

การจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อสภาพน้ำฝน-
น้ำท่าโดยแบบจำลอง SiBUC : กรณีศึกษาลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน

นายเอกวิจิต เวชพาณิชย์



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CLIMATE AND LAND USE CHANGE IMPACT ASSESSMENT ON RAINFALL-RUNOFF
SIMULATIONS USING SiBUC MODEL : A CASE STUDY IN THE UPPER CHAO PHRAYA
RIVER BASIN

Mr. Ekvichit Vechpanich



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Water Resources Engineering
Department of Water Resources Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2015
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อสภาพน้ำฝน-น้ำท่าโดยแบบจำลอง SiBUC : กรณีศึกษากลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน
โดย	นายเอกวิชิต เวชพาณิชย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อักษรา พฤทธิวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. ปิยธิดา ห้อยสังวาลย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อักษรา พฤทธิวิทยา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. ปิยธิดา ห้อยสังวาลย์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนิสา สมิตากร)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี)

เอกวิชิต เวชพาณิชย์ : การจำลองผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อสภาพน้ำฝน-น้ำท่าโดยแบบจำลอง SiBUC : กรณีศึกษาลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน (CLIMATE AND LAND USE CHANGE IMPACT ASSESSMENT ON RAINFALL-RUNOFF SIMULATIONS USING SiBUC MODEL : A CASE STUDY IN THE UPPER CHAO PHRAYA RIVER BASIN) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. อักษรา พฤทธิวิทยา, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อาจารย์ ดร. ปิยธิดา ห้อยสังวาลย์, 215 หน้า.

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SiBUC โดยใช้ข้อมูลแรงขับเคลื่อนทางอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในการคำนวณสมดุลพลังงานและสมดุลน้ำ โดยมีขอบเขตในการศึกษา คือ พื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ช่วงเวลาในอดีต (ค.ศ.1981-2004) ที่ใช้ข้อมูลฝน IMPAC-T จากกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยา ฝน APHRODITE จาก APHRODITE's Water Resources ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน และ GLCC v2.0 จาก USGS ช่วงเวลาในอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099) ที่ใช้ข้อมูลฝนในอนาคตจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid Method (Koontanakulvong et al., 2014) และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต (Trisurat et al., 2010)

ผลการศึกษาพบว่า ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อสภาพน้ำท่าที่สถานี C.2 จะสูงขึ้นทั้งค่าสูงสุดรายเดือนและปริมาณน้ำท่ารายปี โดยปริมาณน้ำรายปีเฉลี่ยเพิ่มขึ้นประมาณ 8,900 ล้าน ลบ.ม. ในอนาคตอันใกล้ และ 6,800 ล้าน ลบ.ม. ในอนาคตอันไกล ขณะที่ค่าสูงสุดในเดือนกันยายนนั้นจะเพิ่มขึ้นจากในอดีตถึง 2,400 และ 3,160 ล้านลบ.ม. ในอนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกลตามลำดับ ในส่วนของผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตต่อสภาพน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล โดยปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนรายปีสูงขึ้นเฉลี่ย 93% หรือเท่ากับ 4,270 ล้าน ลบ.ม. ในขณะที่ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนสูงสุดในเดือนกันยายนเพิ่มขึ้น 70% (899 ล้าน ลบ.ม.)

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ

ปีการศึกษา 2558

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากได้รับความเมตตากรุณาและความอนุเคราะห์ช่วยเหลือเป็นอย่างดีของอาจารย์ที่ปรึกษาที่มีพระคุณยิ่งต่อผู้เขียนเสมอมา ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งใจในความกรุณาจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อักษรา พุทธิวิทยา เป็นอย่างสูงที่กรุณารับเป็นที่ปรึกษา และได้สละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำข้อคิด รวมทั้งช่วยปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดจนได้ให้คำอบรมสั่งสอนที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้เขียนตลอดมา

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ปิยธิดา เรืองรัมย์เป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำชี้แนะแนวทางอีกทั้งยังช่วยแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล รองศาสตราจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนิสา สมิตถากร ประธานกรรมการและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าในการให้คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณ ศ. ยงยุทธ ไตรสุรัตน์ ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลงานวิจัย และคำแนะนำในการศึกษา

ขอขอบคุณ Prof. Tanaka Kenji และ Mr. Kotsuki Shunji มหาวิทยาลัยเกียวโต ที่เอื้อเฟื้อแบบจำลอง และให้คำแนะนำในการประยุกต์ใช้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้เขียนตลอดมา ตั้งแต่ระดับปริญญาตรีจนถึงปริญญาโท

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ และ หน่วยปฏิบัติการวิจัยและจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านสถานที่และสาธารณูปโภคที่จำเป็นต่อการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณหน่วยงานราชการและสถาบันวิจัยต่างๆ ได้แก่ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา การไฟฟ้าฝ่ายผลิต โครงการวิจัย IMPAC-T ซึ่งเอื้อเฟื้อข้อมูลในพื้นที่ศึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่งที่คอยสนับสนุนและให้โอกาสผู้เขียนได้มาศึกษาในสถาบันอันทรงเกียรติแห่งนี้รวมทั้งยังคอยให้กำลังใจทุกครั้งที่เหนื่อยล้า พร้อมทั้งช่วยผลักดันให้มีแรงกระตุ้นจนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ จ

กิตติกรรมประกาศ ฉ

สารบัญ ช

รายการอ้างอิง 185

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 215



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ฌ
สารบัญตาราง.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
2.1 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change).....	11
2.2 Land Surface Model.....	22
2.3. การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน	41
2.4 สรุปข้อสังเกตจากการศึกษาที่ผ่านมา.....	47
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา.....	49
3.1 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา.....	49
3.1.1 ลักษณะภูมิประเทศ	49
3.1.2 ลักษณะทางอุทกวิทยา การใช้ประโยชน์ที่ดิน และอุตุวิทยามหาวิทยาลัยในพื้นที่ศึกษา.....	54
3.2 ข้อมูลประกอบการศึกษา.....	61
3.2.1 แหล่งข้อมูลประกอบการศึกษา	61
3.2.2 การเตรียมข้อมูลและนำเข้าข้อมูลในแบบจำลอง	63
3.2.3 ดัชนีที่ใช้ในการตรวจสอบผลการจำลองสภาพ	71
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา	72
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	76
4.1 การจำลองสภาพน้ำท่าในอดีต (1981-2004).....	76
4.1.1 วิเคราะห์ข้อมูลฝน APHRODITE และ IMPAC-T	7

	หน้า
4.1.2 วิเคราะห์ข้อมูล Land Cover Fractions(GLCC v2.0 กับ LDD).....	79
4.1.3 วิเคราะห์ผลการจำลองสภาพน้ำท่าและน้ำไหลเข้าเขื่อน.....	83
4.1.4 สรุปผลและเปรียบเทียบความสามารถในการจำลองสภาพน้ำท่าและน้ำไหลเข้าเขื่อน	104
4.1.5 การศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อสภาพน้ำท่า	121
4.2 การศึกษาการจำลองสภาพน้ำท่าในอนาคต (2015-2039 และ 2075-2099).....	145
4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องและการเป็นตัวแทนของผลลัพธ์ของแบบจำลอง MRI- AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid Method.....	145
4.2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในอนาคตจากแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S	149
4.2.3 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต.....	153
4.2.4 การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อสภาพน้ำท่า ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา	160
4.2.5 การศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศโลกในอนาคตอันใกล้.....	167
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	173
5.1 การศึกษาการจำลองสภาพน้ำท่าในอดีต (1981-2004)	173
5.2 การคาดการณ์สภาพน้ำท่าในอนาคต	176
5.3 สรุปผลที่ได้จากงานวิจัย.....	181
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	182
รายการอ้างอิง	185
ภาคผนวก	197
ภาคผนวก ก ข้อมูลน้ำท่ารายเดือน	198
ภาคผนวก ข คู่มือการใช้งานเบื้องต้น SIBUC	209
ประวัติผู้เขียน.....	215

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1-1 พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ที่ประกอบไปด้วยลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน	7
รูปที่ 1-2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา และตำแหน่งกริดทั้ง 5,040 กริด ครอบคลุมทั้งลุ่มน้ำเจ้าพระยาโดย เริ่มตั้งแต่ ละติจูดที่ 13N ถึง 20N และลองจิจูดที่ 97E ถึง 102E	8
รูปที่ 1-3 สถานีฝนในประเทศไทยโดยโครงการ GAME-T2	9
รูปที่ 1-4 ตำแหน่งสถานีน้ำท่าในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน.....	10
รูปที่ 2-1 การเปรียบเทียบรายละเอียด ของแบบจำลองรุ่น 3.1S และ 3.2S.....	16
รูปที่ 2-2 Cumulus Scheme ของแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S	17
รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์ Energy and Water Balance	22
รูปที่ 2-4 บทบาทของสมดุลพลังงานและสมดุลน้ำของ Land Surface Model	22
รูปที่ 2-5 ระบบภูมิอากาศของระบบนิเวศน์ใน Land Surface Model	23
รูปที่ 2-6 หลักการและองค์ประกอบของ Land Surface Model	23
รูปที่ 2-7 วิวัฒนาการของ Land Surface Model	24
รูปที่ 2-8 องค์ประกอบต่าง ๆ ใน SiBUC Model	25
รูปที่ 2-9 ตัวอย่างความหลากหลายของชนิดพื้นที่ในกริด	27
รูปที่ 2-10 ตัวอย่าง Mosaic Approach และ Tile Approach	28
รูปที่ 2-11 แสดงตัวแปรต่างๆที่ใช้ใน Green Area Model	30
รูปที่ 2-12 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ใน Green Area Model	31
รูปที่ 2-13 โครงสร้างของแบบจำลอง Green Area Model	33
รูปที่ 2-14 แผนภาพองค์ประกอบพื้นฐาน และรังสีที่ตกกระทบ	34
รูปที่ 2-15 พารามิเตอร์และตัวแปรต่างๆใน Urban Canopy Model	35
รูปที่ 2-16 พารามิเตอร์และตัวแปรต่างๆใน Water Body Model	36
รูปที่ 3-1 ตำแหน่งของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และสถานี C.2.....	46
รูปที่ 3-2 ระดับความสูงเทียบกับระดับน้ำทะเลและทิศทางการไหลของน้ำในพื้นที่ศึกษา	47
รูปที่ 3-3 พื้นที่รับน้ำจากแบบจำลอง.....	49
รูปที่ 3-4 สถานีวัดน้ำฝนจากโครงการ GAME-T และ โครงการ IMPAC-T	50
รูปที่ 3-5 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝนสะสมรายปีเฉลี่ย (ค.ศ. 1981-2004) และ ปริมาณฝน เฉลี่ยรายเดือน (ค.ศ. 1981-2004)	51
รูปที่ 3-6 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา ค.ศ. 2006	55
รูปที่ 3-7 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินปี ค.ศ.2000 และปี ค.ศ. 2006.....	56

หน้า

รูปที่ 3-8 ความแตกต่างเชิงพื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินปี ค.ศ.2000 และปี ค.ศ. 2006.....	56
รูปที่ 3-9 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา และกริดทั้ง 5,040 กริด.....	59
รูปที่ 3-10 การ Overlay แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินกับกริดสำหรับการคำนวณพื้นที่และ Fractions	61
รูปที่ 3-11 Fractions ของการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบต่างๆในแบบจำลอง	64
รูปที่ 3-12 การใช้โปรแกรม Matlab ช่วยจัดเรียงข้อมูลใหม่และสร้างไฟล์ข้อความ (.txt).....	65
รูปที่ 3-13 การใช้คำสั่ง Fortran สร้าง Binary File และ แสดงไฟล์ Fraction ที่ใช้ในการศึกษา	66
รูปที่ 3-14 แนวทางการศึกษา	71
รูปที่ 4-1 การกระจายของฝนสะสมรายปีเฉลี่ย (1981-2004) IMPAC-T และ APHRODITE.....	72
รูปที่ 4-2 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนที่พื้นที่ต่างๆระหว่าง IMPAC-T และ APHRODITE	73
รูปที่ 4-3 เปรียบเทียบ Fractions แต่ละชนิดของข้อมูล GLCC, LDD2000 และ LDD2006.....	77
รูปที่ 4-4 กราฟเปรียบเทียบพื้นที่แต่ละชนิดในพื้นที่ศึกษา	79
รูปที่ 4-5 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆโดย APHRODITE แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 1 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์	81
รูปที่ 4-6 น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ โดย APHRODITE แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 1 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์	82
รูปที่ 4-7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2)ที่สถานีต่างๆ โดย APHRODITE แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 1 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์.....	84
รูปที่ 4-8 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(GLCC) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 2 และ Observed คือน้ำท่าสังเกตการณ์.....	86
รูปที่ 4-9 น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(GLCC) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 2 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์.....	87
รูปที่ 4-10 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2)ที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(GLCC) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 2 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์.....	89
รูปที่ 4-11 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(2000) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 3 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์	91
รูปที่ 4-12 น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(2000) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 3 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์.....	92

หน้า

รูปที่ 4-13 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2) ที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(2000) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 3 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์	94
รูปที่ 4-14 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(2006) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 4 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์	96
รูปที่ 4-15 น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(2006) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 4 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์	97
รูปที่ 4-16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2) ที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(2006) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 4 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์.....	99
รูปที่ 4-17 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ จากการจำลองสภาพน้ำท่าด้วยข้อมูลทั้ง 4 ชุด เทียบกับน้ำท่าสังเกตการณ์	102
รูปที่ 4-18 น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ จากการจำลองสภาพน้ำท่าด้วยข้อมูลทั้ง 4 ชุด เทียบกับน้ำท่าสังเกตการณ์	103
รูปที่ 4-19 พื้นที่รับน้ำ (จากแบบจำลอง) ของพื้นที่สถานีเหนือเขื่อนภูมิพล	105
รูปที่ 4-20 ฝนรายปี IMPAC-T และ APHRODITE ตั้งแต่ปี 1981-2004	106
รูปที่ 4-21 ฝนรายเดือนเฉลี่ย IMPAC-T และ APHRODITE	106
รูปที่ 4-22 เปรียบเทียบการใช้ที่ดินในพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล	107
รูปที่ 4-23 น้ำไหลเข้าเขื่อน (Inflow) เฉลี่ยรายเดือนที่สถานีเขื่อนภูมิพลในกรณีต่างๆ เทียบกับค่าสังเกตการณ์.....	108
รูปที่ 4-24 การคายระเหยเฉลี่ยรายเดือนบนพื้นที่เขื่อนภูมิพลในกรณีต่างๆ.....	108
รูปที่ 4-25 แสดงพื้นที่รับน้ำ (จากแบบจำลอง) ของพื้นที่เหนือสถานีเขื่อนสิริกิติ์	109
รูปที่ 4-26 แสดงฝนรายปี IMPAC-T และ APHRODITE ตั้งแต่ปี 1981-2004.....	110
รูปที่ 4-27 แสดงฝนรายเดือนเฉลี่ย IMPAC-T และ APHRODITE	110
รูปที่ 4-28 เปรียบเทียบการใช้ที่ดินในพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์	111
รูปที่ 4-29 น้ำไหลเข้าเขื่อน (Inflow) เฉลี่ยรายเดือนที่สถานีเขื่อนสิริกิติ์ในกรณีต่าง ๆ เทียบกับค่าสังเกตการณ์.....	112
รูปที่ 4-30 การคายระเหยเฉลี่ยรายเดือนบนพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์ ในกรณีต่างๆ.....	112
รูปที่ 4-31 พื้นที่รับน้ำ (จากแบบจำลอง) ของพื้นที่เหนือสถานี C.2.....	113
รูปที่ 4-32 ฝนรายปี IMPAC-T และ APHRODITE ตั้งแต่ปี 1981-2004.....	114
รูปที่ 4-33 ฝนรายเดือนเฉลี่ย IMPAC-T และ APHRODITE	114

หน้า

รูปที่ 4-34 เปรียบเทียบการใช้ที่ดินในพื้นที่เหนือสถานี C.2.....	115
รูปที่ 4-35 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานี C.2 ในกรณีต่างๆ เทียบกับค่าสังเกตการณ์	116
รูปที่ 4-36 การคายระเหยเฉลี่ยรายเดือนบนพื้นที่เหนือสถานี C.2 ในกรณีต่างๆ	116
รูปที่ 4-37 การศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน	117
รูปที่ 4-38 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพีชไร่. 118	
รูปที่ 4-39 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนสิริกิติ์ กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพีชไร่.. 118	
รูปที่ 4-40 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าที่สถานี C.2 กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพีชไร่	119
รูปที่ 4-41 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพลกรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพีชไร่.....	119
รูปที่ 4-42 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์ กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพีชไร่.....	120
รูปที่ 4-43 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่สถานี C.2 กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพีชไร่	120
รูปที่ 4-44 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว	122
รูปที่ 4-45 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนสิริกิติ์ กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว 122	
รูปที่ 4-46 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าที่สถานี C.2 กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว.....	123
รูปที่ 4-47 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพลกรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว.....	123
รูปที่ 4-48 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว.....	124
รูปที่ 4-49 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่สถานี C.2 กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว	124
รูปที่ 4-50 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง.....	126
รูปที่ 4-51 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนสิริกิติ์ กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง	126
รูปที่ 4-52 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าที่สถานี C.2 กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง	127

หน้า

รูปที่ 4-71 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพลกรณีป่าไม่ผลัดใบ เปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง.....	139
รูปที่ 4-72 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์กรณีป่าไม่ผลัดใบเปลี่ยนเป็น ชุมชนเมือง.....	140
รูปที่ 4-73 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่สถานี C.2 กรณีป่าไม่ผลัดใบเปลี่ยนเป็น	140
รูปที่ 4-74 การเปรียบเทียบ CDF ระหว่างฝนในปัจจุบันของแบบจำลอง AR5 ผ่านการปรับแก้ ความเอนเอียงด้วยวิธี Hybrid และ Gamma-Gamma Transformation.....	142
รูปที่ 4-75 การเปรียบเทียบปริมาณฝนในแต่ละเดือนของแบบจำลอง AR5 ผ่านการปรับแก้ความ เอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid และ Gamma-Gamma Transformation	143
รูปที่ 4-76 การเปรียบเทียบความถี่ฝนในแต่ละเดือนของแบบจำลอง AR5 ผ่านการปรับแก้ความ เอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid และ Gamma-Gamma Transformation	144
รูปที่ 4-77 การกระจายของฝนสะสมรายปีเฉลี่ย (a) 1981-2004 (b) 2015-2039 (c) 2075-2099	146
รูปที่ 4-78 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในช่วงอดีต อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล	146
รูปที่ 4-79 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนที่พื้นที่ต่างๆ	147
รูปที่ 4-80 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินปี 2050 ภายใต้นโยบายการบริหารจัดการแบบบูรณาการ	150
รูปที่ 4-81 เปรียบเทียบ Fractions แต่ละชนิดของข้อมูลในอดีต (2006) และในอนาคต (2050)	151
รูปที่ 4-82 เปรียบเทียบประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินบนลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน.....	156
รูปที่ 4-83 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ ระหว่างผลการจำลองสภาพน้ำท่าในอดีต และผลการ จำลองสภาพน้ำท่าในอนาคตอันใกล้.....	157
รูปที่ 4-84 (a) เปรียบเทียบฝนเฉลี่ยรายเดือน (b) เปรียบเทียบการคายระเหยเฉลี่ยบนพื้นที่ (c) เปรียบเทียบน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่างอดีต(1981-2004) และอนาคตอันใกล้(2015-2039) ที่ สถานี C.2.....	159
รูปที่ 4-85 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ ระหว่างผลการจำลองสภาพน้ำท่าในอดีต และผลการ จำลองสภาพน้ำท่าในอนาคตอันไกล.....	161

หน้า

รูปที่ 4-86 (a) เปรียบเทียบฝนเฉลี่ยรายเดือน (b) เปรียบเทียบการคายระเหยเฉลี่ยบนพื้นที่ (c) เปรียบเทียบน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่างอดีต(1981-2004) และอนาคตอันไกล(2075-2099) ที่ สถานี C.2..... 162

รูปที่ 4-87 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีลุ่มน้ำปิงและสถานี C.2 164

รูปที่ 4-88 เปรียบเทียบการใช้ที่ดินในอดีต และในอนาคตที่พื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล..... 166

รูปที่ 4-89 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อน (Inflow) เฉลี่ยรายเดือนที่สถานีเขื่อนภูมิพลในอนาคตอันไกล เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตกับกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน..... 166

รูปที่ 4-90 การคายระเหยเฉลี่ยรายเดือนที่เหนือเขื่อนภูมิพลในอนาคตอันไกลที่เปรียบเทียบกับ ระหว่างกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตกับกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน 167

รูปที่ 4-91 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อน (Inflow) เฉลี่ยรายเดือนที่สถานีเขื่อนภูมิพลเปรียบเทียบกับ ระหว่างกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตกับในอดีต 167

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 ค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ใน SiBUC Model	29
ตารางที่ 2-2 การจัดกลุ่มประเภทพืชในแบบจำลอง Green Area Model	29
ตารางที่ 2-3 ตัวอย่างตัวแปรต่างๆที่ใช้ใน SiBUC Model	36
ตารางที่ 3-1 รายชื่อสถานีวัดน้ำท่าและพื้นที่รับน้ำฝนของแต่ละสถานี	48
ตารางที่ 3-2 ข้อมูลฝนรายเดือนเฉลี่ยช่วงปี ค.ศ. 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ	52
ตารางที่ 3-3 ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา	53
ตารางที่ 3-4 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนแต่ละสถานี	54
ตารางที่ 3-5 ข้อมูลประกอบการศึกษา	58
ตารางที่ 3-6 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ประยุกต์ใช้ในแบบจำลอง	60
ตารางที่ 3-7 ตัวอย่าง การแบ่งพื้นที่ภายในกริด	62
ตารางที่ 3-8 ตัวอย่าง Fractions ของแต่ละกริด	63
ตารางที่ 4-1 ข้อมูลฝนรายเดือนเฉลี่ยและข้อมูลฝนรายปีเฉลี่ยของข้อมูลฝน 2 ชุด ที่สถานีต่าง ...	74
ตารางที่ 4-2 สรุปผลการเปรียบเทียบการจำลองสภาพน้ำท่ารายเดือนกับน้ำท่าสังเกตการณ์	101
ตารางที่ 4-3 สรุปการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ผลัดใบเป็นพีชไร่	121
ตารางที่ 4-4 สรุปการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ผลัดใบเป็นนาข้าว	125
ตารางที่ 4-5 สรุปการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ผลัดใบเป็นพื้นที่เมือง	129
ตารางที่ 4-6 สรุปการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ไม่ผลัดใบเป็นพีชไร่	133
ตารางที่ 4-7 สรุปการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ผลัดใบเป็นนาข้าว	137
ตารางที่ 4-8 สรุปการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ผลัดใบเป็นพื้นที่เมือง	141
ตารางที่ 4-9 ข้อมูลฝนรายเดือนเฉลี่ย และข้อมูลฝนรายปีเฉลี่ยที่สถานีต่างๆ	148
ตารางที่ 4-10 เปรียบเทียบความแตกต่างในขนาดอันไกลของฝนรายเดือนเฉลี่ยและน้ำท่าเฉลี่ย รายเดือนที่สถานี C.2	158
ตารางที่ 4-11 เปรียบเทียบความแตกต่างในขนาดอันไกลของฝนรายเดือนเฉลี่ยและน้ำท่าเฉลี่ย รายเดือนที่สถานี C.2	161
ตารางที่ 4-12 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบนพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล	166
ตารางที่ 4-13 เปรียบเทียบความแตกต่างปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพลกรณีมีการเปลี่ยนแปลง การใช้ที่ดินในอนาคตและกรณีไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตอันไกล	167
ตารางที่ 4-14 เปรียบเทียบความแตกต่างปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพลในอดีตกับในอนาคตที่มี การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน	167

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยมักประสบปัญหาน้ำท่วม และปัญหาภัยแล้ง อยู่บ่อยครั้ง โดยข้อมูลสถิติภัยพิบัติ จากศูนย์อำนวยการบรรเทาสาธารณภัย กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย ระบุว่า มูลค่าความเสียหายจากปัญหาน้ำท่วมในประเทศไทยตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2532 - 2553 มีมูลค่ารวมประมาณ 132,000 ล้านบาท ปีที่ประสบปัญหาอย่างรุนแรง เช่น ปี พ.ศ.2532 พ.ศ.2543 พ.ศ.2545 พ.ศ.2549 และพ.ศ.2553 ในขณะที่มูลค่าความเสียหาย จาก ภัยแล้งในช่วงปีเดียวกันมีมูลค่ารวมประมาณ 14,700 ล้านบาท ปีที่ประสบปัญหา อย่างรุนแรง เช่น พ.ศ.2542 พ.ศ.2548 และพ.ศ.2553 สังเกตได้ว่าในช่วงเวลา 22 ปี ประเทศไทยประสบปัญหาภัยแล้งและน้ำท่วมสลับไปมาเกือบทุกปี จนกระทั่งในปี พ.ศ.2554 ประเทศไทยได้ประสบปัญหาน้ำท่วมครั้งใหญ่ที่สุดในรอบ 50 ปี และลุ่มน้ำเจ้าพระยาเป็นหนึ่งในพื้นที่ ที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์น้ำท่วมครั้งนี้มากที่สุด ซึ่งลุ่มน้ำเจ้าพระยานั้นเป็นลุ่มน้ำที่มีความสำคัญและมีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศไทย มีพื้นที่รับน้ำทั้งหมดประมาณ 160,000 ตร.กม. หรือประมาณ 35% ของพื้นที่ทั้งประเทศ ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคเหนือและภาคกลาง โดยลักษณะทางภูมิศาสตร์ของลุ่มน้ำนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลุ่มน้ำใหญ่ คือ ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ตอนบน และลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง โดยลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนประกอบไปด้วย 4 ลุ่มน้ำหลัก คือ ลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน โดยมีพื้นที่รับน้ำประมาณ 110,000 ตร.กม. และมีเขื่อนหลักที่สำคัญของประเทศ 2 เขื่อน คือเขื่อนภูมิพล (ความจุประมาณ 13,500 ล้านลบ.ม.) และเขื่อนสิริกิติ์ (ความจุประมาณ 9,500 ล้านลบ.ม.) ตั้งอยู่บนลุ่มน้ำปิงและลุ่มน้ำน่านตามลำดับ เพื่อการบริหารจัดการน้ำ การชลประทาน และการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยทุกสาขาของลุ่มน้ำ เจ้าพระยาตอนบนวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ แม่น้ำสายหลักทั้ง 4 ไหลมาบรรจบกันที่จุดศูนย์รวมน้ำ สถานี C.2 ค่ายจระเข้ประวัติ จังหวัดนครสวรรค์ (15°67'N, 100°1'E) ซึ่งเป็นจุดรอยต่อของลุ่มน้ำ ตอนบนและตอนล่าง ขณะที่ลุ่มน้ำตอนล่างนั้น ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคกลาง ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจของประเทศ ที่หากเกิดความเสียหายจากอุทกภัยแล้วนั้น จะส่งผลกระทบต่อหลายภาคส่วนเป็นวงกว้าง อีกทั้งยังส่งผลให้เศรษฐกิจประเทศหยุดชะงักดังที่เคยเกิดมาแล้วในปี พ.ศ.2554 โดยธนาคารโลก (World Bank, 2012) ได้ประเมินมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจ ณ วันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ.2554 ไว้สูงถึง 1.425 ล้านล้านบาท นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมการผลิตอีกหลายประเทศที่มีฐานการผลิตในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศญี่ปุ่น จากเหตุการณ์น้ำท่วมในปี พ.ศ.2554 งานวิจัยทางวิชาการที่

ศึกษาเหตุการณ์ในครั้งนี้ ต่างระบุว่า ปริมาณฝนที่สูงขึ้นประมาณ 40% เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในอดีต เป็นสาเหตุสำคัญของปัญหาดังกล่าวดังเช่น การศึกษาของ Komori et al. (2012) ระบุว่า ปริมาณฝนสะสมในช่วงฤดูฝนของปี ค.ศ.2011 (พ.ศ.2554) สูงถึง 1,439 มม. หรือเท่ากับ 143% ของค่าเฉลี่ยในช่วงปี ค.ศ.1982-2002 (พ.ศ.2525-2545) และปริมาณน้ำที่มาจากลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ไหลลงมารวมกันสู่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ที่สถานี C.2 นครสวรรค์ ส่งผลให้พื้นที่ตอนล่างเกิดน้ำท่วม

สาเหตุหลักของปัญหาอุทกภัยและภัยแล้งในประเทศไทยที่ได้กล่าวมานั้นเกิดจากกิจกรรมต่างๆที่กระทำโดยมนุษย์จากการพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม การเจริญเติบโตของสังคม ซึ่งกิจกรรมเหล่านั้นส่งผลให้เกิดสภาวะโลกร้อนจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความไม่แน่นอนและปริมาณที่เปลี่ยนแปลงไปของฝน อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น การตัดไม้ทำลายป่า การอพยพย้ายถิ่นฐาน การขยายตัวของชุมชนและสิ่งก่อสร้าง ส่งผลกระทบต่อสภาพทางอุทกวิทยาในพื้นที่เป็นอย่างมากและเป็นปัญหาในวงกว้างไม่เพียงแต่ประเทศไทย ทั่วทุกมุมโลกล้วนต้องเผชิญกับปัญหาเหล่านี้ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เช่นเดียวกัน โดยนักวิทยาศาสตร์และนักวิจัยในปัจจุบันเริ่มหันมาศึกษาหาแนวทางแก้ไขปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ และพยายามที่จะคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต โดยคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC) ที่ตั้งขึ้นโดยองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization : WMO) และโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environmental Program : UNEP) ในปี ค.ศ.1988 (พ.ศ.2531) จะทำหน้าที่หลักเพื่อให้ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ที่ชัดเจนและเชื่อถือได้ในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและผลกระทบ ซึ่ง IPCC จะมีการทบทวนองค์ความรู้และพัฒนาองค์ความรู้อยู่เป็นระยะๆ โดยที่ผ่านมา IPCC ได้ทำการสังเคราะห์และประมวลองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมาแล้ว 5 ครั้ง ครั้งล่าสุด คือ ปี ค.ศ.2013 เรียกว่า IPCC 5th Assessment Report (IPCC AR5) ซึ่งรวบรวมข้อมูลจากโครงการ Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) ที่กำหนดกรอบและภาพจำลองที่ใช้ร่วมกันของแบบจำลองภูมิอากาศโลกต่าง ๆ จากสถาบันวิจัยทั่วโลก อานาจ ชิตโรตง (2556) ได้สรุปสาระสำคัญของรายงานการสังเคราะห์และประเมินความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ครั้งที่ 5 ซึ่งผลการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตและผลกระทบต่อสภาพอุทกภัยและความแห้งแล้งจะมีมากขึ้น ซึ่งมาจากผลของอุณหภูมิ ความเข้มข้น และความผันแปรของสภาพภูมิอากาศที่สูงขึ้น ในอนาคต สำหรับการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลกในการศึกษา

ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองภูมิอากาศที่มีความเหมาะสมและสามารถเป็นตัวแทนของผลลัพธ์ของสภาพภูมิอากาศในประเทศไทยโดย Koontanakulvong and Chaowiwat (2010a) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกที่ผ่านการย่อส่วนและปรับแก้แล้วจากแบบจำลอง MRI, ECHAM4 และ CCCMA3.0 และได้นำข้อมูลที่ได้มาใช้วิเคราะห์เหตุการณ์รุนแรง ได้แก่ ปริมาณฝนหนึ่งวันและห้าวันสูงสุด จำนวนวันแห้งแล้งในปัจจุบัน (ค.ศ. 1979-2006) อนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) โดยการเปรียบเทียบผล ในช่วงเวลาในอดีตจากทั้งสามแบบจำลองพบว่า แบบจำลองทั้งสามสามารถแสดงผลลัพธ์ ที่สะท้อนความเป็นจริงได้เป็นอย่างดี แต่แบบจำลอง MRI จะให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลฝนจริงมากที่สุด แบบจำลอง MRI-AGCM นั้นเป็นแบบจำลองที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ในการศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย อาทิ Champathong et al. (2013) Hunukumbura et al. (2012) Kure et al. (2012) ล้วนศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศต่อสภาพน้ำท่าในลุ่มน้ำเจ้าพระยาด้วยแบบจำลอง MRI-AGCM อาจกล่าวได้ว่าแบบจำลอง MRI-AGCM สามารถเป็นตัวแทนของข้อมูลในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาได้เป็นอย่างดีซึ่งแบบจำลอง MRI-AGCM นั้นคือ แบบจำลองที่พัฒนาโดยสถาบันสถาบันวิจัยอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Research Institute: MRI) แห่งประเทศญี่ปุ่นซึ่งเป็นแบบจำลอง AGCM ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 20 กิโลเมตร เป็นแบบจำลองที่ค่อนข้างได้รับความนิยมในการนำมาใช้ศึกษาวิจัยผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในทวีปเอเชีย เนื่องจากมีความละเอียดเชิงพื้นที่ค่อนข้างสูง สามารถนำมาศึกษาโดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการลดขนาดหรือย่อส่วน (แต่ยังคงจำเป็นต้องปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา) และสามารถแสดงผลลัพธ์ทางอุตุนิยมวิทยาในทวีปเอเชียได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์ ปัญหาผลกระทบอีกประการหนึ่งที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์นอกจากปัญหาโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจ นั่นคือ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งผลกระทบต่อสภาพทางอุทกวิทยา ดังการศึกษาของ Pakoksung et al. (2011) ได้ศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อสภาพน้ำท่าในลุ่มน้ำน่าน ประเทศไทย ระบุว่า พื้นที่ป่าที่ลดลงส่งผลให้สัมประสิทธิ์น้ำท่าเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มสูงขึ้น จากสถิติการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินปีพ.ศ.2543-2549 พื้นที่ป่าไม้ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนลดลง 6,000 ตร.กม.หรือเท่ากับ 5.3% ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนพื้นที่ชุมชนเพิ่มขึ้น 2,080 ตร.กม. เทียบเท่า 2% ของพื้นที่สังเกตได้ว่าช่วงระยะเวลาเพียง 6 ปี การเปลี่ยนแปลงของลักษณะการใช้ที่ดินแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มลักษณะของการเจริญเติบโตของชุมชนเมือง และการตัดไม้ทำลายป่า ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสภาพน้ำท่าในพื้นที่ ในการศึกษา

ผลกระทบดังกล่าวโดยใช้แบบจำลอง SiBUC Land surface model ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมดุลพลังงานและสมดุลน้ำ (Energy and Water Balance) ผ่านทางอัตราการคายระเหย (Evapotranspiration) โดยใช้ข้อมูลแรงขับเคลื่อนทางอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ (Meteorological Forcing and Geophysical Data) และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน (Land Use/Cover Fractions) ในการคำนวณสมดุลทั้งสอง Kotsuki and Tanaka (2013b) ได้ศึกษาเงื่อนไขที่ทำให้เกิดน้ำท่วมที่สถานี C.2 ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยใช้ข้อมูลฝนจากโครงการ IMPAC-T (Kotsuki and Tanaka, 2013b) ซึ่งเป็นข้อมูลฝนที่รวบรวมและสร้างมาจากข้อมูลสังเกตการณ์ของกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยา ผลการศึกษาพบว่า อุทกภัยครั้งใหญ่ที่เกิดขึ้นในปี 2011 มีสาเหตุมาจากปริมาณฝนที่ตกมากกว่าปกติถึง 40% ส่งผลให้เกิดน้ำท่าธรรมชาติ (Naturalized Runoff) ถึง 125% จากค่าเฉลี่ยในปีปกติ ในขณะที่ปริมาณฝนเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยประมาณ 10% ก็ส่งผลให้เกิดน้ำท่าธรรมชาติ (Naturalized Runoff) ประมาณ 50-75%

ดังนั้นการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตจึงเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่งในการเข้าใจถึงลักษณะของผลกระทบ เพื่อที่จะสามารถวางแผนรับมือเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะที่เขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ ที่ทำหน้าที่หลักในการควบคุม บริหารจัดการน้ำในพื้นที่ตอนบน และจุดศูนย์รวมน้ำจากแม่น้ำสายหลักทั้ง 4 สถานี C.2 นครสวรรค์ ที่รับน้ำก่อนจะไหลลงสู่พื้นที่ทางตอนล่าง โดยในการศึกษาครั้งนี้จะตรวจสอบผลการจำลองสภาพน้ำท่าด้วยข้อมูลฝนและข้อมูลการใช้ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดินระดับโลกและระดับภูมิภาคเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่าสังเกตการณ์เพื่อเลือกชุดข้อมูลที่จะเป็นข้อมูลฐานสำหรับการศึกษาความอ่อนไหวของผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน และพิจารณาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโดยการใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติเรียบร้อยแล้ว (Koontanakulvong, 2014) ควบคู่ไปกับผลกระทบจากปัจจัยการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต จากผลงานทางวิชาการที่ผ่านการคาดการณ์ภายใต้เงื่อนไข การกำหนดพื้นที่ป่าสงวน พื้นที่หวงห้าม บุกรุกทำลาย (restrict area) ตามนโยบายระยะยาวด้านสิ่งแวดล้อมของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมปี พ.ศ.2540 (Trisurat, 2010)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ประยุกต์ใช้แบบจำลอง Land Surface Model (SIBUC) เพื่อศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนต่อสภาพน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน
- 1.2.2 จำลองสภาพน้ำท่าในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก (อ้างอิงจาก AR5 โดย IPCC)
- 1.2.3 จำลองสภาพน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล ภายใต้สมมติฐานการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

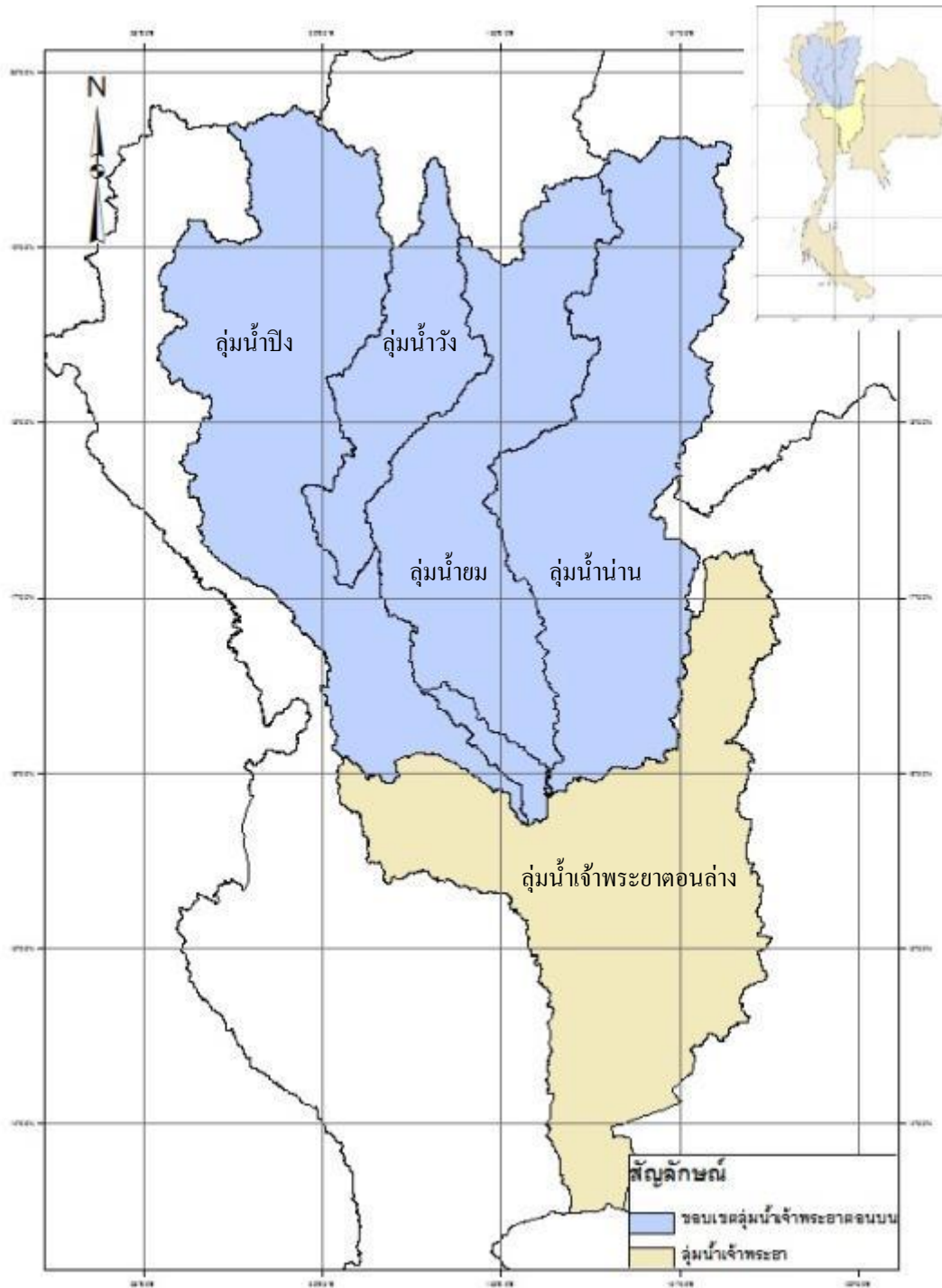
- 1.3.1 พื้นที่ศึกษาคือบริเวณทั้งหมดของลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน (แสดงในรูปที่ 1-1) ละติจูดที่ 13N ถึง 20N และลองจิจูดที่ 97E ถึง 102E และมีขนาดกริดเท่ากับ 5 min (1/12 degree) หรือประมาณ 10 กิโลเมตร ทั้งหมด $60 \times 84 = 5040$ กริด (แสดงในรูปที่ 1-2)
- 1.3.2 ศึกษาลักษณะการใช้ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงไปในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนด้วยข้อมูล GLCC ver.2.0 Land Cover Fractions และข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดินในปี พ.ศ. 2543 และ 2549 (ค.ศ. 2000 และ 2006)
- 1.3.3 ใช้แบบจำลอง Land Surface Model (SIBUC) ในการศึกษาการจำลองสภาพน้ำท่า
- 1.3.4 ใช้ข้อมูลฝนและสภาพภูมิอากาศจาก AR5 โดยแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ศึกษา คือ MRI-AGCM3.2S จากสถาบันวิจัยอุตุวิทยามหิทยาแห่งประเทศไทยที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติแล้ว (Koontanakulvong, 2014)
- 1.3.5 ช่วงเวลาที่ใช้ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาหลัก ได้แก่
 - ระยะเวลาปัจจุบัน (Present) ระหว่างปี ค.ศ. 1981–20044 (พ.ศ. 2524-2547)
 - ระยะเวลาอนาคตอันใกล้ (Near Future) ระหว่างปี ค.ศ. 2015–2039 (พ.ศ. 2558-2582)
 - ระยะเวลาอนาคตอันไกล (Far Future) ระหว่างปี ค.ศ. 2075–2099 (พ.ศ. 2618-2642)
- 1.3.6 ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตในพื้นที่ภาคเหนือของไทยในปีค.ศ. 2050 (พ.ศ.2593) (Trisurat, 2010)
- 1.3.7 สถานีฝนที่ใช้ในการศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา มีทั้งสิ้น 1,367 สถานี ที่รวบรวมโดยโครงการจัดทำทรัพยากรข้อมูล GAME-T2 (GEWEX Asian Monsoon Experiment-Tropics 2nd Phase) และโครงการ IMPAC-T (Integrated study

on Hydro-Meteorological Prediction and Adaptation to Climate Change in Thailand) ซึ่งประกอบด้วย สถานีฝนจากกรมชลประทาน 1,282 สถานี สถานีฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา 61 สถานี และสถานีฝนประเทศเพื่อนบ้าน 24 สถานี โดยมีข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980-2011 ดังแสดงในรูปที่ 1-3

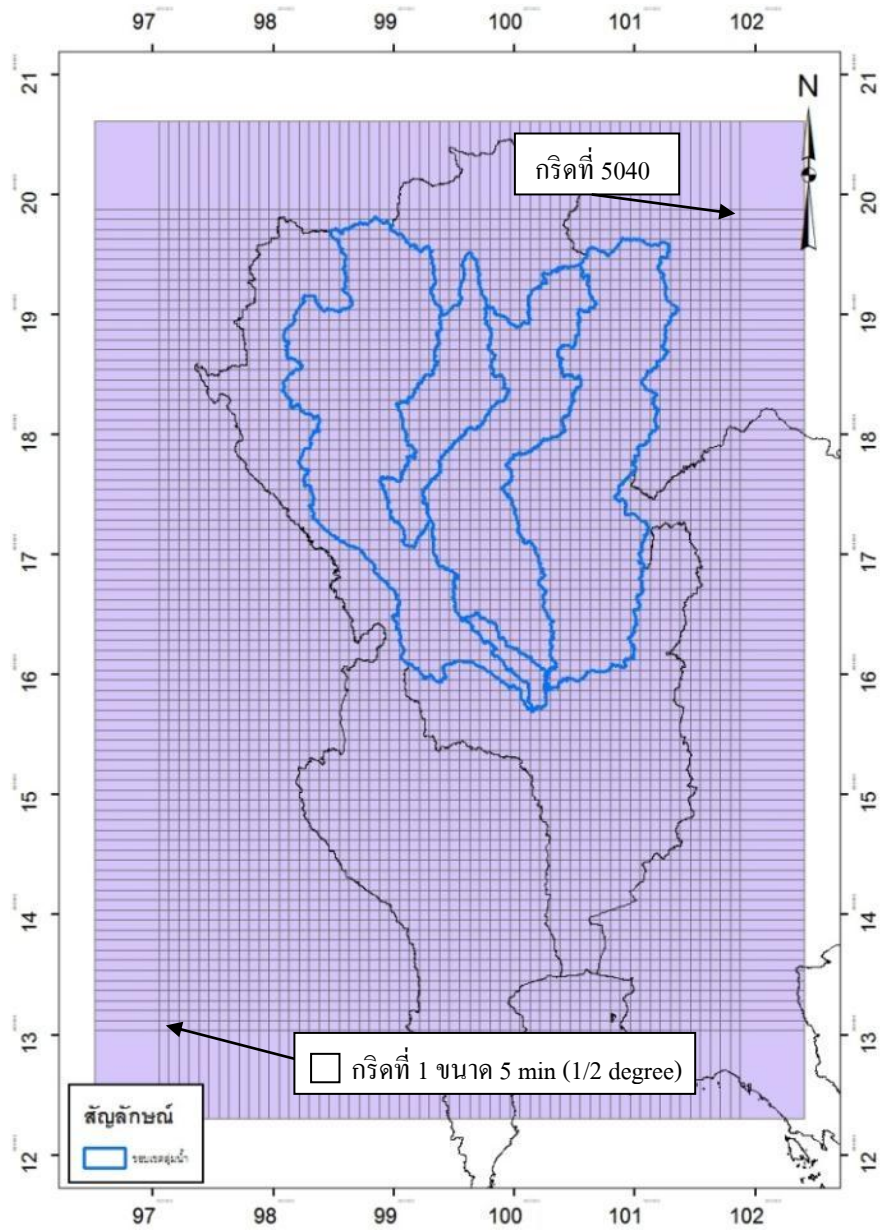
- 1.3.8 ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ บนพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยามีจำนวน 10 สถานี แบ่งเป็น สถานีลุ่มน้ำปิง 4 สถานี ลุ่มน้ำวัง 1 สถานี ลุ่มน้ำยม 1 สถานี และลุ่มน้ำน่าน 3 สถานี ซึ่งข้อมูลหลักที่ใช้ และพิกัดสถานี แสดงในรูปที่ 1-4
- 1.3.9 ข้อมูลทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ ตลอดจนลักษณะการใช้ที่ดินที่เกิดขึ้นในอดีต จะใช้ข้อมูลที่มีการสำรวจแล้ว และสามารถรวบรวมได้จากหน่วยงานต่างๆ ของภาครัฐที่เกี่ยวข้อง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

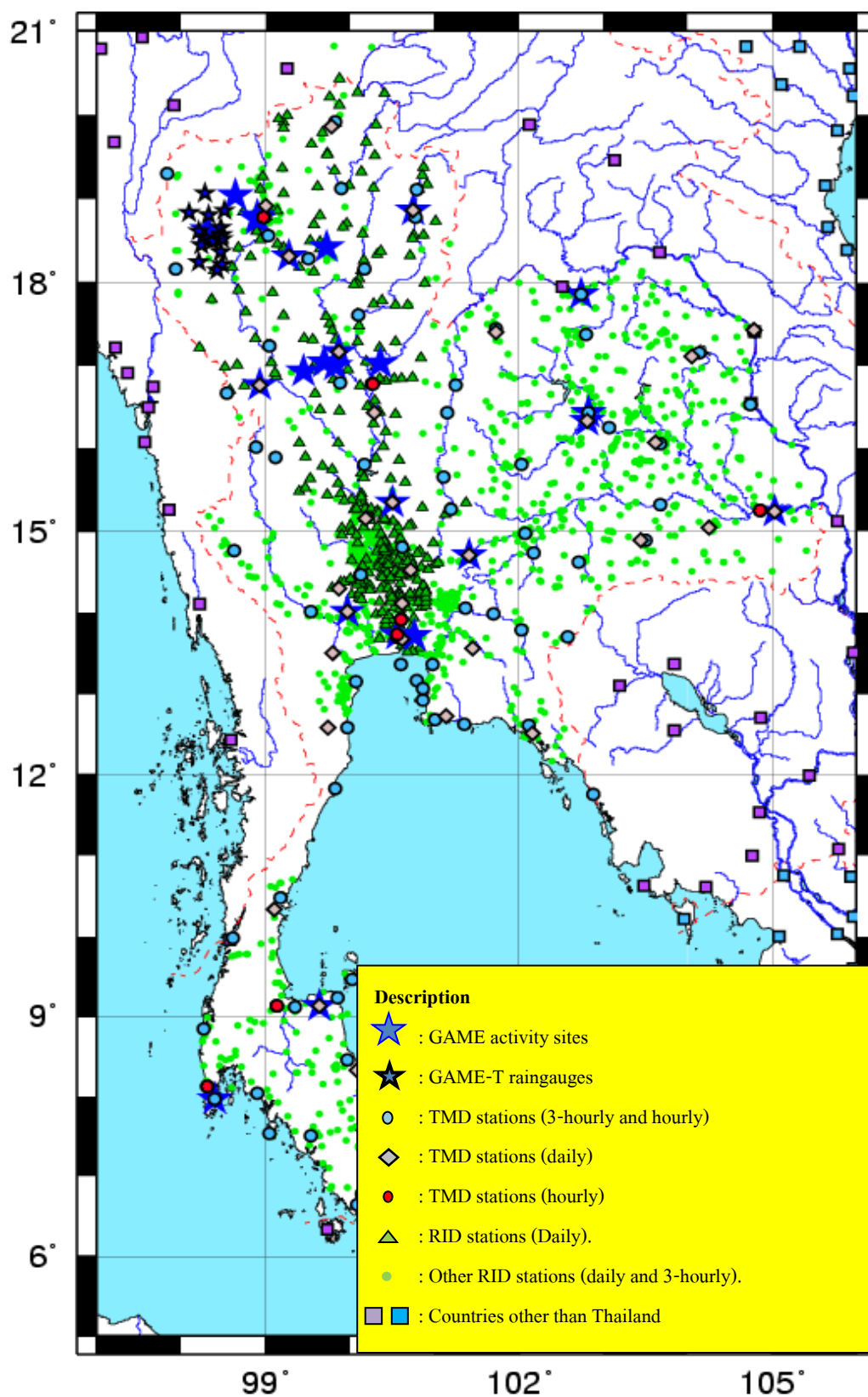
- 1.4.1 สามารถอธิบายผลกระทบของการใช้ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงไปต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล เขื่อนศรีนครินทร์ และที่สถานี C.2 ได้
- 1.4.2 สามารถจำลองสภาพน้ำท่าในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ภายใต้ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต เพื่อเป็นแนวทางในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าในอนาคตได้
- 1.4.3 สามารถจำลองสภาพน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล ภายใต้การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคตเพื่อเป็นแนวทางในการคาดการณ์ปริมาณน้ำเข้าสู่เขื่อนในอนาคตได้



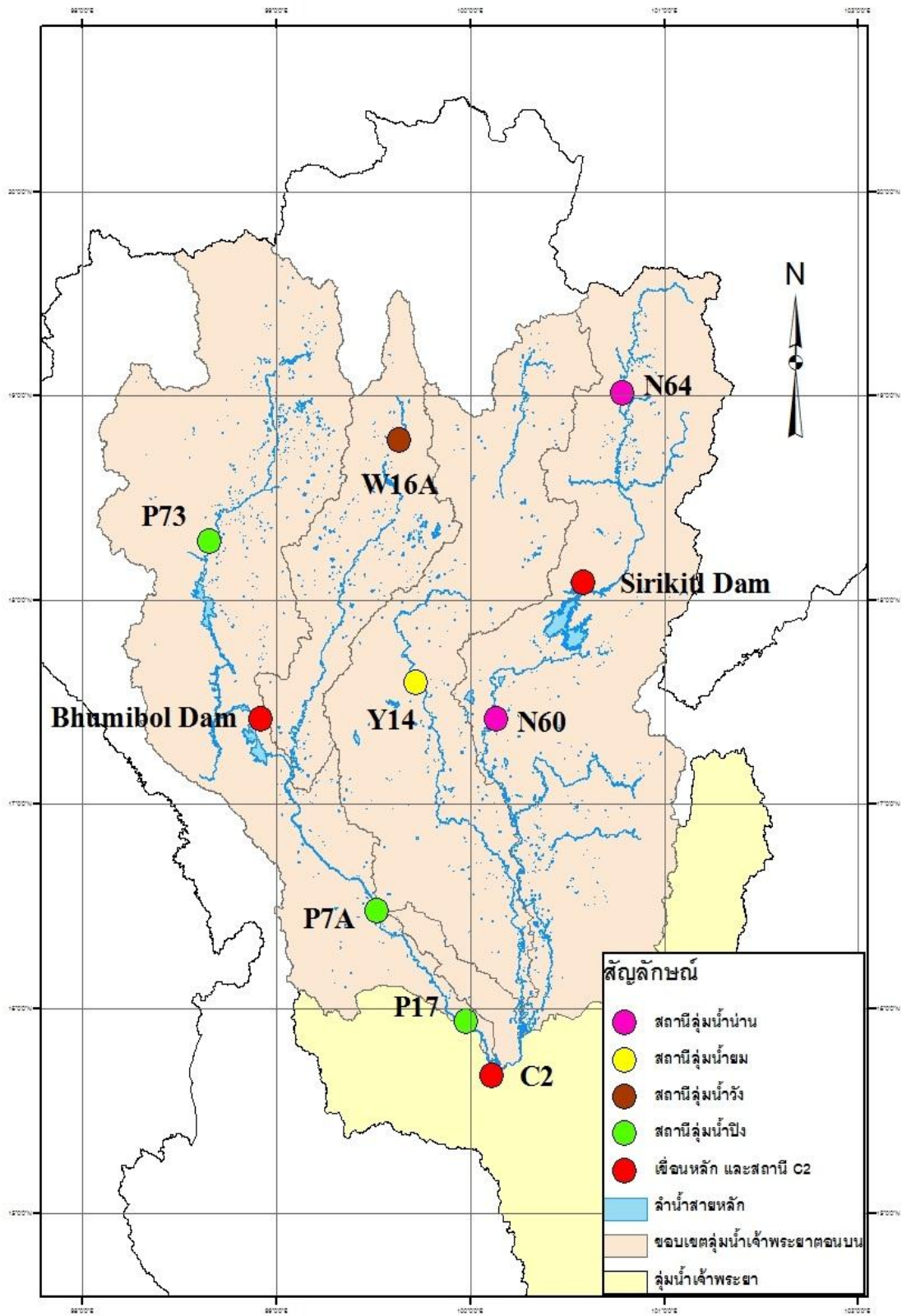
รูปที่ 1-1 พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ที่ประกอบไปด้วยลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน



รูปที่ 1-2 ขอบเขตพื้นที่ที่ศึกษา และตำแหน่งกริดทั้ง 5,040 กริด ครอบคลุมทั้งลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยเริ่มตั้งแต่ ละติจูดที่ 13N ถึง 20N และลองจิจูดที่ 97E ถึง 102E



รูปที่ 1-3 สถานีฝนในประเทศไทยโดยโครงการ GAME-T2 (GAME-T2 Data Center, 2008)



รูปที่ 1-4 ตำแหน่งสถานีน้ำท่าในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษา ค้นคว้า วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อลักษณะน้ำท่าเพื่อให้ เข้าใจแนวทางการศึกษา วิธีการและรวบรวมผลลัพธ์ของการศึกษาที่ผ่านมา วิเคราะห์ประเด็นที่ได้ ศึกษาไว้แล้วและส่วนที่สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ ประกอบไปด้วยการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลง สภาพภูมิอากาศ (Climate Change) การศึกษาเกี่ยวกับ Land Surface Model แบบจำลอง SiBUC และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

2.1 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change)

IPCC ได้ให้ความหมายของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไว้ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลง สถานะของภูมิอากาศในพื้นที่ใดๆที่สามารถตรวจพบได้ ในรูปของค่าเฉลี่ยหรือการแปรปรวนของ คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องเป็นเวลายาวนานมากกว่าทศวรรษ

จากข้อมูลการศึกษาวิจัยที่มีอยู่อย่างมากมายในปัจจุบันได้ระบุว่าสาเหตุของการ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกที่ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของผิวโลกสูงขึ้นเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้น ของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gases: GHG) และฝุ่นละอองในอากาศ (Aerosols) รวมถึง การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์จากที่ดิน ซึ่งทำให้สมดุลของพลังงานที่โลกได้รับเปลี่ยนแปลง (IPCC, 2007)

ที่ผ่านมา IPCC ได้ทำการสังเคราะห์องค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศมาแล้ว 5 ครั้ง โดยครั้งล่าสุด คือ ปี ค.ศ.2013 เรียกว่า IPCC 5th Assessment Report (IPCC AR5) ซึ่ง รายงานฉบับนี้ได้สรุปถึงสถานะของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศรวมถึงผลกระทบของการ เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศไว้ดังนี้

1) ระบบภูมิอากาศโลกร้อนขึ้นอย่างเด่นชัด การเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นนับตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมา มีค่ามากกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เคยเกิดขึ้นในอดีตในรอบหลายทศวรรษ ได้แก่ บรรยากาศและมหาสมุทรมีอุณหภูมิสูงขึ้น ปริมาณหิมะและน้ำแข็งลดลง ระดับน้ำทะเล เพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศเพิ่มขึ้น

2) ในรอบสามทศวรรษที่ผ่านมา อุณหภูมิอากาศมีค่าสูงขึ้นมากกว่าทศวรรษ ก่อนหน้า อุณหภูมิอากาศในซีกโลกเหนือระหว่าง ปี ค.ศ. 1983-2012 มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ย สามสิบปี สูงที่สุดในรอบ 1,400 ปีที่ผ่านมา

3) พลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นในระบบภูมิอากาศโลก ถูกกักเก็บไว้ในมหาสมุทรถึงร้อยละ 90 ทำให้น้ำในมหาสมุทรชั้นบน ตั้งแต่ผิวน้ำไปจนถึงระดับความลึก 700 เมตร มีอุณหภูมิสูงขึ้นนับตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1971-2010

4) ในรอบสองทศวรรษที่ผ่านมา พืดน้ำแข็งขนาดใหญ่ (Ice Sheet) ลดขนาดลง ธารน้ำแข็งบนภูเขา (Glacier) ทั่วโลกมีขนาดเล็กลง ทะเลน้ำแข็ง (Sea Ice) ในทะเลอาร์กติกลดลง หิมะที่ปกคลุมพื้นผิวโลกในฤดูใบไม้ผลิในซีกโลกเหนือลดลง

5) อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลตั้งแต่กลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 เป็นต้นมา มีค่าสูงขึ้นมากกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยในรอบสองพันปี โดยตั้งแต่ปี ค.ศ. 1901-2010 ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยทั้งโลกสูงขึ้น 0.19 เมตร

6) ปริมาณความเข้มข้นในบรรยากาศของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และก๊าซไนตรัสออกไซด์นั้น มีค่าสูงขึ้นกว่าระดับที่เคยมีมาในอดีตในรอบ 800,000 ปี ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นร้อยละ 40 เมื่อเทียบกับยุคก่อนอุตสาหกรรม สาเหตุมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมเป็นหลักและจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ซึ่งรายงานฉบับนี้ได้สรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มีสาเหตุมาจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ที่ทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศและมหาสมุทรเพิ่มขึ้น ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงวัฏจักรของน้ำ การลดลงของหิมะและน้ำแข็ง และการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นจากรายงานฉบับที่ 4 (อำนาจ ชิดไธสง, 2556)

2.1.1 แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (General Circulation Models, GCMs)

แบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (General Circulation Models: GCMs) เป็นเครื่องมือที่สำคัญของการศึกษาเกี่ยวกับการไหลเวียนของระบบภูมิอากาศโลก ซึ่งใช้ข้อมูลด้านการถ่ายเทพลังงานระหว่างบรรยากาศ (Atmosphere) ผิวดิน และหิน (Geosphere) หิมะและน้ำแข็ง (Cryosphere) มหาสมุทรและแหล่งน้ำ (Hydrosphere) และสิ่งมีชีวิต (Biosphere) การถ่ายเทความร้อนเพื่อรักษาสมดุลของพลังงานระหว่างส่วนประกอบของโลกเหล่านี้มีผลต่อภูมิอากาศในที่ต่างๆของโลก เมื่อส่วนใดส่วนหนึ่งขององค์ประกอบภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง เช่น ปริมาณก๊าซเรือนกระจกในบรรยากาศเพิ่มขึ้นหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ย่อมส่งผลต่อสมดุลพลังงานของโลก และส่งผลให้ภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (กัณฑ์รีย์ บุญประกอบ, 2554)

ในปัจจุบันหลายประเทศได้สร้างแบบจำลอง GCM ของตัวเองขึ้นมา ตัวอย่างเช่น HadCM3 ของประเทศอังกฤษ CGCM3.1 ของประเทศแคนาดา CSIRO-MK3 ของประเทศออสเตรเลีย ECHAM5 ของประเทศเยอรมัน CCSM3 ของประเทศสหรัฐอเมริกา และ MRI GCM ของประเทศญี่ปุ่น (กันทริย์ บุญประกอบ, 2554) จากการที่แต่ละประเทศก็มีแบบจำลองภูมิอากาศของตัวเอง และพยายามที่จะพยากรณ์ระบบภูมิอากาศของโลก ซึ่งล้วนแต่เป็นเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับสำหรับการศึกษาและคาดการณ์แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในอนาคต โครงการ Coupled Model Intercomparison Project (CMIP) ที่จัดทำโดย World Climate Research Program (WCRP) เป็นโครงการที่กำหนดกรอบและ Scenarios ที่ใช้ร่วมกันของแบบจำลองภูมิอากาศโลก ต่างจากสถาบันวิจัยทั่วโลก และใช้เป็นฐานข้อมูลในการจัดทำ Assessment Reports โดยรายงานครั้งล่าสุดคือ AR5 ปี 2013 Sperber et al. (2013) ศึกษาเปรียบเทียบแบบจำลองภูมิอากาศโลกจากโครงการ CMIP3 และ CMIP5 (ฐานข้อมูลในการจัดทำ AR4 และ AR5 ตามลำดับ) รวมทั้งสิ้น 25 แบบจำลอง ในการจำลองสภาพฝนในช่วงฤดูมรสุมของทวีปเอเชีย โดยได้เปรียบเทียบลักษณะของการผันแปรรายฤดูกาล (Inter-Seasonal Variability) การผันแปรรายปี (Inter-Annual Variability) ปริมาณฝนเฉลี่ยของแบบจำลองภูมิอากาศโลก (Multi-Model Mean) และวัฏจักรภูมิอากาศประจำปี (Climatological Annual Cycle) โดยการศึกษาพบว่ากลุ่มของแบบจำลองภูมิอากาศในชุดของ CMIP5 สามารถจำลองลักษณะของฝนดังกล่าวข้างต้น ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลสังเกตการณ์มากกว่าแบบจำลองภูมิอากาศในชุดของ CMIP3 อย่างชัดเจนทั้งในเชิงปริมาณ รูปแบบและแนวโน้ม

2.1.2 ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Scenario)

ภาพจำลองการปล่อยก๊าซเรือนกระจก คือ สมมติฐานของการเติบโตทางเศรษฐกิจ สังคม และการปล่อยมลพิษในอนาคต โดยรายงานการสังเคราะห์ฉบับที่ 4 ของ IPCC 2007 (AR4) ได้มีการใช้ภาพจำลองเพื่อกำหนดความเป็นไปได้ของการพัฒนาในอนาคตที่เรียกว่า The Special Report on Emissions Scenarios (SRES) ไว้ 4 แบบ ดังนี้

- | | |
|---|--|
| A | พัฒนาโดยเน้นการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นหลัก |
| B | พัฒนาโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม |
| 1 | พัฒนาโดยมีความร่วมมือระหว่างประเทศ (International) |
| 2 | พัฒนาโดยมีความร่วมมือระหว่างภูมิภาค (Regional) |

เช่น A1B คือ รูปแบบการพัฒนาโดยมีความสมดุลของการใช้พลังงาน ทั้งพลังงานจากฟอสซิลและพลังงานหมุนเวียน เป็นลักษณะของการพัฒนาแบบปัจจุบัน (IPCC, 2000)

ในขณะที่รายงานการสังเคราะห์ฉบับที่ 5 ของ IPCC 2013 (AR5) ได้มีการปรับปรุงแบบจำลองภูมิอากาศโดยใช้ภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบใหม่โดยใช้ค่า Radiative Forcing (RF) ซึ่งเป็นค่าพลังงานในระบบบรรยากาศโลกต่อหน่วยพื้นที่ (ค่า RF ที่เป็นบวกหมายถึง การสะสมของพลังงานในระบบเพิ่มขึ้นและจะทำให้โลกร้อนขึ้น ส่วนค่าที่เป็นลบหมายถึง การสะสมของพลังงานลดลงและทำให้โลกเย็นลง) ที่เรียกว่า Representative Concentration Pathway (RCPs) ซึ่งมีคำจำกัดความดังนี้

RCP2.6 หมายถึง เมื่อสิ้นคริสต์ศตวรรษที่ 21 จะมีค่าพลังงานความร้อนของระบบภูมิอากาศ Radiative Forcing เทียบกับ ปี ค.ศ. 1750 เท่ากับ 2.6 วัตต์ต่อตารางเมตร เป็นภาพฉายอนาคตที่มีการลดก๊าซเรือนกระจกอย่างจริงจัง

RCP4.5 มีค่า Radiative Forcing 4.5 วัตต์ต่อตารางเมตร เป็นภาพฉายอนาคตที่มีการตรึงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกไว้ที่ระดับหนึ่งเมื่อสิ้นคริสต์ศตวรรษที่ 21

RCP6.0 มีค่า Radiative Forcing 6.0 วัตต์ต่อตารางเมตร เป็นภาพฉายอนาคตที่มีการปลดปล่อยสูงกว่า RCP4.5 เล็กน้อย

RCP8.5 มีค่า Radiative Forcing 8.5 วัตต์ต่อตารางเมตร เป็นภาพฉายอนาคตของการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกอย่างต่อเนื่องในระดับสูง

2.1.3 แบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกในระดับของกลุ่มน้ำนั้น ปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งคือการเลือกแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก (GCMs) โดยในการศึกษาค้างนี้จะเลือกใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.2S ของสถาบันวิจัยอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Research Institute: MRI) จากประเทศญี่ปุ่น โดยสาเหตุที่เลือกเอาแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM 3.2S มาใช้ศึกษาโดยที่ไม่ได้เปรียบเทียบกับแบบจำลองอื่นๆ เมื่อพิจารณาตามคำแนะนำในการเลือกแบบจำลองของ Smith and Hulme (1998) อาจสรุปได้ดังนี้

1) ความทันสมัยของแบบจำลอง

แบบจำลอง MRI-AGCM3.2S เป็นส่วนหนึ่งของรายงานการประเมินสถานะภูมิอากาศโลกครั้งที่ 5 ของ IPCC (IPCC Fifth Assessment Report: AR5) เมื่อปี 2013 ซึ่งเป็นรายงานฉบับล่าสุดที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลก เพราะฉะนั้นจึงถือว่าเป็นแบบจำลองที่ทันสมัยพอสมควร

2) ความละเอียดของแบบจำลอง

ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) ของแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S นั้นสูงกว่าแบบจำลองอื่น ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบันค่อนข้างมาก คือ มีขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 20 กิโลเมตร ซึ่งถือว่าละเอียดเพียงพอที่จะนำมาใช้ศึกษาผลกระทบทางอุทกวิทยาในระดับลุ่มน้ำได้ไม่ต้องผ่านขั้นตอนของการเพิ่มความละเอียดข้อมูลภูมิอากาศ (Climate Downscaling)

3) ความถูกต้องเที่ยงตรงและความเป็นตัวแทนผลลัพธ์

แบบจำลอง MRI เป็นแบบจำลองที่ผ่านการศึกษาและเปรียบเทียบผลลัพธ์กับฝนสังเกตการณ์ในประเทศไทยมาโดยตลอดซึ่งผลการศึกษพบว่าสามารถเป็นตัวแทนผลลัพธ์ของฝนในประเทศไทยได้เป็นอย่างดี เช่น Koontanakulvong and Chaowiwat (2010a) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกที่ผ่านการย่อส่วนแล้วจากแบบจำลอง MRI, ECHAM4 และ CCCMA3.0 และได้นำข้อมูลที่ได้มาใช้วิเคราะห์เหตุการณ์รุนแรง ได้แก่ ปริมาณฝนหนึ่งวันและห้าวันสูงสุด จำนวนวันแห้งแล้ง โดยการเปรียบเทียบผลในช่วงเวลาในอดีตจากทั้ง 3 แบบจำลองหลังจากที่ได้ปรับแก้และย่อส่วนแบบจำลองแล้วนั้น พบว่าทั้งสามแบบจำลองสามารถแสดงผลลัพธ์ที่สะท้อนความเป็นจริงได้เป็นอย่างดี แต่แบบจำลอง MRI จะให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลฝนจริงมากที่สุด Kure and Tebakari (2012) ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ด้วยข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.1S และ MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงด้วยวิธี Hybrid Statistical Bias Correction. และวิธี Monthly Climatology โดยผลการเปรียบเทียบกับฝนสังเกตการณ์ใน Supplementary Document พบว่าแบบจำลอง MRI-AGCM3.1S และ MRI-AGCM3.2S สามารถแสดงผลของฝนรายเดือนและรายวันได้ใกล้เคียงกับฝนสังเกตการณ์ Mizuta et al.(2011) ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิอากาศ MRI-AGCM3.2S ในการจำลองสภาพภูมิอากาศของโลก และเปรียบเทียบผลการจำลองกับ MRI-AGCM3.1S ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ ไม่ว่าจะเป็น ปริมาณฝนรายเดือนเฉลี่ย (Monthly-Mean Precipitation) โดยเฉพาะในทางตะวันตกของแปซิฟิกเขตร้อน โซน-อุณหภูมิ เฉลี่ย (Zonal-Mean Temperature) และค่าเฉลี่ยรายฤดูกาล

ภูมิอากาศอื่นๆ ได้ผลดีขึ้นเมื่อเทียบกับผลจาก MRI-AGCM3.1S ยืนยันโดยการให้คะแนนด้วยวิธี Taylor's Skill Score อีกทั้งในระดับภูมิภาค ในพื้นที่เอเชีย จากอินเดียถึงฟิลิปปินส์ ผลลัพธ์ ปริมาณฝนดีขึ้นเมื่อเทียบฝนสังเกตการณ์ การจำลองสภาพมรสุมในทวีปเอเชียและสามารถ จำลองลักษณะคุณสมบัติของฤดูกาลในมรสุมฤดูร้อนเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อีกทั้งงานวิจัยที่ การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาอีกหลาย งานวิจัย เช่น Hunukumbura et al. (2012) Champathong et al. (2013) และ Watanabe et al. (2014) ล้วนประยุกต์ใช้แบบจำลอง MRI ในการศึกษา จึงอาจสรุปได้ว่า แบบจำลอง MRI-AGCM3.2S มีความถูกต้องและสามารถเป็นตัวแทนของผลลัพธ์ในประเทศไทยได้เป็นอย่างดี

ซึ่งแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S มีรายละเอียดโดยสังเขปดังนี้

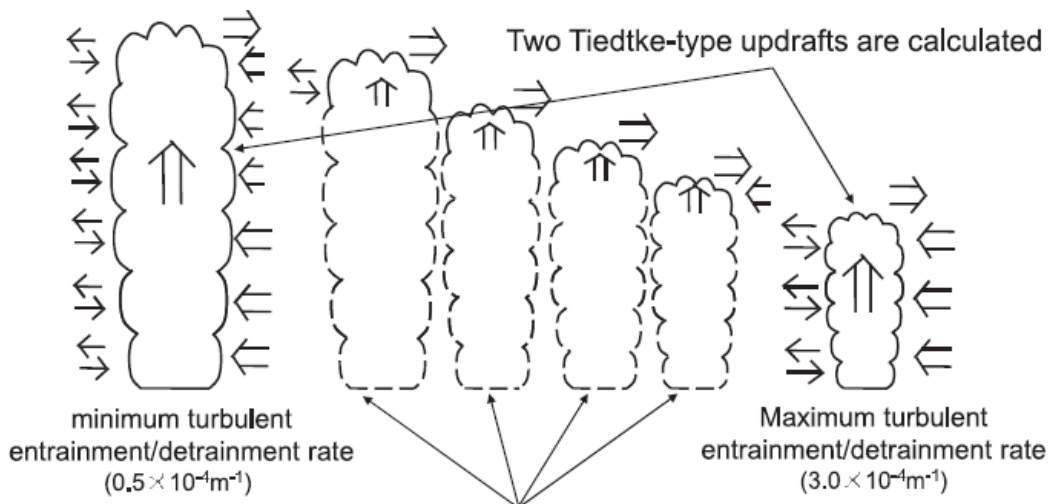
แบบจำลอง MRI-AGCM3.2S ของสถาบันวิจัยอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Research Institute: MRI) แห่งประเทศญี่ปุ่น แบบจำลองยึดสมการพื้นฐานด้านระบบ Hydrostatic โดยใช้กระบวนการแปลงสเปกตรัมของ Spherical Harmonics ซึ่งออกแบบโดย Kanamitsu et al. (1983). โดยมี Time Step อยู่ที่ 10 นาที เป็นแบบจำลอง AGCM ที่มีความละเอียดในการคำนวณสูงจากระดับความละเอียดเชิงพื้นที่ในแนวราบเท่ากับ 20×20 กิโลเมตร (Triangular Truncation at Wave Number 959, TL959) จำนวนกริดรวมทั้งสิ้น 1920×960 กริด และในแนวตั้ง (vertical layer) ทั้งหมด 64 ชั้น ซึ่งมีค่า Geopotential Height ในส่วน บนสุดเท่ากับ 0.01 hPa ดังแสดงในรูปที่ 2-1 (Mizuta et al, 2011)

	MRI-AGCM3.1S	MRI-AGCM3.2S
Horizontal resolution	TL959 (20 km, 1920×960)	TL959 (20 km, 1920×960)
Vertical levels	60 (top at 0.1 hPa)	64 (top at 0.01 hPa)
Time step	6 minutes	10 minutes
Cumulus convection	Prognostic Arakawa-Schubert	Yoshimura
Cloud	Smith (1990)	Tiedtke (1993)
Radiation	Shibata and Aoki (1989); Shibata and Uchiyama (1992)	JMA (2007)
Gravity wave drag	Iwasaki et al. (1989)	Iwasaki et al. (1989)
Land surface	Hirai et al. (2007)	Hirai et al. (2007)
Boundary layer	Mellor Yamada (level 2)	Mellor Yamada (level 2)
Aerosol (direct)	Sulfate aerosol	Five species

รูปที่ 2-1 เปรียบเทียบรายละเอียด ของแบบจำลองรุ่น 3.1S (รุ่นก่อนหน้า) และ 3.2S (รุ่นใหม่)

Cumulus Convection จะมีการเปลี่ยนแปลงจากแบบจำลอง MRI-AGCM3.1S เป็น "the Yoshimura Cumulus Scheme" (Yukimoto et al., 2011) ซึ่งจะมีพื้นฐานการ คำนวณระบบการไหลเวียนของกลุ่มเมฆ (Two Convective Updrafts) ภายใน 1 กริด ระหว่าง กลุ่ม Updrafts ที่ยาวที่สุดที่มีอัตราการปั่นป่วนของการผสมกันต่ำกับ Updrafts ที่สั้นที่สุดที่มี

อัตราการปั่นป่วนของการผสมกันสูงสุด โดยใช้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับทั้งสอง Updrafts ดังรูปที่ 2-2 (Mizuta et al., 2011)



Updrafts between min. and max. rates are assumed to be continuously present. Temperature, water vapor mixing ratio, entrainment rate etc. are obtained by linear interpolation between the two.

→ Multiple updrafts with different heights are represented.

รูปที่ 2-2 Cumulus Scheme ของแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S (Mizuta et al., 2011)

Cloud Scheme ในแบบจำลอง MRI AGCM3.2S พัฒนาจากเดิมที่ใช้การคำนวณด้วยวิธีการทางสถิติเชิงพื้นที่ขนาดใหญ่ (Large-Scale Cloud Scheme) มาเป็นระบบที่คำนวณปริมาณน้ำและปริมาณของเมฆด้วยระบบตัวแปรพยากรณ์ (Prognostic Variables) ที่เรียกว่า Tiedtke Cloud Scheme (Tiedtke, 1993) โดยแบบจำลองจะคำนวณการกระจายตัวของเมฆผ่านการระเหยด้วยความร้อน การระเหยจากการผสมกับมวลอากาศโดยรอบอย่างปั่นป่วน และการเปลี่ยนไปเป็นฝน (Mizuta et al., 2011)

Radiation Scheme จะเปลี่ยนมาใช้ JMA Operational Model โดยจะคำนวณรังสีทั้งหมดในทุกๆ 2 Grid-Spacing ทุก 1 ซม. สำหรับเขตรังสีคลื่นสั้น และทุก 3 ซม. สำหรับเขตรังสีคลื่นยาว สเปกตรัมจะถูกแบ่งออกเป็น 9 แถบในเขตคลื่นยาว และ 22 แถบในเขตคลื่นสั้น โดยจะมีการคำนวณค่า Radiative Flux ในแต่ละแถบ แบบจำลองจะพิจารณาการดูดกลืนรังสีหลักจากไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และโอโซน รวมทั้งยังพิจารณาการดูดกลืนรังสีโดยมีเทน (CH_4) ไดไนโตรเจนมอนอกไซด์ (N_2O) และครอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) เพื่อพิจารณาผลกระทบต่ออุณหภูมิของก๊าซดังกล่าว (Mizuta et al., 2011)

Aerosol สำหรับผลกระทบต่อโดยตรงของฝุ่นละอองในอากาศนั้น ได้มีการกำหนดฝุ่นละอองในอากาศเพิ่มเติมจากเดิมที่มีเพียง ซัลเฟต (Sulfate) อีก 4 ชนิด คือ ถ่านดำ (Black Carbon) ถ่านอินทรีย์ (Organic Carbon) ผงแร่ (Mineral Dust) และเกลือทะเล ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย/การดูดซึม และปัจจัยความไม่สมมาตร (Asymmetry Factors) ของทั้ง 5 ชนิดจะคำนวณบนพื้นฐานสมมติฐานการกระจายโดยอนุภาคทรงกลมของ Mie ในฐานข้อมูลดัชนีการหักเหของแสงอย่างซับซ้อนของ OPAC (Optical Properties of Aerosols and Clouds) (Hess et al., 1998) สำหรับชนิดที่มีคุณสมบัติอุ้มน้ำแบบจำลองจะถือว่าสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์โดยรอบ (Chin et al., 2002) สำหรับโมเดลนี้จะไม่พิจารณาผลกระทบทางอ้อมของฝุ่นละอองในอากาศ (Mizuta et al., 2011)

Other Schemes สำหรับ Planetary Boundary Layer จะใช้ lv2 Turbulence Closure Scheme (Mellor and Yamada, 1974) และใช้ Land Surface Scheme (Hirai et al., 2007) ที่พัฒนามาจาก SiB (Simple Biosphere Model) และใช้ Simple Skin Sea-Surface Scheme (Yukimoto et al., 2011) สำหรับความแปรปรวนของอุณหภูมิตอนกลางวัน พบผิวน้ำทะเลเนื่องจาก ความแปรปรวนระยะสั้นจากลมและรังสีสุริยะซึ่งจะคำนวณและใช้เป็นขอบเขตด้านล่างสำหรับแบบจำลอง (Mizuta et al., 2011)

2.1.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทย

เจียมใจ เครือสุวรรณ และคณะ (2553) ได้จำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศสำหรับประเทศไทยด้วยแบบจำลองภูมิอากาศ MM5-RCM (MM5-Regional Climate Model) โดยจำลองสภาพภูมิอากาศ อาทิเช่น อุณหภูมิ ความเร็วลม ปริมาณฝน ความดัน เป็นต้น ในปีฐาน พ.ศ. 2513-2542 และอนาคต ปี พ.ศ. 2553-2582 โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก CCSM3 ซึ่งมีความละเอียดเชิงพื้นที่ $1.4^{\circ} \times 1.4^{\circ}$ เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองสภาพภูมิอากาศ มีโซสเฟส MM5 แล้วเปรียบเทียบผลกับข้อมูลสังเกตการณ์ และจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศล่วงหน้า พบว่าในช่วงอนาคตปี พ.ศ. 2553-2582 ที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยต้องเผชิญกับสภาพแห้งแล้งมีปริมาณฝนลดลงโดยเฉพาะพื้นที่ตอนบน แต่มีปริมาณฝนเพิ่มขึ้นในภาคใต้

กัณฑ์ บัญประกอบ และคณะ (2553) ได้สร้างภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตในประเทศไทย โดยใช้แบบจำลอง GFDL-R30 และย่อส่วน (Downscale) ให้มีขนาด 50 กิโลเมตร ในพื้นที่ประเทศไทยด้วยวิธีสถิติ และจัดทำข้อมูลภูมิอากาศในอนาคตของประเทศไทยภายใต้เงื่อนไขจำลองและวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้ ผล

การศึกษาพบว่า ปริมาณฝน (Precipitation) จากภาพจำลองแบบ A2 และ B2 เปรียบเทียบกับปีฐาน พบว่าในระยะสั้นถึงปานกลางและระยะยาวภาพจำลอง A2 มีปริมาณฝนเฉลี่ยต่ำกว่าปีฐาน แตกต่างจากภาพจำลอง B2 ซึ่งมีปริมาณฝนสูงกว่าปีฐาน

สิรินทรเทพ เต่าประยูร และคณะ (2553) ได้ศึกษาและพัฒนาแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM3 สำหรับประเทศไทย โดยเปรียบเทียบผลของสภาพภูมิอากาศช่วงเวลา 40 ปีในอดีต และช่วงเวลา 40 ปีในอนาคต โดยใช้ข้อมูลแบบจำลอง ECHAM5 ครอบคลุมประเทศไทยด้วยความละเอียดเชิงพื้นที่ 20×20 กิโลเมตร และศึกษาสภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงภายใต้สถานการณ์จำลองในอนาคตโดยเน้นที่อุณหภูมิและปริมาณน้ำฝนเป็นหลัก ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณฝนรวมถึงอุณหภูมิในอนาคตจะเพิ่มสูงขึ้นจากในอดีต

ปฎิญา หรรษัทธิธินันต์ (2556) ได้ทำการศึกษาการประเมินผลกระทบด้านอุทกภัยของจังหวัดสุโขทัยอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของโลก ด้วยการประยุกต์ใช้ข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI ECHAM5 และ CSIRO-MK3.5 และปรับปรุงคุณภาพด้วยการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติและลดขนาด (Downscale) ให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาก่อนจึงจะสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ในพื้นที่ระดับลุ่มน้ำได้ ซึ่งผลการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติเมื่อพิจารณาจากปริมาณฝนเฉลี่ยรายวัน ความถี่ฝน และความเข้มฝน พบว่าทั้งสามแบบจำลองสามารถแสดงผลลัพธ์ที่สะท้อนความเป็นจริงได้เป็นอย่างดี แต่แบบจำลอง MRI จะให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลฝนจริงมากที่สุด

Koontanakulvong and Chaowiwat (2010a) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลกที่ผ่านการย่อส่วนแล้วจากแบบจำลอง MRI, ECHAM4 และ CCCMA3.0 และได้นำข้อมูลที่ได้มาใช้วิเคราะห์เหตุการณ์รุนแรง ได้แก่ ปริมาณฝนหนึ่งวันและห้าวันสูงสุด จำนวนวันแห้งแล้งในปัจจุบัน (ค.ศ. 1979-2006) อนาคตอันใกล้ (ค.ศ. 2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ. 2075-2099) โดยการเปรียบเทียบผลในช่วงเวลา ในอดีตจากทั้ง 3 แบบจำลองหลังจากที่ได้ปรับแก้และย่อส่วนแบบจำลองแล้วนั้น พบว่าทั้งสามแบบจำลองสามารถแสดงผลลัพธ์ที่สะท้อนข้อมูลฝนจริงได้เป็นอย่างดี แต่แบบจำลอง MRI จะให้ผลใกล้เคียงกับข้อมูลฝนจริงมากที่สุด ในขณะที่ในอนาคตอันใกล้แสดงว่า ในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคใต้ฝั่งตะวันตกจะมีปริมาณฝนลดลง ส่วนในอนาคตอันไกลปริมาณฝนจะเพิ่มสูงขึ้นในทุกพื้นที่

Koontanakulvong and Chaowiwat (2010b) ได้ศึกษาการปรับแก้ข้อมูลจากแบบจำลองสภาพภูมิอากาศโลก MRI-GCM ด้วยวิธี SD Ratio และ Modified Rescaling โดยจากการตรวจสอบประสิทธิภาพ โดยพิจารณาจากดัชนี RMSE และ R^2 พบว่าผลที่ได้อยู่ใน

ระดับที่ยอมรับได้เป็นอย่างดี ข้อมูลที่ผ่านการปรับแก้แล้วนั้น เมื่อพยากรณ์สภาพภูมิอากาศในอนาคตพบว่า ในอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039) อุณหภูมิทั้งประเทศจะสูงขึ้น 1°C จากอดีต (ค.ศ.1979-2006) ในอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099) จะสูงขึ้น $3-4^{\circ}\text{C}$ ในขณะที่ปริมาณฝนในช่วงอนาคตอันใกล้จะลดลงในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง ทางตะวันออกของชายฝั่งอ่าวไทยส่วน ในอนาคตอันไกลปริมาณฝนจะสูงขึ้นโดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ภาคใต้ ฝั่งตะวันออก และลุ่มน้ำโขง

Koontanakulvong et al. (2014) ได้ศึกษารูปแบบและค่าสุดขีดของฝนในประเทศไทย ด้วยข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.1S และ MRI-AGCM3.2S รวมทั้งปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์ด้วย วิธี Gamma-Gamma Transformation Method และ Hybrid Quartile Method ในปี ค.ศ.1979-2006 ผลที่ได้คือ การปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid Quartile Method และ Gamma-Gamma Transformation ต่างก็ให้ผลการกระจายตัวที่ค่อนข้างดี สามารถสะท้อนลักษณะของฝนสังเกตการณ์ได้ชัดเจน แต่ฝนที่ผ่านการปรับแก้ด้วยวิธี Hybrid Quartile Method จะให้ปริมาณฝนช่วงลำดับเปอร์เซ็นต์สูงๆ (มากกว่าร้อยละ 95) ได้ใกล้เคียงมากกว่าการปรับแก้ด้วยวิธี Gamma-Gamma Transformation

ข้อสรุปจากการศึกษาที่ผ่านมา พบว่า การศึกษาและใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก นั้น จำเป็นต้องเพิ่มคุณภาพของข้อมูลจากแบบจำลองและย่อยส่วนให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการนำข้อมูลไปใช้แบบจำลอง MRI มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง และสามารถสะท้อนความถูกต้องของข้อมูลฝนได้ใกล้เคียงกับข้อมูลสังเกตการณ์ ด้วยความละเอียดของแบบจำลอง MRI AGCM ความสามารถในการจำลองสภาพปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนในพื้นที่เขตร้อน ความสามารถในการพยากรณ์พายุหมุนเขตร้อนและมรสุมตามฤดูกาลที่ถูกต้องแม่นยำในพื้นที่รอบๆ มหาสมุทรแปซิฟิกและทวีปเอเชียนี้เอง อาจกล่าวได้ว่าเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่จะเลือกมาใช้ในการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย

2.1.5 การศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลกในการจำลองสภาพน้ำท่าในประเทศไทย

Hunukumbura et al. (2012) ได้ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่ออัตราการไหลของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาโดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.1S ซึ่งวิเคราะห์โดยการใชภาพฉายน้ำท่าอนาคตกับแบบจำลอง Distributed River Routing (1K-FRM) ข้อมูลภาพฉายสภาพอากาศสำหรับการจำลองสภาพนั้นคือข้อมูลอัตราการ

ไหลหลายวันที่ได้มาจากแบบจำลอง MRI-AGCM3.1S โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ปัจจุบัน ค.ศ. 1979-2003 อนาคตอันใกล้ ค.ศ. 2015-2039 และอนาคตอันไกล ค.ศ. 2075-2099 ผลการจำลองสภาพที่ได้คือในพื้นที่ตอนบน และตอนใต้ฝั่งตะวันตกของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ค่าอัตรา การไหลราย ชั่วโมงสูงสุดเฉลี่ยรายปี และคาบการเกิดซ้ำของน้ำหลาก 10 ปีมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นในช่วงอนาคตอันใกล้ ยิ่งไปกว่านั้นยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างเด่นชัดในช่วงอนาคตอันไกลซึ่งจะนำไปสู่ความเสี่ยงการเกิดน้ำท่วมที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่เหล่านั้น เมื่อพิจารณาปริมาณแหล่งน้ำในพื้นที่ จากค่าอัตราการไหลเฉลี่ยทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า มีแนวโน้มลดลงในช่วงอนาคตอันใกล้และลดลงอย่างเห็นได้ชัดในช่วงอนาคตอันไกล ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดการขาดแคลนน้ำในกลุ่มน้ำ

Kure and Tebakari (2012) ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ด้วยข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.1S และ MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงด้วยวิธี Hybrid Statistical Bias Correction. แล้วนำไปจำลองสภาพทางอุทกวิทยาด้วย Watershed Hydrologic Model ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปี ในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาจะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณฝนที่ตกมากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงท้ายของศตวรรษที่ 21 น้ำท่ารายปีที่นครสวรรค์จะเพิ่มขึ้นถึง 3 พันล้าน ลูกบาศก์เมตร

Champathong et al. (2013) ได้จำลองสภาพน้ำท่าในอนาคตช่วงปลายศตวรรษที่ 21 โดยใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM ด้วยขนาดความละเอียดเชิงพื้นที่ 20-km และ 60-km และใช้แบบจำลอง TRIP ในการจำลองการไหลของน้ำ ผลการศึกษาพบว่า ในอนาคต ปริมาณฝนในช่วงฤดูฝนจะเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำท่าที่สถานี C.2 จังหวัดนครสวรรค์มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

Watanabe et al. (2014) ได้ศึกษาการจำลองน้ำท่าในอนาคต ปี 2080-2099 ในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาด้วยข้อมูลแบบจำลองภูมิอากาศโลก 9 แบบจำลองที่ได้ผ่านการปรับแก้จากโครงการ IMPAC-T หรือที่เรียกว่า IDD (IMPAC-T Driving Dataset) โดยการจำลองสภาพทางอุทกวิทยานั้น ใช้แบบจำลอง H08 ที่พัฒนาโดย Hanasaki et al (2008) ซึ่งผลจากการคาดการณ์น้ำท่าที่เกิดขึ้นแสดงว่า น้ำท่าในเดือน กันยายนจะสูงขึ้น 60-90% เมื่อเทียบกับปีฐาน (1980-1999)

ข้อสรุปจากการศึกษาที่ผ่านมาของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศและการประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลกในการจำลองสภาพน้ำท่าในไทย พบว่า การประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิอากาศโลก จำเป็นต้องเพิ่มคุณภาพของข้อมูลจากแบบจำลองและย่อส่วนให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการนำข้อมูลไปใช้ ซึ่งการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MRI และการปรับแก้ความเอน

เอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid Methods จะสามารถแสดงผลลัพธ์ของฝนในพื้นที่ประเทศไทยได้เป็นอย่างดี สำหรับการจำลองสภาพน้ำท่านั้นมีแบบจำลองที่สามารถใช้ศึกษา ได้หลายชนิด เช่น แบบจำลอง Distributed River Routing, Watershed Hydrologic Model หรือแบบจำลอง H08 ที่มีโมดูลของ Land Surface Scheme และแบบจำลองอีกมากมาย ซึ่งขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของเงื่อนไข และสมมติฐานของการศึกษานั้นๆ โดยในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงการศึกษาที่ผ่านมาในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง Land Surface Model (SiBUC) ในการศึกษาการจำลองสภาพน้ำท่าต่อไป

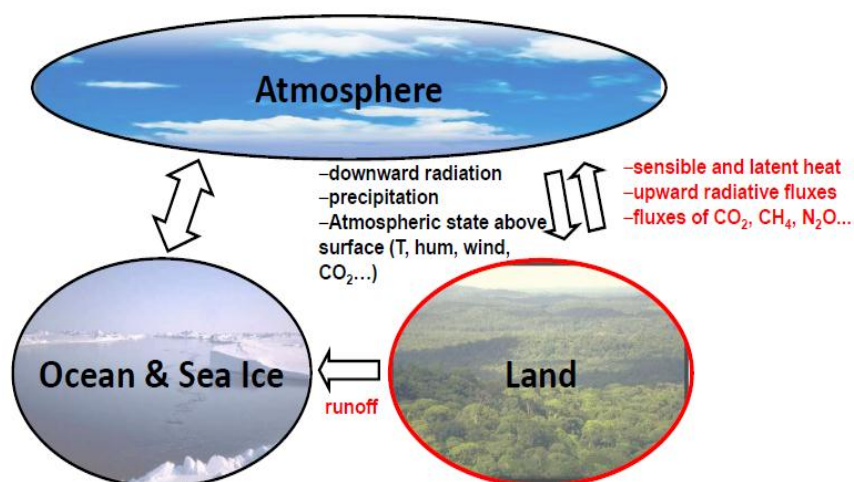
2.2 Land Surface Model

2.2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับ Land Surface Model

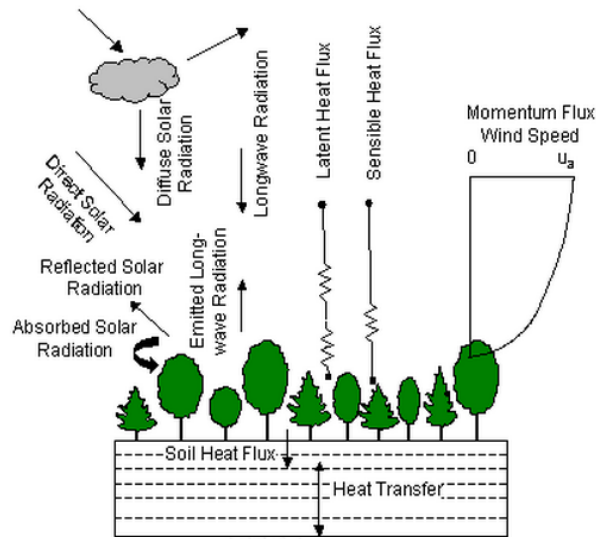
Land Surface Model คือ แบบจำลองการคำนวณ พลังงานบนพื้นผิวและสมดุลน้ำ (Surface Energy and Water Balance) สำหรับอธิบายกระบวนการทางนิเวศวิทยาร่วม ซึ่งแบบจำลองนี้จะศึกษาการมีปฏิสัมพันธ์ของ Biogeophysics (Sensible and Latent Heat, Momentum, Albedo, Emission of Long Waves) กับ BioChemistry (CO_2) ของพื้นดินและชั้นบรรยากาศ (Bonan, 2002.) ดังแสดงในรูปที่ 2-3 ถึง 2-6

$$R_n = \lambda E + SH + G \quad \frac{dS}{dt} = P - E - R_s - R_g$$

รูปที่ 2-3 ความสัมพันธ์ Energy and Water Balance (Davin,2013)



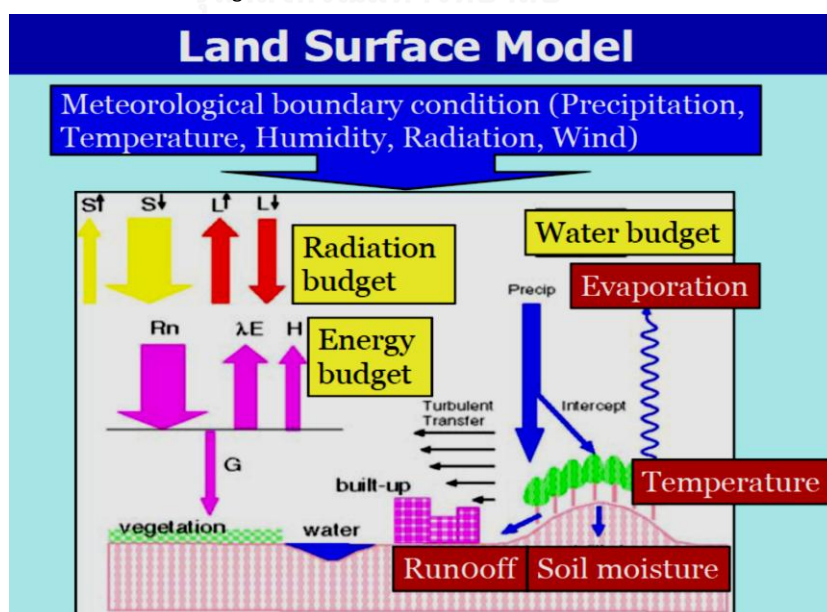
รูปที่ 2-4 บทบาทของ สมดุลพลังงานและสมดุลน้ำของ Land Surface Model (Davin,2013)



รูปที่ 2-5 ระบบภูมิอากาศของระบบนิเวศใน Land Surface Model (Bonan, 2002)

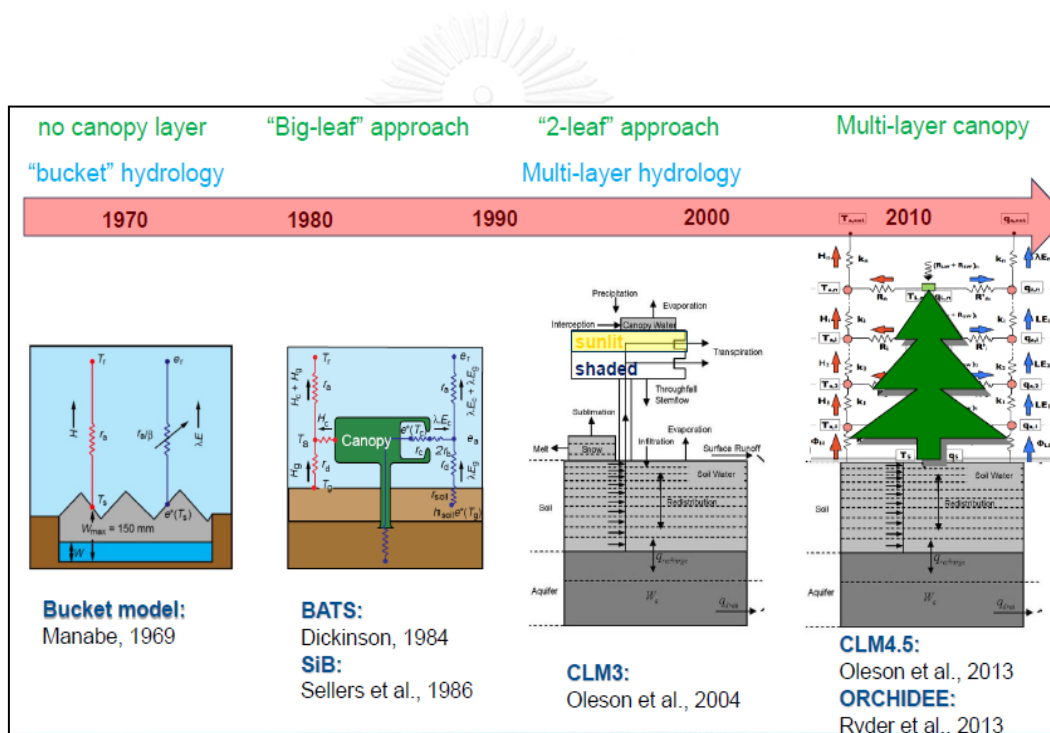
ซึ่งหลักการของ Land Surface Model เป็นความสัมพันธ์กันขององค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

- Meteorological Boundary Condition เงื่อนไขขอบเขตทางอุตุนิยมวิทยา คือ ปริมาณฝน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ รังสี และลม
- Radiation Budget รังสีคลื่นสั้นที่ตกทางขึ้นและลง (S), รังสีคลื่นยาวที่ตกทางขึ้นและลง (L)
- Energy Budget ความสัมพันธ์ของปริมาณการดูดซึมรังสีสุทธิ (R_n), ฟลักซ์ ความร้อนแฝง (λE) และฟลักซ์ความร้อนสัมผัส (H)
- Water Budget ความสัมพันธ์ของปริมาณฝน ปริมาณน้ำท่า และปริมาณไอน้ำ



รูปที่ 2-6 หลักการและองค์ประกอบของ Land Surface Model (Tanaka, 2011)

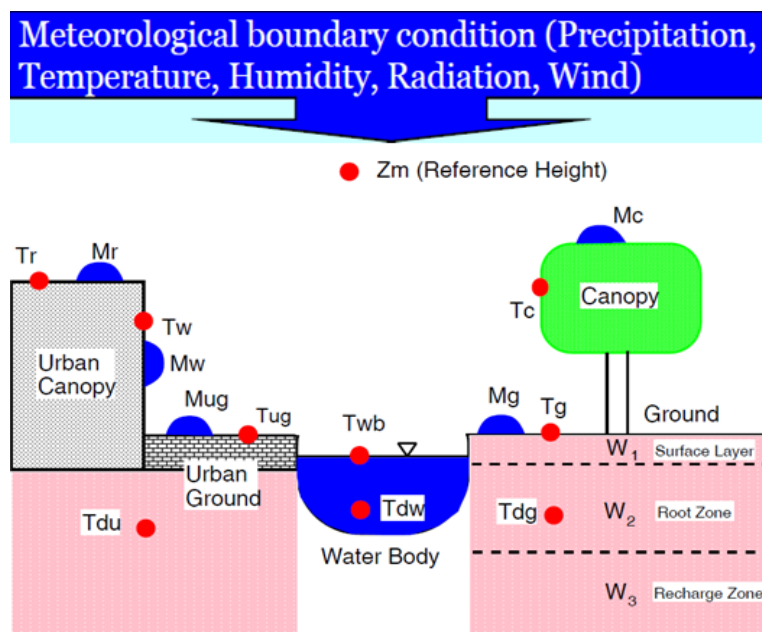
Land Surface Model ได้พัฒนาเรื่อยมา เริ่มต้นยุคแรกปี ค.ศ.1969 โดย Manabe (1969) ใช้ชื่อว่า Bucket Model โดยจำลองในรูแบบของถังที่เติมน้ำด้วยฝนและหิมะ ในขณะที่เอน้ำออกโดยการระเหยและน้ำท่า ในสมมติฐานที่ไม่มี Ground Heat Flux และชั้นการคำนวณในแนวตั้งยังไม่ละเอียดนัก ต่อมาก็ได้มีการพัฒนาการและเพิ่มชั้นการคำนวณในแนวตั้งมากขึ้นเพื่อที่จะสามารถอธิบายความสัมพันธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้น เช่น BATS Model (Dickinson, 1984), SiB Model (Seller et al., 1986) ที่มีการคำนวณมากกว่า 2 เลเยอร์ ชั้นของพืชพื้นดิน และชั้นรากพืช ต่อมาการพัฒนาของแบบจำลองมีการเพิ่มชั้นการคำนวณในแนวตั้ง และการจัดการความหลากหลายของพื้นที่ ด้วย Mosaic Approaches ในแบบจำลองต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 วิวัฒนาการของ Land Surface Model (Davin, 2013)

2.2.2 Land Surface Models ที่ใช้ในการศึกษา

SiBUC Model หรือ Simple Biosphere including Urban Canopy Model รูปที่ 2-8 อธิบายองค์ประกอบและภาพรวมของแบบจำลอง



รูปที่ 2-8 องค์ประกอบต่าง ๆ ใน SiBUC Model (Tanaka, 2011)

Simple Biosphere including Urban Canopy Model หรือ SiBUC Model ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Tanaka et al. (1994) และได้มีการปรับปรุงและพัฒนาเรื่อยมาจนปัจจุบัน (2013) ที่รูปแบบการคำนวณและตัวแปรในการวิเคราะห์ที่พัฒนามากขึ้น พลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานในรูปแบบของการแผ่รังสีความร้อนมายังโลกเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศ รังสีความร้อนจะถูกกระจายออก เป็นการนำความร้อน และการพาความร้อน ซึ่งทั้งในรูปแบบของการนำความร้อน และการพาความร้อนนั้น ขึ้นอยู่กับ ลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดิน และ ระบบอุทกวิทยา ของพื้นที่บริเวณนั้นๆ ดังเช่น

1) ถ้าพื้นที่บริเวณนั้น มีการทำเกษตรกรรม หรือ หลังฝนตก ซึ่งมีความเปียกหรือมีความชื้นสูง พลังงานความร้อนส่วนใหญ่ มักจะถูกนำไปใช้ในการคายน้ำ รวมถึงการระเหยของน้ำ ซึ่งจากกรณีดังกล่าว จะพบว่า พลังงานความร้อนในดิน จะมีค่าต่ำกว่าพลังงานความร้อนแฝง ซึ่งแสดงได้ด้วย ค่า Bowen Ratio มีค่าเข้าใกล้ศูนย์

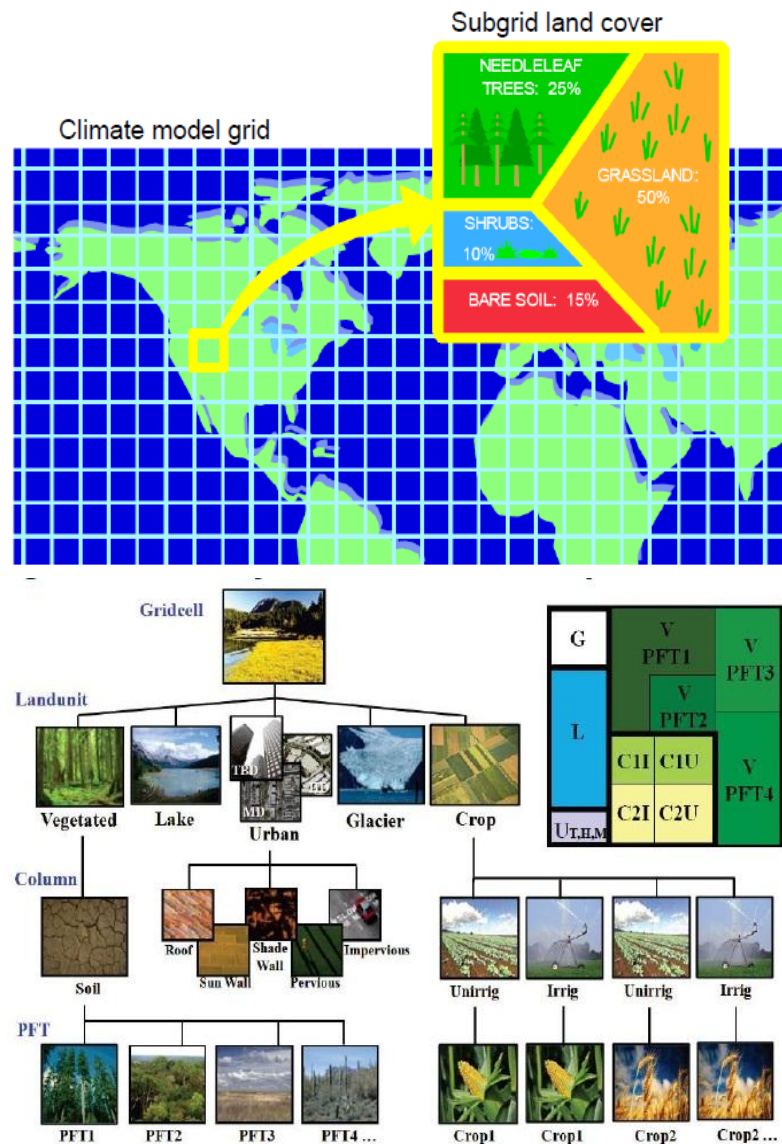
2) ถ้าพื้นที่บริเวณนั้น เป็นพื้นที่แห้ง จะส่งผลให้บริเวณพื้นดินมีความร้อนสูงรวมถึง มีพลังงานความร้อนแฝงที่สูงตามไปด้วย ซึ่งแสดงได้ด้วย ค่า Bowen Ratio มีค่าสูงไม่สิ้นสุด ความสัมพันธ์ของค่า Bowen Ratio ดังแสดงในสมการที่ 2-1

$$\text{Bowen Ratio} = \text{Sensible Heat Loss} / \text{Evaporative Heat Loss} \quad (2-1)$$

3) บริเวณพื้นที่แหล่งน้ำ พลังงานความร้อน จะถูกดูดซับด้วยน้ำ ในการระเหยและวัฏจักรของน้ำ โดยจะแตกต่างกันไปตามฤดูกาล โดยในฤดูร้อนและฤดูใบไม้ผลิพลังงาน จะถูกดูดซึ่มมากกว่า

4) สำหรับการพิจารณาพื้นที่ดิน บริเวณเขตชุมชนเมือง ซึ่งมีความซับซ้อนทางด้านโครงสร้าง แตกต่างจากในกรณีต่างๆที่ผ่านมา รวมถึงคุณลักษณะในการดูดซึ่มพลังงานความร้อน ก็แตกต่างจากในกรณีอื่นเช่นกัน จะพบว่าบริเวณพื้นดินมักปกคลุมด้วย วัสดุพื้นผิวที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำที่ต่ำจนถึง น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้เลย ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลให้ ไม่มีการระเหยของน้ำออกจากผิวดินทำให้พลังงานความร้อนถูกดูดไว้ในบริเวณพื้นที่ดังกล่าวเป็นจำนวนมาก เปรียบเสมือนในกรณีของพื้นที่แห้งรวม ถึงมีพลังงานความร้อนเทียม ซึ่งเป็นพลังงานความร้อนเสริมเพิ่มเติมจากกิจกรรมของมนุษย์ จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น พบว่าพลังงานความร้อนบริเวณเขตชุมชนเมืองมีความซับซ้อนเป็นอย่างมาก ขึ้นกับทั้งโครงสร้างทางกายภาพ ของบริเวณเขตชุมชนเมืองนั้นๆ รวมถึง บริเวณพื้นที่ดิน ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำที่ต่ำ กิจกรรมของมนุษย์ และ ค่าปรับแก้จากทิศทางบริเวณท้องฟ้า (Sky-View Factor) ซึ่งเกิดเนื่องมาจากสัดส่วนพื้นที่ ที่มีการสะท้อนของรังสีความร้อนมีค่าน้อยกว่าพื้นที่แบนราบ (Street Canyon Effect)

เนื่องจากบริเวณพื้นที่ต่างๆ มีลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่แตกต่างกันไป การพิจารณาบริเวณพื้นที่ต่างๆ ซึ่งมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ในแต่ละกริดสำหรับระบบแบบจำลอง ซึ่งต้องการใช้ข้อมูล แผนที่ดิน แผนที่พืชพรรณ แผนที่ภูมิประเทศ และแผนที่ลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมถึง พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่บริเวณเขตชุมชนเมืองและแบ่งสัดส่วนของแต่ละประเภทภายในกริด ดังแสดงในรูปที่ 2-9

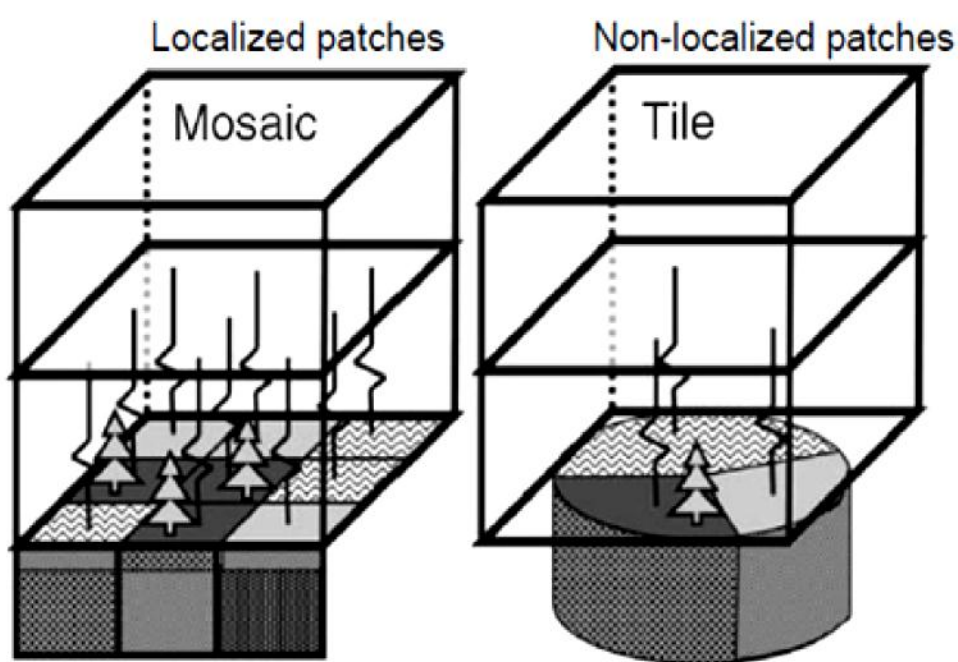


รูปที่ 2-9 ตัวอย่างความหลากหลายของชนิดพื้นที่ในกริด (Davin, 2013)

ความละเอียดเชิงพื้นที่ ขึ้นกับความละเอียดของผลลัพธ์ที่ต้องการ รวมถึงประสิทธิภาพของข้อมูลที่มีด้วยเช่นกันซึ่งถ้ามีการใช้ความละเอียดเชิงพื้นที่ที่เล็กที่สุดที่สามารถทำได้ ข้อมูลจะมีความละเอียดมาก รวมถึงสามารถกำจัดความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ของข้อมูลได้อีกด้วย แต่จำนวนช่องตารางกริดก็จะมีปริมาณมากเกินไป หลักการในการกำจัดความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของข้อมูลนั้นมีหลักการ ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว อยู่ 2 แนวทาง ดังแสดงในรูปที่ 2-10 (Davin, 2013) คือ

- หาค่าตัวแปรประสิทธิภาพ ซึ่งค่าตัวแปรดังกล่าว จะเป็นค่าตัวแทนของข้อมูลกริดในแต่ละช่องนั้นๆ ซึ่งหลักการดังกล่าว ได้มีการศึกษาไว้แล้ว โดย Shuttleworth et al (1997) ซึ่งวิธีดังกล่าวมีความยากในการที่จะคำนวณตัวแปรประสิทธิภาพของแต่ละกริด

- การใช้กระบวนการ Mosaic ซึ่งได้มีการศึกษาไว้แล้ว โดย Avissar and Pielke (1989) โดยมีหลักการ คือ ตัวแปรในแต่ละช่องข้อมูลกริด มีความเป็นอิสระต่อกันโดย ในแต่ละกริดจะมีการหาสัดส่วนประเภทพื้นที่ต่างๆ ต่อพื้นที่กริดทั้งหมด



รูปที่ 2-10 ตัวอย่าง Mosaic Approach และ Tile Approach (Ament and Simmer, 2006)

หลักการของ Simple Biosphere including Urban Canopy Model หรือ SiBUC Model นั้น มีการพิจารณาลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกันไปในแต่ละกริด ซึ่งพื้นที่ในแต่ละกริดนั้น ไม่มีความเป็นเนื้อเดียวกันและมีความหลากหลายโดยใช้วิธี Mosaic Approach ด้วยการหาสัดส่วนของชนิดการใช้ที่ดินต่อพื้นที่ในแต่ละกริด ซึ่งมีการถ่วงน้ำหนักประเภทพื้นที่แบบต่างๆ ในกริดโดยจะมีการแบ่งลักษณะของการใช้ประโยชน์ที่ดิน บริเวณพื้นที่ผิวดิน เป็น 3 ประเภท ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ส่วนย่อย คือ

1) Green Area (Vegetation Canopy(c), Ground(g)) จะคำนวณโดย Green Area Model ซึ่งเป็น Sub-Model ของ SiBUC Land Surface Model โดยการวิเคราะห์พื้นที่

ที่มีการปลูกพืช มีการทำการเกษตร จะอ้างอิงมาจากการวิเคราะห์ของ SiB Model (Sellers et al., 1986) โดยตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆใน Green Area Model แสดงในรูปแบบที่ 2-11 และ 2-12 ในขณะที่ค่าคงที่ต่างๆทางกายภาพ จะแสดงใน ตาราง 2-1 โดยที่แบบจำลองจะมีหน้าที่คำนวณกระบวนการทางกายภาพต่างๆ ดังนี้

- Radiative Transfer (the Reflection, Transmission, Absorption and Emission) ของรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ และช่วงอินฟราเรดใกล้
- Interception Loss ฝนที่ค้างบนผิวใบ หรือบนพืช และการระเหย
- Soil Hydrology (Infiltration, Drainage and Storage) ของน้ำในดิน
- Canopy Resistance (Photosynthetically Active Radiation, Moisture Potential over the Stomatal Functioning)
- Transpiration การส่งผ่านความชื้นจากดินสู่บรรยากาศโดยการคายน้ำของพืช
- Turbulent Flux การถ่ายโอนทางอากาศพลศาสตร์ของ ไอน้ำ ความร้อนสัมผัส และโมเมนตัม (Water Vapor, Sensible Heat and Momentum) จากดินและพืชสู่ระดับอ้างอิงบนขอบเขตบรรยากาศ

Symbol	Definition	Units
Rn_c, Rn_g	absorbed net radiation absorbed	$W m^{-2}$
H_c, H_g	sensible heat flux	$W m^{-2}$
$\lambda E_c, \lambda E_g$	latent heat flux	$W m^{-2}$
C_c, C_g, C_d	effective heat capacity	$J m^{-2} K^{-1}$
k_s	soil thermal conductivity	$W m^{-1} K^{-1}$
c_s	soil heat capacity	$J m^{-3} K^{-1}$
E_s	direct evaporation of water from the surface soil layer	$kg m^{-2} s^{-1}$
$E_{dc,1}, E_{dc,2}$	abstraction of soil moisture by transpiration	$kg m^{-2} s^{-1}$
E_{wc}, E_{wg}	rate of evaporation of water from wet portions	$kg m^{-2} s^{-1}$
P_c, P_g	rate of precipitation interception	$m s^{-1}$
D_c, D_g	water drainage rate	$m s^{-1}$
P_1	infiltration of precipitation into the upper soil layer	$m s^{-1}$
$Q_{1,2}, Q_{2,3}$	flow between soil layer	$m s^{-1}$
Q_3	gravitational drainage from recharge layer	$m s^{-1}$
K_i	hydraulic conductivity of i th layer	$m s^{-1}$
ψ_i	soil moisture potential of i th layer	m
ψ_l	leaf water potential	m
ψ_r	soil moisture potential in root zone	m
r_b	bulk canopy boundary layer resistance	$s m^{-1}$
r_d	aerodynamic resistance between ground and canopy air space	$s m^{-1}$
r_a	aerodynamic resistance between canopy air space and reference height	$s m^{-1}$
r_c	bulk canopy resistance	$s m^{-1}$
r_{surf}	bare soil surface resistance	$s m^{-1}$

The subscript c refers to the canopy, g to the ground, and d to the deep soil.

รูปที่ 2-11 ตัวแปรต่างๆที่ใช้ใน Green Area Model (Tanaka, 2011)

Symbol	Definition	Unit
Time-invariant vegetation parameters		
morphological properties		
z_2	height of canopy top	m
z_1	height of canopy bottom	m
z_c	inflection height for leaf-area density	m
z_s	ground roughness length (0.05)	m
V_c	canopy cover fraction	—
χ_L	Ross-Goudriaan leaf-angle distribution factor	—
G_1, G_4	momentum transfer coefficient parameters (1.449, 11.785)	—
l_w, l_l	leaf dimension (width, length)	m
D_1	depth of surface soil layer (0.02)	m
D_r	root depth ($D_1 + D_2$)	m
D_T	total soil depth ($D_1 + D_2 + D_3$)	—
D_d	root length density	m m^{-3}
ϕ_s	mean topographic slope (0.176)	radians
optical properties		
α_V	leaf reflectance for visible	—
α_N	leaf reflectance for near infra-red	—
δ_V	leaf transmittance for visible	—
δ_N	leaf transmittance for near infra-red	—
$\alpha_{s,V}$	soil reflectance for visible	—
$\alpha_{s,N}$	soil reflectance for near infra-red	—
physical properties		
C_l	drag coefficient of a canopy leaf	—
C_s	heat/vapor transfer coefficient of a canopy leaf	—
physiological properties		
a_2, b_2, c_2	light dependent stomatal response parameters	—
T_l, T_h, T_o	lowest, highest, and optimum temperatures for stomatal functioning	K
h_s	parameter governing stomatal response to the vapor pressure	mb^{-1}
ψ_{c1}	leaf water potential at which stomata start to close	m
ψ_{c2}	leaf water potential at which stomata are completely closed	m
r_{plant}	resistance imposed by plant vascular system (2.5×10^8)	s
R	root resistance per unit area (4.0×10^{12})	s m^{-1}
Time-varying vegetation parameters		
L_T	total leaf area index	$\text{m}^2 \text{m}^{-2}$
N	canopy greenness fraction	—
Soil physical properties		
ψ_s	soil water potential at saturation	m
K_s	soil hydraulic conductivity at saturation	ms^{-1}
B	soil wetness parameter	—
θ_s	soil water content at saturation (porosity)	$\text{m}^3 \text{m}^{-3}$

รูปที่ 2-12 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ใน Green Area Model (Tanaka, 2011)

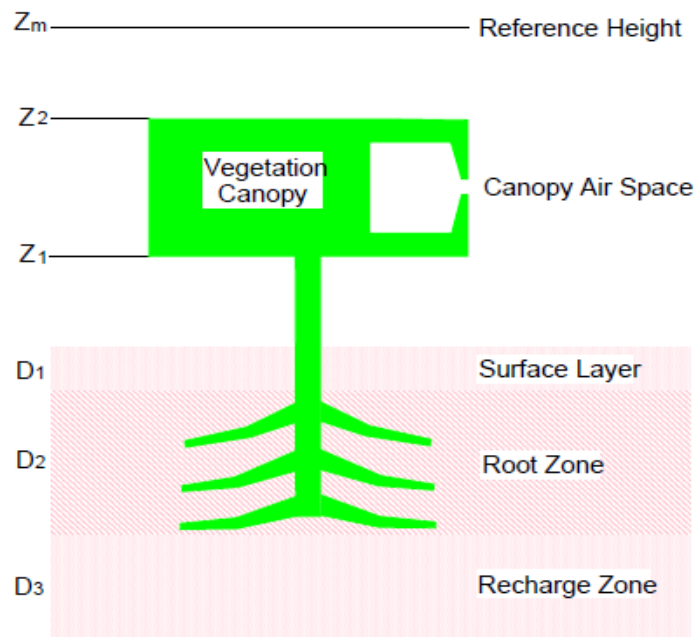
ตารางที่ 2-1 ค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ใช้ใน SiBUC Model (Tanaka, 2011)

Symbol	Definition		Unit
λ	Latent Heat of Vaporization		J kg^{-1}
c_w	Specific Heat of Water	4.18×10^6	$\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$
k_w	Thermal Conductivity	0.6	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$
ϵ_w	Emissivity of Water	0.97	
σ	Stephan-Boltsman Constant	5.6698×10^{-8}	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$
ρ	Density of Air	1.2	kg m^{-3}
ρ_w	Density of Water	1000	kg m^{-3}
C_p	Specific Heat of Air	1010	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
γ	Psychrometric Constant	0.662	mb K^{-1}
ω	Angular Frequency of Diurnal Cycle	$2\pi/86400$	s^{-1}
K	Von Karman's Constant	0.4	
g	Gravity Acceleration	9.8	ms^{-2}

Green Area Model แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ Vegetation Canopy และ Root-Soil Model ซึ่งแบ่งเป็น 3 ชั้น คือ Surface Layer, Root Zone และ Recharge Zone โดยตั้งสมมติฐานให้ ระบบรากพืชอยู่ในชั้นที่ 2 ซึ่งสามารถได้รับการเติมน้ำจาก ชั้นที่ 3 ที่เป็น Baseflow ส่วนชั้นแรกเป็น ชั้นบางๆ สำหรับการระเหยของน้ำในขณะที่พื้นผิวเปียก ดังแสดงในรูปที่ 2-13 และพืชแต่ละชนิดนั้นก็จะมีค่าคงที่ต่างๆแตกต่างกันไป โดยในแบบจำลองจะมีการแบ่งชนิดของพืชดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 การจัดกลุ่มประเภทพืชในแบบจำลอง Green Area Model (Tanaka, 2011)

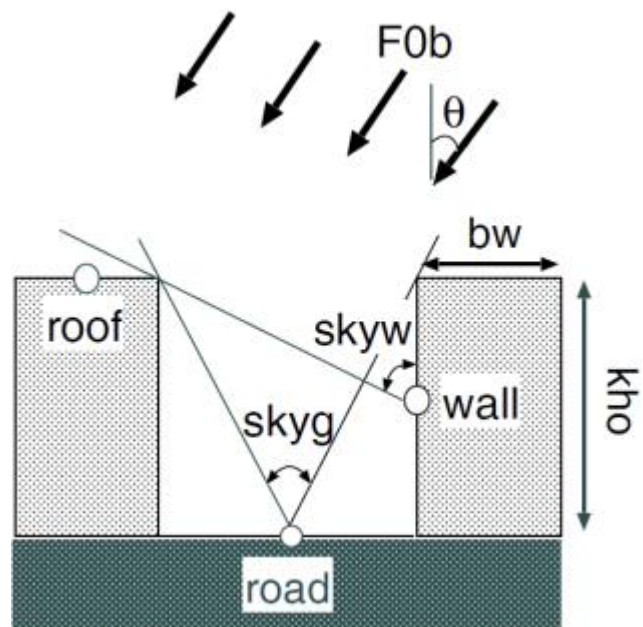
Type	Name	Type	Name
1	Broadleaf-evergreen trees	7	Broadleaf shrubs with bare soil
2	Broadleaf-deciduous trees	8	Dwarf trees
3	Mixed forest	9	Dry cropland
4	Needleleaf-evergreen trees	10	Paddy field
5	Needleleaf-deciduous trees	11	Wheat
6	grassland		



รูปที่ 2-13 โครงสร้างของแบบจำลอง Green Area Model. (Sellers et al.,1996)

2) Urban Area (Urban Canopy(uc), Urban Ground(ug)) จะคำนวณด้วย Urban Canopy Model ซึ่งเป็น Sub-Model ของ LSS ซึ่งพัฒนามาจากแบบจำลองบรรยากาศระดับสเกลปานกลาง หรือ Mesoscale Atmospheric Model ซึ่งจากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น บริเวณเขตชุมชนเมือง มีความหลากหลาย ซับซ้อน ในด้านของการวิเคราะห์ ทั้งในด้านของโครงสร้างทางกายภาพ รวมถึงปัจจัยอื่นๆ ซึ่งโมเดลดังกล่าว ได้ถูกนำเสนอให้มีความยุ่งยากที่น้อยที่สุด สามารถที่จะใช้โมเดลดังกล่าวในที่แห่งใดก็ได้ Masson (2000) ได้มีการนำเสนอ การพิจารณา ในหลักการของ Canyon Geometry ซึ่งตัวโมเดลสามารถที่จะกำหนดระดับความสูงของโครงสร้าง ที่อยู่ในระดับความสูงที่แตกต่างกันได้ แล้วใช้การวิเคราะห์ เพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งพลังงานความร้อนใน บริเวณพื้นที่เขตชุมชนเมือง

Street Canyon Geometry พัฒนาโดย Urban Climatologists ซึ่งจะมี ส่วนประกอบพื้นฐานคือ ถนนและสิ่งก่อสร้าง ดังแสดงในรูป 2-14 หากเราสามารถรวบรวมข้อมูล ตำแหน่งและความสูงของทุกๆตึก ทุกๆถนนได้ เราก็จะสามารถคำนวณ Energy and Radiation Budget ของแต่ละแห่งได้ แต่ทว่าข้อมูลต่างๆเหล่านั้นจะรวบรวมมาได้ค่อนข้างยาก ถึงแม้ว่าจะรวบรวมมาได้ แต่ในการคำนวณรังสีและลมก็จะเปลี่ยนทิศทางตามเวลาอยู่ดี ดังนั้นในการคำนวณ จึงใช้วิธีการตั้งสมมติฐานว่า พื้นผิวจะตั้งฉากกับรังสีจากดวงอาทิตย์เสมอและตึกหรืออาคาร จะตั้งอยู่ในแนวถนน รูปที่ 2-15 แสดงตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ใน Urban Canopy Model



รูปที่ 2-14 แผนภาพองค์ประกอบพื้นฐาน และรังสีที่ตกกระทบ (Tanaka, 2011)

symbol	definition	unit
V_{ua}	fraction of urban area in a grid area	
V_{uc}	building coverage in V_{ua}	
n	highest number of building story	
k	number of building story in a canyon	
$r(k)$	fraction of k -story building	
h_0	unit height of story	m
b_w	building width	m
skyw, skyg	sky-view factor for wall and road	rad
C_d	drag coefficient	
$\alpha_i (i = r, w, ug)$	reflectance (albedo)	
$\varepsilon_i (i = r, w, ug)$	emissivity	
$c_i (i = r, w, ug)$	specific heat	$J m^{-3} K^{-1}$
$k_i (i = r, w, ug)$	thermal conductivity	$W m^{-1} K^{-1}$
θ	incident angle of direct beam radiation	rad
$dS_i, uS_i (i = r, lw, rw, ug)$	downward and upward short-wave radiation	$W m^{-2}$
$dL_i, uL_i (i = r, w, ug)$	downward and upward long-wave radiation	$W m^{-2}$
$Rn_i (i = r, w, ug)$	net radiation	$W m^{-2}$
$H_i (i=r,w,ug)$	sensible heat flux from roof, wall, road	$W m^{-2}$
$E_i (i=r,w,ug)$	rates of evaporation from roof, wall, road	$m s^{-1}$
$P_i (i=r,w,ug)$	rate of rainfall interception by the roof, wall, road	$m s^{-1}$
$D_i (i=r,w,ug)$	rate of drainage from the roof, wall, road	$m s^{-1}$
$F_{0bi} (i = r, w, ug)$	direct beam component of short-wave radiation	$W m^{-2}$
$F_{0di} (i = r, w, ug)$	diffuse component of short-wave radiation	$W m^{-2}$
$F_{0ti} (i = r, w, ug)$	long-wave radiation (diffuse only)	$W m^{-2}$
P	rainfall rate	$m s^{-1}$
u_m	wind speed at reference height	K
T_m	temperature at reference height	K
e_m	vapor pressure at reference height	hPa
$T_i (i = r, w, ug, du, bi)$	temperature	K
$e_s(T_i) (i=r,w,ug)$	saturation vapor pressure at T_i	hPa
$M_i (i=r,w,ug)$	water held on the roof, wall, road	m
$S_i (i=r,w,ug)$	maximum value of M_i	m
$W_i (i=r,w,ug)$	wetted fraction of roof, wall, road	
$r_i (i = r, w, du, au)$	aerodynamic resistance	$s m^{-1}$

where subscript ($-r, -w, -lw, -rw, -ug, -du, -bi$) stands for roof, wall, left-side wall, right-side wall, road, soil, inside of building, respectively.

รูปที่ 2-15 พารามิเตอร์และตัวแปรต่างๆใน Urban Canopy Model (Tanaka, 2011)

3) Water Body (wb) คำนวณด้วย Water Body Model เป็น Sub-Model ของ LSS โดยอ้างอิงจาก Force-Restore Model ซึ่งใช้ข้อมูลการตรวจวัดค่าฟลักซ์ต่างๆจาก Lake Biwa Project และนำมาใช้วิเคราะห์และพัฒนา Water Body Model ซึ่งได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองเรียบร้อยแล้ว โดยตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆแสดงในรูปที่ 2-16

symbol	definition	unit
z_m	reference height	m
u_m	wind speed at reference height	$m s^{-1}$
T_m	air temperature at reference height	K
e_m	vapor pressure at reference height	mb
q_m	specific humidity at reference height	$kg kg^{-1}$
μ	cosine of zenith angle of incident beam	
T_{wb}	temperature of surface layer	K
T_{dw}	temperature of deep layer	K
q_{wb}	saturation specific humidity at T_{wb}	$kg kg^{-1}$
Rn_{wb}	net radiation flux	$W m^{-2}$
$F_{s,wb}$	short-wave radiation absorbed by water body	$W m^{-2}$
H_{wb}	sensible heat flux	$W m^{-2}$
E_{wb}	evaporation rate	$kg m^{-2}S^{-1}$
τ_{wb}	momentum flux absorbed by water surface	$kg m^{-1}s^{-2}$
u_*	friction velocity	$m s^{-1}$
z_0	surface roughness	m
L	Monin-Obukov length	m
ζ	non-dimensional stability factor	
r_{aw}	aerodynamic resistance between water surface and reference height	$s m^{-1}$
C_{wb}	effective heat capacity of surface layer	$J m^{-2}K^{-1}$
C_{dw}	effective heat capacity of deep layer	$J m^{-2}K^{-1}$
Z_s	effective depth of surface layer	m
β	short-wave radiation penetration factor	
α	albedo of water surface	
α_1, α_2	parameter for albedo model ($\alpha = \alpha_1\mu^{\alpha_2}$)	

รูปที่ 2-16 พารามิเตอร์และตัวแปรต่างๆใน Water Body Model (Tanaka, 2011)

Fractional Area ใน 1 กริด ของแบบจำลองแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. V_{ga} สัดส่วนพื้นที่ของ Green Area กับพื้นที่ของตารางกริด
2. V_{ua} สัดส่วนพื้นที่ของ Urban Area กับพื้นที่ของตารางกริด
3. V_{wb} สัดส่วนพื้นที่ของ Water Body กับพื้นที่ของตารางกริด

โดยความสัมพันธ์ดังกล่าว จะแสดงอยู่ในรูปของสมการที่ (2-2)

$$V_{ga} + V_{ua} + V_{wb} = 1 \quad (2-2)$$

$$V_{ga} \geq 0, \quad V_{ua} \geq 0, \quad V_{wb} \geq 0$$

ปริมาณของพลังงานความร้อนรวมถึงพลังงานความร้อนแฝง จะถูกคำนวณแยก ในแต่ละส่วนประกอบ ซึ่งก็คือ Green Area, Urban Area และ Water Body ตามลำดับ แล้วนำไปคูณกับ สัดส่วนพื้นที่ ของแต่ละส่วนประกอบ เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ของตารางกริดตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำมารวมกัน ก็จะได้ปริมาณพลังงานความร้อนในแต่ละช่องข้อมูลของตารางกริด

$$[F]_{total} = [F]_{ga} V_{ga} + [F]_{ua} V_{ua} + [F]_{wb} V_{wb} \quad (2-3)$$

ผลลัพธ์ที่ได้จาก SiBUC Model นั้น จะได้เป็นค่าพลังงานความร้อน หรือ ค่าอุณหภูมิบริเวณผิวดิน ที่ได้มาจาก 3 ส่วนประกอบย่อย ใน SiBUC Model นั้นก็คือ Green Area, Urban Area และ Water Body ที่นำมารวมกันเป็นค่าพลังงานรวมของแต่ละกริดตามหลักการของ Mosaic ตามความละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูลกริดที่เราได้ทำการกำหนดไว้ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ เนื่องจากแบบจำลองมีการแบ่งประเภทการใช้ที่ดินและมีการคำนวณแต่ละประเภทแตกต่างกันดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

โดยแบบจำลอง SiBUC รุ่นที่นำมาใช้ศึกษาในครั้งนี้ จะคำนวณน้ำท่าโดยไม่คำนึงถึงผลของการบริหารน้ำจากเขื่อนหลัก ดังนั้นข้อมูลน้ำท่าสังเกตการณ์ที่สถานีท้ายเขื่อน เช่น ที่สถานีตอนล่างของกลุ่มน้ำปิง เช่น สถานี P.7A และสถานี P.17 จะต้องปรับลดผลจากเขื่อนภูมิพล ที่สถานีท้ายเขื่อนสิริกิติ์ เช่น สถานี N.60 จะต้องปรับลดผลจากเขื่อนสิริกิติ์ ส่วนที่สถานี C.2 จะต้องปรับลดผลจากการปล่อยน้ำของทั้งเขื่อนภูมิพล และสิริกิติ์ออกจากปริมาณน้ำท่าสังเกตการณ์ (Kotsuki et al., 2013a) ตามสมการนี้

$$ND = OD + [inf + pump - outf]$$

โดยที่	ND	คือ	น้ำท่าธรรมชาติ (Naturalized Runoff) m ³ /s
	OD	คือ	น้ำท่าสังเกตการณ์ m ³ /s
	Inf	คือ	ปริมาณน้ำไหลเข้าสู่เขื่อน (Inflow) m ³ /s
	Pump	คือ	อัตราการสูบน้ำเข้าสู่เขื่อน m ³ /s

Outf คือ อัตราการปล่อยน้ำออกจากเขื่อน (Outflow) m^3/s
 โดยที่สถานี C.2 จ.นครสวรรค์ จะต้องปรับลดทั้งผลจากเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์
 ดังนั้น สมการในการคำนวณของสถานี C.2 จะเป็นดังนี้

$$ND_{C2} = OD_{C2} + [inf_{BB} + pump_{BB} - outf_{BB}] + [inf_{SK} + pump_{SK} - outf_{SK}]$$

ส่วนที่สถานีท้ายเขื่อนในกลุ่มน้ำปิงจะพิจารณาปรับลดเฉพาะผลจากเขื่อนภูมิพล และ
 สถานีลุ่มน้ำน่านจะปรับลดเฉพาะผลจากเขื่อนสิริกิติ์

ตารางที่ 2-3 ตัวอย่างตัวแปรต่างๆที่ใช้ใน SiBUC Model (Tanaka, 2011)

Prognostic Variables		
Green Area		
T_c	Temperature for Vegetation Canopy	เคลวิน
T_g	Temperature for Soil Surface	เคลวิน
T_d	Temperature for Deep Soil in Green Area (Daily mean of T_g)	เคลวิน
M_c	Interception Water stored on Canopy	เมตร
M_g	Interception Water puddled on the Ground	เมตร
W_1	Soil Moisture wetness for Surface Layer	-
W_2	Soil Moisture wetness for Root Zone	-
W_3	Soil Moisture wetness for Recharge Layer	-
Urban Area		
T_r	Temperature for Building Roof	เคลวิน
T_w	Temperature for Building Wall	เคลวิน
T_{ug}	Temperature for Road	เคลวิน
T_{du}	Temperature for Deep Soil in Urban Area (Daily mean of T_{ug})	เคลวิน
M_r	Interception Water stored on the Building Roof	เมตร
M_w	Interception Water stored on the Building Wall	เมตร
M_{ug}	Interception Water puddled on the Road	
Water Body		
T_{wb}	Temperature for Water Surface	เคลวิน
T_{dw}	Temperature for Deep Water (Daily mean of T_{wb})	เคลวิน
Boundary Condition		
Z_m	Reference Height	เมตร
T_m	Air Temperature at Z_m	เคลวิน
e_m	Vapor Pressure at Z_m	มิลลิบาร์
u_m	Wind Speed at Z_m	เมตร / วินาที
$S \downarrow$	Downward Short-Wave Radiation	W / ตารางเมตร
$L \downarrow$	Downward Long-Wave Radiation	W / ตารางเมตร
P	Precipitation Rate	เมตร / วินาที

2.2.3 การศึกษาที่ผ่านมามีเกี่ยวกับ Land surface model (SiBUC)

Kotsuki, Tanaka and Komori (2013a) ได้ศึกษาลักษณะของสมดุทางอุทกวิทยาในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน โดยใช้แบบจำลอง SiBUC Land Surface Model ด้วยข้อมูลฝน 6 ชุด คือ APHRODITE, GPCC, H08, GPCP, GPMaP, และ JRA25 ผลการศึกษาพบว่า ในพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ปริมาณฝนจากข้อมูลฝนต่าง ๆ นั้น มีความแตกต่างกันมากบริเวณ ประเทศพม่า คาบสมุทรมลายู และเกาะสุมาตรา แต่ถึงแม้ว่าฝนจะมีความแตกต่างกัน แต่ผลการจำลองค่าการคายระเหยกลับมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ในขณะที่ความแตกต่างส่วนใหญ่ของฝนจะเปลี่ยนไปเป็นน้ำท่า สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ได้จำลองสภาพน้ำท่าที่สถานี C.2, เขื่อนภูมิพล, เขื่อนสิริกิติ์, Y.6 และ W.4A ด้วยข้อมูลฝน APHRODITE และข้อมูลฝนสังเกตการณ์ในลุ่มน้ำเจ้าพระยา ผลการศึกษาระบุว่า การจำลองสภาพด้วยข้อมูลฝนสังเกตการณ์ให้ผลที่ดีกว่าการใช้ APHRODITE ในทุกสถานี แต่ทว่า การใช้ฝนสังเกตการณ์ในบางสถานีผลการจำลองก็น้อยกว่าค่าน้ำท่าตรวจวัด เช่นที่ สถานีเขื่อนสิริกิติ์ หรือ ที่สถานี W.4A ก็สูงกว่า ส่วนที่ สถานี Y.6, C.2 และ เขื่อนภูมิพล ผลการจำลองน้ำท่าใกล้เคียงกับค่าตรวจวัด

Kotsuki and Tanaka (2013b) ได้ศึกษาเงื่อนไขที่ทำให้เกิดน้ำท่วมที่สถานี C.2 ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยใช้แบบจำลอง SiBUC Land Surface Model โดยใช้ข้อมูลฝนจากโครงการ IMPAC-T (Kotsuki and Tanaka, 2013b) ซึ่งเป็นข้อมูลฝนที่ได้มาจากกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยา ผลการศึกษาพบว่า อุทกภัยครั้งใหญ่ที่เกิดขึ้นในปี 2011 มีสาเหตุมาจากปริมาณฝนที่ตกมากกว่าปกติถึง 40% ส่งผลให้เกิดน้ำท่าธรรมชาติ (Naturalized Runoff) ถึง 125% จากค่าเฉลี่ยในปีปกติ ในขณะที่ปริมาณฝนเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ยประมาณ 10% ก็ส่งผลให้เกิดน้ำท่าธรรมชาติ (Naturalized Runoff) ประมาณ 50-75% แต่ในบางปีมีปริมาณฝนมากกว่าค่าเฉลี่ย แต่ไม่เกิดน้ำท่วมใหญ่ ซึ่งมีสาเหตุจากปริมาณฝนในช่วงเดือน มิถุนายน-สิงหาคม ทำให้ดินเกือบถึงจุดอิ่มตัวในเดือนกันยายน ซึ่งหากมีฝนตกลงมาอีกดินไม่สามารถรับน้ำไว้ได้ ก็จะกลายเป็นน้ำผิวดินโดยทันที ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมได้ แต่บางปีในช่วงเดือน มิถุนายน-สิงหาคมอาจจะมีฝนตกมาก แต่ในเดือนตุลาคมอาจจะน้อย ซึ่งดินอาจจะยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว น้ำก็อาจจะไม่ท่วมหรืออาจจะท่วมเล็กน้อย ดังนั้นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดน้ำท่วมใหญ่คือ ปริมาณฝนที่ตกในช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม

Kotsuki and Tanaka (2013c) ได้ศึกษาความไม่คงตัวของฝนและผลกระทบต่อสภาพน้ำท่าโดยใช้แบบจำลอง SiBUC Land Surface Model ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และที่สถานี C.2 ผลการศึกษาพบว่า ถึงแม้ปริมาณฝนที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างข้อมูล

ฝนหลายๆ ชนิด แต่ทว่าความแตกต่างเพียงเล็กน้อยนั้นอาจส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ได้มาก

Kotsuki, Tanaka and Watanabe (2014) ได้ศึกษาคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาในอนาคตอันใกล้ 2040-2059 และอนาคตอันไกล 2080-2099 ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยใช้ข้อมูลจาก 6 แบบจำลองภูมิอากาศโลกจากโครงการ IMPAC-T (CSIRO-Mk3.6, INM-CM4, MIROC5, CNRM-CM5, GFDL-ESM2M และ IPSL-CM5A-LR) ภายใต้ RCPs 4.5 และ 8.5 และจำลองสภาพน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SiBUC Land Surface Model ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณฝนในอนาคตช่วงกลางฤดูฝนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดปริมาณน้ำท่าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงปลายฤดูฝน โดยทั้ง 6 GCMs แสดงให้เห็นว่า ปริมาณที่เพิ่มขึ้นนั้นมากกว่า 20% และผลจากการจำลองสภาพภายใต้ RCPs 8.5 จะมีค่าปริมาณฝน และปริมาณน้ำท่าที่สูงกว่า RCPs 4.5 ทั้งในอนาคตอันใกล้และไกล สาเหตุมาจากอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่สูงขึ้นส่งผลต่อปริมาณฝนและน้ำท่าในลุ่มน้ำ

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า แบบจำลอง Land Surface Model SiBUC เป็นเครื่องมือหนึ่งในการใช้ศึกษาการจำลองสภาพน้ำท่าซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานร่วมกับแบบจำลองภูมิอากาศโลกได้เป็นอย่างดี ทว่าในการศึกษาที่ผ่านมาด้วยแบบจำลอง SiBUC นั้น ยังไม่มีการประยุกต์ใช้ร่วมกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งเป็นข้อดีอีกอย่างหนึ่งของแบบจำลอง ที่มีการแบ่งประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและการคำนวณสมดุลพลังงานและสมดุลน้ำจากประเภทการใช้ที่ดินชนิดต่างๆ จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SiBUC ในการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อสภาพน้ำท่า นอกจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ได้มีผู้ศึกษามาบ้างแล้ว

2.3 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (Land Use and Land Cover Change) หมายถึงการแทนที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินหรือสิ่งปกคลุมดินชนิดเดิมด้วยการใช้ประโยชน์ที่ดินหรือสิ่งปกคลุมดินชนิดใดชนิดหนึ่ง (Richard, 1990) โดยศึกษาข้อมูลของการใช้ที่ดินหรือสิ่งปกคลุมดินหลายช่วงเวลามาเปรียบเทียบกัน เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงระหว่างสองระยะเวลา

2.3.1 ปัจจัยสำคัญในการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เป็นแรงขับ (Driving Force) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2549)

2.3.1.1 ปัจจัยด้านกายภาพ

ลักษณะภูมิอากาศ ลักษณะทางอุทกวิทยา ชนิดดิน ลักษณะพื้นที่ ลักษณะการใช้ที่ดินในอดีต ความอุดมสมบูรณ์ เป็นปัจจัยที่ทำให้ผู้ใช้ที่ดินตัดสินใจว่าจะใช้พื้นที่หรือขยายออกไปหรือไม่ เหมาะสมกับการดำเนินกิจกรรมอะไร

2.3.1.2 ปัจจัยมนุษย์

การเพิ่มขึ้นของประชากรการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมเป็นปัจจัยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ทำได้โดยการศึกษาข้อมูลปัจจัย และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในอดีต เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงนั้น และนำความสัมพันธ์ดังกล่าวสร้างขึ้นเป็นแบบจำลองเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงในอนาคต โดยตัวแปรที่มีความสำคัญในการทำนายการเปลี่ยนแปลงอาจกล่าวได้ดังนี้ (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2549)

1) ตัวแปรด้านประชากร (Demographic Variable, D)

- จำนวนและความหนาแน่นของประชากร
- อัตราการเพิ่มของประชากร

2) ปัจจัยด้านเศรษฐกิจ (Economic Variable, E)

- รายได้ประชากร
 - การพัฒนาด้านเทคโนโลยี
 - อัตราเติบโตทางเศรษฐกิจ
- 3) ความเข้มข้นในการใช้ที่ดิน (Land-use Intensification, LI)
- ใช้แบบไร่เลื่อนลอยหรือถาวร
 - กิจกรรมเกี่ยวกับการทำไม้ออกจากป่าโดยระบบเลือกตัดหรือตัดหมด (clear cutting)
- 4) ปัจจัยทางชีวกายภาพของพื้นที่ (Biophysical Variable, BP)
- ศักยภาพในการให้ผลผลิตของที่ดิน (ความอุดมสมบูรณ์ แหล่งน้ำ)
 - ลักษณะภูมิประเทศ และภูมิอากาศ (ฝน อุทกภัย ความแห้งแล้ง)
- 5) ปัจจัยด้านการเมืองการปกครอง (Political Variable, P)
- ทักษะคนคิดเมือง นักการปกครอง
 - นโยบายระดับท้องถิ่น ระดับประเทศ ระดับโลก
- 6) ทักษะคิดและค่านิยมของชุมชนและสังคม (Attitude and Value Variable, AV)
- กระแสนุรักษ์
 - ค่านิยมในการบริโภคสินค้า
 - ค่านิยมในการปรับเปลี่ยนอาชีพ (จากเกษตรกรรมสู่อุตสาหกรรมและบริการ)

ในเชิงของการจำลองแบบทางคณิตศาสตร์ สามารถเขียนเป็นรูปฟังก์ชันที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (LULCC) ได้ ดังนี้

$$LULCC = f[D, E, LI, BP, P, AV] \quad (2-4)$$

ทั้งนี้การที่จะเลือกตัวแปรใดของแต่ละปัจจัยแต่ละชนิด ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ข้อมูลที่มีและการเชื่อมโยงแบบจำลองย่อยเรื่องอื่นๆ

2.3.2 แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปัจจุบันแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ แบบจำลองการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินเชิงปริมาณ (Non-Spatial Model) และแบบจำลองการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินเชิงพื้นที่ (Spatial Model) (คมสัน คีรีวงศ์วัฒนา, 2550)

2.3.2.1 แบบจำลองการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินเชิงปริมาณ (Non-Spatial Model)

โดยแบบจำลองที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันคือแบบจำลอง Markov Chain เป็นแบบจำลองที่ใช้หาความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลง โดยต้องอาศัยข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน 2 ช่วงระยะเวลา (นิพนธ์ ตั้งธรรม, 2549)

2.3.2.2 แบบจำลองการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินเชิงพื้นที่ (Spatial Model)

เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจากแบบจำลองเชิงปริมาณ ซึ่งไม่สามารถตอบสนองความต้องการของการแสดงตำแหน่งของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินได้ โดยแบบจำลองเชิงพื้นที่มีหลายประเภทด้วยกัน อาจสรุปได้ดังนี้

1) แบบจำลองระบบพลวัต (Dynamic System Model) เป็นแบบจำลองที่สามารถคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินได้ในอนาคตและรวมทั้งผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยอาศัยข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอดีตมาใช้ ในการคาดการณ์ แบบจำลองชนิดนี้นิยมใช้เพื่อคาดการณ์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

2) แบบจำลองเชิงเศรษฐ-สังคม (Econometric Model) มีจุดประสงค์หลักในการศึกษาผลกระทบในเชิงธุรกิจจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

3) แบบจำลองการกำหนดตำแหน่งการใช้ที่ดิน (LULCC Model) แบบจำลองประเภทนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการกำหนดตำแหน่งและจำลองแบบการใช้ที่ดินเท่านั้น ภายในแบบจำลองจะประกอบไปด้วยสมการที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดตำแหน่งการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ซึ่งแบบจำลองนี้ยังสามารถแบ่งออกตามวิธีการกำหนดตำแหน่งการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินดังนี้

- แบบจำลองตรรกศาสตร์ (Logic Model) เป็นแบบจำลองที่อาศัยสมการถดถอยโลจิสติกมาช่วยในการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ซึ่งหาได้จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินในอดีตกับปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง

-แบบจำลอง CA (Cellular Automata Model) เป็นแบบจำลองที่อาศัยหลักการกำหนดตำแหน่งด้วยวิธีการวิเคราะห์กริดข้างเคียงซึ่งมีทั้งวิเคราะห์กริดรอบข้างแบบ 4 กริดและ 8 กริด (คมสัน คีร์วงศ์วัฒนา, 2550)

2.3.3 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

คมสัน ศิริวงศ์วัฒนา (2550) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลอง CLUE-s เพื่อการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่หยอด อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ โดยการศึกษาที่ใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินที่ได้จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5TM ระหว่างปี พ.ศ.2531-2540 และใช้แบบจำลอง CLUE-s ซึ่งใช้สมการถดถอยโลจิสติก ผลการศึกษาพบว่า การใช้สมการโลจิสติกมีความถูกต้องของการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินโดยรวมร้อยละ 87-97 และพบว่าพื้นที่ป่าไม้มีความถูกต้องในการคาดการณ์สูงที่สุด และพื้นที่เกษตรกรรม ชุมชนเมืองตามลำดับ

วสันต์ ออวัฒนา (2555) ได้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดินในจังหวัดภูเก็ต ด้วยแบบจำลอง Markov Chain และ Cellular Automata เพื่อศึกษาการใช้ที่ดินปีพ.ศ. 2544-2554 และคาดการณ์รูปแบบการใช้ที่ดินในอีก 10 ปีข้างหน้า (พ.ศ.2564) โดยการศึกษาพบว่าแบบจำลองมีความถูกต้องรวม เท่ากับ ร้อยละ 54.4

Walsh et al. (2006) ได้ศึกษาการจำลองสภาพการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ที่ดิน (Land use/Land cover) โดยตำแหน่งด้วยแบบจำลอง Cellular Automata (CA Modeling) ที่ตรวจสอบการลดลงของพื้นที่ป่าไม้และการขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรมในเขตอำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ และตั้งสมมติฐานการเปลี่ยนแปลงพื้นที่จากผลการจำลองด้วยวิธีการ Cellular Automata ที่ใช้ข้อมูลจากการสำรวจและ Remote Sensing เพื่ออธิบายลักษณะเชิงพื้นที่ของผลที่ได้จากแบบจำลองเทียบกับข้อมูลจากการสำรวจ

Phakularbdang (2006) ได้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินจังหวัดกระบี่ ปี ค.ศ.1990 ค.ศ.2000 ค.ศ.2004 และ ค.ศ. 2005 และการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินก่อนและหลังการเกิดสึนามิ รวมทั้งตรวจสอบแบบจำลองที่เหมาะสมในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจังหวัดกระบี่ โดยการประยุกต์ระบบภูมิสารสนเทศ (Geo-Informatics) ประกอบด้วย เทคโนโลยีด้านการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Global Positioning System) และระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) ร่วมกับแบบจำลอง CA-Markov (Markov Chain and Cellular Automata) ผลการศึกษาพบว่า การคาดการณ์การใช้ที่ดินในจังหวัดกระบี่ปีค.ศ. 2004 โดยใช้ข้อมูลปี ค.ศ.1990 และ ค.ศ.2000 เป็นฐานการคำนวณ พบว่าความถูกต้องรวมเท่ากับ 74.8%

Trisurat et al. (2010) ได้คาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย ด้วยแบบจำลอง Dynamic Land Use Change Model (Dyna-CLUE) โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี ค.ศ.2002 เป็นปีฐาน และจำลองภาพเหตุการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินใน ปี ค.ศ.2050 ไว้ 3 กรณี คือ 1. เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตามแนวโน้มในอดีต (Trend Scenario) ซึ่งใช้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอดีต ปี ค.ศ. 1998-2003 2. เหตุการณ์ที่มีการจัดการพื้นที่แบบบูรณาการ (Integrated Management Scenario) โดยมีการกำหนดพื้นที่ป่าสงวน พื้นที่ห้ามบุกรุกทำลาย (Restrict Area) ตามนโยบายระยะยาวด้านสิ่งแวดล้อมของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมปีค.ศ. 1997 และ 3. เหตุการณ์ที่มุ่งเน้นการอนุรักษ์ (Conservation Oriented) โดยตั้งเป้าหมายที่จะรักษาผืนป่าให้ได้ 55% ของพื้นที่ และเน้นการฟื้นฟูพื้นที่เสื่อมโทรม โดยข้อมูลที่สำคัญในการนำเข้ามาแบบจำลองประกอบไปด้วย Land Use Demand ลักษณะเฉพาะของพื้นที่ นโยบายในพื้นที่ เขตหวงห้าม และ ความอ่อนไหวของ Land Use แต่ละชนิด ผลการศึกษาพบว่า ภาพเหตุการณ์ที่ 1 มีพื้นที่ป่าลดลงมากที่สุด (45%) โดยเฉพาะในจังหวัด พิชณุโลก สุโขทัย กำแพงเพชร และนครสวรรค์ โดยมีการเปลี่ยนจากพื้นที่ป่าไปเป็นเกษตรกรรม ในขณะที่ภาพเหตุการณ์ที่ 2 และ 3 ยังคงรักษาพื้นที่ป่าไว้ได้พอสมควร (50% และ 55% ตามลำดับ จากเดิม 57% ปี 2002)

Pakoksung et al. (2010) ได้ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อลักษณะน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน ในปี ค.ศ. 2000-2006 เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินกับค่าสัมประสิทธิ์การไหลและเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำ ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ป่าที่ลดลง ส่งผลให้สัมประสิทธิ์น้ำท่าเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มสูงขึ้น

Sriwongsitanon and Taesombat (2011) ได้ศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลง Land cover ต่อพฤติกรรมของน้ำ ในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบน โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างประเภทของ Land Cover กับ น้ำฝน-น้ำท่า ในช่วงปี ค.ศ. 1988-2005 โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 5 TM สำหรับ Land Cover และข้อมูล น้ำฝน-น้ำท่า จากสถานีตรวจวัด 68 และ 11 สถานีตามลำดับ เพื่อการประเมินค่าอัตราการไหลสูงสุดและสัมประสิทธิ์น้ำท่าสำหรับ 2 ปี 5 ปี 10 ปี และ 15 ปีการเกิดซ้ำของเหตุการณ์แต่ละครั้ง พบว่า สัมประสิทธิ์น้ำท่าเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนป่าและพื้นที่เกษตรกรรม โดยเมื่อพื้นที่ป่าลดลงและพื้นที่เกษตรกรรมมากขึ้น ส่งผลให้น้ำท่าสูงขึ้น

MyatMyatThi et al. (2011) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบข้อมูลรูปแบบการใช้ที่ดินในอดีตจากภาพถ่ายดาวเทียมปี ค.ศ. 1990-2005 บนพื้นที่ดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ 3 แห่ง คือ แม่น้ำอิรวดี แม่น้ำเจ้าพระยา และ แม่น้ำโขง การคำนวณพื้นที่น้ำท่วมที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ ใช้ข้อมูลจาก Digital Elevation Model และการกระจายตัวของค่าขีดสุดของน้ำท่ารายปีสูงสุด ซึ่งผลที่ได้บ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทางธรรมชาติที่สำคัญภายในพื้นที่น้ำท่วมเหล่านั้น เนื่องจากการเจริญเติบโตของพื้นที่เกษตรและอุตสาหกรรม ซึ่งจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เหมาะสม

Waiyasusri (2011) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน และคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตด้วยแบบจำลอง CLUE-s Model บริเวณห้วยทับเสลา จังหวัดอุทัยธานี ในปี 1988-2007 โดยใช้ข้อมูล 3 ประเภท คือ ข้อมูลที่จัดทำด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล ข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม และข้อมูลจากการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์พบว่าพื้นที่ป่ามีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ส่วนใหญ่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงบริเวณตอนกลางและบริเวณตะวันออกของกลุ่มน้ำ ซึ่งเมื่อวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยโลจิสติก พบว่า พื้นที่ดังกล่าวเปลี่ยนแปลงจากพื้นที่ป่าเป็นพื้นที่เกษตรกรรม เนื่องจากปัจจัยระยะห่างจากถนนและปัจจัยระยะห่างจากชุมชนเป็นตัวเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ในส่วนการคาดคะเนลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตปี 2027 ด้วยแบบจำลอง CLUE-s นั้น ได้จำลองภาพเหตุการณ์ไว้ 2 ลักษณะคือ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยไม่มีการกำหนดขอบเขตการอนุรักษ์และการเปลี่ยนแปลงโดยมีการกำหนดขอบเขตการอนุรักษ์ ผลการวิเคราะห์พบว่า เหตุการณ์ที่ 1 พบว่าพื้นที่ป่าไม้ลดลงเหลือเพียง ร้อยละ 63 ของพื้นที่ทั้งหมด (จากเดิมปี 2007 ร้อยละ 68) ในขณะที่เหตุการณ์ที่ 2 พบว่าพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมีการขยายตัวเพิ่มขึ้นบริเวณรอบๆอำเภอเมืองและบริเวณลุ่มน้ำ

การศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอาจแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มการศึกษาที่เน้นการใช้แบบจำลองการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินประเภทต่างๆในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต โดยอาจจะมีการตั้งสมมติฐานปัจจัยด้านต่างๆ ที่เป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต หรือการกำหนดนโยบายระยะยาวของภาครัฐในด้านสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ศึกษา และอีกกลุ่มหนึ่งที่เน้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ส่งผลกระทบต่อสภาพน้ำท่าในช่วงเวลาในอดีต โดยการศึกษาการเพิ่มขึ้น-ลดลงของชนิดการใช้ที่ดินในพื้นที่ศึกษาและหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงต่อสภาพน้ำท่า หรือสัมประสิทธิ์น้ำท่า ซึ่งยังไม่มีการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตต่อสภาพน้ำท่าที่ผ่านการพยากรณ์ด้วยปัจจัยและ

ตัวขับเคลื่อนที่น่าเชื่อถือที่จะสะท้อนถึงภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตซึ่งเป็นอีกหัวข้อหนึ่งที่น่าสนใจสำหรับการศึกษา

2.4 สรุปข้อสังเกตจากการศึกษาที่ผ่านมา

จากการทบทวนการศึกษาที่ผ่านมาในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสภาพน้ำท่า การศึกษาผลกระทบเกี่ยวกับ Climate Change, Land Use/Land Cover Change และ Land Surface Model สรุปได้ว่า การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันอุทกภัยในประเทศไทยได้รับความสนใจมาอย่างยาวนาน ซึ่งนักวิจัย หรือนักอุทกวิทยา ล้วนมีวิธีการป้องกันรวมถึงการพยากรณ์ลักษณะน้ำท่าที่แตกต่างกันไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบัน ปัญหาภาวะโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเริ่มได้รับความสนใจจากนักวิจัยและนักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกว่าเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศซึ่งส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวและความรุนแรงต่อปริมาณฝน ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญสำหรับการพยากรณ์น้ำฝน-น้ำท่า ในขณะเดียวกันการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจากการพัฒนาของเศรษฐกิจและสังคมก็ส่งผลกระทบต่อลักษณะและความรุนแรงของปริมาณน้ำท่าเช่นเดียวกัน ทำให้การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับทั้ง 2 ส่วนนี้ได้รับความสนใจเป็นอย่างยิ่ง ทว่าการศึกษาที่เกี่ยวข้องผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศต่อน้ำท่าในพื้นที่ประเทศไทยนั้นยังมีไม่มากนัก ส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาแยกกันระหว่างการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศหรือการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศนั้น จะใช้ข้อมูลสภาพอากาศจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก การจะนำข้อมูลมาใช้จำเป็นต้องมีการตรวจสอบประสิทธิภาพของข้อมูลและอาจจำเป็นต้องย่อส่วนข้อมูลเพื่อความเหมาะสมของพื้นที่ศึกษา แบบจำลอง MRI-AGCM3.2S เป็นแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ทันสมัยและมีความละเอียดสูง ได้รับการยอมรับว่าสามารถแสดงผลลัพธ์ของข้อมูลได้ใกล้เคียงกับข้อมูลสังเกตการณ์ค่อนข้างมาก แต่ทั้งนี้ต้องผ่านขั้นตอนการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาเสียก่อน โดยวิธีการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วย Hybrid Quartile Method เป็นวิธีหนึ่งที่ทำให้ผลลัพธ์การกระจายตัวที่ค่อนข้างดี และสามารถสะท้อนลักษณะของฝนสังเกตการณ์ได้ชัดเจน แบบจำลอง Land Surface Model SIBUC เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับจำลองสภาพทางอุทกวิทยาที่มีประสิทธิภาพที่ดีแบบจำลองหนึ่งซึ่งเน้นความสัมพันธ์ระหว่าง สมดุลพลังงานและสมดุลน้ำ (Energy Balance and Water Balance) ผ่านทางอัตราการคายระเหย (Evapotranspiration) โดยใช้ข้อมูลแรงขับเคลื่อนทางอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ (Meteorological Forcing and Geophysical Data) และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน (Land Use/Cover Fractions) ในการคำนวณสมดุลทั้งสอง ทว่าในการศึกษาที่ผ่านมาด้วยแบบจำลอง SIBUC นั้น ยังไม่มีการประยุกต์ใช้ร่วมกับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์

ที่ดิน ซึ่งเป็นข้อดีอีกอย่างหนึ่งของแบบจำลอง ที่มีการแบ่งประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและการคำนวณสมดุลพลังงานและสมดุลน้ำจากประเภทการใช้ที่ดินชนิดต่างๆ จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SiBUC ในการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อสภาพน้ำท่า ควบคู่ไปกับการพิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต



บทที่ 3

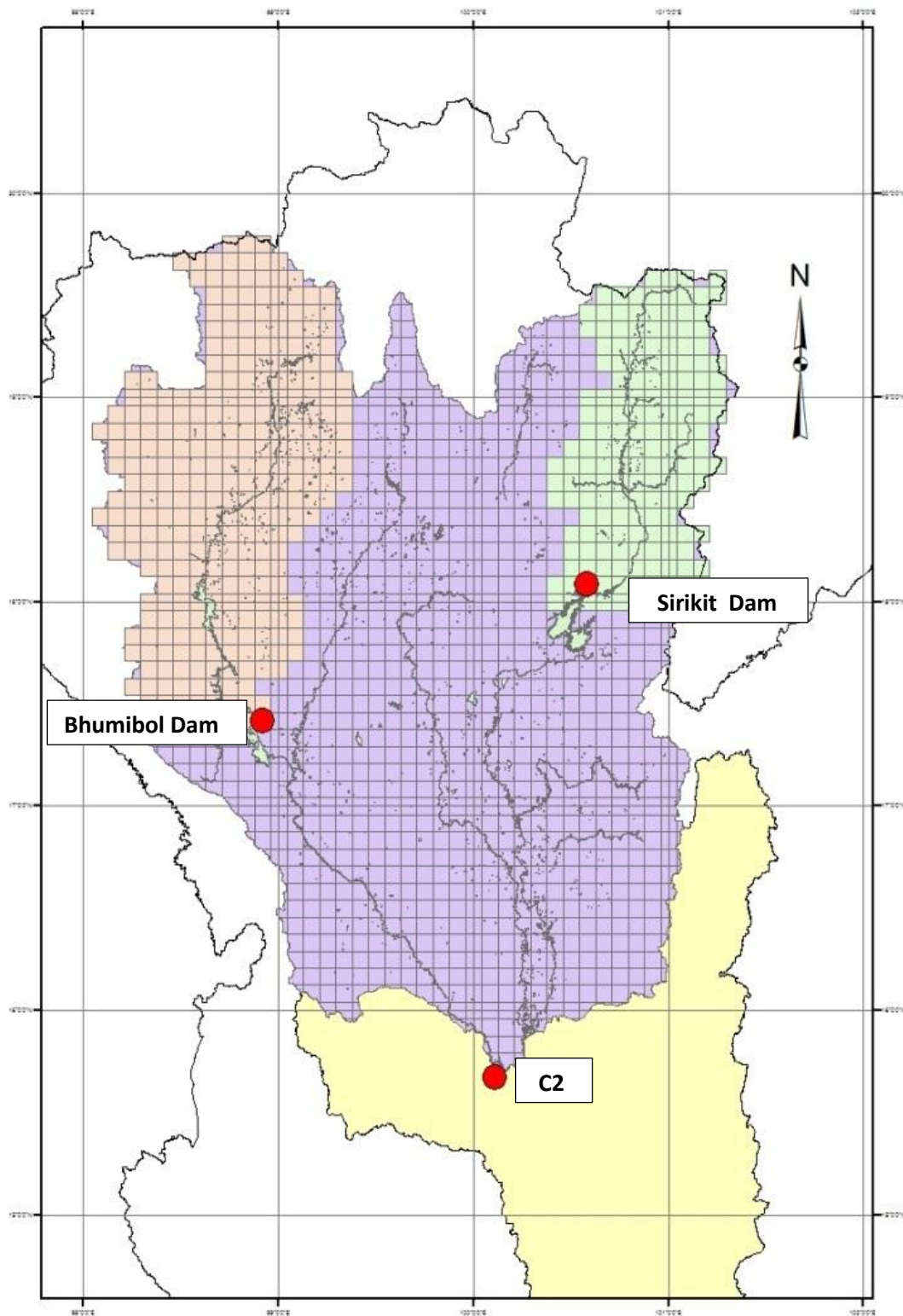
ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

จากการศึกษาค้นคว้าวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้เข้าใจแนวทางการศึกษาวิธีการและรวบรวมผลลัพธ์ของการศึกษาที่ผ่านมา นำมาประยุกต์และพัฒนาแนวทางการศึกษาวิจัยเพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยเนื้อหาในบทนี้จะอธิบายถึงลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา ข้อมูลประกอบการศึกษา และขั้นตอนการศึกษา ซึ่งจะกล่าวต่อไปนี้ตามลำดับ

3.1 ลักษณะทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

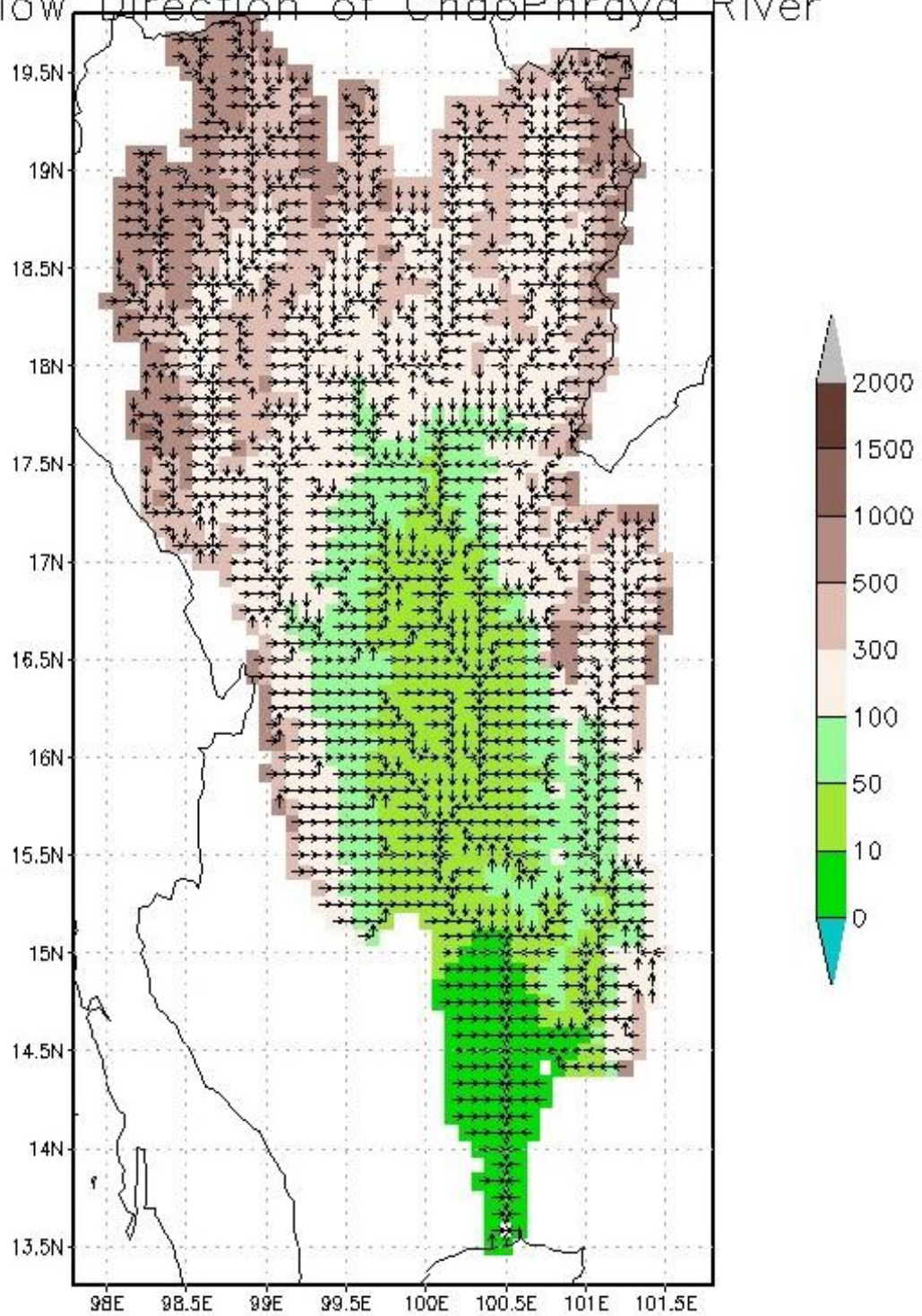
3.1.1 ลักษณะภูมิประเทศ

ลุ่มน้ำเจ้าพระยาเป็นลุ่มน้ำหลักที่สำคัญของประเทศไทย มีพื้นที่รับน้ำทั้งหมดประมาณ 160,000 ตร.กม. หรือประมาณร้อยละ 35 ของพื้นที่ทั้งประเทศ ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของภาคเหนือและภาคกลางของประเทศ ถูกแบ่งออกเป็นลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน และลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่างที่จุดรวมน้ำที่สถานี C.2 ค่ายจระประวัติ จังหวัดนครสวรรค์ (15°67'N, 100°1'E) โดยลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ประกอบไปด้วย 4 ลุ่มน้ำหลัก คือ ลุ่มน้ำปิง วัง ยม และน่าน โดยมีพื้นที่รับน้ำประมาณ 110,000 ตร.กม. และมีเขื่อนหลักที่สำคัญของประเทศ 2 เขื่อน คือเขื่อนภูมิพล (ความจุประมาณ 13,500 ล้านลบ.ม.) และเขื่อนสิริกิติ์ (ความจุประมาณ 9,500 ล้านลบ.ม.) ตั้งอยู่บนลุ่มน้ำปิงและลุ่มน้ำน่านตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 3-1 เพื่อการบริหารจัดการน้ำ การชลประทาน และการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยทุกสาขาของลุ่มน้ำเจ้าพระยาวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อิทธิพลจากพายุจรประจำเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม ทางตอนบนของพื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่สูงและภูเขาส่วนพื้นที่ทางตอนล่างจะเป็นที่ราบลุ่ม โดยรูปที่ 3-2 แสดงระดับความสูงของพื้นที่และทิศทางการไหลของน้ำจากกริดสู่กริดภายในแบบจำลอง



รูปที่ 3-1 ตำแหน่งของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และสถานี C.2

Flow Direction of ChaoPhraya River



รูปที่ 3-2 ระดับความสูงเทียบกับระดับน้ำทะเลและทิศทางการไหลของน้ำในพื้นที่ศึกษา

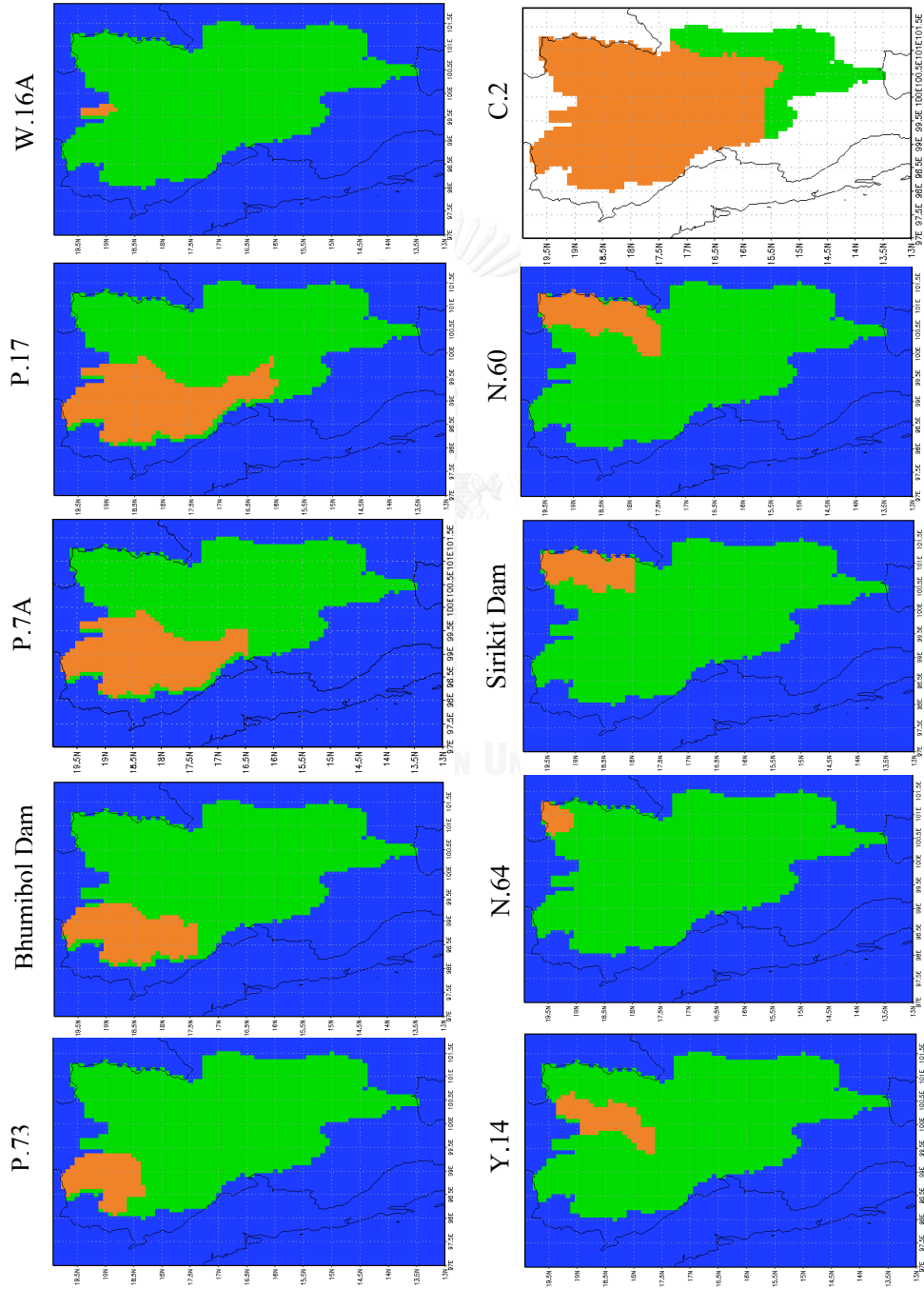
(Kotsuki et al., 2013)

ในการศึกษานี้ได้ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ซึ่งเป็นแหล่งน้ำต้นทุนที่สำคัญสำหรับพื้นที่การเกษตรในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง โดยได้แบ่งพื้นที่รับน้ำฝนออกตามพื้นที่รับน้ำของแต่ละสถานีวัดน้ำท่าโดยในการศึกษานี้ จะเรียกชื่อพื้นที่รับน้ำย่อยตามชื่อสถานีน้ำท่าที่ใช้ตรวจสอบ มีรายละเอียดดังตารางที่ 3-1 และพื้นที่รับน้ำจากแบบจำลองแสดงในรูปที่ 3-3

ตารางที่ 3-1 รายชื่อสถานีวัดน้ำท่าและพื้นที่รับน้ำฝนของแต่ละสถานี

ลำดับ	ชื่อสถานี	ลุ่มน้ำ	พื้นที่รับน้ำจริง (ตร.กม.)	พื้นที่รับน้ำจาก แบบจำลอง(ตร.กม.)
1	P.73	ปิง	14,814	14,602
2	ภูมิพล	ปิง	26,400	26,018
3	P.7A	ปิง	42,700	42,674
4	P.17	ปิง	45,297	45,049
5	W.16A	วัง	1,392	1,368
6	Y.14	ยม	12,058	11,935
7	N.64	น่าน	3,432	3,569
8	สิริกิติ์	น่าน	13,130	13,340
9	N.60	น่าน	18,692	18,292
10	C.2	เจ้าพระยาตอนบน	110,569	110,106

ที่มา: ศูนย์อุทกวิทยาและบริหารน้ำภาคเหนือตอนบน ภาคเหนือตอนล่าง และภาคกลาง
(กรมชลประทาน, 2558)

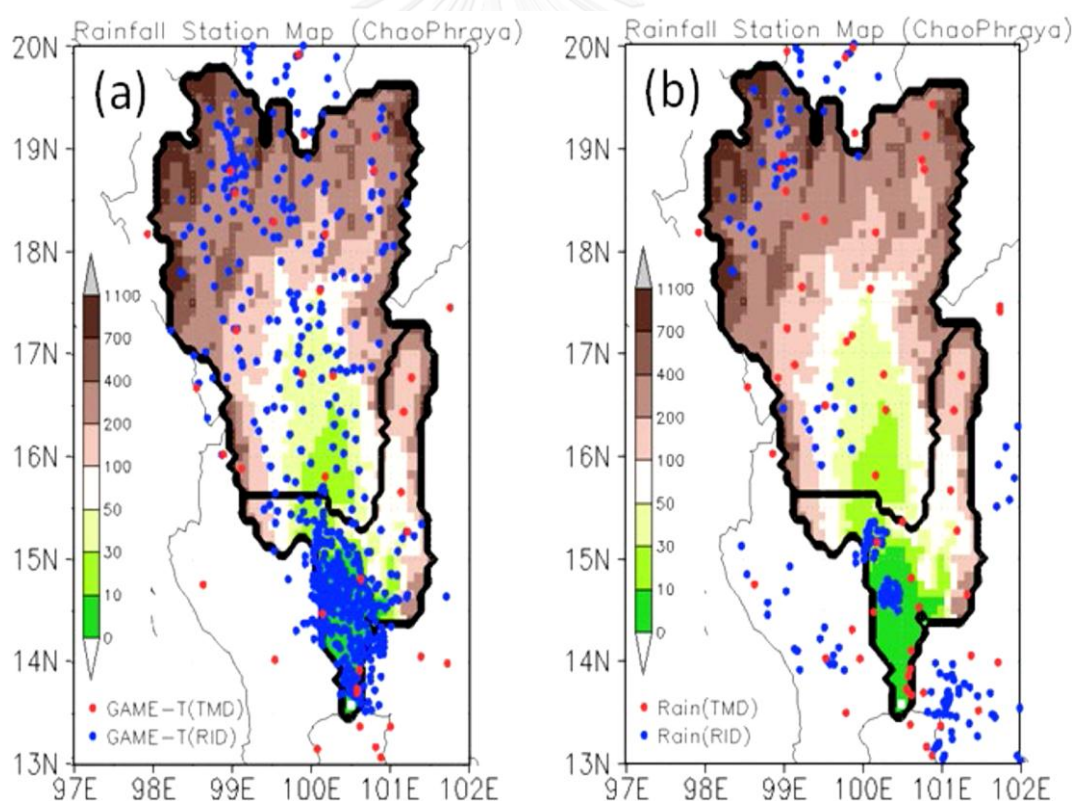


รูปที่ 3-3 พื้นที่รับน้ำจากแบบจำลอง

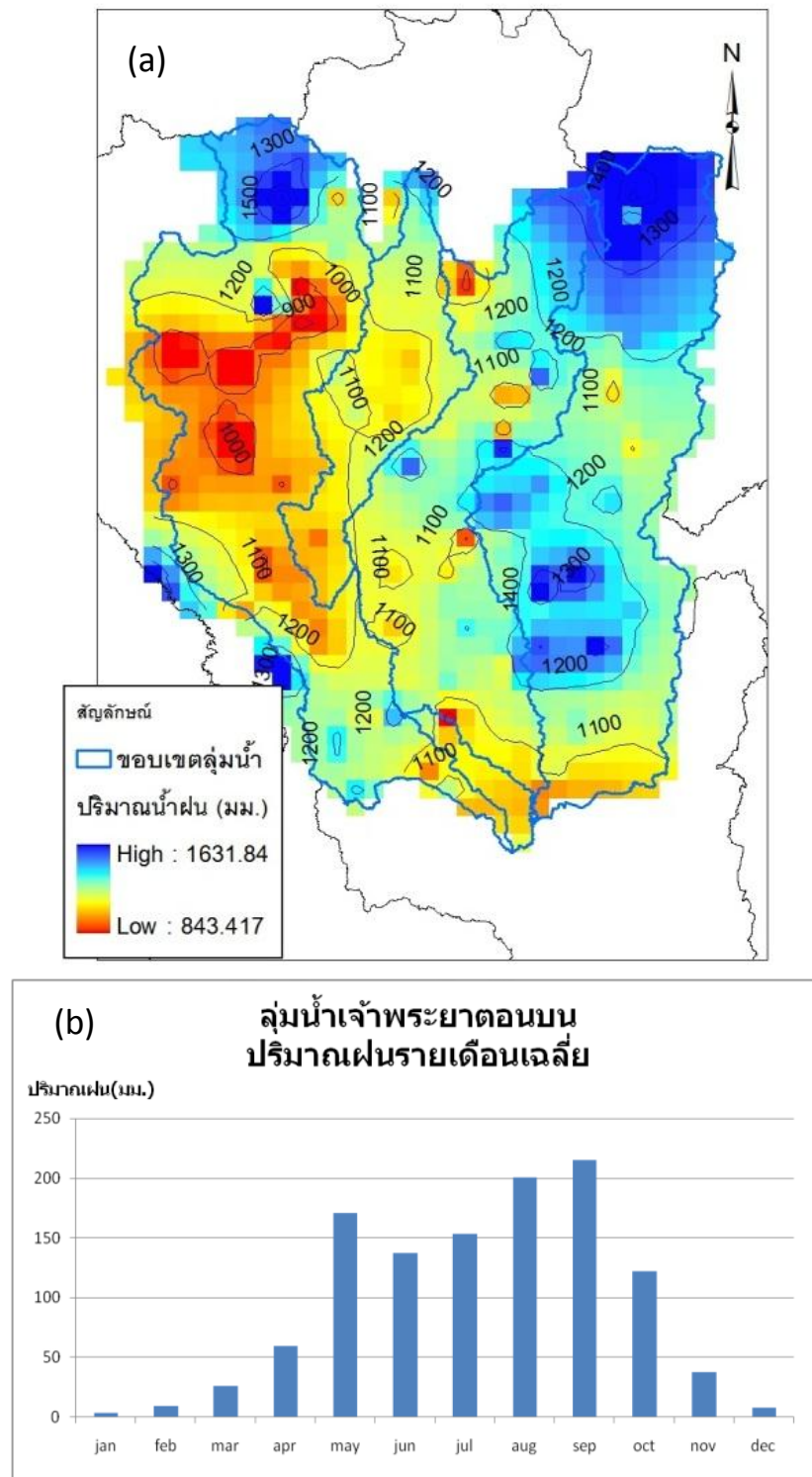
3.1.2 ลักษณะทางอุทกวิทยา การใช้ประโยชน์ที่ดิน และอุตุนิยมวิทยาในพื้นที่ศึกษา

3.1.2.1 ปริมาณน้ำฝน

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษาในช่วงเวลาในอดีตเป็นข้อมูลฝนที่นำมาจากโครงการจัดทำทรัพยากรข้อมูล GAME-T ตามมาตรฐานสากลเพื่อประยุกต์ใช้งานในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา (GAME-T2 Data Cente, 2005) และโครงการ IMPAC-T (Integrated Study on Hydro-Meteorological Prediction and Adaptation to Climate Change in Thailand) (Kotsuki and Tanaka, 2013b) จำนวนทั้งสิ้น 1,367 สถานี ประกอบด้วย สถานีฝนจากกรมชลประทาน 1,282 สถานี สถานีฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา 61 สถานี และสถานีฝนประเทศเพื่อนบ้าน 24 สถานี โดยตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝน แสดงไว้ในรูป 3-4 จากนั้นนำไปสร้างเป็นข้อมูลฝนรายวันแบบ กริด ขนาด 5 mins (1/12 degree) โดยในรูปที่ 3-5 แสดงการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝนสะสมรายปีเฉลี่ย (ค.ศ. 1981-2004)



รูปที่ 3-4 สถานีวัดน้ำฝนจากโครงการ GAME-T (a) (GAME-T2 Data Center, 2005) และ โครงการ IMPAC-T (b) (Kotsuki and Tanaka, 2013b)



รูปที่ 3-5 (a) การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝนสะสมรายปีเฉลี่ย (ค.ศ. 1981-2004)
 และ (b) ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือน (ค.ศ. 1981-2004)

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลฝนรายเดือนเฉลี่ยช่วงปี ค.ศ. 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ

ลำดับ	ชื่อสถานี	ฝนรายเดือนเฉลี่ย (มม.)												รายปี (มม.)
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	
1	P.73	3.8	7.2	19.7	53.5	166.6	139.2	166.4	209.9	205.0	105.8	48.5	11.6	1,137.21
2	ภูมิพล	3.4	7.6	19.3	52.9	164.6	131.3	147.8	193.8	201.7	112.8	46.8	10.6	1,092.58
3	P.7A	3.1	7.8	20.7	54.3	167.5	130.8	143.7	189.7	206.2	120.3	44.9	9.3	1,098.52
4	P.17	3.1	8.1	21.3	53.8	167.6	131.1	142.9	188.2	208.1	124.1	44.7	9.0	1,102.15
5	W.16A	4.7	8.1	22.1	67.7	177.2	131.9	180.7	217.9	207.3	100.2	44.2	11.3	1,173.15
6	Y.14	3.7	8.6	26.5	68.1	180.6	137.4	174.8	222.9	210.6	102.6	37.1	7.9	1,180.79
7	N.64	5.5	9.5	32.3	91.5	186.0	158.1	253.6	273.2	211.8	85.5	34.2	11.3	1,352.47
8	สิริกิติ์	4.3	9.5	30.3	82.5	183.7	148.2	207.5	246.3	212.0	90.4	30.8	9.0	1,254.62
9	N.60	4.2	9.8	30.3	78.7	185.9	149.9	194.8	240.5	215.1	94.8	30.5	8.4	1,242.81
10	C.2	3.5	9.1	25.9	59.8	170.9	137.2	153.6	200.4	215.4	122.2	38.1	7.8	1,143.91

จากข้อมูลฝน ปี ค.ศ. 1981-2004 ที่นำมาวิเคราะห์ พบว่า ค่าเฉลี่ยฝนรายปีของพื้นที่ลุ่มน้ำอยู่ระหว่าง 1,092 -1,352 มม. โดยพื้นที่ลุ่มน้ำน่านจะมีปริมาณฝนสูงกว่าลุ่มน้ำอื่นเล็กน้อย หากพิจารณาจากฝนรายเดือนเฉลี่ยของแต่ละพื้นที่ จะสังเกตได้ว่า ปริมาณฝนจะเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่เดือน เม.ย. และจะสูงสุดที่เดือน ก.ย. โดยสูงถึงประมาณ 220 มม. ดังแสดงในตารางที่ 3-2

3.1.2.2 ปริมาณน้ำท่า

ในการศึกษาปริมาณน้ำท่า ได้ทำการรวบรวมข้อมูลอัตราการไหลที่สถานีวัดน้ำต่างๆ ที่ดำเนินการโดยกรมชลประทาน รวม 10 สถานี ครอบคลุมทั่วทั้งลุ่มน้ำเจ้าพระยา และเป็นตัวแทนของลุ่มน้ำย่อย โดยรายชื่อสถานีวัดน้ำท่า และปริมาณน้ำท่าในอดีตดังแสดงในตารางที่ 3-3 และ 3-4

ตารางที่ 3-3 ข้อมูลสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา

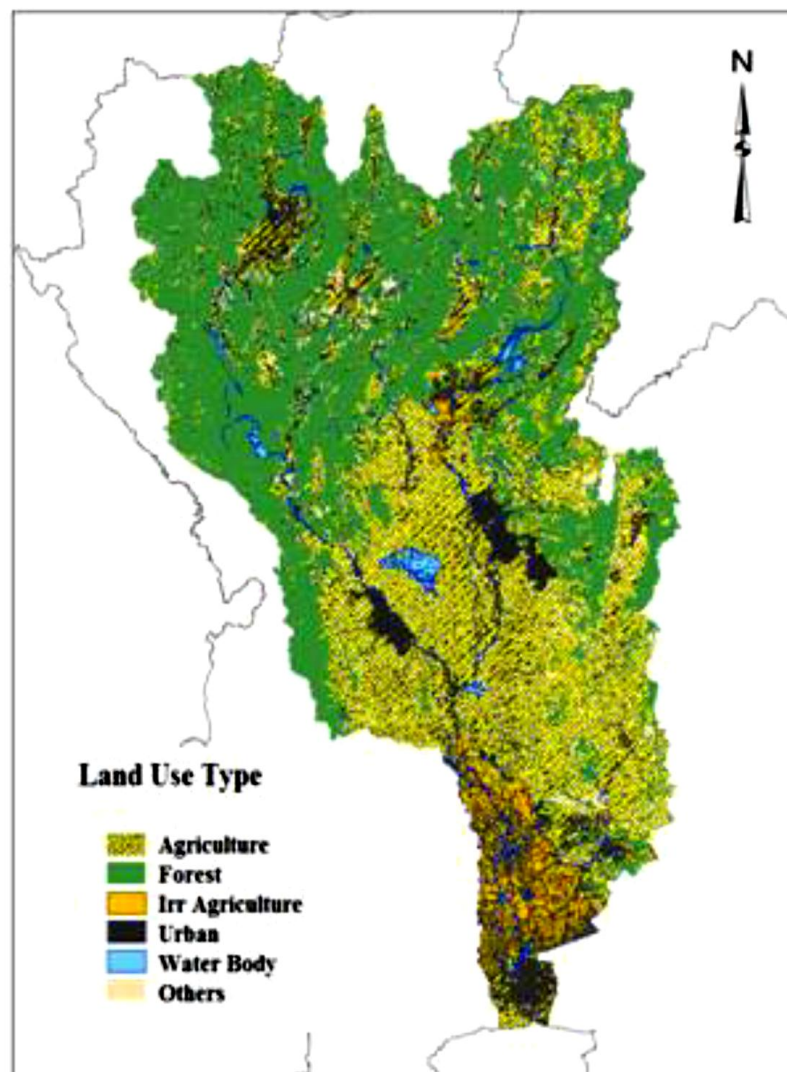
ลำดับ	แม่น้ำ	สถานี	จังหวัด	ตำแหน่ง		จำนวนปีที่มีข้อมูล ช่วงปี 1981-2004	น้ำท่าเฉลี่ยรายปี (ล้าน ลบ.ม.)
				ละติจูด	ลองจิจูด		
1	ปิง	P.73	เชียงใหม่	18.3	98.67	7	3,274.01
2	ปิง	ภูมิพล	ตาก	17.416	98.916	24	4,993
3	ปิง	P.7A	กำแพงเพชร	16.5	99.513	24	6,438.96
4	ปิง	P.17	นครสวรรค์	15.93	99.97	15	7,470.2
5	วัง	W.16A	ลำปาง	18.79	99.63	10	262.01
6	ยม	Y.14	สุโขทัย	17.6	99.72	24	2,344
7	น่าน	N.64	น่าน	19.04	100.775	10	2,598.2
8	น่าน	สิริกิติ์	อุดรดิตถ์	18.083	100.58	24	5,459.1
9	น่าน	N.60	อุดรดิตถ์	17.45	100.126	18	6,556.8
10	เจ้าพระยา	C.2	นครสวรรค์	15.67	100.1	24	20,953.2

ตารางที่ 3-4 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนแต่ละสถานี

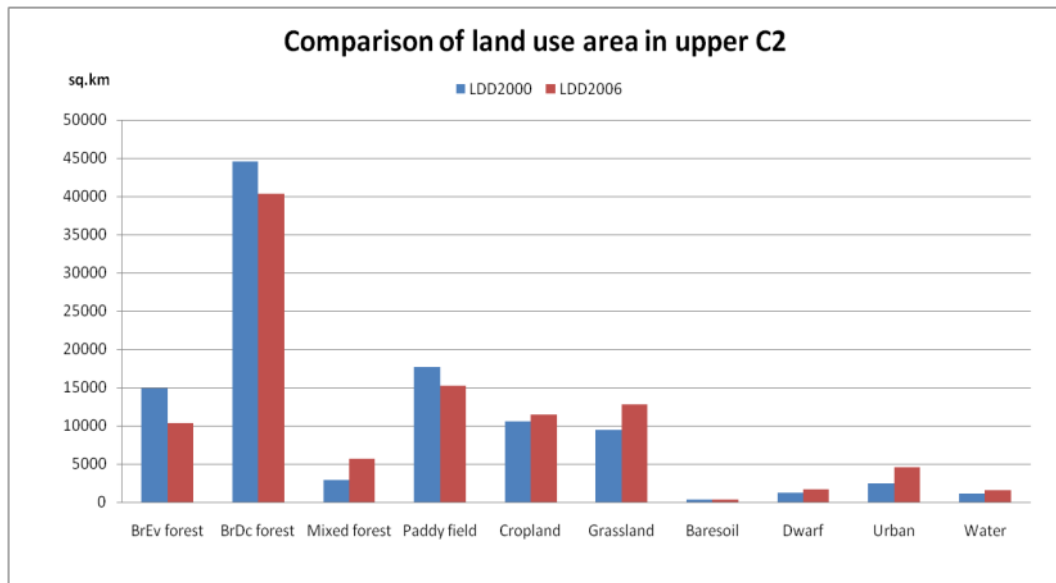
ชื่อสถานี	ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือน (ล้าน ลบ.ม.)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1 P.73	62.5	26.4	21.6	35.3	203.0	185.1	200.2	521.2	984.9	487.9	423.5	138.0
2 ภูมิพล	120.8	61.5	40.4	44.2	202.3	298.6	312.2	788.7	1288	1000	597.4	238.4
3 P.7A	344.6	524.9	728.4	671.6	579.4	445.5	377.1	468.6	668.2	724.8	564.9	337.1
4 P.17	360.6	523.2	737.7	595.3	625.7	530.7	389.7	543.1	1007	1041	812.4	411.7
5 W16A	3.5	1.5	1.4	2.3	13.1	9.9	11.8	55.6	94.9	39.2	22.3	7.1
6 Y.14	25.9	14.4	15.1	17.6	89.7	114.5	177.0	535.0	789.9	372.5	140.1	52.4
7 N.64	16.4	10.7	8.7	11.0	28.8	56.1	158.8	281.0	267.2	87.3	42.6	23.8
8 สิริกิติ์	112.0	90.1	85.3	93.3	231.9	314.6	842.4	1422	1317	556.2	255.4	139.2
9 N.60	405.9	656.9	752.3	712.8	595.8	411.6	409.1	663.8	836.1	361.1	412.3	339.2
10 C.2	707.0	908.8	1236	1165	1324	1483	1286	1904	3086	3845	2637	1370

3.1.2.3 สภาพการใช้ที่ดิน และการเปลี่ยนแปลง

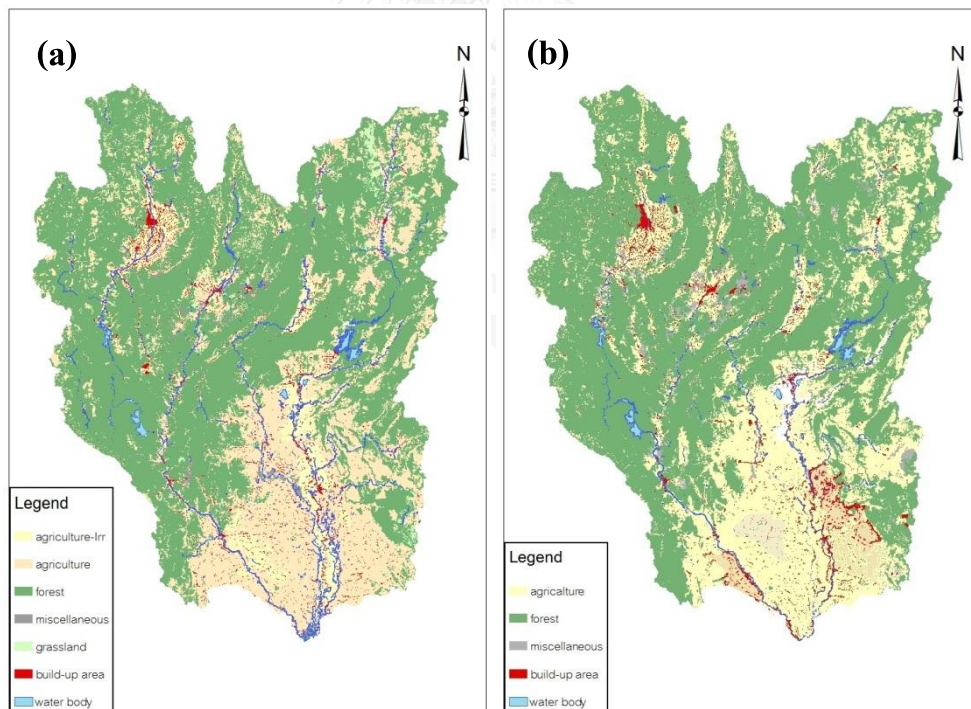
การใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิประเทศของพื้นที่ ตัวอย่างเช่น ในพื้นที่ตอนบนของกลุ่มน้ำ เป็นพื้นที่สูงสลับกับเทือกเขาเป็นจำนวนมาก พื้นที่ตอนบนส่วนใหญ่จึงปกคลุมด้วยป่า ทั้งป่าดิบชื้น ป่าดิบเขา ป่าสนเขา และป่าเบญจพรรณ ส่วนพื้นที่ตอนล่างของกลุ่มน้ำ จะเป็นพื้นที่ราบลุ่ม เหมาะสมแก่การเพาะปลูกและกสิกรรม ดังแสดงในรูปที่ 3-6 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในช่วงเวลา 6 ปี ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2000 -2006 แสดงในรูปที่ 3-7 และ 3-8



รูปที่ 3-6 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา ค.ศ. 2006 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)



รูปที่ 3-7 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินสีน้ำเงิน คือ ปีค.ศ. 2000 สีแดง คือ ปี ค.ศ. 2006 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)



รูปที่ 3-8 ความแตกต่างเชิงพื้นที่ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน (a) ปี ค.ศ. 2000 และ (b) ปี ค.ศ. 2006 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)

3.2 ข้อมูลประกอบการศึกษา

3.2.1 แหล่งข้อมูลประกอบการศึกษา

3.2.1.1 ข้อมูลฝน

1) ข้อมูลช่วงเวลาในอดีต (ค.ศ. 1981-2004) ข้อมูลฝนรายวันแบบกริดขนาด 5 min (1/12 degree) ที่สร้างจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยา โดยโครงการ GAME-T (GAME-T2 Data Center, 2005) และ IMPAC-T (Kotsuki and Tanaka, 2013b) และข้อมูลฝนจาก APHRODITE's Water Resources (Asian Precipitation - Highly -Resolved Observational Data Integration Towards Evaluation of the Water Resources) (Yatagai et al., 2012)

2) ข้อมูลในอนาคต (ค.ศ. 2015-2039 และ ค.ศ. 2075-2099) ข้อมูลฝนรายวันแบบ กริดขนาด 12 min (0.2 degree) จากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid Quartile Method ภายใต้สมมติฐานการเปลี่ยนแปลงไปของสภาพภูมิอากาศของโลก RCPs 6.0 หรือ A1B อ้างอิงข้อมูลจากการศึกษาในโครงการการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนแปลงสูงสุดในระดับลุ่มน้ำของประเทศไทยและจีน (Koontanakulvong et al., 2014)

3.2.1.2 ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

1) ข้อมูลในอดีต (ค.ศ. 2000 และ 2006) ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) แบบเวกเตอร์ (Vector Format) ของประเทศไทย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553) และ GLCC v2.0 จาก US Geological Survey (USGS) (Kotsuki and Tanaka, 2013b)

2) ข้อมูลในอนาคต (ค.ศ. 2050) ข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) แบบราสเตอร์ (Raster Format) อ้างอิงข้อมูลจากการศึกษาการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ภาคเหนือของไทย (Trisurat et al., 2010)

3.2.1.3 ข้อมูลอื่นๆ

1) ข้อมูลน้ำท่า (ค.ศ. 1981-2004) จากกรมชลประทาน (กรมชลประทาน, 2558)

2) ข้อมูลความชื้นจำเพาะ (qair), อุณหภูมิพื้นผิว (Tair), รังสีคลื่นยาว (slrd) และ รังสีคลื่นสั้น (ssrd) อ้างอิงจากการศึกษาของ (Hirabayashi et al., 2008)

3) ข้อมูลความดันบรรยากาศ (pssf) และความเร็วลม อ้างอิงจาก JRA25 (Onogi et al., 2007)

4) ข้อมูลชั้นดินและชนิดดิน อ้างอิงจาก Ecoclimap (Champeaux et al., 2006)

ข้อมูลประกอบการศึกษาอาจสรุปเป็นตารางดังนี้

ตารางที่ 3-5 ข้อมูลประกอบการศึกษา

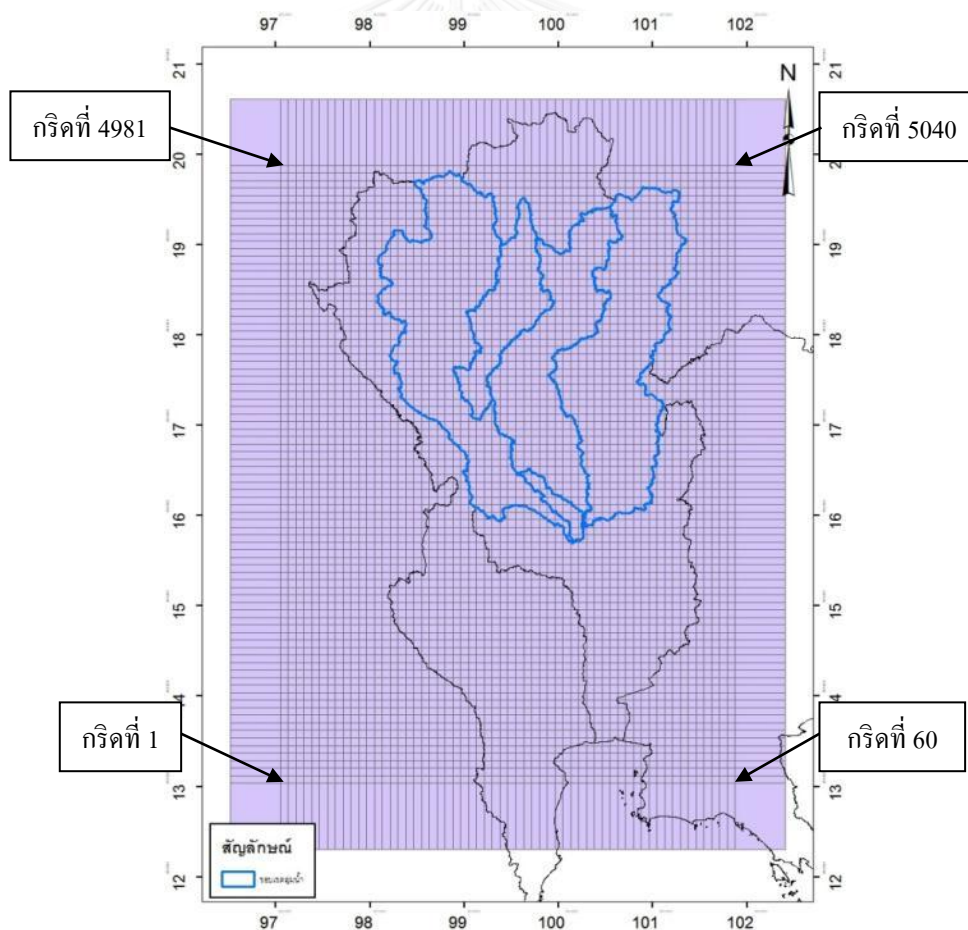
Data	Name	Type	Unit	Range	Sources
1. Rainfall	IMPAC-T	daily	mm.	1981-2004	RID, TMD
	APHRODITE	hourly	mm/hr	1981-2004	APHRODITE's
	MRI-AGCM3.2S	daily	mm.	2015-2039 2075-2099	MRI, WRE CU
2. Land use /cover	LDD	vector	-	2000, 2006	Land development department
	GLCC	grid	-	2000	USGS
	Future landuse	raster	-	2050	Trisurat et al.
3. Others	Runoff	monthly	MCM	1981-2004	RID
	Inflows/Outflow	monthly	MCM	1981-2004	EGAT
	Surface temperature	3-hourly	K	1981-2004	Hirabayashi et al.
	Specific humidity	daily	Kg/kg	1981-2004	
	Long wave radiation	3-hourly	W/m ²	1981-2004	
	Short wave radiation	daily	W/m ²	1981-2004	
	Atmospheric pressure	hourly	Pa	1981-2004	JRA25
	Wind speed	hourly	m/s	1981-2004	
	Soil physical parameter	grid	-		Ecoclimap

3.2.2 การเตรียมข้อมูลและนำเข้าข้อมูลในแบบจำลอง

การนำเข้าข้อมูลของแบบจำลอง SiBUC จำเป็นต้องจัดรูปแบบข้อมูลทั้งหมดให้ตรงตามรูปแบบที่กำหนด โดยต้องปรับข้อมูลเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขฐานสอง Binary File โดยมีขั้นตอนหลักๆดังนี้

3.2.2.1 การกำหนดพื้นที่

พื้นที่ศึกษา คือ ลุ่มน้ำเจ้าพระยา กำหนดขอบเขตของพื้นที่ศึกษา ดังนี้ ละติจูดที่ 13N ถึง 20N และลองจิจูดที่ 97E ถึง 102E และมีขนาดกริดเท่ากับ 5 min (1/12 degree) หรือประมาณ 10 กิโลเมตร ดังนั้นภายในขอบเขตพื้นที่ศึกษา จึงมีทั้งหมด $60 \times 84 = 5,040$ กริด โดยเริ่มนับกริดที่ 1 จากทิศตะวันตกเฉียงใต้ขึ้นไปจนถึงกริดสุดท้ายที่ 5,040 ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 3-9



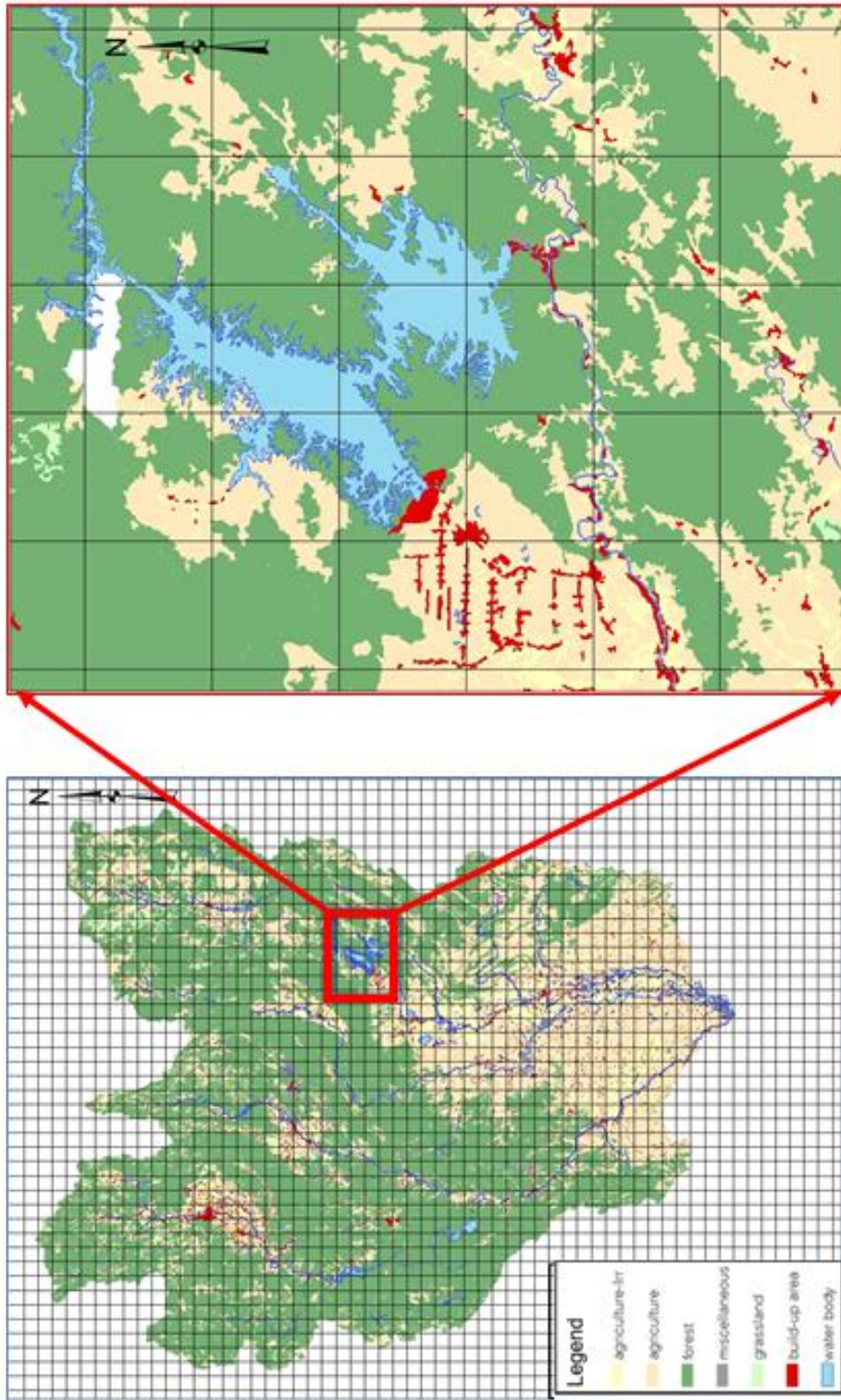
รูปที่ 3-9 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา และกริดทั้ง 5,040 กริด

3.2.2.2 การปรับข้อมูลเป็นข้อมูลกริด

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่เป็นข้อมูลแผนที่ต้องผ่านการ Overlay กับขอบเขตกริดก่อน เพื่อกำหนดขนาดและพื้นที่ของแต่ละชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดิน และจัดกลุ่มให้ตรงกับรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินของแบบจำลอง หลังจากจัดกลุ่มเรียบร้อยแล้ว ทำการหาสัดส่วนของพื้นที่ แต่ละกลุ่มการใช้ประโยชน์ที่ดินเทียบกับพื้นที่แต่ละกริด จะได้สัดส่วน Fraction ของแต่ละกลุ่ม โดยผลรวมของสัดส่วนของแต่ละกลุ่มการใช้ประโยชน์ที่ดินในแต่ละกริดนั้น จะรวมกันเท่ากับ 1 (ตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 2) ตารางที่ 3-6 แสดงประเภทของการใช้ที่ดินในแบบจำลอง และรูปที่ 3-10 ตารางที่ 3-7 และตารางที่ 3-8 แสดงการทำ Fractions การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆตามแบบจำลองทั้ง 5,040 กริด โดยการเรียงของข้อมูลนั้น ต้องจัดเรียงตามพิกัดโดยเริ่มนับกริดที่ 1 จากทิศตะวันตกเฉียงใต้ขึ้นไปจนถึงกริดที่ 5,040 ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเริ่มจาก Z1 ไปจนถึง Z17 ตามลำดับเท่ากับ 17 ชั้นข้อมูล

ตารางที่ 3-6 ประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ประยุกต์ใช้ในแบบจำลอง

Type	code	Name
1	Z1	Broadleaf-evergreen trees
2	Z2	Broadleaf-deciduous trees
3	Z3	Mixed forest
4	Z6	grassland
5	Z7	bare soil
6	Z8	Dwarf trees
7	Z9	Dry cropland
8	Z11	Paddy field
9	Z16	Urban area
10	Z17	Water body



รูปที่ 3-10 การ Overlay แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินกับกริดสำหรับการคำนวณพื้นที่และ Fractions

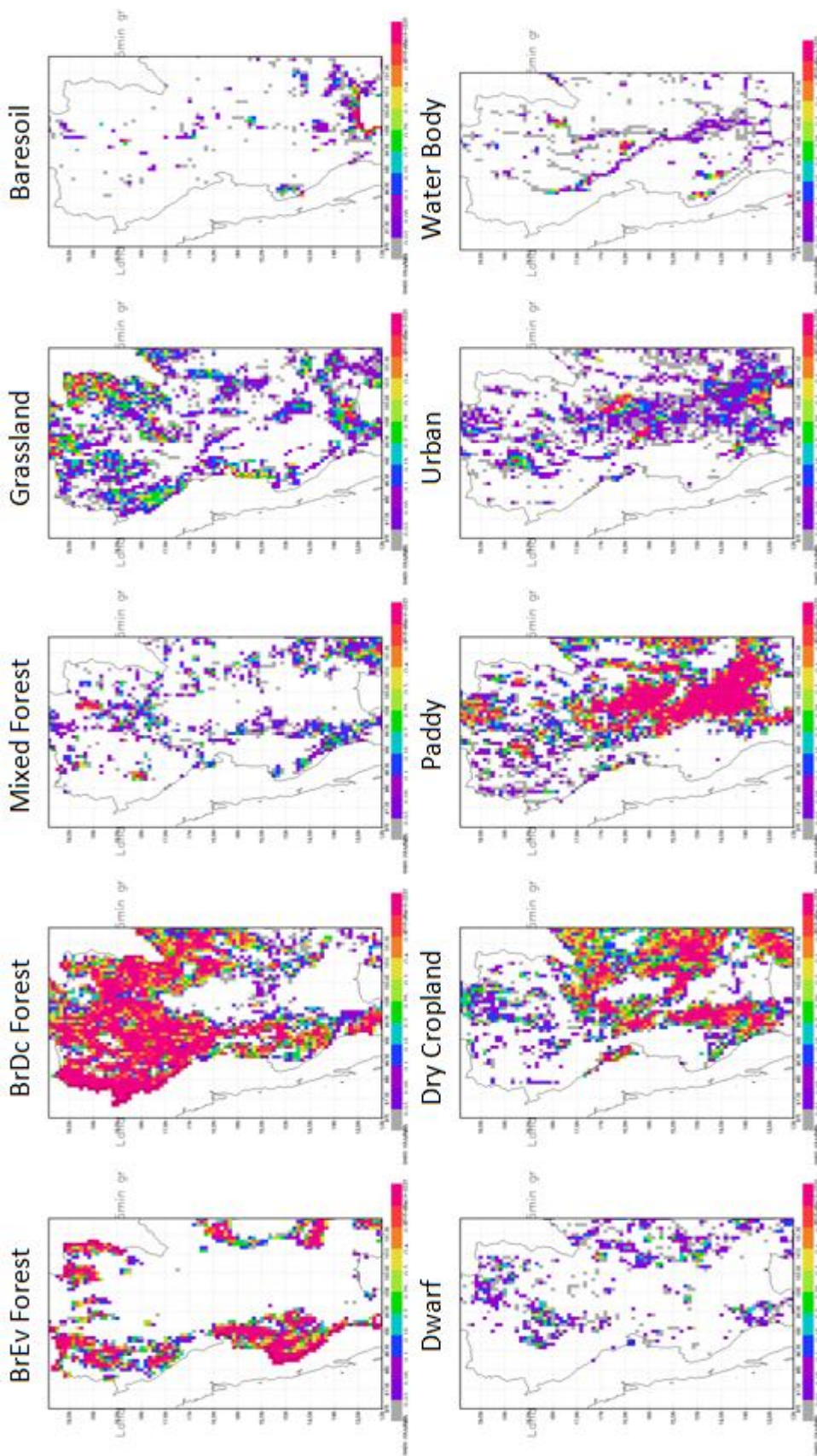
ตารางที่ 3-7 ตัวอย่าง การแบ่งพื้นที่ภายในกริด โดยมีข้อมูลพิกัด (Long-Lat) เลขที่กริด (InputFID) ขนาดกริด (GridArea) และพื้นที่ของการใช้ที่ดิน ตั้งแต่ประเภทที่ 1-17 (area Z1-Z17) หน่วยเป็นตารางกิโลเมตร

Long	Lat	InputFID	GridArea	area1	area2	area3	area4	area5	area6	area7	area8	area9	area10	area11	area12	area13	area14	area15	area16	area17	
100.417	13.500	401	83.17	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	79.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.53	0.00
100.500	13.500	402	83.13	1.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
100.417	13.583	461	83.15	5.97	0.00	2.18	0.00	0.00	0.00	64.80	0.00	0.00	0.00	4.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.84	0.00
100.500	13.583	462	83.11	0.00	0.00	18.04	0.00	0.00	0.00	54.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.07	0.00
100.583	13.583	463	83.16	0.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.62	0.60	0.00	0.00	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.60	11.30
100.417	13.667	521	83.12	0.45	0.00	46.16	0.00	0.00	0.00	4.07	0.00	0.00	0.00	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.94	0.00
100.500	13.667	522	83.08	0.00	0.00	30.17	0.00	0.00	0.00	1.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.58	4.99
100.583	13.667	523	83.13	0.00	0.00	11.61	0.00	0.00	0.00	7.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.88	6.30
100.417	13.750	581	83.09	0.00	0.00	53.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.48	0.12
100.500	13.750	582	83.04	0.00	0.00	4.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.20	1.55
100.583	13.750	583	83.10	0.00	0.00	2.92	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	5.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.40	0.13
100.333	13.833	640	83.06	0.00	0.00	22.59	0.00	0.00	0.00	3.76	0.00	0.00	0.00	52.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.34	1.29
100.417	13.833	641	83.06	0.00	0.00	59.53	0.00	0.00	0.00	1.49	0.00	0.00	0.00	9.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.50	1.29
100.500	13.833	642	83.02	0.00	0.00	27.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.62	2.50
100.583	13.833	643	83.08	0.00	0.00	0.47	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.10	0.00	5.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.14	0.00
100.417	13.917	701	83.03	0.00	0.00	22.46	0.00	0.00	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	54.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.90	0.81
100.500	13.917	702	82.99	0.00	0.00	16.27	0.00	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	22.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.92	5.56
100.583	13.917	703	83.05	0.00	0.00	3.21	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.99	0.00	18.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	60.36	0.32
100.333	14.000	760	83.00	0.00	0.00	12.50	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	67.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.40	1.46
100.417	14.000	761	83.00	0.00	0.00	6.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	70.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.24	1.05
100.500	14.000	762	82.96	0.00	0.00	5.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	67.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.31	2.78
100.583	14.000	763	83.01	0.00	0.00	9.13	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.00	50.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.48	3.45
100.250	14.083	819	82.92	0.00	0.00	4.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	75.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.58	0.01
100.333	14.083	820	82.97	0.00	0.00	6.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	73.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.32	0.57
100.417	14.083	821	82.98	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00	75.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.05	0.75
100.500	14.083	822	82.93	0.00	0.00	2.61	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.87	0.00	69.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.91	2.91
100.583	14.083	823	82.99	0.00	0.00	7.88	0.00	0.00	0.00	0.28	0.46	0.08	0.00	55.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.38	3.38
100.667	14.083	824	82.99	0.00	0.00	6.84	0.00	0.00	0.00	0.46	0.00	0.06	0.00	65.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.18	0.00
100.167	14.167	878	82.93	0.00	0.00	1.02	0.00	0.00	0.00	6.62	0.00	0.00	0.00	72.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.58	0.86
100.250	14.167	879	82.89	0.00	0.00	4.07	0.00	0.00	0.00	0.44	0.00	5.68	0.00	68.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.25	0.90
100.333	14.167	880	82.94	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.78	0.00	65.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.47	1.19
100.417	14.167	881	82.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.39	0.00	68.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.03	0.73

ตารางที่ 3-8 ตัวอย่าง Fractions ของแต่ละกริด โดยมีข้อมูลพิกัด (Long-Lat) เลขที่กริด (InputFID)

และ Fractions ของการใช้ที่ดินตั้งแต่ประเภทที่ 1-17 (z=1 ถึง z=17)

Long	Lat	InputFID	fraction																	
			z=1	z=2	z=3	z=4	z=5	z=6	z=7	z=8	z=9	z=10	z=11	z=12	z=13	z=14	z=15	z=16	z=17	
100.417	13.500	401	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
100.500	13.500	402	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
100.417	13.583	461	0.07	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00
100.500	13.583	462	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
100.583	13.583	463	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.14
100.417	13.667	521	0.01	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00
100.500	13.667	522	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	0.06
100.583	13.667	523	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.08
100.417	13.750	581	0.00	0.00	0.00	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00
100.500	13.750	582	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.02
100.583	13.750	583	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00
100.333	13.833	640	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02
100.417	13.833	641	0.00	0.00	0.00	0.72	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.02
100.500	13.833	642	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.60	0.03
100.583	13.833	643	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.93	0.00
100.417	13.917	701	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01
100.500	13.917	702	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.07
100.583	13.917	703	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.73	0.00
100.333	14.000	760	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
100.417	14.000	761	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01
100.500	14.000	762	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.03
100.583	14.000	763	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.04
100.250	14.083	819	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
100.333	14.083	820	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01
100.417	14.083	821	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01
100.500	14.083	822	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.04
100.583	14.083	823	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.04
100.667	14.083	824	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00

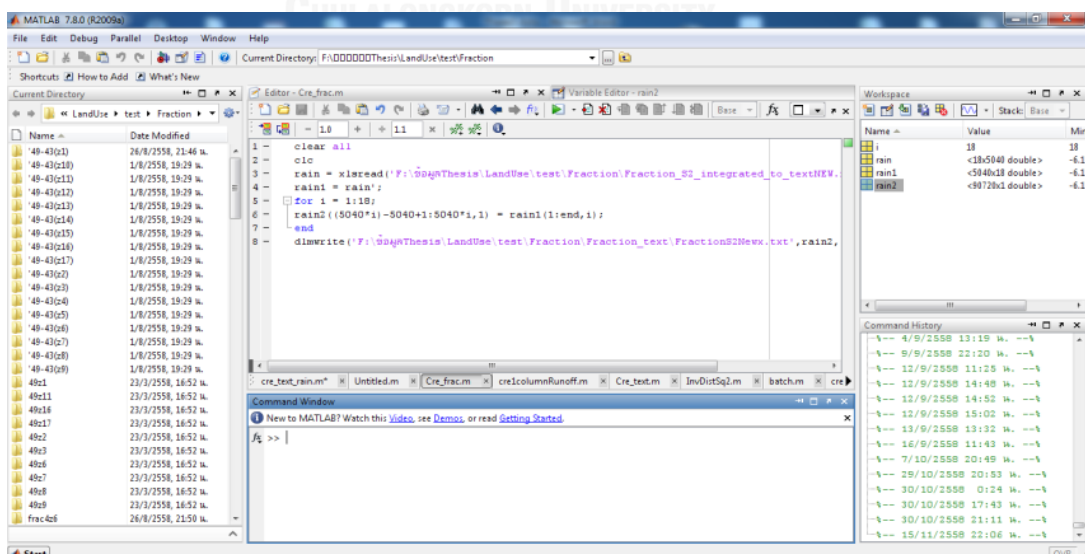


รูปที่ 3-11 Fractions ของการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบต่างๆในแบบจำลอง

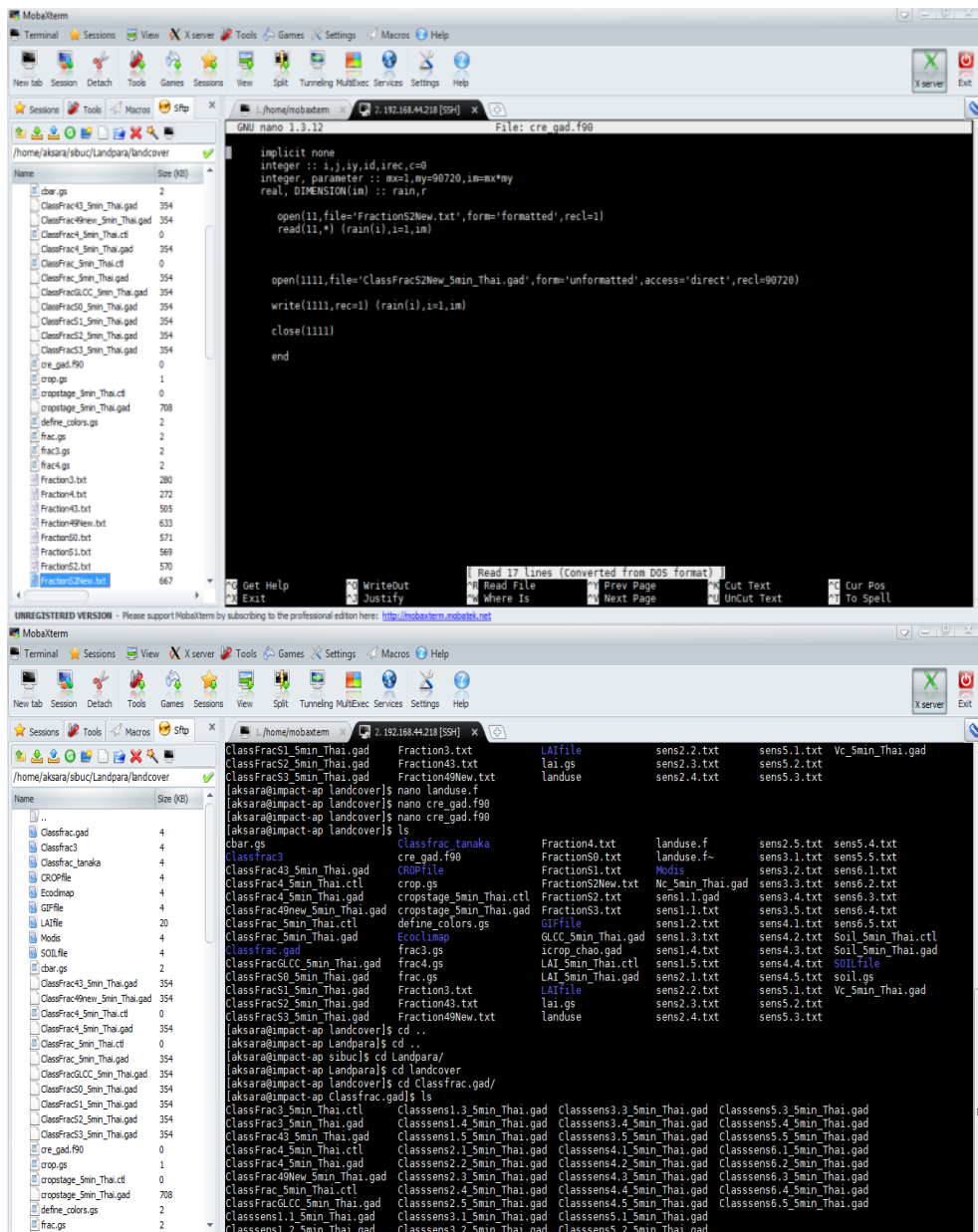
3.2.2.3 การแปลงข้อมูลเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขฐานสอง Binary File และการนำเข้าแบบจำลอง

เหตุผลที่จำเป็นต้องปรับข้อมูลเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขฐานสองก็เพราะว่า ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองมีหลายชนิด อีกทั้งข้อมูลมีจำนวนมาก (ยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลฝนรายวันตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981-2004 ทั้งสิ้น 24 ปี การเรียงข้อมูลนั้น จะเริ่มเรียงตั้งแต่ วันที่ 1/1/1981 ทั้งหมด 5,040 ตัว (กริด) แล้วต่อด้วยข้อมูลของวันที่ 2/1/1981 อีก 5,040 ตัว เรียงแบบนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งถึงวันที่ 31/12/2004 หรืออาจกล่าวได้ว่ามีจำนวนข้อมูลฝนทั้งสิ้น $24 \times 365 \times 5,040 = 44,150,400$ ตัว) ทำให้ขนาดของข้อมูลแต่ละชนิดมีขนาดใหญ่ ดังนั้นการสร้าง Binary File (ไฟล์นามสกุล .gad) เพื่อลดขนาดของข้อมูลและสะดวกในการนำเข้าแบบจำลอง โดยหลังจากจัดเรียงข้อมูลตามลำดับชั้นเรียบร้อยแล้วต้องเซฟข้อมูลเป็นไฟล์ข้อความ (ไฟล์นามสกุล .txt) แล้วใช้คำสั่งภาษา Fortran ในการแปลงข้อมูลไฟล์ข้อความเป็น Binary File เพื่อนำเข้าแบบจำลองต่อไป โดยจะแสดงตัวอย่างการแปลงข้อมูลเป็น Binary File ดังนี้ (ยกตัวอย่างข้อมูล Land Cover Fractions)

- หลังจากคำนวณ Fractions เสร็จเรียบร้อยแล้วนั้น จะมี Matrix ของข้อมูลเท่ากับ $5,040 \times 17$ (ข้อมูล 17 ประเภทการใช้ที่ดิน ประเภทละ 5,040 กริด) ดังตัวอย่างในตารางที่ 3-8
- นำข้อมูลมาจัดเรียงใหม่ให้เป็น matrix (Nx1) โดยเรียงลำดับจาก Z1 ถึง Z17 แล้วเซฟเป็นไฟล์ .txt ด้วยโปรแกรม Matlab รูปที่ 3-12
- นำไฟล์ .txt นั้นอัปโหลดขึ้น Server แบบจำลอง และใช้คำสั่งสร้าง Binary file ดังแสดงในรูปที่ 3-13



รูปที่ 3-12 การใช้โปรแกรม Matlab ช่วยจัดเรียงข้อมูลใหม่และสร้างไฟล์ข้อความ (.txt)



รูปที่ 3-13 การใช้คำสั่ง Fortran สร้าง Binary File และ ไฟล์ Fraction ที่ใช้ในการศึกษา

3.2.3 ดัชนีที่ใช้ในการตรวจสอบผลการจำลองสภาพ

การตรวจสอบประสิทธิภาพของการจำลองสภาพจะอาศัยดัชนีเชิงสถิติ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (Coefficient of Determination, R^2) และดัชนี Nash-Sutcliffe efficiency (NS) ซึ่งสมการแสดงไว้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2)

เป็นค่าดัชนีเชิงสถิติที่อธิบายถึงระดับความแปรปรวนของผลที่ได้จากแบบจำลอง มีค่าจาก 0 จนถึง 1

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)(Q_m^t - \bar{Q}_m)}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2 \sum_{t=1}^T (Q_m^t - \bar{Q}_m)^2}} \right]^2$$

โดยที่ Q_0 = อัตราการไหลสังเกตการณ์
 Q_m = อัตราการไหลจากแบบจำลอง
 \bar{Q}_0 = อัตราการไหลสังเกตการณ์เฉลี่ย
 \bar{Q}_m = อัตราการไหลจากแบบจำลองเฉลี่ย

ดัชนี Nash-Sutcliffe Efficiency (NS)

เป็นดัชนีที่ใช้ในการประเมินความสามารถในการจำลองสภาพทางอุทกวิทยา มีค่าสูงสุด คือ 1 ซึ่งหมายถึงความเข้ากันได้อย่างสมบูรณ์ระหว่างแบบจำลองและข้อมูลสังเกตการณ์

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2}$$

โดยที่ Q_0 = อัตราการไหลสังเกตการณ์
 Q_m = อัตราการไหลจากแบบจำลอง
 \bar{Q}_0 = อัตราการไหลสังเกตการณ์เฉลี่ย

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

3.3.1 รวบรวม ทบทวนรายงานเอกสาร และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง (Local-Scale Data) ข้อมูลสังเกตการณ์ ข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.2S ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน

- 1) ทบทวนเอกสารและการศึกษาทางวิชาการที่ผ่านมา
- 2) รวบรวมข้อมูลสังเกตการณ์ที่เกี่ยวข้อง
 - ข้อมูลปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาตั้งแต่ พ.ศ. 2524 - 2547 (กรมชลประทาน, 2558)
 - ข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้า ข้อมูลการระบายน้ำออกจากเขื่อนภูมิพลและสิริกิติ์ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2558)
 - ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553)
- 3) รวบรวมข้อมูลฝนจากโครงการ GAME-T (GAME-T2 Data Center, 2005) IMPAC-T (Kotsuki and Tanaka, 2013b) และข้อมูลฝนจาก APHRODITE's Water Resources (Yatagai et al., 2012)
- 4) รวบรวมข้อมูลสภาพอากาศอื่นๆ ข้อมูลชนิดดินและข้อมูล GLCC ver2.0 Land-Cover Fractions (Kotsuki and Tanaka, 2013b)
- 5) รวบรวมข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกที่ใช้ในการศึกษา (MRI-AGCM3.2S) ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติเรียบร้อยแล้ว (Koontanakulvong et al., 2014)
- 6) รวบรวมข้อมูลการคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต (Trisurat et al., 2010)

3.3.2 จัดทำข้อมูลเพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าและข้อมูลสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง Land Surface Model (SiBUC)

- 1) กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา ขนาดกริด และพิกัดของแต่ละกริด
- 2) ปรับข้อมูลสถานีหรือข้อมูลจุด ให้เป็นข้อมูลรายกริด
- 3) ปรับข้อมูลรายกริดเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขฐานสอง สำหรับเตรียมนำเข้าแบบจำลอง

3.3.3 จัดกลุ่มชุดข้อมูล Global-Scale Data / Local-Scale Data โดยแบ่งข้อมูลเป็น 4 ชุด คือ

- ชุดที่ 1 ข้อมูลฝน APHRODITE กับ ข้อมูล Land cover fractions GLCC v2.0

- ชุดที่ 2 ข้อมูลฝน IMPAC-T กับ ข้อมูล Land cover fractions GLCC v2.0
- ชุดที่ 3 ข้อมูลฝน IMPAC-T กับ ข้อมูล Land cover fractions LDD 2000
- ชุดที่ 4 ข้อมูลฝน IMPAC-T กับ ข้อมูล Land cover fractions LDD 2006

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองสภาพน้ำท่าด้วย Land Surface Model (SiBUC) โดยใช้ผลการจำลองสภาพด้วยข้อมูลทั้ง 4 ชุด และข้อมูลน้ำท่าสังเกตการณ์ (Observed Data) เพื่อคัดเลือกชุดข้อมูลที่ดีที่สุดเป็นกรณีพื้นฐาน (Based Case) โดยข้อมูลชุดที่ 1 และ 2 เป็นชุดการจำลองสภาพที่เตรียมไว้เพื่อศึกษาการใช้แบบจำลอง SiBUC ตรวจสอบและพิจารณาผลที่ได้กับการศึกษาที่ผ่านมาเพื่อยืนยันผลการจำลองสภาพ และเพื่อแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ของการใช้ข้อมูลระดับโลก (Global-Scale) ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจวัดข้อมูลได้โดยตรง หรือมีข้อมูลสังเกตการณ์ไม่เพียงพอ

- 1) วิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณฝนรายปี ฝนรายเดือน เปรียบเทียบการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของข้อมูล ฝน IMPAC-T และฝน APHRODITE
- 2) เปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางสถิติ เช่นค่าเฉลี่ย ค่าความคลาดเคลื่อนและความแตกต่างของข้อมูล
- 3) เปรียบเทียบความแตกต่าง การเพิ่มขึ้น/ลดลงของประเภทการใช้ที่ดิน GLCC v.2.0, กรมพัฒนาที่ดินปี ค.ศ. 2000 และ 2006

3.3.4 จำลองสภาพน้ำท่าด้วยข้อมูลทั้ง 4 ชุด

- 1) เปรียบเทียบค่าดัชนีในการตรวจสอบผลการจำลอง ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (Coefficient of Determination, R^2) และ ดัชนี Nash-Sutcliffe Efficiency (NS) เพื่อเลือกข้อมูลที่เป็นตัวแทนการศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน
- 2) ศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินต่อผลกระทบด้านน้ำท่าที่สถานี C.2 และน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์ เพื่อตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดจากความอ่อนไหวของแบบจำลองหรือพารามิเตอร์อื่น แต่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินเท่านั้น

3.3.5 ศึกษาข้อมูลฝนในช่วงอนาคตจากแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติแล้ว ภายใต้สมมติฐานการเปลี่ยนแปลงไปของสภาพภูมิอากาศของโลก RCPs 6.0 หรือ A1B (Koontanakulvong et al., 2014)

- 1) ตรวจสอบความถูกต้องน่าเชื่อถือและการเป็นตัวแทนผลลัพธ์ของฝน MRI-AGCM3.2S ที่ปรับแก้ด้วยวิธี Hybrid Method
- 2) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนตกในอนาคตเทียบกับในอดีตของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน และพื้นที่รับน้ำของแต่ละสถานี ซึ่งได้แก่ ปริมาณฝนรายปี ปริมาณฝนรายเดือน แนวโน้มการเปลี่ยนแปลง และการกระจายตัวเชิงพื้นที่
- 3) เปรียบเทียบความแตกต่างของฝนในอนาคตอันใกล้ (2015-2039) และอนาคตอันไกล (2075-2039)

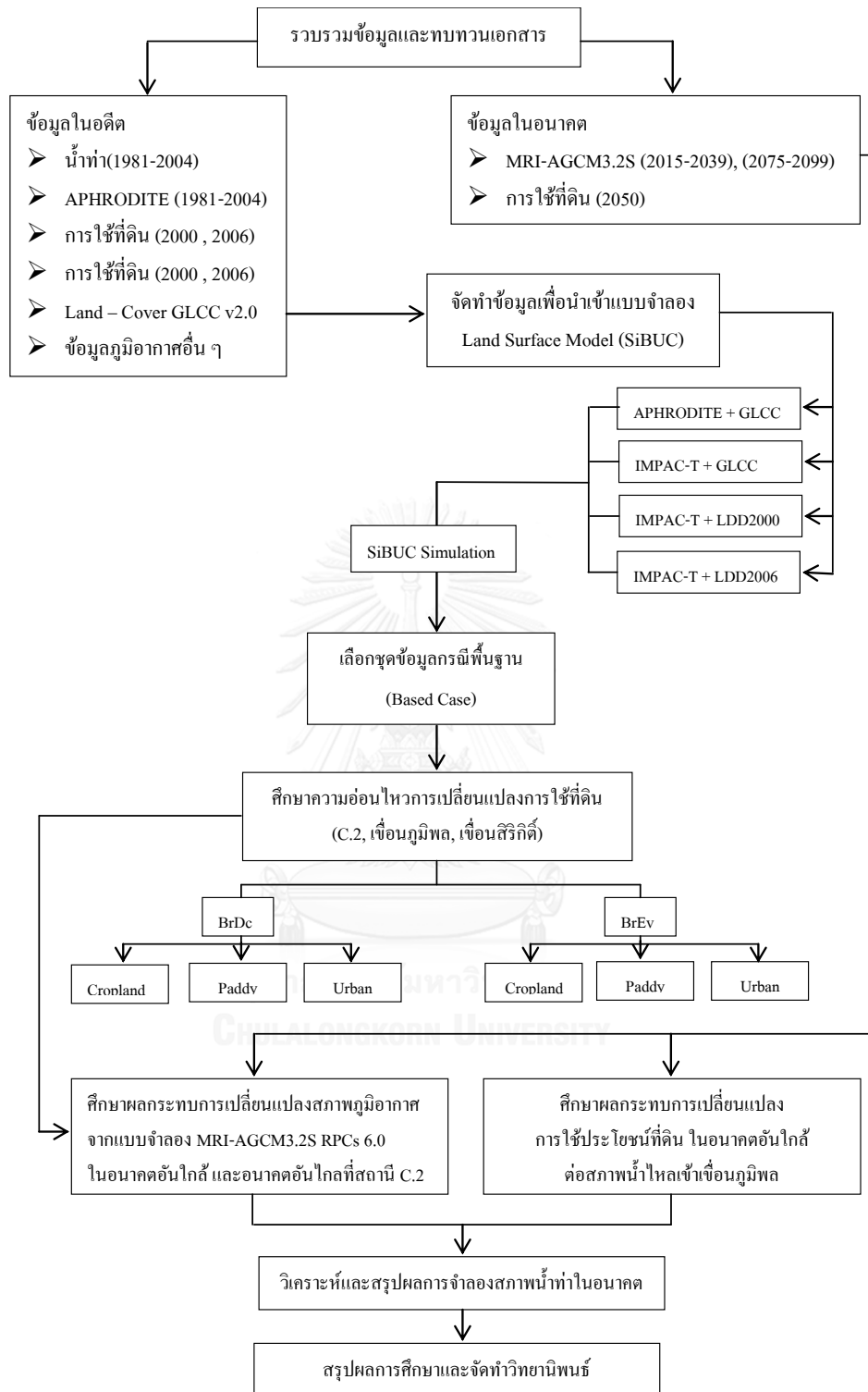
3.3.6 ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ด้วยข้อมูลสภาพอากาศต่อน้ำท่า จากแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติแล้ว ภายใต้สมมติฐานการเปลี่ยนแปลงไปของสภาพภูมิอากาศของโลก RCPs 6.0 หรือ A1B ที่สถานี C.2 (ค่ายจิระประวัติ กรมชลประทาน)

3.3.7 ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตของไทยต่อน้ำท่า ด้วยสมมติฐานการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน พิจารณาจากปัจจัยการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ชุมชน พื้นที่เกษตรกรรม รวมถึงนโยบายของภาครัฐ (Trisurat et al., 2010)

- 1) เตรียมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินเมื่อเทียบกับข้อมูลในอดีต
- 2) จำลองสภาพน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล ภายใต้การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

3.3.8 วิเคราะห์และสรุปผลการจำลองสภาพน้ำท่าในอนาคตอันใกล้ ค.ศ.2015-2039

3.3.9 สรุปผลการศึกษาและจัดทำวิทยานิพนธ์



รูปที่ 3-14 ขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 4 ผลการศึกษา

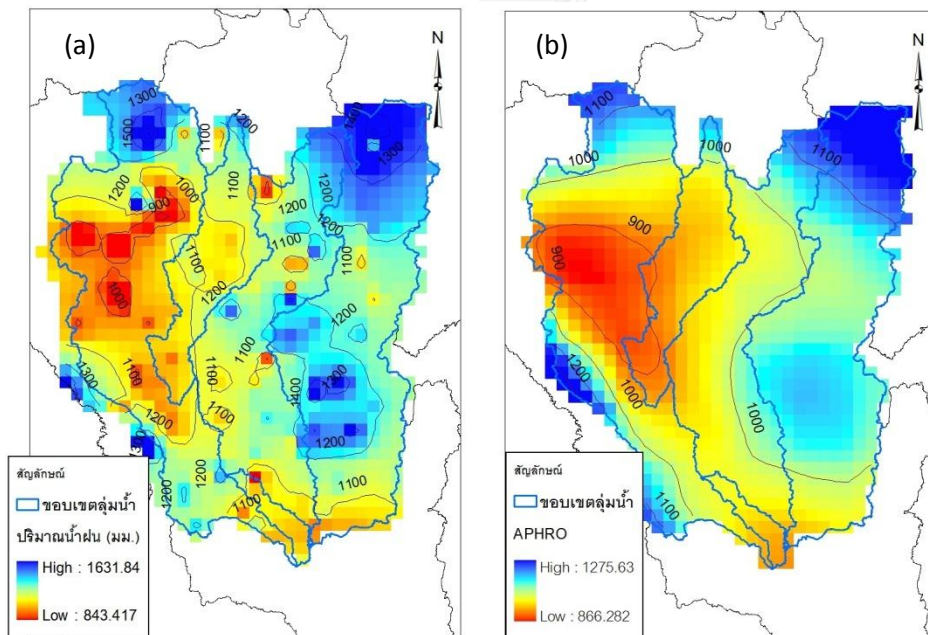
4.1 การจำลองสภาพน้ำท่าในอดีต (ค.ศ.1981-2004)

ในหัวข้อนี้ได้ศึกษาการจำลองสภาพน้ำท่า ด้วยข้อมูลฝน 2 ชุด คือ ฝน IMPAC-T และ ฝน APHRODITE กับ ข้อมูล Land Cover Fractions 2 ชุด คือ LDD (ค.ศ.2000 และ ค.ศ.2006) และ GLCC v.2.0 (ค.ศ.2000) (รายละเอียดกล่าวไว้ในบทที่ 3) เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพกับ ข้อมูลน้ำท่าตรวจวัดจากกรมชลประทาน โดยจัดกลุ่มการจำลองสภาพน้ำท่าเป็น 4 ชุด ดังนี้

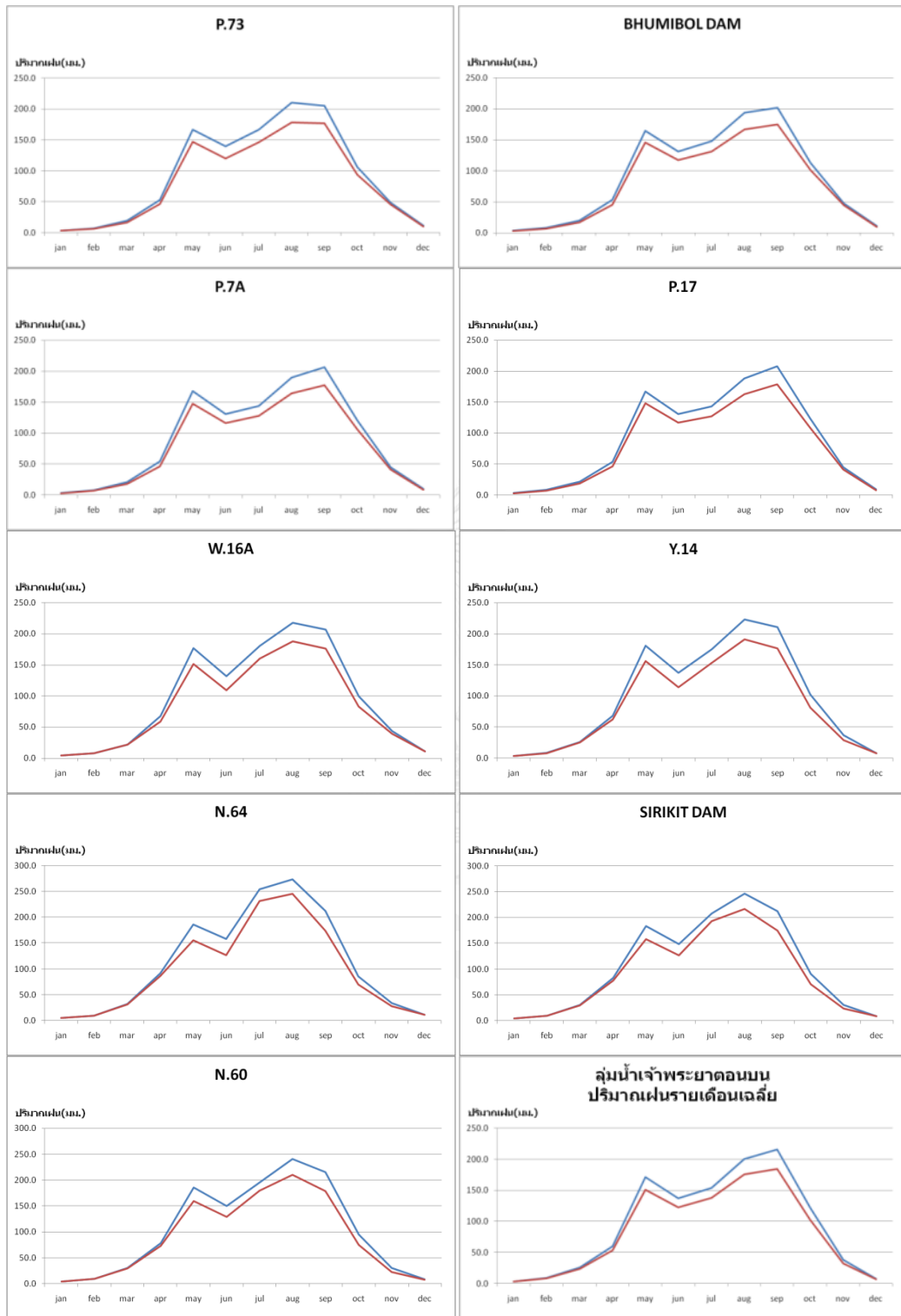
- ข้อมูลฝน APHRODITE กับ ข้อมูล Land cover fractions GLCC v2.0
- ข้อมูลฝน IMPAC-T กับ ข้อมูล Land cover fractions GLCC v2.0
- ข้อมูลฝน IMPAC-T กับ ข้อมูล Land cover fractions LDD 2000
- ข้อมูลฝน IMPAC-T กับ ข้อมูล Land cover fractions LDD 2006

4.1.1 การวิเคราะห์ข้อมูลฝน APHRODITE และ IMPAC-T

หัวข้อนี้จะเปรียบเทียบข้อมูลฝน ในเชิงปริมาณและการกระจายตัวของฝนในพื้นที่ ศึกษา เพื่อให้เข้าใจถึงระดับความแตกต่างของข้อมูลฝนระดับโลก กับข้อมูลฝนระดับภูมิภาค โดย ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ คือ การกระจายตัวของฝน ข้อมูลฝนสะสมรายปีเฉลี่ยและ ข้อมูลฝนรายเดือนเฉลี่ย ดังแสดงในรูปที่ 4-1 4-2 และตารางที่ 4-1



รูปที่ 4-1 การกระจายของฝนสะสมรายปีเฉลี่ย (1981-2004) (a) IMPAC-T (b) APHRODITE (มม.)



รูปที่ 4-2 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนที่พื้นที่ต่างๆ โดยสีน้ำเงินคือ ฝน IMPACT สีแดงคือ APHRODITE

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลฝนรายเดือนเฉลี่ย และข้อมูลฝนรายปีเฉลี่ย ของข้อมูลฝน 2 ชุด ที่สถานีต่างๆ

พื้นที่สถานี	ชุดฝน	ฝนรายเดือนเฉลี่ย (มม.)											รายปี (มม.)	
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.		ธ.ค.
P.73	IMPAC-I	3.8	7.2	19.7	53.5	166.6	139.2	166.4	209.9	205.0	105.8	48.5	11.6	1137.2
	APHRODITE	3.6	6.6	16.4	46.7	147.1	119.9	145.9	178.3	177.0	93.6	45.8	10.3	991.2
ภูมิพล	IMPAC-I	3.4	7.6	19.3	52.9	164.6	131.3	147.8	193.8	201.7	112.8	46.8	10.6	1092.6
	APHRODITE	2.9	6.8	16.5	45.4	145.4	116.7	130.9	166.4	174.6	100.8	44.2	9.2	959.7
P.7A	IMPAC-I	3.1	7.8	20.7	54.3	167.5	130.8	145.7	189.7	206.2	120.3	44.9	9.3	1098.5
	APHRODITE	2.7	7.1	18.0	46.3	147.4	116.4	127.9	164.1	177.0	105.6	41.4	8.3	962.2
P.17	IMPAC-I	3.1	8.1	21.3	53.8	167.6	131.1	142.9	188.2	208.1	124.1	44.7	9.0	1102.1
	APHRODITE	2.8	7.5	18.6	46.2	147.8	117.0	127.2	162.9	178.6	108.8	41.2	8.0	966.5
W.16A	IMPAC-I	4.7	8.1	22.1	67.7	177.2	131.9	180.7	217.9	207.3	100.2	44.2	11.3	1173.1
	APHRODITE	4.1	7.4	21.6	58.7	151.5	109.1	160.4	187.8	176.1	82.8	39.4	10.6	1009.4
Y.14	IMPAC-I	3.7	8.6	26.5	68.1	180.6	137.4	174.8	222.9	210.6	102.6	37.1	7.9	1180.8
	APHRODITE	3.1	7.7	25.0	62.0	156.8	113.9	153.2	191.5	176.9	81.5	28.5	7.6	1007.6
N.64	IMPAC-I	5.5	9.5	32.3	91.5	186.0	158.1	253.6	273.2	211.8	85.5	34.2	11.3	1352.5
	APHRODITE	4.9	9.1	31.2	86.1	155.7	126.3	231.3	245.6	173.5	69.3	27.4	11.3	1171.7
ศิริกิติ	IMPAC-I	4.3	9.5	30.3	82.5	183.7	148.2	207.5	246.3	212.0	90.4	30.8	9.0	1254.6
	APHRODITE	4.1	9.2	29.5	77.5	158.5	126.2	192.9	216.8	175.0	70.9	23.2	8.5	1092.3
N.60	IMPAC-I	4.2	9.8	30.3	78.7	185.9	149.9	194.8	240.5	215.1	94.8	30.5	8.4	1242.8
	APHRODITE	4.0	9.3	28.9	73.2	159.7	128.4	179.3	209.9	178.6	74.3	22.7	7.8	1076.1
C.2	IMPAC-I	3.5	9.1	25.9	59.8	170.9	137.2	153.6	200.4	215.4	122.2	38.1	7.8	1143.9
	APHRODITE	3.4	8.8	23.6	53.7	151.0	121.3	138.1	175.9	184.5	102.9	32.8	7.3	1004.5

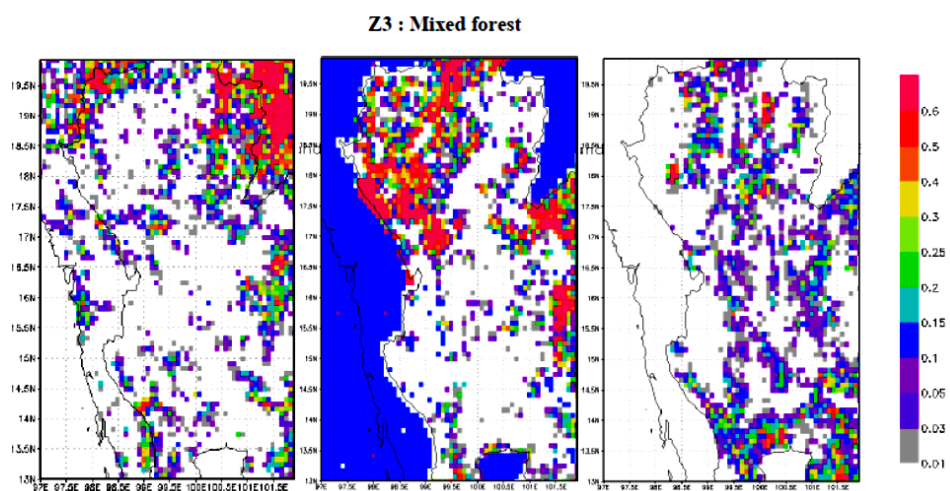
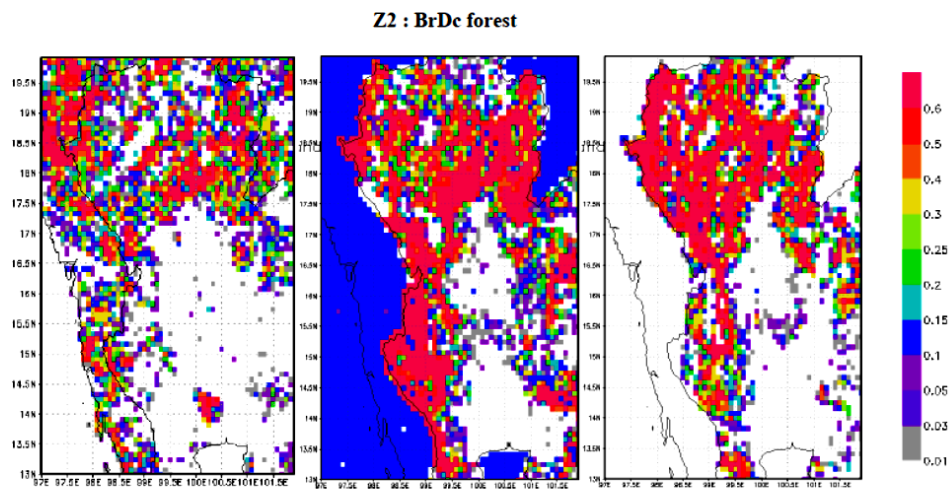
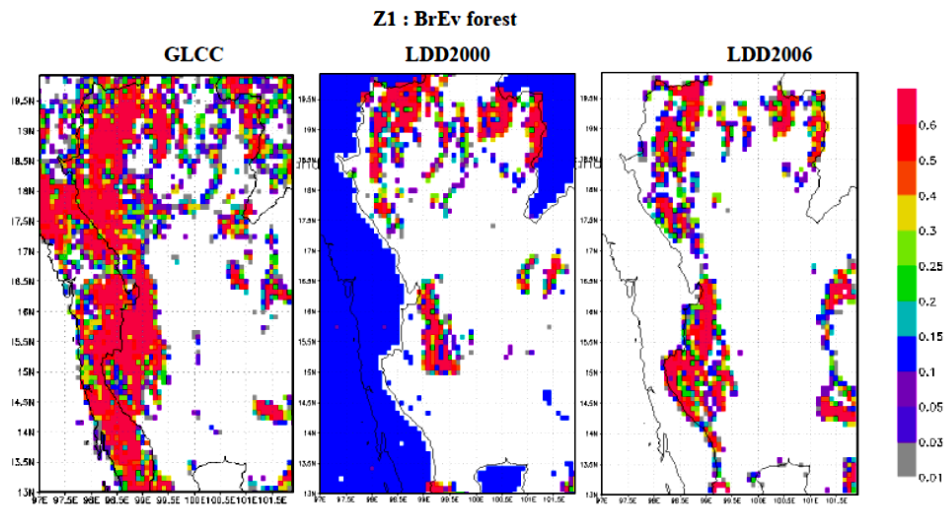
จากข้อมูลในตารางที่ 4-1 รูปที่ 4-1 และ 4-2 แสดงให้เห็นว่า การเปรียบเทียบฝนรายปีเฉลี่ย ระหว่างฝน IMPAC-T กับ APHRODITE มีรูปแบบการกระจายตัวของฝนในพื้นที่ใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกันในเชิงปริมาณเล็กน้อย โดยที่ฝน APHRODITE มีค่าต่ำกว่าฝน IMPAC-T อยู่ประมาณ 12-15% โดยปริมาณฝนสูงสุดอยู่ที่พื้นที่ลุ่มน้ำ่าน และต่ำสุดที่ลุ่มน้ำปิง

ในขณะที่ฝนรายเดือนเฉลี่ยแสดงให้เห็นว่า รูปแบบการเกิดฝนในรอบปีของทั้ง 2 ชุดข้อมูล ใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงฤดูฝนปริมาณฝน APHRODITE มีค่าต่ำกว่าฝน IMPAC-T อยู่ประมาณ 10-18%

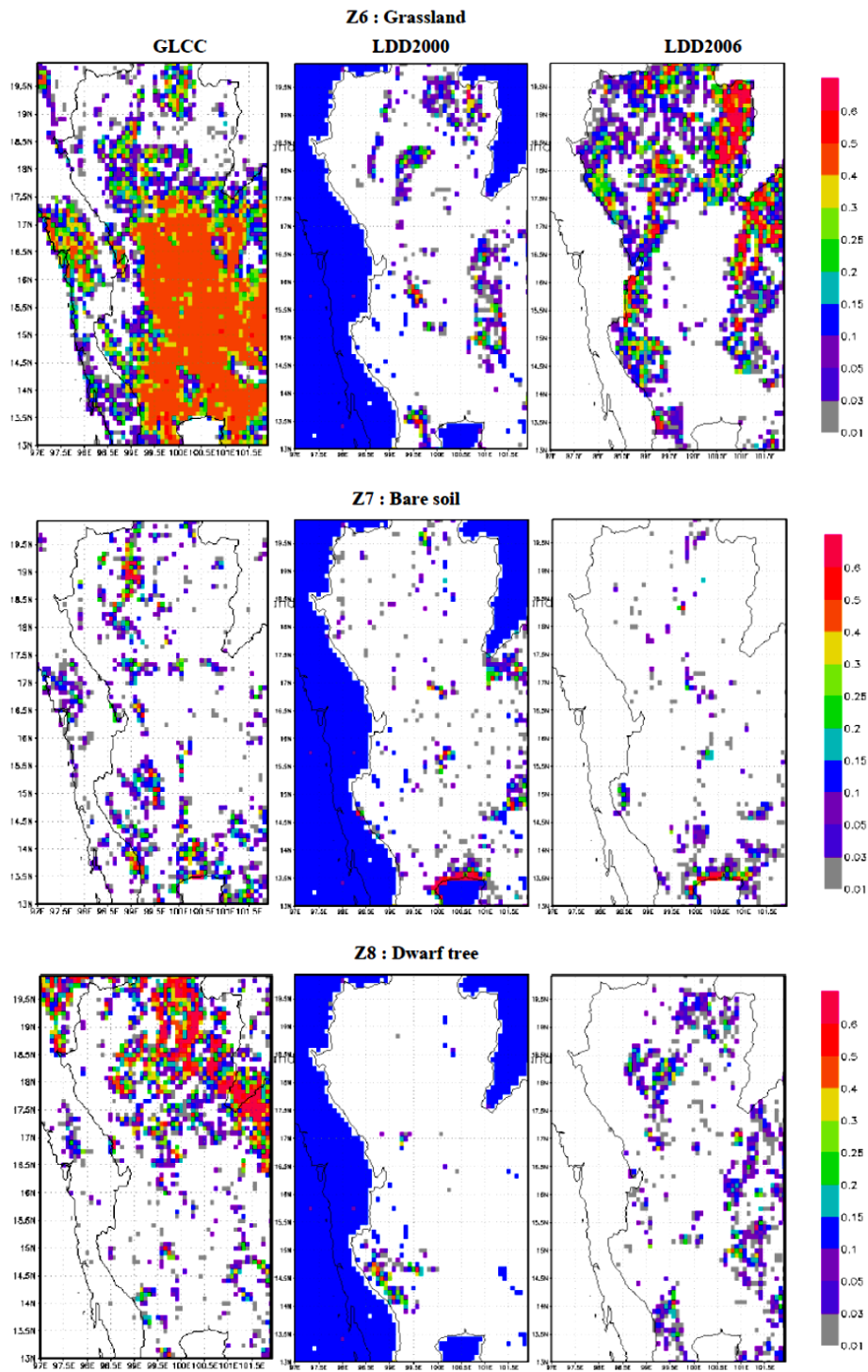
4.1.2 การวิเคราะห์ข้อมูล Land Cover Fractions ระหว่าง GLCC v2.0 กับ LDD (ค.ศ. 2000 และ 2006)

ในหัวข้อนี้จะเปรียบเทียบลักษณะการใช้ที่ดิน ในรูปของ ตำแหน่ง ขนาดพื้นที่ และ ในรูปของ Land cover fractions เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างข้อมูลระดับโลก กับ ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจโดยหน่วยงานภาครัฐ ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน โดยจะวิเคราะห์ข้อมูลจาก ชนิด ตำแหน่งเชิงพื้นที่ ขนาดของพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 4-3 และ 4-4

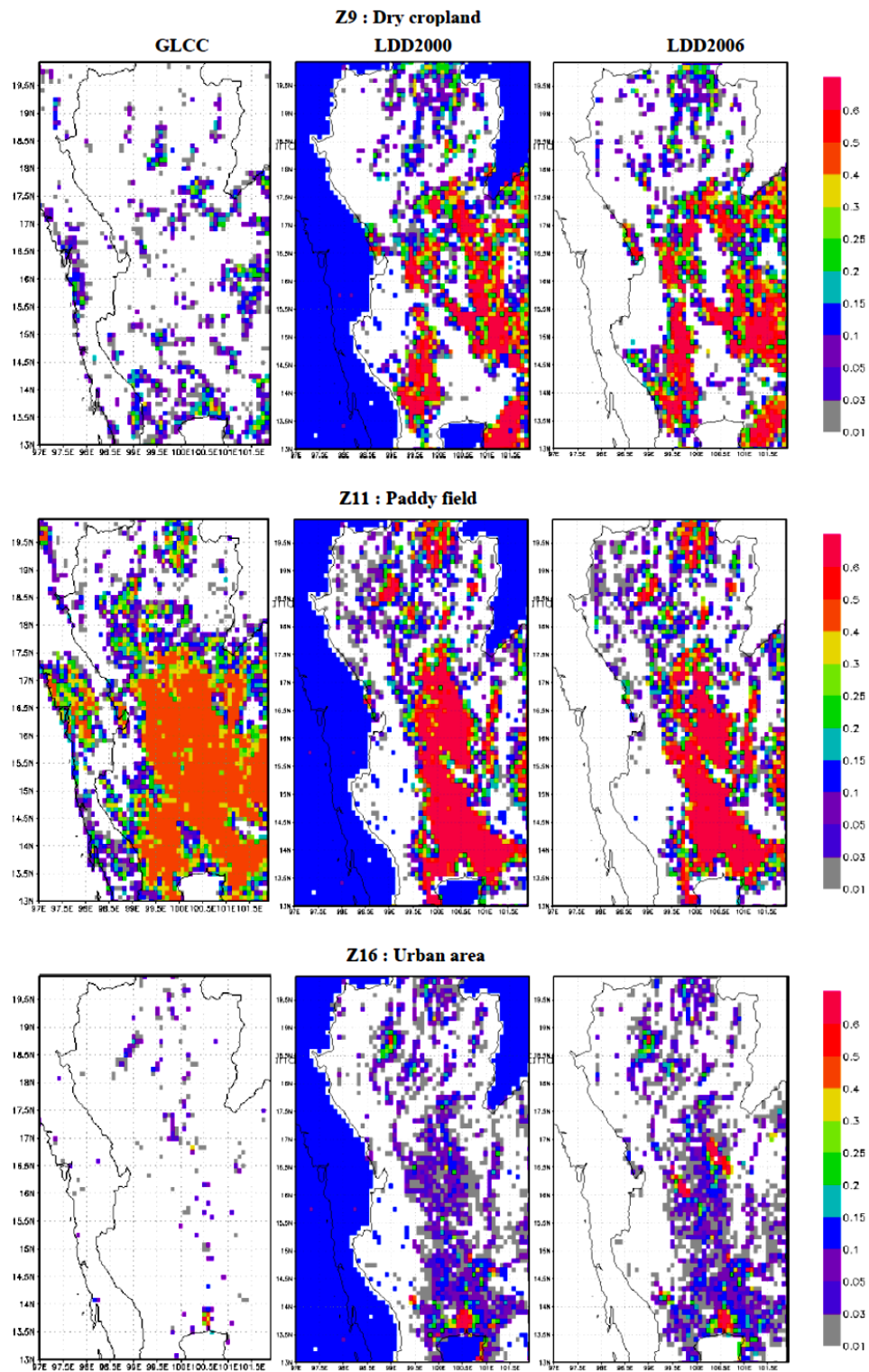
จากข้อมูลในรูปที่ 4-3 และ 4-4 พบว่า ตำแหน่งของชนิดการใช้ที่ดินและปริมาณ Fractions ในชุดข้อมูล GLCC ปี 2000 มีความแตกต่างจาก ข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดินทั้งปี 2000 และ 2006 อยู่พอสมควร หากพิจารณาพื้นที่รวมเหนือสถานี C.2 พบว่าพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด คือ ป่าไม้ปลัดใบ (Z2 : BrDc Forest), พีชไร่ (Z9 : Dry Cropland) และ พื้นที่เขตเมือง (Z16 : Urban Area) มีขนาดน้อยกว่าข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดินปีเดียวกัน อยู่ประมาณ 52%, 87% และ 88% ตามลำดับ แต่ในขณะที่ พื้นที่ป่าไม้ไม่ผลัดใบ (Z1 : BrEv Forest) ทุ่งหญ้า (Z6:Grassland) และไม้พุ่ม (Z8:Dwarf Tree) กลับสูงกว่าอยู่ 44%, 90% และ 960% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกรมพัฒนาที่ดินปี 2000 กับ 2006 พบว่า ในช่วงเวลา 6 ปี พื้นที่ป่าไม้ผลัดใบและป่าผลัดใบลดลงประมาณ 30% และ 10% แต่พื้นที่ชุมชน ทุ่งหญ้า และพีชไร่ เพิ่มขึ้น ประมาณ 85%, 36% และ 10% ตามลำดับ



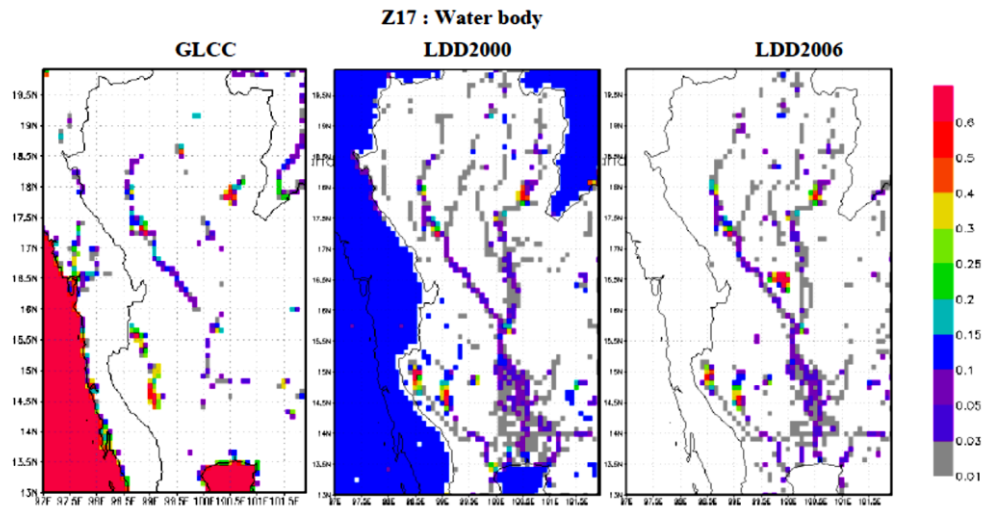
รูปที่ 4-3 เปรียบเทียบ Fractions แต่ละชนิดของข้อมูล GLCC LDD 2000 และ LDD 2006



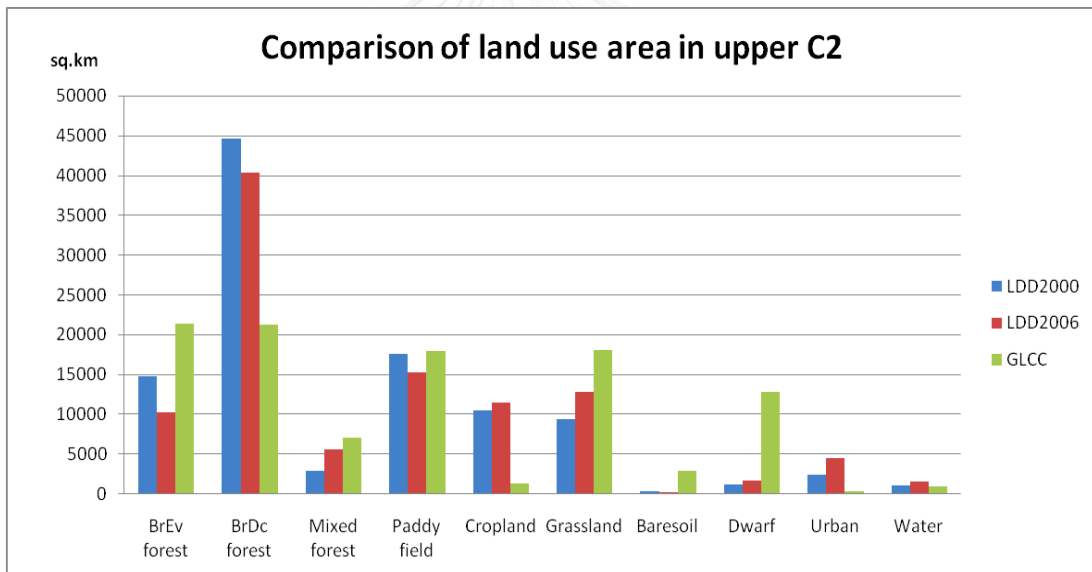
รูปที่ 4-3 (ต่อ)เปรียบเทียบ Fractions แต่ละชนิดของข้อมูล GLCC LDD 2000 และ LDD 2006



รูปที่ 4-3 (ต่อ)เปรียบเทียบ Fractions แต่ละชนิดของข้อมูล GLCC LDD 2000 และ LDD 2006



รูปที่ 4-3 (ต่อ)เปรียบเทียบ Fractions แต่ละชนิดของข้อมูล GLCC LDD 2000 และ LDD 2006



รูปที่ 4-4 กราฟเปรียบเทียบพื้นที่แต่ละชนิดในพื้นที่ศึกษา

4.1.3 การวิเคราะห์ผลการจำลองสภาพน้ำท่าและน้ำไหลเข้าเขื่อน

ในหัวข้อนี้ จะวิเคราะห์ผลการจำลองสภาพน้ำท่าและน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพลและสิริกิติ์ ด้วยข้อมูลทั้ง 4 ชุดเพื่อตรวจสอบชุดข้อมูลที่เหมาะสมที่จะเป็นกรณีพื้นฐาน (Based Case) ของการจำลองสภาพน้ำท่าและน้ำไหลเข้าเขื่อนในอนาคต รวมถึงการศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อสภาพน้ำท่า โดยการค่อยๆปรับข้อมูลจากข้อมูลระดับโลกลงมาสู่ข้อมูลระดับลุ่มน้ำตามลำดับจากข้อมูลชุดที่ 1-4

1) Case 1 ผลการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 1 (ฝน APHRODITE กับข้อมูล Land Cover Fractions GLCC v2.0)

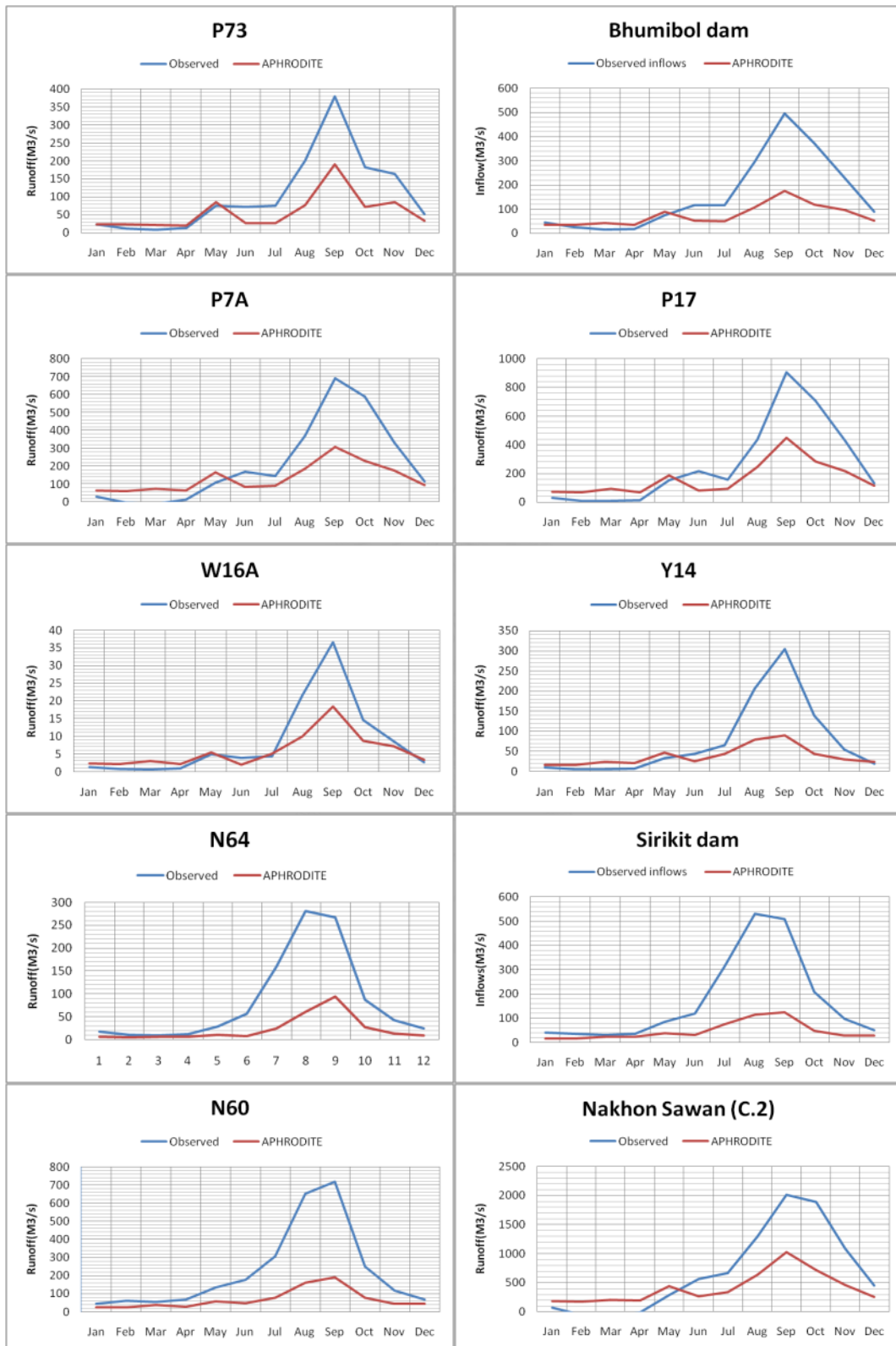
ผลการศึกษา ปริมาณน้ำท่ารายเดือน ในช่วงปี 1981-2004 ด้วยข้อมูลฝน APHRODITE กับข้อมูล Land Cover Fractions GLCC v2.0 สรุปแนวโน้มได้พอสังเขป จากกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย ปริมาณน้ำท่ารายเดือนระยะยาวค่าปริมาณน้ำท่ารายปี ค่าดัชนี Nash-Sutcliffe Efficiency ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2) ของแต่ละสถานีวัดน้ำท่า ในรูปที่ 4-5 ถึง 4-7 สรุปได้ดังนี้

การจำลองสภาพน้ำท่ารายเดือนทั้ง 10 สถานีด้วยข้อมูลชุดที่ 1 คือ ฝน APHRODITE กับข้อมูล Land Cover Fractions GLCC v2.0 ได้ผลการจำลองที่ต่ำกว่าค่าตรวจวัดทุกสถานี โดยที่สถานีเขื่อนสิริกิติ์ มีความคลาดเคลื่อนของค่าสูงสุด (peak) สูงที่สุด คือ ประมาณ 85% รองลงมาคือ สถานี N60, Y14, N64 ที่ 72%, 70%, 64% ตามลำดับ ในขณะที่ สถานีในกลุ่มน้ำปิง และ สถานี C.2 ผลของความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ประมาณ 50-60%

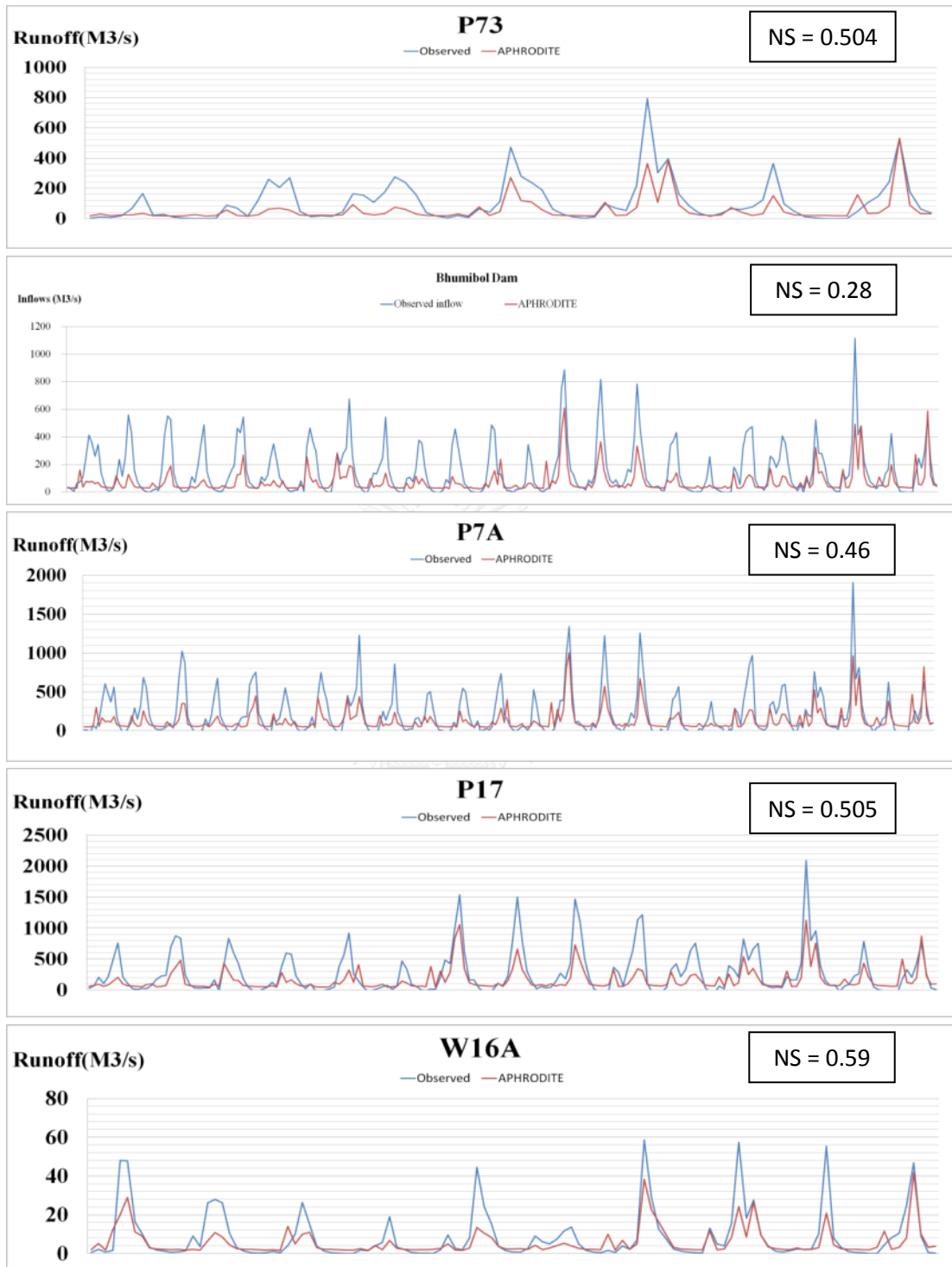
สำหรับค่าเฉลี่ยรายปีของน้ำท่าก็ให้ผลในทิศทางเดียวกันคือ ต่ำกว่าค่าตรวจวัดทุกสถานี โดยสถานีในกลุ่มน้ำน่าน ยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่สุด ประมาณ 70-80% ทั้ง 3 สถานี ในขณะที่ สถานีในกลุ่มน้ำปิง และ C.2 มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 35-45%

เมื่อพิจารณา ค่าดัชนี NS (Nash-Sutcliffe Efficiency) และ R^2 (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า) จะเห็นว่า ในกรณีของค่า NS สถานีในกลุ่มน้ำน่าน จะมีค่า NS ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับสถานีอื่น ๆ ส่วนสถานีในกลุ่มน้ำปิงจะมีค่า NS ที่ดีกว่า โดยเรียงลำดับ จากต่ำสุดไปสูงที่สุด คือ สถานีเขื่อนสิริกิติ์ สถานี N60 สถานี N64 สถานีเขื่อนภูมิพล สถานี Y14 สถานี C2 สถานี P7A สถานี P73 สถานี P17 และสถานี W16A (NS: 0.07 0.12 0.16 0.28 0.37 0.44 0.46 0.50 0.51 และ 0.59 ตามลำดับ) ในส่วนของค่า R^2 ของสถานีทั้ง 10 นั้น จะมีค่าระหว่าง 0.57-0.73 ดังแสดงในตารางที่ 4-2

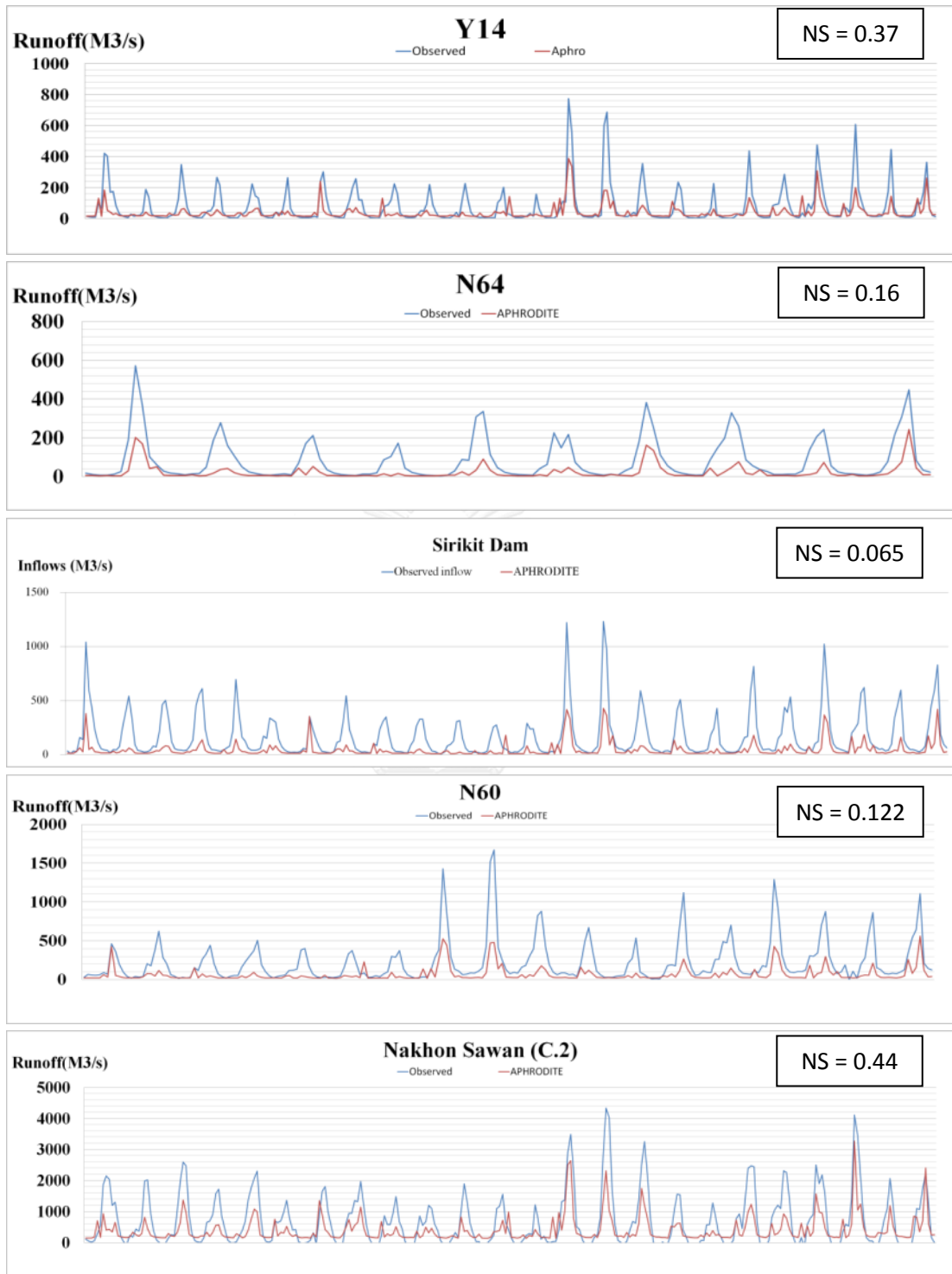
อาจกล่าวได้ว่า การใช้ข้อมูลระดับโลกในการจำลองสภาพน้ำท่าอาจจะให้ผลที่ค่อนข้างแย่ในบริเวณลุ่มน้ำน่าน (ดัชนี NS ต่ำมาก) ในขณะที่บริเวณลุ่มน้ำปิงและสถานี C.2 ก็ยังให้ผลที่ไม่ค่อยดีนัก (ดัชนี NS=0.44-0.59) จึงอาจจะยังไม่เหมาะที่จะใช้ข้อมูลชุดนี้ในการจำลองสภาพน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำขนาดเล็ก



รูปที่ 4-5 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ โดย APHRODITE แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 1 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์



รูปที่ 4-6 น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ โดย APHRODITE แทนการจำลองสภาพ ด้วยข้อมูลชุดที่ 1 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์



รูปที่ 4-6 (ต่อ) น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ โดย APHRODITE แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 1 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์



รูปที่ 4-7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2) ที่สถานีต่างๆโดย APHRODITE แทนการจำลอง สภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 1 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์

2) Case 2 ผลการจำลองสภาพด้วยข้อมูล ชุดที่ 2 (ฝน IMPAC-T กับ ข้อมูล Land Cover Fractions GLCC v2.0)

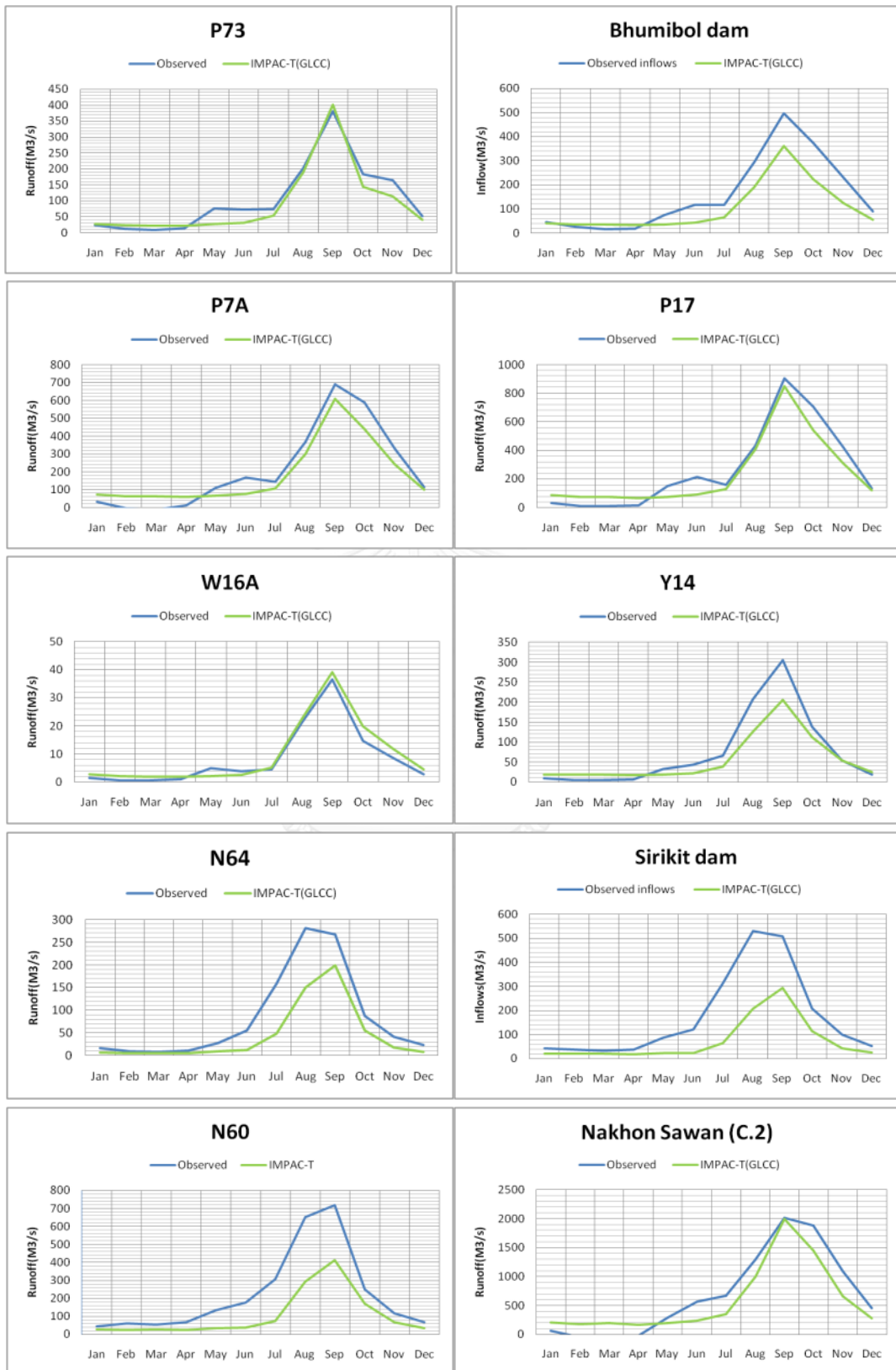
ผลการศึกษา ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในช่วงปีค.ศ.1981-2004 ด้วยข้อมูล ฝน IMPAC-T กับ ข้อมูล Land Cover Fractions GLCC v2.0 วิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย ปริมาณน้ำท่ารายเดือนระยะยาว ค่าปริมาณน้ำท่ารายปี ค่าดัชนี Nash-Sutcliffe Efficiency ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2) ของแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในรูปที่ 4-8 ถึง 4-10 สรุปได้ดังนี้

การจำลองสภาพน้ำท่ารายเดือนทั้ง 10 สถานีด้วยข้อมูลชุดที่ 2 คือ ฝน IMPAC-T กับ ข้อมูล Land Cover Fractions GLCC v2.0 ผลการจำลองสภาพน้ำท่ารายเดือนที่สถานีต่างๆทั้ง 10 สถานีมีความคลาดเคลื่อนของค่าสูงสุด (peak) น้อยที่สุดที่สถานี C.2 แค่ 1% ในขณะที่สถานีอื่นๆในกลุ่มน้ำปิง มีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 5-25% ส่วนสถานีในกลุ่มน้ำน่าน นั้น ยังมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูงอยู่ที่ประมาณ 30-45% โดยที่สถานีที่มีความคลาดเคลื่อนสูงสุดยังคงเป็นสถานีเขื่อนสิริกิติ์

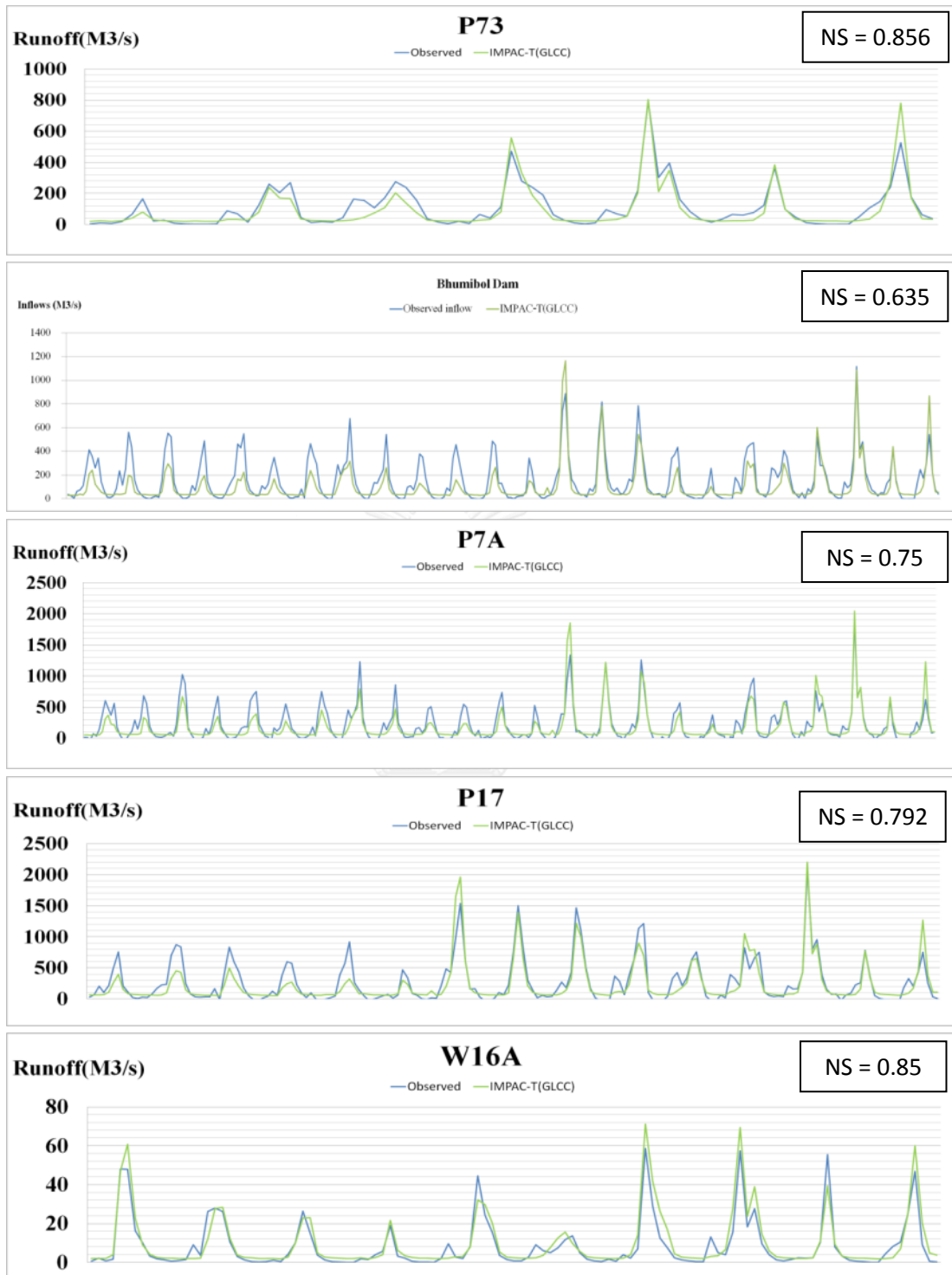
สำหรับค่าเฉลี่ยรายปีของน้ำท่าก็ให้ผลในทิศทางเดียวกันคือ สถานีในกลุ่มน้ำน่าน ยังคงมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงที่สุด ประมาณ 50-60% ทั้ง 3 สถานี โดยแย่งที่สุดที่สถานีเขื่อนสิริกิติ์ ในขณะที่ สถานีในกลุ่มน้ำปิงและ C.2 มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 4-15% ยกเว้นที่สถานีเขื่อนภูมิพล มีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 30%

เมื่อพิจารณา ค่าดัชนี NS (Nash-Sutcliffe Efficiency) และ R^2 (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า) พบว่าในกรณีของค่า NS สถานีในกลุ่มน้ำน่านจะมีค่า NS ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ สถานีอื่นๆส่วนสถานีในกลุ่มน้ำปิงจะมีค่า NS ที่ดีกว่า โดยเรียงลำดับจากต่ำสุดไปสูงที่สุด คือ สถานีเขื่อนสิริกิติ์ สถานี N60 สถานี N64 สถานีเขื่อนภูมิพล สถานี Y14 สถานี C2 สถานี P7A สถานี P17 สถานี W16A และสถานี P73 (NS: 0.38 0.56 0.62 0.64 0.68 0.71 0.75 0.79 0.85 และ 0.86 ตามลำดับ) ในส่วนของค่า R^2 ของสถานีทั้ง 10 นั้น จะมีค่าระหว่าง 0.62-0.89 ดังแสดงในตารางที่ 4-2

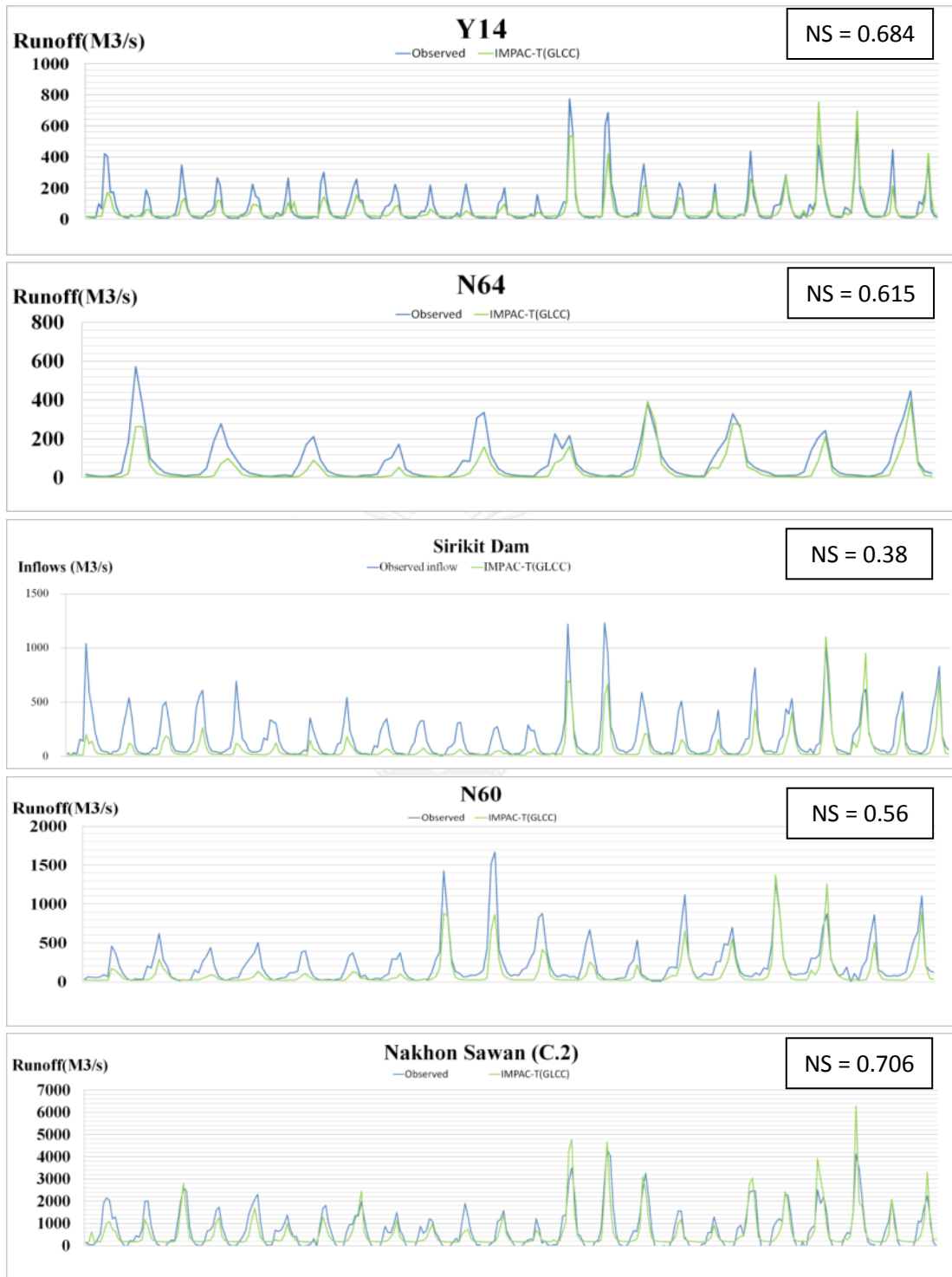
เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพระหว่างข้อมูลชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ซึ่งแตกต่างกันที่ ข้อมูลฝน พบว่า การใช้ฝนในระดับลุ่มน้ำ ให้ผลการจำลองสภาพที่ดีขึ้นอย่างชัดเจน โดยพิจารณาจากค่าดัชนี NS และ R^2 ที่ดีขึ้นในทุกสถานี อีกทั้งแบบจำลองยังคงแสดงผลสำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำปิง และสถานี C.2 ได้ดีกว่าลุ่มน้ำอื่นๆ



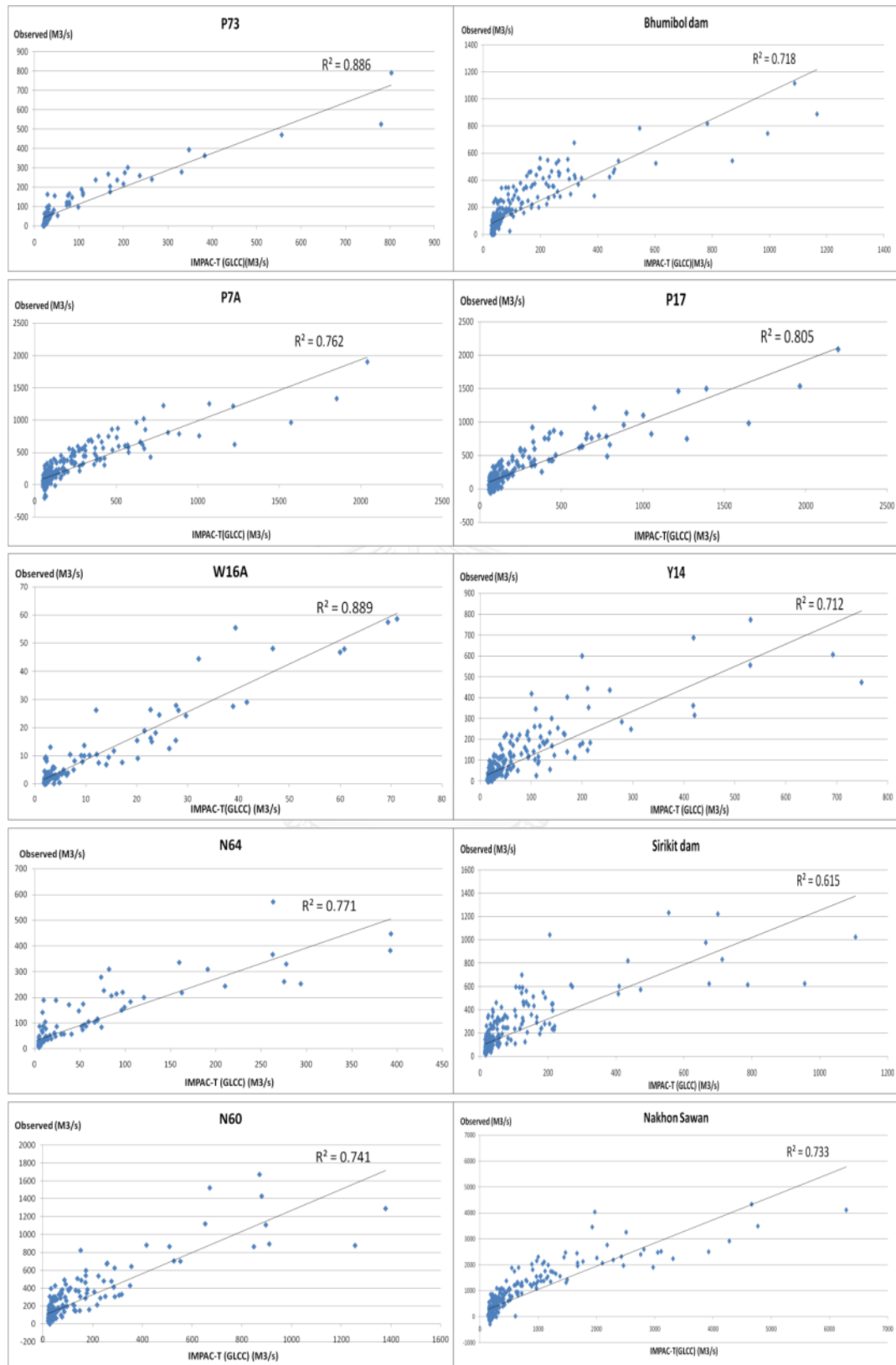
รูปที่ 4-8 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(GLCC) แทนการจำลองสภาพด้วย ข้อมูลชุดที่ 2 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์



รูปที่ 4-9 น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(GLCC) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 2 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์



รูปที่ 4-9 (ต่อ) นำ้ท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(GLCC) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 2 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์



รูปที่ 4-10 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2) ที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(GLCC) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 2 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์

3) Case 3 ผลการจำลองสภาพด้วยข้อมูล ชุดที่ 3 (ฝน IMPAC-T กับข้อมูล Land Cover Fractions LDD2000)

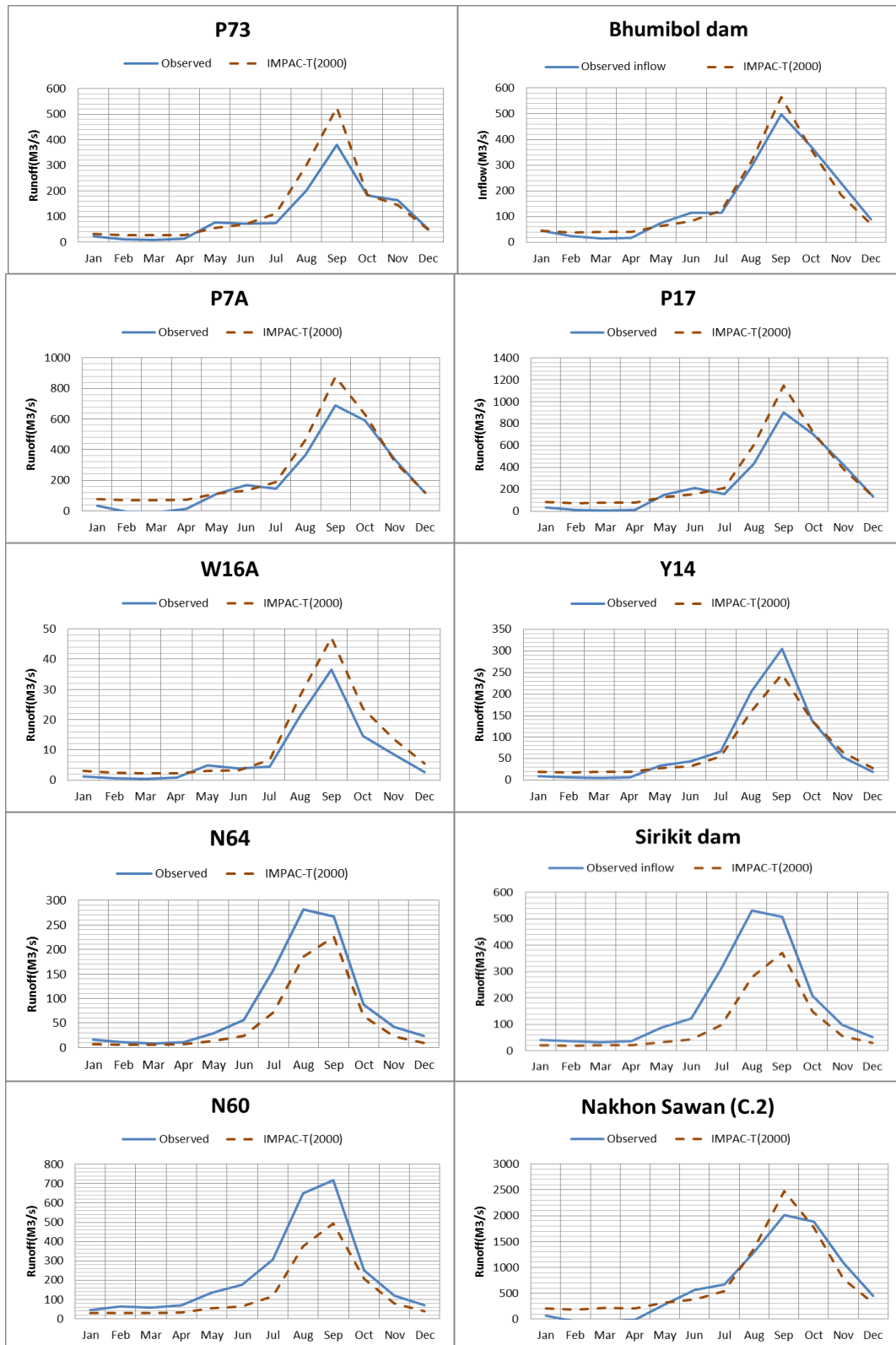
ผลการศึกษา ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในช่วงปี 1981-2004 ด้วยข้อมูล ฝน IMPAC-T กับข้อมูล Land Cover Fractions LDD2000 วิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย ปริมาณน้ำท่ารายเดือนระยะยาว ค่าปริมาณน้ำท่ารายปี ค่าดัชนี Nash-Sutcliffe Efficiency ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2) ของแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในรูปที่ 4-11 ถึง 4-13 สรุปได้ดังนี้

การจำลองสภาพน้ำท่ารายเดือนทั้ง 10 สถานีด้วยข้อมูลชุดที่ 3 คือ ฝน IMPAC-T กับข้อมูล Land Cover Fractions LDD2000 ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลระดับลุ่มน้ำทั้ง 2 ตัว ผลการจำลองสภาพน้ำท่ารายเดือนที่สถานีต่างๆทั้ง 10 สถานีมีความคลาดของค่าสูงสุด (peak) น้อยสุดที่สถานีเขื่อนภูมิพลมีความคลาดเคลื่อนที่ 12% ในขณะที่สถานี C.2 20% และสถานีอื่นๆในกลุ่มน้ำมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 22-38% โดยที่สถานีที่มีความคลาดเคลื่อนสูงสุดกลับเป็นสถานี P.73 ถัดมาคือ สถานีเขื่อนสิริกิติ์ที่ยังคงมีความคลาดเคลื่อนสูงอยู่ที่ 30%

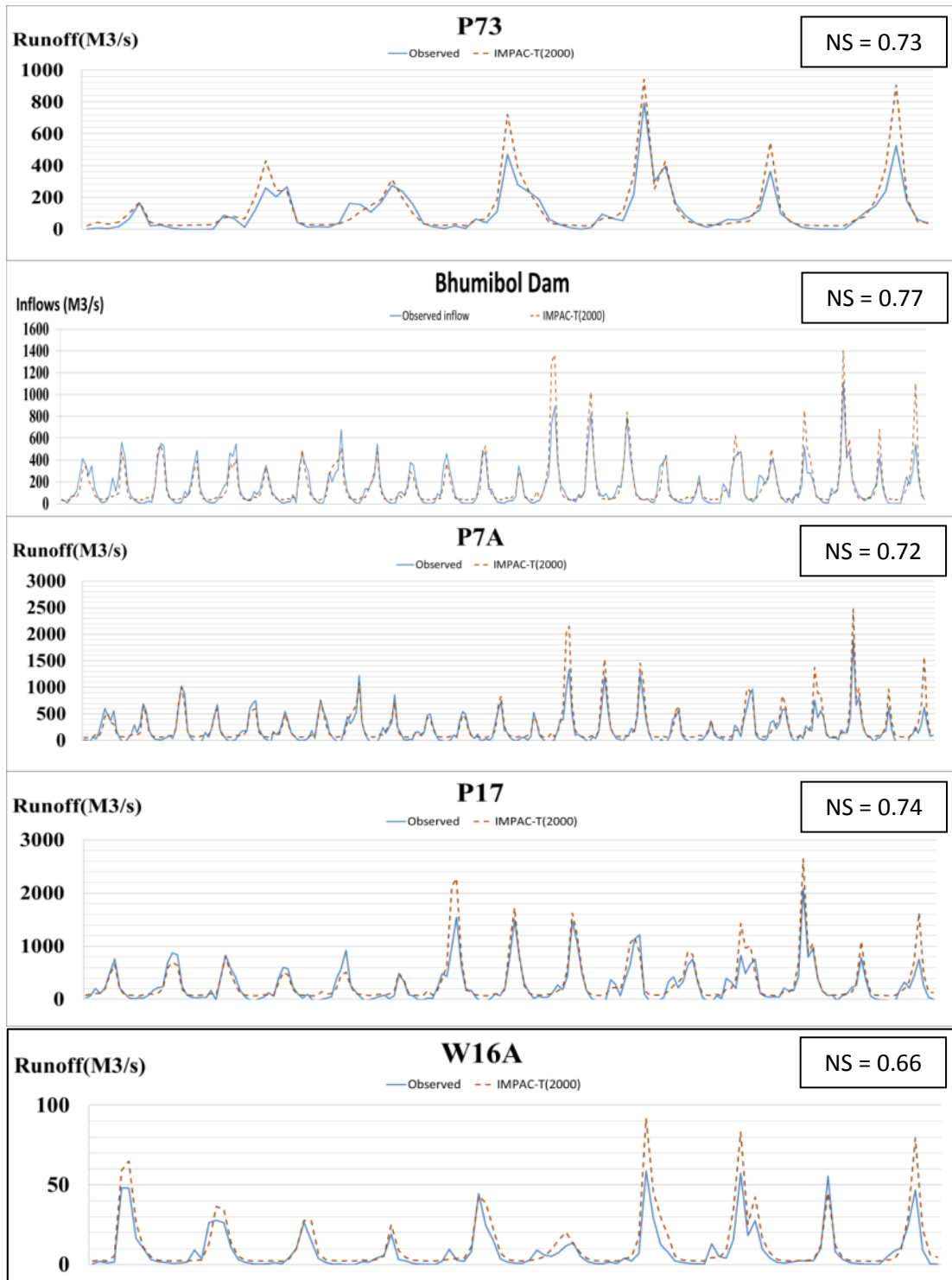
สำหรับค่าเฉลี่ยรายปีของน้ำท่าก็ให้ผลในทิศทางเดียวกัน คือ สถานีภูมิพลยังคงมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด 2.3% สถานี C.2 6.5% และสถานีอื่นในกลุ่มน้ำปิง 20-22% ส่วนที่สถานีในกลุ่มน้ำน่านมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 35-45% โดยยังคงเป็นสถานีเขื่อนสิริกิติ์ที่มีความคลาดเคลื่อนสูงที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าดัชนี NS (Nash-Sutcliffe Efficiency) และ R^2 (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า) พบว่าในกรณีของค่า NS สถานีในกลุ่มน้ำน่าน จะมีค่า NS ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับสถานีอื่น ๆ ส่วนสถานีในกลุ่มน้ำปิงจะมีค่า NS ที่ดีกว่า โดยเรียงลำดับจากต่ำสุดไปสูงที่สุด คือ สถานีเขื่อนสิริกิติ์ สถานี W16A สถานี N60 สถานี C2 สถานี P7A สถานี P73 สถานี P17 สถานี N64 สถานีเขื่อนภูมิพล และสถานี Y14 (NS: 0.58 0.66 0.71 0.71 0.72 0.73 0.74 0.77 0.77 และ 0.78 ตามลำดับ) ในส่วนของค่า R^2 ของสถานีทั้ง 10 นั้น จะมีค่าระหว่าง 0.71-0.90 ดังแสดงในตารางที่ 4-2

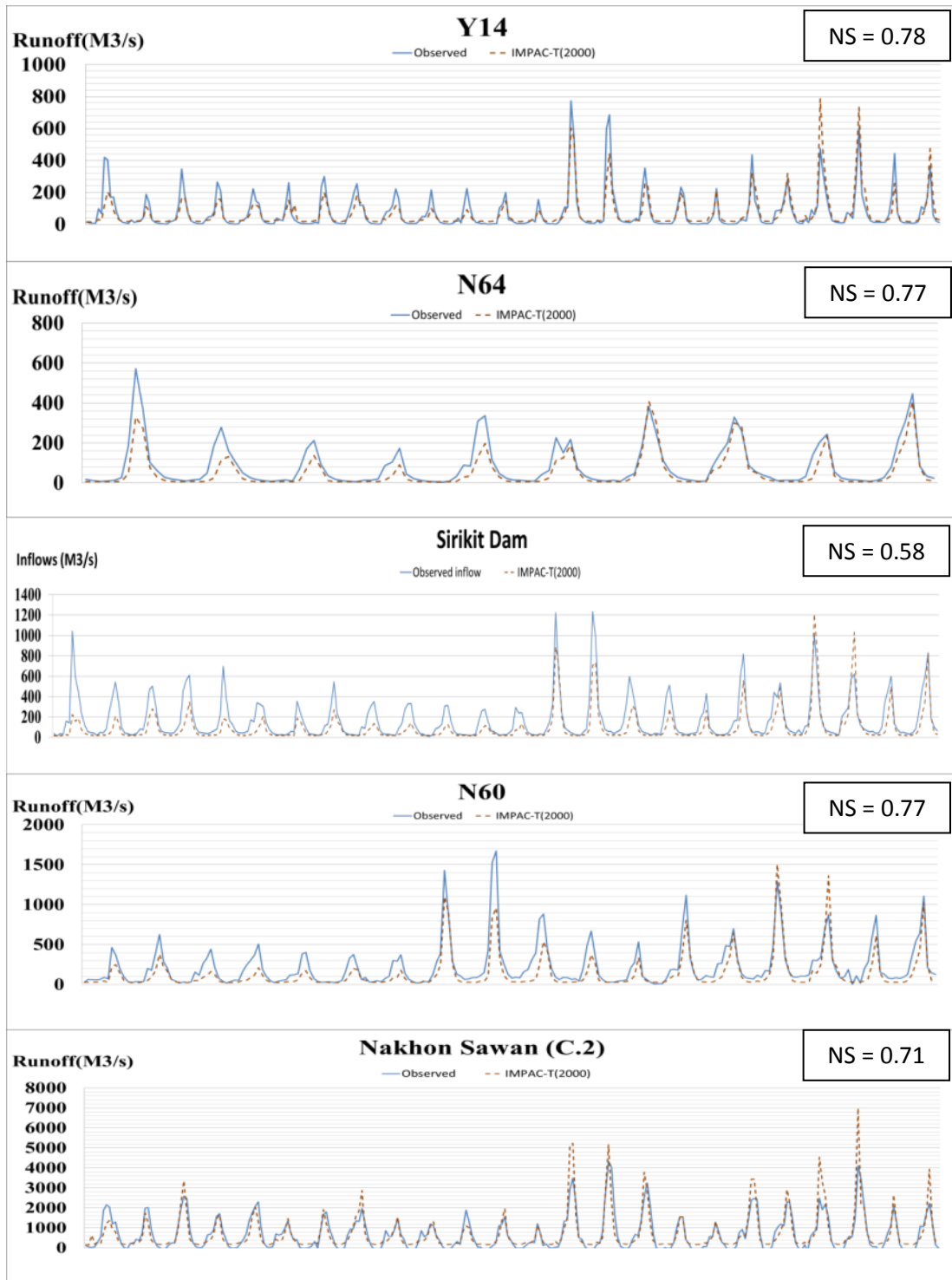
เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพระหว่างข้อมูลชุดที่ 2 และชุดที่ 3 ซึ่งแตกต่างกันที่ข้อมูล Land Cover Fraction พบว่าการใช้ข้อมูลการใช้ที่ดินในระดับลุ่มน้ำให้ผลในภาพรวมของการจำลองสภาพที่ดีขึ้น โดยพิจารณาจากค่าดัชนี NS และ R^2 ที่ค่อนข้างสูง (0.58-0.78 และ 0.71-0.9 ตามลำดับ) ถึงแม้ผลการจำลองสภาพในภาพรวมจะดีขึ้นแต่ค่า NS กลุ่มสถานีลุ่มน้ำปิงกลับลดลงเล็กน้อย ส่วนสถานีอื่น ๆ มีค่า NS เพิ่มขึ้น เหลือเพียงสถานีเขื่อนสิริกิติ์ที่ยังมีค่าดัชนีทั้ง 2 ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสถานีอื่นๆ



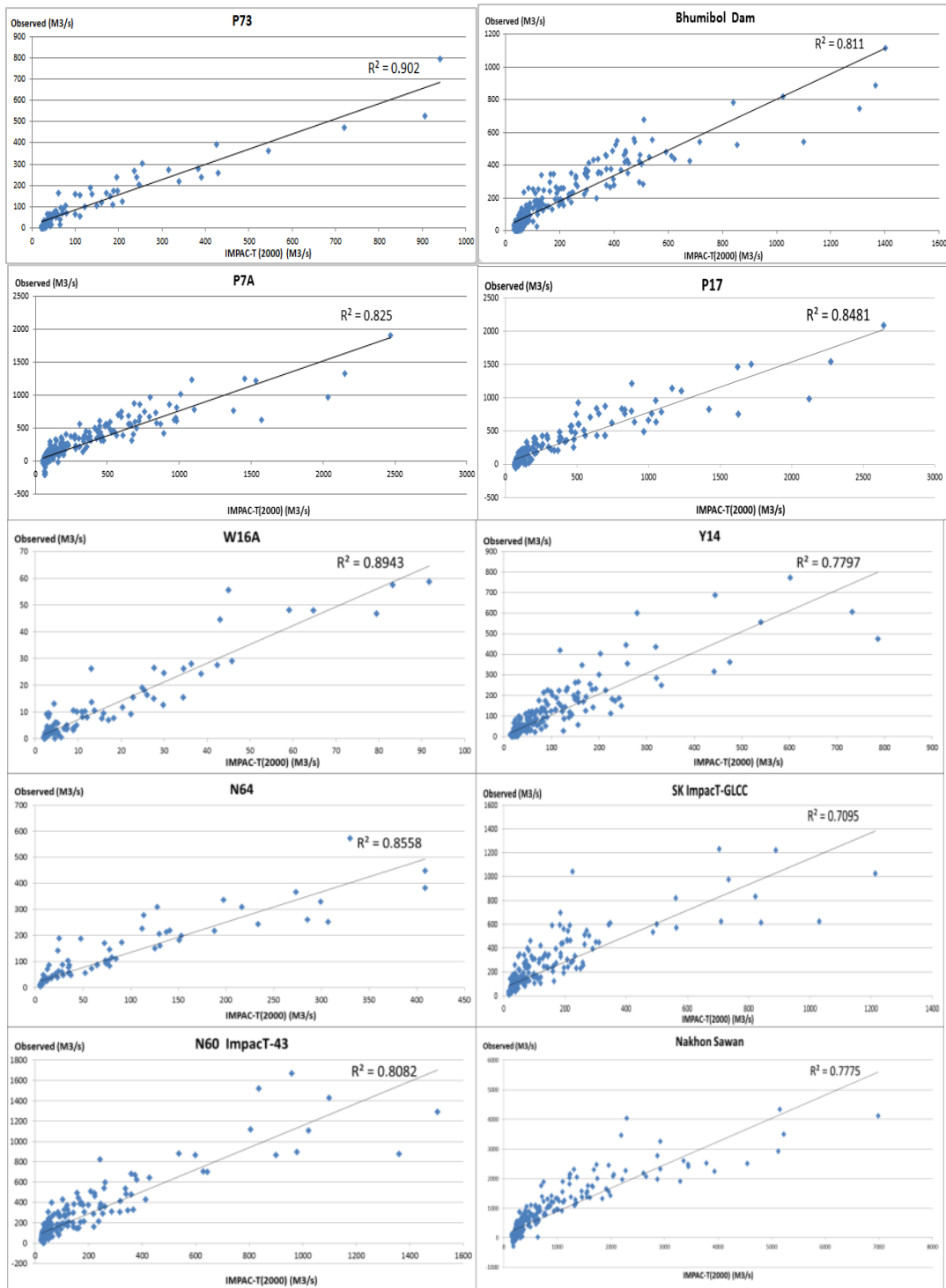
รูปที่ 4-11 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(2000) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 3 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์



รูปที่ 4-12 น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(2000) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 3 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์



รูปที่ 4-12 (ต่อ) น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆโดย IMPAC-T(2000) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 3 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์



รูปที่ 4-13 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2) ที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(2000) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 3 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์

4) Case 4 ผลการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 4 (ฝน IMPAC-T กับ ข้อมูล Land Cover Fractions LDD2006)

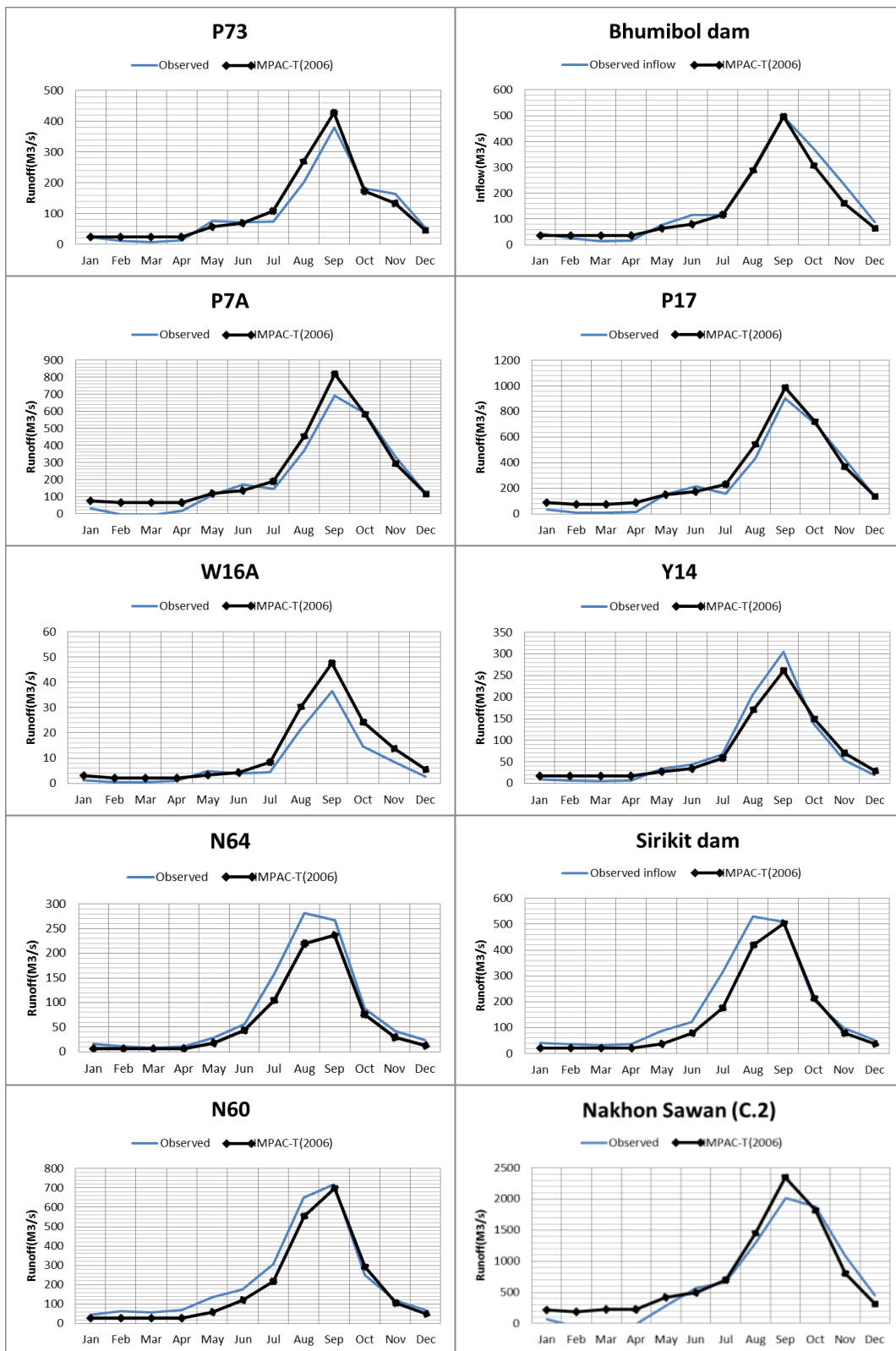
ผลการศึกษาปริมาณน้ำท่ารายเดือนในช่วงปี 1981-2004 ด้วยข้อมูล ฝน IMPAC-T กับ ข้อมูล Land Cover Fractions LDD2006 วิเคราะห์ข้อมูลจากกราฟปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย ปริมาณน้ำท่ารายเดือนระยะยาว ค่าปริมาณน้ำท่ารายปี ค่าดัชนี Nash-Sutcliffe Efficiency ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2) ของแต่ละสถานีวัดน้ำท่าในรูปที่ 4-14 ถึง 4-16 สรุปได้ดังนี้

การจำลองสภาพน้ำท่ารายเดือนทั้ง 10 สถานีด้วยข้อมูลชุดที่ 4 คือ ฝน IMPAC-T กับข้อมูล Land Cover Fractions LDD2006 ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลระดับลุ่มน้ำทั้ง 2 ตัวเพื่อเปรียบเทียบผลของความถูกต้องของการจำลองสภาพด้วยข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปีต่างกัน โดยผลการจำลองสภาพน้ำท่ารายเดือนที่สถานีต่างๆทั้ง 10 สถานีมีความคลาดของค่าสูงสุด (peak) น้อยที่สุดยังคงเป็นที่สถานีเขื่อนภูมิพลมีความคลาดเคลื่อนเพียงแค่ 0.4% เท่านั้น ในขณะที่สถานีอื่นๆค่าความคลาดเคลื่อนของค่าสูงสุดต่างก็ลดลงเมื่อเทียบกับผลจากข้อมูลชุดที่ 3 โดยเฉพาะที่สถานีลุ่มน้ำน่านได้ผลดีขึ้นอย่างชัดเจน โดยค่าความคลาดเคลื่อนทั้ง 3 สถานีเรียงลำดับดังนี้ สถานี N60 สถานีเขื่อนสิริกิติ์ และสถานี N64 (4% 5.6% และ 17.8% ตามลำดับ) สถานี C.2 ค่าความคลาดเคลื่อนก็ลดลงจาก 20% เหลือเพียง 14% โดยที่สถานีที่มีความคลาดเคลื่อนสูงสุด คือ W16A 30.5% (สถานีที่เหลือมีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง 0.4-18.8%)

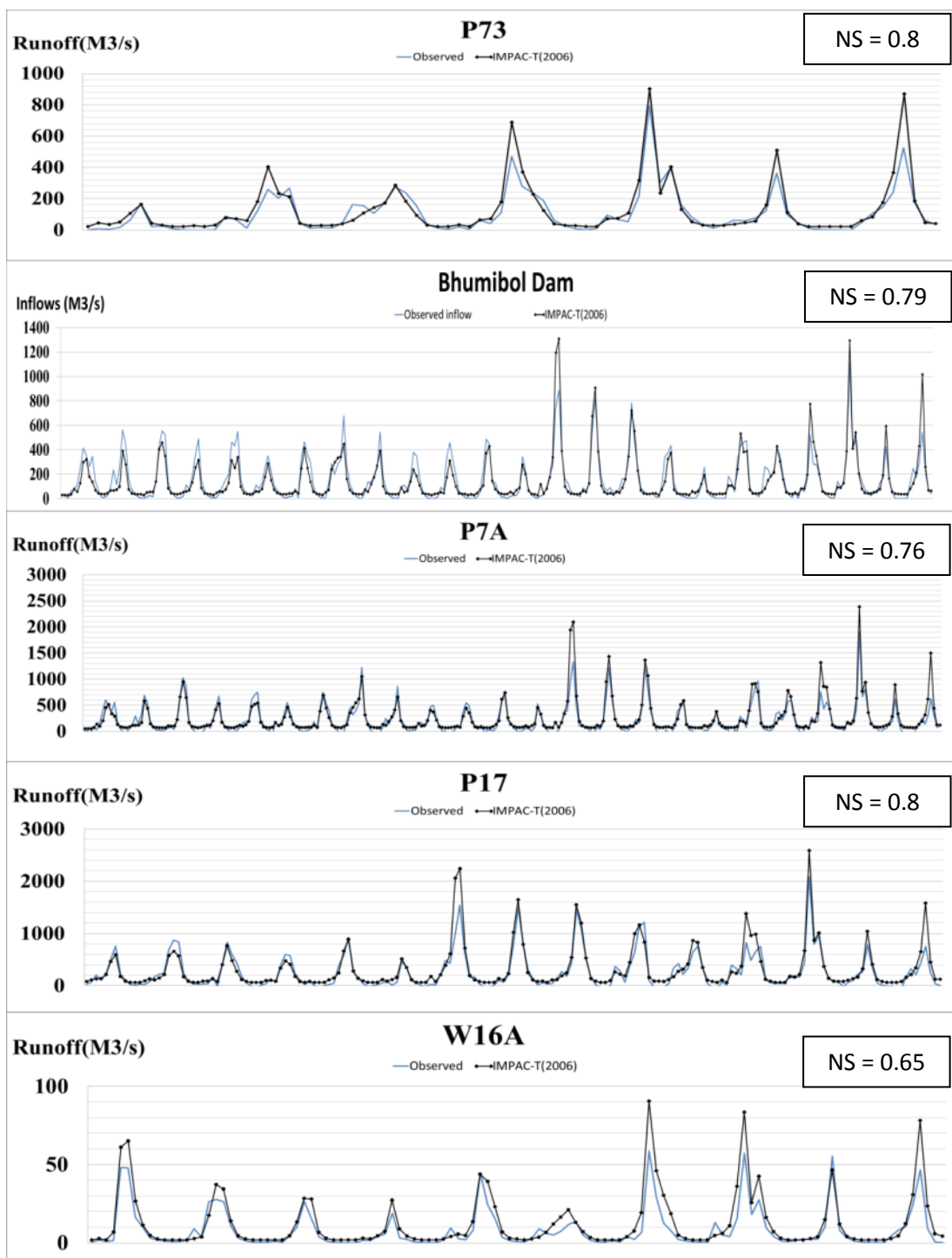
สำหรับค่าเฉลี่ยรายปีของน้ำท่าในภาพรวมดีขึ้นโดยเฉพาะที่สถานีเขื่อนสิริกิติ์ มีค่าความคลาดเคลื่อนลดลงจาก 45% เหลือเพียง 21% เมื่อเทียบกับผลจากข้อมูลชุดที่ 3 ส่วนสถานีในลุ่มน้ำปิงและสถานี C.2 จะมีค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง 8-19%

เมื่อพิจารณาค่าดัชนี NS (Nash-Sutcliffe Efficiency) และ R^2 (ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า) ของจากจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดนี้ พบว่า ในกรณีของค่า NS ภาพรวมของทุกสถานีดีขึ้นโดยมีค่าระหว่าง 0.65-0.88 ซึ่งค่อนข้างสูง โดยเฉพาะที่สถานีลุ่มน้ำน่านดีขึ้นเป็นอย่างมาก โดยทั้ง 3 สถานีมีค่า NS สูงถึง 0.79-0.88 ในส่วนของค่า R^2 ของสถานีทั้ง 10 นั้นจะมีค่าระหว่าง 0.79-0.92 ดังแสดงในตารางที่ 4-2

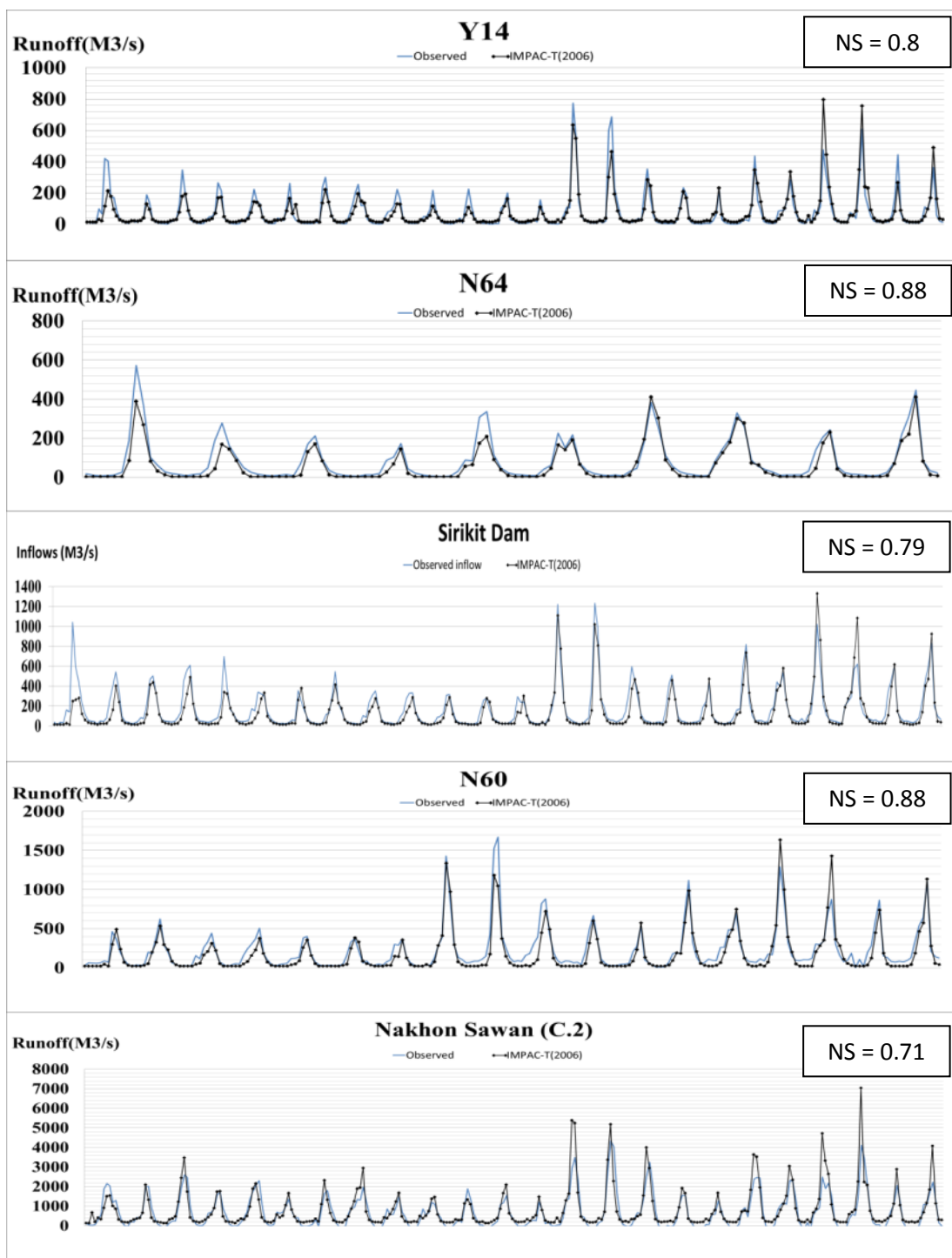
เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพระหว่างข้อมูลชุดที่ 3 และชุดที่ 4 ที่ข้อมูล Land Cover Fraction ต่างปีกัน พบว่า ข้อมูลของปี ค.ศ.2006 ให้ผลในภาพรวมของการจำลองสภาพที่ดีขึ้นและใกล้เคียงกับค่าสังเกตการณ์มากกว่า โดยพิจารณาจากค่าดัชนี NS และ R^2 ที่สูงขึ้นเกือบทุกสถานี (0.65-0.88 และ 0.79-0.92 ตามลำดับ) โดยมีเพียงแค่สถานี W16A และ สถานี C.2 ที่ค่า NS ใกล้เคียงค่าเดิมจากข้อมูลชุดที่ 3 อีกทั้งผลของการจำลองสภาพบนพื้นที่ลุ่มน้ำน่านก็ดีขึ้นใกล้เคียงกับค่าสังเกตการณ์และอยู่ในระดับเดียวกับสถานีอื่นๆ



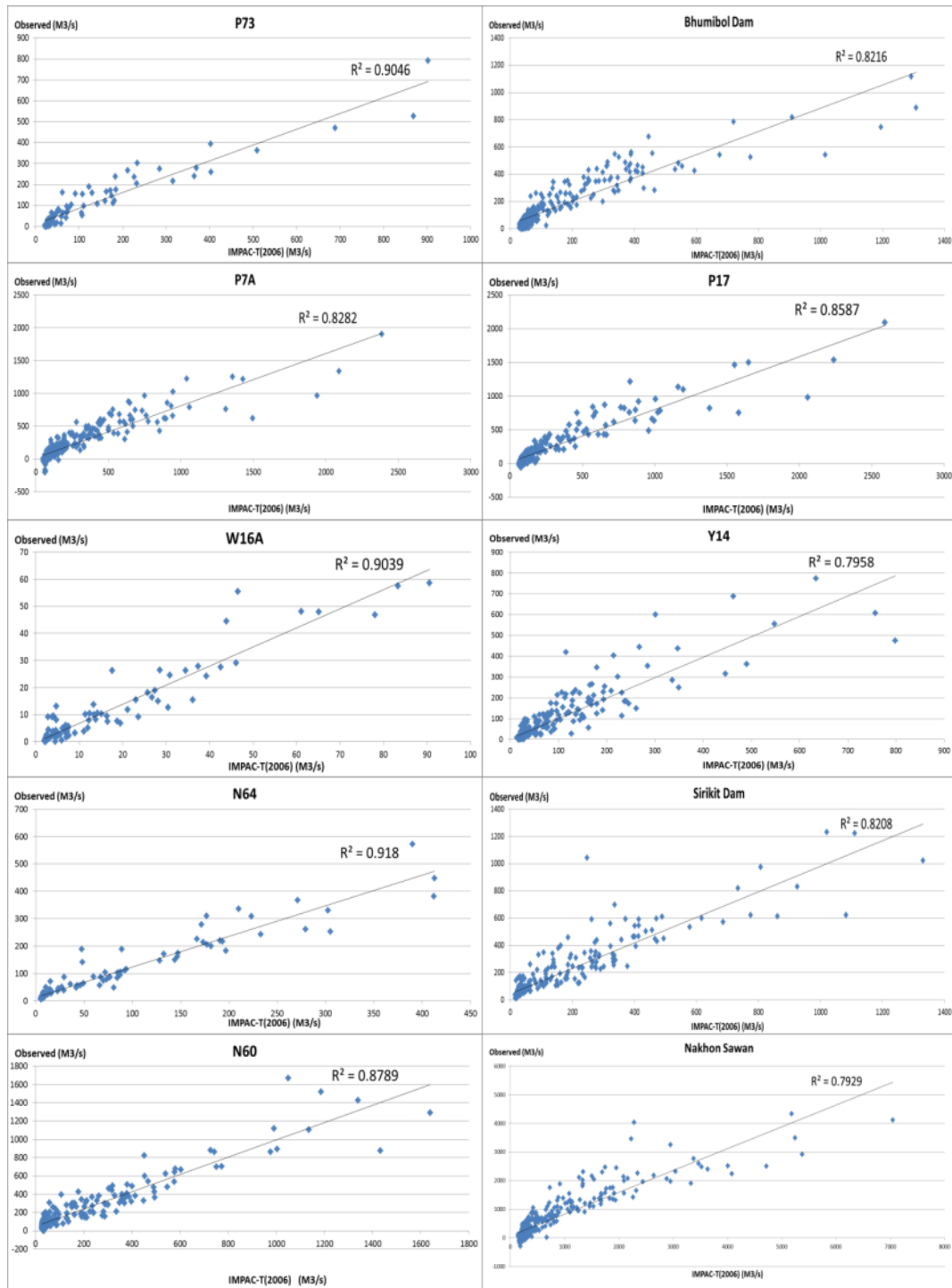
รูปที่ 4-14 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(2006) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 4 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์



รูปที่ 4-15 น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(2006) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 4 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์



รูปที่ 4-15 (ต่อ) น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆโดย IMPAC-T(2006) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 4 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์



รูปที่ 4-16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้ำท่า (R^2) ที่สถานีต่างๆ โดย IMPAC-T(2006) แทนการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 4 และ Observed แทนน้ำท่าสังเกตการณ์

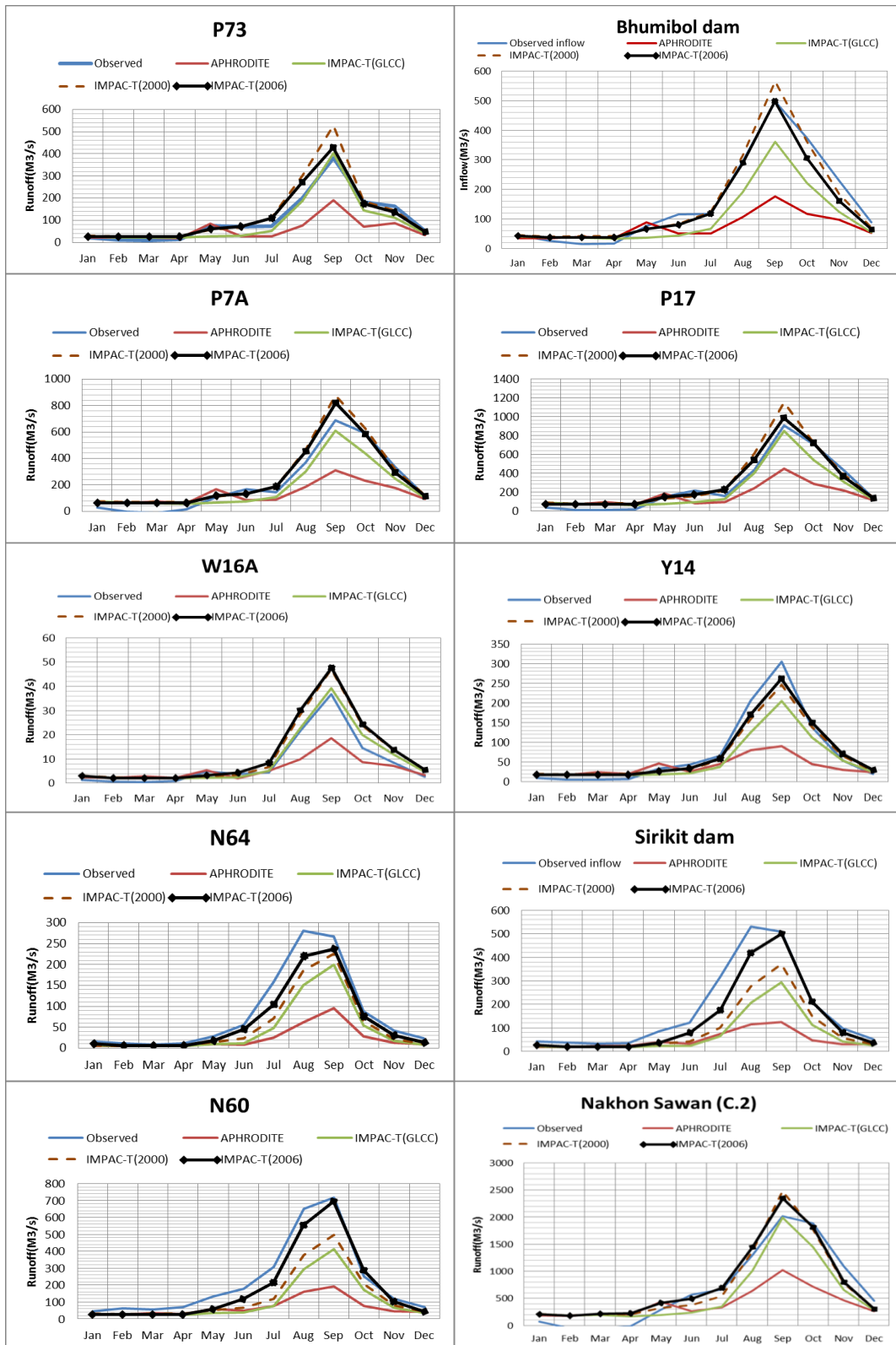
4.1.4 สรุปผลและเปรียบเทียบความสามารถในการจำลองสภาพน้ำท่าและน้ำไหลเข้าเขื่อน

จากการวิเคราะห์ผลในหัวข้อที่ผ่านมาทั้ง 4 ชุดข้อมูลที่มีความแตกต่างกันทั้งด้านปริมาณและการกระจายตัวของฝน 2 ชนิด (IMPAC-T และ APHRODITE) และความแตกต่างของการใช้ประโยชน์ที่ดิน 3 ชุด (GLCC, LDD2000 และ LDD2006) โดยการจำลองสภาพน้ำท่าด้วยข้อมูลชุดที่ 1 ซึ่งเป็นข้อมูลระดับโลกมีความละเอียดของข้อมูลและความเป็นตัวแทนของข้อมูลค่อนข้างต่ำ ผลการจำลองน้ำท่าที่ได้จึงต่ำกว่าค่าสังเกตการณ์ ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการจำลองสภาพน้ำท่าด้วยข้อมูลชุดที่ 2 ซึ่งเปลี่ยนจากฝน APHRODITE เป็นฝน IMPAC-T ที่มีความละเอียดสูงกว่า โดยจากการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างฝน 2 ชุด พบว่าค่าเฉลี่ยฝนรายปีของฝน APHRODITE ต่ำกว่าฝน IMPAC-T ประมาณ 10-15% ซึ่งปริมาณฝนที่ต่างกันนี้ เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การจำลองสภาพน้ำท่าด้วยข้อมูลชุดที่ 2 มีปริมาณสูงขึ้นทั้ง 10 สถานีและใกล้เคียงน้ำท่าสังเกตการณ์มากขึ้นโดยค่าสูงสุดรายเดือนเฉลี่ยสูงขึ้นประมาณ 1-2 เท่าตัว เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 3 และชุดที่ 4 ที่มีการเปลี่ยนข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Cover Fractions) จากข้อมูลระดับโลกโดย USGS (GLCC v2.0) มาเป็นข้อมูลจากการสำรวจโดยกรมพัฒนาที่ดิน (LDD2000 และ LDD2006) โดยความแตกต่างของพื้นที่อย่างเห็นได้ชัดระหว่างข้อมูลระดับโลกและข้อมูลระดับภูมิภาคในปีเดียวกัน (GLCC v2.0 และ LDD2000) คือ ป่าไม้ผลัดใบ พืชไร่ และ พื้นที่เขตเมือง ข้อมูล GLCC v2.0 มีพื้นที่น้อยกว่าข้อมูลกรมพัฒนาที่ดิน อยู่ประมาณ 52% 87% และ 88% ตามลำดับ แต่ในขณะที่พื้นที่ป่าไม้ไม่ผลัดใบ ทุ่งหญ้า และไม้พุ่ม กลับสูงกว่าอยู่ 44% 90% และ 960% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกรมพัฒนาที่ดินปี 2000 กับ 2006 พบว่า ในช่วงเวลา 6 ปี พื้นที่ป่าไม้ผลัดใบ และป่าผลัดใบลดลงประมาณ 30% และ 10% แต่พื้นที่ชุมชน ทุ่งหญ้า และพืชไร่ เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ประมาณ 85% 36% และ 10% ตามลำดับ ความแตกต่างของสิ่งปกคลุมดินเหล่านี้ คือสาเหตุของปริมาณน้ำท่าที่เปลี่ยนแปลงไปของสถานีต่างๆที่จำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 2 ชุดที่ 3 และชุดที่ 4 ที่ใช้ฝนชนิดเดียวกัน ซึ่งสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิดนั้นมีอัตราการคายระเหย (ET) ความสามารถในการดูดซับ หรือสะท้อนรังสีและพลังงานแตกต่างกัน โดยการเปรียบเทียบความสามารถในการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดต่างๆ จะพิจารณาได้จากตารางที่ 4-2 รูปที่ 4-17 และรูปที่ 4-18 ที่แสดงให้เห็นว่าการจำลองสภาพน้ำท่ารายเดือนด้วยข้อมูลชุดที่ 4 สามารถจำลองน้ำท่าที่สถานีต่างๆได้ใกล้เคียงค่าสังเกตการณ์มากที่สุด ทั้งค่าสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน ค่าน้ำท่าเฉลี่ยรายปี ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับทั้ง 4 ชุดการจำลอง โดยผู้เขียนได้เลือกสถานีในการวิเคราะห์เพิ่มเติมเป็นรายสถานี โดยเหตุผลในการเลือก มาจาก (1) การเป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษา (2) แบบจำลองมีความสามารถในการจำลองสภาพที่สถานีเหล่านี้ได้ดี (3) เป็นสถานีที่มีความสำคัญในแง่การบริหารจัดการน้ำใน

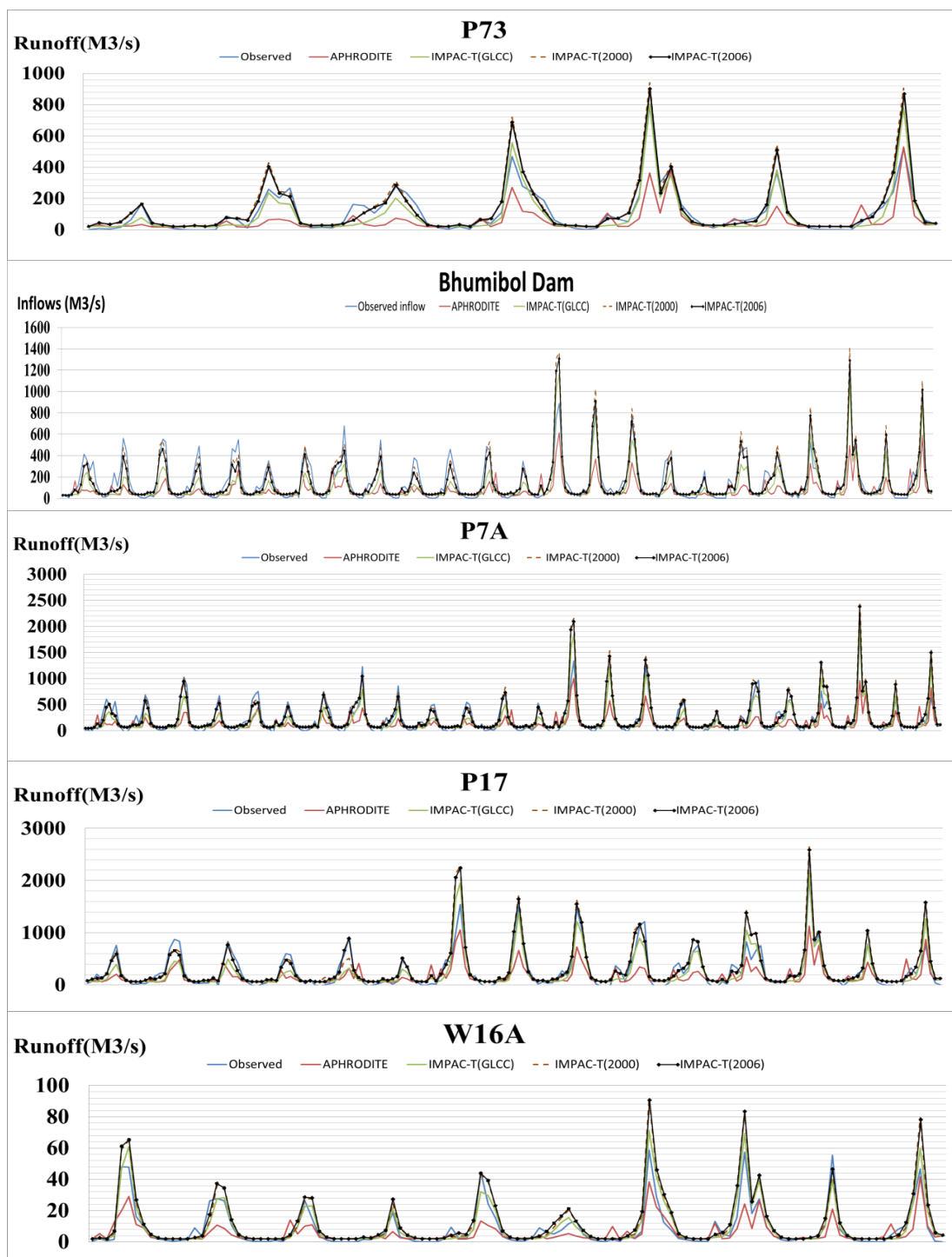
พื้นที่ศึกษา จากการจำลองทั้ง 4 ชุด แบบจำลองมีแนวโน้มที่จะจำลองสภาพในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงได้ดีที่สุด จึงเลือกสถานีเขื่อนภูมิพล เป็นสถานีแรกในการวิเคราะห์ ในขณะที่ลุ่มน้ำน่านในการจำลองสภาพ 3 ชุดแรกให้ผลไม่ค่อยดีนัก แต่เมื่อพิจารณาจากการจำลองสภาพด้วยข้อมูลชุดที่ 4 พบว่าสามารถจำลองสภาพน้ำท่าในลุ่มน้ำน่านได้ดีขึ้นมาก พิจารณาจากดัชนี NS และ R^2 ที่ใกล้เคียงกับสถานีจากลุ่มน้ำปิง อีกทั้งยังสูงกว่า 0.7 จึงได้เลือกสถานีเขื่อนสิริกิติ์ เป็นสถานีที่ 2 และเลือกสถานี C.2 นครสวรรค์ ที่เป็นสถานีสำคัญที่รับน้ำจากลุ่มน้ำทางตอนเหนือทั้ง 4 ลุ่ม อีกทั้งผลการจำลองสภาพน้ำท่าได้ผลดีอีกเช่นกัน เมื่อเทียบกับค่าสังเกตการณ์ ดังนั้นสถานี C.2 นครสวรรค์, สถานีเขื่อนภูมิพล และสถานีเขื่อนสิริกิติ์ทั้ง 3 สถานี ซึ่งเป็นสถานีที่มีความสำคัญในด้านการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ศึกษา เป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษา อีกทั้งแบบจำลองยังจำลองสภาพน้ำท่าในพื้นที่สถานีทั้ง 3 ได้ดี จึงเป็นเหตุผลในการเลือกวิเคราะห์สถานีทั้ง 3 นี้

ตารางที่ 4-2 สรุปผลการเปรียบเทียบการจำลองสภาพน้ำท่ารายเดือนกับน้ำท่าสังเกตการณ์

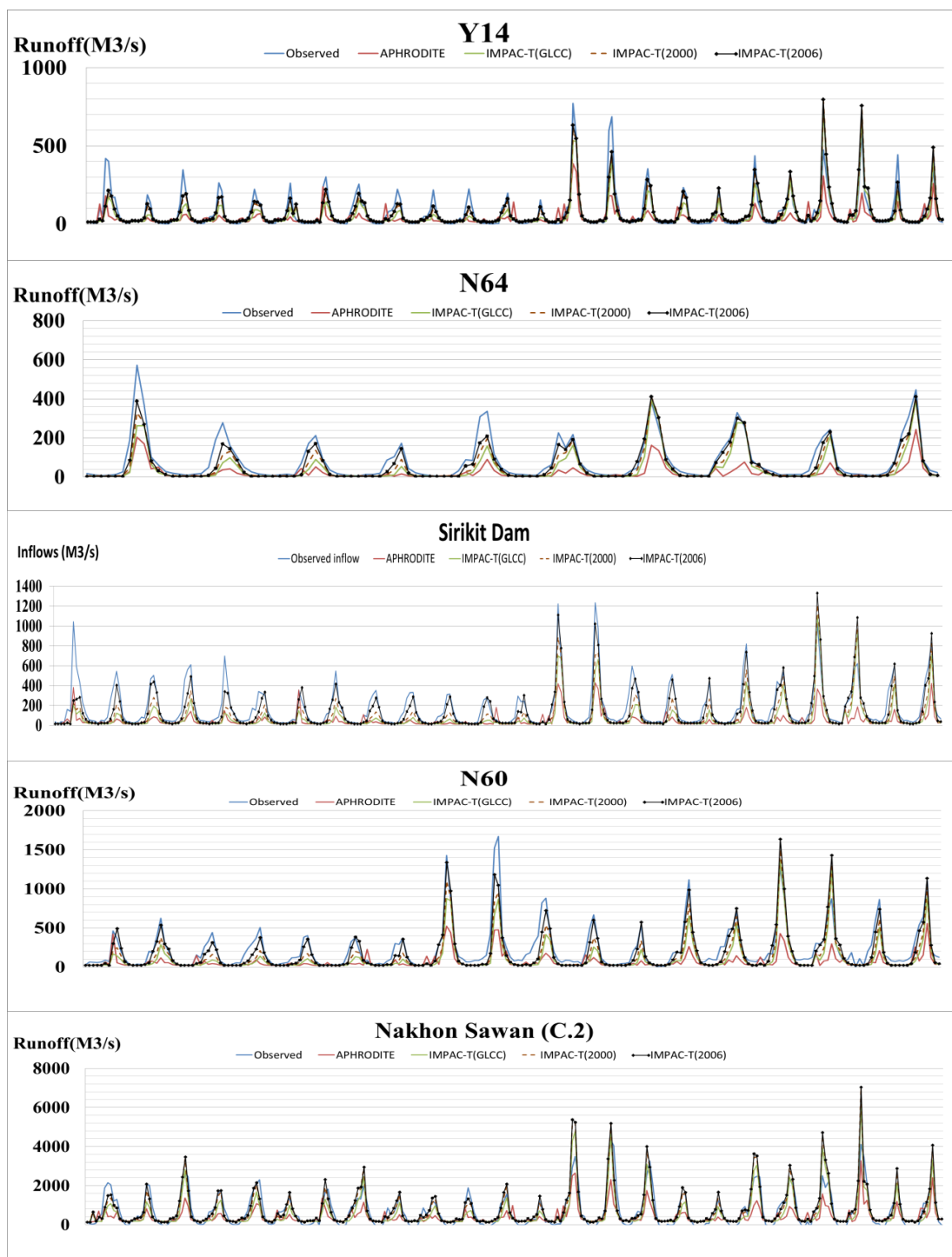
สถานี	ข้อมูลชุดที่ 1		ข้อมูลชุดที่ 2		ข้อมูลชุดที่ 3		ข้อมูลชุดที่ 4	
	APHRO+GLCC		IMPAC-T+GLCC		IMPAC-T+LDD2000		IMPAC-T+LDD2006	
	NS	R^2	NS	R^2	NS	R^2	NS	R^2
P.73	0.5	0.68	0.85	0.88	0.73	0.90	0.80	0.90
ภูมิพล	0.27	0.57	0.63	0.72	0.77	0.81	0.79	0.82
P.7A	0.46	0.62	0.75	0.76	0.72	0.82	0.76	0.83
P.17	0.51	0.70	0.79	0.81	0.74	0.85	0.80	0.86
W.16A	0.59	0.73	0.85	0.89	0.66	0.89	0.65	0.90
Y.14	0.37	0.59	0.68	0.71	0.78	0.78	0.80	0.80
N.64	0.16	0.71	0.62	0.77	0.77	0.86	0.88	0.92
สิริกิติ์	0.06	0.62	0.38	0.62	0.58	0.71	0.79	0.82
N.60	0.12	0.67	0.56	0.74	0.77	0.80	0.88	0.88
C.2	0.44	0.64	0.70	0.73	0.71	0.78	0.71	0.79



รูปที่ 4-17 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ จากการจำลองสภาพน้ำท่าด้วยข้อมูลทั้ง 4 ชุด เทียบกับน้ำท่าสังเกตการณ์



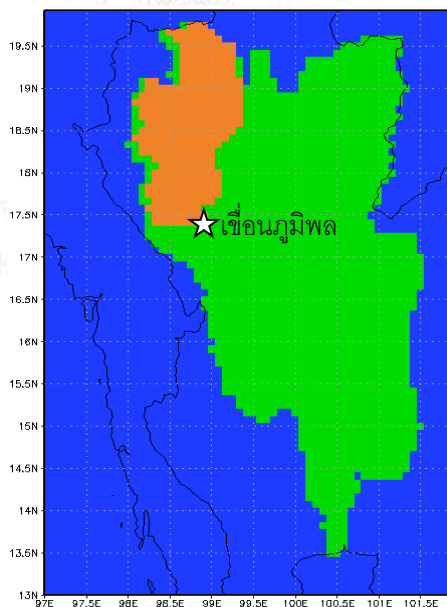
รูปที่ 4-18 น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ จากการจำลองสภาพน้ำท่าด้วยข้อมูลทั้ง 4 ชุด เทียบกับน้ำท่าสังเกตการณ์



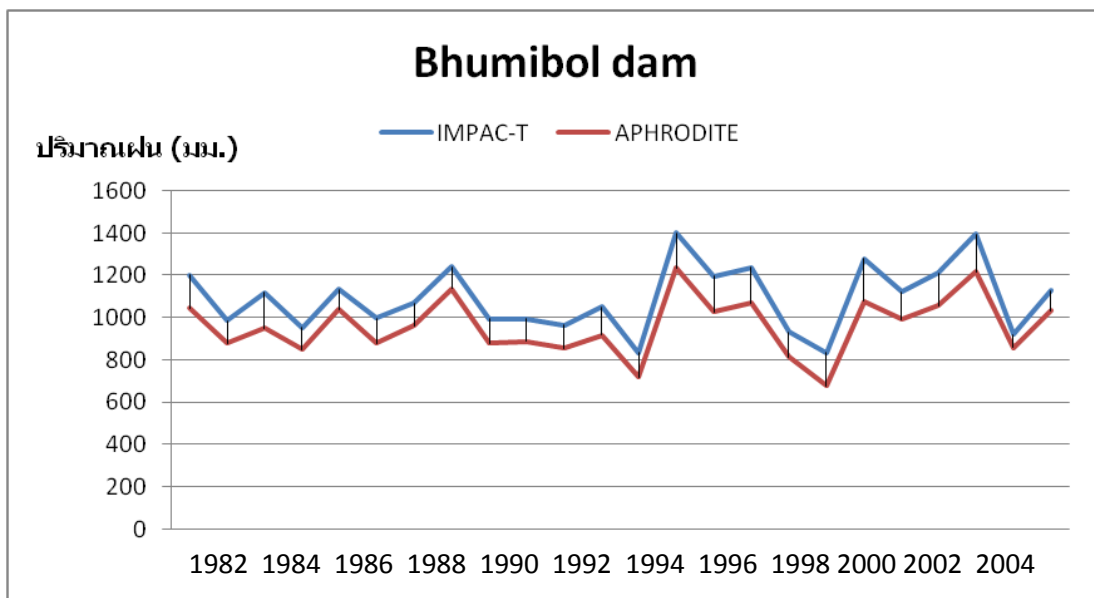
รูปที่ 4-18 (ต่อ) น้ำท่ารายเดือนในช่วง 1981-2004 ที่สถานีต่างๆ จากการจำลองสภาพน้ำท่า ด้วยข้อมูลทั้ง 4 ชุด เทียบกับน้ำท่าสังเกตการณ์

4.1.4.1 การวิเคราะห์ผลการจำลองสภาพพื้นที่สถานีเขื่อนภูมิพล (BB)

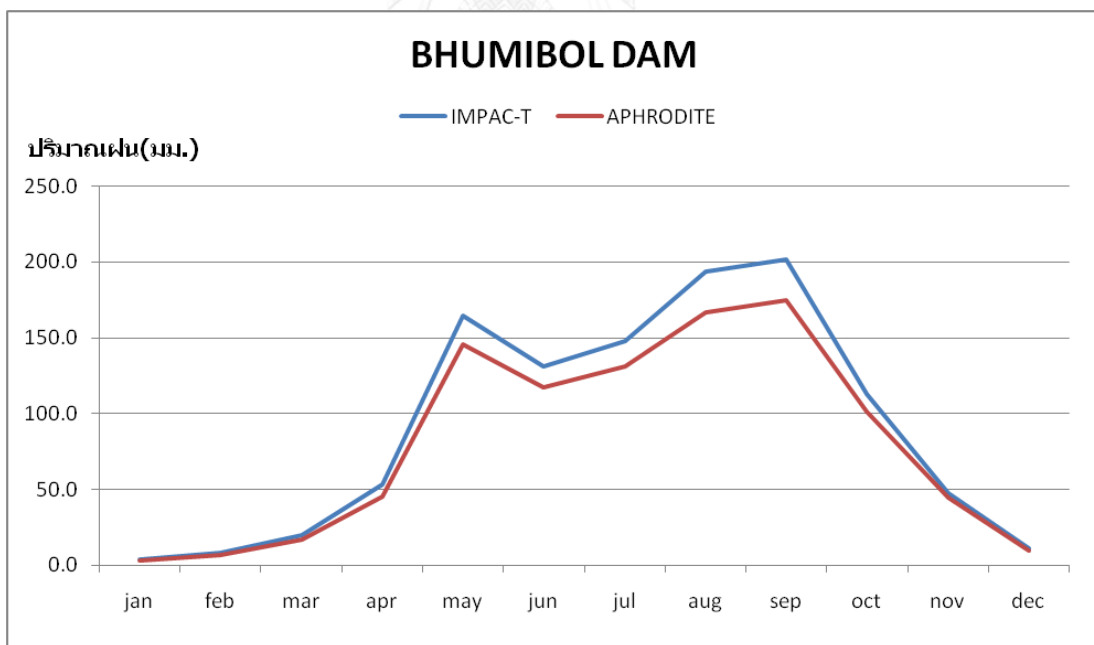
พื้นที่สถานีเขื่อนภูมิพล มีพื้นที่รับน้ำที่คำนวณโดยแบบจำลองเท่ากับ 26,018 ตารางกิโลเมตร (พื้นที่รับน้ำจริง 26,400 ตร.กม.) มีข้อมูลฝนในพื้นที่รายปีเฉลี่ยจาก IMPACT และ APHRODITE 1,092.6 มม. และ 959.7 มม.ตามลำดับ (ต่างกันประมาณ 12%) โดยปีที่มีฝนตกสูงสุดคือ ค.ศ.2002 คือ 1,400 มม. และ 1,215 มม. ฝนรายเดือนเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 2 มีรูปแบบของฝนลักษณะเดียวกัน ต่างกันเพียงปริมาณโดยค่าสูงสุดอยู่ที่เดือนกันยายน (215 มม. และ 185 มม. ตามลำดับ) ดังรูปที่ 4-19 ถึง 4-22 ในส่วนของการใช้ประโยชน์ที่ดินข้อมูล GLCC พื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นป่าไม้ไม่ผลัดใบ รองลงมาคือ ป่าไม้ผลัดใบ 50% และ 17% ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ปลูกข้าว ทุ่งหญ้า ไม้พุ่ม และที่ดินรกร้าง อย่างละประมาณ 7-8% ป่าผสม 2% ส่วนที่เหลือจะเป็นพื้นที่ชุมชนและแหล่งน้ำ ในด้านของข้อมูลกรมพัฒนาที่ดินปี 2000 และ 2006 จะใกล้เคียงกันคือ พื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็น ป่าไม้ผลัดใบ 54% และ 50% ตามลำดับ พื้นที่รองลงมาคือ ป่าไม้ไม่ผลัดใบ ใกล้เคียงกันที่ประมาณ 22% ส่วนพื้นที่อื่นๆ จะใกล้เคียงกับของ GLCC คือ ประมาณ 7-8% ยกเว้นพื้นที่รกร้างที่มีน้อยมาก ดังในรูปที่ 4-22



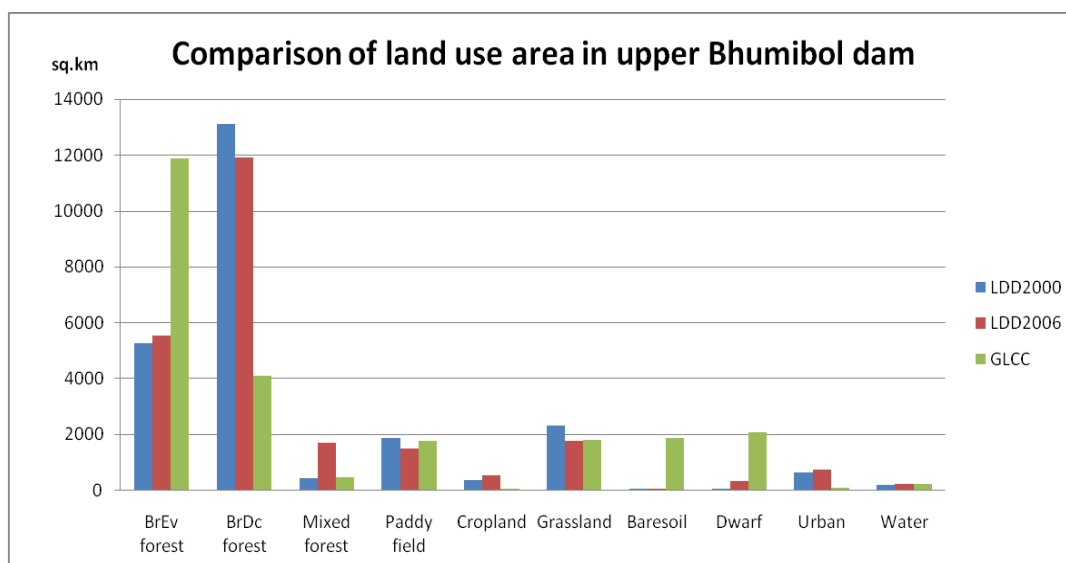
รูปที่ 4-19 พื้นที่รับน้ำ (จากแบบจำลอง) ของพื้นที่สถานีเหนือเขื่อนภูมิพล



รูปที่ 4-20 ฝนรายปี IMPAC-T และ APHRODITE ตั้งแต่ปี 1981-2004 (แตกต่างกันประมาณ 12%)

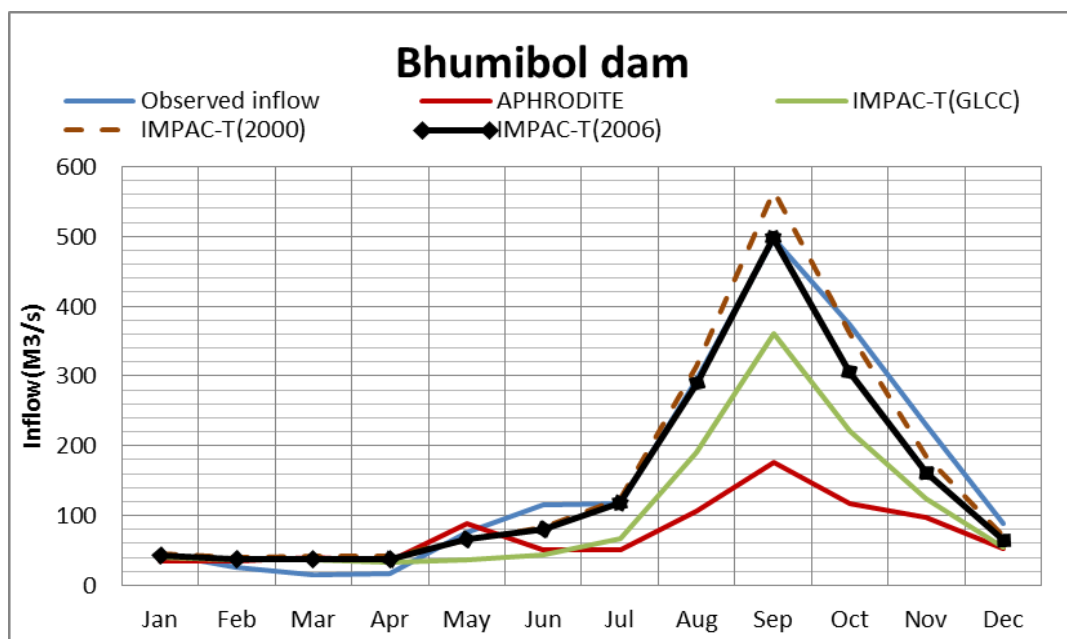


รูปที่ 4-21 ฝนรายเดือนเฉลี่ย IMPAC-T และ APHRODITE

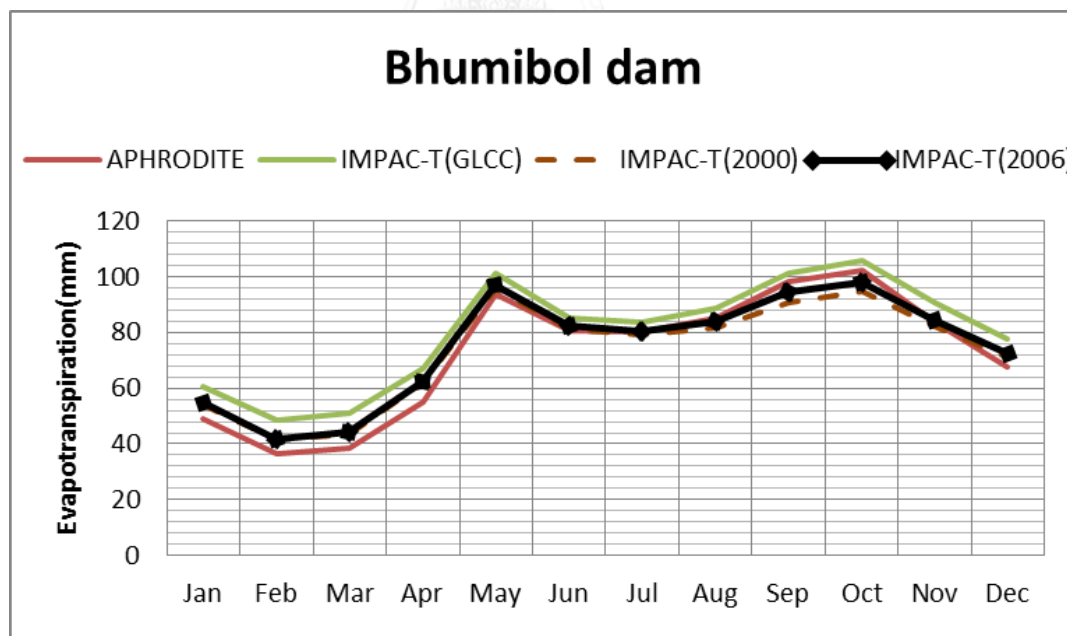


รูปที่ 4-22 เปรียบเทียบการใช้ที่ดินในพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล

จากความแตกต่างของข้อมูลฝนและการใช้ประโยชน์ที่ดินดังกล่าว เมื่อนำไปจำลองสภาพน้ำไหลเข้าเขื่อน (Inflows) ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ด้วยข้อมูลทั้ง 4 ชุด ผลการจำลองสภาพอาจพิจารณาได้ตามรูปที่ 4-23 โดยในกรณีของข้อมูลชุดที่ 1 (APHRODITE) กับข้อมูลชุดที่ 2 (IMPAC-T(GLCC)) ที่มีข้อมูลฝนต่างกัน พบว่า ค่าสูงสุดในเดือนกันยายนแตกต่างกันถึง 1 เท่าตัว ในขณะที่ ปริมาณฝนเฉลี่ย ต่างกันเพียงแค่ 12% (โดยเฉลี่ย) เมื่อพิจารณากรณีของข้อมูลชุดที่ 2 ชุดที่ 3 และชุดที่ 4 ที่ใช้ข้อมูลฝนชนิดเดียวกัน แต่ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า สิ่งปกคลุมดิน และการใช้ที่ดินแต่ละประเภทมีคุณลักษณะเฉพาะที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนแตกต่างกัน สังเกตได้จากผลของข้อมูลชุดที่ 2 เมื่อเทียบกับข้อมูลชุดที่ 3 (หรือชุดที่ 4) ที่มีลักษณะของพื้นที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดในพื้นที่ของป่า 2 ชนิด โดยในส่วนของ GLCC มีพื้นที่ป่าไม้ไม่ผลัดใบ สูงกว่า LDD2000 (หรือ 2006) ประมาณ 6,500 ตร.กม. ในทางกลับกัน LDD 2000 (หรือ 2006) มีป่าไม้ผลัดใบมากกว่าประมาณ 8,000 ตร.กม. โดยความแตกต่างนี้มีผลต่อปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนที่แตกต่างกันถึงประมาณ 30% รวมถึงค่า Evapotranspiration ดังแสดงในรูปที่ 4-24 ในขณะที่ ข้อมูลชุดที่ 3 และชุดที่ 4 ความแตกต่างของขนาดพื้นที่สิ่งปกคลุมดิน มีไม่มากนัก ลักษณะและปริมาณของน้ำไหลเข้าเขื่อน และค่า Evapotranspiration จึงค่อนข้างใกล้เคียงกัน



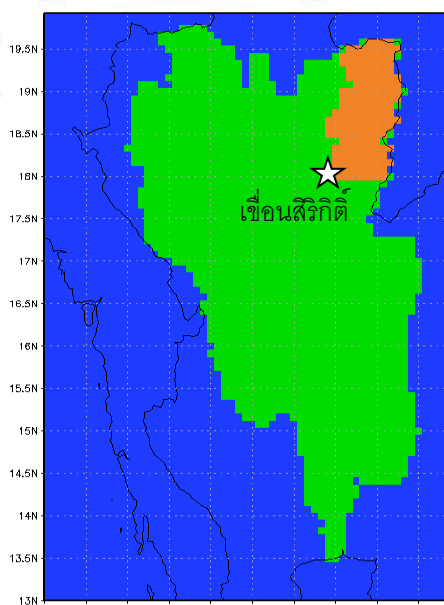
รูปที่ 4-23 น้ำไหลเข้าเขื่อน (Inflow) เฉลี่ยรายเดือนที่สถานีเขื่อนภูมิพล ในกรณีต่างๆเทียบกับค่าสังเกตการณ์



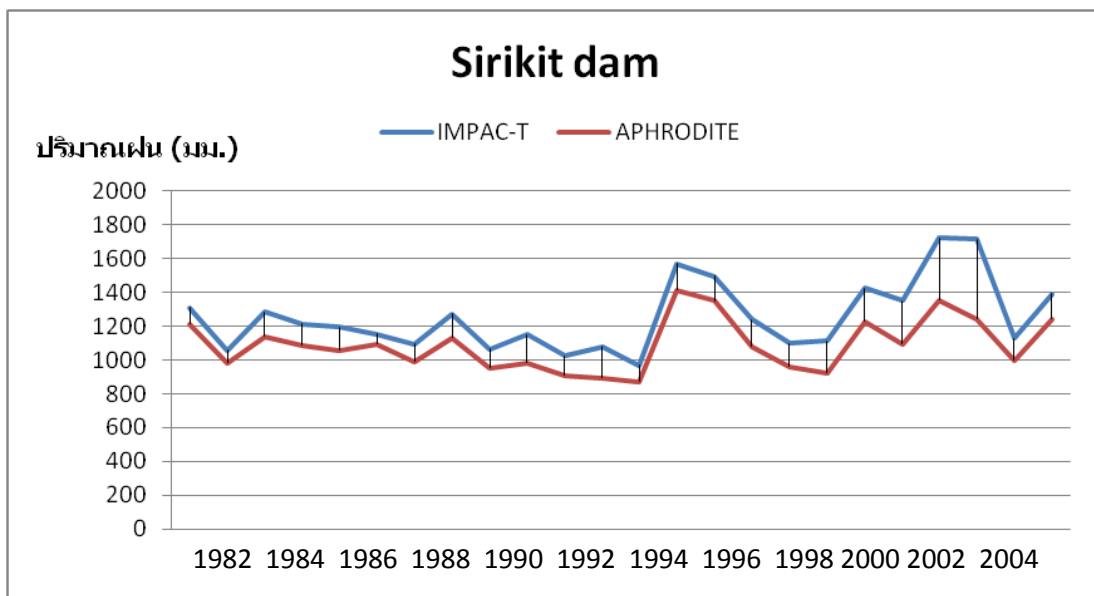
รูปที่ 4-24 การคายระเหยเฉลี่ยรายเดือนบนพื้นที่เขื่อนภูมิพลในกรณีต่างๆ

4.1.4.2 การวิเคราะห์ผลการจำลองสภาพพื้นที่สถานีเขื่อนสิริกิติ์ (SK)

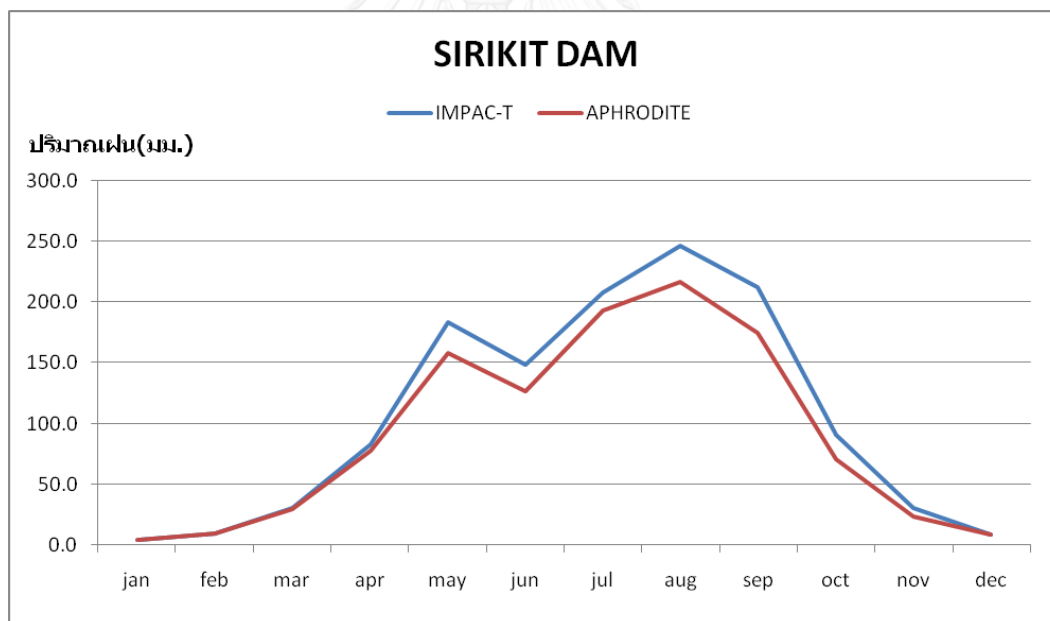
พื้นที่สถานีเขื่อนสิริกิติ์ มีพื้นที่รับน้ำคำนวณโดยแบบจำลองเท่ากับ 13,340 ตารางกิโลเมตร (พื้นที่รับน้ำจริง 13,130 ตร.กม.) โดยแสดงไว้ในรูปที่ 4-25 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลฝนที่ใช่ว่า ในพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์ฝนรายปีเฉลี่ยอยู่ที่ 1,255 มม. สำหรับ IMPACT และ 1,092 มม. สำหรับ APHRODITE ความแตกต่างของปริมาณฝนยังคงอยู่ที่ประมาณ 12% และปริมาณฝนสูงสุดอยู่ที่ปีค.ศ.2001 คือ 1,722 มม. และ 1,354 มม. ตามลำดับ อีกทั้งรูปแบบของฝนรายเดือนก็มีลักษณะเดียวกัน ทว่าค่าสูงสุดกลับอยู่ที่เดือน สิงหาคม ประมาณ 250 มม. และ 220 มม. ตามลำดับ (รูปที่ 4-26 และ 4-27) ในด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์ พบว่า มีความแตกต่างกันระหว่างข้อมูลทั้ง 3 พอสมควร โดยที่ GLCC นั้น พื้นที่ส่วนใหญ่ยังคงเป็นป่า (รวม 78%) โดยเป็นป่าไม้ไม่ผลัดใบ 16% ป่าไม้ผลัดใบ 35.5% และป่าผสม 26% และพื้นที่อีกชนิดที่ค่อนข้างสูงคือไม้พุ่มราว 19% ในขณะที่ LDD2000 พื้นที่ป่าโดยรวมน้อยกว่า GLCC อยู่ประมาณ 14% โดยพื้นที่ป่าไม้ไม่ผลัดใบเท่ากับ 25% ป่าไม้ผลัดใบ 37.5% และป่าผสมประมาณ 1.7% ขณะที่พื้นที่ทุ่งหญ้าสูงถึง 25% อีกทั้งยังมีพื้นที่นาข้าวและพืชไร่อย่างละประมาณ 4% และ 2.5% ตามลำดับสุดท้าย LDD2006 พื้นที่ป่าโดยรวมน้อยที่สุด มีเพียงแค่ 45.8% ของพื้นที่ โดยส่วนใหญ่เป็นป่าไม้ผลัดใบ 28% ป่าไม้ไม่ผลัดใบ 14.3% และป่าผสมประมาณ 3% โดยพื้นที่ป่าที่ลดลงจากปี 2000 นั้นกลายเป็นพื้นที่ทุ่งหญ้าที่เพิ่มขึ้นเป็น 44.5% ของพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 4-28



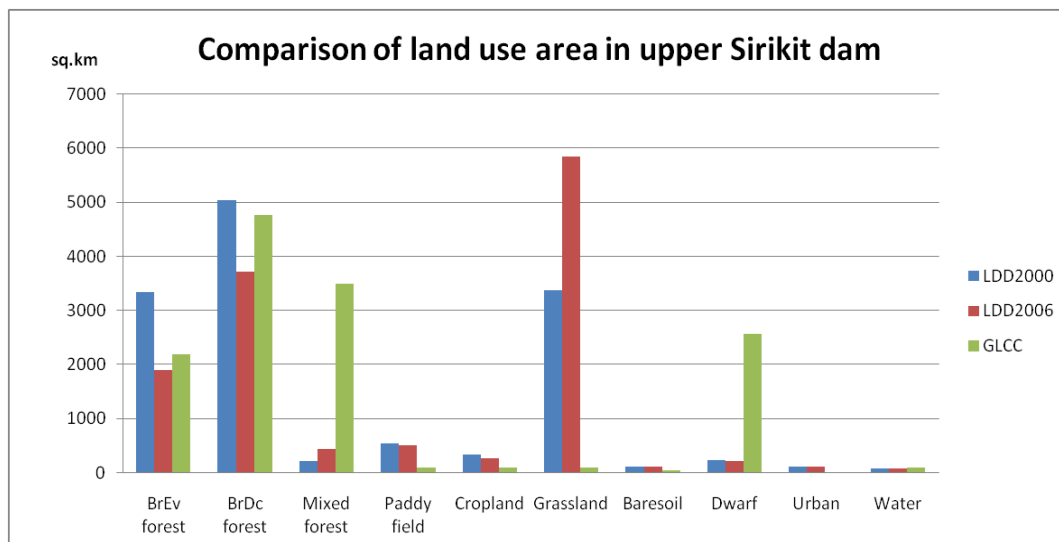
4-25 พื้นที่รับน้ำ (จากแบบจำลอง) ของพื้นที่เหนือสถานีเขื่อนสิริกิติ์



รูปที่ 4-26 ฝนรายปี IMPAC-T และ APHRODITE ตั้งแต่ปี 1981-2004 (แตกต่างกันประมาณ 12%)

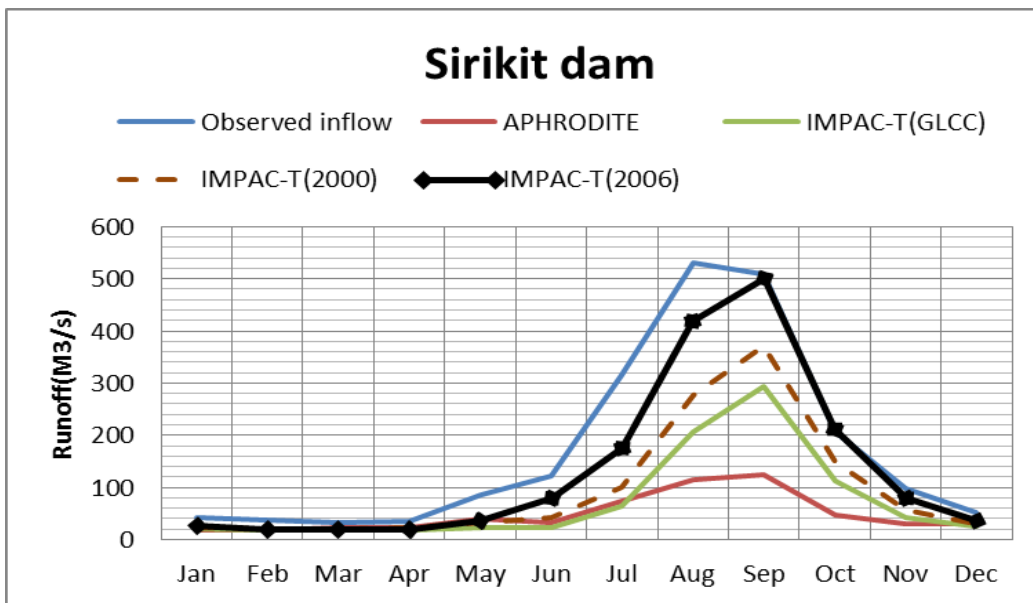


รูปที่ 4-27 ฝนรายเดือนเฉลี่ย IMPAC-T และ APHRODITE

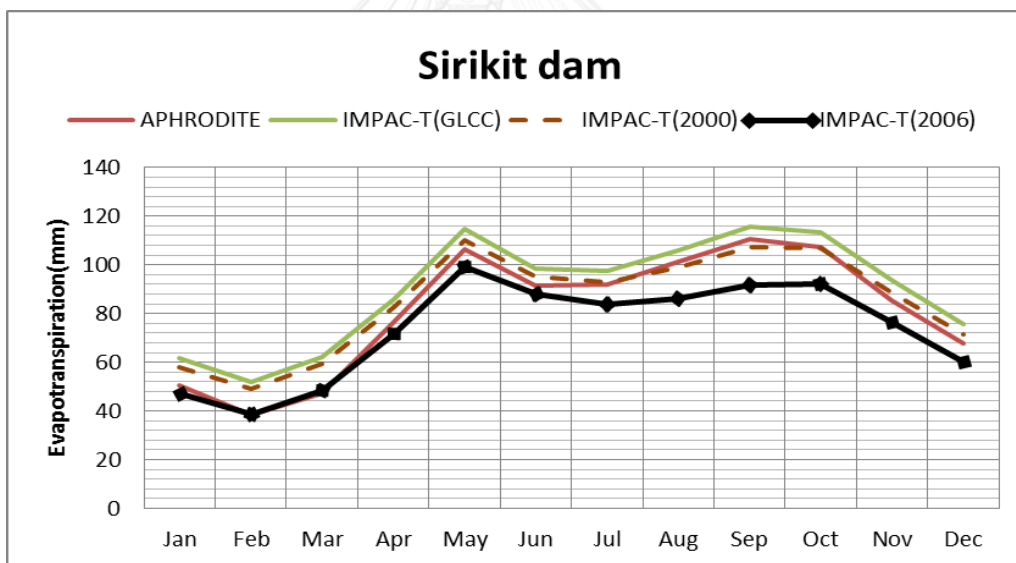


รูปที่ 4-28 เปรียบเทียบการใช้ที่ดินในพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของข้อมูลฝนและการใช้ประโยชน์ที่ดิน ควบคู่ไปกับผลการจำลองสภาพน้ำไหลเข้าเขื่อน (Inflows) ด้วยข้อมูลทั้ง 4 ชุด (รูปที่ 4-29 ถึง 4-30) โดยในกรณีของข้อมูลชุดที่ 1 (APHRODITE) กับข้อมูลชุดที่ 2 (IMPAC-T(GLCC)) นั้นผลที่ได้มีลักษณะเดียวกันกับกรณีของพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล แต่จะมีความแตกต่างในส่วนที่ ฝนของพื้นที่เขื่อนสิริกิติ์นั้น จะมีค่าสูงสุดอยู่ที่เดือนสิงหาคม (พื้นที่ภูมิพล คือ กันยายน) จึงเห็นได้ว่าลักษณะของปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนที่เดือนสิงหาคมจะสูงจนเกือบใกล้เคียงกับค่าสูงสุดในเดือนกันยายนตามปริมาณฝนที่สูง เมื่อพิจารณากรณีของข้อมูลชุดที่ 2 ชุดที่ 3 และชุดที่ 4 ที่ใช้ข้อมูลฝนชนิดเดียวกัน แต่ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินแตกต่างกัน หากพิจารณาที่ข้อมูลการใช้ที่ดินของปี 2006 ที่มีพื้นที่ป่า เหลือน้อยที่สุดเพียง 45% ของพื้นที่ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนของข้อมูลชุดที่ 4 จึงมีค่าสูงกว่า กรณีอื่นซึ่งมีพื้นที่ป่าไม่สูงกว่า โดยเรียงลำดับจากข้อมูลชุดที่ 4, ชุดที่ 3 และ ชุดที่ 2 ตามลำดับ (78% 64% และ 45%) รวมถึงค่า Evapotranspiration ที่ข้อมูลชุดที่ 4 มีค่า Evapotranspiration เฉลี่ยน้อยที่สุดจากการที่พื้นที่ป่าลดลงมาก



รูปที่ 4-29 น้ำไหลเข้าเขื่อน (Inflow) เฉลี่ยรายเดือนที่สถานีเขื่อนสิริกิติ์ ในกรณีต่างๆเทียบกับค่าสังเกตการณ์

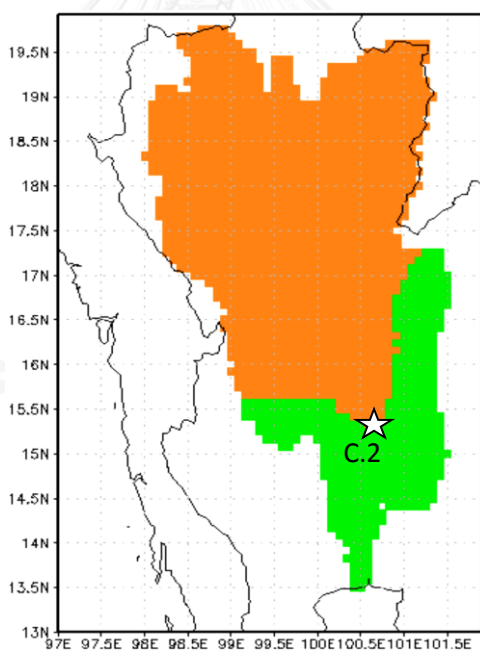


รูปที่ 4-30 การคายระเหยเฉลี่ยรายเดือนบนพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์ ในกรณีต่างๆ

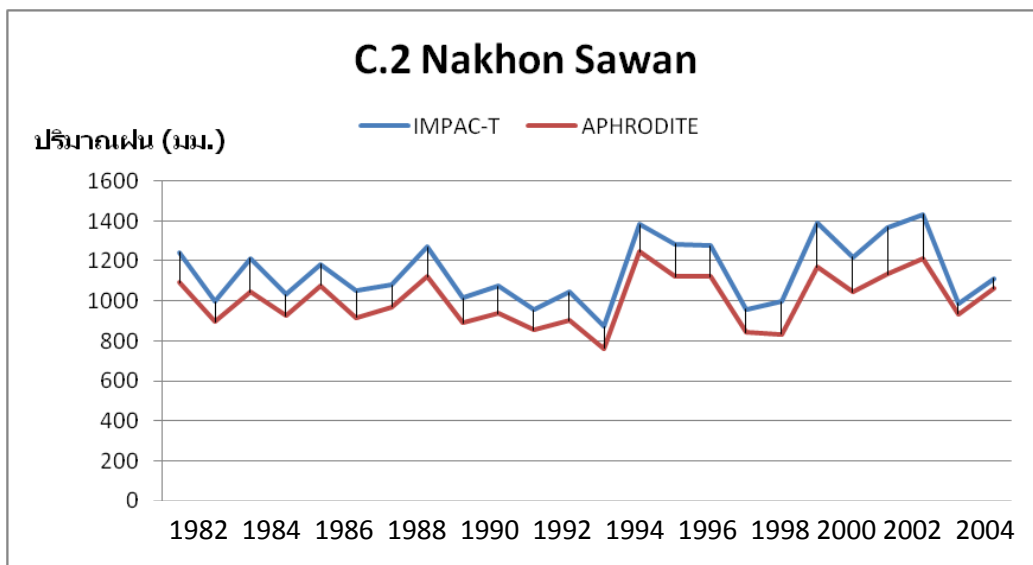
4.1.4.3 การวิเคราะห์ผลการจำลองสภาพพื้นที่สถานี C.2 นครสวรรค์

พื้นที่สถานี C.2 นครสวรรค์ มีพื้นที่รับน้ำคำนวณโดยแบบจำลองเท่ากับ 110,106 ตารางกิโลเมตร (พื้นที่รับน้ำจริง 110,569 ตร.กม.) ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนทั้งหมดดังรูปที่ 4-31 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลฝนที่ใช้ในพื้นที่ ฝนรายปีเฉลี่ยจาก IMPAC-T และ APHRODITE 1,144 มม. และ 1,004.45 มม. ตามลำดับ (ต่างกันประมาณ 12%) โดยปีที่มีฝนตกสูงสุดคือ ค.ศ.2002 คือ 1,433 มม. และ 1,212 มม. ฝนรายเดือนเฉลี่ยของข้อมูลทั้ง 2 มี

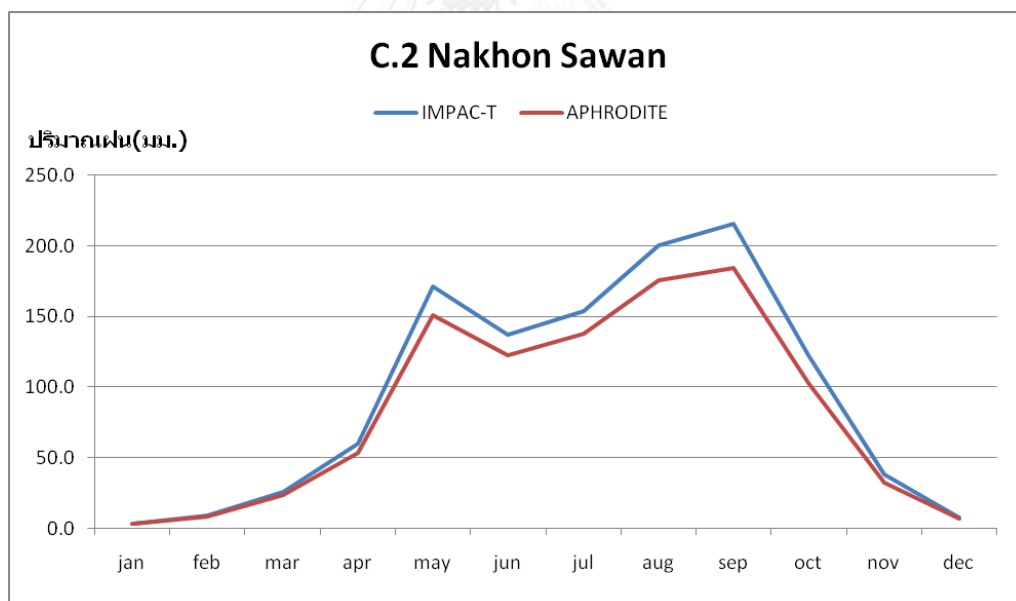
รูปแบบของฝนลักษณะเดียวกัน ต่างกันเพียงปริมาณโดยค่าสูงสุดอยู่ที่เดือนกันยายน (215 มม. และ 185 มม. ตามลำดับ) รูปที่ 4-32 และ 4-33 ในด้านการใช้ประโยชน์ที่ดินของพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน พบว่าพื้นที่หลักจะเป็นป่าไม้ และการทำนา โดยพื้นที่ป่าของข้อมูลทั้ง 3 ชุด มีพื้นที่รวมใกล้เคียงกันประมาณ 50-60% ของพื้นที่ โดยในข้อมูล GLCC ป่าไม้ผลัดใบและป่าผลัดใบมีพื้นที่ใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 20.5% แต่ทว่าในข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดินทั้ง 2 ปี พื้นที่ป่าส่วนใหญ่ จะเป็นป่าไม้ผลัดใบครอบคลุมพื้นที่ถึง 40% ในด้านพื้นที่นาข้าว จะใกล้เคียงกันที่ประมาณ 15-18% พื้นที่ที่มีขนาดต่างกันอย่างชัดเจนนอกจากป่าไม้ผลัดใบ คือ พื้นที่พีชไร่ ไม้พุ่ม และพื้นที่ชุมชน โดยใน GLCC มีพื้นที่พีชไร่เพียง 1% แต่ข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดินมีพื้นที่ประมาณ 10-11% ขณะที่ไม้พุ่ม GLCC สูงถึง 12% แต่ข้อมูลกรมพัฒนาที่ดินกลับมีเพียงประมาณ 1-2% ส่วนพื้นที่ชุมชน GLCC มีแค่ 0.3% ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับข้อมูลกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2000 และ 2006 (2.3% และ 4.35% ตามลำดับ) ดังแสดงในรูปที่ 4-34



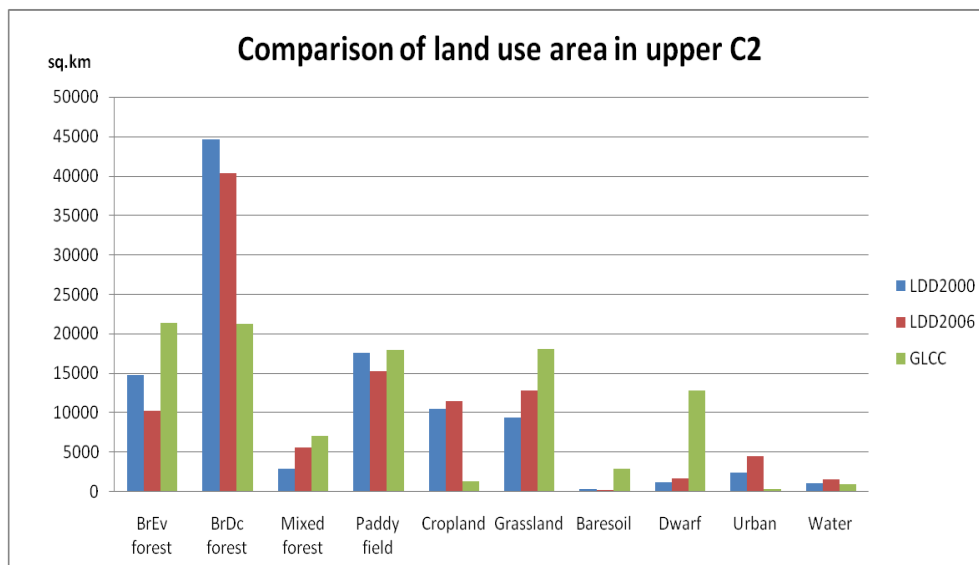
รูปที่ 4-31 พื้นที่รับน้ำ (จากแบบจำลอง) ของพื้นที่เหนือสถานี C.2



รูปที่ 4-32 ฝนรายปี IMPAC-T และ APHRODITE ตั้งแต่ปี 1981-2004 (แตกต่างกันประมาณ 12%)



รูปที่ 4-33 ฝนรายเดือนเฉลี่ย IMPAC-T และ APHRODITE

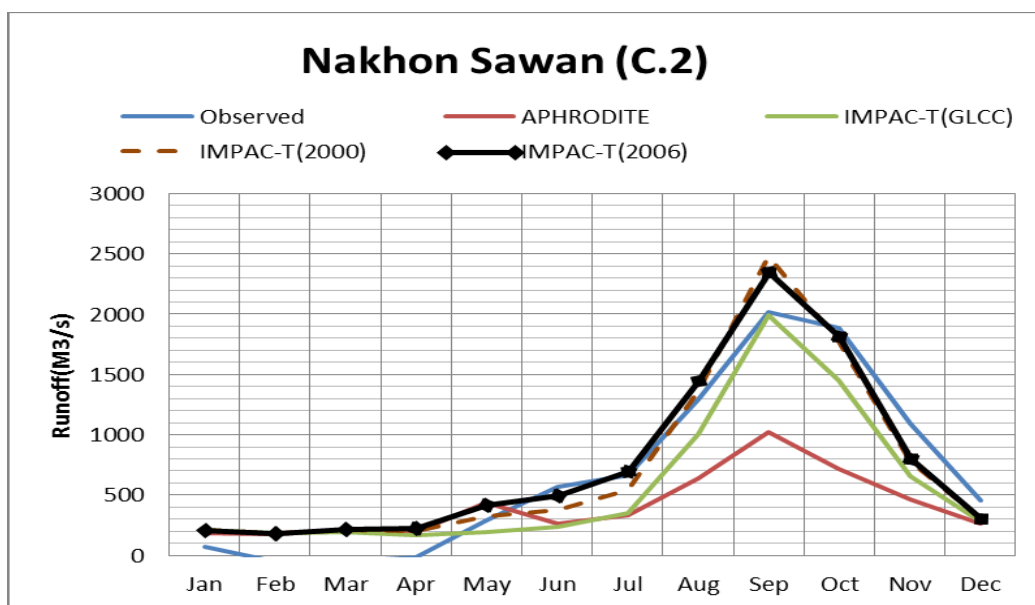


4-34 เปรียบเทียบการใช้ที่ดินในพื้นที่เหนือสถานี C.2

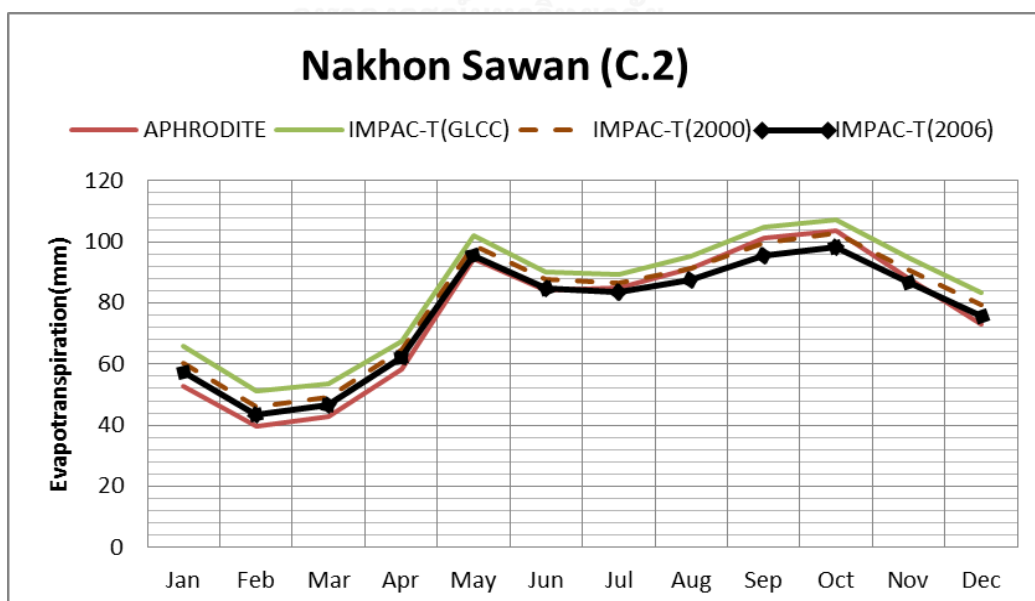
เมื่อพิจารณาผลการจำลองสภาพน้ำท่าที่สถานี C.2 ด้วยข้อมูลทั้ง 4 ชุด (รูปที่ 4-35 ถึง 4-36) โดยในกรณีของข้อมูลชุดที่ 1 (APHRODITE) กับข้อมูลชุดที่ 2 (IMPACT-GLCC) นั้นผลที่ได้มีลักษณะเดียวกันกับกรณีของพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล คือ ปริมาณน้ำท่าแปรผันตามปริมาณฝน เมื่อพิจารณากรณีของข้อมูลชุดที่ 2 ชุดที่ 3 และชุดที่ 4 ที่ใช้ข้อมูลฝนชนิดเดียวกัน แต่ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินแตกต่างกัน หากพิจารณาที่ข้อมูลการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินปี 2000 และ 2006 ที่มีพื้นที่รวมแต่ละชนิดค่อนข้างใกล้เคียงกัน แตกต่างกันไม่เกิน 5% ของพื้นที่ทั้งหมด ลักษณะของน้ำท่าจึงแตกต่างกันไม่มาก โดยผลที่ต่างกันมาจากพื้นที่ป่าลดลงโดยรวมประมาณ 5% ส่วนพื้นที่ชุมชนและทุ่งหญ้าเพิ่มขึ้น 2% และ 4% ตามลำดับ ในข้อมูล GLCC พื้นที่ป่าไม้ไม่ผลัดใบสูงถึง 20% ของพื้นที่ ซึ่งมีการคายระเหยสูง อีกทั้งยังมีความแตกต่างในพื้นที่ไม้พุ่มที่มากกว่า และพื้นที่ชุมชนที่น้อยกว่าข้อมูลกรมพัฒนาที่ดินทั้ง 2 ปี ปริมาณน้ำท่าจึงน้อยกว่า โดยสังเกตได้จากค่า Evapotranspiration เฉลี่ยสูงที่สุดจากข้อมูลทั้ง 4 ชุด

จากการวิเคราะห์ผลการจำลองสภาพน้ำไหลเข้าเขื่อนและน้ำท่า ที่สถานีเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และสถานี C.2 นครสวรรค์ ที่มีปัจจัยความแตกต่างในด้านข้อมูลฝน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าปัจจัยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนในพื้นที่ศึกษา ส่งผลโดยตรงต่อปริมาณน้ำท่า โดยในการศึกษานี้ปริมาณฝนที่แตกต่างกันเพียง 12% มีผลต่อปริมาณน้ำท่า โดยเฉพาะค่าสูงสุดมากกว่า 1 เท่าตัวในทุกสถานี ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงไปของปริมาณฝนในอนาคต จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลต่อน้ำท่าในพื้นที่ ซึ่งผู้เขียนจะทำการศึกษาในประเด็นนี้ในหัวข้อถัดไป อีกประเด็นคือ ปัจจัยการเปลี่ยนแปลงของการใช้

ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา หากมีขนาดของการเพิ่ม-ลด การเปลี่ยนแปลงชนิดพื้นที่อย่างมีนัยยะ ก็เป็นปัจจัยที่ทำให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเช่นเดียวกัน ผู้เขียนจึงได้ทำการศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงชนิดของการใช้ประโยชน์ที่ดินในรูปแบบต่างๆ และการศึกษาการเปลี่ยนแปลงไปของการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตควบคู่ไปกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 4-35 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานี C.2 ในกรณีต่างๆเทียบกับค่าสังเกตการณ์



รูปที่ 4-36 การคายระเหยเฉลี่ยรายเดือนบนพื้นที่เหนือสถานี C.2 ในกรณีต่างๆ

4.1.5 การศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อสภาพน้ำท่า

ในหัวข้อนี้ผู้เขียนได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดินจากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่ง เพื่อศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนชนิดการใช้ที่ดินต่อสภาพน้ำท่า พิจารณาพื้นที่ที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง โดยเน้นที่การลดลงของพื้นที่ป่า ทั้งป่าไม้ผลัดใบและป่าไม้ไม่ผลัดใบ ไปเป็นพื้นที่การทำนา การปลูกพืชไร่ และพื้นที่ชุมชน ซึ่งพื้นที่เหล่านี้มีความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มขึ้นในอนาคต โดยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดของการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ผลัดใบ และชุดของการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ไม่ผลัดใบ ดังแสดงในรูปที่ 4-37 โดยจะศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงใน 3 พื้นที่ คือ พื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล พื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์ และพื้นที่ห้วยน้ำเจ้าพระยาตอนบน โดยการเปลี่ยนแปลงนั้นพิจารณาเพียงผลของการลดลงของพื้นที่ชนิดหนึ่งไปเป็นพื้นที่อีกชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงครวละ 5% 10% 20% และ 50% ของพื้นที่ภายในกริดเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาลักษณะเฉพาะอื่นๆของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำหลัก ทั้ง 4 ร่วมด้วย

Sensitivity analysis of land cover change



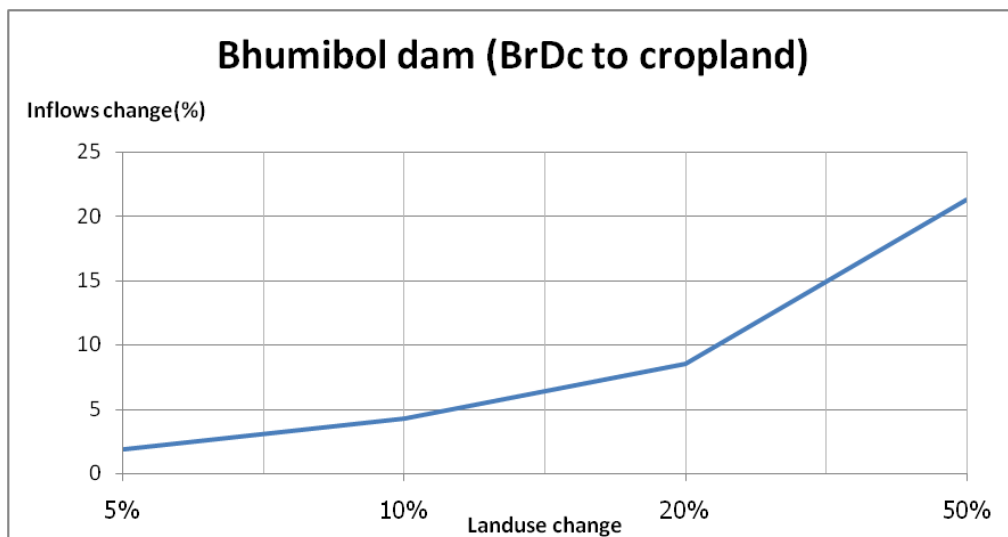
รูปที่ 4-37 การศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

4.1.5.1 กรณีศึกษา การลดลงของป่าไม้ผลัดใบ

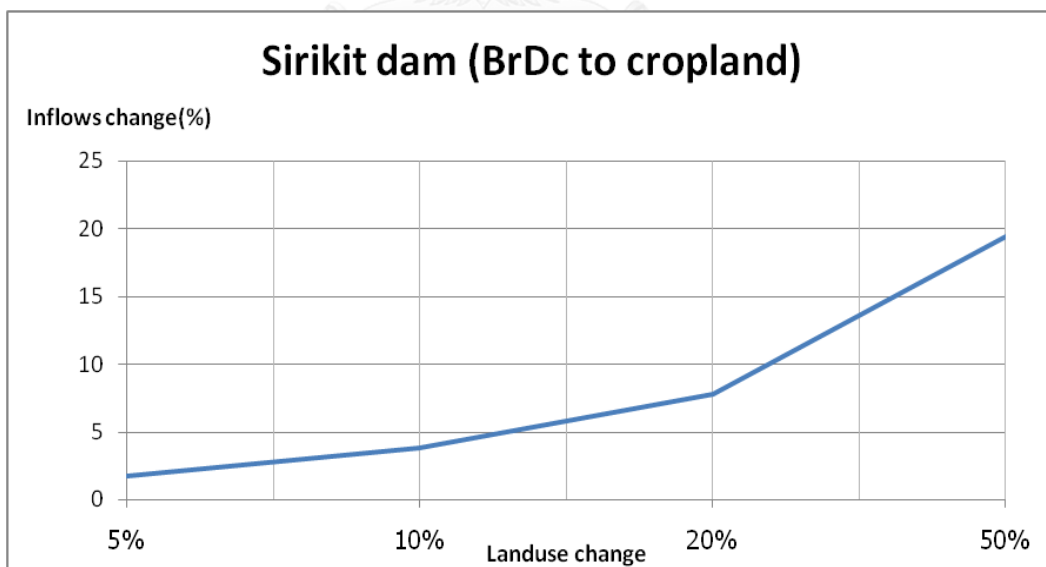
1) ป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพืชไร่

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อพื้นที่ป่าค่อยๆลดลง เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่การปลูกพืชไร่ เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 5%-50% ในพื้นที่ศึกษา ส่งผลให้น้ำท่าและน้ำไหลเข้าเขื่อนทั้งภูมิพลและสิริกิติ์ เพิ่มขึ้น เมื่อการเปลี่ยนแปลงยิ่งมากขึ้น ความชันของกราฟยิ่งสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4-38 ถึง 4-40 โดยที่สถานีเขื่อนภูมิพลจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงที่ 5% มีผลให้ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้นเพียง 1.9% เมื่อเพิ่มการเปลี่ยนแปลงเป็น 10% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้นเป็น 4.2% เมื่อการเปลี่ยนแปลงมากถึง 20% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 8.5% และเมื่อการเปลี่ยนแปลงสูงถึง 50% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนสูงขึ้นไปถึง 21.3% เมื่อพิจารณาที่สถานีเขื่อนสิริกิติ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 1.8% 4% 7.8% และ 19.4% ที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 5% 10% 20% และ 50% ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันที่สถานี

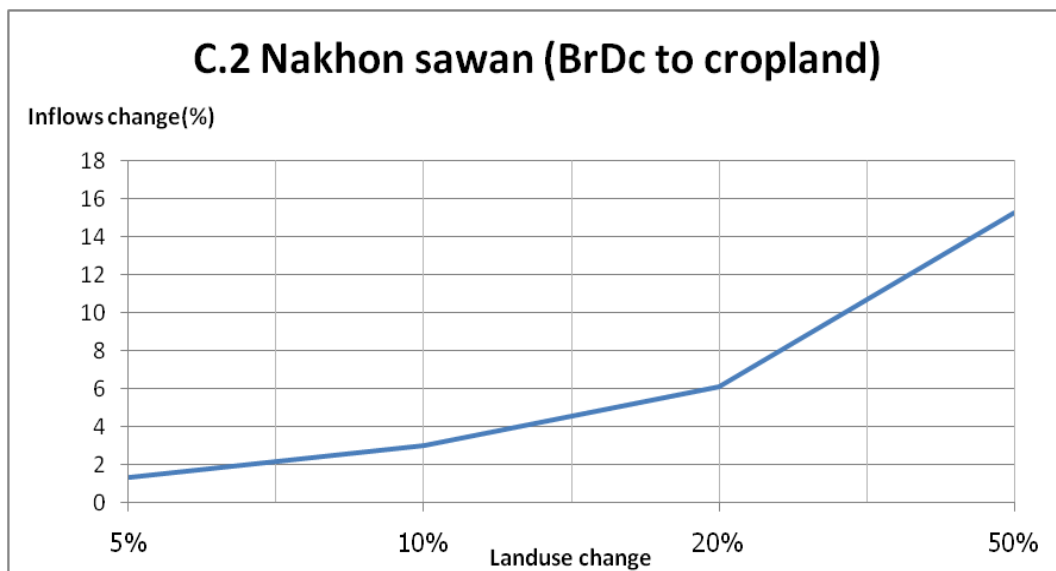
C.2 ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น 1.36% 3% 6% และ 15.3% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าการคายระเหยที่ลดลงเมื่อค่าน้ำท่าสูงขึ้น โดยลดลงสูงสุดประมาณ 4 - 6.5% ดังแสดงในรูปที่ 4-41 ถึง 4-43 และตารางที่ 4-3



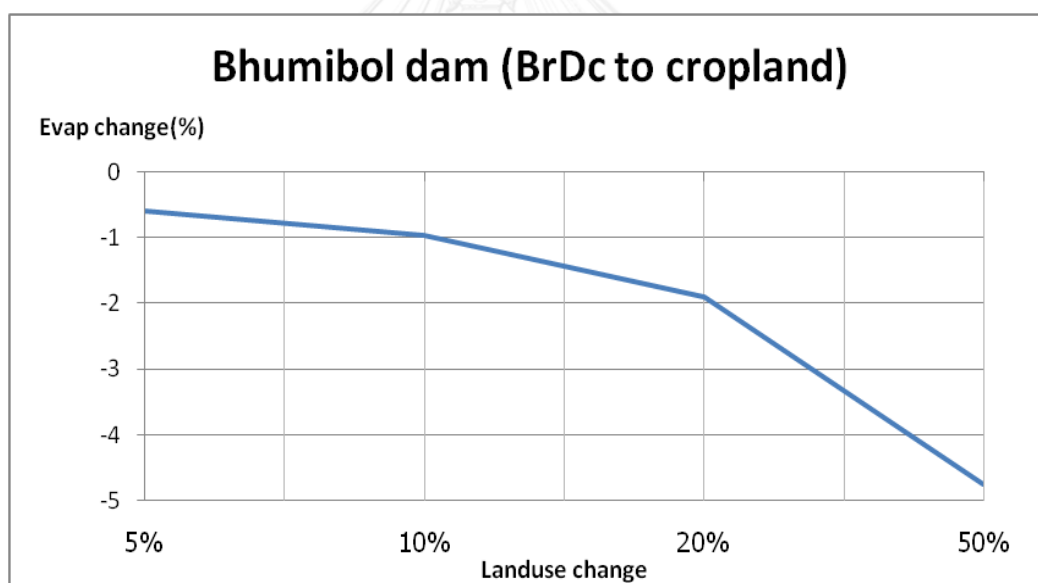
รูปที่ 4-38 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพีซีไร์



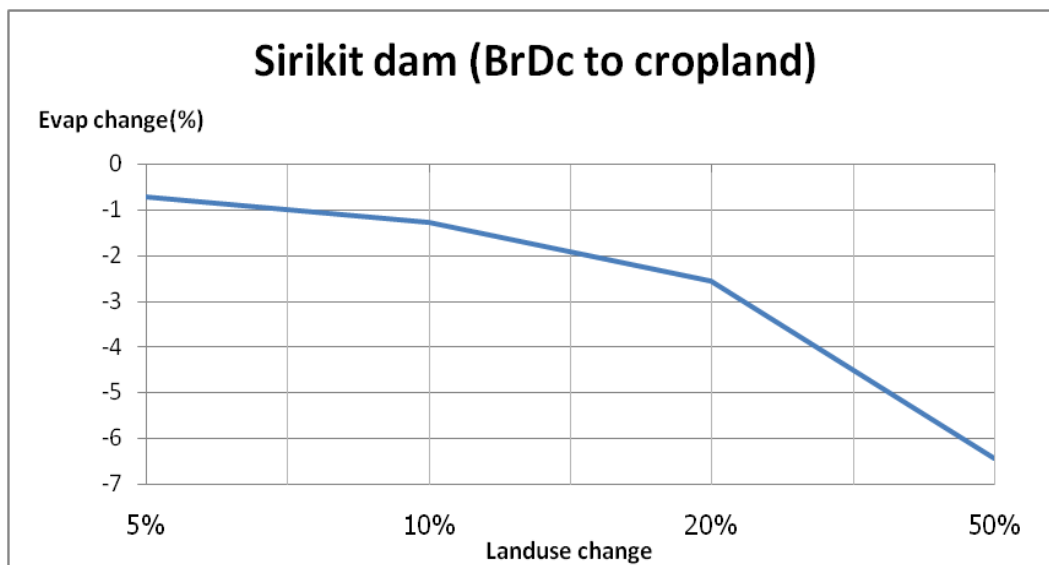
รูปที่ 4-39 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนสิริกิติ์ กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพีซีไร์



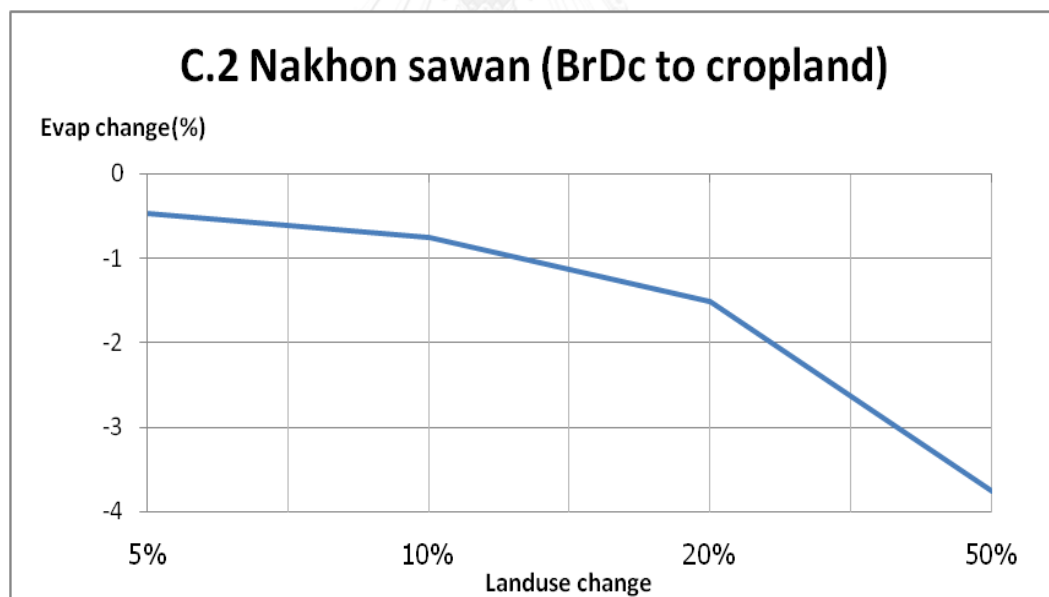
รูปที่ 4-40 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าที่สถานี C.2 กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพืชไร่



รูปที่ 4-41 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล
กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพืชไร่



รูปที่ 4-42 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์
กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพืชไร่



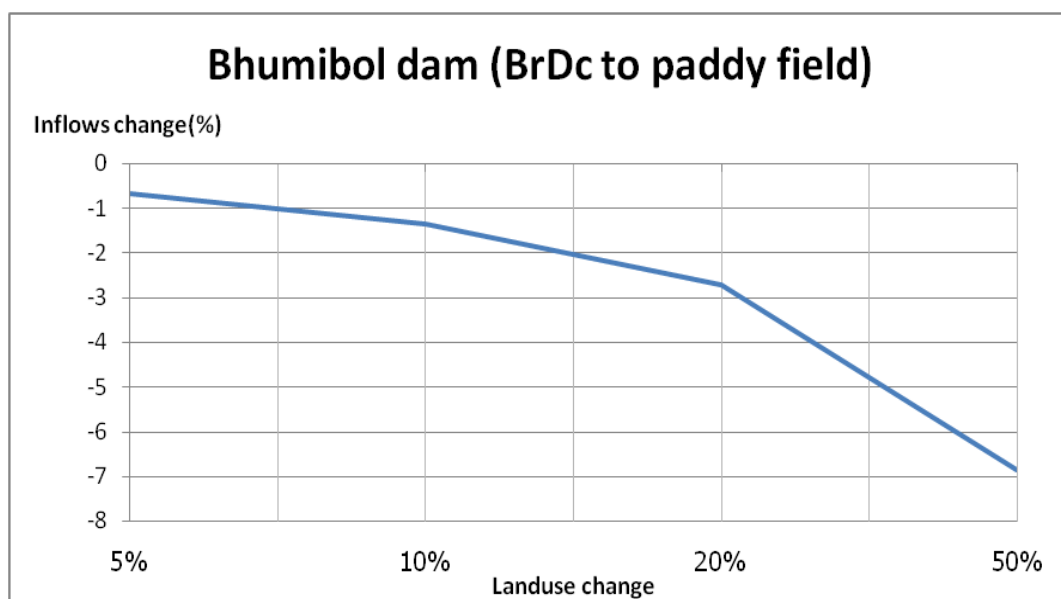
รูปที่ 4-43 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่สถานี C.2
กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพืชไร่

ตารางที่ 4-3 สรุปการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ผลัดใบเป็นพีชไร่

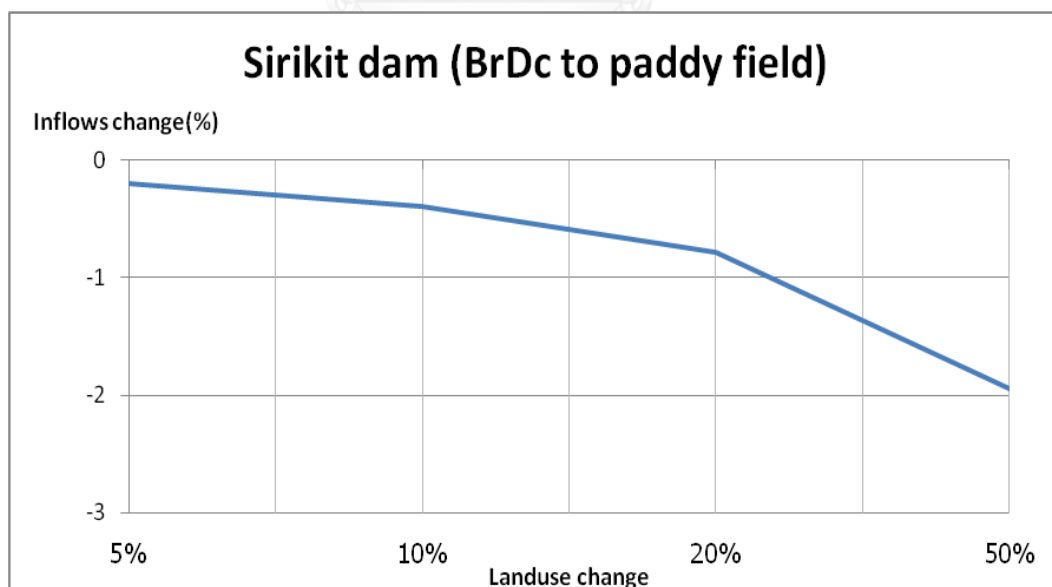
Stations	Change	BrDc to Cropland Land-use Change (%)			
		5%	10%	20%	50%
Bhumibol	Inflows change (%)	1.9	4.2	8.5	21.3
	Evap change (%)	-0.58	-0.95	-1.9	-4.76
Sirikit	Inflows change (%)	1.77	3.89	7.78	19.45
	Evap change (%)	-0.74	-1.29	-2.57	-6.43
C.2	Runoff change (%)	1.36	3.06	6.11	15.3
	Evap change (%)	-0.46	-0.75	-1.5	-3.76

2) ป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว

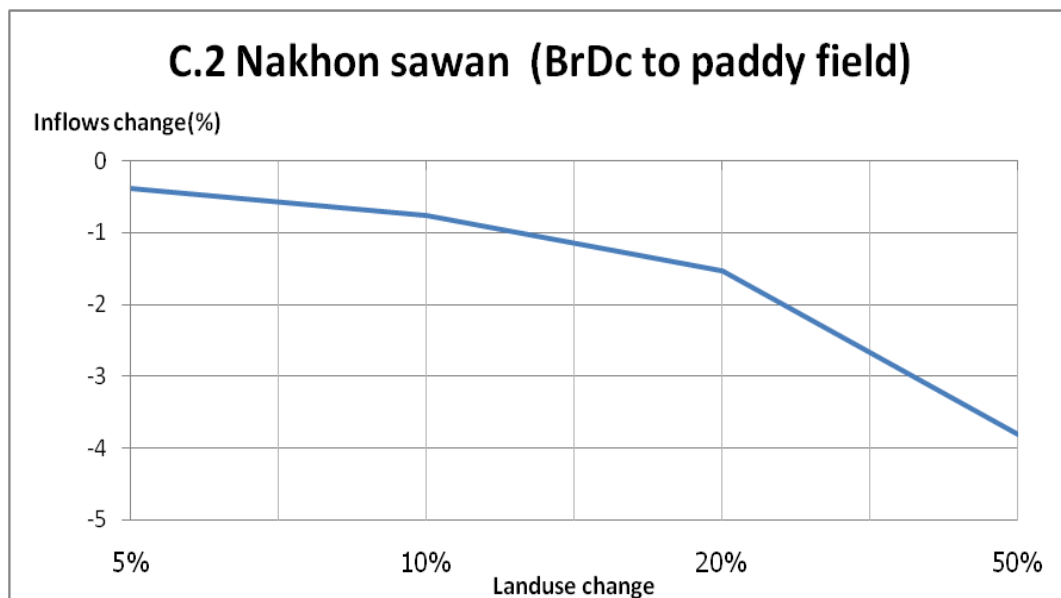
ผลการศึกษาพบว่า เมื่อพื้นที่ป่าค่อยๆลดลงเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่การทำนาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 5%-50% ในพื้นที่ศึกษา ส่งผลให้น้ำท่าและน้ำไหลเข้าเขื่อนทั้งภูมิพลและสิริกิต์ลดลงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4-44 ถึง 4-46 โดยที่สถานีเขื่อนภูมิพลจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงที่ 5% มีผลให้ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนลดลงเพียง 0.7% เมื่อเพิ่มการเปลี่ยนแปลงเป็น 10% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนลดลงเป็น 1.4% เมื่อการเปลี่ยนแปลงมากถึง 20% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนลดลง 2.7% และเมื่อการเปลี่ยนแปลงสูงถึง 50% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนลดลง 7% เมื่อพิจารณาที่สถานีเขื่อนสิริกิต์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนลดลง 0.2% 0.4% 0.8% และ 2% ที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 5% 10% 20% และ 50% ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันที่สถานี C.2 ปริมาณน้ำท่า ลดลง 0.4% 0.7% 1.5% และ 3.8% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าการคายระเหยที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อค่าน้ำท่าลดลง โดยเพิ่มขึ้นไม่ถึง 2% ดังแสดงในรูปที่ 4-47 ถึง 4-49 และตารางที่ 4-4



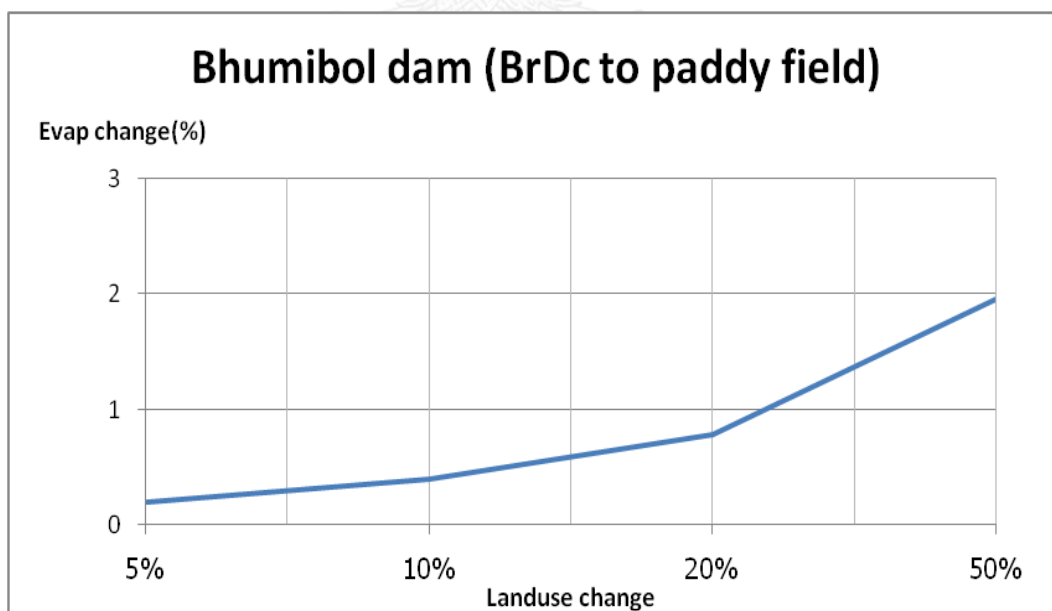
รูปที่ 4-44 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว



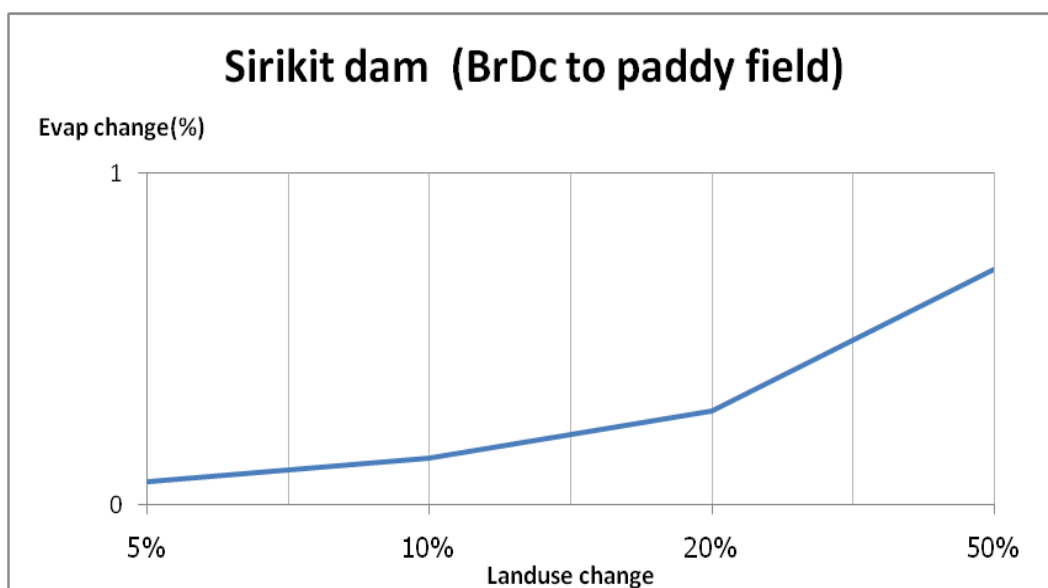
รูปที่ 4-45 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนสิริกิติ์ กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว



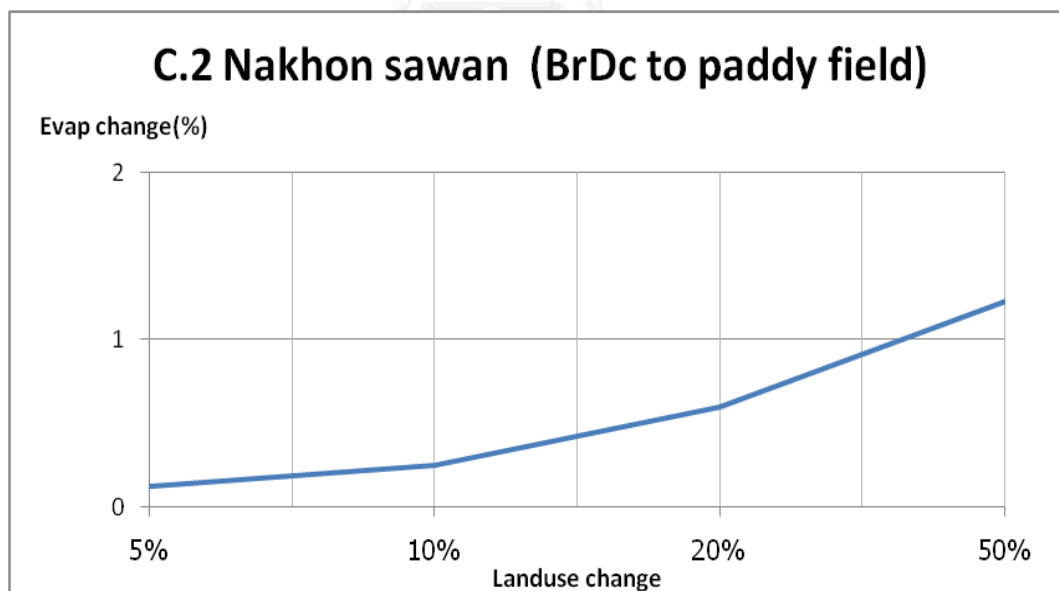
รูปที่ 4-46 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าที่สถานี C.2 กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว



รูปที่ 4-47 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล
กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว



รูปที่ 4-48 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์
กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว



รูปที่ 4-49 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่สถานี C.2
กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว

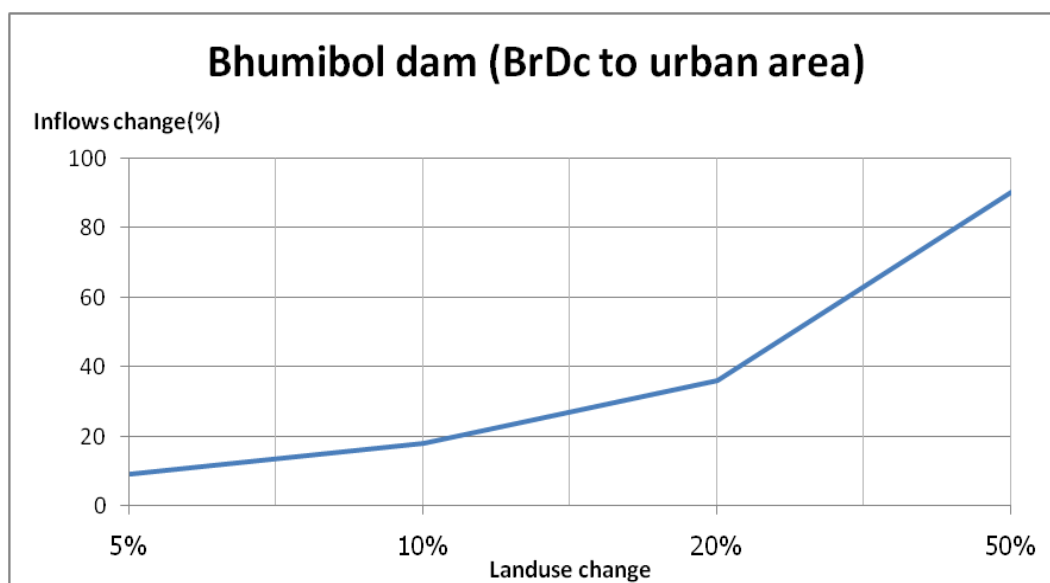
ตารางที่ 4-4 สรุปการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ผลัดใบเป็นนาข้าว

Stations	Change	BrDc to Paddy Land-use Change (%)			
		5%	10%	20%	50%
Bhumibol	Inflows change (%)	-0.68	-1.37	-2.73	-6.8
	Evap change (%)	0.19	0.39	0.78	1.95
Sirikit	Inflows change (%)	-0.19	-0.39	-0.78	-1.94
	Evap change (%)	0.07	0.14	0.28	0.71
C.2	Runoff change (%)	-0.38	-0.76	-1.52	-3.8
	Evap change (%)	0.12	0.24	0.6	1.23

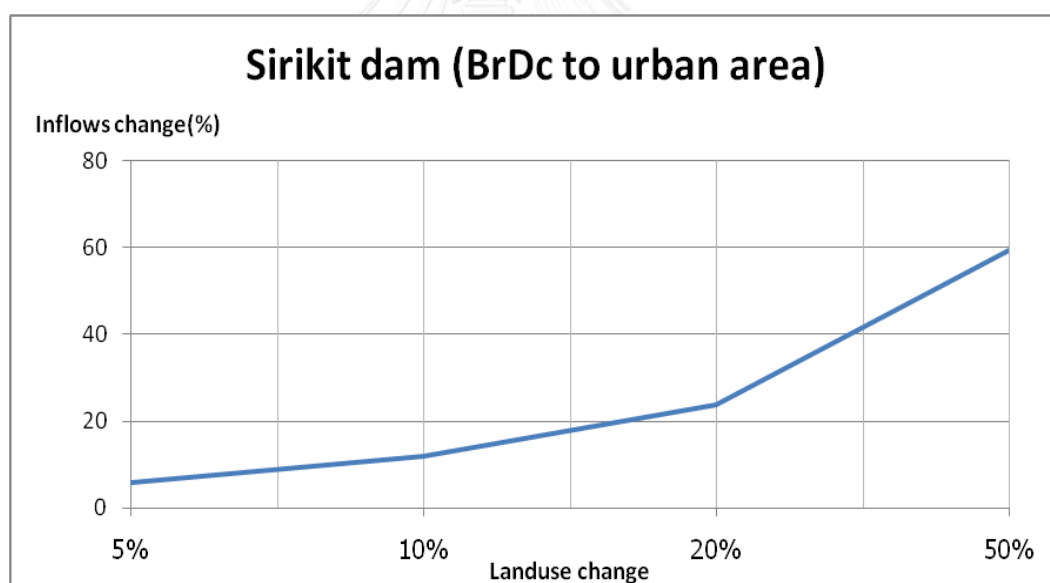
3) ป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง

ผลการศึกษาพบว่า เมื่อพื้นที่ป่าค่อยๆลดลง เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่เมืองและชุมชนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 5%-50% ในพื้นที่ศึกษา ส่งผลให้น้ำท่าและน้ำไหลเข้าเขื่อนทั้งภูมิพลและสิริกิติ์ เพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 4-50 ถึง 4-52 โดยที่สถานีเขื่อนภูมิพลจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงที่ 5% มีผลให้ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 9% เมื่อเพิ่มการเปลี่ยนแปลงเป็น 10% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้นเป็น 18% เมื่อการเปลี่ยนแปลงมากถึง 20% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 36% และเมื่อการเปลี่ยนแปลงสูงถึง 50% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้นถึง 90% เมื่อพิจารณาที่สถานีเขื่อนสิริกิติ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 6% 12% 23.8% และ 59% ที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 5% 10% 20% และ 50% ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันที่สถานี C.2 ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น 6.7% 13.5% 27% และ 67.5% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าการคายระเหยที่ลดลงค่อนข้างมาก โดยลดลงถึงเกือบ 20% ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ไป 50% ดังแสดงในรูปที่ 4-53 ถึง 4-55 และตารางที่ 4-5

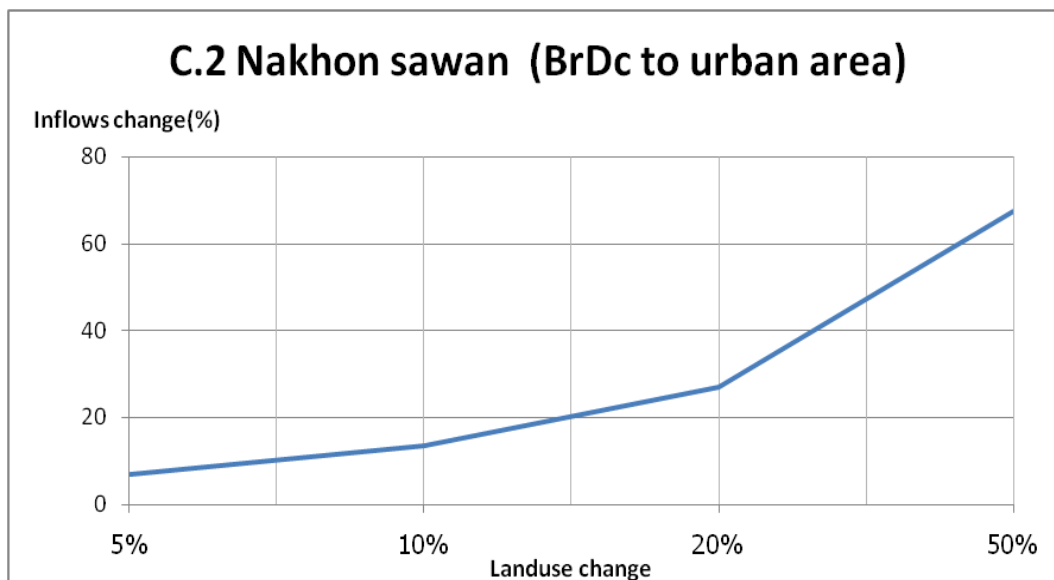
กล่าวโดยสรุป ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ผลัดใบ ไปเป็นพื้นที่พืชไร่ พื้นที่นาข้าว และพื้นที่ชุมชนเมือง พบว่า ในกรณีของการเปลี่ยนเป็นพื้นที่นาข้าว ส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนและน้ำท่า ลดลงเล็กน้อย จากการที่มีค่าการคายระเหยเพิ่มขึ้นไม่มากนัก อาจกล่าวได้ว่ามีผลต่อน้ำท่าเล็กน้อย ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ปลูกพืชไร่และพื้นที่ชุมชนเมือง มีผลให้ปริมาณน้ำเพิ่มสูงขึ้น โดยกรณีของพืชไร่เพิ่มขึ้นประมาณ 20% ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ชุมชน ทำให้ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นถึงกว่า 90%



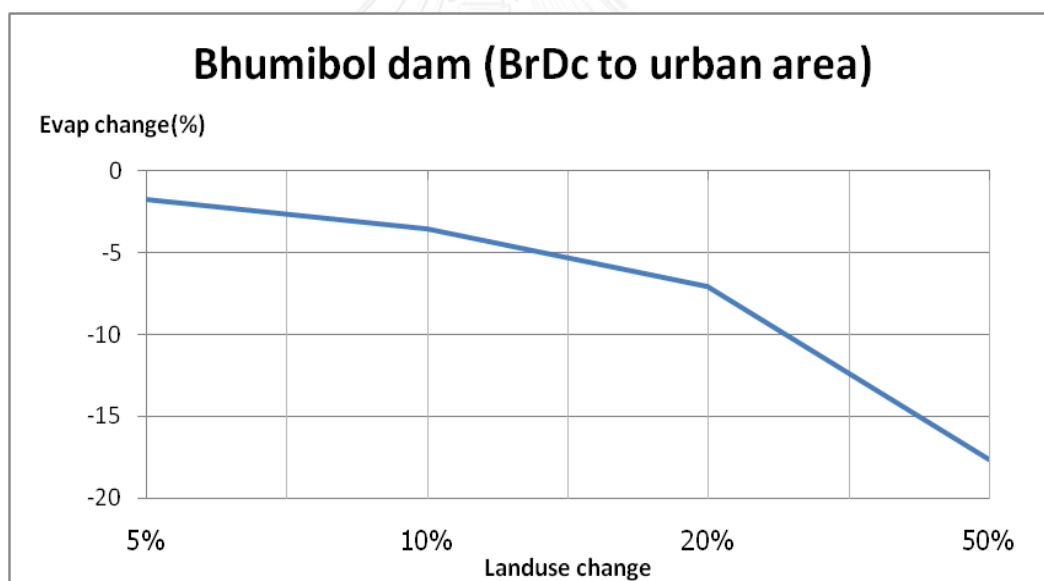
รูปที่ 4-50 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง



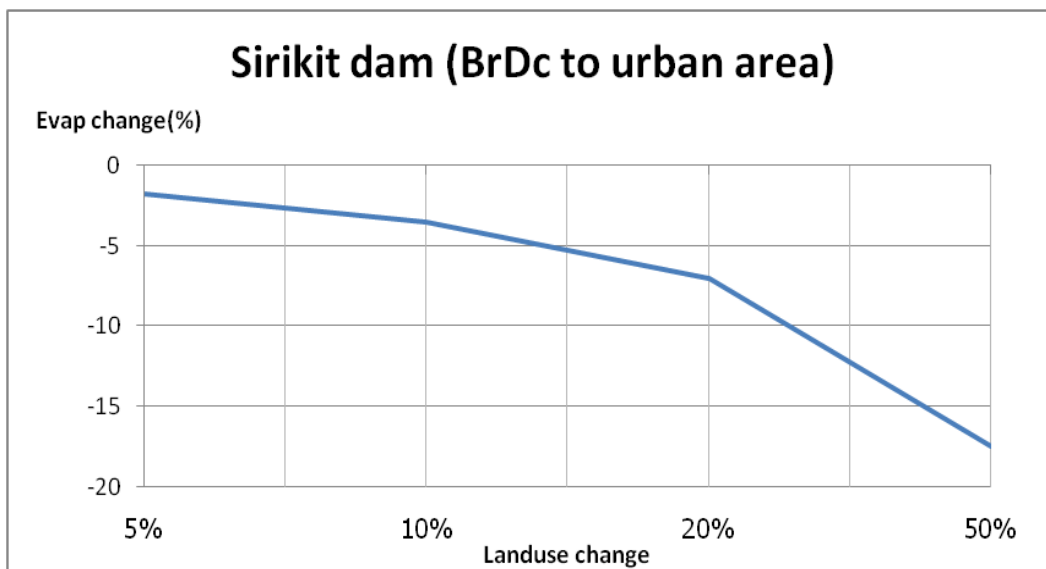
รูปที่ 4-51 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนสิริกิติ์ กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง



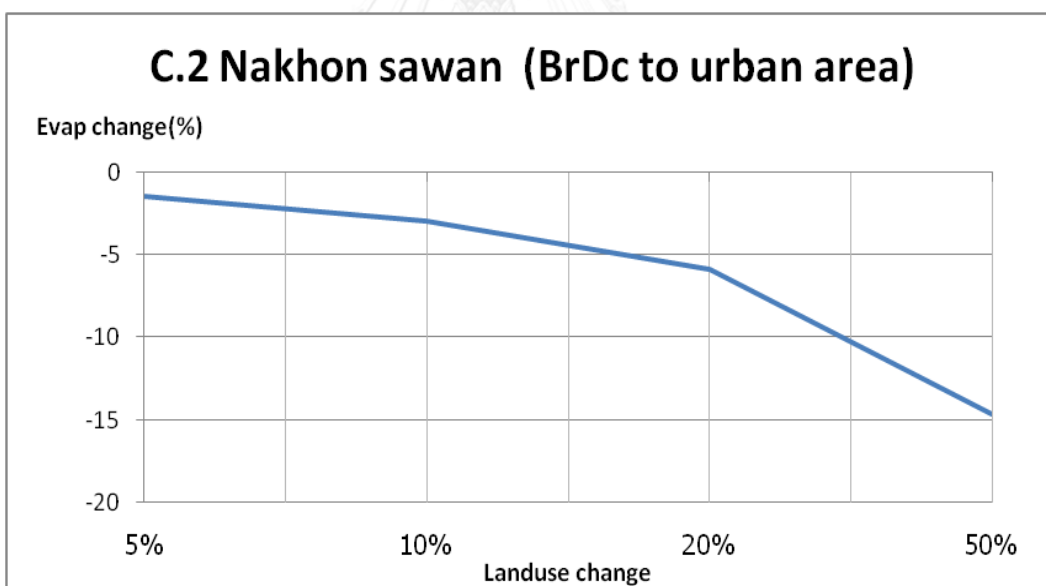
รูปที่ 4-52 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าที่สถานี C.2 กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง



รูปที่ 4-53 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล
กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง



รูปที่ 4-54 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์
กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง



รูปที่ 4-55 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่สถานี C.2
กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง

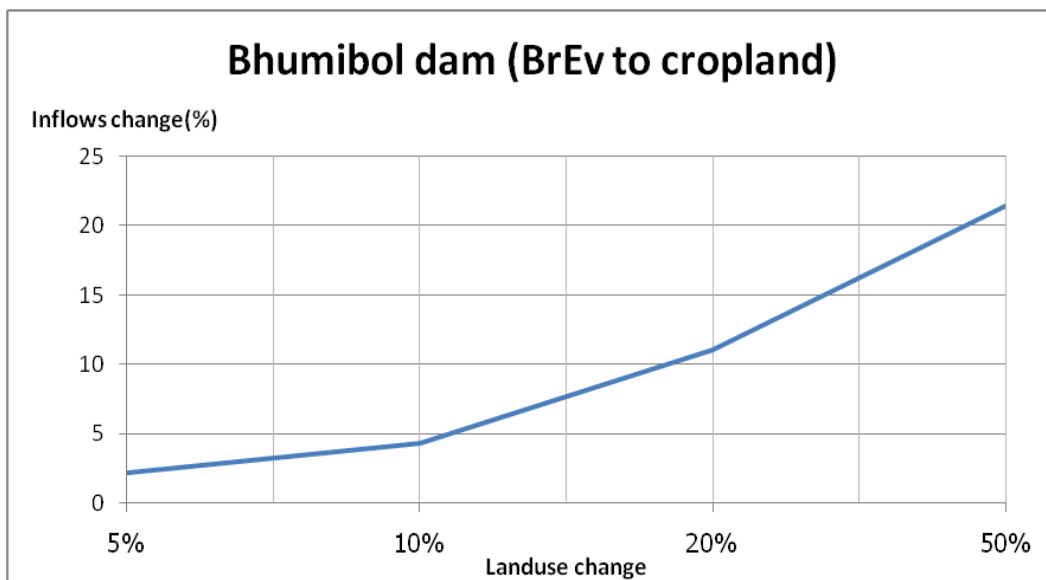
ตารางที่ 4-5 สรุปการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ผลัดใบเป็นพื้นที่เมือง

Stations	Change	BrDc to Urban Area Land-use Change (%)			
		5%	10%	20%	50%
Bhumibol	Inflows change (%)	9.04	18.09	36.2	90.4
	Evap change (%)	-1.76	-3.52	-7.05	-17.63
Sirikit	Inflows change (%)	5.93	11.9	23.7	59.4
	Evap change (%)	-1.75	-3.5	-7	-17.5
C.2	Runoff change (%)	6.75	13.5	27.03	67.6
	Evap change (%)	-1.47	-2.94	-5.87	-14.7

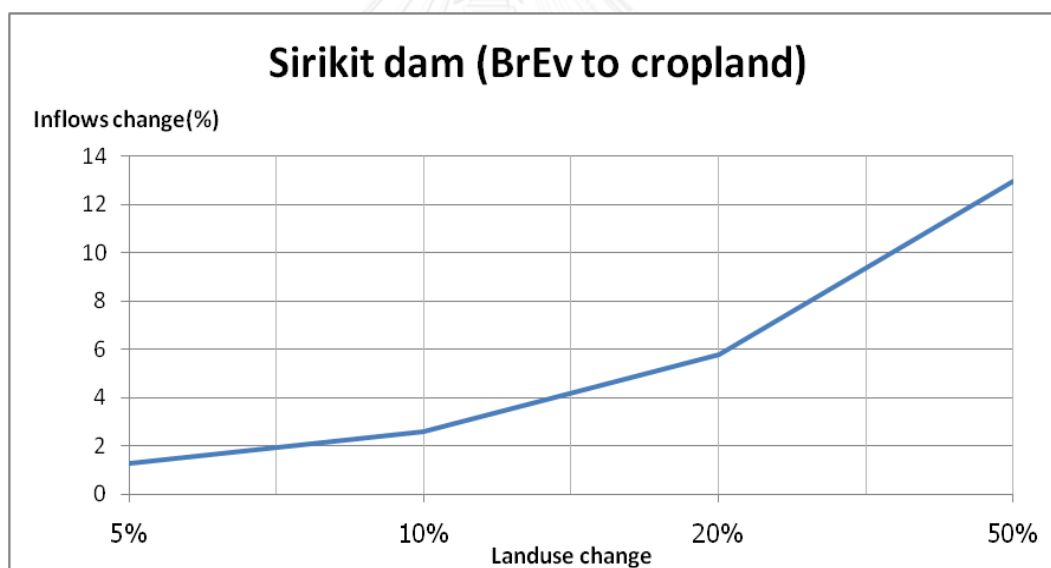
4.1.5.2 กรณีศึกษาการลดลงของป่าไม้ไม่ผลัดใบ

1) ป่าไม้ไม่ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพืชไร่

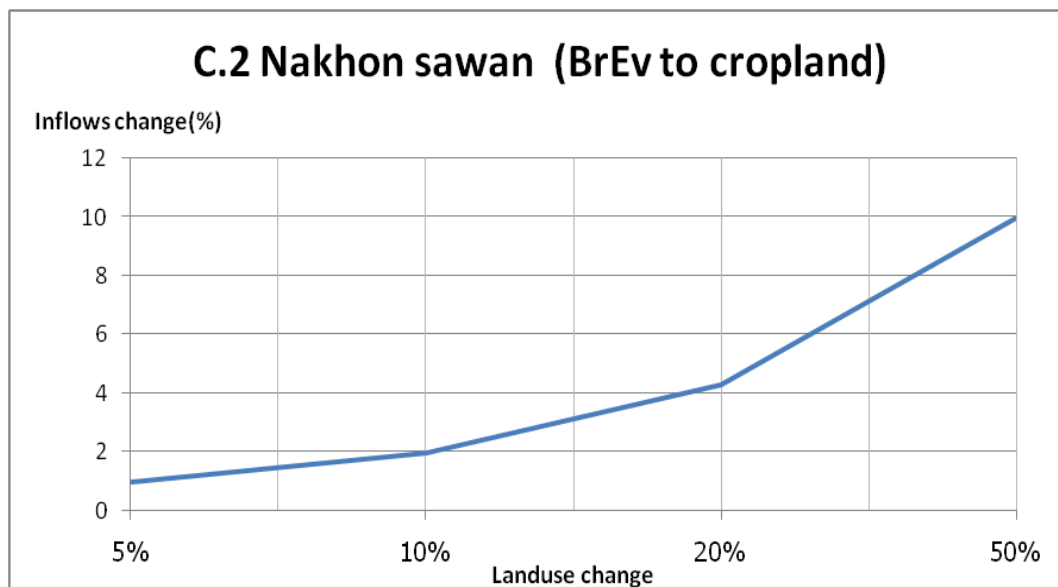
ผลการศึกษาพบว่า เมื่อพื้นที่ป่าไม้ไม่ผลัดใบค่อยๆลดลงเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่เพาะปลูกพืชไร่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 5%-50% ในพื้นที่ศึกษา ส่งผลให้น้ำท่าและน้ำไหลเข้าเขื่อนทั้งภูมิพลและสิริกิติ์ เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4-56 ถึง 4-58 โดยที่สถานีเขื่อนภูมิพลจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงที่ 5% มีผลให้ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 2% เมื่อเพิ่มการเปลี่ยนแปลงเป็น 10% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้นเป็น 4% เมื่อการเปลี่ยนแปลงมากถึง 20% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 11% และเมื่อการเปลี่ยนแปลงสูงถึง 50% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้นถึง 21% เมื่อพิจารณาที่สถานีเขื่อนสิริกิติ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 1.3% 2.6% 5.8% และ 13% ที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 5% 10% 20% และ 50% ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันที่สถานี C.2 ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น 1% 2% 4.3% และ 10% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าการคายระเหยที่ลดลง โดยลดลงประมาณ 2.5-5% ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ไป 50% ดังแสดงในรูปที่ 4-59 ถึง 4-61 และตารางที่ 4-6



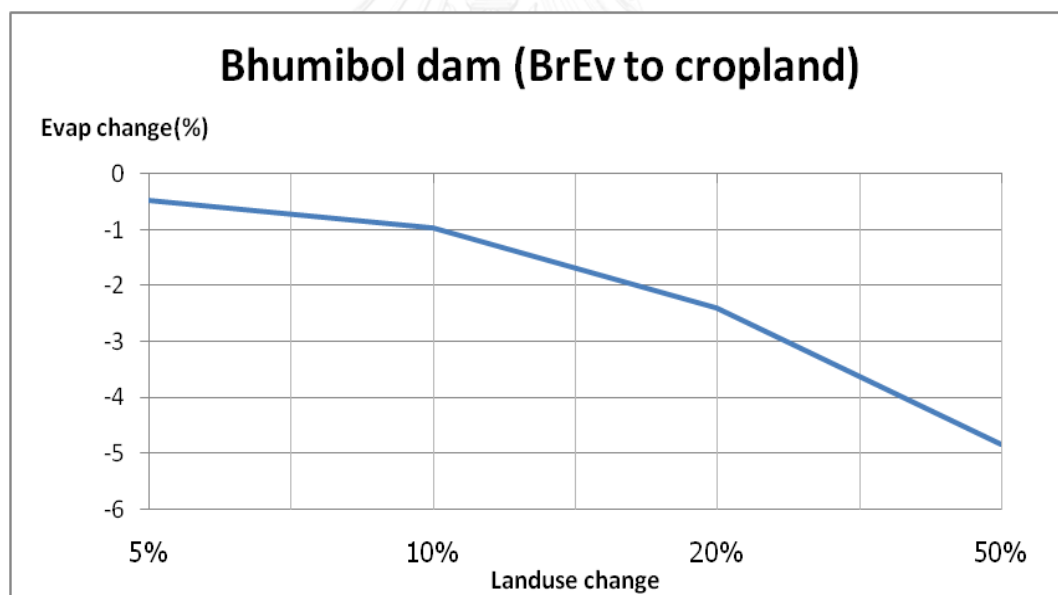
รูปที่ 4-56 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพีซีไร



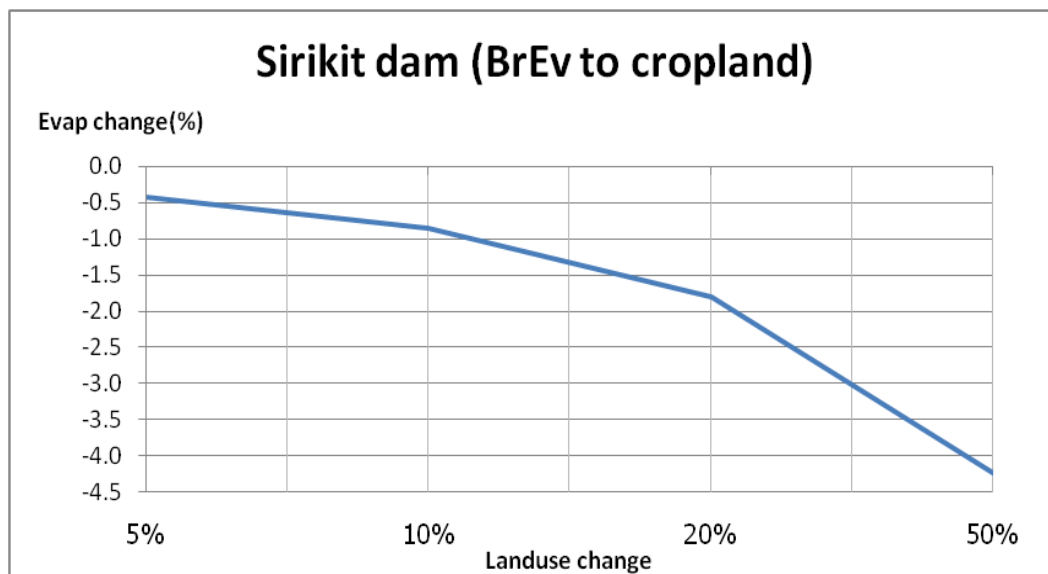
รูปที่ 4-57 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนสิริกิติ์ กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพีซีไร



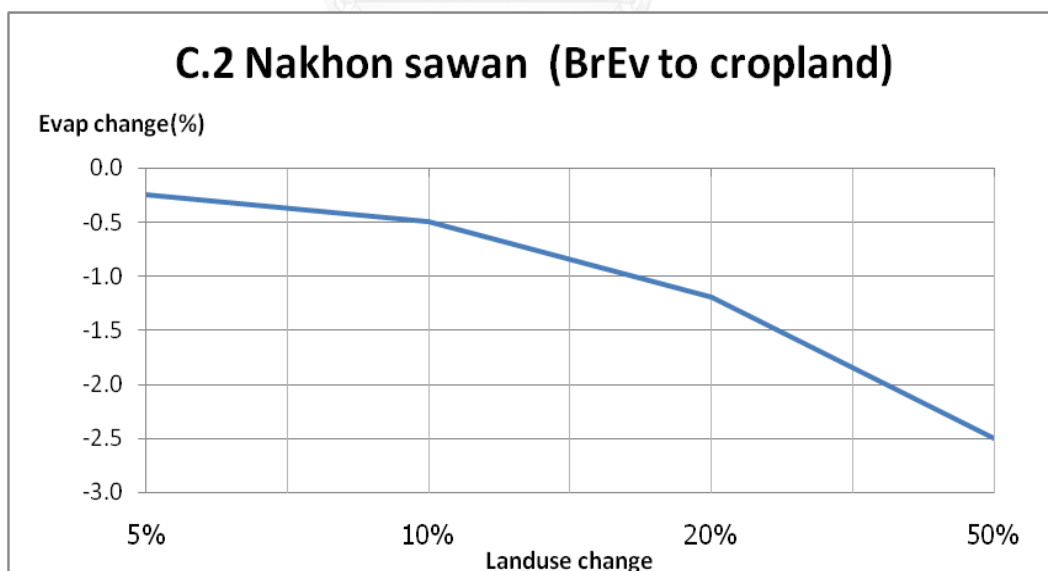
รูปที่ 4-58 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าที่สถานี C.2 กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพืชไร่



รูปที่ 4-59 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล
กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพืชไร่



รูปที่ 4-60 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์
กรณีป่าไม่ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพืชไร่



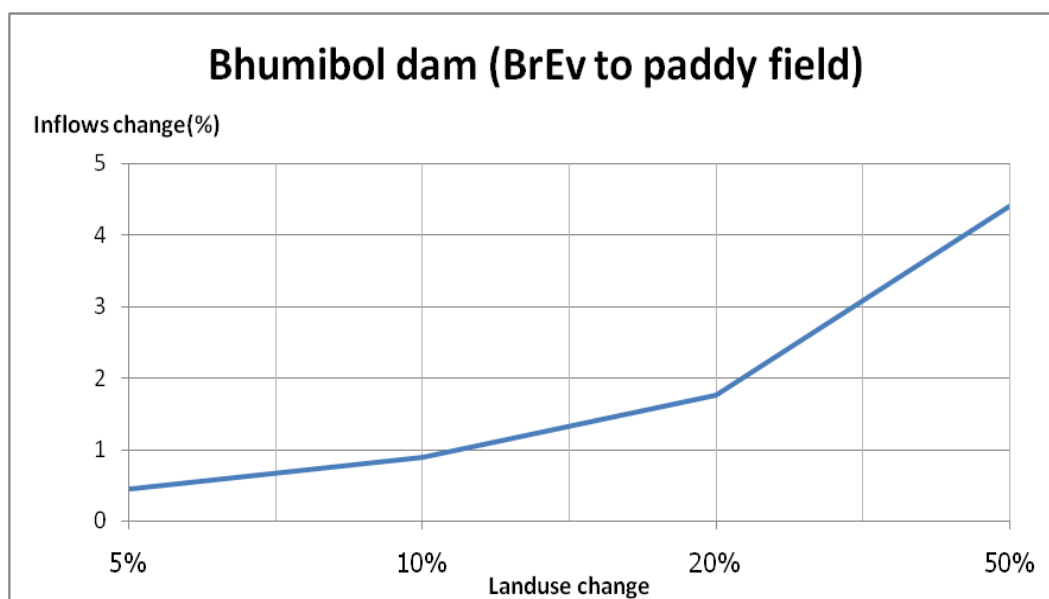
รูปที่ 4-61 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่สถานี C.2
กรณีป่าไม่ผลัดใบเปลี่ยนเป็นพืชไร่

ตารางที่ 4-6 สรุปการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ไม่ผลัดใบเป็นพืชไร่

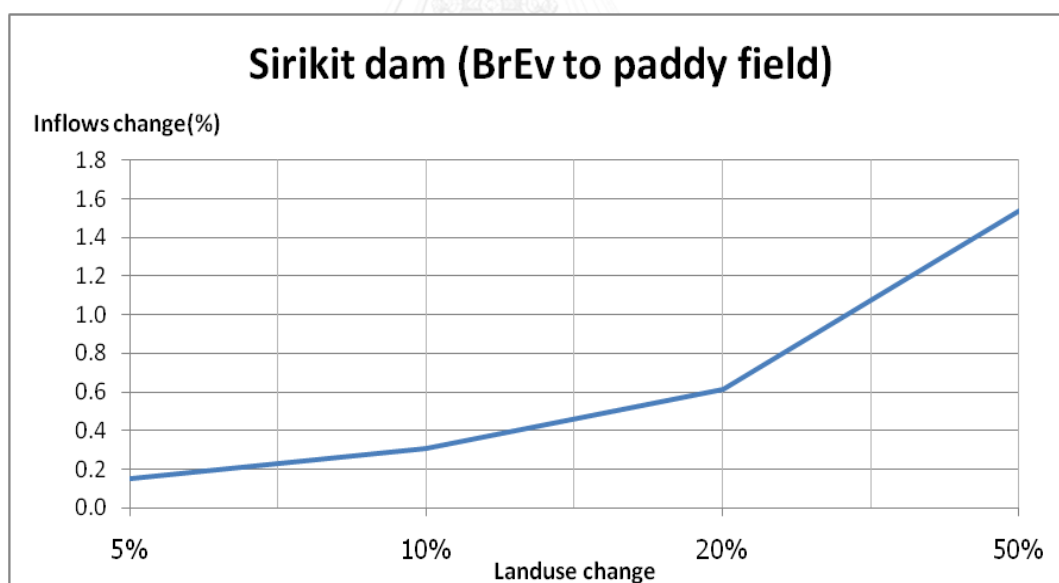
Stations	Change	BrEv to Cropland Land-use Change (%)			
		5%	10%	20%	50%
Bhumibol	Inflows change (%)	2.14	4.28	10.96	21.4
	Evap change (%)	-0.48	-0.96	-2.4	-4.8
Sirikit	Inflows change (%)	1.3	2.59	5.8	12.96
	Evap change (%)	-0.42	-0.85	-1.8	-4.2
C.2	Runoff change (%)	1	1.99	4.3	9.96
	Evap change (%)	-0.24	-0.5	-1.2	-2.5

2) ป่าไม้ไม่ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว

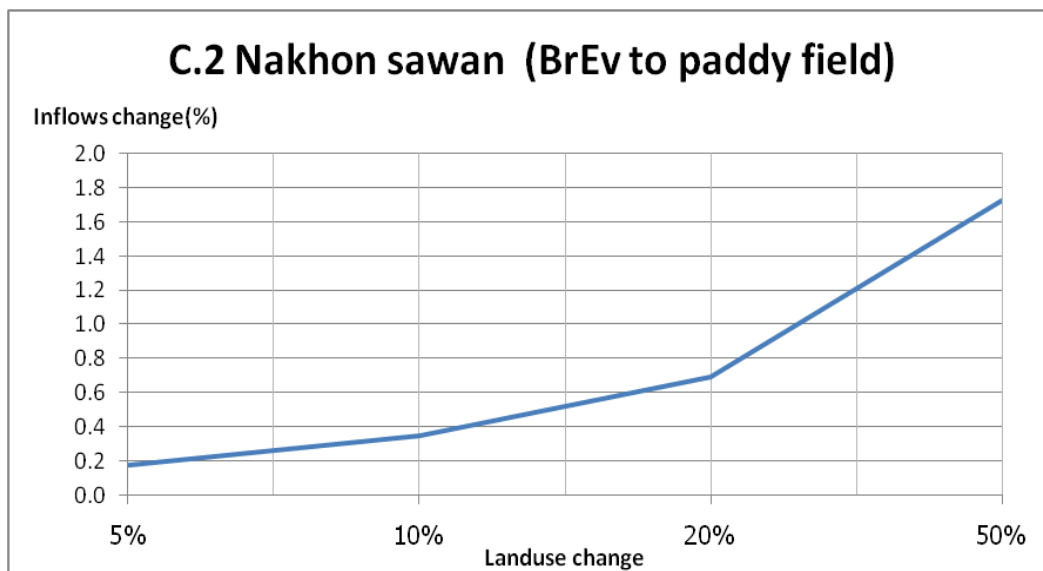
ผลการศึกษาพบว่า เมื่อพื้นที่ป่าค่อยๆลดลง เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่การทำนาเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 5%-50% ในพื้นที่ศึกษาส่งผลให้น้ำท่าและน้ำไหลเข้าเขื่อนทั้งภูมิพลและสิริกิติ์เพิ่มขึ้นไม่มากนัก ดังแสดงในรูปที่ 4-62 ถึง 4-64 โดยที่สถานีเขื่อนภูมิพลจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงที่ 5% มีผลให้ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้นเพียง 0.4% เมื่อเพิ่มการเปลี่ยนแปลงเป็น 10% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้นเป็น 0.9% เมื่อการเปลี่ยนแปลงมากถึง 20% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 1.7% และเมื่อการเปลี่ยนแปลงสูงถึง 50% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 4.4% เมื่อพิจารณาที่สถานีเขื่อนสิริกิติ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 0.15% 0.3% 0.6% และ 1.5% ที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 5% 10% 20% และ 50% ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันที่สถานี C.2 ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น 0.17% 0.35% 0.69% และ 1.72% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าการคายระเหยที่ลดลงเล็กน้อยเมื่อค่าน้ำท่าเพิ่มขึ้น โดยลดลงไม่ถึง 2% ดังแสดงในรูปที่ 4-65 ถึง 4-67 และตารางที่ 4-7



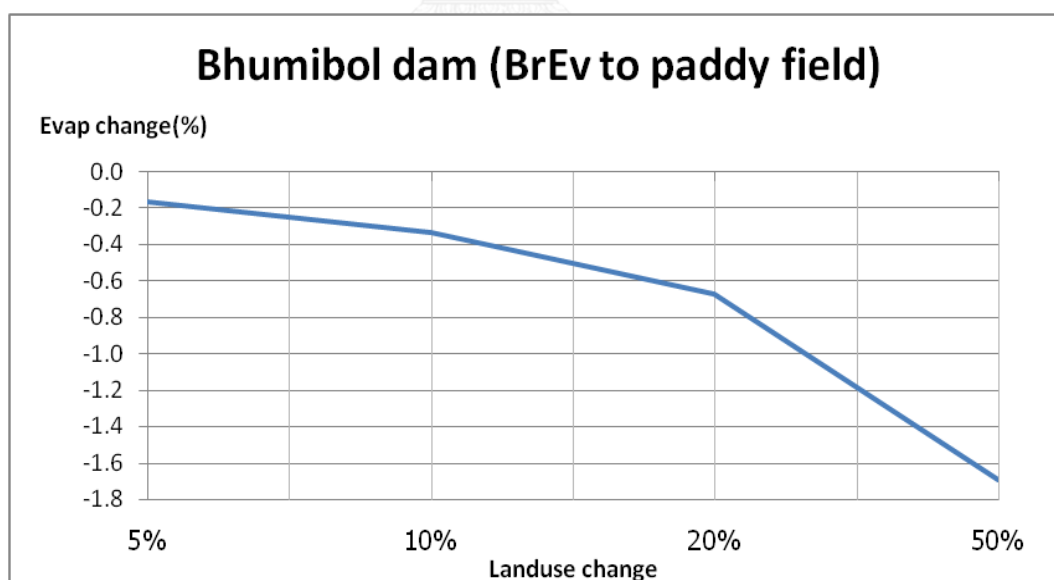
รูปที่ 4-62 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล กรณีป่าไม่ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว



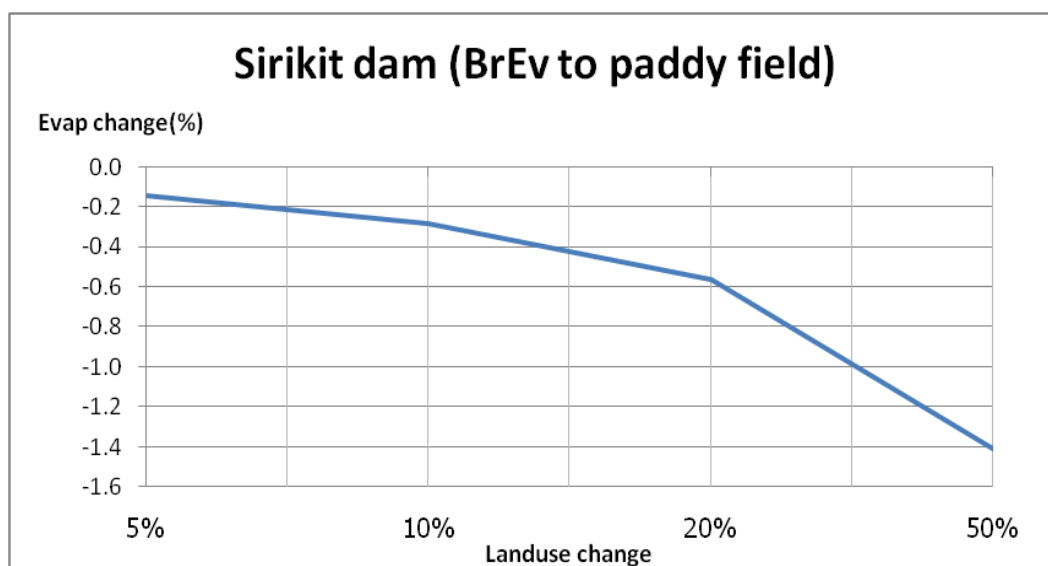
รูปที่ 4-63 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนสิริกิติ์ กรณีป่าไม่ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว



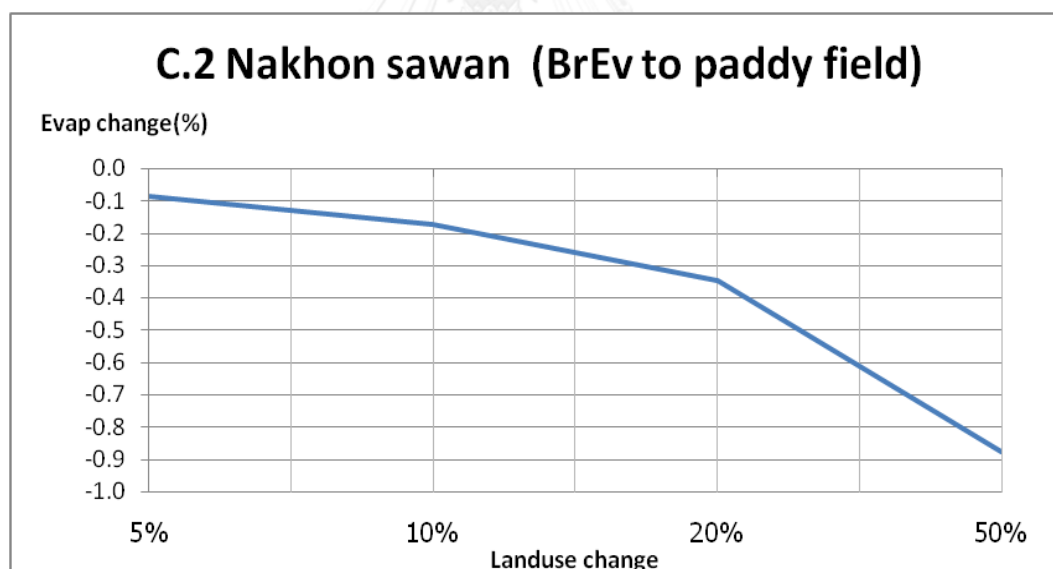
รูปที่ 4-64 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าที่สถานี C.2 กรณีป่าไม่ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว



รูปที่ 4-65 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล
กรณีป่าไม่ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว



รูปที่ 4-66 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์
กรณีป่าไม่ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว



รูปที่ 4-67 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่สถานี C.2
กรณีป่าไม่ผลัดใบเปลี่ยนเป็นนาข้าว

ตารางที่ 4-7 สรุปการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ผลัดใบเป็นนาข้าว

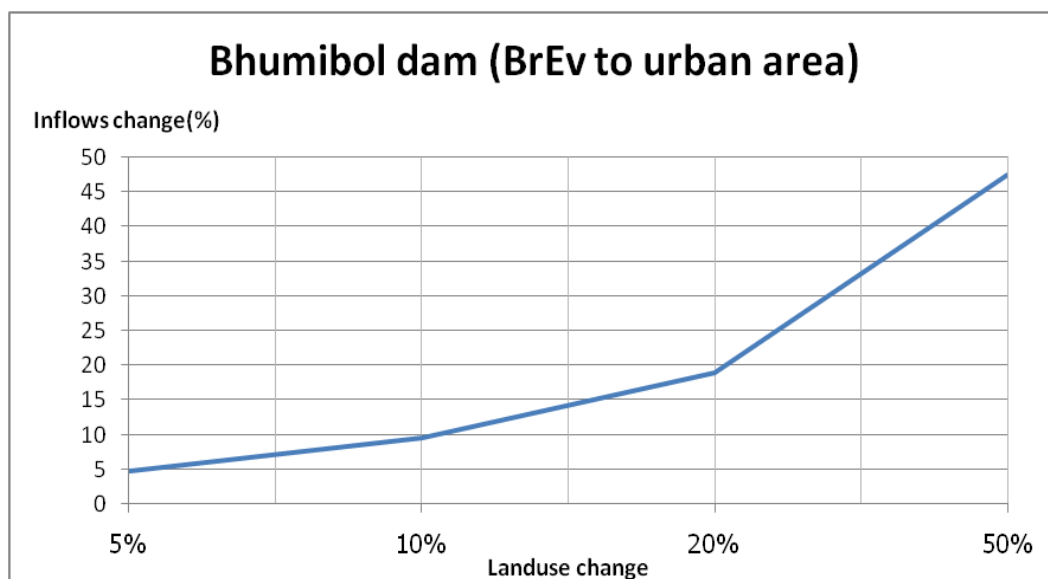
Stations	Change	BrEv to Paddy Land-use Change (%)			
		5%	10%	20%	50%
Bhumibol	Inflows change (%)	0.44	0.88	1.75	4.39
	Evap change (%)	-0.17	-0.34	-0.68	-1.69
Sirikit	Inflows change (%)	0.15	0.31	0.61	1.54
	Evap change (%)	-0.14	-0.28	-0.56	-1.4
C.2	Runoff change (%)	0.17	0.34	0.69	1.72
	Evap change (%)	-0.09	-0.17	-0.35	-0.88

3) ป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง

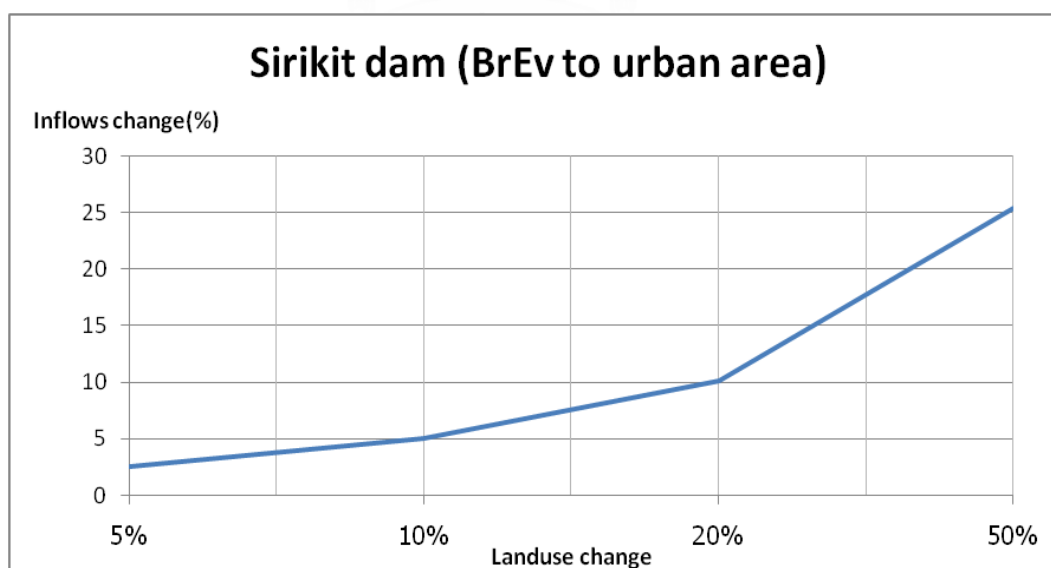
ผลการศึกษาพบว่า เมื่อพื้นที่ป่าค่อยๆลดลง เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่เมืองและชุมชนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 5%-50% ในพื้นที่ศึกษา ส่งผลให้น้ำท่าและน้ำไหลเข้าเขื่อนทั้งภูมิพลและสิริกิติ์เพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 4-68 ถึง 4-70 โดยที่สถานีเขื่อนภูมิพลจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงที่ 5% มีผลให้ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 4.75% เมื่อเพิ่มการเปลี่ยนแปลงเป็น 10% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้นเป็น 9.5% เมื่อการเปลี่ยนแปลงมากถึง 20% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 19% และเมื่อการเปลี่ยนแปลงสูงถึง 50% ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้นถึง 47.5% เมื่อพิจารณาที่สถานีเขื่อนสิริกิติ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 2.5% 5% 10% และ 25.4% ที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน 5% 10% 20% และ 50% ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันที่สถานี C.2 ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้น 2.1% 4.3% 8.5% และ 21.3% ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับค่าการคายระเหยที่ลดลง โดยลดลงประมาณ 8% ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ไป 50% ดังแสดงในรูปที่ 4-71 ถึง 4-73 และตารางที่ 4-8

กล่าวโดยสรุป ในกรณีของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ป่าไม้ผลัดใบไปเป็นพื้นที่พืชไร่ พื้นที่นาข้าว และพื้นที่ชุมชนเมือง พบว่า ในกรณีของการเปลี่ยนเป็นพื้นที่นาข้าว ส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนและน้ำท่า เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จากการที่มีค่าการคายระเหยลดลงน้อยมาก อาจกล่าวได้ว่ามีผลให้น้ำท่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ปลูกพืชไร่และพื้นที่ชุมชนเมือง มีผลให้ปริมาณน้ำเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะที่สถานีเขื่อนภูมิพล ที่มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าพื้นที่อื่นๆอีก 2 สถานีพอสมควร โดยกรณีของพืชไร่เพิ่มขึ้นประมาณ 20% ที่สถานีเขื่อนภูมิพล 13% และ 10% สำหรับสถานี

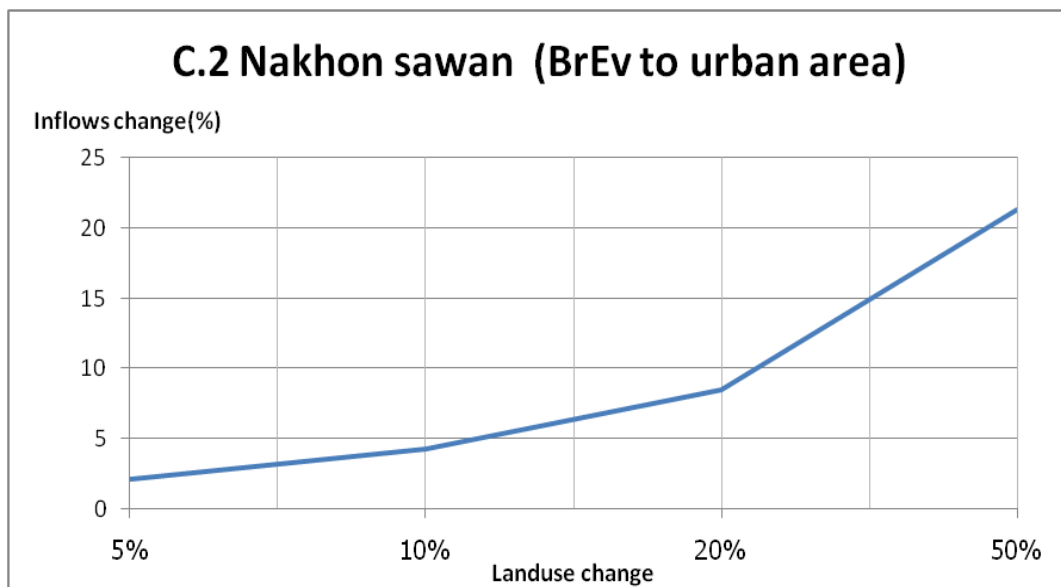
สิริกิติ์และ C.2 ในขณะที่การเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่ชุมชน ทำให้ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นถึงกว่า 48% (25% และ 21% สำหรับสถานีสิริกิติ์และ C.2)



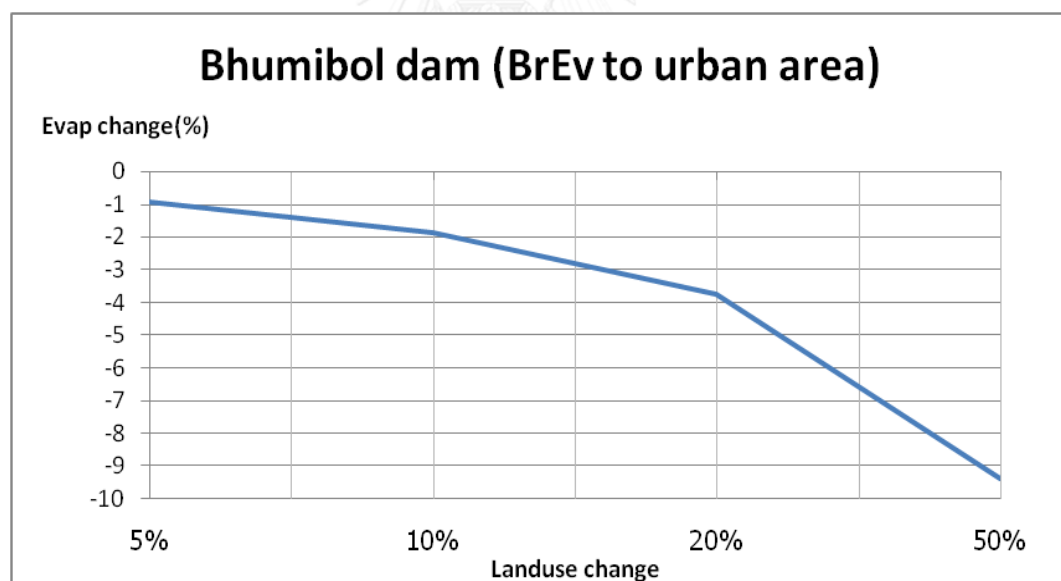
รูปที่ 4-68 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง



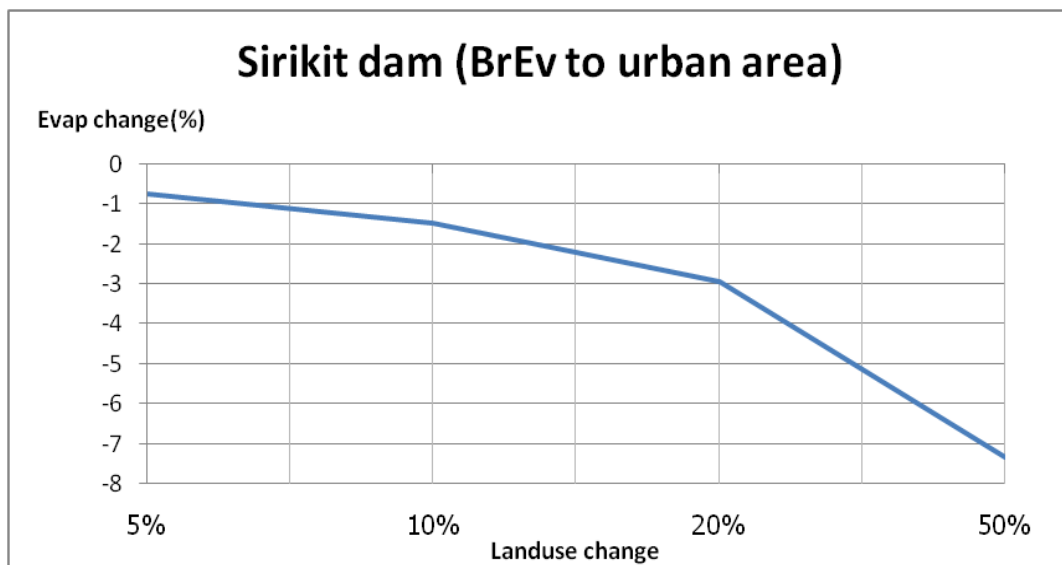
รูปที่ 4-69 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนสิริกิติ์ กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง



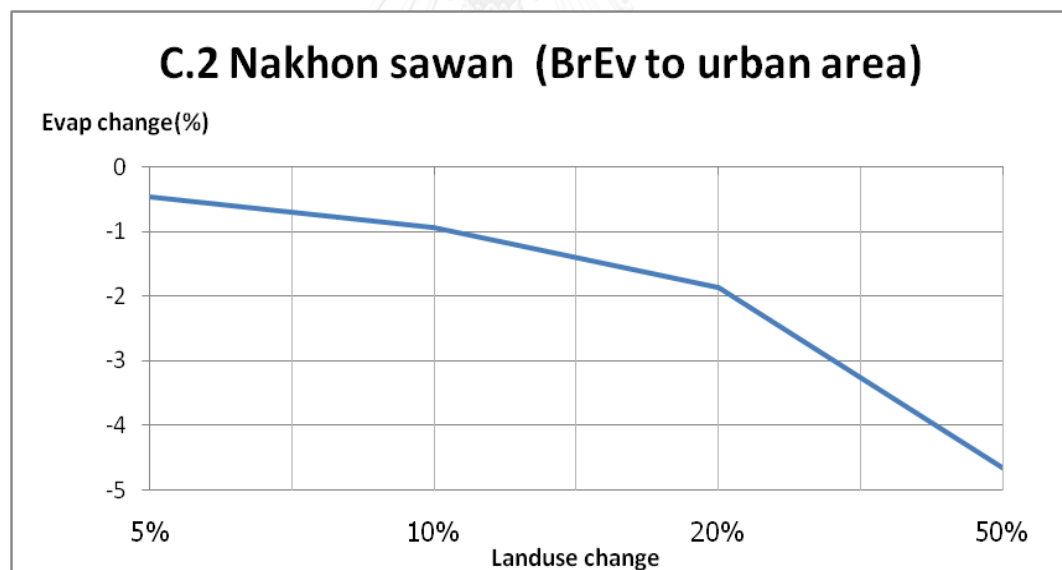
รูปที่ 4-70 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าที่สถานี C.2 กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง



รูปที่ 4-71 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล
กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง



รูปที่ 4-72 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์
กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง



รูปที่ 4-73 การเปลี่ยนแปลงการคายระเหยเฉลี่ยพื้นที่สถานี C.2
กรณีป่าไม้ผลัดใบเปลี่ยนเป็นชุมชนเมือง

ตารางที่ 4-8 สรุปการเปลี่ยนแปลงป่าไม้ผลัดใบเป็นพื้นที่เมือง

Stations	Change	BrEv to Urban Area Land-use Change (%)			
		5%	10%	20%	50%
Bhumibol	Inflows change (%)	4.75	9.5	19	47.5
	Evap change (%)	-0.94	-1.88	-3.75	-9.4
Sirikit	Inflows change (%)	2.54	5.08	10.16	25.4
	Evap change (%)	-0.73	-1.46	-2.93	-7.33
C.2	Inflows change (%)	2.4	4.7	8.21	21.56
	Evap change (%)	-0.09	-0.17	-0.35	-0.88

จากการศึกษาความอ่อนไหวของการลดลงของพื้นที่ป่าทั้ง 2 ชนิด พบว่ามีผลมากที่สุดในพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล โดยเฉพาะการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ผลัดใบ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ครึ่งหนึ่งของพื้นที่ทั้งหมดส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงในพื้นที่เกิดผลค่อนข้างมาก โดยอาจจะเรียงลำดับการเปลี่ยนแปลงที่มีความอ่อนไหวต่อน้ำท่าจากมากที่สุด ดังนี้ ป่าไม้ผลัดใบสู่ชุมชน ป่าไม้ไม่ผลัดใบสู่ชุมชน ป่าไม้ผลัดใบสู่พีชไร่ ป่าไม้ไม่ผลัดใบสู่พีชไร่ ป่าไม้ไม่ผลัดใบสู่นาข้าว และป่าไม้ผลัดใบสู่นาข้าว (ป่าไม้ผลัดใบสู่นาข้าวกลับมีผลให้ปริมาณน้ำท่าลดลง)

4.2 การศึกษาการจำลองสภาพน้ำท่าในอนาคต (ค.ศ.2015-2039 และ ค.ศ.2075-2099)

ในหัวข้อนี้ได้ศึกษาการคาดการณ์สภาพน้ำท่าในอนาคต จากปัจจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต โดยใช้ข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid Method และผ่านการตรวจสอบความถูกต้องและการเป็นตัวแทนของข้อมูลเรียบร้อยแล้ว (Koontanakulvong et al., 2014) และปัจจัยการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต โดยใช้ข้อมูลจากงานวิจัย ด้านการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตปี 2050 (Trisurat et al., 2010) โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 หัวข้อ ดังนี้

- การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อสภาพน้ำท่า
- การศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในอนาคตอันใกล้

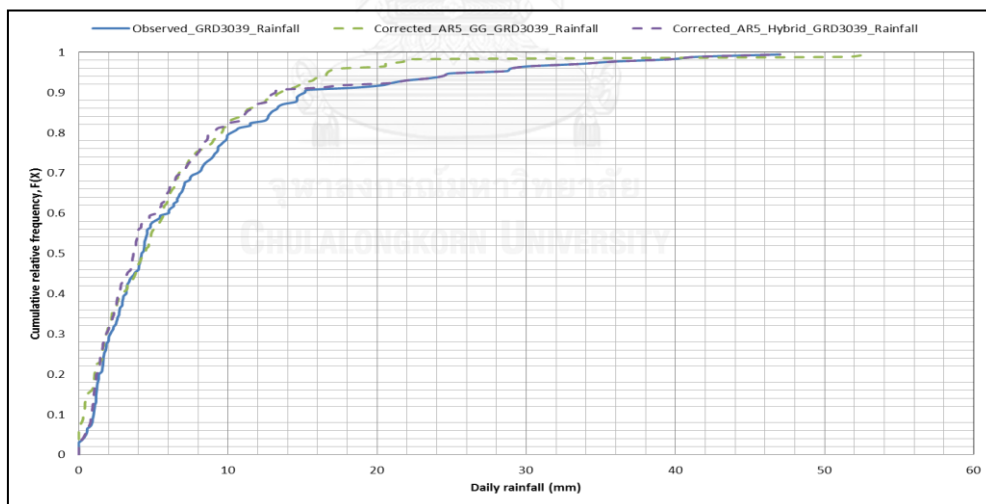
4.2.1 การตรวจสอบความถูกต้องและการเป็นตัวแทนของผลลัพธ์ของแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid Method

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติของข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.2S (AR5) ด้วยวิธี Hybrid Method และ Gamma-

Gamma Transformation ถึงความสามารถในการจำลองปริมาณฝนสุดขีด (Extreme Precipitation) ว่าสะท้อนลักษณะของข้อมูลฝนสังเกตการณ์ระหว่างปี ค.ศ.1979-2006 ได้มากน้อยเพียงใด โดยการเปรียบเทียบปริมาณฝนในช่วงสุดขีดด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม และค่าพารามิเตอร์หลักอื่นๆ ที่นำมาร่วมพิจารณาด้วย ได้แก่ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายวัน (แยกตามเดือน) และความถี่ของวันฝนตกในแต่ละเดือน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดอย่างหนึ่งถึงประสิทธิภาพของการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติของปริมาณและการกระจายตัวของฝน (Koontanakulvong et al., 2014) โดยสรุปได้ดังต่อไปนี้

4.2.1.1 ผลการปรับแก้ความเอนเอียงของปริมาณฝนสุดขีด

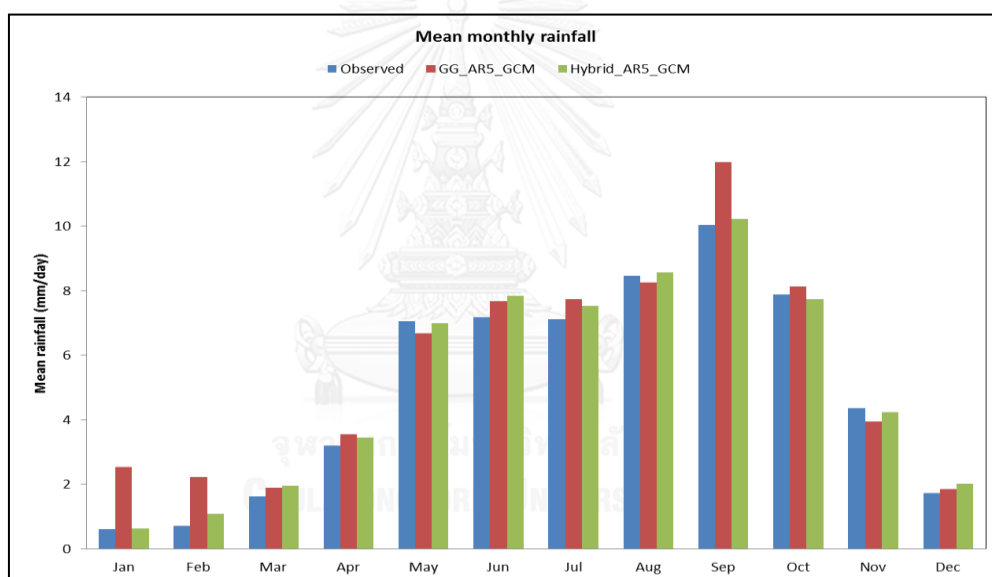
เส้นโค้งความสัมพันธ์ของฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม (Cumulative Distribution Function: CDF) ดังแสดงในรูปที่ 4-74 แสดงให้เห็นว่าทั้งการปรับแก้ความเอนเอียงด้วยวิธี Hybrid Method และ Gamma-Gamma Transformation ต่างก็ให้ผลการกระจายตัวที่ค่อนข้างดี สามารถสะท้อนลักษณะของฝนสังเกตการณ์ได้ชัดเจน แต่ฝนที่ผ่านการปรับแก้ด้วยวิธี Hybrid จะให้ปริมาณฝนช่วงลำดับเปอร์เซ็นต์สูงๆ (มากกว่าร้อยละ 95) ได้ใกล้เคียงมากกว่าการปรับแก้ด้วยวิธีการแปลงแบบแกมมา



รูปที่ 4-74 การเปรียบเทียบ CDF ระหว่างฝนในปัจจุบันของแบบจำลอง AR5 ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงด้วยวิธี Hybrid และ Gamma-Gamma Transformation (Koontanakulvong et al., 2014)

4.2.1.2 ผลการปรับแก้ความเอนเอียงของปริมาณฝนรายวัน

รูปที่ 4-75 แสดงกราฟแท่งของปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันเฉลี่ยระยะยาว (ค.ศ.1979-2006) ระหว่างเดือนมกราคม-ธันวาคม เปรียบเทียบระหว่างฝนสังเกตการณ์ ฝนปรับแก้ด้วยวิธีการแปลงแบบแกมมาและฝนปรับแก้ด้วยวิธี Hybrid จากการศึกษเปรียบเทียบพบว่า ปริมาณฝนของแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.2S (AR5) จากวิธี Hybrid จะให้ความแตกต่างของฝนรายวันเมื่อเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์น้อยกว่าวิธีแกมมา เมื่อพิจารณาในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-ธันวาคม และมกราคม-เมษายน) พบว่าวิธี Hybrid มีพิสัยความคลาดเคลื่อนระหว่างร้อยละ -2 ถึง 52 ในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) เมื่อเปรียบเทียบจากพิสัยความคลาดเคลื่อน พบว่าวิธี Hybrid มีค่าระหว่างร้อยละ -2 ถึง 7 เมื่อเทียบกับข้อมูลฝนสังเกตการณ์

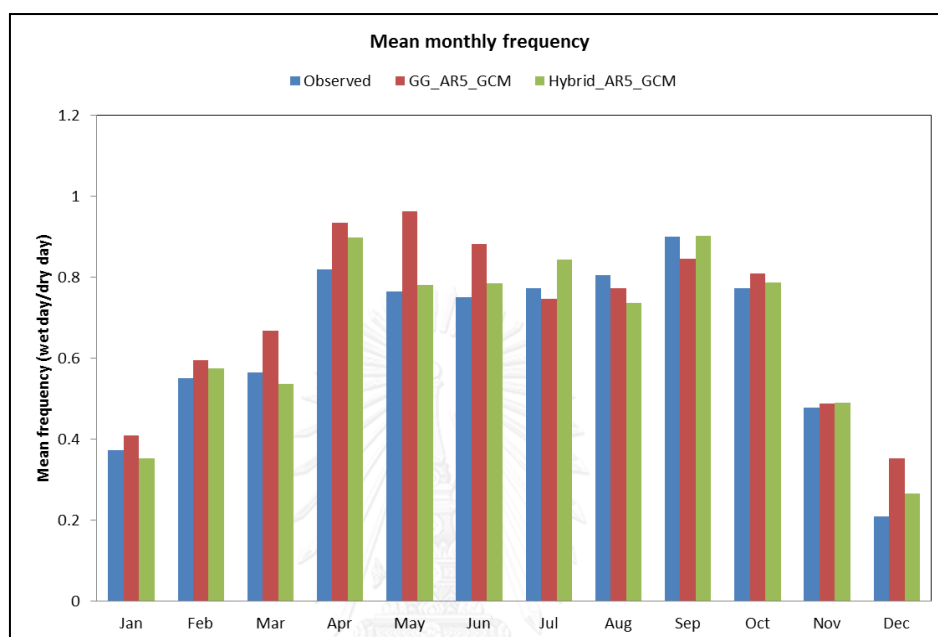


รูปที่ 4-75 การเปรียบเทียบปริมาณฝนในแต่ละเดือนของแบบจำลอง AR5 ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid และ Gamma-Gamma Transformation (Koontanakulvong et al., 2014)

4.2.1.3 ผลการปรับแก้ความเอนเอียงของความถี่ฝนรายเดือน

รูปที่ 4-76 แสดงกราฟแท่งของความถี่ฝนรายเดือนเฉลี่ยระยะยาว (ค.ศ.1979-2006) ระหว่างเดือนมกราคม-ธันวาคม เปรียบเทียบระหว่างฝนสังเกตการณ์ ฝนปรับแก้ด้วยวิธีการแปลงแบบแกมมา และฝนปรับแก้ด้วยวิธี Hybrid จากการศึกษเปรียบเทียบพบว่า ความถี่ฝนรายเดือนของแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.2S (AR5) จากวิธี Hybrid

จะให้ความแตกต่างโดยทั่วไปเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลสังเกตการณ์น้อยกว่าวิธีแกมมา เมื่อพิจารณาในช่วงฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-ธันวาคม และมกราคม-เมษายน) พบว่าวิธีมีพิสัยความคลาดเคลื่อนระหว่างร้อยละ 2 ถึง 19 ในช่วงฤดูฝน (พฤษภาคม-ตุลาคม) เมื่อเปรียบเทียบกับจากพิสัยความคลาดเคลื่อน พบว่าวิธี Hybrid มีค่าระหว่างร้อยละ -10 ถึง 8



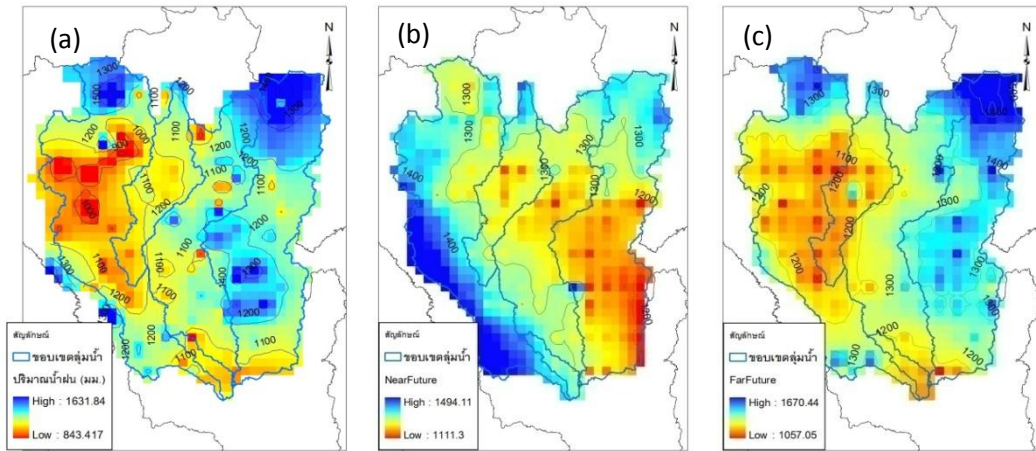
รูปที่ 4-76 การเปรียบเทียบความถี่ฝนในแต่ละเดือนของแบบจำลอง AR5 ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid และ Gamma-Gamma Transformation (Koontanakulvong et al., 2014)

4.2.1.4 สรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องและการเป็นตัวแทนของผลลัพธ์ของแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid Method

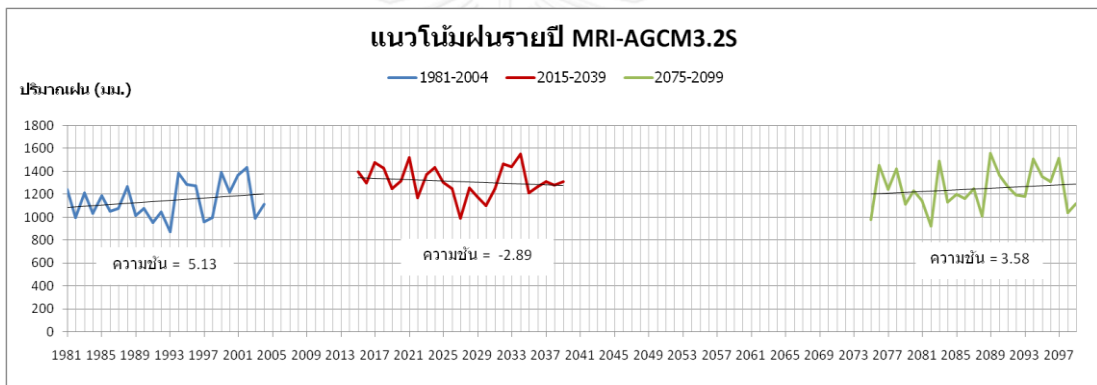
จากผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนในช่วงฤดูด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็นสะสม ปริมาณฝนเฉลี่ยรายวัน (แยกตามเดือน) และความถี่ของวันฝนตกในแต่ละเดือน แสดงให้เห็นว่า ข้อมูลฝนจากแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid สามารถสะท้อนลักษณะของฝนสังเกตการณ์ได้ชัดเจน อีกทั้งเมื่อพิจารณาพิสัยความคลาดเคลื่อนของฝนรายวันและความถี่ฝนรายเดือนมีพิสัยความคลาดเคลื่อนค่อนข้างน้อย จึงอาจสรุปได้ว่า ข้อมูลฝนจากแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid มีความถูกต้องสามารถเป็นตัวแทนของผลลัพธ์ได้เป็นอย่างดี

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในอนาคตจากแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S

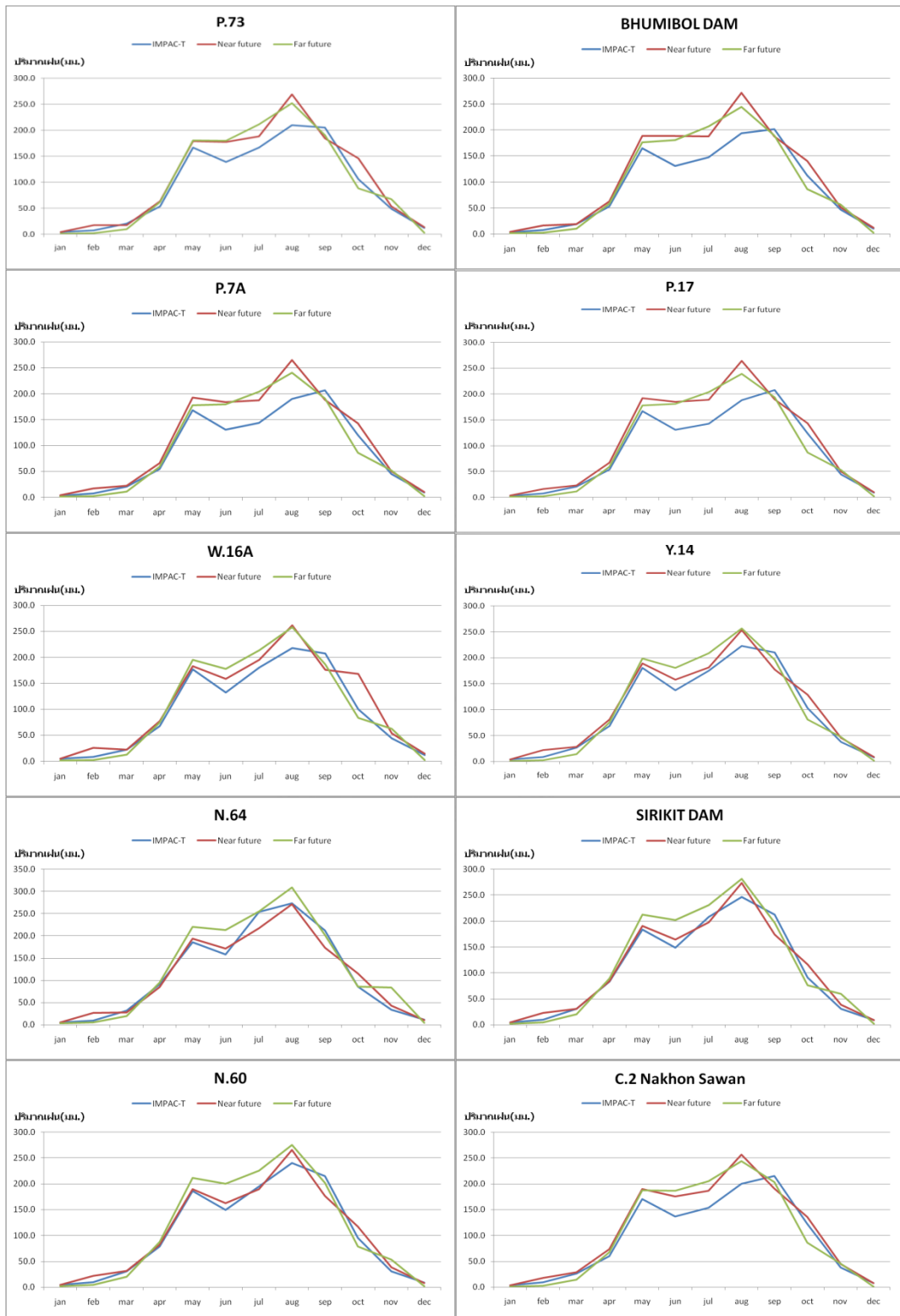
หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนรายปี ปริมาณฝนรายเดือน และการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของฝนรายปี ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039) และอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099) จากแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติ ด้วยวิธี Hybrid Methods ภายใต้สมมติฐานการเปลี่ยนแปลงไปของสภาพภูมิอากาศของโลก RCPs 6.0 หรือ A1B จากรูปที่ 4-77 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีของกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน จากข้อมูลฝนในช่วงปัจจุบัน (IMPAC-T ค.ศ.1981-2004) อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล (MRI-AGCM3.2S ค.ศ.2015-2039 และ ค.ศ.2075-2099) พบว่าลักษณะการกระจายตัวของฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนในอดีตกับในอนาคตอันใกล้ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยบริเวณที่มีฝนตกมากจะเป็นลุ่มน้ำน่าน โดยเฉพาะลุ่มน้ำน่านตอนบน เฉลี่ยประมาณ 1,300 มม. (อดีต) และ 1,400 มม. (อนาคตอันไกล) ในขณะที่บริเวณตอนกลางของกลุ่มน้ำปิงจะมีฝนตกน้อยที่สุด ประมาณ 900 มม. (อดีต) และ 1,000 มม. (อนาคตอันไกล) ทว่าเมื่อพิจารณาการกระจายตัวของฝนในอนาคตอันใกล้ พบว่าการกระจายตัวของฝนจะค่อนข้างแตกต่าง โดยในทิศตะวันตกของกลุ่มน้ำปิงจะมีฝนตกมากที่สุด เฉลี่ยประมาณ 1,400 มม. ส่วนตอนกลางและตอนล่างของกลุ่มน้ำน่านกลับมีฝนตกน้อยที่สุดเฉลี่ยประมาณ 1,100 มม. โดยค่าเฉลี่ยรายปีของทั้งลุ่มน้ำเรียงลำดับจากอดีต อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล เท่ากับ 1,144 มม. 1,313 มม. และ 1,247 มม. ตามลำดับ ซึ่งปริมาณฝนในอนาคตอันใกล้และอนาคตอันไกล เพิ่มขึ้นจากในอดีต 14.8% และ 9% ตามลำดับ ทว่าเมื่อพิจารณาแนวโน้มของฝนรายปีของแต่ละช่วงเวลา ตามรูปที่ 4-78 พบว่าช่วงเวลาในอดีต ปริมาณฝนในช่วง 24 ปี มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 10.86% ขณะที่ช่วงอนาคตอันใกล้ ช่วง 25 ปี กลับมีแนวโน้มลดลง 5.1% ส่วนในอนาคตอันไกลช่วง 25 ปีจะมีแนวโน้มสูงขึ้น 7.13% จากตารางที่ 4-9 และรูปที่ 4-79 เมื่อพิจารณาฝนเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละพื้นที่ พบว่าฝนอนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล จะมีค่าสูงสุดที่เดือนสิงหาคม และมีค่าสูงกว่าข้อมูลในอดีต อีกทั้งมีความต่างที่ข้อมูลในอดีตนั้น ค่าสูงสุดในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงและสถานี C.2 จะอยู่ที่เดือนกันยายน ในขณะที่สถานีลุ่มน้ำน่าน ลุ่มน้ำวัง และลุ่มน้ำยม มีค่าสูงสุดที่เดือนสิงหาคม



รูปที่ 4-77 การกระจายของฝนสะสมรายปีเฉลี่ย (a) 1981-2004 (b) 2015-2039 (c) 2075-2099 ที่เปลี่ยนแปลงภายใต้สมมติฐาน RCPs 6.0 หรือ A1B



4-78 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในช่วงอดีต อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกล ที่เปลี่ยนแปลงภายใต้สมมติฐาน RCPs 6.0 หรือ A1B



รูปที่ 4-79 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนที่พื้นที่ต่างๆ โดยสีน้ำเงิน คือ ฝนในอดีต
สีแดง คือ อนาคตอันใกล้ และ สีเขียว คือ อนาคตอันไกล

ตารางที่ 4-9 ข้อมูลฝนรายเดือนเฉลี่ย และข้อมูลฝนรายปีเฉลี่ย ที่สถานีต่างๆ

พื้นที่ สถานี	ฝน	ฝนรายเดือนเฉลี่ย (มม.)											รายปี (มม.)	
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.		ธ.ค.
P.73	A	3.8	7.2	19.7	53.5	166.6	139.2	166.4	209.9	205.0	105.8	48.5	11.6	1137.2
	B	4.0	17.3	17.2	63.0	179.0	177.5	187.9	268.8	184.2	145.5	53.6	13.3	1311.4
	C	1.4	2.1	9.7	61.8	180.6	179.9	211.6	252.2	190.3	88.1	67.4	2.8	1248
ภูมิพล	A	3.4	7.6	19.3	52.9	164.6	131.3	147.8	193.8	201.7	112.8	46.8	10.6	1092.6
	B	3.9	16.2	18.4	62.3	188.7	188.5	188.2	271.9	187.9	140.7	51.5	11.7	1330.1
	C	1.3	2.1	9.8	57.8	176.5	181.1	207.4	244.7	189.2	86.5	56.3	2.2	1214.9
P.7A	A	3.1	7.8	20.7	54.3	167.5	130.8	143.7	189.7	206.2	120.3	44.9	9.3	1098.5
	B	4.0	16.9	22.0	66.3	192.0	183.6	187.4	264.8	187.9	142.7	50.6	10.5	1328.7
	C	1.2	2.1	10.7	58.9	177.6	179.5	203.9	240.4	190.9	85.6	51.6	1.7	1204.1
P.17	A	3.1	8.1	21.3	53.8	167.6	131.1	142.9	188.2	208.1	124.1	44.7	9.0	1102.1
	B	4.1	16.9	23.4	67.2	192.4	185.1	188.6	264.1	190.0	143.2	50.2	10.1	1335.2
	C	1.1	2.1	11.1	59.0	177.6	180.6	203.8	239.0	193.1	86.3	52.6	1.6	1208
W16A	A	4.7	8.1	22.1	67.7	177.2	131.9	180.7	217.9	207.3	100.2	44.2	11.3	1173.1
	B	4.5	25.9	21.8	77.3	183.2	158.2	195.4	261.5	176.0	168.1	53.2	14.4	1339.4
	C	1.5	2.6	13.2	75.1	195.2	178.3	214.2	258.5	187.2	84.0	62.6	2.4	1274.8
Y.14	A	3.7	8.6	26.5	68.1	180.6	137.4	174.8	222.9	210.6	102.6	37.1	7.9	1180.8
	B	4.2	22.3	28.2	81.2	189.6	157.6	181.3	253.6	177.4	128.7	45.7	9.2	1279
	C	0.9	2.4	14.2	75.7	198.2	180.7	208.4	256.4	195.8	80.6	47.4	1.3	1262

*Note: ข้อมูลฝน A ช่วงเวลาในอดีต B อนาคตอันใกล้ และ C อนาคตอันไกล

ตารางที่ 4-9 (ต่อ) ข้อมูลฝนรายเดือนเฉลี่ย และข้อมูลฝนรายปีเฉลี่ย ที่สถานีต่างๆ

พื้นที่ สถานี	ฝน	ฝนรายเดือนเฉลี่ย (มม.)											รายปี (มม.)	
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.		ธ.ค.
N.64	A	5.5	9.5	32.3	91.5	186.0	158.1	253.6	273.2	211.8	85.5	34.2	11.3	1352.5
	B	4.8	26.6	27.7	83.8	192.9	170.6	216.3	270.6	172.4	115.0	42.2	10.1	1332.8
	C	2.9	4.9	19.7	94.8	220.7	213.5	255.5	309.3	201.6	85.2	83.5	4.3	1495.7
สิริกิติ์	A	4.3	9.5	30.3	82.5	183.7	148.2	207.5	246.3	212.0	90.4	30.8	9.0	1254.6
	B	4.6	23.3	31.0	83.8	190.6	164.6	197.2	273.5	174.1	116.1	38.7	9.1	1306.5
	C	1.8	4.0	20.1	89.4	211.9	201.3	230.5	281.1	196.6	76.1	59.4	2.2	1374.4
N.60	A	4.2	9.8	30.3	78.7	185.9	149.9	194.8	240.5	215.1	94.8	30.5	8.4	1242.8
	B	4.5	22.1	31.2	81.9	189.5	162.5	190.2	265.8	177.0	117.1	38.9	8.4	1289
	C	1.5	3.8	19.8	87.0	211.0	200.2	225.1	275.2	201.6	78.1	53.4	1.8	1358.5
C.2	A	3.5	9.1	25.9	59.8	170.9	137.2	153.6	200.4	215.4	122.2	38.1	7.8	1143.9
	B	3.8	18.0	29.3	73.9	190.1	175.3	186.4	256.6	190.9	136.2	45.0	8.1	1313.5
	C	1.0	2.8	14.8	68.1	187.4	186.5	205.7	244.2	203.6	85.9	45.9	1.3	1247

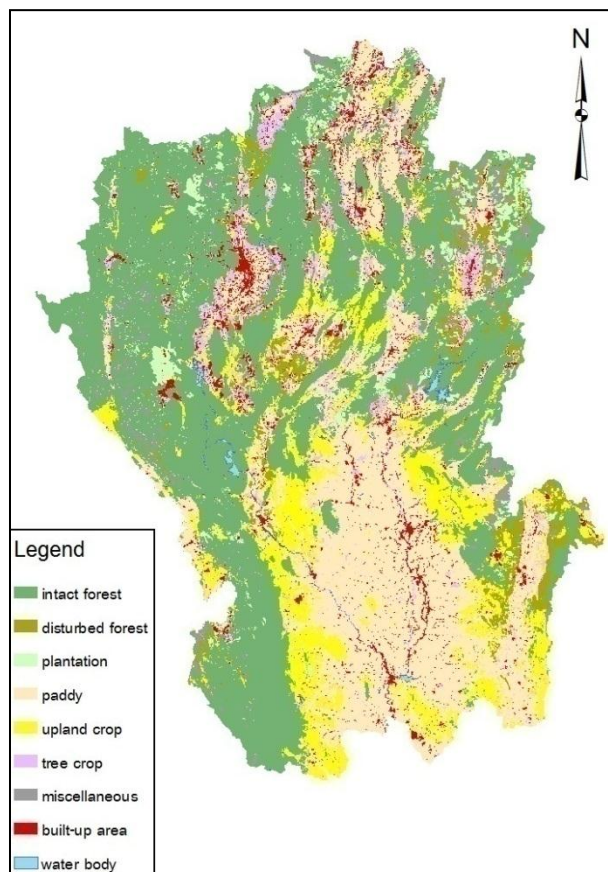
*Note: ข้อมูลฝน A ช่วงเวลาในอดีต B อนาคตอันใกล้ และ C อนาคตอันไกล

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

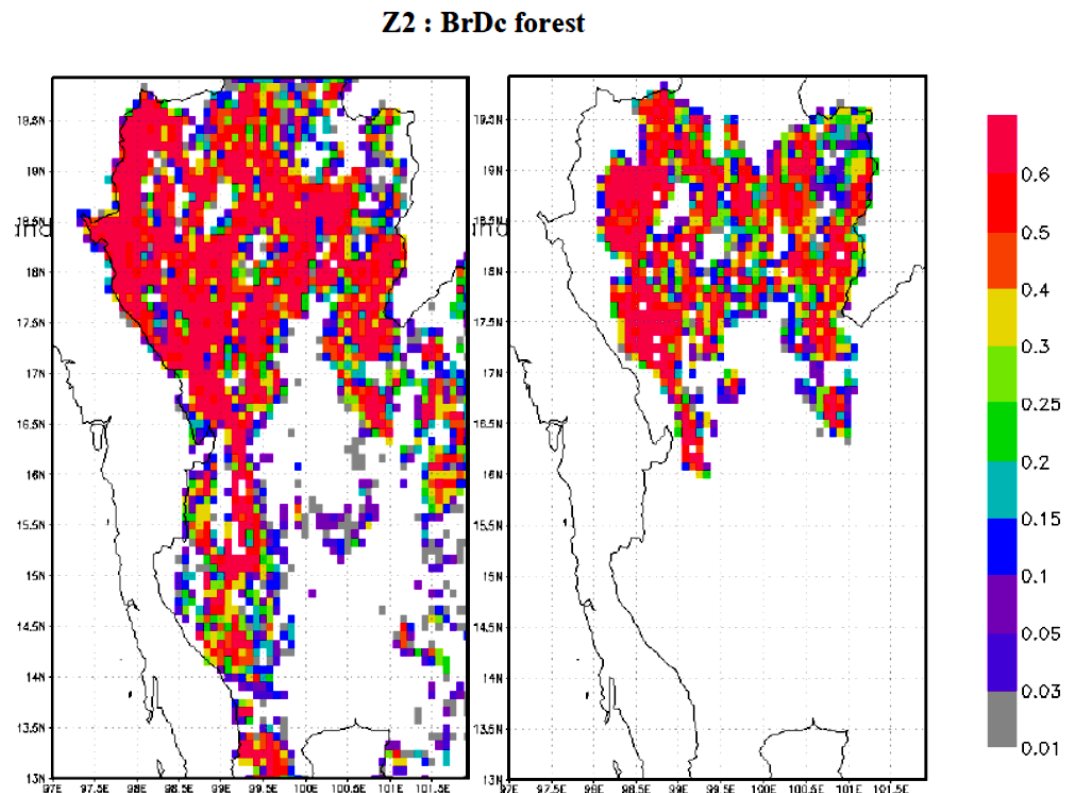
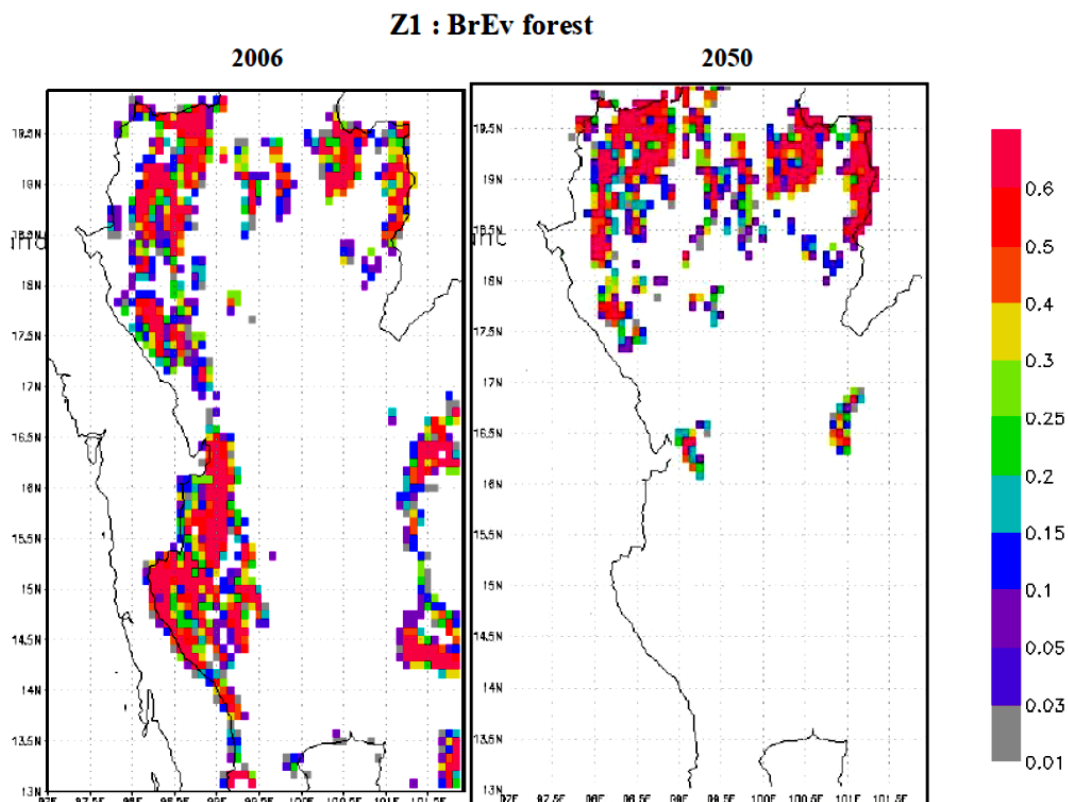
ในหัวข้อนี้จะศึกษาวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินในอดีตปี ค.ศ.2006 (กรมพัฒนาที่ดิน) และการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตปี ค.ศ.2050 (Trisurat et al., 2010) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4-80

เมื่อนำข้อมูลแผนที่มาแปลงค่าให้เป็นข้อมูล Fractions ตามประเภทและชนิดของแบบจำลอง แล้วนำมาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงจากข้อมูลในอดีตปี ค.ศ.2006 ดังแสดงในรูปที่ 4-81 และ 4-82 โดยพบว่าในอนาคตอีก 44 ปี พื้นที่ป่าไม้ทั้งหมด จากเดิมปี 2006 จะมีประมาณ 59% ของพื้นที่ที่กลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน จะลดลงเหลือ 49% โดยป่าไม้ผลัดใบจะลดลงจากเดิมประมาณ 33% (เดิมปี 2006 มีพื้นที่ 47,033 ตร.กม. ลดลงเหลือ 31,344 ตร.กม. ในปี 2050) ป่าไม้ไม่ผลัดใบจะลดลงจากเดิมเพียง 3.5% (ลดลง 382 ตร.กม. ในปี 2050) ส่วนป่า

ผสมจะเพิ่มขึ้น จากการปลูกไม้ยืนต้น (Forest Plantation) ประมาณ 5,700 ตร.กม. หรือ เทียบเท่ากับ 5% ของพื้นที่ทั้งหมด พื้นที่อีกประเภทที่มีการเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดคือ พื้นที่การ ปลูกข้าว โดยเพิ่มขึ้นถึง 11.5% ของพื้นที่ทั้งหมด (เพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 80% หรือ 12,100 ตร.กม.) และพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง เพิ่มขึ้นจากเดิมปี 2006 ถึง 23% (ประมาณ 1,033 ตร.กม.)

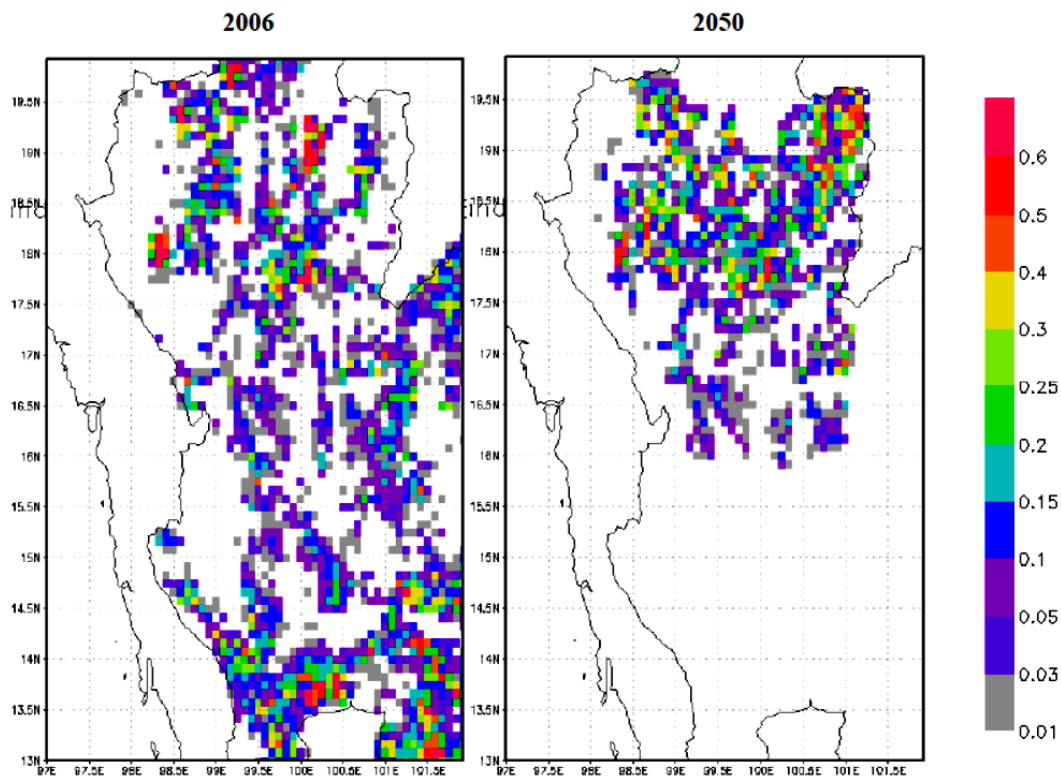


รูปที่ 4-80 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินปี ค.ศ.2050 ภายใต้นโยบายการบริหารจัดการ แบบบูรณาการ (Trisurat et al., 2010)

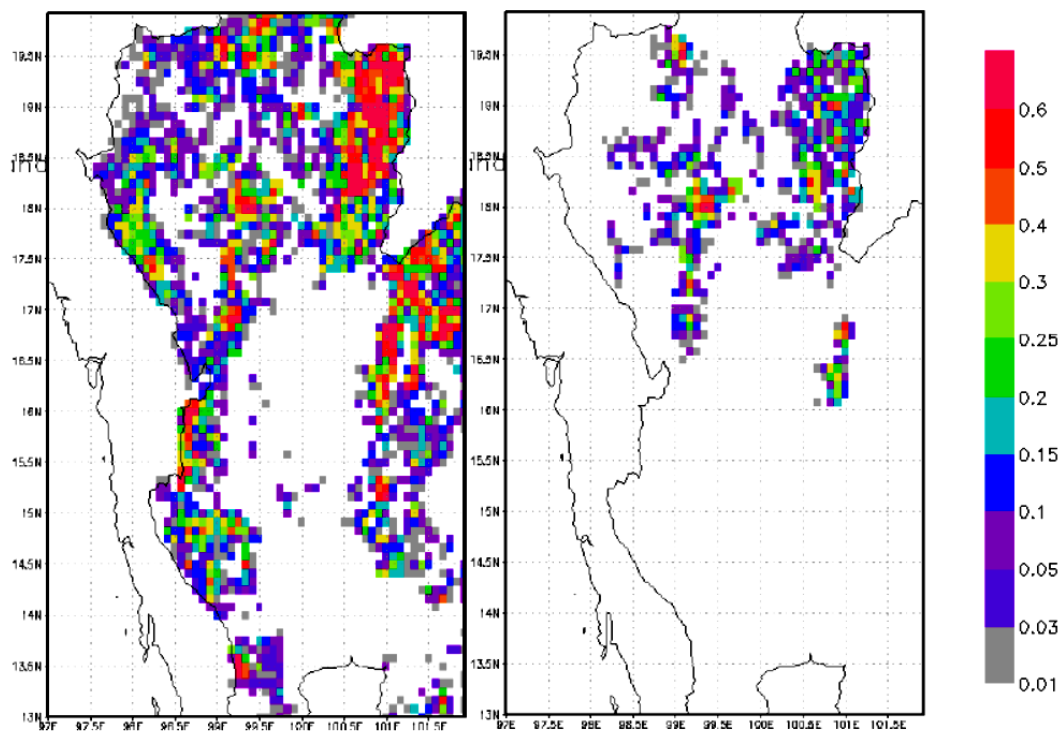


รูปที่ 4-81 เปรียบเทียบ Fractions แต่ละชนิดของข้อมูลในอดีต (2006) และในอนาคต (2050)

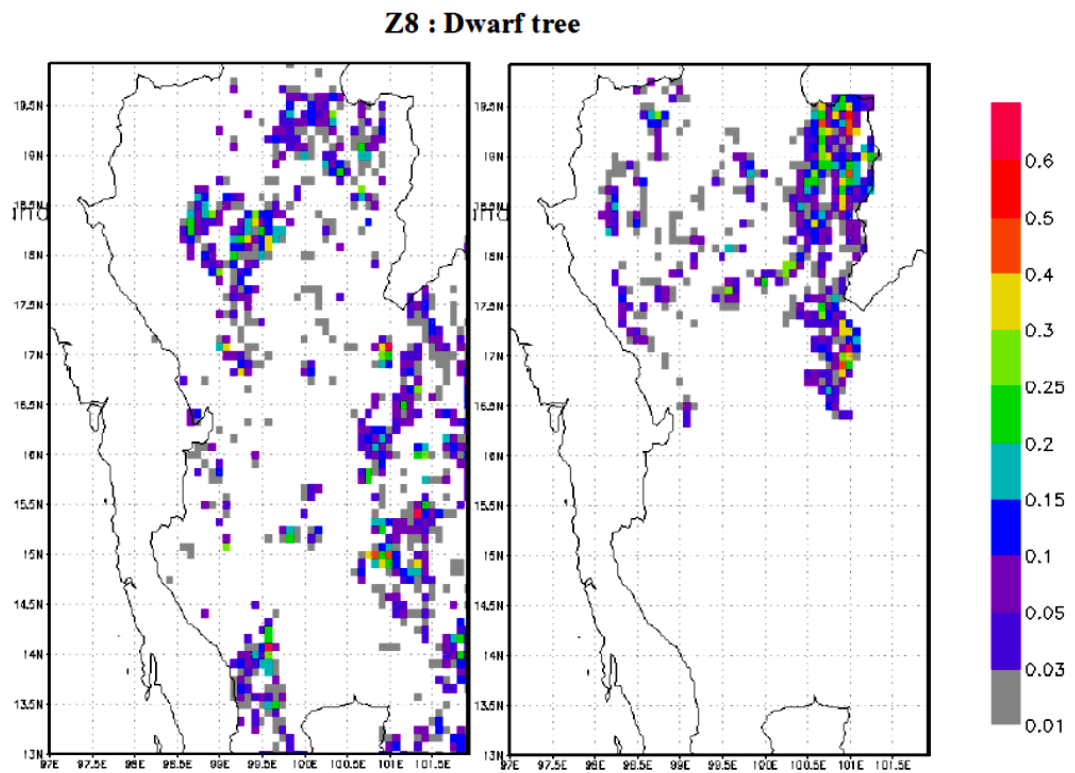
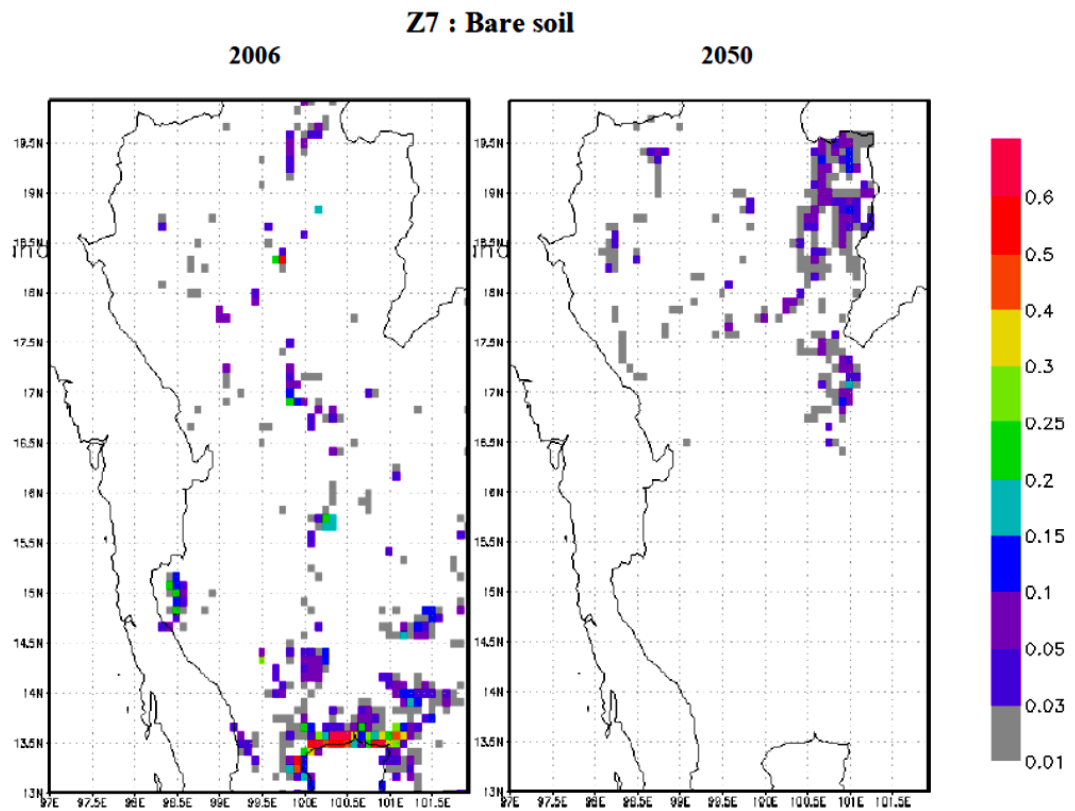
Z3 : Mixed forest



Z6 : Grassland

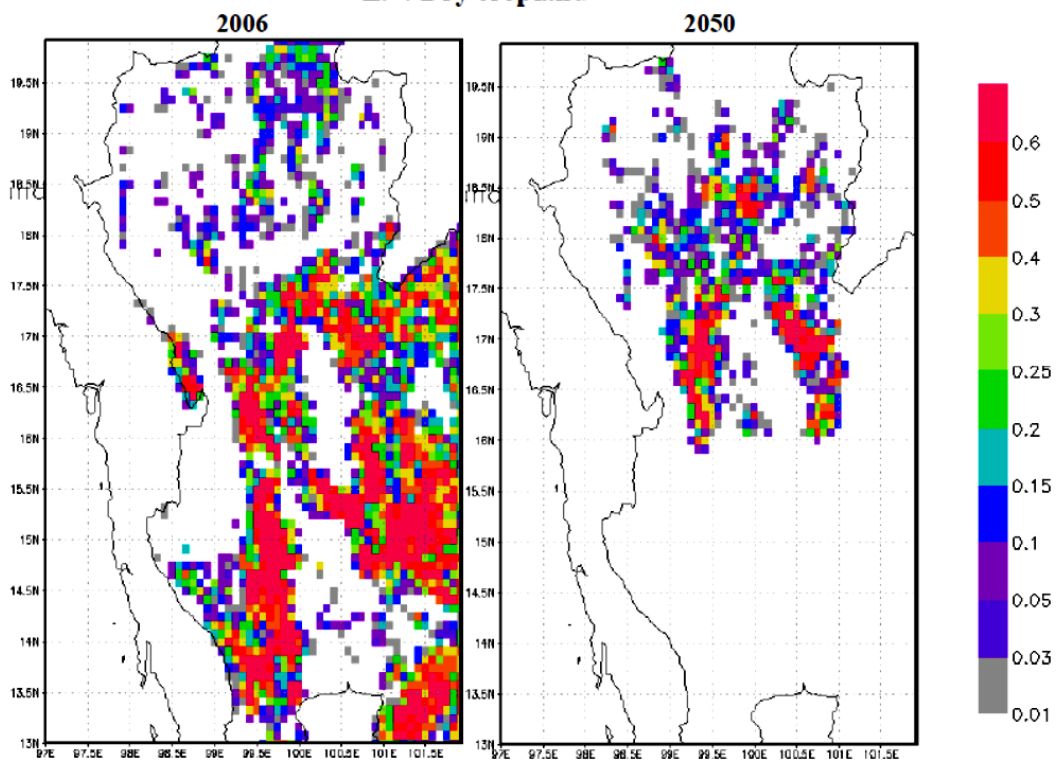


รูปที่ 4-81 (ต่อ) เปรียบเทียบ Fractions แต่ละชนิดของข้อมูลในอดีต (2006) และในอนาคต (2050)

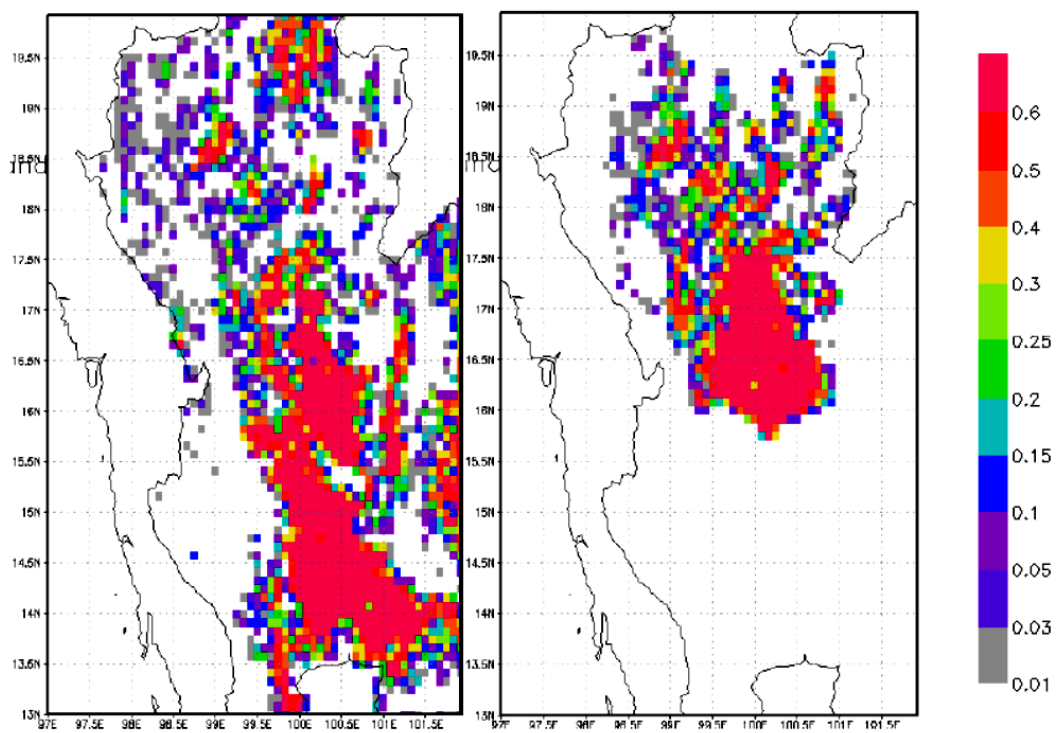


รูปที่ 4-81 (ต่อ) เปรียบเทียบ Fractions แต่ละชนิดของข้อมูลในอดีต (2006) และในอนาคต (2050)

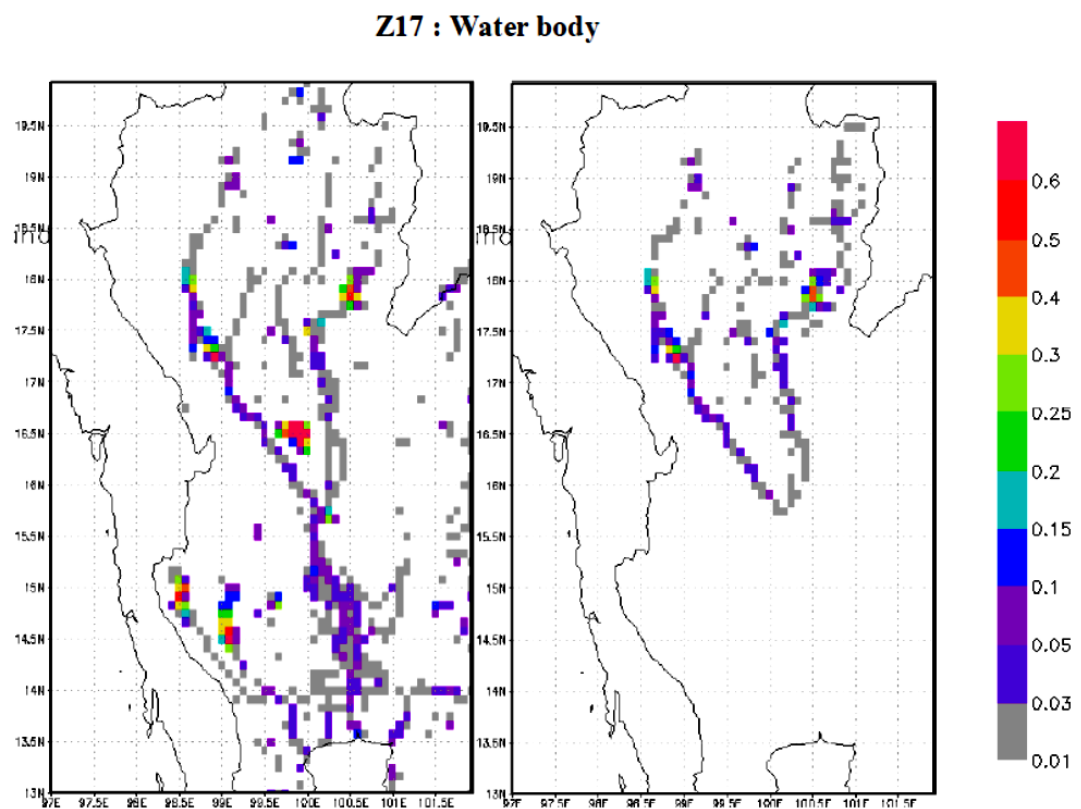
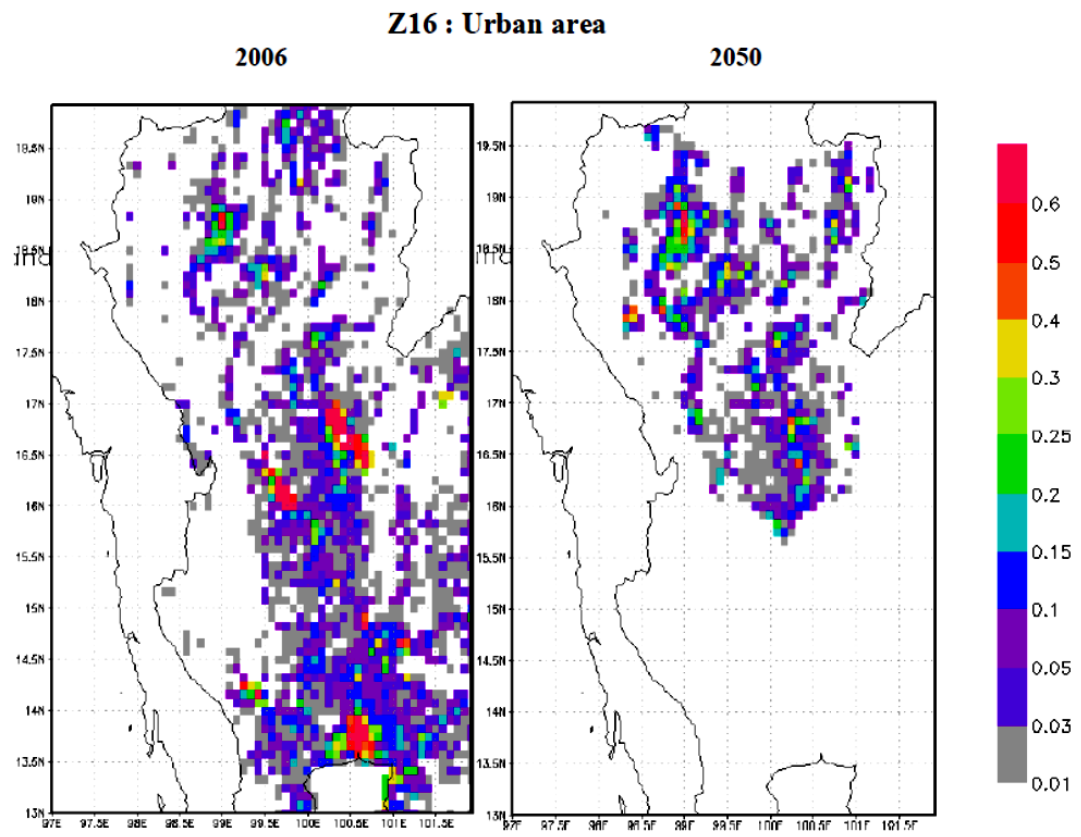
Z9 : Dry cropland



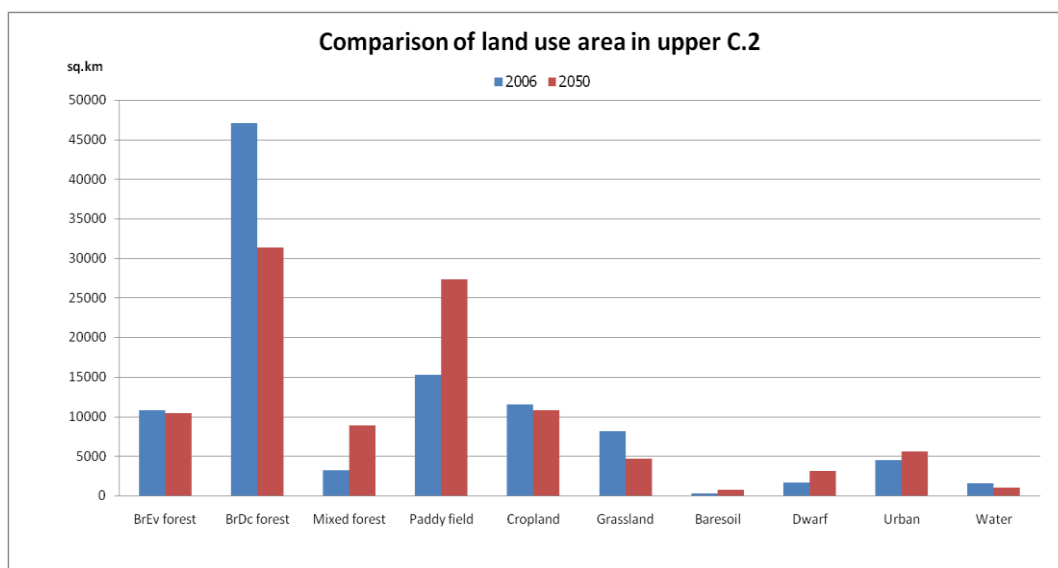
Z11 : Paddy field



รูปที่ 4-81 (ต่อ) เปรียบเทียบ Fractions แต่ละชนิดของข้อมูลในอดีต (2006) และในอนาคต (2050)



รูปที่ 4-81 (ต่อ) เปรียบเทียบ Fractions แต่ละชนิดของข้อมูลในอดีต (2006) และในอนาคต (2050)



รูปที่ 4-82 เปรียบเทียบประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินบนลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน

4.2.4 การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อสภาพน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อสภาพน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยจะใช้ข้อมูลฝนในอนาคตจากแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid Method และผ่านการตรวจสอบความถูกต้องและการเป็นตัวแทนของข้อมูลเรียบร้อยแล้ว และใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินปี ค.ศ.2006 เป็นฐาน

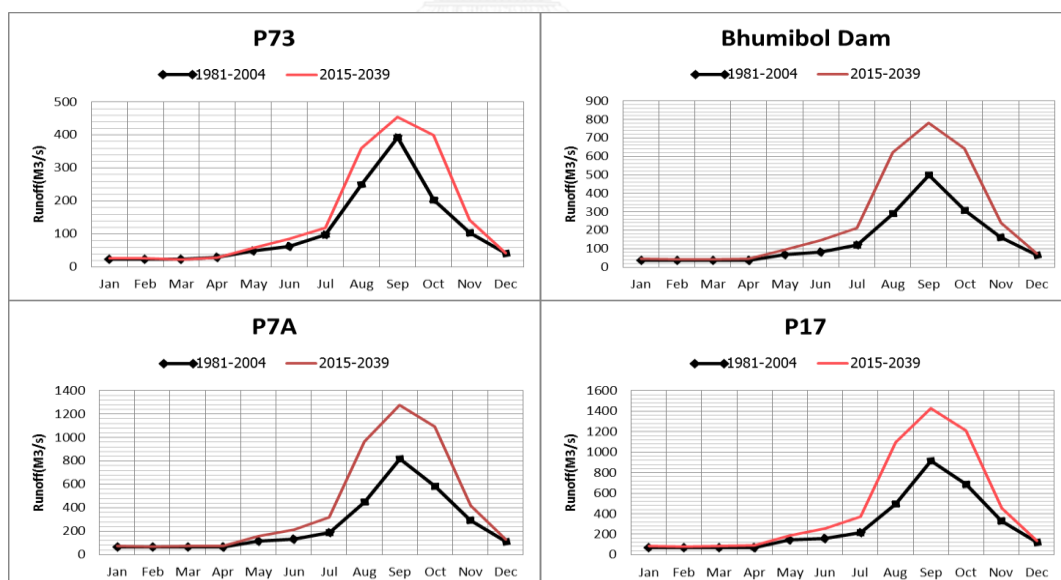
4.2.4.1 ผลการจำลองสภาพน้ำท่าในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039)

ผลการศึกษาการจำลองสภาพน้ำท่าภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S ในช่วงอนาคตอันใกล้ (ค.ศ.2015-2039) ซึ่งแสดงไว้ด้วยตารางที่ 4-10 และรูปที่ 4-83 ถึง 4-84 สรุปได้ดังนี้

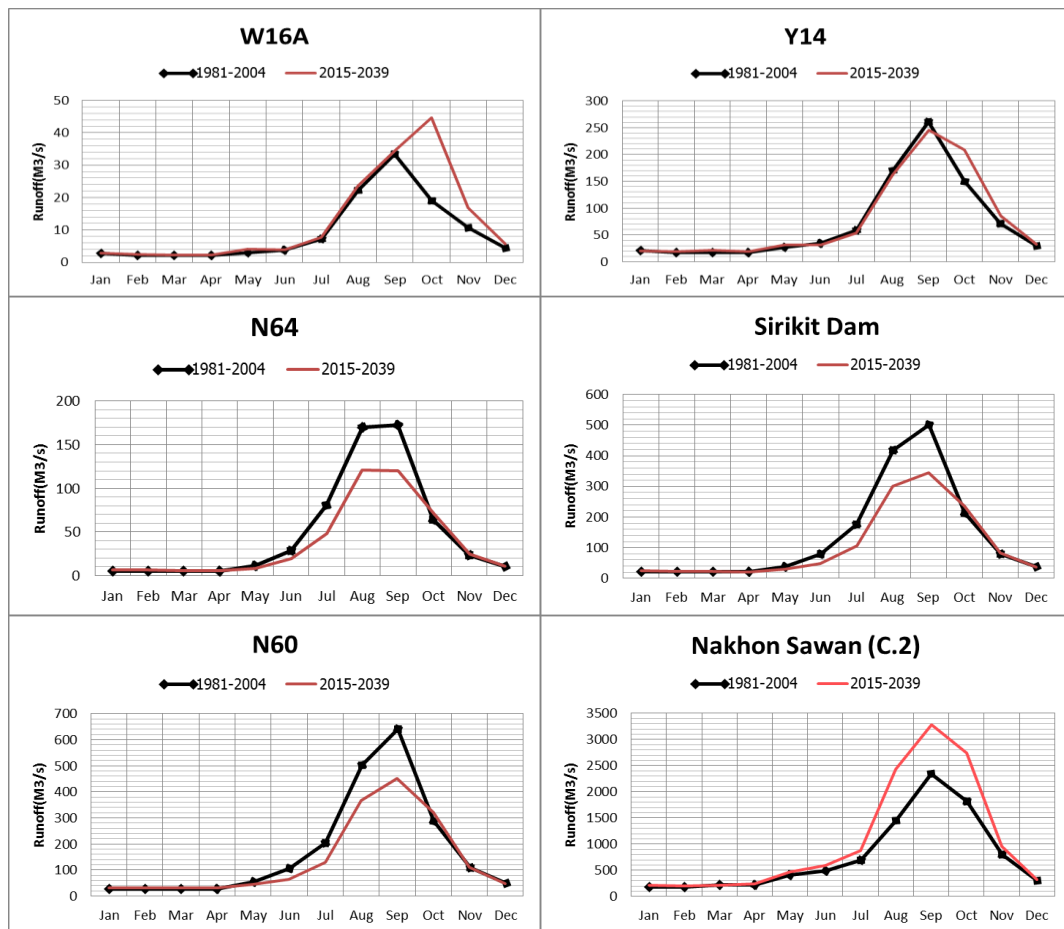
การจำลองสภาพน้ำท่ารายเดือนทั้ง 10 สถานี ในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน พบว่าในสถานีบนลุ่มน้ำปิง ทั้งสถานีเขื่อนภูมิพล สถานี P.7A และสถานี P.17 ค่าสูงสุดของน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยในอนาคตอันใกล้สูงกว่าในอดีตค่อนข้างมาก 56.6% 55.6% และ 55.8% ตามลำดับ ยกเว้นที่สถานี P.73 ที่สูงกว่าอดีตเพียง 15.5% ในทางกลับกันที่สถานีลุ่มน้ำน่านทั้งสถานี N64 สถานีเขื่อนสิริกิติ์ และสถานี N60 ค่าสูงสุดรายเดือนเฉลี่ยกลับต่ำกว่าในอดีตถึง 30.6% 31% และ 30% ตามลำดับ ที่สถานี Y.14 ค่าสูงสุดรายเดือนเฉลี่ยต่ำกว่าในอดีตเล็กน้อย ประมาณ 6.5% ส่วนที่สถานี W.16A สูงกว่าในอดีต 29% ในขณะที่สถานี C.2 ค่าสูงสุดรายเดือนเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นกว่าในอดีตถึง 39.4%

สำหรับค่าเฉลี่ยรายปีของน้ำท่าก็ให้ผลในทิศทางเดียวกัน คือ ที่สถานีลุ่มน้ำ ปิง สถานีเขื่อนภูมิพล สถานี P.7A และสถานี P.17 มีค่าเฉลี่ยรายปีในอนาคตอันใกล้สูงกว่าในอดีตมากกว่า 62% (70% 63% และ 62% ตามลำดับ) ในขณะที่สถานี P.73 และสถานี W.16A สูงกว่าในอดีต 36.5% และ 33.3% ตามลำดับ ที่สถานี Y.14 สูงกว่าในอดีตเล็กน้อย 6% และที่สถานี C.2 สูงกว่าในอดีต 36.9% ส่วนที่สถานีลุ่มน้ำน่านทั้ง 3 สถานี คือ สถานี N64 สถานีเขื่อนสิริกิติ์ และสถานี N60 ค่าเฉลี่ยรายปีของน้ำท่าน้อยกว่าในอดีต 23.6% 21.6% และ 20.3% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาที่สถานี C.2 พบว่าเมื่อสังเกตจากข้อมูลฝน ปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่เริ่มสูงขึ้นกว่าในอดีตอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่เดือนเมษายนจนถึงเดือนสิงหาคม โดยสูงกว่าในอดีตประมาณ 20% ซึ่งความแตกต่างของปริมาณฝนนี้ ส่งผลให้ลักษณะน้ำท่าเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่เดือนกรกฎาคม โดยเพิ่มขึ้นจากในอดีต 26% เมื่อถึงเดือนสิงหาคมจะมีความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าสูงที่สุด โดยสูงกว่าในอดีตถึง 67% เดือนกันยายนซึ่งเป็นเดือนที่เกิดค่าสูงสุดของน้ำท่าทั้งในอดีตและในอนาคตอันใกล้มีความแตกต่างลดลงเหลือ 39.5% แต่เมื่อถึงเดือนตุลาคมปริมาณน้ำท่าในอนาคตอันใกล้ยังคงสูงกว่าในอดีต 51.7% และค่อยๆ กลับมาใกล้เคียงกันอีกครั้งในเดือนพฤศจิกายนอีกทั้งยังส่งผลถึงค่าการคายระเหยที่สูงขึ้นจากในอดีตอีกด้วย



รูปที่ 4-83 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ สีดำ คือ ผลการจำลองสภาพน้ำท่าในอดีต
สีแดง คือ ผลการจำลองสภาพน้ำท่าในอนาคตอันใกล้

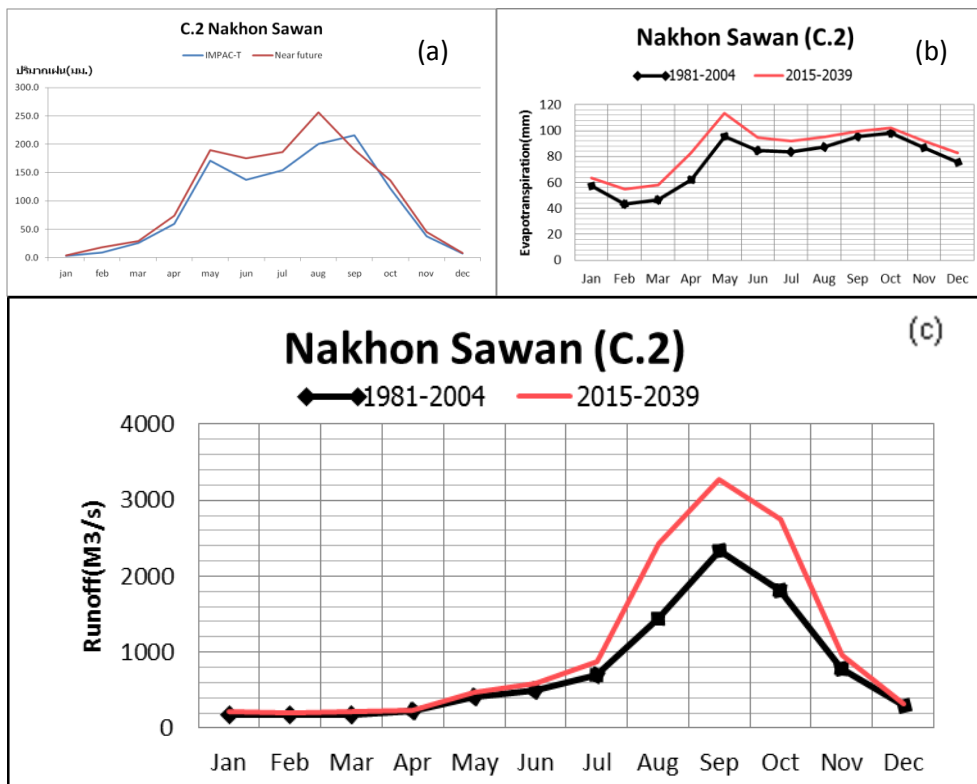


รูปที่ 4-83 (ต่อ) น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ สีดำ คือ ผลการจำลองสภาพน้ำท่าในอดีต สีแดง คือ ผลการจำลองสภาพน้ำท่าในอนาคตอันใกล้

ตารางที่ 4-10 เปรียบเทียบความแตกต่างในอนาคตอันใกล้ของฝนรายเดือนเฉลี่ยและน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานี C.2

		ฝนรายเดือนเฉลี่ย (มม.)											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
P	Mean	3.8	7.2	19.7	53.5	166.6	139.2	166.4	209.9	205.0	105.8	48.5	11.6
NF	%Change	8.6	97.8	13.1	23.6	11.2	27.8	21.4	28.0	-11.4	11.5	18.1	3.8
		น้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย (ลบ.ม./วินาที)											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
P	Mean	207.8	187.6	220.2	223.4	412.8	495.1	697.5	1450.0	2350.0	1810.0	797.0	303.9
NF	%Change	2.7	6.3	0.1	8.3	13.3	18.4	26.0	67.2	39.5	51.7	19.9	7.6

*Note: P (Past) คือ ช่วงเวลาในอดีต และ NF (Near Future) คือ ช่วงเวลาในอนาคตอันใกล้



รูปที่ 4-84 (a) เปรียบเทียบฝนเฉลี่ยรายเดือน (b) เปรียบเทียบการคายระเหยเฉลี่ยบนพื้นที่ (c) เปรียบเทียบน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่างอดีต (1981-2004) และอนาคตอันใกล้ (2015-2039) ที่สถานี C.2

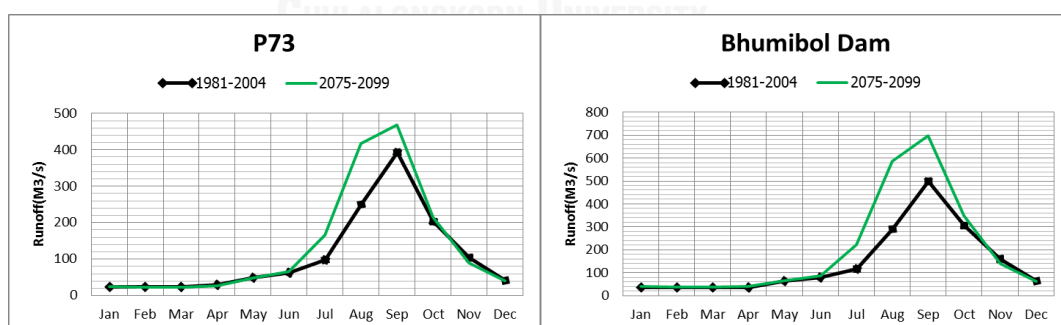
4.2.4.2 ผลการจำลองสภาพน้ำท่าในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099)

ผลการศึกษาการจำลองสภาพน้ำท่าภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกจากแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S ในช่วงอนาคตอันไกล (ค.ศ.2075-2099) ซึ่งแสดงไว้ด้วยตารางที่ 4-11 และรูปที่ 4-85 ถึง 4-86 สรุปได้ดังนี้

การจำลองสภาพน้ำท่ารายเดือนทั้ง 10 สถานี ในลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนพบว่าในอนาคตอันไกลนั้น ปริมาณน้ำท่าเกือบทุกสถานีจะสูงขึ้น โดยเฉพาะสถานีบนลุ่มน้ำปิง ทั้งสถานีเขื่อนภูมิพล สถานี P.7A และสถานี P.17 ค่าสูงสุดของน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยในอนาคตอันไกลสูงกว่าในอดีตค่อนข้างมาก 40.5% 37.8% และ 38% ตามลำดับ ยกเว้นที่สถานี P.73 ที่สูงกว่าอดีต 19% ที่สถานี W.16A และสถานี Y.14 ค่าสูงสุดรายเดือนเฉลี่ยสูงกว่าในอดีต 16.8% และ 24% ตามลำดับ ในขณะที่สถานี C.2 ค่าสูงสุดรายเดือนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงกว่าในอดีตถึง 52% ส่วนในลุ่มน้ำน่าน สถานี N.64 และสถานี N.60 ค่าสูงสุดสูงกว่าในอดีตค่อนข้างน้อย 15% และ 2% ตามลำดับ มีเพียงที่สถานีเขื่อนสิริกิติ์ที่ค่าสูงสุดต่ำกว่าในอดีต 3%

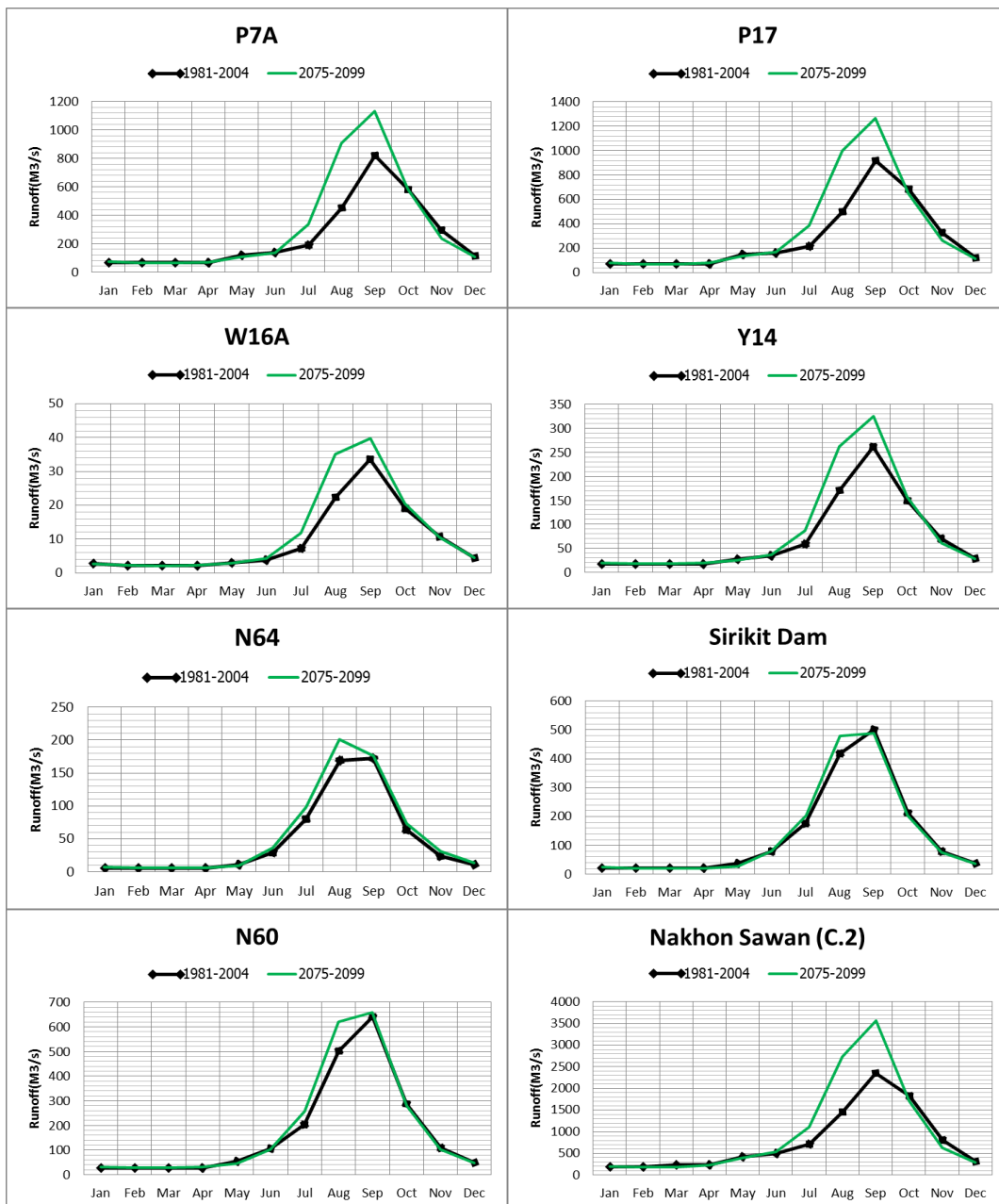
สำหรับค่าเฉลี่ยรายปีของน้ำท่าก็ให้ผลในทิศทางเดียวกันคือ ปริมาณน้ำท่าในอนาคตอันไกลสูงขึ้นทุกสถานี โดยที่สถานีลุ่มน้ำปึงยังคงเพิ่มขึ้นสูงสุด โดยเรียงลำดับจากสถานีตอนบนของลุ่มน้ำสู่ตอนล่าง สถานี P.73 เขื่อนภูมิพล สถานี P.7A และสถานี P.17 (24% 36% 27% และ 26% ตามลำดับ) ที่สถานี W.16A และสถานี Y.14 สูงกว่าในอดีต 23% และ 20% ตามลำดับ และที่สถานี C.2 สูงกว่าในอดีต 28.4% ส่วนที่สถานีลุ่มน้ำน่านทั้ง 3 สถานี คือ สถานี N64 สถานีเขื่อนสิริกิติ์ และสถานี N60 ค่าเฉลี่ยรายปีของน้ำท่าจะเพิ่มขึ้นไม่มากเท่าลุ่มน้ำอื่นๆ โดยเพิ่มขึ้น 13% 3% และ 7% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาที่สถานี C.2 พบว่าเมื่อสังเกตจากข้อมูลฝน ปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม ปริมาณฝนในอนาคตต่ำกว่าในอดีตแล้วจะเริ่มสูงชันกว่าในอดีตอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนสิงหาคม โดยสูงกว่าในอดีตประมาณ 30% แต่ก็กลับมาน้อยกว่าในอดีตอีกในช่วงเดือนกันยายนถึงธันวาคม จึงอาจกล่าวได้ว่าในอนาคตอันไกลในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนในฤดูแล้งฝนจะแล้งกว่าในอดีตกลับกันในฤดูฝนจะมากขึ้นกว่าในอดีต ซึ่งความแตกต่างของปริมาณฝนนี้ ส่งผลให้ลักษณะน้ำท่าในช่วงฤดูแล้งค่อนข้างน้อยแต่ก็ยิ่งใกล้เคียงกับน้ำท่าในอดีต แล้วจะเริ่มสูงชันตั้งแต่เดือนกรกฎาคม โดยเพิ่มขึ้นจากในอดีต 58% เมื่อถึงเดือนสิงหาคมจะมีความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าสูงที่สุด โดยสูงกว่าในอดีตถึง 90% เดือนกันยายนซึ่งเป็นเดือนที่เกิดค่าสูงสุดของน้ำท่าทั้งในอดีตและในอนาคตอันไกล ความแตกต่างยังคงสูงอยู่ที่ 52% แต่เมื่อถึงเดือนตุลาคมเป็นต้นไป ปริมาณน้ำท่าในอนาคตอันไกลกลับต่ำกว่าในอดีตจนถึงเดือนธันวาคม อีกทั้งยังส่งผลถึงค่าการคายระเหยที่สูงขึ้นจากในอดีตอีกด้วย



รูปที่ 4-85 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ สีดำ คือ ผลการจำลองสภาพน้ำท่าในอดีต

สีเขียว คือ ผลการจำลองสภาพน้ำท่าในอนาคตอันไกล

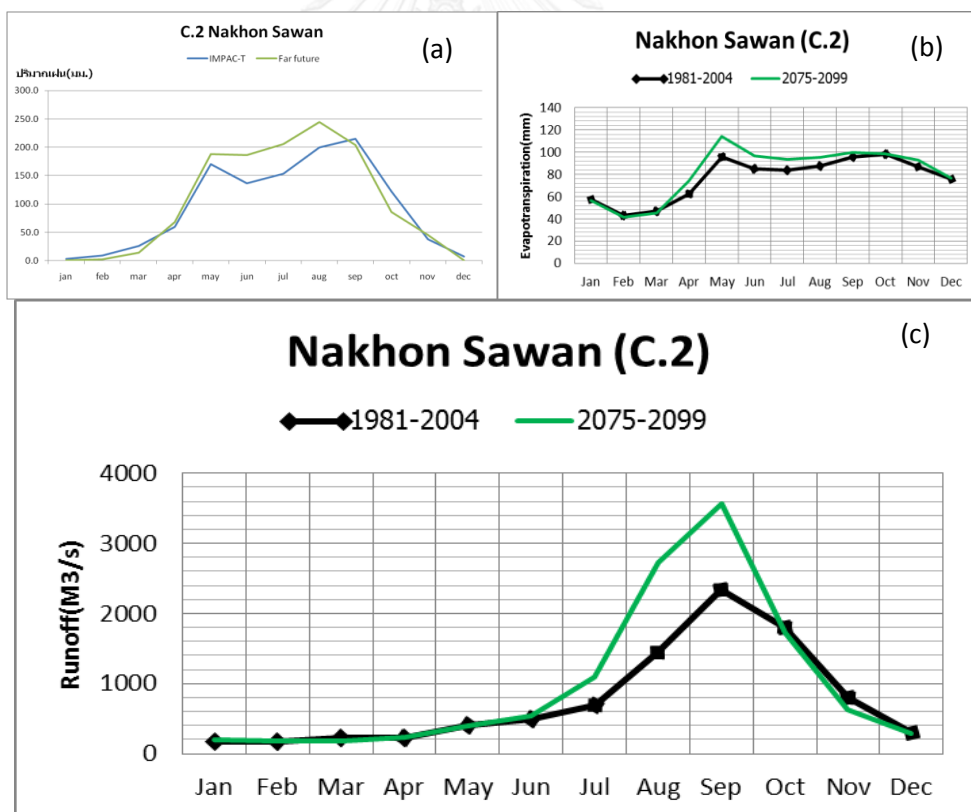


รูปที่ 4-85 (ต่อ) นำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีต่างๆ สีดำ คือ ผลการจำลองสภาพน้ำท่าในอดีต สีเขียว คือ ผลการจำลองสภาพน้ำท่าในอนาคตอันไกล

ตารางที่ 4-11 เปรียบเทียบความแตกต่างในขนาดต่อน้ำไหลของฝนรายเดือนเฉลี่ยและน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานี C.2

		ฝนรายเดือนเฉลี่ย (มม.)											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
P	Mean	3.8	7.2	19.7	53.5	166.6	139.2	166.4	209.9	205.0	105.8	48.5	11.6
FF	%Change	-71.4	-69.2	-42.9	13.9	9.7	35.9	33.9	21.9	-5.5	-29.7	20.5	-83.3
		น้ำท่ารายเดือนเฉลี่ย (ลบ.ม./วินาที)											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
P	Mean	207.8	187.6	220.2	223.4	412.8	495.1	697.5	1617.5	2699.9	1843.0	784.9	303.9
FF	%Change	-1.9	-3.9	-19.5	2.1	-4.1	7.6	58.0	88.5	51.9	-5.2	-21.0	-4.7

*Note: P (Past) คือ ช่วงเวลาในอดีต และ FF (Far Future) คือ ช่วงเวลาในอนาคตอันไกล



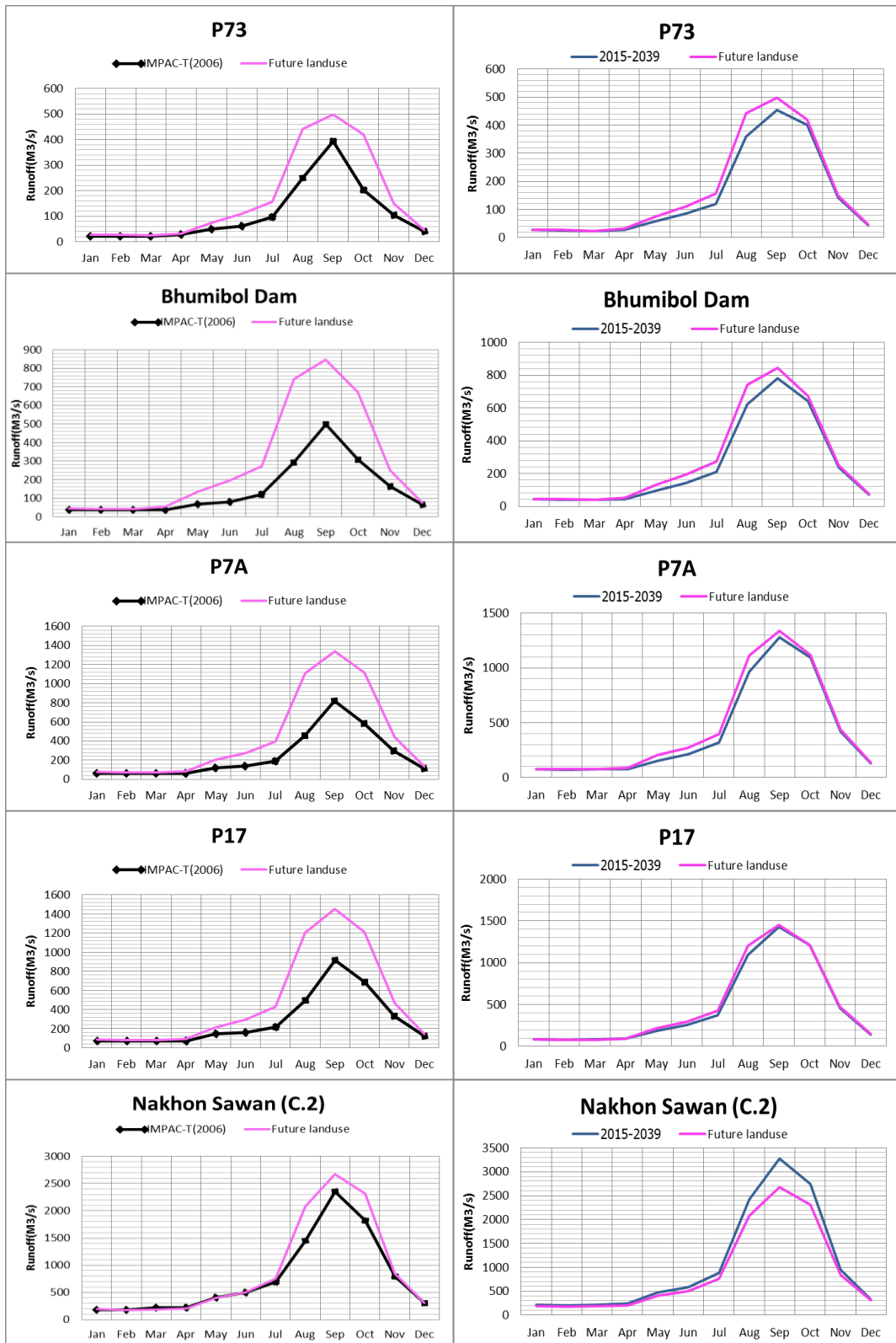
รูปที่ 4-86 (a) เปรียบเทียบฝนเฉลี่ยรายเดือน (b) เปรียบเทียบการคายระเหยเฉลี่ยบนพื้นที่ (c) เปรียบเทียบน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนระหว่างอดีต (1981-2004) และอนาคตอันไกล (2075-2099) ที่สถานี C.2

4.2.5 การศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในอนาคตอันใกล้

ในหัวข้อนี้จะศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตภายใต้สภาพการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในช่วงเวลาอนาคตอันใกล้ โดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตปี ค.ศ.2050 (Trisurat et al., 2010) ควบคู่กับข้อมูลฝนในอนาคตอันใกล้ MRI-AGCM3.2S โดยจะเน้นวิเคราะห์ผลการจำลองสภาพน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพลเป็นหลัก เนื่องจากการศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้ศึกษาไว้ในหัวข้อที่ 4.1.5 พบว่าพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพลมีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในกรณีต่างๆมากที่สุด ส่วนที่สถานีอื่นในกลุ่มน้ำปิงและสถานี C.2 ได้จำลองสภาพน้ำท่าไว้เพื่อสังเกตแนวโน้ม ตามรูปที่ 4-87 ถึง 4-88 สามารถสรุปได้ดังนี้

การจำลองสภาพน้ำท่ารายเดือนที่สถานีลุ่มน้ำปิงและสถานี C.2 พบว่าในอนาคตอันใกล้และการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตนั้น ปริมาณน้ำท่าสูงขึ้นจากในอดีตทุกสถานี ที่สถานี P.73 ค่าสูงสุดของน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยสูงกว่าในอดีต 26.7% และสูงกว่ากรณีอนาคตอันใกล้แต่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินอยู่ 10.1% ที่สถานีเขื่อนภูมิพลสูงกว่าในอดีต 70% และ 8.3% เมื่อเทียบกับกรณีอนาคตอันใกล้แต่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ในกรณีของสถานี P.7A ก็เช่นเดียวกันสูงกว่าในอดีตและในอนาคตอันใกล้กรณีไม่ได้เปลี่ยนการใช้ที่ดิน 63% และ 4.8% สำหรับสถานี P.17 สูงกว่า 58% และ 1.6% ตามลำดับ ที่สถานี C.2 ค่าสูงสุดของน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยสูงกว่าในอดีต 13.7% แต่น้อยกว่าในกรณีอนาคตอันใกล้ที่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน 18.4%

สำหรับค่าเฉลี่ยรายปีของน้ำท่าก็ให้ผลในทิศทางเดียวกันคือ ปริมาณน้ำท่าในอนาคตอันใกล้และการใช้ที่ดินในอนาคตนั้น มากกว่าในอดีตทุกสถานี โดยที่สถานีเขื่อนภูมิพลมีความแตกต่างสูงที่สุด คือ เพิ่มขึ้นจากในอดีตถึง 93% รองลงมาเป็นสถานี P.7A (78%) P.17 (70%) P.73 (55%) และสถานี C.2 (16.2%) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอนาคตอันใกล้แต่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต จะมีเพียงสถานี C.2 ที่ปริมาณน้ำท่ารายปีน้อยกว่า 15% โดยที่สถานี P.73 สถานีเขื่อนภูมิพล สถานี P.7A และสถานี P.17 สูงกว่า 13.7% 13.2% 9.4% และ 5% ตามลำดับ



รูปที่ 4-87 น้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนที่สถานีลุ่มน้ำปิงและสถานี C.2 โดยด้านซ้าย คือ การจำลองสภาพน้ำท่าเปรียบเทียบกับในอดีต ด้านขวา คือ ผลการจำลองสภาพน้ำท่าเปรียบเทียบกับในอนาคตอันใกล้

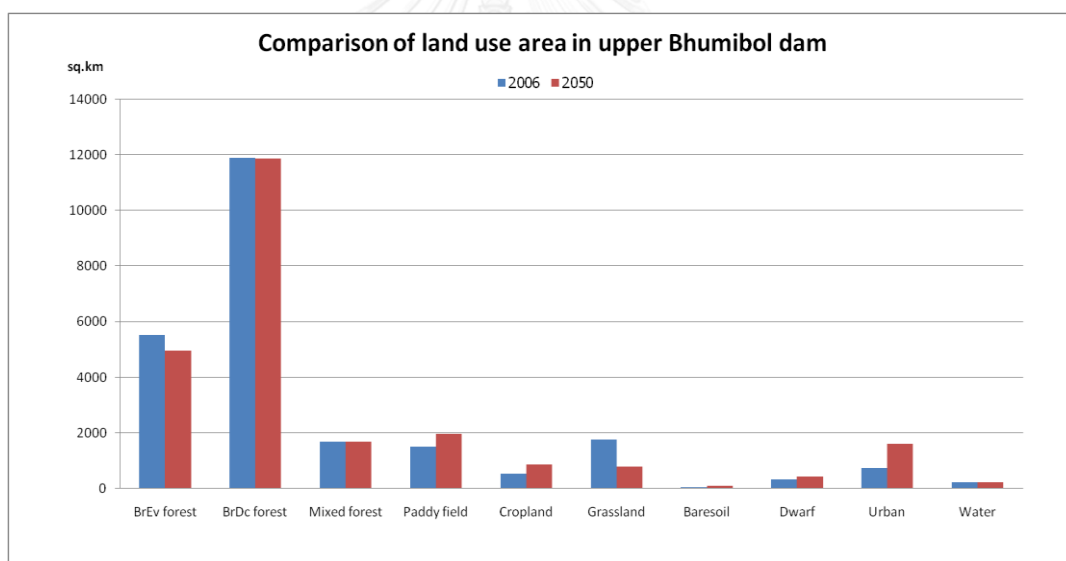
เมื่อพิจารณาที่สถานีเหนือเขื่อนภูมิพล จากตารางที่ 4-12 และรูปที่ 4-88 พบว่าการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ที่มีนัยยะสำคัญคือ การลดลงของพื้นที่ป่าทั้ง 3 ชนิด ซึ่งลดลงรวมทั้งสิ้น 3.27% ของพื้นที่ทั้งหมด โดยเฉพาะป่าไม่ผลัดใบลดลงจากในอดีต 10.3% (2.55% ของพื้นที่ทั้งหมด) และพื้นที่ทุ่งหญ้าลดลง 4% ของพื้นที่ทั้งหมด และพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นคือ พื้นที่พีชไร้ เพิ่มขึ้นจากในอดีต 60% (1.3% ของพื้นที่ทั้งหมด) พื้นที่ปลูกข้าวเพิ่มขึ้น 32.2% (1.9% ของพื้นที่ทั้งหมด) และพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและชุมชนเพิ่มขึ้นจากในอดีตถึง 120% (3.6% ของพื้นที่ทั้งหมด) การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าและพื้นที่ทุ่งหญ้าที่ลดลงไปเพิ่มเป็นพื้นที่พีชไร้ นาข้าวและพื้นที่ชุมชน ส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนรายปีเพิ่มสูงขึ้นจากกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตกาล 13.2% จากการศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่ได้ศึกษาการลดลงของพื้นที่ป่าไม่ผลัดใบโดยในพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล กรณีที่ป่าไม่ผลัดใบลดลง 10% เปลี่ยนเป็นสิ่งก่อสร้างชุมชน จะทำให้ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มขึ้น 4.8-9.5% ซึ่งค่อนข้างใกล้เคียงกับการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตซึ่งจะมีผลจากการเพิ่มลดของพื้นที่อื่นๆอีกด้วย โดยแสดงไว้ในตารางที่ 4-13 รูปที่ 4-89 ถึง 4-90 ที่แสดงลักษณะปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล และค่าการคายระเหยเฉลี่ยบนพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล สังเกตได้ว่า ผลการจำลองสภาพปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนในอนาคตอันใกล้ที่ไม่มีผลของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินพบว่ามีค่าสูงขึ้นทุกเดือน โดยมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่เดือนเมษายนจนถึงเดือนกันยายนที่สูงขึ้น 20% 41.29% 35.03% 29.53% 19.36% และ 8.11% ตามลำดับ ในขณะที่ค่าเฉลี่ยรายปีก็สูงกว่าประมาณ 13.2% ซึ่งการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ทั้งการลดลงของพื้นที่ป่าและทุ่งหญ้าเปลี่ยนเป็นพื้นที่ปลูกพีชไร้ นาข้าว และพื้นที่สิ่งก่อสร้างชุมชนนั้นยังส่งผลให้ค่าการคายระเหยเฉลี่ยในพื้นที่ลดลง

เมื่อเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินกับปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนในอดีต ที่มีความแตกต่างกันทั้งการใช้ประโยชน์ที่ดินและปริมาณฝนที่ตกลงในพื้นที่ ส่งผลให้ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนรายเดือนเฉลี่ยจะเริ่มแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนตุลาคม ที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 100% ยกเว้นเดือนกันยายนที่เป็นเดือนที่มีค่าปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนสูงที่สุดจะสูงกว่าประมาณ 70% และจะลดความแตกต่างลงเมื่อถึงเดือนพฤศจิกายนจนถึงเดือนธันวาคมในขณะที่ค่าเฉลี่ยรายปีเพิ่มขึ้นถึง 93% ดังแสดงในตารางที่ 4-14 และรูปที่ 4-91

ตารางที่ 4-12 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบนพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล

		พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (ตร.กม.)									
		Z1	Z2	Z3	Z6	Z7	Z8	Z9	Z11	Z16	Z17
P	2006	5530.1	11905.9	1687.6	1768.9	36.0	332.0	533.2	1492.8	733.7	223.4
F	2050	4958.0	11874.1	1676.1	791.9	104.6	418.5	855.8	1973.7	1613.8	210.6
%Change		-10.34	-0.27	-0.68	-55.23	190.74	26.07	60.49	32.21	119.95	-5.71
%Change of total area		-2.55	-0.60	-0.11	-4.06	0.28	0.34	1.30	1.91	3.57	-0.06

*Note: Z1 = BrEv, Z2 = BrDc, Z3 = Mixed forest, Z6 = Grassland, Z7 = Bare soil, Z8 = Dwarf tree, Z9 = Dry cropland, Z11 = Paddy field, Z16 = Urban area และ Z17 = Water body



รูปที่ 4-88 เปรียบเทียบการใช้ที่ดินในอดีต และในอนาคตที่พื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล

ตารางที่ 4-13 เปรียบเทียบความแตกต่างปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพลกรณีมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตและกรณีไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคตอันใกล้

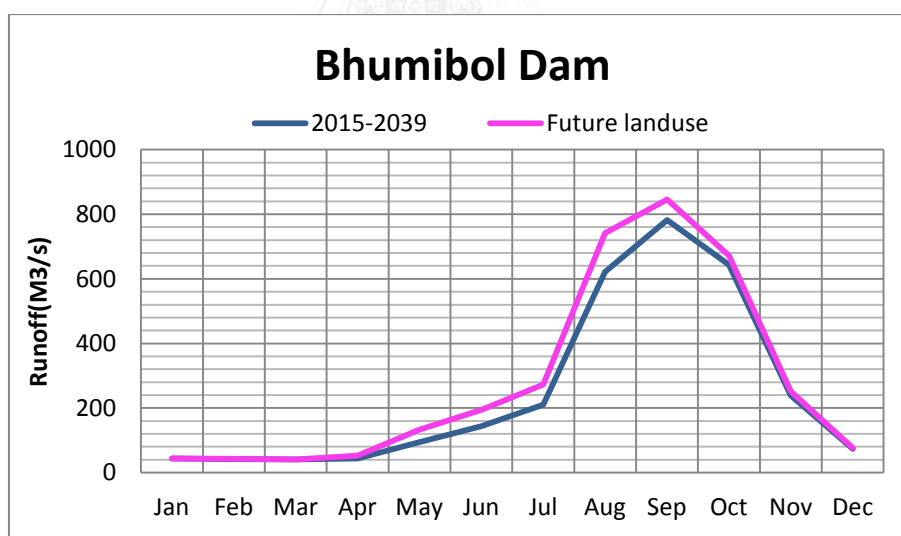
BB		ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนรายเดือนเฉลี่ย (ลบ.ม./วินาที)											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
NF	Mean	44.0	41.4	40.5	43.9	93.8	144.3	210.2	621.2	781.8	643.7	238.9	73.1
FL	%Change	0.09	3.74	1.97	20.13	41.29	35.03	29.53	19.36	8.11	4.47	5.31	4.99

*Note: NF = Near Future และ FL = Future Land-use

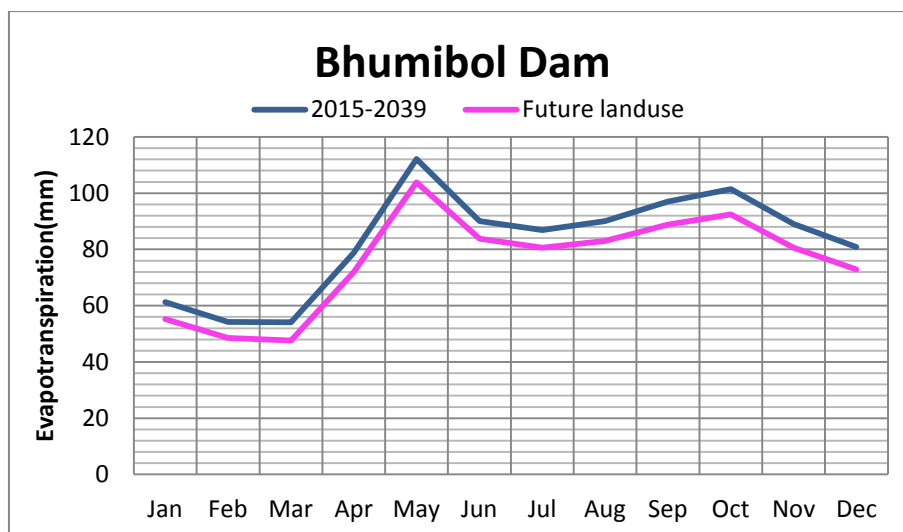
ตารางที่ 4-14 เปรียบเทียบความแตกต่างปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพลในอดีตกับในอนาคตที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน

BB		ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนรายเดือนเฉลี่ย (ลบ.ม./วินาที)											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
P	Mean	42.1	38.1	39.9	41.2	65.5	79.8	118.6	290.0	498.4	306.7	160.6	63.8
FL	%Change	4.7	12.6	3.4	28.1	102.4	144.1	129.6	155.7	69.6	119.2	56.7	20.4

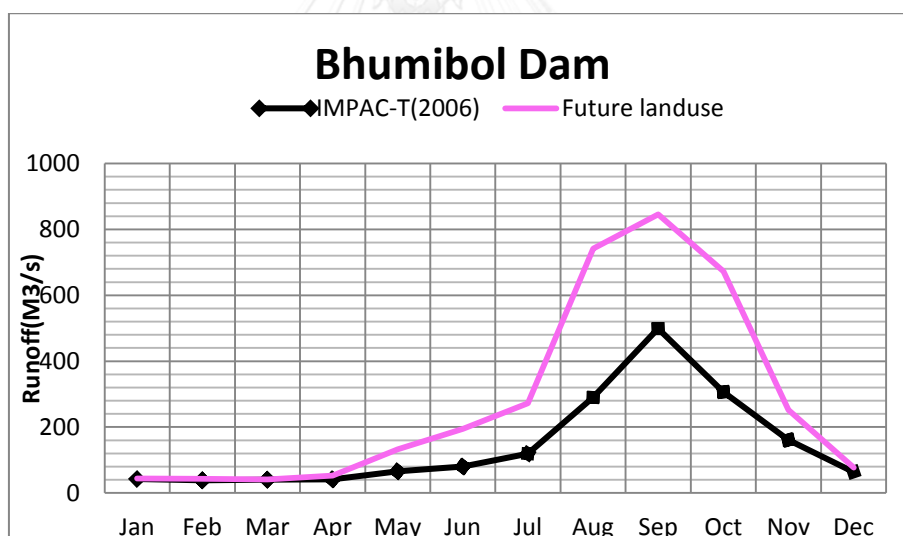
*Note: P (Past) = อดีต และ FL = Future Land-use



รูปที่ 4-89 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อน (Inflow) เฉลี่ยรายเดือนที่สถานีเขื่อนภูมิพลในอนาคตอันใกล้ เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต (สีชมพู) กับกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (สีน้ำเงิน)



รูปที่ 4-90 การคายระเหยเฉลี่ยรายเดือนที่เหนือเขื่อนภูมิพลในอนาคตอันใกล้ที่เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต (สีชมพู) กับกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (สีน้ำเงิน)



รูปที่ 4-91 ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อน (Inflow) เฉลี่ยรายเดือนที่สถานีเขื่อนภูมิพลเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต (สีชมพู) กับในอดีต (สีดำ)

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากกระบวนการศึกษาที่ผ่านมา การรวบรวมข้อมูลเอกสารงานวิจัยทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลระดับโลก (Global-Scale Data Sets) และข้อมูลระดับลุ่มน้ำ (Local-Scale Data Sets) การจำลองสภาพน้ำท่าในอดีตด้วยชุดข้อมูลต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบผลและตรวจสอบความเที่ยงตรง และเลือกชุดข้อมูลที่สามารถเป็นตัวแทนของการจำลองข้อมูลในอดีต การศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่าในพื้นที่สำคัญ เช่น พื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ และที่สถานี C.2 ที่เป็นจุดสำคัญที่รับน้ำมาจากทั้ง 4 ลุ่มน้ำหลัก การศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อสภาพน้ำท่า และการศึกษาผลกระทบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพ ภูมิอากาศ โลกในอนาคตอันใกล้ สามารถสรุปผลของการศึกษา ข้อจำกัดของงานวิจัย ข้อเสนอแนะ รวมถึงหัวข้อที่นำศึกษาต่อในอนาคต ดังต่อไปนี้

5.1 การศึกษาการจำลองสภาพน้ำท่าในอดีต (1981-2004)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์ความแตกต่างและเปรียบเทียบผลการจำลองสภาพข้อมูล 4 ชุด

- ข้อมูลฝน APHRODITE กับ ข้อมูลLand cover fractions GLCC v2.0
- ข้อมูลฝน IMPAC-T กับ ข้อมูลLand cover fractions GLCC v2.0
- ข้อมูลฝน IMPAC-T กับ ข้อมูลLand cover fractions LDD 2000
- ข้อมูลฝน IMPAC-T กับ ข้อมูลLand cover fractions LDD 2006

ซึ่งเป็นการจับคู่ระหว่างข้อมูลฝน และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และเลือกชุดข้อมูลที่จะเป็นตัวแทนในการศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อสภาพน้ำท่าในพื้นที่ศึกษาสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 ความแตกต่างของข้อมูลระดับโลก และข้อมูลระดับลุ่มน้ำ

5.1.1.1 ฝน APHRODITE และ IMPAC-T เมื่อเปรียบเทียบฝนรายปีเฉลี่ยในพื้นที่มีรูปแบบการกระจายตัวของฝนใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกันในเชิงปริมาณเล็กน้อย โดยที่ฝน APHRODITE มีค่าต่ำกว่าฝน IMPAC-T อยู่ประมาณ 12-15% โดยปริมาณฝนสูงสุดอยู่ที่พื้นที่ลุ่มน้ำน่าน และต่ำสุดที่ลุ่มน้ำปิง ในส่วนของฝนรายเดือนเฉลี่ยมีรูปแบบการเกิดฝนในรอบปีของทั้ง 2 ชุดข้อมูล ใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงฤดูฝนปริมาณฝน APHRODITE มีค่าต่ำกว่าฝน IMPAC-T อยู่ประมาณ 10-18%

5.1.1.2 Land Cover Fractions ระหว่าง GLCC v2.0 (2000) กับ LDD (2000 และ 2006) พื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด คือ ป่าไม้ผลัดใบ พืชไร่ และพื้นที่เขตเมืองมีขนาดน้อยกว่าข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดินปีเดียวกันอยู่ประมาณ 52% 87% และ 88% ตามลำดับ แต่ในขณะที่พื้นที่ป่าไม้ไม่ผลัดใบ (Z1:BrEv Forest) พุ่มหญ้า (Z6:Grassland) และไม้พุ่ม (Z8:Dwarf Tree) กลับสูงกว่าอยู่ 44% 90% และ 960% ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างกรมพัฒนาที่ดิน ปี 2000 กับ 2006 พบว่าในช่วงเวลา 6 ปี พื้นที่ป่าไม้ผลัดใบ และป่าผลัดใบลดลงประมาณ 30% และ 10% แต่พื้นที่ชุมชน พุ่มหญ้า และพืชไร่ เพิ่มขึ้น ประมาณ 85% 36% และ 10% ตามลำดับ

5.1.1.3 จากความแตกต่างของข้อมูลจากการสังเกตกับข้อมูลที่ผ่านการสังเคราะห์หรือข้อมูลดาวเทียมที่กล่าวมานั้น ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจวัดข้อมูลหรือจัดหาข้อมูลจากการสังเกต/บันทึกมาใช้ได้ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลสังเคราะห์หรือดาวเทียมมาใช้ต่อนั้นควรตระหนักถึงผลต่างของข้อมูล ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันได้

5.1.2 ผลการจำลองสภาพน้ำท่าและน้ำไหลเข้าเขื่อน

5.1.2.1 การจำลองสภาพน้ำท่าด้วยข้อมูล ชุดที่ 1 ซึ่งเป็นข้อมูลระดับโลก มีความละเอียดของข้อมูลและความเป็นตัวแทนของข้อมูลค่อนข้างต่ำ ผลการจำลองน้ำท่าที่ได้จึงต่ำกว่าค่าสังเกตการณ์ (Under Estimate) ค่อนข้างมาก (ค่าเฉลี่ยดัชนี NS = 0.35 และ $R^2 = 0.65$)

5.1.2.2 การจำลองสภาพน้ำท่าด้วยข้อมูล ชุดที่ 2 ซึ่งใช้ข้อมูลฝนที่มีความละเอียดสูงกว่า มีความแตกต่างของปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี 12-15% ซึ่งปริมาณฝนที่แตกต่างกันนี้ เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ปริมาณน้ำท่าสูงขึ้นทั้ง 10 สถานีและใกล้เคียงน้ำท่าสังเกตการณ์มากขึ้น (ค่าเฉลี่ยดัชนี NS = 0.68 และ $R^2 = 0.76$)

5.1.2.3 การจำลองสภาพด้วยข้อมูล ชุดที่ 3 และชุดที่ 4 ที่มีการเปลี่ยนข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Cover Fractions) จากข้อมูลระดับโลกโดย USGS (GLCC v2.0) มาเป็นข้อมูลจากการสำรวจ โดยกรมพัฒนาที่ดิน (LDD2000, LDD2006) ความแตกต่างของสิ่งปกคลุมดิน คือสาเหตุของปริมาณน้ำท่าที่เปลี่ยนแปลงไปของสถานีต่างๆ (ปริมาณฝนเท่าเดิม) เพราะสิ่งปกคลุมดินแต่ละชนิดนั้นมีอัตราการคายระเหย (ET) ความสามารถในการดูดซับ หรือสะท้อนรังสีและพลังงานแตกต่างกัน ซึ่งผลการจำลองสภาพด้วยข้อมูล ชุดที่ 4 มีผลใกล้เคียงค่าสังเกตการณ์มากที่สุด ทั้งค่าสูงสุดเฉลี่ยรายเดือน ค่าน้ำท่าเฉลี่ยรายปีที่มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และค่าดัชนี NS กับ R^2 สูงที่สุด (ชุดที่ 3 ค่าเฉลี่ยดัชนี NS = 0.72 และ $R^2 = 0.82$ ส่วนข้อมูลชุดที่ 4 ค่าเฉลี่ยดัชนี NS = 0.79 และ $R^2 = 0.85$)

5.1.2.4 ผลการจำลองสภาพที่สถานีเขื่อนภูมิพล สิริกิติ์ และ C.2 พบว่า ปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่ ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนสูงสุดเพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก ในขณะที่การใช้ประโยชน์ที่ดินที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะการลดลงของพื้นที่ป่าอย่างมีนัยยะ เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่การเกษตรเพาะปลูก พืชไร่ การทำนาข้าว และสิ่งก่อสร้างชุมชน ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนเพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่การคายระเหยเฉลี่ยในพื้นที่กลับลดลง

5.1.3 การศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อสภาพน้ำท่า

หลังจากได้ข้อมูล ชุดที่ 4 เป็นตัวแทนของการจำลองสภาพน้ำท่าในอดีต จึงนำมาใช้เป็น ชุดข้อมูลกรณีพื้นฐานในการศึกษาความอ่อนไหว ของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจาก ชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่ง โดยเน้นที่การศึกษาการลดลงของพื้นที่ป่า 2 ประเภทหลัก คือ ป่าไม้ผลัดใบ และป่าไม้ไม่ผลัดใบ เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่พืชไร่ นาข้าว และชุมชน โดยการเปลี่ยนแปลงนั้นพิจารณาเพียงผลของการลดลงของพื้นที่ชนิดหนึ่งไปเป็นพื้นที่อีกชนิดหนึ่งที่เปลี่ยนแปลงครวละ 5% 10% 20% และ 50% ของพื้นที่ภายในกริดเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาลักษณะเฉพาะอื่นๆของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำหลักทั้ง 4 ร่วมด้วย สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.3.1 กรณีศึกษาการลดลงของป่าไม้ผลัดใบ พบว่าการลดลงของพื้นที่เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ชุมชน มีผลต่อปริมาณน้ำท่า และ น้ำไหลเข้าเขื่อนมากที่สุด โดยมีผลกระทบสูงสุดในพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล จากพื้นที่ป่าที่ลดลงสูงสุด 50% ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นกว่า 90% (59% สำหรับเขื่อนสิริกิติ์ และ 67.5% สำหรับสถานี C.2) รองลงมา คือ การเปลี่ยนไปเป็นพืชไร่ ที่การลดลงสูงสุด 50% ของพื้นที่ป่ามีผลให้ปริมาณน้ำท่าสูงขึ้นประมาณ 20% โดยพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพลและสิริกิติ์ผลกระทบใกล้เคียงกัน คือ 21.3% และ 19.4% ส่วนพื้นที่สถานี C.2 15.3% ในขณะที่การลดลงของป่าเปลี่ยนเป็นพื้นที่ปลูกข้าวกลับส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าลดลงเล็กน้อยโดยพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพลลดลง 7% สถานี C.2 ลดลง 3.8% และที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์ ลดลงเพียง 2% ซึ่งสอดคล้องกับค่าการคายระเหยเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ โดยกรณีพื้นที่ชุมชนจะมี ค่าลดลงค่อนข้างมาก ประมาณ 15-20% พืชไร่ลดลงประมาณ 5% และพื้นที่นาข้าวเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 1-2%

5.1.3.2 กรณีศึกษาการลดลงของป่าไม้ไม่ผลัดใบ พบว่าการลดลงของพื้นที่เปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ชุมชน มีผลต่อน้ำท่าและปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนมากที่สุด และยังคงมีผลกระทบสูงสุดในพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล จากพื้นที่ป่าที่ลดลงสูงสุด 50% ส่งผลให้น้ำท่าเพิ่มขึ้นกว่า 48% ขณะที่พื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์ และสถานี C.2 เพิ่มขึ้น 25% และ 21% ตามลำดับ ถัดมาคือ การลดลงเป็นพื้นที่พืชไร่ที่มีผลทำให้ปริมาณน้ำท่าสูงขึ้น 21% บนพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล ส่วนพื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์ และสถานี C.2 13% และ 10% ตามลำดับ สุดท้ายลดลงเปลี่ยนเป็นพื้นที่ปลูกข้าว ส่งผลให้ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพลเพิ่มขึ้น 4.5% ส่วนที่สถานี C.2

เพิ่มขึ้น 1.7% และที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์เพิ่มขึ้นเพียง 1.5% ซึ่งสอดคล้องกับค่าการคายระเหยเฉลี่ยในแต่ละพื้นที่ โดยกรณีที่เปลี่ยนเป็นพื้นที่ชุมชนจะมีค่าลดลงค่อนข้างมาก ประมาณ 5-9% พืชไร่ลดลงประมาณ 2.5-5% และพื้นที่นาข้าวลดลง 1-2%

5.1.3.3 ข้อสรุปการศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จากการศึกษาความอ่อนไหวของการลดลงของพื้นที่ป่าทั้ง 2 ชนิด พบว่ามีผลมากที่สุดในพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล โดยเฉพาะการลดลงของพื้นที่ป่าไม้ผลัดใบ ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ครึ่งหนึ่งของพื้นที่ทั้งหมดส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงในพื้นที่เกิดผลค่อนข้างมาก โดยอาจจะเรียงลำดับการเปลี่ยนแปลงที่มีความอ่อนไหวต่อน้ำท่าจากมากที่สุด ดังนี้ ป่าไม้ผลัดใบสู่ชุมชน ป่าไม้ไม่ผลัดใบสู่ชุมชน ป่าไม้ผลัดใบสู่พืชไร่ ป่าไม้ไม่ผลัดใบสู่พืชไร่ ป่าไม้ไม่ผลัดใบสู่นาข้าว และป่าไม้ผลัดใบสู่นาข้าว (ป่าไม้ผลัดใบสู่นาข้าวกลับมีผลให้ปริมาณน้ำท่าลดลง)

5.2 การคาดการณ์สภาพน้ำท่าในอนาคต

ในการศึกษานี้ได้ศึกษาการคาดการณ์สภาพน้ำท่าในอนาคต จากปัจจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต โดยใช้ข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.2S (AR5) ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid Quartile Method (Koontanakulvong et al., 2014) และปัจจัยการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต จากการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบนพื้นที่ภาคเหนือของไทยในอนาคตปี 2050 (Trisurat et al., 2010) โดยการศึกษาสรุปได้ดังนี้

5.2.1 สรุปผลกระทบต่อสภาพน้ำฝนในกลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ภายใต้การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกในอนาคต

5.2.1.1 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (2015-2039)

1) การกระจายตัวของฝนที่ตกในพื้นที่พบว่า การกระจายตัวของฝนที่ตกในพื้นที่แตกต่างจากในอดีต ที่จะมีฝนตกมากบริเวณลุ่มน้ำน่าน โดยเฉพาะลุ่มน้ำน่านตอนบนเฉลี่ย 1,300 มม. ในขณะที่บริเวณตอนกลางของลุ่มน้ำปิงจะมีฝนตกน้อยที่สุด ประมาณ 900 มม. แต่ในอนาคตอันใกล้นี้ก็กลับมีฝนตกมากบริเวณทิศตะวันตกของลุ่มน้ำปิงเฉลี่ยประมาณ 1,400 มม. ส่วนในตอนกลางและตอนล่างของลุ่มน้ำน่านจะมีฝนตกน้อยที่สุดในพื้นที่ ประมาณ 1,100 มม.

2) ค่าเฉลี่ยฝนรายปีของทั้งลุ่มน้ำ จะเท่ากับ 1,313 มม. เพิ่มขึ้นจากในอดีต 14.8% ค่าเฉลี่ยฝนรายปีในพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล เท่ากับ 1,330 มม. เพิ่มขึ้นจากในอดีต 21.7% พื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์ เท่ากับ 1,306 มม. เพิ่มขึ้น 4%

3) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของฝน พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน และพื้นที่ลุ่มน้ำปิง ในอดีตจะมีปริมาณฝนสูงสุดที่เดือนกันยายน ลุ่มน้ำอื่นๆจะอยู่ที่เดือนสิงหาคม แต่ในอนาคตอันใกล้เดือนที่มีปริมาณฝนสูงสุดทุกพื้นที่จะขยับมาอยู่ในเดือนสิงหาคม โดยในพื้นที่ส่วนใหญ่ ฝนรายเดือนจะเริ่มสูงกว่าในอดีตตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึง เดือนสิงหาคม จะมีเพียงพื้นที่ลุ่มน้ำน่านที่จะสูงขึ้นจากอดีตไม่มากนัก

5.2.1.2 ในช่วงอนาคตอันไกล (2075-2099)

1) การกระจายตัวของฝนที่ตกในพื้นที่ พบว่าค่อนข้างใกล้เคียงกับในอดีต ที่มีฝนตกมากบริเวณลุ่มน้ำน่าน โดยเฉพาะลุ่มน้ำน่านตอนบน และปริมาณฝนเฉลี่ยสูงกว่าในอดีต ประมาณ 100 มม. ในขณะที่บริเวณตอนกลางของลุ่มน้ำปิงจะมีฝนตกน้อยที่สุด ประมาณ 1,000 มม.

2) ค่าเฉลี่ยฝนรายปีของทั้งลุ่มน้ำเท่ากับ 1,247 มม. เพิ่มขึ้นจากในอดีต 9% ค่าเฉลี่ยฝนรายปีในพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล เท่ากับ 1,215 มม. เพิ่มขึ้นจากในอดีต 11.2% พื้นที่เหนือเขื่อนสิริกิติ์ เท่ากับ 1,374 มม. เพิ่มขึ้น 9.5%

3) ค่าเฉลี่ยรายเดือนของฝน ปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม ปริมาณฝนในอนาคตอันไกลจะต่ำกว่าในอดีต แล้วจะเริ่มสูงขึ้นกว่าในอดีตอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่เดือนพฤษภาคม จนถึงเดือนสิงหาคม โดยสูงกว่าในอดีตค่อนข้างมากแต่ก็กลับมาน้อยกว่าในอดีตอีกในช่วงเดือนกันยายน ถึงธันวาคม จึงอาจกล่าวได้ว่า ในอนาคตอันไกลในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ในฤดูแล้งจะแล้งกว่าในอดีต กลับกันในฤดูฝนฝนจะมากขึ้นกว่าในอดีต ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของฝนในอนาคต

5.2.2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต

5.2.2.1 ภาพรวมการใช้ที่ดินในอนาคตปี 2050 พื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน จะมีพื้นที่ป่าไม้ไม่ผลัดใบ 10,450 ตร.กม. (10%) ป่าไม้ผลัดใบ 31,334 ตร.กม. (30.2%) สวนป่าผสม 8,900 ตร.กม. (8.6%) นาข้าว 27,340 ตร.กม. (26.3%) พืชไร่ 10,800 ตร.กม. (10.4%) ทุ่งหญ้า 4,700 ตร.กม. (4.5%) พื้นที่รกร้าง 770 ตร.กม. (0.7%) ไม้พุ่ม 3,090 ตร.กม. (3%) ชุมชนเมือง 5,556 ตร.กม. (5.3%) และแหล่งน้ำ 980 ตร.กม. (1%) โดยพื้นที่ป่าโดยรวมลดลงจากปี 2006

ประมาณ 10% ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน คือพื้นที่ชุมชน และการปลูกข้าว โดยเพิ่มขึ้นจากปี 2006 23% และ 80% ตามลำดับ

5.2.2.2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต พื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล ที่มีนัยยะสำคัญ คือ การลดลงของพื้นที่ป่าทั้ง 3 ชนิด ซึ่งลดลงรวมทั้งสิ้น 3.27% ของพื้นที่ทั้งหมด โดยเฉพาะป่าไม้ผลัดใบ ซึ่งลดลงจากในอดีต 10.3% (2.55% ของพื้นที่ทั้งหมด) และพื้นที่ทุ่งหญ้า ลดลง 4% ของพื้นที่ทั้งหมด ส่วนพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นคือ พื้นที่พืชไร่ เพิ่มขึ้นจากในอดีต 60% (1.3% ของพื้นที่ทั้งหมด) พื้นที่ปลูกข้าวเพิ่มขึ้น 32.2% (1.9% ของพื้นที่ทั้งหมด) และพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและชุมชนเพิ่มขึ้นจากในอดีตถึง 120% (3.6% ของพื้นที่ทั้งหมด)

5.2.3 สรุปผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตต่อสภาพน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา

5.2.3.1 ในช่วงอนาคตอันใกล้ (2015-2039)

1) ผลกระทบในภาพรวมของกลุ่มน้ำ พบว่าบนพื้นที่ลุ่มน้ำปิง น้ำท่ารายเดือนสูงสุดในอนาคตอันใกล้สูงกว่าในอดีตค่อนข้างมาก ประมาณ 55% เนื่องจากปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่เพิ่มขึ้นจากในอดีตสูงสุด ในทางกลับกันบนพื้นที่ลุ่มน้ำน่าน น้ำท่ารายเดือนสูงสุดต่ำกว่าในอดีตประมาณ 30% ที่สถานีลุ่มน้ำยมค่าสูงสุดรายเดือนเฉลี่ยต่ำกว่าในอดีตเล็กน้อย ประมาณ 6.5% ส่วนที่ลุ่มน้ำวังสูงกว่าในอดีต 29% สำหรับค่าเฉลี่ยรายปีของน้ำท่าบนลุ่มน้ำปิงในอนาคตอันใกล้สูงกว่าในอดีตมากกว่า 62% ลุ่มน้ำวังสูงกว่าในอดีต 33.3% ลุ่มน้ำยมสูงกว่าในอดีตเล็กน้อย 6% ส่วน ลุ่มน้ำน่านน้ำท่ารายปีน้อยกว่าในอดีตประมาณ 20%

2) ผลกระทบต่อปริมาณน้ำที่ไหลมารวมกันที่สถานี C.2 นครสวรรค์ พบว่าปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ เริ่มสูงขึ้นกว่าในอดีตอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่เดือนเมษายน จนถึงเดือนสิงหาคม โดยสูงกว่าในอดีตประมาณ 20% ซึ่งความแตกต่างของปริมาณฝนนี้ส่งผลให้ลักษณะน้ำท่าเริ่มสูงขึ้น ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม โดยเพิ่มขึ้นจากในอดีต 26% เนื่องจากชั้นดินอึดตัวจากฝนที่ตกลงมามากตั้งแต่เดือนพฤษภาคม เมื่อถึงเดือนสิงหาคมจะมีความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าสูงที่สุด โดยสูงกว่าในอดีตถึง 67% เดือนกันยายนซึ่งเป็นเดือนที่เกิดค่าสูงสุดของน้ำท่าในอนาคตอันใกล้สูงกว่าในอดีต 39.5% และค่อยๆกลับมามีค่าใกล้เคียงกันอีกครั้ง ที่เดือนพฤศจิกายน อีกทั้งยังส่งผลถึงค่าการคายระเหยเฉลี่ยที่สูงขึ้นจากในอดีตอีกด้วย

5.2.3.2 ในช่วงอนาคตอันไกล (2075-2099)

1) ผลกระทบในภาพรวมของกลุ่มน้ำ พบว่าน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยสูงขึ้นทุกพื้นที่ใน

ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน โดยเฉพาะบนพื้นที่ลุ่มน้ำปิงในอนาคตอันไกลสูงกว่าในอดีตค่อนข้างมาก ประมาณ 40% ที่ลุ่มน้ำวังและยม น้ำท่าสูงสุดรายเดือนสูงกว่าในอดีต 16.8% และ 24% ตามลำดับส่วนสถานีในลุ่มน้ำ่านสูงกว่าในอดีตค่อนข้างน้อย และที่น่าสังเกตอีกอย่างนอกจาก ปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นของช่วงอนาคตอันไกล คือ ปริมาณน้ำท่าในช่วงหน้าแล้งจะลดลงจากในอดีต ทุกเดือนและทุกสถานี สำหรับค่าเฉลี่ยรายปีของน้ำท่าในอนาคตอันไกลสูงขึ้นทุกสถานี โดยที่ สถานีลุ่มน้ำปิงยังคงเพิ่มขึ้นสูงที่สุด ประมาณ 30% ที่ลุ่มน้ำวังและยมสูงกว่าในอดีต 23% และ 20% ตามลำดับ ส่วนที่สถานีลุ่มน้ำ่านค่าเฉลี่ยรายปีของน้ำท่าจะเพิ่มขึ้นไม่มากเท่าลุ่มน้ำอื่นๆ โดยเพิ่มขึ้นประมาณ 10%

2) ผลกระทบต่อปริมาณน้ำที่ไหลมารวมกันที่สถานี C.2 นครสวรรค์พบว่า ปริมาณ ฝนที่ตกในพื้นที่ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม ปริมาณฝนในอนาคตต่ำกว่าในอดีต แล้วจะเริ่ม สูงขึ้นกว่าในอดีตอย่างเห็นได้ชัด ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนสิงหาคม โดยสูงกว่าในอดีต ประมาณ 30% แต่ก็กลับมาน้อยกว่าในอดีตอีกในช่วงเดือนกันยายนถึงธันวาคม จึงอาจกล่าวได้ ว่าในอนาคตอันไกล ในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบนใน ฤดูแล้งจะแล้งกว่าในอดีต กลับกันในฤดู ฝน ฝนจะมากขึ้นกว่าในอดีต ซึ่งความแตกต่างของปริมาณฝนนี้ส่งผลให้ลักษณะน้ำท่าในช่วงฤดู แล้งค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับน้ำท่าในอดีต แล้วจะเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่เดือนกรกฎาคม เนื่องจากฝนที่ ตกลงมากและชั้นดินไม่สามารถรับน้ำเพิ่มได้จากการอิ่มตัว โดยเพิ่มขึ้นจากในอดีต 58% เมื่อ ถึงเดือนสิงหาคมจะมีความแตกต่างของปริมาณน้ำท่าสูงที่สุด โดยสูงกว่าในอดีตถึง 90% เดือน กันยายนซึ่งเป็นเดือนที่เกิดค่าสูงสุดมีปริมาณน้ำท่าสูงขึ้น 52% แต่เมื่อถึงเดือนตุลาคมเป็นต้นไป ปริมาณน้ำท่าในอนาคตอันไกลกลับลดลงต่ำกว่าในอดีตจนถึงเดือนธันวาคม

ผลการศึกษาอาจสรุปได้ว่า ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศใน อนาคตต่อสภาพน้ำท่าที่ไหลมารวมกันที่สถานี C.2 นั้น จะสูงขึ้นทั้งค่าสูงสุดรายเดือนและปริมาณ น้ำท่ารายปี โดยปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นตลอดทั้งปีนั้นสูงถึง 8,900 ล้าน ลบ.ม. (66% ของความจุ เชื้อนภูมิพล) ในอนาคตอันใกล้ และ 6,800 ล้าน ลบ.ม. (50% ของความจุเชื้อนภูมิพล) ใน อนาคตอันไกล ในขณะที่ค่าสูงสุดในที่จะเกิดขึ้นในเดือนกันยายนนั้นจะเพิ่มขึ้นจากในอดีตถึง 2,400 และ 3,160 ล้านลบ.ม. ในอนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกลตามลำดับ และในอนาคตอัน ไกลในช่วงหน้าแล้งปริมาณน้ำจะน้อยกว่าในอดีตทุกเดือน อาจเป็นสาเหตุให้ประสบปัญหาขาด แคลนน้ำสำหรับอุปโภคบริโภคได้

5.2.4 สรุปผลกระทบของปัจจัยการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตอันใกล้ต่อสภาพน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล

5.2.4.1 ผลกระทบในภาพรวมของกลุ่มน้ำปิงและสถานี C.2 พบว่า ในอนาคตอันใกล้ที่มีเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตนั้น ปริมาณน้ำท่าสูงขึ้นจากในอดีตทุกสถานี โดยปริมาณน้ำท่ารายเดือนสูงสุดจะสูงกว่าในอดีตประมาณ 60-70% อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีในอนาคตอันใกล้แต่ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้น ทุกสถานีในกลุ่มน้ำปิงล้วนมีปริมาณน้ำท่าสูงขึ้นแต่จะสังเกตได้ว่า ความแตกต่างนั้นจะค่อยๆลดลงไล่ลงมาจากสถานีเหนือสุดจนถึงสถานีล่างสุด ดังนี้ ที่สถานี P.73 (10.1%) สถานีเขื่อนภูมิพล (8.3%) สถานี P.7A (4.8%) สถานี P.17 (1.6%) และที่สถานี C.2 กลับน้อยกว่าในกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในอนาคต 18.4%

สำหรับค่าเฉลี่ยรายปีของน้ำท่าก็เช่นเดียวกันคือ ปริมาณน้ำท่าในอนาคตอันใกล้ที่มีเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตนั้น มากกว่าในอดีตทุกสถานี โดยที่สถานีเขื่อนภูมิพลมีความแตกต่างสูงสุด คือ เพิ่มขึ้นจากในอดีตถึง 93% รองลงมาเป็นสถานี P.7A (78%) สถานี P.17 (70%) สถานี P.73 (55%) และสถานี C.2 (16.2%) ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีในอนาคตอันใกล้แต่ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต ที่สถานีในกลุ่มน้ำปิง ความแตกต่างยังค่อยๆลดลงจากตอนบนลงสู่ตอนล่างคือ สถานี P.73 เขื่อนภูมิพล สถานี P.7A และสถานี P.17 สูงกว่า 13.7% 13.2% 9.4% และ 5% ตามลำดับจะมีเพียงสถานี C.2 ที่ปริมาณน้ำท่ารายปีน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน 15% ซึ่งจะเห็นว่าผลของการเปลี่ยนแปลงพื้นที่เมื่อสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงลดลง ผลกระทบก็ลดลงไปด้วยสังเกตจากพื้นที่ตอนบนที่สถานี P.73 และสถานีเขื่อนภูมิพล พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นป่าที่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่อื่นๆ ซึ่งครอบคลุมมากกว่า 50% ของพื้นที่ เมื่อพื้นที่ขยายลงมาสู่ตอนล่าง สัดส่วนของพื้นที่ป่าเริ่มลดลงนัยยะของผลกระทบจึงลดลงตามไปด้วย ส่วนที่สถานี C.2 นอกจากผลจากสัดส่วนของพื้นที่ที่เปลี่ยนแปลงลดลง ยังมีผลจากพื้นที่ลุ่มน้ำอื่นที่มีการเปลี่ยนแปลง และไหลลงมาบรรจบที่สถานี C.2 อีกด้วย จึงเป็นสาเหตุอีกประการหนึ่งที่จะทำให้ปริมาณน้ำท่าที่สถานี C.2 ลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต

5.2.4.2 ผลกระทบต่อปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล พบว่าในอนาคตอันใกล้ที่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน มีปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนรายปีสูงขึ้นเฉลี่ย 93% หรือเท่ากับ 4,270 ล้าน ลบ.ม. ในขณะที่ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนรายเดือน จะเพิ่มขึ้นจากในอดีตเป็นอย่างมาก (มากกว่า 100%) ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม จนถึงเดือนสิงหาคม และปริมาณน้ำไหล

เข้าเขื่อนสูงสุดในเดือนกันยายนเพิ่มขึ้น 70% (899 ล้าน ลบ.ม.) สาเหตุที่ทำให้ปริมาณน้ำสูงสุดรายเดือน ปริมาณน้ำสะสมรายปีเพิ่มสูงขึ้นสาเหตุหนึ่งมาจาก ปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้น โดยค่าเฉลี่ยฝนรายปีในพื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพล เท่ากับ 1,330 มม. เพิ่มขึ้นจากในอดีต 21.7% และโดยเฉลี่ยฝนแต่ละเดือนจะตกมากกว่าในอดีตทุกเดือน และในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคมจะมากกว่าในอดีตประมาณ 20-40% และอีกสาเหตุหนึ่ง คือ พื้นที่เหนือเขื่อนภูมิพลมีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคตที่มีนัยยะสำคัญ คือ การลดลงของพื้นที่ป่าทั้ง 3 ชนิด ซึ่งลดลงรวมทั้งสิ้น 3.27% ของพื้นที่ทั้งหมด โดยเฉพาะป่าไม้ผลัดใบ ซึ่งลดลงจากในอดีต 10.3% (2.55% ของพื้นที่ทั้งหมด) และพื้นที่ทุ่งหญ้าลดลง 4% ของพื้นที่ทั้งหมด และพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นคือ พื้นที่พืชไร่เพิ่มขึ้นจากในอดีต 60% (1.3% ของพื้นที่ทั้งหมด) พื้นที่ปลูกข้าวเพิ่มขึ้น 32.2% (1.9% ของพื้นที่ทั้งหมด) และพื้นที่สิ่งปลูกสร้างและชุมชนเพิ่มขึ้นจากในอดีตถึง 120% (3.6% ของพื้นที่ทั้งหมด) การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ป่าและพื้นที่ทุ่งหญ้าที่ลดลงไปเพิ่มเป็นพื้นที่พืชไร่ นาข้าว และพื้นที่ชุมชนเหล่านี้ ส่งผลให้ค่าการคายระเหยในพื้นที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งเป็นสาเหตุให้ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพลรายปีเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากในกรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในอนาคต 13.2% (1,030 ล้าน ลบ.ม.) และค่าเฉลี่ยรายเดือนเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่เดือนเมษายนถึงเดือนกันยายน

5.3 สรุปผลที่ได้จากงานวิจัย

5.3.1 ข้อมูลที่ใช้สำหรับการศึกษาทางอุทกวิทยาในพื้นที่ระดับลุ่มน้ำ ข้อมูลที่มีความละเอียดสูงและข้อมูลที่ได้จากการสังเกตหรือเก็บข้อมูลมาโดยตรง จะมีผลต่อความถูกต้องและใกล้เคียง ของการจำลองสภาพมากกว่าข้อมูลระดับโลก ที่มีความละเอียดต่ำกว่าและผ่านขั้นตอนการวิเคราะห์/สังเคราะห์ข้อมูลมาก่อน ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจวัดข้อมูลหรือจัดหาข้อมูลจากการสังเกต/บันทึกมาใช้ได้ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลสังเคราะห์หรือดาวเทียมมาใช้ต่อนั้นควรตระหนักถึงผลต่างของข้อมูล ซึ่งอาจส่งผลต่อผลการวิเคราะห์ที่แตกต่างกันได้

5.3.2 สภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนไปตามสมมติฐานสภาพภูมิอากาศของโลก RCPs 6.0 หรือ A1B ที่นำมาใช้วิเคราะห์ในการศึกษานี้ โดยเฉพาะการกระจายตัวและปริมาณของฝนในแต่ละพื้นที่เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสภาพและปริมาณน้ำท่าในพื้นที่นั้นๆ โดยจากการศึกษาปริมาณฝนที่เปลี่ยนไปในอนาคตนั้นส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำท่าที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างสูง

5.3.3 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน/สิ่งปกคลุมดิน ก็เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสภาพและปริมาณน้ำท่า โดยพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงและส่งผลกระทบต่อน้ำท่าอย่างมาก

คือ พื้นที่ป่าไม้ผลัดใบ/ไม่ผลัดใบเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่สิ่งก่อสร้างชุมชน และการเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่พืชไร่ อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่ออัตราการคายระเหยที่สูงอีกด้วย

5.3.4 การคาดการณ์ปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพล ปริมาณน้ำท่าที่สถานี C.2 ในอนาคต จากการศึกษา เป็นเพียงการจำลองสภาพโดยมีเงื่อนไขและข้อจำกัดหลายๆ ประการ ซึ่งไม่อาจตอบ ได้อย่างถูกต้อง 100% ว่าในอนาคตสภาพน้ำท่าหรือน้ำไหลเข้าเขื่อนภูมิพลจะเป็นอย่างไร แต่เพื่อเป็น แนวทางสำหรับการเตรียมการป้องกันหรือรับมือสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตภายใต้ สมมติฐานต่างๆ อาจเป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนหรือการศึกษาต่อในอนาคตได้

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 แบบจำลอง SiBUC Land Surface Model นี้ยังมีข้อมูลอีกหลายชนิดที่เป็นข้อมูล สำหรับนำเข้าแบบจำลองที่ผู้ศึกษาใช้ข้อมูลที่มาจากการวิเคราะห์/สังเคราะห์ ข้อมูลที่ตรวจวัดด้วย ดาวเทียมระยะไกล ข้อมูลระดับโลกที่ได้รวบรวมจากงานศึกษาทางวิชาการแหล่งข้อมูลต่างๆ ที่อาจมีความละเอียด หรือความเป็นตัวแทนของข้อมูลในระดับลุ่มน้ำของประเทศไทยไม่มากนัก เช่น ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิว (Surface Temperature) ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) รังสี คลื่นยาว (Long Wave Radiation) รังสีคลื่นสั้น (Short Wave Radiation) ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Pressure) ความเร็วลม (Wind Speed) ข้อมูลชั้นดิน/ชนิดดิน (Soil Physical Parameter) และข้อมูลระดับ (Elevation) ในอนาคตหากมีผู้สนใจศึกษาเพิ่มเติม อาจพิจารณา เลือกลงข้อมูลข้างต้นที่มีความละเอียด น่าเชื่อถือ และเป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษามากขึ้น

5.4.2 ในการศึกษาความอ่อนไหวของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินต่อผลกระทบ น้ำท่าในการศึกษานี้ เน้นศึกษาการลดลงของพื้นที่ป่า 2 ชนิด (ป่าไม่ผลัดใบ และป่าผลัดใบ) เปลี่ยนไป เป็นพื้นที่พืชไร่ พื้นที่นาข้าว และพื้นที่ชุมชน เพียงแค่ 6 กรณีเท่านั้น ซึ่งสังเกตจากแนวโน้มการ เปลี่ยนแปลงจากสถิติในอดีตของกรมพัฒนาที่ดิน ยังมีอีกหลายกรณีที่สามารถเกิดขึ้นได้ เช่น การ เพิ่มขึ้นของพื้นที่ทุ่งหญ้า การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ป่าปลูก สวนป่าผสม เป็นต้น ซึ่งไม่ได้ทำการศึกษาไว้ ดังนั้น ในอนาคตหากมีผู้สนใจ อาจศึกษาเพิ่มเติมในการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินกรณีอื่น เพื่อให้ ครอบคลุมเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในพื้นที่ได้ อีกทั้งในการศึกษานี้ เลือกศึกษาเฉพาะพื้นที่ เหนือเขื่อน ภูมิพล เหนือเขื่อนสิริกิติ์ และพื้นที่ทั้งลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน โดยศึกษาเพียงผลของการ เปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเป็นสัดส่วนคงที่ในทุกๆกริด ไม่ได้พิจารณาลักษณะเฉพาะทางกายภาพของ พื้นที่ลุ่มน้ำสายหลักแต่ละลุ่มน้ำ ดังนั้นจึงเป็นผลที่เกิดขึ้นภายใต้เงื่อนไขเท่านั้น ในอนาคตการใน ศึกษาต่อจึงควรพิจารณาการเปลี่ยนแปลงเป็นรายลุ่มน้ำที่มีลักษณะทางกายภาพคล้ายคลึงกันซึ่ง อาจจะได้ผลการศึกษาที่ดียิ่งขึ้น

5.4.3 การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาการจำลองสภาพพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนบน ครอบคลุมพื้นที่ 4 ลุ่มน้ำหลัก คือ ปิง วัง ยม และน่าน โดยมีสถานีที่ใช้ตรวจสอบเพียงแค่ 10 สถานี โดยสถานีส่วนใหญ่ตั้งอยู่ใน ลุ่มน้ำปิง และลุ่มน้ำน่าน ในส่วนลุ่มน้ำยม และลุ่มน้ำวังมีเพียงลุ่มน้ำละ 1 สถานี เท่านั้น จึงอาจไม่สามารถเป็นตัวแทนของผลในลุ่มน้ำได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ซึ่งเกิดจากข้อจำกัดทางด้านเวลา และการขาดข้อมูลสำหรับตรวจสอบความถูกต้องในช่วงเวลาในอดีต ดังนั้นหากในอนาคตมีผู้สนใจจะศึกษาต่อ อาจพิจารณาศึกษาในพื้นที่ลุ่มน้ำวังและลุ่มน้ำยมเพิ่มเติม เพราะต่างก็เป็นพื้นที่สำคัญที่จะรับน้ำและส่งต่อไปถึงพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

5.4.4 การศึกษาครั้งนี้มีสมมติฐานหลักของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต คือ ภาพจำลองของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกชนิด RCPs 6.0 หรือ A1B ซึ่งเป็นเพียงหนึ่งในภาพจำลองทั้งหมดเท่านั้น ดังนั้น ผลกระทบในอนาคตที่จะเกิดขึ้นตามการคาดการณ์ในการศึกษานี้ อาจเกิดขึ้นเมื่อลักษณะและแนวโน้ม ของการพัฒนามีทิศทางที่สอดคล้องกับภาพจำลอง RCPs 6.0 หรือ A1B เท่านั้น ซึ่งเป็นความไม่แน่นอนและข้อจำกัดส่วนหนึ่งของการศึกษา ในอนาคตหากมีผู้สนใจศึกษาเพิ่มเติม อาจพิจารณาถึงภาพจำลองอื่นๆด้วย เช่น RCPs 2.6 RCPs 4.5 หรือ RCPs 8.5 เป็นต้น

5.4.5 ในปัจจุบันแบบจำลองภูมิอากาศโลกมีมากมายหลายชนิดและจากหลายสถาบัน ซึ่งแต่ละแบบจำลองมีข้อดี/ข้อเสีย และความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่แตกต่างกันไป ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ เลือกใช้เพียงแบบจำลองชนิดเดียว คือ แบบจำลอง MRI-AGCM3.2S ซึ่งได้เลือกจากการศึกษา ทบทวนวรรณกรรม เอกสารทางวิชาการ ที่ใช้แบบจำลองภูมิอากาศ MRI แบบจำลอง SiBUC และพื้นที่ศึกษาใกล้เคียงกัน ซึ่งแบบจำลอง MRI-AGCM3.2S สามารถใช้เป็นตัวแทนของข้อมูลฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาได้ดี อีกทั้งยังจำลองสภาพน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาได้ดีอีกด้วย แต่ในอนาคตหากมีการนำแบบจำลองภูมิอากาศโลกชนิดอื่นมาศึกษาเปรียบเทียบผลความถูกต้องและเหมาะสมกับพื้นที่เพิ่มเติมเพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่ดียิ่งขึ้นก็มีความน่าสนใจไม่น้อย เช่น แบบจำลอง GFDL ECHAM5 CSIRO HadCM เป็นต้น

5.4.6 เทคนิคการปรับแก้ความเอนเอียงของข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกมีอยู่มากมายหลายวิธี และมีงานวิจัย เอกสารทางวิชาการรับรองมากมาย ซึ่งในการศึกษานี้ ได้ใช้ข้อมูลฝนจากแบบจำลองภูมิอากาศโลก MRI-AGCM3.2S ที่ผ่านการปรับแก้ความเอนเอียงเชิงสถิติด้วยวิธี Hybrid Quartile Method จากงานวิจัยที่ศึกษาภายใต้โครงการการคาดการณ์ปริมาณน้ำฝนที่เปลี่ยนแปลงสูงสุดในระดับลุ่มน้ำของประเทศไทยและจีน (Koontanakulvong et al., 2014) ซึ่งจากศึกษาพบว่า การปรับแก้ให้ผลการกระจายตัวที่ค่อนข้างดี สามารถสะท้อนลักษณะของฝนสังเกตการณ์ได้ชัดเจน และสามารถให้ปริมาณฝนช่วงลำดับเปอร์เซ็นต์สูงๆ (มากกว่าร้อยละ 95) ได้

ดี ในอนาคตหากมีผู้สนใจอาจทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการปรับแก้เพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษามากที่สุด

5.4.7 การศึกษาครั้งนี้มีสมมติฐานหลัก ของการเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในอนาคต คือภาพจำลองของการบริหารจัดการพื้นที่แบบบูรณาการ ตามนโยบายระยะยาวด้านสิ่งแวดล้อมของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมปีค.ศ. 1997 (Trisurat et al., 2010) โดยใช้แบบจำลอง Dyna-CLUE ดังนั้น ผลกระทบในอนาคตที่จะเกิดขึ้นตามการคาดการณ์ในการศึกษานี้ อาจเกิดขึ้นเมื่อลักษณะและแนวโน้มของการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่มีทิศทางที่สอดคล้องกับภาพจำลองเท่านั้น ซึ่งเป็นความไม่แน่นอนและข้อจำกัดของการศึกษา ในอนาคตหากมีผู้สนใจศึกษาเพิ่มเติม อาจพิจารณาถึงภาพจำลองอื่นๆ ภายใต้สมมติฐานอื่นด้วย โดยอาจจะอ้างอิงจากงานศึกษาทางวิชาการ หรือนโยบายภาครัฐเกี่ยวกับการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมในอนาคต เป็นต้น



รายการอ้างอิง



รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมชลประทาน. 2555. ข้อมูล 25 ลุ่มน้ำของไทย. โครงการศึกษาเพื่อทำแผนหลักรองรับการ
พัฒนาแหล่งน้ำและปรับปรุงโครงการชลประทาน สำหรับแผนฯ 9 (เมษายน).

กรมชลประทาน. 2556. ข้อมูลน้ำท่ารายเดือน(อท.05), ข้อมูลน้ำท่ารายปี (อท.41). ศูนย์อุทกวิทยา
และบริหารน้ำภาคกลาง.

กรมชลประทาน. 2558. ข้อมูลน้ำท่ารายเดือน(อท.05), ข้อมูลน้ำท่ารายปี (อท.41). ศูนย์อุทกวิทยา
และบริหารน้ำภาคเหนือตอนบน.

กรมชลประทาน. 2558. ข้อมูลน้ำท่ารายเดือน(อท.05), ข้อมูลน้ำท่ารายปี (อท.41). ศูนย์อุทกวิทยา
และบริหารน้ำภาคเหนือตอนล่าง.

กรมชลประทาน. 2558. ข้อมูลน้ำท่ารายเดือน(อท.05), ข้อมูลน้ำท่ารายปี (อท.41). ศูนย์อุทกวิทยา
ชลประทานภาคกลาง.

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย. 2556. รายงานสถานการณ์ภัยพิบัติ ของประเทศไทย ปี พ.ศ.
2532 - 2553. ศูนย์อำนวยการบรรเทาสาธารณภัย.

กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. สรุปประเภทการใช้ที่ดินประเทศไทยปี พ.ศ. 2543, 2549 และ 2552.
ส่วน

วิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินนัยนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2558. สถิติรายเดือน, แผน/ผล การระบายน้ำจากเขื่อนภูมิพล
และเขื่อนสิริกิติ์. ศูนย์ติดตามสถานการณ์น้ำ.

กัณฐรีย์ บุญประกอบ, จิรสรณ์ สันตีสิริสมบุญ, จารุทัศน์ สันตีสิริสมบุญ, นิพัทธ์ สัมกลีบ, มนชัย ขอบธรรม และทรงศักดิ์ ช่วยบำรุง. 2552. การศึกษาวិเคราะห์และสังเคราะห์งานวิจัยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

กัณฐรีย์ บุญประกอบ, จิรสรณ์ สันตีสิริสมบุญ, จารุทัศน์ สันตีสิริสมบุญ, วรัญญู วงษ์เสรี, กัมพล พรหมจิระประวัติ, พัทธมน แก้วแพรง, สิริวรินทร์ เพชรรัตน์, ยอด สุขะมงคล, มนชัย ขอบธรรม, นิพัทธ์ สัมกลีบ, ปวันรัตน์ อักษรสิงห์ชัย, ขวัญฤทัย ศรีแสงฉาย และทรงศักดิ์ ช่วยบำรุง. 2553. การสร้างภาพจำลองของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทยโดยการย่อส่วนแบบจำลองภูมิอากาศโลก. รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

กัณฐรีย์ บุญประกอบ. 2554. การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศเชิงวิทยาศาสตร์. รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1. องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ: คณะทำงานกลุ่มที่ 1 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

คมสัน ศิริวงศ์วัฒนา. 2550. การประยุกต์แบบจำลอง CLUE-S เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน. ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่หยอด อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่: การจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จิรสรณ์ สันตีสิริสมบุญ และเจียมใจ เครือสุวรรณ. 2554. ภาพจำลองภูมิอากาศโลกและภูมิอากาศอนาคต. ใน รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานภาพองค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1, องค์ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. คณะทำงานกลุ่มที่ 1 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

เจียมใจ เครือสุวรรณ, ชาคกริต โชติอมรศักดิ์, อรวรรณ วิรัชท์เวชยันต์, ภาคภูมิ รัตน์จิราณุกุล, ธีรชัย อำนวยล้อเจริญ และปิยะ ผ่านศึก. 2553. การจำลองการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศสำหรับประเทศไทยด้วยแบบจำลองท้องถิ่น MM5. รายงานฉบับสมบูรณ์เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

- ดุซงกี ศุขวัฒน์ และคนอื่น ๆ. 2553. การทดสอบและปรับปรุงแบบจำลอง Weather Research and Forecasting (WRF) ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในประเทศไทย. รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- นพคุณ โสมสิน. 2549. อุทกภัยลุ่มน้ำเจ้าพระยา. สมาคมนักอุทกวิทยาไทย สำนักงานเลขาธิการสมาชิกของสมาคมนักอุทกวิทยาไทย.
- นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2549. การจำลองแบบการจัดการลุ่มน้ำและระบบสิ่งแวดล้อม. หน้า 588. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วสันต์ ออวัฒนา. 2555. การคาดการณ์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดินในจังหวัดภูเก็ต. สาขาวิชาภูมิศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ศุภกร ชินวรรณ, วิริยะ เหลืองอร่าม, เฉลิมรัฐ แสงมณี และจุฑาทิพย์ ธนภิตดีเมธาวุฒิ. 2552. การจำลองสภาพภูมิอากาศอนาคตสำหรับประเทศไทยและพื้นที่ข้างเคียง. รายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สิรินทรเทพ เต่าประยูร, เกษมสันต์ มโนมันพิบูลย์, เมกา ออกทาเวียอาณี และกฤตย์ ต่อศรี. 2553. การศึกษาและพัฒนาแบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับภูมิภาค RegCM 3 สำหรับประเทศไทย. ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ เสนอต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สุจิริต คุณธนกุลวงศ์. 2553. สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงของไทยและผลกระทบต่อด้านน้ำ. หน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สุจิริต คุณธนกุลวงศ์. 2554. ความเสี่ยงและความเปราะบางทางกายภาพและชีวภาพของทรัพยากรธรรมชาติและระบบนิเวศน์ อุทกวิทยา ทรัพยากรน้ำผิวดินและใต้ดิน. ใน รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานการณ์องค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย ครั้งที่ 1. องค์ความรู้ด้านผลกระทบ ความอ่อนแอและการปรับตัว. คณะทำงานกลุ่มที่ 2 สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.
- สุภัทท์ วงศ์วิเศษสมใจ. 2549. แผนแม่บทการบรรเทาอุทกภัยในลุ่มน้ำเจ้าพระยา. สมาคมนักอุทกวิทยาไทย สำนักงานเลขาธิการสมาชิกของสมาคมนักอุทกวิทยาไทย.

อำนาจ ชิตไธสง. 2556. สรุปสาระสำคัญรายงานการสังเคราะห์และประเมินความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ ครั้งที่ 5 ภายใต้คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ. Global warming forum โครงการพัฒนาความรู้และยุทธศาสตร์ด้านนโยบายสิ่งแวดล้อม.

ภาษาอังกฤษ

Ament, F., and Simmer, C. 2006. Improved representation of land-surface heterogeneity in a non-hydrostatic numerical weather prediction model, Bound.-Lay. Meteorol., 121(1), 153-174.

Avissar, R., and Pielke, R. A. 1989. A parameterization of heterogeneous land surfaces for atmospheric numerical models and its impact on regional meteorology. Monthly Weather Review 117: 2113-2136.

Bader, D.C., et al. 2008. Climate models: An assessment of strengths and limitations. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Department of Energy, Office of Biological and Environmental Research, Washington, D.C.

Bonan, G.B. 1996. A land surface model (LSM version 1.0) for ecological, hydrological, and atmospheric studies: technical description and user's guide. NCAR Technical Note NCAR/TN-417+STR. National Center for Atmospheric Research 1-150.

Bonan, G.B. 2002. Ecological Climatology. Concepts and Applications. Cambridge University Press, Cambridge. Bronstert, A., Niehoff, D., and Burger, G. 2002. Effects of climate and land-use change on storm runoff generation: present knowledge and modelling capabilities. Hydrological Processes Hydrol. Process. 16, 509–529 DOI: 10.1002/hyp.326.

- Champathong, A., Komori, D., Kiguchi, M., Sukhaphunnaphan, T., Oki, T., and Nakaegawa, T. 2013. Future projection of mean river discharge climatology for the Chao Phraya River basin. Hydrological Research Letters 7(2), 36–41.
- Champeaux, J. L., Masson V., and Chauvin, F. 2006. ECOCLIMAP: a global database of land surface parameters at 1 km resolution. Meteorological Applications.
- Chin, M., Ginoux, P., Kinne, S., Torres, O., Holben, B. N., Duncan, B. N., Marti, R.V., Logan, J. A., Higurashi, A., and Nakajima, T. 2002. Tropospheric aerosol optical thickness from the GOCART model and comparisons with satellite and sun photometer measurements. J. Atmos. Sci., 59, 461-483.
- Christensen, N., and Lettenmaier, D. P. 2006. A multimodel ensemble approach to assessment of climate change impacts on the hydrology and water resources of the Colorado River basin. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 11(4): 1417-1434.
- Crooks, S., Davies, H., and Goodsell, G. 2000. Rainfall-Runoff modeling and the impact of landuse change in the Thames catchment. CEH Wallingford, Crowmarsh Gifford, Wallingford, Oxon., OX10 8BB, United Kingdom.
- Davin, E. 2013. Introduction to Land Surface Modelling. Land-Climate Interactions. The Institute for Atmospheric and Climate Science of the Swiss Federal Institute of Technology Zurich.
- Dickinson, R. 1984. Modeling Evapotranspiration for 3-dimensional Global Climate Modelx. Washington DC American Geophysical Monograph Series 01/1984; 29: 58-72. DOI: 10.1029/GM029p0058.
- Fekete, S. F., Tchuente, A. T. K., Roujean, J. L., Masson, V., Martin, E., and Moigue, P. L. 2013. ECOCLIMAP-2/Europe: a twofold database of ecosystems and surface parameters at 1-km resolution based on satellite information for use in land surface, meteorological and climate models. Geo-scientific Model Development. 6, 563–582, doi:10.5194/gmd-6-563-2013.

- GAME-T2 Data Center. 2005. <http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/GAME-T/GAIN-T/index.html>
[accessed Mar.20, 2013]
- Hess, M., Koepke, P., and Schult, I. 1998. Optical properties of aerosols and clouds: the software package OPAC. Bull. Amer. Meteor. Soc., 79, 831-844.
- Hirabayashi, Y., Kanae, S., Motoya, K., Masuda, K., and Doll, P. 2008. A 59-year (1948–2006) global near-surface meteorological data set for land surface models. Part I: Development of daily forcing and assessment of precipitation intensity. Hydrological Research Letters 2, 36–40 Published online in J-STAGE (www.jstage.jst.go.jp/browse/HRL).
DOI: 10.3178/HRL.2.36.
- Hirai, M., Sakashita, T., Kitagawa, H., Tsuyuki, T., Hosaka, M., and Oh'izumi, M. 2007. Development and validation of a new land surface model for JMA's operational global model using the CEOP observation dataset. J. Meteor. Soc. Japan, 85A, 1–24.
- Hunukumbura, P. B., and Yasuto, T. 2012. River Discharge Projection under Climate Change in the ChaoPhraya River Basin, Thailand, Using the MRI-GCM3.1S Dataset. Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II (2012), 90A: 137-150.
- IPCC Working Group III. 2000. IPCC Special Report Emission Scenarios–Summary for Policymakers.
- IPCC Climate change. 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability, Cambridge University Press, http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg2, 2001.

- IPCC Climate Change. 2007. Summary for Policymakers. In: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC Working Group I. 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- IPCC. 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC Climate Change. 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Kanamitsu, T., Tada, K., Kudo, T., Sato, N., and Isa, S. 1983. Description of the JMA operational spectral model. J. Meteor. Soc. Japan, 61, 812-828.
- Komori, D., et al. 2012. Characteristics of the 2011 Chao Phraya River flood in Central Thailand. Hydrological Research Letters, 6, 41-46.
- Koontanakulvong, S., and Chaowiwat, W. 2010a. W. Technical Report: GCM data comparison and its application to water disaster adaptation measures in Thailand.
- Koontanakulvong, S., and Chaowiwat, W. 2010b. W. Technical Report: Corrected MRI GCM data for Thailand.
- Koontanakulvong, S., Hoisungwan, P., and Hanittinan, P. 2014. Precipitation Patterns and Extremes in Thailand: Comparison between MRI-AGCM 3.1S and 3.2S. The Third China – Thailand Joint Seminar on Climate Change.

- Kotsuki, S., Tanaka, K., and Komori, D. 2013a. Long-term Water Balance Analysis Using Different Precipitation Products In Upper Chao Phraya River, Thailand. 6th Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources conference, pp.6.
- Kotsuki, S., and Tanaka, K. 2013b. Impacts of Mid-Rainy Season Rainfall on Runoff into the Chao Phraya River, Thailand. Journal of Disaster Research Vol.8 No.3 2013.
- Kotsuki, S., and Tanaka, K. 2013c. Uncertainties of precipitation products and their impacts on runoff estimates through hydrologic land surface simulation in Southeast Asia. Hydrological_research letters 7(4), 79-84.
- Kotsuki, S., Tanaka, K., and Watanabe, S. 2014. Projected hydrological changes and their consistency under future climate in the Chao Phraya River Basin using multi-model and multi-scenario of CMIP5 dataset. Hydrological Research Letters 8(1), 27–32.
- Kure, S., and Tebakari, T. 2012. Hydrological impact of regional climate change in the Chao Phraya River Basin, Thailand. Hydrological Research Letters 6, 53–58, Published online in J-STAGE (www.jstage.jst.go.jp/browse/HRL). DOI: 10.3178/HRL.6.53.
- Manabe, S. 1969. Climate and Ocean circulation, I, The atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface, Mon. Weather Rev., 97, 739-774.
- Mellor, G. L., and Yamada, T. 1974. A hierarchy of turbulence closure models for planetary boundary layers. J. Atmos. Sci., 31, 1791–1806.
- Mizuta, R., Yoshimura, H., Murakami, H., Matsueda, M., Endo, H., Ose, T., Kamiguchi, K., Hosaka, M., Sugi, M., Yukimoto, S., Kusunoki, S., and Kitoh, A. 2011. Climate Simulations Using MRI-AGCM3.2 with 20-km Grid. Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 90A, pp. 233-258, 2012. DOI:10.2151/jmsj.2012-A12.

- Masson, V. 2000. A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models'Boundary-Layer Meteorol. 94(3), 357-397.
- Moss, H. R., et al. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Journal of nature. Vol 463/11 February 2010
- Myat Myat Thi, Gunawardhana, L. N., and Kazama, S. 2011. A comparison of historical land-use change patterns and recommendations for flood plain developments in three delta regions in Southeast Asia. Department of Civil Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan.
- Onogi, K., et al. 2007. The JRA-25 reanalysis. Journal of the Meteorological Society of Japan, 85, 369-432.
- Pakoksung, K., et al. 2011. The Effect of Landuse change on runoff in the Nan basin. Conference paper in Society for Social Management Systems.
- Phakularbdang, U. 2006. Prediction model for land use changes of Krabi province. Information management on environmental and resources, Faculty of graduate studies, Mahidol University. ISBN 974-04-7136-6.
- Randall, D. A., Wood, R. A., Bony, S., Colman, R., Fichefet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J., Stouffer, R. J., Sumi, A., and Taylor, K. E. 2007. Climate Models and Their Evaluation. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Research Institute-Earth System Model v1 (MRIESM1)—Model description—. Tech. Rep. Res. Inst., 64, 88 pp.
- Richard, J. F. 1990. The Earth as Transformed by Human Action. Cambridge University Press Land Transformation. pp. 163-178.
- Sellers, P. J., Mintz, Y., Sud, Y. C., and Dalcher, A. 1986. A Simple Biosphere Model (SIB) for Use within General Circulation Models. J. Atmos. Sci., 43, 505-531. DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469\(1986\)043<0505:ASBMFU>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0469(1986)043<0505:ASBMFU>2.0.CO;2)

- Shi, P. J., Yuan, Y., and Zheng, J. 2002. The Effect of Land Use/Cover Change on Surface Runoff in Shenzhen Region, China. Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing, China.
- Shuttleworth, W. J., Yang, Z. L., and Arain, M. A. 1997. Agregation rules for surface parameters in grobal models, Hydrol. Earth System Sci., 1, 217-266.
- Smith, J. B., and Hulme, M. 1998. Climate Change Scenarios (Chapter 3). Handbook on Methods of Climate Change Impact and Adaptation Strategies. Version 2.0, Amsterdam.
- Souma, K., Tanaka, K., Nakakita, E., and Ikebuchi, S. 2007. Coupling a mosaic Land Surface Scheme (SIBUC) with a non-hydrostatic Atmospheric Model (ARPS). Kyoto University, Kyoto, Japan.
- Sperber, K. R., et al. 2013. The Asian summer monsoon: an intercomparison of CMIP5 vs. CMIP3 simulations of the late 20th century. Climate Dynamics. Observational, Theoretical and Computational Research on the Climate System. ISSN 0930-7575. Volume 41 Combined 9-10 .
- Sriwongsitanon, N., Taesombat, W. 2011. Effects of land cover on runoff coefficient.of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University.
- Tanaka, K. 2011. Application of Land Surface Model. Water Resources Research Center, DPRI, Kyoto University.
- Tanaka, K. 2011. Modeling of Land Surface Processes. Water Resources Research Center, DPRI, Kyoto University.
- Tanaka, K., and Ikebuchi, S. 1994. Simple Biospher Model Including Urban Canopy (SIBUC) for Regional or Basin-Scale Land Surface Processes, Proc. Of International Symposium on GEWEX Asian Monsoon Experiment., 59-62.
- Tanaka, K., Nakakita, E., and Ikebuchi, S. 1998. Land-surface parameterization in the Lake Biwa Project. Annu. J. Hydraul. Eng., 42, 79-84.

- Tanaka, T. Y., Orito, K., Sekiyama, T., Shibata, K., Chiba, M., and Tanaka, H. 2003. MASINGAR, a global tropospheric aerosol chemical transport model coupled with MRI/JMA98 GCM: Model description. *Pap. Meteor. Geophys.*, 53, 119–138.
- Thanapakpawin, P., et al. 2007. Modeling effects of landuse change on the hydrologic regime of the Mae Chaem river basin. *Journal of Hydrology*, Vol 334 , NW Thailand., 215-230.
- Tiedtke, M. 1993. Representation of clouds in large scale models. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 3040–3061.
- Trisurat, Y., Alkemade, R., and Verburg, P. H. 2010. Projecting Land-Use Change and Its Consequences for Biodiversity in Northern Thailand. *Environmental Management* 45:626–639 DOI 10.1007/s00267-010-9438-x (Springer Science+Business Media).
- Turner, B.L. II., Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L., and Leemans, R. 1995. Land-use and land-cover change. Science/Reserach plan, IGBP report no. 35, HDP Report no., 7, 132.
- Waiyasusri, K. 2011. Factor and their relationships affecting land use change during 1988-2007 and predicting future land use by CLUE-s model in Huai Thap Salao watershed, Uthai Thani. Department of Geology Faculty of Science Chulalongkorn University.
- Walsh, Stephen J., Entwisle, B., Rindfuss, Ronald R., and Page, Philip H.. 2006. Spatial simulation modelling of land use/land cover change scenarios in northeastern Thailand: a cellular automata approach. Department of Geography & Carolina Population Center. University of North Carolina–Chapel Hill, Chapel Hill, USA

- Watanabe, S., Hirabayashi, Y., Kotsuki, S., Hanasaki, N., Tanaka, K., Mateo, C. M. R., Kiguchi, M., Ikoma, E., Kanae, S., and Oki, T. 2014. Application of performance metrics to climate models for projecting future river discharge in the Chao Phraya River basin. Hydrological Research Letters 8(1), 33–38 (2014) Published online in J-STAGE (www.jstage.jst.go.jp/browse/hr). doi: 10.3178/hr.8.33.
- Yatagai, A., Kamiguchi, K., Arakawa, O., Hamada, A., Yasutomi, N., and Kitoh, A. 2012. APHRODITE: Constructing a Long-term Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia based on a Dense Network of Rain Gauges. Bulletin of American Meteorological Society, doi:10.1175/BAMS-D-11-00122.1.
- Yukimoto, S., Noda, A., Kitoh, A., Sugi, M., Kitamura, Y., Hosaka, M., Shibata, K., Maeda, S., and Uchiyama, T. 2001. The New Meteorological Research Institute Coupled GCM (MRI-CGCM2). Meteorological Research Institute, Japan.
- Yukimoto, S., Yoshimura, H., Hosaka, M., Sakami, T., Tsujino, H., Hirabara, M., Tanaka, T. Y., Deushi, M., Obata, A., Nakano, H., Adachi, Y., Shindo, E., Yabu, S., Ose, T., and Kitoh A. 2011. Meteorological Research Institute Earth System Model v1 (MRI-ESM1) Model description. Tech. Rep Meteor.Res.Inst., 64, 88.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

ข้อมูลน้ำท่ารายเดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตาราง ก-1 ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนสถานี P.73

ปีน้ำ	ธ.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ธ.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ปริมาณน้ำ รายปี ล้าน ลบ.ม.	ปริมาณน้ำ เฉลี่ย ลบ.ม./วิ
1998	5.22	25.42	13.43	45.78	168.73	428.08	59.13	67.69	21.53	3.33	0.07	0.18	838.57	26.59
1999	4.22	234.55	175.23	34.63	317.48	672.62	546.64	694.81	117.63	32.01	42.27	35.90	2907.97	92.21
2000	108.98	435.69	401.67	285.55	444.23	712.75	636.45	406.85	98.33	40.23	9.72	53.36	3633.80	115.23
2001	15.37	172.66	106.81	298.00	1220.32	721.88	634.27	490.03	166.29	73.13	22.88	5.32	3926.96	124.50
2002	25.80	255.84	175.94	141.56	561.75	2053.17	808.25	1021.3	430.81	218.00	81.56	34.40	5808.40	184.18
2003	87.60	170.44	154.71	203.96	313.08	942.20	259.84	121.51	33.40	8.45	1.79	0.59	2297.55	72.85
2004	0.00	126.71	267.92	392.07	622.64	1363.88	471.06	162.54	97.98	62.29	39.17	55.38	3661.64	116.11

ตาราง ก-2 ข้อมูล Inflows เขื่อนภูมิพล

ปีน้ำ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ธ.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ธ.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
1981	100	69	17	170	200	297	679	1109	955	700	924	384	5604
1982	173	34	27	72	237	634	307	677	1503	1175	425	205	5469
1983	108	46	14	0	36	68	37	402	1139	1485	1407	370	5112
1984	149	75	9	18	53	304	189	514	940	1311	398	191	4151
1985	70	34	13	24	112	272	414	523	1241	1156	1467	424	5750
1986	193	127	73	80	297	225	329	679	938	615	286	183	4025
1987	104	30	12	46	43	224	19	893	1246	979	793	268	4657
1988	110	40	1	8	340	769	533	752	848	1813	714	326	6254
1989	165	67	9	0	140	368	351	514	664	1458	448	216	4400
1990	78	23	3	12	267	292	205	440	1014	943	465	182	3924
1991	50	9	0	0	41	247	182	924	1227	863	505	168	4216
1992	102	25	5	0	1	31	143	611	1305	1208	353	351	4135
1993	151	32	31	0	49	68	73	174	925	612	164	102	2381
1994	32	12	62	84	253	510	718	1997	2381	988	441	334	7812
1995	168	88	91	46	234	170	337	1453	2191	1118	468	243	6607
1996	173	244	126	117	221	444	392	1003	2101	1227	734	247	7029
1997	166	93	105	119	40	33	296	916	1003	1164	334	146	4415
1998	80	51	27	2	13	4	99	262	690	137	69	36	1470
1999	4	0	2	5	486	370	148	871	1168	1232	1271	251	5808
2000	110	95	46	176.79	696.25	645.12	483.57	623.3	1095.7	949.82	518.39	194.37	5634.28
2001	98.98	29.39	134.48	0	233.98	149.99	408.85	1406	758.69	745.77	529.52	193.51	4689.2
2002	126.44	48.32	12.27	16.14	379.35	251.18	326.3	945.49	2990.2	1111.8	1286.9	589.41	8083.83
2003	384.33	205.31	149.18	65.93	133.65	126.19	354.03	444.41	1134.9	423.52	137.37	7.67	3566.49
2004	3.32	0	0	0	350.05	663.06	467.9	795.64	1454.6	597.61	198.91	109.2	4640.24

ตาราง ก-3 ข้อมูล Outflows เชื้อนภูมิพล

ปี	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
1981	275	449	659	765	866	597	116	126	183	223	332	191	4782
1982	294	605	871	579	537	493	779	770	235	143	266	233	5805
1983	401	700	987	676	594	357	444	178	54	17	13	31	4452
1984	136	644	832	745	512	192	303	451	204	44	213	109	4385
1985	280	504	685	527	389	190	199	293	127	28	34	73	3329
1986	213	634	797	704	518	539	516	335	234	486	613	213	5802
1987	297	593	926	806	487	290	629	587	109	38	270	42	5074
1988	205	364	1074	944	225	60	124	21	21	17	15	118	3188
1989	421	812	1253	1140	579	116	231	699	356	39	430	152	6228
1990	363	552	919	824	572	416	314	368	410	317	385	305	5745
1991	372	351	571	482	196	87	183	254	135	35	309	309	3284
1992	411	259	669	600	418	103	84	22	48	35	137	323	3109
1993	241	450	602	553	435	409	330	396	54	182	431	127	4210
1994	138	185	220	168	150	75	38	46	81	195	413	339	2048
1995	307	516	848	690	594	620	294	102	33	62	249	328	4643
1996	566	865	1088	952	730	644	525	636	539	249	471	350	7615
1997	648	908	1112	867	943	662	559	254	191	203	397	451	7195
1998	526	675	977	910	474	224	105	185	32	64	216	146	4534
1999	253	828	219	162	37	6	84	86	56	7	59	103	1900
2000	342	593	682	442	281	86	77	333	194	54	110	318	3512
2001	529	652	535	674	411	109	282	133	128	125	83	346	4007
2002	461	584	791	680	541	255	322	208	44	285	953	736	5860
2003	722	861	993	916	1041	858	430	360	169	218	651	659	7878
2004	617	635	695	599	332	147	357	184	168	228	455	326	4743

ตาราง ก-4 ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนสถานี P.7A

ปีน้ำ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ปริมาณน้ำ รายปี ล้าน ลบ.ม.	ปริมาณน้ำ เฉลี่ย ลบ.ม./วิ
1981	207	396	572	776	749	678	416	616	477	514	857	275	6533	207.16
1982	263	514	795	629	616	620	866	916	504	471	330	250	6774	214.8
1983	365	694	1011	758	720	532	498	342	638	1271	871	133	7833	248.38
1984	150	557	782	674	500	284	280	476	433	536	322	199	5193	164.67
1985	287	439	664	539	473	334	275	241	432	736	517	263	5200	164.89
1986	354	592	775	488	664	612	626	545	719	801	716	286	7178	227.61
1987	264	565	910	816	591	532	716	836	806	483	505	177	7201	228.34
1988	252	348	1015	928	423	464	447	316	572	1489	174	104	6532	207.13
1989	307	705	1177	1054.5	635.3	391.7	246.2	804.4	581.2	882.3	615	317.2	7716.8	244.7
1990	350.5	547	978.6	868.2	716.1	559	349.7	323.3	609	724.6	613	376.8	7015.8	222.47
1991	337.1	359.3	506.5	458.6	184.1	123.1	148.4	293.8	320.2	503.9	355.5	372.8	3963.3	125.68
1992	406.9	539.7	640.3	626.9	492.1	96.6	89.3	284.7	221.7	792.4	307.7	377.7	4876	154.62
1993	258	447.1	554.8	604.6	542.3	473	278.6	413.3	497.3	486.6	496.4	125.7	5177.6	164.18
1994	63	81.5	122.2	137.8	359.9	569.3	360.2	615.3	1161.8	557.3	234	324.1	4586.5	145.44
1995	348.5	527.5	750.1	601.2	561.6	545.1	412.4	405.1	1003.2	564.1	380.7	419.5	6518.9	206.71
1996	476.3	688.2	897.9	1005.1	763.8	793.9	566.3	795.3	1691.9	1134.4	725.1	475.7	10013.9	317.54
1997	483	699.1	773.6	810.7	854.5	569.5	496.7	394.5	345.3	565.3	374.6	382.4	6749.1	214.01
1998	470.8	550.2	766.1	782.9	531.7	255	222.1	330.8	308.2	226	324	226.4	4994.1	158.36
1999	332.2	356.2	275.3	183.3	323.7	219	130.1	222.2	484.9	1066.9	1292.3	159.6	5045.7	160
2000	339.6	553.6	651.1	398.9	473	411.7	179.6	536	589.7	705.2	348.2	304.2	5490.6	174.11
2001	440.6	581.6	680.8	772.2	903.8	465.7	361.8	736.8	483	882.1	689.8	421.4	7419.6	235.27
2002	498.8	650.1	905.2	711.4	696.7	367.4	388.9	350.2	1989.4	954.4	1765.7	1028.7	10307.1	326.84
2003	741.4	832	983.5	797.3	1015	866.5	477.5	393	651.9	372.1	562.3	538.9	8231.5	261.02
2004	141.9	249.9	145.4	797.3	278.7	151.8	257	200.8	332.4	475.2	462.1	491.8	3984.5	126.35

ตาราง ก-5 ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนสถานี P.17

ปีน้ำ	ธ.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ปริมาณน้ำ รายปี ล้าน ลบ.ม.	ปริมาณน้ำ เฉลี่ย ลบ.ม./วิ
1984	800	641	422	401	503	555	764	363	219	271	495	746	6,181	196
1985	570	491	366	387	387	712	1,211	741	317	230	588	798	6,797	216
1986	ข้อมูลไม่ครบปี													
1987	850	538	501	581	764	1,023	667	598	267	243	305	1,007	7,344	232
1988	ข้อมูลไม่ครบปี													
1989	ข้อมูลไม่ครบปี													
1990	ข้อมูลไม่ครบปี													
1991	517	273	168	168	341	465	717	403	409	372	475	657	4,964	157
1992	536	422	129	76	443	225	1,295	465	366	227	366	563	5,113	162
1993	622	529	538	294	390	347	490	506	185	112	154	215	4,382	139
1994	126	465	820	473	665	1,691	865	395	453	230	361	692	7,236	230
1995	673	637	630	546	669	1,733	1,144	563	465	447	762	1,061	9,330	295
1996	952	886	901	618	767	2,235	1,973	1,050	552	527	763	867	12,091	383
1997	ประเมินน้ำท่าไม่ได้													
1998	ข้อมูลไม่ครบปี													
1999	151	539	382	120	204	535	1,822	1,940	130	165	447	555	6,990	221
2000	379	472	542	179	591	752	1,135	500	241	364	523	573	6,251	198
2001	720	1,227	816	431	901	633	1,154	1,507	461	494	635	909	9,888	
2002	769	732	422	439	399	2,471	1,308	2,149	1,193	761	834	1,053	12,530	
2003	800	1,078	986	682	600	1,071	750	661	679	605	617	632	9,161	
2004	464	456	338	450	523	661	318	345	239	338	304	323	4,759	

ตาราง ก-6 ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนสถานี W.16A

ปีน้ำ	ธ.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ปริมาณน้ำ	ปริมาณน้ำ
													รายปี	เฉลี่ย
													ล้าน ลบ.ม.	ลบ.ม./วิ
1995	1.38	5.60	2.09	4.35	124.75	124.27	43.72	26.23	8.43	4.78	3.18	1.73	350.49	11.11
1996	2.41	4.06	23.64	9.48	67.99	72.31	70.15	27.28	8.05	3.45	1.15	0.64	290.59	9.21
1997	0.94	3.06	1.09	11.08	25.91	68.41	40.29	9.54	3.39	0.89	0.41	0.15	165.15	5.24
1998	0.16	4.62	3.85	10.43	14.75	49.09	8.51	5.68	1.73	0.57	0.40	0.25	100.03	3.17
1999	5.10	25.51	7.03	5.50	21.24	115.29	64.98	40.04	9.38	4.02	1.93	1.97	301.99	9.58
2000	6.75	24.43	15.55	13.51	19.49	30.51	36.64	12.95	4.59	1.90	0.90	4.18	171.39	5.43
2001	1.67	10.43	5.81	18.43	152.01	75.34	33.77	19.89	6.15	3.61	1.74	1.24	330.09	10.47
2002	1.08	35.09	12.92	10.46	40.15	149.00	48.64	71.5	25.45	10.49	3.22	2.15	410.13	13.01
2003	3.82	6.33	5.75	6.24	26.42	143.85	21.20	8.34	3.02	1.73	0.76	0.34	227.78	7.22
2004	0.11	12.11	21.13	28.03	63.63	121.34	24.43	1.32	0.38	0.20	0.12	0.14	272.92	8.65

ตาราง ก-7 ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนสถานี Y.14

ปีน้ำ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ธ.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ปริมาณน้ำ	ปริมาณน้ำ
													รายปี	เฉลี่ย
													ล้าน ลบ.ม.	ลบ.ม./วิ
1981	37.9	23.3	16.5	16.2	262	168	1122	1044	440	462	207	75.8	3874.7	122.87
1982	39.2	19.6	12.5	70.3	36.6	45.3	52.6	105	485	366	76.2	36.1	1344.4	42.63
1983	18	9.5	4.5	2.7	37.6	53.6	89.5	328	898	516	184	63.9	2205.3	69.93
1984	32.5	16.5	8.4	9.8	73.1	121	130.8	205.4	686	568	104.5	48	2004	63.55
1985	18.8	7.7	3.7	6.6	65	76.3	122.3	281.5	575.3	388.8	339.7	97.2	1982.9	62.88
1986	33.8	15.7	8.1	12.4	106.5	73	64.2	316.3	678	167.3	70.1	38	1583.4	50.21
1987	18.1	11	12.4	9.2	20.7	33.6	19.1	613.1	779.3	381.5	143.8	47	2088.8	66.24
1988	23.1	14.4	8.7	4.4	167.6	311.6	536.2	661	305	323.8	85.6	40.2	2481.6	78.69
1989	13.3	5.4	2.2	6.3	127	206.2	230.4	303.8	575.4	431.9	88	42.1	2032	64.43
1990	19.8	11.1	13.3	17.8	63	127.8	124.7	236.7	563.2	230.7	106.7	36.9	1551.7	49.2
1991	19	8.2	2.4	10.4	41	100	24.3	308.6	583.7	313	99.6	36.4	1546.6	49.04
1992	22.8	9.8	16.8	4	2.7	11.9	7.6	265	316.6	534	73.5	69.3	1334	42.3
1993	35.2	11.4	11.2	10.4	25	38.8	83.9	36.6	401.2	164.6	51.1	19.8	889.4	28.2
1994	7	4.1	2.3	39.5	157.9	282.6	278.8	2003	1439.9	377.5	129.1	71	4792.7	151.98
1995	32	20.6	17.4	18.3	56.4	23.3	55.2	1553.9	1780	612.4	355.7	111.6	4636.8	147.03
1996	52.8	38.1	32	27.6	67.1	97.1	56.7	554.5	916	462.6	139.8	38.2	2482.5	78.72
1997	21.7	13.6	12.6	8.4	13.7	12.1	77.5	301.8	603.2	501.2	68.3	23.8	1658	52.57
1998	8.4	4.1	2.7	11.5	16.6	14.4	58.7	159.7	581.8	77.9	27.2	13.5	976.4	30.96
1999	4.3	2.5	0	15.4	64	76.6	56.5	335.6	1131	398.4	244.1	45.6	2373.8	75.27
2000	22.9	13.1	11.5	17.4	222.9	230.6	249.2	467.6	737.2	333.6	148.8	39	2493.7	79.08
2001	20.3	10.6	89.9	26.1	249.6	156.3	306.8	1227.7	819.2	489.2	222.8	62.9	3681.4	116.73
2002	39.8	24.9	24.1	26.8	198.2	162.1	97.4	645.8	1571.2	495.3	292.1	138.2	3715.9	117.83
2003	57.1	30.8	32.5	30.8	33.7	38.8	158.7	451.7	1152.5	193	57	30.5	2267.1	71.89
2004	22.8	18.8	16.1	20.2	46	285.8	246	433	938.4	152.1	47.5	32.4	2259.1	71.63

ตาราง ก-8 ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนสถานี N.64

ปีน้ำ	พ.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ปริมาณน้ำ รายปี ล้าน ลบ.ม.	ปริมาณน้ำ เฉลี่ย ลบ.ม./วิ
1994	16.93	76.61	200.1	427.08	1490	652.89	307.1	127.63	101.36	50.59	27.42	20.56	3,498	110.93
1995	22.39	34.15	69.03	503.98	1481.4	950.51	276	158.13	77.92	51.13	35.46	26.31	3,686	116.89
1996	37.12	46.57	126.48	505.41	721.49	417.25	280.27	133.43	69.35	44.57	25.25	21.77	2428.99	77.02
1997	29.1	41.21	26.28	188.72	443.12	553	249.39	93.55	48.99	32.29	20.42	16	1,742	55.23
1998	35.35	34.93	53.11	231.64	268.71	450.07	118.87	57.76	36.08	22.9	15.46	12.93	1337.82	42.42
1999	22.28	83.44	228.52	230.14	801.86	870.2	309.38	123.28	64.06	41.54	30.34	26.32	2831.34	89.78
2000	23.08	112.89	164.13	605.22	388.2	563.98	197.26	92.66	52.88	36.77	22.02	34.99	2294.08	72.74
2001	21.35	81.03	123.86	488.8	990.47	654.45	297.56	145.37	78.11	49.46	29.6	21.82	2,982	94.55
2002	25.03	231.46	380.51	533.64	853.66	676.51	233	146.08	102.38	70.97	27.04	32.71	3,313	105.06
2003	34.14	35.52	80.38	378.1	532.91	630.89	151.82	65.24	45.05	39.91	26.29	20.02	2,040	64.7
2004	34.72	69.26	200.8	588.09	800.51	1,159	223.64	89.01	62.8	42.01	24.45	26.59	3,321	105.3

ตาราง ก-9 ข้อมูล Inflows เขื่อนสิริกิติ์

ปี	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
1981	100	34	99	79	435	380	2792	1583	1171	618	313	155	7759
1982	131	114	55	137	125	212	695	1069	1457	925	255	115	5290
1983	102	69	75	113	221	196	572	1251	1347	896	329	159	5330
1984	130	120	106	122	221	376	1230	1500	1637	627	271	136	6476
1985	127	105	95	129	179	220	590	1868	1054	439	347	168	5321
1986	124	115	131	164	466	410	913	866	812	384	208	121	4714
1987	76	66	72	62	88	161	142	952	661	415	222	90	3007
1988	79	66	50	89	311	346	818	1464	636	414	165	104	4542
1989	74	76	63	47	279	237	643	828	941	492	174	93	3947
1990	84	80	59	49	240	361	731	884	886	396	220	97	4087
1991	86	45	29	68	227	261	348	827	846	413	167	86	3403
1992	82	67	64	45	58	91	418	693	741	440	177	151	3027
1993	94	50	75	70	126	206	787	643	650	322	131	81	3235
1994	66	58	92	67	218	411	875	3272	1665	632	255	184	7795
1995	119	85	56	52	134	211	1019	3300	2614	744	510	211	9055
1996	157	149	96	151	195	388	886	1593	1197	745	316	161	6034
1997	124	99	51	97	107	70	461	1125	1368	739	249	134	4624
1998	112	73	72	96	103	144	504	658	1155	265	160	84	3426
1999	71	67	74	116	238	432	459	1579	2194	686	285	128	6329
2000	142	146	101	111.09	421	517.43	1181	1054.8	1433	643.2	287.49	175.81	6213.81
2001	138.28	107.8	201.82	83.31	283.57	333.31	1202.8	2740.7	1642.4	609.82	286.09	176.73	7806.68
2002	146.44	123.34	91.03	61.41	547.12	653.4	777.71	1531.1	1668.5	621.5	327.46	219.85	6768.8
2003	186.46	142.96	158.8	102.22	120.28	267.98	934	1243.6	1607	370.21	215.74	132.66	5481.97
2004	137.73	105.07	81.42	127.06	221.59	665.67	1239.2	1596	2225.2	511.31	258.72	178	7347.04

ตาราง ก-10 ข้อมูล Outflows เชื้อนสิริกิติ์

ปี	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
1981	376	472	626	714	647	738	430	1062	356	418	528	323	6690
1982	417	605	793	489	587	265	471	656	200	215	340	262	5300
1983	457	551	680	997	666	288	525	328	111	42	60	48	4753
1984	187	478	777	756	489	264	345	602	709	228	518	165	5518
1985	457	665	972	983	573	299	270	193	224	64	113	127	4940
1986	193	544	850	729	679	682	556	397	303	422	667	233	6255
1987	319	687	658	634	571	266	453	304	118	72	189	46	4317
1988	193	542	412	237	140	64	147	120	180	141	172	77	2425
1989	209	340	357	556	558	144	168	430	476	203	342	106	3889
1990	267	429	727	636	480	375	411	412	432	321	330	169	4989
1991	209	507	655	587	318	150	332	313	60	182	261	160	3734
1992	216	340	466	465	320	119	119	25	57	39	208	210	2584
1993	149	292	411	417	353	295	426	736	258	126	457	195	4115
1994	175	238	275	137	103	30	15	101	302	160	447	342	2325
1995	369	629	824	746	598	473	269	823	1177	754	527	376	7565
1996	483	799	1081	939	794	738	646	734	359	213	374	244	7404
1997	383	615	775	721	634	410	446	332	178	199	463	339	5495
1998	421	659	659	614	331	226	157	335	50	183	320	234	4189
1999	376	449	546	277	66	38	134	158	103	11	41	82	2281
2000	599	917	1006	778	452	371	273	334	128	281	332	527	5998
2001	765	895	807	970	406	148	407	725	1281	230	187	479	7300
2002	683	830	980	943	740	380	629	474	43	127	286	244	6359
2003	683	787	847	639	884	495	517	429	97	234	629	550	6791
2004	573	700	802	763	440	167	406	187	373	339	667	831	6248

ตาราง ก-11 ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนสถานี N.60

ปีน้ำ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ปริมาณน้ำ รายปี ล้าน ลบ.ม.	ปริมาณน้ำ เฉลี่ย ลบ.ม./วิ
1986							732.6	569	558	488.1	786.8	260.4	3394.9	107.65
1987	318.5	780.2	746.7	719.1	656.6	335.4	498	571.3	403.3	182.7	213.1	60.9	5485.8	173.95
1988	166.7	567.8	453.4	249	375.6	176.2	361.2	317.4	286.4	277.9	170.6	88.5	3490.7	110.69
1989	180.5	338.6	355.6	589.6	696.5	207.4	231.1	467.8	680.9	272.8	362.3	118.8	4501.9	142.75
1990	230.5	440.9	812.5	723.1	673	633.6	488.3	502.7	858.3	424.8	376.1	199.8	6363.6	201.79
1991	185.8	557.4	762.5	670.2	405.3	204.3	343.2	492.6	252.5	238.2	288.3	175.1	4575.4	145.08
1992	206.7	343.8	492.2	487	346.5	148.5	126.8	205.7	286.2	167.2	194	295.5	3300.1	104.65
1993	135.6	321.8	465.9	440	423.7	351.4	445.5	840.7	574	171.8	491.7	206.7	4868.7	154.39
1994	157.8	242.5	280.6	155.4	214.1	365.5	168.3	632.5	875	300.8	538.5	449.7	4380.5	138.91
1995	421.1	710.3	999.5	910.9	752.3	649.5	392.1	1546.5	2892.2	1110.2	685	509.4	11579.1	367.17
1996	535.7	874	1204.6	1203.7	1086.5	1143.4	818.2	1300.1	1444.4	613.6	556.5	330	11110.7	352.32
1997	424.5	726	953.1	788.6	716.8	443.1	520.8	505.1	546.9	421.3	500.8	361.1	6908.1	219.05
1998	385.2	660.1	669.8	632	358.7	231.3	215.9	395.7	282.7	181.7	331.4	225.9	4570.4	144.93
1999	328.1	410.4	499.2	341.9	313.9	100.2	152.2	385.5	808.5	207.8	129.1	96.6	3773.3	119.65
2000	635.2	1044.7	1158.1	903.3	724.5	537.1	396.4	536.8	510.3	460	396.5	574.5	7877.3	249.79
2001	825.6	950.6	915.3	1115.2	595.2	245.2	488.2	1391	1954	479.8	285.2	558.5	9803.7	310.87
2002	777.9	957.6	1166.1	1199.6	1011.4	500.8	768.1	800.4	646.7	319.3	370.6	231.8	8750.3	277.47
2003	764.6	1097.5	683.7	817.8	812.3	743.9	335.2	756.5	731.2	275.1	745.1	635.9	8398.7	266.32
2004	626.5	800.1	921.9	884.8	561.2	392.6	613.6	300	1016	394.7	785.9	986.2	8283.5	262.67

ตาราง ก-12 ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนสถานี C.2

ปีน้ำ	ธ.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	ปริมาณน้ำ	ปริมาณน้ำ
													รายปี	เฉลี่ย
													ด้าน ลบ.ม.	ลบ.ม./วิ
1981	1,393	1,670	2,103	2,108	4,126	3,699	2,529	2,993	1,753	921	1,062	1,515	25,872	820
1982	1,459	1,251	1,056	1,243	1,569	2,637	3,672	2,322	1,192	878	1,142	1,418	19,839	629
1983	1,526	1,402	1,041	1,017	1,623	2,760	4,631	4,747	1,873	765	1,076	1,536	23,997	759
1984	1,376	1,169	1,465	1,082	1,375	2,420	2,950	2,335	1,249	768	1,036	1,520	18,745	594
1985	1,426	1,216	1,051	1,336	1,737	2,613	4,054	4,306	2,423	721	1,042	1,463	23,388	742
1986	1,372	2,307	2,244	1,721	1,777	2,332	1,984	1,828	1,280	540	1,121	1,460	19,966	633
1987	1,353	1,147	999	850	1,386	2,609	3,570	1,999	1,264	501	684	1,285	17,647	558
1988	1,046	1,364	1,450	1,448	1,493	2,132	3,211	2,496	1,240	729	841	1,190	18,640	591
1989	1,355	1,315	1,891	969	1,301	1,708	2,267	1,921	1,165	583	671	1,303	16,449	522
1990	1,221	1,358	2,367	1,274	1,240	2,053	2,251	1,601	1,247	632	663	978	16,885	535
1991	966	663	567	447	1,528	3,027	2,462	1,527	1,029	527	600	735	14,078	445
1992	728	673	374	292	1,620	1,103	2,603	1,508	1,130	543	591	855	12,020	381
1993	848	866	1,039	682	975	1,893	1,424	890	682	284	334	432	10,349	328
1994	265	889	2,615	2,141	2,599	5,383	4,873	1,492	1,323	595	809	1,179	24,163	761
1995	1,209	1,306	1,334	1,341	3,461	7,635	9,761	4,336	1,773	931	1,272	1,847	36,206	1,145
1996	1,740	2,148	2,306	1,586	2,369	4,118	7,208	5,268	2,140	793	1,087	1,392	32,155	1,020
1997	1,417	1,332	975	1,005	1,290	2,039	2,632	1,349	1,052	546	770	1,073	15,480	491
1998	1,162	873	482	1,203	1,124	1,556	2,046	1,102	668	370	507	530	11,623	369
1999	521	1,451	1,645	839	1,438	3,016	4,735	4,883	1,654	673	1,084	1,293	23,232	744
2000	1,090	1,767	2,028	1,923	1,868	3,795	4,812	3,290	1,171	1,001	1,140	1,442	25,327	803
2001	1,177	1,860	1,820	1,487	3,304	3,937	4,850	3,467	1,437	895	1,008	1,402	26,644	845
2002	1,315	1,311	1,265	1,275	1,953	6,088	7,936	5,143	2,390	1,280	1,426	1,681	33,063	1,048
2003	1,138	1,460	1,637	1,685	1,962	2,874	2,981	1,400	899	727	903	908	18,574	587
2004	855	977	1,835	1,922	2,573	2,656	2,847	1,089	850	824	782	865	18,075	573



ภาคผนวก ข

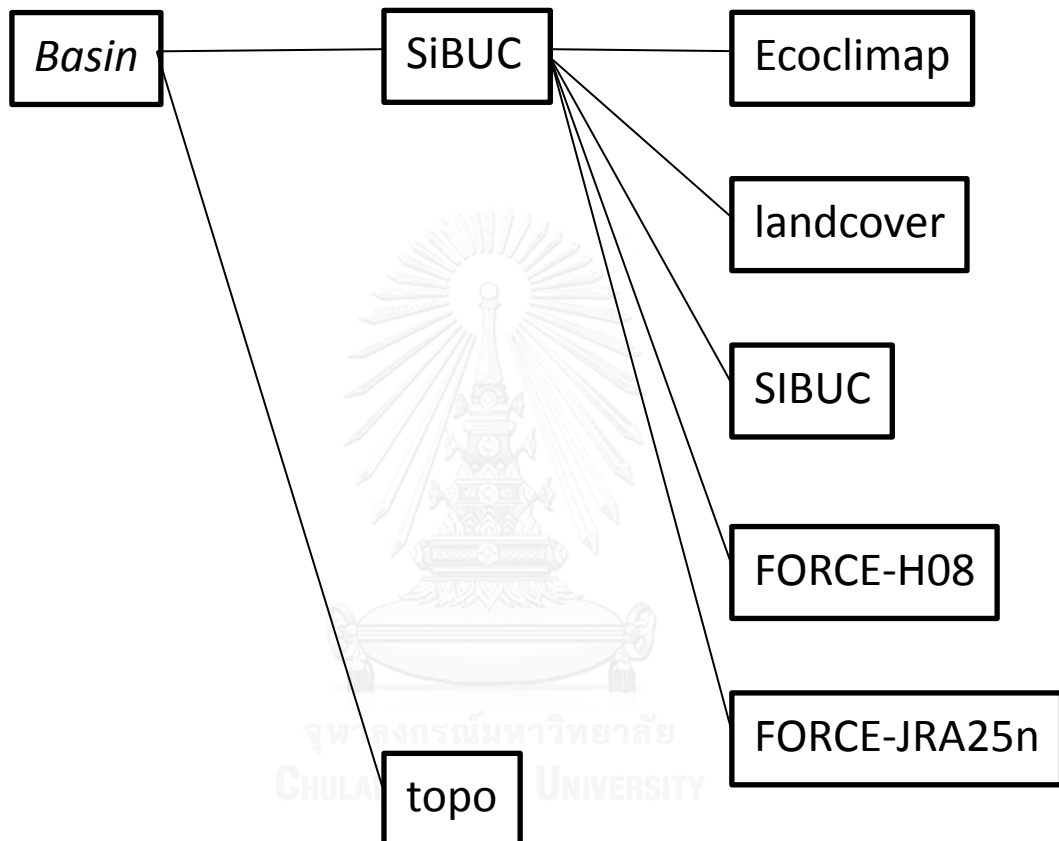
คู่มือการใช้งานเบื้องต้น SiBUC

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในที่นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนเบื้องต้นในการใช้งานแบบจำลอง SiBUC คือ การเตรียมข้อมูล การ Run Model และ การอ่าน Ourput จากแบบจำลอง

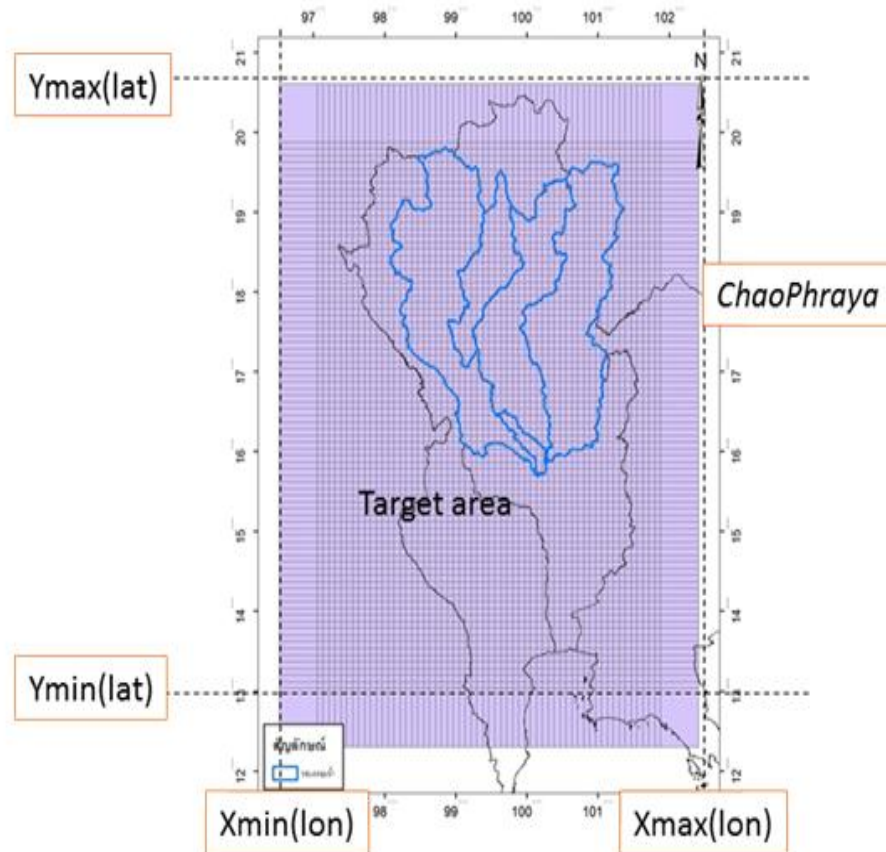
1. ขั้นตอนการเตรียมข้อมูล

ผังการเตรียมข้อมูลของแบบจำลอง SiBUC



การกำหนดขอบเขตพื้นที่

(ละติจูดที่ 13N ถึง 20N และลองจิจูดที่ 97E ถึง 102E สำหรับลุ่มน้ำเจ้าพระยา)



ซึ่งจำเป็นต้องกำหนดขอบเขตของพื้นที่ไว้ในทุกคำสั่ง เช่น
 parameter (xmin=97., ymin13., xmax102., ymax20.)
 parameter (cname = 'ChaoPhraya')

ข้อมูลสำหรับนำเข้าแบบจำลอง

1.1 Land Surface Parameter

- topo -----> Gtopo30.f
- Ecoclimap -----> Ecoclimap.f
- Land cover -----> landuse.f

1.2 Forcing data sets

- precipitation -----> clim-make-prec.f

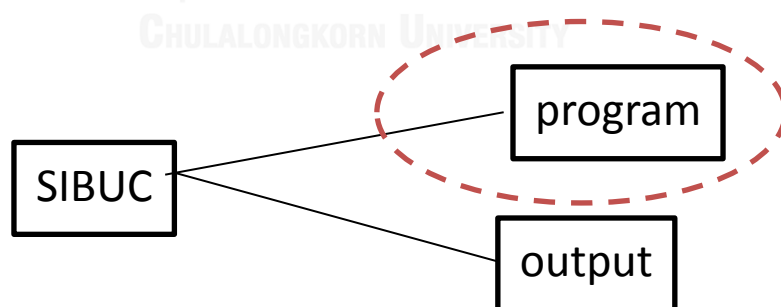
- specific humidity -----> clim-make-qair.f
- long wave radiation -----> clim-make-slrd.f
- short wave radiation -----> clim-make-ssrd.f
- temperature -----> clim-make-tair.f
- pressure -----> clim-make-sssf.f
- wind speed -----> clim-make-wind.f

ตัวอย่างการเตรียมข้อมูล

การเตรียมข้อมูลฝน

1. จัดเรียงข้อมูลโดยเริ่มจากกริดที่ 1 จนถึงกริดที่ 5040 จากวันที่ 1 จนถึงวันสุดท้ายของชุดข้อมูล เป็น Matrix (Nx1)
2. บันทึกข้อมูลฝนที่ได้จัดเรียงไว้เป็นไฟล์ .txt เช่น Rainfall-year2015-1day.txt
3. อัปโหลดไฟล์ Rainfall-year2015-1day.txt ขึ้น server SiBUC
4. ใช้โปรแกรม cre_gad.f แปลงไฟล์ ฝนของเราเป็น binary file (.gad) ด้วยคำสั่ง ifort cre_gad.f เพื่อสร้าง execute file > a.out โดยต้อง edit cre_gad.f เพื่อเลือกไฟล์ข้อมูลฝน .txt และตั้งชื่อไฟล์ข้อมูลฝน .gad
5. จากนั้น รัน ./a.out เพื่อรันโปรแกรม จะได้ไฟล์ฝนที่เป็น binary file

2. การรันโมเดล



จะต้องเข้าไปที่ directory program ซึ่งจะมีไฟล์ชื่อ main.f ซึ่งเป็นโปรแกรมหลักในการเปิดไฟล์ข้อมูล inputs ต่างๆ ที่เราได้เตรียมไว้ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้า และนำมาคำนวณร่วมกับโปรแกรมย่อยต่างๆในโมเดล เช่น green area model/ urban area model เป็นต้น โดยการกำหนดจำนวนรอบการรัน หรือกำหนดเงื่อนไขการรันโมเดลต่างๆ ต้องกำหนดไว้ในโปรแกรมนี้

ตัวอย่างการเตรียมโปรแกรม main.f

1. เริ่มจากการกำหนด จำนวนรอบการรัน icycle
2. กำหนดปีเริ่มต้นและปีสิ้นสุด year
3. กำหนดตำแหน่งไฟล์ input ของเรา เช่น ผน อุณหภูมิ ความเร็วลม
4. กำหนด output ไฟล์
5. Edit INIT file
6. Edit RUNname file

เมื่อกำหนดทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว จากนั้น ใช้คำสั่งรัน ./runalla โดยหลังจากสั่งรันไปแล้วนั้น หากไม่สามารถรันได้ ต้องกลับไปแก้ไขไฟล์ โดยเช็คจุดที่โมเดลฟ้องว่า error อยู่ตรงส่วนไหนของโปรแกรม หากแก้ไขเสร็จแล้วสั่งรันใหม่ หากสามารถรันได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด สามารถใช้คำสั่ง tail log.case ในการเช็คลำดับการรันโปรแกรมได้ โดยคำสั่งจะแสดง 10 ลำดับสุดท้ายที่เพิ่งรันเสร็จ

หากต้องการแก้ไขข้อมูลหรือจัดการพารามิเตอร์อื่นๆที่เกี่ยวข้องกับโมเดลย่อย อาจต้องศึกษาโปรแกรม LSP.f ไฟล์เกี่ยวกับ Land Surface Scheme หรือ sub-model อื่นๆ เช่น green area/urban area model เป็นต้น

3. output file

Output ที่ได้จากโมเดล มีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับการใช้งาน โดย output ที่ได้อาจแสดงได้ดังนี้ Swnet Lwnet Qle Qh Qg Qf Qv Qa DelSH DelCC snowf3 rainf3 Evap Qs Qsb Qsm Qfz Qst DelSM DelSWE DelSS DelInt SnowT VegT BareSoilT AvgSurfT RadT Albedo SWE SWEveg SurfStor เป็นต้น

เมื่อรันเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไฟล์ที่ได้จะเป็น binary file นามสกุล .gad เช่นเดียวกับ input file โดยการอ่านไฟล์ .gad อาจใช้การแปลงไฟล์ย้อนกลับเป็น .txt ไฟล์ก็ได้ ซึ่งผลที่ได้จะเป็นระบบตัวเลขเท่านั้น หรือ อาจจะใช้โปรแกรม Grads ในการเปิดไฟล์ดังกล่าวก็ได้

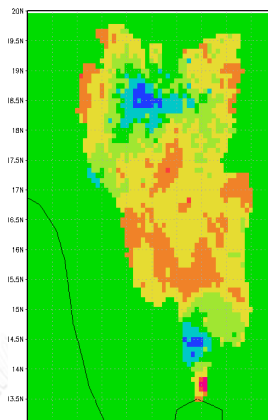
ตัวอย่างการใช้คำสั่งเปิดไฟล์ output เช่น output_bhumibol_2015.gad

การจะเปิดไฟล์ .gad ด้วย โปรแกรม Grads นั้น จำเป็นต้องมี control file ในการเลือกเปิดก่อน เช่น output.ctl โดยภายในจะประกอบด้วย ชื่อ binary file ที่จะเปิด ขอบเขตพื้นที่ในการแสดงผล ข้อมูลเบื้องต้นของไฟล์ที่จะเปิด และตัวแปรที่มีในไฟล์ที่จะเปิด

1. เรียกโปรแกรม grads ขึ้นมาแล้วพิมพ์คำสั่ง open output.ctl
2. หากต้องการแสดงผลเป็นรูปแบบกริด อาจจะใช้คำสั่ง set gxout grfill ก่อน จากนั้นจากแสดงผลภาพตัวแปรไหน ก็ใช้คำสั่ง d เช่น d Qs คือ การแสดงผล surface runoff

อาจแสดงผลออกมาดังรูปตัวอย่าง โดยการสั่งแสดงผล สามารถกำหนด time step หรือ การแสดงผล รวมกันของตัวแปรชนิดเดียวกันได้ เช่น

$d \text{ sum}(qs,t=1,t=365)+\text{sum}(qsb,t=1,t=365)$ เป็นต้น



รูปตัวอย่างการแสดงผล

3. การแสดงผลเป็นตัวเลขข้อมูล จะต้องใช้คำสั่ง `set gxout print` ก่อนจะทำการใช้คำสั่ง `d` เพื่อได้โปรแกรมแสดงผลออกมาในรูป `ascii` ของชุดตัวเลข

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ: นายเอกวิจิต เวชพานิชย์

วันที่เกิด: 21 ตุลาคม พ.ศ. 2530

ประวัติการศึกษา:

พ.ศ. 2549-2553 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2554-2558 สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

(วศ.ม.) ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติการทำงาน:

พ.ศ. 2554-2556 ได้รับทุนผู้ช่วยสอนของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2556-2557 วิศวกร สังกัดสำนักงานพลังงานจังหวัดเชียงราย

กระทรวงพลังงาน

พ.ศ. 2557-ปัจจุบัน วิศวกร สังกัดสำนักงานพลังงานจังหวัดพังงากระทรวงพลังงาน

ผลงานทางวิชาการ:  CHULALONGKORN UNIVERSITY

Vechpanich, E., Ruangrassamee, P., Putthividhya, A. and Tanaka, K. 2015. Applications of Land Surface Model to Assess Impacts of Climate Change of Rainfall Pattern and Surface Runoff in Chao Phraya River Basin of Thailand. Proceedings of the 2015 World Environmental and Water Resources Congress May 17-21, Austin, Texas. pp 952

Vechpanich, E., Ruangrassamee, P., Putthividhya, A. and Tanaka, K. 2015. Rainfall-Runoff Analysis using Land Surface Model with Local precipitation and land use in Chao Phraya River Basin. Proceedings of the 20th National Convention on Civil Engineering 8-10 July, Chonburi, Thailand.

Vechpanich, E., Ruangrassamee, P. and Putthividhya, A. 2015. Impact of Land Use Change on Reservoir Inflows in Chao Phraya River Basin. 12th

