บทที่ 1
บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันกรุงเทพมหานครและปริมณฑลได้มีความเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ทั้งในด้านการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและการขยายตัวของพื้นที่เขตเมือง ที่อยู่อาศัยในระบบบ้านจัดสรรซึ่งขยายตัวออกด้านชานเมืองทำให้เกิดชุมชนย่อย ๆ แล้วขยายเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ รวมทั้งการขยายตัวของอุตสาหกรรมในพื้นที่รอบนอกกรุงเทพฯ ปัจจัยสำคัญในการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคม คือ น้ำ ซึ่งน้ำเป็นสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่ง และเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมส่วนมาก การประปานครหลวงเริ่มการผลิตน้ำประปาโดยการขุดเจาะบ่อบาดาลมาตั้งแต่ระยะเริ่มต้น และในพื้นที่ที่การประปาไม่สามารถให้บริการได้ทั่วถึง และภาคเอกชนก็ทำการเจาะบ่อและสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เองทั้งด้านอุปโภคบริโภคและอุตสาหกรรม

ในปัจจุบันการสูบน้ำบาดาลในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลแต่ละวันอยู่ในอัตราที่สูงมาก มากเกินกว่าปริมาณน้ำฝนหรือน้ำจากแม่น้ำลำคลองไหลซึมลงไปตามธรรมชาติ และการใช้ต่อเนื่องกันมาเป็นเวลานานทำให้แรงดันของระดับน้ำบาดาลลดต่ำลงอย่างรวดเร็วโดยไม่มีการคืนตัว ทำให้การเกิดวิกฤตการณ์น้ำบาดาลขึ้น กล่าวคือ แผ่นดินทรุด และน้ำเค็มไหลแทรกซึมรุกล้ำเข้ามาในชั้นน้ำบาดาลที่แต่เดิมเคยให้น้ำจืดเปลี่ยนสภาพเป็นน้ำกร่อยและน้ำเค็ม ดังนั้นจึงมีโครงการป้องกันและแก้ไขวิกฤตการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลของกรมทรัพยากรธรณีเกิดขึ้น ในปี 2528 เพื่อศึกษาและวิจัยสถานการณ์น้ำบาดาลและติดตามตรวจสอบขนาดและความรุนแรงของวิกฤตการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุด เพื่อประโยชน์ในการควบคุมและจัดการทรัพยากรน้ำบาดาล

สถานะการณ์การใช้น้ำ จากผลการรวบรวมข้อมูลพบว่าบริเวณเขตลาดกระบัง มีนบุรี ของกรุงเทพมหานคร และบริเวณอำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ และบริเวณอำเภอเมือง และอำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร มีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก การใช้น้ำบาดาลเพิ่มขึ้น มีระดับน้ำของชั้นน้ำนนทบุรีลดลง สอดคล้องกับอัตราการสูบน้ำที่เพิ่มขึ้นซึ่งมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นมากกว่าในชั้นน้ำอื่น ซึ่งเดิมชั้นน้ำนนทบุรีให้น้ำที่มีคุณภาพดีในอดีตได้เปลี่ยนสภาพกลายไปเป็นน้ำเค็มและน้ำกร่อยในหลายพื้นที่ของกรุงเทพฯและปริมณฑล ทำให้คุณภาพของน้ำไม่เป็นที่ต้องการ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาการรุกล้ำ พฤติกรรมการเคลื่อนตัวและการแพร่ของน้ำเค็มในชั้นน้ำนนทบุรีนี้

วิทยานิพนธ์นี้ จะทำการศึกษาจำลองสภาพการรุกล้ำของน้ำเค็มในชั้นน้ำนนทบุรี โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ถึงการเคลื่อนตัวของน้ำเค็มเนื่องจากการสูบน้ำ ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล และเสนอแนะแนวทางแก้ไขปัญหาน้ำเค็มในชั้นน้ำบาดาลที่ศึกษาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

วิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดวัตถุประสงค์ไว้ ดังนี้

1.2.1 ศึกษาสภาพการสูบน้ำและปัญหาของการรุกล้ำน้ำเค็มในชั้นน้ำนนทบุรี ในพื้นที่ศึกษา

1.2.2 ศึกษาและประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.2.3 จำลองสภาพการเคลื่อนที่ของน้ำเค็มในพื้นที่ศึกษา

1.2.4 หาความสัมพันธ์ของการเคลื่อนที่ของน้ำเค็มกับอัตราการสูบน้ำใต้ดิน

1.2.5 จำลองการแพร่ของน้ำเค็มที่เปลี่ยนแปลงไปตามการสูบน้ำในอนาคต

1.2.6 เสนอแนะแนวทางในการแก้ไขและป้องกันปัญหาน้ำเค็มในชั้นน้ำบาดาลที่ศึกษา

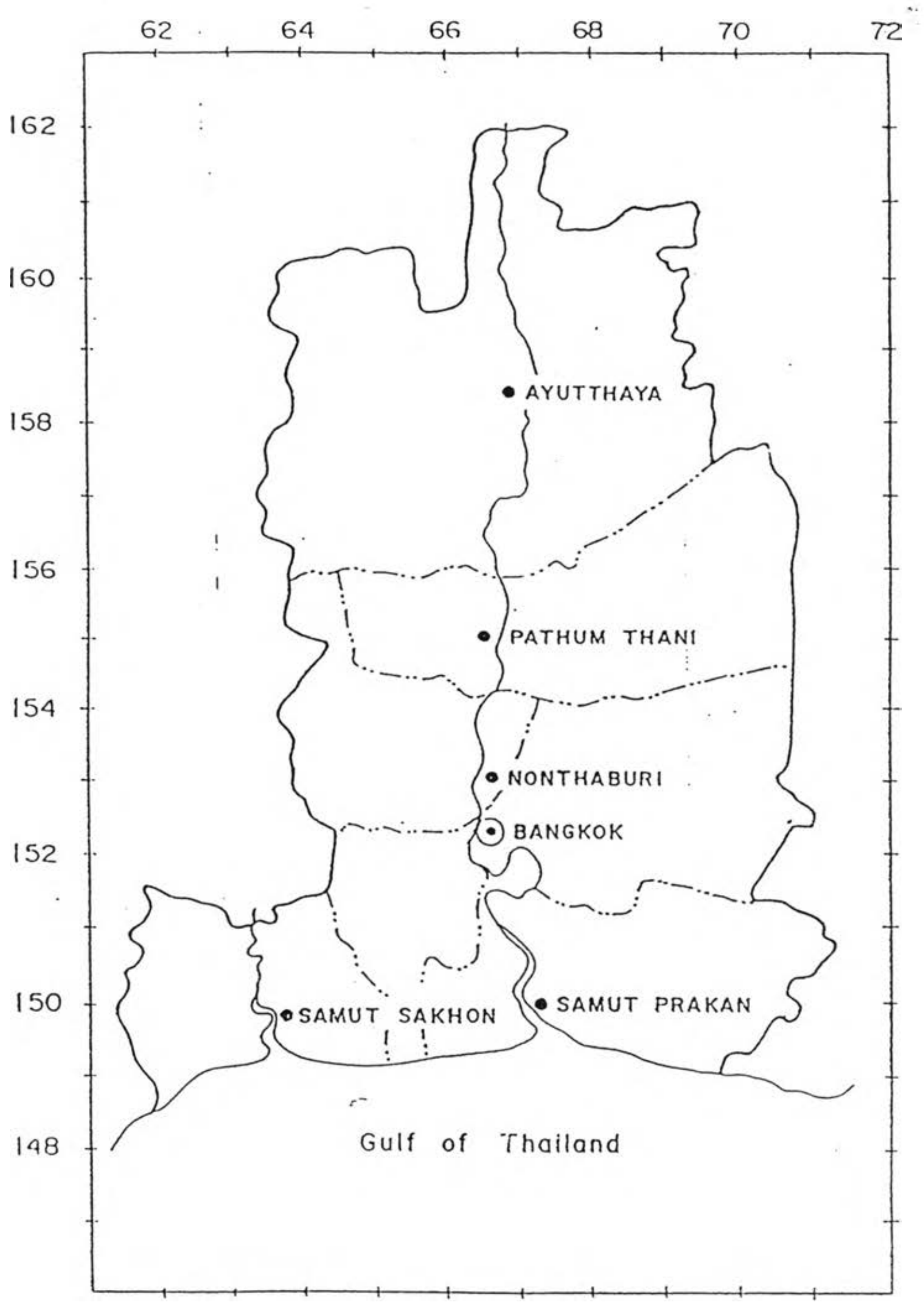
1.3 ขอบข่ายวิทยานิพนธ์

1.3.1 พื้นที่ที่ทำการศึกษา ชั้นน้ำนนทบุรีในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล (ดูรูปที่ 1-1 1-2 และเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กในรูปที่ 5-1) ครอบคลุมพื้นที่ 7 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี ปทุมธานี สมุทรปราการ สมุทรสาคร บางส่วนของนครปฐมและพระนครศรีอยุธยา จากข้อมูลการแบ่งชั้นน้ำของกรมทรัพยากรธรณี โดยวิเคราะห์การแพร่ของน้ำเค็มในชั้นน้ำนนทบุรี และพิจารณาชั้นน้ำพระประแดงและชั้นน้ำนครหลวง และชั้นน้ำอื่นๆ ประกอบด้วย

1.3.2 ข้อมูลที่นำมาใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้จากข้อมูลของ โครงการป้องกันและแก้ไขวิกฤตการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ปี พ.ศ. 2526-2540 กรมทรัพยากรธรณี และหน่วยงานอื่นที่เกี่ยวข้อง ดังตารางที่ 1-1 และข้อมูลจากการเก็บข้อมูลในสนาม จากบ่อสังเกตการณ์จำนวน 258 บ่อ ของกรมทรัพยาธรณี โดยแบบจำลองในพื้นที่ศึกษาใช้ขนาดกริด (grid size) 2 กม. x 2 กม. ครอบคลุมพื้นที่ 6,400 ตารางกิโลเมตร ดังรูปที่ 1-1

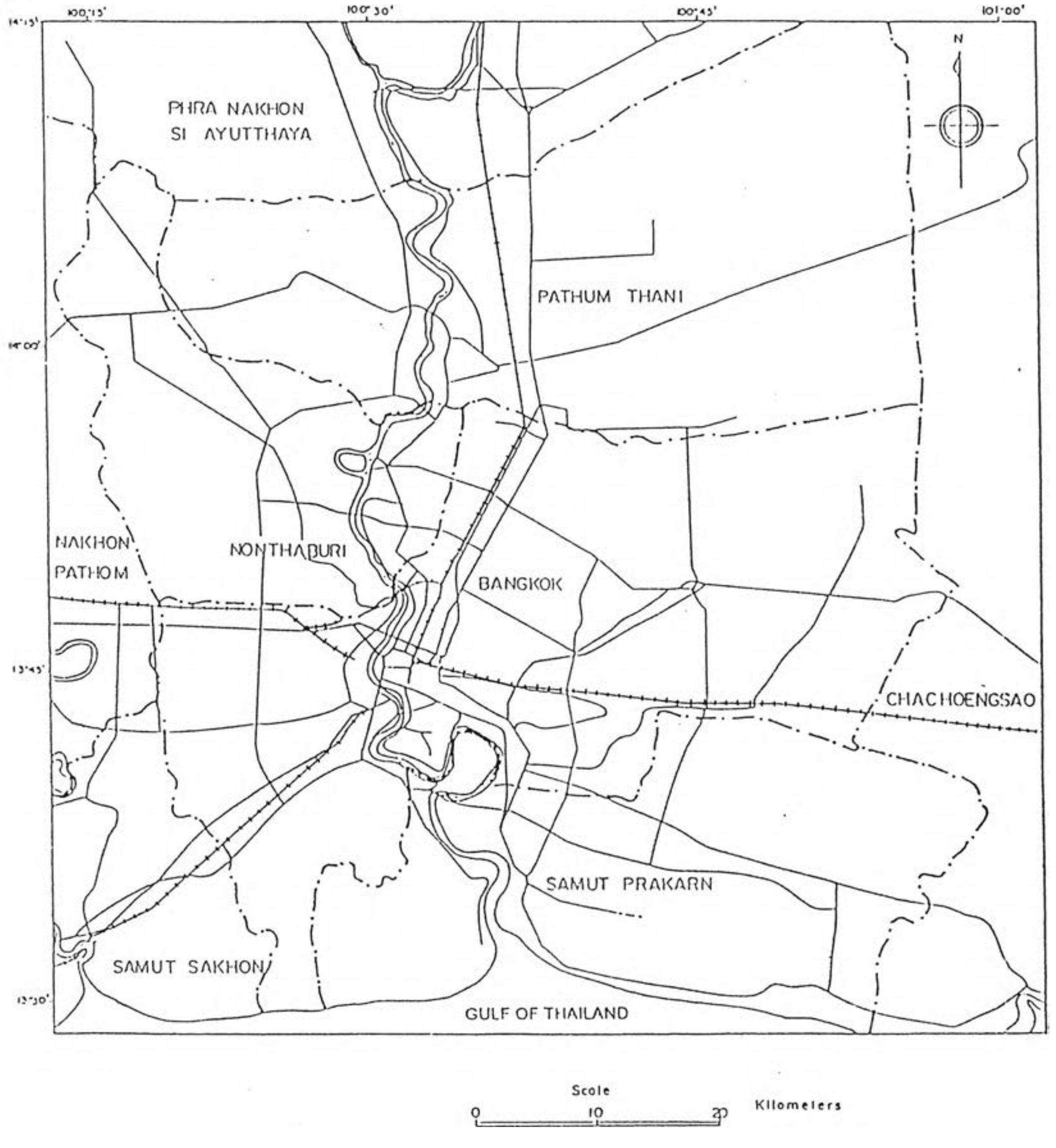
ตารางที่ 1-1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและแหล่งข้อมูล

ชนิดของข้อมูล	ที่มา	ปี
ข้อมูลระดับบาดาล ข้อมูลคุณภาพน้ำบาดาล ข้อมูลชั้นดิน (Bore log)	กรมทรัพยากรธรณี กรมทรพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณีและ JICA	2526-2540 2526-2540 2535
แผนที่อุทกธรณีวิทยาจังหวัดกรุงเทพฯ และปริมณฑล แผนที่เส้นชั้นความสูงคลอไรด์	กรมทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี	2522 และ 2526 2525
ข้อมูลทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำบาดาล	JICA	2535
อัตราการสูบน้ำของหน่วยงานราชการและหน่วยงานเอกชน	JICA โครงการศึกษาข้อมูลและศักยภาพในการใช้น้ำเพื่ออุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล	2526-2535 2542



รูปที่ 1-1 พื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1-2 สถานที่ตั้งพื้นที่ศึกษา

1.3.3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้ในการศึกษา คือ MODFLOW (a modular three-dimensional groundwater flow model) และ MT3D (a modular three-dimensional transport model) ซึ่งใช้หลักทฤษฎีทางด้าน numerical method ซึ่งประกอบด้วย สมการผลต่างสืบเนื่อง (finite difference equation) สำหรับแบบจำลองที่ใช้ในการป้อนข้อมูลเข้า และการแสดงผลการคำนวณของแบบจำลอง MODFLOW และ MT3D คือ แบบจำลอง GMS (Groundwater modeling system)

1.3.4 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลองสภาพการรุกล้ำของน้ำเค็ม

1. ข้อมูลระดับน้ำบาดาลของบ่อสังเกตการณ์ชั้นน้ำพระประแดง นครหลวง และนนทบุรี ปี พ.ศ. 2526-2540 จากโครงการป้องกันและแก้ไขวิกฤตการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล
2. ข้อมูลความเข้มข้นคลอไรด์ของน้ำบาดาลของบ่อสังเกตการณ์ชั้นน้ำพระประแดง นครหลวง และนนทบุรี ปี พ.ศ. 2529-2540 จากโครงการป้องกันและแก้ไขวิกฤตการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล
3. อัตราการสูบน้ำของหน่วยงานราชการ/รัฐวิสาหกิจ และหน่วยงานเอกชน ปี พ.ศ. 2526-2540
4. ค่าสัมประสิทธิ์การรั่วซึม ค่าความพรุนใช้การ และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่

1.3.5 การเก็บข้อมูลเพิ่มเติมทางภาคสนามทำการเก็บข้อมูลและติดตามข้อมูลที่ใช้กับแบบจำลอง เช่น ระดับน้ำบาดาลและความเข้มข้นของคลอไรด์ โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลในภาคสนามประมาณเดือนละ 2 ครั้ง เป็นเวลา 6 เดือน (เดือนพฤษภาคม ถึงกันยายน พ.ศ. 2541)

1.3.6 หาความสัมพันธ์ของปริมาณความเค็มกับอัตราการสูบที่เปลี่ยนแปลงไป จากการพิจารณาเส้นชั้นความสูงของความเข้มข้นคลอไรด์ และสมดุลของมวลเกลือ ของชั้นน้ำนนทบุรีในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำเค็ม ในช่วงปี พ.ศ.2529-2540

1.3.7 จำลองการแพร่ของน้ำเค็มจากการจำลองสภาพในช่วงปี พ.ศ.2541-2560 โดยเพิ่มและลดเปอร์เซ็นต์อัตราการสูบน้ำในกรณีต่างๆกัน

1.3.8 เสนอแนะแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำเค็มในชั้นน้ำบาดาล โดยพิจารณาจากการลดอัตราการสูบน้ำในกรณีต่างๆ ที่มีผลการเปลี่ยนแปลงของลิ่มน้ำเค็ม

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.1 งานวิจัยในต่างประเทศ

1.4.1.1 แบบจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน

Freeze and Witherspoon (1966) ใช้วิธี finite difference ในการตรวจสอบลักษณะทางธรรมชาติที่ทำให้เกิดการไหลในแอ่งน้ำขนาดเล็กที่สมมุติขึ้น เขาได้กำหนดจุดบนสุดของขอบเขตเป็นผิวหน้าดิน และสร้างสูตรที่ใช้สำหรับแก้ปัญหาการไหลแบบอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว

Bredehoeft และ Pinder (1968) ได้พัฒนารูปแบบ finite difference numerical model เพื่อที่จะจำลองการไหลของน้ำในแอ่งน้ำใต้ดินที่เป็นชั้นน้ำมีแรงดันที่มีการสูบน้ำ ภายหลังวิธีนี้ได้มีการแปลงรูปแบบเป็นแบบจำลอง Quasi 3 มิติ สำหรับชั้นน้ำหลายๆชั้น โดยการรวมเทอมการรั่วซึมในแนวดิ่ง เข้ากับเทอมการไหลในแนวราบ ซึ่งเป็นแบบจำลองที่จำลองสภาพการไหลในแนวราบ 2 มิติ ควบคู่ไปกับการรั่วซึมจากชั้นดินทึบน้ำ จากการคำนวณค่าการไหล (flux) ซึ่งใช้วิธีเชิงวิเคราะห์ที่ดัดแปลงโดย Harshaw และ Bredehoeft (1968)

Prickett และ Lonnguist (1972) ได้ใช้เทคนิคทางด้านดิจิตอลคอมพิวเตอร์ประเมินแหล่งน้ำใต้ดินขนาดใหญ่ โดยเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองสภาพการไหลไม่คงที่ 1 มิติ, 2 มิติ และ 3 มิติ ของชั้นน้ำที่มีความแตกต่างของระดับน้ำใต้ดินและไม่มีการรั่วซึมระหว่างชั้นน้ำ โดยที่โปรแกรมได้รวมเทคนิคต่างๆที่เกี่ยวข้องกับเวลาซึ่งแปรผันกับอัตราการสูบน้ำ และอัตราการเติมน้ำต่างๆ

Narasimhan และ Witherspoon (1976) ได้ใช้ integrated finite difference method วิเคราะห์การไหลของของเหลวในตัวกลางรูพรุน ซึ่งใช้ได้กับการไหลแบบอิ่มตัวและการไหลแบบไม่อิ่มตัว แบบจำลองนี้ได้ประโยชน์จากวิธี finite difference และ finite element

Mass (1986) ได้รวบรวมข้อมูลในภาคสนามของจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นน้ำหลายๆชั้น ในรูปแบบของ metrix differential equation ซึ่งแก้สมการโดยอาศัย

สมการ metrix functions ซึ่งวิธีการนี้เขาเสนอวิธีการแก้ปัญหาของการไหลในสภาพไม่คงที่ตรงตำแหน่งที่ตั้งของบ่อ ณ จุดกึ่งกลางของชั้นน้ำหลายๆชั้น

Gould และ Siegel (1988) ใช้แบบจำลอง MODFLOW ในสภาพการไหลของน้ำในสภาพคงที่ (steady state) พบว่าทิศทางการไหลของน้ำบาดาล และสเกลของระบบการไหลของน้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษามีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ (hydraulic conductivity) ที่สมมุติไว้

1.4.2.2 แบบจำลองการแพร่ของน้ำเค็ม

Bredehoeft และ Pinder (1973) ได้พัฒนาแบบจำลอง ซึ่งรวมสมการเคลื่อนที่ของสสารเข้ากับสมการการไหลในการจำลองสภาพการปนเปื้อนในชั้นน้ำ โดยแบบจำลองนี้จะทำนายการเคลื่อนที่ของมลพิษได้

Sa'da Costa และ Wilson (1979) ได้ศึกษาการเคลื่อนที่ของรอยต่อระหว่างน้ำจืดกับน้ำเค็มในชั้นน้ำมีแรงดัน โดยใช้สมการ vertically integrated flow ในการประมาณตำแหน่งของรอยต่อ แก้สมการด้วยวิธี Galerkin finite element เพื่อจำลองการรุกล้ำของน้ำเค็มเข้ามายังน้ำจืดเมื่อมีการสูบน้ำตามชายฝั่ง การเติมน้ำกลับตามธรรมชาติ (natural recharge) และการอัดน้ำกลับลงไปยังชั้นน้ำ

Bennett et. al. (1981) ได้ใช้แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ 3 มิติ จำลองสภาพการรุกล้ำของน้ำทะเลของชั้นน้ำมีแรงดัน เพื่อตรวจสอบหาทางเลือกในการจัดการลดการรุกล้ำของน้ำทะเล พบว่าแบบจำลองสามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตามฤดูกาลและการไหลของแม่น้ำที่มีผลต่อระดับน้ำและการรุกล้ำของน้ำทะเลได้

Polo และ Ramis (1983) ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ โดยวิธี finite difference ในการอธิบายการเคลื่อนที่ของรอยต่อระหว่างน้ำจืดกับน้ำเค็ม ด้วยใช้วิธีการประมาณค่าแบบ Dupuit พบว่า ขอบเขตโมเดลที่สร้างขึ้นใช้ได้ดีกับการวิเคราะห์แก้ปัญหาในสภาวะที่ไม่คงที่

Taigbenu และ Liggett (1984) ใช้วิธี boundary integral equation ในการแก้ปัญหาการรุล้ำของน้ำทะเลไปยังชั้นน้ำจืดขณะที่มีการสูบน้ำ ในชั้นน้ำที่ลึกและมีสภาวะการไหลที่ไม่คงที่ และชั้นน้ำตื้นที่มีสภาวะการไหลคงที่ ใช้วิธีการประมาณค่าแบบ Dupuit-Forchheimer ในการลดปัญหาการไหลใน 2 มิติไปเป็น 2 มิติ และประมาณการไหลด้วยการประมาณค่าแบบ Ghyben-Herzberg ในเขตน้ำเค็ม

Huyakorn (1986) ได้พัฒนาการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาล และการเคลื่อนที่ของสารละลายในชั้นน้ำหลายๆชั้น โดยใช้วิธี finite element method 3 มิติ ซึ่งเป็นการรวมระหว่างแบบจำลอง 2 มิติ ในแนวราบ และ 1 มิติในแนวดิ่งเข้าไว้ด้วยกัน พบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้ไม่สอดคล้องกับปัญหาที่เป็นไม่เป็นเชิงเส้น เช่นความหนาแน่นของน้ำไม่ขึ้นกับการไหล แต่จะใช้ได้ดีกับปัญหาที่เป็นเชิงเส้น ซึ่งมีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง

Rao และ Hatheway (1989) ใช้แบบจำลอง MODFLOW ในการทำนายความเข้มข้นคลอไรด์ที่เปลี่ยนแปลงไปต่อการสูบน้ำในอนาคต โดยคำนวณแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของคลอไรด์ในอดีต ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำที่ลดลงกับความเข้มข้นคลอไรด์

Calvache และ Pulido-Bosch (1994) ได้ศึกษาการปนเปื้อนของการรุกล้ำของน้ำเค็มที่มีผลกระทบต่อชั้นน้ำชายฝั่ง ซึ่งจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินด้วยโปรแกรม MODFLOW ในชั้นน้ำ และจำลองสภาพลิ่มน้ำเค็มด้วยโปรแกรม BADON2 และจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำตามความหนาแน่นน้ำ (MOCDENSE) พบว่าความเค็มที่มีค่าสูงนั้นมาจากเส้นทางการไหลของน้ำใต้ดินผ่านเศษหินเกลือที่ทับถมกัน เนื่องจากน้ำใต้ดินในระบบชั้นน้ำมีการไหลออกไปสู่ทะเลเพียง 10%-20% ไม่เพียงพอที่จะละลายเกลือจนทำให้เกิดการรุกล้ำของน้ำเค็มได้ และพบว่าแบบจำลองการเคลื่อนที่ 2 มิติ ไม่สามารถที่จะให้ผลที่เหมือนจริงได้ เนื่องจากผลกระทบจากทิศทางการไหลในแนวขวาง (transverse) ของน้ำใต้ดินผ่านวัสดุที่แพร่ผ่านได้ง่าย ซึ่งไม่สามารถจำลองสภาพในแนวนี้ได้

Padilla และ Cruz-Sanjulian (1997) ใช้วิธีแบบจำลองคณิตศาสตร์ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเลของชั้นน้ำแบบชายฝั่ง ใช้สมการ partial differential ในการหาการเคลื่อนที่ของลิ่มน้ำเค็ม และใช้วิธี Galerkin finite-element วิเคราะห์รอย

differential ในการหาการเคลื่อนที่ของลิ่มน้ำเค็ม และใช้วิธี Galerkin finite-element วิเคราะห์รอยต่อระหว่างน้ำจืดกับน้ำเค็ม ภายใต้สภาวะการไหลคงที่ และเงื่อนไขขอบเขตแบบเปิด พบว่าจากการจำลองสภาพด้วยเงื่อนไขขอบเขตแบบเปิดสู่ทะเล สามารถคาดการณ์ ตำแหน่งรอยต่อระดับน้ำจืด และการไหลในสภาวะคงที่ ของชั้นน้ำชายฝั่ง ได้อย่างชัดเจน และเหมาะต่อการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบชายฝั่ง

1.4.2 งานวิจัยในประเทศ

1.4.2.1 แบบจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน

Suddiqui (1987) ใช้แบบจำลอง quasi 3 มิติ ซึ่งถูกพัฒนาในช่วงปี 1978-1981 สำหรับชั้นอุ้มน้ำในกรุงเทพฯ และทำการปรับเทียบโมเดล จนกระทั่งในปี 1986 เริ่มการจำลองสภาพจากปี 1955 แผนที่เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำในปี 1982 และ 1985 ถูกนำมาใช้ในการปรับเทียบ พบว่าผลของแบบจำลองสำหรับการต่อข้อมูลในช่วง 1982-1986 เมื่อเปรียบเทียบกับการสังเกตในสนามแล้วมีค่าที่ให้ความใกล้เคียงกัน

Mahadeva (1991) ได้ปรับปรุงพารามิเตอร์ทางอุทกธรณีวิทยาของการศึกษาควบคุมพื้นที่กรุงเทพฯ โดยประมาณจากรายละเอียดของชั้นหินในแนวดิ่ง ค่าพารามิเตอร์นี้ภายหลังถูกปรับเปลี่ยนโดยการสอบเทียบด้วย MODFLOW ซึ่งค่าต่างๆจะนำไปปรับปรุงผลลัพธ์ของโมเดลปรับเทียบช่วงของลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของแต่ละชั้นน้ำ และเปรียบเทียบกับโมเดล Quasi-3D พบว่า MODFLOW ให้ค่าระดับน้ำที่ใกล้เคียงกว่า Quasi-3D

Das Gupta (1985) ได้พัฒนาแบบจำลอง MODFLOW จากความแปรผันของระดับน้ำ และการทรุดตัว พบว่า ได้ดีกว่าผลของแบบจำลอง quasi -3D ที่ศึกษาก่อนหน้านี้กระบวนการสอบเทียบหลังจากที่มีการปรับปรุงลักษณะของระบบและการกระจายการทรุดตัวใหม่ทำให้สามารถเข้าใจระบบชั้นน้ำที่ซับซ้อนของกรุงเทพฯได้ง่ายกว่า นอกจากนี้การศึกษาแบบจำลองนี้นำไปสู่สมมุติฐานและการประมาณค่าคงที่ระหว่างการจัดเตรียมข้อมูลและกระบวนการจำลอง ในส่วนนี้การทำนายผลของโมเดลสำหรับวัตถุประสงค์การจัดทำแผนการจัดการน้ำบาดาลและนโยบายควบคุมการทรุดตัวสำหรับอนาคตต้องประเมินให้สอดคล้องกันด้วย

กรมโยธาธิการ (1995) ได้ใช้แบบจำลอง MODFLOW ในการจำลองสภาพน้ำใต้ดินในจังหวัดกำแพงเพชร เพื่อหาความเหมาะสมในการเติมน้ำลงไปในชั้นของชั้นหินอุ้มน้ำ พร้อมทำการทดลองเติมน้ำด้วยสระภาคสนาม สรุปผลได้ว่า ชั้นของชั้นอุ้มน้ำมีความเหมาะสม และน้ำดิบที่มีอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ แต่มีตะกอนปะปนอยู่เพียงเล็กน้อย

สมคิด บัวเพ็ง (1996) ได้ใช้แบบจำลอง MODFLOW ในการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาล เพื่อหาอายุของน้ำบาดาล เปรียบเทียบกับการหาอายุของน้ำบาดาลด้วยคาร์บอน 14 พบว่า อายุที่หาจากแบบจำลอง MODFLOW มีอายุมากกว่าคาร์บอน 14 เนื่องมาจากการประมาณค่าความพรุนใช้การ (effective porosity) และค่าความสามารถในการซึมผ่าน ผ (transmissivity) ไม่ตรงกับระบบชั้นน้ำจริง ในการศึกษาในครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบค่าความพรุนใช้การและค่าความสามารถในการซึมผ่านกับผลการปรับเทียบแบบจำลองการไหลและแบบจำลองการรุกล้ำของน้ำเค็มต่อไป

กรมทรัพยากรธรณี (1999) ได้ศึกษาหาปริมาณการใช้น้ำบาดาลและจำลองสภาพการไหลเพื่อหาศักยภาพและพัฒนาแหล่งน้ำเพื่ออุตสาหกรรม ในพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW ในการจำลองสภาพการไหลน้ำบาดาลในมาตราการการใช้น้ำแบบต่างๆ ในอนาคต เพื่อวางแผนในการจัดการน้ำบาดาลและน้ำเพื่อการอุตสาหกรรมในอนาคต

1.4.2.2 แบบจำลองการแพร่ของน้ำเค็ม

Bashir (1978) ประยุกต์ใช้แบบจำลอง finite difference 1 มิติ ในการศึกษาการรุกล้ำของน้ำเค็มในชั้นน้ำนครหลวง เพื่อหาแหล่งของน้ำเค็มและกลไกของการเกิดน้ำเค็ม เขาสรุปว่าการรุกล้ำของน้ำเค็มเข้ามายังชั้นน้ำมาจากน้ำเกลือที่ขังอยู่ตามธรรมชาติ ที่เกิดพร้อมๆ กับการสะสมตัวของเกลือหิน (connate water) ซึ่งขังตัวอยู่ทางด้านตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยาและจากอ่าวไทย

Yapa (1979) ได้วิเคราะห์แบบจำลองสภาพการรุกล้ำของน้ำเค็มด้วยในชั้นน้ำพระประแดง โดยใช้แบบจำลองเลขคณิต 1 มิติ และจัดรูปแบบและปรับเทียบด้วยแบบจำลองเลขคณิต 2 มิติ ซึ่งใช้สมการการไหลโดยทั่วไป และสมการการแพร่ และใช้เทคนิคเลขคณิต

ในการแก้สมการการพัดพาและการแพร่ (convective-dispersion) แสดงรูปแบบการแพร่ของน้ำเค็มโดยประมาณ พบว่าการแทรกตัวของน้ำเค็มในชั้นน้ำพระประแดงไม่ได้เกิดจากทะเลเพียงอย่างเดียว แต่เกิดจากน้ำเค็มที่ค้างอยู่ในชั้นน้ำ (connate water bodies) จับตัวในตะกอนในช่วงเวลาที่ดินตะกอนเกิดการทับถมภายใต้สภาวะที่ยังน้ำด้านบนยังเป็นทะเล และการกระจายตัวของความเข้มข้นคลอไรด์ชี้ถึงการประมาณในเรื่องของขนาดมากกว่าค่าที่ถูกต้อง

Sarath Upali (1980) ใช้แบบจำลองสภาพการไหลของน้ำ 2 มิติ และแบบจำลอง convective diffusion 2 มิติ ในการจำลองสภาพการเคลื่อนที่ของน้ำเค็มในชั้นน้ำนครหลวง เพื่อคาดการณ์การแพร่ของน้ำเค็มภายใต้อัตราการสูบน้ำแบบต่างๆ ในอนาคต เขาสรุปว่าการสูบน้ำในชั้นน้ำนี้ควรที่จะลดลงกว่านี้ หรือรักษาอัตราการสูบน้ำให้คงที่หรือเท่ากับการสูบน้ำในปีปัจจุบัน (1980) เพื่อป้องกันแหล่งน้ำใต้ดินไม่ให้มีคุณภาพที่เลวร้ายต่อไปในอนาคต

De Mel (1982) ใช้แบบจำลองสภาพการเคลื่อนของสารละลาย ในระบบชั้นน้ำหลายชั้น ร่วมกับแบบจำลอง hydrodynamic ในระบบชั้นน้ำหลายชั้น ในการคาดการณ์ความเข้มข้นของความเค็ม ในชั้นน้ำกรุงเทพ และชั้นน้ำพระประแดง เขาพิจารณาว่าการรุกล้ำของน้ำเค็มมาการเคลื่อนที่ของน้ำเค็มจากแม่น้ำท่าจีนและแม่น้ำเจ้าพระยา และมาจาก connate water bodies ที่จับตัวอยู่ที่ชั้นน้ำกรุงเทพและชั้นน้ำพระประแดงเอง

Sabanathan (1984) ใช้สมการการแพร่ของน้ำใต้ดิน 3 มิติ ร่วมกับแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินหลายชั้นน้ำ พิจารณาใน 3 ชั้นน้ำ คือชั้นน้ำกรุงเทพ ชั้นน้ำพระประแดง และชั้นน้ำนครหลวง กำหนดให้ connate water body มีการกระจายตัวอยู่ทางด้านตะวันตกของโมเดลใน 3 ชั้นน้ำ และพิจารณาการรั่วซึมลงในแนวดิ่ง ให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนว longitudinal เท่ากับ 80 เมตร ถึง 320 เมตร เขาพบว่าการรุกล้ำของน้ำเค็มมาจาก connate water ที่จับตัวอยู่ในด้านตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา และการรั่วซึมลงในแนวดิ่งของน้ำเค็มจากแม่น้ำเจ้าพระยาเอง และ connate water body บริเวณทิศใต้ มีความเข้มข้นของความเค็มสูง เนื่องมาจาก connate water body อยู่ติดกับอ่าวไทย ซึ่งนำผลจากการศึกษานี้เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และการจำลองสภาพการไหลและการแพร่

Gupta (1986) ใช้แบบจำลองเชิงวิเคราะห์และเชิงตัวเลขวิเคราะห์ปัญหาการปนเปื้อนของน้ำเค็มในชั้นน้ำนครหลวงของระบบชั้นน้ำกรุงมหานคร บนพื้นฐานกลไกการแพร่ของของเหลว (hydrodynamic dispersion) ประเมินตำแหน่งของแหล่งที่ปนเปื้อน และคาดการณ์อัตราและรูปแบบของการรุกล้ำภายใต้การวางแผนการจัดการน้ำ เพื่อกำหนดเครือข่ายการติดตามผลที่มีประสิทธิภาพและประหยัด พบว่าแหล่งของน้ำเค็มที่ปนเปื้อนมีการกระจายตัวอยู่ด้านตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา จากแนวโน้มการสูบน้ำในปัจจุบันส่งผลทำให้อัตราการรุกล้ำของน้ำเค็มมีสูงมากจากทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือไปยังศูนย์กลางของการสูบน้ำ

JICA (1992) ได้ใช้แบบจำลอง MOCDENSE และ MT3D ในการจำลองสภาพการกระจายของความเข้มข้นคลอไรด์ในชั้นอุ้มน้ำกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยจำลองสภาพในแนวดิ่ง ขึ้นอยู่กับอัตราการสูบน้ำตามมาตรการต่างๆ โดยเตรียมค่าพารามิเตอร์ทางอุทกธรณีจากแบบจำลอง MOCDENSE ได้แก่ ค่าแรงดันของของเหลว และความเข้มข้นของคลอไรด์ เพื่อใช้ในการคาดการณ์การแพร่ของน้ำเค็มในชั้นน้ำในอนาคต

Gangopadhyay (1993) ได้ใช้แบบจำลอง SUTRA ในการจำลองสภาพการเคลื่อนที่ของสารละลายในชั้นน้ำพระประแดงและชั้นน้ำนครหลวงในช่วงเวลา 36 ปี (1955-1990) และใช้ระดับน้ำ (piezometric head) ในปี 1979 และ 1990 ในการปรับเทียบโมเดล เพื่อใช้ในการคาดการณ์ระดับน้ำ และการกระจายตัวของความเข้มข้นคลอไรด์ (chloride distribution) ในชั้นน้ำทั้ง 2 ภายใต้มาตรการการสูบน้ำแบบต่างๆ

1.4.2.3 **การหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่**

Warren และ Skiba (1964) ได้ศึกษาการเคลื่อนที่ของสารที่ละลายน้ำได้ในตัวกลางรูพรุนที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน 3 มิติ โดยใช้เทคนิค monte carlo ซึ่งสมมุติให้การแพร่มาจากผลของการแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้

Gelhar และ Collins (1971) ได้ศึกษาปัญหาที่เกี่ยวข้องกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ในแนว longitudinal ในตัวกลางรูพรุนด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ จากผลกระทบของการไหลที่ไม่สม่ำเสมอ (nonuniform flow) และตัวแปรต่างๆ ของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ โดยประมาณขอบเขตของชั้นน้ำเพื่อใช้ในการปรับสมการทั่วไปของสมการพัดพาและแพร่ 1 มิติ สำหรับการไหล

แบบคงที่ เมื่อเปรียบเทียบการแก้สมการเชิงวิเคราะห์ (analytical solution) กับการแก้สมการเชิงตัวเลข ซึ่งวิธีดังกล่าวจะให้ผลที่ถูกต้องในการประยุกต์ในหลายๆ กรณี

Gelhar และ Gutjahr (1979) ได้หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จากผลของการแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ในชั้นน้ำที่มีการแบ่งออกเป็นชั้นๆ โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้และความเข้มข้นคลอไรด์ เช่นเดียวกับชั้นดินที่เป็นเนื้อเดียวกัน ด้วยวิธีกระบวนการ stochastic ผลการวิเคราะห์แสดงว่าการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ตามแนว longitudinal ด้วยวิธีดังกล่าวจะให้ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางสถิติของตัวกลาง และอธิบายการพัฒนากระบวนการแพร่แบบไม่คงที่และผลกระทบ non-fickian ซึ่งเกิดขึ้นก่อนในกระบวนการเคลื่อนที่

Gelhar et al. (1992) ได้รวบรวมผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จากการสังเกตการณ์ในภาคสนาม 59 แห่ง (ซึ่งแสดงค่าดังตารางภาคผนวกที่ จ-1) ประกอบด้วยชนิดของชั้นน้ำ คุณสมบัติทางด้านชลศาสตร์ ลักษณะการไหล ชนิดของการตรวจวัด การติดตามสารปนเปื้อน (tracer) วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล ขนาดของการสังเกตการณ์ และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ตามแนว longitudinal แนว horizontal transverse และแนว vertical transverse จากแหล่งของสารปนเปื้อน ซึ่งใช้ค่าต่างๆดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้นแบ่งข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ออกเป็น 3 ลำดับ ตามความน่าเชื่อถือของข้อมูล พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสเกลของการสังเกตการณ์ (observation scale) ซึ่งเป็นค่าระยะทางในการเคลื่อนที่ของสารปนเปื้อน ค่าความน่าเชื่อถือของข้อมูล สำหรับช่วงสเกล 10^{-1} ถึง 10^{5} เมตร มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ตามแนว longitudinal อยู่ในช่วง 10^{-2} ถึง 10^{4} เมตร สำหรับสเกลที่มีขนาดใหญ่ที่มีค่าความน่าเชื่อถือสูง (มาจากการทดลอง tracer) มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประมาณ 250 เมตร เมื่อแบ่งค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ตามความพรุนกับตัวกลางที่เป็นกรวดหรือทรายไม่ปรากฏนัยสำคัญระหว่างชนิดของชั้นน้ำเหล่านี้ และพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ตามแนว longitudinal นี้ไม่เหมาะแทนด้วยความสัมพันธ์เชิงเส้น

1.5 แนวทางการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้กำหนดแนวทางการศึกษาไว้ดังนี้

1.5.1 ทำการศึกษาทฤษฎี แบบจำลองของน้ำใต้ดิน และแบบจำลองการแพร่ของน้ำเค็ม และศึกษาข้อมูลทางด้านอุทกธรณี ธรณี และข้อมูลทางด้านชลศาสตร์ของชั้นน้ำ

1.5.2 ศึกษาข้อมูลการรุกล้ำของน้ำเค็ม และเก็บข้อมูลภาคสนามเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสภาพน้ำบาดาล และการเคลื่อนที่ของน้ำเค็มเข้าสู่แหล่งน้ำจืด ได้แก่ ระดับน้ำและความเค็มของบ่อสังเกตการณ์ในช่วง เดือนพฤษภาคม ถึงกันยายน พ.ศ.2541 และทบทวนข้อมูลบ่อบาดาลจากหน่วยงานต่างๆและข้อมูลความเค็มของชั้นน้ำนนทบุรี จากข้อมูลความเค็มของบ่อสังเกตการณ์และบ่อบาดาลเอกชนที่มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำ และแผนที่เส้นชั้นความเข้มข้นคลอไรด์ของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ปี พ.ศ.2529-2540 เพื่อกำหนดเงื่อนไขและขอบเขตตลอดจนอัตราการสูบน้ำที่เหมาะสม

1.5.3 จำลองสภาพน้ำบาดาล โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำลองสภาพน้ำใต้ดินของชั้นน้ำมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน และหาสมดุลของมวลน้ำบาดาลในชั้นน้ำต่างๆ โดยนำข้อมูลในการจำลองสภาพจากการศึกษาการจัดการน้ำบาดาลและการทรุดตัวของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (JICA, 2535) และปรับค่าสัมประสิทธิ์อัตราการสูบน้ำบาดาลจากการศึกษาของ JICA และเปรียบเทียบผลจากการศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการอุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (2542)

1.5.4 กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการจำลองสภาพการแพร่ของน้ำเค็ม จากข้อมูลที่เก็บในภาคสนาม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และข้อมูลบ่อสังเกตการณ์ ได้แก่ สภาพธรณี คุณภาพน้ำ ระดับน้ำ และสมดุลของเกลือ (salt balance) และข้อมูลการใช้น้ำของหน่วยงานราชการต่างๆ โครงการป้องกันและแก้ไขวิกฤตการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล กรมทรัพยากรธรณี (2540) และโครงการศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนาแหล่งน้ำ เพื่อการอุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (2542)

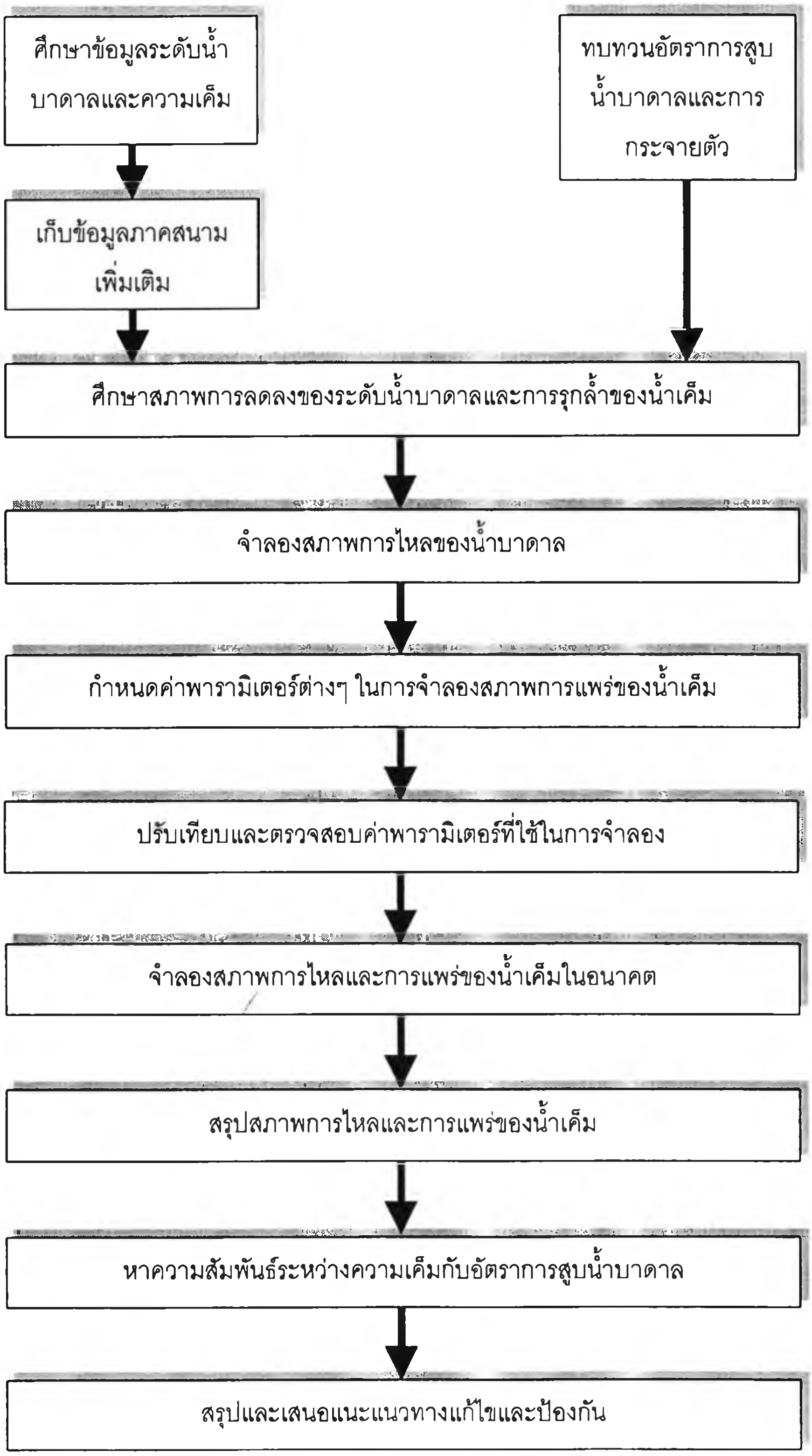
1.5.5 จำลองสภาพการแพร่ของน้ำเค็มในชั้นน้ำนนทบุรี ด้วยแบบจำลอง MT3D โดยนำระดับน้ำจากการจำลองสภาพการไหลของน้ำบาดาลมาใช้ในการจำลองสภาพ

1.5.6 ปรับเทียบและตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยเทียบกับข้อมูลระดับน้ำและความเค็มที่เก็บในภาคสนาม

1.5.7 ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ปรับแก้แล้ว จำลองสภาพการไหลและการแพร่ของความเค็มในอนาคต และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความเค็มกับอัตราการสูบน้ำ และคาดการณ์การรุกล้ำของน้ำเค็ม จากกรณีอัตราการสูบน้ำในกรณีต่างๆ กัน

1.5.8 สรุปผล และเสนอแนะแนวทางการป้องกันและแก้ไขปัญหาการรุกล้ำของน้ำเค็ม ทั้งการจำลองสภาพและในทางปฏิบัติ

แนวทางการศึกษาครั้งนี้ได้สรุปดังในรูปที่ 1-3



รูปที่ 1-3 แนวทางการศึกษา