

บทที่ 3

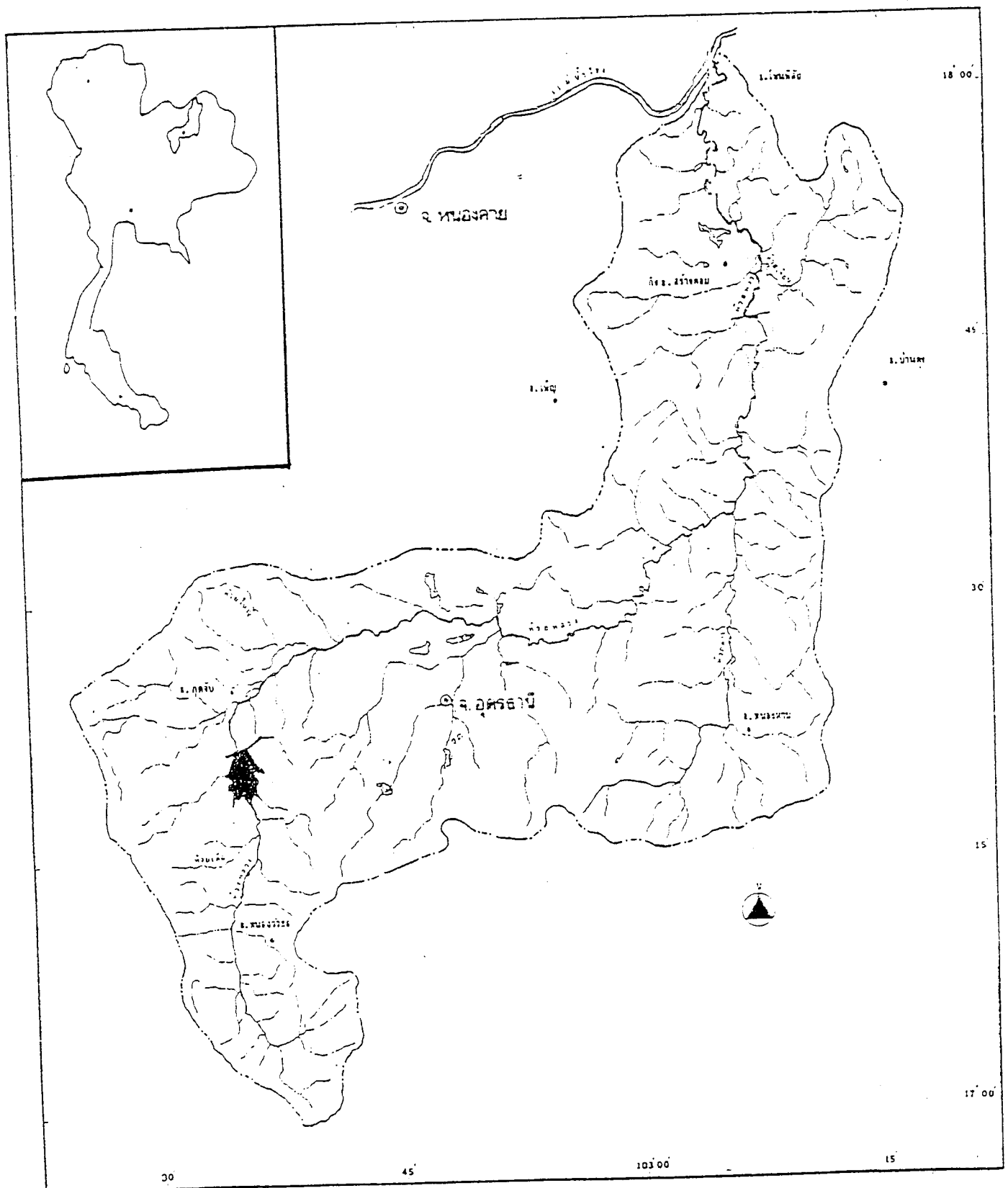
ปัญหา การจำลองปัญหา และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ปัญหา

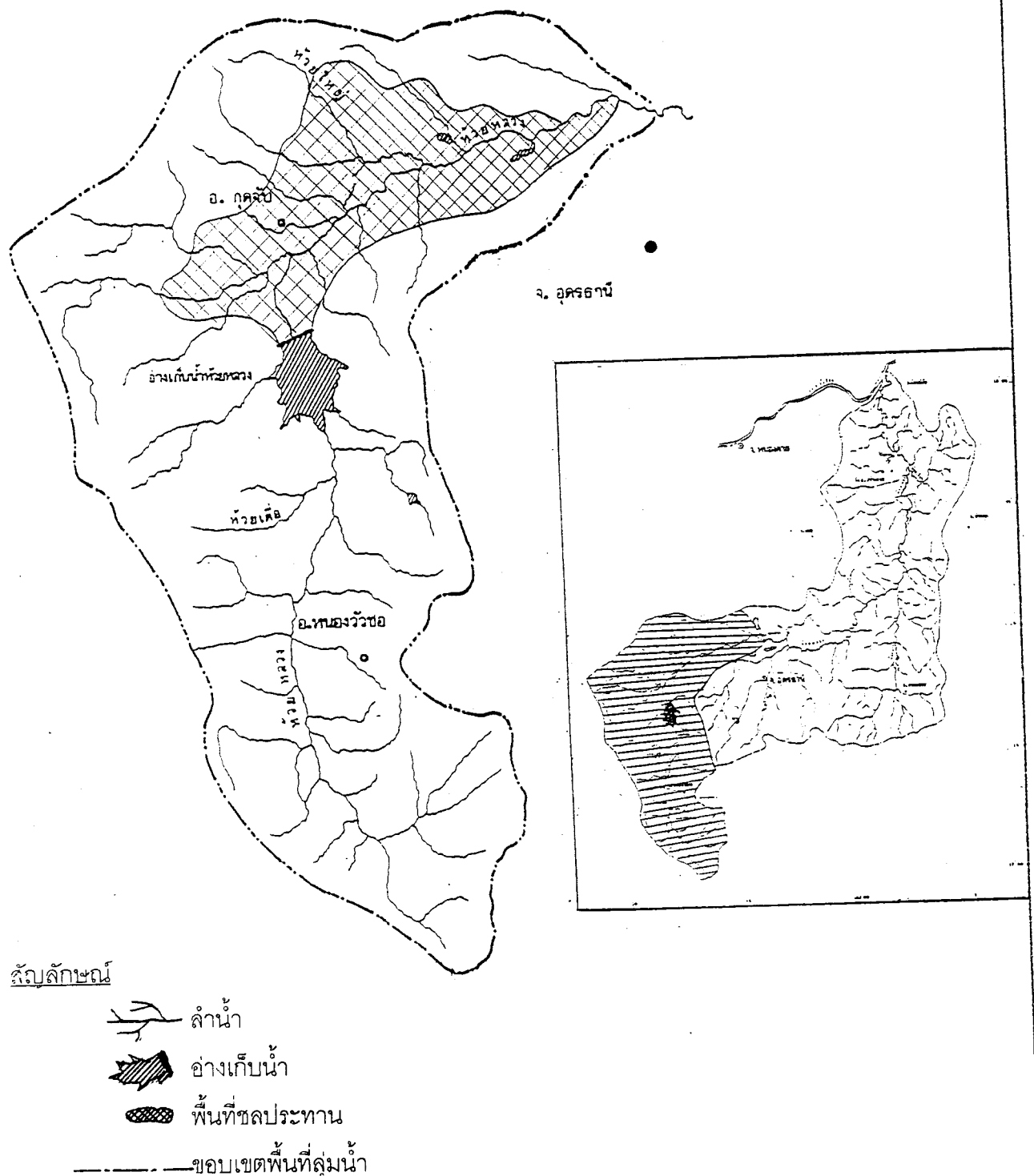
ลำน้ำห้วยหลวงเป็นสาขาสำคัญสาขาหนึ่งของแม่น้ำโขง มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาในบริเวณพื้นที่อำเภอหนองวัวซอ และอำเภอเมือง จังหวัดหนองบัวลำภู ห้วยหลวงตอนบนมีทิศทางการไหลจากทิศใต้ไปสู่ทิศเหนือ หลังจากไหลผ่านอำเภอกุดจับแล้วจะมีทิศทางหันเหไหลไปทางทิศตะวันออก และเมื่อไหลผ่านอำเภอเพ็ญและบ้านว่านใหญ่ ก็จะมีทิศทางหันเหไหลไปทางทิศเหนือลัดเลาะขึ้นไปในระหว่างเขตรอยต่อระหว่างอำเภอสร้างคอม กับอำเภอทุ่งฝนและอำเภอบ้านดุง จังหวัดอุดรธานี แล้วไหลลงสู่แม่น้ำโขงที่อำเภอโพนพิสัย จังหวัดหนองคาย

ลุ่มน้ำห้วยหลวงมีพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 4,169 ตร.กม. อาจแบ่งออกได้เป็นพื้นที่ลุ่มน้ำตอนบนและตอนล่าง พื้นที่ลุ่มน้ำตอนบนซึ่งใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีพื้นที่ลุ่มน้ำ 1,298 ตร.กม. และมีการสร้างอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงเพื่อกักเก็บน้ำ ที่ตั้งและลักษณะของลุ่มน้ำ แสดงในรูปที่ 3.1

อ่างเก็บน้ำห้วยหลวงมีพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 666 ตร.กม. ส่งน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานที่อยู่ด้านท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำ จำนวน 87,000 ไร่ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 นอกจากนี้อ่างเก็บน้ำห้วยหลวงยังส่งน้ำให้กับการประปา เพื่อใช้ในการผลิตน้ำประปาด้วย ส่วนน้ำเพื่ออุตสาหกรรมในลุ่มน้ำห้วยหลวงที่ทำการศึกษา ปัจจุบันยังมีแต่โรงงานแป้งมันเพียง 1 โรงงานเท่านั้น ซึ่งใช้น้ำไม่มากนัก ปัจจุบันการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงไม่มีการกำหนดนโยบายการใช้น้ำที่เหมาะสม กล่าวคือลักษณะการแจกจ่ายน้ำจะขึ้นอยู่กับารร้องขอตามความต้องการของผู้ใช้น้ำด้านต่างๆ แม้ปัจจุบันนี้ปัญหาเรื่องการแข่งขันน้ำอาจจะยังไม่เกิดขึ้น แต่ในอนาคตหากไม่มีการกำหนดนโยบายการใช้น้ำที่เหมาะสม คาดว่าจะเกิดปัญหาการแข่งขันน้ำอย่างรุนแรง



รูปที่ 3.1 ที่ตั้งพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวง และลำน้ำสาขาของลำน้ำห้วยหลวง



รูปที่ 3.2 ลุ่มน้ำห้วยหลวงตอนบนที่ทำการศึกษา

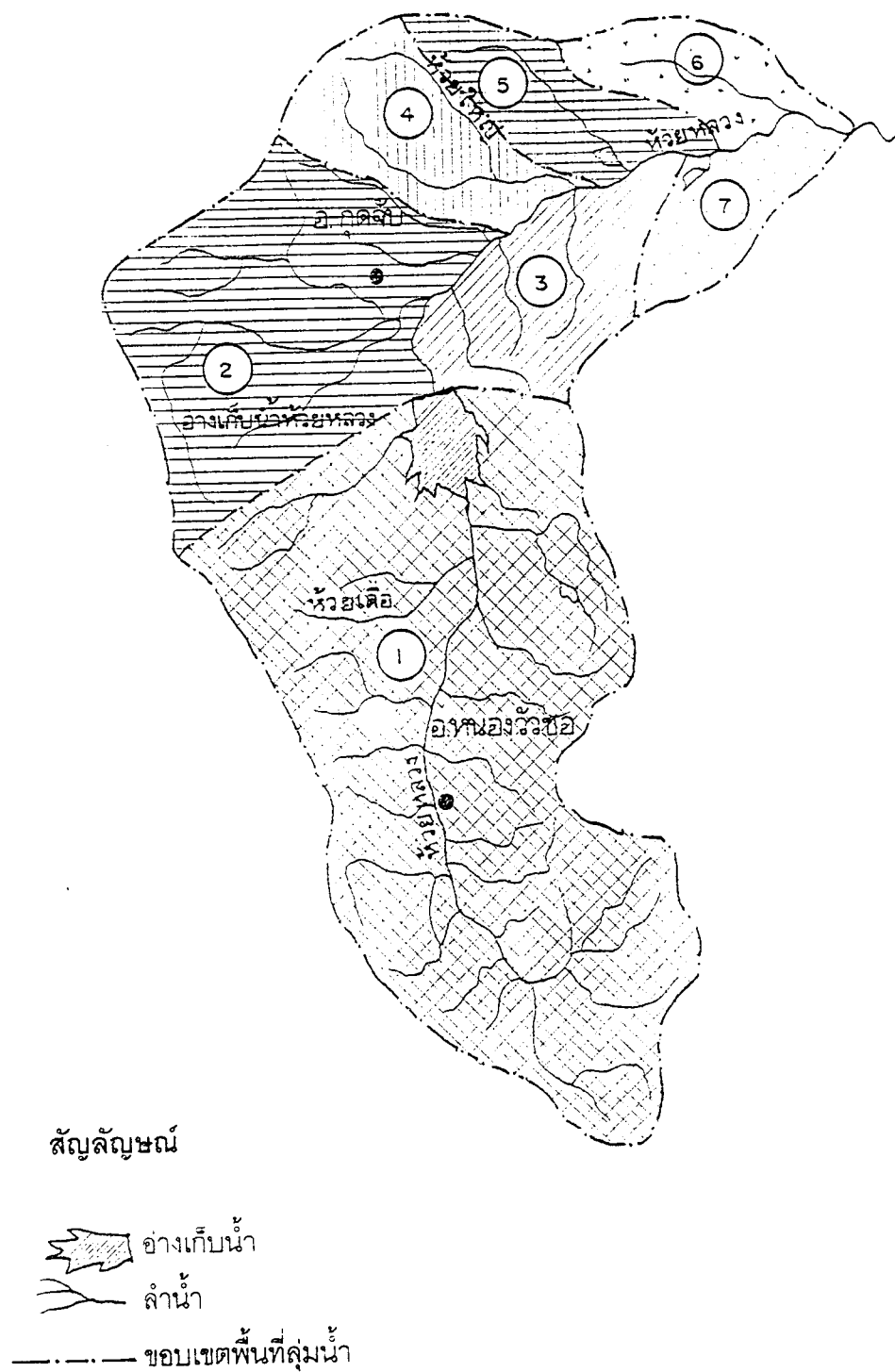
3.2 การจำลองปัญหา

การจะกำหนดนโยบายการใช้น้ำที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง จำเป็นจะต้องทราบถึงปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำ ปริมาณน้ำการไหลด้านข้าง (Side flow) ที่ไหลลงสู่ลำน้ำห้วยหลวงด้านท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง และปริมาณการใช้น้ำด้านต่างๆ

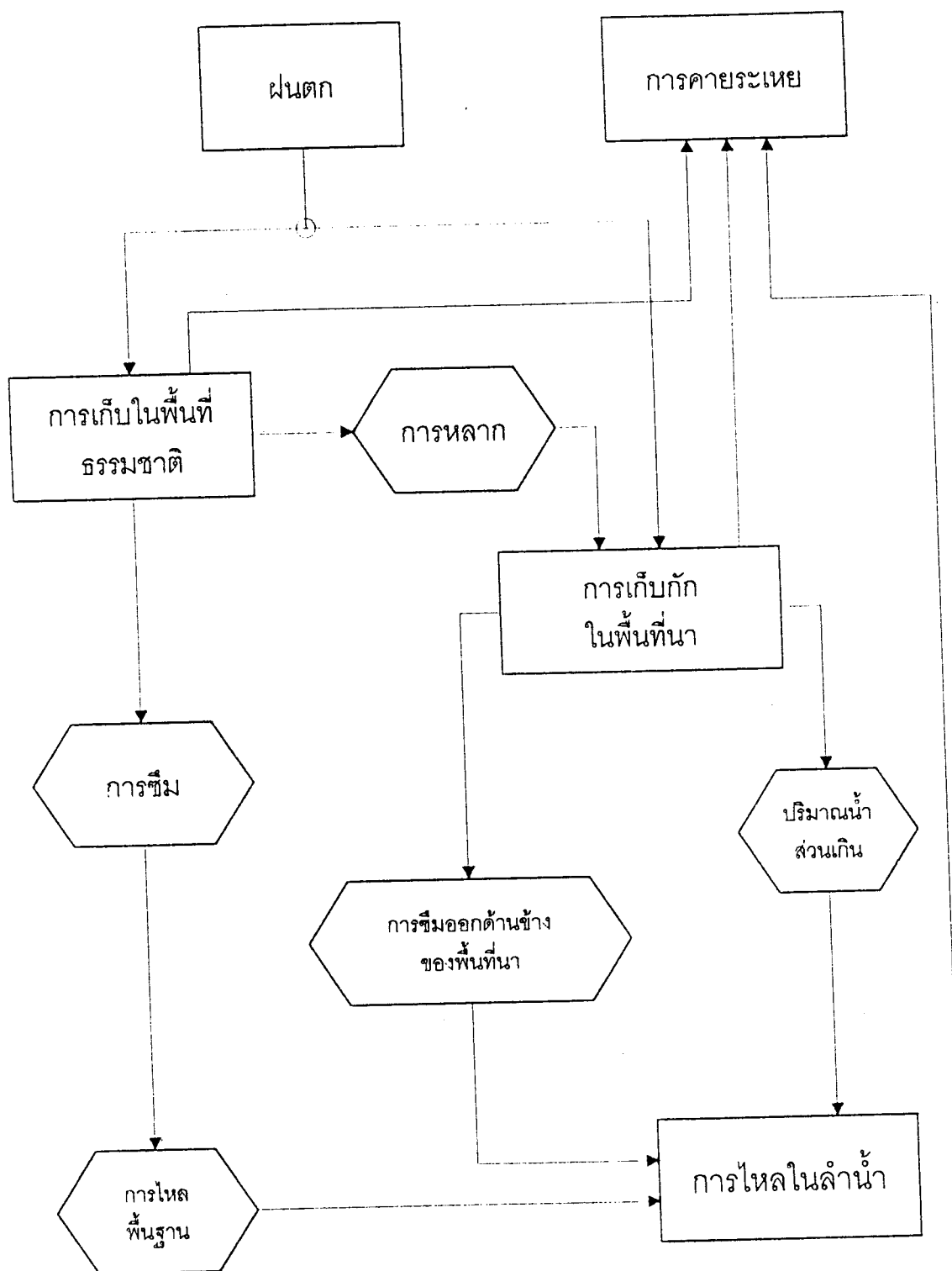
พื้นที่ลุ่มน้ำห้วยหลวงสามารถแบ่งออกเป็นพื้นที่ส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 พื้นที่ที่ 1 เป็นพื้นที่รับน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง เป็นต้นน้ำมีพื้นที่ส่วนมากเป็นป่า พื้นที่ไร่ และมีพื้นที่นาไม่มาก พบว่าไม่มีการติดตั้งสถานีวัดปริมาณน้ำท่า มีแต่สถานีวัดปริมาณน้ำฝน ดังนั้นการหาปริมาณน้ำท่าจึงต้องเลือกแบบจำลอง ที่ใช้วิธีการที่ใช้ข้อมูลน้ำฝนเพื่อหาน้ำท่า แบบจำลอง NAM ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering, Technical University of Denmark เป็นแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นจึงเลือกใช้แบบจำลองนี้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำ รายละเอียดต่างๆ ของแบบจำลองจะกล่าวถึงอย่างละเอียด ในหัวข้อที่ 3.3.1.1

ส่วนพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย 2 ถึง 7 เป็นบริเวณพื้นที่ชลประทานของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่นา ปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากพื้นที่ส่วนนี้จะเป็นปริมาณการไหลด้านข้าง (Side flow) ลงสู่ลำน้ำห้วยหลวงด้านท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำ เนื่องจากพื้นที่ส่วนนี้มีลักษณะคล้ายกับแบบจำลอง HYMOST ที่พัฒนา โดยอดิเรก วัฒนาอุดมชัย (พ.ศ. 2533) ส่วนที่แตกต่างไปจากแบบจำลองนี้บ้างคือ ในลำน้ำห้วยหลวงที่ไหลผ่านพื้นที่บริเวณนี้ ไม่มีการสร้างฝายเก็บกักน้ำ ดังนั้นจึงไม่มีการชักน้ำจากหน้าฝายมาให้กับพื้นที่นา พื้นที่นาจะใช้น้ำที่ผันมาจากอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง ดังนั้นการหาปริมาณการไหลด้านข้าง (Side flow) นี้ จะคำนวณหาโดยใช้แบบจำลอง HYMOST ที่มีการปรับปรุงบางส่วนให้เหมาะสมกับพื้นที่บริเวณนี้ กล่าวคือในแบบจำลองที่ปรับปรุงขึ้นใหม่นี้ จะไม่มีการจำลองสภาพการมีฝายในลำน้ำ ดังรูปที่ 3.4 แสดงโครงสร้างของแบบจำลองที่ปรับปรุงขึ้นใหม่

เมื่อสามารถทราบถึงปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำห้วยหลวง และปริมาณการไหลด้านข้างที่ไหลลงสู่ลำน้ำห้วยหลวงด้านท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงแล้ว ในการกำหนดนโยบายการใช้น้ำ จำเป็นจะต้องทราบถึงปริมาณการใช้น้ำด้านต่างๆ ซึ่งรายละเอียดการคำนวณจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3.3.3 ต่อไป



รูปที่ 3.3 การแบ่งลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา



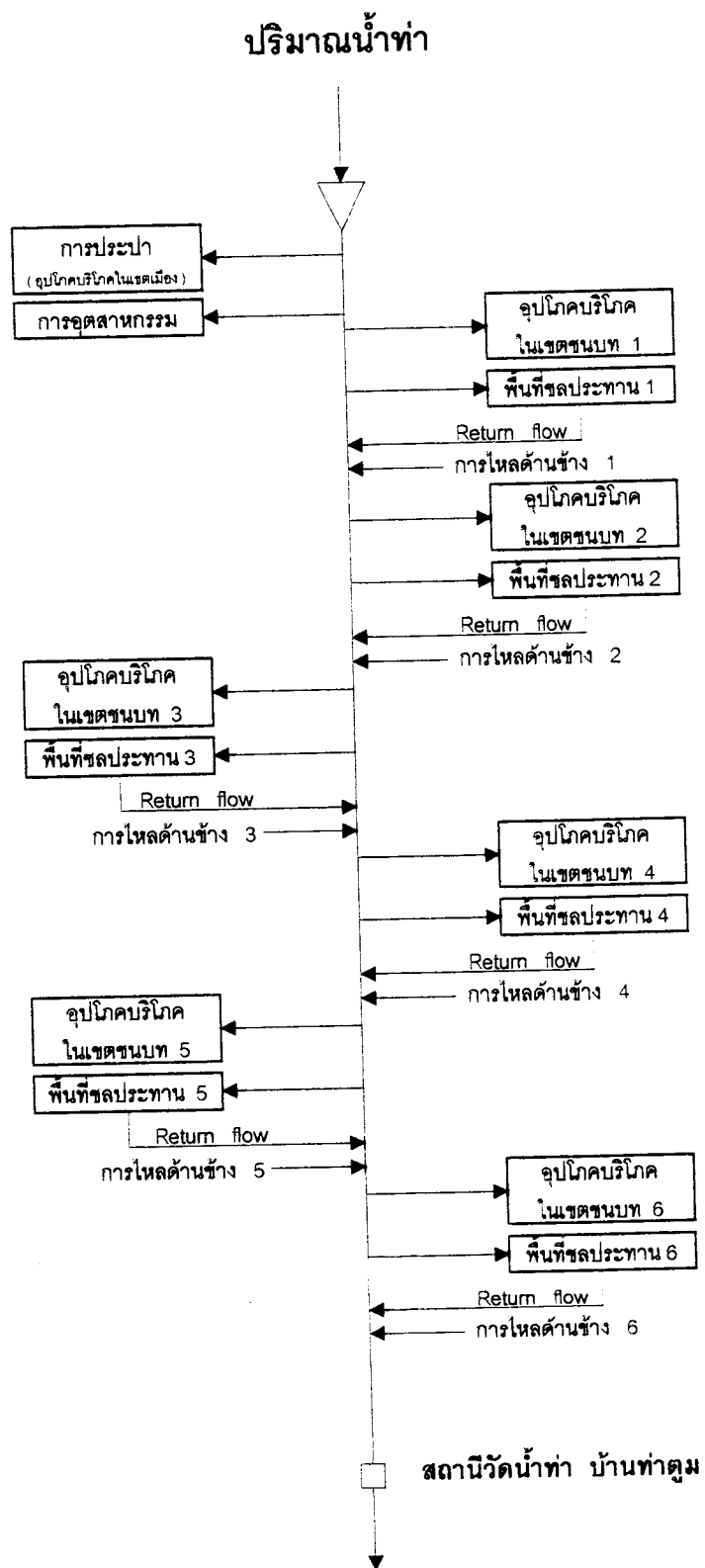
รูปที่ 3.4 โครงสร้างของแบบจำลองที่พัฒนาสำหรับคำนวณหาปริมาณการไหลด้านข้าง

เพื่อให้ได้นโยบายการใช้น้ำที่เหมาะสม จะต้องทำการศึกษาสภาพต่างๆของพื้นที่ศึกษาได้แก่ การต่อเชื่อมของลำน้ำ จุดผันน้ำ เป็นต้น เพื่อกำหนดเป็นแผนภูมิ (Schematic diagram) ซึ่งจะนำไปใช้ในแบบจำลองการวิเคราะห์ระบบการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งมีน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง และอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงผันน้ำให้กับพื้นที่ชลประทานในลุ่มน้ำย่อย 2-7 ให้กับการประปา และให้กับการอุตสาหกรรม ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกแบบจำลอง HEC - 3 ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย US Army Corps of Engineers เป็นแบบจำลองที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการศึกษาศึกษา และให้ผลการวิเคราะห์ค่อนข้างแม่นยำ รายละเอียดต่างๆ ของแบบจำลองนี้ จะกล่าวถึงโดยละเอียดใน หัวข้อที่ 3.3.4 โครงสร้างของภาพรวม ของแบบจำลองในการศึกษา แสดงในรูปที่ 3.6

การศึกษานี้ได้กำหนดแผนการเพื่อหานโยบายการใช้น้ำที่เหมาะสมทั้งระยะสั้น ระยะกลาง และระยะยาว กล่าวคือ วางแผนระยะสั้นเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะหน้า และวางแผนระยะกลาง และระยะยาว เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาการแย่งใช้น้ำในอนาคต แผนระยะสั้น ระยะกลางและระยะยาวดังกล่าวมีช่วงเวลาดังนี้

- แผนระยะสั้น พ.ศ. 2541 - 2543
- แผนระยะกลาง พ.ศ. 2544 - 2550
- แผนระยะยาว พ.ศ. 2551 - 2560

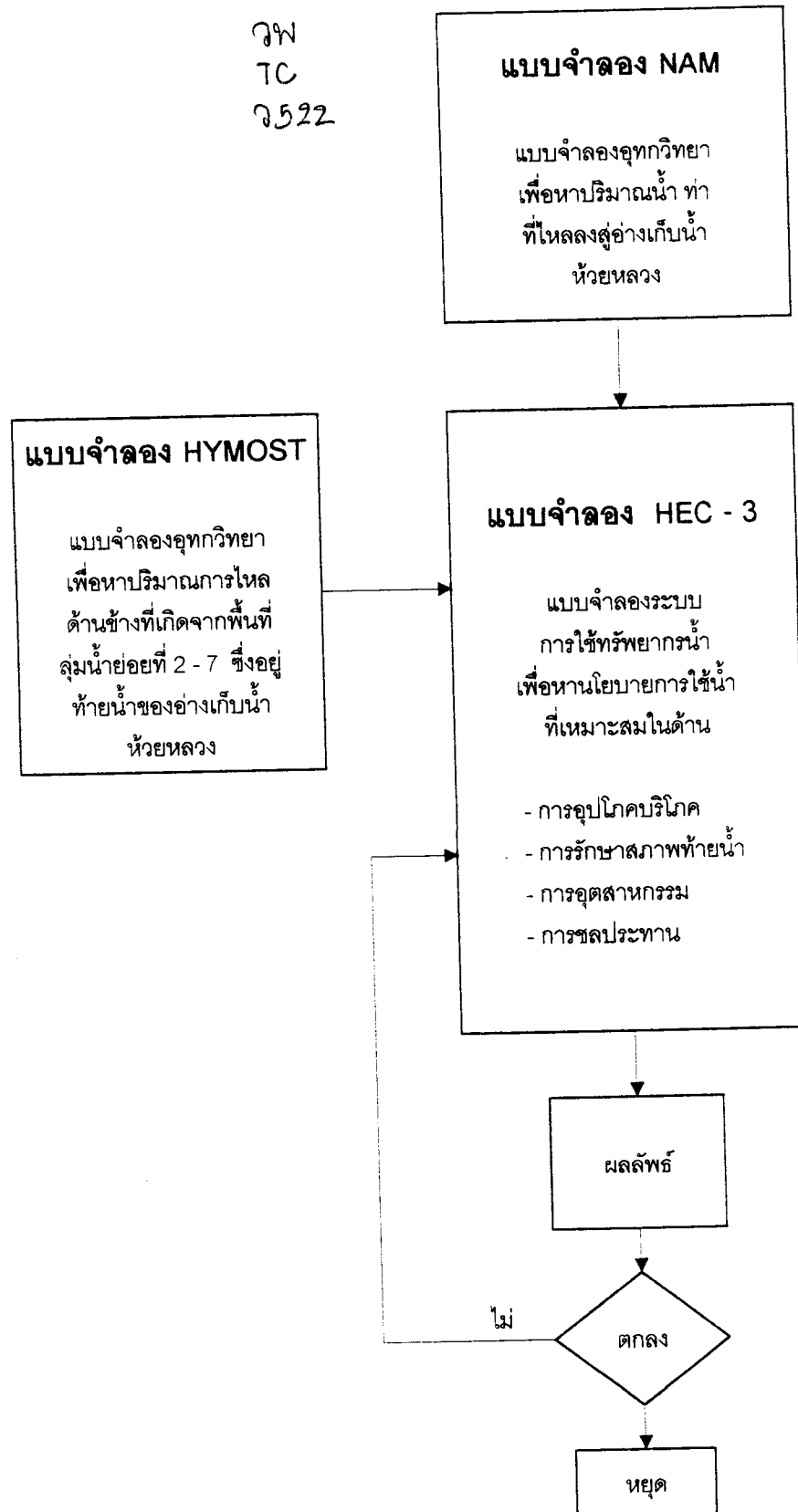
เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ระบบใช้น้ำมีความผิดพลาดน้อย จำเป็นจะต้องทำการจำลองสภาพการวิเคราะห์ให้มีช่วงเวลายาวมากพอ (Long Term) ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการจำลองสภาพการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลทั้งหมด 30 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508-2537



รูปที่ 3.5 แผนภูมิการวิเคราะห์ระบบการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง



วพ
TC
จ522



รูปที่ 3.6 โครงสร้างภาพรวมของแบบจำลองในการศึกษา

3.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.3.1 ปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำ

การคำนวณหาปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำ โดยใช้แบบจำลอง NAM มีรายละเอียดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.3.1.1 โครงสร้างของแบบจำลอง NAM

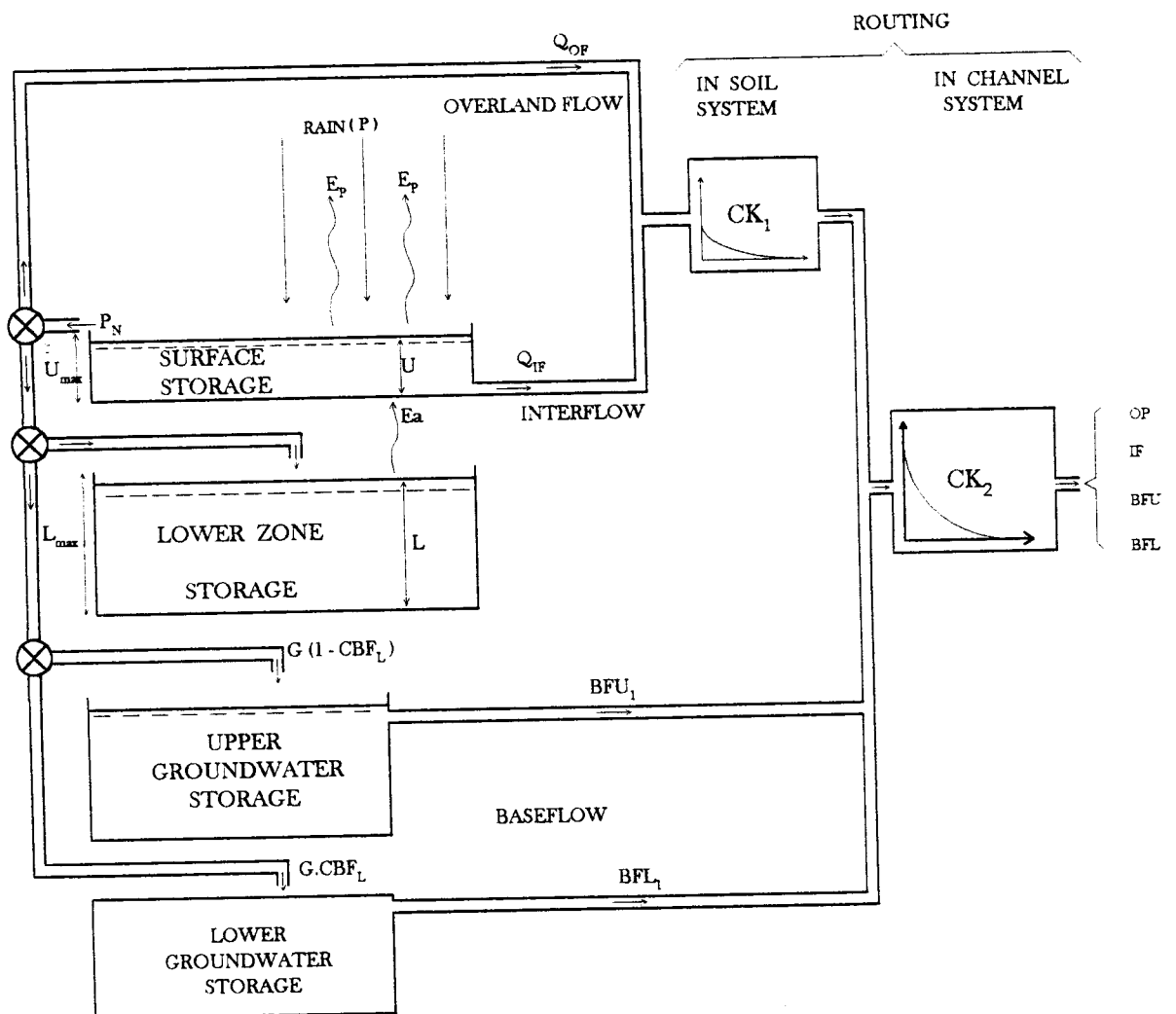
แบบจำลอง NAM เป็นแบบจำลองการหาปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝน โดยพิจารณาให้ชั้นดินเป็นถังเก็บกักน้ำ 4 ชั้น ซึ่งแทนองค์ประกอบทางกายภาพของกลุ่มน้ำ

- ถังเก็บกักน้ำผิวดิน
- ถังเก็บกักน้ำชั้นล่าง
- ถังเก็บกักน้ำใต้ดินตอนบน
- ถังเก็บกักน้ำใต้ดินตอนล่าง

ปริมาณน้ำที่เก็บกักในถังเก็บกักน้ำผิวดิน (U) จะลดน้อยลงเรื่อยๆ เนื่องจากการระเหยและการไหลใต้ดินในแนวราบ (Interflow) ปริมาณน้ำส่วนที่เกินความจุสูงสุดของถังเก็บกักน้ำผิวดิน (P_N) จะไหลรวมกันเป็นปริมาณน้ำท่าผิวดิน (Overland Flow) ส่วนที่เหลือจะซึมลงไปถังเก็บกักน้ำชั้นล่างและถังเก็บกักน้ำใต้ดิน ถ้า U มากกว่าหรือเท่ากับ U_{max} แล้วปริมาณฝนสุทธิที่เกิดขึ้นก่อนจะเกิดปริมาณน้ำส่วนเกินเป็นการไหลบนผิวดินนั้นสามารถนำไปใช้เป็นค่า U_{max} ได้

ปริมาณน้ำที่เก็บกักในถังเก็บกักน้ำชั้นล่าง (L) ขึ้นอยู่กับค่าการสูญเสียจากการคายน้ำของพืช ความชื้นในดินของถังเก็บกักน้ำชั้นล่าง จะควบคุมปริมาณน้ำที่ซึมลงไปถังเก็บกักน้ำใต้ดิน ถังเก็บกักน้ำใต้ดิน (Ground water Recharge) แบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ ถังเก็บกักน้ำใต้ดินตอนบนและตอนล่าง (Upper and Lower Groundwater Storage) ซึ่งมีค่าคงที่ของเวลาแตกต่างกัน ถังเก็บกักน้ำใต้ดินเปรียบเสมือนอ่างเก็บน้ำซึ่งระบายน้ำสู่ลำน้ำในลักษณะของ Baseflow อย่างต่อเนื่อง

Q_{OF} และ Q_{IF} คือ ปริมาณน้ำท่าผิวดิน (Overland Flow) และปริมาณการไหลใต้ผิวดินในแนวราบ (Inter flow) จะ Routing ผ่านอ่างเก็บน้ำ (1) และรวมกับส่วนประกอบอื่นๆของลำน้ำก่อนที่จะ Routing ผ่านอ่างเก็บน้ำ(2) ซึ่งจะได้ Hydrograph ของลำน้ำนั้นในที่สุด โครงสร้างของแบบจำลอง แสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของแบบจำลอง NAM

3.3.1.2 พารามิเตอร์ของแบบจำลอง

พารามิเตอร์ของแบบจำลองมีทั้งหมด 12 ค่า ได้แก่

1) U_{MAX} (มม.) คือ ปริมาณน้ำสูงสุดในชั้นเก็บกักผิวดิน (Surface Storage) เป็นความชื้นบนผิวดินที่ถูกพืชดูดซึมไว้ รวมถึงปริมาณน้ำที่ถูกกักขังไว้บนผิวดิน (Depression) และส่วนผิวดินชั้นบนสุด ของพื้นที่เตรียมแปลงเพาะปลูก

2) L_{MAX} (มม.) คือ ปริมาณน้ำสูงสุดในถังเก็บกักน้ำชั้นล่าง (Lower Zone Storage) เป็นความชื้นในเขตรากพืชหรือชั้นดินที่อยู่ถัดไปซึ่งพืชดูดน้ำไปใช้ได้ ตามทฤษฎี L_{MAX} ได้จากผลคูณของผลต่างระหว่าง Field Capacity กับจุดเหี่ยวเฉาของพืช และความลึกประสิทธิภาพของราก (Effective Root Depth) แต่ L_{MAX} เป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มน้ำซึ่งมีดินหลายชนิดในเขตรากพืช L_{MAX} จึงไม่สามารถกำหนดแน่นอนแต่บอกค่าเป็นช่วงได้ ถ้าการคายระเหยของพืชเกิดขึ้นสูงกว่าความชื้นในถังเก็บกักทั้งสอง จะกำหนด U_{MAX} และ L_{MAX} ใหม่เพื่อให้น้ำนั้นไม่มีลักษณะพิเศษโดยทั่วไปจะกำหนดให้ $U_{MAX} = 0.1 L_{MAX}$

3) CQ_{OF} ($hour^{-1}$) คือสัมประสิทธิ์ของการไหลบนผิวดิน มีค่าระหว่าง 0 - 1 ซึ่งมีความสำคัญในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนส่วนเกิน ปริมาณน้ำที่ไหลบนผิวดิน และปริมาณน้ำที่ซึมลงไปในดิน ถ้า CQ_{OF} ต่ำแสดงว่าพื้นที่ลุ่มน้ำค่อนข้างแบนราบเป็นดินทรายหยาบ และมีโซนที่ไม่อิ่มน้ำเป็นส่วนมาก ถ้าค่า CQ_{OF} สูงแสดงว่าดินในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้นมีความซึมผ่านได้ของน้ำต่ำ แต่ส่วนมากอยู่ในช่วง 0.01-0.90

4) CQ_{IF} ($hour^{-1}$) คือสัมประสิทธิ์ของการไหลใต้ผิวดิน ในแนวราบของปริมาณ U ที่ระบายเป็นการไหลใต้ผิวดินในแนวราบทุกๆ ชั่วโมง มีค่าระหว่าง 0 - 1 เป็น Routing Parameter ที่สำคัญ เพราะ CQ_{IF} มีค่ามากกว่าสัมประสิทธิ์ เกี่ยวกับเวลา CK_1 และ CK_2 มาก การอธิบายลักษณะกายภาพของการไหลใต้ผิวดินในแนวราบทำได้ยาก ขึ้นกับลักษณะลุ่มน้ำ โดยทั่วไป มีค่าระหว่าง 0.001-0.002 $hour^{-1}$

5) CL_{OF} ค่าเริ่มต้นของการไหลบนผิวดิน

6) CL_{IF} ค่าเริ่มต้นการไหลในชั้นดิน

7) CL_G ค่าเริ่มต้นการไหลของน้ำใต้ดิน พารามิเตอร์ทั้งสาม (5 - 7) มีค่าระหว่าง

0 - 1 ไม่มีหน่วย ซึ่งสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ในดิน (L / L_{MAX}) จะสะท้อนให้เห็นถึงองค์ประกอบของการเปลี่ยนแปลงลักษณะเฉพาะของกลุ่มน้ำ สำหรับลุ่มน้ำขนาดเล็กและเป็น Homogeneous จะมีค่าสูงกว่าพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดใหญ่และเป็น Heterogeneous โดยทั่วไปค่าจะสูงในเขตกึ่งแห้งแล้ง

(Semi-Arid) สำหรับพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาในฤดูฝนและฤดูแล้ง threshold values จะกำหนดเวลาเริ่มต้นของการไหลในช่วงเวลาที่ความชื้นในเขตรากพืชอิ่มตัว ค่า Threshold Values

ดังกล่าวไม่มีความสำคัญในช่วงฤดูฝนเลยเมื่อ $L = L_{\max}$ ถ้า $L / L_{\max} < CL_{IF}$, CL_{OF} หรือ CL_G จะไม่เกิดค่า Interflow, Overland Flow และ Recharge

8) CBFL สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำใต้ดินไปยังความจุชั้นล่าง มีค่าระหว่าง 0 - 1 แสดงให้ทราบว่า Recharge สู้งัดเก็บกักน้ำใต้ดิน 2 ชั้นคือ ถังเก็บกักน้ำใต้ดินตอนบนและถังเก็บกักน้ำใต้ดินตอนล่าง หรือเปรียบเป็นอ่างเก็บน้ำ 2 แห่ง ความแตกต่างระหว่างฟังก์ชันของอ่างเก็บน้ำทั้งสอง คือ ค่าคงที่ของเวลาที่ใช้ในการ Routing Recharge ให้เป็น Baseflow ในกรณีที่ Baseflow มีความสำคัญน้อยหรืออยู่ในรูปของความสัมพันธ์ exponential ถดถอย $CBFL = 0$ ซึ่ง Recharge จะไหลไปยังถังเก็บกักน้ำใต้ดินตอนบนอย่างเดียว

9) CK_1 พารามิเตอร์ของการเคลื่อนตัวของน้ำชั้นผิวดินและในชั้นดิน

10) CK_2 พารามิเตอร์ของการเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำ

11) $CKBFU$ พารามิเตอร์ของการเคลื่อนตัวของ Base Flow จากชั้นเก็บกักน้ำใต้ดินชั้นบน

12) $CKBFL$ พารามิเตอร์ของการเคลื่อนตัวของ Base Flow จากชั้นเก็บกักน้ำใต้ดินชั้นล่าง

พารามิเตอร์ที่ 9 ถึง 12 เป็นค่าคงที่ของเวลาหน่วยเป็นชั่วโมง สำหรับอ่างเก็บน้ำใต้ดินดังกล่าว ค่าคงที่ของเวลามีความสำคัญซึ่งประเมินได้จากการศึกษา Hydrograph Recession สามารถใช้ช่วงการสอบเทียบระยะสั้นๆ เพียง 2 -3 ปี ได้ ถ้าอ่างเก็บน้ำใต้ดินไม่ตอบสนองช้านัก ระยะเวลาสอบเทียบอย่างน้อยต้องมากกว่าค่าคงที่ของเวลาที่มากที่สุด 2 เท่า

3.3.1.3 การเทียบปรับ (Calibration) แบบจำลอง

แบบจำลอง จะแทนลักษณะเฉพาะของกลุ่มน้ำด้วยพารามิเตอร์ 12 ตัว ซึ่งต้องเทียบปรับแบบจำลองโดยการ Trial and Errors เพื่อให้สามารถจำลอง Hydrograph ของน้ำท่านั้นใกล้เคียงกับที่วัดไว้ที่สถานีวัดน้ำ

ข้อมูลที่ใช้ในการเทียบปรับแบบจำลอง คือ

1. ปริมาณฝนรายวันเฉลี่ยโดยวิธี Thiessen Polygon มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร
2. ปริมาณการคายระเหยใช้ค่ารายวันซึ่งเฉลี่ยจากปริมาณรายเดือน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
3. ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีที่อยู่ใกล้เคียง (ลบ.ม. / วินาที)

ผลลัพธ์ที่ได้จากการเทียบปรับแบบจำลอง คือ

1. ค่าปริมาณน้ำท่าที่จำลองขึ้น (ลบ.ม./วินาที)
2. ค่าพารามิเตอร์ ต่าง ๆ ซึ่งทำให้ได้ค่าประมาณน้ำท่า ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท่าที่วัดได้

หลักเกณฑ์และวิธีการที่ใช้ในการเทียบปรับแบบจำลอง

หลักเกณฑ์ที่ใช้คือจะพิจารณาความสอดคล้องของข้อมูลที่วัดได้กับข้อมูลที่จำลองได้ทั้งในแง่ของปริมาณและเวลาในการเกิด และสามารถจำลองปริมาณน้ำท่าได้ใกล้เคียงทั้งในช่วงน้ำน้อยและในช่วงน้ำหลาก อีกทั้งพิจารณาความใกล้เคียงของปริมาณน้ำท่ารวมทั้งปีด้วย วิธีการเทียบปรับแบบจำลองนั้น ต้องทราบความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงผลและความเกี่ยวข้องเนื่องจากการปรับค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง

พารามิเตอร์	ผลที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์	ความเกี่ยวข้องเนื่องจากการปรับค่าพารามิเตอร์เพิ่มขึ้น
U_{max} ค่าความจุผิวดินสูงสุด	การไหลบนผิวดิน การคายน้ำของพืช การซึมลงในชั้นดิน การไหลในชั้นดิน	การไหลบนดินลดลง (ในช่วงเริ่มฤดูฝน) การคายน้ำของพืชสูงขึ้น การซึมลงในดินลดลง การไหลในชั้นดินเพิ่มมากขึ้น
L_{max} ค่าความจุในชั้นดินสูงสุด (ชั้นรากพืช)	การไหลบนผิวดิน การคายน้ำของพืช การซึมลงในชั้นดิน base flow	การไหลบนผิวดินลดลง การคายน้ำของพืชสูงขึ้น การซึมลงในดินเพิ่มขึ้น base flow ลดลง
$C_{Q_{of}}$ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลบนผิวดิน	ปริมาณการไหลบนผิวดิน การซึมลงในชั้นดิน	การไหลบนผิวดินเพิ่มขึ้นตามค่าสัมประสิทธิ์ การซึมลงในดินลดลง
$C_{Q_{if}}$ ค่าสัมประสิทธิ์การไหลในชั้นดิน	ปริมาณการไหลในชั้นดิน การไหลบนผิวดิน	การไหลในชั้นดินเพิ่มขึ้นตามค่าสัมประสิทธิ์ การไหลบนผิวดินลดลง
$C_{L_{of}}$ ค่าเริ่มต้นของการไหลบนผิวดิน	การไหลบนผิวดิน การซึมลงในชั้นดิน	ระยะเวลาในการเริ่มต้นในการไหลหลังจากเริ่มฤดูฝนนานขึ้น การซึมลงในชั้นดินเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3.1 แสดงผลและความเกี่ยวข้องเนื่องจากการปรับค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง (ต่อ)

พารามิเตอร์	ผลที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์	ความเกี่ยวข้องเนื่องจากการปรับค่าพารามิเตอร์เพิ่มขึ้น
$C L_1$ ค่าเริ่มต้นการไหลในชั้นดิน	การไหลในชั้นดิน การไหลบนผิวดิน การไหลบนผิวดิน	ระยะเวลาในการเริ่มต้นในการไหลในชั้นดินหลังจากเริ่มฤดูฝนนานขึ้น การไหลบนผิวดินเพิ่มสูงขึ้น การซึมลงในชั้นดินเพิ่มขึ้น
$C L_2$ ค่าเริ่มต้นการไหลของน้ำใต้ดิน	การไหลของน้ำใต้ดิน การซึมลงในชั้นดิน การคายน้ำของพืช	ระยะเวลาในการเริ่มต้นการไหลของน้ำใต้ดินหลังจากเริ่มฤดูฝนนานขึ้น ความจุในชั้นดินเพิ่มขึ้นเร็ว การคายน้ำของพืชสูงขึ้น
CBFL สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำใต้ดินไปยังความจุชั้นล่าง	การไหลของ base flow ถ้า CBFL=0 จะมีชั้นเก็บกักของ base flow เฉพาะชั้นบน	
$C K_1$ พารามิเตอร์ของการเคลื่อนตัวของน้ำชั้นผิวดินและในชั้นดิน	ลักษณะรูปร่างของการไหลในลำน้ำ	ช่วงเวลาการไหลนานและค่าอัตราการไหลสูงสุดของไฮโดรกราฟต่ำ
$C K_2$ พารามิเตอร์ของการเคลื่อนตัวของน้ำในลำน้ำ	ลักษณะรูปร่างของการไหลเช่นเดียวกับค่า CK1 แต่ CK2 นั้น ใช้สำหรับจำลองความจุของแหล่งเก็บกักประเภทอ่างเก็บน้ำหรือลำน้ำ	
CKBFU พารามิเตอร์ของการเคลื่อนตัวของ base flow จากชั้นเก็บกักน้ำใต้ดินชั้นบน	ลักษณะรูปร่างการไหลของ base flow	ช่วงเวลาการไหลนานและค่าสูงสุดของ base flow ต่ำ
CKBFL พารามิเตอร์ของการเคลื่อนตัวของ base flow จากชั้นเก็บกักน้ำใต้ดินชั้นล่าง	ลักษณะรูปร่างการไหลของ base flow เช่นเดียวกับ CKBFU	ช่วงเวลาการไหลนานและค่าสูงสุดของ base flow ต่ำ

กลยุทธ์ในการเทียบปรับแบบจำลอง ใช้ได้กับ Two Layer Groundwater Zone แต่ในแบบจำลอง NAM นั้น การตอบสนองของเวลา (Time Responses) จะถูกควบคุมแยกเป็นชั้นตาม CKBFU และ CKBFL การแบ่งการไหลระหว่าง 2 ชั้น Aquifers จะถูกกำหนดโดย CKBFL (ถ้า CKBFL = 0 จะไม่มีการไหลใน Lower Groundwater Aquifers)

1. ปรับสมมูลน้ำ ปกติจะเริ่มด้วยการปรับสมมูลน้ำของระบบ ค่าการคายระเหยในช่วงระยะหนึ่ง (ค่าปกติในระยะหลายปี) ควรจะแปรผันตามผลต่างของค่าสะสมของปริมาณฝนและปริมาณน้ำท่า ค่าการระเหยจากชั้นผิวดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อ U_{MAX} เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับค่าการระเหยจากชั้นเก็บกักชั้นล่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อ L_{MAX} เพิ่มขึ้น เมื่อ U_{MAX} , L_{MAX} เปลี่ยนแปลงและจะส่งผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำสูงสุด โดยเฉพาะ U_{MAX} ซึ่งมีผลกระทบมากกว่าเพราะมีขนาดประมาณ 10% ของ L_{MAX}

2. ปรับปริมาณน้ำสูงสุด โดยปรับ CQ_{OF} ส่วน L_{MAX} จะมีผลกระทบต่อ Minor Peaks ซึ่งเกิดจากหลังจากช่วงที่ค่อนข้างแห้งแล้งและจะไม่มีผลกระทบ เมื่อชั้นเก็บกักชั้นล่างอิ่มตัว ส่วน CL_{OF} จะมีผลกระทบโดยตรงต่อช่วงที่เริ่มเกิดน้ำท่าผิวดิน หลังจากช่วงที่ค่อนข้างแห้งแล้งรูปร่างของน้ำท่าผิวดินควบคุมโดย CK_1 และ CK_2 ซึ่งมีผลกระทบต่อการตอบสนองของเวลา

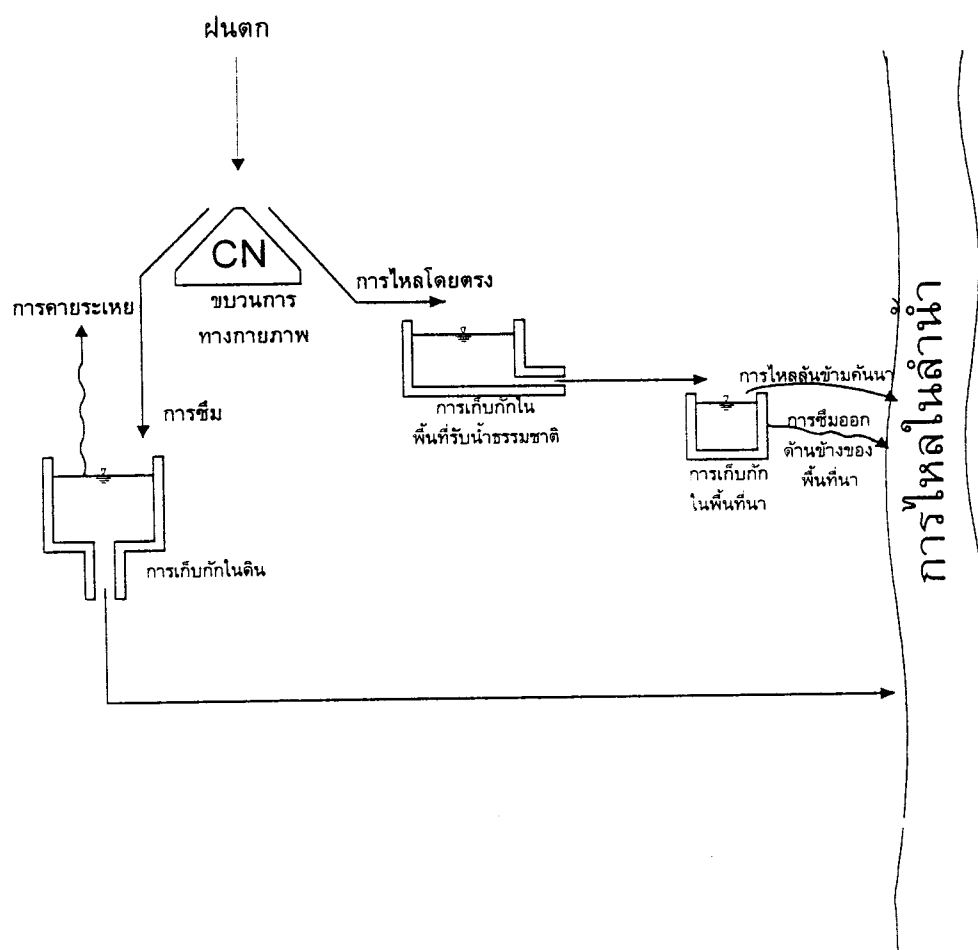
3. ปรับ Baseflow ซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบของน้ำท่าตัวอื่นๆ เช่น การไหลผิวดิน (CQ_{OF}) หรือการไหลใต้ผิวดิน (CQ_{IF}) น้อยลงจะมีผลต่อปริมาณของ Baseflow ในต้นฤดูฝน ค่า CKBFU เพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาณ Baseflow ลดลง

3.3.1.4 การจำลอง (Simulation) ปริมาณน้ำท่า

พารามิเตอร์ที่ได้จากการเทียบปรับแบบจำลองนั้น จะใช้จำลองปริมาณน้ำท่าจากปริมาณน้ำฝนเพื่อขยายข้อมูลน้ำท่าให้ยาวขึ้นและในช่วงที่ข้อมูลขาดหายไป ระยะเวลาในการจำลองกำหนดตามระยะเวลาของข้อมูลน้ำฝน โดยใช้ข้อมูลปริมาณฝนเฉลี่ย ส่วนการคายระเหยเป็นค่าเดียวกับที่ใช้ในการเทียบปรับแบบจำลอง

3.3.2 ปริมาณการไหลด้านข้าง (Side flow)

พื้นที่ชลประทานที่อยู่ทางด้านท้ายน้ำของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงทำให้เกิดปริมาณการไหลด้านข้างลงสู่ลำน้ำห้วยหลวง การคำนวณหาปริมาณน้ำส่วนนี้ ใช้แบบจำลอง HYMOSTซึ่งพัฒนาขึ้นโดยอดิเรก (พ.ศ. 2533) โดยทำการปรับปรุงให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา ขบวนการของแบบจำลองที่ทำการปรับปรุงดังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 3.8 และมีรายละเอียดของทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องดังนี้

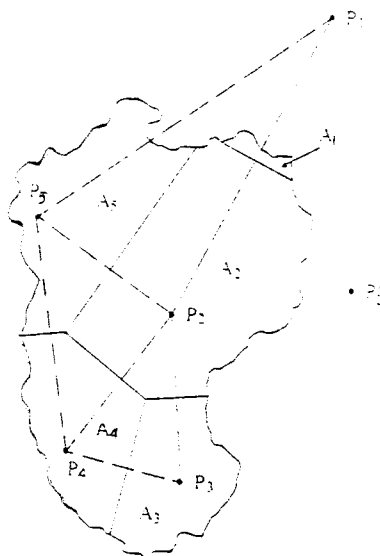


รูปที่ 3.8 ขบวนการของแบบจำลองที่พัฒนาสำหรับคำนวณหาปริมาณการไหลด้านข้าง

3.3.2.1 พื้นที่รับน้ำธรรมชาติ (Natural land)

อุทกวิทยาของพื้นที่รับน้ำธรรมชาติใช้หลักการดังต่อไปนี้

3.3.2.1.1 ปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ



รูปที่ 3.9 การหาปริมาณฝนเฉลี่ยของกลุ่มน้ำ

การหาปริมาณฝนสะสมเฉลี่ยบนกลุ่มน้ำใช้วิธีการของ Thiessen ดังแสดงใน รูปที่ 3 .9 และสมการที่ 3.1

$$P(k) = \frac{P_1(k)A_1 + P_2(k)A_2 + \dots + P_n(k)A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

โดยที่ $P_1 (k), P_2 (k), \dots, P_n (k)$ เป็นปริมาณฝนสะสมในวันที่ K ที่สถานีวัดน้ำฝนที่ 1, 2,....., n ตามลำดับ, มม.
 $A_1, A_2, \dots, A_n$ เป็นพื้นที่รอบสถานีวัดน้ำฝนที่ 1, 2,....., n ตามลำดับ, ตร.กม.

3.3.2.1.2 การไหลโดยตรง (Direct runoff)

ปริมาณการไหลโดยตรงหาได้จาก

$$Q_L(k) = Q(k) - Q(k-1) \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

โดยที่ $Q_L(k)$ = ปริมาณการไหลโดยตรงในวันที่ k , มม.

$Q(k)$ = ปริมาณการไหลโดยตรงสะสมในวันที่ k , มม.

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

ปริมาณการไหลโดยตรง หาได้จากหลักการของ Curve Number ดังนี้

$$Q = 0 \quad \text{กรณี } P < I_a \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{กรณี } P > I_a \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

โดยที่ Q = ปริมาณการไหลโดยตรง, มม.

P = ปริมาณฝนสะสม (cumulative rainfall), มม.

I_a = การสูญเสียเริ่มแรก (initial abstraction) ซึ่งจะรวมการดัก (interception) การเก็บกักบนผิวดิน (depression storage) และการซึมก่อนที่จะมีน้ำท่าเกิดขึ้น, มม.

$$= 0.2 S \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

S = ศักยภาพการเก็บกักหรือการซึมสูงสุด (potential maximum retention or infiltration), มม.

$$= \frac{25400}{CN} - 254 \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

CN = ค่า Curve number ของพื้นที่รับน้ำ

3.3.2.1.3 การไหลของน้ำผิวดิน (Surface water routing)

การหาอัตราการไหลของน้ำผิวดินใช้สมการต่อเนื่อง (Continuity Equation)

มาเขียนเป็นสมการ Finite - difference ดังนี้

$$RHOQ (k) = \frac{[HOQM - RHOQ (k - 1)]}{(TQ + \Delta t / 2)} \Delta t + RHOQ (k - 1) \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

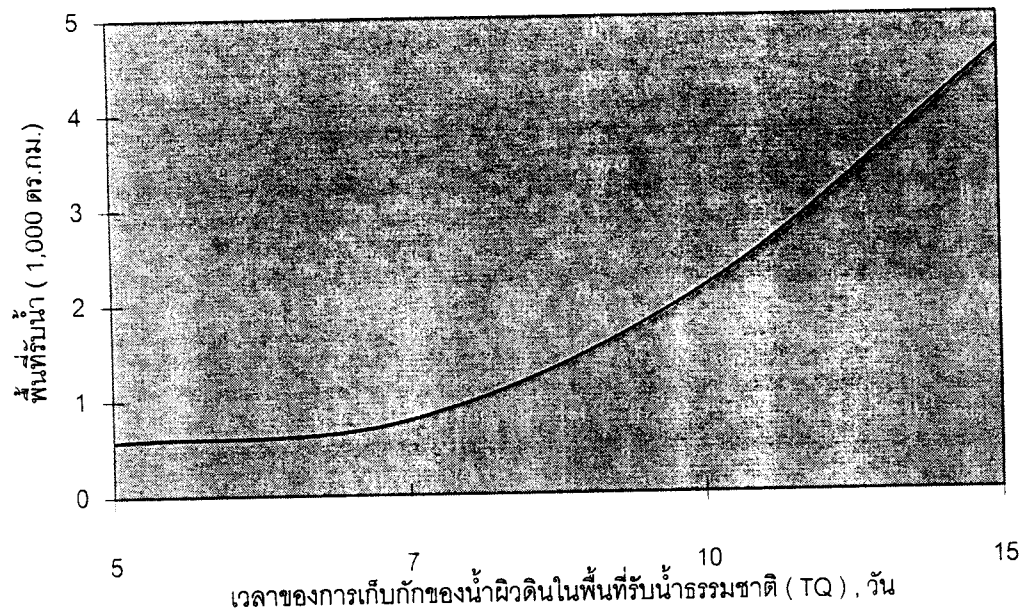
$$HOQM = \frac{QL (k) + QL (k - 1)}{2 \cdot \Delta t} \quad \dots\dots\dots(3.8)$$

โดยที่ $RHOQ (k)$ และ $RHOQ (k - 1)$ คืออัตราการไหลออกของส่วนเก็บกักน้ำผิวดินของพื้นที่รับน้ำธรรมชาติเข้าสู่พื้นที่นาในวันที่ k และ $k-1$ ตามลำดับ, มม./วัน

$HOQM$ = ปริมาณน้ำส่วนเก็บกักผิวดินเฉลี่ย (อัตราไหลเฉลี่ย), มม. / วัน

Δt = ช่วงเวลาในที่นี้เท่ากับ 1 วัน

TQ = เวลาของการเก็บกักของน้ำผิวดินในพื้นที่รับน้ำธรรมชาติ, (วัน) ค่า TQ นี้หาค่าโดยประมาณจากความสัมพันธ์ระหว่าง TQ และพื้นที่รับน้ำของกลุ่มน้ำข้างเคียงที่ได้พยายามสร้างความสัมพันธ์ขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 3.10 หลังจากได้ค่า TQ โดยประมาณแล้ว ก็จะนำค่านี้ไปใช้ในการเทียบปรับในขั้นตอนของการจำลองระบบการใช้ทรัพยากรน้ำ โดยการปรับค่า TQ นี้ให้มากขึ้นหรือน้อยลงจนผลการเทียบปรับเป็นที่น่าพอใจ



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาของการเก็บกักของน้ำผิวดินในพื้นที่รับน้ำธรรมชาติ และพื้นที่รับน้ำ

3.3.2.1.4 การซึมลงส่วนเก็บกักในดิน (Infiltration)

ปริมาณการซึมหาได้จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$FF(k) = F(k) - F(k-1) \quad \dots\dots\dots (3.9)$$

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

$F(k)$ = ปริมาณการซึมสะสมในวันที่ k , มม.

$F(k-1)$ = ปริมาณการซึมสะสมในวันที่ $k-1$, มม.

ปริมาณการซึมสะสม ใช้หลักการของ Curve Number หาได้ดังนี้

$$F = 0 \quad \text{กรณี } P < I_a \quad \dots\dots\dots (3.10)$$

$$F = \frac{(P - I_a)S}{P - I_a + S} \quad \text{กรณี } P > I_a \quad \dots\dots\dots (3.11)$$

3.3.2.1.5 การคายระเหย (Evapotranspiration)

ปริมาณการคายระเหยในแต่ละวัน สามารถประมาณได้จากสมการที่

(3.12) ดังนี้

$$EVP (k) = 0.7 EPAN (k) \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

โดยที่ $EVP (k)$ = ปริมาณการคายระเหยในวันที่ k , มม.

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

3.3.2.2 สมดุลย์ของน้ำในพื้นที่นา

โดยการใช้สมการสมดุลของมวลน้ำ (Water Balance Equation) จะได้
ความลึกของน้ำบนพื้นที่นาในวันที่ k ของลุ่มน้ำย่อย i ดังนี้

$$WDN (i,k) = WDN (i,k-1) + P (i,k) + RHOQ (i,k) - GRFN (i,k) - QN (i,k) \dots (3.13)$$

โดยที่ $WDN (i,k)$ และ $WDN (i,k-1)$ คือ ความลึกของน้ำบนพื้นที่นาของลุ่มน้ำย่อย i
ใน k และ $k-1$, มม. เป็นความชื้นเทียบเท่า ที่วัดจากสภาพความชื้น
ในดินเท่ากับศูนย์ (ดูหัวข้อ 3.3.2.3)

$P (i,k)$ = ปริมาณฝนตกบนที่นาของลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม.

$RHOQ (i,k)$ = ปริมาณน้ำผิวดิน จากพื้นที่รับน้ำตามธรรมชาติ ของลุ่มน้ำย่อย i
ในวันที่ k , มม (ดูหัวข้อ 3.3.2.1.3)

$GRFN (i,k)$ = ปริมาณการสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้างของพื้นที่นาของลุ่ม
น้ำย่อย i ในวันที่ k , มม หาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

$$GRFN(i,k) = \frac{1000 \cdot GRFND(i,k)}{AN(i)} \dots\dots\dots (3.14)$$

GRFND (i,k) = ปริมาณการสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้างของพื้นที่นา ของ
ลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , ลบ.ม./ วัน (ดูสมการที่ 3.23)

AN (i) = พื้นที่นาของลุ่มน้ำย่อย i, ตร.กม.

QN (i,k) = ปริมาณน้ำส่วนเกินความต้องการเก็บกัก ของพื้นที่นาของลุ่ม
น้ำย่อย i ในวันที่ k, มม. หาได้จากความสัมพันธ์ ดังนี้

ในกรณี $WDN(i,k) < WDS(i,k)$ จะได้

$$QN(i,k) = 0 \dots\dots\dots (3.15)$$

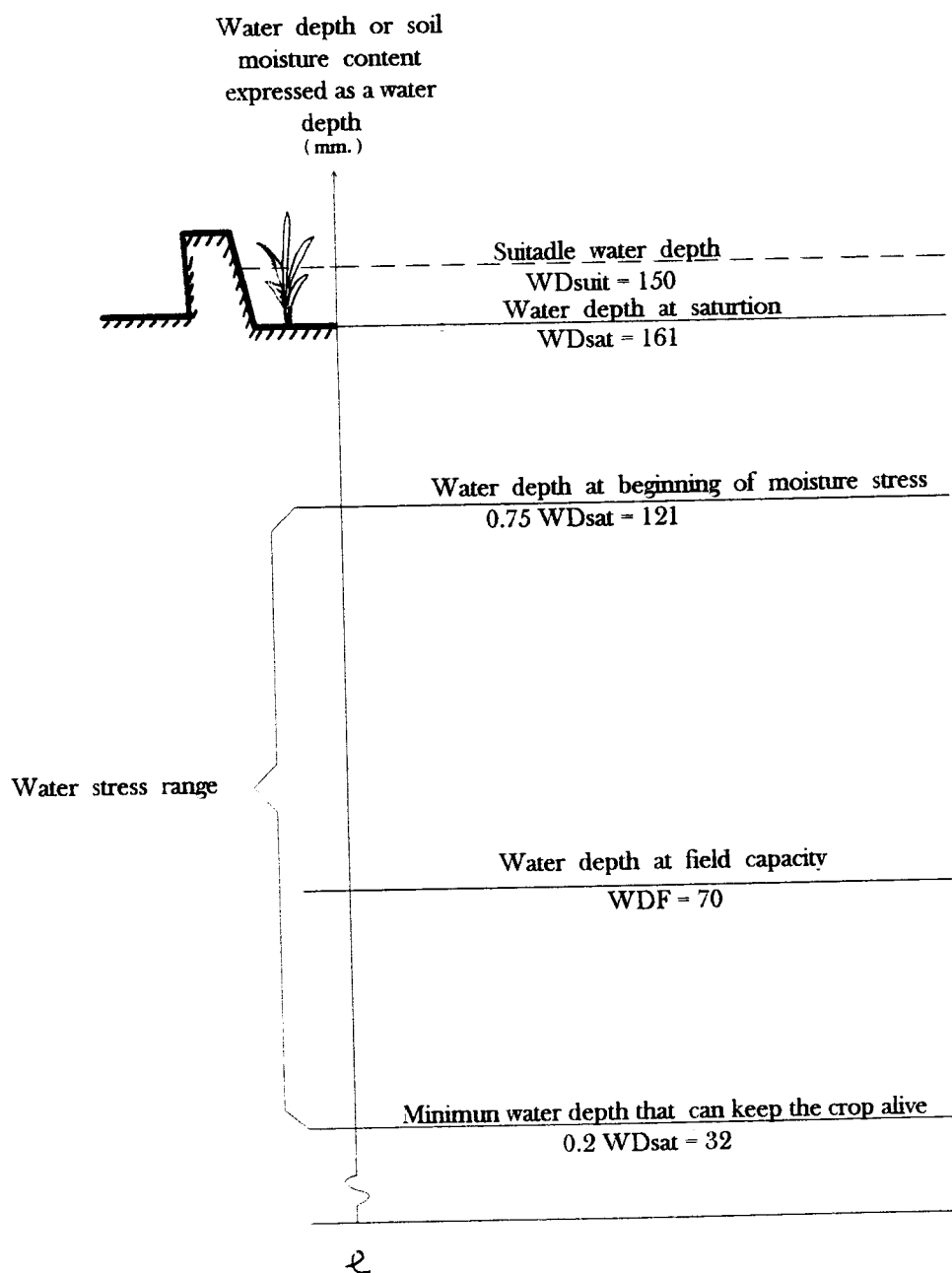
ในกรณี $WDN(i,k) > WDS(i,k)$ จะได้

$$QN(i,k) = WDN(i,k) - WDS(i,k-1) \dots\dots\dots (3.16)$$

โดยที่ $WDS(i,k)$ คือ ความลึกของน้ำที่ต้องการเก็บกักในพื้นที่นา ของลุ่มน้ำย่อย i
ในวันที่ k, มม. ดูหัวข้อ 3.3.2.4.2

3.3.2.3 ความลึกของน้ำในพื้นที่นาที่สภาพต่างๆ

ค่าความลึกของน้ำในพื้นที่นาที่สภาพต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 3.11 และมี
หลักการในการหาค่า ดังนี้



รูปที่ 3.11 ความลึกของน้ำในพื้นที่นาที่สภาพต่าง ๆ

3.3.2.3.1 ความลึกของน้ำที่สภาพอิ่มตัว

ค่าความลึกของน้ำที่สภาพอิ่มตัว ขึ้นอยู่กับความลึกของราก (root depth) และคุณสมบัติของดิน (Soil characteristics) ซึ่งสามารถประมาณได้จากสมการของ Hansen et al (1979) ดังนี้

$$WD_{sat} = \frac{N}{100} \cdot A_s \cdot D \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

โดยที่ WD_{sat} = ความลึกของน้ำที่สภาพอิ่มตัวของดิน

N = เปอร์เซนต์อัตราส่วนช่องว่างในดิน (total pore space)

A_s = ความถ่วงจำเพาะปรากฏ , ไม่มีหน่วย

D = ความลึกของเขตราก, มม.

3.3.2.3.2 ความลึกของน้ำที่ Field capacity

ค่าความลึกของน้ำที่ field capacity สามารถประมาณได้ ดังนี้

$$WDF = \frac{FC}{100} \cdot A_s \cdot D \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

โดยที่ WDF = ความลึกของน้ำที่ field capacity, มม.

FC = เปอร์เซนต์ความชื้นโดยน้ำหนักที่ field capacity

D = ความลึกของเขตราก, มม.

ค่าความลึกของเขตราก (depth of root zone) สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือของ ไทย The Mekong Secretariat (1974) แนะนำให้ใช้ 250 มม. ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยตลอดฤดูกาลเพาะปลูก

$$D = 250 \text{ มม.} \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

สำหรับค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของดินตัวอย่างในพื้นที่นาของพื้นที่ศึกษา มีค่าดังนี้

ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ (A_s) = 1.57 %

เปอร์เซ็นต์อัตราส่วนช่องว่างในดิน (N) = 41 %

เปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ field capacity (FC) = 18 %

แทนค่าลงในสมการที่ (3.17) และ (3.18) จะได้

Water depth at saturation, WD_{sat} = 161 มม.

Water depth at field capacity, WDF = 70 มม.

3.3.2.3.3 ความลึกของน้ำที่ทำให้ข้าวเกิดการขาดน้ำ

Doorenbos และ Kassam (1979) ได้เสนอว่าต้นข้าวจะขาดน้ำ (moisture stress) ในกรณีที่ความลึกของน้ำในพื้นที่นาอยู่ในช่วงความลึกดังต่อไปนี้

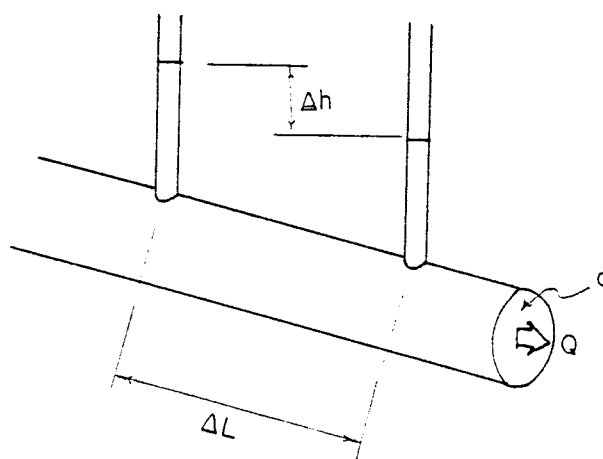
1. ความลึกน้ำที่สภาพข้าวเริ่มขาดน้ำ (Water depth at beginning of moisture stress)
ความลึกในสภาวะนี้มีค่าเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ ของความลึกที่อิ่มตัวของดิน
2. ความลึกน้ำน้อยที่สุดที่ข้าวสามารถมีชีวิตอยู่ได้ (Minimum water depth that can keep the crop alive) ที่ความลึกระดับนี้ต้นข้าวจะเหี่ยวเฉาและตายไปในที่สุด ซึ่งมีค่า 20 เปอร์เซ็นต์ของความลึกที่อิ่มตัวของดิน
3. ช่วงความลึกการขาดน้ำ (Water stress range) คือ ช่วงความลึกน้ำตั้งแต่ต้นข้าวเริ่มขาดน้ำ จนถึงความลึกน้ำน้อยที่สุดที่ข้าวมีชีวิตอยู่ได้

$$0.75 W_{dsat} > \text{Water stress range} > 0.2 W_{Dsats}$$

3.3.2.4 รายละเอียดของสมการสมดุลของมวลน้ำในแบบจำลอง

3.3.2.4.1 การสูญเสียโดยการซึมลงไปในดินของพื้นที่นา

อัตราการสูญเสียโดยการซึมลงไปในดินขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ชนิดของดิน ความลาดชันของพื้นที่ และปริมาณความชื้นในดิน เป็นต้น การหาปริมาณการสูญเสียโดยการซึมลงไปในดินสำหรับพื้นที่นา ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้กฎของดาร์ซี (Darcy 's law 1856) ดังที่แสดงใน รูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การไหลผ่านตัวกลางพรุนตามกฎของดาร์ซี

$$Q = K \cdot i \cdot a \quad \dots \dots \dots (3.20)$$

โดยที่ Q = อัตราการไหลผ่านชั้นดินที่พิจารณา

K = สัมประสิทธิ์ความซึมได้ (Hydraulic conductivity) ของน้ำใต้ดิน

a = พื้นที่หน้าตัดที่น้ำไหลผ่าน

i = ค่าความลาดทางชลศาสตร์ (Hydraulic gradient) หาจาก

$$i = \frac{\Delta H}{\Delta L} \quad \dots \dots \dots (3.21)$$

ΔH = ค่าความแตกต่างของ Hydraulic head จากจุดเริ่มไหลเข้าถึงจุดปลายไหลออกมาชั้นดินที่พิจารณา

ΔL = ระยะห่างระหว่างจากจุดไหลเข้าถึงจุดไหลออก

ในการศึกษาครั้งนี้จะกำหนดให้ดินในพื้นที่นาในช่วงฤดูเพาะปลูกข้าวมีความชื้นที่สภาพอิ่มตัว และมีชั้นดินแข็ง Hard pan ซึ่งน้ำซึมผ่านได้ยากอยู่ลึกลงไปจากผิวดินต่อนานาประมาณ 0.3 เมตร ดังนั้น Hydraulic conductivity (K) จึงพิจารณาได้เป็น Saturated hydraulic conductivity (Ksat) และไม่มีการไหลในแนวตั้ง มีเฉพาะการไหลในแนวนอนเท่านั้น

การหาค่า Hydraulic conductivity ของดินที่สภาพอิ่มตัว จะใช้วิธีถ่วงน้ำหนักโดย พื้นที่ (incorporating weighted average method) ดังนี้

$$K_s = \frac{K_{s_1} \cdot A_1 + K_{s_2} \cdot A_2 + \dots + K_{s_n} \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad \dots \dots \dots (3.22)$$

โดยที่ K_s = ค่าเฉลี่ยของ Saturated Hydraulic conductivity

$K_{s_1}, K_{s_2}, \dots, K_{s_n}$ เป็นค่า Saturated Hydraulic conductivity ของดิน

ชนิดที่ 1, 2, ..., n ตามลำดับ (ดูตารางที่ 3.1)

$A_1, A_2, \dots, A_n$ เป็นพื้นที่ของดินชนิดที่ 1, 2, ..., n ตามลำดับ

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินที่สภาพอิ่มตัว

(Saturated Hydraulic conductivity, $ksat$)

ที่มา : อดิเรก, 2533

ชุดของดิน	เนื้อของดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินที่สภาพอิ่มตัว (ซม./ นาที)
เซียงใหม่ (Cm)	L , SL , CL	0.153
ท่าม่วง (Tm)	SL , L , SiCL , L	0.120
สรวพยา (Sa)	SiCL , SiL , CL	0.035
ชัยนาท (Cn)	SiCL , CL , L	0.060
พินาย (Pm)	C	0.018
พินาย , loam type (Pm-1)	L , SiCL	0.059
ราชบุรี (Rb)	SiC , C	0.024
ราชบุรี , loam type (Rb-1)	L , CL , C	0.060
ศรีสงคราม (Ss)	SiCL , SiC , C	0.022
สีถน (St)	SL , LS	0.808
นครพนม (Nn)	SiL , SiC , CL , C	0.045
ร้อยเอ็ด (Re)	SL , LS , L , SCL , CL , C	0.312
ร้อยเอ็ด , loamy variation (Re -1)	L , CL , C	0.060
ร้อยเอ็ด saline variant(Re-sa)	SL , SC	0.160

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินที่สภาพอิ่มตัว (ต่อ)

(Saturated hydraulic conductivity , Ksat)

ที่มา : อดิเรก , 2533

ชุดของดิน	เนื้อของดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความซึม ได้ของดินที่สภาพอิ่มตัว (ซม. / นาที)
ร้อยเอ็ด , dark surface variant (Re-d)	SL , LS , L , SCL , CL	0.371
ร้อยเอ็ด , clayey variant (Re-c)	SL , C	0.159
อุบล (Ub)	LS , SL , S	0.675
อุดร (Ud)	SL , LS , S	0.675
โคราช (Kt)	SL , L , SCL	0.159
โคราช , sandy variant (Kt-s)	SL , SCL , SC	0.133
โคราช , gravelly variant (Kt-g)	SL , LS , SCL	0.565
พนพิสัย (Pp)	SL , L , SCL	0.159
เพ็ญ (Pn)	SL , L , SCL , CL	0.134
น้ำพอง (Ng)	LS , S , SL	0.675
น้ำพอง , gravelly variant (Ng-g)	LS , S , SL	0.675
น้ำพอง , rad color variant (Ng-r)	LS , S , SL	0.675

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินที่สภาพอิ่มตัว (ต่อ)

(Saturated hydraulic conductivity , Ksat)

ที่มา : อดิเรก , 2533

ชุดของดิน	เนื้อของดิน	ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดินที่สภาพอิ่มตัว (ซม. / นาที)
สดีก (Suk)	LS , SL , SCL , SC :	0.429
วาริน (Wr)	SL , LS , SCL	0.565
ชุดวาริน, high phase (Wn-h)	SL , SCL , CL	0.180
ยโสธร (Yt)	LS , SL , SCL	0.565
ยโสธร, gravelly variant (Yt-g)	LS , SL , SCL	0.565
บรบี้อ (Bb)	LS , SL , SCL	0.565
ตาคลี (Tk)	C	0.018
ตาคลี , concretionary variant (Tk-cn)	C	0.018
ปากช่อง (Pc)	C	0.018
ทับกวาง (Tw)	C	0.018
ท่ายาง (Ty)	SL , SC , SCL	0.133
บ้านช่อง (Bg)	L , CL	0.081
จัตุรัส (Ct)	SiCL , CL , C	0.032
จัตุรัส , mottled variant (Ct-m)	SiCL , C	0.018
ลพบุรี (Lb)	CL , C	0.040

ปริมาณการสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้างของพื้นที่นา จะพิจารณาให้ไหลเข้าสู่ลำน้ำต่อไป (รูป 3.13) จากสมการที่ (3.20) และ (3.21) จะได้

$$GRFND (i,k) = CG \cdot Ks (i,k) \frac{DHN (i,k)}{L1 (i)} L (i) \cdot DH (i) \dots\dots\dots (3.23)$$

$GRFND (i,k)$ = ปริมาณการสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้างของพื้นที่นาเข้าสู่ ลำน้ำ
ของลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , ลบ.ม. / วัน

CG = สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากการซึมออกด้านข้าง (Seepage
loss coefficient) เท่ากับ 1.0

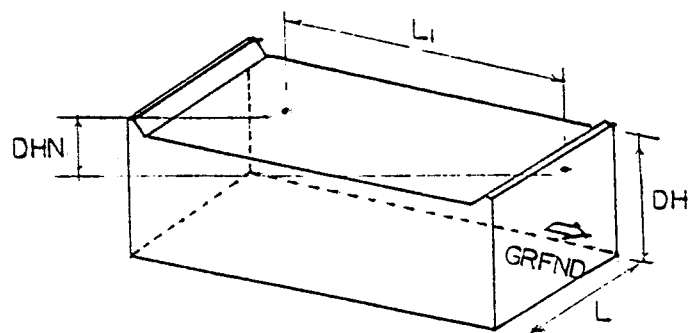
$Ks (i)$ = สัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดิน ของลุ่มน้ำย่อย i ซม. / นาที จาก
จากสมการที่ 3.22

$DHN (i,k)$ = ค่าต่างระดับความสูงของน้ำในพื้นที่นาของลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k
เมื่อพิจารณาให้ดินในพื้นที่นาที่มีความชื้นที่สภาพอิ่มตัว ค่าต่างระดับ
ความสูงของน้ำนี้ วัดได้จากความแตกต่างของความสูงของพื้นที่นา
ที่ศูนย์กลางกับความสูงของผิวน้ำในพื้นที่นาที่ศูนย์กลาง , ม.

$L1 (i)$ = ระยะการเดินทางของการไหลในดินจากพื้นที่นาเข้าสู่ลำน้ำของลุ่มน้ำ
ย่อย i ในที่นี้คือ ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของพื้นที่นากับขอบของ
พื้นที่นา, ม.

$L (i)$ = ความยาวตามขวางกับทิศทางการไหลของลุ่มน้ำย่อย i กำหนดให้มี
ค่าเท่ากับ ความยาวของลำน้ำ ในแต่ละลุ่มน้ำย่อย i , ม.

$DH (i)$ = ความลึกตามขวางกับทิศทางการไหลของลุ่มน้ำย่อย i กำหนดให้มีค่า
เท่ากับความลึกของดินเหนือชั้นดินแข็งในการศึกษานี้ใช้ค่า 0.3 ม.



รูปที่ 3.13 การสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้างของพื้นที่นา

3.3.2.4.2 ปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow)

ปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow) ของลุ่มน้ำ หาค่าโดยใช้หลักการ ดังนี้ นำข้อมูลปริมาณการไหลในลำน้ำ ในช่วงเดือนหน้าแล้ง (พย. - พค.) ของลุ่มน้ำข้างเคียง มาเขียนชลภาพน้ำท่า (hydrograph) ดังแสดงให้ดูเป็นตัวอย่างในรูปที่ 3.14 จากชลภาพน้ำท่า จะประมาณค่าของปริมาณการไหลพื้นฐานของแต่ละลุ่มน้ำข้างเคียงในแต่ละปีได้ ดังนี้

ปริมาณการไหลพื้นฐานของลุ่มน้ำย่อย สามารถหาได้ดังนี้

$$BAS(m) = \frac{BS(1) + BS(2) + \dots + BS(n)}{n} \dots\dots\dots (3.24)$$

โดยที่ $BAS(m)$ = ปริมาณการไหลพื้นฐานของลุ่มน้ำข้างเคียงที่ m , ลบ.ม./วินาที

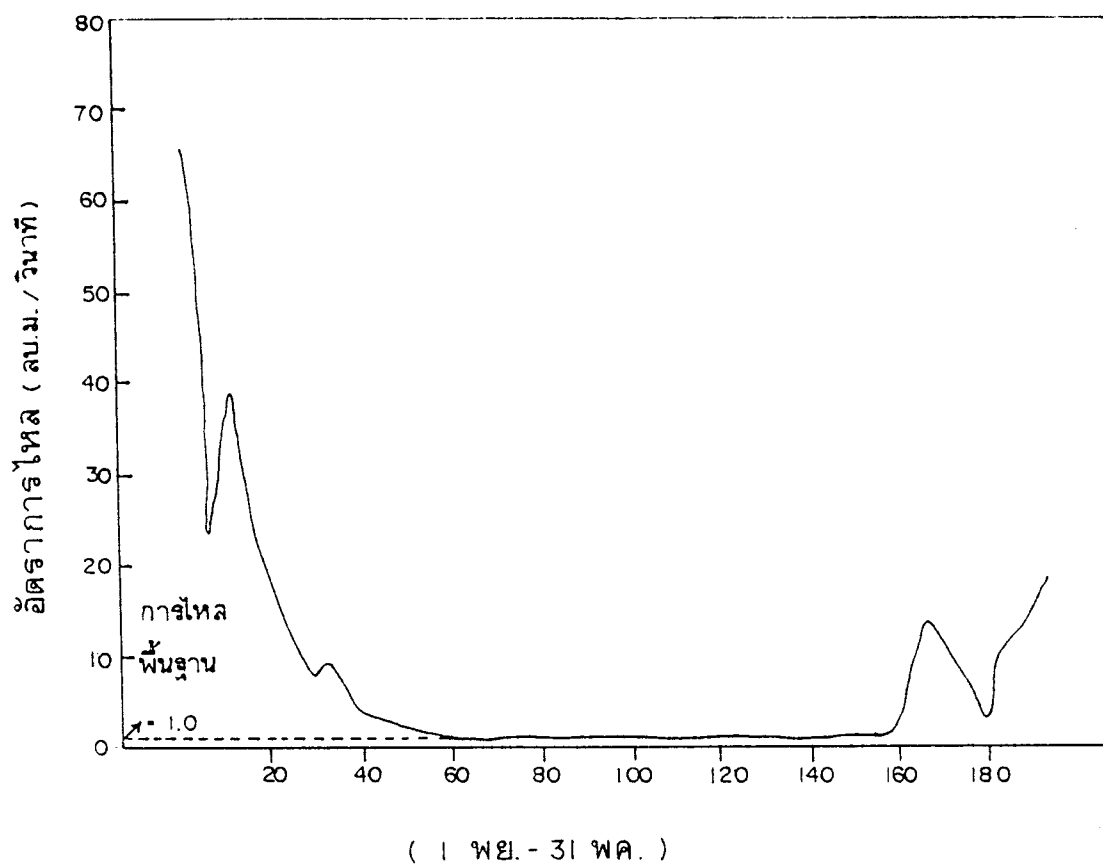
$BS(1), BS(2), \dots, BS(n)$ เป็นปริมาณการไหลพื้นฐานปีที่ 1, 2, ..., n

ตามลำดับของลุ่มน้ำข้างเคียงที่ m , ลบ.ม./วินาที

n = จำนวนปีของข้อมูลที่มีการบันทึกไว้

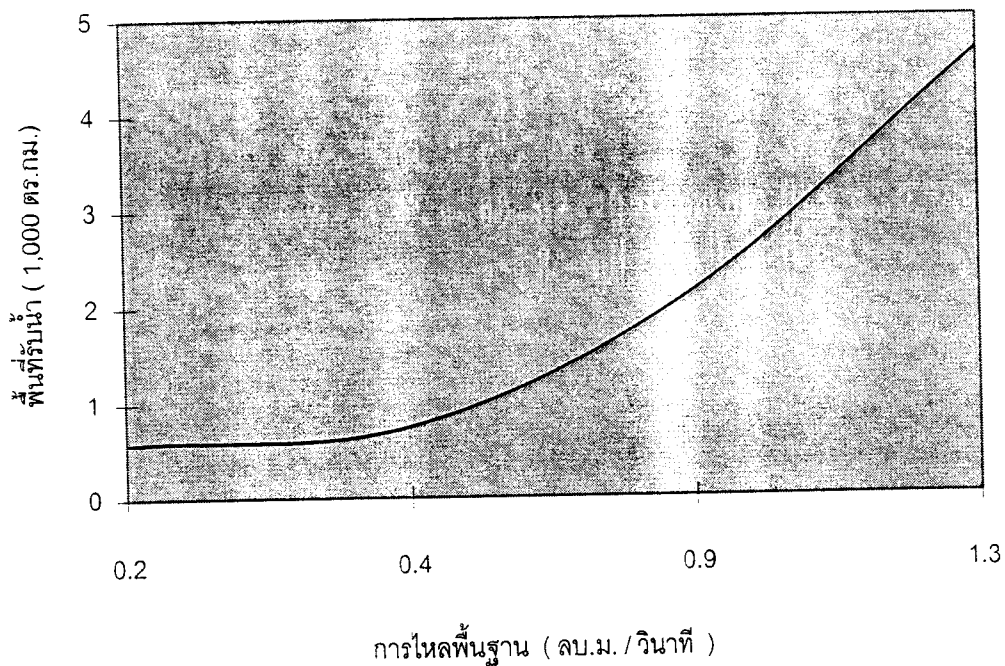
$$BASE(m) = 86400 \cdot BAS(m) \dots\dots\dots (3.25)$$

โดยที่ $BASE(m)$ = ปริมาณการไหลพื้นฐานของลุ่มน้ำข้างเคียงที่ m , ลบ.ม./วัน



รูปที่ 3.14 การประมาณค่าปริมาณการไหลพื้นฐาน จากชลภาพน้ำท่า

ปริมาณการไหลพื้นฐานของแต่ละลุ่มน้ำข้างเคียงที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.25 เมื่อนำมาสร้างกราฟ จะได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการไหลพื้นฐาน และพื้นที่รับน้ำของลุ่มน้ำข้างเคียง

ปริมาณการไหลพื้นฐานของลุ่มน้ำที่ศึกษา จะประมาณค่าจากกราฟรูปที่ 3.15 นี้ โดยถือว่าลุ่มน้ำที่ศึกษาและลุ่มน้ำข้างเคียงมีคุณสมบัติทางกายภาพของลุ่มน้ำไม่แตกต่างกันนัก ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างการไหลพื้นฐานและพื้นที่รับน้ำจึงน่าจะไม่แตกต่างกัน

3.3.2.4.3 ปริมาณการไหลสู่ลำน้ำ

ปริมาณการไหลสู่ลำน้ำสามารถหาได้จาก ผลรวมของปริมาณการสูญเสีย โดยการซึมออกด้านข้างของพื้นที่นา ปริมาณการไหลพื้นฐาน และปริมาณน้ำส่วนเกินความต้องการเก็บกักของพื้นที่นา ดังสมการที่ (3.26)

$$GRF(i,k) = BASE(i,k) + GRFND(i,k) + [1000 \cdot AN(i) \cdot QN(i,k)] \quad \dots\dots (3.26)$$

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

$BASE(i,k)$ = ปริมาณการไหลพื้นฐานของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , ลบ.ม./วัน

$GRFND(i,k)$ = ปริมาณการสูญเสียโดยการซึมออกด้านข้างของพื้นที่นาของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , ลบ.ม./วัน ดูหัวข้อที่ 3.3.2.4.1

$AN(i)$ = พื้นที่นาของกลุ่มน้ำย่อย i , ตร.กม.

$QN(i,k)$ = ปริมาณน้ำส่วนเกินความต้องการเก็บกัก ของพื้นที่นาของกลุ่มน้ำย่อย i ในวันที่ k , มม. ดูสมการที่ 3.20 และ 3.21

3.3.3 ปริมาณการใช้น้ำ

จากการศึกษารวบรวมข้อมูลการใช้น้ำด้านต่างๆ ทั้งสภาพปัจจุบันและในอนาคต รวมทั้งการวางแผนของหน่วยงานต่างๆ ที่อาจเกี่ยวข้องกับการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง เช่นการท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย กรมพัฒนาที่ดิน การนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย และการประปาส่วนภูมิภาค เป็นต้น ทำให้สามารถสรุปได้ว่า กิจกรรมที่ต้องการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงทั้งสภาพปัจจุบันและอนาคต มีดังนี้

- การชลประทาน
- การอุปโภคบริโภคในเขตเมือง
- การอุปโภคบริโภคในเขตชนบท
- การอุตสาหกรรม
- การรักษาสภาพท้ายน้ำ

3.3.3.1 การใช้น้ำเพื่อการชลประทาน

อ่างเก็บน้ำห้วยหลวงมีพื้นที่ชลประทานทั้งหมด 87,000 ไร่ ฤดูฝนจะปลูกข้าว ส่วนฤดูแล้งปลูก ถั่วเหลือง ข้าวโพด ถั่วเขียว เป็นพื้นที่ 20,000 ไร่ ในการคำนวณการใช้น้ำเพื่อการชลประทานมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.3.1.1 ปริมาณน้ำที่พืชต้องการ

ปริมาณน้ำที่พืชต้องการสามารถแบ่งออกตามลักษณะการใช้น้ำของพืชที่ต่างกันคือ ปริมาณน้ำสำหรับปลูกข้าว และปริมาณน้ำที่ใช้ในการปลูกพืชอื่นๆ

(1) ปริมาณน้ำสำหรับปลูกข้าว

ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับข้าวขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ฤดูกาล วิธีการปลูก พันธุ์ข้าว ลักษณะของดิน และสภาพสิ่งแวดล้อม โดยปริมาณน้ำที่ต้องการมี 3 ส่วนด้วยกันคือ

(ก) ปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลง มีสมมุติฐานดังนี้

ปริมาณน้ำสำหรับเตรียมแปลงในฤดูฝน 200 มม.

ปริมาณน้ำสำหรับเตรียมแปลงในฤดูแล้ง 250 มม.

ระยะเวลาในการเตรียมแปลงประมาณ 3 สัปดาห์

(ข) ปริมาณน้ำเพื่อการตกกล้า ประกอบด้วยปริมาณน้ำเพื่อการเตรียมแปลงกล้า และการเจริญเติบโตของต้นกล้า ปริมาณน้ำรวมทั้งหมดคิดเป็นความลึก 30 - 40 มม. และอายุของต้นกล้าประมาณ 3 สัปดาห์

(ค) ปริมาณน้ำหลังจากปักดำแล้ว ประกอบด้วยปริมาณน้ำเพื่อการเจริญเติบโตของต้นข้าว และปริมาณน้ำที่ระเหยจากน้ำที่ขังอยู่ในแปลงนา ปริมาณน้ำที่ต้องการทั้งหมดนี้คำนวณได้จากสูตรดังนี้คือ

$$Et = Kc \cdot ETp \quad \dots\dots\dots (3.27)$$

โดย Et = ปริมาณการใช้น้ำของข้าว (มม./วัน)

Kc = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าว

ETp = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน)

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าวเป็นรายสัปดาห์ แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 สำหรับค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, ETp) คำนวณได้จากข้อมูลภูมิอากาศ ในที่นี้ใช้วิธีการของ Penman โดยมีสมการดังนี้

$$ETp = c. [W.Rn + (1-W) . f(u) . (ea - ed)] \quad \dots\dots\dots (3.28)$$

เมื่อ ETp = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน)

W = แฟคเตอร์ที่ใช้ในการเฉลี่ย ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความสูง

Rn = ปริมาณรังสีสุทธิเทียบเป็นอัตราการระเหย (มม. / วัน)

$f(u)$ = ฟังก์ชันของกระแสลม

ea = ความดันไอน้ำอิ่มตัว (ที่ T องศาเซลเซียส) [มิลลิบาร์]

ed = ความดันไอน้ำจริงของอากาศเฉลี่ย (ที่ T องศาเซลเซียส) [มิลลิบาร์]

c = แฟคเตอร์ปรับแก้เพื่อชดเชยอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศใน

ตอนกลางวันและตอนกลางคืน

ตารางที่ 3.3 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชรายสัปดาห์

สัปดาห์ที่	ข้าว		ถั่วฝักยาวและถั่วแฉะ	
	ถั่วฝักยาว	ถั่วแฉะ	พืชไร่	ผัก
1	0.83	0.92	0.55	0.62
2	0.83	0.94	0.60	0.70
3	0.85	1.00	0.70	0.80
4	0.90	1.13	0.82	0.80
5	1.00	1.23	1.08	1.00
6	1.05	1.29	1.12	1.10
7	1.06	1.32	1.25	1.00
8	1.10	1.30	1.28	0.90
9	1.10	1.26	1.26	
10	1.06	1.21	1.10	
11	1.02	1.11	1.00	
12	1.00	0.95	0.80	
13	0.95	0.75	0.70	
14	0.92			
15	0.90			
16	0.85			
17	0.85			
18	0.83			
19	0.83			
20				
21				
22				

(2) ปริมาณน้ำสำหรับการปลูกพืชอื่นๆ

สำหรับปริมาณน้ำที่ใช้ในการปลูกพืชอื่นๆ สามารถคำนวณจากปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Etp) โดยการคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชที่ปลูกแต่ละชนิด

3.3.3.1.2 ปริมาณน้ำที่ซึมลงไปในดิน (Percolation)

ในการปลูกข้าวจำเป็นต้องมีน้ำขังอยู่ในแปลงนาในระดับที่เหมาะสม ดังนั้นจึงมีปริมาณน้ำส่วนหนึ่งที่ซึมลึกลงไปในดินผ่านเลยเขตรากข้าวไปซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ได้อีกสำหรับการศึกษานี้สมมุติให้อัตราการซึมลึกลงไปในดินเท่ากับ 1.5 มม./วัน ส่วนการปลูกพืชอื่นๆนั้นจะไม่นิยมให้น้ำท่วมขังบริเวณผิวดิน เนื่องจากพืชจะไม่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ และพืชใช้น้ำจากความชื้นในดินโดยสมมุติให้ไม่มีการสูญเสียน้ำจากการซึมลงไปในดิน

3.3.3.1.3 ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall)

ปริมาณฝนใช้การ หมายถึง ปริมาณฝนที่สามารถใช้ประโยชน์โดยการทดแทนปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องส่งให้แก่พืชได้ ปริมาณฝนใช้การสำหรับพืชแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันเนื่องจากวิธีการเพาะปลูกต่างกัน สำหรับการปลูกข้าว ปริมาณฝนใช้การเป็นปริมาณฝนที่ตกในแปลงนาแล้วไม่เกิดการไหลล้นออก การหาปริมาณฝนใช้การ ใช้วิธี Simulation ซึ่งเสนอโดยบริษัท Acres International Ltd. แบบจำลองการหาปริมาณฝนใช้การแสดงในรูปที่ 3.16 มีวิธีการคำนวณดังนี้

$$St_n = St_{n-1} + R_n - a_m \quad \dots \dots \dots (3.29)$$

การพิจารณาหาค่าฝนใช้การ (Re) มี 3 กรณีดังนี้

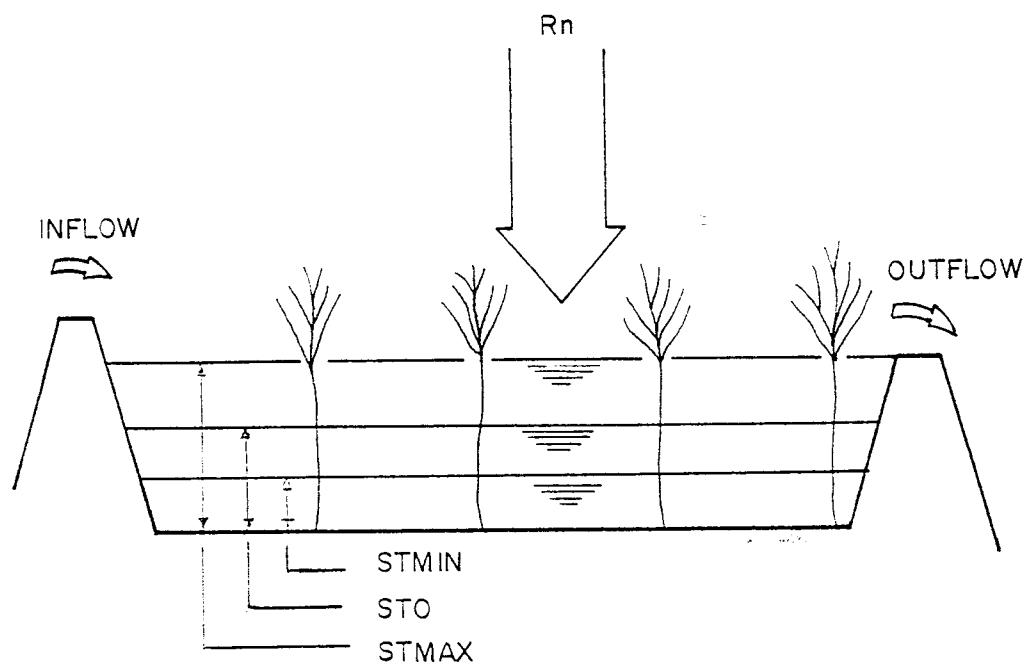
ถ้า $St_n > STMAX$ แล้ว

$$Re = STMAX + a_m - St_{n-1}$$

ถ้า $STMAX \leq St_n \leq STMIN$, $Re = R_n$

ถ้า $St_n < STMIN$ แล้ว $Re = R_n$

การคำนวณหาค่า Re พิจารณา 3 กรณีดังกล่าว ว่าอยู่ในกรณีไหน ก็สามารถคำนวณค่า Re ได้จากสมการนั้น



รูปที่ 3.16 แบบจำลองการหาปริมาณฝนใช้การ

- เมื่อ $STMIN$ = ระดับความลึกของน้ำต่ำสุด อาจใช้เพื่อกำจัดวัชพืช และเป็นระดับที่เริ่มให้น้ำชลประทาน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
- STO = ระดับความลึกของน้ำ หลังจากมีการใช้น้ำชลประทาน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
- $STMAX$ = ระดับความลึกของน้ำสูงสุด ก่อนเกิดน้ำล้นออก มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
- Rn = ปริมาณฝนที่ตกในวันที่ n มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
- Re = ปริมาณฝนใช้การมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

- St_{n-1} = ระดับที่สิ้นสุดวันก่อน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
 St_n = ระดับน้ำที่สิ้นสุดวันที่กำหนดวัด มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร
 a_m = ปริมาณความต้องการใช้น้ำในแปลงนา สำหรับเดือนที่ปลูก
 m มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อวัน (ดูหัวข้อ 3.3.3.1.1)

สำหรับระดับน้ำในแปลงนากำหนดไว้ 3 ระดับ ดังนี้

- ระดับน้ำต่ำสุดในแปลงนาก่อนการให้น้ำชลประทาน (STMIN) = 45 มม.
 ระดับน้ำในแปลงนาลังการให้น้ำชลประทาน (STO) = 90 มม.
 ระดับน้ำในแปลงนาสูงสุดหลังจากฝนตก (STMAX) = 125 มม.

ถ้าฝนตกและระดับน้ำในแปลงนาสูงกว่า 125 มม.แล้ว ปริมาณฝนที่ทำให้ระดับน้ำในแปลงนาสูงกว่า 125 มม. และไหลล้นออกนั้น ปริมาณน้ำท่า (Runoff) และระดับน้ำในแปลงนาจะลดลงเนื่องจากการใช้น้ำของพืช การระเหย และรั่วซึมจากแปลง เป็นต้น สำหรับพืชอื่นๆ ก็หาปริมาณฝนใช้การในลักษณะเช่นเดียวกับข้าว แต่เนื่องจากพืชเหล่านี้ไม่ยอมให้น้ำขังบนผิวดินได้ ดังนั้นระดับน้ำในแปลงเพาะปลูกจึงมีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายถึงระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดิน และเป็นระดับในเขตรากพืช ค่าระดับน้ำในแปลงเพาะปลูกของพืชอื่นๆ มีค่าตามตารางที่ 3.4 ดังนี้

ตารางที่ 3.4 ค่า STMAX, STO และ STMIN ของพืชอื่นๆ

ระดับน้ำ	ระดับน้ำในแปลงเพาะปลูก (มม.)		
	พืชไร่	พืชผัก	ไม้ยืนต้น
STMAX	0	0	0
STO	-15	-15	-20
STMIN	-60	-45	-100

3.3.3.1.4 ประสิทธิภาพการชลประทาน

ประสิทธิภาพการชลประทานในการศึกษานี้ สามารถคำนวณได้ดังนี้

ประสิทธิภาพการชลประทาน

$$= \frac{\text{ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ตามทฤษฎี} + \text{ปริมาณน้ำที่รั่วซึม} - \text{ปริมาณฝนใช้การ}}{\text{ปริมาณน้ำที่ส่ง}} \dots (3.30)$$

การหาประสิทธิภาพการชลประทานสามารถหาได้หลายระดับ เช่น ระดับคลองซอย ระดับคลองสายใหญ่ และระดับโครงการ

3.3.3.1.5 ปริมาณน้ำชลประทานต้องการจากอ่างเก็บ (Diversion Requirement)

ปริมาณน้ำชลประทานต้องการจากห้วยงาน

$$= \frac{\text{ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้ตามทฤษฎี} + \text{ปริมาณน้ำที่รั่วซึม} - \text{ปริมาณฝนใช้การ}}{\text{ประสิทธิภาพการชลประทาน}} \dots (3.31)$$

จากกิจกรรมการปลูกพืชซึ่งมีค่าคงที่ทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งทุกปี สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำที่พืชต้องการตามทฤษฎีรายสัปดาห์ รวมถึงปริมาณที่รั่วซึมรายสัปดาห์ เป็นค่าคงที่ทุกปี จากนั้นหาปริมาณฝนใช้การรายสัปดาห์ของข้อมูลแต่ละปีมาหักออก หลังจากนั้นจึงรวมเป็นรายเดือนและคิดประสิทธิภาพการชลประทาน ซึ่งจะได้ปริมาณน้ำที่พืชต้องการหรือน้ำชลประทานจากอ่างเก็บน้ำรายเดือนผันแปรไปตลอดช่วงข้อมูลฝนที่ศึกษา แล้วนำมาคำนวณปริมาณน้ำชลประทานรายเดือนเฉลี่ยตามเปอร์เซ็นต์ของชนิดต่างๆ ที่เพาะปลูกในพื้นที่ศึกษา

3.3.3.2 การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในเขตเมือง

ปัจจุบันอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงได้ทำการจ่ายน้ำให้กับการประปาทั้งหมด 4 แห่ง ด้วยกัน คือ ประปาหนองจักษ์ ประปาหนองสวรรค์ ประปาหนองสำโรง และประปาภูดง ซึ่งการประปาทั้ง 4 แห่งนี้ จะทำการจ่ายน้ำประปาให้กับพื้นที่ในเขตสุขาภิบาลและเทศบาลของ 3 อำเภอ คือ อำเภอเมืองอุดรธานี อำเภอหนองวัวซอ และอำเภอภูดง จากการสอบถามเจ้าหน้าที่ของ ประปาทั้ง 4 แห่ง พบว่าปัจจุบันนี้อ่างเก็บน้ำห้วยหลวงได้ทำการจ่ายน้ำให้กับการประปาทั้งหมด จำนวน 65,000 ลบ.ม. / วัน หรือเท่ากับ 23.73 ล้าน ลบ.ม. / ปี และจากการศึกษารวบรวมข้อมูล ในพื้นที่ศึกษา พบว่าน้ำประปานี้ส่วนใหญ่จะทำการแจกจ่ายให้กับกิจกรรม 3 กิจกรรม คือ น้ำกินน้ำใช้ การอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และการท่องเที่ยว

จากการสอบถามเจ้าหน้าที่ของการประปาทั้ง 4 แห่ง เพื่อขอทราบถึงการวางแผนขยาย กำลังการผลิตน้ำประปาในอนาคต พบว่าไม่มีการวางแผนเอาไว้เลย และจากการสอบถามเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการอุตสาหกรรมพบว่า ไม่มีแผนการสร้างอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ในเขตพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง

ในการศึกษารั้วนี้จะทำการคาดการณ์ปริมาณการใช้น้ำประปาในอนาคตให้ครอบคลุม ปริมาณความต้องการน้ำในอนาคตของทั้ง 3 กิจกรรม ได้แก่ น้ำกินน้ำใช้ การอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ใช้น้ำไม่มากนัก และการท่องเที่ยว โดยมีสมการในการคำนวณ ดังนี้

$$WS = \frac{365}{10^9} \cdot WSD \cdot Pn \quad \dots \dots \dots (3.32)$$

เมื่อ WS = ปริมาณการใช้น้ำประปาในอนาคต , ล้าน ลบ.ม. / ปี

WSD = อัตราการใช้น้ำ = 200 ลิตร / คน / วัน

Pn = จำนวนประชากรในอนาคต , คน

$$Pn = Po (1 + r)^n \quad \dots \dots \dots (3.33)$$

เมื่อ Po = จำนวนประชากรของปีที่ทราบข้อมูล, คน

r = อัตราการเพิ่มของประชากร

n = ระยะเวลา นับจากปีที่ทราบข้อมูลถึงปีที่พิจารณา

3.3.3.3 การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในเขตชนบท

สำหรับการศึกษาค้างนี้ การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคในเขตชนบทหมายถึง การใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคของประชากรในเขตพื้นที่ศึกษา ที่อยู่นอกเขตพื้นที่จำหน่ายน้ำของการประปา โดยปกติจะไม่มีกรรวบรวบตัวเลขปริมาณการใช้น้ำในส่วนนี้ไว้ ดังนั้นจึงต้องทำการคาดการณ์ทั้งสภาพปัจจุบันและในอนาคต โดยใช้สมการที่ 3.32 และ 3.33 ทำการคำนวณและใช้ค่าอัตราใช้น้ำเท่ากับ 100 ลิตร / คน / วัน

3.3.3.4 การใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม

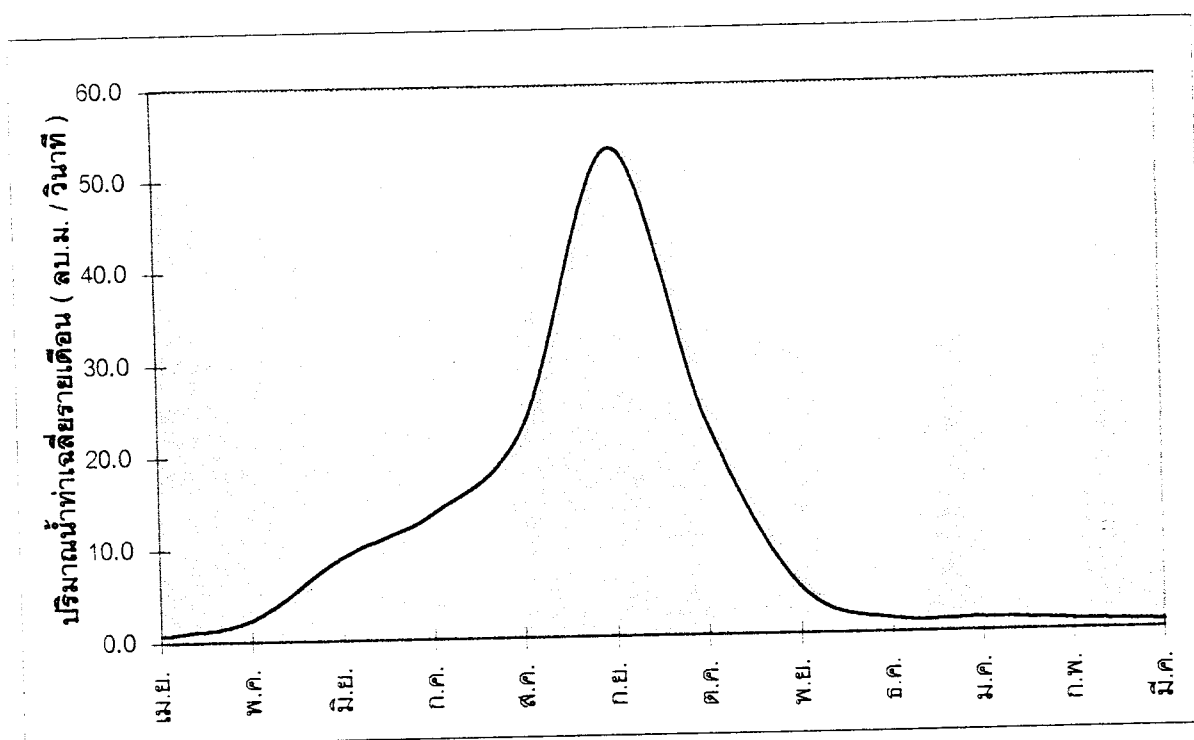
ถึงแม้ว่าในสภาพปัจจุบันและในช่วงอนาคตอันใกล้นี้ พื้นที่ศึกษาไม่ถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่อุตสาหกรรม แต่เนื่องจากบริเวณพื้นที่ศึกษามีอ่างเก็บน้ำ ดังนั้นจึงมีแนวโน้มที่เป็นไปได้ที่ในแผนระยะยาวอาจมีโครงการอุตสาหกรรมเกิดขึ้นในบริเวณพื้นที่ศึกษา ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม ไว้ในแผนระยะยาว (พ.ศ. 2551 - 2560) ด้วย

ในการศึกษาค้างนี้ได้จัดลำดับความสำคัญของความต้องการน้ำเพื่อการอุตสาหกรรมไว้ลำดับสุดท้าย (ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.3.4.3) ดังนั้นในช่วงแผนระยะยาวนี้ จะทำการแจกจ่ายน้ำจากอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงให้เพียงพอับความต้องการใช้น้ำด้านอื่น ๆ ก่อน ที่เหลือจึงจะแจกจ่ายให้กับการอุตสาหกรรม

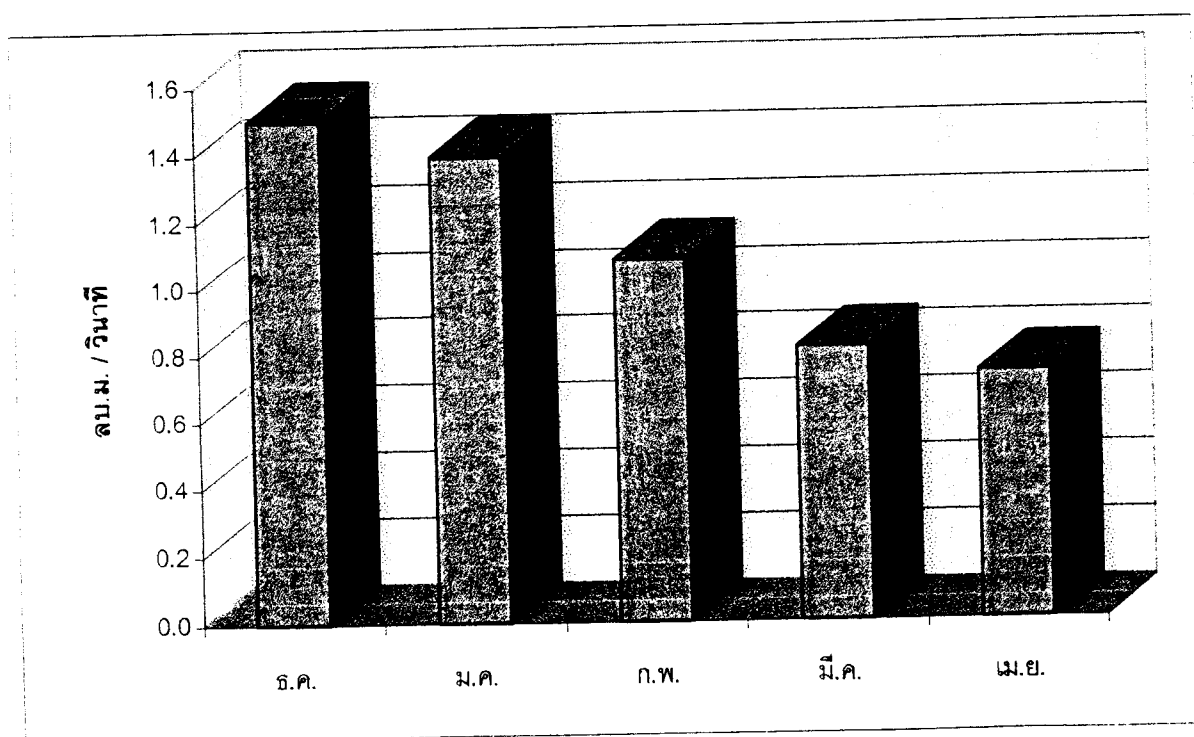
3.3.3.5 การใช้น้ำเพื่อการรักษาสุขภาพท้ายน้ำ

โดยทั่วไปในช่วงฤดูฝนจะมีปริมาณน้ำมากพอเพียงสำหรับกิจกรรมต่างๆที่ต้องการใช้น้ำ แต่ในช่วงฤดูแล้งปริมาณน้ำจะเหลือน้อยในขณะที่ความต้องการใช้น้ำสำหรับกิจกรรมต่างๆมีมากขึ้น ดังนั้นการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำในช่วงนี้จึงควรคำนึงถึงสภาพนิเวศวิทยาทางด้านท้ายน้ำด้วย

ปกติการแจกจ่ายน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อกิจกรรมต่างๆ จะต้องมียปริมาณน้ำส่วนหนึ่งส่งไปยังด้านท้ายน้ำอย่างน้อยที่สุดเท่ากับปริมาณน้ำในช่วงฤดูแล้งก่อนมีโครงการอ่างเก็บน้ำ เพื่อใช้ในการรักษาสุขภาพทางนิเวศวิทยาทางด้านท้ายน้ำ ดังนั้นในการศึกษาค้างนี้จึงกำหนดปริมาณการใช้น้ำเพื่อการรักษาสุขภาพท้ายน้ำทั้งสภาพปัจจุบันและในอนาคตให้เท่ากับปริมาณน้ำทำในช่วงฤดูแล้งก่อนมีโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง กล่าวคือให้เท่ากับปริมาณน้ำท่าของเดือนธันวาคม ถึงเดือนเมษายน ดังแสดงในรูปที่ 3.17 และ 3.18



รูปที่ 3.17 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่ไหลผ่านพื้นที่ศึกษา ก่อนมีอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง



รูปที่ 3.18 ปริมาณการใช้น้ำเพื่อการรักษาสภาพทำนน้ำ ของอ่างเก็บน้ำห้วยหลวง

3.3.4 นโยบายการใช้น้ำที่เหมาะสม

3.3.4.1 การจำลองระบบการให้ทรัพยากรน้ำ

การจำลองระบบการให้ทรัพยากรน้ำ เพื่อหานโยบายการใช้น้ำที่เหมาะสม จะใช้แบบจำลอง HEC-3 ซึ่งมีองค์ประกอบพื้นฐานที่สำคัญ 4 ส่วน ดังนี้คือ

- (1) ระบบทางอุทกวิทยา (Hydrologic System)
- (2) อ่างเก็บน้ำ (Reservoir)
- (3) จุดบังคับน้ำ (Control Point)
- (4) การผันน้ำ (Diversion)

(1) ระบบทางอุทกวิทยา (Hydrologic System)

ข้อมูลอุทกวิทยาที่ต้องใช้ในการคำนวณของแบบจำลอง HEC-3 มีดังนี้

ปริมาณการไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำ (Inflow)

ข้อมูลปริมาณการไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-3 จะต้องเป็นข้อมูลรายเดือน วิธีคำนวณหาข้อมูลนี้ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.3.1

ปริมาณการไหลด้านข้าง (Local Flow)

ข้อมูลปริมาณการไหลด้านข้างที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-3 จะต้องเป็นข้อมูลรายเดือน วิธีคำนวณหาข้อมูลนี้ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3.2

ปริมาณการระเหยในอ่างเก็บน้ำ (Evaporation)

ข้อมูลปริมาณการระเหยในอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-3 จะต้องเป็นข้อมูลรายเดือน และต้องเป็นการระเหยสุทธิ ซึ่งมีวิธีคำนวณดังนี้

$$NE_i = E_i - R_i \quad \dots\dots\dots (3.34)$$

โดยที่ NE_i = ปริมาณการระเหยสุทธิรายเดือน, มม./ เดือน

E_i = ปริมาณการระเหยรายเดือน, มม./ เดือน

R_i = ปริมาณฝนรายเดือน, มม./ เดือน

ปริมาณการรั่วซึม (Seepage)

ข้อมูลปริมาณการรั่วซึมออกจากอ่างเก็บน้ำที่ใช้ในแบบจำลอง HEC-3 จะต้องเป็นข้อมูลรายเดือน ในการคำนวณหาปริมาณการรั่วซึมนี้จะพิจารณาให้มีเฉพาะการไหลในแนวนอนเท่านั้น ส่วนการไหลในแนวตั้งนั้นจะไม่พิจารณา เนื่องจากมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับในแนวนอน ปริมาณการรั่วซึมสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$q = k \frac{N}{Nd} \quad \dots\dots\dots (3.35)$$

โดยที่ q = อัตราการซึมของน้ำต่อหนึ่งหน่วยความยาวของเขื่อน , ลบ.ม. / วินาที / ม.

k = Coefficient of permeability ในแนวนอน

N_f = Flow net channels

N_d = จำนวน Equi-Potential lines

(2) อ่างเก็บน้ำ (Reservoir)

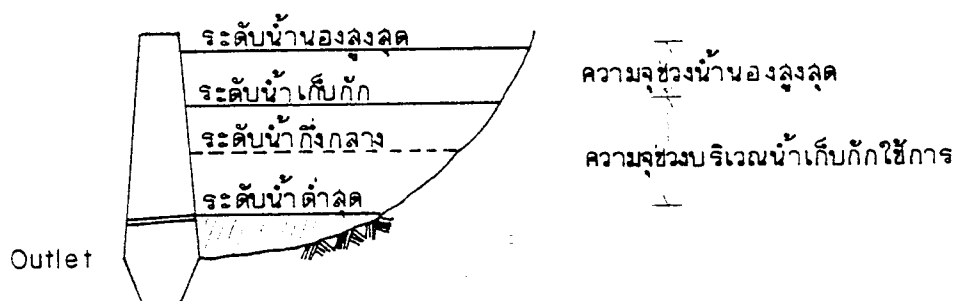
ข้อมูลเกี่ยวกับอ่างเก็บน้ำที่จะต้องใช้ในแบบจำลอง HEC-3 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ระดับปริมาณเก็บกัก พื้นที่ผิวน้ำ และความสามารถในการระบายน้ำ

ข้อมูลเหล่านี้คือ ข้อมูลซึ่งแสดงถึงลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ ข้อมูลเหล่านี้จะเกี่ยวโยงสัมพันธ์กัน กล่าวคือที่ระดับน้ำหนึ่งๆ จะมีค่าปริมาณเก็บกัก พื้นที่ผิวน้ำและความสามารถในการระบายน้ำ อย่างละ 1 ค่า ถ้าระดับน้ำเปลี่ยนแปลงไป ค่าปริมาณเก็บกัก พื้นที่ผิวน้ำและความสามารถในการระบายน้ำ ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย

กฎเกณฑ์การแบ่งระดับน้ำ (Operating Criteria)

ในการจำลองระบบการใช้ทรัพยากรน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยใช้แบบจำลอง HEC-3 นี้ จะต้องมีการกำหนดการแบ่งระดับน้ำเสียก่อน โดยที่การแบ่งระดับน้ำนี้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้ประโยชน์จากอ่างเก็บน้ำ โดยทั่วไปการกำหนดการแบ่งระดับน้ำจะแบ่งออกเป็น 4 ระดับ ดังแสดงใน รูปที่ 3.19 คือ

- ระดับน้ำต่ำสุด (Top Inactive)
- ระดับกึ่งกลางของระดับน้ำเก็บกักและระดับน้ำต่ำสุด (Top Buffer)
- ระดับน้ำเก็บกัก (Top Conservation)
- ระดับน้ำนองสูงสุด (Top Flood Control)



รูปที่ 3.19 แสดงระดับต่างๆของอ่างเก็บน้ำ

ในกรณีที่มีวัตถุประสงค์พิเศษอื่นๆ ก็สามารถกำหนดระดับเพิ่มเติมขึ้นมาได้ตามลักษณะของวัตถุประสงค์นั้นๆ

สมดุลของปริมาณน้ำ (Water Balance)

ในการพิจารณาสมดุลของปริมาณน้ำของอ่างเก็บน้ำ จะพิจารณาตามสมการที่ (3.36) และมีรูปแสดงในรูปที่ 3.20

$$S_i = S_{i-1} + I_i - Q_i - E_i \quad \dots \dots \dots (3.36)$$

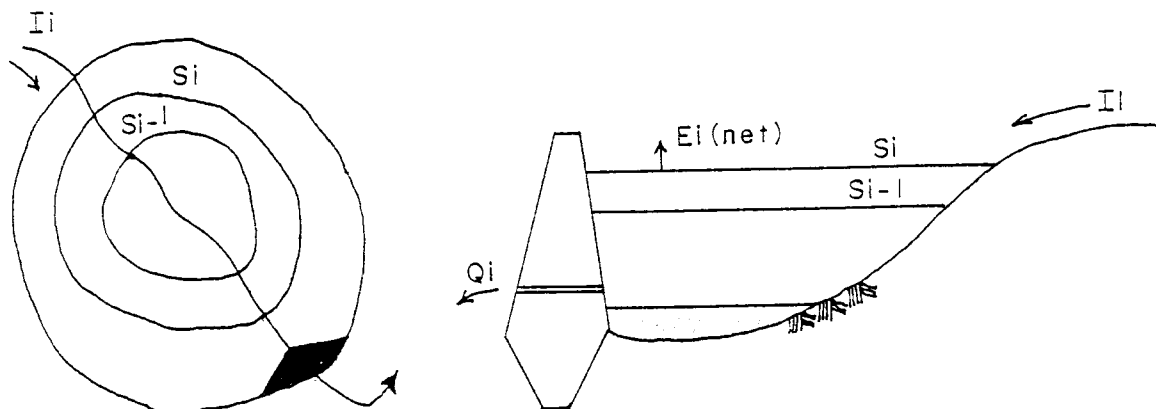
โดยที่ S_i = ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่เวลา i

S_{i-1} = ปริมาณน้ำเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่เวลา $i-1$

I_i = ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำที่เวลา i

Q_i = ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำที่เวลา i

E_i = ปริมาณการระเหยสูญจากอ่างเก็บน้ำที่เวลา i



รูปที่ 3.20 แสดงสมดุลของปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำ

(3) จุดบังคับน้ำ (Control Point)

จุดบังคับน้ำ หมายถึงจุดที่เกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำของระบบที่กำลังทำการวิเคราะห์ จุดบังคับน้ำอาจจะเป็น อ่างเก็บน้ำ ฝ่าย จุดผันน้ำ จุดที่มีปริมาณการไหลด้านข้างลงสู่ลำน้ำหลัก หรือจุดที่มีปริมาณน้ำไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำหรือฝ่ายก็ได้ การกำหนดจุดผันน้ำจะกำหนดหมายเลขเรียงตามลำดับจากเหนือน้ำสู่ท้ายน้ำ

(4) การผันน้ำ (Diversion)

จุดบังคับน้ำบางจุดจะมีการผันน้ำ เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น ผันน้ำเพื่อการชลประทาน ผันน้ำเพื่อการประปา หรือผันน้ำเพื่อการอุตสาหกรรม เป็นต้น ปริมาณน้ำที่ต้องการผันอาจจะถูกกำหนดให้คงที่ในแต่ละเดือนของทุกๆปี ที่จำลองสภาพ หรือปริมาณน้ำผันในแต่ละเดือนอาจแปรเปลี่ยนไปในแต่ละปีก็ได้ ตัวอย่างเช่นปริมาณน้ำเพื่อการประปา มักจะถูกผันด้วยปริมาณที่คงที่ในแต่ละเดือนของทุกๆปี ที่จำลองสภาพ ส่วนปริมาณน้ำเพื่อการชลประทานมักจะถูกผันด้วยปริมาณที่แปรเปลี่ยนไปในแต่ละเดือนของแต่ละปี เป็นต้น

เมื่อสามารถกำหนดองค์ประกอบพื้นฐานได้ครบทั้ง 4 ส่วน ดังกล่าวแล้ว ก็จะสามารถทำการจัดการระบบ (System Operation) เพื่อทำการวิเคราะห์หานโยบายการใช้น้ำที่เหมาะสมได้ต่อไป

3.3.4.2 การจัดการระบบการให้ทรัพยากรน้ำ

การจัดการระบบของแบบจำลอง HEC-3 มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) แบบจำลองจะเริ่มทำงานโดยการพิจารณาความต้องการใช้น้ำที่จุดควบคุมแต่ละแห่งที่สัมพันธ์ถึงกันในระบบ ในลักษณะเรียงลำดับต่อเนื่องกันไป โดยจะเริ่มตั้งแต่จุดที่อยู่ทางด้านเหนือน้ำไหลลงมาทางด้านท้ายน้ำ ปริมาณน้ำที่ปล่อยเพื่อให้บรรลุตามความต้องการทำได้ โดยการประเมินความต้องการน้ำสำหรับแต่ละวัตถุประสงค์ เช่น เพื่อการประปา เพื่อการชลประทาน ฯลฯ ควบคู่ไปกับการประเมินข้อจำกัดทางด้านกายภาพของอ่างเก็บน้ำ (โดยปกติจะเป็นฟังก์ชันของความจุอ่างเก็บน้ำ) หลังจากที่มีความต้องการน้ำเป็นไปตามเป้าหมายสำหรับแต่ละจุดควบคุมแล้ว ก็จะมีการตรวจสอบความต้องการของทั้งระบบว่ามีปริมาณน้ำเพียงพอที่จะปล่อยน้ำเพิ่มเติมให้พอเพียงกับความต้องการของทั้งระบบหรือไม่ ถ้ามีเพียงพอก็จะปล่อยน้ำเพิ่มเติมเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ตามความต้องการของระบบ ปริมาณน้ำที่ปล่อยเพิ่มเติมจะถูกนำไปรวมกับปริมาณน้ำที่ปล่อยไปในช่วงเวลาก่อนหน้านี้ เพื่อให้ได้ตามความต้องการเฉพาะแห่ง เมื่อทำเช่นนี้แล้ว ก็จะบรรลุตามวัตถุประสงค์ทั้งของระบบและเฉพาะแห่ง ซึ่งก็คือการได้นโยบายการใช้น้ำที่เหมาะสม ขบวนการนี้จะถูกคำนวณซ้ำตลอดช่วงเวลาของการจำลองสภาพ ซึ่งสภาวะสุดท้ายของระบบของช่วงเวลาก่อนจะถูกนำมาใช้เป็นสภาวะเริ่มต้นของช่วงเวลาถัดไป

(2) ผลที่ได้จากการคำนวณในลักษณะต่อเนื่องจากช่วงเวลาหนึ่งไปยังช่วงเวลาหนึ่งจะถูกบันทึกทุกๆ จุดในระบบ โดยวิธีการเรียงผลการคำนวณตามลำดับ จากต้นลงไปถึงท้ายน้ำ และโดยวิธีการกำหนดตำแหน่งที่สัมพันธ์ของแต่ละจุดบังคับน้ำ

3.3.4.3 ลำดับความสำคัญของความต้องการใช้น้ำ

ในการจัดการระบบการให้น้ำตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3.4.2 นั้นถ้าหากปริมาณน้ำมีเพียงพอตามความต้องการใช้น้ำด้านต่างๆ ก็สามารถจ่ายน้ำให้กับความต้องการใช้น้ำด้านต่างๆ นั้นตามที่ต้องการได้ แต่ถ้าหากปริมาณความต้องการใช้น้ำด้านต่างๆ รวมกันแล้วมีมากกว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ก็มีความจำเป็นที่จะต้องจัดลำดับความสำคัญของความต้องการใช้น้ำด้านต่างๆ กล่าวคือ จะจ่ายน้ำให้กับความต้องการใช้น้ำที่มีลำดับความสำคัญเป็นลำดับที่ 1 ก่อน แล้วจึงไล่เรียงไปตามลำดับต่อไป ลำดับความสำคัญของความต้องการใช้น้ำด้านต่างๆ ในการศึกษาครั้งนี้ให้เป็นอย่างนี้

- 1) ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค
- 2) ความต้องการใช้น้ำเพื่อการรักษาสภาพท้ายน้ำ
- 3) ความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน
- 4) ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม

เหตุผลที่ทำให้ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค มีลำดับความสำคัญเป็นลำดับที่ 1 ก็เพราะว่าน้ำกินน้ำใช้เป็นความต้องการพื้นฐานที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตที่ไม่สามารถจะขาดได้ และเหตุผลที่ทำให้ความต้องการใช้น้ำเพื่อการรักษาสภาพท้ายน้ำมีลำดับความสำคัญเป็นลำดับที่ 2 ก็เพราะว่าต้องการให้มีผลกระทบต่องิเลสแล่มที่อยู่ด้านท้ายน้ำน้อยที่สุด ส่วนเหตุผลที่ทำให้ความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทานมีลำดับความสำคัญก่อนความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรมนั้น ก็เพราะเนื่องจากวัตถุประสงค์ของการสร้างอ่างเก็บน้ำห้วยหลวงนั้น ก็เพื่อต้องการกักเก็บน้ำไว้ใช้ในการชลประทาน และประชากรส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษามีอาชีพเกษตรกรรม ดังนั้นจึงควรให้ความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทานมีลำดับความสำคัญก่อนความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม

ดังนั้นถ้าหากเกิดกรณีที่มีความต้องการใช้น้ำด้านต่างๆ รวมกันแล้วมีปริมาณมากกว่าปริมาณน้ำที่มีอยู่ ก็จะทำให้การจ่ายน้ำให้กับความต้องการใช้น้ำ โดยเรียงตามลำดับความสำคัญดังกล่าวข้างต้น