ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งของโครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำลำแชะ*

Climate change Impact on dry season crops of Lam Chae reservoir irrigation project

ศุภชัย กฤตสุทธาชีวะ (Supachai Krittasudtheewa)**
ธีระพงษ์ ควรคำนวน (Thirapong Kuankhamnuan)**
อภิรัฐ ปิ่นทอง (Apirat Pintrong)**

บทคัดย่อ

การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งของอ่างเก็บน้ำลำแชะ อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังจำนวน 30 ปี (ปีฐาน) ตั้งแต่ พ.ศ. 2529–2558 ใช้แบบจำลอง NAM เพื่อประเมินน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำ แบบจำลองฝนใช้การ แบบจำลองความต้องการน้ำชลประทาน และแบบจำลองระบบ เพื่อกำหนดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง เปรียบเทียบกับกรณีอนาคต เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก (General circulation models, GCMs) ชุดข้อมูล Global dataset ECHAM4 และเพิ่มความละเอียดข้อมูลโดยแบบจำลอง PRECIS ภายสมมติฐาน A2 จำนวน 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2558–2588 พบว่าปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำรายเดือนมีทั้งสูงขึ้นและลดลงเมื่อเทียบกับปีฐาน โดยปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นจะอยู่ในช่วงต้นฤดูฝนซึ่งมีความสำคัญสำหรับพืชมากกว่าปริมาณน้ำที่ลดลงในช่วงปลายฤดูฝน และอัตราการไหลสูงสุดจะเกิดเร็วกว่าเดิมจากเดือนตุลาคมเป็นเดือนกันยายน ด้านความต้องการน้ำชลประทานในอนาคต จะมีค่าใกล้เคียงกับความต้องการน้ำในช่วงปีฐาน โดยในอนาคตมีค่าลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ฝนที่ตกลงมากลายเป็นฝนใช้การมากขึ้น ความต้องการน้ำชลประทานจึงมีแนวโน้มลดลง ส่วนแบบจำลองระบบเมื่อคิดพื้นที่เพาะปลูกฤดูฝนเต็มพื้นที่โครงการ และฤดูแล้งเพาะปลูกตามกราฟกำหนดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง (DSAR Curve) พบว่าผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้ได้พื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งเฉลี่ยมากขึ้น จากเดิม 16,353 ไร่ เป็น 19,947 ไร่ ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมากขึ้น หลังสิ้นสุดฤดูฝนจึงมีน้ำเหลือในอ่างเก็บน้ำสำหรับเพาะปลูกในฤดูแล้งมากขึ้น ดังนั้นการจัดการทรัพยากรน้ำในอนาคตสำหรับในพื้นที่ศึกษานี้จึงควรมุ่งเน้นถึงการจัดการด้านอุทกภัยมากกว่าการจัดการด้านภัยแล้ง การปรับปรุงอ่างเก็บน้ำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้สามารถเก็บกักน้ำได้มากขึ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกในฤดูแล้งและจะเป็นประโยชน์ในการจัดการอุทกภัยในอนาคต

---

* เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัย

** อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
Lecturer of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, E-mail: supachai_k@rmutt.ac.th

คำสำคัญ : การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แบบจำลองภูมิอากาศโลก แบบจำลองฝนใช้การ แบบจำลองความต้องการน้ำชลประทาน แบบจำลองระบบ

Abstract

This research assesses climate change impact on dry season crops of Lam Chae reservoir irrigation project, Khon Buri District, Nakhon Ratchasima Province. During 1986-2015, thirty years historical data was used as baseline period. Several models were used in this study including NAM model to simulate the inflows to the reservoir, Effective Rainfall Model, Irrigation Demand Model, and System Simulation Model to determine dry season irrigation areas of the baseline period in comparison with climate change scenarios. Rainfall data of climate change scenarios were projected by the General Circulation Models (GCM) and ECHAM4 global dataset. Finer spatial resolution rainfall data were produced by PRECIS regional climate modelling system for Emission Scenario A2 during 30-year period of 2015-2045. The study found that monthly inflows of climate change scenario are different from baseline period inflows. Monthly inflows of climate change scenario at the beginning of rainy season important for the irrigation are increased while monthly inflows at the end of rainy season are decreased from the baseline period. Maximum monthly inflow occurs in September that is much earlier than baseline period maximum inflow in October. Future irrigation water demand under climate change scenario is slightly low than that of baseline period. This was because increased rainfall and thus higher effective rainfall for the irrigation was expected for climate change scenario. According to the simulation results of the System Simulation Model when using full rainy season irrigation area and dry season area from the Dry Season Area Reduction Curve (DSAR Curve), it was found that dry season area can increase 16,353 rai from baseline period to 19,947 rai for climate change scenario because of increased monthly inflows to the reservoir. At the end of rainy season, more water is stored in the reservoir for dry season irrigation. Water resources management in this study area should therefore focus more on flood management than drought management in the future. Increasing reservoir storage could be considered to enable more water to be stored for increased dry season area and flood management in the future.

Keywords: Climate change, General Circulation Models, Effective Rainfall Model, Irrigation Demand Model, System Simulation Model

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้นความต้องการน้ำทางด้านการเกษตรมีสัดส่วนที่มากกว่ากิจกรรมการใช้น้ำอื่นๆ ปัจจุบันพื้นที่เกษตรกรรมทั้งในเขตและนอกเขตโครงการชลประทานได้ถูกผลกระทบจากอุทกภัยและภัยแล้ง ทำให้รายได้ของเกษตรกรลดลง สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมในเขตโครงการชลประทานจะมีแหล่งน้ำและได้รับการจัดสรรน้ำให้เพียงพอทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง ในฤดูฝนพืชสามารถนำน้ำบางส่วนจากฝนที่ตกในพื้นที่โครงการไปใช้ได้ แต่หากไม่เพียงพอต่อความต้องการจึงจะจัดสรรน้ำชลประทานให้ ส่วนในช่วงฤดูแล้งปริมาณฝนจะน้อยมาก การใช้น้ำจึงได้มาจากการจัดสรรน้ำจากโครงการซึ่งปกติจะมีอยู่อย่างจำกัด เพราะเป็นปริมาณน้ำที่เหลือใช้จากฤดูฝน และในแต่ละปีจะมีค่าไม่คงที่ ดังนั้นการกำหนดพื้นที่เพาะปลูกในฤดูแล้งให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำที่เหลือ โดยเพาะปลูกตามกราฟกำหนดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง (DSAR Curve) (ฉลอง เกิดพิทักษ์, 2538; ศิโรตน์ จิวารัตน์, 2539; จงกรม สมพงษ์, 2545; เลอบุญ อุดมทรัพย์, 2546; ศุภชัย กฤตสุทธาชีวะ, 2541) จึงเป็นปจจัยสำคัญที่ช่วยในการบริหารจัดการน้ำหน้าแล้ง

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกได้ส่งผลกระทบต่อทั่วโลก (IPCC, 2007b) รวมทั้งประเทศไทย โดยเฉพาะด้านอุทกวิทยา เช่น อุณหภูมิ ปริมาณฝน การระเหย ความชื้น เป็นต้น (ศุภกร ชินวรรโณ และคณะ, 2552; สุจริต คุณธนกุลวงศ์ และคณะ, 2553; Lu, 2005) ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าไหลลงอ่างเก็บน้ำ (ศุภชัย กฤตสุทธาชีวะ, 2561; Hu et al., 2012; Nijssen et al., 2001) และยังส่งผลต่อความต้องการน้ำชลประทาน (Shahid, 2009; Shrestha et al.,2014; Huang and Lee, 2014) ในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำท่า และความต้องการน้ำชลประทาน รวมทั้งการกำหนดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งที่เหมาะสมของอ่างเก็บน้ำลำแชะ

วิธีวิจัย

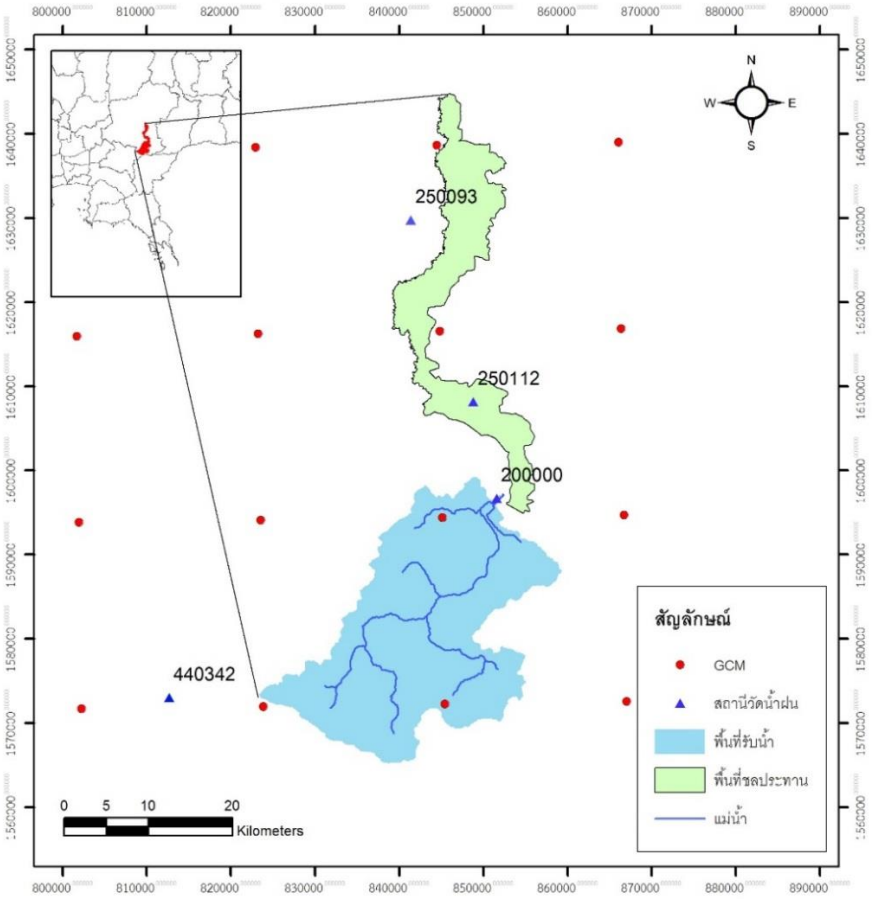
1. พื้นที่ศึกษา

อ่างเก็บน้ำลำแชะเป็นโครงการประเภทเขื่อนเก็บกักน้ำเพื่อการชลประทาน ปิดกันลำแชะที่บ้านโคกใบบัว ต.โคกกระชาย อ.ครบุรี จ.นครราชสีมา มีพื้นที่รับน้ำ 601 ตร.กม. สามารถเก็บกักน้ำได้ 275 ล้าน ลบ.ม. เพื่อส่งน้ำช่วยพื้นที่การเกษตร 98,467 ไร่ ในฤดูฝนและ 41,470 ไร่ ในฤดูแล้งบนฝั่งขวาของลำมูลบน ในเขต อ.ครบุรี อ.โชคชัย จ.นครราชสีมา นอกจากจะส่งน้ำเพื่อการเกษตรแล้วยังสงน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค และการระบายน้ำลงสูลำน้ำเดิม ในอัตรา 5.13 ล้าน ลบ.ม./เดือน อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปี 30 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 90 ปริมาณฝนตกเฉลี่ยตลอดปี 1,062 มม. ขอบเขตพื้นที่โครงการแสดงไว้ในภาพที่ 1

2. การศึกษาปริมาณฝนในอนาคต

การคาดการณ์ปริมาณฝน ได้ข้อมูลจากหน่วยงาน SEA START ซึ่งได้จัดทำภาพฉายอนาคตสภาพภูมิอากาศ (Climate scenario) ของพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ศุภกร ชินวรรโณ และคณะ, 2552) โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Providing REgional Climates for Impacts Studies (PRECIS) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Hadley Centre for Climate Prediction and Research, The Met Office ประเทศอังกฤษ ทั้งนี้ได้ใช้ชุดข้อมูล Global dataset ECHAM4 GCM (IPCC, 2007b) เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณ โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ขนาดตารางกริด (grid) ขนาด 20x20 ก.ม. ครอบคลุมช่วงเวลาปีฐานตั้งแต่ค.ศ. 1960 – 1999 เพื่อใช้

สำหรับการเปรียบเทียบและครอบคลุมช่วงเวลาอนาคตตั้งแต่ ค.ศ. 2010 - 2099 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลในอนาคตตามการจำลองภาพฉายอนาคตที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นแบบ A2 ซึ่งเป็นสมมติฐานของโลกอนาคตที่มีความแตกต่างกันในแต่ละภูมิภาค มีนโยบายและแนวทางเป็นของตัวเอง ประชากรของโลกมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องระบบเศรษฐกิจและรายได้มีความแตกต่างกันมากในแต่ละภูมิภาค (สุจริต คุณธนกุลวงศ์และคณะ, 2553; IPCC, 2007a) ซึ่งกำหนดขึ้นโดย Intergovernmental Panel on Climate Change ในช่วง ค.ศ. 1986 – 2015 (พ.ศ. 2529 - 2558) รวมระยะเวลา 30 ปี โดยตำแหน่งกริดที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาแสดงในภาพที่ 1

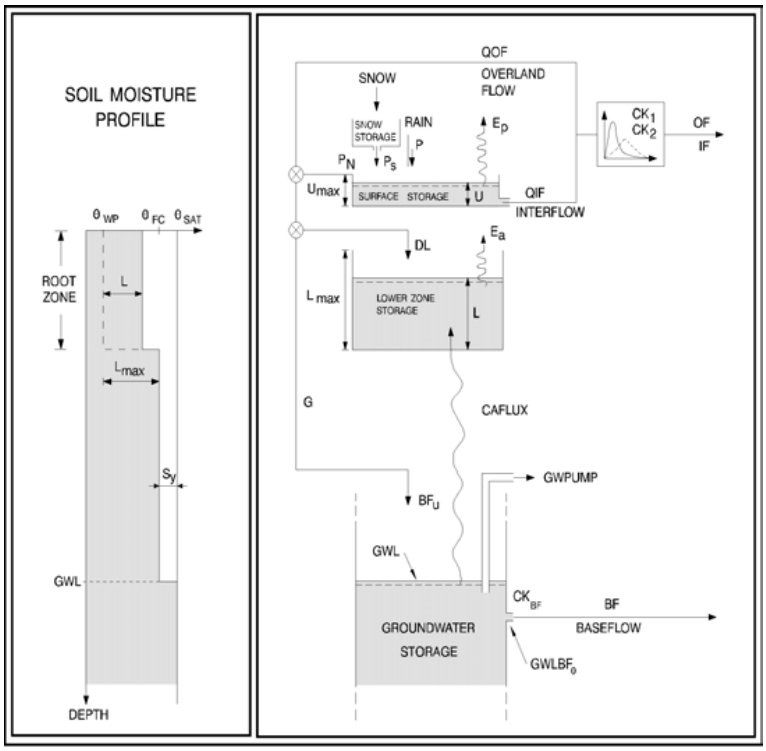


ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษา

3. แบบจำลอง NAM

แบบจำลอง NAM เป็นแบบจำลองน้ำท่าจากน้ำฝน ซึ่งพัฒนาโดย The Danish Hydraulic Institute (DHI) เป็นจัดอยู่ในแบบจำลองประเภท Lumped model โดยกำหนดให้แต่ละลุ่มน้ำย่อยเป็นหนึ่งหน่วย ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จะเป็นค่าเฉลี่ยตัวแทนของลุ่มน้ำ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆประมาณได้จากการปรับเทียบมาตรฐานของข้อมูลที่สอดคล้องกัน โครงสร้างแบบจำลองแสดงไว้ในภาพที่ 2 ซึ่งเป็นการเลียนแบบวัฏจักรทางอุทกวิทยาบนผิวดินโดยน้ำจะถูกเก็บกักในแหล่งต่างๆ เริ่มตั้งแต่ฝนที่ตกลงมาจะถูกดักโดยพืชและขังตามที่ลุ่มในบริเวณชั้นผิวดินอยู่ในรูปของการเก็บกักบนผิวดิน (Surface storage) โดยมีค่าเก็บกักสูงสุดเท่ากับ u_{max} ซึ่งปริมาณน้ำในการเก็บกักบนผิวดิน (U) จะลดลงอย่างต่อเนื่องโดยการระเหย การใช้น้ำของพืช และการไหลในแนวราบ

(Interflow) ปริมาณน้ำในชั้นนี้เพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณฝนแต่เมื่อปริมาณน้ำขึ้นถึงระดับ u_{max} น้ำส่วนเกิน P_n จะไหลในลักษณะไหลบนท่วมผิวดิน (Overland flow) และมีบางส่วนไหลซึมลงสู่การเก็บกักในชั้นดินส่วนล่าง (Lower zone storage) และการเก็บกักในชั้นน้ำใต้ดิน (Groundwater storage) (ศุภชัย กฤตสุทธาชีวะ, 2561)



ภาพที่ 2 โครงสร้างแบบจำลอง NAM

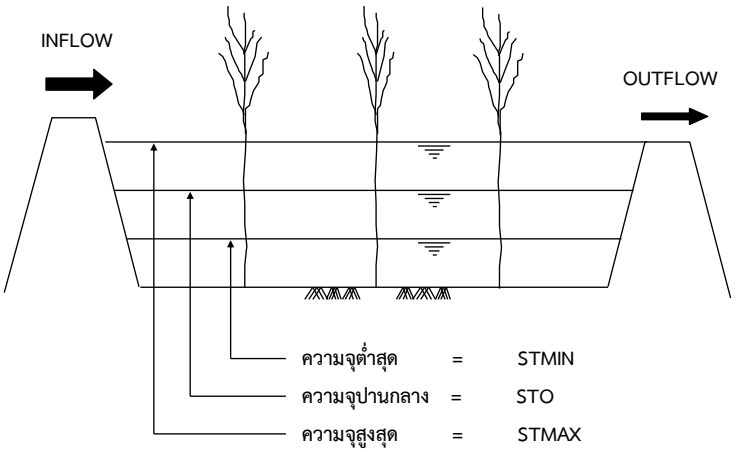
ที่มา: Danish Hydraulic Institute (2007)

เพื่อตรวจความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง จึงใช้ข้อมูลรายวันย้อนหลังจำนวน 27 ปีในการปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration) ตั้งแต่ พ.ศ. 2542 ถึง 2555 และจำนวน 3 ปีในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Verification) ตั้งแต่ พ.ศ. 2556 ถึง 2558 โดยกำหนดเกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) > 0.6 จึงจะให้ผลเป็นที่น่าพอใจ (ศุภชัย กฤตสุทธาชีวะ, 2561, Shrestha et al.,2013, Setegn et al., 2010) ข้อมูลฝนที่ใช้ในแบบจำลองได้จากสถานีวัดน้ำฝน 440342 (บ้านทับลาน) และ 200000 (เขื่อนลำแชะ)

4. แบบจำลองฝนใช้การ

ปริมาณฝนใช้การหรือปริมาณฝนที่สามารถนำมาใช้แทนน้ำชลประทานได้ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญๆ คือ ปริมาณฝนที่ตกในแต่ละช่วงเวลา ปริมาณการใช้น้ำของพืช ความเคยชินของชาวนาต่อการเก็บกักน้ำชลประทานไว้ในแปลงนา และความสูงของคันนา เช่น ชาวนานิยมเก็บน้ำชลประทานไว้ในแปลงนาที่ระดับต่ำเมื่อฝนตกลงมาก็มีความสามารถที่จะเก็บน้ำฝนไว้ในแปลงนาได้มากเป็นต้น (ฉลอง เกิดพิทักษ์, 2538; Kirdpitugsa and Kayankarnnavy, 1994) แบบจำลองฝนใช้การสำหรับการเพาะปลูกข้าว โดยการพิจารณาถึงระดับน้ำในแปลงเพาะปลูก ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 5 Number 5 September – October 2018 ISSN 2408 - 1248



ภาพที่ 3 ระดับน้ำบนแปลงเพาะปลูกที่ใช้คำนวนฝนใช้การ
ที่มา: Acres International Limited (1979)

Rn = ฝนตกในวันที่ n เป็น มิลลิเมตร
Stn-1 = ระดับน้ำในแปลงเพาะปลูกที่เริ่มต้นของวันที่ n-1
Stn = ระดับน้ำในแปลงเพาะปลูกที่สิ้นสุดของวันที่ n
am = ปริมาณน้ำที่พืชต้องการเป็น มิลลิเมตรต่อวัน ของเดือนที่มีวันที่ n
= (Kc x ETp + OR) / N

ซึ่ง Kc = สัมประสิทธิ์พืชในเดือนที่ m
ETp = Potential Evapotranspiration ในเดือนที่ m
OR = ความต้องการน้ำอื่น ๆ ของพืช ในเดือนที่ m (โดยทั่วไปเป็นปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลง) เป็น มิลลิเมตร
N = จำนวนวันในเดือนที่ m

Stn คำนวณจาก

Stn = Stn-1 + Rn - am

ถ้า Stn > STMAX, ฝนใช้การ (RE) = STMAX + am - Stn-1 และปรับค่า Stn ให้เท่ากับ STMAX
ถ้า Stn < STMAX, RE = Rn และ Stn ยอมรับ
ถ้า Stn < STMIN, RE = Rn และปรับค่า Stn ให้เท่ากับ STO

ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองได้แก่

• Weighting Factor ของฝนรายวัน โดยใช้สถานีวัดน้ำฝน 2500112 (อ.ครบุรี) 250093 (อ.โชคชัย) และ 200000 (เขื่อนลำแชะ)

• ระดับน้ำในแปลงเพาะปลูกข้าว กำหนดโดยการอ้างอิงจากการสำรวจภาคสนามของโครงการฯมูลบนซึ่งอยู่ติดกับโครงการฯลำแชะ (ฉลอง เกิดพิทักษ์, 2539) โดยกำหนดระดับต่ำสุด (STMIN) = 45 มิลลิเมตร ระดับน้ำปานกลาง (STO) = 90 มิลลิเมตร และระดับน้ำสูงสุด (STMAX) = 120 มิลลิเมตร สำหรับพืชไร่-พืชผัก

ไม่ต้องการน้ำขังตลอดเวลาอย่างเช่นข้าว ระดับในแปลงจึงมีเพียง 2 ระดับ คือ ระดับต่ำสุด (STMIN) และ ระดับน้ำสูงสุด (STMAX) ในที่นี้กำหนดให้ STMIN เท่ากับ 0 มิลลิเมตร และ STMAX เท่ากับ 25 มิลลิเมตร

• ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, ETp) เลือกใช้ค่าที่คำนวณโดยวิธี Modified Penman ที่จังหวัดนครราชสีมา (มนัส กำเนิดมณี, 2538)

• ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชรายเดือน (Kc) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชรายสัปดาห์ของแต่ละปีกิจกรรมการเพาะปลูก (กรมชลประทาน, 2537)

5. แบบจำลองความต้องการน้ำชลประทาน

เป็นแบบจำลองเพื่อหาความต้องการน้ำชลประทาน วิธีการและข้อมูลที่นำมาใช้ได้จากการจัดสรรน้ำรายสัปดาห์ของโครงการชลประทานที่สร้างเสร็จแล้ว ประยุกต์กับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร และการตรวจวัดกิจกรรมการใช้น้ำที่สำคัญ เช่น น้ำใช้เพื่อการเตรียมแปลงสำหรับเพาะปลูกข้าว เป็นต้น (ฉลอง เกิดพิทักษ์, 2535) รายละเอียดแบบจำลองประกอบด้วย

1. ข้อมูลกิจกรรมการเพาะปลูก ซึ่งได้แก่ ข้อมูลการเตรียมแปลงตกกล้า ปักดำ หว่าน และเก็บเกี่ยวสำหรับการปลูกข้าว ซึ่งจะนำมาเขียนเป็นโค้งกิจกรรมการเพาะปลูก (Crop curves)

2. ประสิทธิภาพชลประทาน (IE) คำนิยามของประสิทธิภาพที่ใช้ คือ (ฉลอง เกิดพิทักษ์, 2535; Acres International Limited, 1982)

IE = ปริมาณน้ำที่พืชต้องการตามทฤษฎี + การรั่วซึมบนแปลงเพาะปลูก – ฝนใช้การปริมาณน้ำที่ส่ง

3. ปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลงปลูกข้าว

4. ฝนใช้การ (Effective Rainfall)

5. การใช้น้ำของข้าว คำนวณจากค่า Kc x ETp โดยที่

Kc = สัมประสิทธิ์พืชของข้าว

ETp = Potential Evapotraspiration คำนวณโดยวิธี Modified Penman

6. การใช้น้ำของข้าวกล้า คำนวณได้จาก Kc x ETp

7. อัตราการรั่วซึมบนแปลงเพาะปลูก

8. การใช้น้ำของพืชอื่น ๆ

9. ปริมาณน้ำที่ต้องการส่ง เป็นปริมาณน้ำที่ต้องการส่งที่ปากคลองส่งน้ำ ซึ่งคำนวณจาก

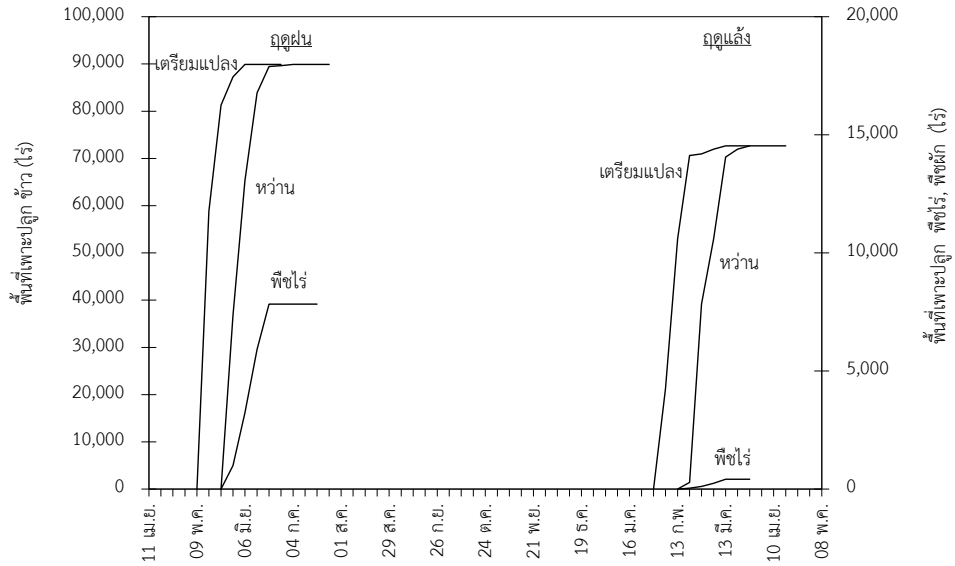
ปริมาณน้ำที่ต้องการส่ง = ปริมาณน้ำที่พืชต้องการตามทฤษฎี + การรั่วซึม – ฝนใช้การประสิทธิภาพชลประทาน

ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองความต้องการน้ำชลประทาน มีรายละเอียดดังนี้

• พื้นที่ชลประทานโครงการฯลำแชะ 98,467 ไร่

• โค้งกิจกรรมการเพาะปลูก ได้จากการรวบรวมข้อมูลในเดือน เมษายน พ.ศ. 2556 ถึง พฤษภาคม พ.ศ.2557 ดังภาพที่ 4

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 5 Number 5 September – October 2018 ISSN 2408 - 1248



ภาพที่ 4 โค้งกิจกรรมการเพาะปลูกของโครงการชลประทานลำแชะ

• ปริมาณน้ำใช้เตรียมแปลง กำหนดน้ำใช้ในการเตรียมแปลง 280 มิลลิเมตรในฤดูฝนเท่ากับโครงการฯชลประทานมูลบนซึ่งอยู่ติดกัน (ศุภชัย มะพล, 2543) ส่วนฤดูแล้งยังไม่ได้มีการทดสอบในสนาม แต่ปกติในฤดูแล้งชาวนาจะใช้น้ำอย่างประหยัดเนื่องจากปริมาณน้ำมีจำกัด ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดน้ำใช้เตรียมแปลงฤดูแล้งที่ 260 มิลลิเมตร

• การรั่วซึมบนแปลงเพาะปลูก กำหนดใช้เท่ากับ 1.65 มิลลิเมตรต่อวัน โดยอ้างอิงจากการทดสอบในสนามของโครงการฯมูลบน (ฉลอง เกิดพิทักษ์, 2539)

• ประสิทธิภาพชลประทาน ได้จากการคำนวณใน พ.ศ. 2557 ถึง 2559 ได้ค่าประสิทธิภาพชลประทานเฉลี่ย ฤดูฝน 50% และ ฤดูแล้ง 53% (บังอร เอื้อกลาง, 2559)

6. แบบจำลองระบบ

เป็นการนำความต้องการน้ำชลประทาน และความต้องการน้ำเพื่อกิจกรรมด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ เช่น น้ำเพื่อการประปา น้ำเพื่อควบคุมความเค็มปากแม่น้ำ เป็นต้น มาขอน้ำจากแหล่งน้ำหรืออ่างเก็บน้ำ การกำหนดพื้นที่ชลประทานโดยทั่วไปในฤดูฝนกำหนดให้เพาะปลูกเต็มพื้นที่ ส่วนพื้นที่ฤดูแล้งจะผันแปรตามปริมาณน้ำที่เหลือในอ่างเมื่อสิ้นสุดฤดูฝนแต่ละปี ทำให้สามารถปลูกพืชฤดูแล้งได้เต็มศักยภาพ ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่เพาะปลูกในฤดูแล้งและปริมาณน้ำในอ่างเมื่อสิ้นสุดฤดูฝนเรียกว่า กราฟกำหนดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง (Dry Season Area Reduction Curve, DSAR curve) (ฉลอง เกิดพิทักษ์, 2538) แบบจำลองระบบจะจำลองหาปริมาณการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ เพื่อให้เพียงพอกับความต้องการน้ำทั้งหมด สมการที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองระบบ

$$St = St\text{-}1 + It + Rt - Ot - Lt - Et$$

ซึ่ง St = ปริมาณน้ำที่เก็บกักไว้ที่สิ้นเดือน t

St-1 = ปริมาณน้ำที่เก็บกักไว้ที่สิ้นเดือน t - 1

It = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างในช่วงเดือน t

Rt = ปริมาณฝนที่ตกลงในบริเวณอ่างเก็บน้ำในช่วงเดือน t

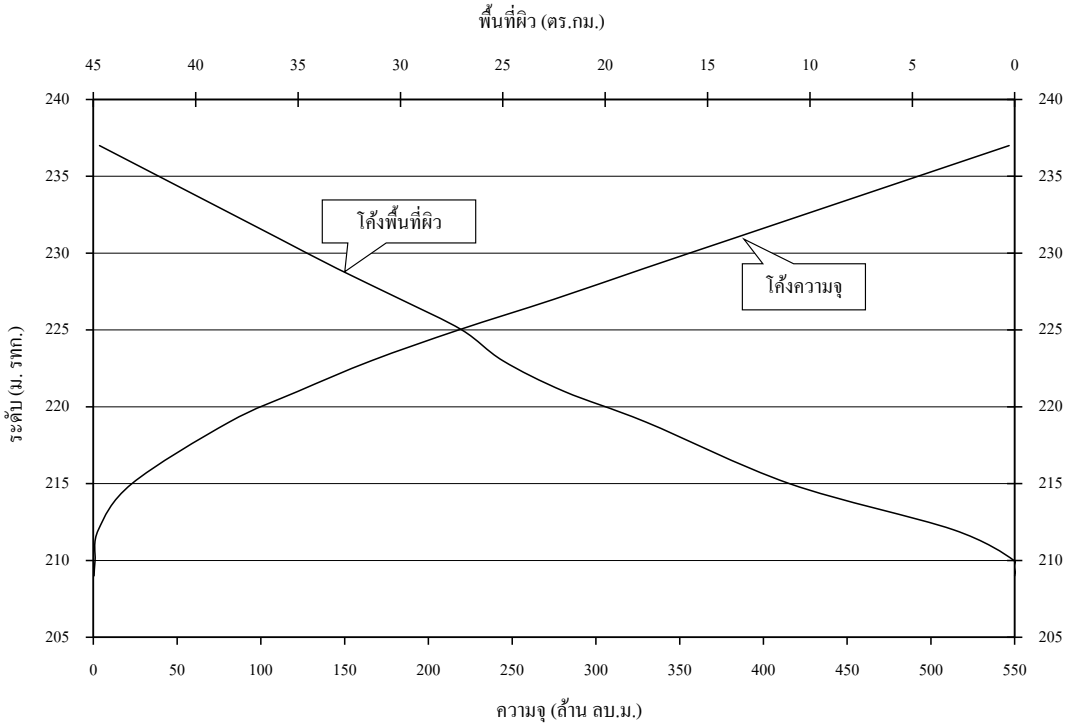
Ot = ปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างในช่วงเดือน t

Lt = ปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมจากอ่างในช่วงเดือน t

Et = ปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการระเหยจากอ่างในช่วงเดือน t

ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองระบบที่สำคัญประกอบไปด้วย

• ลักษณะทางกายภาพของอ่างเก็บน้ำ ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่าง พื้นที่ผิว ความจุ และระดับ ของอ่างเก็บน้ำ แสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 โค้ง พื้นที่ผิว ความจุ และระดับ ของอ่างเก็บน้ำลำแชะ

• ปริมาณน้ำที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำ ได้จากแบบจำลอง NAM และการเก็บรวบรวมข้อมูล

• ข้อมูลการระเหย เลือกใช้สถานีตรวจวัดอากาศที่อยู่ใกล้เคียงกับพื้นที่อ่างเก็บน้ำ โดยใช้ค่าการระเหยที่ จ.นครราชสีมา (ช่วง พ.ศ. 2524-2553) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556)

• ความต้องการน้ำชลประทาน ได้จากการคำนวณแบบจำลองความต้องการน้ำชลประทานเป็นรายเดือน

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 5 Number 5 September – October 2018 ISSN 2408 - 1248

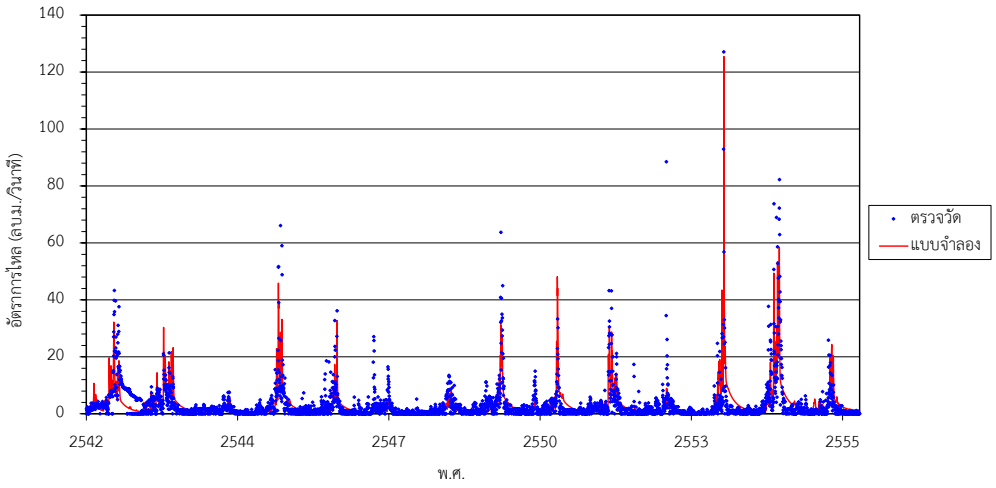
ผลการวิจัย

1. การปรับเทียบและการตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

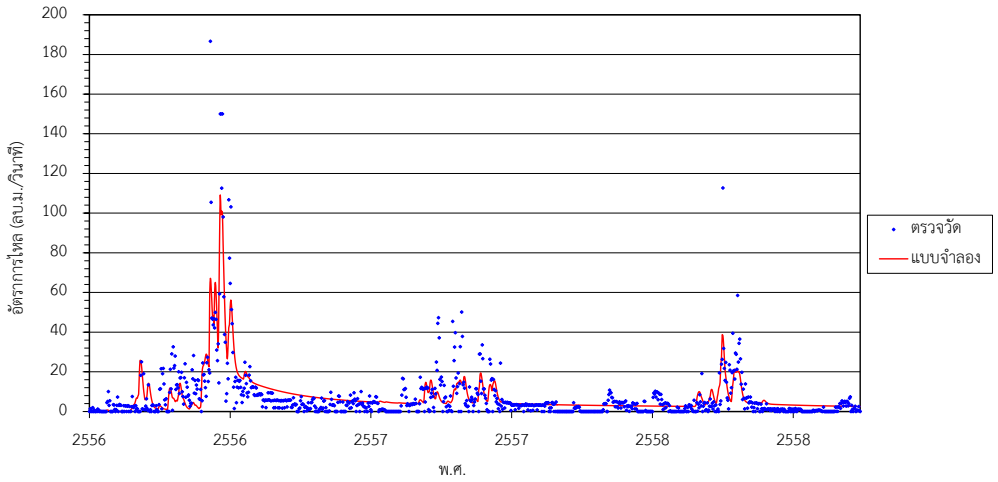
การปรับเทียบแบบจำลอง NAM โดยใช้ข้อมูลรายวันย้อนหลังจำนวน 17 ปี ตั้งแต่ พ.ศ.2542 ถึง 2555 ได้ผลพารามิเตอร์ดังตารางที่ 5 และได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.77 ดังภาพที่ 6 ผลการตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลย้อนหลัง 3 ปี ตั้งแต่ พ.ศ.2556 ถึง 2558 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่า 0.81 ดังภาพที่ 7 ซึ่งแบบจำลองให้ผลเป็นที่น่าพอใจและเชื่อถือได้

ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลอง NAM

พารามิเตอร์ของแบบจำลอง NAM	ช่วงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	ค่าพารามิเตอร์ที่ได้
U_{max}	10 – 20	13
L_{max}	100 – 300	128
CQOF	0.1 – 1	0.175
CKIF	200 – 1,000	123.3
CK1.2	10 – 50	45.3
TOF	0 – 0.99	0.0997
TIF	0 – 0.99	0.121



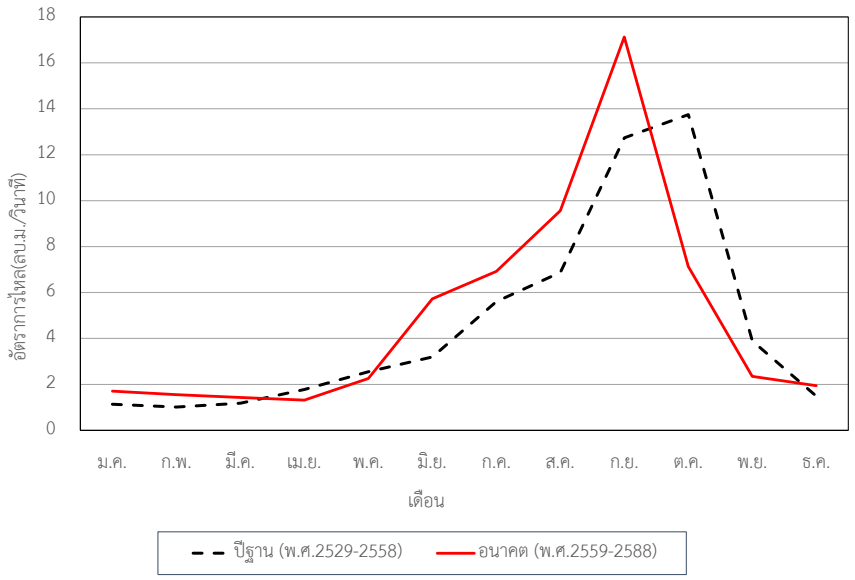
ภาพที่ 6 การปรับเทียบปริมาณน้ำท่ารายวันจากการตรวจวัดกับแบบจำลอง NAM (พ.ศ. 2542-2555)



ภาพที่ 7 การตรวจสอบปริมาณน้ำท่ารายวันจากการตรวจวัดกับแบบจำลอง NAM (พ.ศ. 2556-2558)

2. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำท่า

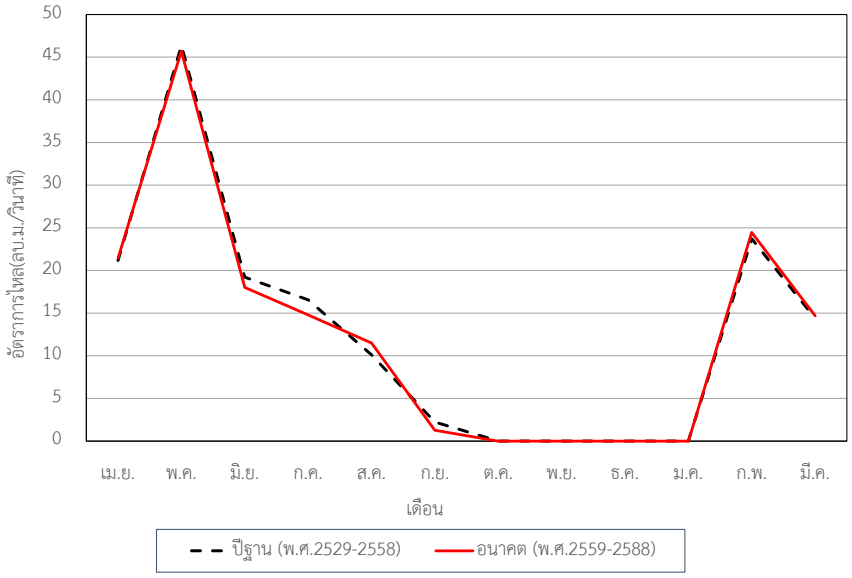
จากปริมาณน้ำฝนในอนาคต (พ.ศ. 2559-2588) สามารถนำไปหาปริมาณน้ำท่าที่จะเกิดขึ้นในอนาคตด้วยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าที่ได้จากการปรับเทียบและตรวจสอบแบบจำลองแล้ว และเมื่อนำเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำในปีฐาน (พ.ศ. 2529-2558) แสดงในภาพที่ 8 พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ารายเดือนของอ่างเก็บน้ำลำแชะเมื่อเทียบกับปีฐานมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงต้นฤดูฝน คือในเดือนพฤษภาคมถึงกันยายน ส่วนปริมาณน้ำที่น้อยกว่าช่วงปีฐานจะอยู่ในช่วงปลายฤดูฝนในเดือนตุลาคมถึงธันวาคม และในเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม ปริมาณน้ำท่าสูงสุดในอนาคตมีอัตราการไหล 17.13 ลบ.ม./วินาที เกิดขึ้นในเดือนกันยายน ซึ่งจะเกิดเร็วกว่าเดิมที่เกิดในเดือนตุลาคมที่อัตราการไหล 13.75 ลบ.ม./วินาที



ภาพที่ 8 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในอนาคต (พ.ศ. 2559-2588) เมื่อเทียบกับปีฐาน (พ.ศ. 2529-2558)

3. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อความต้องการน้ำชลประทาน

จากปริมาณน้ำฝนในอนาคต (พ.ศ. 2559-2588) นำไปหาค่าปริมาณฝนใช้การและนำไปคำนวณความต้องการน้ำชลประทานด้วยแบบจำลองความต้องการน้ำชลประทาน และเมื่อนำเปรียบเทียบกับความต้องการน้ำชลประทานในปีฐาน (พ.ศ. 2529-2558) แสดงในภาพที่ 9 พบว่าความต้องการน้ำชลประทานของโครงการฯลำแชะในอนาคตจะน้อยกว่าในช่วงปีฐานเล็กน้อย โดยเฉลี่ยในอนาคตมีค่า 12.62 ลบ.ม./วินาที ในช่วงปีฐานมีค่า 12.81 ลบ.ม./วินาที ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณฝนที่มากขึ้นทำให้ฝนที่ตกลงมากลายเป็นฝนใช้การมากขึ้น ความต้องการน้ำชลประทานในอนาคตในเดือน เมษายน สิงหาคม และกุมภาพันธ์-มีนาคม จะมากกว่าในช่วงปีฐาน ส่วนในเดือน พฤษภาคม-กรกฎาคม และ กันยายน ความต้องการน้ำชลประทานในอนาคตจะน้อยกว่าในช่วงปีฐาน แต่ช่วงเดือนตุลาคมถึงมกราคม จะไม่มีความต้องการน้ำชลประทาน เนื่องจากไม่มีการเพาะปลูกในช่วงนี้



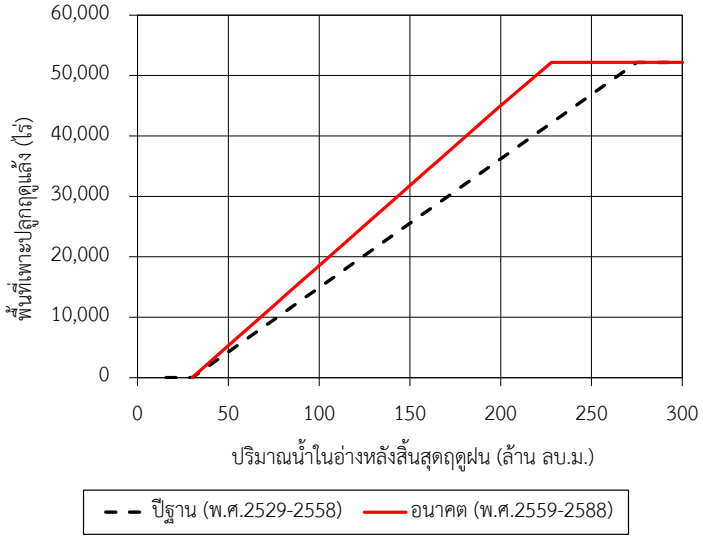
ภาพที่ 9 ความต้องการน้ำชลประทานรายเดือนในอนาคต (พ.ศ.2559-2588) เทียบกับปีฐาน (พ.ศ.2529-2558)

4. ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง

จากการศึกษาแบบจำลองคอมพิวเตอร์ต่างๆประกอบไปด้วย แบบจำลอง NAM แบบจำลองฝนใช้การ แบบจำลองความต้องการน้ำชลประทาน และแบบจำลองระบบ จำแนกผลการศึกษาได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 (ปีฐาน) อ่างเก็บน้ำลำแชะมีพื้นที่เพาะปลูก 98,467 ไร่ เมื่อคิดพื้นที่เพาะปลูกฤดูฝนเต็มพื้นที่โครงการ ส่วนฤดูแล้งเพาะปลูกตามกราฟกำหนดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง (DSAR Curve) ดังภาพที่ 9 และยอมให้ขาดน้ำได้ไม่เกิน 6 ปี จากสถิติข้อมูล 30 ปี ได้พื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งเฉลี่ย 16,353 ไร่ โดยเกิดการขาดน้ำ 6 ปี (11 เดือน) ปริมาณน้ำที่ขาด 209.3 ล้านลูกบาศก์เมตร

กรณีที่ 2 (อนาคต) เมื่อคิดพื้นที่เพาะปลูกฤดูฝนเต็มพื้นที่โครงการเช่นกัน ส่วนฤดูแล้งเพาะปลูกตามกราฟกำหนดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง (DSAR Curve) ดังภาพที่ 9 ได้พื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งเฉลี่ย 19,947 ไร่ โดยเกิดการขาดน้ำ 5 ปี (11 เดือน) ปริมาณน้ำที่ขาด 197.48 ล้านลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 9 กราฟกำหนดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งในอนาคต (พ.ศ. 2559-2588) เมื่อเทียบกับปีฐาน(พ.ศ.2529-2558)

จะเห็นว่าผลจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้การขาดน้ำลดลงและได้พื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งมากขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำในต้นฤดูฝนไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมากขึ้น ทำให้เมื่อสิ้นสุดฤดูฝนจะมีน้ำเหลือในอ่างเก็บน้ำมากขึ้น จึงทำให้ได้พื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำน้อยกว่าในช่วงปีฐาน ซึ่งเป็นช่วงปลายฤดูฝนจากเดือนตุลาคมถึงธันวาคม จะไม่ส่งผลต่อพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้ง เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีการเพาะปลูกพืชจึงไม่จำเป็นต้องส่งน้ำชลประทาน

สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งของอ่างเก็บน้ำลำแชะในครั้งนี้ ได้ใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก ECHAM4 ซึ่งเพิ่มความละเอียดข้อมูลโดยแบบจำลอง PRECIS และสมมติฐานการปล่อยก๊าซเรือนกระจก A2 ศึกษาปริมาณน้ำท่าในช่วงปีฐานและอนาคตโดยแบบจำลอง NAM ซึ่งได้ทำการปรับเทียบและตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลอง ก่อนนำไปหาปริมาณท่าในอนาคต ศึกษาแบบจำลองฝนใช้การสำหรับหาปริมาณฝนใช้การ และนำผลที่ได้ไปใช้ในแบบจำลองความต้องการน้ำชลประทาน และแบบจำลองระบบ เพื่อกำหนดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งทั้งในช่วงปีฐานและอนาคต

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำท่าในอนาคตจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกจะมีปริมาณสูงกว่าในช่วงปีฐาน โดยในช่วงต้นฤดูฝนจะให้ปริมาณเพิ่มขึ้นแต่ในช่วงปลายฤดูฝนจะให้ปริมาณต่ำกว่าในช่วงปีฐาน ส่วนในฤดูแล้งปริมาณน้ำท่าในอนาคตจะสูงกว่าช่วงปีฐานเล็กน้อย อัตราการไหลสูงสุดรายเดือนจะขยับเร็วขึ้นหนึ่งเดือน ในแบบจำลองความต้องการน้ำชลประทานในอนาคตมีปริมาณน้อยกว่าในช่วงปีฐานเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณฝนใช้การที่มากขึ้น ส่วนแบบจำลองระบบเมื่อคิดพื้นที่เพาะปลูกฤดูฝนเต็มพื้นที่โครงการและฤดูแล้งเพาะปลูกตามกราฟกำหนดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งพบว่า ในอนาคตพื้นที่เพาะปลูกจะสูงกว่าในช่วงปีฐานเนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำมากขึ้น ผลการศึกษาในครั้งนี้น่าจะเป็นประโยชน์ในการจัดสรรน้ำฤดูแล้ง ป้องกันความเสียหายต่อพื้นที่เพาะปลูกอันเนื่องจากน้ำในอ่างเก็บน้ำไม่เพียงพอ และสามารถนำผลการศึกษาครั้งนี้วางแผนและปรับปรุงการจัดสรรน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University
Volume 5 Number 5 September – October 2018 ISSN 2408 - 1248

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

Aueklang, B. (2016). “kān̄suksā̄ prasitthiphāp̄ chonlaprathān̄ khoṇ̄ng ʻān̄gkepnam lam chæ” [The Study of Irrigation Efficiency of Lamchae Reservoir] Department of Agricultural Engineering. Faculty of Engineering. Rajamangala University of Technology Thanyaburi.

บังอร เอื้อกลาง. (2559). การศึกษาประสิทธิภาพชลประทานของอ่างเก็บน้ำลำแชะ**.** ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

Chinvanno, S., Laung-Aram, V., Sangmanee, C. & Thanakitmetavut, J. (2009). “kān̄ khāt kān̄ saphāp̄ phūmiʻākāt̄ ʻanākhot samrap prathēt̄ Thai læ phūmiphāk ʻēs̄iātawan ʻok̄ chīang tai doi bǣpc̆hamloṇ̄ng saphāp̄ phūmiʻākāt̄ PRECIS læ” [Future Climate Projection for Thailand and Mainland Southeast AsiaUsing PRECIS and ECHAM4 Climate Models]. Southeast Asia START Regional Center. Bangkok: Chulalongkorn University

ศุภกร ชินวรรโณ, วิริยะ เหลืองอร่าม, เฉลิมรัฐ แสงมณี และจุฑาทิพย์ ธนกิตติ์เมธาวุฒิ. (2552). **การคาดการณ์สภาพภูมิอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้โดยแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ PRECIS และ ECHAM4.** ศูนย์เครือข่ายงานวิเคราะห์วิจัยและฝึกอบรมการเปลี่ยนแปลงของโลกแห่งภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Jiwarat, S. (1996). “kān̄suksā̄ lǣng nam bon lumnam thā̄ lāt̄ yāng pen rabop” [Water Resources System Study on Tha Lat Basin]. Thesis. Kasetsart University.

ศิโรตน์ จิวารัตน์. (2539). การศึกษาแหล่งน้ำบนลุ่มน้ำท่าลาดอย่างเป็นระบบ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Kamnerdmanee, M. (1995). “khūmū kān̄chai bǣpc̆hamloṇ̄ng WUSMO” [Mannual of WUSMO Model]. Bangkok: Mahidol University.

มนัส กำเนิดมณี. (2538). **คู่มือการใช้แบบจำลอง WUSMO.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยมหิดล.

Kirdpitugsa, C. (1992). “prasitthiphāp̄ chonlaprathān̄ læ kān̄prayukchai ngān̄” [Irrigation efficiencie and its Application]. Kasetsart Engineering Journal. 16 : 1-16.

ฉลอง เกิดพิทักษ์. (2535). ประสิทธิภาพชลประทานและการประยุกต์ใช้งาน. **วิศวกรรมสาร มก.** 16 : 1-16.

Kirdpitugsa, C. (1995). “kān̄c̆hatkān̄ lumnam nai lumnam khoṇ̄ng prathēt̄ Thai” [River Basin management in Thailand River Basin]. Bangkok. Kasetsart University.

ฉลอง เกิดพิทักษ์. (2538). **การจัดการลุ่มน้ำในลุ่มน้ำของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Kirdpitugsa, C. (1996). “kān̄suksā hā̄ parimān̄ nam chai nai kān̄tē̄ rī̄ yom plǣng læ fon chai kān̄ bon plǣng thotlo̱ng nai sanām kho̱ng kān̄ phopluk khāo rudū fon so̱ngphanhārō̱isāmsippǣt” [Study of Land Preparation Water Requirement and Effective Rainfall for Wet Season Paddy Field]. Techical Report No. 12. Mun Bon Dam Reconstruction Project. Faculty of Engineering. Kasetsart University. Bangkok.

ฉลอง เกิดพิทักษ์. (2539). **การศึกษาหาปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลงและฝนใช้การบนแปลงทดลองในสนามของการเพาะปลูกข้าวฤดูฝน 2538.** รายงานทางวิชาการ ฉบับที่ 12. โครงการซ่อมแซมเขื่อนมูลบน. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

Koontanakulvong, S., Chatdarong, V., Suthithammachit, C., Chaowiwat, W., Jarernkul, W. and Hemsatien, W. (2010). ”phonkān̄ plīanplǣng saphāp phūmi‘ākāt lōk to̱ parimān̄ nam fon / namthā rāi dūan kho̱ng prathē̄t Thai læ phonkrathop to̱ kān̄bo̱rihān̄ cha̱tkān̄ nam nai phūnthī phāk tawan‘o̱k” [Impact of Global Climate Change on Monthly Precipitation and Stream flow in Thailand And Effects on Water Management in the Eastern Region]. The Thailand Research Fund. Bangkok: Chulalongkorn University.

สุจริต คุณธนกุลวงศ์, วิรัช ฉัตรดรงค์, โชคชัย สุทธิธรรมจิต, วินัย เชาวน์วิวัฒน์, วิชญาณ เจริญกุล และวิชุตา เหมเสถียร. (2553). **ผลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกต่อปริมาณน้ำฝน/น้ำท่ารายเดือนของประเทศไทยและผลกระทบต่อการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ภาคตะวันออก**. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Krittasudthacheewa, S. (1998). “kān̄phatthanā prokrǣm kho̱mphiutœ̄ samrap suksā kān̄chainam nai lumnam lampāo” [Development of Computer Program for Water Uses Study in LAM PAO Basin]. Thesis. Kasetsart University.

ศุภชัย กฤตสุทธาชีวะ. (2541). การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับศึกษาการใช้น้ำในลุ่มน้ำลำปาว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Krittasudthacheewa, S. (2018). “phonkrathop cha̱k khwām mai nǣno̱n kho̱ng kān̄ plīanplǣng saphāp phūmi‘ākāt to̱ parimān̄ nam lai long khūan sī nakharin” [Impact of climate change uncertainty on inflow into Srinagarind Dam]. Veridian E-Journal, Science and Technology, Silpakorn University 5, 1 (January – February) : 116-131

ศุภชัย กฤตสุทธาชีวะ. (2561). ผลกระทบจากความไม่แน่นอนของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อปริมาณน้ำไหลลงเขื่อนศรีนครินทร์. **Veridian E-Journal, Science and Technology, Silpakorn University**. ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม–กุมภาพันธ์ : 116-131

Mapol, S. (2000). “kān̄suksā kān̄chai nam trīam plǣng samrap nā khāo nai rūdū fon khō̜ng khronḡkān̄ song nam læ bamrung raksā mūn bon” [Study of Land Preparation Water Requirement for Wet Season Paddy Field of Mun Bon O&M Project]. Thesis. Kasetsart University.

ศุภชัย มะพล. (2543). การศึกษาการใช้น้ำเตรียมแปลงสำหรับนาข้าวในฤดูฝนของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Royal Irrigation Department. (1994). “khā samprasit læ khā sahasamphan phūt” [Coefficient and Crop coefficient]. Water Allocation and Management Branch. Bangkok: Royal Irrigation Department.

กรมชลประทาน. (2537). **ค่าสัมประสิทธิ์และค่าสหสัมพันธ์พืช.** กองจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา. กรุงเทพฯ: กรมชลประทาน.

Sompong, j. (2002). “kān̄suksā phūa sāng krap̄ kamnot phūnthī paomai kān̄ plūk phūt rūdū lǣng læ kānwāngphǣn song nam lūangnā prachạ̌m sapdā khō̜ng khlō̜ngsongnam sāi yai fang sāi fāi bān̄ phrāo chạ̌ngwat Phatthalung” [Study of dry season area reduction curve and weekly water scheduling of left main canal in Ban Phrao Weir Phatthalung province]. Thesis. Kasetsart University.

จงกรม สมพงษ์. (2545). การศึกษาเพื่อสร้างกราฟกำหนดพื้นที่เป้าหมายการปลูกพืชฤดูแล้ง และการวางแผนส่งน้ำล่วงหน้าประจำสัปดาห์ของคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งซ้าย ฝายบ้านพร้าว จังหวัดพัทลุง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Thai Meteorological Department. (2013). “sathiti phūmi‘ākāt khō̜ng prathet Thai nai khāpsāmsip pī (Pho̜.So̜. so̜ngphanhārō̜yīsipsī - 2553)” [Climate Statistic (30 years, 1981-2010)]. Meteorology Development Divisions: Thai Meteorological Department.

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2556). **สถิติภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 30 ปี (พ.ศ.2524-2553).** กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา: กรมอุตุนิยมวิทยา.

Udomsap, L. (2003). “kān̄suksā phūa sāng krap̄ kamnot phūnthī phoplūk rūdū lǣng læ kēn kān̄ khūapkhum radap nam nai ‘āngkepnam kra sīeo” [Study for Dry Season Area Reduction Curve and Reservoir Rule Curve of Krasiew Basin]. Thesis. Kasetsart University.

เลอบุญ อุดมทรัพย์. (2546). การศึกษาเพื่อสร้างกราฟกำหนดพื้นที่เพาะปลูกฤดูแล้งและเกณฑ์การควบคุมระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำกระเสียว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาต่างประเทศ

Acres International Limited. (1979). **Chao Phraya - Meklong Basin Study Phase I – Appendix C : Agriculture Water Use Including Flow Monitoring.** Royal Irrigation Department. Ministry of Agriculture and Cooperatives. Bangkok.

Acres International Limited. (1982). **Chao Phraya - Meklong Basin Study. Data Processing, Irrigation Demand Calculation, Programmer Manual.** Niagara Falls. Canada.

Danish Hydraulic Institute. (2007). **MIKE 11 – A modelling system for River and Channels User Guide**. DHI. Denmark.

Hu, Y., Maskey, S., and Uhlenbrook, S. (2012). "Downscaling daily precipitation over the YellowRiver source region in China: a comparison of three statistical downscaling methods." **Theor. Appl. Climatol.**, Online ISSN: 1434-4483, Springer Vienna, doi:10.1007/s00704-012-0745-4.

Huang, W.C. and Lee, J.L. (2014) "Impact of Climate Change on the Irrigation Water Requirement in Northern Taiwan" **Water**, 6, 3339-3361; doi:10.3390/w6113339.

IPCC. (2007a). **Climate Change 2007: AR4 Synthesis Report**. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK : Cambridge University Press.

_____ . (2007b). **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of

Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, UK : Cambridge University Press.

Kirdpitugsa, C. and Kayankarnnavy, C. (1994). "Irrigation Efficiency and Its Application to New Water Resources Development Project" **Water Resources Engineering,** Vol. 2, No. 2 : 19-31.

Lu, X. X. (2005). "Spatial variability and temporal change of water discharge and sediment flux in the lower Jinsha tributary: impact of environmental changes." **River Res. Appl.**, 21, 229–243.

Nijssen, B., O'Donnell, G., Hamlet, A., and Lettenmaier, D. (2001). "Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change." **Climate Change**, 50, 143–175.

Shrestha, B., Babel, M. S., Maskey, S., Griensven, A. van., Uhlenbrook, S., Green, A., and Akkharath, I. (2013). "Impact of climate change on sediment yield in the Mekong River basin: a case study of the Nam Ou basin, Lao PDR." **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 17, 1–20.

Shrestha, S., N. M. M. Thin and P. Deb. (2014). "Assessment of climate change impacts on irrigation water requirement and rice yield for Ngamoeyeik Irrigation Project in Myanmar" **Journal of Water and Climate Change,** September, DOI: 10.2166/wcc.2014.114

Setegn, S. G., Dargahi, B., Srivivasan, R., and Melesse, A. M. (2010). "Modeling of sediment yield from Anjeni-Gauged watershed, Ethiopia using SWAT model." **J. Am. Water Res. As.**, 46, 514–526.

Shahid, S. (2011). "Impact of climate change on irrigation water demand of dry season Boro rice in northwest Bangladesh" **Climatic Change,** 105:433–453, DOI 10.1007/s10584-010-9895-5