บทที่ 5

การเชื่อมโยงแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

หลังจากที่ได้พัฒนาแบบจำลองน้ำผิวดินและแบบจำลองน้ำใต้ดินแล้ว จึงนำแบบจำลองทั้งสองส่วนมาพัฒนาการเชื่อมต่อ เพื่อผนวกแบบจำลองผิวดินและใต้ดินให้สามารถดำเนินการจำลองสภาพการไหลของน้ำไปอย่างพร้อมกัน การศึกษาการเชื่อมต่อครั้งนี้ ได้พัฒนาเครื่องมือที่ใช้เชื่อมต่อแบบจำลองทั้งสองขึ้นมา โดยมีวิธีการพัฒนาและผลการเชื่อมต่อดังนี้

5.1 การพัฒนาการเชื่อมต่อการจำลอง

จุดมุ่งหมายในการออกแบบการเชื่อมต่อแบบจำลองของการศึกษานี้ คือการปรับปรุงการจำลองให้สอดคล้องกับกระบวนการทางอุทกวิทยา โดยให้พฤติกรรมการไหลของน้ำนั้น สอดคล้องกับทฤษฎีทางอุทกวิทยาโดยเฉพาะส่วนที่คาบเกี่ยวระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ทำให้จุดด้อยของแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินได้ถูกแก้ไขและพัฒนา ซึ่งการเชื่อมต่อแบบจำลองจึงเป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน จึงเป็นการพัฒนาแบบจำลองให้สามารถจำลองสภาพน้ำให้สอดคล้องกับหลักอุทกวิทยา

การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อมแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดินเข้าด้วยกันนั้น ได้ถูกแบ่งขั้นตอนการศึกษา ออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนการศึกษาและออกแบบการเชื่อมต่อ ส่วนการเชื่อมต่อและทดสอบการเชื่อมต่อ และส่วนการประยุกต์และประเมินผลการเชื่อมต่อแบบจำลอง ดังแสดงรายละเอียดและขั้นตอนการทำงานไว้ในรูปที่ 5-1

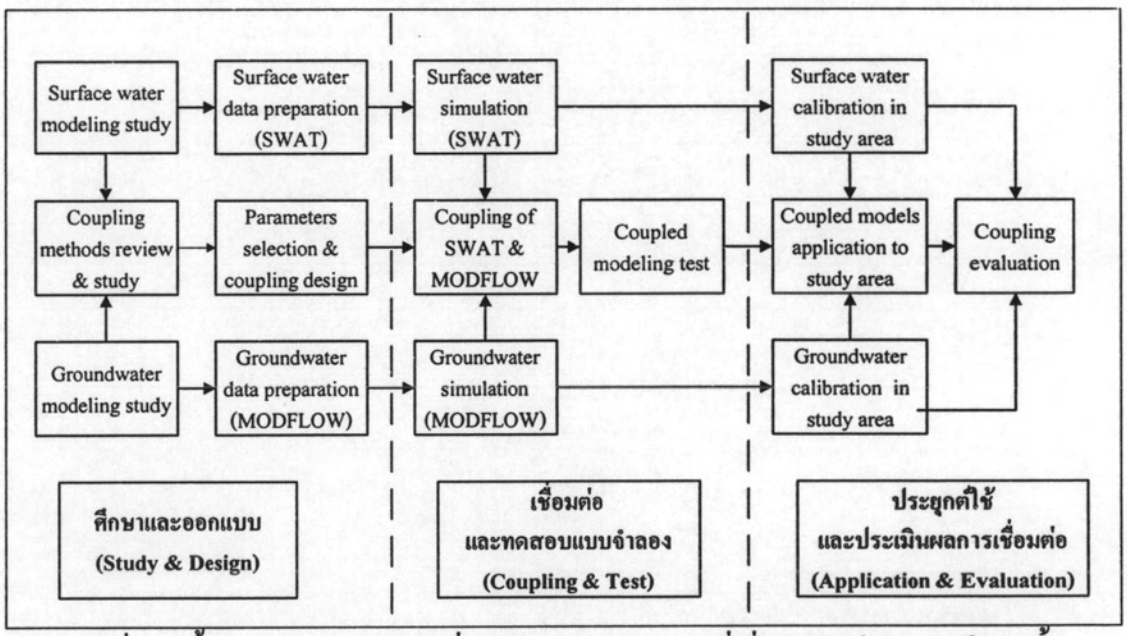
ขั้นตอนการศึกษาและออกแบบการเชื่อมต่อได้ทบทวนการศึกษาแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดิน รวมถึงการเชื่อมต่อแบบจำลองที่ผ่านมา (รายละเอียดในบทที่ 1) จากนั้นจึงได้พิจารณาเลือกแบบจำลอง SWAT และ MODFLOW เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการเชื่อมต่อ โดยพิจารณาจากการศึกษาในอดีตและรายละเอียด ข้อดีและข้อเสียของแบบจำลองเหล่านี้เทียบกับแบบจำลองที่มีอยู่ ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 นอกจากนี้ยังได้รวบรวมข้อมูลของแบบจำลองทั้ง 2 ส่วน (รายละเอียดในบทที่ 4) เพื่อนำมาศึกษาและทดสอบ

ในส่วนของการออกแบบ ได้พิจารณาทั้งแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินที่จำลองสภาพด้วยแบบจำลองดั้งเดิม และคิดหาวิธีนำแบบจำลองทั้งสองมาผนวกกัน โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน และรูปแบบการดำเนินแบบจำลองของน้ำผิวดินและใต้ดิน โดยพิจารณาวิธีการเชื่อมต่อในหัวข้อต่อไปนี้

1. การเชื่อมโยงพารามิเตอร์ในแบบจำลอง
2. การเชื่อมต่อแบบจำลองเชิงพื้นที่
3. การเชื่อมต่อแบบจำลองเชิงเวลา

ในขั้นตอนเชื่อมต่อและทดสอบ ได้นำแบบจำลองที่ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ไว้มาเชื่อมต่อตามที่ออกแบบไว้ และนำแบบจำลองไปทดลองใช้กับปัญหาอย่างง่าย คือ สามารถดำเนินโปรแกรม ได้โดยไม่เกิดการติดข้างและคำนวณการไหลของน้ำได้ออกมาเป็นผลสำเร็จ นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยสมการอุทกวิทยาอย่างง่าย เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์หาแนวทางที่สามารถทำให้แบบจำลองดำเนินงานได้อย่างสะดวกและสอดคล้องกับทฤษฎีทางอุทกวิทยา แล้วจึงทำการสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบจำลอง

ส่วนขั้นตอนการประยุกต์ใช้และประเมินผลนั้น เป็นการนำแบบการเชื่อมต่อที่ได้ไปปรับเทียบแบบจำลองรวมไปถึงการคำนวณหาพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาในพื้นที่ศึกษา และทำการประเมินผลการเชื่อมต่อจากผลการคำนวณการไหลของน้ำ ระหว่างก่อนและหลังการเชื่อมต่อว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร และใกล้เคียงกับสภาพอุทกวิทยาในพื้นที่ศึกษามากขึ้นหรือไม่ โดยจะกล่าวรายละเอียดในบทที่ 6 ต่อไป



รูปที่ 5-1 ขั้นตอนการพัฒนาการเชื่อมต่อและแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้วในการศึกษานี้

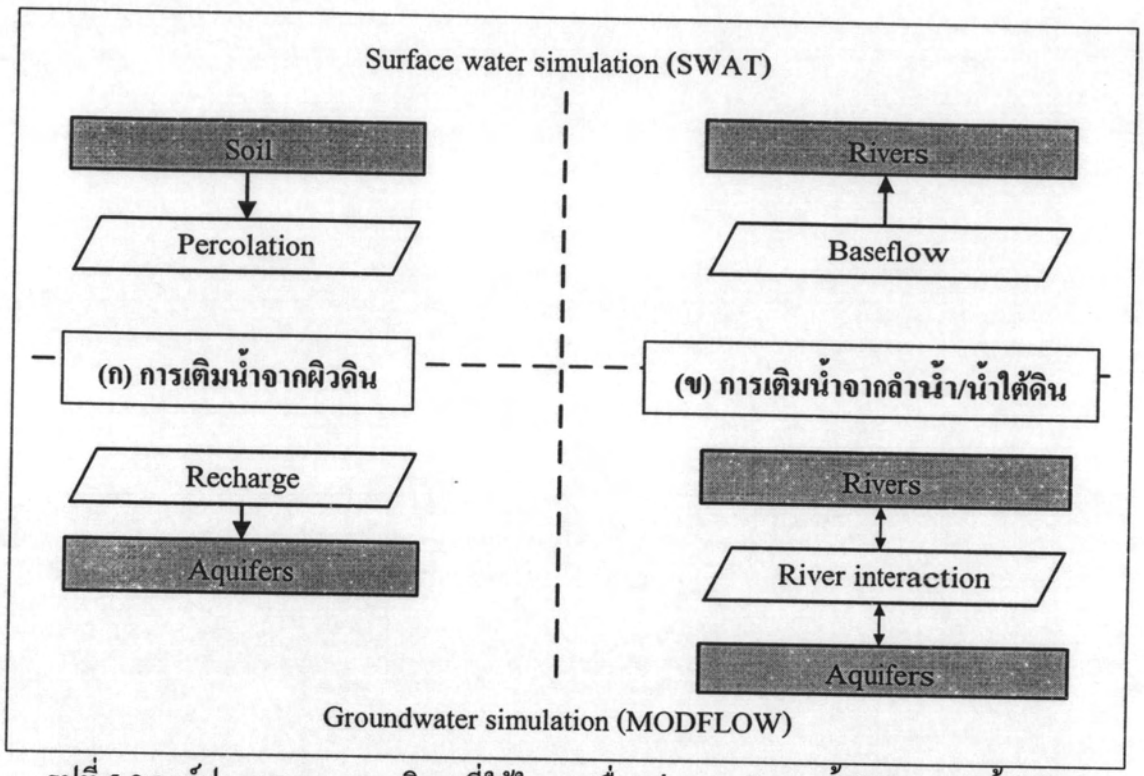
5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบจำลอง

การพิจารณาพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาที่ใช้ในการเชื่อมต่อนั้น พิจารณาจากแบบจำลองที่ยังไม่ได้เชื่อมต่อว่าพารามิเตอร์ใดในแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนน้ำระหว่างผิวดินและใต้ดิน และเป็นจุดด้อยของโปรแกรมที่สามารถพัฒนาได้ด้วยวิธีการเชื่อมต่อแบบจำลอง โดยรายละเอียดได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ซึ่งการเชื่อมต่อกับแบบจำลองน้ำผิวดินกับน้ำใต้ดิน องค์ประกอบทางอุทกวิทยา ที่มีส่วนสัมพันธ์กันมีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกันคือ การน้ำในส่วนของพื้นดินสู่ใต้ดิน (areal recharge) และการเติมน้ำเข้า-ออกจากลำน้ำ (channel recharge) ซึ่งการเชื่อมต่อในการศึกษานี้ ได้คำนึงถึงพารามิเตอร์การไหลของน้ำทั้ง 2 รูปแบบด้วยกัน

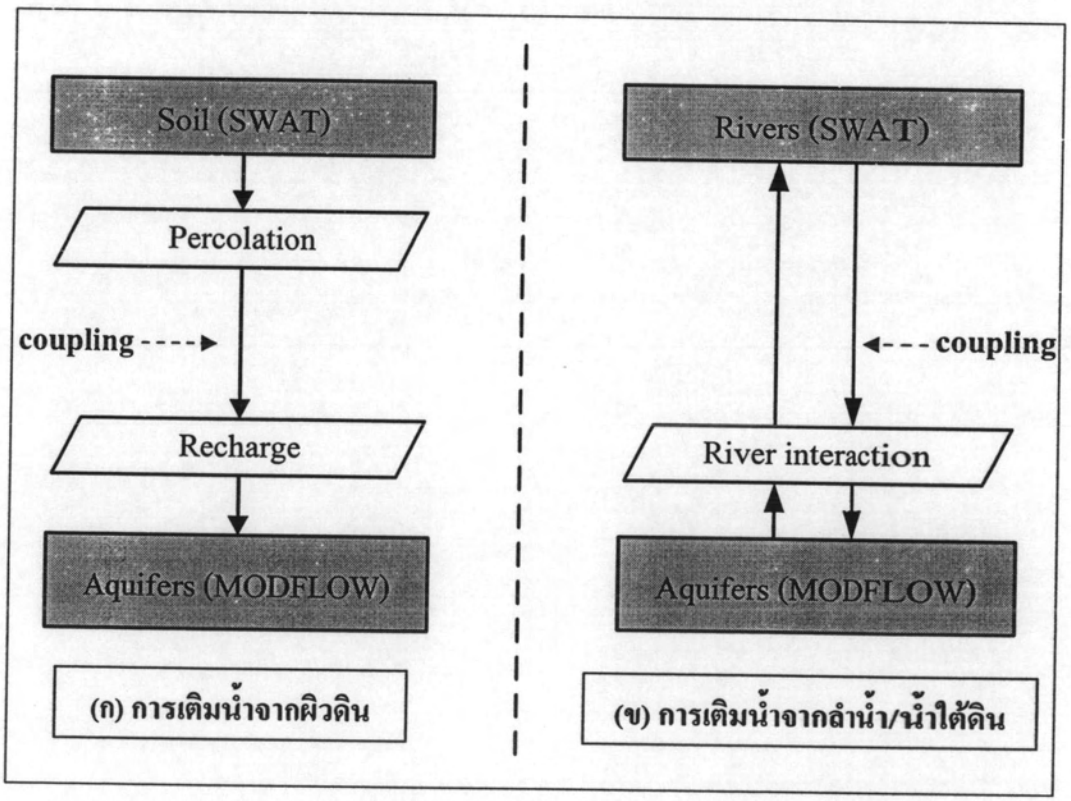
จากการพิจารณาการไหลของน้ำผิวดินและใต้ดินในวัฏจักรทางอุทกวิทยา พบว่าองค์ประกอบที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินแบ่งได้เป็น 2 องค์ประกอบ คือ การเติมน้ำจากผิวดินสู่ชั้นน้ำใต้ (surface recharge) และการแลกเปลี่ยนน้ำระหว่างลำน้ำกับน้ำใต้ดิน (river-gw interaction) ซึ่งองค์ประกอบทางอุทกวิทยาทั้ง 2 ส่วนนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินในการศึกษาครั้งนี้ ดังแสดงในรูปที่ 5-2 โดยพิจารณาเลือกใช้วิธีการคำนวณการเติมน้ำผิวดินจากค่า Percolation ของแบบจำลอง SWAT และการแลกเปลี่ยนน้ำในลำน้ำ (river-gw interaction) จากแบบจำลอง MODFLOW โดยรายละเอียดการเลือกใช้พารามิเตอร์ ได้อธิบายไว้ในหัวข้อการเลือกพารามิเตอร์ในการเชื่อมต่อของบทที่ 3

เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ในการเชื่อมต่อได้แล้ว จึงพิจารณาแนวทางการเชื่อมต่อชุดคำนวณของน้ำผิวดินและใต้ดิน โดยการเติมน้ำจากผิวดินนั้น ได้เลือกใช้การคำนวณ percolation ของ SWAT เพื่อส่งผลลัพธ์การคำนวณไปเป็น recharge ของ MODFLOW และในส่วนการแลกเปลี่ยนน้ำในลำน้ำนั้น ได้เลือกใช้การคำนวณ river-gw interaction ของ MODFLOW เพื่อคำนวณหาการไหลเข้าออกของน้ำในลำน้ำกับชั้นน้ำใต้ดินและส่งผลลัพธ์ไปใช้แทนค่า baseflow ของ SWAT ดังแสดงในรูปที่ 5-3

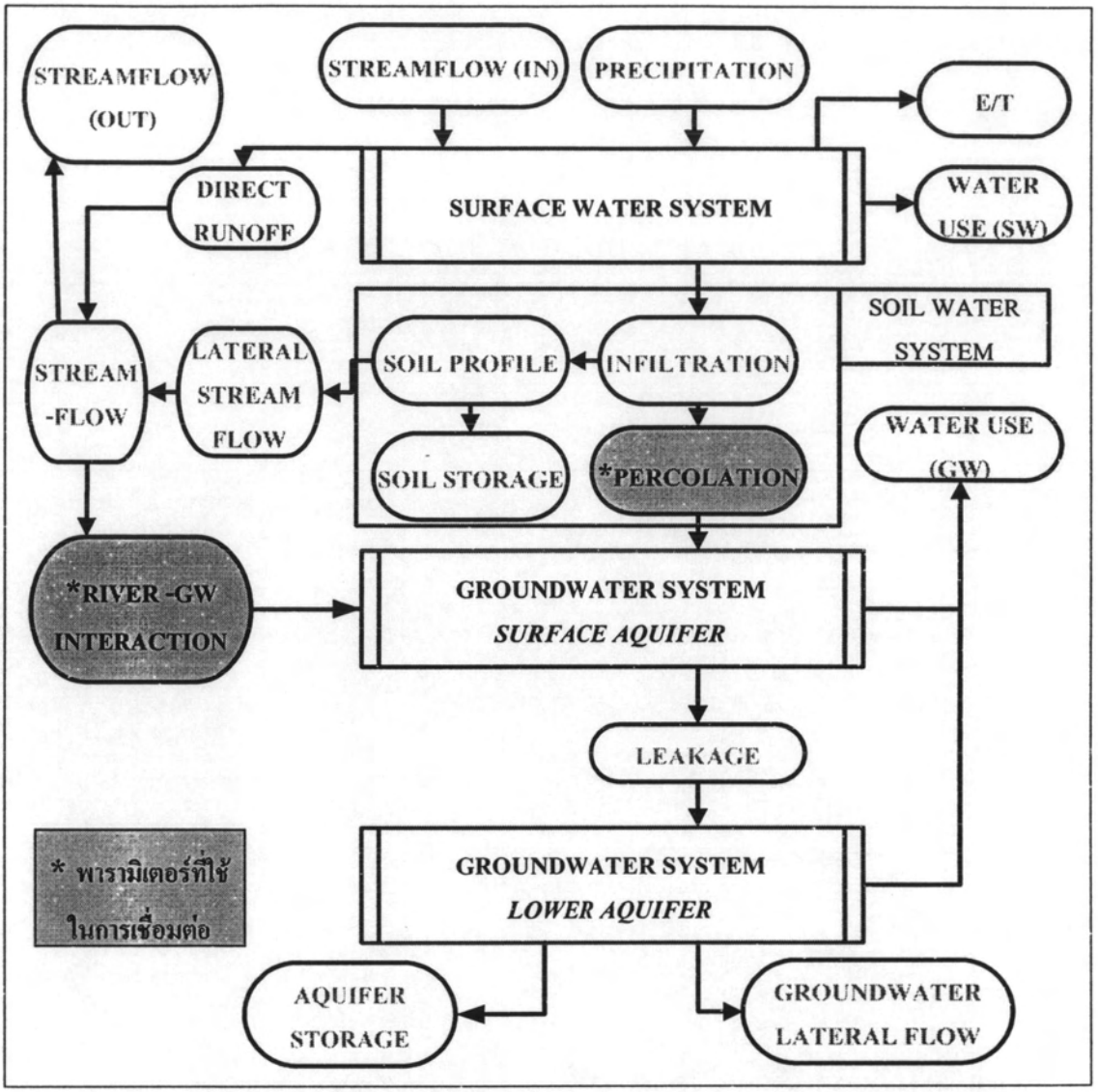
การเชื่อมต่อองค์ประกอบทางอุทกวิทยาที่มีส่วนสัมพันธ์ระหว่างผิวดินกับใต้ดินมีอยู่ด้วยกัน 3 ส่วนด้วยกันคือ การเติมน้ำจากผิวดิน การเติมน้ำเข้าจากชั้นน้ำใต้ดินหรือไหลออกสู่ลำน้ำ (river-gw interaction) และน้ำพุ (spring) แต่น้ำพุไม่ได้นำมาพิจารณาในการศึกษานี้ เนื่องในพื้นที่ศึกษาไม่พบการเกิดน้ำพุ และเมื่อทำการเชื่อมต่อความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบทางอุทกวิทยาน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเพื่อเชื่อมต่อแบบจำลองเข้าด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 5-4 จึงทำให้แบบจำลองนี้สามารถคำนวณพฤติกรรมการไหลของน้ำในระบบได้อย่างสอดคล้องกัน รวมถึงการหาสมดุลของระบบน้ำได้



รูปที่ 5-2 องค์ประกอบทางอุทกวิทยาที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน



รูปที่ 5-3 องค์ประกอบทางอุทกวิทยาที่ได้รับการเชื่อมต่อแล้ว



รูปที่ 5-4 องค์ประกอบทางอุทกวิทยาที่พิจารณาในแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

5.3 การออกแบบการเชื่อมต่อแบบจำลอง

การเชื่อมต่อแบบจำลองแบบจำลอง ได้ถูกออกแบบเพื่อสร้างความเชื่อมโยงแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ให้ดำเนินการจำลองเป็นไปอย่างสัมพันธ์กันตามหลักอุทกวิทยา และ ทำให้การพิจารณาการไหลของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินมีความสอดคล้องกับสภาพอุทกวิทยามากขึ้น

เมื่อแบบจำลองได้ทำการเชื่อมต่อกันแล้ว บริเวณลำน้ำที่เชื่อมต่อกับแหล่งน้ำใต้ดินในแบบจำลองน้ำผิวดิน จะถูกแทนที่ด้วยระบบลำน้ำของแบบจำลองน้ำใต้ดิน และส่วนที่ติดกับชั้นบรรยากาศของแบบจำลองน้ำใต้ดินส่วนบนจะถูกแทนที่ด้วยแบบจำลองการไหลของน้ำในดินของแบบจำลองน้ำผิวดิน ดังแสดงในรูปที่ 5-4

ขั้นตอนการเชื่อมต่อนั้น เริ่มจากการคำนวณหาการไหลของน้ำผิวดินด้วยแบบจำลอง SWAT และจึงคำนวณการไหลของน้ำใต้ดินด้วยแบบจำลอง MODFLOW จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองมาคำนวณเพื่อเชื่อมต่อค่าพารามิเตอร์กัน (parameter linkage) โดยพิจารณาจุดด้อยของแต่ละโปรแกรม จากนั้นจึงคำนวณด้วยแบบจำลอง SWAT และ MODFLOW อีกครั้ง จากนั้นจึงพิจารณาว่าปริมาณน้ำในลำน้ำหรือระดับน้ำใต้ดินมีผลการคำนวณแตกต่างกับผลที่ได้ก่อนหน้า น้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้หรือไม่ (tolerance) จึงพิจารณาดำเนินการจำลองต่อไป หากค่าที่ได้ไม่แตกต่างไปกว่าค่าที่กำหนดไว้แล้ว จึงสรุปองค์ประกอบทางอุทกวิทยาของระบบน้ำในพื้นที่ ดังอธิบายขั้นตอนการดำเนินการเชื่อมต่อในรูปที่ 5-5

ในขั้นตอนการออกแบบการเชื่อมต่อแบบจำลอง พารามิเตอร์ที่ถูกกำหนดไว้สำหรับส่งผ่านข้อมูลระหว่างการเชื่อมต่อ (อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 5.2) ได้ถูกออกแบบให้แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างการดำเนินการจำลอง โดยค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะถูกส่งผ่านด้วยโปรแกรม การเชื่อมต่อแบบจำลอง ซึ่งมีขึ้นตอนการเชื่อมต่อดังรูปที่ 5-6 โดยมีรายละเอียดการทำงานดังต่อไปนี้

1. ในการดำเนินการจำลองในขั้นแรก (simulation1)ดำเนินการด้วยข้อมูลเข้าที่ได้มาจากแบบจำลองแต่ละส่วน แล้วจึงให้ผลลัพธ์จาก simulation1 ส่งต่อไปยังแบบจำลองส่วนถัดไป โดยการแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันระหว่างแบบจำลองน้ำผิวดินและแบบจำลองน้ำใต้ดิน (first cross)

2. ในการดำเนินการแบบจำลองในขั้นที่สอง (simulation2) ดำเนินการนำข้อมูลที่ได้มาจากแบบจำลองแต่ละส่วนและจากการ first cross มาดำเนินการหาผลลัพธ์จาก simulation2 แล้วจึงนำการแลกเปลี่ยนน้ำในลำน้ำจากแบบจำลอง MODFLOW ส่งมาให้แบบจำลองน้ำผิวดิน (second cross) เพื่อมาเปรียบเทียบปริมาณน้ำในลำน้ำที่คำนวณได้จาก simulation1 และทำการปรับแก้น้ำในลำน้ำ (adjust streamflow) ส่วนระดับน้ำใต้ดินนั้นนำผลลัพธ์ของ simulation2 มาเป็นผลลัพธ์ในช่วงการคำนวณนั้นๆเลย (เนื่องจากผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงน้ำในลำน้ำนั้นมีผลต่อระดับน้ำใต้ดินน้อยมากในพื้นที่ศึกษานี้)

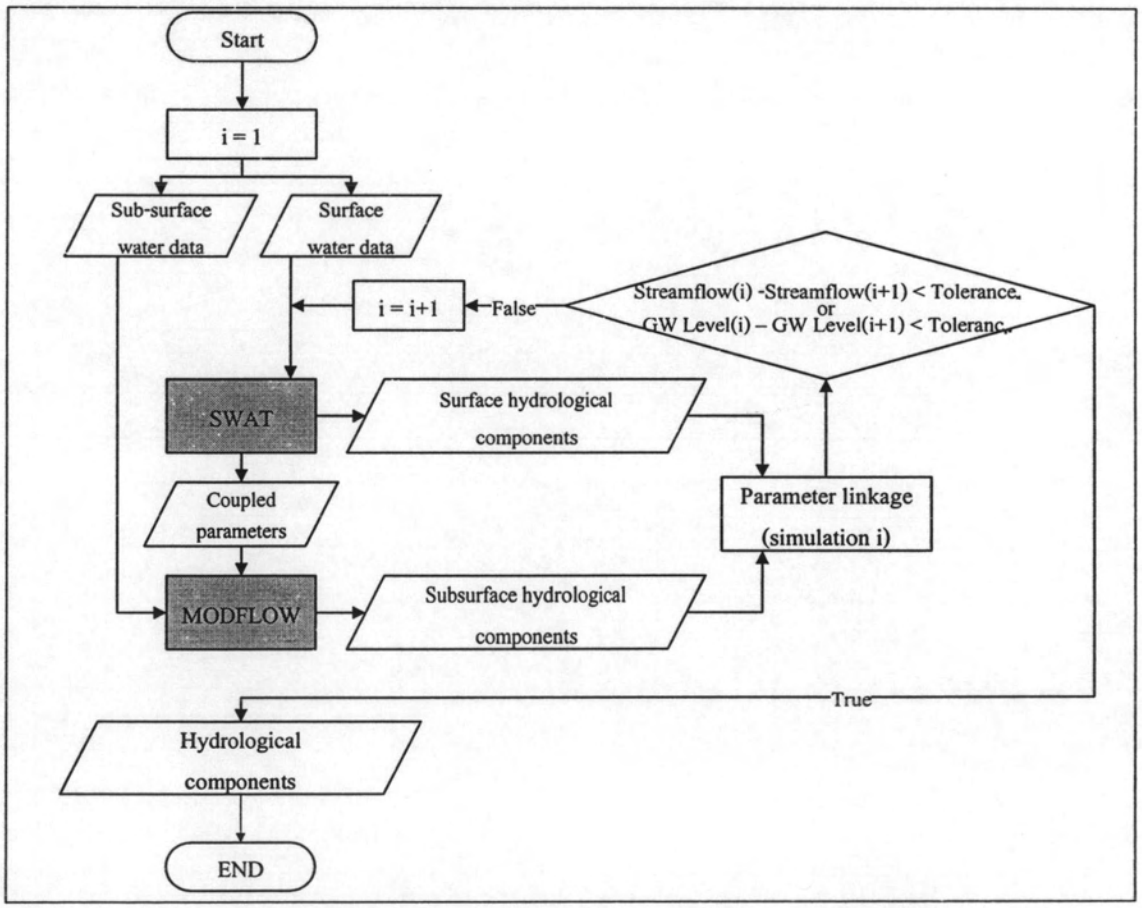
3. เมื่อส่งต่อผลลัพธ์ได้ตามเงื่อนไขแล้ว จึงทำการพิจารณาแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดินตามข้อที่ 1 และ 2 อีกในช่วงการคำนวณถัดไป

เนื่องจากแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเน้นการคำนวณในส่วนผิวดิน และใต้ดินแยกกันดังที่กล่าวมา จึงทำให้แบบจำลองไม่มีการตรวจสอบผลการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่มีอยู่ระหว่างแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินว่าสอดคล้องกันหรือไม่ การพิจารณาปริมาณการ

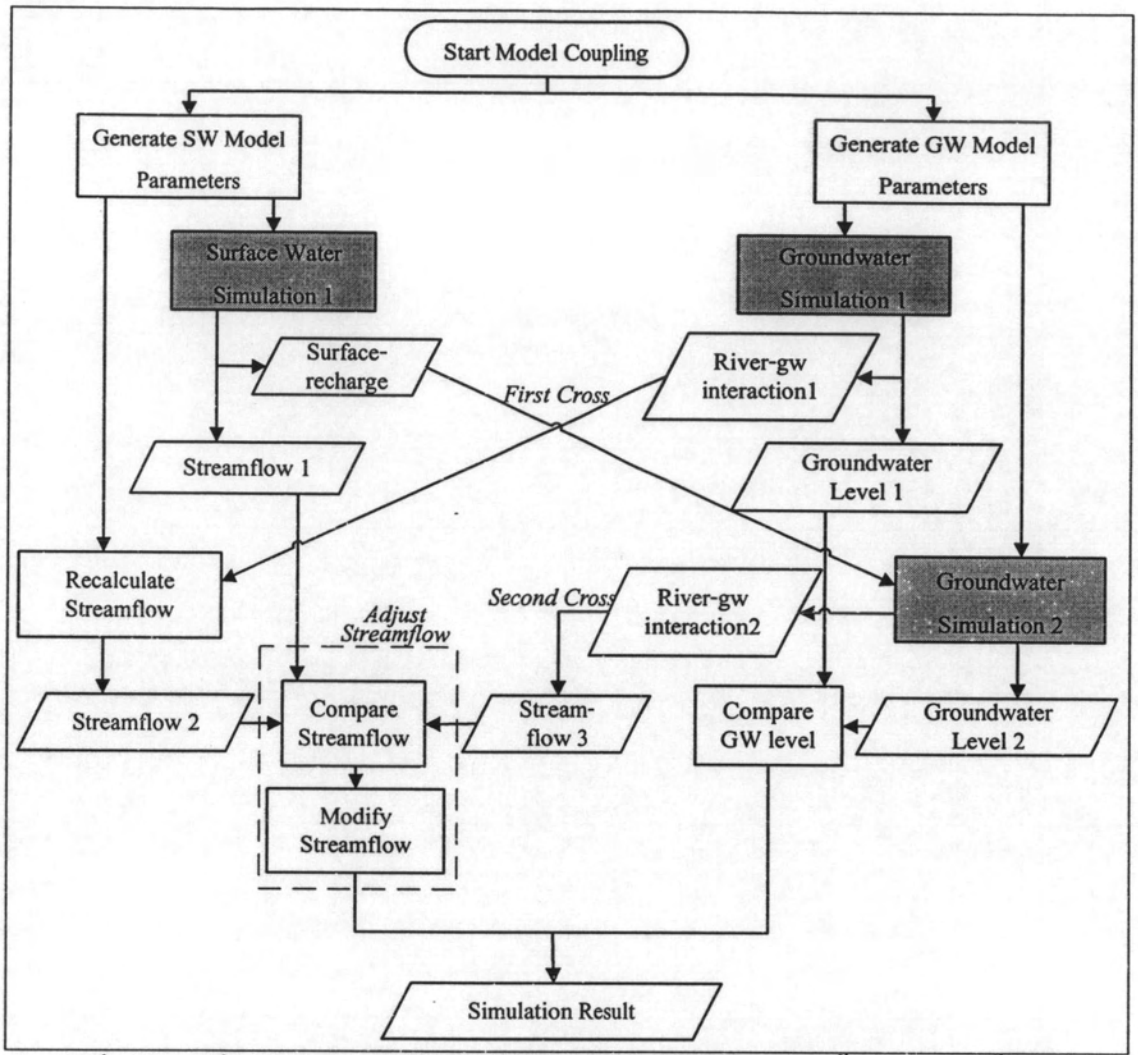
แลกเปลี่ยนน้ำในลำน้ำ จึงเป็นการตรวจสอบและปรับแก้ให้ถูกต้องตามหลักอุทกวิทยา ทำให้ค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณ นั้นไม่ขัดแย้งกันและสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง

การปรับแก้ค่าการไหลในลำน้ำนั้น (adjust streamflow) ได้พิจารณาว่าน้ำใต้ดินนั้นมีเพียงพอที่จะซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินได้หรือไม่ หากไม่เพียงพอนั้นคือ น้ำในลำน้ำซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินทั้งหมด ทำให้พิจารณาปรับค่าน้ำในลำน้ำเป็นศูนย์ หากมีน้ำเพียงพอให้พิจารณาปรับแก้ค่าการไหลในลำน้ำกับการแลกเปลี่ยนกับน้ำใต้ดินให้สอดคล้องกัน ดังแสดงการทำงานของส่วนนี้ในรูปที่ 5-7

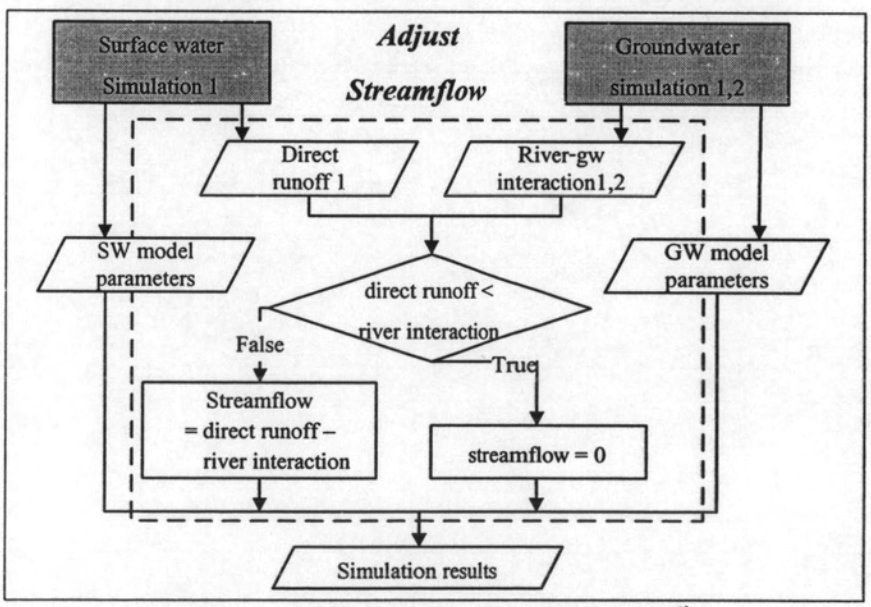
การพิจารณาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงน้ำในลำน้ำ (compare streamflow) และระดับน้ำใต้ดิน (compare gw level) ในรูปที่ 5-6 นั้น หากความเปลี่ยนแปลงเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ (tolerance) การเชื่อมต่อจะปรับเปลี่ยนค่าการเติมน้ำ (modify surface recharge) และค่าการแลกเปลี่ยนน้ำในลำน้ำ (modify streamflow) ในระหว่างการคำนวณการเชื่อมต่อ โดยการศึกษานี้กำหนดให้การปรับเปลี่ยนทั้งการเติมน้ำผิวดินและการแลกแปลี่ยนน้ำในลำน้ำ ใช้ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณในรอบแรกของ surface recharge และ streamflow แทนค่าเดิมตามลำดับ



รูปที่ 5-5 ขั้นตอนการเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน



รูปที่ 5-6 การเชื่อมต่อค่าพารามิเตอร์ระหว่างการเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน



รูปที่ 5-7 การปรับปรุงปริมาณการไหลในลำน้ำ

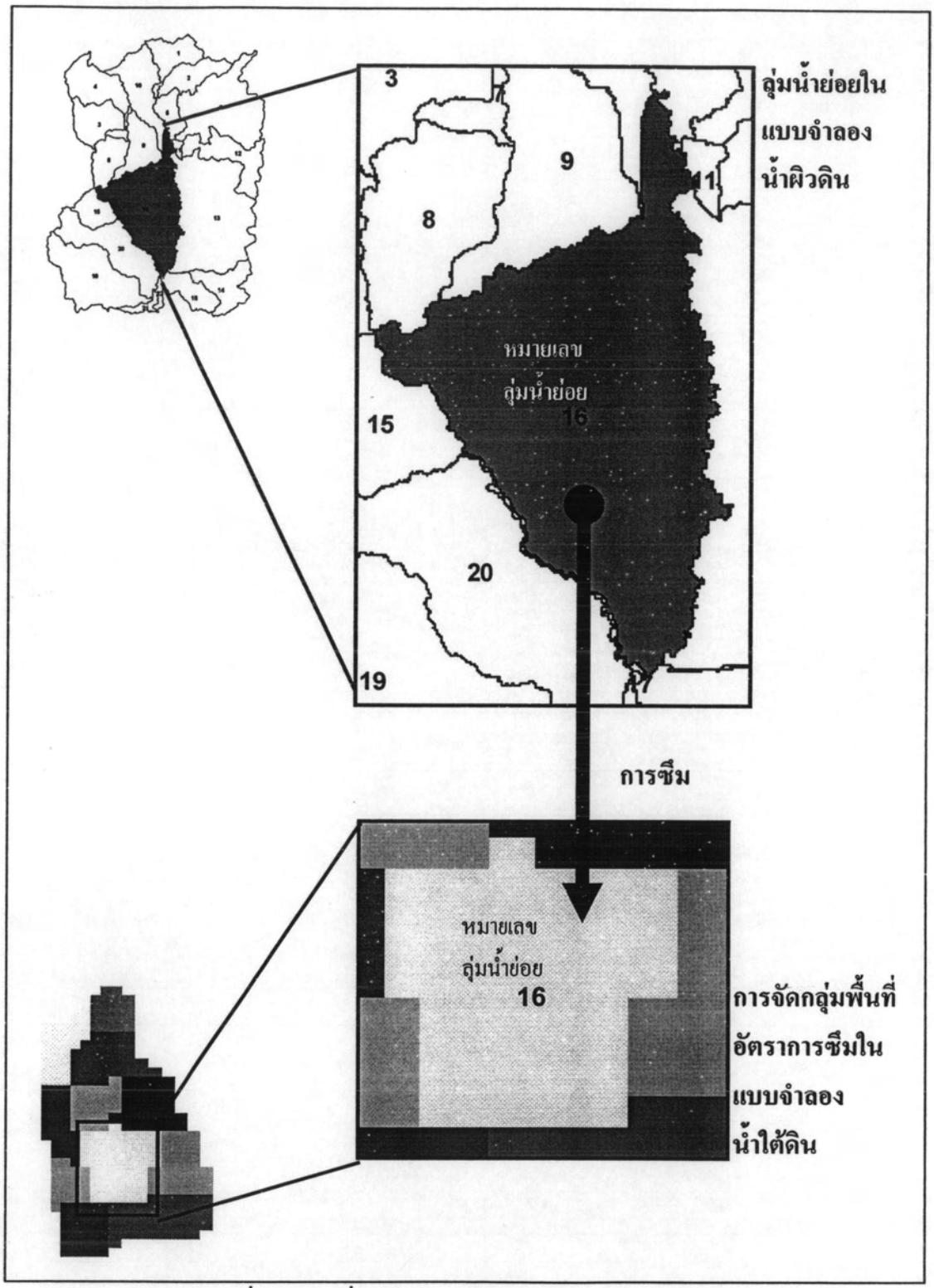
5.3.1 หน่วยคำนวณเชิงพื้นที่

การคำนวณของแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดินนั้น แบบจำลองทั้ง 2 มีการพิจารณามิติของพื้นที่ (space) ในลักษณะที่แตกต่างกัน คือ น้ำผิวดิน พิจารณาพื้นที่สองมิติแบบกริดเซลล์ขนาดเล็กมารวมกันเป็นรูปหลายเหลี่ยมในส่วนแผ่นดิน และหนึ่งมิติในส่วนของลำน้ำ ส่วนน้ำใต้ดินพิจารณาพื้นที่สามมิติแบบกริดเซลล์ขนาดใหญ่และพิจารณาลำน้ำแบบหนึ่งมิติ ฉะนั้นการผนวกพื้นที่ของน้ำผิวดินเข้ากับน้ำใต้ดินจึงพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ การเชื่อมต่อส่วนแผ่นดินและการเชื่อมต่อส่วนลำน้ำได้แสดง ในรูปที่ 5-8 และ 5-9 ตามลำดับ

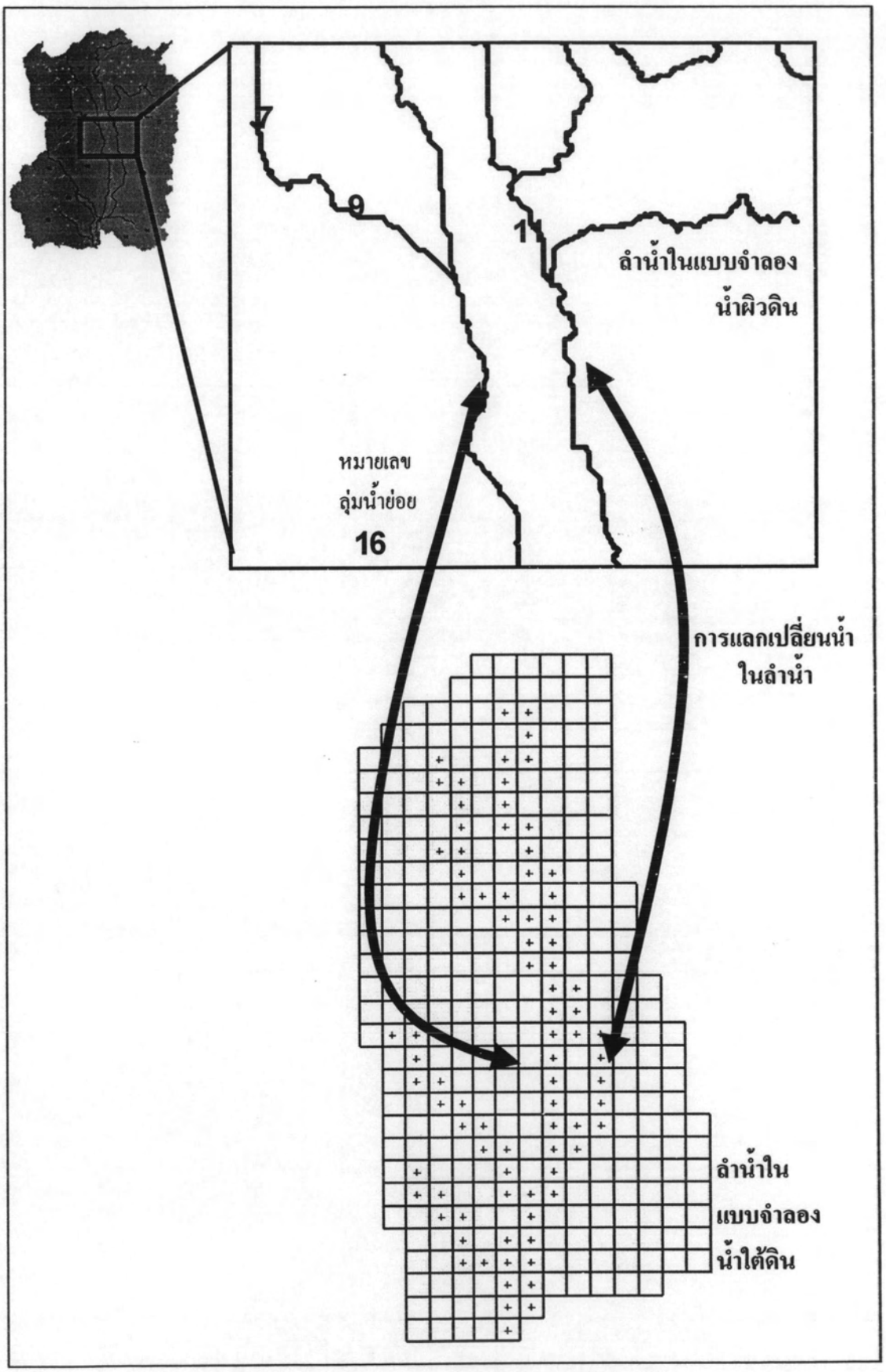
การเชื่อมต่อแบบจำลองในส่วนของผิวดินนั้น พิจารณาการเชื่อมต่ออัตราการซึมของแต่ละรูปหลายเหลี่ยม (polygon) ในแบบจำลองผิวดินและนำอัตราการซึมคำนวณเป็นอัตราการเติมน้ำใต้ดินของกลุ่มของกริดเซลล์ในแบบจำลองน้ำใต้ดินที่ได้ทำการจัดกลุ่มไว้ และในกรณีที่ขนาดของลุ่มน้ำผิวดินไม่คลอบคลุมทั่วทั้งแอ่งน้ำใต้ดิน ให้ใช้ค่าเฉลี่ยอัตราการเติมน้ำใต้ดินจากลุ่มน้ำที่อยู่ติดกัน มาเป็นในอัตราการเติมน้ำใต้ดินในพื้นที่นอกแอ่งน้ำผิวดิน

การเชื่อมต่อแบบจำลองในส่วนของลำน้ำ พิจารณาการเชื่อมปริมาณการแลกเปลี่ยนน้ำในลำน้ำกับชั้นน้ำใต้ดินของแบบจำลองน้ำใต้ดิน และนำไปเชื่อมกับอัตราการการเติมน้ำจากน้ำใต้ดินสู่น้ำในลำน้ำในแบบจำลองผิวดินของแต่ละลุ่มน้ำย่อย (subbasin) ที่ได้ถูกสร้างไว้ในแบบจำลองน้ำผิวดิน

การกำหนดพื้นที่ที่ใช้ผนวกการเชื่อมต่อทั้ง 2 ส่วนนั้น พื้นที่ต้องให้เหมาะสมกับลักษณะทางอุทกวิทยาในพื้นที่ศึกษาด้วย กล่าวคือ ต้องกำหนดขนาดพื้นที่ให้เป็นลุ่มน้ำผิวดินและมีความสอดคล้องกับลุ่มน้ำใต้ดิน อย่างไรก็ตามการศึกษาโปรแกรมการเชื่อมต่อนี้ได้อาศัยวิธีการทางสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ในการแบ่งกลุ่มการเชื่อมต่อ



รูปที่ 5-8 การเชื่อมต่อแบบจำลองในส่วนของแผ่นดิน



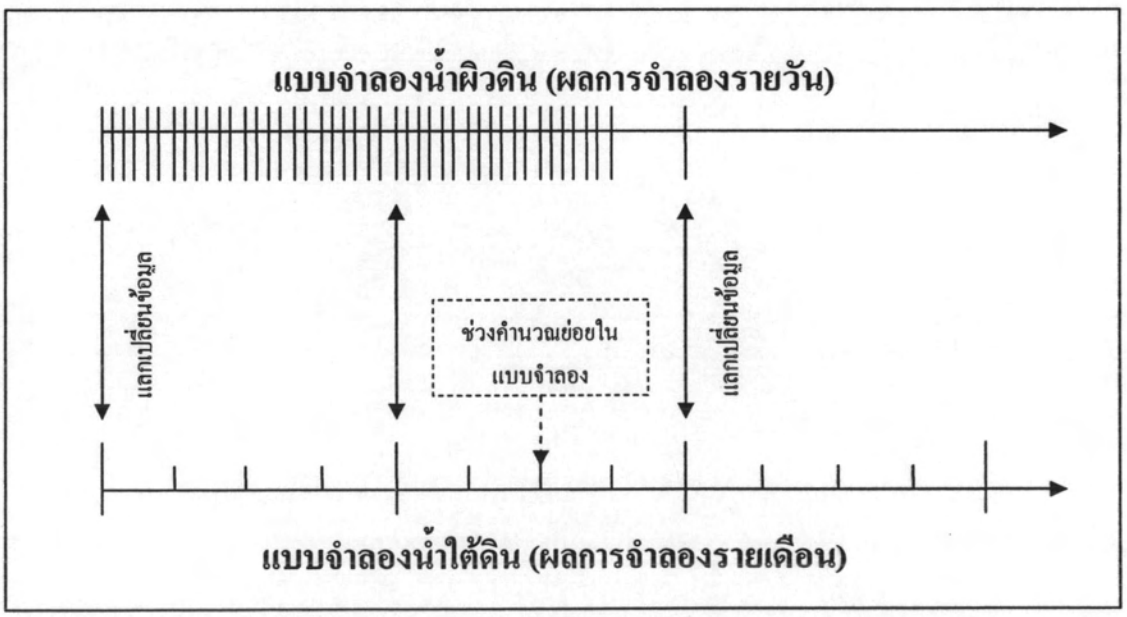
รูปที่ 5-9 การเชื่อมต่อแบบจำลองในส่วนของลำน้ำ

5.3.2 ช่วงระยะเวลาในการคำนวณ

เนื่องจากการไหลของน้ำใต้ดินเป็นไปอย่างช้าๆ การพิจารณาการไหลของน้ำใต้ดินในการศึกษานี้ ได้ดำเนินการจำลองการไหลเป็นรายเดือน เมื่อเทียบกับน้ำผิวดินที่ดำเนินการจำลองการไหลเป็นรายวันก่อให้เกิดความไม่เท่ากันของช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณา จึงใช้การเชื่อมต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลในช่วงเวลาที่กำหนด โดยแบบจำลองทั้งสองมีช่วงเวลาที่ดำเนินมาถึงช่วงเวลาที่ต้องการแล้ว จึงทำการประมาณค่าภายในช่วง และแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างแบบจำลอง

เนื่องจากข้อมูลในแบบจำลองน้ำใต้ดินที่ได้รวบรวมไว้ มีปริมาณข้อมูลที่เป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน ประกอบกับรูปแบบการใช้น้ำใต้ดินมีความแปรผันมากในแต่ละวัน ฉะนั้นการพิจารณาดำเนินการจำลองน้ำใต้ดิน จึงให้มีการคำนวณเป็นรายเดือน ซึ่งการศึกษานี้ได้กำหนดให้การคำนวณแบบจำลองน้ำใต้ดินรายงานผลการคำนวณออมาเป็นรายเดือน โดยแบ่งช่วงย่อยในการคำนวณเป็นรายสัปดาห์ และแบบจำลองน้ำผิวดินดำเนินการคำนวณเป็นรายวันและรายงานผลการคำนวณออกมาเป็นรายเดือน

แบบจำลอง SWAT ที่ใช้ในการศึกษานี้สามารถทำการคำนวณหาพารามิเตอร์ของน้ำผิวดินได้ละเอียดมากสุดเป็นรายวัน และแบบจำลอง MODFLOW สามารถทำการคำนวณได้ละเอียดสุดเป็นรายชั่วโมง แต่การเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดิน ได้พิจารณาช่วงที่ข้อมูลสอดคล้องกับระบบการไหลทั้ง 2 ส่วนและมีความละเอียดของข้อมูลมากที่สุด จึงทำการต่อแบบจำลองในช่วงการคำนวณแต่ละเดือน กล่าวคือทำการแลกเปลี่ยนพารามิเตอร์ทุกช่วง 1 เดือนดังแสดงในรูปที่ 5-10



รูปที่ 5-10 การเชื่อมต่อในมิติของเว ลาระหว่างแบบจำลอง

5.3.3 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว

ขอบเขตของพื้นที่ในแบบจำลองน้ำผิวดินนั้น พิจารณาจากภูมิประเทศและลำน้ำ ส่วนแบบจำลองน้ำใต้ดินนั้น พิจารณาขอบเขตพื้นที่จากการวางตัวของชั้นน้ำน้ำบาดาลและสภาพธรณีวิทยา ทำให้ขนาดของพื้นที่ในแบบจำลองทั้ง 2 ส่วนมีขนาดไม่เท่ากัน นอกจากนี้หน่วยพื้นที่ในการคำนวณของแบบจำลองน้ำผิวดิน พิจารณาลุ่มน้ำย่อยเป็นรูปหลายเหลี่ยม (polygons) และแบบจำลองน้ำใต้ดิน พิจารณาชั้นน้ำใต้ดินเป็นตารางสี่เหลี่ยม (grids) ทำให้การเชื่อมต่อในมิติของพื้นที่จำเป็นต้องปรับแก้ค่าที่ใช้เชื่อมโยงตามสัดส่วนของพื้นที่ กล่าวคือ อัตราการเติมน้ำในชั้นน้ำใต้ดิน (surface recharge) ของแบบจำลองน้ำใต้ดิน ที่ได้จาก การซึมสู่ชั้นน้ำใต้ดิน (percolation) จากแบบจำลองน้ำผิวดิน เป็นไปดังสมการ 5-1 ซึ่งได้จากการแปลงค่าการซึมของน้ำจากพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยไปเป็นอัตราการเติมน้ำของแต่ละกริดเซลล์ ด้วยวิธีการการเทียบหาสัดส่วนของพื้นที่

$$\text{อัตราการเติมน้ำในชั้นน้ำใต้ดิน} = \frac{\text{พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย X อัตราการซึมสู่ชั้นน้ำใต้ดิน}}{\text{จำนวนกริดเซลล์แบบจำลองน้ำใต้ดิน X ขนาดของกริดเซลล์}} \qquad (5\text{-}1)$$

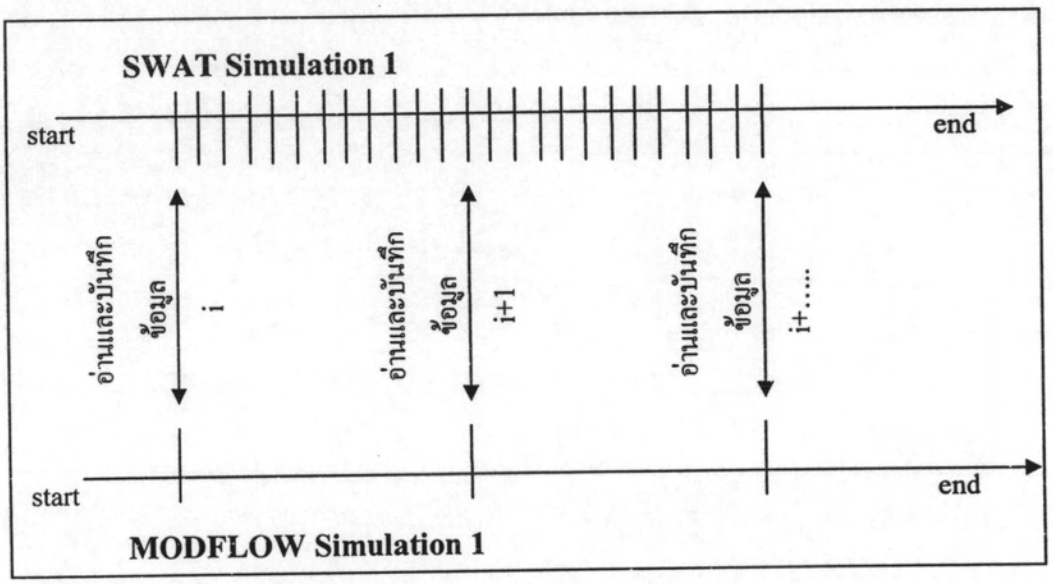
ปริมาณการไหลในลำน้ำ (streamflow) ในการดำเนินการแบบจำลอง หากปริมาณการซึมของน้ำในลำน้ำมีปริมาณที่มากกว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ในลำน้ำ ให้พิจารณาการไหลของลำน้ำที่ซึมลงสู่ชั้นน้ำใต้ดินมีค่าเท่ากับปริมาณน้ำในลำน้ำที่มีอยู่ หากปริมาณน้ำในลำน้ำมีมากกว่าอัตราการซึม ให้พิจารณาปริมาณในลำน้ำมีค่าเท่ากับ ปริมาณน้ำในลำน้ำที่หักออกจากอัตราการซึมของลำน้ำของแบบจำลองน้ำผิวดิน หรือบวกกับอัตราการเติมน้ำใต้ดินเข้าสู่ลำน้ำของแบบจำลองน้ำใต้ดิน ขั้นตอนการปรับค่าน้ำน้ำในลำน้ำระหว่างการเชื่อมต่อแบบจำลองได้แสดงในรูป 5-7

5.3.4 การเชื่อมต่อค่าพารามิเตอร์

การเชื่อมต่อแบบจำลองในการศึกษานี้ประกอบขึ้นด้วย 2 ส่วนหลัก คือ กระบวนการเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินกับน้ำใต้ดิน และกระบวนการพิจารณาปรับปรุงองค์ประกอบทางอุทกวิทยา โดยกระบวนทั้งสองส่วนนี้ได้ดำเนินการโดยโปรแกรมการเชื่อมต่อที่ได้สร้างขึ้น โดยมีรายละเอียดในหัวข้อที่ 5.5

กระบวนการเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินกับน้ำใต้ดินนั้น ทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองทั้ง 2 ส่วน โดยมีกระบวนการอ่านและบันทึกค่าพารามิเตอร์เป็นเครื่องมือจัดการและเรียบเรียงข้อมูลของค่าพารามิเตอร์เหล่านี้

กระบวนการอ่านและบันทึก เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกระบวนการเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดิน โดยพารามิเตอร์ที่ได้ถูกเลือกไว้เพื่อการเชื่อมต่อจะถูกอ่านค่าจากแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดินในครั้งแรก แล้วพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของน้ำในลำน้ำและระดับน้ำใต้ดินดังขั้นตอนในรูปที่ 5-6 จากนั้นจึงเลือกค่าพารามิเตอร์หรือปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ตามขั้นตอนที่ได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้ แล้วจึงทำการบันทึกค่าพารามิเตอร์ที่ได้มาใหม่ลงไปในแบบจำลองอีกครั้ง กระบวนการการอ่านและบันทึกค่าพารามิเตอร์นี้ ดำเนินการในแบบจำลองทั้งผิวดินและใต้ดินตั้งแต่ต้นจนจบ โดยทำการเลือกจุดที่มีการเชื่อมต่อ (แลกเปลี่ยน/ปรับปรุงข้อมูล) พารามิเตอร์ ในขั้นตอนที่กำหนด (i , i+1, i+2, i+...) ดังแสดงในรูปที่ 5-11 จากนั้นจึงบันทึกค่าพารามิเตอร์สุดท้ายกลับเข้าไปในไฟล์ของทั้ง 2 แบบจำลอง



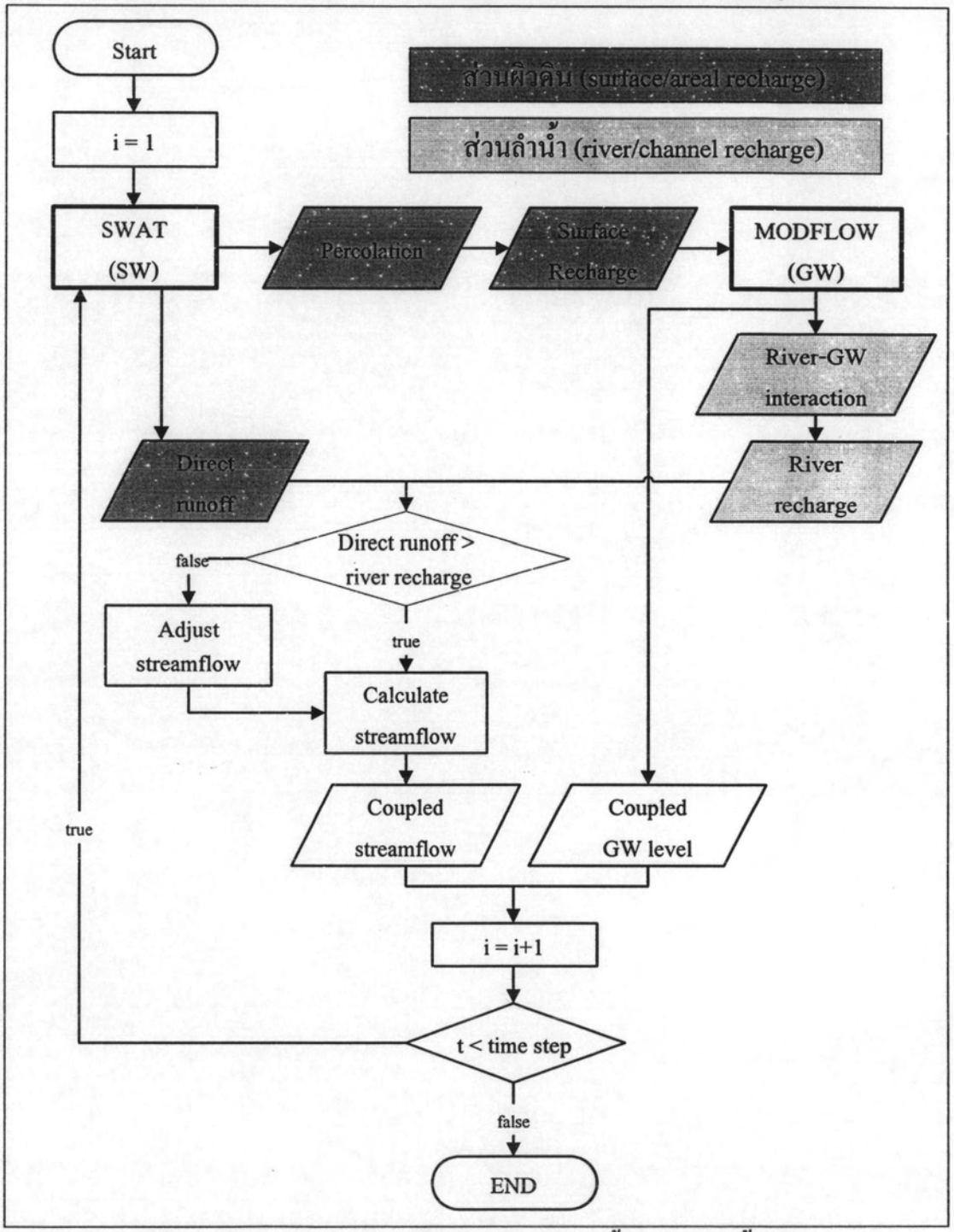
รูปที่ 5-11 กระบวนการเชื่อมต่อแบบจำลอง

5.4 สรุปขั้นตอนการเชื่อมต่อแบบจำลอง

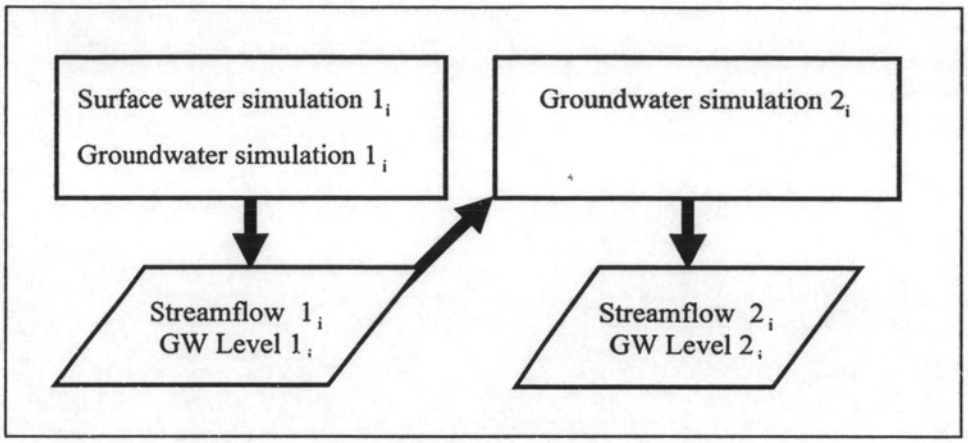
จากการศึกษาทฤษฎีทางอุทกวิทยาของน้ำผิวดินและใต้ดิน ประกอบกับแนวทางการเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินกับน้ำใต้ดินที่ได้จากการศึกษานี้ สามารถสรุปอัลกอริธึม (algorithm) ของการเชื่อมต่อแบบจำลองที่ได้จากการศึกษานี้ ได้ดังรูปที่ 5-12 นั้นก็คือ รูปแบบของการเชื่อมต่อแบบจำลองเพื่อหาปริมาณน้ำในลำน้ำและระดับน้ำใต้ดิน โดยมีขั้นตอนการดำเนินการแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ตามลำดับดังรูปที่ 5-13 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีการดำเนินการแบบจำลองน้ำผิวดิน 1 ครั้งและแบบจำลองน้ำใต้ดิน 2 ครั้ง

การเชื่อมต่อแบบจำลองทำให้แบบจำลอง สามารถคำนวณพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กันของทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยจำลองสภาพน้ำผิวดินและใต้ดินไปอย่างสอดคล้องกันตาม

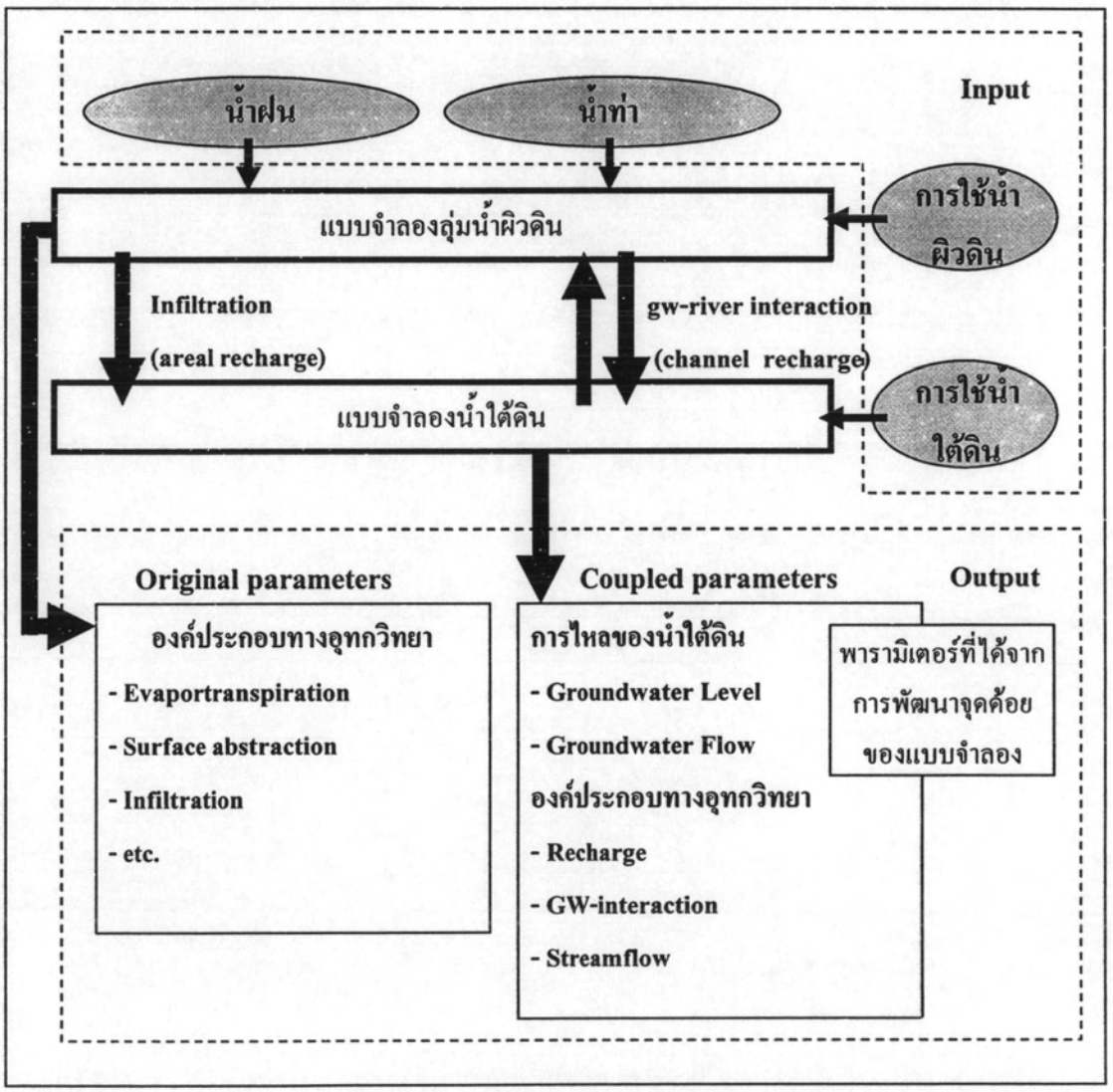
ทฤษฎีทางอุทกวิทยาและมีปฏิสัมพันธ์กันอย่างพลวัต ทำให้แบบจำลองสามารถพิจารณาหาสมดุลระบบน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินจากการวิเคราะห์การแลกเปลี่ยนน้ำระหว่าง 2 ระบบ โดยแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้วสามารถคำนวณหา ปริมาณการไหลในลำน้ำ ระดับน้ำใต้ดินและองค์ประกอบทางอุทกวิทยาของน้ำผิวดินและใต้ดิน โดยพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถแบ่งออกได้ 2 ส่วน คือ พารามิเตอร์ที่ได้จากการเชื่อมต่อ (coupled parametetrs) ซึ่งเป็นจุดด้อยของโปรแกรมที่ได้ถูกพัฒนาขึ้น และในบางส่วนที่การเชื่อมต่อไม่ส่งผลต่อพารามิเตอร์ (original parameters) ดังแสดงในรูปที่ 5-14



รูปที่ 5-12 อัลกอริธึมของการเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน



รูปที่ 5-13 การดำเนินการจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินในการเชื่อมต่อแบบจำลอง



รูปที่ 5-14 กระบวนการคำนวณในแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินที่ทำการเชื่อมต่อแล้ว

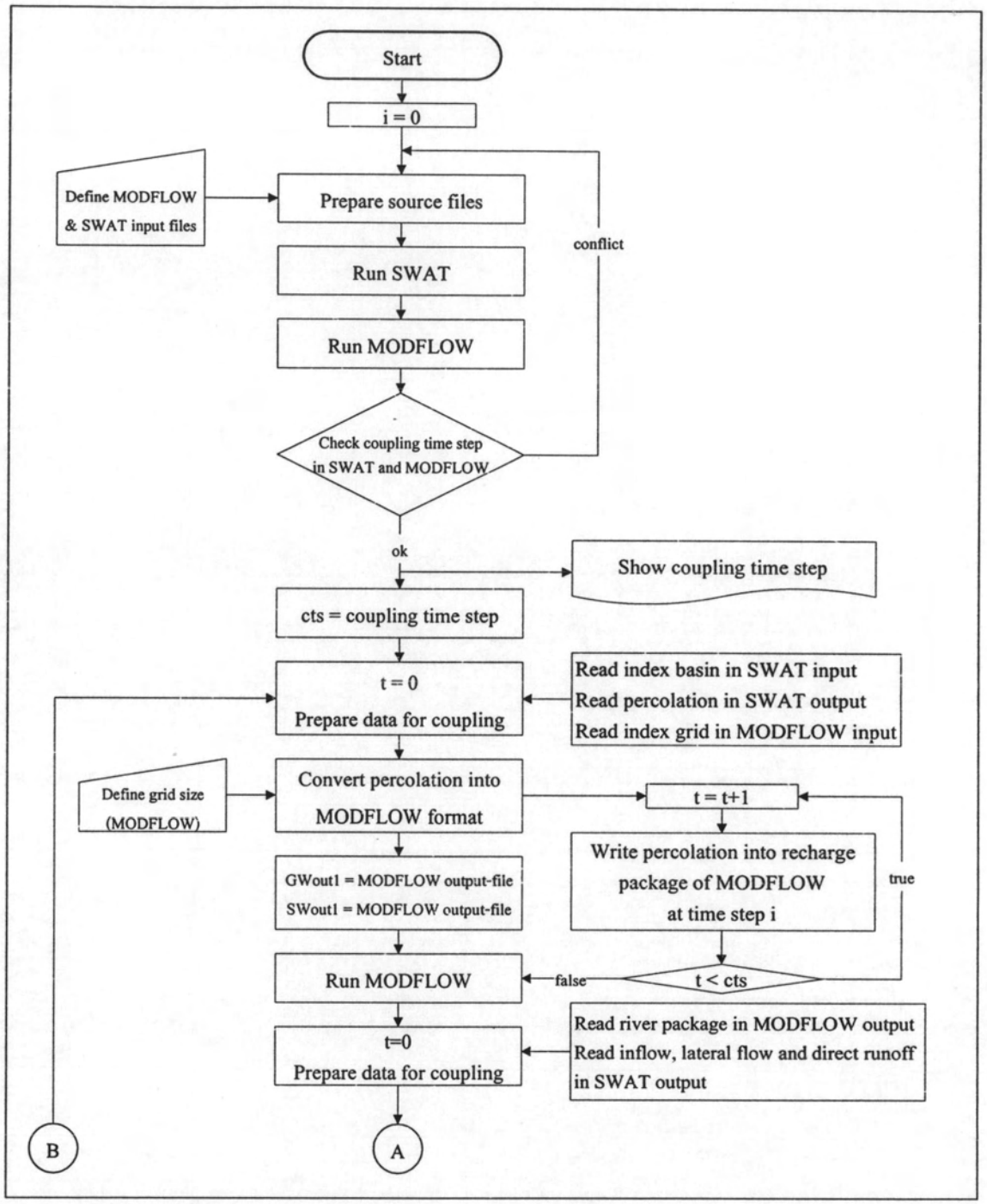
5.5 โปรแกรมการเชื่อมต่อแบบจำลอง

การเชื่อมต่อแบบจำลอง ได้กระทำการผ่านโปรแกรมการเชื่อมต่อที่ได้สร้างขึ้นในการศึกษาครั้งนี้ สร้างขึ้นจากภาษา Visual Basic 6.0 โดยทำหน้าที่ในการสั่งการคำนวณแบบจำลองน้ำผิวดิน ผ่านชุดคำนวณ SWAT ในโปรแกรม SWAT2003.EXE และสั่งการคำนวณแบบจำลองน้ำใต้ดิน ผ่านชุดคำนวณ MODFLOW-2000 ในโปรแกรม MF2K.EXE

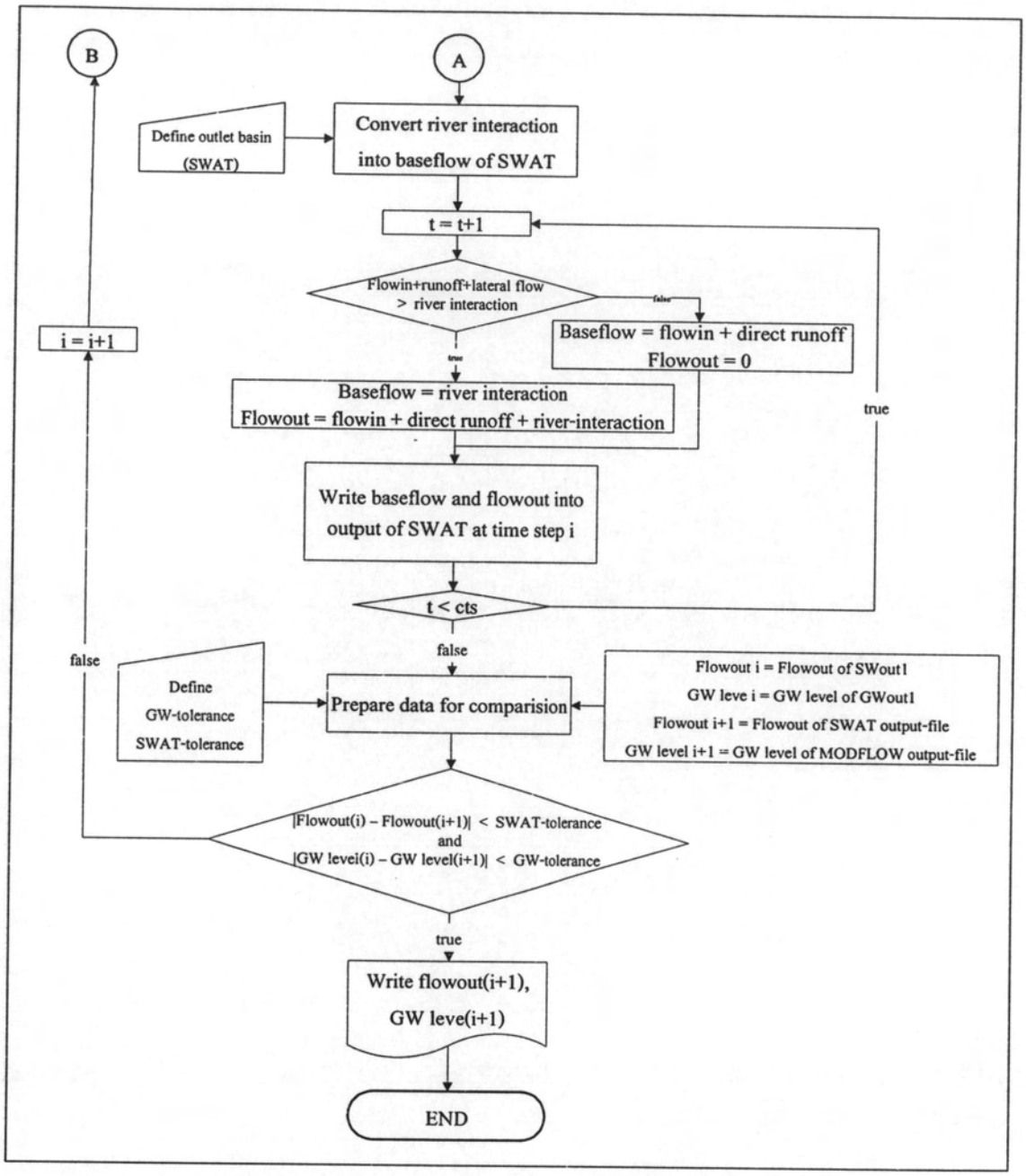
โปรแกรมเชื่อมต่อมีหน้าที่หลักในการเชื่อมโยงพารามิเตอร์ ของแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน โดยทำการส่งผ่านค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ ดำเนินการแบบจำลองในขั้นตอนต่างๆระหว่างการเชื่อมต่อ ตรวจสอบผลการปรับปรุงองค์ประกอบทางอุทกวิทยา และตรวจสอบ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในลำน้ำและระดับน้ำใต้ดินว่ามีการเปลี่ยนแปลงในค่าที่ยอมรับได้ หรือไม่ นอกจากนี้โปรแกรมเชื่อมต่อยังมีหน้าที่ กำหนดค่าการเปลี่ยนแปลงที่ยอมรับได้ (tolerance) รายงานผลการเชื่อมต่อ และบันทึกผลการคำนวณไปสู่ไฟล์ที่ต้องการ โดยโปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลองได้พิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณดังนี้

1. พิจารณาอ่านค่า percolation และ streamflow ในไฟล์ output.sub ของแบบจำลองน้ำผิวดิน
2. พิจารณาอ่านค่า river recharge และ groundwater level ในไฟล์ xxx.out ของแบบจำลองน้ำใต้ดิน
3. พิจารณาปรับปรุงค่า surface recharge ในไฟล์ xxx.rch ของแบบจำลองน้ำใต้ดิน
4. พิจารณาปรับปรุงค่า baseflow/river leakance จากไฟล์ output.sub ของแบบจำลองน้ำผิวดิน

กระบวนการในการปรับปรุงและเชื่อมโยงค่าพารามิเตอร์ สามารถทำผ่านโปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลอง โดยการกำหนดตำแหน่งของข้อมูลนำเข้า (input) ของ SWAT และ MODFLOW และ ให้โปรแกรมจัดการเชื่อมต่อแบบจำลองตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังได้แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลอง แสดงในรูปที่ 5-15



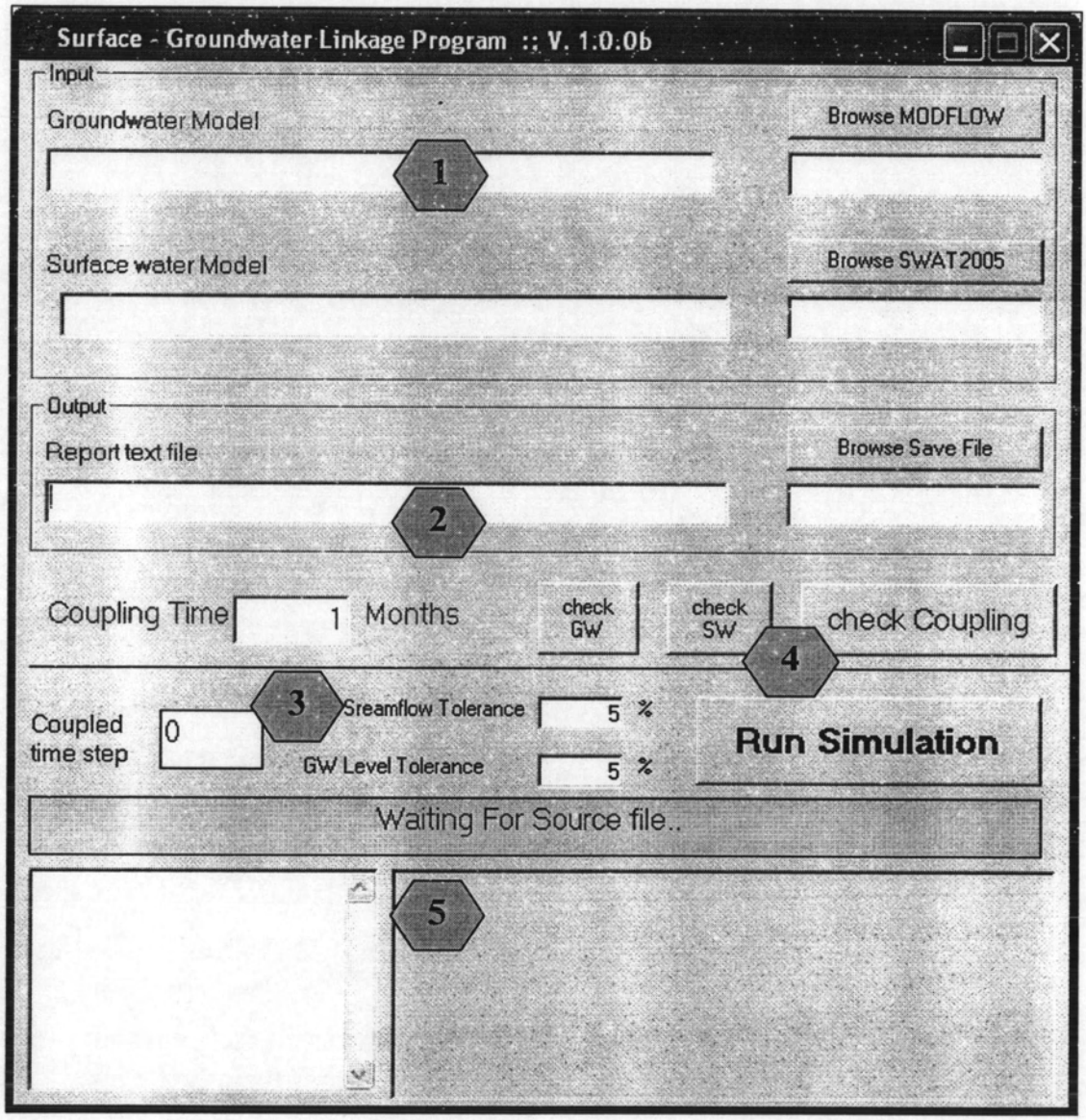
รูปที่ 5-15 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลอง



รูปที่ 5-15 (ต่อ) ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลอง

1) <u>รูปแบบของโปรแกรมการเชื่อมต่อ</u>

โปรแกรมการเชื่อมต่อ เป็นโปรแกรมที่ใช้บนระบบปฏิบัติการ Windows โดยมีลักษณะเป็นบานหน้าต่างที่ทำการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้ เพื่อกำหนดข้อมูลที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบจำลอง กำหนดค่าตัวแปร และการบันทึกผลข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5-16



รูปที่ 5-16 โปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลอง

โดยองค์ประกอบของโปรแกรมเชื่อมต่อมีรายละเอียดแต่ละส่วนดังแสดงในรูปที่ 5-16 มีดังนี้

1. ส่วนกำหนดแหล่งข้อมูลแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดิน โดยแบบจำลองน้ำผิวดินโปรแกรมจะให้ผู้ใช้กำหนดที่อยู่ของไฟล์file.cio และส่วนแบบจำลองน้ำผิวดิน ให้ผู้ใช้กำหนดที่อยู่ของไฟล์ที่มีนามสกุล .mfn (ดังแสดงการกำหนดไฟล์ในรูปที่ 5-17)

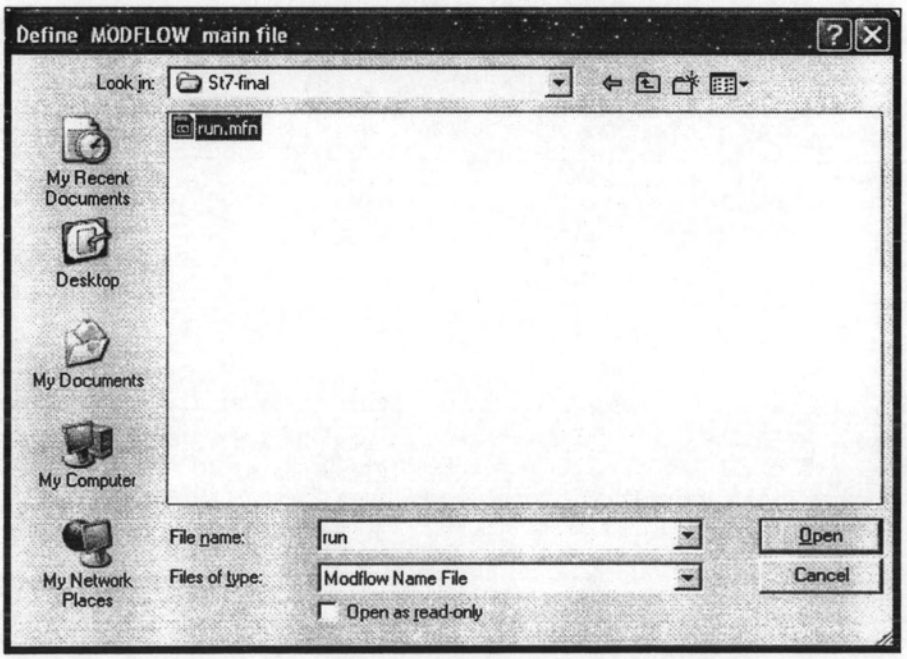
2. ส่วนบันทึกผลการจำลอง โดยผู้ใช้ต้องกำหนดชื่อไฟล์ที่ใช้ในการบันทึกผลการเชื่อมต่อแบบจำลอง ซึ่งทำการบันทึกเป็นไฟล์แบบข้อความ

3. ส่วนที่กำหนดช่วงการเชื่อมต่อ และค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ (tolerance) ของน้ำในลำน้ำและระดับน้ำใต้ดิน ในการปรับปรุงแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน

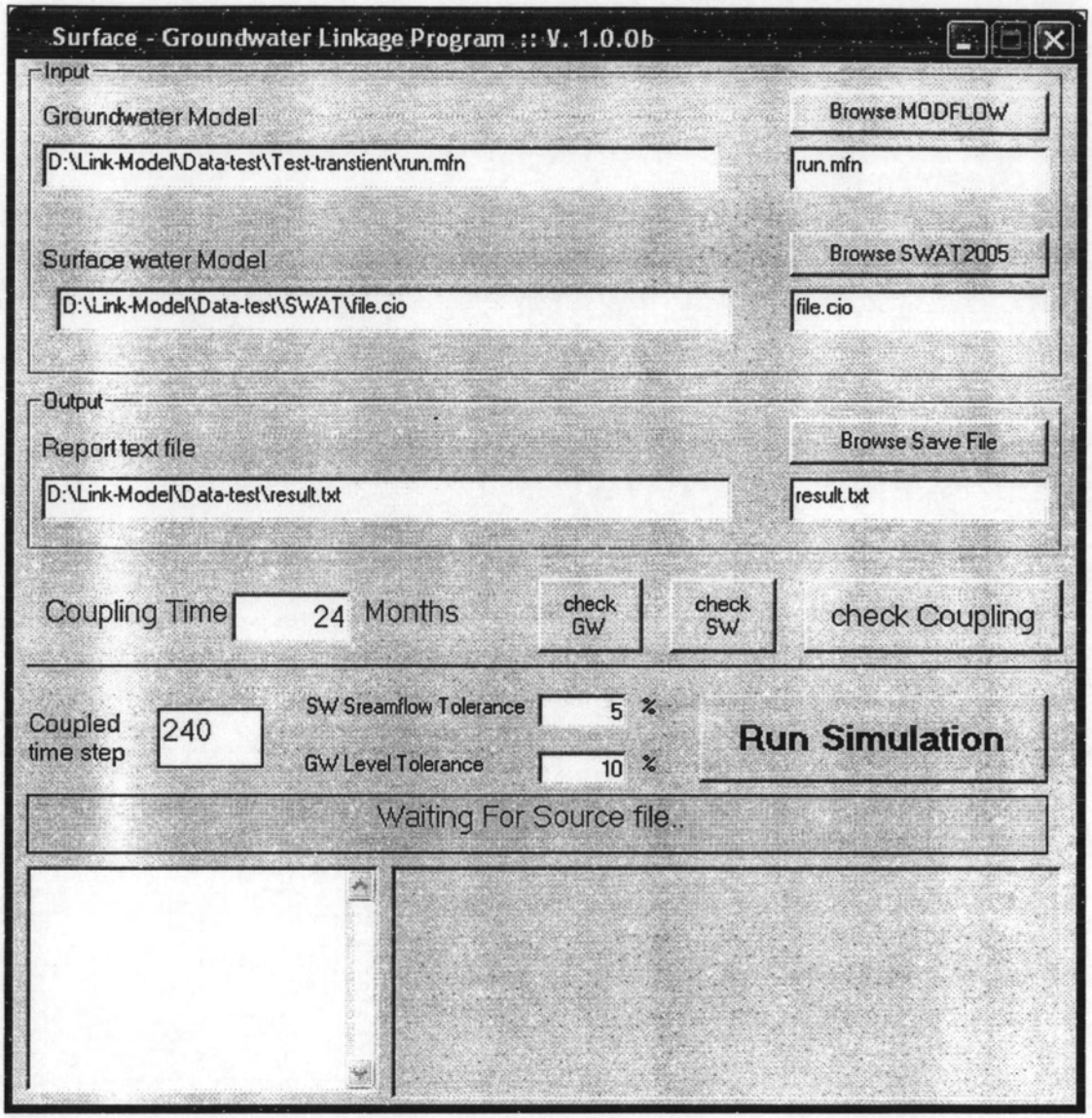
4. ส่วนทดสอบการดำเนินการแบบจำลองน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน และการเชื่อมต่อแบบจำลอง

5. ส่วนแสดงสถานะของการเชื่อมต่อแบบจำลองที่ดำเนินอยู่ ช่วงการจำลอง และขั้นตอนการจำลอง

เมื่อทำการกำหนดแหล่งข้อมูลและค่าตัวแปรเรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะปรากฏดังรูปที่ 5-18



รูปที่ 5-17 การกำหนดไฟล์ที่ในแบบจำลองน้ำใต้ดิน

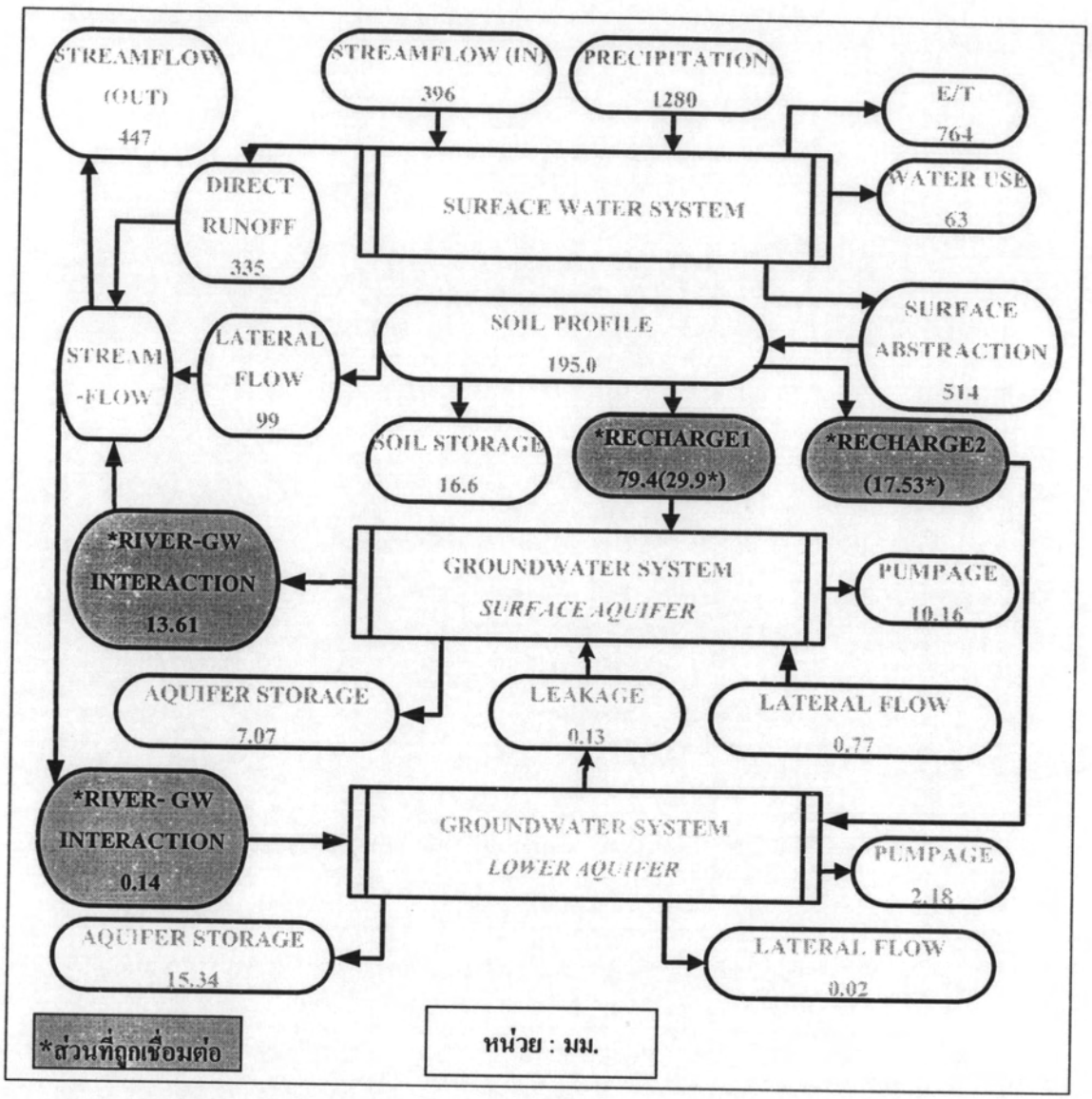


รูปที่ 5-18 โปรแกรมเชื่อมต่อเมื่อกำหนดข้อมูลครบถ้วนแล้ว

2) <u>ผลลัพธ์ของโปรแกรมการเชื่อมต่อ</u>

ผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมการเชื่อมต่อ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. องค์ประกอบทางอุทกวิทยา รายเดือน และเฉลี่ยรายฤดูฝน และฤดูแล้ง โดยองค์ประกอบทางอุทกวิทยาที่ได้จากแบบจำลองแสดงในรูปที่ 5-19
2. ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการพิจารณาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบจำลอง



รูปที่ 5-19 องค์ประกอบทางอุทกวิทยาที่ได้จากโปรแกรมการเชื่อมต่อ

3) <u>การเชื่อมต่อแบบจำลองกับแบบจำลองอย่างง่าย</u>

การตรวจสอบแบบจำลองของการศึกษานี้ได้แบ่งออกเป็นสองขั้นตอน ดังแสดง ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้เป็นการทดสอบแบบจำลองเบื้องต้น เพื่อตรวจสอบ ความถูกต้องของขั้นตอน ข้อบกพร่องของการเขียนโปรแกรมและการส่งผ่านข้อมูลได้ถูกต้อง

หลังจากได้พัฒนาการเชื่อมต่อในเบื้องต้นแล้ว จึงนำแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้วไปทดสอบกับกรณีศึกษาอย่างง่าย โดยการตรวจสอบแบบจำลองเบื้องต้นนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบและตรวจสอบหาความผิดพลาดใน การเชื่อมต่อและการเขียนโปรแกรม โดยวิธีการเชื่อมต่อแบบจำลองและการวิเคราะห์ผลการเชื่อมได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ก

ผลการทดสอบในแบบจำลองอย่างง่ายและแบบจำลองในพื้นที่ศึกษาพบว่า เมื่อทำการเชื่อมต่อแบบจำลองแล้วค่าองค์ประกอบทางอุทกวิทยาใน Simulation 2 ไม่มีความแตกต่างกันแล้ว ฉะนั้นความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในโปรแกรม (tolerance) จึงไม่ได้นำมาใช้ในการศึกษานี้ เนื่องจากการกำหนดให้ระดับน้ำในแม่น้ำเป็นค่าเฉลี่ยคงที่ ทำให้ปริมาณน้ำในลำน้ำและระดับน้ำใต้ดินไม่แตกต่างกันเมื่อ i >1 ในขั้นตอนการเชื่อมต่อแบบจำลอง ที่แสดงในรูปที่ 5-5