บทที่ 1

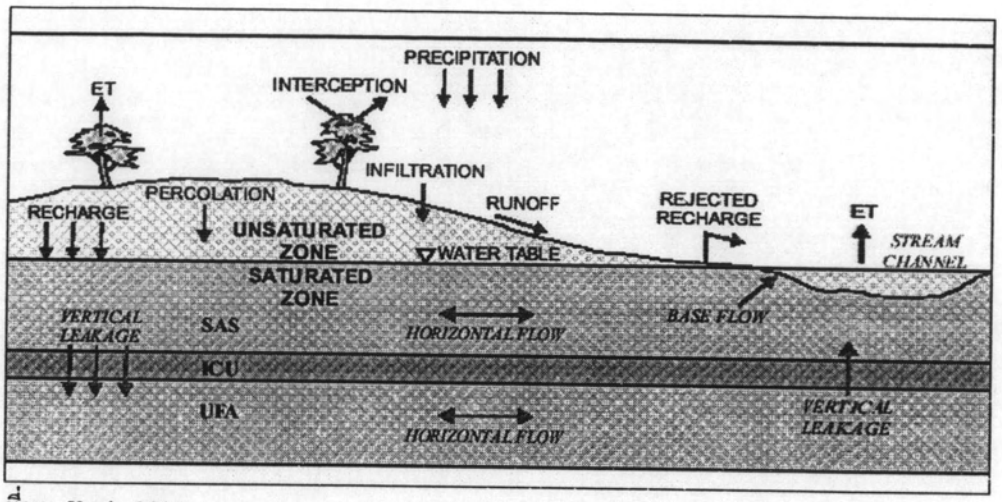
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยประสบปัญหาภัยแล้งอยู่เป็นประจำ รวมถึงช่วงฤดูแล้งของปี พ.ศ.2547-2549 ปัญหาภัยแล้งได้สร้างผลกระทบต่อชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชน และความเสียหายต่อพืชผลการเกษตร เนื่องจากการพึ่งพาปริมาณน้ำเก็บกักผิวดินที่มีอยู่อย่างจำกัด ไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชาชนในพื้นที่ เหตุการณ์เหล่านี้ยังแสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำผิวดินซึ่งเป็นแหล่งน้ำหลัก มีแนวโน้มไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชาชนที่เพิ่มมากขึ้นในหลายพื้นที่ของประเทศ แหล่งน้ำใต้ดินจึงเป็นทางเลือกในการใช้น้ำผสมผสานระหว่างน้ำผิวดินกับน้ำใต้ดิน คือ มีการพิจารณาถึงน้ำทั้งบริเวณผิวดินและใต้ดินไปพร้อมๆกัน และมีการพิจารณาถึงความสัมพันธ์เกี่ยวโยงของทั้งสองส่วน รวมไปถึงในด้านของเวลา ที่พิจารณาปริมาณและความสัมพันธ์ของทั้งสองส่วนในระยะยาว

ในการวางแผนบริหารจัดการแหล่งน้ำส่วนมากในปัจจุบัน ใช้แบบจำลองน้ำผิวดินในการคำนวณเพื่อหาปริมาณน้ำต้นทุนและช่วยในการตัดสินใจในการจัดสรรน้ำ แต่แบบจำลองน้ำผิวดินส่วนใหญ่ตั้งสมมติฐานขอบเขตด้านล่างที่เป็นส่วนของน้ำใต้ดินให้ไม่มีปฏิสัมพันธ์กันหรือให้มีค่าความชื้นหรือความชื้นของดินคงที่ ซึ่งเป็นทำให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำผิวดินผิดไปจากปรากฏการณ์จริงในธรรมชาติ ผนวกกับปัจจุบันการพิจารณาแหล่งน้ำผิวดิน มีส่วนสำคัญในการบริหารจัดการน้ำแบบผสมผสาน ทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้แบบจำลองน้ำผิวดินแต่เพียงอย่างเดียว นอกจากนั้น การพิจารณาน้ำผิวดินไปพร้อมกับน้ำใต้ดิน จึงเป็นการคำนวณแบบการอิ่มน้ำของดินแบบแปรฝันอิสระ ซึ่งให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับพฤติกรรมทางทฤษฎีอุทกวิทยามากขึ้น และยังเป็นพื้นฐานในการพัฒนาการใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา ให้สามารถพิจารณาองค์ประกอบทางอุทกวิทยาในระบบวัฏจักรได้ครบถ้วนมากขึ้น

เมื่อกล่าวถึงวัฏจักรทางอุทกวิทยา น้ำจืดเป็นเพียงส่วนหนึ่งในวัฏจักรขนาดใหญ่ที่มีการหมุนเวียนน้ำจากมหาสมุทรสู่ชั้นบรรยากาศ ลงมาสู่แผ่นดินและไหลกลับลงทะเล หมุนเวียนในลักษณะนี้ แต่เมื่อพิจารณาน้ำที่เป็นปัจจัยหลักในการดำรงชีวิตของมนุษย์แล้ว ทรัพยากรทางน้ำที่มนุษย์สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงก็คือน้ำจืดในแผ่นดิน ซึ่งการศึกษาครั้งนี้พิจารณากระบวนการทางอุทกวิทยาบนแผ่นดิน ดังรูปที่ 1-1 โดยเน้นปฏิสัมพันธ์ (interaction) ของการเคลื่อนที่ของน้ำระหว่างผิวดินและใต้ดิน



ที่มา : Koch, 2005

รูปที่ 1-1 วัฏจักรทางอุทกวิทยาของน้ำจืดในแผ่นดิน

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. พัฒนาการเชื่อมต่อระหว่างแบบจำลองน้ำผิวดิน และแบบจำลองน้ำใต้ดินเพื่อเข้าใจกลไกการแลกเปลี่ยนน้ำผิวดินกับน้ำใต้ดิน
2. ประยุกต์ใช้แบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้วในการวิเคราะห์หาสมดุลน้ำของพื้นที่ศึกษา
3. วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางอุทกวิทยา จากแบบจำลองที่เชื่อมต่อน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการพิจารณากระบวนการในวัฏจักรทางอุทกวิทยาของระบบน้ำผิวดินและใต้ดิน โดยมุ่งเน้นกระบวนการสำคัญในการหมุนเวียนของน้ำในระบบ ดังแสดงในรูปที่ 1-1 โดยพิจารณากระบวนการไหลของน้ำออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน โดย 2 ส่วนแรกได้แก่ กระบวนการไหลของน้ำผิวดินและกระบวนของไหลของน้ำบริเวณรอยต่อระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ได้พิจารณาใช้ชุดคำนวณ SWAT (Soil and Water Assessment Tool) ของ USDA (United States Department of Agriculture) ในการคำนวณ และการส่วนที่เหลือ คือ การไหลของน้ำใต้ดินที่ไหลภายใต้แรงดัน ได้พิจารณาใช้ชุดคำนวณ MODFLOW ของ USGS (United States Geological Survey) ในการคำนวณ

การพิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อการสร้างเครื่องมือเชื่อมต่อนี้ ได้คำนึงถึงความสัมพันธ์ตามหลักทางอุทกวิทยาระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยพิจารณาการเติมน้ำสู่ชั้นน้ำใต้ดิน (groundwater recharge) และการแลกเปลี่ยนปริมาณน้ำในลำน้ำกับชั้นน้ำใต้ดิน (river-groundwater interaction) เป็นพารามิเตอร์ในการเชื่อมต่อแบบจำลอง โดยทำการเชื่อมองค์ประกอบ

2 ส่วนนี้ในแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเข้าด้วยกันแบบกึ่งสมบูรณ์ (semi-coupling) ทั้งในมิติเชิงเวลาและพื้นที่ ซึ่งให้ผลลัพธ์การจำลองออกมาเป็นปริมาณน้ำในองค์ประกอบทางอุทกวิทยาของพื้นที่ศึกษา โดยวิเคราะห์จากปริมาณของน้ำที่ไหลในระบบน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินของพื้นที่ศึกษาในแต่ละเดือนในช่วงระยะเวลา 10 ปี (พ.ศ.2536-2545) และสรุปเป็นปริมาณรายฤดูกาล ของฤดูฝน (เม.ย.-ก.ย.) และฤดูแล้ง (ต.ค.-มี.ค.) และทำการประเมินผลการเชื่อมต่อจากอัตราการไหลในลำและระดับน้ำใต้ดิน

พื้นที่ศึกษาสำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ทำการเชื่อมต่อแล้ว คือ แอ่งน้ำใต้ดินในภาคกลางตอนบน สามารถแบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ ส่วนของน้ำลุ่มน้ำผิวดิน (surface water basin) และส่วนของแอ่งน้ำใต้ดิน (groundwater basin) โดยอาศัยหลักการพิจารณาขอบเขตพื้นที่ศึกษาทั้งผิวดินและใต้ดินให้ครอบคลุมแอ่งน้ำใต้ดินภาคกลางตอนบน กล่าวคือ ขอบเขตน้ำใต้ดินคือบริเวณทั้งหมดของแอ่งน้ำใต้ดินภาคกลางตอนบนที่ล้อมรอบด้วยชั้นหินแข็ง ดังแสดงในรูปที่ 1-2 และขอบเขตของน้ำผิวดินครอบคลุมขอบเขตของแอ่งน้ำบาดาลทั้งหมด รวมถึงบริเวณขอบแอ่งที่มีลุ่มน้ำผิวดินที่ต่อเนื่องกัน ดังแสดงในรูปที่ 1-2 ซึ่งได้กำหนดขอบเขตในแต่ละลุ่มน้ำไว้ตามสถานีนี้

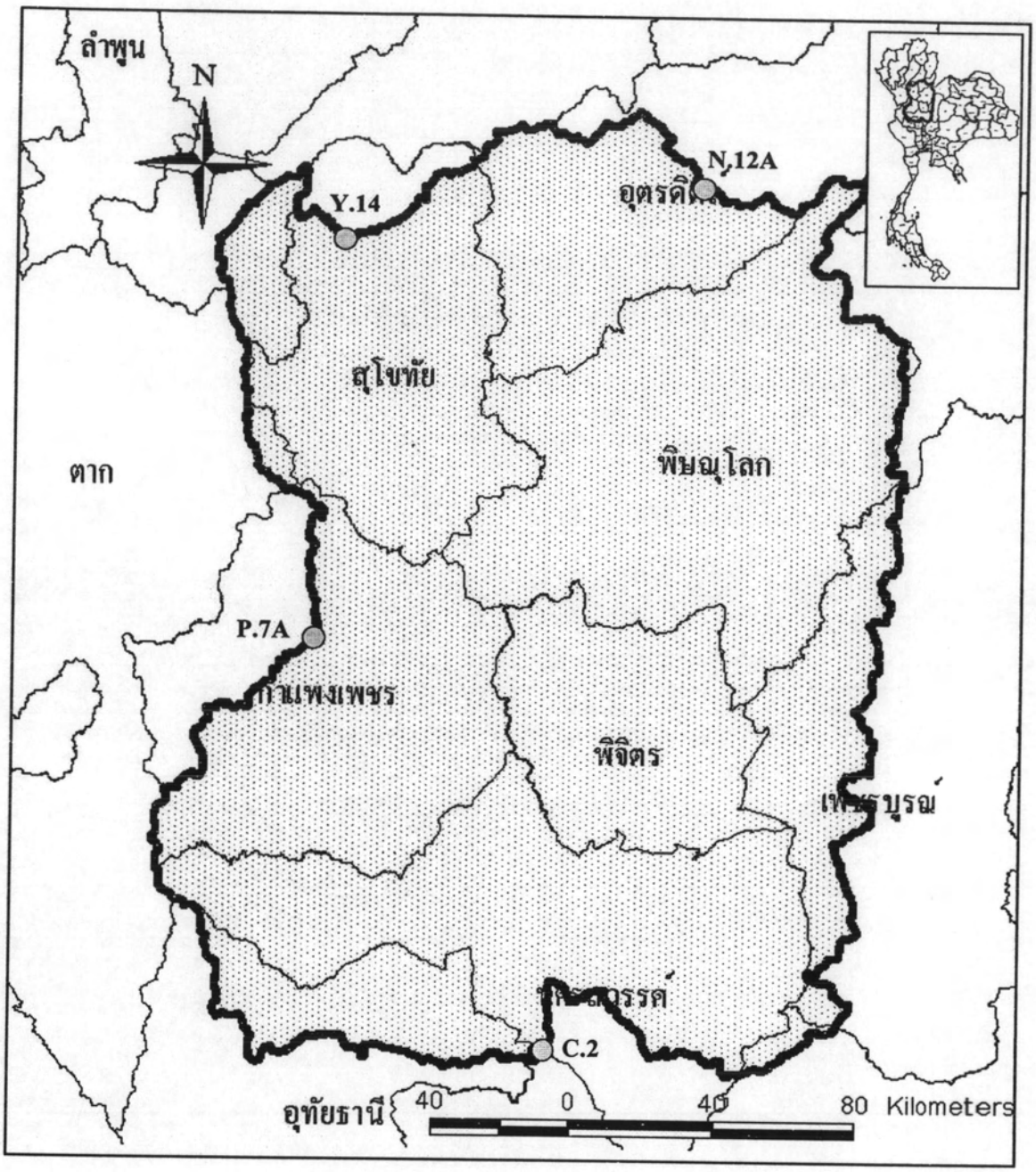
1. ลุ่มน้ำน่านที่สถานีน้ำท่า N.12A ต.ผาเลือด อ.ท่าปลา จ.อุตรดิตถ์
2. ลุ่มน้ำยมที่สถานีน้ำท่า Y.14 ต.แม่สำ อ.ศรีสัชนาลัย จ.สุโขทัย
3. ลุ่มน้ำปิงที่สถานีน้ำท่า P.7A ต.นครชุม อ.เมือง จ.กำแพงเพชร
4. ลุ่มน้ำเจ้าพระยาที่สถานีน้ำท่า C.2 ต.นครสวรรค์ออก อ.เมือง จ.นครสวรรค์
5. ลุ่มน้ำสะแกกรังบริเวณจุดบรรจบกับแม่น้ำเจ้าพระยา

ส่วนพื้นที่ที่ใช้ทำการเชื่อมต่อแบบจำลองทั้งผิวดินและใต้ดินนั้นครอบคลุมขอบเขตของแอ่งน้ำใต้ดินภาคกลางตอนบน ดังแสดงในรูปที่ 1-3

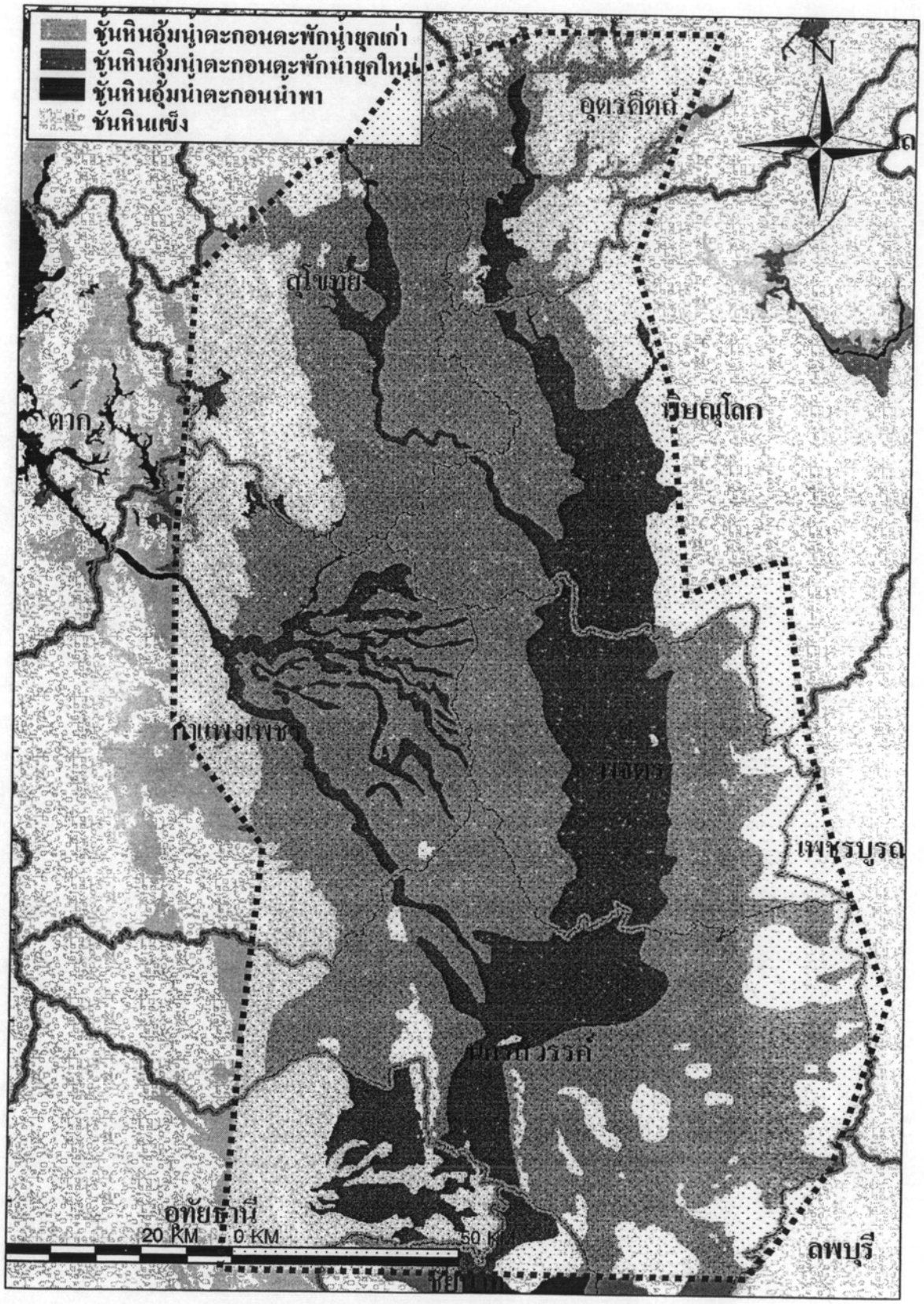
อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย ประกอบกับอุปกรณ์และเครื่องมือ รวมไปถึงเงินทุนที่สามารถจัดหาได้นั้นมีเป็นไปอย่างจำกัด การศึกษาครั้งนี้จึงได้จัดทำภายใต้สมมติฐานและข้อจำกัดดังนี้

1. การศึกษาครั้งนี้มีพิจารณาระดับน้ำในลำน้ำ (stream stage) ทั้งในส่วนแบบจำลองที่ไม่ได้ทำการเชื่อมและแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว ด้วยค่าเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำท่าของลำน้ำสายหลักในฤดูฝนและฤดูแล้งย้อนหลัง 10 ปี (พ.ศ.2536-2545)
2. ข้อมูลในการศึกษาครั้งได้จากการสำรวจภาคสนาม และการเก็บข้อมูลในอดีต โดยพารามิเตอร์นอกเหนือจากนี้ พิจารณาจากค่าแนะนำทางทฤษฎีและค่ามาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 6-2

3. ระดับภูมิประเทศของลุ่มน้ำผิวดินซึ่งใช้ในการสร้างเส้นลำน้ำและลุ่มน้ำ อ้างอิงตามข้อมูลแบบจำลองภูมิประเทศ (DEM) ของโครงการ Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ปี 2004 ที่จัดทำโดย NASA ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ความละเอียด 90 เมตร ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีรายละเอียดสูงที่ได้รับการเผยแพร่แบบไม่มีค่าใช้จ่ายในปัจจุบัน โดยเส้นลำน้ำหลักที่ใช้พิจารณาประกอบด้วยแม่น้ำน่าน แม่น้ำยม แม่น้ำ ปิง แม่น้ำ เจ้าพระยาและแม่น้ำสะแกกรัง
4. การพิจารณาปรับเทียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง พิจารณาข้อมูลที่มีการบันทึกไว้ในพื้นที่ศึกษาทีมีอยู่ โดยแบบจำลองผิวดินพิจารณาปรับเทียบจากอัตราไหลในลำน้ำที่ไหลผ่านสถานี C.2 ดังแสดงในรูปที่ 1-2 ซึ่งเป็นจุดที่น้ำผิวดินไหลออกจากพื้นที่ศึกษา และเป็นสถานีที่มีข้อมูลต่อเนื่องระยะยาวและต่อเนื่องและส่วนแบบจำลองน้ำใต้ดิน พิจารณาจากระดับน้ำจากบ่อสังเกตการณ์ที่มีการบันทึกไว้ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลจำนวน 201 ชุดข้อมูล ในช่วงปี พ.ศ.2536-2545



รูปที่ 1-2 ขอบเขตในการพิจารณาน้ำผิวดิน



รูปที่ 1-3 ขอบเขตการศึกษาสภาพทางอุทกธรณีวิทยา

1.4 การศึกษาที่ผ่านมา

การทบทวนการงานและการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับวิธีการศึกษาครั้งนี้ สามารถจำแนกออกตามหัวข้อในการศึกษาได้เป็น 4 ด้าน ได้แก่ ด้านแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ด้านแบบจำลองน้ำใต้ดิน ด้านการเชื่อมโยงแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน และด้านการหาสมดุลน้ำ การศึกษาที่ผ่านมาในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 การศึกษาด้านแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

การศึกษาแบบจำลองน้ำฝนในหน่วยงาน USDA ได้จำแนกแบบจำลองอุทกวิทยาหรือแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า ไว้ 3 ประเภทคือ Physically based distributed model, Lumped conceptual model และ Black box model (Dooge, 1974) นอกจากนี้ ยังมีการแบ่งการจำลองสภาพน้ำท่าเป็น 2 ลักษณะ(Singh , 1992) คือ แบบจำลองน้ำท่าเหตุการณ์เดี่ยว (event base stream flow simulation) และแบบจำลองน้ำท่าเหตุการณ์ต่อเนื่อง (continuous stream flow simulation) เช่น Stanford Watershed ซึ่งเป็นแบบจำลองน้ำท่าแบบต่อเนื่อง ที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Crawford และ Linsley เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าตามลักษณะทางกายภาพและสภาพทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำ วีระพล แต้สมบัติได้แบ่งแบบจำลองในการหาน้ำท่าออกเป็น 2 กลุ่ม (วีระพล, 2531) คือ แบบจำลองคณิตศาสตร์หาความสัมพันธ์ของน้ำฝนและน้ำท่า (rainfall-runoff model) ซึ่งคำนวณโดยใช้ลักษณะทางกายภาพและสภาพอุทกวิทยา และแบบจำลองทางสถิติที่ใช้หลักการวิเคราะห์ถดถอยเชิงซ้อน (multiple regression analysis model) ใช้หลักสถิติที่เรียกว่าการวิเคราะห์ถดถอยเชิงซ้อนในการวิเคราะห์อนุกรมเวลา แบบจำลองประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องใช้คุณลักษณะของลุ่มน้ำ เช่น แบบจำลอง HEC-4

วีระชัย ชูพิศาลยโรจน์ (วีระชัย, 2530) ใช้แบบจำลองแบบถัง (Tank) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน-น้ำท่าในลุ่มน้ำป่าสัก เพื่อหาปริมาณน้ำท่าจากปริมาณน้ำฝน ซึ่งมีแนวความคิดในการกำหนดชั้นดินให้มีลักษณะเป็น ถังน้ำ หลักการของแบบจำลองนี้คือ การสมมติให้ลุ่มน้ำเป็นถังเก็บน้ำ เมื่อฝนตกลงยังถังน้ำจะมีบางส่วนเก็บกักอยู่ในถังและบางส่วนไหลออกทางก้นถัง ถ้าลุ่มน้ำใดมีปริมาณน้ำสะสมอยู่มาก อัตราการไหลออกของน้ำจากลุ่มน้ำจะมาก ถ้าลุ่มน้ำใดมีปริมาณน้ำสะสมอยู่น้อยอัตราการไหลของน้ำจะน้อยตามไปด้วย ปริมาณน้ำในถังจึงเปรียบเป็นความชื้นที่มีอยู่ในดิน

อวิรุทธ์ สุขสมอรรถ (อวิรุทธ์, 2535) ใช้แบบจำลอง RIBAMAN (RBM-DOGGS) ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จำลองการไหลของน้ำแบบหนึ่งมิติศึกษาความสัมพันธ์น้ำฝน-

น้ำท่า ในลุ่มน้ำบางปะกง โดยทำการเปลี่ยนน้ำฝนเป็นน้ำท่าและนำผลการไหลของน้ำท่าจากลุ่มน้ำย่อยมาคำนวณการเคลื่อนตัวผ่านโครงข่ายลำน้ำ ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝน น้ำท่า และพื้นที่ลุ่มน้ำ ได้กำหนดให้ใช้หลักการประเมินการสูญเสียของแบบจำลองของ Soil Conservation Service (SCS)

นิวัติชัย คำภีร์ (นิวัติชัย , 2537) ใช้วิธี SCS ศึกษาหาข้อมูลพื้นฐานที่เหมาะสมในการออกแบบทางอุทกวิทยาของอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กสำหรับภาคอีสานพื้นที่ไม่เกิน 400 ตร.กม. โดยการหาค่า CN ของพื้นที่ ด้วยวิธีลองผิดลองถูกแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย CN ของลุ่มน้ำที่ได้จากข้อมูลน้ำท่าและน้ำฝนของลุ่มน้ำเดียวกัน

สุชาติ ศิริจังสกุล (สุชาติ, 2538) สร้างแบบจำลอง WRECU-I ของภาควิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการศึกษาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่ารายเดือน แบบจำลองที่สร้างขึ้นเป็นแบบจำลองประเภท Non-Linear Lump และ Deterministic Model พบว่าแบบจำลองเหมาะสมสำหรับใช้ศึกษาการใช้น้ำ แต่ไม่เหมาะกับการศึกษาที่อัตราการไหลต่ำ เช่น เรื่องคุณภาพน้ำ เป็นต้น

กานดา คงธรรม (กานดา, 2545) ใช้แบบจำลอง NAM ที่พัฒนาขึ้นโดย Neilsen และ Hansen ต่อมา Danish Hydraulic Institute (DHI) ได้นำแบบจำลอง NAM ไว้ในซอฟท์แวร์ MIKE 11 เป็นการจำลอง การเกิดปริมาณน้ำท่าเพื่อนำมาใช้เป็นปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (lateral inflow) ของ Hydrodynamic Module ในการศึกษาได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองในลุ่มน้ำน่านในการหาปริมาณน้ำท่า

ชัยวัฒน์ ภู่วรกุลชัย (ชัยวัฒน์, 2546) ใช้แบบจำลอง HEC-HMS และแบบจำลอง TOP ศึกษาความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า ในลุ่มน้ำภาชี โดยแบบจำลอง HEC-HMS มีพื้นฐานมาจากแบบจำลอง HEC-1 ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำนองสูงสุดกับพื้นที่รับน้ำฝน คำนวณการกระจายของน้ำท่าในรูปแบบ Grid-Cell ของพื้นที่รับน้ำฝน การเคลื่อนตัวของน้ำท่าผ่านลำน้ำ แม่น้ำ และอ่างเก็บน้ำ และผลกระทบจากอาคารชลศาสตร์ สำหรับแบบจำลอง TOP หรือ Topographic Model ถูกพัฒนาโดย Beven เพื่อจำลองกระบวนการเกิดน้ำท่าของลุ่มน้ำเล็ก ๆ ในประเทศอังกฤษ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนพารามิเตอร์ เป็นแบบจำลองประเภท continuous model และการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ของแต่ละแบบจำลองไม่สัมพันธ์กัน

วงศ์วัฒนา สมบุญยิ่ง (วงศ์วัฒนา, 2548) ศึกษาแบบจำลองน้ำฝน – น้ำท่าในลุ่มน้ำปราจีนบุรี ด้วยวิธีการโครงข่ายใยประสาทเทียม โดยใช้เทคนิค GA เข้ามาช่วยในการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ โดยส่วนแบบจำลองโครงข่ายใยประสาทเทียม นั้นเป็นการใช้ความสัมพันธ์

ระหว่างข้อมูล น้ำฝน น้ำท่าที่มีมาในอดีตมาพิจารณาหาความสัมพันธ์กัน ในรูปแบบของ black box model

แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นมาเพื่อรวบรวมชุดการคำนวณเกี่ยวกับดินและน้ำที่มีอยู่ใน USDA-ARS (S.L. Neitsch et al, 2001) ประกอบไปด้วย CREAMS (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems) สำหรับคำนวณหาน้ำท่าและการเคลื่อนที่ของสารเคมี รวมไปถึงการกัดเซาะด้วย SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins) สำหรับการคำนวณหาตะกอนที่ไหลมากับน้ำและการแพร่กระจายของสารเคมี GLEAMS (Groundwater Loading Effects on Agricultural Management Systems) สำหรับการคำนวณการปล่อยสารเคมี การกัดเซาะทางการเกษตร และ EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator) สำหรับการคำนวณการกัดเซาะของดินในระยะยาว

ก่อนที่แบบจำลอง SWAT จะถูกสร้างขึ้น ได้มีการสร้างแบบจำลอง ROTO (Routing Outputs to Outlet) ซึ่งเป็นแบบจำลองลุ่มน้ำ ที่นำแบบจำลองหลายๆลุ่มน้ำมาต่อกัน (Arnold et al., 1995) โดยใช้แบบจำลอง SWRRB เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณการไหลในแต่ละลุ่มน้ำย่อย จากนั้นจึงได้พัฒนาแบบจำลอง ROTO และ SWRRB รวมกัน ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของแบบจำลอง SWAT ในปัจจุบัน (S.L. Neitsch et al, 2001)

ต่อมาได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ที่เริ่มมาจาก USDA-ARS กันอย่างกว้างขวาง (Philip, 2005) เช่น คำนวณหาปริมาณการเติมน้ำใส่ชั้นน้ำใต้ดินในลุ่มน้ำ Upper Mississippi River Basin (Arnold et al., 2000) นำไปทำนายพิจารณาการไหลของน้ำในชั้นดินในพื้นที่ของรัฐ Maryland (Chu and Shimohamaadi, 2005) เป็นต้น การประยุกต์ใช้ SWAT ในประเทศไทยนั้น โอฬาร เวศอุไร (โอฬาร, 2549) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการคำนวณหาความสัมพันธ์น้ำฝน-น้ำท่า ในลุ่มน้ำน่านตอนบน โดยใช้แบบจำลองคำนวณหาปริมาณน้ำท่า จากสภาพภูมิประเทศ สภาพการใช้ที่ดิน และชนิดดิน โดยทำการคำนวณหาปริมาณน้ำท่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามรูปแบบของการใช้ที่ดิน

1.4.2 การศึกษาด้านแบบจำลองน้ำใต้ดิน

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำใต้ดินได้ถูกสร้างขึ้น โดยอาศัยหลักการของสมดุลน้ำ (Freeze, 1967) เพื่อหารูปแบบการไหลของน้ำใต้ดิน หลังจากนั้นเริ่มมีการใช้วิธีคำนวณเชิงตัวเลข (numerical method) แบบ Finite difference (Bredehoeft, 1968) จำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินแบบมีความดันกึ่งสามมิติ (quasi 3-dimension) คือพิจารณาสมการการไหลสองมิติโดยรวมค่าสัมประสิทธิ์ในแนวดิ่งของชั้นน้ำ เข้ากับพารามิเตอร์ในแนวราบ

การสร้างแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน แบบมีความดันและไม่มีความดัน (unconfined and confined) พบว่าความถูกต้องของคำตอบที่ได้ขึ้นอยู่กับการประมาณค่าการเติมน้ำผ่านชั้นน้ำแบบไม่มีความดัน (Bergstrom, 1983) หลังจากนั้น USGS จึงได้สร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินที่เขียนด้วย Fortran 66 และถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในชื่อ MODFLOW

แบบจำลอง MODFLOW จึงได้ถูกพัฒนาต่อมา โดย Gould G., Siegel D.I. (Gould G., 1988) ใช้แบบจำลอง MODFLOW ศึกษาทิศทางการไหลของน้ำใต้ดินโดย จำลองสภาพการไหลแบบคงที่ ส่วนค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใช้ การตั้งสมมติฐาน ซึ่งพบว่ามีผลต่อผลลัพธ์ที่ได้ อย่างไรก็ตามแบบจำลอง MODFLOW ในช่วงแรกยังเป็นการไหลในชั้นเดียวอยู่ ต่อมาจึงมีการจำลองสภาพน้ำใต้ดินแบบกึ่งสามมิติ (Rudolph and Sudicky, 1990) เพื่อแก้ปัญหาระบบชั้นน้ำใต้ดินหลายชั้น (multiaquifer system) พบว่าสามารถให้คำตอบได้ดี เปรียบเทียบกับการคำนวณแบบ Finite Element โดยแบ่งระบบชั้นน้ำที่ศึกษาเป็นชั้นย่อย ๆ ได้หลายชั้น

นอกจากนี้แบบจำลอง MODFLOW ได้ถูกพัฒนาใช้กับโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ เพื่อพัฒนาขีดความสามารถและใช้งานแบบจำลองได้สะดวกมากขึ้น โดย Watkins D. W ประยุกต์ใช้ระบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Watkins D. W. et al., 1996) ได้ในการพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินในส่วนของการจัดเตรียมข้อมูล การจัดการข้อมูลให้อยู่ในระบบกริด รวมทั้งการปรับเทียบ การสอบทาน และการแสดงผลการจำลองสภาพการไหล การศึกษานี้เสนอวิธีการทำงานของแบบจำลองน้ำใต้ดิน MODFLOW ร่วมกับ GIS ไว้ 3 วิธี ได้แก่ ArcMod เป็นการเชื่อมโยงข้อมูลกันระหว่าง MODFLOW และ ArcView, MODFLOWARC เป็นการรวม MODFLOW และ ARCView เข้าเป็นโปรแกรมเดียวกัน และการสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดินบนระบบ GIS โดยใช้ฟังก์ชั่นการทำงานของ GIS โดยตรง นอกจากนี้ Tsou M. S. กับ Whittemore D. O. (Tsou and Whittemore, 2001) ได้เสนอเชื่อมต่อการทำงานของแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินกับระบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้วิธีการสร้างส่วนการคำนวณเพิ่มเติม (extension) ให้กับ ArcView เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลกับ MODFLOW ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาส่วนโปรแกรมเชื่อมต่อที่ติดต่อกับผู้ใช้แบบจำลอง (interface) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้ MODFLOW ได้ง่าย รวมไปถึงเชื่อมโยงชุดการคำนวณน้ำใต้ดินที่สัมพันธ์กันให้สามารถนำข้อมูลมาใช้งานร่วมกันได้ อย่างเช่นโปรแกรม GMS เป็นต้น (Brigham Young University, 2004)

การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อพิจารณาการไหลของน้ำใต้ดิน มีอย่างแพร่หลาย แบบจำลองกึ่งสามมิติ (Suddiqui, 1987) ได้ถูกพัฒนาในช่วงปี พ.ศ.2521 – 2524 สำหรับชั้นน้ำในกรุงเทพฯ แล้วทำการปรับเทียบกับข้อมูลระดับน้ำในปี พ.ศ.2525 และ 2528 พบว่าสอดคล้องกับผล

การสำรวจภาคสนาม ต่อมา มีการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ทางอุทกธรณีวิทยาสำหรับชั้นน้ำในพื้นที่กรุงเทพฯ แล้วสร้างแบบจำลอง MODFLOW ของชั้นน้ำใต้ดินของกรุงเทพและปริมณฑล (Mahadeva, 1991) ผลที่ได้พบว่า MODFLOW ให้ค่าระดับน้ำที่ใกล้เคียงกว่าแบบจำลองกึ่งสามมิติ แบบจำลองชั้นน้ำใต้ดินได้ถูกพัฒนาต่อมา จนมีโครงการศึกษาการรุกล้ำของน้ำเค็ม และการทรุดตัวในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่จัดทำโดย JICA โดยการจำลองสภาพชั้นน้ำใต้ดิน ด้วยโปรแกรม MODFLOW และ MOCDENCE MT-3D (JICA, 1995) หลังจากนั้น ยังมีการพัฒนาแบบจำลองสภาพการรุกล้ำของน้ำเค็มในชั้นน้ำนนทบุรี โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW และ MT3D (วินัย, 2542) โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จากผลการศึกษาของ JICA (1995)

ในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง ปณต ศิริพุทธิของชัยกุล ได้สร้างแบบจำลองน้ำใต้ดิน (ปณต, 2545) ได้ถูกพัฒนาและประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าวในการคาดการณ์ระดับน้ำในพื้นที่ นอกจากนี้ กรมโยธาธิการได้ให้จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศึกษาความเหมาะสมในการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW จำลองสภาพน้ำใต้ดินจังหวัดกำแพงเพชรประกอบกับการทดลองในสนาม (ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541) ในการศึกษานี้ได้มีการจำลองสภาพน้ำใต้ดินในพื้นที่จังหวัดกำแพงเพชร โดยใช้แบบจำลอง MODFLOW และโปรแกรม GMS (สนท์, 2541) และพบว่า โปรแกรม GMS มีประโยชน์ในการนำเข้าข้อมูล และแสดงผลเชิงรูปภาพ และแบบจำลอง MODFLOW มีความสามารถในการจำลองสภาพได้ทั้งในกรณีสภาวะคงที่ และไม่คงที่ และใช้สำหรับการจำลองสภาพที่มีชั้นน้ำหลายชั้นได้ด้วย

โปรแกรมประยุกต์ที่มาลดข้อจำกัดในการทำงานของแบบจำลองและเพิ่มความสะดวกในการใช้ ได้มีการใช้อย่างแพร่หลาย ดังเห็นได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง GMS และ MODFLOW ร่วมกันในการจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน เพื่อช่วยในการจัดการข้อมูลตั้งแต่ขั้นเริ่มต้น (สุจริตและโชคชัย, 2542) การนำเข้าสู่การคำนวณ การปรับเทียบ และการแสดงผล การโอนถ่ายข้อมูลระหว่างแบบจำลองทั้งสองทำให้การจัดเตรียมข้อมูล และการคำนวณง่ายยิ่งขึ้น ส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ดีขึ้นด้วย

1.4.3 การศึกษาด้านการเชื่อมโยงแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดิน

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทางงานวิศวกรรมแหล่งน้ำที่มีความซับซ้อนมีการให้ความสนใจในการพัฒนามาทั้งในส่วนของการไหลของน้ำผิวดินและใต้ดินดังได้สรุปไว้ในส่วนของการศึกษาแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดิน แต่ว่าแบบจำลองทั้งสองส่วนนั้นยังไม่มีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

การเชื่อมต่อแบบจำลองในช่วงเริ่มต้นนั้นเริ่มจากการสร้างความสัมพันธ์กันระหว่างน้ำผิวดินและชั้นน้ำใต้ดินอย่างง่าย (Pinder and Sauer, 1971; Freeze ,1972) ได้สร้างแบบจำลองที่มีความสัมพันธ์ระหว่างลำน้ำและการเก็บน้ำไว้ในชั้นดิน นอกจากนี้ได้มีการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินและการซึมผ่านของลำน้ำ (Smith and Woolhiser, 1971) และมีการนำแบบจำลองที่มีอยู่แล้วมาเชื่อมต่อกัน ต่อมาการเชื่อมต่อแบบจำลองลำน้ำเข้ากับแบบจำลองการไหลของน้ำบาดาล ได้ถูกเขียนออกมาเป็นโปรแกรม MODBRANCH (Swain and Wexler, 1991)

ต่อมาการพัฒนาการแบบจำลองที่มีการเชื่อมต่อระหว่างผิวดินและใต้ดินที่มีความซับซ้อนมากขึ้นจึงได้ถูกพัฒนาขึ้น Vanderkwaak กับ Loague ให้ความสนใจกับปฏิสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินและสร้างแบบจำลองที่มีการเพิ่มมิติในการเคลื่อนที่จาก สองมิติเป็นสามมิติ (Vanderkwaak and Loague, 2001) และได้มีการผนวกแบบจำลองน้ำผิวดินแบบสองมิติกับแบบจำลองน้ำใต้ดินแบบสามมิติโดย Morita กับ Yen ซึ่งแบบจำลองที่ได้สามารถแปรผันการอิ่มตัวของน้ำได้ (Morita and Yen, 2002) นอกจากนี้ Orhan Gunduz กับ Mustafa สร้างความสัมพันธ์ของโครงข่ายลำน้ำกับชั้นน้ำใต้ดิน (Orhan and Mustafa ,2004)

การพัฒนาแบบจำลองที่มีการผนวกและแลกเปลี่ยนข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์ของแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเข้าด้วยกัน อาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของลำน้ำผิวดิน Duflow ซึ่งเป็นแบบจำลอง 1 มิติและแบบจำลองน้ำใต้ดิน MircoFEM ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบไฟไนต์อิลิเมนต์ 3 มิติ (Smits, 2004) โดยเป็นการสร้างความสัมพันธ์การซึมผ่านระหว่างลำน้ำและน้ำผิวใต้ดิน

การประยุกต์ใช้การเชื่อมแบบจำลองที่ได้จากการเชื่อมต่อไปประยุกต์ใช้ออกแบบพื้นที่สนามบิน Seattle-Tacoma International Airport โดย Pacific Groundwater Group ได้รวมแบบจำลองน้ำผิวดิน HSPF เข้ากับแบบจำลองการซึมน้ำ เพื่อ (Charles and Peter, 2004)

เห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน เริ่มเข้ามามีบทบาทในการเชื่อมต่อแบบจำลอง โดยมีแบบจำลอง MODFLOW เป็นองค์ประกอบหลักในการพิจารณาน้ำใต้ดินและพิจารณาและเชื่อมต่อกับแบบจำลองน้ำผิวดินต่างๆ ตามลำดับ ดังเห็นได้จากการเริ่มเชื่อมต่อแบบจำลอง ลำน้ำแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า และองค์ประกอบทางอุทกวิทยาผิวดินมา เพิ่มเติม หลังจากนี้จึงเริ่มมีการนำแบบจำลอง MODFLOW กับแบบจำลอง SWAT มาเชื่อมต่อแบบ Fully Coupling โดย Il-Moon Chung โดยใช้ผลการเติมน้ำทางผิวดินจาก ของแบบจำลอง SWAT และใช้ผลการแลกเปลี่ยนน้ำในลำน้ำในจากแบบจำลอง MODFLOW (Il-Moon Chung, 2006) แต่ยังการไม่มีได้ลองการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการศึกษาในขณะนั้น

1.5 การพัฒนาการของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีองค์ประกอบของงานอยู่หลายส่วน ที่ได้ถูกพัฒนาและนำผลงานประยุกต์ใช้ได้ก่อนจะมาเป็นการศึกษาครั้งนี้ โดยสามารถแบ่งงานการศึกษาครั้งนี้ออกได้เป็น 2 ส่วนหลักคือ ส่วนแบบจำลองน้ำใต้ดิน และส่วนของแบบจำลองน้ำผิวดิน โดยในช่วงต้นของการศึกษา ได้ทำการพัฒนาในส่วนของน้ำใต้ดินขึ้นมาเป็นอันดับแรกและจึงพัฒนาจนมาถึงการศึกษาการเชื่อมต่อแบบจำลอง โดยมีลำดับขั้นตอนการพัฒนางานวิจัยได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

เมษายน พ.ศ. 2548 ได้เริ่มสร้างแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในแอ่งน้ำใต้ดินภาคกลางตอนล่าง ซึ่งเป็นการสร้างแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดินทางคณิตศาสตร์ ที่ครอบคลุมแอ่งน้ำใต้ดินภาคกลางตอนบนทั้งหมดขึ้นเป็นครั้งแรก โดยได้รับการสนับสนุนข้อมูลและเงินทุนวิจัยจากโครงการศึกษาการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในพื้นที่ภาคกลางตอนบน ซึ่งหน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับมอบหมายจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

พฤศจิกายน พ.ศ. 2548 ได้ทำการวิจัยระยะสั้น (visit research) ที่ Department of Geohydraulics and Engineering Hydrology, University of Kassel, Germany เพื่อพัฒนาแบบจำลองน้ำใต้ดินขึ้นมาในหัวข้อ "Groundwater Modeling in Project of Conjunctive Use between Groundwater and Surface water in Upper Central Plain of Thailand" และได้นำโปรแกรม SWAT ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์น้ำฝน-น้ำท่า ที่มีความเหมาะสมกับ ในการพัฒนาการเชื่อมต่อกับแบบจำลองน้ำใต้ดิน นอกจากนั้นยัง SWAT มีการป้อนข้อมูลที่สะดวกและมีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนเหมือนกับโปรแกรม HSPF ประกอบกับ SWAT มีองค์ประกอบทางอุทกวิทยาที่นำไปคิด

หาการเติมน้ำสู่แอ่งน้ำใต้ดินได้โดยตรง จึงได้ทำการเปลี่ยนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำผิวดินจาก HSPF เป็น SWAT แทน

เมื่อแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินได้ถูกสร้างเสร็จ จึงได้นำแบบจำลองน้ำใต้ดินนี้ ไปประยุกต์ใช้ในโครงการศึกษาการใช้น้ำใต้ดินร่วมกับน้ำผิวดินในพื้นที่ภาคกลางตอนบน ซึ่งทำการศึกษาการศึกษาสภาพน้ำใต้ดิน สถานการณ์น้ำใต้ดิน และศักยภาพของแหล่งน้ำใต้ดินโดยการจำลองสภาพน้ำใต้ดินด้วยแบบจำลองน้ำใต้ดิน เพื่อหาความสามารถของแหล่งน้ำใต้ดินว่ามีปริมาณน้ำที่ใช้ได้เท่าไรจึงไม่เกิดผลกระทบตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งไปสู่การจัดการแอ่งน้ำใต้ดินที่เหมาะสม และสามารถนำไปใช้ประกอบการวางแผนดำเนินการจัดการน้ำใต้ดินร่วมกับน้ำผิวดินที่สอดคล้องกัน โดยการศึกษานี้ได้ถูกจัดทำเป็นภาคผนวก 2/2 : รายงานศักยภาพน้ำบาดาลของแอ่งน้ำบาดาลภาคกลางตอนบน ในรายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาการใช้น้ำบาดาลร่วมกับน้ำผิวดินในพื้นที่ภาคกลางตอนบน เมื่อเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2549

หลังจากได้นำแบบจำลองน้ำใต้ดินไปประยุกต์ใช้แล้ว จึงได้ปรับปรุงการจำลองน้ำใต้ดินในส่วนของการพิจารณาปริมาณการใช้น้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นตัวแปรที่สำคัญในการสร้างแบบจำลองน้ำใต้ดิน โดยการปรับปรุงนี้ได้พิจารณาหารูปแบบการใช้น้ำใต้ดินร่วมกับน้ำผิวดินในพื้นที่ภาคกลางตอนบนโดยคำนวณผ่านทางแบบจำลองน้ำใต้ดิน และได้สรุปไว้ในบทความเรื่อง "Groundwater Modeling for Conjunctive Use Patterns Investigation in the Upper Central Plain of Thailand" ในงาน Aquifers Systems Management ประเทศฝรั่งเศส เมื่อเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2549

เมื่อได้พัฒนาแบบจำลองน้ำใต้ดินเสร็จแล้ว พบว่าพื้นที่ศึกษาของแบบจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน ได้กำหนดพื้นที่จังหวัดสุโขทัยไว้เป็นขอบเขตของแบบจำลองน้ำใต้ดิน มีปริมาณข้อมูลและขนาดของพื้นที่ศึกษาที่ไม่เหมาะสมในการสรุปสมดุลน้ำในพื้นที่ย่อยของจังหวัดสุโขทัย ประกอบกับรูปแบบการไหลของน้ำใต้ดินในระบบน้ำใต้ดินในจังหวัดสุโขทัยขึ้นอยู่กับตัวแปรจำนวนมาก จึงพิจารณาขยายขอบเขตพื้นที่ศึกษาให้ครอบคลุมถึงขอบของแอ่งน้ำใต้ดินเพื่อศึกษาถึงสมดุลน้ำของทั้งแอ่งน้ำใต้ดิน โดยทำการพัฒนาแบบจำลองน้ำผิวดินด้วยโปรแกรม SWAT ในพื้นที่ลุ่มเจ้าพระยาใหญ่ตอนบนที่ประกอบไปด้วย แม่น้ำปิง แม่น้ำน่าน แม่น้ำยม และแม่น้ำสะแกกรัง เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของน้ำฝน-น้ำท่าและหาสมดุลน้ำผิวดินในพื้นที่นี้ หลังจากนั้น จึงนำแบบจำลองน้ำผิวดินนี้มาประยุกต์ใช้กับแอ่งน้ำใต้ดิน เพื่อหาพฤติกรรมการไหลของน้ำระหว่างแอ่งน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน และกระบวนการในวัฏจักรทางอุทกวิทยาให้ครบถ้วน ซึ่งเป็นที่มาของการศึกษาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.6 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

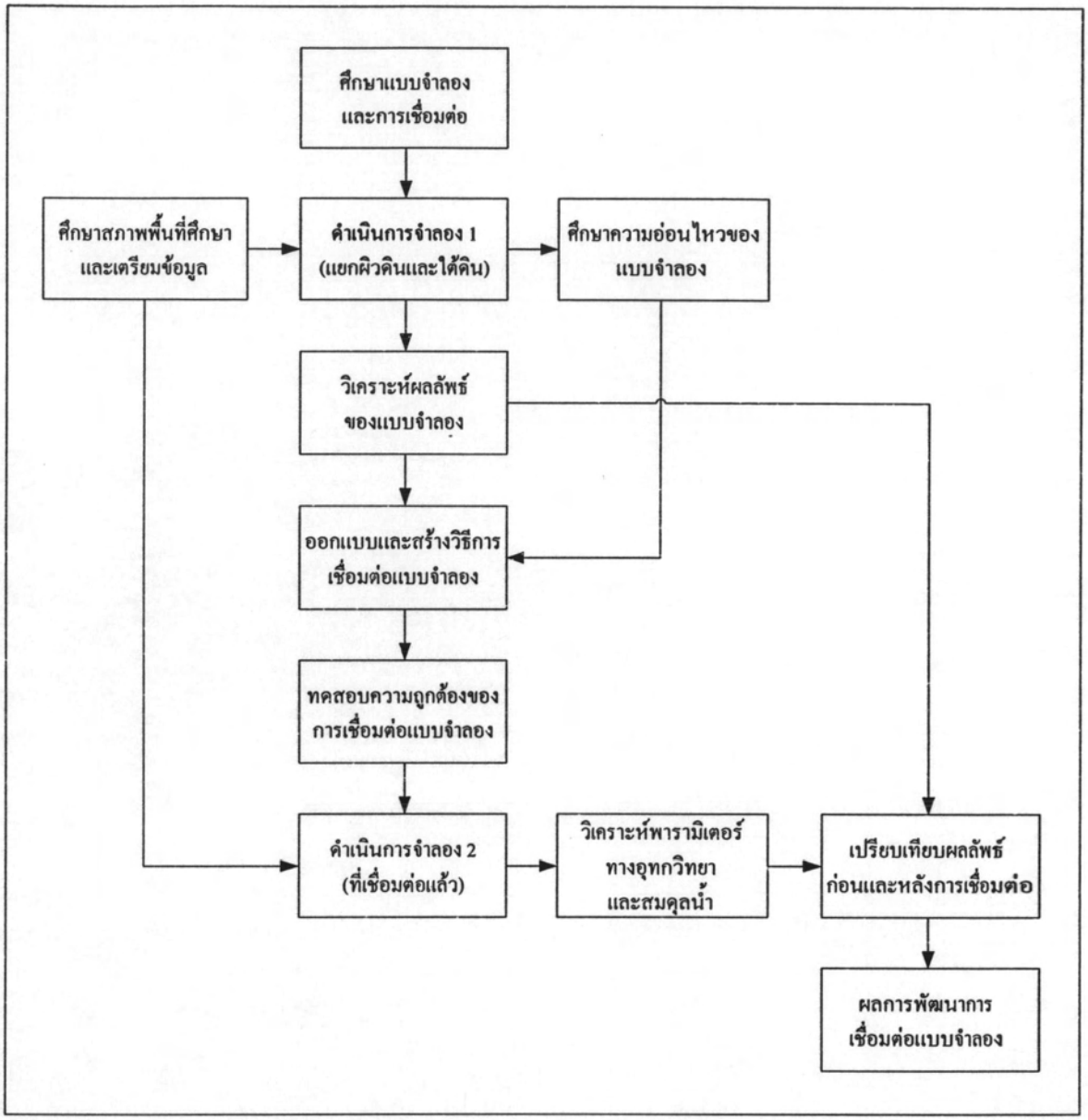
การศึกษาแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินนั้นเป็นขั้นตอนแรกในการศึกษาการเชื่อมต่อแบบจำลองเพื่อเข้าใจกลไกของแบบจำลอง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาสภาพการไหลของน้ำผิวดินและใต้ดินนั้น โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อพิจารณาหาสภาพการไหลของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยในส่วนของผิวดินได้ใช้แบบจำลอง SWAT2005 ในการศึกษา และใต้ดินได้ใช้แบบจำลอง MODFLOW-2000 ในการศึกษา

อย่างไรก็ตามการเชื่อมต่อแบบจำลองทางอุทกวิทยาเป็นเรื่องที่ซับซ้อน เนื่องจากมีตัวแปร และทฤษฎีเข้ามาเกี่ยวข้องมากมาย นอกจากนั้นต้องใช้ทักษะ ความเข้าใจในระบบการจัดเก็บข้อมูลของคอมพิวเตอร์ และที่สำคัญต้องทำให้ถูกต้องตามหลักอุทกวิทยาด้วย ฉะนั้นการพัฒนาการเชื่อมต่อจึงจำเป็นต้องใช้ วิธีการพัฒนาที่เป็นระบบ โดยศึกษาวิธีการเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินกับน้ำใต้ดิน พิจารณาค่าความอ่อนไหวของแบบจำลองและนำมาพิจารณาองค์ประกอบที่ใช้ในการเชื่อมต่อ จากนั้นจึงสร้างโปรแกรมการเชื่อมต่อแบบจำลองขึ้นมา และทำการทดสอบการเชื่อมต่อแบบจำลองและโปรแกรมการเชื่อมต่อ

จากนั้นจึงนำวิธีการเชื่อมต่อที่ได้ออกแบบไว้ ไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่ศึกษาเพื่อทดสอบกับข้อมูลจริงและศึกษาผลการเชื่อมต่อแบบจำลอง ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลองในพื้นที่ศึกษานั้น มีปริมาณของข้อมูลและความซับซ้อนของแบบจำลอง จึงทำให้ขั้นตอนการศึกษาสภาพเบื้องต้นของพื้นที่ศึกษา เป็นส่วนที่สำคัญในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และต้องเข้าใจลักษณะและสภาพของแหล่งน้ำ สภาพทางอุทกวิทยาและอุทกธรณีวิทยานั้นเสียก่อน โดยทำการทบทวนสภาพการไหลของน้ำในพื้นที่ศึกษา ทั้งในส่วนของผิวดินและใต้ดิน ด้วยการรวบรวมข้อมูล ที่มีอยู่ในพื้นที่ ข้อมูลจากการศึกษาที่ผ่านมาและข้อมูลทางทฤษฎี แล้วทำการกำหนดขอบเขตการศึกษาและจัดสร้างแบบจำลองเชิงมโนภาพ เพื่อนำไปสู่การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และปรับเทียบแบบจำลองในขั้นต่อไป จากนั้นจึงเริ่มทำการเชื่อมต่อแบบจำลองในพื้นที่ศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาและพัฒนาการเชื่อมต่อแบบจำลองสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1-4 และรายละเอียดสามารถแยกเรียงตามลำดับได้ดังนี้

1. ศึกษาแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ศึกษาการเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินกับน้ำใต้ดิน และสร้างแบบจำลองเชิงแนวคิด เพื่อทำการศึกษาการเชื่อมต่อ
2. จำลองสภาพน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของน้ำผิวดินและใต้ดิน (แบบแยกผิวดินและใต้ดิน) โดยการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง และวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบที่ใช้ในการเชื่อมต่อ



รูปที่ 1-4 ขั้นตอนการพัฒนาการเชื่อมต่อแบบจำลอง

3. ออกแบบวิธีการเชื่อมต่อ สร้างโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้สำหรับเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดิน และทำการทดสอบการเชื่อมต่อแบบจำลอง
4. รวบรวมข้อมูลพื้นฐานทั้งอุทกวิทยาและอุทกธรณีวิทยา ได้แก่ ข้อมูลอุทกวิทยาน้ำผิวดิน อุทกวิทยาน้ำใต้ดิน สภาพภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ระบบชลประทาน ทบทวนการแบ่งชั้นน้ำและคุณสมบัติของชั้นน้ำใต้ดิน ปริมาณการใช้น้ำผิวดินและสูบน้ำใต้ดิน เป็นต้น
5. ประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพน้ำผิวดิน แบบจำลองน้ำใต้ดิน และแบบจำลองที่มีการเชื่อมต่อระหว่างผิวดินและใต้ดิน ในพื้นที่ศึกษา
6. วิเคราะห์สมดุลน้ำ และสรุปองค์ประกอบทางอุทกธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา
7. เปรียบเทียบผลการดำเนินการแบบจำลองและประเมินผลการเชื่อมต่อแบบจำลองจากการพิจารณาแบบจำลอง 2 รูปแบบ คือ แบบจำลองที่ยังไม่ได้รับการเชื่อมต่อ และแบบจำลองที่ถูกเชื่อมต่อแล้ว

1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับเล่มนี้ได้ถูกจัดทำขึ้นมาทั้งหมด 7 บท เพื่อแสดงขั้นตอนการทำงาน ข้อมูล และพัฒนาการของการศึกษาในด้านต่าง ๆ โดยสาระสำคัญของวิทยานิพนธ์ ได้ถูกแบ่งเป็นบทต่าง ๆ ดังตารางที่ 1-1

นอกจากรายงานฉบับนี้ ได้ทำการบันทึกไฟล์รายงานและข้อมูลแบบจำลองทั้งหมดในแผ่น CD ที่ได้แนบในด้านหลังของรายงาน โดยมีรายการข้อมูลดังนี้

1. แฟ้มข้อมูลรายงานฉบับนี้
2. โปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดิน
3. แบบจำลองน้ำผิวดินในพื้นที่ศึกษา
4. แบบจำลองน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา
5. แบบจำลองอย่างง่ายที่ใช้ในตัวอย่างการเชื่อมต่อ
6. โปรแกรม AVSWAT-X (แบบจำลองน้ำผิวดิน)
7. โปรแกรม MODFLOW-2000 (แบบจำลองน้ำใต้ดิน)

ตารางที่ 1-1 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่	เนื้อหา
บทที่ 1 บทนำ	ความเป็นมา ขอบเขตและวัตถุประสงค์ การศึกษาที่ผ่านมา แนวทางการศึกษา
บทที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	การศึกษาด้านสภาพของพื้นที่ศึกษา ทั้งด้านอุตุนิยมวิทยา อุทกวิทยา อุทกธรณีวิทยา การใช้ที่ดิน สภาพธรณีวิทยา และสภาพทั่วไปในพื้นที่ศึกษา
บทที่ 3 นิยามและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อ	นิยามคำศัพท์ที่ใช้ในการศึกษา ทบทวนทฤษฎีที่ใช้ในแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดิน การศึกษาด้านอุทกธรณีวิทยา รวมไปถึงทฤษฎีที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบจำลอง
บทที่ 4 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา	ข้อมูลสภาพพื้นที่ และพารามิเตอร์ ด้านต่างๆที่รวบรวมและนำเข้าสู่แบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน
บทที่ 5 การเชื่อมโยงแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน	ขั้นตอนและวิธีการพัฒนาการเชื่อมต่อแบบจำลอง การออกแบบการเชื่อมต่อ และโปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อการเชื่อมต่อ
บทที่ 6 การประยุกต์ใช้การแบบจำลองที่ถูกเชื่อมต่อในพื้นที่ศึกษา	นำวิธีการเชื่อมต่อที่พัฒนาแล้วมาประยุกต์ใช้หาสภาพการไหล องค์ประกอบทางอุทกวิทยาในพื้นที่ศึกษา และการประเมินผลการเชื่อมต่อ
บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	เป็นบทสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ รวมไปถึงแนวทางการพัฒนาแบบจำลองที่ในอนาคต ซึ่งได้จากการศึกษาการเชื่อมต่อของการศึกษานี้