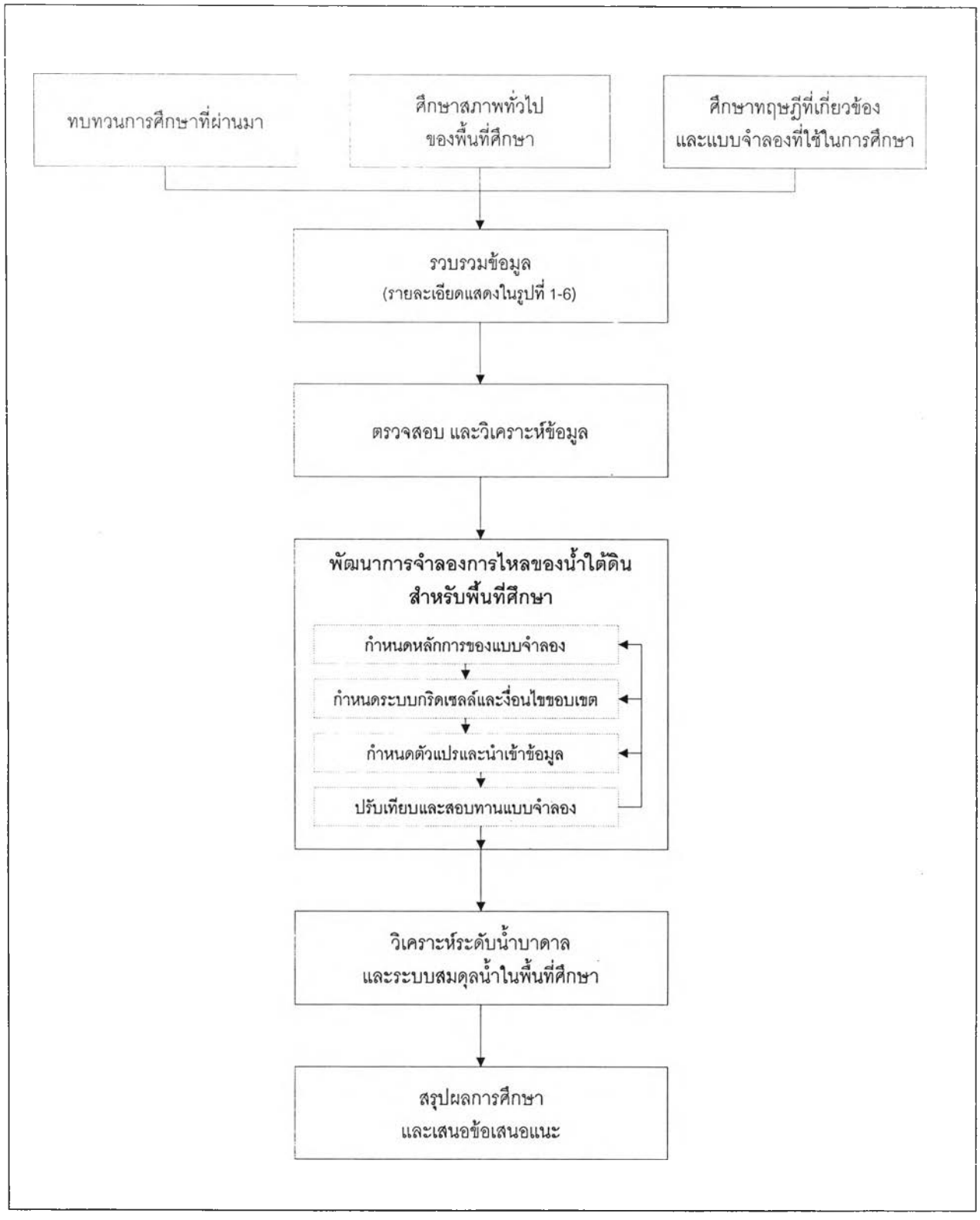
แนวทางในการศึกษามีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 1-5 โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

1. ทบทวนการศึกษาที่ผ่านมา ด้านอุทกธรณีวิทยา การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการพัฒนาแบบจำลอง การประเมินอัตราการสูบน้ำใต้ดิน และการพัฒนาแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน
2. ศึกษาสภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา เพื่อทำความเข้าใจสภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ลักษณะทางอุทกวิทยา อุทกธรณีวิทยา รวมทั้งรูปแบบการใช้ที่ดิน และสภาพทางเศรษฐกิจและสังคม อันจะเป็นพื้นฐานในการทำการศึกษาในส่วนต่าง ๆ ในรายละเอียดต่อไป
3. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา
4. รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการพัฒนาแบบจำลอง (ดูรูปที่ 1-6 ประกอบ) ได้แก่ ข้อมูลภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ธรณีวิทยา อุทกธรณีวิทยา ข้อมูลทางน้ำสายหลัก ระดับน้ำใต้ดิน พารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน อัตราการเติมน้ำใต้ดิน และอัตราการใช้น้ำใต้ดิน จากหน่วยงานราชการ รัฐวิสาหกิจ และเอกชน รวมทั้งการสำรวจภาคสนาม

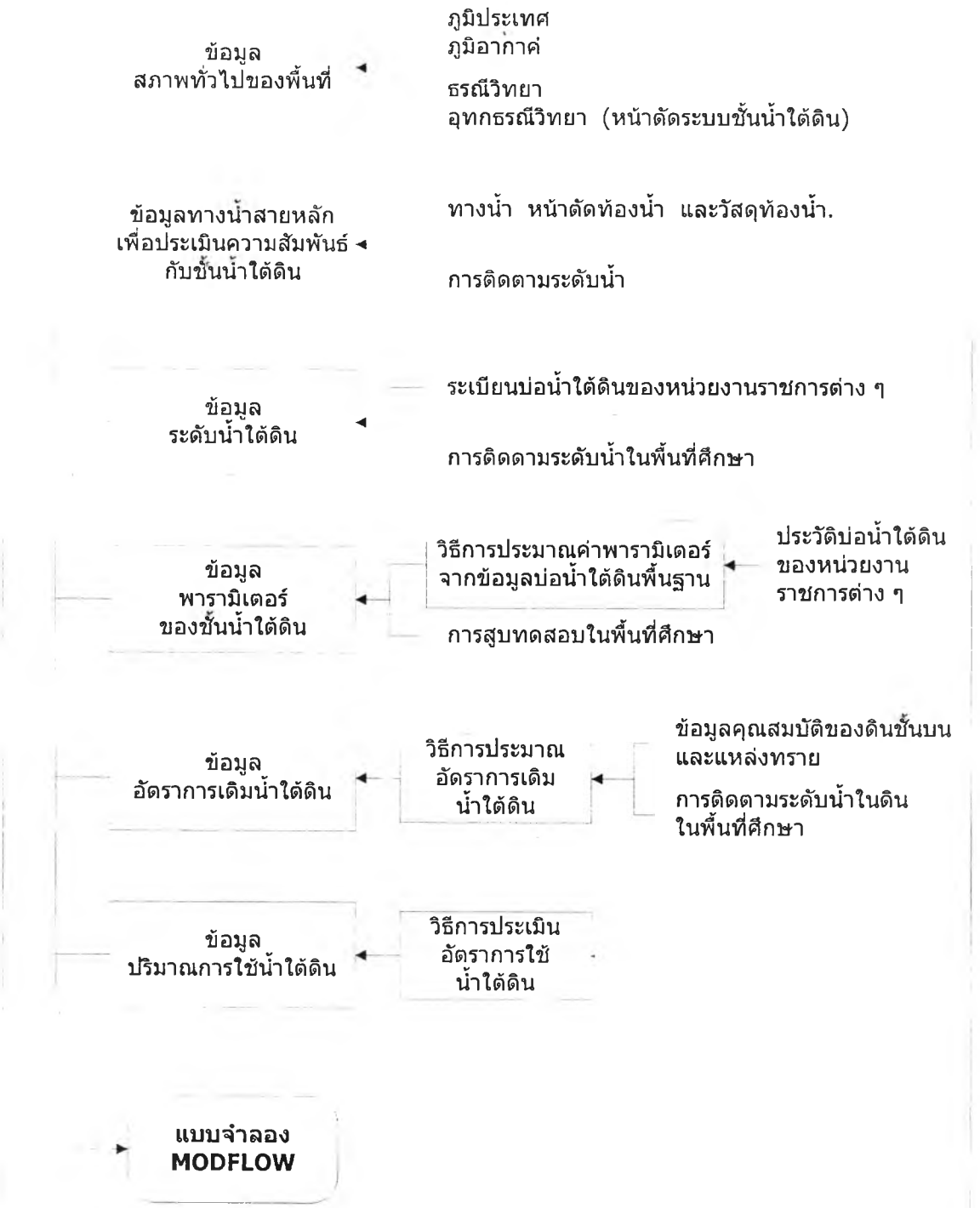
5. ตรวจสอบข้อมูลที่รวบรวมได้ แล้วทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง อาทิเช่น การประเมินค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำใต้ดิน การวิเคราะห์สภาพการไหลของน้ำใต้ดิน กระบวนการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน รวมทั้งการประเมินอัตราการสูบน้ำใต้ดิน ในปี พ.ศ. 2532 - 2544
6. พัฒนาการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินสำหรับพื้นที่ศึกษา โดยมีขั้นตอนย่อย ๆ ตั้งแต่การกำหนดหลักการของแบบจำลอง การกำหนดระบบชั้นน้ำใต้ดิน และระบบกริดเซลล์ของแบบจำลอง การกำหนดตัวแปรและการนำเข้าข้อมูล รวมทั้งการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง
7. วิเคราะห์ระดับน้ำและสมดุลของระบบแหล่งน้ำใต้ดินที่ได้จากผลการคำนวณของแบบจำลอง
8. สรุปผลการศึกษา และเสนอแนะต่อการศึกษา การพัฒนาการจำลอง รวมทั้งการจัดการ ที่เกี่ยวกับทรัพยากรน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา

การนำเสนอในรายงานฉบับนี้ ได้จัดเรียงลำดับเนื้อหาตามขั้นตอนของการศึกษา โดยในบทที่ 1 เสนอผลการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาในด้านต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดกรอบและขั้นตอนของการศึกษาครั้งนี้ ในบทที่ 2 แสดงถึงสภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา บทที่ 3 เป็นการทบทวนนิยามศัพท์ และทฤษฎีที่จำเป็นในการศึกษา รวมทั้งหลักการของแบบจำลองที่ใช้ บทที่ 4 เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากเพราะกล่าวถึงข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ทั้งหมด ตั้งแต่ขั้นตอนของการเก็บรวบรวม การตรวจสอบและวิเคราะห์ จนถึงขั้นตอนของการนำเข้าสู่แบบจำลอง ส่วนบทที่ 5 และ 6 เป็นรายละเอียดของการพัฒนาแบบจำลอง โดยในบทที่ 5 อธิบายหลักการและแนวทางในการพัฒนาแบบจำลอง ส่วนบทที่ 6 กล่าวถึงผลการปรับเทียบ การสอบทาน และการวิเคราะห์ผลการคำนวณต่าง ๆ รวมทั้งระบบสมดุลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา และในบทสุดท้ายเป็นส่วนของการสรุปผลและข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1-5 ขั้นตอนในการศึกษา



รูปที่ 1-6 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลอง