



## การจำลองสภาพการไหลร่วมกับการใช้น้ำเพื่อการเกษตร ในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี

### Simulation of Water Circulation Incorporating Agricultural Water Use in the Phetchaburi River Basin

ณัฐพัชญ์ เจริญฉาย<sup>1\*</sup>, จุติเทพ วงษ์เพ็ชร<sup>1</sup>, ทรงศักดิ์ ภัทรราวุฒิชัย<sup>1</sup>

Nattapat Charoenchai<sup>1</sup>, Jutitthep Vongphet<sup>1</sup>, Songsak Puttrawutichai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ห้องปฏิบัติการวิจัยจำลองระบบทรัพยากรน้ำด้วยคอมพิวเตอร์และระบบสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, รหัสไปรษณีย์ 73140

<sup>1</sup>Laboratory of Water Resources Computer Modelling and Information System (WRCMIS-LAB), Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Khamphaengsaen, Kasetsart University, Nakhon Pathom, 73140

\*Corresponding author: Tel: +66-9-2264-1997, E-mail: [char.nattapat@gmail.com](mailto:char.nattapat@gmail.com)

#### บทคัดย่อ

แบบจำลองสภาพการไหลร่วมกับการใช้น้ำเพื่อการเกษตร (The Distributed Water Circulation Model incorporating Agricultural Water Use, DWCM-AgWU) ถูกประยุกต์ใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ในช่วงปี ค.ศ. 2008-2016 เพื่อสอบเทียบและประเมินข้อจำกัดของแบบจำลอง ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการพัฒนาแผนการปรับตัวเพื่อลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่า และการจัดการน้ำเพื่อการเกษตร โดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อเตรียมข้อมูลที่นำเข้าสู่แบบจำลอง อาทิเช่น การเฉลี่ยข้อมูลสภาพภูมิอากาศเชิงพื้นที่ การจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน การวิเคราะห์ทิศทางไหล โดยการประเมินความแม่นยำของแบบจำลอง พิจารณาค่าประสิทธิภาพสัมพัทธ์ (Correlation Coefficient,  $r$ ) ค่าความแม่นยำ (Nash-Sutcliffe efficiency, NSE) และค่าสมดุลน้ำ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำที่ได้จากการคำนวณและปริมาณน้ำตรวจวัดที่สถานี B9 บริเวณเหนือเขื่อนเพชรซึ่งเป็นเขื่อนทดน้ำ ผลของการสอบเทียบแบบจำลองมีค่า  $r$ , NSE และ Water balance เท่ากับ 0.842, 0.662 และ 1.92% ตามลำดับ ซึ่งถือว่าความแม่นยำในการประยุกต์ใช้แบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ และผลของการจำลองแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานที่มีผลต่อการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ชลประทานในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี แบบจำลองนี้มีความเหมาะสมในการจำลองสภาพการไหลร่วมกับการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตรในลุ่มน้ำเพชรบุรี และเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาแผนปรับตัวเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

คำสำคัญ: แบบจำลอง DWCM-AgWU, การใช้น้ำเพื่อการเกษตร, ลุ่มน้ำเพชรบุรี

#### Abstract

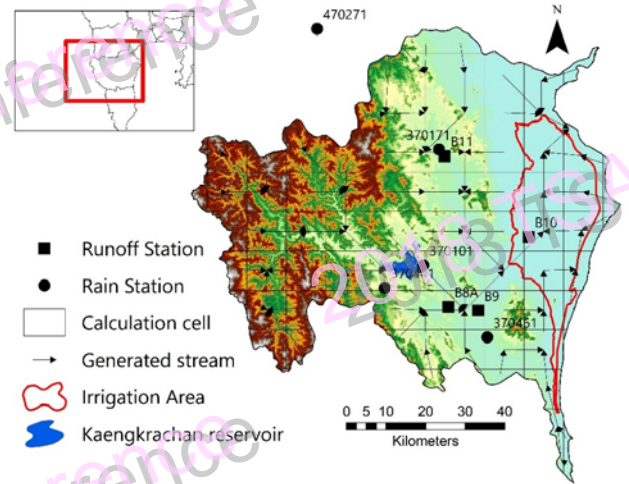
The Distributed Water Circulation Model incorporating Agricultural Water Use (DWCM-AgWU) was applied to the Phetchaburi River Basin during the years 2008-2016, to calibrate and assess the limitations of model that is the first step for applying the model to develop adaptation plans to mitigate the effects of climate change on the runoff and agricultural water management. Geographic Information System (GIS) was applied to generate the input data such as spatial interpolation of weather data, land use classification and flow direction analysis. The model accuracy was assessed by considering the value of Correlation Coefficient ( $r$ ), Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) and Water balance which is a comparison between the calculated and the measured river discharge at the station B9 locates at upstream of the Phet Diversion Dam. According to the simulation, model accuracy was satisfactory prediction which  $r$ , NSE and Water balance were 0.842, 0.662 and 1.92%, respectively. The simulation results demonstrated the importance of the Kaeng Krachan Dam to the agricultural water management, especially the irrigation area in the Phetchaburi Irrigation Project. The calibrated model enable to simulate water circulation incorporating agricultural water management in the Phetchaburi River Basin. Furthermore, the model will facilitate the development of adaptation measures against climate changes.

Keywords: DWCM-AgWU Model, Agricultural water use, Phetchaburi River Basin

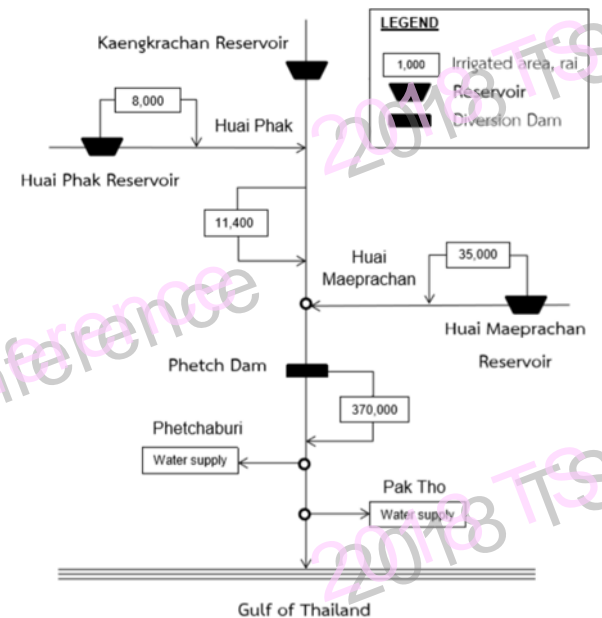
## 1 บทนำ

แม่น้ำเพชรบุรีหรือลุ่มน้ำเพชรบุรี เป็นแม่น้ำที่มีความสำคัญของจังหวัดเพชรบุรี ซึ่งประสบกับภาวะภัยแล้งอยู่เสมอในช่วงเดือน มกราคม-พฤษภาคมของทุกปี เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ ส่งผลให้ปริมาณน้ำเก็บกักรายปีมีความแปรปรวนสูง เชื้อนแก่งกระจาน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่สำคัญในพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ระบายน้ำเพื่อกิจกรรมทางการเกษตรประมาณ 260 MCM ในขณะที่การใช้น้ำภาคอื่นๆ ซึ่งประกอบด้วย เพื่อการอุปโภค-บริโภค รักษาระบบนิเวศน์ อุตสาหกรรมและการท่องเที่ยว มีปริมาณการใช้น้ำทั้งสิ้นประมาณ 200 MCM ซึ่งถือว่าภาคเกษตรกรรมเป็นผู้ใช้น้ำหลักของพื้นที่ลุ่มน้ำนี้ หรือประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของความต้องการน้ำทั้งหมดในพื้นที่ (กรมชลประทาน, 2556) โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจุบันโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี ซึ่งมีพื้นที่ชลประทาน 562,688 ไร่

แบบจำลอง DWCM-AgWU ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยสถาบันวิจัย National Institute for Rural Engineering (NIRE) ประเทศญี่ปุ่น โดยแบบจำลองนี้มีวัตถุประสงค์เริ่มต้นในการพัฒนาเพื่อคำนวณการไหลเวียนของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำรวมกับการใช้น้ำภาคเกษตรกรรม เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำรวมกับการบริหารจัดการน้ำทั้งในระดับลุ่มน้ำและโครงการชลประทาน Masumoto et al. (2009) และ Taniguchi et al. (2009) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลอง เพื่อวิเคราะห์วัฏจักรอุทกวิทยา ร่วมกับการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำโขง โดยคำนวณปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำชลประทานที่ผันเข้าสู่พื้นที่น้ำข้าวในเขตพื้นที่ชลประทานของพื้นที่ลุ่มแม่น้ำโขง Kudo et al. (2013) ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อการไหลเวียนของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำมูลและลุ่มน้ำชี ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ทำการวิจัยได้ปรับปรุงแบบจำลองโดยพัฒนาแบบจำลองย่อยการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำ และการจัดสรรน้ำในพื้นที่โครงการ Vongphet et al. (2014 & 2016) ประยุกต์ใช้แบบจำลองกับลุ่มน้ำเจ้าพระยา ซึ่งประกอบด้วย ลุ่มน้ำปิง วัง ยม น่าน เจ้าพระยา ป่าสัก สะแกกรัง โดยมีเป้าหมายเพื่อปรับปรุงแบบจำลองย่อยด้านการบริหารจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำของ Kudo et al. (2013) ให้สามารถบริหารจัดการน้ำร่วมกันระหว่างอ่างเก็บน้ำหลายแห่ง เช่น เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และเขื่อนแควน้อยบำรุงแดน เข้ากับพื้นที่โครงการชลประทานที่ตั้งอยู่ อีกทั้งเพิ่มหลักเกณฑ์ในการผันน้ำผ่านคลองชลประทานในฝั่งตะวันออกและฝั่งตะวันตกของพื้นที่โครงการชลประทานเจ้าพระยาใหญ่ในช่วงเวลาน้ำหลาก Vongphet et al. (2016) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองกับลุ่มน้ำแม่กลอง เพื่อจัดสรรน้ำเข้าสู่พื้นที่ชลประทานของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ และบริหารจัดการน้ำโดยเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ์



(a) The Phetchaburi River Basin.



(b) Schematic of the Phetchaburi River basin.

Figure 1 Study area.

แนวทางในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับผลกระทบที่เกิดจากภาวะภัยแล้ง โดยการจำลองสภาพการไหลรวมกับการบริหารจัดการน้ำเพื่อเกษตรกรรม โดยใช้ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในการนำข้อมูลด้านเข้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อประยุกต์ใช้และสอบเทียบแบบจำลอง DWCM-AgWU ของพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี เพื่อเป็นฐานข้อมูล และประเมินการใช้น้ำเพื่อการเกษตรในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกในการพัฒนาแผนการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่มีผลต่อการบริหารจัดการน้ำในลุ่มน้ำเพชรบุรี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตร

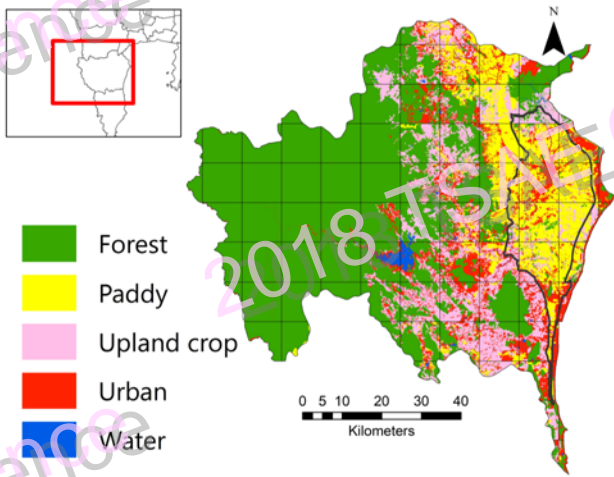


Figure 2 Classification of Land use.

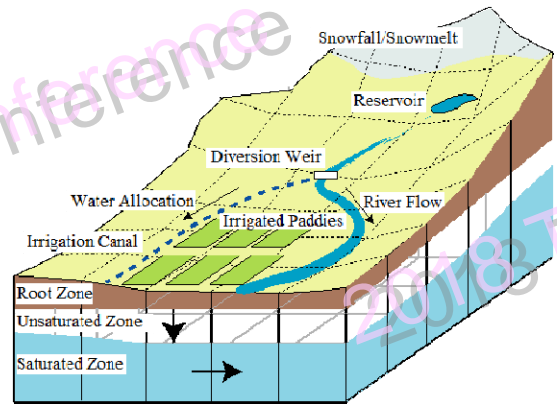


Figure 3 The component of the model.  
(Masumoto et al., 2009; Taniguchi et al., 2009)

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 พื้นที่การศึกษา

ลุ่มน้ำเพชรบุรี มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 6,254.45 km<sup>2</sup> มีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี 1,329 MCM พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตจังหวัดเพชรบุรี ลักษณะลุ่มน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าวางตัวในแนวตะวันตก - ตะวันออก มีทิศเหนือติดกับลุ่มน้ำแม่กลอง ทิศใต้ติดกับลุ่มน้ำชายฝั่งทะเลประจวบคีรีขันธ์ ทิศตะวันตกติดกับประเทศพม่า ทิศตะวันออกติดกับอ่าวไทย มีต้นกำเนิดที่เทือกเขาตะนาวศรีทางด้านตะวันตกของลุ่มน้ำ บริเวณอำเภอแก่งกระจาน ซึ่งเป็นเทือกเขากั้นเขตแดนระหว่างประเทศไทยกับประเทศสหภาพพม่า พื้นที่จะค่อยๆ ลาดเทลงมาทางทิศตะวันออก บริเวณอำเภอท่ายาง ถัดเข้ามาทางตอนกลางของลุ่มน้ำจะมีลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำ ส่วนพื้นที่ตอนล่างทางด้านตะวันออกของลุ่มน้ำมีลักษณะ เป็นที่ราบลุ่มชายฝั่งทะเล แสดงดัง Figure 1 (a) มีลำน้ำสายสั้นๆ กระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งลำน้ำส่วนใหญ่จะไหลลงสู่แม่น้ำเพชรบุรีและออกทะเลอ่าวไทย บริเวณอำเภอบ้านแหลม ประกอบด้วยแม่น้ำสาขาต่างๆ ได้แก่ แม่น้ำเพชรบุรี ห้วยแม่ประจันต์ และห้วยผาก แผนภูมิระบบลุ่มน้ำแสดงดัง Figure 1 (b) รวมความยาวลำน้ำ 227 km ความจุลำน้ำประมาณ 250-390 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> และ ความลาดชันเฉลี่ยของลำน้ำ ประมาณ 1 : 800 (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2555)

### 2.2 ข้อมูลที่ใช้

#### 2.2.1 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศและอุทกวิทยา

ข้อมูลภูมิอากาศในแต่ละวัน ตั้งแต่ปี 2008-2016 รวมเป็นจำนวน 9 ปี โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณฝนจากกรมชลประทานทั้งหมด 4 สถานี และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจาก National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ทั้งหมด 3 สถานี ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย อุณหภูมิต่ำสุด, อุณหภูมิสูงสุด, ความเร็วลมที่ระดับ 2 เมตร, ความชื้นสัมพัทธ์ ตามข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration) ซึ่งคำนวณโดยวิธี Penman Monteith เนื่องจากเกิดข้อผิดพลาดในการเก็บข้อมูล ทำให้มีข้อมูลบางวันขาดหายไป โดยทำการคัดเลือกสถานีวัดปริมาณฝนที่มีช่วงข้อมูลขาดหายไปไม่เกิน 5% ซึ่งการประมาณค่าด้วยวิธีอัตราส่วนปกติ (Normal-ratio method) ดังสมการที่ 1 ใช้สำหรับกรณีปริมาณน้ำฝนปกติรายปีต่างกันไม่เกิน 10% (อุทกวิทยาทางวิศวกรรม, 2555)

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i \cdot P_i \quad \text{โดยที่ } w_i = \frac{N_x}{N_i} \quad (1)$$

$P_x$  คือ ปริมาณฝนของสถานีที่ข้อมูลหายไป (mm)

$P_i$  คือ ปริมาณฝนของสถานีข้างเคียง ในช่วงเวลาเดียวกับช่วงที่ข้อมูลขาดหายไป (mm)

$N_x$  คือ ปริมาณฝนตกประจำปีของสถานีที่ข้อมูลหายไป

$N_i$  คือ ปริมาณฝนตกประจำปีของสถานีข้างเคียง ในช่วงเวลาเดียวกับช่วงที่ข้อมูลขาดหายไป (mm)

Table 1 Classification of Land use in sub - area catagories.

No.	Sub - area	Area (km <sup>2</sup> )				
		Paddy	Upland crop	Forest	Urban	Water body
1	The Phetchaburi River Basin	839	1185	3477	818	120
2	The Phetchaburi Irrigation Project	441	133	15	166	13



ข้อมูลอุทกวิทยาในแต่ละวัน เก็บรวบรวมมาจากกรมชลประทาน โดยนำข้อมูลบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน และสถานีวัดปริมาณน้ำท่ามาใช้ในกระบวนการสอบเทียบแบบจำลอง

### 2.2.2 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวบรวมจากการสำรวจของกรมพัฒนาที่ดิน แสดงดัง Figure 2 มีพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ปกคลุมด้วยพื้นที่ป่าไม้ ประมาณ 54% พื้นที่นาข้าวประมาณ 13% และพื้นที่เพาะปลูกพืชไร่ประมาณ 18% เมื่อพิจารณาการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี มีพื้นที่นาข้าวประมาณ 57% และพื้นที่เพาะปลูกพืชไร่ประมาณ 13% แสดงดัง Table 1

### 2.2.3 ข้อมูลการบริหารจัดการน้ำ

ปัจจุบันแหล่งน้ำต้นตุนที่สำคัญของกลุ่มน้ำเพชรบุรี คือ อ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน เป็นอ่างเก็บน้ำเอนกประสงค์ สร้างปิดกั้นแม่น้ำเพชรบุรี มีพื้นที่รับน้ำ 2,200 km<sup>2</sup> ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเฉลี่ย 879 MCM มีความจุเก็บกัก 710 MCM ซึ่งมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อส่งน้ำให้โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรีที่เขื่อนเพชร ซึ่งทำหน้าที่ทดน้ำและกระจายน้ำเข้าสู่พื้นที่ชลประทาน ภายใต้อิทธิพลแรงโน้มถ่วงโลก และยังจ่ายน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ทั้งในเขตจังหวัดเพชรบุรี และอำเภอหัวหิน บางส่วน และยังมีหน้าที่ระบายน้ำเพื่อผลักดันน้ำเค็ม (กรมชลประทาน, 2550)

เขื่อนเพชร เป็นเขื่อนทดน้ำ สร้างปิดกั้นแม่น้ำแม่เพชรบุรีที่อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี มีช่องระบายน้ำกว้าง 6 m 4 ช่อง ปลายเขื่อนทั้งสองข้างมีลักษณะเป็นฝาย เพื่อช่วยระบายน้ำในเวลาหลาก และทดน้ำส่งให้พื้นที่ในเขตโครงการชลประทานเพชรบุรี

อ่างเก็บน้ำห้วยแม่ประจันต์ สร้างปิดกั้นลำน้ำห้วยแม่ประจันต์ ตำบลบ้านโปร่ง อำเภอหนองหญ้าปล้อง จังหวัดเพชรบุรี มีพื้นที่รับน้ำ 458 km<sup>2</sup> มีความจุเก็บกัก 42.2 MCM

อ่างเก็บน้ำห้วยผาก สร้างปิดกั้นลำน้ำห้วยผาก ตำบลลัดหลวง อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี มีพื้นที่รับน้ำ 198 km<sup>2</sup> ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเฉลี่ย 24.4 MCM มีความจุเก็บกัก 27.5 MCM

การบริหารจัดการน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี ในช่วงฤดูการส่งน้ำ จะอาศัยน้ำต้นตุนในอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานเป็นแนวทางในการวางแผนการส่งน้ำ (กรมชลประทาน, 2550)

ฤดูแล้ง (กุมภาพันธ์-พฤษภาคม)

- มากกว่า 380 MCM ส่งน้ำเพื่อการทำนาปรังและอุปโภคบริโภค ในเขตโครงการฯ

- ระหว่าง 300-380 MCM กำหนดพื้นที่ทำนาปรังและพืชฤดูแล้งในบริเวณที่สามารถส่งน้ำได้บางส่วน

- น้อยกว่า 300 MCM งดการส่งน้ำทำนาปรังและพืชฤดูแล้ง ฤดูฝน (มิถุนายน-ธันวาคม)

- มากกว่า 300 MCM เริ่มส่งน้ำเพื่อการทำนาปีประมาณ 1 มิถุนายน

- ระหว่าง 250-300 MCM เริ่มส่งน้ำเพื่อการทำนาปีประมาณ 1 กรกฎาคม

- น้อยกว่า 300 MCM เริ่มส่งน้ำเพื่อการทำนาปี ประมาณ 15 กรกฎาคม

### 2.3 แบบจำลอง DWCM-AgWU

#### 2.3.1 พื้นฐานแบบจำลอง

แบบจำลอง (Masumoto et al. 2009; Taniguchi et al. 2009) Distributed Water Circulation Model incorporating with Agricultural Water Use (DWCM-AgWU) เริ่มพัฒนาขึ้นและประยุกต์ใช้กับลุ่มน้ำโขงในปี ค.ศ. 2008 โดยนักวิจัยจากสถาบัน National Institute for Rural Engineering โดยพื้นที่ลุ่มน้ำโขงถูกแบ่งเป็นพื้นที่ย่อย (เซลล์) ขนาด 10 km x 10 km แบบจำลองคำนวณการไหลเวียนของน้ำในแต่ละเซลล์ตลอดพื้นที่ลุ่มน้ำโดยพิจารณาการใช้น้ำทางภาคเกษตรโดยเฉพาะข้าวที่ใช้น้ำฝนในการเพาะปลูก (Rain-fed paddy) ผ่านแบบจำลองย่อย 4 แบบจำลองได้แก่

- 1) แบบจำลองย่อยอุทกวิทยา น้ำฝน - น้ำท่า
  - 2) แบบจำลองย่อยการประมาณการณ์การคายระเหยของพืช อ่างอิง
  - 3) แบบจำลองย่อยการพยากรณ์ระยะเวลาและพื้นที่การเพาะปลูก
  - 4) แบบจำลองย่อยการคำนวณใช้น้ำในนาข้าว
- องค์ประกอบการคำนวณของแบบจำลอง DWCM-AgWU แสดงดัง Figure 3

#### 2.3.2 แบบจำลองย่อยการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำ

แบบจำลองการจัดการอ่างเก็บน้ำ (Vongphet et al., 2016) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มศักยภาพของแบบจำลองในการคำนวณการไหลเวียนของน้ำผ่านกิจกรรมที่ควบคุมโดยการจัดการของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจัดการน้ำในอ่างเก็บน้ำ โดยแบบจำลองนี้ถูกเชื่อมโยงเข้ากับแบบจำลองย่อยน้ำท่า โดยสมมติว่าเขื่อนถูกสร้างขึ้นลำน้ำระหว่างเซลล์โดยแบบจำลองนี้คำนวณปริมาณน้ำเก็บกัก โดยพิจารณาจากปริมาณน้ำไหลเข้า ปริมาณน้ำที่ระบายจากอ่างเก็บน้ำ และปริมาณน้ำที่เก็บกักในช่วงเวลา ก่อนหน้า โดยช่วงของการคำนวณเป็นรายวัน ดังสมการที่ (2)

$$V_{res}(t) = V_{res}(t-1) + [Q_{res_{in}}(t) - Q_{res_{out}}(t)] \times \Delta t \quad (2)$$

$\Delta t$  คือ เวลาที่เปลี่ยนแปลง (day)

$Q_{res_{in}}(t)$  คือ ปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ ณ เวลา t (m<sup>3</sup>/day)

$V_{res}(t)$  คือ ปริมาตรอ่างเก็บน้ำ ณ เวลา t (m<sup>3</sup>)

$V_{res}(t-1)$  คือ ปริมาตรอ่างเก็บน้ำ ณ เวลา ก่อนหน้า t (m<sup>3</sup>)

โดยที่ปริมาณน้ำไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ คือปริมาณน้ำที่ไหลจากเซลล์ด้านเหนือน้ำที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลองย่อยอุทกวิทยา น้ำฝน-น้ำท่า และปริมาณน้ำที่ระบายจากอ่างเก็บน้ำนั้น

คำนวณจากความต้องการน้ำเพื่อชลประทาน เพื่ออุปโภคและบริโภค เพื่อรักษาระบบนิเวศน์ เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า และการระบายน้ำผ่านอาคารระบายน้ำล้น (Spillway)

### 2.3.3 แบบจำลองย่อยการบริหารจัดการน้ำสำหรับพื้นที่ชลประทาน

แบบจำลองนี้ถูกเชื่อมโยงกับแบบจำลองย่อยการคำนวณใช้น้ำในนาข้าว เพื่อที่จะคำนวณปริมาณน้ำชลประทานที่ผันเข้าสู่พื้นที่นาข้าวในเขตชลประทาน โดยคำนึงถึงปริมาณความต้องการน้ำจากนาข้าว ( $Q_{dmnd}$ ) ความสามารถในการรับของอาคารรับน้ำ ( $Q_{cap}$ ) และปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแม่น้ำ ( $Q_{riv}$ ) ดังสมการที่ (3)

$$Q_{div} = \min(Q_{riv}, Q_{cap}, Q_{dmnd}) \quad (3)$$

โดยที่ปริมาณน้ำที่ผันเข้าสู่พื้นที่ชลประทานจะพิจารณาจากปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่พิจารณาจากองค์ประกอบทั้งสามในสมการที่ 3 ปริมาณน้ำที่ผันเข้าสู่พื้นที่ชลประทานจะถูกส่งไปสู่พื้นที่นาข้าวในแต่ละเซลล์ตามลำดับ (Kudo et al., 2013) โดยคำนึงถึงลำดับในการรับน้ำชลประทานของแต่ละคลองซอยคลองแยกซอย

## 2.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลองกับพื้นที่ลุ่มน้ำ

### 2.4.1 การนำเข้าข้อมูลด้วยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์

1) การเฉลี่ยข้อมูลสภาพภูมิอากาศเชิงพื้นที่ด้วยฟังก์ชัน Model builder

ข้อมูลปริมาณฝนที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินนั้น มีลักษณะเป็นข้อมูลจุด (Vector) ซึ่งหากจะนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง จะต้องเฉลี่ยข้อมูลปริมาณฝนเชิงพื้นที่ก่อน ในปัจจุบันมีวิธีเฉลี่ยปริมาณฝนเชิงพื้นที่ที่มีหลายวิธีด้วยกัน ในที่นี้ใช้วิธี Inverse Distance Weighted (IDW) อาศัยหลักการที่ว่าตำแหน่งใกล้เคียงกันย่อมมีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ในการคำนวณค่า ณ ตำแหน่งที่ต้องการ ตำแหน่งสถานีที่อยู่ใกล้ที่สุดจะมีน้ำหนักความสำคัญมากกว่า จึงเป็นการประมาณค่าให้กับจุดที่ไม่ทราบค่าจากผลรวมเชิงเส้นของค่าที่ทราบแล้วถ่วงน้ำหนักจุดให้ถูกจำกัดด้วย ระยะทาง ค่าถ่วงน้ำหนักนี้จะเปลี่ยนแปลงตามระยะทางจากจุดที่ไม่ทราบค่าไปยังจุดที่ทราบค่า และเฉลี่ยข้อมูลเชิงพื้นที่ เป็นเซลล์ขนาด 10 km x 10 km ด้วยฟังก์ชัน Zonal Statistic จากนั้นข้อมูลเชิงพื้นที่รายวันถูกเฉลี่ยด้วยการทำซ้ำโดย Model builder

2) การจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การระบุการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) ถูกดำเนินการด้วยฟังก์ชัน Identity โดยคำนึงถึงการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละเซลล์ ประกอบด้วย พื้นที่ป่าไม้, พื้นที่นาข้าวในและนอกเขตชลประทาน, พื้นที่เพาะปลูกพืชไร่ และพื้นที่แหล่งน้ำ

3) การกำหนดทิศทางการไหลของน้ำ  
มีขั้นตอนดำเนินการ 3 ขั้นตอนดังนี้

ความชันของลำน้ำ (Stream slope) วิเคราะห์จากข้อมูลระดับความสูงของพื้นดิน (Digital Elevation Model, DEM) โดยพิจารณาอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อระยะทาง

ทิศทางการไหล (Flow direction) เป็นการหาทิศทางการไหลของน้ำจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งรอบ 8 ทิศทาง (D8 algorithm) โดยแต่ละเซลล์จะทำการเชื่อมต่อกับอีกเซลล์ โดยทิศทางการไหลของลำน้ำไหลไปตามความชันที่มากที่สุด

การไหลสะสม (Flow accumulation) เป็นการวิเคราะห์ต่อเนื่องมาจากขั้นตอน Flow direction โดยเซลล์ที่มีการไหลมาสะสมสูงก็จะถูกกำหนดให้เป็นช่องทางการไหลของลำน้ำ (อิศเรศและเอกสิทธิ์, 2555)

### 2.4.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

แบบจำลองมีช่วงเวลาการจำลองตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2008 ถึง 31 ธันวาคม ค.ศ.2016 รวมเป็นจำนวน 3288 วัน โดยมีช่วงขั้นการคำนวณ (Time step) เท่ากับ 1 วัน

ข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวม จะถูกนำเข้าแบบจำลองเพื่อคำนวณการไหลเวียนของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำร่วมกับการใช้น้ำเพื่อการเกษตรและคำนวณปริมาณน้ำท่าที่เซลล์ต่างๆ ในลุ่มน้ำ โดยมีความหมายการศึกษาดังนี้

1) ทำการวิเคราะห์ข้อมูลนำเข้า โดยระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ดังนี้

- การเฉลี่ยข้อมูลสภาพภูมิอากาศเชิงพื้นที่
- การจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน
- ความชันของลำน้ำ ทิศทางการไหล

2) กำหนดปริมาณน้ำที่ระบายออกจากอ่างเก็บน้ำตามปริมาณน้ำที่ตรวจวัด

3) ทำการสอบเทียบแบบจำลอง เพื่อหาค่าพารามิเตอร์โดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำที่ได้จากการคำนวณและการตรวจวัดโดยพิจารณาปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บงานและสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่า B9 ซึ่งตั้งอยู่บริเวณเหนือเขื่อนเพชร แสดงดัง Figure 1 (a)

4) การแสดงผลของแบบจำลองในรูปแบบกราฟน้ำท่า ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบระหว่างปริมาณน้ำที่คำนวณ (Calculated) และการตรวจวัด (Observed) รวมถึงปริมาณน้ำที่ผันเข้าสู่พื้นที่ชลประทานซึ่งได้จากการคำนวณความต้องการน้ำสำหรับการเพาะปลูกข้าว

ขั้นตอนการดำเนินงาน แสดงดัง Figure 4

### 2.4.3 การสอบเทียบและการทวนสอบแบบจำลอง

การสอบเทียบแบบจำลอง จะพิจารณาปริมาณน้ำท่าที่สถานีตรวจวัดเทียบกับปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้ โดยทำการคัดเลือกสถานีวัดปริมาณน้ำท่าที่มีความสมบูรณ์ของการเก็บรวบรวมข้อมูลและสามารถเป็นตัวแทนของพื้นที่ได้ โดยการสอบเทียบนั้น จะกระทำทั้งบริเวณเหนือเขื่อนแก่งกระจาน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ตอนบนของพื้นที่ลุ่มน้ำซึ่งถูกปกคลุมส่วนใหญ่ด้วย พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่ได้อ่างเก็บน้ำเพื่อ

เป็นตัวแทนลำน้ำที่ถูกบังคับด้วยโครงสร้างทางชลศาสตร์ โดยมีขั้นตอนการสอบเทียบดังนี้

- 1) คัดเลือกสถานีตรวจวัดที่ใช้ในการสอบเทียบ
- 2) คัดเลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบ
- 3) ทำการสอบเทียบแบบจำลอง
- 4) ประเมินค่าความแม่นยำในการคำนวณของแบบจำลอง

การทวนสอบแบบจำลอง เพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่ได้จากการสอบเทียบมาแล้ว ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ โดยใช้วิธีนำค่าพารามิเตอร์จากการสอบเทียบแบบจำลองมาคำนวณปริมาณน้ำท่าเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่สถานีตรวจวัด ในช่วงปีข้อมูลนอกเหนือจากช่วงปีที่ทำการสอบเทียบ

### 2.5 การวิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลอง

โดยกำหนดเกณฑ์ในการประเมินผลการสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลอง ซึ่งจะใช้ค่าดัชนีทางสถิติ 3 ตัว ได้แก่

- 1) ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

- 2) ค่าความแม่นยำ (Nash-Sutcliffe Efficiency, NSE)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

- 3) สมดุลน้ำ (Water balance)

$$\text{Water balance} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (6)$$

เมื่อ  $x_i$  คือค่าที่ได้จากสถานีตรวจวัด,  $y_i$  คือค่าที่คำนวณได้,  $\bar{x}$  คือค่าเฉลี่ยที่ได้จากสถานีตรวจวัด,  $\bar{y}$  คือค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้ และ n คือจำนวนชุดข้อมูล

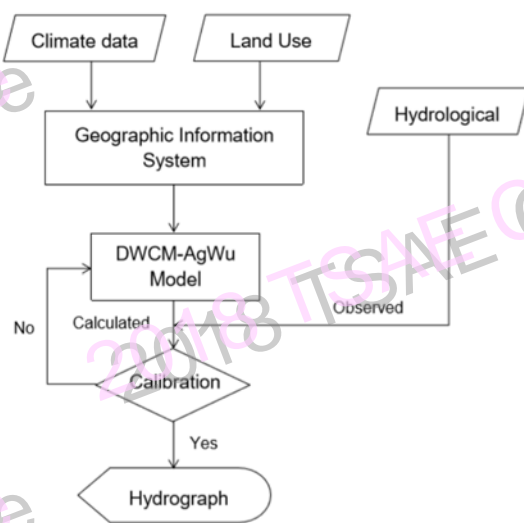


Figure 4 Flow chart of Simulation of Water Circulation Incorporating Agricultural Water Use in the Phetchaburi River Basin.

Table 2 NSE interpretation.

NSE	Model Accuracy
1	Perfect Fit
0-1	Arithmetic Mean
≥0.75	Good Prediction (Lian et al., 2007)
0.36-0.75	Satisfactory Prediction (Lian et al., 2007)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งหากมีค่าใกล้ -1 นั้นหมายความว่าตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างมากในเชิงตรงกันข้าม หากมีค่าเข้าใกล้ +1 นั้นหมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันโดยตรงอย่างมาก และหากมีค่าเป็น 0 นั้นหมายความว่า ตัวแปรทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน ส่วนการแปลผลของค่า NSE แสดงดัง Table 2

### 3 ผลและวิจารณ์

#### 3.1 การหาค่าพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง DWCM-AgWU ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง ปี ค.ศ. 2009-2012 โดยชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง แสดงดัง Table 3

Table 3 Parameter of DWCM-AgWU model.

No.	Type	Parameter	Value
1	Division of the target basin	Divided meshes (cells)	91
		Sub-basins	9
		Time step	1 day
		Starting year	2008
2	Calculation	Stopping year	2016
		Total years	9 years
		Spin-up year (initial)	1 years
		Water allocation management	11
3	Paddy fields	Number of target irrigated areas	1
		Water depth management	10 cm
		Percolation rate in paddies	1.5 mm d <sup>-1</sup>
		Accumulated rainfall at cropping start (rainy season)	275 mm
4	Runoff	Root zone thickness (Paddy fields)	10 mm
		(Forest)	350 mm
		(Upland crops)	100 mm
		Moving average for surface flow (slope)	5 days
		Moving average for paddy runoff (slope)	30 days
		Manning Coefficient (n)	0.025



### 3.2 การสอบเทียบและการทวนสอบแบบจำลองในการจำลองการไหลในพื้นที่ต้นน้ำ

การสอบเทียบได้ทำการเลือกใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันที่สถานีตรวจวัดปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่รับน้ำเพชรบุรีตอนบน โดยพิจารณาเลือกช่วงเวลาการสอบเทียบแบบจำลอง โดยใช้ช่วง ค.ศ. 2009-2012 แสดงดัง Figure 5 (a) ผลของการสอบเทียบแบบจำลองได้ค่า Water balance = -24% และได้เลือกช่วง ค.ศ. 2013-2016 มาใช้ในการทวนสอบแบบจำลอง แสดงดัง Figure 5 (b) ได้ค่า Water balance = -21% แสดงว่าปริมาณน้ำที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าปริมาณน้ำที่สถานีตรวจวัด และมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่าตรวจวัด มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสถานีปริมาณฝนไม่ครอบคลุมพื้นที่รับน้ำ เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแก่งกระจานรายวันเห็นถึงความไม่สอดคล้องระหว่างปริมาณฝนและปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน เช่น ในช่วงฤดูน้ำหลากของปี ค.ศ.2009, 2011, 2012 อาจเป็นสาเหตุจากไม่มีสถานีตรวจวัดน้ำฝนในพื้นที่บริเวณดังกล่าว ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงเห็นได้ว่าชุดพารามิเตอร์ดัง Table 2 เป็นตัวแทนในการจำลองการไหลในพื้นที่ต้นน้ำ

### 3.3 การสอบเทียบแบบจำลองในการจำลองการไหลในลำน้ำภายใต้การบริหารจัดการ

การสอบเทียบได้ทำการเลือกใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่สถานีตรวจวัด B9 บริเวณเหนือเขื่อนเพชรซึ่งเป็นเขื่อนทดน้ำภายใต้การบริหารจัดการน้ำของอ่างเก็บน้ำแก่งกระจาน

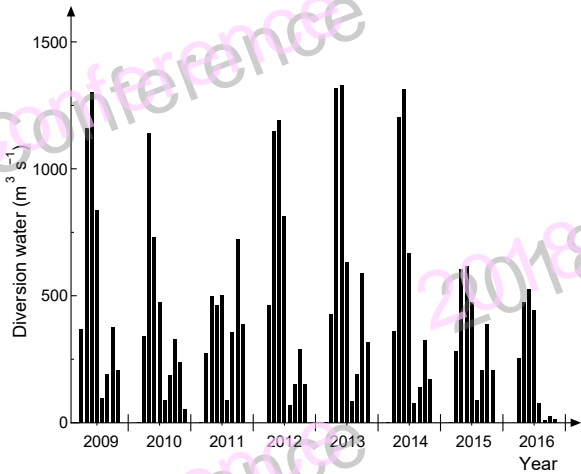
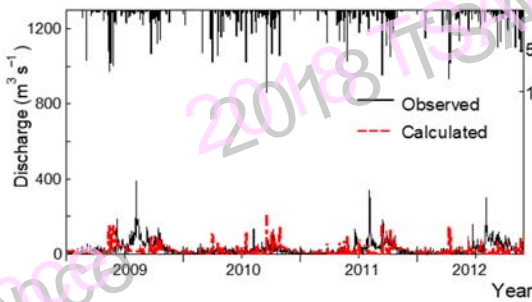
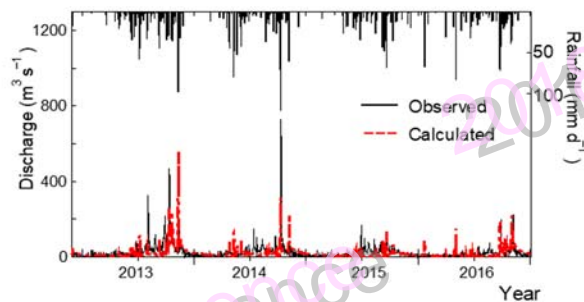


Figure 7 Calculated diversion water for the Phetchaburi Irrigation Project in the 2009-2016.

โดยพิจารณาเลือกช่วงเวลาการสอบเทียบแบบจำลอง โดยใช้ช่วง ค.ศ.2009-2012 แสดงดัง Figure 6 (a) จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ผลของการสอบเทียบแบบจำลองได้ค่าดัชนีทางสถิติ ได้แก่  $r = 0.842$ ,  $NSE = 0.662$ ,  $Water\ balance = 1.92\%$  ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ และได้เลือกช่วง ค.ศ. 2013-2015 มาใช้ในการทวนสอบแบบจำลอง แสดงดัง Figure 6 (b) ได้ค่า  $r = 0.895$ ,  $NSE = 0.497$ ,  $Water\ balance = 26.19\%$  ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ และเป็นการจำลองการไหลในลำน้ำภายใต้การบริหารจัดการ

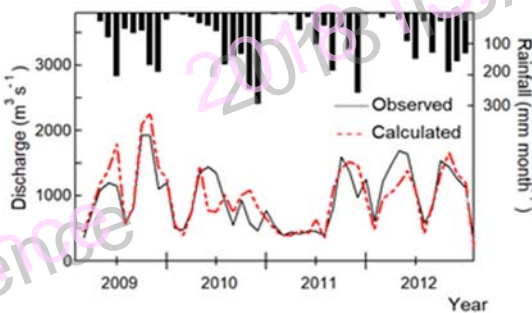


(a) Model Calibration.

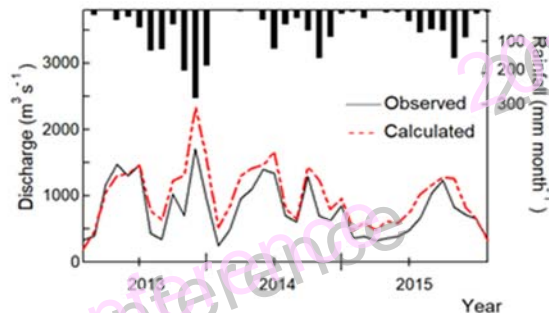


(b) Model Verification.

Figure 5 Comparison of observed and calculated daily inflow into Kaengkrachan reservoir.



(a) Model Calibration.



(b) Model Verification.

Figure 6 Comparison of observed and calculated monthly hydrograph at station B9.

### 3.4 การประเมินปริมาณน้ำที่ผันเข้าสู่พื้นที่ชลประทาน

ในช่วงฤดูแล้ง (ก.พ.-พ.ค.) ปริมาณน้ำที่ผันเข้าสู่พื้นที่ชลประทานที่คำนวณได้จากความต้องการน้ำสำหรับนาข้าว ซึ่งเป็นกิจกรรมผู้ใช้น้ำหลักของพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 244.4 MCM season<sup>-1</sup> ในขณะที่ฤดูฝน (มิ.ย.-ม.ค.) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 74.3 MCM season<sup>-1</sup> แสดงดัง Figure 7 แต่อย่างไรก็ดี ควรมีการนำข้อมูลปริมาณน้ำที่สถานีตรวจวัดมาทำการเปรียบเทียบ แต่เนื่องจากข้อจำกัดในการรวบรวมข้อมูลจึงไม่ได้ทำการเปรียบเทียบ

## 4 สรุป

แบบจำลอง DWCM-AgWU ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับพื้นที่ลุ่มน้ำเพชรบุรี ซึ่งผลของแบบจำลองแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการเชื่อมโยงกระบวนการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ชลประทานในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเพชรบุรี แบบจำลองนี้มีความเหมาะสมในการจำลองสภาพการไหลร่วมกับการบริหารจัดการน้ำเพื่อการเกษตรในลุ่มน้ำเพชรบุรี เนื่องจากได้วิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ และเป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาแผนปรับตัวเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ผลการตลาดเคลื่อนของการจำลองการไหลในพื้นที่ต้นน้ำเนื่องจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนไม่ได้ครอบคลุมพื้นที่รับน้ำเพชรบุรีตอนบน

การจำลองในเรื่องการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำพิจารณาเพียงแต่การใช้น้ำเพื่อกิจกรรมการใช้น้ำสำหรับการเพาะปลูกข้าวเท่านั้น ดังนั้นการจำลองควรมีการปรับปรุงเพื่อคำนึงถึงการใช้น้ำในกิจกรรมอื่นๆ ซึ่งมีความสำคัญเช่นกัน อาทิ เช่น การใช้น้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค การใช้น้ำเพื่อรักษาระบบนิเวศ การใช้น้ำเพื่ออุตสาหกรรม และการใช้น้ำเพื่อการเกษตรในกิจกรรมอื่นๆ

## 5 กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนแบบจำลองในการทำวิจัย จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบคุณ ดร.เกศวรา สิทธิโชค ที่อนุเคราะห์ข้อมูล

## 6 เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. 2550. โครงการศึกษาวางแผนระบบและติดตั้งระบบโทรมาตรเพื่อการพยากรณ์น้ำและเตือนภัยลุ่มน้ำเพชรบุรี. รายงานฉบับสมบูรณ์. จัดทำโดยบริษัททีเอ็มคอนซัลติ้ง เอนจิเนียริง แอนด์แมเนจเม้นท์จำกัด บริษัทซีเมนส์จำกัด และบริษัท ไทยพลัส เทคโนโลยีพลัส จำกัด.

กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ .2556. แผนการบริหารจัดการน้ำและเพาะปลูกพืชฤดูแล้งในเขตพื้นที่ชลประทานปี .57/2556 จัดทำโดย สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทานกรุงเทพ ,

สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (องค์การมหาชน). 2555. การดำเนินการด้านการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล โครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 ลุ่มน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง. บริษัทแอสคิคอน คอร์ปอเรชั่น จำกัด.

วิษุวัตม์ แต่สมบัติ. 2555. อุทกวิทยาทางวิศวกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

อิศเรศ กะการดี, เอกสิทธิ์ ไชยสิทธิ์กุลชัย. 2555. การหาทิศทางไหลและขอบเขตลุ่มน้ำในพื้นที่ราบลุ่มด้วยข้อมูล DEM. รายงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17, 9-11 พฤษภาคม 2555, ณ โรงแรมเซ็น ทารา แอนคอนเวนชันเซ็นเตอร์, อุตรธานี.

Kudo R, Masumoto T, Horikawa N, Yoshida T. 2013. Modeling of Paddy Water Management in Large-reservoir Irrigation Areas and its Integration into Distributed Water Circulation Model. Applied Hydrology 25, 61–70. (in Japanese with English abstract).

Masumoto T., Taniguchi T., Horikawa N., Yoshida T. & Shimizu K. 2009. Development of a distributed water circulation model for assessing human interaction in agricultural water use From Headwaters to the Ocean: Hydrological Changes and Watershed Management, Taniguchi M., Burnttt W.C., Fukushima Y., Haigh M.&Umezawa Y. eds. Taylor and Francis, 195–201.

Vongphet J., Masumoto T., Horikawa N. & Kudo R. 2014. Application of DWCM-AgWU Model to the Chao Phraya

River Basin with Large Irrigation Paddy Areas and Dams. Applied Hydro. 26, 11-22.

Vongphet J., Masumoto T. 2016. Application of DWCM-AgWU Model to The Mae Klong River Basin with large complex irrigation scheme. 2nd World Irrigation Forum (WIF2). 6-8 November 2016, Chiang Mai, Thailand.

Vongphet J. Modeling of Interaction between Flood and Agricultural Water Use in the Chao Phraya River Basin. PhD dissertation. Ibaraki, Japan: Department of Bioresource Engineering, University of Tsukuba.