

การวางแผนพัฒนาโครงการและบริหารจัดการน้ำในบ่อเก็บน้ำดิบ เพื่อบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำในจังหวัดภูเก็ต

Project Planning and Water Management in Water Supply Storage Pond for Mitigating Water Deficit Situation in Phuket Province

พรพรรณ บุนนิตย์พันธุ์ สุรัชย์ ลิปิวัฒนาการ ชัยวัฒน์ ขยันการหาวิ และ พรรณพิมพ์
พุทธรักษา มะเปี่ยม*

ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Email : pasawan.b@ku.th, fengsuli@ku.ac.th, fengcwk@ku.ac.th, fengppm@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

การพัฒนาขุดขยายขุมเหมืองเก่าที่เคยตั้งอยู่ในอำเภอท้ายเหมือง จังหวัดพังงา ให้เป็นปริมาตรเก็บกักน้ำต้นทุนทางเลือกสำหรับความต้องการน้ำเพื่ออุปโภค-บริโภค และการท่องเที่ยวบางส่วนใน จ.ภูเก็ต เป็นวัตถุประสงค์หลักในการศึกษานี้ โดยได้นำแบบจำลอง MIKE BASIN มาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ขนาดความจุบ่อเก็บน้ำที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่าก่อนการพัฒนา ขุมเหมืองนาเตยสามารถผลิตน้ำประปาได้สูงสุดประมาณ 7,500 ลบ.ม./วัน โดยไม่เกิดการขาดน้ำเลย แต่ถ้าต้องการเพิ่มกำลังการผลิตน้ำประปาเป็น 24,000 48,000 72,000 และ 96,000 ลบ.ม./วัน และยอมรับการขาดน้ำได้ 3 ปีใน 30 ปี ต้องขุดขยายบ่อน้ำให้มีความจุเป็น 0.7, 3.5, 6.1, และ 9.3 ล้าน ลบ.ม. เพื่อที่จะลดผลกระทบจากการขาดน้ำใน 3 ปีแล้ววิกฤตดังกล่าว การศึกษานี้ได้พัฒนาเกณฑ์การเฝ้าระวังปัญหาการขาดน้ำล่วงหน้า 2 เดือน ด้วยการพิจารณาระดับน้ำในบ่อและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าบ่อในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือน ม.ค. – เม.ย. เพื่อนำไปสู่การวางแผนรับมือเตรียมความจุเก็บกักสำรองสูงสุดรายปีจากแหล่งน้ำอื่นใกล้เคียงได้ทันทั่วทั้งที่ด้วยปริมาตรเก็บกักประมาณ 0.5, 0.19, 0.78 และ 1.44 ล้าน ลบ.ม. เรียงตามระยะกำลังการผลิตน้ำประปา

คำสำคัญ : >>>

การบริหารจัดการน้ำ; การขาดแคลนน้ำ; แบบจำลอง MIKE BASIN

Abstract

Development of an abandoned mine namely Na Toey located in Amphoe Taimuang, Phangnga, Thailand to be an alternative water supply storage pond for partial domestic and tourism water uses in Phuket province is the main objective of this study. The MIKE BASIN model was applied as a tool for investigating the suitable storage volume. Results indicate that before the development, the Na Toey mine could produce water supply at the maximum rate of 7,500 m³/d without water deficit. The pumping rate can, however,

be expanded to be 24,000; 48,000; 72,000 and 96,000 m³/d with water shortage allowance of 3 years in 30 years, if the old mine were excavated to be 0.7, 3.5, 6.1, and 9.3 million m³ (MCM), respectively. In order to mitigate the crisis of 3-years shortage, water deficit monitoring measures for 2 months early was performed in this study by considering the water level and inflow of storage pond in dry season during January to April. These measures lead to project planning for preparing the reserved storage from other sources with the maximum annual volume of around 0.5, 0.19, 0.78 and 1.44 MCM, according to the stage of development, respectively.

Keywords :

water management; water deficit; MIKE BASIN model

1. บทนำ>>>

จังหวัดภูเก็ตเป็นเมืองศูนย์กลางทางธุรกิจท่องเที่ยวที่มีความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และการขยายตัวของชุมชนเมืองอย่างต่อเนื่อง แต่แหล่งเก็บกักน้ำในพื้นที่มีอย่างจำกัด ทำให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำเพื่อใช้ในการอุปโภค-บริโภค และการท่องเที่ยวอย่างต่อเนื่อง การพัฒนาโครงการขนาดใหญ่ เช่น โครงการวางท่อผันน้ำจากอ่างเก็บน้ำเขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี มายังจังหวัดภูเก็ต นับเป็นแนวทางหลักในการแก้ปัญหาของรัฐบาล แต่เนื่องจากเป็นโครงการผันน้ำข้ามลุ่มน้ำหลักจากลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันออกไปยังลุ่มน้ำภาคใต้ฝั่งตะวันตก จึงมีต้นทุนสูงและมีผลกระทบต่อประชาชนในวงกว้าง ทำให้มีแนวโน้มที่ดำเนินการได้ลำบากในระยะเวลาอันใกล้นี้ ดังนั้น เพื่อบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำในจังหวัดภูเก็ตลง การจัดหาน้ำดิบจากแหล่งน้ำผิวดินอื่นๆ เช่น ชุมเหมืองเก่า บ่อดิน หรือหนองน้ำธรรมชาติ จึงเป็นทางเลือกที่มีความเป็นไปได้สูง ค่าลงทุนไม่มากนัก และสามารถดำเนินการได้ใน

ระยะเวลาอันสั้น ในการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำไม่ว่าจะเป็นการสร้างอ่างเก็บน้ำหรือการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติ ล้วนมีวัตถุประสงค์หลัก คือ การพัฒนาปริมาณเก็บกักน้ำดิบให้เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำด้านต่างๆ ทั้งในช่วงภาวะปกติ และยังต้องช่วยลดภาวะความรุนแรงของการขาดน้ำในช่วงวิกฤตลงได้ด้วย [1] ในการออกแบบปริมาตรเก็บกักน้ำดิบให้มีความเหมาะสมอย่างมีประสิทธิภาพในระยะยาวนั้น การวิเคราะห์สมดุลน้ำ (Water Balance Analysis) ระหว่างปริมาณน้ำต้นทุนและความต้องการใช้น้ำด้านต่างๆ ณ จุดพิจารณาด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ นับเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย

แบบจำลอง MIKE BASIN เป็นหนึ่งในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล และนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในประเทศไทยในหลาก

หลายรูปแบบ อาทิเช่น การนำแบบจำลอง MIKE BASIN มาใช้ศึกษาออกแบบขนาดของอ่างเก็บน้ำที่เหมาะสมกับการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำแบบอนเนกประสงค์ให้สามารถรองรับความต้องการใช้น้ำทั้งในสภาพปัจจุบันและในอนาคต ตลอดจนใช้เป็นข้อมูลช่วยในการตัดสินใจให้กับผู้บริหารสามารถบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [1-8]

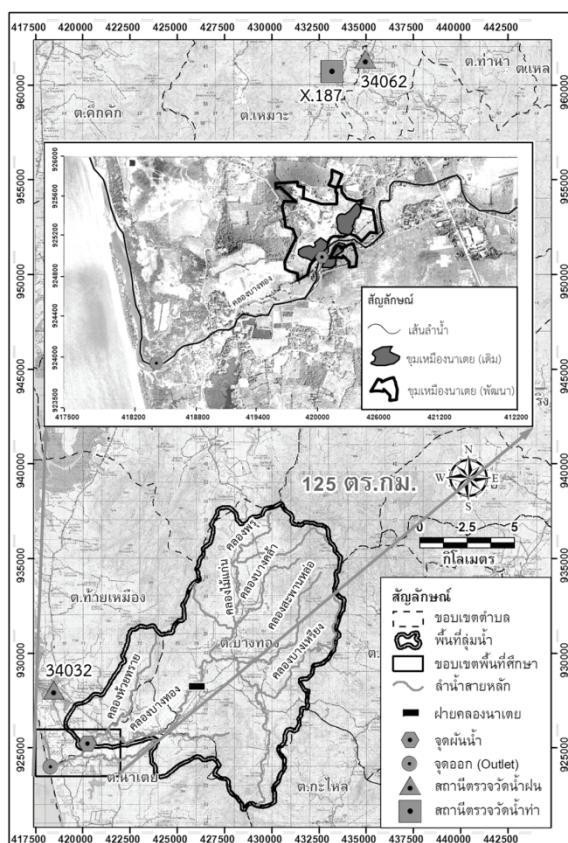
สำหรับการศึกษาี้ได้เลือกพิจารณาการพัฒนาชุดขยายชุมชนเมืองเก่าในอำเภอท้ายเหมือง จังหวัดพังงาให้เป็นปริมาตรเก็บกักน้ำต้นทุนสำหรับการอุปโภค-บริโภค และการท่องเที่ยวบางส่วนในจังหวัดภูเก็ต ในครั้งนี้ไม่เพียงแต่นำแบบจำลอง MIKE BASIN มาใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ขนาดความจุ๋บ่อเก็บน้ำที่ต้องขยายอย่างเหมาะสมต่อความต้องการน้ำประปาในระยะการผลิตต่างๆ เพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ผลของการวิเคราะห์สมดุลน้ำจะถูกนำไปสร้างเกณฑ์การติดตามและเฝ้าระวังภัยแล้งล่วงหน้า ตลอดจนการหาแนวทางการรับมือกับภัยแล้งดังกล่าว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการน้ำในบ่อเก็บน้ำดิบให้สามารถบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำในจังหวัดภูเก็ตลงได้

2. วิธีการศึกษา >>>

2.1 พื้นที่ศึกษา

ชุมชนเมืองนาเตยเป็นชุมชนเมืองเก่าที่มีความจุเก็บกัก 0.7 ล้าน ลบ.ม. (คิดเป็นพื้นที่บ่อน้ำประมาณ 80 ไร่) ตั้งอยู่ในอำเภอท้ายเหมือง จังหวัดพังงา ปัจจุบันไม่มีการใช้น้ำจากชุมชนเมือง เป็นพื้นที่หนึ่งที่มีศักยภาพในการขยายความจุเพื่อเก็บกักน้ำ โดยสามารถขยายเป็นบ่อน้ำได้ถึงขอบเขตพื้นที่บ่อเก็บน้ำ (พัฒนา) ดังแสดงในภาพที่ 1 คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 325 ไร่ ณ ตำแหน่งที่ตั้งชุมชนมีคลองบางทองซึ่ง

เป็นแม่น้ำสายหลักไหลผ่านพื้นที่ ซึ่งสามารถกำหนดจุดผันน้ำเข้าสู่บ่อเก็บน้ำได้ (ดูภาพที่ 1) ทั้งนี้ตั้งแต่ตำแหน่งผันน้ำจนถึงจุดออกของคลองบางทองไม่มีการใช้น้ำผิวดินเพื่อวัตถุประสงค์อื่น ดังนั้นปริมาณน้ำที่ผันจากจุดนี้จึงพิจารณาไม่ให้เกิดผลกระทบกับสมดุลนิเวศท้ายน้ำเพียงอย่างเดียว จากการพิจารณาลักษณะต่างๆ ข้างต้น จึงได้คัดเลือกชุมชนเมืองนาเตยเป็นพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำคลองบางเหนือจุดผันน้ำมีขนาดประมาณ 125 ตร.กม. ดังแสดงขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำคลองบางทอง และจุดผันน้ำแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

2.2 แบบจำลอง MIKE BASIN

แบบจำลอง MIKE BASIN พัฒนาขึ้นโดย DHI-Water and Environment ประเทศเดนมาร์ก [9] เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์สมดุลน้ำโดยมีหลักการวิเคราะห์ถึงความพอเพียงหรือความขาดแคลนของปริมาณน้ำในแหล่งน้ำต้นทุนต่างๆ โดยการพิจารณาจากปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าแหล่งน้ำ ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากแหล่งน้ำ และปริมาณน้ำที่ปล่อยจากแหล่งน้ำตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังแสดงสมการสมดุลน้ำในสมการที่ (1)

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

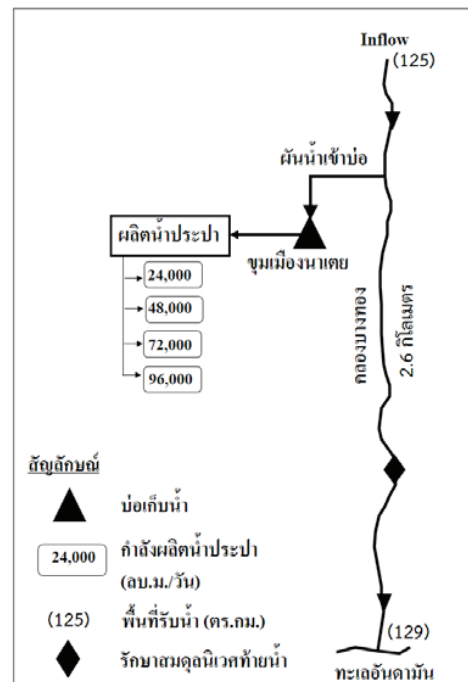
เมื่อ S_i = ปริมาตรเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ปลายคาบเวลา i , S_{i-1} = ปริมาตรเก็บกักในอ่างเก็บน้ำที่ปลายคาบเวลาที่ผ่านมา $i-1$, I_i = ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่คาบเวลา i , Q_i = ปริมาณน้ำที่ไหลออกจากอ่างเก็บน้ำที่คาบเวลา i , E_i = ปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการระเหยสูทธิและรั่วซึมที่คาบเวลา i

2.3 ข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง MIKE BASIN

1.) โครงข่ายของระบบแม่น้ำ (Network Configuration) ในการศึกษานี้กำหนดให้ทำการผันน้ำจากคลองบางทองในปริมาณที่ไม่ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศท้ายน้ำเพื่อเก็บกักในบ่อเก็บน้ำนาเตยเพื่อรองรับการผลิตน้ำประปาตามกำลังการผลิตต่างๆ ดังแสดงแผนผังการใช้น้ำ (Schematic Diagram) ในภาพที่ 2 และตารางการผันน้ำรายเดือนเฉลี่ยในตารางที่ 1

2.) ข้อมูลปริมาณน้ำท่าผิวดินในคลองบางทองที่ไหลผ่านจุดผันน้ำ (Surface Flow) ได้ถูกสังเคราะห์ขึ้นเนื่องจากไม่มีสถานีวัดน้ำท่าตั้งอยู่ มีเพียงสถานีวัดน้ำฝน 34032 เป็นตัวแทนพื้นที่ศึกษาจากการพิจารณาลุ่มน้ำข้างเคียงพบว่ามีสถานีวัดน้ำท่า X.187 ตั้งอยู่ห่างออกไปทางทิศเหนือของพื้นที่ลุ่มน้ำ และมีสถานีวัดน้ำฝน 34062 ตั้งอยู่ข้างเคียงซึ่งสถานีทั้ง 2 มีสถิติการเก็บข้อมูลต่อเนื่องน่าเชื่อถือ

ที่สุด เมื่อเทียบกับสถานีโดยรอบ ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้แบบจำลอง HEC-4 เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลน้ำฝน-น้ำท่า ของสถานี X.187 กับ 34062 ก่อน จากนั้นจะใช้ความสัมพันธ์เดียวกันนี้ต่อขยายข้อมูลปริมาณน้ำท่า ณ สถานี X.187 ให้สอดคล้องกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนสถานี 34032 ซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษา ให้มีความสมบูรณ์ครอบคลุมช่วงเวลา 30 ปี (พ.ศ. 2527-2556) ดังแสดงผลการสังเคราะห์ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยที่สถานี X.187 ในตารางที่ 2 และตำแหน่งสถานีตรวจวัดต่างๆ ในภาพที่ 1 ต่อจากนั้นได้ปรับค่าข้อมูลปริมาณน้ำท่า ณ สถานี X.187 ที่ต่อข้อมูลแล้วด้วยแฟคเตอร์เพื่อปรับแก้ปริมาณน้ำท่าจากสถานีต้นซึ่งมีพื้นที่ลุ่มน้ำ 539 ตร.กม. และมีค่า Annual Specific Yield = 96.08 ล./วิ./ตร.กม. ให้เป็นน้ำท่าที่รายเดือนในรอบ 30 ปี ณ จุดพิจารณา ซึ่งมีพื้นที่ลุ่มน้ำ 125 ตร.กม. และมีค่า Annual Specific Yield = 47.24 ล./วิ./ตร.กม. ดังแสดงผลการประเมินปริมาณน้ำรายเดือนเฉลี่ย ณ จุดผันน้ำในตารางที่ 1



ภาพที่ 2 แผนผังการใช้น้ำ (schematic diagram)

3.) ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระดับกับปริมาตรและพื้นที่ผิวน้ำของชุมชนเมืองในสภาพปัจจุบันและอนาคต สำหรับสภาพปัจจุบันได้พิจารณาความจุเก็บกักสูงสุดที่ 0.7 ล้าน ลบ.ม. (ดูภาพที่ 3) ในขณะที่สภาพอนาคตได้พิจารณาปรับปรุงชุดขยายชุมชนเมืองให้มีปริมาตรเพิ่มมากขึ้น จากการพิจารณาผลการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ (Geophysics survey) ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2559) โดยออกแบบความกว้างของขานบ่ออ่างเก็บน้ำ (Berm) เท่ากับ 5.00 ม. อยู่ในระดับ -8.00 ม.รทก. ความลาดเอียงด้านข้างของขอบบ่ออ่างเก็บน้ำเท่ากับ 1:1.2 ระยะรันจากขอบที่ดินของโครงการ 30.00 ม. และระดับเก็บกักของอ่างเก็บน้ำอยู่ที่ระดับ +2.00 ม.รทก. ดังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับปริมาตรเก็บกัก และพื้นที่ผิวน้ำของชุมชนเมืองเมื่อชุดลึกถึงระดับ -25 ม.รทก. สำหรับสภาพอนาคตในภาพที่ 3

4.) ข้อมูลปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย (P) ของลุ่มน้ำคลองบางทอง และข้อมูลการระเหยจากผิวน้ำ (Ep) ที่สถานีตรวจอากาศตะกั่วป่า จังหวัดพังงา ของกรมอุตุนิยมวิทยาในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) เพื่อวิเคราะห์การระเหยสุทธิในบ่อเก็บน้ำ (Enet) ดังสมการที่ (2) ผลการคำนวณมีค่าประมาณ 152 มม./ปี สำหรับรายการคำนวณรายเดือนเฉลี่ยแสดงในตารางที่ 3

$$E_{net} = K_p E_p - (1 - C_R) P \quad (2)$$

เมื่อ K_p = สัมประสิทธิ์การระเหยจากผิวน้ำ (กำหนด = 0.7), C_R = ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (กำหนด = 0.3)

5.) ปริมาณน้ำต่ำสุดที่ใช้รักษาสมดุลนิเวศท้ายน้ำสำหรับกรณีศึกษาในสภาพปัจจุบันและอนาคต ได้พิจารณาจากผลการวิเคราะห์ Dry Season Flow Duration Curve สำหรับ Probability of Exceedance ที่ 95% คิดเป็นอัตราการไหลประมาณ 0.63 ล้าน ลบ.ม./เดือน แต่จากการสำรวจภาคสนามพบว่าด้านเหนือน้ำ ณ จุดผันน้ำขึ้นไปประมาณ 10 กม. มีฝายคลอง นาเตยของกรมชลประทานตั้งอยู่ (ดูตำแหน่งในภาพที่ 1) ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 85 ตร.กม. ซึ่งในฤดูแล้งปกติน้ำยังคงไหลล้นสันฝาย แต่ในปีแล้งวิกฤต (ดังเช่นปี พ.ศ. 2558) ปริมาณน้ำด้านเหนือน้ำถูกฝายคลองนาเตย กักน้ำเข้าระบบคลองทั้งหมด ประกอบกับปริมาณน้ำจากลุ่มน้ำระหว่างที่ตั้งฝายกับจุดผันน้ำในช่วงแล้งวิกฤตไม่มีนัยสำคัญ จึงไม่มีปริมาณน้ำจืดทิ้งมายังท้ายน้ำ ณ จุดผันน้ำ แต่เนื่องมาจากตลอดระยะทางตั้งแต่ฝายคลองนาเตยจนถึงจุดออกของคลองบางทองไม่มีการใช้น้ำจากคลองบางทอง จึงไม่ประสบปัญหาการขาดน้ำในพื้นที่ เพื่อให้การศึกษาสอดคล้องกับข้อมูลข้างต้นมากที่สุด การศึกษานี้เลือกที่จะบริหารจัดการน้ำโดยกำหนดค่ารักษาสมดุลนิเวศท้ายน้ำในปีน้ำปกติถึงปีน้ำมากด้วยค่า 0.63 ล้าน ลบ.ม./เดือน และไม่ปล่อยน้ำเพื่อรักษานิเวศในปีแล้งวิกฤต 3 ปี (พ.ศ. 2532, 2537 และ 2550)

ตารางที่ 1 ปริมาณการผันน้ำรายเดือนเฉลี่ย ณ จุดพิจารณาผันน้ำ ในแต่ละกำลังการผลิต

กำลังการผลิต (ลบ.ม./วัน)	ปริมาณน้ำผันรายเดือนเฉลี่ยสำหรับพื้นที่ศึกษา (ล้าน ลบ.ม.)												ฤดูฝน (เม.ย.-พ.ย.)	ฤดูแล้ง (ธ.ค.-มี.ค.)	รายปี
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.			
24,000	0.80	0.71	0.63	0.65	0.61	0.57	0.62	0.68	0.76	0.69	0.48	0.53	5.27	2.46	7.73
48,000	1.58	2.01	1.35	1.39	1.35	1.29	1.36	1.40	1.51	1.25	0.63	0.90	11.73	4.29	16.02
72,000	2.32	3.59	2.34	2.13	2.10	2.01	2.10	2.12	2.25	1.57	0.64	1.07	18.71	5.53	24.24
96,000	3.05	5.26	3.80	2.94	2.84	2.73	2.85	2.84	2.95	1.71	0.64	1.16	26.31	6.46	32.78

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย ณ จุดพิจารณาต่างๆ

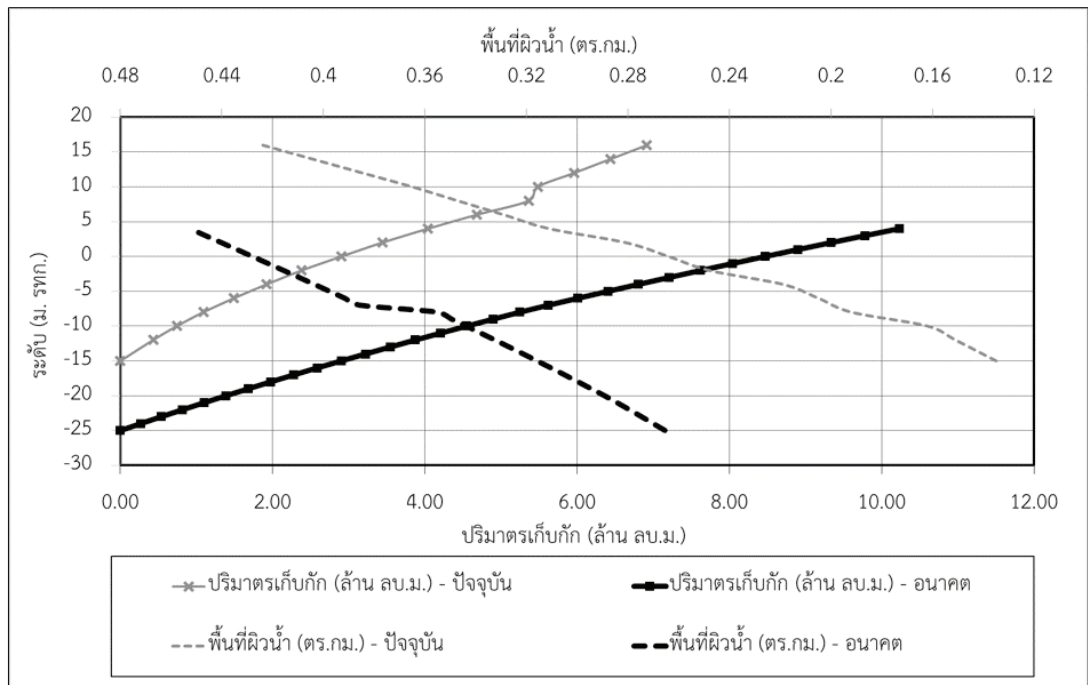
จุดพิจารณา	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนเฉลี่ย (ล้าน ลบ.ม.)												ฤดูฝน (เม.ย.-พ.ย.)	ฤดูแล้ง (ธ.ค.-มี.ค.)	รายปี
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.			
X.187	40.2	117.1	149.8	215.8	243.4	337.9	287.2	141.6	50.8	21.2	11.5	16.6	1,533.0	100.2	1,633.2
จุดผันน้ำ	4.6	13.4	17.1	24.6	27.8	38.5	32.8	16.1	5.8	2.4	1.3	1.8	174.9	11.4	186.2

ตารางที่ 3 ปริมาณน้ำฝน ปริมาณการระเหย และปริมาณการระเหยสุทธิรายเดือน ณ ชุมเหมื่อนนาเตย

รายการ	ค่าทางอุตุนิยมวิทยาต่างๆ (มม.)												รายปี
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
ปริมาณฝน	39.4	42.5	114.6	210.0	425.6	420.0	429.9	545.0	597.0	517.8	239.0	60.5	3641.3
การระเหย	133.0	135.0	149.0	140.0	119.0	113.0	110.0	109.0	100.0	102.0	102.0	118.0	1430.0
ระเหยสุทธิ	47.7	-9.2	-18.0	-22.7	-49.8	-67.3	-42.7	9.8	62.0	83.3	84.4	74.3	151.9

6.) ข้อมูลความต้องการน้ำเพื่อผลิตน้ำประปาจากชุมเหมื่อนนาเตย ได้กำหนดกรณีศึกษาในการพัฒนาออกเป็น 4 กรณีโดยเริ่มต้นจากกำลังการผลิตมาตรฐานสำหรับการออกแบบระบบกรองน้ำประปาที่อัตรา 24,000 ลบ.ม./วัน และเมื่อปริมาณความ

ต้องการน้ำเกินค่าออกแบบจึงค่อยๆ ขยายกำลังการผลิตขึ้นคราวละ 24,000 ลบ.ม./วัน ไปอีก 3 กรณีศึกษาที่อัตรา 48,000 72,000 และ 96,000 ลบ.ม./วันตามลำดับ



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับเก็บกัก ปริมาตร และพื้นที่ผิวน้ำของชุมชนเมืองนาเตย

7.) ข้อมูลปริมาณน้ำที่ทำได้ผิวดิน (Subsurface Inflow) ที่คาดว่าจะไหลเข้าบ่อเก็บน้ำ (กำหนดค่าเป็นบวก) หรือปริมาณการรั่วซึม (Subsurface Seepage) ออกไปจากบ่อเก็บน้ำ (กำหนดค่าเป็นลบ) สามารถประเมินได้จากผลการศึกษาของแบบจำลอง MODFLOW ซึ่งเป็นงานที่ขยายผลมาจากการศึกษาของ [10] โดยฤดูฝนมีค่าประมาณ -0.02 , -0.02 , -0.04 และ 0.01 มม./วัน และฤดูแล้งมีค่าประมาณ -0.03 , -0.04 , -0.07 และ 0.02 มม./วัน สำหรับกำลังการผลิตทั้ง 4 ระยะตามลำดับ

8.) เงื่อนไขการผันน้ำเข้าบ่อเก็บน้ำ กำหนดให้ผันน้ำได้มากที่สุดเท่ากับศักยภาพน้ำสูงสุดในคลองบางทองโดยไม่กระทบนิเวศท้ายน้ำ เพื่อพยายามรักษาระดับน้ำในบ่อเก็บน้ำให้เต็ม เมื่อน้ำต้นทุนในคลองบางทองหมดจะใช้น้ำจากบ่อน้ำเพียงแหล่งเดียว

3. กรณีศึกษา>>>

1.) กรณีสภาพปัจจุบัน เพื่อศึกษาศักยภาพสูงสุดในการจ่ายน้ำเพื่อผลิตน้ำประปาของชุมชนเมืองนาเตยก่อนการปรับปรุงความจุเก็บกัก

2.) กรณีสภาพอนาคตเมื่อมีการปรับปรุงความจุเก็บกักของชุมชนเมือง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความจุของบ่อเก็บน้ำที่เหมาะสมสอดคล้องกับกำลังการผลิตต่างๆ

4. ผลการศึกษา>>>

4.1 ผลการศึกษาสมตูลน้ำกรณีสภาพปัจจุบัน เพื่อให้ทราบศักยภาพสูงสุดในการจ่ายน้ำเพื่อผลิตน้ำประปาของชุมชนเมืองนาเตยซึ่งมีความจุ 0.7 ล้าน ลบ.ม. ทำได้โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้น้ำประปาในหลายๆ อัตราจนกระทั่งเกิดการขาดแคลนน้ำในเกณฑ์ต่างๆ ผลการศึกษพบว่ากำลัง

การผลิตที่เหมาะสมที่ไม่ทำให้เกิดการขาดน้ำเลย และเกิดการขาดน้ำเป็นระยะเวลา 10% ของเวลา 30 ปี มีค่าประมาณ 7,500 และ 11,000 ลบ.ม./วัน ตามลำดับ

4.2 ผลการศึกษาสมมูลน้ำกรณีสภาพอนาคต

การจำลองสมมูลน้ำในสภาพอนาคตในแต่ละกำลังการผลิตสามารถทำได้โดยการสุ่มเปลี่ยนแปลงปริมาณความจุเก็บกักไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งตรวจสอบปริมาณน้ำขาดแคลนแล้วอยู่ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจ

ใจ 3 เกณฑ์ คือ ไม่ขาดแคลนน้ำเลย มีการขาดน้ำในช่วงเวลา 10% และ 20% ของเวลา 30 ปี (ขาดน้ำประมาณ 3 และ 6 ปี ตามลำดับ) ความจุดังกล่าวจะถูกกำหนดเป็นความจุที่เหมาะสมในแต่ละเงื่อนไข ทั้งนี้ปริมาตรความจุน้อยที่สุดในการจำลองสมมูลน้ำนี้ คือ 0.7 ล้าน ลบ.ม. ซึ่งเป็นปริมาตรความจุในปัจจุบัน ถ้าเงื่อนไขการจำลองใดให้ค่าปริมาตรความจุต่ำกว่า 0.7 ล้าน ลบ.ม. จะไม่นำมาพิจารณา ดังแสดงผลการจำลองสมมูลน้ำในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาสมมูลน้ำรายเดือนในรอบ 30 ปี (พ.ศ. 2527 – 2556) ในสภาพอนาคต

กำลังการผลิต (ลบ.ม./วัน)	ร้อยละของจำนวนปี ในการขาดแคลนน้ำ เทียบจาก 30 ปี	ความจุ ที่เหมาะสม (ล้านลบ.ม.)	ปริมาณการขาดน้ำต่อเดือนใน 1 ปี (ล้านลบ.ม.)			จำนวนเดือน ที่ขาดน้ำต่อเดือน สูงสุด 1 ปี
			เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	
24,000	0% (0/30 ปี)	1.3	-	-	-	-
	13% (4/30 ปี)	0.7	0.38	0.50	0.27	1
	20% (6/30 ปี)	ไม่พิจารณา	-	-	-	-
48,000	0% (0/30 ปี)	3.9	-	-	-	-
	10% (3/30 ปี)	3.5	0.11	0.19	0.02	2
	20% (6/30 ปี)	1.7	1.22	1.80	0.43	3
72,000	0% (0/30 ปี)	7.0	-	-	-	-
	10% (3/30 ปี)	6.1	0.55	0.78	0.30	2
	23% (7/30 ปี)	5.0	1.15	1.76	0.00	2
96,000	0% (0/30 ปี)	10.6	-	-	-	-
	10% (3/30 ปี)	9.1	1.09	1.44	0.78	1
	20% (6/30 ปี)	8.2	1.13	2.23	0.01	2

จากตารางที่ 4 พบว่าปริมาตรความจุบ่อน้ำที่เหมาะสมมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามความเสี่ยงของจำนวนปีในการขาดแคลนน้ำที่ร้อยละ 0, 10, และ 20 ในเวลา 30 ปี ซึ่งเรียงลำดับจากความเสี่ยงน้อยไปมากกล่าวคือ ยิ่งบ่อเก็บน้ำมีความจุน้อยลงความเสี่ยงต่อการขาดน้ำจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการขาดแคลนน้ำในช่วงปีน้ำแล้งพบว่า มีโอกาสที่จะเกิดการขาดแคลนน้ำอย่างต่อเนื่องในช่วง 3 เดือนสุดท้ายของปีน้ำ (ม.ค.-มี.ค.) และอาจ

ขาดแคลนน้ำต่อเนื่องไปอีกหนึ่งเดือน (เม.ย.) ของปีน้ำถัดไปได้อีกด้วย ซึ่งสามารถสรุปเป็นปริมาณน้ำขาดแคลนเฉลี่ย สูงสุด ต่ำสุด ตลอดจนระยะเวลาการขาดแคลนน้ำสูงสุดในแต่ละปีในตารางที่ 4 จากผลการศึกษาดังกล่าว เพื่อที่จะออกแบบขนาดความจุบ่อน้ำที่เหมาะสมที่ไม่ต้องรองรับความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำที่สูงและต่ำเกินไป การศึกษานี้ได้พิจารณาออกแบบความจุเก็บกักในกรณีที่มีความเสี่ยงในการขาดน้ำ 3 ปี (10 % ของเวลา) โดยสรุป

ได้ว่าปริมาณความจุที่เหมาะสมสำหรับกำลังการผลิต 24,000 48,000 72,000 และ 96,000 ลบ.ม./วัน มีขนาดประมาณ 0.7, 3.5, 6.1, และ 9.1 ล้าน ลบ.ม. ตามลำดับ และควรเตรียมปริมาณเก็บกักสำรองจากแหล่งน้ำอื่น เช่น บ่อรับของเอกชนข้างเคียงอื่นๆ ที่ไม่มีแผนการใช้น้ำจากบ่อตลอดทั้งปี เพื่อรองรับปริมาณการขาดแคลนน้ำ โดยมีค่าสูงสุดรายปีประมาณ

0.5, 0.19, 0.78 และ 1.44 ล้าน ลบ.ม. เพื่อรองรับการขาดแคลนน้ำเป็นระยะเวลาสูงสุด 1, 2, 2, และ 1 เดือนตามลำดับ ทั้งนี้ได้แนะนำระดับก้นบ่อรวมถึงความลึกในการขุดบ่อเก็บน้ำและปริมาณเก็บกักสำรองที่เหมาะสมสอดคล้องกับแต่ละกำลังการผลิต ดังแสดงผลการศึกษาในตารางที่ 5 ซึ่งพบว่าต้องขุดบ่อน้ำลงไปลึก 27 ม. ที่ระดับ -25 ม.รทก. เพื่อรองรับกำลังการผลิตสูงสุด

ตารางที่ 5 ความจุเก็บกัก (สำหรับความเสี่ยงในการขาดน้ำ 10% ในรอบ 30 ปี) ความลึกในการขุดบ่อ ระดับก้นบ่อเก็บน้ำ และปริมาณเก็บกักสำรองที่สอดคล้องกับกำลังการผลิตต่าง ๆ

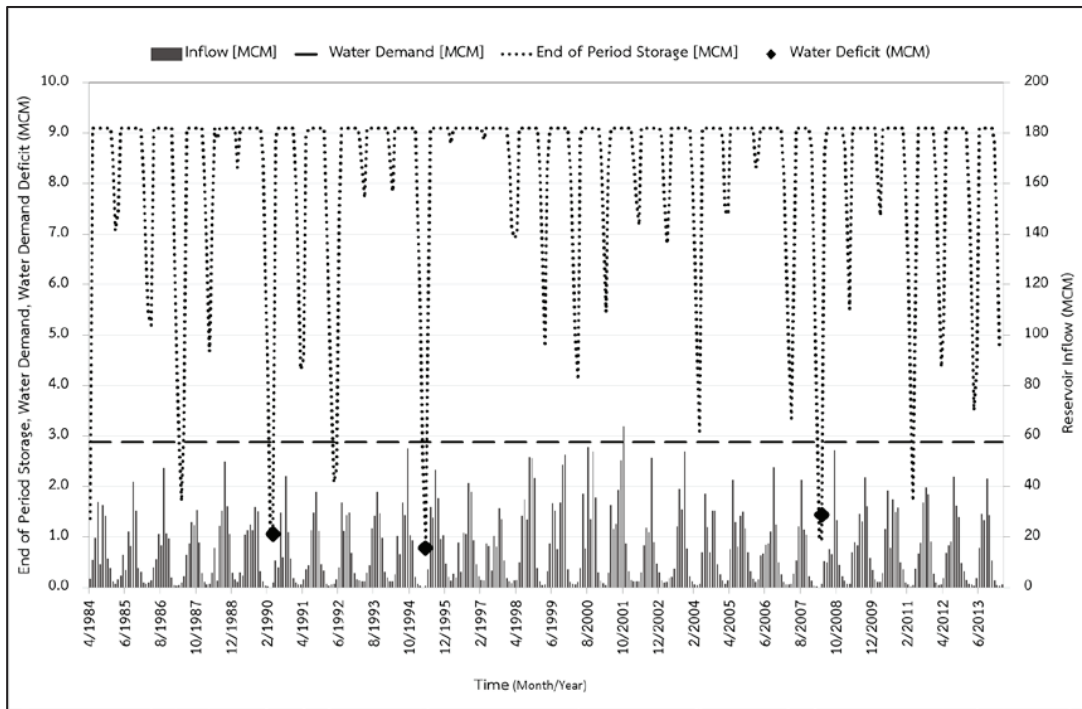
กำลังการผลิต (ลบ.ม./วัน)	ความจุที่เหมาะสม (ล้านลบ.ม.)	ระดับก้นบ่อเก็บน้ำ (ม. รทก.)	ความลึกในการขุดบ่อเก็บน้ำ (ม.)	ปริมาณเก็บกักสำรอง (ล้าน ลบ.ม.)	ระยะเวลาการใช้น้ำจาก บ่อสำรองสูงสุด (เดือน)
24,000	0.7	0.5	1.5	0.30-0.50	1
48,000	3.5	-6.5	8.5	0.02-0.19	2
72,000	6.1	-14.0	16.0	0.30-0.78	2
96,000	9.1	-25.0	27.0	0.80-1.44	1

5. เกณฑ์การเฝ้าระวังความเสี่ยงในการขาดแคลนน้ำ

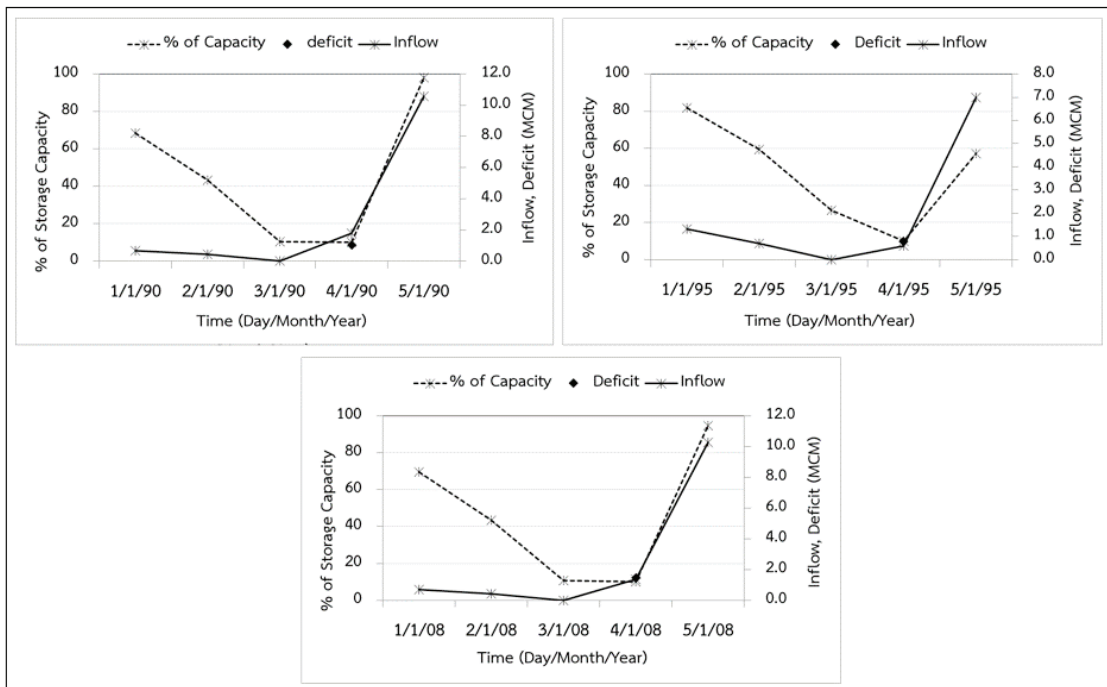
เพื่อให้สามารถวางแผนรับมือกับภัยแล้งได้ทันทั่วทั้งปี และลดผลกระทบจากการขาดแคลนน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีความจำเป็นต้องศึกษาเกณฑ์การติดตามและเฝ้าระวังการขาดน้ำล่วงหน้า โดยในลำดับแรกได้นำผลการศึกษามาตั้งต้น กรณีสัมผัสความเสี่ยงในการขาดน้ำ 10% ของเวลาในทุกๆ กำลังการผลิตรวม 4 กรณี มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเก็บกักสิ้นเดือน (End of Period Storage, EOP) ปริมาณน้ำไหลเข้า ปริมาณการใช้น้ำและปริมาณการขาดแคลนน้ำ (Water Deficit) เพื่อมาวิเคราะห์ปีแล้งวิกฤต ดังแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์สำหรับการผลิตน้ำประปา ที่ 96,000 ลบ.ม./วัน ในภาพที่ 4

ผลการศึกษาในขั้นตอนที่ 4 กรณีแสดงให้เห็นว่าปัญหาการขาดแคลนน้ำจะเกิดในช่วงเวลาที่แหล่งน้ำต้นทุนจากปริมาณน้ำไหลเข้าบ่อและปริมาณเก็บกักในบ่อมีค่ารวมกันน้อยกว่าความต้องการใช้น้ำ

โดยในสถานการณ์ที่น้ำต้นทุนจากแหล่งใดแหล่งหนึ่งระหว่างน้ำท่าจากคลองบางทอง หรือน้ำดิบจากปริมาณเก็บกักมีเพียงพอต่อการใช้งานแล้ว จะไม่ส่งผลกระทบต่อขาดน้ำ แต่ถ้าปริมาณน้ำต้นทุนทั้งสองแหล่งวิกฤติพร้อมกันจะเกิดปัญหาขาดน้ำในที่สุด จากการพิจารณาผลการศึกษาพบว่า ปีน้ำแล้งวิกฤตที่ก่อให้เกิดการขาดแคลนน้ำในทุกกรณีศึกษาประกอบด้วย 3 ปี คือ ปี พ.ศ. 2533, 2538 และ 2551 ต่อจากนั้นเพื่อให้ทราบพฤติกรรมขาดแคลนน้ำสำหรับนำไปใช้เป็นแนวทางการคาดการณ์ภัยแล้งของพื้นที่ศึกษา จึงคัดเลือกเฉพาะผลการศึกษา มาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของปริมาณเก็บกักและปริมาณน้ำ ปริมาณน้ำไหลเข้าในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือน ม.ค. - พ.ค. สำหรับความต้องการใช้น้ำทั้ง 4 ระยะ เพื่อให้เห็นรูปแบบการลดลงของปริมาณเก็บกักและปริมาณน้ำไหลเข้าล่วงหน้าก่อนการขาดแคลนน้ำ ดังแสดงตัวอย่างการวิเคราะห์กรณีความต้องการใช้น้ำ 96,000 ลบ.ม. ในภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเก็บกักสิ้นเดือน ปริมาณน้ำไหลเข้าและปริมาณการขาดแคลนน้ำ และความต้องการใช้น้ำ 96,000 ลบ.ม./วัน



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณเก็บกักและปริมาณน้ำไหลเข้าสำหรับความต้องการใช้น้ำ 96,000 ลบ.ม./วัน

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวทั้ง 4 กรณีศึกษา พบว่าการขาดน้ำในแต่ละปีจะเกิดขึ้นเพียง 1 เดือน คือในเดือน มี.ค. หรือเดือน เม.ย. หรืออาจเกิดขึ้น 2 เดือน (มี.ค.-เม.ย.) ติดต่อกันก็ได้ ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ปริมาณเก็บกักที่เหลืออยู่ในบ่อน้ำ และปริมาณน้ำที่ไหลเข้าบ่อน้ำ โดยมีความชัดเจนว่าก่อนที่จะเกิดการขาดแคลนน้ำล่วงหน้า 2 เดือน ปริมาณเก็บกักและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าบ่อมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นถ้าสามารถทราบสถานการณ์น้ำล่วงหน้า 2 เดือนก่อนเกิดการขาดน้ำ ย่อมนำไปสู่กระบวนการ

วางแผนรับมือกับภัยแล้งได้ทันทั่วทั้ง การศึกษานี้ได้ใช้เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเก็บกักน้ำ (% of Storage Capacity) ณ สิ้นเดือน และเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำไหลเข้าเทียบกับความต้องการใช้น้ำรายเดือนในเดือนเดียวกันเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาการเตรียมตัวเข้าสู่สถานการณ์ภัยแล้ง ดังแสดงผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของปริมาณเก็บกักน้ำ และเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำไหลเข้าเทียบกับความต้องการใช้น้ำรายเดือนในช่วงเวลา ก่อนและหลังการขาดน้ำสำหรับทุกสถานการณ์ในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปอร์เซนต์ของปริมาณเก็บกักน้ำสิ้นเดือน และเปอร์เซนต์ปริมาณน้ำไหลเข้าเทียบกับความต้องการน้ำรายเดือน

อัตราสูบน้ำ (ลบ.ม./วัน)	เวลา (เดือน)	% ของปริมาณเก็บกักสำหรับปีที่ขาดแคลนน้ำต่างๆ				% ปริมาณน้ำไหลเข้าเทียบกับความต้องการน้ำรายเดือน			
		1990	1995	2008	ค่าเฉลี่ย	1990	1995	2008	ค่าเฉลี่ย
24,000	ก่อนขาดน้ำ 2 เดือน	89.1	100.0	89.1	92.8	92.9	120.0	93.7	102.2
	ก่อนขาดน้ำ 1 เดือน	47.9	93.3	46.4	62.5	61.4	95.7	59.4	72.2
	ขาดน้ำ	9.4	9.4	9.4	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	หลังขาดน้ำ 1 เดือน	100.0	9.4	100.0	69.8	249.0	82.8	190.9	174.2
48,000	ก่อนขาดน้ำ 2 เดือน	76.6	75.2	76.6	76.1	46.4	47.9	46.8	47.0
	ก่อนขาดน้ำ 1 เดือน	49.1	32.4	48.2	43.2	30.7	0.0	29.7	20.1
	ขาดน้ำ	9.4	9.4	9.4	9.4	0.0	41.4	0.0	13.8
	หลังขาดน้ำ 1 เดือน	20.0	100.0	9.4	43.1	124.5	484.9	95.4	235.0
72,000	ก่อนขาดน้ำ 2 เดือน	47.6	62.6	46.7	52.3	20.5	31.9	19.8	24.1
	ก่อนขาดน้ำ 1 เดือน	10.9	25.8	9.9	15.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	ขาดน้ำ	9.9	9.9	9.9	9.9	83.0	27.6	63.6	58.1
	หลังขาดน้ำ 1 เดือน	100.0	92.6	100.0	97.5	488.2	323.3	474.8	428.8
96,000	ก่อนขาดน้ำ 2 เดือน	43.2	59.3	43.5	48.7	15.4	23.9	14.9	18.0
	ก่อนขาดน้ำ 1 เดือน	10.4	26.5	10.7	15.9	0.0	0.0	0.0	0.0
	ขาดน้ำ	10.1	10.1	10.1	10.1	62.3	20.7	47.7	43.6
	หลังขาดน้ำ 1 เดือน	97.9	57.3	94.7	83.3	366.1	242.5	356.1	321.6

ตารางที่ 6 แสดงให้เห็นว่าปริมาตรเก็บกักและปริมาณน้ำไหลเข้าในช่วงเวลาก่อนหน้าเกิดการขาดน้ำ 1 – 2 เดือน สำหรับกรณีอัตราการสูบน้ำและการปล่อยน้ำเพื่อรักษานิวตาทัยน้ำที่เท่ากัน แม้ว่าจะต่างปีแล้งกันแต่ปริมาตรเก็บกักคงเหลือ และปริมาณน้ำไหลเข้าบ่อมีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงใช้ค่าเฉลี่ยของปริมาตรเก็บกักและปริมาณน้ำไหลเข้าสำหรับทั้ง 3 ปีแล้ง มาเป็นตัวแทนในการสร้างเกณฑ์ความเสี่ยงในการขาดน้ำล่วงหน้า 2 เดือน ดังแสดงผลในตารางที่ 7

6. สรุปผลการทดลอง

1) ภายใต้การพิจารณาความเสี่ยงในการขาดน้ำ 3 ปีใน 30 ปี ขุมเหมืองนาเตยในสภาพปัจจุบัน

สามารถผลิตน้ำประปาได้สูงสุด 11,000 ลบ.ม./วัน ในขณะที่ถ้าต้องการขยายกำลังการผลิตเพื่อส่งไปยังจังหวัดภูเก็ตในอัตราสูงถึง 96,000 ลบ.ม./วัน ต้องขุดขยายบ่อน้ำให้มีความจุเพิ่มเป็น 9.1 ล้าน ลบ.ม. และควรเตรียมปริมาตรเก็บกักสำรองไว้มีค่าสูงสุดประมาณ 1.44 ล้าน ลบ.ม./ปี เพื่อรองรับการขาดน้ำใน 3 ปีแล้งวิกฤต

2) หากต้องการลดผลกระทบจากปีแล้งวิกฤต 3 ปีที่อาจเกิดขึ้นได้ในในอนาคต ควรมีการเฝ้าติดตามระดับน้ำในบ่อและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าบ่ออยู่เสมอในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือน ม.ค. – เม.ย. สำหรับนำไปตรวจสอบกับเกณฑ์ความเสี่ยงภัยแล้งที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำไปสู่การวางแผนรับมือสูงสุด 2 เดือนล่วงหน้าได้ทันที

ตารางที่ 7 เกณฑ์การเฝ้าระวังความเสี่ยงในการขาดน้ำ

อัตราการสูบน้ำ (ลบ.ม./วัน)	เดือนที่ เฝ้าติดตาม	% ปริมาตรเก็บกักสิ้นเดือน เทียบกับปริมาณน้ำเต็มบ่อ	% ปริมาณน้ำไหลเข้ารายเดือน เทียบกับอัตราการสูบน้ำรายเดือน	สภาวะการขาดน้ำ
24,000	1	น้อยกว่า 90%	น้อยกว่า 100%	อีก 2 เดือนข้างหน้ามีความเสี่ยงจะขาดน้ำ
	2	น้อยกว่า 60%	น้อยกว่า 70%	อีก 1 เดือนข้างหน้ามีความเสี่ยงจะขาดน้ำ
	3	10%	0%	ขาดน้ำ
48,000	1	น้อยกว่า 75%	น้อยกว่า 50%	อีก 2 เดือนข้างหน้ามีความเสี่ยงจะขาดน้ำ
	2	น้อยกว่า 40%	น้อยกว่า 20%	อีก 1 เดือนข้างหน้ามีความเสี่ยงจะขาดน้ำ
	3	10%	น้อยกว่า 10%	ขาดน้ำ
72,000	1	น้อยกว่า 50%	น้อยกว่า 25%	อีก 2 เดือนข้างหน้ามีความเสี่ยงจะขาดน้ำ
	2	น้อยกว่า 15%	0%	อีก 1 เดือนข้างหน้ามีความเสี่ยงจะขาดน้ำ
	3	10%	น้อยกว่า 60%	ขาดน้ำ
96,000	1	น้อยกว่า 50%	น้อยกว่า 20%	อีก 2 เดือนข้างหน้ามีความเสี่ยงจะขาดน้ำ
	2	น้อยกว่า 15%	0%	อีก 1 เดือนข้างหน้ามีความเสี่ยงจะขาดน้ำ
	3	10%	น้อยกว่า 45%	ขาดน้ำ

7. วิจารณ์ผลการทดลอง>>>

เกณฑ์การขาดแคลนน้ำที่พัฒนาขึ้นจะมีความถูกต้องในกรณีที่เหตุการณ์ในอีก 1 - 2 เดือนข้างหน้า มีเงื่อนไขการเฝ้าระวังตรงตามเกณฑ์ทุกประการ ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าและปริมาตรเก็บกักในบ่อน้ำล่งหน้าสำหรับงานวิจัยในอนาคต เพื่อพัฒนาไปสู่การสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนรับมือกับภัยแล้งได้ดียิ่งขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ>>>

ขอขอบคุณบริษัท โกลด์ ซอร์ส จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์ข้อมูลพื้นที่ศึกษา และกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน กรมทรัพยากรน้ำบาดาล สำหรับความอนุเคราะห์ข้อมูลน้ำบาดาล ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า และระดับน้ำสำหรับการศึกษา

9. เอกสารอ้างอิง>>>

[1] ทวีสิทธิ์ เลิศสินไทย. การศึกษาการจัดการน้ำของอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำคลองใหญ่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2549. 139 หน้า.

[2] เสถียรชัย บุญมี. การศึกษาการใช้น้ำของโครงการอ่างเก็บน้ำคลองศาลทราย จังหวัดจันทบุรี. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2551. 117 หน้า.

[3] ณัฐพล แก้วทอง. การศึกษาการใช้น้ำของอ่างเก็บน้ำประแสร์ จังหวัดระยอง. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2552. 171 หน้า.

[4] ทนงไชย ด้วงนุรักษ์. การศึกษาการจัดการน้ำของอ่างเก็บน้ำในลุ่มน้ำจิม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2552. 129 หน้า.

[5] ธนากร ยันตรกิจ. การศึกษาการจัดการน้ำของอ่างเก็บน้ำคลองหลา-คลองจำไทร โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ Mike-Basin. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2552. 172 หน้า.

[6] ปฏิเวธ วงษ์ปา และสุวัฒนา จิตตลดากร. การศึกษาแนวทางเลือกเพื่อปรับปรุงโครงการของลุ่มน้ำคลองหอยโข่ง. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12. 2550.

[7] สุรินทร์ ศิริอนันต์. การศึกษาการใช้น้ำของโครงการอ่างเก็บน้ำคลองสะเดา จังหวัดสงขลา โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE BASIN. การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2549. 110 หน้า.

[8] อรุณี อุตสาหกิจ, นิตยา หวังวงศ์โรจน์ และอุดมศักดิ์ อิศรางกูร ณ อยุธยา. การบริหารจัดการน้ำเพื่อแก้ไขปัญหาภัยแล้งนอกเขตพื้นที่ชลประทาน กรณีศึกษา อ.ดอนเจดีย์ จ.สุพรรณบุรี. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17. 2555.

[9] DHI Water & Environment. 2003. MIKE BASIN 2003, Guide to Getting Started Tutorial. Danish Hydraulic Institute, Denmark. 34p.

[10] พรชวรณ บุณยรัตพันธุ์, สุรัชย์ ลิปิวัฒนา การ, ชัยวัฒน์ ชัยนการนาวิ และพรณพิมพ์ พุทธรักษา มะเปี่ยม. การจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินรอบ บ่อเก็บน้ำจังหวัดพังงาด้วยแบบจำลอง MODFLOW. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา แห่งชาติ ครั้งที่ 21. 2559.