

บทที่ 3

การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์

3.1 การพัฒนาแบบจำลองอุทกวิทยา

จากการศึกษาที่ผ่านมาในหัวข้อ 2.1 นั้นจะเห็นว่าแบบจำลองแต่ละแบบมีจุดเด่นและจุดด้อยแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการพัฒนาแบบจำลองหรือลักษณะของข้อมูลที่มีอยู่ และผลลัพธ์ที่ต้องการทราบซึ่งแสดงให้เห็นแต่ละส่วนของแบบจำลองที่ผ่านมาดังแสดงในตารางที่ 3.1

ในการศึกษาครั้งนี้จะพัฒนาแบบจำลองอุทกวิทยา สำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็กในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยคำนึงถึงจุดเด่นและจุดด้อยของแบบจำลองที่ผ่านมา เพื่อที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อให้แบบจำลองมีขบวนการอุทกวิทยาที่สมบูรณ์ ทำให้สามารถแบ่งแบบจำลองที่จะพัฒนาในการศึกษาครั้งนี้ได้เป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ

แบบจำลองแบบที่ 1 : แบบจำลองสำหรับพื้นที่ย่อยที่มีเฉพาะอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กในลุ่มน้ำ

แบบจำลองแบบที่ 2 : แบบจำลองลุ่มน้ำทั้งหมด (รวมพื้นที่ย่อยทั้งสองชนิดคือ พื้นที่ย่อยที่มีและพื้นที่ย่อยที่ไม่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก)

ซึ่งแบบจำลองแบบที่ 1 มีแนวทางการพัฒนาแบบจำลองก็คือ จะเลือกใช้หลักการคำนวณหาปริมาณน้ำท่าและการซึมบนพื้นที่รับน้ำธรรมชาติ ตามวิธีการของ SCS ในส่วนการหลากของน้ำผิวดิน เลือกใช้สมการการหลากที่พัฒนามาจากสมการความต่อเนื่อง ซึ่งอำมาตย์ จันทรเทิบ เลือกใช้ในแบบจำลอง

แบบจำลองที่พัฒนาจะแยกพิจารณาพื้นที่นาออกจากพื้นที่รวมทั้งหมด แล้วประยุกต์ใช้สมการการสมดุลของปริมาณน้ำในการคำนวณปริมาณน้ำส่วนต่างๆ ในพื้นที่นาซึ่งแบบจำลองที่พัฒนาโดยชวโชค(2528)และอดิเรก(2533)ใช้อยู่ และได้เพิ่มส่วนของการพิจารณาลักษณะพื้นที่นา โดยแบ่งพื้นที่นาออกเป็น 2 ส่วน ตามลักษณะการได้รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก คือพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก และพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก รวมพิจารณาถึงพฤติกรรมการณ์ไหลของน้ำในลุ่มน้ำ โดยกำหนดให้ปริมาณน้ำท่ารายวันที่คำนวณได้จากพื้นที่รับน้ำธรรมชาติ ตามวิธีการของ SCS หลากเข้าสู่พื้นที่นาก่อน ปริมาณน้ำส่วนที่เกินความต้องการใช้ในพื้นดินและปริมาณน้ำที่ไหลล้นผ่านทางระบายน้ำล้นก็จะไหลเข้าสู่ลำน้ำต่อไป ดังแสดงขบวนการอุทกวิทยาของแบบจำลองที่พัฒนาในการศึกษาครั้งนี้สำหรับแบบที่ 1 ในตารางที่ 3.2 และขบวนการอุทกวิทยาแบบที่ 2 ในตารางที่ 3.3 และโครงสร้างแสดงอยู่ในรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แบบจำลอง

28

แบบจำลอง	วัตถุประสงค์ ประโยชน์ใช้งาน	ข้อเสีย
USDAHL(1960)	เพื่อศึกษาองค์การมีผลกระทบเกษตร เช่น การจัดการพืช	ต้องใช้ข้อมูลเยอะและละเอียดพอสมควร
DISPRIN(1972)	ศึกษาองค์การมีวัตถุประสงค์ ศึกษาองค์การมีวัตถุประสงค์ของน้ำหรือของ	ควรทำให้เห็นข้อสรุปในการนำมาใช้ ใจข้อมูลและพารามิเตอร์มาก ซึ่งทำให้ ไม่สามารถใช้แบบจำลองได้ในกรณีที่
อานาตย์(2528)	พัฒนาแบบจำลององค์การในลักษณะที่ง่ายที่สุด ซึ่งพัฒนาโดย SCS (Soil	ขาดแคลนข้อมูล พื้นที่เกษตรกรรมไม่ว่าจะเป็นพื้นที่ไร่ หรือพื้นที่ป่าการหาพารามิเตอร์ จึงไม่ถูกต้องเพราะว่าพื้นที่ไร่และพื้นที่ ป่ามีลักษณะแตกต่างกันอย่างเห็นได้
ภฤฤทธิ์(2529)	พัฒนาแบบจำลององค์การในลักษณะที่ง่ายที่สุด และวิธีคิดของดินและการใช้	ไม่สามารถคำนวณหาพื้นที่ของพื้นที่ ย่อยและไม่คำนึงถึงสิ่งขวางกั้นน้ำ
ฐโรต(2531)	พัฒนาแบบจำลองเพื่อหาจากและคำนวณพื้นที่เพาะปลูกในลักษณะ	คำนวณพื้นที่การระบายน้ำทำได้ โดยลงสู่ลำน้ำต่อพื้นที่เพาะปลูก และคำนวณพื้นที่น้ำที่ระบาย แต่ละตัวมี ค่าต้น
เฉลิมชัย(2531)	พัฒนาแบบจำลององค์การเพื่อหาพื้นที่ของน้ำหรือพื้นที่ของ แบบโครงการของ Boyd, อธิบายถึงผลกระทบจากการ เปลี่ยนแปลงสภาพน้ำได้	ไม่คำนึงถึงสิ่งขวางกั้นน้ำ
อดิเรก(2533)	พัฒนาแบบจำลององค์การสำหรับพื้นที่ป่าที่ไหลผ่านสายเคเบิล เฉียงเหนือ	ไม่คำนึงถึงการซึมพื้นที่น้ำ สามารถ ใช้ได้เฉพาะพื้นที่ป่าเขาเท่านั้น ไม่ คำนึงถึงพื้นที่การพัฒนาลำน้ำอย่าง อื่นด้วย ใช้ในลำน้ำขนาดเล็ก

**ตารางที่ 3.2 ขบวนการอุทกวิทยาของแบบจำลองที่พัฒนาในการศึกษาครั้งนี้:
แบบที่ 1**

ขบวนการบนผิวดิน

การเก็บกักบนผิวดิน

การไหลบนผิวดิน

การซึม

การคายระเหย

การเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ

การสมดุลของปริมาณน้ำ

ใช้สมการความต่อเนื่อง (สำหรับพื้นที่รับน้ำ
ธรรมชาติและสมการสมดุลปริมาณน้ำสำหรับ
พื้นที่น้ำ)

ใช้วิธีการของ scs (สำหรับพื้นที่รับน้ำ
ธรรมชาติ)

คำนวณค่าการระเหยจากภาค

การสมดุลปริมาณน้ำของอ่างเก็บน้ำ

ขบวนการใต้ดิน

การเก็บกักปริมาณความชื้น

การไหลซึมลงลึก

การไหลใต้ดิน

การสมดุลของปริมาณน้ำ

อัตราการไหลซึมลงลึกมีค่าคงที่

เป็นฟังก์ชันของปริมาณการเก็บกักใต้ดิน

ขบวนการในลำน้ำ

การหลากในลำน้ำ

ช่วงเวลา

การประยุกต์ใช้

ข้อมูล/ผลลัพธ์

การเทียบปรับ

ใช้สมการต่อเนื่อง

1 วัน

ทำนายน้ำท่า

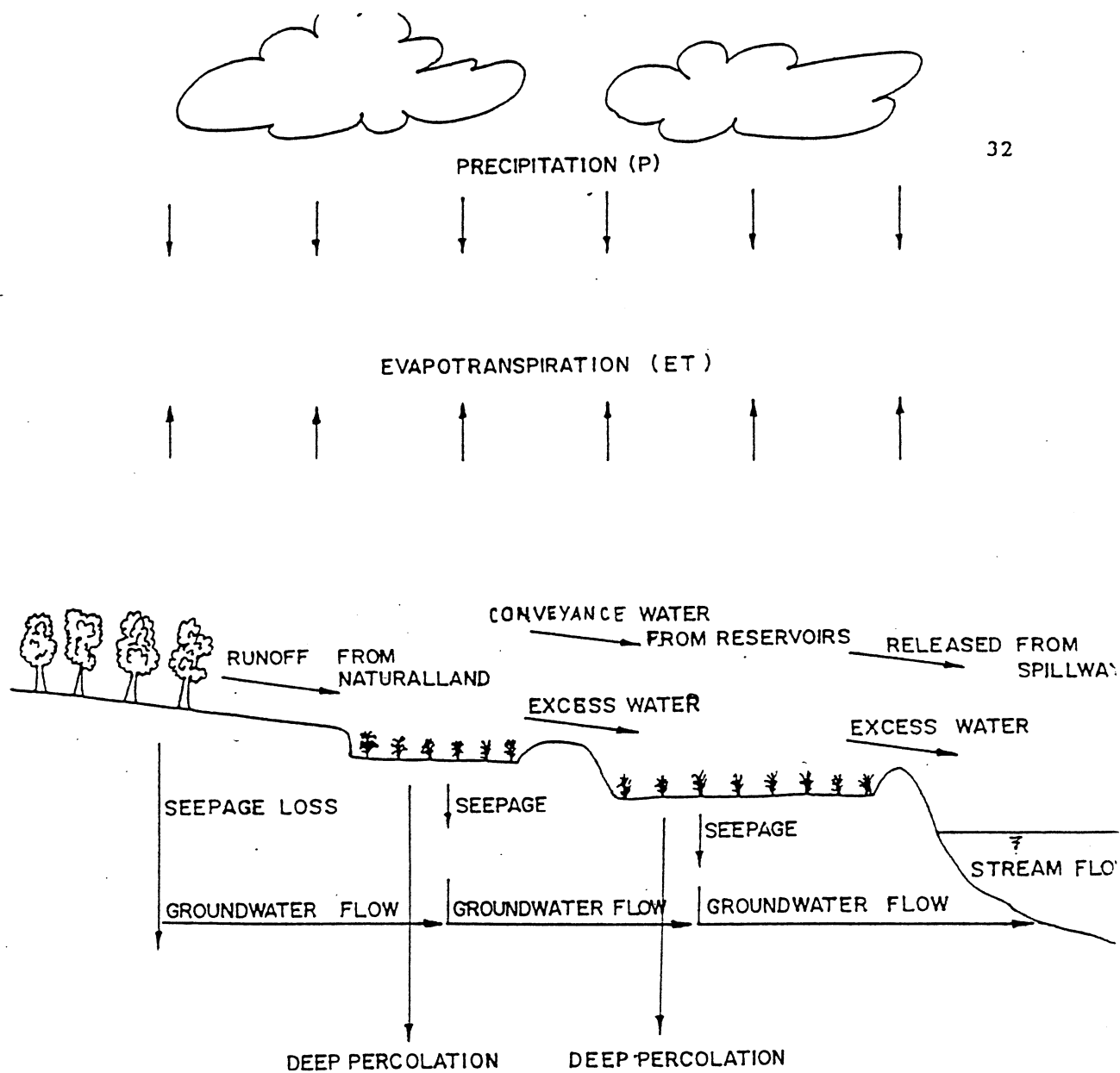
ปริมาณฝนรายวัน สกียการระเหยรายวัน
การใช้ที่ดิน ชนิดของดิน จำนวนอ่างเก็บน้ำ
ในลุ่มน้ำ พารามิเตอร์ต่างๆ
/สภาพน้ำท่ารายวัน

ลองผิดลองถูก

ตารางที่ 3.3 ขบวนการทำงานของแบบจำลองอุทกวิทยาแบบที่ 2 ที่พัฒนาในการศึกษาครั้งนี้

ขบวนการบนผิวดิน	สมการสมดุล (พื้นที่ย่อยที่ไม่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก)
การซึม	สมการการซึมของ Holtan (พื้นที่ย่อยที่ไม่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก) วิธีการของ SCS (สำหรับพื้นที่รับน้ำธรรมชาติในพื้นที่ย่อยที่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก)
การเก็บกักบนผิวดิน	ใช้สมการการสมดุลของปริมาณน้ำ
การไหลบนผิวดิน	ใช้สมการสมดุล (สำหรับพื้นที่ย่อยที่ไม่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก) และสมการสมดุลปริมาณน้ำ (สำหรับพื้นที่นาของพื้นที่ย่อยที่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก)
การคายระเหย	ขึ้นอยู่กับดัชนีการเจริญเติบโตของพืช (พื้นที่ย่อยที่ไม่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก) คำนวณค่าการระเหยจากถาด (พื้นที่ย่อยที่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก)
การเก็บกักในอ่างเก็บน้ำ	สมการสมดุลปริมาณน้ำ
รูปร่างของกลุ่มน้ำ	แบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อย 2 ลักษณะคือ <i>Order of Basin</i> และ <i>Interbasin Area</i>
ขบวนการใต้ผิวดิน	
การเก็บกักปริมาณความชื้น	การสมดุลของปริมาณน้ำ
การไหลเสริม	ขึ้นอยู่กับสมดุลของปริมาณความชื้น
การไหลลงสู่ส่วนเก็บกักน้ำใต้ดิน	ขึ้นอยู่กับสมดุลปริมาณความชื้น
การเก็บกักน้ำใต้ดิน	สมดุลปริมาณน้ำ
การไหลซึมลงลึก	อัตราการไหลซึมลงลึกมีค่าคงที่
การไหลใต้ดิน	เป็นฟังก์ชันของปริมาณการเก็บกักใต้ดิน

ขบวนการในลำน้ำ ปริมาณเก็บกักใน ลำน้ำหน้าฝาย ปริมาณน้ำที่ผันจาก ฝาย การหลากในลำน้ำ	ขึ้นอยู่กับความสูงของการเก็บกักของฝาย ความลาดชัน ของท้องน้ำและความกว้างของลำน้ำ(พื้นที่ย่อยที่มีฝาย) การสมดุลของปริมาณน้ำและประสิทธิภาพการผันน้ำ(พื้นที่ ย่อยที่มีฝาย) ใช้สมการต่อเนื่อง(พื้นที่ย่อยที่ไม่มีแหล่งน้ำขนาดเล็ก, พื้นที่ย่อยที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก)
ช่วงเวลา	1 วัน
การประยุกต์ใช้	ทำนายน้ำท่า
ข้อมูล/ผลลัพธ์	ปริมาณฝนรายวัน ศักยภาพระบายรายวัน การใช้ที่ดิน ชนิดของดิน ความกว้างและความยาวของลำน้ำ ความ ลาดชันของท้องน้ำ จำนวนฝายในลุ่มน้ำ จำนวนอ่างฯ ขนาดเล็กในลุ่มน้ำ ความจุของอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก พารามิเตอร์ต่างๆ/ชลภาพน้ำท่ารายวันที่ไหลออกจาก พื้นที่ย่อยแต่ละชนิด
การเทียบปรับ	ลองผิดลองถูก



รูปที่ 3.1 รูปตัดของแบบจำลองที่พัฒนาในการศึกษาคีร์งนี้
(พื้นที่ย่อยที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก)

สำหรับแบบจำลองอุทกวิทยาแบบที่ 2 มีโครงสร้างของแบบจำลองในรูปที่ 3.15 เป็นแบบจำลองที่มีหลักการพัฒนามาจากแบบจำลองลุ่มน้ำแบบโครงข่าย โดยที่ในลุ่มน้ำจะมีการแบ่งพื้นที่ย่อยเป็น 4 ชนิด และในแต่ละพื้นที่ย่อยก็จะมีขอบเขตการอุทกวิทยาที่แตกต่างกันไป แต่จะมีการนำเอาชลภาพน้ำท่าที่ไหลออกจากพื้นที่ย่อย เพื่อที่จะไหลเข้าไปยังพื้นที่ย่อยอื่น โดยโครงสร้างที่ใช้จำลองลุ่มน้ำจะแสดงให้เห็นการเก็บกักน้ำในแต่ละส่วน และชลภาพการไหลเข้าจะถูกหลากเป็นชลภาพการไหลออกที่จุดทางออกของพื้นที่ย่อย ต่อจากนั้นชลภาพการไหลออกจะถูกหลากผ่านลำน้ำในส่วนเก็บกักแต่ละส่วน จนกระทั่งถึงจุดทางออกของลุ่มน้ำ ซึ่งจากแบบจำลองทั้ง 2 แบบ ที่ได้พัฒนาขึ้นในการศึกษาคั้งนี้ได้เพิ่มส่วนที่ขาด ซึ่งแบบจำลองที่ผ่านมานในอดีตไม่มีหรือไม่ได้คำนึงถึงและได้ปรับปรุงในส่วนของการให้ได้ประโยชน์หลากหลาย เพื่อให้เหมาะสมที่จะใช้งานในลุ่มน้ำขนาดกลางซึ่งมีพื้นที่ย่อยหลายชนิดรวมกัน รวมทั้งสามารถหาชลภาพน้ำท่าที่ไหลออกจากพื้นที่ย่อยที่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กและไม่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็กได้ในแบบจำลองเดียว ซึ่งทำให้เกิดความสะดวก รวดเร็วในการคำนวณหาชลภาพน้ำท่า

แบบจำลองอุทกวิทยาที่ใช้เป็นพื้นฐานของการศึกษาคั้งนี้ พัฒนาโดยอดิเรก(2533) และ เฉลิมชัย(2531) ซึ่งอาศัยหลักการหลักๆ ดังนี้ คือ หลักการของแบบจำลองลุ่มน้ำแบบโครงข่าย โดยแบ่งพื้นที่ในลุ่มน้ำออกเป็นพื้นที่ย่อย 2 กลุ่ม คือ

1. พื้นที่ย่อยที่ไม่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก ใช้แบบจำลองของ เฉลิมชัย (2531) โดยใช้หลักการของการหลากบนผิวดินและการหลากในลำน้ำ ใช้สมการต่อเนื่องและความสัมพันธ์ของการเก็บกัก-อัตราการไหล และใช้เวลาเก็บกักไม่เชิงเส้น ขบวนการซึมจะไม่ใช้ดัชนีการซึม ดังที่ปรากฏอยู่ในแบบจำลองที่พัฒนาโดย Boyed et al.(1979) โดยทำการแบ่งชนิดของพื้นที่ย่อยออกเป็น 3 ชนิด คือ

- 1.1 พื้นที่ย่อยที่เป็นพื้นที่สูงและพื้นที่นา
- 1.2 พื้นที่ย่อยที่เป็นพื้นที่นาทั้งหมด
- 1.3 พื้นที่ย่อยที่เป็นพื้นที่สูงทั้งหมด

2. พื้นที่ย่อยที่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก ทำการพัฒนาแบบจำลองของอดิเรก(2533) สำหรับใช้ในพื้นที่ย่อยที่มีเฉพาะอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กและใช้แบบจำลองของอดิเรก(2533) สำหรับในพื้นที่ย่อยที่มีเฉพาะฝาย โดยใช้หลักการที่แยกพิจารณาตามลักษณะของการแบ่งพื้นที่ คือพื้นที่รับน้ำตามธรรมชาติใช้วิธีการของ SCS และพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำผันจากฝาย ใช้วิธีการสมดุลของปริมาณน้ำ แบ่งพื้นที่ย่อยออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1 พื้นที่ย่อยที่มีเฉพาะฝาย

2.2 พื้นที่ย่อยที่มีเฉพาะอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก

ในแบบจำลองจะพิจารณาขบวนการอุทกวิทยาในลุ่มน้ำ ดังจะกล่าวต่อไป

3.2 ขบวนการอุทกวิทยา

ขบวนการทางอุทกวิทยาแบ่งเป็น 2 ขบวนการคือ

3.2.1 ขบวนการอุทกวิทยาสำหรับพื้นที่ที่ไม่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก

3.2.2 ขบวนการอุทกวิทยาสำหรับพื้นที่ที่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก

3.2.1 ขบวนการอุทกวิทยาสำหรับพื้นที่ที่ไม่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก
 ขบวนการอุทกวิทยาที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำ สามารถอธิบายได้ดังนี้

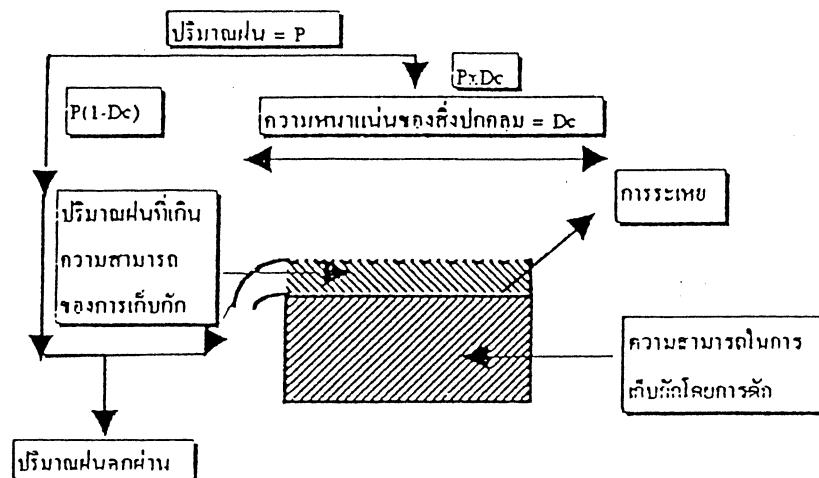
1. การดัก(Interception)

ฝนที่ตกลงมาครั้งหนึ่งๆ ไม่ทั้งหมดที่ตกลงสู่พื้นดิน ส่วนหนึ่งจะถูกเก็บสะสมหรือดักโดยพืชที่ปกคลุมดินอยู่ และน้ำที่ค้างอยู่นี้จะระเหยกลับสู่บรรยากาศ ปริมาณของน้ำที่ค้างอยู่ตามพืชนี้เรียกว่า การดัก และส่วนที่ค้างซึ่งระเหยหายไปนี้เรียกว่า การสูญเสียจากการดัก ถึงแม้ว่าปริมาณน้ำจำนวนนี้จะไม่ใช่ตัวการสำคัญในการคำนวณ แต่ก็มีส่วนต่อปริมาณความชื้นในดิน เมื่อลักษณะของพืชคลุมดินเปลี่ยนแปลงไป (สำนักงานพัฒนาแหล่งน้ำ, 2525) ดังนั้นถึงแม้อิทธิพลของการดักที่มีผลต่อระบบอุทกวิทยาของพื้นที่รับน้ำมีค่าน้อย (Fleming, 1975) ก็ควรจะรวมขบวนการดักเข้าไปในแบบจำลอง ชนิดของพืชและความหนาแน่นของสิ่งปกคลุม เป็นองค์ประกอบที่สำคัญในขบวนการดัก ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้หลักการคงมวล (mass balance) ในการคำนวณหาปริมาณฝนที่ตกลงสู่พื้นผิว (net rainfall) รูปที่ 3.2 อธิบายแนวความคิดของวิธีการที่นำมาใช้

$$ER = P(1-DC)+TIN \quad (3.1)$$

เมื่อ ER = ปริมาณฝนที่ตกลงสู่พื้นผิว
 P = ปริมาณฝน

$$DC = \frac{AV}{AREA} \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.2 ขบวนการดัก

DC = ความหนาแน่นของสิ่งปกคลุม (canopy density)
 AV = พื้นที่ที่ถูกปกคลุมด้วยพืช
 $AREA$ = พื้นที่ทั้งหมด

การเปลี่ยนแปลงการเก็บกักจากการดักในแต่ละช่วงเวลา หาได้จากสมการต่อไปนี้ คือ

$$CIS = DC \cdot P - ET \quad (3.3)$$

เมื่อ CIS = การเปลี่ยนแปลงการเก็บกักจากการดัก

$$ET = K \cdot EP \quad (3.4)$$

ET = การระเหยจากการดัก

K = สัมประสิทธิ์การระเหย (มีค่าเท่ากับ 0.7)

EP = ปริมาณการระเหยจากผิวดิน A

ถ้าการระเหยมีค่ามากกว่าปริมาณฝนตก การเก็บกักจากการดักจะไม่เกิดขึ้น เมื่อปริมาณฝนมากกว่าการระเหย การเก็บกักจะเกิดขึ้นจนกระทั่งเกินความสามารถในการเก็บกัก น้ำส่วนที่เกินก็จะตกลงสู่พื้นดินหรือเรียกว่าปริมาณ

ฝนตกผ่าน (throughfall) ปริมาณฝนตกผ่านสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$TIN = SIN(t-1) + CIS(t) - SMAX \quad (3.5)$$

เมื่อ TIN = ปริมาณฝนตกผ่าน
 SIN = ปริมาณเก็บกักจากการตกที่เวลา $(t-1)$
 CIS = การเปลี่ยนแปลงการเก็บกักจากการตกที่เวลา t
 $SMAX$ = ความสามารถในการเก็บกักโดยการตก

ในการคำนวณถ้า $TIN < 0$ กำหนดให้ $TIN = 0$ พารามิเตอร์ DC และ $SMAX$ สามารถเลือกและเปลี่ยนแปลงได้ในแต่ละพื้นที่ของกลุ่มน้ำ

2. ศักยภาพการคายระเหย (Potential Evapotranspiration)

ในปัจจุบันมีสูตรที่ใช้คำนวณหาค่าศักยภาพการคายระเหยมากมายซึ่งแต่ละสูตรที่ใช้คำนวณนั้นมีตั้งแต่สูตรเอมไพริกัลอย่างง่าย ๆ ซึ่งต้องการข้อมูลเพียงอย่างเดียวหรือสองอย่าง ไปจนกระทั่งถึงสูตรที่ต้องการข้อมูลหลายอย่าง และมีการคำนวณที่ยุ่งยากมากการที่จะเลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่งมาคำนวณจะต้องพิจารณาจากลักษณะของงาน ความละเอียดถูกต้อง ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้สูตรที่ได้รวมลักษณะของ ชนิดของดิน อัตราการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเป็นตัวประกอบที่มีผลต่อศักยภาพการคายระเหย การหาค่าศักยภาพการคายระเหย โดยวิธีของ Holtan หาได้ดังสมการ (Haan, 1982)

$$EV = GI \cdot KV \cdot EP \left[\frac{SAMAX - SA}{SAMAX} \right]^x \quad (3.6)$$

เมื่อ EV = ศักยภาพการคายระเหย, มม./ชม.
 GI = ดัชนีการเจริญเติบโตของพืช
 KV = อัตราส่วนของการคายระเหยต่อการระเหยจากผิวน้ำ (มีค่าเท่ากับ 0.7)
 EP = การระเหยจากผิวน้ำชนิด A, มม./ชม.
 $SAMAX$ = ความลึกเทียบเท่าของโปรไฟล์ดินแห้ง, มม.
 SA = ปริมาณช่องว่างในดิน, มม. (หาได้จากสมการ (3.11) หรือ (3.12))
 x = ค่ายกกำลัง (มีค่าเท่ากับ 0.10)

ความลึกเทียบเท่าของโพรดินแท่ง (SAMAX) หาได้จากสมการ

$$SAMAX = \frac{PO \cdot SD}{100} \quad (3.7)$$

เมื่อ PO = ความพรุนของดิน (porosity), เปอร์เซ็นต์(รายละเอียดแสดงอยู่ในภาคผนวก ง)

SD = ความลึกของดิน, มม.

3. ปริมาณการซึม(Infiltration)

การศึกษาหาปริมาณการซึมมี 2 วิธีคือ

1. การหาคำตอบจากสมการอนุพันธ์ (partial differential equation) ของการไหลผ่านตัวกลางพรุนในชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

2. การหาปริมาณการซึมโดยใช้สมการเอมพิริกัล (empirical)

การหาปริมาณการซึมโดยวิธีที่(1) นั้นเป็นวิธีที่ยุ่งยากเพราะว่า จะต้องทราบเงื่อนไขขอบเขตที่แน่นอน และค่าความนำทางชลศาสตร์ (hydraulic conductivity) ยังขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในดินอีกด้วย ดังนั้น เพื่อลดความยุ่งยาก ในการศึกษาครั้งนี้ จึงเลือกใช้สมการเอมพิริกัลประมาณค่าการซึม การเลือกสมการเอมพิริกัลประมาณค่าการซึมนั้น มีปัจจัยที่จะต้องพิจารณา ดังนี้

1. ความสามารถในการซึมแปรเปลี่ยนกับพื้นที่ตลอดลุ่มน้ำ

2. การแปรเปลี่ยนของปริมาณความชื้นในผิวดินจะมากกว่าหรือน้อยกว่าความสามารถในการซึมของดิน

3. การมีผลกระทบต่อกันระหว่างปริมาณการซึมโดยตรง และปริมาณการซึมซ้าที่กักขังบนผิวดิน(Depression storage)

4. ปริมาณการซึมส่วนหนึ่งจะแยกเป็นการไหลเสริม (interflow)

สมการเอมพิริกัลหลายสมการถูกจำกัดโดยปัจจัยที่ (1) และ(2) ดังนั้นจึงได้หาสมการเพื่อแก้ปัญหาค่าปริมาณความชื้นที่ไหลผ่านผิวดินน้อยกว่าความสามารถในการซึมของดิน ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้เลือกสมการ ดังต่อไปนี้ (Viessman, 1977)

$$F = (25.4) \cdot GI \cdot a \cdot (SA/25.4)^{1.4} + FC \quad (3.8)$$

เมื่อ F = อัตราการซึม, มม./ชม.

GI = ดัชนีการเจริญเติบโตของพืช

a = ดัชนีซึ่งขึ้นอยู่กับพืชที่ปกคลุมและความหนาแน่นของราก

พืช(หาได้จากตารางที่ 3.4)

SA = ปริมาตรช่องว่างในดิน, มม. (หาได้จากสมการ(3.11)
หรือ (3.12))

FC = อัตราการซึมที่สภาวะสมดุล, มม./ชม. (หาได้จาก
ตารางที่ 3.5)

สมการ(3.8) ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในดิน ความพรุนและชนิดของรากพืชซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการซึม ค่าของพารามิเตอร์ a หาได้จากตารางที่ 3.4 และชนิดของดินแบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ A, B, C และ D (Haan, 1982) ค่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุล(FC)หาได้จากตารางที่ 3.5 ในการประยุกต์ใช้สมการการซึมของ Holtan ปริมาตรช่องว่างในดินเป็นส่วนสำคัญในการคำนวณหาอัตราการซึม น้ำที่ซึมผ่านผิวดินจะทำให้ปริมาณช่องว่างในดินลดลง แต่ในเวลาเดียวกันน้ำที่ซึมลงในดินส่วนหนึ่ง จะไหลลงสู่ส่วนเก็บกักน้ำใต้ดินเกิดการคายระเหยและไหลไปตามแนวระดับ ทำให้ปริมาณช่องว่างในดินเพิ่มขึ้นในการพิจารณาถึงค่าปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดินเป็นบรรทัดฐานในการคำนวณหาอัตราการซึม เมื่อมีการไหลตามแนวระดับเกิดขึ้น ทำให้การคำนวณหาอัตราการซึมพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ

เมื่อความชื้นในดินต่ำกว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน(field capacity) จะได้สมการเป็น

$$F = (25.4) \cdot GI \cdot a \cdot (SA/25.4)^{1.4} \quad (3.9)$$

และเมื่อความชื้นในดินสูงกว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน จะได้

$$F = (25.4) \cdot GI \cdot a \cdot (SA/25.4)^{1.4} + FC \quad (3.10)$$

ดังนั้นปริมาณช่องว่างในดินที่เวลาใด ๆ คำนวณได้จากสมการดังนี้

เมื่อความชื้นในดินต่ำกว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน จะได้

$$SA_{t+1} = SA_t - F \cdot \Delta t + EV \cdot \Delta t \quad (3.11)$$

เมื่อความชื้นในดินสูงกว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน จะได้

$$SA_{t+1} = SA_t + (DR_t - F) \cdot \Delta t + EV_t \cdot \Delta t + QII \cdot \Delta t \quad (3.12)$$

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ a ในสมการการซึมของ Holtan
(จาก Viessman, 1977)

การใช้พื้นที่	ลักษณะของพื้นที่*	
	สภาพที่ไม่ดี	สภาพที่ดี
พื้นที่ไถคราดทิ้งไว้โดยมิได้ปลูกพืช	0.10	0.30
พื้นที่ปลูกพืชเป็นแถว	0.10	0.20
พื้นที่สำหรับเพาะเมล็ดให้เป็นต้นอ่อน	0.20	0.30
หญ้าแห้ง (จำพวกถั่ว)	0.20	0.40
หญ้าแห้ง (ลักษณะหญ้าและดินเป็นแผ่น)	0.40	0.60
หญ้าชนิดที่มีข้อ	0.20	0.40
หญ้าที่ปลูกชั่วคราว (ลักษณะหญ้าและดินเป็นแผ่น)	0.20	0.60
หญ้าที่ปลูกถาวร (ลักษณะหญ้าและดินเป็นแผ่น)	0.80	1.00
ป่าไม้	0.80	1.00

- * - สภาพที่ไม่ดี หมายถึง เมื่อมีหญ้าขึ้นปะปนอยู่ด้วย
- สภาพที่ดี หมายถึง เมื่อไม่มีหญ้าขึ้นปะปน

ตารางที่ 3.5 ค่าอัตราการซึมที่สภาวะสมดุลในสมการการซึมของ Holtan
(จาก Viessman, 1977)

ชนิดของดิน	FC (มม./ซม.)
A	12 - 8
B	8 - 4
C	4 - 1
D	1 - 0

อักษรย่อท้าย t แทนเวลาและ t เป็นช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้น F . t เป็นอัตราการซึมที่เกิดขึ้นจริง EV เป็นค่าศักยภาพการคายระเหย QII เป็นการไหลเสริม(ดูรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.1 ข้อ 7) ซึ่ง QII เป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับปริมาณความชื้นในดินที่เกินค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน และอัตราการไหลลงสู่ส่วนเก็บกักน้ำใต้ดิน(DR) หาได้จากสมการ

$$DR_t = FC \cdot \left[\frac{SM_t - FCTY}{SAMAX - FCTY} \right] \quad (3.13)$$

เมื่อ DR_t = อัตราการไหลลงสู่ส่วนเก็บกักน้ำใต้ดินที่เวลา t , มม./ชม.
 SM_t = ปริมาณความชื้นในดินที่เวลา t , มม.

$$FCTY = \frac{FD \cdot SD}{100} \quad (3.14)$$

FD = ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (field capacity),
เปอร์เซ็นต์

ปริมาณความชื้นในดินหาได้จากสมการ

$$SM_t = SAMAX - SA_t \quad (3.15)$$

ถ้าปริมาณความชื้นในดินต่ำกว่าค่าความสามารถในการกักน้ำของดิน อัตราการไหลลงสู่ส่วนเก็บกักน้ำใต้ดินจะเท่ากับศูนย์

4. การสมดุลของปริมาณน้ำ (Water balance)

การคำนวณการสมดุลของปริมาณน้ำในพื้นที่นาเกษตรน้ำฝน(rainfed paddy)ซึ่งได้รับน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่นาเพียงอย่างเดียว ดังนั้นสมการการสมดุลของปริมาณน้ำเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$ST_t = ST_{t-1} + ER_t - CU_t \cdot \Delta t - SPL_t \cdot \Delta t - DSRF_t - QII_t \cdot \Delta t \quad (3.16)$$

เมื่อ ST_t = ความลึกของน้ำในพื้นที่นาที่เวลา t , มม.
 ST_{t-1} = ความลึกของน้ำในพื้นที่นาที่เวลา $t-1$, มม.
 ER_t = ปริมาณฝนที่ตกลงสู่พื้นผิวที่เวลา t , มม.

- CU_t = อัตราการใช้น้ำของข้าวที่เวลา t , มม./ชม.
 SPL_t = อัตราการซึมลงในดินที่เวลา t , มม./ชม.
 $DSRF_t$ = ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากพื้นที่นาที่เวลา t , มม.
 QII_t = อัตราการไหลเสริมที่ไหลออกจากพื้นที่นาที่เวลา t , มม./ชม.

ถ้าปริมาณน้ำในพื้นที่นาที่ไม่รวมปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากพื้นที่นามีค่ามากกว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมในพื้นที่นา จะกำหนดให้ผลต่างของปริมาณทั้งสองนี้เป็นค่าปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากพื้นที่นา แสดงเป็นสมการดังนี้

$$ST_t = ST_{t-1} + ER_t - CU_t \cdot \Delta t - SPL_t \cdot \Delta t - QII_t \cdot \Delta t \quad (3.17)$$

เมื่อ ST_t = ความลึกของน้ำในพื้นที่นา(ที่ไม่ได้รวมปริมาณน้ำที่ระบายออกจากพื้นที่นา)ที่เวลา t , มม.

ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากพื้นที่นาที่เวลา t ใด ๆ หาได้จากสมการ

$$DSRF_t = ST_t - STSUIT_t \quad (3.18)$$

เมื่อ $STSUIT_t$ = ความลึกของน้ำที่เหมาะสมในพื้นที่นาที่เวลา t , มม. (หาได้จากรายละเอียดในภาคผนวก ค.)

5. ปริมาณการใช้น้ำของข้าว(Consumptive use)

ปริมาณการใช้น้ำของข้าว สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$CU = KC \cdot EP \quad (3.19)$$

เมื่อ KC = สัมประสิทธิ์ความต้องการน้ำของข้าว ซึ่งจะแปรผันไปตามสภาพการปลูกข้าว, ฤดูกาลเพาะปลูกและเงื่อนไขทางภูมิอากาศ ดิเรก(2524) แนะนำค่า KC สำหรับข้าวที่ปลูกในประเทศไทย ดังนี้

- $KC = 1.0$ สำหรับสองเดือนแรกของฤดูกาลเพาะปลูก
 $KC = 1.2$ สำหรับข้าวที่มีอายุ 3 เดือน
 $KC = 1.35$ สำหรับข้าวที่มีอายุ 4 เดือน
 $KC = 1.3$ สำหรับข้าวที่มีอายุ 5 เดือน
 $KC = 1.2$ สำหรับข้าวที่มีอายุ 6 เดือน
 $KC = 1.1$ สำหรับข้าวที่มีอายุ 7 เดือน

ในการศึกษานี้ใช้ค่า KC แปรเปลี่ยนไปตามอายุของข้าว

EP = อัตราการระเหยจากภาคชนิด A, มม./ชม.

6. การสูญเสียโดยการซึมลงไปในดิน(Seepage and Percolation Losses)

อัตราการสูญเสียโดยการซึมลงไปในแปลงนา จะแปรผันไปตามลักษณะเนื้อดิน ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 อัตราการรั่วซึมในแปลงนา(การจัดการน้ำชลประทาน, 2527)

เนื้อดิน	การรั่วซึมในแปลงนาเฉลี่ย(มม./วัน)
ดินทราย(Sandy)	2.5-8.0
ดินร่วน(Loamy)	1.5-2.5
ดินเหนียว(Clayey)	1.0-1.5

สำหรับลักษณะของดินในลุ่มน้ำที่ใช้ในการศึกษา ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นดินทรายและดินร่วน ซึ่งมีอัตราการรั่วซึมในแปลงนาเฉลี่ยอยู่ที่ 2.5-8.0 มม./วัน Adhikary(1979) ได้เสนอค่าเฉลี่ยของ SPL เป็น 3.0 มม./วัน เมื่อน้ำอยู่ในเนื้อพื้นที่นา เมื่อไม่มีน้ำในเนื้อพื้นที่นาค่า SPL จะลดลงแปรผันกับความชื้นในดินและมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อความชื้นในดินมีค่าเท่ากับความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน แสดงดังสมการต่อไปนี้

ในกรณี $ST > SAMAX$

$$SPL = 3.0 \text{ มม./วัน} \quad (3.20)$$

ในกรณี $FCTY > ST < SAMAX$

$$SPL = \frac{3(ST-FCTY)}{(SAMAX-FCTY)} \quad (3.21)$$

ในกรณี $ST < FCTY$

$$SPL = 0 \quad (3.22)$$

เมื่อ SPL = ปริมาณน้ำที่ซึมลงในดิน, มม./วัน

7. การไหลเสริม(Interflow)

ก. สำหรับพื้นที่สูง (upland) การไหลเสริมหาได้จาก
สมการ

$$QI = QKC. (SM - FCTY) \quad (3.23)$$

เมื่อ QI = การไหลเสริม, มม./วัน
 QKC = สัมประสิทธิ์ของการไหลเสริม

ข. สำหรับพื้นที่นา(paddy land) การไหลเสริมหาได้จาก
สมการ

ในกรณี $ST > SAMAX$

$$QI = QKC. (SAMAX - FCTY) \quad (3.24)$$

ในกรณี $FCTY > ST < SAMAX$

$$QI = QKC. (ST - FCTY) \quad (3.25)$$

ในกรณี $ST < FCTY$

$$QI = 0 \quad (3.26)$$

8. เวลาเก็บกัก(Storage delay time)

เวลาเก็บกักที่ใช้ในแบบจำลองลุ่มน้ำแบบโครงข่าย จะอยู่ในรูปความสัมพันธ์ไม่เชิงเส้นตรงซึ่งจากการทดลองได้ผลเป็นที่ยอมรับได้จึงใช้สมการความสัมพันธ์ของเวลาเก็บกักที่อยู่ในรูปไม่เชิงเส้นตรง(Boyd et al., 1979)

เวลาการเดินทาง T ของน้ำท่าจะลดลง ขณะที่ปริมาณการไหลสูงสุดเพิ่มขึ้น(Pilgrim, 1976) ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้ คือ

$$T \propto q_p^{-0.49}$$

อย่างไรก็ดี ขณะที่ปริมาณการไหลสูงสุดมีมากหรือเกิดขึ้นนาน ก็จะทำให้เวลาการเดินทางของน้ำท่าจะเข้าสู่ค่าคงที่ ดังนั้นในการศึกษาเวลาการเก็บกัก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลเฉลี่ย (q_m) ศึกษาโดย Askew, 1970 โดยการใช้ลุ่มน้ำจำนวน 5 ลุ่มน้ำ ในการศึกษาจะได้ดังนี้คือ

$$\text{lag} \propto q_m^b$$

ซึ่ง Askew พบว่าไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างเวลาเก็บกักกับช่วงเวลาการตกของฝน หรือรูปแบบการตกของฝน และพบว่าไม่มีความแปรปรวนอย่างมีนัยสำคัญของค่ายกกำลัง ซึ่งค่ายกกำลังจะเป็นค่าคงที่ตลอดสำหรับทุกลุ่มน้ำนั้นคือ -0.23 เวลาเก็บกักจะขึ้นอยู่กับขนาดของลุ่มน้ำ (A) ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปตามขนาดของแต่ละลุ่มน้ำ ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้ คือ

$$\text{lag} = 2.12A^{0.57} q_m^{-0.23}$$

เมื่อ lag = เวลาเก็บกัก, ชั่วโมง
 A = พื้นที่ลุ่มน้ำ, ตร.กม
 q_m = อัตราการไหลเฉลี่ย, ลบ.ม/วินาที

จากการศึกษาต่อมาของ Askew โดยการศึกษาเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนหลายลุ่มน้ำ (มากกว่า 10 ลุ่มน้ำ) และมีการประยุกต์หาค่าที่ดีที่สุดของค่ายกกำลังและค่าพารามิเตอร์โดยใช้วิธีการ 2 วิธี คือ

1. โดยการหาค่าความแปรปรวนน้อยที่สุดของค่าสังเกตที่มากกว่า 10 ค่าขึ้นไป หาค่าที่ดีที่สุดได้โดยใช้สัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (coefficients of variation) ของค่า error ที่น้อยที่สุด

2. โดยการใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least square method) ของค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการสังเกต

จากผลการศึกษาโดยใช้ทั้งสองวิธีจะได้ค่าพารามิเตอร์ c ทั้งหมด และได้สมการความสัมพันธ์ ดังนี้

การหลากของฝนส่วนเกินในพื้นที่รับน้ำย่อย เวลาเก็บกักหาได้จากสมการ

$$KB = C.A^{c1}.Q^{c2} \quad (3.28)$$

การไหลของการไหลออกผ่านลำน้ำของพื้นที่รับน้ำ Interbasin
เวลาการเก็บกัก หาได้จากสมการ

$$KI = Co.C.A^{c_1}.Q^{c_2} \quad (3.29)$$

เมื่อ A = พื้นที่รับน้ำย่อย, ตร.กม.

Q = อัตราการไหล, ลบ.ม./วินาที

KB และ KI มีหน่วยเป็นชั่วโมง

ค่าพารามิเตอร์ $Co, C1$ และ $C2$ มีค่าเท่ากับ 0.6, 0.57 และ -0.23 (Askew, 1970) ตามลำดับ พารามิเตอร์ C หาได้จากการเทียบปรับ

9. การไหลของการเก็บกัก(Storage routing)

ปริมาณฝนส่วนเกิน(excess rainfall) ในแต่ละพื้นที่รับน้ำย่อยจะถูกเปลี่ยนเป็นชลภาพการไหลเข้า โดยการคูณความเข้มของฝน(rain-fall intensity) กับพื้นที่รับน้ำย่อย เวลาเก็บกัก KB หรือ KI ของแต่ละพื้นที่รับน้ำย่อยคำนวณได้จากสมการ (3.28) หรือ (3.29) การไหลของชลภาพการไหลเข้าใช้สมการต่อเนื่อง (continuity) และความสัมพันธ์ของการเก็บกัก - อัตราการไหลดังนี้

สมการต่อเนื่อง (continuity)

$$\left[\frac{I_1+I_2}{2} \right] \Delta t - \left[\frac{Q_1+Q_2}{2} \right] \Delta t = S_2 - S_1 \quad (3.30)$$

ความสัมพันธ์ของการเก็บกัก - อัตราการไหล

$$S = KQ \quad (3.31)$$

จากสมการ(3.30) และ(3.31) สามารถหาชลภาพการไหลออกได้ดังนี้

$$Q_2 = \frac{(I_1+I_2)\Delta t + Q_1(2k_1 - \Delta t)}{(2k_2 + \Delta t)} \quad (3.32)$$

เมื่อ I_1 = อัตราการไหลเข้าที่เวลาเริ่มต้น, ลบ.ม./วินาที
 I_2 = อัตราการไหลเข้าที่เวลาสุดท้าย, ลบ.ม./วินาที
 Q_1 = อัตราการไหลออกที่เวลาเริ่มต้น, ลบ.ม./วินาที
 Q_2 = อัตราการไหลออกที่เวลาสุดท้าย, ลบ.ม./วินาที
 K_1 = เวลาเก็บกักที่เวลาเริ่มต้น, ชม.
 K_2 = เวลาเก็บกักที่เวลาสุดท้าย, ชม.
 t = ช่วงเวลา, ชม.

เวลาเก็บกัก K_1 และ K_2 คำนวณจากสมการ(3.28)หรือ(3.29) สำหรับการหลากของปริมาณฝนส่วนเกินและการหลากของการไหลออกผ่านลำน้ำตามลำดับ

ในแต่ละช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้น ค่า I_1 , Q_1 , K_1 และ I_2 เป็นค่าที่ทราบ สมการ(3.32) สามารถคำนวณหาค่า Q_2 ได้ แต่ K_2 ขึ้นอยู่กับค่า Q_2 ดังนั้น การคำนวณหาค่า Q_2 ในสมการ (3.32) จึงต้องคำนวณเป็นวงรอบ โดยเริ่มต้นกำหนดให้ K_2 เท่ากับ K_1 แล้วจึงคำนวณหาค่า Q_2 ต่อมาจึงคำนวณหาค่า K_2 ใหม่อีกโดยใช้สมการ(3.28) หรือ (3.29) และใช้สมการ(3.32) คำนวณหาค่า Q_2 ใหม่อีกวงรอบที่คำนวณจะสิ้นสุดลงก็ต่อเมื่อค่า Q_2 ที่คำนวณได้ครั้งสุดท้ายต่างจากค่า Q_2 ที่คำนวณได้จากครั้งก่อนน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

10. การหลากของส่วนเก็บกักน้ำใต้ดิน(Groundwater storage routing)

อัตราการไหลของน้ำใต้ดินที่เวลาใดๆ สามารถอธิบายได้ในรูปสมการ(Singh, 1971) ดังนี้

$$QG_t = QG_o \cdot KG^t \quad (3.33)$$

เมื่อ QG_t = อัตราการไหลของน้ำใต้ดินที่เวลา t ใด ๆ
 หลังจาก QG_o , ลบ.ม./วัน
 QG_o = อัตราการไหลของน้ำใต้ดินที่เวลาใดๆ, ลบ.ม./วัน
 KG = ค่าคงที่ของการไหลของน้ำใต้ดิน(<1)
 t = เวลา, วัน

จากสมการ (3.33) เมื่อ K = แฟกเตอร์ที่มีผลต่อการเก็บกัก หรือเป็นเวลาที่ต้องการใช้ในการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลเป็นแฟกเตอร์ของฐาน 10 หรือ one log cycle จะได้

$$QG_t = QG_o 10^{-(t/K)}$$

จากทั้งสองสมการ จะได้ $KG = 10^{-1/K}$ ซึ่งจะได้ $K = -1/\log KG$

ในช่วงเวลา t ปริมาณการไหลคือ $QG_t \cdot dt$ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลง ปริมาณการเก็บกักคือ

$$dSG = QG_t \cdot dt \quad (3.34)$$

จากสมการ (3.33) และ (3.34) ได้ผลลัพธ์

$$SG_t = K \cdot QG_t \quad (3.35)$$

เมื่อ SG_t = ปริมาณการเก็บกักของส่วนเก็บกักน้ำใต้ดินที่ เวลา t ใด ๆ ลบ.ม.

$$K = -1/\log KG$$

จากสมการ (3.33) และ (3.35) ได้ผลลัพธ์

$$QG_t = (SG_{t-1}/K) \cdot KG^t \quad (3.36)$$

การคำนวณการไหลของส่วนเก็บกักน้ำใต้ดินในเทอมของความลึก สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$QG1_t = (SG1_{t-1}/K) \cdot KG^t \quad (3.37)$$

เมื่อ $QG1_t$ = ปริมาณการไหลของน้ำใต้ดินในเทอมของความลึก, มม./วัน

$SG1_{t-1}$ = ปริมาณการเก็บกักของส่วนเก็บกักน้ำใต้ดิน, มม.

การสมมูลย์ของส่วนเก็บกักน้ำใต้ดินที่เวลา t ใดๆ หาได้จาก สมการ

$$SG1_t = SG1_{t-1} + (DR-GG) \cdot \Delta t - (QG1_t/24) \cdot \Delta t \quad (3.38)$$

เมื่อ GG = อัตราการไหลซึมลงลึก มม./ชม.

สมการ (3.37) และ (3.38) แสดงให้เห็นถึงปริมาณการไหล และการเก็บกักของส่วนเก็บกักน้ำใต้ดิน ซึ่งใช้ในการคำนวณในแบบจำลองคณิตศาสตร์

3.2.2 ขบวนการอุทกวิทยาสำหรับพื้นที่ย่อยที่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก

ขบวนการอุทกวิทยาที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. วิธีสมดุลของปริมาณน้ำ (Water balance method)

หลักการสมดุลของปริมาณน้ำ สำหรับใช้กับสภาพพื้นที่นาพัฒนามาจากสมการต่อเนื่อง (Continuity equation) โดยพิจารณาที่นาเป็นถึงผิวดิน มีปริมาณน้ำเข้าคือ น้ำฝนและน้ำหลากจากพื้นที่รับน้ำธรรมชาติ ปริมาณน้ำออกคือ น้ำล้นจากที่นา การคายระเหย และการซึม ดังความสัมพันธ์

$$Q_{in} - Q_{out} = \frac{dv}{dt} \quad (3.39)$$

โดยที่ Q_{in} = ปริมาณน้ำที่เข้าสู่ถึงผิวดินในช่วงเวลาหนึ่ง
 Q_{out} = ปริมาณน้ำที่ออกจากถึงผิวดินในช่วงเวลาหนึ่ง
 v = ปริมาณน้ำที่เก็บกักในถึงผิวดิน
 t = เวลา

2. ข้อสมมุติฐาน (Assumption)

การใช้วิธีการสมดุลของปริมาณน้ำบนพื้นที่นา จำเป็นต้องมีสมมุติฐานเพื่อเป็นขีดจำกัดหรือข้อกำหนดของแบบจำลอง เนื่องจากความขาดแคลนหรือความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลรวมทั้งความเข้าใจลักษณะพฤติกรรมทางธรรมชาติที่แท้จริง แต่อย่างไรก็ตาม สมมุติฐานที่ตั้งขึ้นควรตั้งอยู่บนพื้นฐานของความมีเหตุผล ใกล้เคียงกับสภาพจริงตามธรรมชาติและให้ภาพรวมของผลลัพธ์หรือคำตอบไม่ผิดพลาดมากนัก

ข้อสมมุติฐานของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีดังนี้

1. ปริมาณฝนที่ตกสม่ำเสมอและต่อเนื่องตลอดวัน
2. ปริมาณการคายระเหย สม่ำเสมอและต่อเนื่องตลอดทั้งวัน
3. พื้นที่นาอยู่โดยรอบทั้งสองฝั่งตลอดทั้งลำน้ำ แบ่งเป็นพื้นที่นาที่ได้รับน้ำฝนจากฝาย (command area) และพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำฝนจากฝาย (noncommand area) การจัดสรรน้ำในที่นาทั่วถึงและเท่าเทียมกัน
4. ปริมาณน้ำผิวดินจากพื้นที่รับน้ำธรรมชาติทั้งหมด ไหลเข้าสู่พื้นที่

พื้นที่ที่ไม่ได้รับน้ำฝนจากฝาย ปริมาณน้ำที่เกินความต้องการ(excess water)จึงจะไหลเข้าพื้นที่นาที่ได้รับประโยชน์จากฝาย และปริมาณน้ำส่วนที่เกินความต้องการใช้ของพื้นที่นาที่ได้รับน้ำฝนจากฝายจะไหลลงสู่ลำน้ำ

5. ไม่มีน้ำผิวดินไหลข้ามเส้นแบ่งพื้นที่ย่อยเข้าสู่พื้นที่รับน้ำของกลุ่มน้ำย่อยอื่น

6. ไม่มีน้ำใต้ผิวดินไหลข้ามเส้นแบ่งพื้นที่ย่อยเข้าสู่พื้นที่รับน้ำของกลุ่มน้ำย่อยอื่น

7. พื้นที่นาในพื้นที่ย่อยที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก แบ่งเป็นพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก และพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก

3. สมดุลของน้ำบนพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก

แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นได้แบ่งพื้นที่นาออกเป็น 2 ส่วนตามลักษณะการได้รับน้ำเข้าสู่พื้นที่นา คือ พื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก (non-command area) น้ำที่เข้าสู่พื้นที่นาได้มาจากฝนโดยตรง รวมกับปริมาณน้ำที่หลากมาจากพื้นที่รับน้ำตามธรรมชาติที่ไม่ใช่พื้นที่นา ส่วนพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก(command area) น้ำที่เข้าสู่พื้นที่นาได้มาจากปริมาณฝนโดยตรง รวมกับปริมาณน้ำที่เกินความต้องการของพื้นที่นาที่ไม่ได้รับประโยชน์จากแหล่งน้ำขนาดเล็ก และปริมาณน้ำที่ผันจากฝายและที่ส่งมาจากอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กเข้าสู่พื้นที่นา รูปที่ 3.3 แสดงความสมดุลของน้ำบนพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก เมื่อพิจารณางบดุลของน้ำ(water budget) ปริมาณน้ำที่เข้าสู่พื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำฝนจากแหล่งน้ำขนาดเล็กคือ

$$QN_{in} = P + Q_{local} \quad (3.40)$$

$$QN_{in} = \text{ปริมาณน้ำที่เข้าสู่พื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก}$$

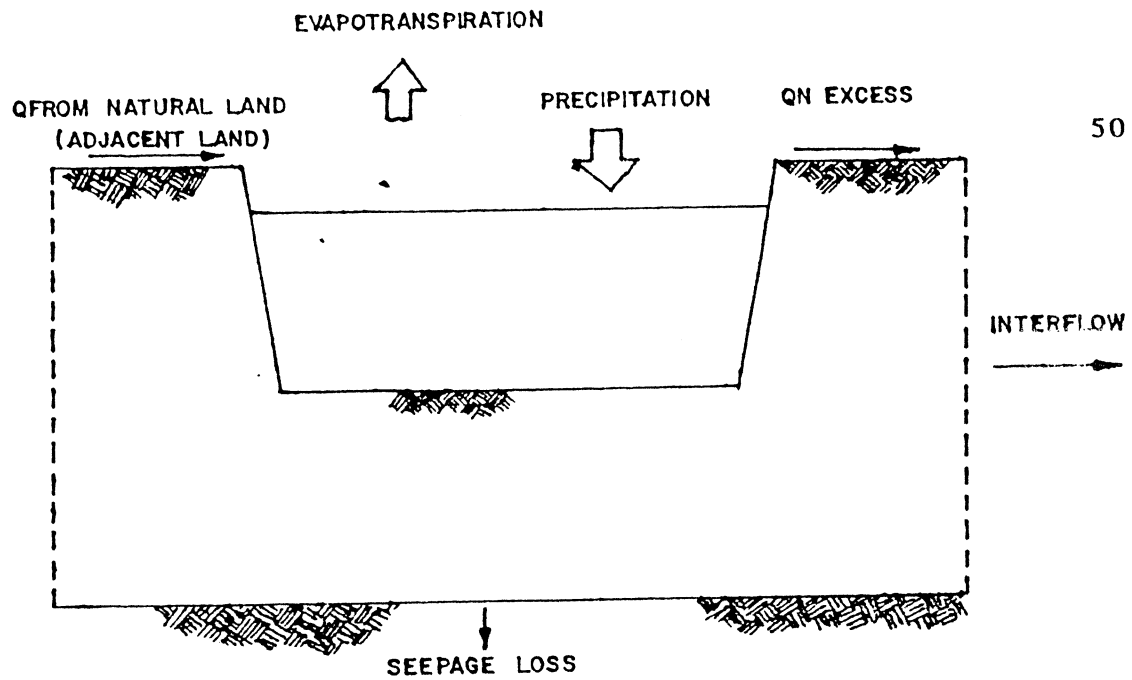
$$P = \text{ปริมาณฝนตกบนพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก}$$

$$Q_{local} = \text{ปริมาณน้ำหลากจากพื้นที่รับน้ำตามธรรมชาติ}$$

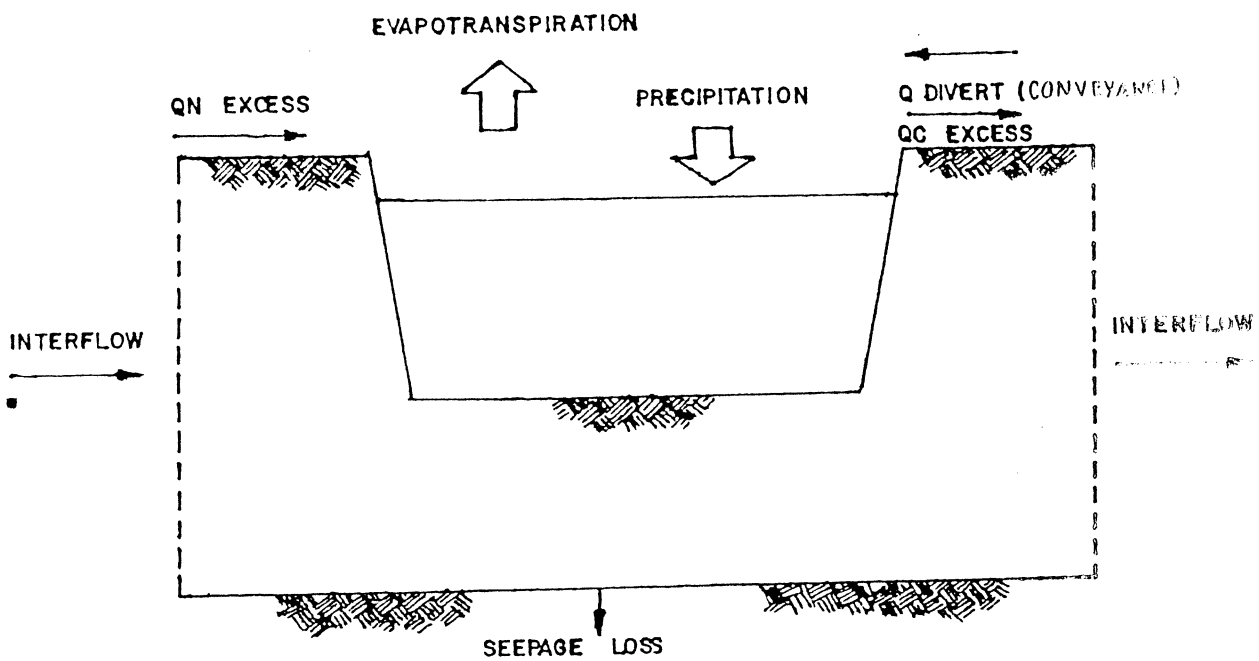
และปริมาณน้ำที่ออกจากพื้นที่นาคือ

$$QN_{out} = ET + GRFN + QN_{excess} + SPL \quad (3.41)$$

$$QN_{out} = \text{ปริมาณน้ำที่ออกจากพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก}$$



รูปที่ ๓.๓ แสดงสมดุลของน้ำบนพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำผันจากฝายหรืออ่างเก็บน้ำ



รูปที่ ๓.๔ แสดงสมดุลของน้ำบนพื้นที่นาที่ได้รับน้ำผันจากฝายหรืออ่างเก็บน้ำ

- ET = ปริมาณการใช้น้ำของพืช คูณรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.2 ข้อ 4
- GRFN = ปริมาณสูญเสียจากการซึมออกด้านข้างเข้าพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก คูณรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.2 ข้อ 4
- QNexcess = ปริมาณน้ำส่วนเกินความต้องการและปล่อยออกจากพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก เข้าสู่พื้นที่นาที่รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก
- SPL = ปริมาณการซึมลงสู่ชั้นใต้ดิน

จากสมการที่ (3.39) จะได้

$$P + Q_{local} - ET - GRFN - Q_{Nexcess} - SPL = AN \cdot \frac{dh}{dt} \quad (3.42)$$

โดยที่ AN = พื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก
h = ความลึกของน้ำบนพื้นที่นา

เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำในสมการโดยใช้ค่าช่วงเวลา 1 วัน หรือ $dt = 1$ วัน ดังนั้นสมการที่ (3.42) จะได้

$$QN_{excess} = P + Q_{local} - ET - GRFN - SPL - AN \cdot (h_k - h_{k-1}) \quad (3.43)$$

โดยที่ h_k = ความลึกของน้ำเมื่อสิ้นสุดวันที่ k
 h_{k-1} = ความลึกของน้ำเมื่อเริ่มต้นวันที่ k

และ $QN_{excess}, P, Q_{local}, ET, GRFN$ เป็นปริมาณน้ำต่างๆ ในวันที่ k

4. สมดุลของน้ำบนพื้นที่นาที่ได้รับน้ำผันจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก

เมื่อพิจารณางบดุลของน้ำบนพื้นที่นาสำหรับพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก(command area) รูปที่ 3.4 แสดงสมดุลของน้ำบนพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก ปริมาณน้ำเข้าสู่พื้นที่นาคือ

$$QC_{in} = P + Q_{Nexcess} + Q_{divert} + GRFN \quad (3.44)$$

โดยที่ QC_{in} = ปริมาณน้ำที่เข้าสู่พื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก

- P = ฝนตกลงบนพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก
 $Q_{Nexcess}$ = ปริมาณน้ำส่วนเกินความต้องการจากพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก
 Q_{divert} = ปริมาณน้ำที่ได้รับจากแหล่งน้ำขนาดเล็กเข้าพื้นที่นา คุรายละเอียคในหัวข้อ 3.3.2 ข้อ 10

ตามส่วนปริมาณน้ำที่ออกจากพื้นที่นาคือ

$$Q_{Cout} = ET + GRFC + Q_{Cexcess} + SPL \quad (3.45)$$

- โดยที่ Q_{Cout} = ปริมาณน้ำที่ออกจากพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก
 ET = ปริมาณการใช้น้ำของพืช คุรายละเอียคในหัวข้อ 4.5.1
 $GRFC$ = ปริมาณการสูญเสียจากการซึมออกด้านข้างเข้าสู่ลำน้ำคุรายละเอียคในหัวข้อ 3.3.2 ข้อ 4
 $Q_{Cexcess}$ = ปริมาณน้ำส่วนเกินความต้องการปล่อยออกจากพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กเข้าสู่ลำน้ำ(return flow)
 SPL = ปริมาณน้ำที่ซึมลงชั้นน้ำใต้ดิน

เมื่อพิจารณาตามสมการที่ (3.39) จะได้

$$P + Q_{Nexcess} + Q_{divert} + GRFN - SPL - ET - GRFC - Q_{Cexcess} = AC \cdot \frac{dh}{dt} \quad (3.46)$$

ทำนองเดียวกัน เมื่อใช้ช่วงเวลา 1 วัน จะได้

$$Q_{Cexcess} = P + Q_{Nexcess} + Q_{divert} + GRFN - SPL - ET - GRFC - AC(h_k - h_{k-1}) \quad (3.47)$$

5. ปริมาณน้ำท่าไหลออกจากลุ่มน้ำ

ปริมาณน้ำท่าไหลออกจากลุ่มน้ำในแบบจำลอง หมายถึง ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำขนาดกลางด้านท้ายน้ำ ปริมาณน้ำท่าไหลออกจากลุ่มน้ำที่คำนวณได้นี้จะใช้ในการเทียบปรับแบบจำลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของลุ่มน้ำ โดยใช้ข้อมูลจากการเก็บข้อมูลของกรมชลประทานเป็นตัวเทียบปรับ จากแนวคิดและหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปหลักการพื้นฐานที่เลือกประยุกต์ใช้กับแนวความคิดของแบบจำลองลุ่มน้ำ โดย

แยกตามลักษณะการแบ่งพื้นที่ในลุ่มน้ำดังนี้

- พื้นที่รับน้ำธรรมชาติใช้หลักการคำนวณตามวิธีของ SCS จะได้ปริมาณการไหลโดยตรง(Q) และปริมาณการซึมสะสม(F) ดังแสดงในภาคผนวกปริมาณการไหลโดยตรงส่วนนี้ จะหลากเข้าสู่พื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก

- พื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กใช้หลักการคำนวณโดยใช้สมการสมดุลของน้ำคำนวณปริมาณน้ำส่วนเกินความต้องการ และไหลล้นเข้าสู่พื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก ดังสมการที่ (3.43)

- พื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก ใช้หลักการคำนวณโดยใช้สมการสมดุลของน้ำคำนวณปริมาณน้ำส่วนเกินความต้องการ และไหลล้นเข้าสู่ลำน้ำ ดังสมการที่ (3.43)

- สำหรับปริมาณน้ำ ที่ไหลออกจากพื้นที่ย่อยที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กใช้วิธีการหลากในลำน้ำในหัวข้อ 3.2.1 ข้อ 8 และ 9 และท้ายสุดปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำขนาดกลางด้านท้ายน้ำใช้หลักการคำนวณโดยใช้สมการสมดุลของน้ำเพื่อคำนวณปริมาณน้ำที่เก็บกักและไหลเข้าอ่างเก็บน้ำขนาดกลาง

หลักการคำนวณที่กล่าวมาข้างต้น จะนำมาใช้ในแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นดังจะได้กล่าวละเอียดต่อไป

3.3 โครงสร้างทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่พัฒนา

โครงสร้างของแบบจำลองแบ่งออกตามลักษณะชนิดของพื้นที่ย่อย ได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้ คือ

3.3.1 โครงสร้างของแบบจำลองของพื้นที่ย่อยที่ไม่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก

3.3.2 โครงสร้างของแบบจำลองของพื้นที่ย่อยที่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดและโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่พัฒนา คือ โครงสร้างของแบบจำลองของพื้นที่ย่อยที่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก ซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป

3.3.1 โครงสร้างของแบบจำลองของพื้นที่ย่อยที่ไม่มีการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดเล็ก

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบทกวิทยาของเฉลิมชัย(2531) โดยมีการปรับปรุงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณระบบทกวิทยา โดยให้ใช้ช่วงเวลาในการคำนวณค่าชลภาพน้ำท่าเป็นรายวันเพื่อความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการคำนวณ ร่วมกับแบบจำลองของ

อดิเรก(2533) และแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งมีโครงสร้างของแบบจำลองของพื้นที่ย่อยที่เป็นพื้นที่สูงทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3.5, 3.6 โครงสร้างของแบบจำลองของพื้นที่ย่อยที่เป็นพื้นที่สูงและพื้นที่นา แสดงในรูปที่ 3.8, 3.9 โครงสร้างของแบบจำลองของพื้นที่ย่อยที่เป็นพื้นที่นาทั้งหมด แสดงในรูปที่ 3.7, 3.10 โดยมีรายละเอียดของขบวนการอุทกวิทยาในหัวข้อ 3.2.1

3.3.2 โครงสร้างของแบบจำลองอุทกวิทยาสำหรับพื้นที่ที่มีการพัฒนา

แหล่งน้ำขนาดเล็ก

ในการศึกษาครั้งนี้ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบอุทกวิทยาสำหรับพื้นที่ย่อยที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กและพื้นที่ย่อยที่มีฝาย โดยมีโครงสร้างของแบบจำลองสำหรับพื้นที่ย่อยที่มีเฉพาะฝาย ดังแสดงในรูปที่ 3.11, 3.13 และโครงสร้างของแบบจำลอง สำหรับพื้นที่ย่อยที่มีเฉพาะอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก แสดงในรูปที่ 3.14 โดยโครงสร้างของแบบจำลองสามารถอธิบายรายละเอียดด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ในแต่ละขบวนการได้ ซึ่งจะแยกพิจารณาตามลักษณะของการแบ่งพื้นที่คือ พื้นที่รับน้ำตามธรรมชาติ พื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำผันจากฝาย พื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากฝายและพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก ซึ่งจะได้อธิบายถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

1. พื้นที่รับน้ำตามธรรมชาติ(Natural land)

อุทกวิทยาของพื้นที่รับน้ำตามธรรมชาติ ใช้หลักการของ SCS เป็นแบบอย่างในการประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง รายละเอียดของปริมาณต่าง ๆ มีดังนี้

1.1 ปริมาณฝนเฉลี่ยบนลุ่มน้ำ

การหาปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยบนลุ่มน้ำใช้วิธีการของ Thiessen ดังสมการ

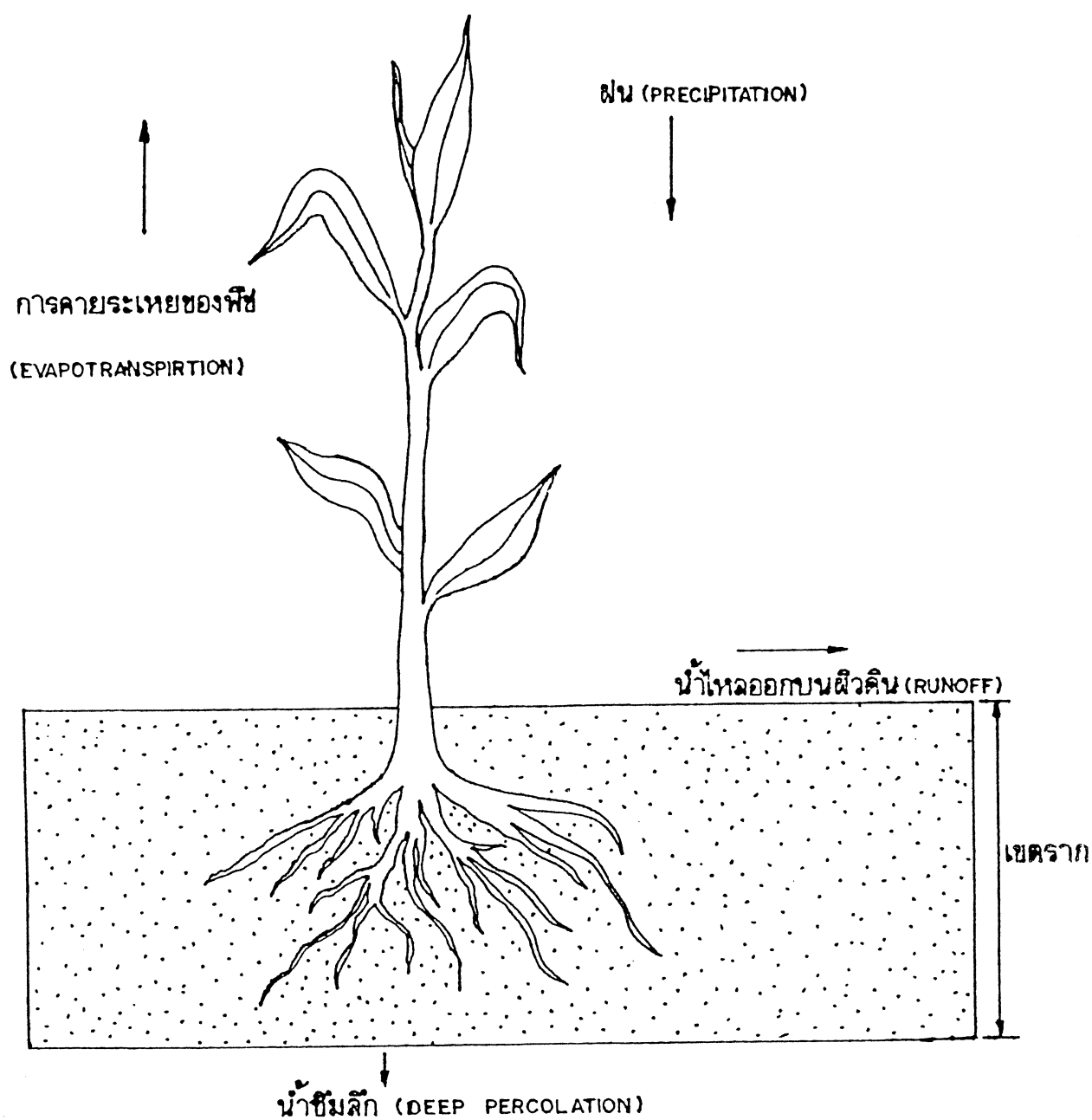
$$P_k = \sum_{i=1}^n P_{k,i} A_i \quad \text{for } k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3.48)$$

โดยที่ $P_{k,i}$ = ปริมาณฝนสะสมในวันที่ k ที่สถานีวัดน้ำฝนที่ $1, 2, \dots, n$ ตามลำดับ, มม.

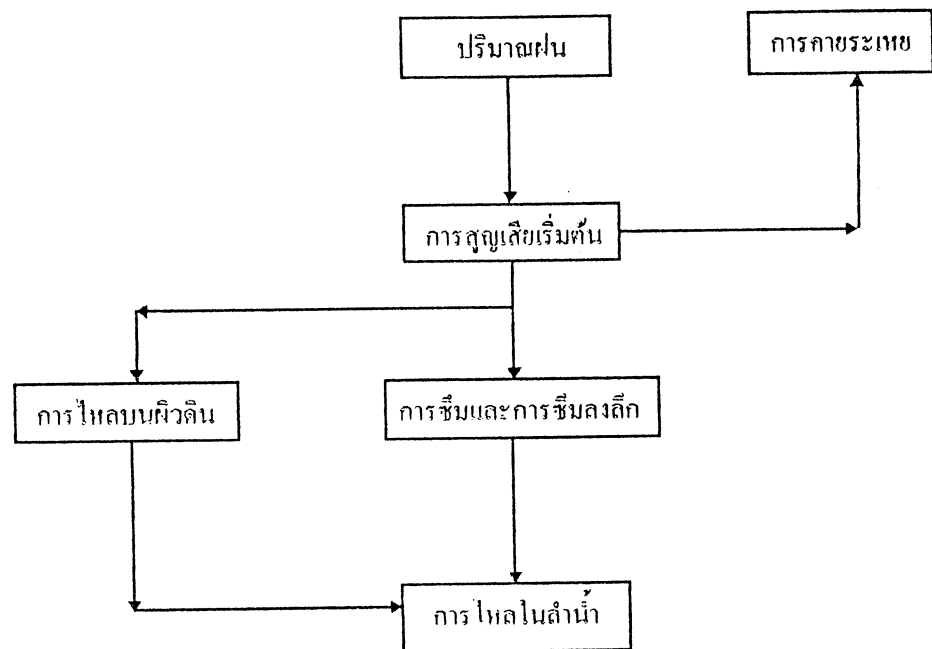
A_i = เป็นพื้นที่รอบสถานีวัดน้ำฝนที่ $1, 2, \dots, n$ ตามลำดับ, ตร.กม.

1.2 การไหลโดยตรง (Direct Runoff)

ปริมาณการไหลโดยตรงหาได้จาก



รูปที่ 3,5 โคเออร์แกรมแสดงสมดุลปริมาณน้ำในแปลงพืชไร่ (พื้นที่สูง)



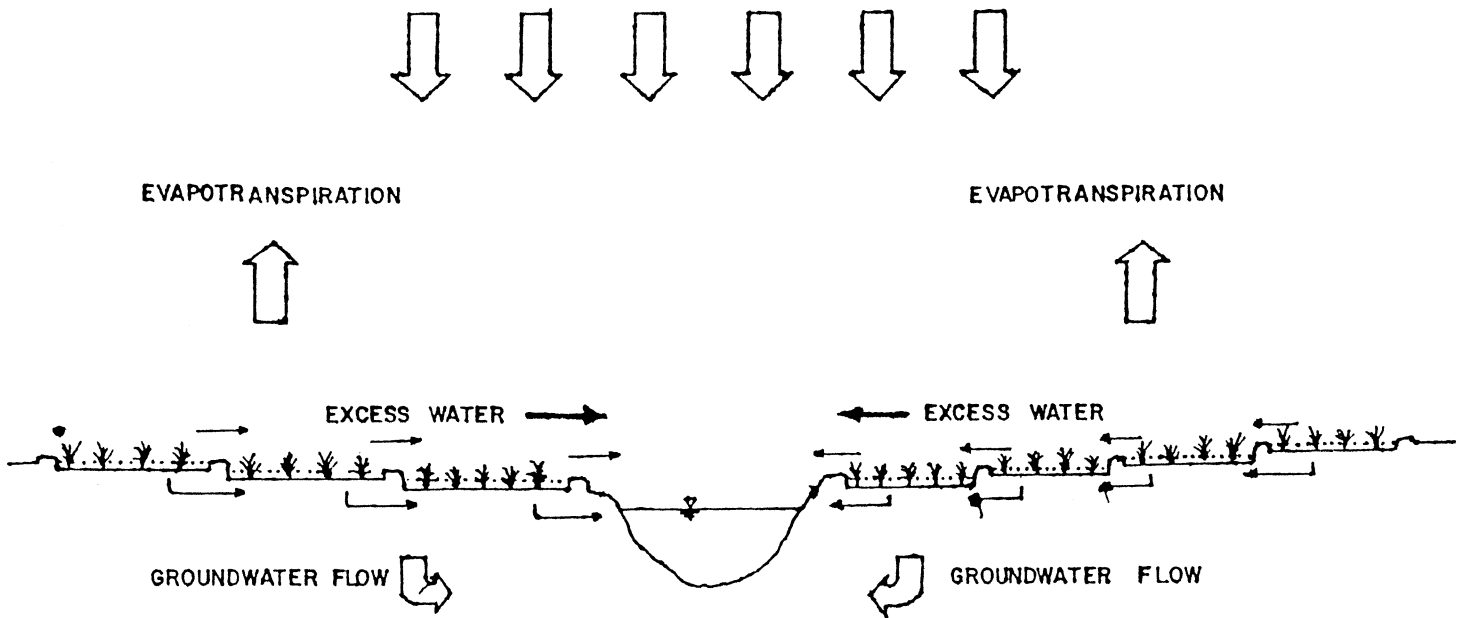
รูปที่ 3.6 แสดงไคอะแกรมของการสมดุลของปริมาณน้ำในระบบย่อย
(พื้นที่สูงทั้งหมด)

PRECIPITATION

57

EVAPOTRANSPIRATION

EVAPOTRANSPIRATION

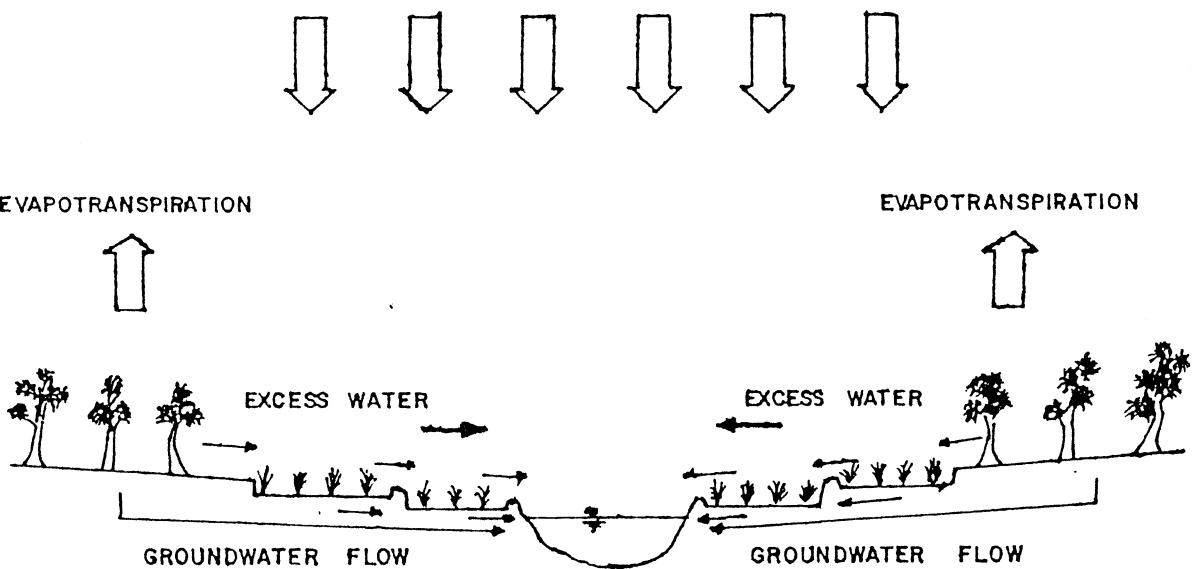


รูปที่ 3.7 รูปตัดแสดงการไหลในพื้นที่ย่อยที่ไม่มีฝายและอ่างเก็บน้ำ
(พื้นที่นาทั้งหมด)

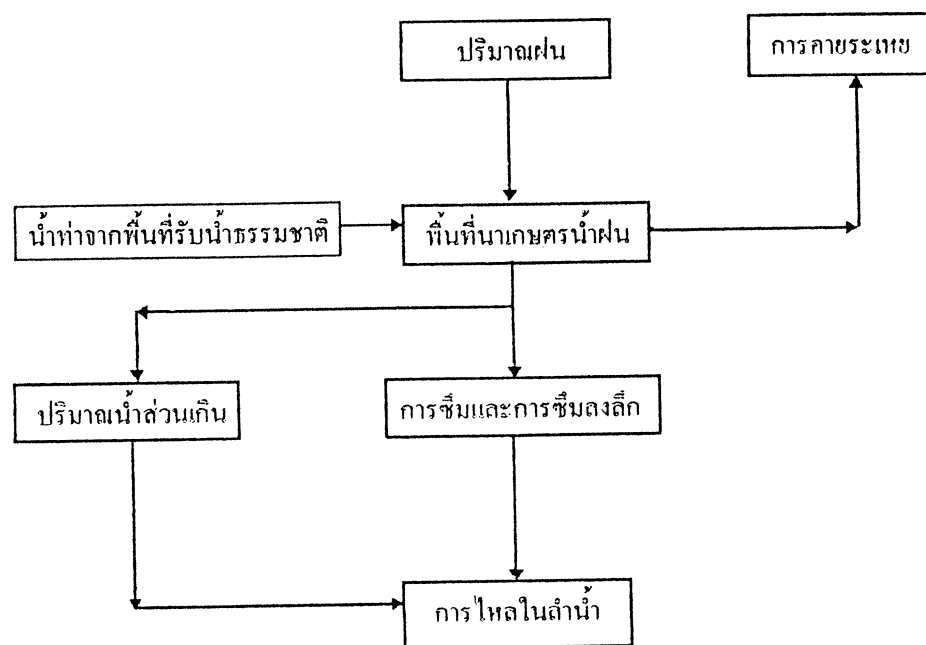
PRECIPITATION

EVAPOTRANSPIRATION

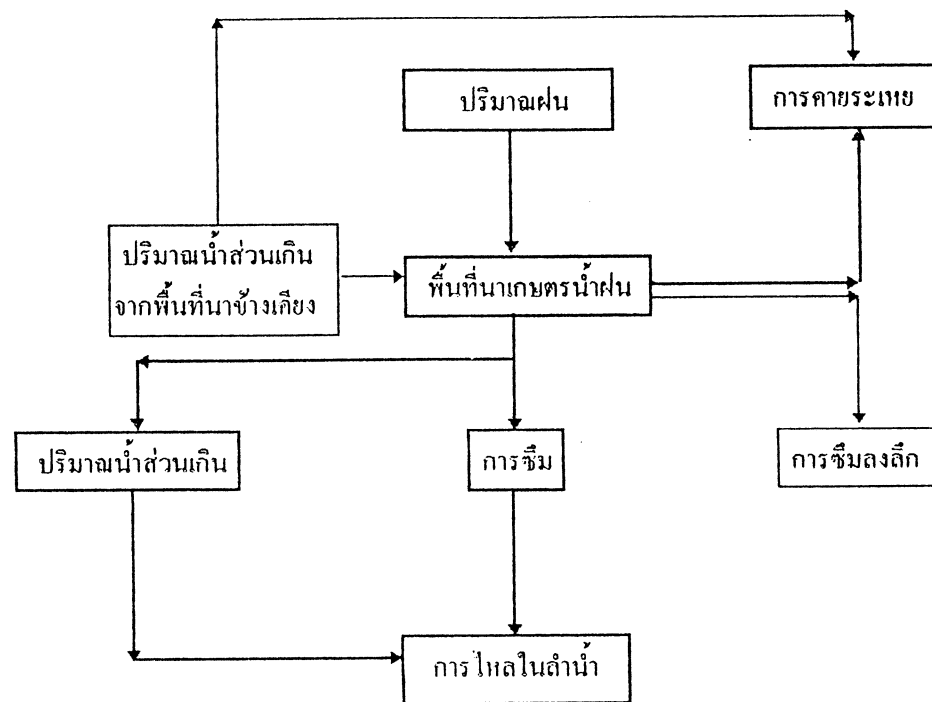
EVAPOTRANSPIRATION



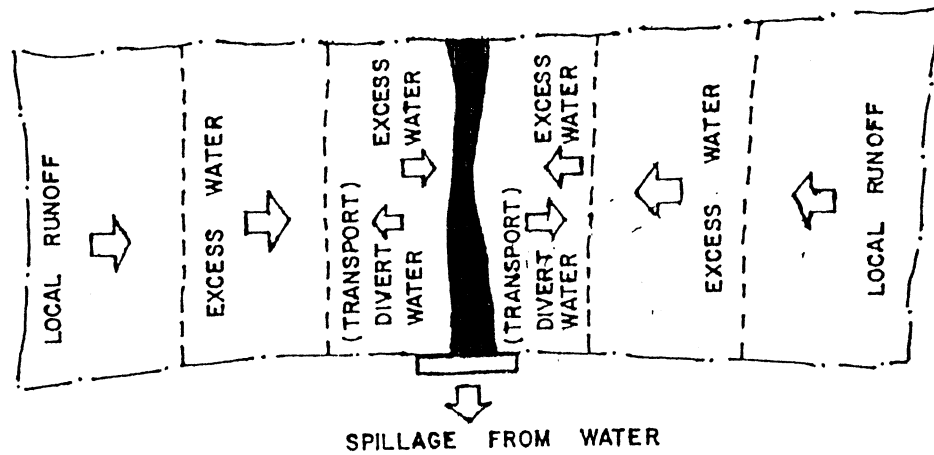
รูปที่ 3.8 รูปตัดแสดงการไหลในพื้นที่ย่อยที่ไม่มีฝายและอ่างเก็บน้ำ
(พื้นที่สูงและพื้นที่นา)



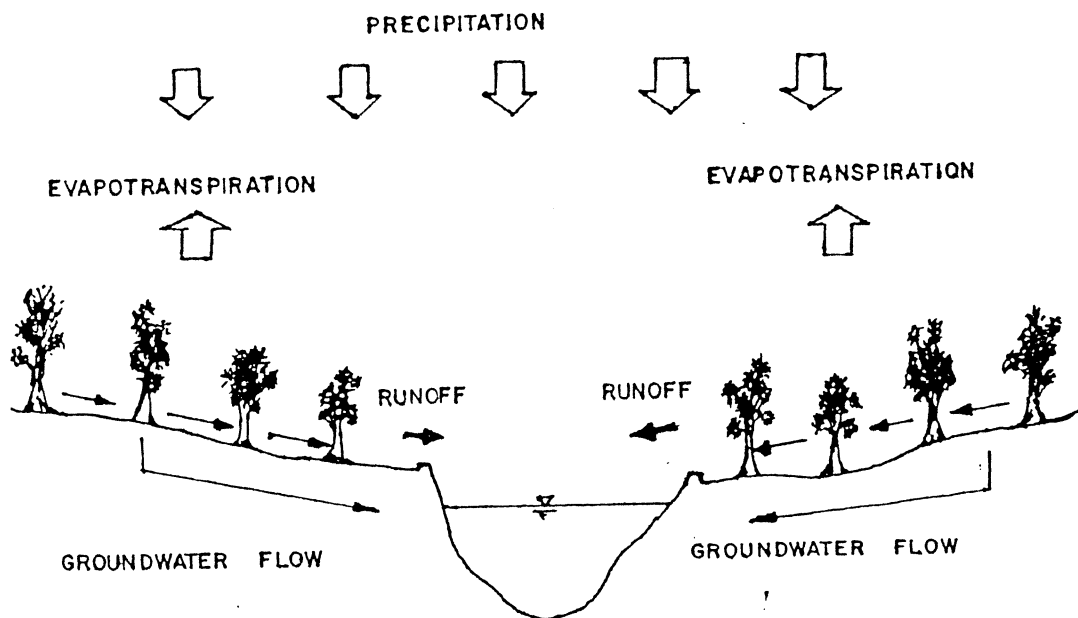
รูปที่ ๑.๑ แสดงไคอะแกรมของการสมดุลของปริมาณน้ำในระบบย่อย
(พื้นที่นาและพื้นที่สูง)



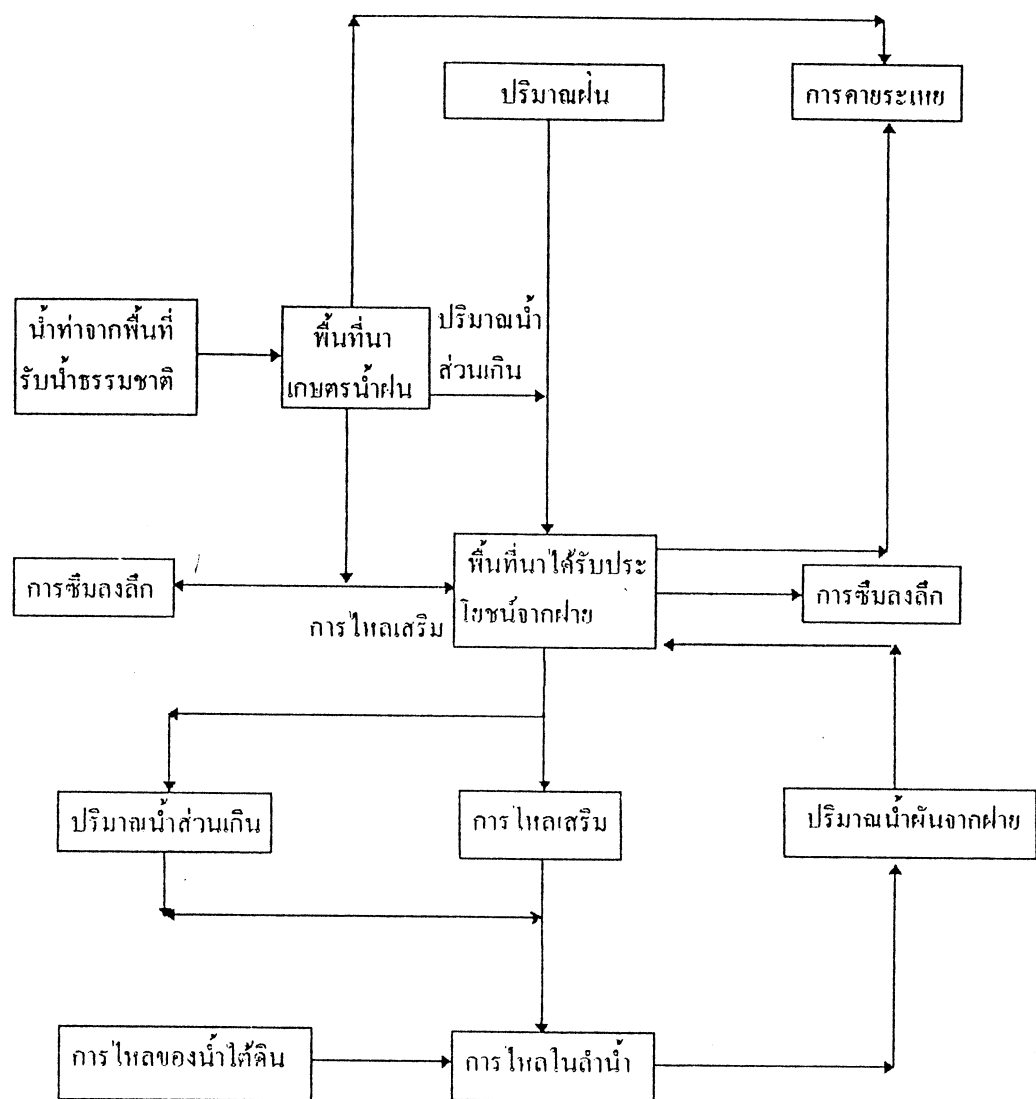
รูปที่ 3.10 แสดงไคอะแกรมของการสมดุลของปริมาณน้ำในระบบย่อย
(พื้นที่นาทั้งหมด)



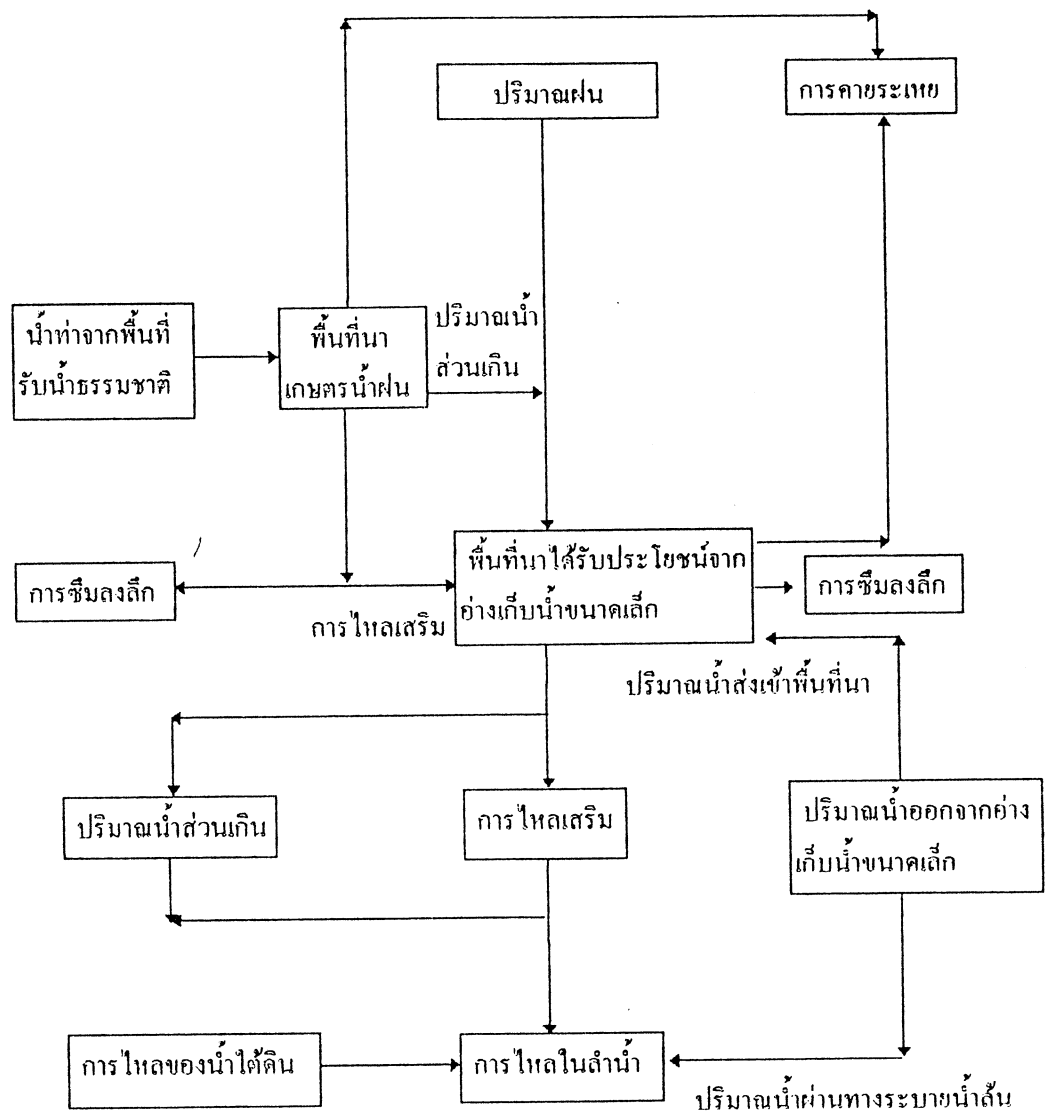
รูปที่ 3.11 ลักษณะการไหลในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่มีฝาย



รูปที่ 3.12 รูปตัดแสดงการไหลในพื้นที่ย่อยที่ไม่มีฝายและอ่างเก็บน้ำ
(พื้นที่ลุ่มทั้งหมด)



รูปที่ 3.13 แสดงไคอะแกรมของการสมดุลของปริมาณน้ำในระบบย่อย
(พื้นที่ย่อยที่มีเฉพาะฝาย)



รูปที่ 3.14 แสดงไคอะแกรมของการสมดุลของปริมาณน้ำในระบบย่อย
(พื้นที่ย่อยที่มีเฉพาะอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก)

$$Q_L(k) = Q(k) - Q(k-1) \quad (3.49)$$

เมื่อ $Q_L(k)$ = ปริมาณการไหลโดยตรงในวันที่ k , มม.
 $Q(k)$ = ปริมาณการไหลโดยตรงสะสมในวันที่ k , มม.
 $Q(k-1)$ = ปริมาณการไหลโดยตรงสะสมในวันที่ $k-1$, มม.

ค่า Q หาจากวิธีการของ SCS จากภาคผนวก ก

1.3 การไหลของน้ำผิวดิน(Surface water routing)

การหาอัตราการไหลของน้ำผิวดิน หาจากความสัมพันธ์

$$RHOQ(k) = \frac{(HOQM - RHOQ(k-1)) * \Delta t + RHOQ(k-1)}{(TQ + \Delta t/2)} \quad (3.50)$$

$$HOQM = \frac{(Q_L(k) + Q_L(k-1))}{2 * \Delta t} \quad (3.51)$$

เมื่อ $RHOQ(k)$ และ $RHOQ(k-1)$ คือ อัตราการไหลออกของส่วนเก็บกักน้ำผิวดินของพื้นที่รับน้ำตามธรรมชาติเข้าสู่พื้นที่นาในวันที่ k และ $k-1$ ตามลำดับ, มม./วัน

$HOQM$ = ปริมาณน้ำในส่วนเก็บกักผิวดินเฉลี่ย(อัตราการไหลเข้าเฉลี่ย), มม./วัน
 Δt = ช่วงเวลาในที่นี้เท่ากับ 1 วัน
 TQ = เวลาการเก็บกักของน้ำผิวดิน เป็นค่าพารามิเตอร์หาโดยการเทียบปรับแบบจำลอง, วัน

1.4 การซึมลงส่วนเก็บกักในดิน(Infiltration)

ปริมาณการซึมหาได้จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$FF(k) = F(k) - F(k-1) \quad (3.52)$$

เมื่อ $FF(k)$ = ปริมาณการซึมในวันที่ k , มม.

$F(k)$ = ปริมาณการซึมสะสมในวันที่ k , มม.
 $F(k-1)$ = ปริมาณการซึมสะสมในวันที่ $k-1$, มม.
 ค่า F หาได้จากภาคผนวก ค (วิธีการของ SCS)

1.5 ปริมาณเก็บกักในดิน(Soil moisture storage)

ปริมาณน้ำในส่วนเก็บกักในดินจะเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน

$$HSM(k) = HSM(k-1) - HSM(k) - EVP(k) + FF(k) \quad (3.53)$$

เมื่อ $HSM(k)$ = ระดับน้ำในส่วนเก็บกักในดินในวันที่ k , มม.
 $EVP(k)$ = การคายการระเหยในวันที่ k , มม.
 $HSM(k)$ = การซึมจากส่วนเก็บกักในดินลงสู่ส่วนเก็บกักน้ำใต้ดิน
 $FF(k)$ = ปริมาณการซึม, มม.

1.6 การคายระเหย(Evapotranspiration)

ปริมาณการคายการระเหยในแต่ละวัน สามารถประมาณได้จากสมการของ M.A. Kohler (ค.ศ.1958) ดังนี้

$$EVP(k) = \frac{HSM(k) * EPAN(k)}{SSAT} \quad (3.54)$$

เมื่อ $EVP(k)$ = ปริมาณการคายระเหยในวันที่ K , มม.
 $EPAN(k)$ = ศักยภาพการคายระเหยในวันที่ K , มม.
 $SSAT$ = ความจุสูงสุดของส่วนเก็บกักในดิน กำหนดให้มีค่า
 = $(25400/CNI) - 254$ (3.55)

1.7 การไหลของส่วนเก็บกักในดิน(Soil moisture storage routing)

การไหลของส่วนเก็บกักในดินสู่ลำน้ำหาได้จาก
 $-(HSM(k)/SSAT)$

$$G(k) = k2 * HSM(k) * e \quad (3.56)$$

โดยที่ $G(k)$ = ปริมาณน้ำจากส่วนเก็บกักน้ำใต้ดิน, มม.
 $HSM(k)$ = ระดับน้ำในส่วนเก็บกักน้ำใต้ดิน, มม.
 $k2$ = สัมประสิทธิ์การไหลของส่วนเก็บกักน้ำใต้ดิน

$$SSAT = \frac{\text{ความจุสูงสุดของส่วนเก็บกักน้ำใต้ดินในที่นี้ให้เท่ากับ}}{25400 / (CNI - 254)}$$

$$XX = HSM(k) / SSAT$$

$$HSMM(k) = XX * (HSM(k) - sfc) * (0.03) \quad (3.59)$$

หรือ $HSMM(k) = 0$

$$HSMM(k) = \text{ปริมาณน้ำในส่วนเก็บกักในดินเฉลี่ย (อัตราการไหลเข้าเฉลี่ย), มม./วัน}$$

2. พื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก(ฝายและอ่างขนาดเล็ก) (Noncommand area)

แบบจำลองนี้ได้พิจารณาพื้นที่นาเป็น 2 ส่วน คือพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กและพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก ซึ่งการแบ่งพื้นที่เป็น 2 ส่วนดังกล่าวจะหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

ขนาดของพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำผันจากฝายของกลุ่มน้ำย่อย i หาได้จาก

$$AN(i) = (100 - PCA) * AP(i) / 100 \quad (3.60)$$

และพื้นที่นาที่ได้รับน้ำผันจากฝายของกลุ่มน้ำย่อย i หาได้จาก

$$AC(i) = PCA * AP(i) / 100 \quad (3.61)$$

เมื่อ $AN(i)$ = พื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำผันจากฝายของกลุ่มน้ำย่อย i, ตร.กม.
 $AC(i)$ = พื้นที่นาที่ได้รับน้ำผันจากฝายของกลุ่มน้ำย่อย i, ตร.กม.
 PCA = เปอร์เซนต์ของพื้นที่นาที่ได้รับน้ำผันจากฝาย (Percentage of command Area) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่กำหนดให้หรือสามารถหาได้โดยการเทียบปรับแบบจำลอง

เมื่อพิจารณาสมดุลของปริมาณน้ำบนพื้นที่นา ที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กของกลุ่มน้ำย่อย (Subwatershed) ดังรูปที่ 3.3 จะได้ความลึกของน้ำในวันที่ k ของกลุ่มน้ำย่อย i เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{WDN}(i,k) = & \text{WDN}(i,k-1) + P(i,k) + \text{DQL}(i,k) - \text{ET}(i,k) \\ & - \text{GRFN}(i,k) - \text{QN}(i,k) \end{aligned} \quad (3.62)$$

โดยที่ $\text{WDN}(i,k)$ และ $\text{WDN}(i,k-1)$ คือ ความลึกของน้ำบนพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k และ $k-1$, มม. เป็นความชื้นเทียบเท่าที่วัดจากสภาพความชื้นในดินเท่ากับศูนย์ ดูหัวข้อภาคผนวก ก

$P(i,k)$ = ปริมาณฝนตกบนพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำฝนจากแหล่งน้ำขนาดเล็กของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม.
 $\text{DQL}(i,k)$ = ปริมาณน้ำผิวดินจากพื้นที่รับน้ำธรรมชาติของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม. หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{DQL}(i,k) = \frac{\text{QL}(i,k) * \text{AL}(i)}{\text{AN}(i)} \quad (3.63)$$

$\text{AN}(i)$ = พื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำฝนจากฝายของกลุ่มน้ำย่อย i , ตร.กม.
 $\text{AL}(i)$ = พื้นที่รับน้ำธรรมชาติของกลุ่มน้ำย่อย i , ตร.กม.
 $\text{ET}(i,k)$ = ปริมาณการใช้น้ำของข้าวของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม. ดูหัวข้อ 3.3.2 ข้อ 4
 $\text{GRFN}(i,k)$ = ปริมาณการสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้างของพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม. ดูหัวข้อ 3.3.2 ข้อ 4
 $\text{QN}(i,k)$ = ปริมาณน้ำส่วนเกินความต้องการและไหลล้นออกจากพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม. หาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

ในกรณี $\text{WDN}(i,k) < \text{WDS}(i,k)$ จะได้ $\text{QN}(i,k) = 0$

กรณี $\text{WDN}(i,k) > \text{WDS}(i,k)$ จะได้

$$\text{QN}(i,k) = \text{WDN}(i,k) - \text{WDS}(i,k) \quad (3.64)$$

โดยที่ $\text{WDS}(i,k)$ = ความลึกของน้ำที่เหมาะสมในนาของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม.

3. พื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก (Command area)

เมื่อพิจารณาสมการของปริมาณน้ำบนพื้นที่นา ที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กของกลุ่มน้ำย่อย i ดังรูปที่ 3.4 ประกอบกับสมการที่ (3.19) จะได้ความลึกของน้ำในวันที่ k เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} WDC(i, k) = & WDC(i, k-1) + P(i, k) + DQN(i, k) + DQD(i, k) \\ & - ET(i, k) + GRFN(i, k) - GRFC(i, k) - QC(i, k) \end{aligned} \quad (3.65)$$

โดยที่ $WDC(i, k)$ = ความลึกของน้ำบนพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม.

$GRFN(i, k)$ = ปริมาณการสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้างของพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม. ดูหัวข้อ 3.3.2 ข้อ 4

$GRFC(i, k)$ = ปริมาณการสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้างของพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม. ดูหัวข้อ 3.3.2 ข้อ 4

$DQN(i, k)$ = ปริมาณน้ำส่วนเกินความต้องการและไหลล้นออกจากพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก ของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม. หาก

$$DQN(i, k) = \frac{QN(i, k) * AN(i, k)}{AC(i, k)} \quad (3.66)$$

$DQD(i, k)$ = ปริมาณน้ำที่ได้รับจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก ของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม. ดูหัวข้อ 3.3.2 ข้อ 10

$QC(i, k)$ = ปริมาณน้ำส่วนเกินความต้องการและไหลล้นออกจากพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก ของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม. ดูหัวข้อ 3.3.2 ข้อ 10

4. รายละเอียดของสมการสมดุลของน้ำในแบบจำลอง

- ปริมาณการใช้น้ำของข้าว (E_{Trice})

ปริมาณการใช้น้ำของข้าวสำหรับพื้นที่นาทั้ง 2 ลักษณะหาได้จากสมการดังนี้ (Rinfret, 1985)

ก. กรณี $WD(i, k-1) > 0.75 * WD_{sat}$ จะได้

$$ET(i,k) = 0.89*EPAN(k) \quad (3.67)$$

ข. กรณี $0.2*WDSat < WD(i,k-1) < 0.75 WDSat$ จะได้

$$ET(i,k) = \frac{0.89*EPAN(i,k)*(WD(i,k-1)-0.2*WDSat)}{0.75*WDSat - 0.2*WDSat} \quad (3.68)$$

ค. กรณี $WD(i,k-1) < 0.2*WDSat$ จะได้

$$ET(i,k) = 0 \quad (3.69)$$

โดยที่ $WD(i,k-1)$ = ความลึกของน้ำบนพื้นที่นา ทั้ง 2 ลักษณะ (WDN, WDC) ของลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ $k-1$ วัน, มม.

$WDSat$ = ความลึกของน้ำที่สภาพอิ่มตัว, มม. คูณคณนวก n

$EPAN(k)$ = ปริมาณการระเหยจากผิวดินการระเหยในวันที่ k , มม.

- การสูญเสียโดยการซึมลงไปในดินของพื้นที่นา (Seepage and percolation losses)

อัตราการสูญเสียโดยการซึมลงไปในดินขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ชนิดของดิน ความลาดชันของพื้นที่และปริมาณความชื้นในดิน การหาปริมาณการสูญเสียโดยการซึมลงไปในดินสำหรับพื้นที่นาที่ใช้ในการศึกษาใช้กฎของดาร์ซี (Darcy's law ค.ศ.1856) ดังสมการ

$$Q = K.i.A. \quad (3.70)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลผ่านชั้นดินที่พิจารณา
 K = สัมประสิทธิ์ความซึมได้ (Hydraulic conductivity) ของน้ำใต้ดิน
 A = พื้นที่หน้าตัดที่น้ำไหลผ่าน
 i = ค่าความลาดทางชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) หาจาก
 $i = \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (3.71)$
 h = ค่าความแตกต่างของ Hydraulic head จากจุดเริ่มไหลเข้าถึงจุดปลายไหลออกจากชั้นดินที่พิจารณา
 L = ระยะทางระหว่างจุดไหลเข้าถึงจุดไหลออก

ในการศึกษาครั้งนี้ จะกำหนดให้ดินในพื้นที่นาในช่วงฤดูเพาะปลูกข้าวมีความชื้นที่สภาพอิ่มตัวและมีชั้นดินแข็ง(hard pan) ซึ่งน้ำซึมผ่านได้ยากอยู่ลึกลงไปจากผิวดินท้องนาประมาณ 0.3 เมตร สำหรับปริมาณการสูญเสียโดยการซึมลงในดินในกรณีของพื้นที่นา ในการศึกษานี้แยกพิจารณาออกเป็น 2 ลักษณะตามลักษณะการแบ่งพื้นที่นา

ปริมาณการสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้าง ของพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก ซึ่งปริมาณส่วนนี้จะพิจารณาให้ไหลเข้าสู่พื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กต่อไป

$$GRFN(i) = \frac{CG * Ks(i) * DHN(i) * L(i) * DH(i)}{L1(i)} \quad (3.72)$$

- โดยที่ $GRFN(i)$ = ปริมาณการสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้าง ของพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กเข้าสู่พื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กของกลุ่มน้ำย่อย i , ลบ.ม./วัน
- CG = ค่าพารามิเตอร์เทียบปรับการไหลของน้ำในดินของพื้นที่นา
- $Ks(i)$ = ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินของกลุ่มน้ำ i , ซม./นาที่
- $DHN(i)$ = ค่าต่างระดับความสูงของน้ำของกลุ่มน้ำย่อย i เมื่อพิจารณาให้ดินในพื้นที่นามีความชื้นที่สภาพอิ่มตัว ค่าต่างระดับความสูงของน้ำ วัดจากความแตกต่างของความสูงของท้องนาที่ศูนย์กลางพื้นที่นาทั้ง 2 ลักษณะ, ม.
- $L1(i)$ = ระยะการเดินทางของการไหลในดินจากพื้นที่นาที่ไม่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กเข้าสู่พื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กของกลุ่มน้ำย่อย i ในที่นี้คือระยะระหว่างจุดศูนย์กลางพื้นที่นาทั้ง 2 ลักษณะ, ม.
- $L(i)$ = ความยาวตามขวางกับทิศทางการไหลของกลุ่มน้ำย่อย i กำหนดให้มีค่าเท่ากับ ความยาวของลำน้ำในแต่ละกลุ่มน้ำย่อย, ม.
- $DH(i)$ = ความลึกตามขวางกับทิศทางการไหลของกลุ่มน้ำย่อย i กำหนดให้มีค่าเท่ากับความลึกของดินเหนือชั้นดินแข็ง ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่า 0.3 เมตร

ในทำนองเดียวกัน ปริมาณการสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้างของพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก ปริมาณส่วนนี้จะพิจารณาให้ไหลเข้าสู่ลำน้ำต่อไป

$$GRFC(i) = \frac{CG * Ks(i) * DHC(i) * L(i) * DH(i)}{L2(i)} \quad (3.73)$$

โดยที่ $GRFC(i)$ = ปริมาณการสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้างของพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กเข้าสู่ลำน้ำของกลุ่มน้ำย่อย i , ลบ.ม./วัน

$DHC(i)$ = ค่าต่างระดับความสูงของน้ำ ของกลุ่มน้ำย่อย i เมื่อพิจารณาให้ดินในพื้นที่นา มีความชื้นที่สภาพอิ่มพอตัววัดจากความแตกต่าง ของความสูงของท้องนาที่ศูนย์กลางกับขอบของพื้นที่นาที่ได้รับน้ำฝนจากฝาย, ม.

$L2(i)$ = ระยะการเดินทางของการไหลในดินจากพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กเข้าสู่ลำน้ำของกลุ่มน้ำย่อย i ในพื้นที่นี้คือ ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางกับขอบของพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็ก, ม.

5. ปริมาณการไหลของน้ำในดินเข้าสู่ลำน้ำ

ปริมาณการไหลของน้ำในดินเข้าสู่ลำน้ำ พิจารณาจากการไหลของน้ำในดินของพื้นที่สองส่วนคือ พื้นที่รับน้ำตามธรรมชาติและพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กดังสมการ

$$GRF(i, k) = G(i, k) + GRFC(i, k) \quad (3.74)$$

โดยที่ $GRF(i, k)$ = อัตราการไหลของน้ำในดินเข้าสู่ลำน้ำของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , ลบ.ม./วัน

$G(i, k)$ = ปริมาณการไหลของน้ำในดิน ของพื้นที่รับน้ำตามธรรมชาติของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , ลบ.ม./วัน

$GRFC(i, k)$ = ปริมาณการสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้างเข้าสู่ลำน้ำของพื้นที่นาที่ได้รับน้ำจากแหล่งน้ำขนาดเล็กของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , ลบ.ม./วัน

6. การไหลของน้ำในลำน้ำในพื้นที่ย่อยที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก ใช้สมการการไหลในหัวข้อ 3.2.1 ข้อ 9

7. ปริมาณการเก็บกักและการสูญเสียในอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก

ปริมาณการเก็บกักในอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กขึ้นอยู่กับ โค้งความจุ-ระดับ-พื้นที่ผิวน้ำ (Storage-Area-Elevation Curve) ของอ่างเก็บน้ำ

และใช้สมการสมดุลของน้ำในการคำนวณหาปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ ดังนี้

$$S_k = S_{k-1} + P_k * A - EV_k * A + I_k - O_k - SP_k \quad (3.75)$$

โดยที่ S_k = ปริมาณน้ำที่เก็บกักในอ่างเก็บน้ำในวันที่ k , ลบ.ม (หาได้จากการเก็บข้อมูลระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำแล้วนำมาอ่านค่าปริมาณน้ำจากโค้งความจุ-ระดับ)

S_{k-1} = ปริมาณน้ำที่เก็บกักในอ่างเก็บน้ำในวันที่ $k-1$, ลบ.ม (หาได้จากการเก็บข้อมูลระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำแล้วนำมาอ่านค่าปริมาณน้ำจากโค้งความจุ-ระดับ)

P_k = ปริมาณฝนที่ตกลงบนอ่างเก็บน้ำในวันที่ k , มม. (หาได้จากข้อมูลของสถานีฝนในลุ่มน้ำ)

A = พื้นที่ของอ่างเก็บน้ำ, ตร.กม.

EV_k = ปริมาณการระเหยในวันที่ k , มม. (หาได้จากค่าเฉลี่ยการระเหยของลุ่มน้ำ)

I_k = ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กในวันที่ k , ลบ.ม. (หาได้จากวิธีการของ SCS ในภาคผนวก)

O_k = ปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำ ทางประตูน้ำเพื่อส่งน้ำเข้าคลองส่งน้ำให้แก่พื้นที่นา (หาได้จากสมการ water balance) ในวันที่ k , ลบ.ม

SP_k = ปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำโดยผ่านทางระบายน้ำล้น (หาได้จากการเก็บข้อมูลจริงในสนาม) ในวันที่ k , ลบ.ม

8. ปริมาณน้ำไหลออกจากพื้นที่ย่อยที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก

ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าและปล่อยออกจากพื้นที่นาสามารถพิจารณาได้จากการเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่เหมาะสมในแต่ละวัน ดังนี้

ก. ถ้าปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในแปลงนา มีมากกว่า ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในวันที่ k จะไม่มีน้ำส่งเข้าพื้นที่นาแต่จะมีปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากพื้นที่นา ดังนี้

ในกรณี $WDC(n, k-1) > WDS(n, k)$ จะได้ปริมาณการไหลในลำน้ำ

$$DISCH(n, k) = DISCH(n-1, k) + GRF(n, k-1) + QC(n, k) + SPW(n, k) \quad (3.76)$$

โดยที่

$$\begin{aligned}
 \text{DISCH}(n, k) &= \text{ปริมาณน้ำในลำน้ำของพื้นที่ย่อย } n \text{ ในวันที่ } k, \text{ลบ.ม} \\
 \text{DISCH}(n-1, k) &= \text{ปริมาณน้ำในลำน้ำของพื้นที่ย่อย } n-1 \text{ ในวันที่ } k, \text{ลบ.ม} \\
 \text{GRF}(n, k-1) &= \text{ปริมาณน้ำใต้ดินที่ไหลเข้าลำน้ำของพื้นที่ย่อย } n \text{ ในวันที่ } k, \text{ลบ.ม} \\
 \text{QC}(n, k) &= \text{ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากแปลงนาของพื้นที่ย่อย } n \text{ ในวันที่ } k, \text{ลบ.ม} \\
 \text{SPW}(n, k) &= \text{ปริมาณน้ำไหลออกจากอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กโดยผ่านทางระบายน้ำล้นของพื้นที่ย่อย } n \text{ ในวันที่ } k, \text{ลบ.ม}
 \end{aligned}$$

ข. ถ้าปริมาณน้ำเดิมที่เหลืออยู่ในแปลงนา มีน้อยกว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมในวันที่ k จะไม่มีการปล่อยน้ำออกจากพื้นที่นา แต่จะมีการส่งน้ำมาจากอ่างเก็บน้ำขนาดเล็ก ได้สมการดังนี้

ในกรณี $\text{WDS}(n, k) > \text{WDC}(n, k)$ จะได้ค่าต่างๆเพื่อนำไปหาการไหลในลำน้ำได้ดังนี้

$$\text{DISCH}(n, k) = \text{DISCH}(n-1, k) + \text{GRF}(n, k-1) + \text{SPW}(n, k) \quad (3.77)$$

$$\text{QC} = 0 \quad (3.78)$$

โดยที่ $\text{QQL}(n, k) = \text{ปริมาณน้ำที่ไหลมาจากพื้นที่รับน้ำธรรมชาติ, ลบ.ม}$

9. ปริมาณการเก็บกักและการสูญเสียในลำน้ำหน้าฝาย

ปริมาณการเก็บกักในลำน้ำหน้าฝาย ขึ้นอยู่กับความสูงของการเก็บกักหน้าฝาย ความลาดชันของท้องน้ำและความกว้างของลำน้ำ ดังสมการ

$$\text{STORM}(i) = \frac{b(i) * [HW(i)]^2}{2 * So(i)} \quad (3.79)$$

โดยที่ $\text{STORM}(i) = \text{ปริมาณเก็บกักมากที่สุด} \text{ ในลำน้ำหน้าฝายของลุ่มน้ำย่อย } i, \text{ลบ.ม.}$

$b(i) = \text{ความกว้างเฉลี่ยของลำน้ำหน้าฝายของลุ่มน้ำย่อย } i, \text{ม.}$

$HW(i) = \text{ความสูงของฝายของลุ่มน้ำย่อย } i, \text{ม.}$

$SO(i) = \text{ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำหน้าฝายของลุ่มน้ำย่อย } i$

สำหรับการสูญเสียของปริมาณน้ำในลำน้ำหน้าฝาย พิจารณาเฉพาะค่าปริมาณการระเหยโดยไม่คิดการสูญเสียจากการซึมลงในดิน เนื่องจากดินท้องน้ำส่วนมากเป็นตะกอนซึ่งน้ำซึมผ่านได้ยาก

$$EVAP(i, k) = EPAN(k) * b(i) * L(i) / 1000 \quad (3.80)$$

โดยที่

$EVAP(i, k)$ = ปริมาณสูญเสียจากการระเหยในลำน้ำของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม.

$L(i)$ = ความยาวของลำน้ำของกลุ่มน้ำย่อย i , ม.

10. ปริมาณน้ำที่ผันเข้าและปล่อยออกจากพื้นที่นา

ปริมาณน้ำที่ผันเข้าและปล่อยออกจากพื้นที่นาสามารถพิจารณาได้จากการเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำที่เหมาะสมในแต่ละวันดังนี้

ก. ถ้าปริมาณน้ำเดิมที่เหลืออยู่ในแปลงนา มีน้อยกว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมในวันที่ k ผลต่างของปริมาณน้ำทั้งสอง จะเป็นปริมาณน้ำมากที่สุดที่จะผันเข้าที่นา และไม่มีการปล่อยน้ำออกจากพื้นที่นา ดังนี้

ในกรณี $WDC(i, k-1) < WDS(i, k)$ จะได้

$$DQDM(i, k) = WDS(i, k) - WDC(i, k-1) \quad (3.81)$$

$$QDM(i, k) = \frac{DQDM(i, k) * AC(i)}{1000 * DE} \quad (3.82)$$

$$QC(i, k) = 0 \quad (3.83)$$

เมื่อ

$WDC(i, k-1)$ = ความลึกของน้ำบนพื้นที่นาที่ได้รับน้ำผันจากฝายของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ $k-1$, มม.

$WDS(i, k)$ = ความลึกของน้ำที่เหมาะสมของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม.

$DQDM(i, k)$ = ความลึกของน้ำที่ผันเข้าแปลงนามากที่สุดของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม.

$QDM(i, k)$ = ปริมาณน้ำที่ผันเข้าแปลงนาได้มากที่สุดของกลุ่มน้ำย่อย i

ในวันที่ k , ลบ.ม.
 $DE =$ ประสิทธิภาพการผันน้ำเข้าสู่ที่นา (Diversion efficiency) เป็นค่าพารามิเตอร์ซึ่งได้จากการเทียบปรับแบบจำลอง

ข. ถ้าปริมาณน้ำเดิมที่เหลืออยู่ในแปลงนามีมากกว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมในวันที่ k จะไม่มีน้ำผันเข้าพื้นที่นาแต่จะมีปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากพื้นที่นา ดังนี้

ในกรณี $WDC(i, k-1) > WDS(i, k)$ จะได้

$$DQD(i, k) = 0 \quad (3.84)$$

$$DQC(i, k) = WDC(i, k-1) - WDS(i, k) \quad (3.85)$$

$$QC(i, k) = DQC(i, k) * AC(i) / 1000 \quad (3.86)$$

โดยที่

$DQC(i, k) =$ ความลึกของน้ำที่ปล่อยออกจากแปลงนา (Depth of return flow) ของลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม.

$QC(i, k) =$ ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากแปลงนาของลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , ลบ.ม.

$AC(i, k) =$ พื้นที่นาที่ได้รับน้ำผันจากฝาย, ตร.กม.

11. ปริมาณน้ำที่เก็บกักและไหลข้ามฝาย

ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝาย ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เข้าสู่ลำนน้ำกับปริมาณน้ำที่เก็บกักในลำนน้ำหน้าฝาย เราสามารถแยกพิจารณาได้ 2 กรณี ดังนี้

ก. เมื่อปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในแปลงนามีน้อยกว่าปริมาณน้ำที่เหมาะสมจะไม่มีการปล่อยน้ำออกจากพื้นที่นาหรือกรณี $QC(i, k) = 0$ สามารถพิจารณาได้ดังนี้

ก.1 ถ้าปริมาณน้ำที่เข้าสู่ลำนน้ำ กับปริมาณน้ำเดิมที่เก็บกักในลำนน้ำหน้าฝาย เมื่อหักการระเหยแล้วมีมากกว่าหรือเท่ากับปริมาณน้ำมากที่สุดที่ต้องการผันเข้าพื้นที่นา จะกำหนดให้ปริมาณน้ำที่ผันเข้าพื้นที่นา เป็นปริมาณน้ำมากที่สุดที่ต้องการผันเข้าพื้นที่นา ส่วนปริมาณการเก็บกักหน้าฝายและปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝายแบ่งตามเงื่อนไขดังนี้

ก.1.1 ถ้าปริมาณเก็บกักสูงสุดในลำนน้ำมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับผลรวมของปริมาณน้ำที่เข้าสู่ลำนน้ำ กับปริมาณน้ำเดิมที่เก็บกักในลำนน้ำหน้าฝายหัก

ลบด้วยปริมาณน้ำที่ผันเข้าพื้นที่นา จะกำหนดให้ค่าปริมาณเก็บกักในลำน้ำหน้าฝาย เท่ากับ ปริมาณเก็บกักสูงสุดที่มีได้ในลำน้ำหน้าฝาย และให้ปริมาณน้ำที่ไหลข้าม ฝายเท่ากับผลรวมปริมาณน้ำที่เข้าสู่ลำน้ำกับปริมาณน้ำเดิมที่เก็บกักในลำน้ำ (ที่คิด ปริมาณการระเหยแล้ว) หักลบด้วยปริมาณที่เก็บกักในลำน้ำหน้าฝายในปัจจุบัน ซึ่ง แสดงได้ดังนี้

กรณี

$$SP(i-1,k) + GRF(i,k-1) + STOR(i,k-1) - EVAP(i,k) > QDM(i,k)$$

และ

$$SP(i-1,k) + GRF(i,k-1) + STOR(i,k-1) - EVAP(i,k) - QDM(i,k) > STORM(i,k)$$

$$\text{จะได้ } DQD(i,k) = DQDM(i,k)$$

$$STOR(i,k) = STORM(i,k) \quad (3.87)$$

$$SP(i,k) = SP(i-1,k) + GRF(i,k-1) + STOR(i,k-1) - STOR(i,k) - EVAP(i,k) - QDM(i,k) \quad (3.88)$$

โดยที่

$$SP(i-1,k) = \text{ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝายตัวบนของลำน้ำย่อย } i \text{ ในวันที่ } k, \text{ ลบ.ม.}$$

$$GRF(i,k-1) = \text{ปริมาณการไหลของน้ำในดินเข้าสู่ลำน้ำของกลุ่มน้ำย่อย } i \text{ ในวันที่ } k-1, \text{ ลบ.ม.}$$

$$STOR(i,k-1) = \text{ปริมาณเก็บกักในลำน้ำหน้าฝายของกลุ่มน้ำย่อย } i \text{ ในวันที่ } k-1, \text{ ลบ.ม.}$$

$$QDM(i,k) = \text{ปริมาณน้ำที่ผันเข้าแปลงนาได้มากที่สุดของกลุ่มน้ำย่อย } i \text{ ในวันที่ } k, \text{ ลบ.ม.}$$

ก.1.2 ถ้าปริมาณเก็บกักสูงสุดในลำน้ำหน้าฝายมีมากกว่าผลรวมของปริมาณน้ำที่เข้าสู่ลำน้ำกับปริมาณน้ำเดิมที่เก็บกักในลำน้ำหน้าฝาย หักลบด้วยปริมาณน้ำที่ผันเข้าพื้นที่นา จะกำหนดให้ปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝายเท่ากับศูนย์ ซึ่ง แสดงได้ดังนี้

กรณี

$$Sp(i-1,k) + GRF(i,k-1) + STOR(i,k-1) - EVAP(i,k) > QDM(i,k)$$

และ

$$SP(i-1,k) + GRF(i,k-1) + STOR(i,k-1) - QDM(i,k) < STORM(i,k)$$

$$\text{จะได้ } DQD(i,k) = DQDM(i,k) \quad (3.89)$$

$$\begin{aligned} STOR(i,k) &= SP(i-1,k) + GRF(i,k-1) + STOR(i,k-1) \\ &- EVAP(i,k) - QDM(i,k) \end{aligned} \quad (3.90)$$

$$SP(i,k) = 0 \quad (3.91)$$

ก.2 ถ้าปริมาณน้ำที่เข้าสู่ลำน้ำ กับปริมาณน้ำเดิมที่เก็บกักในลำน้ำหน้าฝาย (เมื่อคิดการระเหยแล้ว) มีน้อยกว่าปริมาณน้ำมากที่สุดที่ต้องการผันเข้าพื้นที่นา จะกำหนดให้ปริมาณน้ำที่ผันเข้าพื้นที่นา เท่ากับผลรวมของปริมาณน้ำเข้าสู่ลำน้ำกับปริมาณน้ำเดิมที่เก็บกักในลำน้ำหน้าฝาย (เมื่อคิดการระเหยแล้ว) คูณด้วยประสิทธิภาพของฝาย ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลข้ามฝายกำหนดให้เท่ากับปริมาณน้ำที่เหลือจากผันเข้าพื้นที่นา และปริมาณน้ำที่เก็บกักหน้าฝายให้เท่ากับศูนย์ ดังนี้

กรณี

$$SP(i-1,k) + GRF(i,k-1) + STOR(i,k-1) - EVAP(i,k) < QDM(i,k)$$

จะได้

$$\begin{aligned} DQD(i,k) &= DE \cdot [SP(i-1,k) + GRF(i,k-1) + STOR(i,k-1) - EVAP(i,k)] \\ &\quad / 1000 \cdot AC(i) \end{aligned} \quad (3.92)$$

$$\begin{aligned} STOR(i,k) &= (1-DE) [SP(i-1,k) + GRF(i,k-1) + STOR(i,k-1) \\ &\quad - EVAP(i,k)] / 1000 \cdot AC(i) \end{aligned} \quad (3.93)$$

$$SP(i,k) = 0 \quad (3.94)$$

ข. เมื่อปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในแปลงนา มีมากกว่าหรือเท่ากับปริมาณน้ำที่เหมาะสมจะ ไม่มีการผันน้ำเข้าสู่พื้นที่นา หรือ กรณี $QD(i,k) = 0$ สามารถพิจารณาได้ดังนี้

ข.1 ถ้าผลรวมของปริมาณน้ำเข้าสู่ลำน้ำกับปริมาณน้ำเดิมที่เก็บกักในลำน้ำหน้าฝาย (เมื่อคิดการระเหยแล้ว) มีมากกว่าหรือเท่ากับปริมาณการเก็บ

กักสูงสุดในลำน้ำหน้าฝายจะกำหนดให้ปริมาณการเก็บกักในลำน้ำหน้าฝายเท่ากับการเก็บกักสูงสุดในลำน้ำโดยแสดงเป็นสมการ ได้ดังนี้

$$\text{กรณี } SP(i-1, k) = GRF(i, k-1) + QC(i, k-1) + STOR(i, k-1) - EVAP(i, k) > STORM(i, k)$$

$$\text{จะได้ } STOR(i, k) = STORM(i, k) \quad (3.95)$$

$$SP(i, k) = SP(i-1, k) + GRF(i, k-1) + QC(i, k-1) + STOR(i, k-1) - EVAP(i, k) - STOR(i, k) \quad (3.96)$$

ข.2 ถ้าผลรวมของปริมาณน้ำเข้าสู่ลำน้ำ กับปริมาณน้ำเดิมที่เก็บกักในลำน้ำหน้าฝาย (เมื่อคิดการระเหยแล้ว) มีน้อยกว่าปริมาณการเก็บกักสูงสุดในลำน้ำหน้าฝายจะกำหนดให้ปริมาณน้ำที่ผ่านฝายเป็นศูนย์ และปริมาณน้ำที่เข้าสู่ลำน้ำจะถูกเก็บกักในลำน้ำหน้าฝายทั้งหมดโดยแสดงเป็นสมการ ดังนี้

$$\text{กรณี } SP(i-1, k) + GRF(i, k-1) + QC(i, k-1) + STOR(i, k-1) - EVAP(i, k) < STORM(i, k)$$

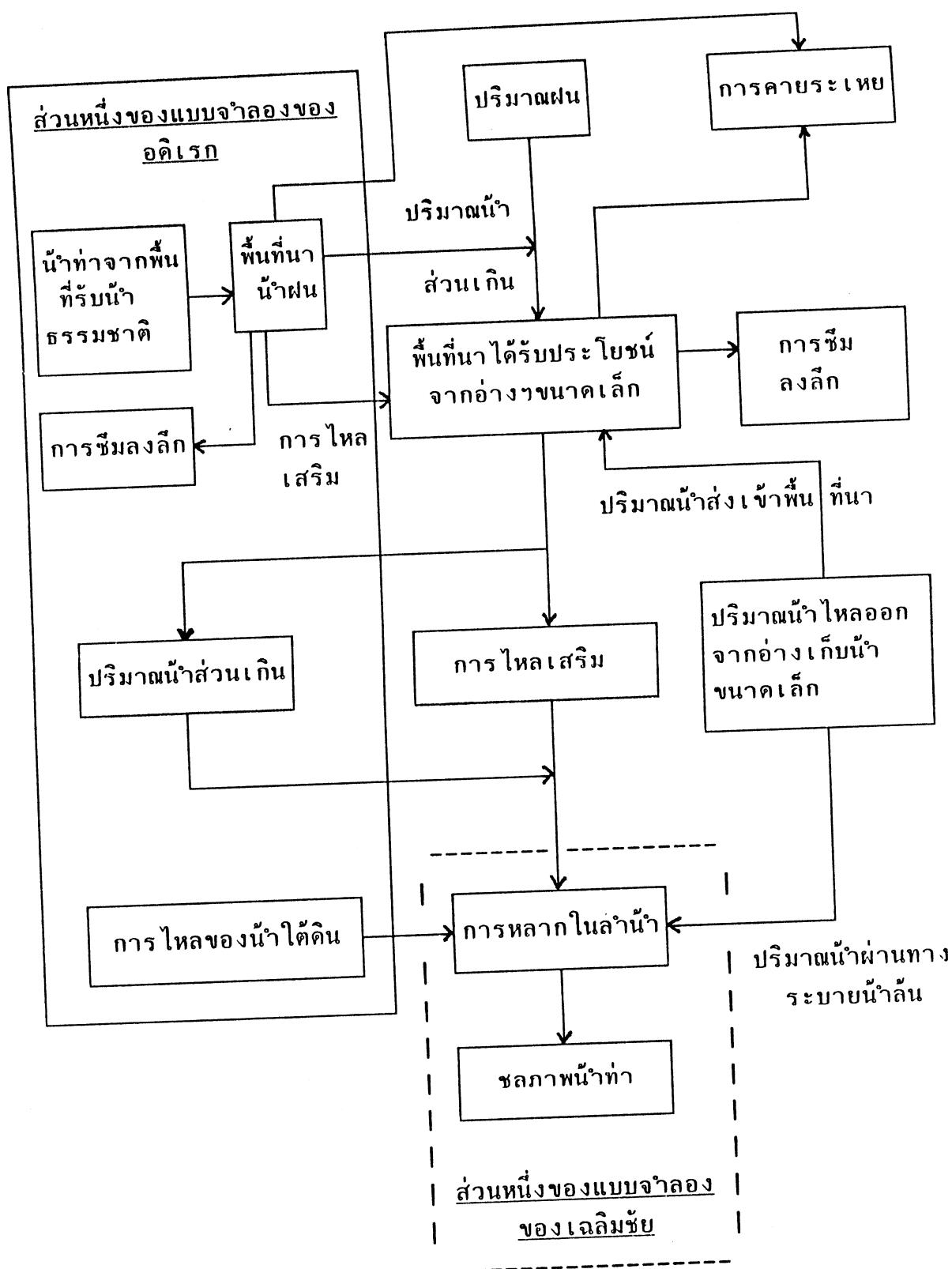
จะได้

$$STOR(i, k) = SP(i-1, k) + GRF(i, k-1) + QC(i, k-1) + STOR(i, k-1) - EVAP(i, k) \quad (3.97)$$

$$SP(i, k) = 0 \quad (3.98)$$

3.4 ลำดับขั้นการคำนวณของแบบจำลองที่พัฒนา

จากโครงสร้างของแบบจำลองที่พัฒนา และขบวนการออกฤทธิ์ที่กล่าวในหัวข้อ 3.1 สามารถสรุปขบวนการออกฤทธิ์ได้ ในตารางที่ 3.2 และ 3.3 สำหรับลำดับขั้นการคำนวณของแบบจำลองที่พัฒนาได้สรุปไว้ในรูปที่ 3.15 และส่วนประกอบของแบบจำลองที่พัฒนานี้ในการศึกษานี้แสดงอยู่ในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงส่วนของแบบจำลองอื่นที่นำมาใช้เป็นพื้นฐานของแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษานี้