การบริหารความเสี่ยงน้ำท่วมน้ำแล้ง: กรณีศึกษาพื้นที่ลุ่มน้ำทับมา จังหวัดระยอง

ภรณี ธนภรรคภวิน

นักวิจัย สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร Email: porranee@haii.or.th

บทคัดย่อ : ปัญหาการขาดแคลนน้ำของจังหวัดระยองในปี 2548 มีสาเหตุหลักมาจากสภาวะแปรปรวนของฝน ปริมาณการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นจากภาคส่วนต่างๆ และการกักเก็บน้ำไว้ในบริเวณต้นน้ำ รวมถึงการขาดระบบสำรองน้ำ ซึ่งยังคงมีความจำเป็นแม้จะมีน้ำเพียงพอ งานวิจัยนี้จึงมุ่งวิเคราะห์ความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำของลุ่มน้ำ และการบริหารความเสี่ยงน้ำท่วมน้ำแล้งด้วยการสำรองน้ำโดยใช้แก้มลิงทั้งในภาวะปกติและภาวะวิกฤต จากกรณีศึกษาในลุ่มน้ำทับมา จังหวัดระยอง ในการศึกษาได้จัดเกณฑ์ปริมาณน้ำมาก น้ำปานกลาง และน้ำน้อย ประเมินปริมาณน้ำท่าและความต้องการใช้น้ำ จากนั้นวิเคราะห์สมดุลน้ำ ความเสี่ยงขาดแคลนน้ำและระดับความขาดแคลน แล้วเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับการสำรวจพื้นที่จริง เพื่อเสนอแนะแนวทางสำรองน้ำ ผลการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยเท่ากับ 95 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี และมีน้ำจากแหล่งน้ำอื่นๆ 3 ล้าน ลบ.ม.ต่อปี ความต้องการใช้น้ำในพื้นที่ปัจจุบันอยู่ที่ 23 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี โดยภาคเกษตรมีการใช้น้ำมากที่สุด รองลงมาเป็นภาคอุตสาหกรรม ลุ่มน้ำทับมามีความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน และช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม แนวทางการบริหารความเสี่ยงนี้ควรพัฒนาแก้มลิงให้มีความจุรวมเท่ากับ 4.11 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งจะเพียงพอต่อสภาพขาดแคลนรุนแรงสุดและสามารถป้องกันน้ำท่วมได้ โดยใช้พื้นที่บ่อน้ำและบ่อลูกรังที่มีศักยภาพสูง รวมถึงบ่อน้ำที่มีศักยภาพรอง รวมทั้งปรับปรุงสภาพคลองและฝายเพื่อเพิ่มความจุสำรอง ทั้งนี้ การสร้างระบบสำรองน้ำที่มีการเชื่อมโยงของพื้นที่แก้มลิงและแหล่งน้ำต่างๆ เข้าด้วยกัน จำเป็นต้องส่งเสริมสนับสนุนให้เกิดการบริหารจัดการน้ำระดับชุมชน โดยสนับสนุนชุมชนให้มีความรู้ความเข้าใจในการวางแผน บริหาร จัดสรร และสำรองน้ำในพื้นที่ รวมทั้งประสานการทำงานระหว่างชุมชน กรมชลประทาน และจังหวัด

KEYWORDS : แก้มลิง; การสำรองน้ำ; สมดุลน้ำ; ความต้องการใช้น้ำ; การบริหารความเสี่ยง

1. ที่มาและความสำคัญ

สถานการณ์การขาดแคลนน้ำของจังหวัดระยองในปีพ.ศ.2548 มีสาเหตุหลักจากสภาวะแปรปรวนของฝน ปริมาณการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นจากภาคส่วนต่างๆ และการกักเก็บน้ำไว้ในบริเวณต้นน้ำ รวมถึงการขาดระบบสำรองน้ำ ผลที่ตามมาคือความขัดแย้งทางสังคมกรณีการจัดลำดับความสำคัญของการจัดการน้ำระหว่างภาคอุปโภคบริโภค เกษตรกรรม และอุตสาหกรรม ปัญหาเหล่านี้จะบรรเทาลงได้ หากทุกภาคส่วนมีแหล่งน้ำสำรองไว้ใช้ยามฉุกเฉิน และหนึ่งในแหล่งน้ำสำรองที่ให้ความยืดหยุ่นในการใช้งานคือแก้มลิง ที่ผ่านมาการใช้งานแก้มลิงมีวัตถุประสงค์เพื่อชะลอน้ำ พักน้ำในช่วงน้ำหลาก รอให้คลองต่างๆ ซึ่งเป็นทางระบายน้ำหลักพร่องน้ำจนพอจะรับได้ แล้วจึงค่อยระบายน้ำลง เพื่อลดปัญหาน้ำท่วม แต่ยังไม่ได้นำมาใช้งานในการสำรองน้ำ จึงควรมีการศึกษาการพัฒนาแก้มลิงในระดับท้องถิ่นเพื่อใช้ในการสำรองน้ำ

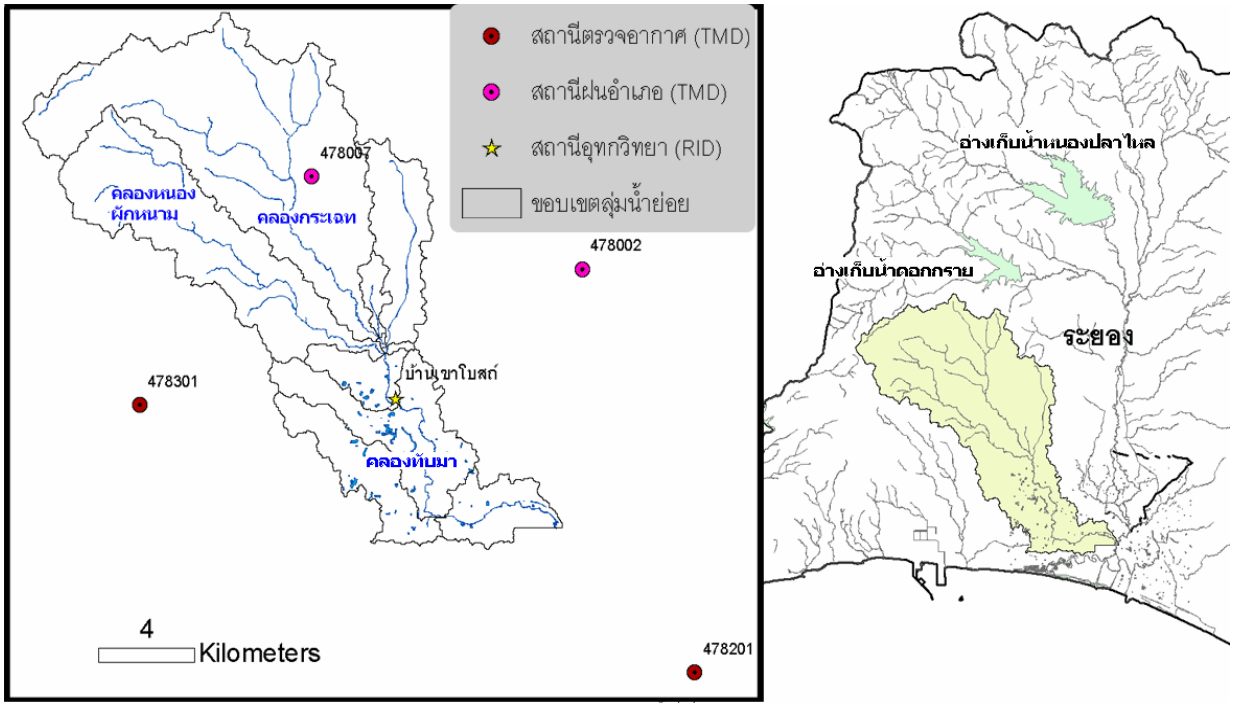
2. จุดประสงค์

งานวิจัยนี้มุ่งวิเคราะห์ความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำของลุ่มน้ำ และการบริหารความเสี่ยงกรณีน้ำท่วม และขาดแคลนน้ำ ด้วยการสำรองน้ำโดยใช้แก้มลิง จากกรณีศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำทับมา จังหวัดระยอง

3. ข้อมูลพื้นฐานของพื้นที่ลุ่มน้ำทับมา

3.1 ลักษณะทางกายภาพ

ลุ่มน้ำทับมา (ภาพที่ 1) เป็นหนึ่งในลุ่มน้ำสาขาของลุ่มน้ำคลองใหญ่ในจังหวัดระยอง มีพื้นที่รับน้ำทั้งหมด 197 ตารางกิโลเมตร และมีระดับความสูง สูงสุดและต่ำสุดที่ 416 และ 4 ม. (เทียบกับระดับทะเลปานกลาง) ตามลำดับ พื้นที่ต้นน้ำประกอบด้วยคลองหลัก 4 เส้น มี คลองหนองผักหนาม คลองกระเฉท คลองมาบหินตาด และคลองช้างตาย ไหลมาบรรจบกันเป็นคลองทับมา โดยต้นน้ำมีพื้นที่รับน้ำรวมกัน 145 ตารางกิโลเมตร คลองทับมานี้ไหลไปในทิศตะวันออกเฉียงใต้ และมาบรรจบกับแม่น้ำระยอง ที่ตำบลเชิงเนิน อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง



ภาพที่ 1: ตำแหน่งที่ตั้งของลุ่มน้ำทับมา สถานีฝนอำเภอ สถานีตรวจอากาศ และสถานีอุทกวิทยาภายในและใกล้เคียงลุ่มน้ำ

สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้น ร้อยละ 86 ของพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นพื้นที่เกษตรกรรม พืชเศรษฐกิจหลัก ได้แก่ ยางพาราสัปปะรด ไม้ผลผสม มันสำปะหลัง สัปปะรด และมะพร้าว พื้นที่ส่วนที่เหลือเป็นป่าไม้ นา ที่อยู่อาศัย พื้นที่ราชการ อุตสาหกรรม และพื้นที่อื่นๆ ลักษณะดินส่วนใหญ่ในพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นดินร่วนละเอียด ดินทรายปนดินร่วน หรือดินทราย เกิดจากวัตถุต้นกำเนิดดินพวกตะกอนลำน้ำ หรือจากการสลายตัวผุพังอยู่กับที่ หรือจากการสลายตัวผุพังแล้วถูกเคลื่อนย้ายมาทับถม กลุ่มชุดดินหลักๆ ประกอบด้วยกลุ่มชุดดินที่ 35/29 26 29 35 39 40 และ 43 ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ตามธรรมชาติปานกลางถึงค่อนข้างต่ำ

3.2 ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา

ลุ่มน้ำทับมามีปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนรวมทั้งปี ระหว่างปี พ.ศ.2525-2549 เท่ากับ 280 ล้านลบ.ม. (1,422 มิลลิเมตร) โดยปริมาณฝนเฉลี่ยฤดูฝน (เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม) เท่ากับ 225 ล้านลบ.ม.หรือร้อยละ 80 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนรวมทั้งปี สำหรับพื้นที่ต้นน้ำของคลองทับมามีปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนรวมทั้งปีเท่ากับ 208 ล้านลบ.ม. หรือร้อยละ 74 ของปริมาณฝนเฉลี่ยรวมทั้งปีของพื้นที่ลุ่มน้ำทับมาทั้งหมด ลักษณะของฝนพบว่ามีสองช่วงที่ฝนตกหนัก คือช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน และช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของแต่ละเดือนจะมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วงประมาณ 32-34 องศาเซลเซียส

4. วิธีการศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 ประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำโดยใช้แบบจำลอง
ขั้นตอนที่ 2 จัดเกณฑ์ปริมาณน้ำมาก น้ำปานกลาง และน้ำน้อยของน้ำในลุ่มน้ำที่มาจากธรรมชาติ
ขั้นตอนที่ 3 ประเมินความต้องการใช้น้ำในลุ่มน้ำ
ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์สมดุลน้ำ ที่สภาพน้ำท่าตามเกณฑ์น้ำมากหรือน้ำน้อย แล้วสรุประดับความขาดแคลนน้ำ นำมาใช้ประเมินความเสี่ยงที่น้ำจะขาดแคลนในแต่ละเดือน
ขั้นตอนที่ 5 สำรวจพื้นที่ภาคสนาม และเสนอแนะระบบสำรองน้ำ

5. ผลการศึกษา

5.1 การประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำทับมา

ประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำโดยใช้แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) [2] แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่านี้รวมเอาข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดของดิน สภาพภูมิประเทศ ระดับความลาดชัน และการจัดการที่ดินมาใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำในกระบวนการต่างๆ ในวัฏจักรของอุทกวิทยา

5.1.1 ข้อมูลนำเข้า

ข้อมูลนำเข้าเชิงกายภาพประกอบด้วย ข้อมูลระดับความสูงของพื้นที่ เป็นข้อมูล Digital Elevation Model (DEM) มีความละเอียด 30 เมตร ข้อมูลเส้นทางน้ำจริง มาตราส่วน 1:20,000 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2544-2545 มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมพัฒนาที่ดิน ซึ่งได้นำมาจัดกลุ่มใหม่ให้ตรงกับชนิดของการใช้ประโยชน์ที่ดินในฐานข้อมูลของแบบจำลอง แผนที่กลุ่มชุดดินปี 2545 ซึ่งจัดทำโดยกรมพัฒนาที่ดิน ทั้งนี้ แผนที่กลุ่มชุดดินไม่มีข้อมูลสมบัติทางกายภาพของดินในเชิงตัวเลข จึงนำข้อมูลชุดดินจากรายงานการสำรวจดินจังหวัดระยอง ปี 2528 [3] มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบ เพื่อหาชุดดินมาเป็นตัวแทนกลุ่มชุดดิน และสกัดคุณสมบัติทางกายภาพของชุดดินจัดตั้งมาใช้ ส่วนข้อมูลนำเข้าเชิงอุตุนิยมวิทยาประกอบด้วยข้อมูลฝนรายวัน ข้อมูลอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดรายวัน ข้อมูลสถิติความเร็วลมเฉลี่ยรายเดือนและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายเดือน ปี 2525-2549

5.1.2 การตั้งเงื่อนไขการดำเนินงานแบบจำลอง

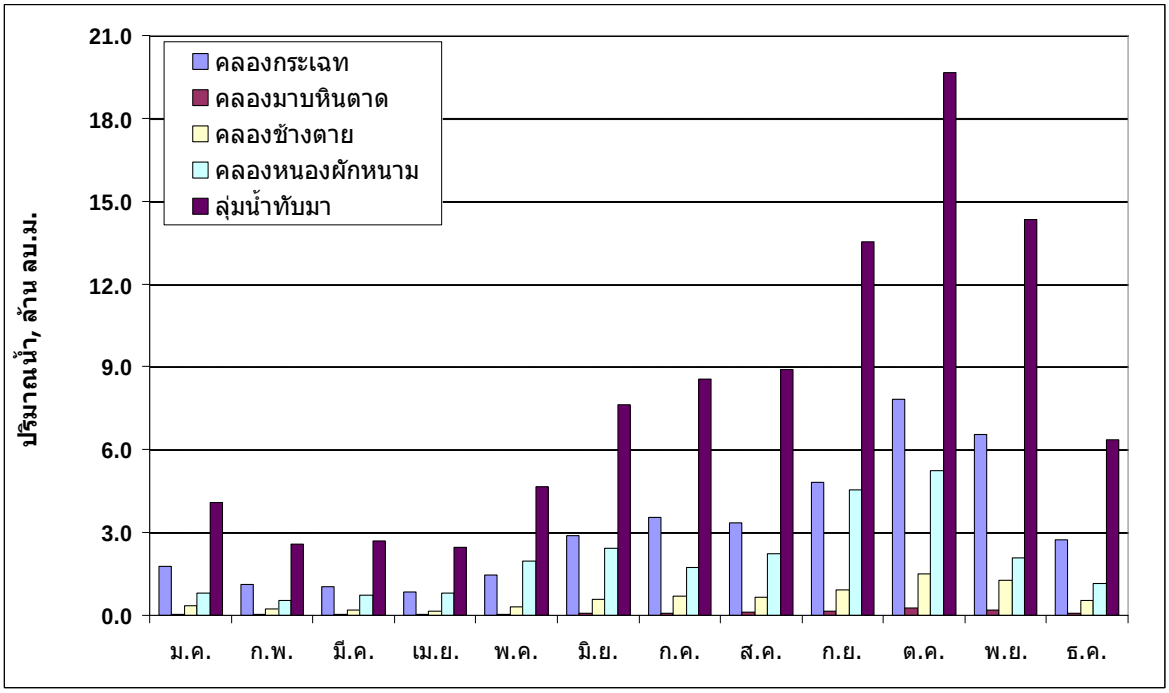
แบ่งลุ่มน้ำทับมาออกเป็น 10 ลุ่มน้ำย่อย และตั้งการดำเนินงานแบบจำลองรายวัน สำหรับตัวแปรทางพืชพรรณ ใช้ค่าที่อยู่ในฐานข้อมูลของ SWAT คุณสมบัติของดินได้จากคุณสมบัติของชุดดินจัดตั้ง แต่สำหรับตัวแปรที่ไม่มีค่าอยู่ในฐานข้อมูลชุดดินจัดตั้ง ประมาณค่าโดยอิงจากชนิดของเนื้อดิน ตัวแปรอื่นๆ ใช้ค่าที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของแบบจำลอง

5.1.3 การปรับเทียบและสอบเทียบแบบจำลอง

การปรับเทียบแบบจำลองใช้ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำท่าจากคลองทับมาตอนบนที่ได้จากแบบจำลอง กับข้อมูลน้ำท่ารายเดือนที่วัดได้ ณ สถานีอุทกวิทยา Z.38 (บ้านเขาโบสถ์) และใช้ Nash-Sutcliffe efficiency และ Root Mean Square Error เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ ผลการปรับเทียบและสอบเทียบพบว่าแบบจำลองมีประสิทธิภาพยอมรับได้ คือมีค่า Efficiency มากกว่า 0.5 โดยในช่วงปรับเทียบ ค่า E เท่ากับ 0.77 และ RMSE เท่ากับ 3.6 ลบ.ม./วินาที ส่วนช่วงสอบเทียบ ค่า E เท่ากับ 0.70 และ RMSE เท่ากับ 2.62 ลบ.ม./วินาที

5.1.4 ปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำทับมา

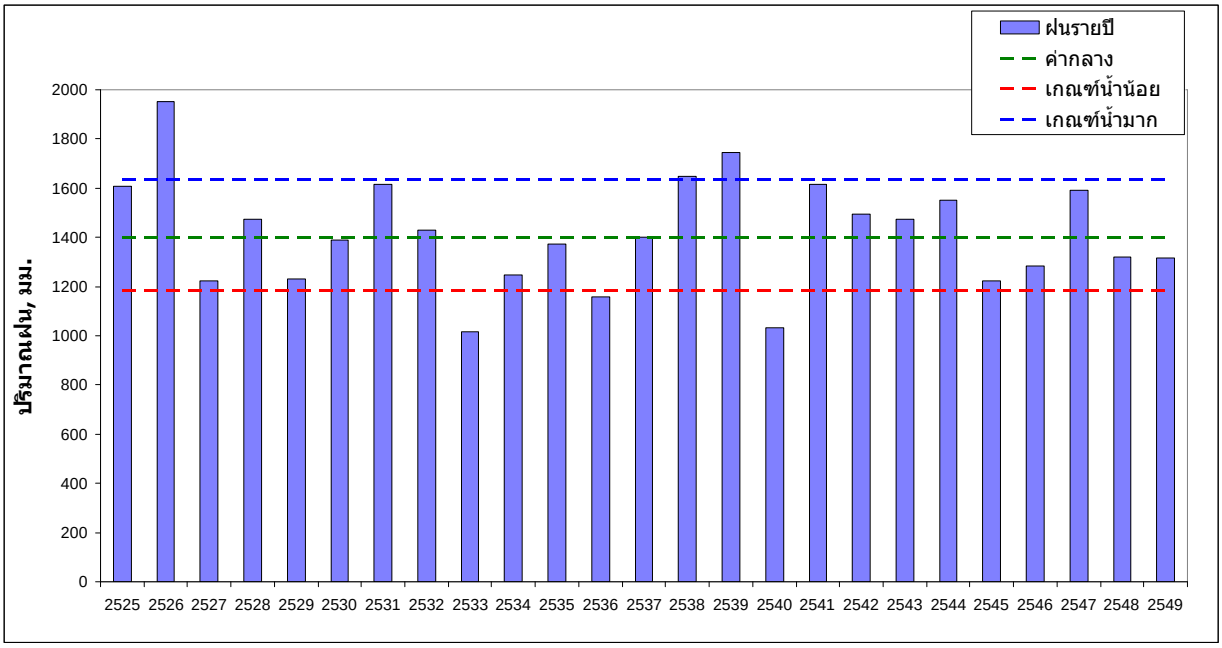
ปริมาณน้ำท่าค่อยๆ สูงขึ้นตั้งแต่เดือนพฤษภาคม และมีปริมาณสูงสุดในเดือนตุลาคม แล้วลดลงจนต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ (ภาพที่ 2) ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำเท่ากับ 95 ล้านลบ.ม.ต่อปี พื้นที่ต้นน้ำมีปริมาณน้ำท่ารวมคิดเป็นร้อยละ 74 ของปริมาณน้ำทั้งลุ่มน้ำทับมา หรือเท่ากับ 71 ล้านลบ.ม.ต่อปี



ภาพที่ 2 ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนของลุ่มน้ำต้นน้ำของคลองทับมาและของทั้งลุ่มน้ำทับมา ปี 2536-2547

5.2 การจัดเกณฑ์ปริมาณน้ำมาก น้ำปานกลาง น้ำน้อย

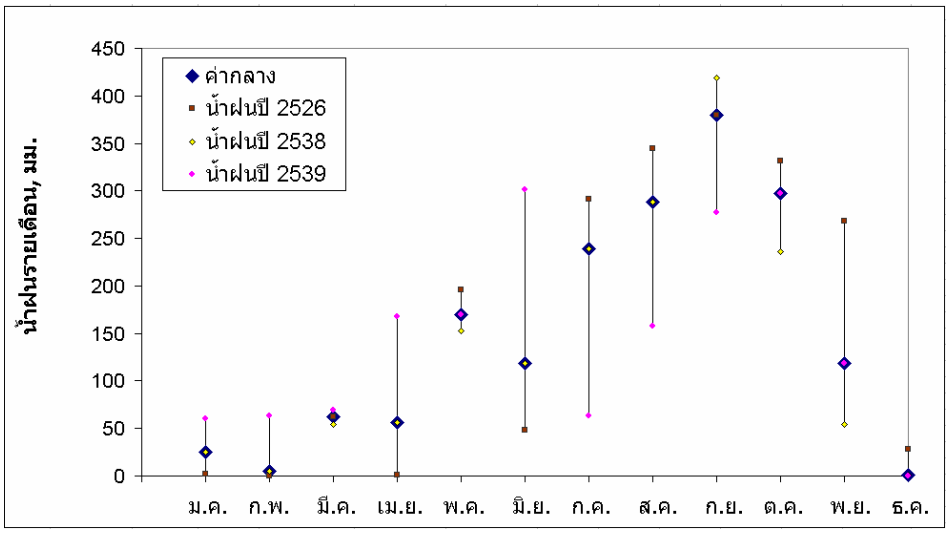
ในการศึกษาได้มีการกำหนดเกณฑ์น้ำมากน้ำน้อยโดยใช้หลักการแจกแจงความถี่ และกำหนดว่า เกณฑ์น้ำมาก คือข้อมูลที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 90 เกณฑ์น้ำน้อยคือข้อมูลที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 และเกณฑ์น้ำปานกลางคือข้อมูลที่มีค่าอยู่ระหว่างเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 10 และ 90 และค่ากลางคือข้อมูลที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50
เมื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนเป็นรายปี (ภาพที่ 3) พบว่า ปี 2526 2538 และ 2539 เป็นปีน้ำมาก ส่วนปี 2533 2536 และ 2540 เป็นปีน้ำน้อย



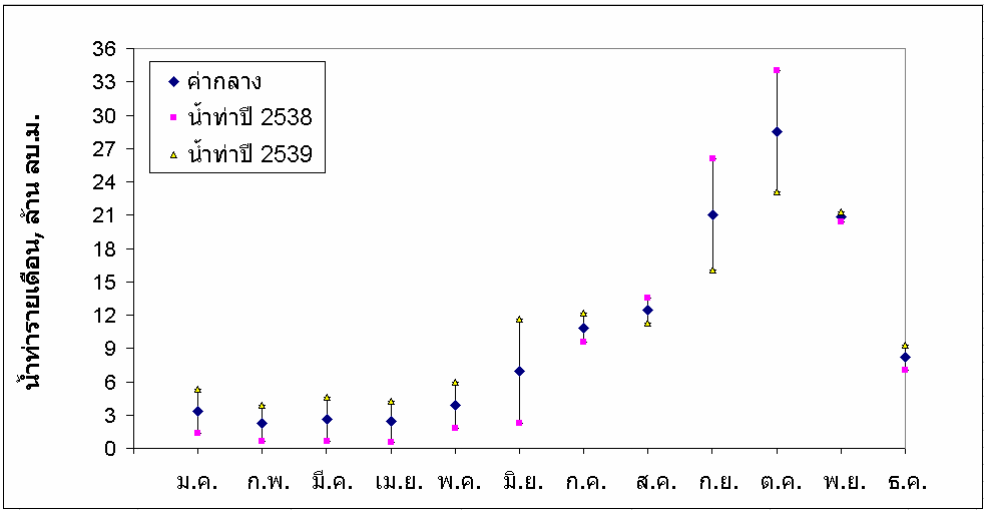
ภาพที่ 3 ปริมาณฝนรายปีของลุ่มน้ำทับมาตามเกณฑ์น้ำมากน้ำน้อย

เนื่องจากการบริหารจัดการน้ำระดับปฏิบัติการนั้นต้องการข้อมูลปริมาณน้ำเป็นรายเดือนหรือรายสัปดาห์หลังจากจัดเกณฑ์น้ำฝนรายปี จึงวิเคราะห์สถิติของน้ำฝนและน้ำท่ารายเดือนที่คำนวณจากแบบจำลอง แยกตามสภาพปีน้ำมาก น้ำน้อย น้ำปานกลาง (ภาพที่ 4-9) ผลปรากฏว่า ปีน้ำฝนมากและปีน้ำฝนน้อยมีพิสัยของน้ำฝนและน้ำท่า และค่าปริมาณน้ำแต่ละเดือนแตกต่างกัน โดยช่วงที่มีความแตกต่างของปริมาณน้ำฝนระหว่างปีน้ำมากและปีน้ำน้อยมากที่สุดได้แก่ช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม และเดือนพฤศจิกายน ส่วนช่วงที่มีความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าระหว่างปีน้ำมากและปีน้ำน้อยมากที่สุดได้แก่ช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคม

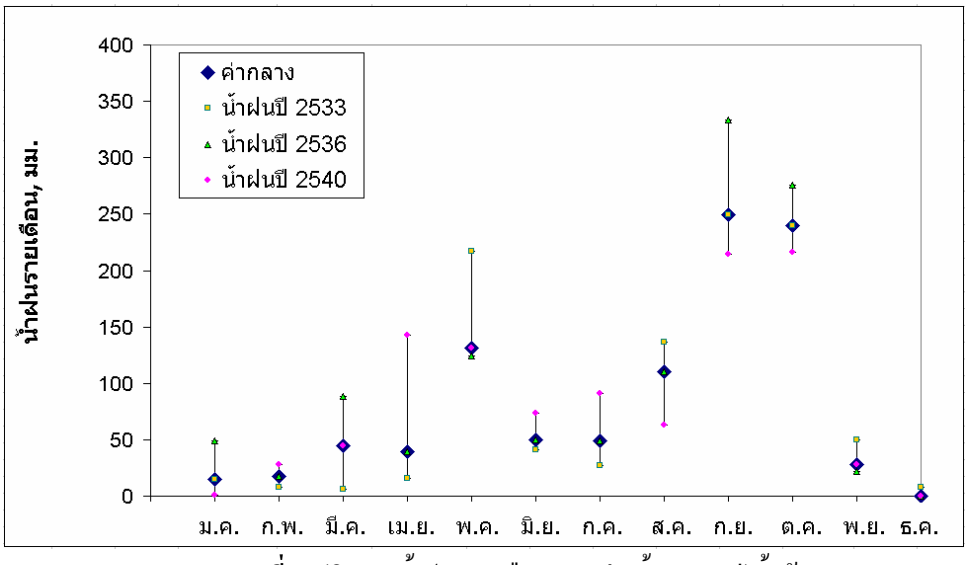
ในปีน้ำฝนปานกลาง พิสัยของน้ำฝนและน้ำท่ากว้างกว่าค่าพิสัยในปีน้ำน้อยและปีน้ำมาก และปริมาณน้ำอยู่ในช่วงคาบเกี่ยวกับปริมาณน้ำในปีน้ำมากน้ำน้อยด้วย



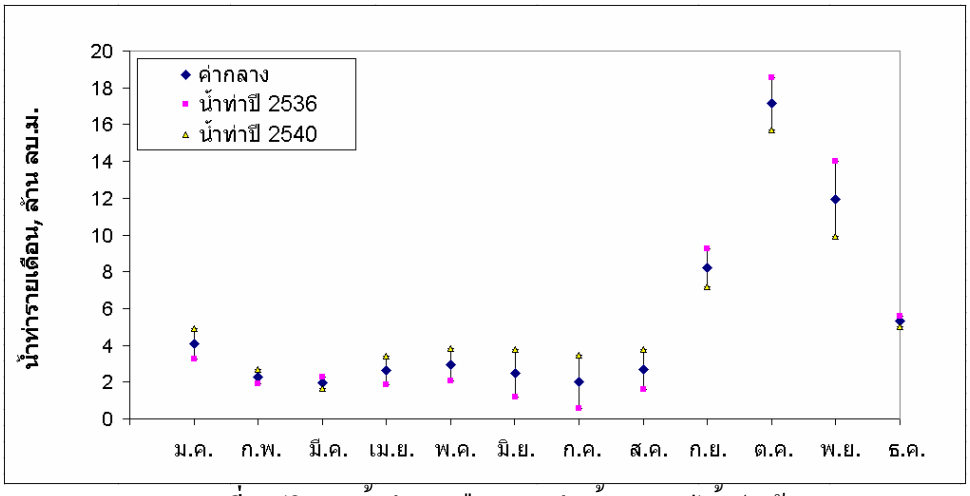
ภาพที่ 4 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนของลุ่มน้ำทับมา ปีน้ำมาก



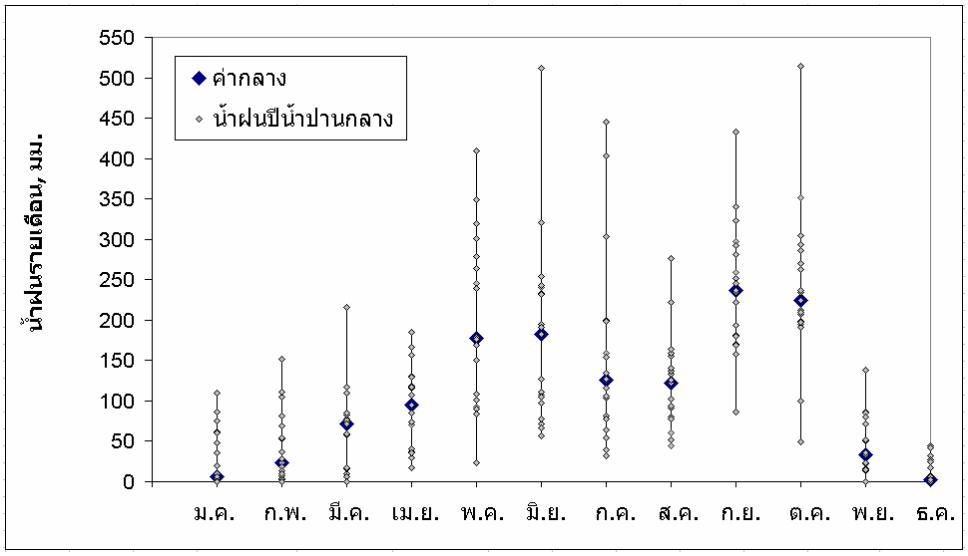
ภาพที่ 5 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของลุ่มน้ำทับมา ปีน้ำฝนมาก



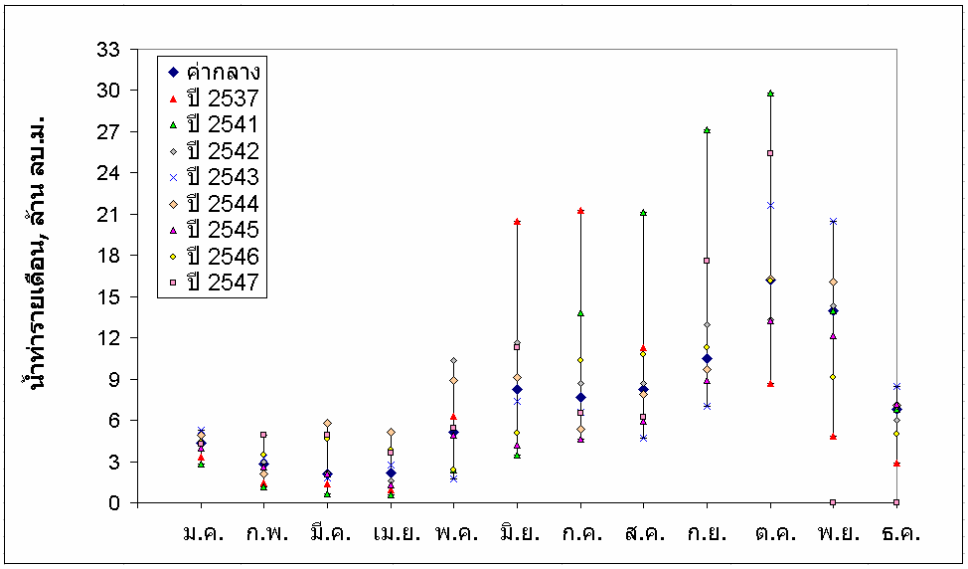
ภาพที่ 6 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนของลุ่มน้ำทับมา ปีน้ำน้อย



ภาพที่ 7 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของลุ่มน้ำทับมา ปีน้ำฝนน้อย



ภาพที่ 8 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนของลุ่มน้ำทับมา ปีน้ำปานกลาง



ภาพที่ 9 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของลุ่มน้ำทับมา ปีน้ำฝนปานกลาง

5.3 การประเมินการความต้องการใช้น้ำในลุ่มน้ำ

5.3.1 ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค

คำนวณความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคจากสมการที่ 1

ปริมาณน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคต่อเดือน = จำนวนประชากร x อัตราการใช้น้ำในครัวเรือนต่อคนต่อวัน x จำนวนวัน (1)

โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งพบว่า ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในครัวเรือนเท่ากับ 200 ลิตรต่อคนต่อวัน และข้อมูลจำนวนประชากรปี 2549 จะได้ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคทั้งปีของลุ่มน้ำทับมาเท่ากับ 3.303 ล้านลบ.ม.

5.3.2 ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม

ใช้วิธีการศึกษา 2 วิธี ได้แก่ การสอบถามโรงงานโดยตรงและการประมาณ สำหรับโรงงานที่ไม่มีข้อมูลโดยตรงได้ประมาณจากอัตราการใช้น้ำรายอุตสาหกรรม (ลบ.ม.ต่อแรงม้าต่อเดือน) กับแรงม้าของโรงงานทุกโรงที่ตั้งอยู่ ณ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยนั้น โดยข้อมูลอัตราการใช้น้ำรายอุตสาหกรรมได้จากผลการศึกษาของโครงการประเมินผลโครงการเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี 2548 และข้อมูลแรงม้าของโรงงานแต่ละโรงได้จากสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดระยอง ปี 2549 ปริมาณการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรมต่อเดือนของโรงงานแต่ละโรงเป็นไปตามสมการที่ 2 [1]

ปริมาณการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรม = อัตราการใช้น้ำรายอุตสาหกรรม x แรงม้าต่อเดือนของแต่ละโรงงาน (2)

จะได้ความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรมรายเดือนของพื้นที่ลุ่มน้ำทับมาเท่ากับ 0.727 ล้านลบ.ม. และความต้องการใช้น้ำเพื่อการอุตสาหกรรมทั้งปีของพื้นที่ลุ่มน้ำทับมาเท่ากับ 8.722 ล้านลบ.ม.

5.3.3 การใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม

เป็นการศึกษาความต้องการใช้น้ำนอกเหนือจากปริมาณฝนใช้การของพื้นที่เกษตรกรรมพื้นที่ต่างๆ ในลุ่มน้ำทับมา โดยพิจารณาจากชนิดของพืช ขนาดพื้นที่ และปริมาณฝนใช้การ คำนวณอัตราการใช้น้ำรายเดือนต่อพื้นที่ (ลบ.ม.ต่อไร่ต่อเดือน) รวมทั้งปริมาณการใช้น้ำรายเดือน (ลบ.ม.) ของพืชแต่ละกลุ่ม ด้วยข้อมูลอัตราการใช้น้ำตลอดอายุพืช (ลบ.ม.ต่อไร่) และอายุพืช (เดือน) และขนาดพื้นที่ (ไร่) ซึ่งขนาดพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละกลุ่มได้จากแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2544-2545 จากการสอบถามสำนักงานเกษตรอำเภอนิคมพัฒนาพบว่า พืชกลุ่มที่ต้องการน้ำชลประทาน ได้แก่ นาข้าว พืชไร่ผสม ยางพารา และไม้ผลผสม โดยพืชกลุ่มเหล่านี้บางแปลงจะต้องให้น้ำโดยเฉพาะฤดูแล้ง แต่เนื่องจากพื้นที่ลุ่มน้ำทับมาไม่ได้อยู่ในพื้นที่ชลประทานของโครงการใด จึงยังขาดข้อมูลสัดส่วนของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินแต่ละกลุ่มที่จะต้องให้น้ำ

ดังนั้น สมมุติฐานในการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องใช้นอกเหนือจากฝนใช้การคือ สมมุติว่าร้อยละ 5 ของพื้นที่ปลูกยางพาราทั้งหมดต้องรดน้ำ โดยมีหลักว่า ยางพาราต้องรดน้ำเฉพาะปีแรก และอายุต้นยางประมาณ 20 ปี ถ้ามีการเวียนปลูกโดยตลอด จะพบว่าพื้นที่ร้อยละ 5 ของพื้นที่ปลูกยางพาราทั้งหมดอยู่ในช่วงที่ต้องรดน้ำ ส่วนไม้ผลผสมหรือพืชไร่ผสม สมมุติว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่ทั้งหมดใช้น้ำนอกเหนือจากฝนใช้การ สำหรับนาข้าวเดือนที่ปลูกและต้องให้น้ำคือช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน

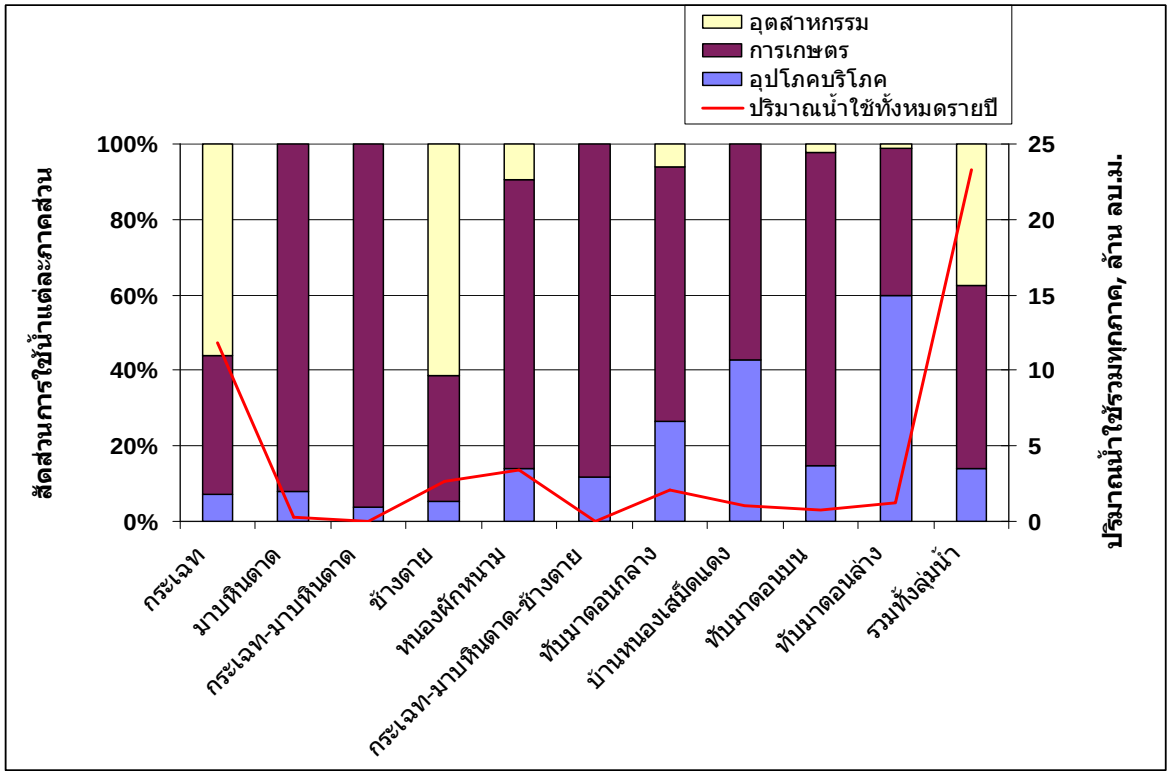
ความต้องการน้ำชลประทานรายเดือนมีค่าเท่ากับส่วนต่างของปริมาณการใช้น้ำรายเดือนของพืชกับฝนใช้การในพื้นที่เพาะปลูกพืชกลุ่มนั้น โดยคำนึงถึงการสูญเสียน้ำชลประทานด้วยดังสมการที่ 3

ความต้องการน้ำชลประทานรายเดือน = (ปริมาณการใช้น้ำรายเดือน - ฝนใช้การ)/ประสิทธิภาพชลประทาน (3)

ฝนใช้การสมมุติให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 ของปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย ส่วนประสิทธิภาพการชลประทานได้จากกรมชลประทาน ซึ่งเท่ากับ 0.85 ในฤดูแล้ง ได้แก่ ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน และช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม และเท่ากับ 0.60 ในฤดูฝน ได้แก่ ช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม จะได้ความต้องการใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรมทั้งปีของลุ่มน้ำทับมาเท่ากับ 11.24 ล้านลบ.ม.

5.3.4 การใช้น้ำรวมจากทุกภาค

เมื่อรวมการใช้น้ำจากทุกภาค ความต้องการใช้น้ำปัจจุบันอยู่ที่ประมาณ 23.3 ล้าน ลบ.ม./ปี โดยลุ่มน้ำคลองกระเฉทมีการใช้น้ำมากที่สุด รองลงมาเป็นลุ่มน้ำคลองหนองผักหนาม คิดเป็นร้อยละ 51 และร้อยละ 15 ของความต้องการใช้น้ำทั้งลุ่มน้ำทับมา สำหรับภาคที่ใช้น้ำมากที่สุดคือภาคการเกษตร (ภาพที่ 10) คิดเป็นร้อยละ 48 ของความต้องการใช้น้ำทั้งลุ่มน้ำทับมา รองลงมาเป็นภาคอุตสาหกรรม คิดเป็นร้อยละ 37 ลุ่มน้ำย่อยส่วนใหญ่มีสัดส่วนการใช้น้ำภาคเกษตรมากที่สุด ยกเว้นลุ่มน้ำคลองกระเฉท และคลองช้างตาย ซึ่งมีสัดส่วนการใช้น้ำภาคอุตสาหกรรมมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 56 และ 61 ของความต้องการใช้น้ำทั้งหมดภายในลุ่มน้ำ ตามลำดับ



ภาพที่ 10 สัดส่วนการใช้น้ำของภาคต่างๆ ในแต่ละลุ่มน้ำย่อยและรวมทั้งลุ่มน้ำทับมา

5.3.5 การใช้น้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำ

นอกเหนือจากการใช้น้ำทั้งสามภาคข้างต้น ยังมีปริมาณน้ำใช้ขั้นต่ำสุดด้านท้ายน้ำที่จะต้องคงไว้เพื่อรักษาระบบนิเวศ ในการศึกษานี้คิดปริมาณน้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศรายเดือนเป็นร้อยละ 10 ของปริมาณน้ำท่าทั้งลุ่มน้ำ ซึ่งเป็นร้อยละเฉลี่ยของน้ำท่าทั้งประเทศที่ใช้สำหรับรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำ สาเหตุที่ไม่ได้รวมการใช้น้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำเข้ากับการใช้น้ำภาคอื่นๆ เนื่องจากเป็นความต้องการใช้น้ำนอกพื้นที่ลุ่มน้ำทับมา

5.4 สมดุลน้ำ และประเมินความเสี่ยงน้ำขาดแคลน

5.4.1. สมการสมดุลน้ำ

สมดุลน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำทับมาคำนวณได้จากสมการที่ 4

สมดุลน้ำของลุ่มน้ำ = $\sum$ อุปทานน้ำ – $\sum$ อุปสงค์น้ำ

= [ปริมาณน้ำท่า + ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำอื่นๆ] – [การใช้น้ำภาคอุปโภคบริโภค + การใช้น้ำภาคเกษตรกรรม + การใช้น้ำภาคอุตสาหกรรม + การใช้น้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศท้ายน้ำ] (4)

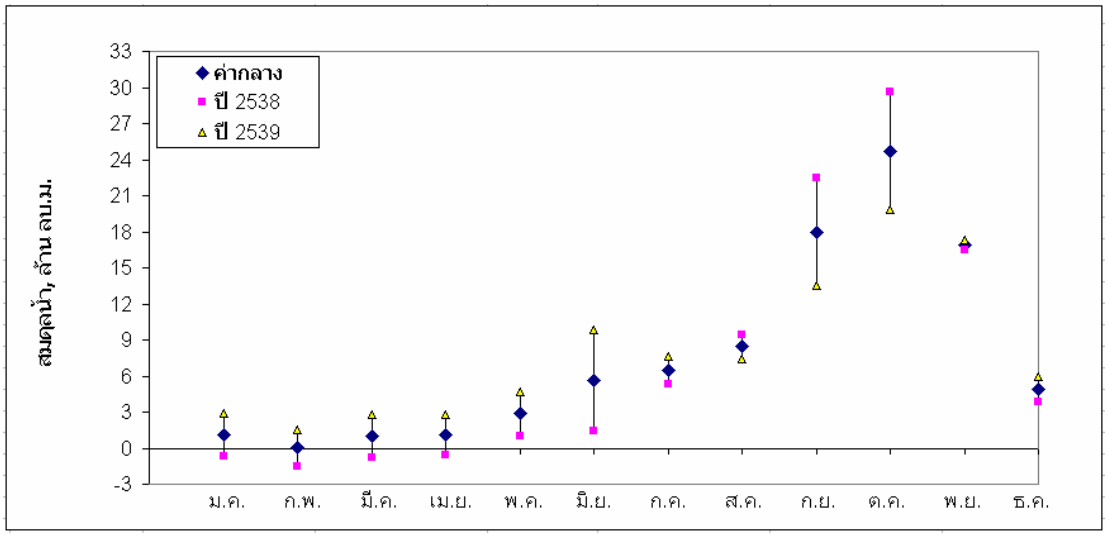
สำหรับปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำอื่นๆ นอกเหนือจากน้ำท่า จากการสอบถามสำนักงานเกษตรอำเภอนิคมพัฒนา โรงงานอุตสาหกรรมในบริเวณลุ่มน้ำทับมา และจากข้อมูลพื้นฐานด้านเศรษฐกิจและสังคมระดับหมู่บ้าน (กชช2ค.) พบว่า แหล่งน้ำเหล่านี้ประกอบด้วย น้ำที่ส่งมาจากนอกพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งรับมาจากบริษัทจัดการและพัฒนาทรัพยากรน้ำภาคตะวันออกจำกัด (มหาชน) (Eastwater) บ่อน้ำตื้น สระรับน้ำฝน และบ่อบาดาล

5.4.2 ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำอื่นๆ นอกเหนือจากน้ำท่า

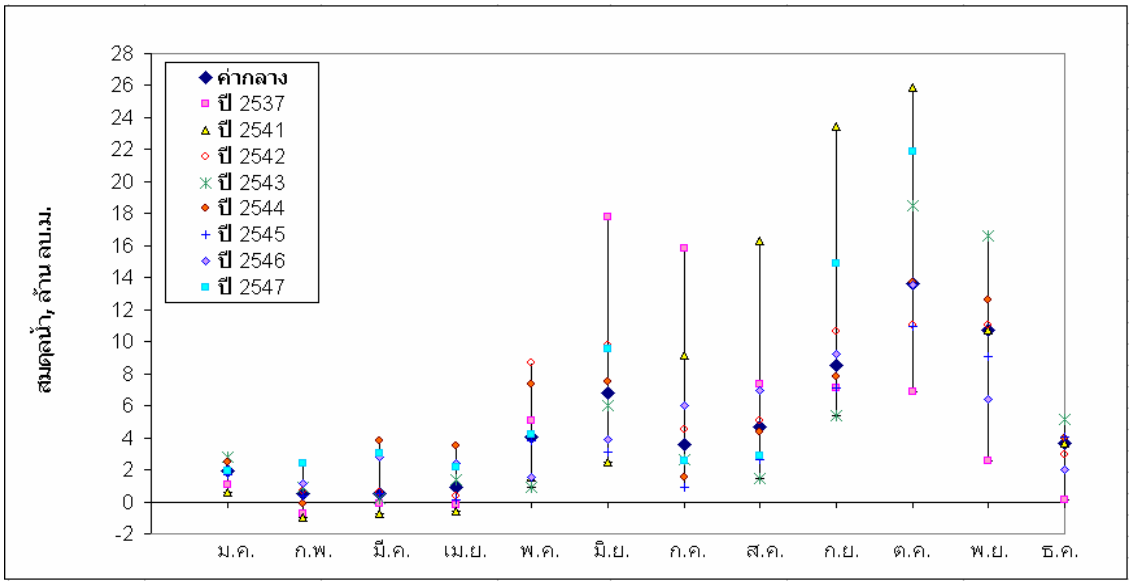
ปริมาณน้ำที่ได้จาก Eastwaterใช้ข้อมูลปริมาณน้ำรายเดือนที่ EastWater ส่งให้ลูกค้าภาคอุปโภคบริโภคและภาคอุตสาหกรรม ประจำปีงบประมาณ 2550 ปริมาณน้ำรายเดือนจากบ่อน้ำตื้นมาจากรายงานสถานการณ์การใช้น้ำของประเทศไทย ปีพ.ศ.2548 โดยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ยของสระน้ำในเขตประกอบการอุตสาหกรรมระยองที่ดินอุตสาหกรรมมาจากการสอบถามเขตประกอบการดังกล่าวโดยตรง สำหรับบ่อบาดาล เนื่องจากข้อมูลที่พบเป็นอัตราสูบน้ำสูงสุดต่อบ่อต่อวันที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาลอนุญาตให้สูบจากบ่อน้ำบาดาลซึ่งเจาะโดยภาคราชการ ไม่มีข้อมูลปริมาณที่นำมาใช้จริง จึงไม่ได้นำมาพิจารณา ดังนั้น ปริมาณน้ำรวมจากแหล่งน้ำนอกระบบทั้งสามแหล่งที่คำนวณได้เท่ากับ 3.39 ล้าน ลบ.ม./ปี

5.4.3 สมดุลน้ำ และความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ

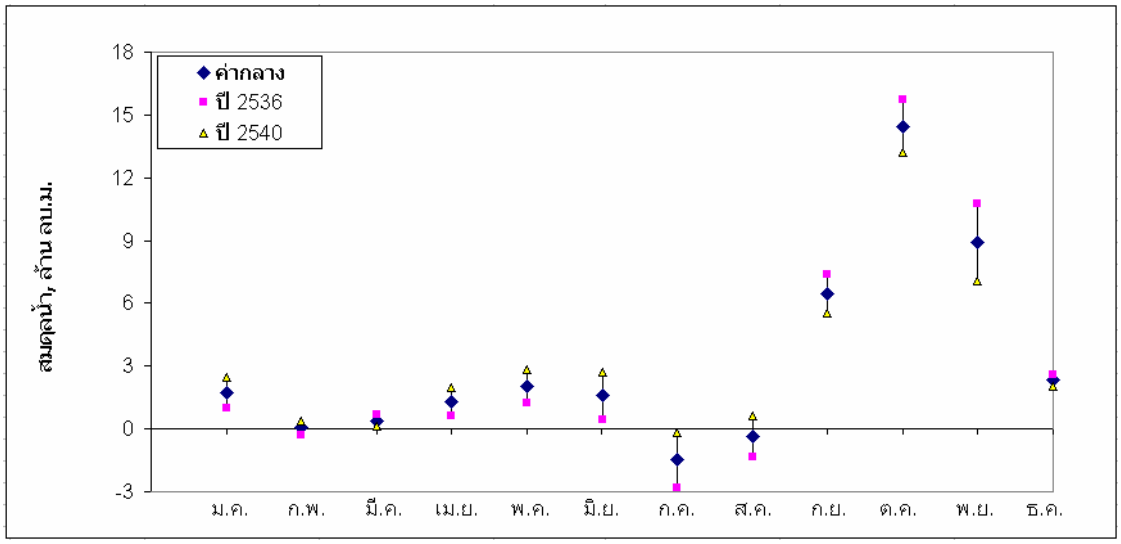
เมื่อนำข้อมูลอุปทานและอุปสงค์น้ำมาคำนวณสมดุลน้ำพบว่า ณ ระดับความต้องการน้ำปัจจุบัน ในปีน้ำมากเดือนที่มีโอกาสขาดแคลนน้ำคือเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน (ภาพที่ 11) ในปีน้ำปานกลางมีโอกาสขาดแคลนน้ำช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเมษายน (ภาพที่ 12) และในปีน้ำน้อย เดือนที่มีโอกาสขาดแคลนน้ำคือเดือนกุมภาพันธ์ กรกฎาคม และสิงหาคม (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 11 สมดุลน้ำรายเดือนในปีน้ำมาก



ภาพที่ 12 สมดุลน้ำรายเดือนในปีน้ำปานกลาง



ภาพที่ 13 สมดุลน้ำรายเดือนในปีน้ำน้อย

ใช้ข้อมูลสมดุลน้ำรายเดือนของทุกปีในการคำนวณความเสี่ยงที่น้ำจะไม่พอในแต่ละเดือน ตามสมการที่ 5

โอกาสที่น้ำไม่พอในเดือน i = จำนวนปีที่น้ำไม่พอในเดือน i / จำนวนปีทั้งหมดที่มีข้อมูล (5)

ร้อยละความเสี่ยงที่อุปสงค์ปัจจุบันและเมื่ออุปสงค์เพิ่มขึ้นตามที่กำหนดรวมถึงระดับความขาดแคลนแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำรายเดือนและระดับความขาดแคลนน้ำ สถิติปี 2536-2547

เดือน	ร้อยละความเสี่ยงที่อุปสงค์ปัจจุบัน	ระดับความขาดแคลนรุนแรงสุด (ล้าน ลบ.ม.)	ระดับความขาดแคลนเบาบางสุด (ล้าน ลบ.ม.)	ร้อยละความเสี่ยงที่ 1.1x อุปสงค์ปัจจุบัน	ร้อยละความเสี่ยงที่ 1.2x อุปสงค์ปัจจุบัน
มกราคม	8	-0.74	-0.74	8	8
กุมภาพันธ์	42	-1.48	-0.10	42	58
มีนาคม	25	-0.77	-0.12	33	42
เมษายน	25	-0.57	-0.19	33	33
พฤษภาคม	0	-	-	0	0
มิถุนายน	0	-	-	0	0
กรกฎาคม	17	-2.79	-0.17	17	17
สิงหาคม	8	-1.32	-1.32	8	8
กันยายน	0	-	-	0	0
ตุลาคม	0	-	-	0	0
พฤศจิกายน	0	-	-	0	0
ธันวาคม	0	-	-	9	9

ระดับความขาดแคลนน้ำรุนแรงสุดและเบาบางสุดที่อาจเกิดขึ้นในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน เท่ากับ 3.56 และ 1.15 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ ส่วนช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม ระดับความขาดแคลนรุนแรงสุดและเบาบางสุดที่อาจเกิดขึ้น คือ 4.11 และ 1.49 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ

5.5 ระบบสำรองน้ำและตัวอย่างการบริหารจัดการ

การศึกษานี้ได้สำรวจสภาพพื้นที่ในคลองต้นน้ำทุกเส้น และในคลองทับมา โดยสำรวจพื้นที่บ่อน้ำและบ่อลูกรัง พื้นที่ชุ่มน้ำ ลำคลองและฝาย และใช้ภาพถ่ายดาวเทียมประกอบ เพื่อให้ทราบจำนวน ตำแหน่ง ขนาด และสภาพของแหล่งน้ำ หรือพื้นที่ที่มีศักยภาพในการพัฒนาเป็นพื้นที่สำรองน้ำ

5.5.1 ความจุของระบบสำรองน้ำและพื้นที่สำรองน้ำ

จากการสำรวจพื้นที่พบว่า ลุ่มน้ำทับมามีบ่อน้ำและบ่อลูกรังใกล้เส้นทางน้ำเป็นพื้นที่ 149 ไร่ และบ่อน้ำที่มีศักยภาพรองลงมา[1] 774 ไร่ จึงควรนำมาพัฒนาระบบสำรองน้ำเป็นแก้มลิงเป็นที่มีความจุรวมเท่ากับ 4.11 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งจะเพียงพอต่อสภาพขาดแคลนรุนแรงสุดและสามารถป้องกันน้ำท่วมได้ด้วย โดยใช้พื้นบ่อน้ำและบ่อลูกรังที่มีศักยภาพสูง ขุดที่ความลึก 5 เมตร จะได้ความจุรวม 1.19 ล้าน ลบ.ม. พัฒนาเป็นพื้นที่แก้มลิงนำร่อง รวมถึง การใช้พื้นที่ชุ่มน้ำและเชื่อมโยงบ่อน้ำที่มีศักยภาพรองเพื่อเพิ่มความจุอีก 2.92 ล้าน ลบ.ม. โดยอาจเริ่มจากการเชื่อมโยงบ่อศักยภาพรองใน

[1] บ่อน้ำที่มีศักยภาพรองจำเป็นต้องมีการเชื่อมโยงเข้ากับระบบน้ำหลักก่อน ส่วนบ่อที่มีศักยภาพสูงจะอยู่ใกล้แหล่งน้ำพอ

พื้นที่คลองกระเฉท และคลองหนองผักหนามก่อน เนื่องจากเป็นลุ่มน้ำย่อยที่ให้น้ำมาก และมีการใช้น้ำสูงกว่าลุ่มน้ำย่อยอื่นๆ แล้วใช้พื้นที่เสริมในบริเวณคลองทับมา ในอนาคตอาจปรับปรุงสภาพคลองและฝายเพื่อเพิ่มความจุสำรองด้วย

5.5.2 การบริหารจัดการน้ำในแก้มลิงและตัวอย่าง

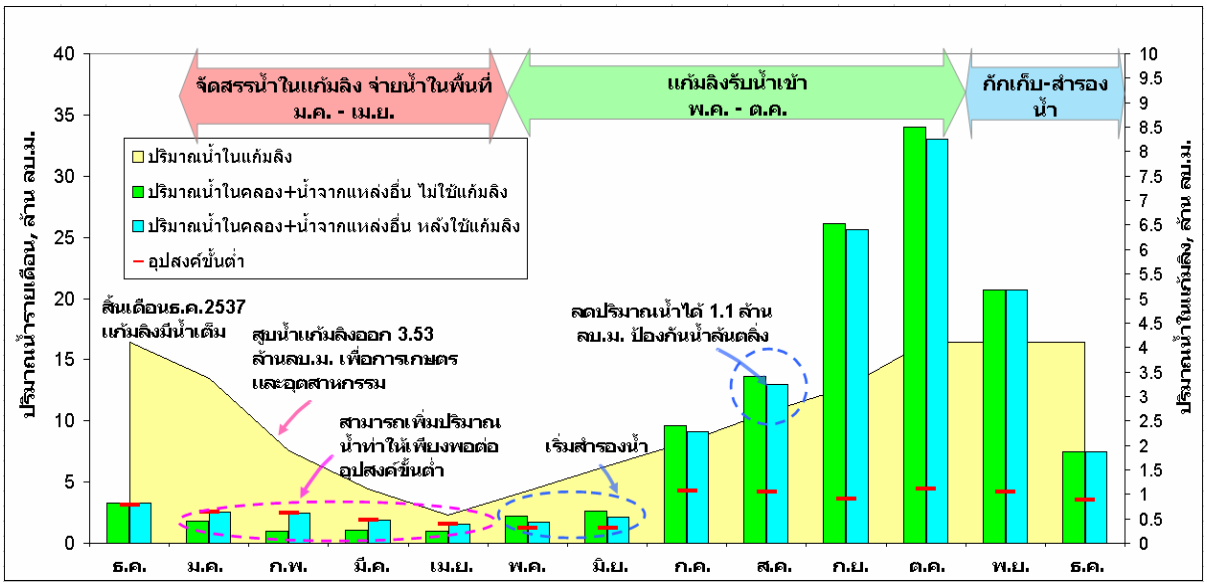
หมายถึงการรับน้ำและพร่องน้ำ ใช้ข้อมูลประกอบดังนี้ ข้อมูลความต้องการใช้น้ำรายเดือน ข้อมูลสภาพน้ำท่าปัจจุบัน ข้อมูลปริมาณน้ำตามเกณฑ์น้ำมากน้ำน้อย ปริมาณน้ำที่จะได้จากแหล่งน้ำอื่นๆ ปริมาณน้ำในแก้มลิง และข้อมูลพยากรณ์อากาศระยะสั้นและระยะยาว 3-6 เดือน ตัวอย่างการบริหารจัดการทำเป็นรายเดือนตามสถานการณ์ 2 กรณีคือน้ำมากและน้ำน้อย โดยระบบสำรองน้ำจะทำหน้าที่ให้น้ำหากเกิดน้ำขาดแคลน และรับน้ำหากเกิดน้ำท่วม

กรณีปีน้ำมาก พ.ศ.2538

ในปีดังกล่าวเกิดความขาดแคลนช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน และน้ำล้นตลิ่งช่วงปลายเดือนสิงหาคม ตัวอย่างการบริหารจัดการน้ำโดยใช้แก้มลิงแสดงดังตารางที่ 2 และภาพที่14

ตารางที่ 2 สมดุลน้ำและการบริหารจัดการน้ำในแก้มลิงรายเดือน กรณีปีน้ำมาก พ.ศ.2538

ประเภท	รายการ (ล้าน ลบ.ม.)	ปี 2538 ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ปัจจัยตั้งต้น	ปริมาณฝน	5.02	0.91	10.61	11.02	30.01	23.23	46.97	56.70	82.30	46.51	10.75	0.25
อุปทาน	**ปริมาณน้ำท่าหักคายระเหยและซึมลึก(แบบจำลอง)**	1.35	0.59	0.66	0.58	1.84	2.30	9.52	13.56	26.04	33.98	20.36	7.05
	น้ำจากแหล่งน้ำอื่นๆ	0.42	0.41	0.43	0.42	0.38	0.35	0.05	0.05	0.05	0.05	0.36	0.40
	อุปทานน้ำทั้งหมด	**1.78**	**1.00**	**1.09**	**1.00**	**2.22**	**2.65**	**9.58**	**13.61**	**26.10**	**34.03**	**20.71**	**7.45**
	ความจุบ่อศักยภาพสูง	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
	ความจุบ่อศักยภาพรอง	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92
	ความจุรวมของแก้มลิง	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11
อุปสงค์	อุปโภค-บริโภค	0.28	0.25	0.28	0.27	0.28	0.27	0.28	0.28	0.27	0.28	0.27	0.28
	เกษตรกรรม	1.37	1.43	0.79	0.49	0.00	0.00	2.33	1.80	0.00	0.00	1.19	1.84
	อุตสาหกรรม	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
	น้ำเพื่อรักษานิเวศท้ายน้ำ	0.14	0.06	0.07	0.06	0.18	0.23	0.95	1.36	2.60	3.40	2.04	0.70
	อุปสงค์ทั้งหมด	**2.51**	**2.47**	**1.87**	**1.54**	**1.19**	**1.23**	**4.29**	**4.16**	**3.60**	**4.40**	**4.22**	**3.56**
สมดุลน้ำ	**สภาพเหลือ/ขาดแคลนน้ำ กรณีไม่มีแหล่งน้ำสำรอง**	-0.74	-1.48	-0.77	-0.54	1.03	1.42	5.29	9.45	22.50	29.63	16.49	3.89
	ปริมาณน้ำเหลือในแก้มลิงตอนต้นเดือน,% ความจุ	100%	82%	46%	27%	14%	26%	38%	51%	65%	77%	100%	100%
	ปริมาณน้ำเหลือในแก้มลิงตอนสิ้นเดือน, % ความจุ	82%	46%	27%	14%	26%	38%	51%	65%	77%	100%	100%	100%
กรณีมีการบริหารจัดการแก้มลิง	สำรองน้ำ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	1.10	0.50	1.00	0.00	0.00
	พร่องน้ำ	0.74	1.48	0.77	0.54	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
	อุปทานน้ำหลังใช้แก้มลิง	2.52	2.48	1.86	1.54	1.72	2.15	9.08	13.01	25.60	33.03	20.71	7.45



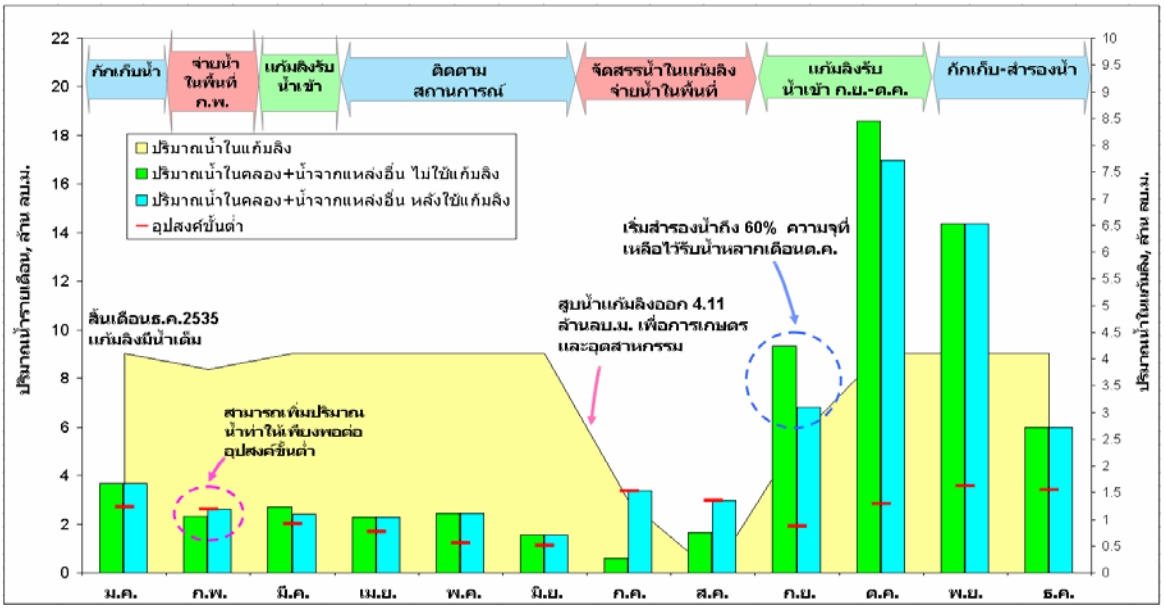
ภาพที่ 14 อุปทานน้ำก่อนและหลังใช้แก้มลิง และปริมาณน้ำในแก้มลิงกรณีปี 2538

กรณีปีน้ำน้อย

ใช้ปริมาณน้ำท่ารายเดือนปี 2536 เป็นตัวแทนปีน้ำน้อย ตัวอย่างการบริหารจัดการน้ำโดยใช้แก้มลิงแสดงดังตารางที่ 3 และภาพที่ 15

ตารางที่ 3 สมดุลน้ำและการบริหารจัดการน้ำในแก้มลิงรายเดือน กรณีปีน้ำน้อย พ.ศ.2536

ประเภท	รายการ (ล้าน ลบ.ม.)	ปี 2536 ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ปัจจัยตั้งต้น	ปริมาณฝน	9.57	3.44	17.38	7.77	24.48	9.81	9.69	21.62	65.55	54.21	4.22	0.06
	ปริมาณน้ำท่าหักคายระเหยและซึมลึก(แบบจำลอง)	3.25	1.92	2.28	1.87	2.07	1.20	0.55	1.60	9.26	18.53	13.99	5.60
	น้ำจากแหล่งน้ำอื่นๆ	0.42	0.41	0.43	0.42	0.38	0.35	0.05	0.05	0.05	0.05	0.36	0.40
	อุปทานน้ำทั้งหมด	**3.67**	**2.32**	**2.72**	**2.29**	**2.45**	**1.55**	**0.60**	**1.65**	**9.32**	**18.58**	**14.35**	**5.99**
	ความจุบ่อศักยภาพสูง	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19	1.19
	ความจุบ่อศักยภาพรอง	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92
อุปทาน	ความจุรวมของแก้มลิง	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11
	อุปโภค-บริโภค	0.28	0.25	0.28	0.27	0.28	0.27	0.28	0.28	0.27	0.28	0.27	0.28
	เกษตรกรรม	1.37	1.43	0.79	0.49	0.00	0.00	2.33	1.80	0.00	0.00	1.19	1.84
	อุตสาหกรรม	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
	น้ำเพื่อรักษานิเวศท้ายน้ำ	0.32	0.19	0.23	0.19	0.21	0.12	0.05	0.16	0.93	1.85	1.40	0.56
อุปสงค์	**อุปสงค์ทั้งหมด**	**2.70**	**2.61**	**2.03**	**1.67**	**1.21**	**1.12**	**3.39**	**2.97**	**1.92**	**2.86**	**3.59**	**3.41**
สมดุลน้ำ	**สภาพเหลือ/ขาดแคลนน้ำ กรณีไม่มีแหล่งน้ำสำรอง**	**0.97**	**-0.28**	**0.69**	**0.62**	**1.24**	**0.43**	**-2.79**	**-1.32**	**7.39**	**15.72**	**10.76**	**2.58**
	ปริมาณน้ำเหลือในแก้มลิงตอนต้นเดือน,% ความจุ	100%	100%	93%	100%	100%	100%	100%	32%	0%	61%	100%	100%
	ปริมาณน้ำเหลือในแก้มลิงตอนสิ้นเดือน, % ความจุ	100%	93%	100%	100%	100%	100%	32%	0%	61%	100%	100%	100%
กรณีมีการบริหารจัดการแก้มลิง	สำรองน้ำ	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	1.61	0.00	0.00
	พร่องน้ำ	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.79	1.32	0.00	0.00	0.00	0.00
	อุปทานน้ำหลังใช้แก้มลิง	3.67	2.62	2.42	2.29	2.45	1.55	3.39	2.97	6.82	16.97	14.35	5.99



ภาพที่ 15 อุปทานน้ำก่อนและหลังใช้แก้มลิง และปริมาณน้ำในแก้มลิง กรณีปี 2536

6. สรุปและข้อเสนอแนะ

ลุ่มน้ำทับมามีความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ และความเสี่ยงนี้มีแนวโน้มสูงขึ้นในอนาคต เช่นเดียวกับระดับความขาดแคลนน้ำที่จะรุนแรงมากขึ้น เนื่องจากอุปสงค์น้ำจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงต้องมีระบบสำรองน้ำ การเพิ่มพื้นที่แก้มลิงถือเป็นการสร้างแหล่งน้ำสำรองที่ได้ประโยชน์ทั้งในการแก้ไขปัญหาน้ำท่วมและน้ำแล้ง การพัฒนาปรับปรุงสภาพลำคลองและฝายที่มีวัชพืชปกคลุมและตื้นเขิน โดยการขุดลอกก็เป็นการเพิ่มความจุคลองซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบสำรองน้ำด้วย

การสร้างระบบสำรองน้ำที่มีการเชื่อมโยงของพื้นที่แก้มลิงและแหล่งน้ำต่างๆ เข้าด้วยกัน จำเป็นต้องส่งเสริมสนับสนุนให้เกิดการบริหารจัดการน้ำระดับชุมชน โดยสนับสนุนชุมชนให้มีความรู้ความเข้าใจในการวางแผน บริหารจัดสรร และสำรองน้ำในพื้นที่ รวมทั้งประสานการทำงานระหว่างชุมชน กรมชลประทาน และจังหวัด

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ปตท.เคมิคอล จำกัด (มหาชน) ผู้สนับสนุนงบประมาณของงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณภาควิชาแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรมชลประทาน สำนักงานเกษตรอำเภอนิคมพัฒนา กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กรมพัฒนาที่ดิน และนายอัครราชย์ บุญญาศิริ ที่อนุเคราะห์ข้อมูล คำแนะนำ และการอภิปรายผลการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] รศ.ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์ และคณะ, 2549, รายงานฉบับสมบูรณ์ การศึกษาสภาพการใช้น้ำ และสมดุลน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำคลองใหญ่, หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] S.L. Neitsch, J.G. Arnold, J.R. Kiniry, R. Srinivasan, J.R. Williams, 2548, Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2005. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Texas, USA.

[3] สุเมธ เชื้อโชติ, สมศักดิ์ สังขกุล, อดุล โชติมน, 2528, รายงานการสำรวจดินจังหวัดระยอง ฉบับที่ 363, กองสำรวจดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์