



# วิทยานิพนธ์

การเปรียบเทียบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์การคายระเหยที่ได้จากการรับรู้จาก  
ระยะไกลด้วยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD และสมดุลน้ำสำหรับลุ่มน้ำชี

**PERFORMANCE COMPARISON OF REMOTELY SENSED ET  
PRODUCTS USING KU-FLEX-TOPO-SD AND WATER BALANCE  
FOR CHI RIVER BASIN**

นายณัฐกร ประเสริฐทองกร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปีการศึกษา ๒๕๖๕



2967045753

KU\_Thesis 6314500753 thesis / rev: 07112565 14:31:54 / seq: 62



6314500753\_2967045753

# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

สาขาวิชา วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

ภาควิชา วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

เรื่อง การเปรียบเทียบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์การคายระเหยที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกลด้วย  
แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD และสมดุลน้ำสำหรับลุ่มน้ำชี

Performance Comparison of Remotely Sensed ET Products using KU-FLEX-TOPO-SD  
and Water Balance for Chi River Basin

นามผู้วิจัย นายณัฐกร ประเสริฐทองกร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พรรณพิมพ์ พุทธรักษา มะเปี่ยม, วศ.ค.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรณดี ไทยสยาม, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ศรีจิตรา เจริญลาภนพรัตน์, Ph.D.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์การคายระเหยที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกลด้วย  
แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD และสมดุลน้ำสำหรับลุ่มน้ำชี

Performance Comparison of Remotely Sensed ET Products using KU-FLEX-TOPO-SD and  
Water Balance for Chi River Basin

โดย

นายณัฐกร ประเสริฐทองกร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปีการศึกษา 2565

2967045753



KU Thesisis 6314500753 thesisis / recv: 07112565 14:31:54 / seq: 62

ณัฐกร ประเสริฐทองกร : การเปรียบเทียบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์การคายระเหยที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกลด้วยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD และสมมูลน้ำสำหรับลุ่มน้ำชี ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศาสตราจารย์นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์, Ph.D.  
ปีการศึกษา 2565

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพของผลิตภัณฑ์ศักย์การคายระเหย (Potential Evapotranspiration, PET) และการคายระเหยที่แท้จริง (Actual Evapotranspiration, AET) ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลมาใช้ประกอบการวิเคราะห์ด้านอุทกวิทยาสำหรับลุ่มน้ำชี สำหรับการศึกษาในส่วนของ PET นั้น ดำเนินการโดยการนำค่า PET แบบรายวันที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a และ MOD16A2GF มาใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าในการประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำชี โดยการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบ (2001-2010) และตรวจพิสูจน์ (2010-2014) แบบจำลองที่สถานี E.20A โดยแบบจำลองจะได้ผลการประเมินน้ำท่าที่สถานี E.20A รวมทั้งที่จุดออกของทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย และที่สถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือน้ำของสถานีวัดน้ำท่า E.20A อีกจำนวน 9 สถานี จากผลการศึกษาพบว่า ข้อมูล PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith ให้ผลการเปรียบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองได้ดีกว่า GLEAM V3.5a และ MOD16A2GF ตามลำดับ แต่เป็นความแตกต่างที่ไม่มากนัก ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ทั้งสองสามารถเข้าถึงข้อมูลได้โดยง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับ Penman-Monteith ซึ่งเป็นวิธีการที่ต้องการข้อมูลและเวลาในการวิเคราะห์เป็นอย่างมาก ทำให้สรุปได้ว่า GLEAM V3.5a และ MOD16A2GF มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าเพื่อการประเมินน้ำท่าสำหรับงานศึกษาในส่วนของ AET นั้น ดำเนินการโดยการนำผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMmonitor, SEBS V3 และ SSEBop ไปแทนค่าในสมการสมมูลน้ำร่วมกับข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากผลการประเมิน โดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย รวมทั้งที่สถานีวัดน้ำท่า 10 สถานี ซึ่งจะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) แบบรายเดือนเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูล  $TWSC_{GRACE}$  ผลการศึกษาพบว่า MOD16A2GF ให้ผลการประเมินค่า  $\Delta S$  ที่ใกล้เคียงกับค่า  $TWSC_{GRACE}$  มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ในภาพรวม ต่อจากนั้นได้ทำการตรวจสอบค่า AET ของแต่ละผลิตภัณฑ์ตามประเภทของการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ผลการศึกษาพบว่า MOD16A2GF ให้ผลการประเมินค่า AET ที่สอดคล้องกับประเภทการใช้ที่ดินมากที่สุด เนื่องจากมีความละเอียดเชิงพื้นที่ในระดับ 500 เมตร จึงสามารถแยกให้เห็นความแตกต่างของป่าไม้ผลัดใบ ออกจากป่าผลัดใบ ป่าปลูก และไม้ผลไม่ยืนต้น ได้เป็นอย่างดี รวมทั้งแสดงให้เห็นว่าค่า AET ในพื้นที่เกษตรกรรมในเขตชลประทานมีค่าที่สูงกว่าค่า AET ในเขตเกษตรกรรมนอกเขตชลประทาน ดังนั้น MOD16A2GF จึงเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการแนะนำในการศึกษานี้เพื่อนำไปใช้ประกอบการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำในประเทศไทยต่อไป

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_



Nattakorn Prasertthonggorn : Performance Comparison of Remotely Sensed ET Products using KU-FLEX-TOPO-SD and Water Balance for Chi River Basin. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering.

Thesis Advisor: Professor Nuchanart Sriwongsitanon, Ph.D.

Academic Year 2022

This study aims to compare the ability of the potential evapotranspiration (PET) and actual evapotranspiration (AET) acquired from remote sensing technique to be used for hydrological analysis for the Chi River Basin. For the study on PET, the daily PET calculated by Penman-Monteith and by remote sensing products comprising GLEAM V3.5a and MOD16A2GF were utilized as input data for runoff estimation using KU-FLEX-TOPO-SD for the Chi River Basin. Model calibration (2001-2010) and validation (2010-2014) were carried out at E.20A. This model provided runoff estimates at gauging station E.20A as well as at the outlet of 98 sub-catchments within the Chi River Basin including at 9 stations upstream. From the results of the study, it was found that PET calculated by Penman-Monteith provided more accurate results during calibration and validation processes compared to GLEAM V3.5a and MOD16A2GF, respectively. However, the differences in the accuracy are not significant while these two products are easy access compared to PET from Penman-Monteith which was required various datasets and very time consuming. It can be concluded that GLEAM V3.5a and MOD16A2GF are appropriate to be used as input data for runoff estimation For the study on AET, it was carried out by using MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 and SSEBop to be substituted into the water balance equation together with discharge data, at the outlets of 98 sub-basins and 10 runoff stations, obtained from the KU-FLEX-TOPO-SD model. The storage change data ( $\Delta S$ ) on the monthly basis were obtained from the equation and were used to compare with the  $TWSC_{GRACE}$  data. The results showed that MOD16A2GF provided the values of  $\Delta S$  closet to  $TWSC_{GRACE}$  values compared to the values given by other products. Subsequently, the AET values of each product was investigated for each type of land use provided by the Land Development Department. The results showed that MOD16A2GF provided the AET values corresponded to each land use category beyond other products. This is due to the finest spatial resolution of 500 metres which provides its ability to distinguish the differences among evergreen forests from deciduous forests, planting forests and perennial. Moreover, it also showed the higher AET values on irrigated areas compared to rainfed agriculture. Therefore, MOD16A2GF is recommended in this study to be used to support water resources management for Thailand River Basins.

\_\_\_\_\_  
Student's signature

\_\_\_\_\_  
Thesis Advisor's signature

\_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้คอยให้ความช่วยเหลือ แนะนำและสนับสนุนในการวางแผนในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษาและตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณพิมพ์ พุทธิรักษา มะเปี่ยม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรรณดีไทยสยาม ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดช่วงเวลาที่ข้าพเจ้าศึกษา ณ สถาบันแห่งนี้

ขอขอบคุณกรมชลประทานที่ได้สนับสนุนข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณศูนย์วิจัยการรับรู้จากระยะไกลเพื่อการบริหารจัดการน้ำ (SENSWAT) ที่ได้สนับสนุนข้อมูลฝนกิริตรายวัน และข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, PET) แบบกริดที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith เพื่อใช้ประกอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยสำหรับนิสิตปริญญาโท และทุนวิจัยในการดำเนินงานของศูนย์วิจัยการรับรู้จากระยะไกลเพื่อการบริหารจัดการน้ำ (SENSWAT) โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยภายใต้ศูนย์วิจัยดังกล่าว

ณัฐกร ประเสริฐทองกร

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	4
ขอบเขตการศึกษา.....	5
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	6
การตรวจเอกสาร .....	7
1. พื้นที่ศึกษา .....	7
1.1 ลักษณะทั่วไปของกลุ่มน้ำชี .....	7
1.2 สภาพภูมิอากาศ.....	9
2. ผลกระทบการคายระเหยที่แท้จริงจากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล.....	11
3. แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD .....	13
3.1 การแบ่งลุ่มน้ำย่อยโดยใช้แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข .....	13
3.2 กระบวนการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ .....	14
3.3 ทฤษฎีของแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD.....	16
3.4 แบบจำลอง FLEX-TOPO.....	16
3.4.1 พื้นที่ลาดเขา (Hillslope).....	18

3.4.2 พื้นที่ลาดเอียง .....	23
3.4.3 พื้นที่ชุ่มน้ำ.....	25
3.5 การพัฒนา แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD .....	26
3.6 MOSCEM (Multi Objective Shuffle Complex Evolution Metropolis) .....	27
3.7 Kling-Gupta Efficiency (KGE).....	28
3.8 Nash-Sutcliffe's Efficiency (NSE).....	29
อุปกรณ์และวิธีการ .....	31
อุปกรณ์.....	31
วิธีการ .....	31
1. รวบรวมข้อมูล .....	35
1.1 ข้อมูลการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำชีออกเป็น 98 ลุ่มน้ำย่อย.....	35
1.2 ข้อมูลความลึกฝนรายวัน .....	39
1.3 ข้อมูลน้ำท่ารายวัน .....	40
1.4 ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith .....	43
1.5 ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (PET) ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a .....	44
1.6 ข้อมูลผลิตภัณฑ์การคายระเหยจริง (AET) ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล .....	47
1.7 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก (Terrestrial water storage change, TWSC) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE (The Gravity Recovery and Climate Experiment).....	47
1.8 ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ที่ครอบคลุมลุ่มน้ำชี .....	48
1.9 ข้อมูลการใช้ที่ดิน .....	48
2. เปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a และเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของ	

ข้อมูล AET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop.....51

3. ศึกษาทฤษฎีและแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD เพื่อการประเมินน้ำท่า.....52

4. สอเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และการศึกษาความไวของช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่มีต่อผลการประเมินน้ำท่า.....52

5. สอเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำชีโดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a สำหรับลุ่มน้ำชี.....53

6. สอเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำชีที่ใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith ในระหว่าง ปี ค.ศ. 2001-2014 เพื่อให้ได้ค่า  $AET_{model\_Penman}$  ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่า AET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop.....54

7. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกักจากสมการสมดุลน้ำ โดย  $AET_{RS}$  ที่ได้จาก 8 ผลิตภัณฑ์.....54

8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินกับการเปลี่ยนแปลงค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จาก ผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, SSEBop, ALEXI, CMRSET, ETMonitor และ SEBS .....55

9. สรุปผล.....55

ผลการศึกษา .....56

1. ผลการเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a และเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล AET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop.....58

1.1 ผลการเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a.....58

1.2 ผลการเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล AET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์  
 MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3  
 และ SSEBop.....61

2. ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้ข้อมูล PET ที่  
 คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และการศึกษาความไวของช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่มีต่อ ผล  
 การประเมินน้ำท่า .....66

3. ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่าระหว่างการใช้อข้อมูล PET จาก  
 Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ..... 70

4. ผลการเปรียบเทียบสอดคล้องกันของข้อมูล AET ที่ได้จากการประเมินน้ำท่า โดยแบบจำลอง  
 KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith  
 ( $AET_{model_{Penman}}$ ) กับข้อมูล  $AET_{RS}$  ที่ได้จากทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์.....76

5. ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) แบบรายเดือนด้วยสมการสมดุลน้ำ  
 สำหรับลุ่มน้ำชี.....79

6. ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินกับการ  
 เปลี่ยนแปลงค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จาก 8 ผลิตภัณฑ์.....91

สรุปผลการศึกษา.....97

เอกสารและสิ่งอ้างอิง.....99

ประวัติการศึกษา และการทำงาน .....120

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำชี .....	8
ตารางที่ 2 ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์การคายระเหยที่แท้จริงที่ใช้ในการศึกษา .....	12
ตารางที่ 3 ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความยาวลำน้ำสายหลักของ 98 ลุ่มน้ำย่อย ของลุ่มน้ำชี .....	36
ตารางที่ 4 ข้อมูลความลึกฝนรายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชี .....	39
ตารางที่ 5 ตำแหน่งที่ตั้ง ช่วงปีสถิติข้อมูลและขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำชีที่ใช้ศึกษา .....	41
ตารางที่ 6 ข้อมูลน้ำท่ารายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชี ...	42
ตารางที่ 7 สัมประสิทธิ์น้ำท่า (C) รายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชี .....	43
ตารางที่ 8 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a.....	45
ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบศักยภาพการคายระเหยเฉลี่ยรายฤดูกาลและรายปีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชีที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a.....	46
ตารางที่ 10 พื้นที่และเปอร์เซ็นต์การใช้ที่ดินแต่ละประเภทในระดับ 1 และ 2 ของลุ่มน้ำชี ที่เผยแพร่ โดยกรมพัฒนาที่ดินในระหว่างปี ค.ศ. 2010-2013 .....	49
ตารางที่ 11 การใช้ที่ดินในลุ่มน้ำชีที่จัดรวมเป็น 10 กลุ่ม เพื่อประกอบการศึกษา.....	50
ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบศักยภาพการคายระเหยเฉลี่ยรายฤดูกาลและรายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชีที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และจาก ผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a.....	60
ตารางที่ 13 ค่าทางสถิติที่แสดงความสอดคล้องกันของข้อมูลศักยภาพการคายระเหยรายวันที่คำนวณ ด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a .....	61

ตารางที่ 14 ค่าการคายระเหยที่แท้จริง (AET) เฉลี่ยรายปี รายฤดูฝน และรายฤดูแล้ง ของลุ่มน้ำชีใน  
แต่ละช่วงเวลาที่ มีข้อมูลสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ .....62

ตารางที่ 15 ค่า  $R^2$  ระหว่างผลิตภัณฑ์  $AET_{RS}$  แต่ละผลิตภัณฑ์ โดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในช่วงเดียวกัน..64

ตารางที่ 16 ค่า NSE ระหว่างผลิตภัณฑ์  $AET_{RS}$  แต่ละผลิตภัณฑ์ โดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในช่วงเดียวกัน  
.....64

ตารางที่ 17 ค่า  $R^2$  ระหว่างผลิตภัณฑ์  $AET_{RS}$  แต่ละผลิตภัณฑ์ในปี ค.ศ. 2008-2012 .....65

ตารางที่ 18 ค่า NSE ระหว่างผลิตภัณฑ์  $AET_{RS}$  แต่ละผลิตภัณฑ์ในปี ค.ศ. 2008-2012.....65

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบค่าทางสถิติเฉลี่ยจาก 10 สถานี จำนวน 14 กรณี ที่เป็นผลจากการสอบ  
เทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่ คำนวณด้วย  
วิธี Penman-Monteith .....68

ตารางที่ 20 ชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD จำนวน 14 กรณี ที่ได้จากการสอบ  
เทียบแบบจำลองที่สถานี E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith .....69

ตารางที่ 21 เปอร์เซนต์ความแตกต่างของค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวในแต่ละกรณีเทียบกับพารามิเตอร์  
ของกรณีศึกษาที่ 5 ที่ให้ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ถูกต้องสูงสุด .....69

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่เป็นผลจากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD  
ที่สถานี E.20A ในกรณี 1 (ค.ศ.2001-2010).....72

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่เป็นผลจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่  
สถานี E.20A ในกรณี 1 (ค.ศ.2011-2014).....72

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่เป็นผลจากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD  
ที่สถานี E.20A ในกรณี 2 (ค.ศ.2005-2014).....73

ตารางที่ 25 เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่เป็นผลจากการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่  
สถานี E.20A ในกรณี 2 (ค.ศ.2001-2004).....73

ตารางที่ 26 การเปรียบเทียบข้อมูล  $AET_{model\_Penman}$  กับ  $AET_{RS}$  ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ 8 ผลิตภัณฑ์ แบบ  
เฉลี่ยรายปี รายฤดูฝน และรายฤดูแล้ง .....78

ตารางที่ 27 ค่าทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบค่า  $AET_{model\_Penman}$  กับค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จากทั้ง 8  
ผลิตภัณฑ์ แบบรายปี .....78



ตารางที่ 28 ค่า  $R^2$  และ NSE ที่ได้จากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ )  
 จากการวิเคราะห์สมมูลน้ำ และจาก  $TWSC_{GRACE}$  ที่สถานีวัดน้ำท่า 10 สถานี.....80

ตารางที่ 29 ความสัมพันธ์  $TWSC_{WB}$  กับ  $TWSC_{GRACE}$  เฉลี่ย 98 กลุ่มน้ำย่อย ในลุ่มน้ำชี.....82

ตารางที่ 30 ค่า  $R^2$  ระหว่าง  $TWSC_{WB}$  กับ  $TWSC_{GRACE}$  เฉลี่ยทั้งก่อนและหลังการปรับแก้อัตราการ  
 ไหลสูงสุดของเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ ในลุ่มน้ำย่อย 82-98.....90

ตารางที่ 31 ค่า NSE ระหว่าง  $TWSC_{WB}$  กับ  $TWSC_{GRACE}$  เฉลี่ย ทั้งก่อนและหลังการปรับแก้อัตราการ  
 ไหลสูงสุดของเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ ในลุ่มน้ำย่อย 82-98.....90

ตารางที่ 32 ค่า  $AET_{RS}$  เฉลี่ยในปี ค.ศ. 2010 ของทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ ตามประเภทการใช้ที่ดิน 10 กลุ่ม  
 .....95

## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 สภาพภูมิประเทศและขอบเขตของกลุ่มน้ำสาขาในกลุ่มน้ำชี .....	8
ภาพที่ 2 ร่องความกดอากาศต่ำ ทิศทางลมมรสุม และทางเดินพายุหมุนเขตร้อนที่พัดผ่านประเทศไทย .....	10
ภาพที่ 3 องค์ประกอบของกลุ่มน้ำ .....	13
ภาพที่ 4 กลุ่มน้ำย่อยที่ถูกแบ่งโดยเครื่องมือ Watershed ในโปรแกรม ArcGIS 10.....	14
ภาพที่ 5 ตัวอย่างชั้นข้อมูลด้านเข้าและด้านออกสำหรับเครื่องมือ Zonal Statistic as Table.....	15
ภาพที่ 6 โครงสร้างของแบบจำลอง FLEX-TOPO .....	17
ภาพที่ 7 โครงสร้างของแบบจำลอง FLEX-TOPO ในพื้นที่ลาดเขา (Hillslope) .....	18
ภาพที่ 8 โครงสร้างของแบบจำลอง FLEX-TOPO ในพื้นที่ลาดเอียงและพื้นที่ชุ่มน้ำ.....	23
ภาพที่ 9 หลักการของกระบวนการ Pareto Ranking สำหรับปัญหาที่มีสองพารามิเตอร์ ( $\theta_1, \theta_2$ ) (a) และ มีสองวัตถุประสงค์ (F1, F2) (b) .....	28
ภาพที่ 10 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่าและการแบ่งกลุ่มน้ำย่อยในกลุ่มน้ำชี .....	35
ภาพที่ 11 ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในกลุ่มน้ำชี .....	41
ภาพที่ 12 แผนที่แสดงการใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำชีที่จัดรวมเป็น 10 กลุ่ม.....	51
ภาพที่ 13 ค่าศักยภาพการคายระเหยที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ระหว่างปี ค.ศ. 2008-2012.....	60
ภาพที่ 14 ค่าการคายระเหยที่แท้จริงเฉลี่ยรายเดือนของทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ .....	62
ภาพที่ 15 การคายระเหยที่แท้จริงรายเดือนของทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ ในระหว่างปี ค.ศ. 2008-2012 .....	63
ภาพที่ 16 ช่วงเวลาในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith.....	68

ภาพที่ 17 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A ในกรณีที่ 1 โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a.....	74
ภาพที่ 18 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A ในกรณีที่ 2 โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a.....	75
ภาพที่ 19 Scatter plot แสดงการเปรียบเทียบข้อมูล $AET_{model\_Penman}$ กับข้อมูล $AET_{RS}$ ที่ได้จากทั้ง 8 ผลึกภัณฑ์ แบบรายเดือน .....	76
ภาพที่ 20 การเปรียบเทียบข้อมูล $AET_{model\_Penman}$ กับ $AET_{RS}$ ที่ได้จากผลึกภัณฑ์ 8 ผลึกภัณฑ์ แบบเฉลี่ยรายเดือน .....	77
ภาพที่ 21 ค่า $R^2$ และ NSE ที่ได้จากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) ที่วิเคราะห์จากสมมูลน้ำและจาก $TWSC_{GRACE}$ โดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำท่า 10 สถานี สำหรับแต่ละผลึกภัณฑ์ .....	81
ภาพที่ 22 ค่า $R^2$ ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง $TWSC$ ที่คำนวณด้วยสมการสมมูลน้ำโดยใช้ข้อมูล $AET_{RS}$ กับ $TWSC_{GRACE}$ ของทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย .....	83
ภาพที่ 23 ค่า NSE ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง $TWSC$ ที่คำนวณด้วยสมการสมมูลน้ำโดยใช้ข้อมูล $AET_{RS}$ กับ $TWSC_{GRACE}$ ของทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย.....	84
ภาพที่ 25 ค่า $R^2$ และ NSE ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง $TWSC$ ที่คำนวณด้วยสมการสมมูลน้ำโดยใช้ข้อมูล $AET_{model}$ กับ $TWSC_{GRACE}$ ของทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย.....	85
ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $TWSC$ ที่ได้จากการคำนวณสมมูลน้ำกับ $TWSC_{Grace}$ สำหรับลุ่มน้ำย่อยที่ 90 โดยใช้ $AET_{RS}$ ทั้ง 8 ผลึกภัณฑ์ รวมทั้ง $AET_{model}$ .....	87
ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า $TWSC$ ที่ได้จากการคำนวณสมมูลน้ำกับ $TWSC_{Grace}$ สำหรับลุ่มน้ำย่อยที่ 90 โดยใช้ $AET_{RS}$ ทั้ง 8 ผลึกภัณฑ์ รวมทั้ง $AET_{model}$ หลังการปรับแก้อัตราการไหลสูงสุดของเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ.....	87
ภาพที่ 27 ค่า NSE ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง $TWSC$ ที่ได้จากการวิเคราะห์สมมูลน้ำโดยใช้ข้อมูล $AET_{RS}$ ทั้ง 8 ผลึกภัณฑ์ เปรียบเทียบกับ $TWSC_{GRACE}$ ใน 98 ลุ่มน้ำย่อย หลังปรับแก้อัตราการไหลสูงสุดของเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ ในลุ่มน้ำย่อย 82-98.....	88

ภาพที่ 28 ค่า NSE ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง TWSC ที่ได้จากการวิเคราะห์สมมูลน้ำโดยใช้  
ข้อมูล  $AET_{model}$  เปรียบเทียบกับ  $TWSC_{GRACE}$  ใน 98 กลุ่มน้ำย่อย หลังปรับแก้อัตราการไหลสูงสุดของ  
เหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ ในกลุ่มน้ำย่อย 82-98 .....89

ภาพที่ 29 การกระจายตัวของค่า  $AET_{RS}$  รายปีของทั้ง 8 ผลัดภักดิ์ ในปี ค.ศ. 2010 ในกลุ่มน้ำชี .....94

ภาพที่ 30 แผนทีแสดงการใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำชีที่จัดรวมเป็น 10 กลุ่ม .....95

ภาพที่ 31 Boxplot ค่า  $AET_{RS}$  รายปีในปี ค.ศ.2010 ของทั้ง 8 ผลัดภักดิ์ ที่แยกตามการใช้ที่ดิน 10 กลุ่ม  
.....96

## บทนำ

ปริมาณน้ำทำเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในระบบอุทกวิทยา (Hydrologic Cycle) เนื่องจากเป็นตัวกำหนดปริมาณน้ำต้นทุนที่สามารถนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ เช่น การอุปโภค บริโภค เกษตรกรรม อุตสาหกรรม การท่องเที่ยว การผลิตกระแสไฟฟ้า การรักษาสสมดุลของระบบนิเวศด้านท้ายน้ำ เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว ในกรณีที่ปริมาณน้ำท่ามีมากเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาอุทกภัยหรือถ้ามีน้อยเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาภัยแล้ง ดังนั้น การวัดน้ำท่ารวมทั้งการประเมินน้ำท่าจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับการบริหารจัดการน้ำ ทั้งนี้ ปริมาณน้ำท่าสามารถประเมินได้จากผลต่างระหว่างปริมาณน้ำฝนกับการสูญเสียปริมาณฝนซึ่งมีชื่อเรียกว่า ฝนส่วนเกิน (Excess Rainfall) โดยการสูญเสียปริมาณฝนเกิดขึ้นจากกระบวนการต่อไปนี้คือ การระเหย (Evaporation) การคายน้ำ (Transpiration) การดักโดยพืชพรรณ (Interception) การซึมผ่านผิวดิน (Infiltration) และการเก็บกักตามหลุมบ่อ (Depression Storage) ทั้งนี้ การสูญเสียที่เกิดจากการคายน้ำรวมการระเหยซึ่งเรียกว่า การคายระเหย (Evapotranspiration) เป็นองค์ประกอบหลักของการสูญเสียปริมาณฝนจากการจัดทำบัญชีน้ำของประเทศไทยภายใต้โครงการศึกษาความมั่นคงของกลุ่มน้ำอย่างยั่งยืนทั้ง 25 กลุ่มน้ำ (กรมทรัพยากรน้ำ, 2559) พบว่า ประเทศไทย ซึ่งมีพื้นที่เท่ากับ 514,050 ตารางกิโลเมตร มีปริมาณฝนที่ตกในปีน้ำปานกลางประมาณ 1,548 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งคิดเป็นปริมาณน้ำฝนประมาณ 796,000 ล้านลูกบาศก์เมตร โดยในจำนวนนี้จะแปรเปลี่ยนเป็นปริมาณน้ำท่าที่ผ่านการใช้น้ำแล้วไหลออกจากกลุ่มน้ำประมาณ 222,000 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ปริมาณการสูญเสียที่เกิดจากการคายระเหยที่แท้จริง (Actual Evapotranspiration) มีมากถึงประมาณ 476,000 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นประมาณ 60% ของปริมาณฝนที่ตกในปีน้ำปานกลาง ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การคายระเหยที่แท้จริงเป็นปริมาณการสูญเสียที่มากที่สุดในระบบอุทกวิทยา ดังนั้น การประเมินปริมาณการคายระเหยที่แท้จริงให้ได้ใกล้เคียงความเป็นจริงจึงเป็นสิ่งสำคัญมากต่อการประเมินน้ำท่าที่จะต้องนำไปบริหารจัดการให้เหมาะสมกับสถานการณ์ต่าง ๆ

อย่างไรก็ตาม การประเมินค่าการคายระเหยที่แท้จริงได้อย่างถูกต้องนั้นกระทำได้ยาก โดยที่การประเมินค่าการระเหยที่นิยมใช้กันอยู่โดยทั่วไปคือการใช้ถาดวัดการระเหย (Class A Pan Evaporation) ซึ่งไม่ใช่ค่าการระเหยที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละประเภทของการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำแต่เป็นเพียงสัทธิการระเหยเท่านั้น ในขณะที่การวัดค่าการคายน้ำโดยตรงเป็นไปได้ยากกว่าการประเมินค่าการคายระเหยโดยใช้วิธีทางอ้อมมาก โดยวิธีการโดยตรงที่ใช้คือ การใช้ไลซิมิเตอร์ (Lysimeter) ซึ่งมีข้อจำกัดคือเป็นการตรวจวัดในภาคสนามที่มีความยุ่งยากรวมทั้งเสียค่าใช้จ่ายมากและใช้เวลา

มากในการเก็บข้อมูล ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงมีการประเมินค่าศักยภาพการคายระเหย (Potential Evapotranspiration, PET) ร่วมกันไปด้วยการวิเคราะห์จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยา โดยวิธีที่ใช้คำนวณกันอย่างกว้างขวางคือ วิธี Penman-Monteith FAO-56 (PM-56) (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 1998) เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและแนะนำให้ใช้โดย Food and Agriculture Organization (FAO) ทั้งนี้ (Onnabi Milani & Neyshabouri, 2018) ได้ทำการตรวจวัดค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิงบริเวณที่ราบ Tabriz โดยใช้ไลซีมิเตอร์และเปรียบเทียบกับการคำนวณโดยวิธี Penman-Monteith และ Hargreaves รวมทั้งการใช้การคายระเหย ผลการศึกษาพบว่า วิธีการ Penman-Monteith ให้ผลการประเมินค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิงได้ใกล้เคียงกับการวัดโดยใช้ไลซีมิเตอร์มากที่สุด ในขณะที่การวัดการคายระเหยให้ผลการประเมินสูงสุดและวิธี Hargreaves ให้ผลการประเมินต่ำสุด ทั้งนี้ค่าศักยภาพการคายระเหยที่คำนวณได้จะเป็นตัวแทนของหญ้าอัลฟาฟา (Alfalfa) และเมื่อต้องการทราบค่าศักยภาพการคายระเหยสำหรับพืชชนิดอื่นสามารถทำได้โดยการหาผลคูณระหว่างค่าศักยภาพการคายระเหยกับค่าสัมประสิทธิ์ของพืชแต่ละประเภท อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้ก็คือค่าศักยภาพการคายระเหยของพืชแต่ละชนิดเท่านั้น มิใช่ค่าการคายระเหยที่แท้จริง (Actual Evapotranspiration, AET)

ในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการนำเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing Technique) มาใช้อย่างแพร่หลายเพื่อประเมินปริมาณต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกตลอดจนได้ผิวโลก รวมทั้งองค์ประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญของระบบอุทกวิทยา อาทิเช่น ข้อมูลฝน ปริมาณความชื้น รวมทั้งการคายระเหยที่เกิดขึ้นจริง อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลมีความแตกต่างจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดหรือข้อมูลที่แท้จริง ดังนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการปรับแก้ข้อมูลก่อนนำไปประยุกต์ใช้งาน

ด้วยเหตุผลดังกล่าว Sriwongsitanon et al., (2020) จึงได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลการประเมินการคายระเหยที่แท้จริง (AET) สำหรับพื้นที่ลุ่มน้ำในประเทศไทยด้วยผลิตภัณฑ์ AET ที่ได้รับการคัดเลือกซึ่งประกอบด้วย ALEXI, CMRSET, ETMonitor, GLEAM V3.3b, MOD16A2, SEBS V3 และ SSEBop โดยในการศึกษาดังกล่าวได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล AET ด้วยการวิเคราะห์สมการสมดุลน้ำ ( $ET_{WB} = P - Q - \Delta S$ ) แบบรายปีที่สถานีวัดน้ำท่าจำนวน 172 สถานี ทั่วประเทศไทย ในระหว่างปี ค.ศ. 2003-2013 จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องแบบรายเดือนด้วยการประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกักรายเดือนจากการกลับข้างสมดุลน้ำ ( $\Delta S = P - Q - ET_{RS}$ ) โดยการแทนค่า  $ET_{RS}$  ที่ได้จากทั้ง 7 ผลิตภัณฑ์เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูล  $TWSC_{GRACE}$  แบบรายเดือนต่อไป ผลการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ที่

ให้ความถูกต้องทั้งการวิเคราะห์แบบรายปีและรายเดือนมากที่สุด 4 ผลิตภัณฑ์ คือ CMRSET, ETMonitor, GLEAM V3.3b และ MOD16A2 จากนั้นจึงทำการตรวจสอบความสอดคล้องของผลิตภัณฑ์กับประเภทการใช้ที่ดินที่เก็บรวบรวมโดยกรมพัฒนาที่ดิน ผลการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ MOD16A2 มีความสอดคล้องกับประเภทการใช้ที่ดินมากที่สุดรวมทั้งมีความละเอียดของข้อมูลเชิงพื้นที่ที่ละเอียดมาก (500 เมตร) และสามารถเข้าถึงข้อมูลได้โดยง่าย ดังนั้น การศึกษานี้จึงแนะนำให้ใช้ผลิตภัณฑ์ MOD16A2 มาใช้ประกอบการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำสำหรับประเทศไทย

เพื่อเป็นการต่อยอดการศึกษาที่ดำเนินการโดย Sriwongsitanon et al., (2020) จึงเป็นที่มาของการศึกษานี้ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการเปรียบเทียบความสามารถของข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล เพื่อใช้ประกอบการประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำชี โดยในกรณีที่ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a สามารถนำมาใช้เพื่อการประเมินน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำชีได้ถูกต้องใกล้เคียงกับการใช้ค่า PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith แล้ว จะก่อให้เกิดประโยชน์มาก เนื่องจากการคำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith จำเป็นต้องใช้ข้อมูลภูมิอากาศรายวันจำนวนมากและจากหลายสถานี นอกจากนี้ ในบางกรณีพบว่าข้อมูลของบางสถานีไม่สมบูรณ์และจำเป็นต้องนำข้อมูลจากสถานีใกล้เคียงมาใช้ซึ่งอาจก่อให้เกิดความผิดพลาดต่อผลการประเมิน ในขณะที่ข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a สามารถดาวน์โหลดได้โดยง่าย

ต่อจากนั้น ในการศึกษานี้ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการคายระเหยจริง (Actual Evapotranspiration, AET) สำหรับลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำชี ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop โดยเปรียบเทียบกับผลการประเมินการคายระเหยที่แท้จริงที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้ PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith รวมทั้งการเปรียบเทียบปริมาณการคายระเหยที่แท้จริง (AET) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ ทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ สำหรับการใช้ที่ดินประเภทต่าง ๆ โดยกรมพัฒนาที่ดิน ท้ายที่สุดได้ทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกักรายเดือนจากการกลับข้างสมดุลน้ำ ดังสมการ  $\Delta S = P - Q - AET_{RS}$  โดยการแทนค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จากทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูล  $TWSC_{GRACE}$  แบบรายเดือน เพื่อหาข้อสรุปว่าผลิตภัณฑ์การคายระเหยจริงผลิตภัณฑ์ใดมีความถูกต้องและเหมาะสมที่สุดที่สมควรนำมาใช้ประกอบการประเมินการคายระเหยที่แท้จริงเพื่อประกอบการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำสำหรับลุ่มน้ำชีและลุ่มน้ำอื่น ๆ ในประเทศไทยได้ต่อไป

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบศักยภาพของข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล เพื่อใช้ประกอบการประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำชี
2. เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการคายระเหยจริง (Actual Evapotranspiration, AET) สำหรับลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำชี ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop โดยเปรียบเทียบกับผลการประเมินการคายระเหยที่แท้จริงที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith
3. เพื่อวิเคราะห์ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) ด้วยสมการสมดุลน้ำ ( $\Delta S = P - Q - AET_{RS}$ ) ที่ใช้ค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop และนำมาเปรียบเทียบกับค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE (The Gravity Recovery and Climate Experiment) แบบรายเดือน
4. เพื่อเปรียบเทียบปริมาณการคายระเหยที่แท้จริง (AET) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop สำหรับการใช้น้ำที่ดินประเภทต่าง ๆ ที่ทำการแยกประเภทการใช้น้ำที่ดิน โดยกรมพัฒนาที่ดิน



## ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษาคือพื้นที่ลุ่มน้ำชีซึ่งมีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำเท่ากับ 49,131.92 ตารางกิโลเมตร
2. ข้อมูลความลึกฝนรายวันที่จะใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าสำหรับแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD นั้นจะใช้ข้อมูลความลึกฝนรายวันแบบกริดที่จัดทำขึ้นภายใต้การดำเนินงานของศูนย์วิจัย Remote Sensing Research Centre for Water Resources Management (SENSWAT) ซึ่งเป็นข้อมูลความลึกฝนรายวันที่ครอบคลุมลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำชีในปี ค.ศ. 2001-2018 ที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องแล้วด้วยวิธี Automated Quality Control (QC) System ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย (Hamada, Arakawa, & Yatagai, 2011)
3. ข้อมูลน้ำท่ารายวันที่สถานีวัดน้ำท่า 10 สถานี ประกอบด้วย ในลุ่มน้ำชีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 E.32A, E.5, E.23, E.21, E.9, E.66A, E.18, E.54, E.70 และ E.20A โดยเป็นข้อมูลที่ได้รับการรวบรวมข้อมูลไว้โดยกรมชลประทาน และถูกบันทึกไว้ไว้ในเว็บไซต์ <https://senswat.eng.ku.ac.th> ของศูนย์วิจัย SENSWAT
4. ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith ที่จะใช้เป็นด้านเข้าสำหรับแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD นั้นจะใช้ข้อมูล PET รายวันแบบกริดที่จัดทำขึ้นภายใต้การดำเนินงานของศูนย์วิจัย SENSWAT ซึ่งเป็นข้อมูลที่ครอบคลุมลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำชีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 เท่านั้น
5. ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (PET) ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้ที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ที่ครอบคลุมลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำชีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014
6. ข้อมูลผลิตภัณฑ์การคายระเหยจริง (AET) ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS และ SSEBop เป็นข้อมูลที่สามารถดาวน์โหลดได้โดยตรงจากเว็บไซต์ ครอบคลุมระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 ยกเว้น SSEBop ครอบคลุมระหว่างปี ค.ศ. 2003-2014 รวมทั้งข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ ALEXI, CMRSET, ETMonitor และ SEBS V3 ซึ่งมีช่วงเวลาที่สั้นกว่าเนื่องจาก

ไม่สามารถดาวน์โหลดได้โดยตรงจากเว็บไซต์ โดยผลิตภัณฑ์ดังกล่าวมีข้อมูลเพียงในช่วงเวลา ระหว่างปี ค.ศ. 2003-2013, 2003-2012, 2008-2013 และ 2001-2015 ตามลำดับ

7. ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก (Terrestrial Water Storage Change, TWSC) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE (The Gravity Recovery and Climate Experiment) แบบรายเดือนในระหว่างปี ค.ศ. 2002-2018
8. ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ของลุ่มน้ำชี โดยเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ซึ่งมีความละเอียด 30 เมตร
9. ข้อมูลการใช้ที่ดินประเภทต่าง ๆ ของลุ่มน้ำชี ที่มีการเก็บข้อมูลโดยกรมพัฒนาที่ดินระหว่างปี ค.ศ. 2010-2013
10. แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ซึ่งเป็นแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่าแบบกึ่งกระจายตัวที่มีพื้นฐานจากแบบจำลอง FLEX-TOPO โดยพัฒนาขึ้นภายใต้การดำเนินงานของศูนย์วิจัย SENSWAT

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ผลิตภัณฑ์ศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิงและผลิตภัณฑ์ศักยภาพการคายระเหยจริงที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลที่มีความเหมาะสมสำหรับลุ่มน้ำชีและสามารถนำไปประยุกต์สำหรับลุ่มน้ำอื่น ๆ ของประเทศไทยต่อไป

## การตรวจเอกสาร

### 1. พื้นที่ศึกษา

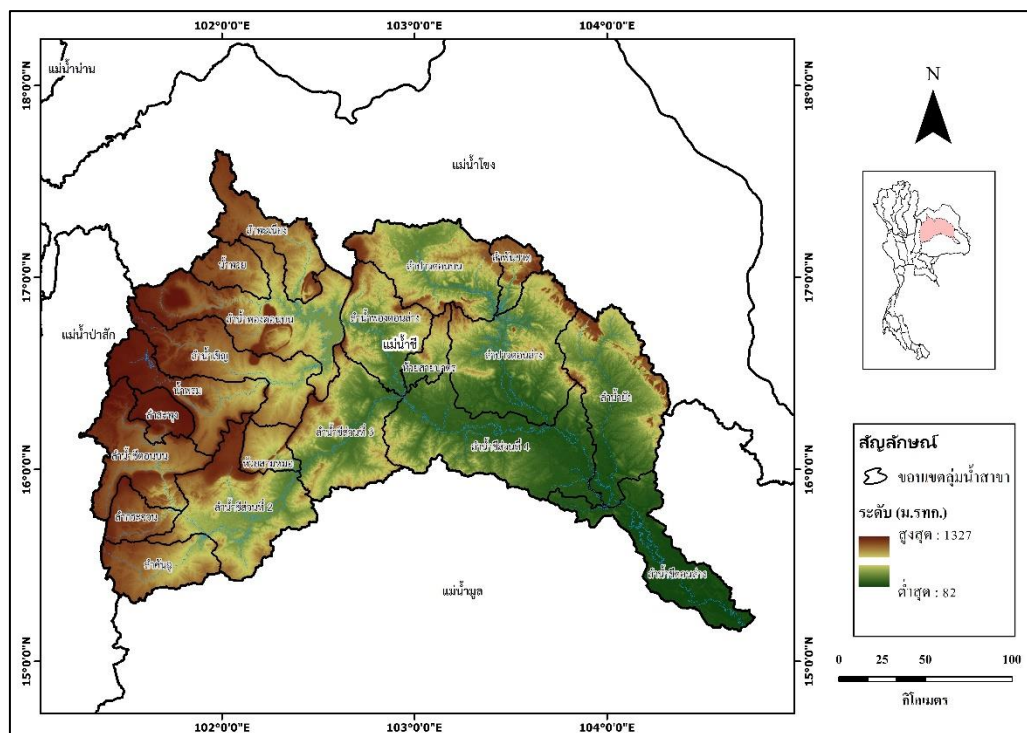
พื้นที่ศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้คือ พื้นที่ลุ่มน้ำชี โดยมีรายละเอียดที่สำคัญดังต่อไปนี้

#### 1.1 ลักษณะทั่วไปของลุ่มน้ำชี

ลุ่มน้ำชีตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีพื้นที่ลุ่มน้ำรวมทั้งสิ้น 49,131.92 ตารางกิโลเมตร หรือ 30,707,453 ไร่ มีพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขต 14 จังหวัด ได้แก่ ชัยภูมิ ขอนแก่น หนองบัวลำภู อุดรธานี มหาสารคาม นครราชสีมา เลย เพชรบูรณ์ กาฬสินธุ์ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี ศรีสะเกษ และ มุกดาหาร ลุ่มน้ำชีมีทิศเหนือติดกับลุ่มน้ำโขง ทิศใต้ติดกับ ลุ่มน้ำมูล ทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำโขงและลุ่มน้ำมูล ทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำป่าสัก ดังแสดงใน ภาพที่ 1 และในลุ่มน้ำชีมีการแบ่งลุ่มน้ำสาขาออกเป็นทั้งหมด 20 ลุ่มน้ำสาขา ดังแสดงในตารางที่ 1

สภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำชีประกอบไปด้วยเทือกเขาสูง ทางทิศตะวันออกและทิศเหนือ คือ เทือกเขาภูพาน ทิศตะวันตกคือเทือกเขาดงพญาเย็นซึ่งเป็นต้นกำเนิดของแม่น้ำชีและแม่น้ำสาขา ที่สำคัญหลายสาย ส่วนพื้นที่ตอนกลางเป็นที่ราบถึงลูกคลื่นลอนและมีเนินเล็กน้อยทางตอนใต้ของ ลุ่มน้ำลำน้ำสายหลัก คือ แม่น้ำชี ลำน้ำสาขาที่สำคัญ คือ น้ำพรม น้ำพอง น้ำเชิญ ลำปาว และน้ำยัง

แม่น้ำชีมีต้นกำเนิดมาจากยอดเขาในแนวเทือกเขาเพชรบูรณ์ ในเขตอำเภอเกษตรสมบูรณ์ จังหวัดชัยภูมิ โดยแม่น้ำชีไหลลงมาทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ผ่านอำเภอจัตุรัสและอำเภอเมืองชัยภูมิ แล้วไหลย้อนขึ้นไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือผ่านอำเภอกอนสวรรค์ จังหวัดชัยภูมิ อำเภอมัญจาคีรี อำเภอเมืองขอนแก่น และไหลลงมาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ผ่านอำเภอโกสุมพิสัย อำเภอเมืองมหาสารคาม อำเภอเสลภูมิ อำเภอพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด อำเภอเมืองยโสธร อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร และอำเภอเชียง จังหวัดอุบลราชธานี จากนั้นไหลลงมาบรรจบกับ แม่น้ำมูลที่อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี โดยแม่น้ำชีมีความยาวทั้งหมดประมาณ 830 กิโลเมตร



ภาพที่ 1 สภาพภูมิประเทศและขอบเขตของกลุ่มน้ำสาขาในกลุ่มน้ำชี

ตารางที่ 1 กลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำชี

ลำดับที่	กลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)
1	ลำน้ำชีตอนบน	2550.80
2	ลำสะพุง	742.31
3	ลำกระเจวน	893.69
4	ลำคันทอง	1732.65
5	ลำน้ำชีส่วนที่ 2	3795.36
6	ห้วยสามหมอก	764.89
7	ลำน้ำชีส่วนที่ 3	3276.24
8	ลำน้ำพองตอนบน	4129.75
9	น้ำพวย	922.35
10	ลำพะเนียง	1890.42
11	น้ำพรม	2211.46
12	ลำน้ำเชิญ	2903.55
13	ลำน้ำพองตอนล่าง	2316.23
14	ห้วยสายบาตร	677.63
15	ลำน้ำชีส่วนที่ 4	5092.51
	<b>ลุ่มน้ำชี</b>	<b>49,131.92</b>

ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำ

## 1.2 สภาพภูมิอากาศ

ลุ่มน้ำชีได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และในแต่ละปี ลุ่มน้ำชีจะได้รับอิทธิพลจากลมดีเปรสชันซึ่งพัดมาจากทะเลจีนใต้ ทำให้มีฝนตกหนักในฤดูฝน โดยอิทธิพลของลมมรสุมทั้งสองทำให้เกิดฤดูกาลทั้งหมด 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน ฤดูฝน และฤดูหนาว พื้นที่ลุ่มน้ำชีในช่วงระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมจะมีเมฆมากและฝนตกชุก เนื่องจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะพัดพามวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียและอ่าวไทยเข้าปกคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำชี และในช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีท้องฟ้าโปร่ง อากาศหนาวเย็นและแห้งแล้งทั่วไป เนื่องจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะพัดพามวลอากาศเย็นและแห้งจากประเทศจีนเข้าปกคลุมลุ่มน้ำชี นอกจากนั้นแล้ว พื้นที่ลุ่มน้ำชียังได้รับอิทธิพลจากพายุหมุนเขตร้อนและร่องความกดอากาศต่ำที่พัดผ่านเข้ามาตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ดังในภาพที่ 2 สำหรับสภาพภูมิอากาศในแต่ละฤดูกาลสรุปได้ดังนี้

1) ฤดูร้อน เกิดขึ้นระหว่างกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนเมษายน โดยมีสภาพอากาศร้อนและแห้งแล้ง และบางครั้งอาจมีมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่ปกคลุมลงมาปะทะมวลอากาศร้อนทางตอนบนของประเทศทำให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง ลมกระโชกแรงและอาจมีลูกเห็บตกโดยเรียกว่าพายุฤดูร้อน

2) ฤดูฝน เกิดขึ้นระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม โดยเกิดจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และร่องความกดอากาศต่ำพัดผ่านประเทศไทย ทำให้มีฝนตกชุกโดยทั่วไป ร่องความกดอากาศต่ำนี้จะพัดผ่านตอนกลางของประเทศไทยในเดือนพฤษภาคม แล้วเลื่อนขึ้นไปทางตอนเหนือเรื่อย ๆ จนประมาณปลายเดือนมิถุนายนจะพัดผ่านบริเวณประเทศจีนตอนใต้ทำให้ประเทศไทยรวมถึงพื้นที่ของลุ่มน้ำชีมีปริมาณฝนลดลงหรือเรียกว่าฝนทิ้งช่วง โดยจะมีระยะเวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์ และในเดือนกรกฎาคมจะเลื่อนกลับลงมาพัดผ่านประเทศไทยอีกครั้งทำให้มีฝนชุกต่อเนื่องจนกระทั่งเดือนพฤศจิกายนฝนจะเริ่มลดลง

3) ฤดูหนาว เกิดขึ้นระหว่างกลางเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ โดยลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะพัดปกคลุมลุ่มน้ำชี ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนจากฤดูฝนเป็นฤดูหนาว



## 2. ผลกระทบต่อการคายระเหยที่แท้จริงจากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล

ข้อมูลการคายระเหยจริง (Actual Evapotranspiration, AET) ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) ที่นำมาใช้ในการศึกษานี้มีทั้งสิ้น 8 ผลกระทบ ซึ่งประกอบด้วยผลกระทบ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop โดยพื้นฐานทางทฤษฎีของผลกระทบดังกล่าวยกเว้น GLDAS สามารถศึกษาได้จากผลงานตีพิมพ์เรื่อง “Validation of seven global remotely sensed ET products across Thailand using water balance measurements and land use classifications” ซึ่งทำการศึกษาโดย Sriwongsitanon et al., (2020) โดยที่ข้อมูลที่ได้จากผลกระทบ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS และ SSEBop เป็นข้อมูลที่สามารถดาวน์โหลดได้โดยตรงจากเว็บไซต์ของแต่ละผลกระทบ ในขณะที่ SSEBop, ALEXI, CMRSET, ETMonitor และ SEBS V3 ไม่สามารถดาวน์โหลดได้โดยตรงจากเว็บไซต์ โดยข้อมูลนำมาใช้ในการศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากกลุ่มวิจัยที่ร่วมในการศึกษาที่ดำเนินการโดย Sriwongsitanon et al., (2020) จึงมีข้อมูลในช่วงเวลาที่สั้นกว่ากลุ่มผลกระทบที่สามารถดาวน์โหลดได้โดยตรงจากเว็บไซต์ที่ดำเนินการวิเคราะห์ในช่วงปี ค.ศ. 2001-2014 ทั้งนี้ลักษณะเฉพาะของแต่ละผลกระทบที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 2

ผลกระทบ Global Land Data Assimilation System (GLDAS) เป็นผลกระทบที่มีความละเอียดของพิกเซลเท่ากับ 25 กิโลเมตร ซึ่งเป็นชุดข้อมูลรายเดือน โดยที่ผลกระทบ GLDAS มีกระบวนการทำงานคือการนำเข้าผลกระทบข้อมูลดาวเทียมและข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลภาคสนามมาใช้ในการจำลองแบบด้วย Land surface modelling ร่วมกับ Data assimilation technique เพื่อสร้าง Optimal fields of land surface states and fluxes (Rodell et al., 2004a) ซึ่งเป็นการปรับปรุงและดำเนินงานร่วมกับโครงการในเครือ Land Information System (LIS) ที่ทำการขับเคลื่อนแบบจำลองพื้นผิวหลากหลายแบบออนไลน์ (ไม่รวมกับชั้นบรรยากาศ) รวมทั้งข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดทั่วโลกจำนวนมากที่มีความละเอียดสูง (2.5 องศาถึง 1 กิโลเมตร) และสามารถให้ผลลัพธ์แบบใกล้เคียงเวลาจริง (Near real time) ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้หลักการของการดูคลื่นช่วงคลื่นในชั้นบรรยากาศซึ่งเป็นจุดสำคัญสำหรับแบบจำลอง และผสมผสานกับข้อมูลของผลกระทบทางอุทกวิทยาซึ่งรวมถึงการปกคลุมด้วยหิมะและการเท่ากันของระดับน้ำ ความชื้นในดิน อุณหภูมิพื้นผิวและดัชนีพื้นที่ใบ ทั้งนี้สามารถดูข้อมูลเพิ่มเติมของผลกระทบได้ในเว็บไซต์

ของ the Land Data Assimilation Systems (LDAS) <https://ldas.gsfc.nasa.gov/gldas> และสามารถดาวน์โหลดจาก <https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets?keywords=GLDAS>

ตารางที่ 2 ลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์การคายระเหยที่แท้จริงที่ใช้ในการศึกษา

ET product	Spectral		Directly download able	Spatial resolution		Original temporal resolution	Data Availability (Water years)	AET	PET
	measurements used	Energy balance		Deg	km				
MOD16A2GF	Red, NIR	3-layer Penman-Monteith	Yes	0.005	0.5	8 Days	2001 - Present	✓	✓
GLEAM V3.5a	Red, NIR, PMW, AMW	2-layer Priestley & Taylor	Yes	0.25	25	Daily	2001 - Present	✓	✓
GLDAS	-	-	Yes	0.25	25	Monthly	2001 - Present	✓	
ALEXI	Red, NIR, TIR	2-layer Residual	No	0.05	5	Monthly	2003-2013	✓	
CMRSET	Blue, Red, NIR, SWIR	-	No	0.05	5	Monthly	2003-2011	✓	
ETMonitor	Red, NIR, TIR	2-layer Penman-Monteith	No	0.01	1	Monthly	2008-2013	✓	
SEBS V3	Red, NIR, TIR, PMW, AMW	1-layer Residual	No	0.05	5	Monthly	2001-2015	✓	
SSEBop	Red, NIR, TIR	1-layer Penman - Monteith	Yes	0.01	1	Monthly	2003 - 2014	✓	

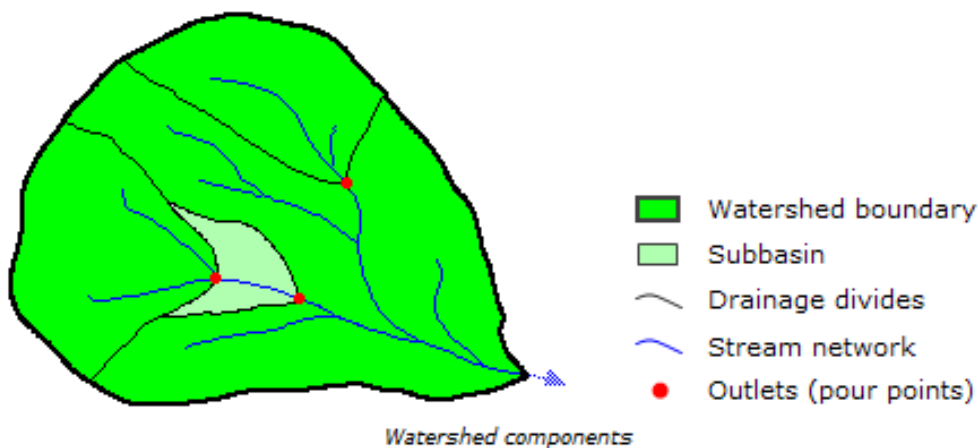
Note: NIR=Near InfraRed; SWIR=Shortwave InfraRed; TIR=Thermal InfraRed; PMW=Passive Microwave; AMW=Active Microwave



### 3. แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD

#### 3.1 การแบ่งลุ่มน้ำย่อยโดยใช้แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข

ลุ่มน้ำ (Watershed) คือ พื้นที่รองรับน้ำฝนที่ถูกแบ่งด้วยสันปันน้ำที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำจากสันปันน้ำหรือพื้นที่ที่สูงไปยังพื้นที่ที่ต่ำกว่าและไหลลงสู่ลำน้ำสายย่อย จากนั้นจึงไหลลงสู่ลำน้ำสายหลักก่อนที่จะไหลไปรวมกันที่จุดออก (Outlet) ซึ่งเป็นจุดที่มีระดับที่ต่ำที่สุดของลุ่มน้ำ โดยลุ่มน้ำสามารถทำการแบ่งแยกเป็นลุ่มน้ำย่อย (Sub-Basin) โดยลักษณะทั่วไปของลุ่มน้ำแสดงดังในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 องค์ประกอบของลุ่มน้ำ

ที่มา: ArcGIS 10 Help

การแบ่งลุ่มน้ำออกเป็นลุ่มน้ำย่อยสามารถทำการพิจารณาขอบเขตของลุ่มน้ำย่อยโดยใช้แบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ในการพิจารณา โดยในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ผลิตภัณฑ์ SRTM-30 จากหน่วยงาน The U.S. Geological Survey's (USGS) ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย อาทิเช่นงานวิจัยของ Mukul, Srivastava, and Mukul (2015a); (Mukul, Srivastava, & Mukul, 2015b) เพื่อใช้วิเคราะห์ทิศทางการไหลของน้ำ (Flow Direction) ภายในลุ่มน้ำ จากนั้นจึงกำหนดจุดออก (Pour Point, Outlet) ของแต่ละลุ่มน้ำย่อย สำหรับตัวอย่างการแบ่งลุ่มน้ำย่อยโดยใช้เครื่องมือ Watershed ในโปรแกรม ArcGIS 10 แสดงดังในภาพที่ 4 ทั้งนี้ ในการศึกษานี้ได้ใช้กระบวนการแบ่งลุ่มน้ำดังกล่าวเพื่อการแบ่งลุ่มน้ำชีออกเป็นลุ่มน้ำย่อย เพื่อการประยุกต์ใช้กับแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบกึ่งกระจายตัวในการประเมินน้ำท่า

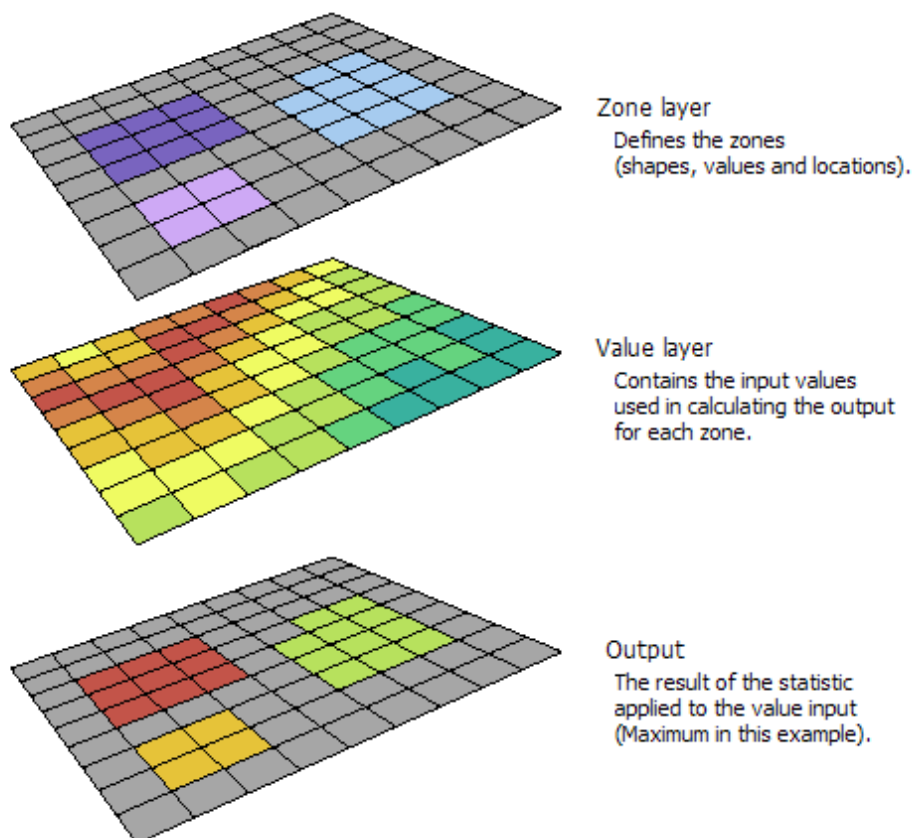


ภาพที่ 4 กลุ่มน้ำย่อยที่ถูกแบ่งโดยเครื่องมือ Watershed ใน โปรแกรม ArcGIS 10  
ที่มา: ArcGIS 10 Help

### 3.2 กระบวนการเฉลี่ยเชิงพื้นที่

ข้อมูลพื้นที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบกริด (Raster) แต่ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาในระดับกลุ่มน้ำย่อย จึงได้ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยปริมาณฝนสำหรับทุกกริดภายในกลุ่มน้ำย่อยที่ศึกษา โดยได้นำเครื่องมือ Zonal Statistic as Table ซึ่งมีอยู่ในโปรแกรม ArcGIS 10 มาใช้ในการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ (Areal Average) โดยใช้คำสั่ง Zonal Statistic as Table ที่เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาค่าทางสถิติเชิงพื้นที่ของข้อมูลแบบกริด (Raster) ในขอบเขตที่กำหนด (Zone Layer) โดยสำหรับค่าทางสถิติที่สามารถคำนวณได้ด้วยเครื่องมือ Zonal Statistic as Table ประกอบไปด้วย (1) ค่าสูงสุด (Maximum) (2) ค่าต่ำสุด (Minimum) (3) ค่าเฉลี่ย (Mean) (4) มัชฌิม (Median)

(5) พิสัย (Range) (6) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และ (7) ผลรวม (Sum) เพื่อใช้  
นำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ยเชิงพื้นที่ของข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบกริด



ภาพที่ 5 ตัวอย่างชั้นข้อมูลด้านเข้าและด้านออกสำหรับเครื่องมือ Zonal Statistic as Table  
ที่มา: ArcGIS 10 Help

จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่า สำหรับข้อมูลด้านเข้ามี 2 ชั้น ซึ่งประกอบไปด้วย (1) Zone Layer คือ ขอบเขตที่ต้องการประเมินค่าทางสถิติ และ (2) Value Layer คือ ข้อมูลแบบกริดที่ต้องการนำไปประเมินค่าทางสถิติ โดยในที่นี้ได้ทำการยกตัวอย่างการประเมินค่าสูงสุด (Maximum) ของแต่ละพื้นที่ ทั้งหมด 3 พื้นที่ และให้ผลลัพธ์ (Output) ดังแสดงในภาพที่ 5

### 3.3 ทฤษฎีของแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD

แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD เป็นแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า ประเภทกิ่งกระจายตัว ที่มีพื้นฐานมาจากแบบจำลอง FLEX-TOPO ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบลัมพ์ โดยพัฒนาให้สามารถประเมินน้ำท่าของกลุ่มน้ำย่อยด้านเหนือน้ำ โดยใช้การเคลื่อนตัวของน้ำท่าจากจุดออกผ่านทางน้ำ จนถึงจุดออกของกลุ่มน้ำย่อยด้านท้ายน้ำก่อนจะมารวมกับน้ำท่าที่เกิดขึ้นในกลุ่มน้ำย่อยด้านท้ายน้ำ โดยที่วิธีการ Muskingum ถูกนำมาใช้ในการเคลื่อนตัวของน้ำท่าผ่านทางน้ำเพื่อพัฒนาแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ให้เป็นแบบจำลองน้ำฝนน้ำท่า ประเภทกิ่งกระจายตัว

### 3.4 แบบจำลอง FLEX-TOPO

FLEX-TOPO (Gao, Hrachowitz, Fenicia, Gharari, & Savenije, 2014) เป็นแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ที่ได้รับการพัฒนามาจากแบบจำลอง FLEXL โดยวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการประเมินน้ำท่าจากข้อมูลน้ำฝน โดยแบบจำลอง FLEX-TOPO ได้เพิ่มเติมจากแนวคิดที่ว่า กระบวนการทางอุทกวิทยาที่เกิดขึ้นในแต่ละสภาพภูมิประเทศ (Landscape) จะมีกระบวนการที่ทำให้เกิดน้ำท่าที่แตกต่างกัน ดังนั้น แบบจำลอง FLEX-TOPO จึงมีการแบ่งลักษณะภูมิประเทศออกเป็นทั้งหมด 3 ประเภท คือ (1) พื้นที่ลาดเขา (Hillslope) (2) พื้นที่ลาดเอียง (Terrace) และ (3) พื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) ซึ่งลักษณะภูมิประเทศแต่ละประเภทนั้นได้ทำการแบ่งแยกประเภทโดยใช้ลักษณะทางกายภาพพื้นที่ ประกอบไปด้วย (1) ค่าความแตกต่างของระดับความสูงของพื้นที่กับระดับความสูงของตำแหน่งที่เป็นลำน้ำที่อยู่ใกล้ที่สุด (Highest above nearest drainage, HAND) (Rennó et al., 2008) และ (2) ความลาดชันของพื้นที่ (Slope)

การวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของระดับความสูงของพื้นที่กับระดับความสูงของตำแหน่งที่เป็นลำน้ำที่อยู่ใกล้ที่สุด (HAND) เริ่มต้นจากวิเคราะห์หาทิศทางการไหลจากเซลล์ (Cell) ต่าง ๆ ในแบบจำลองความสูงเชิงเลข โดยการใช้แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (DEM) ซึ่งจะใช้คำสั่ง Flow Direction ในโปรแกรม ARCGIS 10 ซึ่งมีหลักการคือ แสดงทิศทางการไหลของเซลล์ที่พิจารณาจะไปยังเซลล์ใกล้เคียงที่ต่ำที่สุด จากนั้นใช้คำสั่ง Flow Accumulation ในการรวบรวมทิศทางการไหลสะสม ซึ่งค่าการไหลสะสมนี้จะเป็นตัวแทนในการบอกปริมาณพื้นที่ของน้ำที่ไหลมารวมตัวกัน โดยแต่ละเซลล์ถือว่ามีค่าถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 1 เท่ากันทุกเซลล์ จากนั้นจะกำหนดตำแหน่งเซลล์ที่เปรียบเสมือนเป็นทางน้ำธรรมชาติ โดยคิดจากขนาดพื้นที่



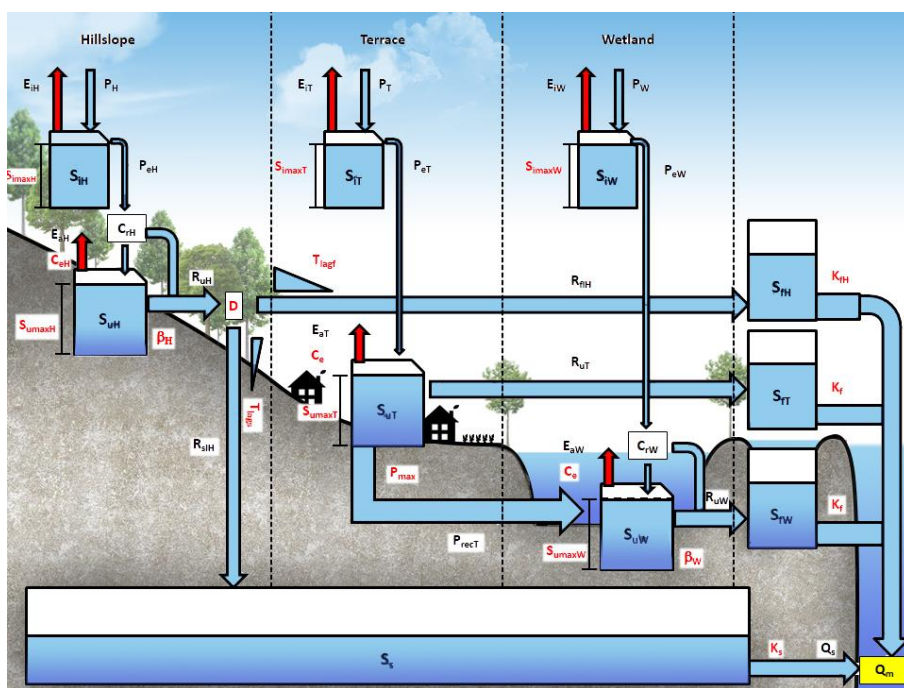
ที่สามารถทำให้เกิดทางน้ำตามธรรมชาติได้ สำหรับการศึกษานี้ได้ใช้ขนาดพื้นที่เท่ากับ 0.16 ตารางกิโลเมตร เป็นตัวกำหนด จากนั้นจึงคำนวณหาค่าการไหลสะสมเพื่อใช้กำหนดเป็นทางน้ำธรรมชาติดังสมการที่ (1)

$$D_a = \frac{160,000}{C_{size}^2} \tag{1}$$

โดยที่  $D_a$  คือ ค่าการไหลสะสมที่ใช้กำหนดลำน้ำธรรมชาติ

$C_{size}$  คือ ขนาดความละเอียดของแบบจำลองระดับความสูงเชิงตัวเลข (DEM)

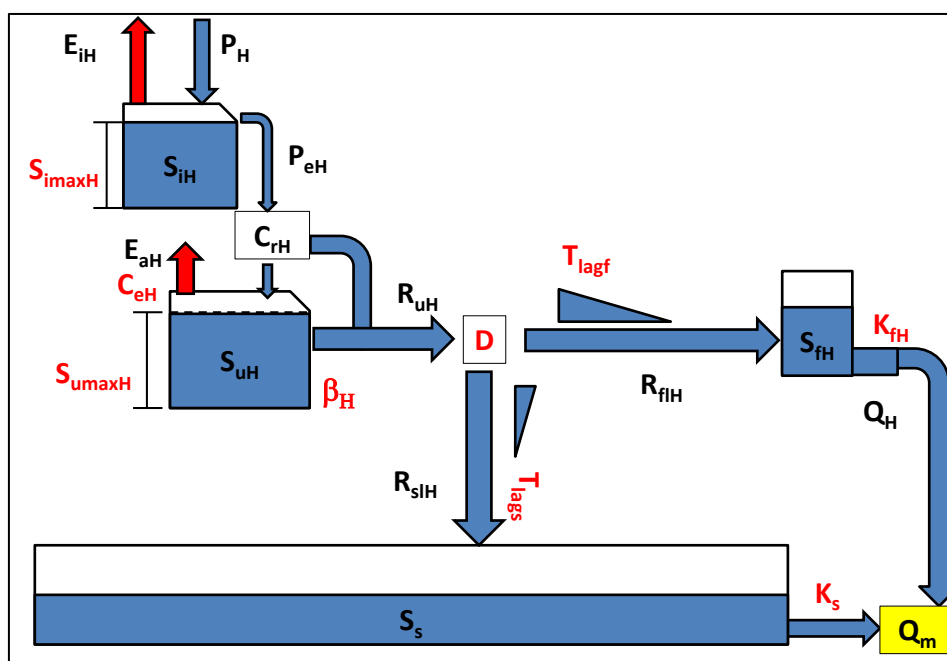
ในการจำแนกลักษณะภูมิประเทศทั้งหมด 3 ประเภท สามารถจำแนกได้ดังนี้ (1) พื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) คือ พื้นที่ที่มีค่า HAND น้อยกว่า 5 เมตร (2) พื้นที่ลาดเอียง (Terrace) คือ พื้นที่ที่มีค่า HAND มากกว่าหรือเท่ากับ 5 เมตร และมีความลาดชันน้อยกว่า 0.1 และ (3) พื้นที่ลาดชัน (Hillslope) คือพื้นที่ที่มีค่า HAND มากกว่า 5 เมตร และมีความลาดชันมากกว่าหรือเท่ากับ 0.1 โดยจากที่กล่าวมาข้างต้นลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันย่อมส่งผลให้แต่ละพื้นที่มีกระบวนการในการเกิดน้ำท่าที่แตกต่างกัน โดยได้แสดงกระบวนการเกิดน้ำท่าของแต่ละลักษณะภูมิประเทศในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 โครงสร้างของแบบจำลอง FLEX-TOPO

### 3.4.1 พื้นที่ลาดเขา (Hillslope)

พื้นที่ลาดเขา (Hillslope) ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ที่ปกคลุมไปด้วยป่าไม้ อยู่ห่างไกลจากลำน้ำ และมีความลาดชันสูง โดยแบบจำลอง FLEX-TOPO มีแนวคิดสำหรับการแบ่งแหล่งเก็บกักน้ำ ออกเป็นทั้งหมด 5 แหล่ง ได้แก่ (1) การเก็บกักชั้นหิมะ (ประเทศไทยไม่นำมาพิจารณา) (2) การเก็บกักชั้นการดักของพืชพรรณ ( $S_{iH}$ ) (3) การเก็บกักชั้นรากพืช ( $S_{uH}$ ) (4) การเก็บกักชั้นน้ำท่าที่มีการตอบสนองเร็ว ( $S_{rH}$ ) และ (5) การเก็บกักชั้นน้ำท่าที่มีการตอบสนองช้า ( $S_s$ ) ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 โครงสร้างของแบบจำลอง FLEX-TOPO ในพื้นที่ลาดเขา (Hillslope)

#### (1) แหล่งเก็บกักในชั้นการดักของพืชพรรณของพื้นที่ลาดเขา

จากพื้นที่ลาดเขาส่วนมากจะถูกปกคลุมด้วยป่าไม้ ดังนั้นเมื่อฝนตกลงมา ต้นไม้ที่ปกคลุมนี้ จะทำหน้าที่ดักน้ำฝนไม่ให้น้ำฝนตกลงสู่พื้นดิน ทำให้ปริมาณน้ำฝนบางส่วนไม่สามารถเดินทาง ลงสู่พื้นดินได้ โดยสมการที่ (2) ได้แสดงถึงกระบวนการที่เกิดขึ้นของแหล่งเก็บกักใน ชั้นการดักของพืชพรรณ และปริมาตรเก็บกักสูงสุด  $S_{imaxH}$  มีค่าระหว่าง 1 ถึง 5 มิลลิเมตร เพื่อให้สอดคล้องตามภูมิประเทศที่เป็นพื้นที่ป่าไม้

$$E_{i(H)}(t) = \min (S_{i(H)}(t-1) + P(t), E_{p(t)}, S_{imax(H)}) \quad (2)$$

โดยที่  $E_{i(H,T,W)}(t)$  คือ ปริมาณการระเหยจากการเก็บกักในชั้นการดักของพืชพรรณ (มิลลิเมตร)  
 $P(t)$  คือ ปริมาณฝนที่ตก ณ วันที่พิจารณา (มิลลิเมตร)  
 $E_{p(t)}$  คือ ศักยภาพการระเหย (Potential Evaporation) (มิลลิเมตร)  
 $S_{imaxH}$  คือ ปริมาณการระเหยจากการเก็บกักโดยกระบวนการ Interception สูงสุด

จากนั้นเมื่อมีปริมาณน้ำฝนมากกว่าปริมาณการการสูญเสียในกระบวนการของชั้นการดักของพืชพรรณ ปริมาณน้ำฝนในส่วนที่เกินจะไหลลงสู่แหล่งเก็บกักในชั้นรากพืชของพื้นที่ลาดเขา ( $S_{uH(t)}$ ) ปริมาณน้ำที่ไหลลงไปเรียกว่าปริมาณฝนส่วนเกินในพื้นที่ลาดเขา ( $P_{eH(t)}$ ) คำนวณจากสมการที่ (3)

$$P_{e(H)}(t) = \begin{cases} P(t) + S_{i(H)}(t-1) - S_{imax(H)}, & P(t) + S_{i(H)}(t-1) > S_{imaxH} \\ 0, & P(t) + S_{i(H)}(t-1) \leq S_{imaxH} \end{cases} \quad (3)$$

(2) แหล่งเก็บกักในชั้นรากพืชของพื้นที่ลาดเขา

เมื่อมีปริมาณฝนส่วนเกินจากชั้น Interception ไหลลงมาสู่ผิวดิน ปริมาณฝนส่วนเกินนี้ จะถูกแบ่งแยกออกเป็น 2 ส่วน โดยค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (Runoff Coefficient of Hillslope,  $C_{RH(t)}$ ) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 – 1 และค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่านั้นจะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงเวลา โดยขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนระหว่างความชื้นในชั้นรากพืช ( $S_{uH(t)}$ ) ณ ขณะนั้น ต่อความชื้นในชั้นรากพืชสูงสุด ( $S_{umaxH}$ ) และค่าคงที่  $\beta H$  ที่บ่งบอกความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของกระบวนการเชิงพื้นที่ (Spatial Process Heterogeneity) หรือพารามิเตอร์ความไม่เป็นเส้นตรงของอัตราส่วนระหว่างความชื้นในชั้นรากพืชต่อความชื้นในชั้นรากพืชสูงสุดแสดงดังสมการที่ (4) จากนั้นปริมาณฝนส่วนเกินจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ (1) ส่วนที่เดินทางไหลลงไปสู่ชั้นรากพืชแสดงดังสมการที่ (5) และ (2) ส่วนที่เกิดเป็นน้ำท่า อย่างไรก็ตาม ถ้าหากการเก็บกักในชั้นรากพืช ( $S_{uH(t)}$ ) มีปริมาณน้ำมากกว่าการเก็บกักสูงสุด ( $S_{umaxH}$ ) ปริมาณน้ำในส่วนที่เกิน จะไหลออกมาพร้อมกับน้ำในส่วนที่ 2 ดังนั้น สามารถคำนวณปริมาณน้ำท่า ( $R_{uH(t)}$ ) ได้ดังสมการที่ (6) จากนั้นปริมาณน้ำท่า ( $R_{uH(t)}$ ) ได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) ปริมาณน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (Flow Into Fast Respond,  $R_{FH(t)}$ ) และ (2) ปริมาณน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างเชื่องช้า

(Groundwater Recharge,  $R_{sH(t)}$ ) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (Splitter Coefficient,  $D$ ) เป็นตัวแบ่ง โดยมีค่าระหว่าง 0.1 ถึง 1 ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์ของการตอบสนองอย่างเชื่องช้าคือ  $1 - D$  และส่วนกระบวนการคายระเหยนั้นคำนวณได้จากสมการที่ (7) และ สมการที่ (8) เป็นการคำนวณของความชื้นในดินเมื่อสิ้นสุดวันใด ๆ

$$C_{rH(t)} = 1 - \left(1 - \frac{S_{uH(t)}}{S_{u\max H}}\right)^{\beta H} \quad (4)$$

$$S_{uH(t)} = S_{uH(t-1)} + P_{eH(t)}(1 - C_{rH(t)}) \quad (5)$$

$$R_{uH(t)} = \begin{cases} (P_{eH(t)} * C_{rH(t)}) + (S_{uH(t)} - S_{u\max H}), & S_{uH(t)} > S_{u\max H} \\ P_{eH(t)} * C_{rH(t)}, & S_{uH(t)} \leq S_{u\max H} \end{cases} \quad (6)$$

$$E_{aH(t)} = \min \left( S_{uH(t)}, (E_{pH(t)} - E_{iH(t)}), \frac{S_{uH(t)}}{C_{eH} S_{u\max H}} (E_{pH(t)} - E_{iH(t)}) \right) \quad (7)$$

$$S_{uH(t+1)} = S_{uH(t)} - E_{aH(t)} \quad (8)$$

สำหรับการเคลื่อนตัวของน้ำท่าที่จะเดินทางไปสู่แหล่งเก็บกักในชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว ( $S_{fH(t)}$ ) และ แหล่งเก็บกักในชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว ( $S_{sH(t)}$ ) จะต้องมีการคำนวณวิเคราะห์การหน่วงเวลา โดยใช้ฟังก์ชันหน่วงเวลา (Lag Function) ที่ให้ค่าถ่วงน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามเวลาแบบเส้นตรง (Linearly Increase Weight) ดังแสดงในสมการที่ (9)

$$C(i) = \frac{i}{\sum_{u=1}^{T_{lag}(f/s)} u} \quad (9)$$

โดยที่  $C(i)$  คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของ  $R_f$  ในวันที่  $(t - i + 1)$  ในเมื่อ  $i$  มีค่าตั้งแต่ 1 จนถึง  $T_{lag}$   
 $T_{lag}(f/s)$  คือ จำนวนวันที่น้ำท่ามีการหน่วงตามเวลา (วัน)

ปริมาณน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว ( $R_{fH(t)}$ ) และปริมาณน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างช้า ( $R_{sH(t)}$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (10)



$$R_{(f/s)tH(t)} = \sum_{i=1}^{Tlag(f/s)} C(i) \cdot R_{(fH/sH)}(t - i + 1) \quad (10)$$

เมื่อ  $R_{(f/s)tH(t)}$  คือ ปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากการตอบสนองอย่างรวดเร็ว/ช้า ที่เป็นผลจากการหน่วงเวลา ณ วันที่พิจารณา ( $t = 1, 2, 3, \dots$ )

(3) แหล่งเก็บกักชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วของพื้นที่ลาดเขา

แหล่งเก็บกักในชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วของพื้นที่ลาดเขา ( $S_{fH(t)}$ ) เป็นแหล่งเก็บกักสุดท้ายที่จะปล่อยน้ำท่าออกสู่ลำน้ำ ณ จุดที่พิจารณา โดยการวิเคราะห์ประมาณการไหลเหนือฝูดินที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะของการตอบสนองแบบเส้นตรง (Linear Respond Reservoir) ที่ขึ้นกับค่าคงที่  $K_{fH}$  และ  $K_{ffH}$  โดยปริมาณเก็บกักของชั้นน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว ( $R_{fH(t)}$ ) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (11) สำหรับในกรณีที่มีปริมาณน้ำในแหล่งเก็บกักของชั้นน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วมากกว่าปริมาณเก็บกักสูงสุดของชั้นน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว ( $S_{fH(max)}$ ) จะทำให้เกิดการไหลบ่าบนฝูดินดังสมการที่ (12) ในส่วนของการไหลระหว่างฝูดินและชั้นใต้ดินคำนวณได้ดังสมการที่ (13) และสำหรับปริมาณน้ำในแหล่งเก็บกักของชั้นน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วเมื่อสิ้นสุดวันจะคำนวณได้ดังสมการที่ (14)

$$S_{fH(t)} = S_{fH(t-1)} + R_{fH(t)} \quad (11)$$

$$Q_{ffH(t)} = \frac{S_{fH(t)} - S_{fH(max)}}{K_{ffH}} * \Delta t \quad (12)$$

$$Q_{fH(t)} = \frac{S_{fH(t)}}{K_{fH}} * \Delta t \quad (13)$$

$$S_{fH(t+1)} = S_{fH(t)} - Q_{fH(t)} \quad (14)$$

โดยที่	$K_{fH}$	คือ Residence Time ของการไหลเหนือผิวดิน
	$K_{fH}$	คือ Residence Time ของการไหลระหว่างผิวดินและชั้นใต้ดิน
	$S_{fH(t)}$	คือ ปริมาณน้ำในชั้นเก็บกักที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (มิลลิเมตร)
	$Q_{fH(t)}$	คือ อัตราการไหลเหนือผิวดิน (มิลลิเมตร)
	$Q_{fH(t)}$	คือ อัตราการไหลระหว่างผิวดินและชั้นใต้ดิน (มิลลิเมตร)

(4) แหล่งเก็บกักในชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างเชื่องช้า (Slow Reacting Reservoir)

แหล่งเก็บกักการเก็บกักในชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างเชื่องช้า ( $S_{s(t)}$ ) เป็นแหล่งเก็บกักที่เปรียบเสมือนแหล่งเก็บน้ำใต้ดิน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเก็บน้ำไว้ใช้สำหรับฤดูแล้ง โดยที่การประเมินอัตราการไหลใต้ดินที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะของการตอบสนองแบบเส้นตรง (Linear Respond Reservoir) ที่ขึ้นกับค่าคงที่  $K_s$  โดยที่น้ำที่ไหลเข้าถึงคือปริมาณน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างเชื่องช้า ( $R_{sH(t)}$ ) จากชั้นรากพืช แสดงดังสมการที่ (15) จากนั้นจึงเกิดการไหลของน้ำใต้ดินดังสมการที่ (16) และเมื่อสิ้นสุดวันจะเหลือปริมาณเก็บกักเป็นไปตามสมการที่ (17)

$$S_s(t) = S_{s(t-1)} + R_{sH}(t) \quad (15)$$

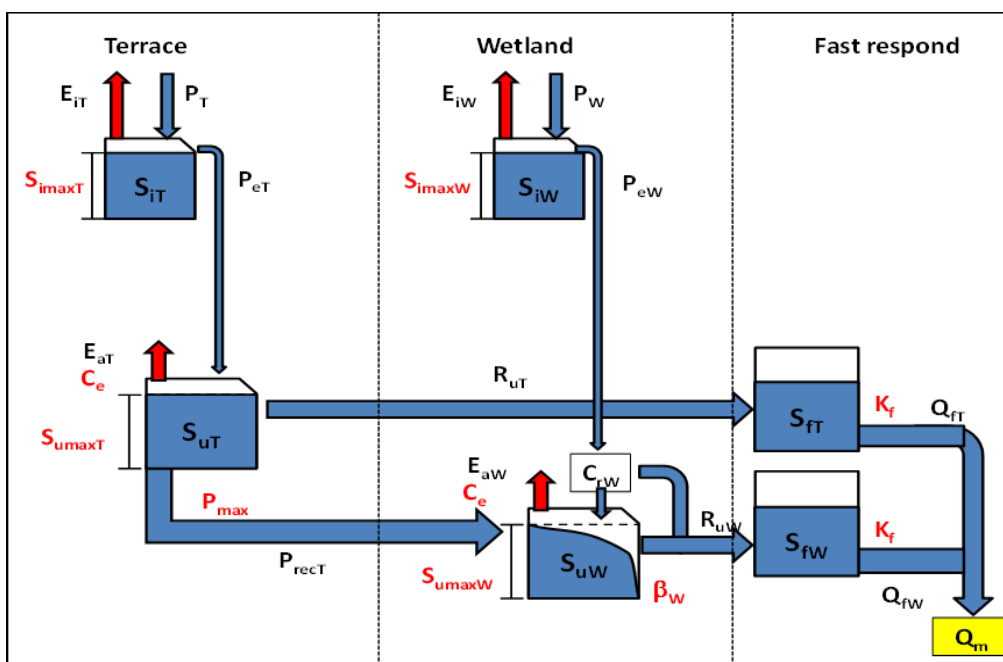
$$Q_s(t) = \frac{S_s(t)}{K_s} * \Delta t \quad (16)$$

$$S_s(t+1) = S_s(t) - Q_s(t) \quad (17)$$

โดยที่	$Q_{s(t)}$	คือ อัตราการไหลของน้ำใต้ดิน (มิลลิเมตร)
	$S_{s(t)}$	คือ ปริมาณน้ำในชั้นเก็บกักที่มีการตอบสนองอย่างเชื่องช้า (มิลลิเมตร)
	$K_s$	คือ Residence time ของการไหลของน้ำใต้ดิน

### 3.4.2 พื้นที่ลาดเอียง

พื้นที่ลาดเอียง (Terrace) เป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันในพื้นที่ต่ำ โดยส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่เกษตรกรรม, ทุ่งหญ้า และเมือง แต่เนื่องจากพื้นที่มีลักษณะราบนั้นจึงมีกระบวนการคำนวณน้ำท่าแตกต่างจากพื้นที่อื่นแสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 โครงสร้างของแบบจำลอง FLEX-TOPO ในพื้นที่ลาดเอียงและพื้นที่ชุ่มน้ำ

(1) การเก็บกักชั้นการดักของพืชพรรณของพื้นที่ลาดเอียง

สำหรับการเก็บกักชั้นการดักของพืชพรรณของพื้นที่ลาดเอียงนั้น รูปแบบสมการมีแนวคิดเดียวกับการเก็บกักชั้นการดักของพืชพรรณของพื้นที่ลาดเขา เพียงแค่เปลี่ยนตัวห้อยท้ายจาก H เป็น T

(2) แหล่งเก็บกักในชั้นรากพืชของพื้นที่ลาดเอียง

แหล่งเก็บกักในชั้นรากพืชของพื้นที่ลาดเอียง ( $S_{uT(t)}$ ) มีสมมุติฐานว่าพื้นที่ลาดเอียงส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ราบลุ่มทำให้การเกิดน้ำไหลบ่าบนผิวดินเกิดได้ยาก ดังนั้นน้ำฝนส่วนเกิน ( $P_{eT(t)}$ ) ทั้งหมดที่ไหลมากจากแหล่งเก็บกักในชั้น จะไหลลงสู่แหล่งเก็บกักที่ชั้นรากพืชทั้งหมดแสดงดัง

สมการที่ (18) เมื่อปริมาณน้ำเก็บกักมีมากกว่าปริมาณเก็บกักสูงสุดในชั้นรากพืช ( $S_{umaxT}$ ) จึงจะเกิดปริมาณน้ำท่า (Generated Flow,  $R_{uT(t)}$ ) แสดงดังสมการที่ (19) โดยมีความแตกต่างจากกระบวนการคิดของพื้นที่ลาดเขาคือ ไม่มีการคิดค่าของสัมประสิทธิ์น้ำท่าและการแบ่งน้ำท่าในส่วนของ การตอบสนองอย่างเชิงซ้ำ สำหรับพื้นที่ลาดเอียงนั้น เป็นพื้นที่ที่มีความลาดชันต่ำ ทำให้น้ำที่อยู่ในพื้นที่ไม่สามารถเดินทางได้อย่างสะดวก ทำให้มีการซึมของน้ำลงสู่ชั้นใต้ดิน (Percolation,  $P_{ercT(t)}$ ) โดยคำนวณได้จากสมการที่ (20) และพารามิเตอร์  $P_{max}$  เป็นพารามิเตอร์จำกัดการซึมสูงสุดของน้ำและสมการที่ (21) แสดงการคำนวณความชื้นในชั้นรากพืชของพื้นที่ลาดเอียง ( $S_{uT(t)}$ ) ก่อนเกิดการระเหย และในส่วนของ การคายระเหยจะมีการคำนวณเช่นเดียวกับพื้นที่ลาดเขา

$$S_{uT(t)} = S_{uT(t-1)} + P_{eT(t)} \quad (18)$$

$$R_{uT(t)} = \begin{cases} S_{uT(t)} - S_{umaxT}, & S_{uT(t)} > S_{umaxT} \\ 0, & S_{uT(t)} < S_{umaxT} \end{cases} \quad (19)$$

$$P_{ercT(t)} = \min (S_{uT(t)}, P_{Max}) \quad (20)$$

โดยที่  $P_{max}$  คือ พารามิเตอร์การซึมสูงสุดของแบบจำลองที่มีค่าแนะนำระหว่าง 0.5 ถึง 3

$$S_{uT(t)} = S_{uT(t)} - P_{ercT(t)} \quad (21)$$

(3) แหล่งเก็บกักชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วของพื้นที่ลาดเอียง

สำหรับการเก็บกักชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วของพื้นที่ลาดเอียงนั้น รูปแบบสมการมีแนวคิดเดียวกับการเก็บกักชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วของพื้นที่ลาดเขา เพียงแค่เปลี่ยนตัวห้อยท้ายจาก H เป็น T และแนะนำควรมีค่า  $K_f$  อยู่ระหว่าง 1 ถึง 9 เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่

### 3.4.3 พื้นที่ชุ่มน้ำ

พื้นที่ชุ่มน้ำ (Wetland) เป็นพื้นที่ที่มีน้ำท่วมขังในช่วงฤดูฝนและมีขอบเขตบริเวณที่ตั้งอยู่ติดกับลำน้ำง่ายต่อการเกิดน้ำท่า มีกระบวนการคำนวณน้ำท่าแตกต่างจากพื้นที่อื่นแสดงดังภาพที่ 8

#### (1) การเก็บกักชั้นการคักของพืชพรรณของพื้นที่ชุ่มน้ำ

สำหรับการเก็บกักชั้นการคักของพืชพรรณของพื้นที่ชุ่มน้ำนั้น มีรูปแบบสมการเช่นเดียวกับการเก็บกักชั้นการคักของพืชพรรณของพื้นที่ลาดเขา เพียงแค่เปลี่ยนตัวห้อยท้ายจาก H เป็น W

#### (2) แหล่งเก็บกักในชั้นรากพืชของพื้นที่ชุ่มน้ำ

สำหรับแหล่งเก็บกักชั้นรากพืชของพื้นที่ชุ่มน้ำนั้น มีรูปแบบสมการในการคำนวณเช่นเดียวกับการเก็บกักในชั้นรากพืชของพื้นที่ลาดเขา แต่เนื่องจากพื้นที่นี้เป็นพื้นที่ที่ต่ำที่สุดของกลุ่มน้ำ ดังนั้น น้ำที่อยู่ในพื้นที่ลาดเอียง (Terrace) จะไหลมาสมทบในชั้นรากพืชของพื้นที่ชุ่มน้ำ ( $S_{w(t)}$ ) ก่อนเกิดน้ำท่า โดยน้ำที่ซึมมาจากชั้นรากพืชของพื้นที่ลาดเอียง ( $C_{R(t)}$ ) แสดงดังสมการที่ (22)

$$CR_{(t)} = PercT_{(t)} * \frac{PropT}{PropW} \quad (22)$$

โดยที่  $CR_{(t)}$  คือ น้ำที่ซึมมาจากชั้นรากพืชของพื้นที่ลาดเอียง (มิลลิเมตร)

$PropT$  คือ อัตราส่วนพื้นที่ Terrace

$PropW$  คือ อัตราส่วนพื้นที่ Wetland

#### (3) แหล่งเก็บกักชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วของพื้นที่ชุ่มน้ำ

สำหรับการเก็บกักชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วของพื้นที่ชุ่มน้ำนั้น รูปแบบสมการมีแนวคิดเดียวกับการเก็บกักชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็วของพื้นที่ลาดเขา เพียงแค่เปลี่ยนตัวห้อยท้ายจาก H เป็น W และแนะนำควรมีค่า  $K_f$  อยู่ระหว่าง 1 ถึง 20 เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่

จากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น ปริมาณน้ำท่า ( $Q_{m(t)}$ ) ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง FLEX-TOPO จะคำนวณจากปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลาดเขา ( $Q_{fH(t)}$ ) น้ำท่าในพื้นที่ลาดเอียง ( $Q_{fT(t)}$ ) น้ำท่าในพื้นที่ชุ่มน้ำ ( $Q_{fW(t)}$ ) และน้ำท่าจากน้ำใต้ดิน ( $Q_{s(t)}$ ) ซึ่งปริมาณการไหลทั้งหมดจะไหลมารวมตัวกันที่จุดออกของลำน้ำดังสมการที่ (23)

$$Q_{m(t)} = Q_{s(t)} + (Q_{fH(t)} * PropH) + (Q_{fT(t)} * PropT) + (Q_{fW(t)} * PropW) \quad (23)$$

โดยที่  $PropH$  คือ อัตราส่วนพื้นที่ Hillslope

$PropT$  คือ อัตราส่วนพื้นที่ Terrace

$PropW$  คือ อัตราส่วนพื้นที่ Wetland

### 3.5 การพัฒนา แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD

Sriwongsitanon et al. (2020) ได้พัฒนาแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ซึ่งเป็นแบบจำลองแบบกึ่งกระจายตัวที่มีพื้นฐานจากแบบจำลอง FLEX-TOPO ดังนั้น พื้นที่ลุ่มน้ำจะต้องถูกแบ่งเป็นลุ่มน้ำย่อย ซึ่งปริมาณน้ำจะถูกประเมินในแต่ละลุ่มน้ำย่อย โดยใช้หลักการของ FLEX-TOPO จากความลึกฝนส่วนเกินของแต่ละลุ่มน้ำย่อย จากนั้นความลึกฝนส่วนเกินในแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะเคลื่อนตัวไปยังจุดออกของแต่ละลุ่มน้ำย่อย โดยใช้พารามิเตอร์การหน่วงเวลา  $Tlag_F$  และ  $Tlag_S$  ซึ่งมีหน่วยเป็นชั่วโมง ทั้งนี้  $Tlag_F$  และ  $Tlag_S$  สามารถประเมินได้จากสมการที่ (24) และ (25)

$$T_{lagF-sub} = T_{lagF} \sqrt{A_{sub}/A} \quad (24)$$

$$T_{lagS-sub} = T_{lagS} \sqrt{A_{sub}/A} \quad (25)$$

โดยที่  $T_{lag}$  คือ พารามิเตอร์ที่เป็นตัวแทนของสถานีวัดน้ำท่าทำการสอบเทียบ

$T_{lag-sub}$  คือ พารามิเตอร์สำหรับแต่ละลุ่มน้ำย่อย

$A$  คือ พื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่าทำการสอบเทียบแบบจำลอง

$A_{sub}$  คือ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยของสถานีวัดน้ำท่าทำการสอบเทียบ

โดยปริมาณน้ำท่า ( $S_{chnl-sub}$ ) ที่เกิดจากกลุ่มน้ำย่อยด้านเหนือน้ำจะเคลื่อนที่จากจุดออกของกลุ่มน้ำย่อยด้านเหนือน้ำไปยังจุดออกของสถานีด้านท้ายน้ำโดยวิธีการ Muskingum ก่อนที่จะไปรวมกับน้ำท่าของสถานีวัดน้ำท่าด้านท้ายน้ำ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (26) และ (27)

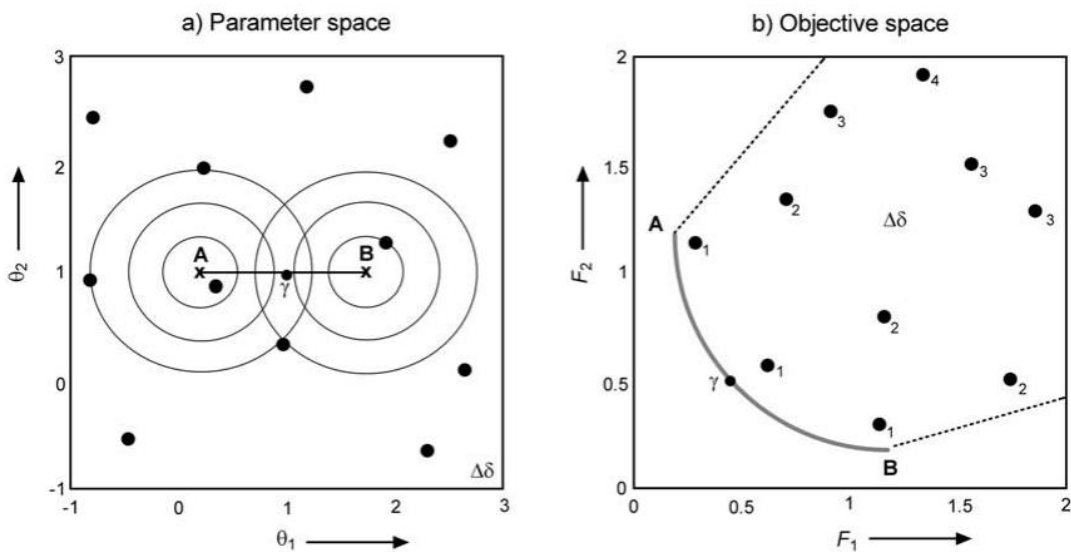
$$S_{schnl-sub} = \alpha_{sub} (XQ_{up} + (1 - x)Q_{down}) \quad (26)$$

$$\alpha_{sub} = \alpha L_{sub} \quad (27)$$

โดยที่	$Q_{up}$	คือ ปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำย่อยด้านเหนือน้ำ
	$Q_{down}$	คือ ปริมาณน้ำท่าของกลุ่มน้ำย่อยด้านท้ายน้ำ
	$\alpha$	คือ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการห้วงเวลา
	$X$	คือ แฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก
	$L$	คือ ระยะทางระหว่างจุดออกของกลุ่มน้ำย่อยด้านเหนือน้ำถึงจุดออกของกลุ่มน้ำย่อยด้านท้ายน้ำ

### 3.6 MOSCEM (Multi Objective Shuffle Complex Evolution Metropolis)

โปรแกรม MOSCEM ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย (Vrugt, Gupta, Bastidas, Bouten, & Sorooshian, 2003) เพื่อใช้ในการสอบเทียบแบบจำลองทางอุทกวิทยาแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Function) โดยได้เริ่มจากการสุ่มประชากรชุดแรกจากวิธี Latin Hyper Cube เพื่อสร้างประชากรชุดเริ่มต้นที่มีการกระจายตัวอย่างทั่วทั้งมิติ และเริ่มทำการคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับประชากรทุกตัวที่สุ่มมา จากนั้นจะจัดลำดับของประชากรแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วยกระบวนการ Pareto Ranking แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการสุ่มเข้าโดยใช้อัลกอริทึม Markov Chain Monte Carlo Sample เพื่อให้ได้ประชากรชุดถัดไป สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาโดย MOSCEM จะเป็นชุดคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ที่เรียกว่า Pareto Front ซึ่งก็คือชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่ในลำดับที่ 1 ดังแสดงในภาพที่ 9 กล่าวคือ Pareto Front เป็นชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ไม่แพ้พารามิเตอร์ชุดอื่น ๆ ซึ่งในกรณีการแก้ปัญหาแบบ Minimize จะไม่มีพารามิเตอร์ชุดไหนที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่น้อยกว่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ Pareto Front



ภาพที่ 9 หลักการของกระบวนการ Pareto Ranking สำหรับปัญหาที่มีสองพารามิเตอร์  $(\theta_1, \theta_2)$  (a) และ มีสองวัตถุประสงค์  $(F_1, F_2)$  (b)

### 3.7 Kling-Gupta Efficiency (KGE)

ดัชนีประสิทธิภาพ Kling-Gupta Efficiency (KGE) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับการสอบเทียบแบบจำลองในงานวิจัยนี้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (28-31) โดยที่ค่า KGE มีค่าอยู่ระหว่าง  $-\infty$  ถึง 1 ในกรณีที่ KGE มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบปฏิกิริยาโดยตรงที่ดีมากและปริมาณทั้งสองสำหรับทุกค่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก และในกรณีที่ KGE มีค่าเข้าใกล้  $-\infty$  แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์ทั้งในเชิงปฏิกิริยาและเชิงปริมาณ

$$KGE = 1 - ED \tag{28}$$

$$ED = \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2} \tag{29}$$

$$\alpha = S_Y/S_X \tag{30}$$

$$\beta = \bar{Y}/\bar{X} \tag{31}$$



โดยที่	$\bar{X}$	คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด
	$\bar{Y}$	คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง
	$S_X$	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด
	$S_Y$	คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง
	$r$	คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ในการศึกษานี้ได้นำ KGE มาประยุกต์ใช้สำหรับการประเมินฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ฟังก์ชันดังนี้

1)  $KGE_E$  คือการประเมิน KGE ระหว่างผลลัพธ์จากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัด โดยพิจารณาจากข้อมูลอัตราการไหล

2)  $KGE_L$  คือการประเมิน KGE ระหว่างผลลัพธ์จากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัด โดยพิจารณาจากลอการิทึมของอัตราการไหล เพื่อให้ความสำคัญกับอัตราการไหลในช่วงหน้าแล้ง หรือช่วงเวลาที่ม้ออัตราการไหลต่ำ (Low Flow)

3)  $KGE_F$  คือการประเมิน KGE ระหว่างผลลัพธ์จากแบบจำลองและข้อมูลตรวจวัด โดยพิจารณาจากโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow Duration Curve) เพื่อให้ความสำคัญกับสมดุลน้ำ (Water Balance) โดยที่ปริมาตรที่ทุกช่วงเวลาต้องมีปริมาณที่ไม่ต่างกันมาก

### 3.8 Nash-Sutcliffe's Efficiency (NSE)

ค่าตัวแปรทางสถิติที่นำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพ ระหว่างผลการคำนวณจากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า และข้อมูลตรวจวัด คือ Nash-Sutcliffe's Efficiency (NSE) (Nash & Sutcliffe, 1970) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (32) โดยที่ค่า NSE มีค่าอยู่ระหว่าง  $-\infty$  ถึง 1 ในกรณีที่ NSE มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคโดยตรงที่ดีมากและปริมาณทั้งสองสำหรับทุกค่า มีค่าใกล้เคียงกันมาก และในกรณีที่ NSE มีค่าเข้าใกล้  $-\infty$  แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์ทั้งในเชิงปฏิภาคและเชิงปริมาณ

$$NSE = 1 - \left[ \frac{\sum_i^N (Y_i - X_i)^2}{\sum_i^N (Y_i - \bar{Y})^2} \right] \quad (32)$$

โดยที่	$X_i$	คือ ผลการคำนวณจากแบบจำลอง
	$Y_i$	คือ ข้อมูลการตรวจวัด
	$\bar{Y}$	คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด
	$N$	คือ จำนวนข้อมูล
	$i$	คือ แสดงถึงลำดับของอนุกรมข้อมูล



2967045753

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งประกอบด้วย โปรแกรม ArcGIS 10, MATLAB 2019 และ Python 2.7
2. แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่ได้รับการพัฒนาภายใต้การดำเนินงานของศูนย์วิจัย SENSWAT

### วิธีการ

โครงร่างวิทยานิพนธ์เรื่อง “การเปรียบเทียบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์การคายระเหยที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกลด้วยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD และสมคูลน้ำสำหรับลุ่มน้ำชี” มีขั้นตอนในการศึกษาโดยสรุปได้ดังนี้

#### 1. รวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาซึ่งประกอบด้วยข้อมูลต่อไปนี้

1.1 ข้อมูลการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำชีออกเป็น 98 ลุ่มน้ำย่อย รวมทั้งผลการวัดขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความยาวของลำน้ำสายหลักในแต่ละลุ่มน้ำย่อย โดยข้อมูลดังกล่าวได้จัดทำขึ้นภายใต้การดำเนินงานของศูนย์วิจัย SENSWAT

1.2 ข้อมูลความลึกฝนรายวันแบบกริดที่ครอบคลุมลุ่มน้ำชีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 ที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องแล้วด้วยวิธี Automated Quality Control (QC) System ที่จัดทำขึ้นภายใต้การดำเนินงานของศูนย์วิจัย SENSWAT โดยข้อมูลฝนเหล่านี้ได้รับการรวบรวมข้อมูลไว้โดยกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลฝนรายวันของแต่ละสถานีในลุ่มน้ำชีได้ถูกบันทึกไว้ในเว็บไซต์ <https://senswat.eng.ku.ac.th>

1.3 ข้อมูลน้ำท่ารายวันที่สถานีวัดของกลุ่มน้ำชีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 จำนวน 10 สถานี ประกอบด้วย E.32A, E.5, E.23, E.21, E.9, E.66A, E.18, E.54, E.70 และ E.20A ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้รับการรวบรวมข้อมูลไว้โดยกรมชลประทาน และถูกบันทึกไว้ในเว็บไซต์ <https://senswat.eng.ku.ac.th> ภายใต้การดำเนินงานของศูนย์วิจัย SENSWAT

1.4 ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith ที่ครอบคลุมกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำชีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 ซึ่งเป็นข้อมูลที่จัดทำขึ้นภายใต้การดำเนินงานของศูนย์วิจัย SENSWAT

1.5 ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (PET) ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ที่ครอบคลุมกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำชีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014

1.6 ข้อมูลการคายระเหยจริง (Actual Evapotranspiration, AET) ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing) ที่นำมาใช้ในการศึกษาทั้งหมด 8 ผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop โดยผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS และ SSEBop เป็นข้อมูลที่สามารถดาวน์โหลดได้โดยตรงจากเว็บไซต์จึงนำข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 มาใช้ในการศึกษา ในขณะที่ SSEBop มีข้อมูลในระหว่างปี ค.ศ. 2003-2014 และสำหรับผลิตภัณฑ์ ALEXI, CMRSET, ETMonitor และ SEBS V3 มีข้อมูลเฉพาะในช่วงเวลาระหว่างปี ค.ศ. 2003-2013, 2003-2012, 2008-2013 และ 2001-2015 ตามลำดับ เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้ไม่สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ และได้รับการอนุเคราะห์ข้อมูลจาก Professor Wim Bastiaansen จาก IHE-Delft, Institute for Water Education, Delft University, the Netherlands

1.7 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก (Terrestrial Water Storage Change, TWSC) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE (The Gravity Recovery and Climate Experiment) แบบรายเดือนในระหว่างปี ค.ศ. 2002-2018 ที่สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov/drive/files/allData/tellus/L3/mascon/RL06>

1.8 ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ที่ครอบคลุมลุ่มน้ำชี โดยเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) จากหน่วยงาน The U.S. Geological Survey's (USGS) ซึ่งมีความละเอียด 30 เมตร

1.9 ข้อมูลการใช้ที่ดินประเภทต่าง ๆ ของลุ่มน้ำชี ที่มีการเก็บข้อมูลโดยกรมพัฒนาที่ดินระหว่างปี ค.ศ. 2010-2013

2. เปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a และเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล AET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop

3. ศึกษาทฤษฎีและแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD เพื่อการประเมินน้ำท่า

4. สอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith ในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 และศึกษาความไวของช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่มีต่อผลการประเมินน้ำท่าในลุ่มน้ำชี โดยกระบวนการ Sliding Windows Cross Validation เพื่อการเลือกช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่มีความถูกต้องสูงสุด

5. สอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำชีโดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a สำหรับลุ่มน้ำชี โดยจะทำการสอบเทียบแบบจำลองในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2010 และตรวจพิสูจน์แบบจำลองในระหว่างปี ค.ศ. 2011-2014 และเปรียบเทียบกับผลการดำเนินงานในทำนองเดียวกันแต่เปลี่ยนช่วงเวลาการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่มีความถูกต้องสูงสุดที่ได้จากขั้นตอนที่ 4

6. สอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำที่ใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith ในระหว่าง ปี ค.ศ. 2001-2014 เพื่อให้ได้ค่า  $AET_{\text{model\_Penman}}$  ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่า  $AET_{\text{RS}}$  ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop โดยตั้งสมมุติฐานว่าค่า  $AET_{\text{RS}}$  ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ใดที่เข้ากันได้กับค่าการคายระเหยที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD มากที่สุดในภาพรวมของทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

7. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) แบบรายเดือน ด้วยสมการสมดุลน้ำ ( $\Delta S = P - Q - AET_{\text{RS}}$ ) โดยใช้ค่า  $AET_{\text{RS}}$  จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกักที่ได้จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก (Terrestrial Water Storage Change, TWSC) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE (The Gravity Recovery and Climate Experiment) แบบรายเดือน ซึ่งจะดำเนินการทั้งรายสถานีวัดน้ำท่าและรายลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำชีในปี ค.ศ. 2002-2018 เพื่อสรุปว่าผลิตภัณฑ์ใดให้ผลการประเมินที่ถูกต้องมากที่สุด

8. วิเคราะห์ค่า  $AET_{\text{RS}}$  ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop สำหรับการใช้น้ำที่ดินประเภทต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบกับการใช้น้ำที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินปี ค.ศ. 2010-2013 ของลุ่มน้ำชี เพื่อพิจารณาความสอดคล้องกันระหว่างค่า  $AET_{\text{RS}}$  สำหรับการใช้น้ำที่ดินแต่ละประเภท เพื่อประกอบการสรุปผลว่าผลิตภัณฑ์  $AET_{\text{RS}}$  ใด ที่ให้ผลการประเมินที่มีความสมเหตุสมผลมากที่สุด

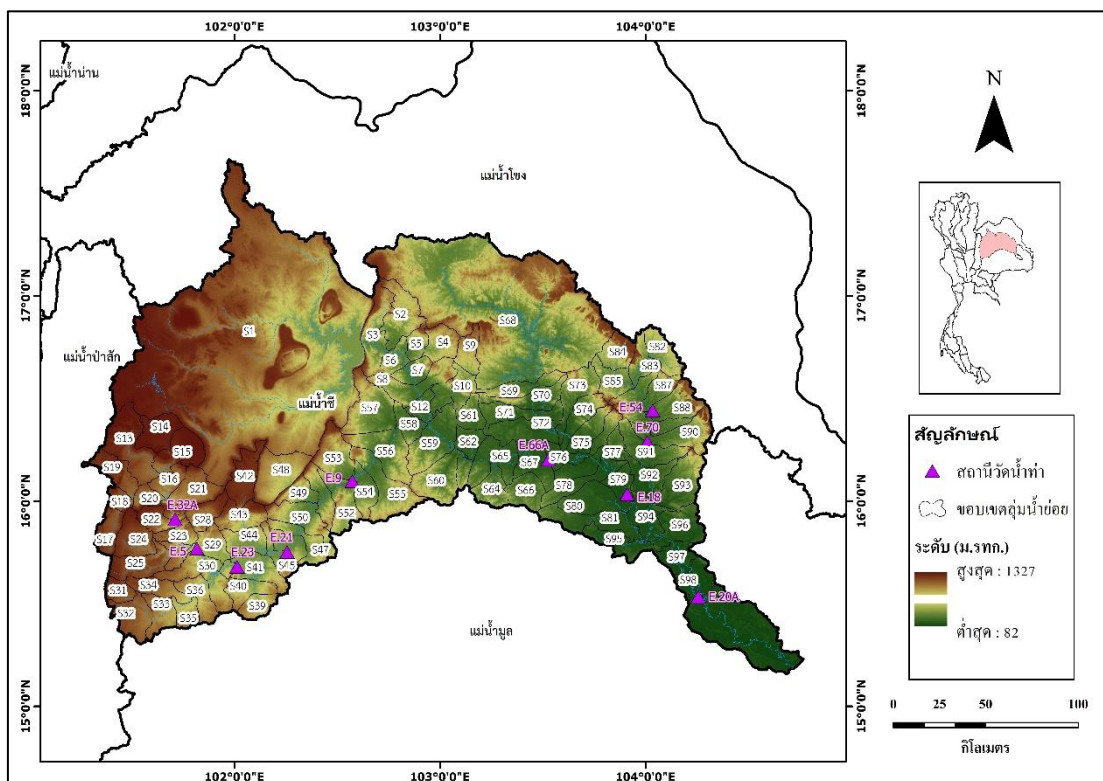
9. สรุปผลว่าผลิตภัณฑ์การคายระเหยของพีชอ้างอิงและผลิตภัณฑ์การคายระเหยจริงที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลผลิตภัณฑ์ใดที่มีความเหมาะสมสำหรับลุ่มน้ำชีและสามารถนำไปประยุกต์สำหรับลุ่มน้ำอื่น ๆ ของประเทศไทยต่อไป

สำหรับรายละเอียดของการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนแสดงดังต่อไปนี้

## 1. รวบรวมข้อมูล

### 1.1 ข้อมูลการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำชีออกเป็น 98 ลุ่มน้ำย่อย

ในการศึกษานี้ได้นำผลการแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยออกเป็น 98 ลุ่มน้ำย่อย ที่ดำเนินการภายใต้ศูนย์วิจัย SENSWAT (<https://senswat.eng.ku.ac.th>) มาใช้เพื่อการศึกษา โดยได้แสดงผลการแบ่งลุ่มน้ำดังในภาพที่ 10 รวมทั้งได้แสดงขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำของลุ่มน้ำย่อยเหล่านี้ในตารางที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าพื้นที่ลุ่มน้ำของ S1 และ S68 มีขนาดใหญ่กว่าลุ่มน้ำอื่น ๆ โดยมีค่าเท่ากับ 12,057.52 และ 6,019.57 ตารางกิโลเมตร ตามลำดับ เนื่องจากจุดออกของลุ่มน้ำย่อยทั้งสองเป็นที่ตั้งของเขื่อนอุบลรัตน์และเขื่อนลำปาว ตามลำดับ ในขณะที่ลุ่มน้ำย่อยที่เหลือมีขนาดระหว่าง 20.53 ถึง 650.9 ตารางกิโลเมตร โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 308.8 ตารางกิโลเมตร ทั้งนี้ สถานีวัดน้ำท่าทางด้านเหนือน้ำของสถานีวัดน้ำท่า E.20A มีจำนวนทั้งสิ้น 9 สถานี ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของการประเมินน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A



ภาพที่ 10 ตำแหน่งที่ตั้งสถานีวัดน้ำท่าและการแบ่งลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำชี

ตารางที่ 3 ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความยาวลำน้ำสายหลักของ 98 กลุ่มน้ำย่อย ของลุ่มน้ำชี

รหัสลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	จุดออก	ความยาวลำน้ำจากสันปันน้ำถึงจุดออก (กม.)
S1	12,057.52	เขื่อนอุบลรัตน์	317.68
S2	478.66		74.61
S3	494.79		22.44
S4	285.15		24.50
S5	157.40		19.49
S6	185.51		30.32
S7	200.21		25.13
S8	451.40		14.82
S9	226.69		33.68
S10	212.00		21.59
S11	149.78		18.64
S12	152.28		40.33
S13	650.88		86.21
S14	336.43		42.20
S15	405.88		29.48
S16	198.57		26.54
S17	251.62		38.17
S18	127.78		14.27
S19	306.63		59.52
S20	149.16		31.01
S21	450.39	E.32A	17.16
S22	225.80		10.60
S23	189.96		25.70
S24	382.64		47.25
S25	377.05		12.95
S26	134.01		23.13
S27	20.53	E.5	4.80
S28	256.85		33.54
S29	237.31		20.80
S30	280.40		34.30
S31	164.52		32.87
S32	372.43		29.88
S33	264.06		29.13
S34	257.01		65.73



ตารางที่ 3 ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความยาวลำน้ำสายหลักของ 98 ลุ่มน้ำย่อย ของลุ่มน้ำชี (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	จุดออก	ความยาวลำน้ำจากสันปันน้ำถึงจุดออก (กม.)
S35	169.59		21.95
S36	281.47		15.29
S37	223.57		35.45
S38	56.93	E.23	22.00
S39	203.39		13.44
S40	255.52		14.77
S41	368.36		60.26
S42	380.75		64.77
S43	333.07		25.35
S44	292.11		34.06
S45	201.13	E.21	21.13
S46	199.93		23.38
S47	316.36		8.53
S48	560.00		30.40
S49	204.89		28.47
S50	392.72		30.40
S51	255.68		22.89
S52	393.53	E.9	26.54
S53	429.32		48.46
S54	255.78		21.44
S55	591.09		25.76
S56	535.57		36.94
S57	606.70		55.98
S58	208.58		30.95
S59	475.48		44.26
S60	588.43		46.37
S61	204.81		22.38
S62	197.51		25.21
S63	107.94		8.56
S64	278.35		37.70
S65	441.91		40.86
S66	306.94		27.56
S67	349.43	E.66A	54.76

ตารางที่ 3 ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำและความยาวลำน้ำสายหลักของ 98 กลุ่มน้ำย่อย ของลุ่มน้ำชี (ต่อ)

รหัสลุ่มน้ำย่อย	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร.กม.)	จุดออก	ความยาวลำน้ำจากสันปันน้ำถึงจุดออก (กม.)
S68	6,019.57	เขื่อนลำปาว	460.0
S69	265.79		7.21
S70	325.87		15.94
S71	337.66		5.42
S72	423.28		28.93
S73	381.16		9.53
S74	280.83		9.65
S75	273.47		21.72
S76	339.60		53.62
S77	364.86		8.48
S78	325.92		11.95
S79	181.52	E.18	16.01
S80	461.43		22.02
S81	468.37		32.47
S82	300.69		25.92
S83	235.31		34.16
S84	285.50		30.04
S85	282.36		30.79
S86	186.74		11.60
S87	233.05	E.54	11.64
S88	380.46		8.55
S89	247.74		8.67
S90	477.94	E.70	9.44
S91	394.91		20.31
S92	305.18		27.15
S93	537.08		14.18
S94	337.33		50.91
S95	327.57		4.85
S96	426.54		16.13
S97	259.44		35.55
S98	295.57	E.20A	32.49
<b>เฉลี่ย</b>	<b>308.79</b>		<b>27.94</b>

ที่มา : ศรีณภัทร์ (2563)

## 1.2 ข้อมูลความลึกฝนรายวัน

ในการศึกษานี้ได้นำข้อมูลความลึกฝนรายวันแบบกริดที่ครอบคลุมลุ่มน้ำชีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 ที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้องแล้วด้วยวิธี Automated Quality Control (QC) System ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Hamada et al. (2011) โดยจัดทำขึ้นภายใต้การดำเนินงานของ ศูนย์วิจัย SENSWAT โดยข้อมูลฝนแบบกริดที่สร้างขึ้นมีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 1 ตารางกิโลเมตร โดยใช้ข้อมูลฝนที่ตรวจวัดที่สถานีวัดน้ำฝนจำนวน 1,779 สถานี ทั่วประเทศ ที่ทำการเก็บข้อมูลโดยกรมชลประทานและกรมอุตุนิยมวิทยา และทำการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ ด้วยวิธี Inverse Distance Weighted IDW (De Silva, Dayawansa, & Ratnasiri, 2007) ทั้งนี้ ข้อมูลความลึกฝนรายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชีแสดงดังใน ตารางที่ 4 โดยข้อมูลฝนรายวันของแต่ละสถานีในลุ่มน้ำชีได้ถูกบันทึกไว้ในเว็บไซต์ <https://senswat.eng.ku.ac.th> ของศูนย์วิจัย SENSWAT

ตารางที่ 4 ข้อมูลความลึกฝนรายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชี

หน่วย: มิลลิเมตร

รหัสสถานี	E.32A	E.5	E.23	E.21	E.9	E.66A	E.18	E.54	E.70	E.20A	เฉลี่ย
2001	1,073.49	1,047.44	1,000.71	1,020.28	1,041.45	1,261.90	1,344.67	1,997.89	1,935.16	1,935.16	1,365.81
2002	1,518.62	1,469.92	1,331.14	1,301.56	1,317.59	1,381.30	1,392.98	1,590.09	1,590.07	1,590.07	1,448.33
2003	894.37	918.59	903.08	898.04	901.47	1,016.62	1,071.54	1,402.11	1,331.74	1,331.74	1,066.93
2004	897.02	896.27	873.93	866.92	888.70	1,052.11	1,116.51	1,660.11	1,518.51	1,518.51	1,128.86
2005	1,111.19	1,142.06	1,087.44	1,071.95	1,062.76	1,073.50	1,145.92	1,880.60	1,776.99	1,776.99	1,312.94
2006	1,135.67	1,148.36	1,104.61	1,088.40	1,080.07	1,188.99	1,222.12	1,689.52	1,683.51	1,683.51	1,302.48
2007	968.23	1,032.28	1,027.53	1,071.58	1,099.36	1,212.40	1,271.90	1,420.07	1,304.00	1,304.00	1,171.13
2008	1,368.01	1,376.13	1,363.93	1,366.95	1,431.16	1,572.51	1,568.94	1,977.58	1,759.30	1,759.30	1,554.38
2009	1,251.93	1,258.52	1,164.25	1,188.84	1,213.32	1,224.40	1,314.63	1,567.63	1,882.80	1,882.80	1,394.91
2010	1,445.48	1,416.13	1,297.31	1,289.66	1,263.47	1,312.45	1,319.56	1,478.87	1,441.73	1,441.73	1,370.64
2011	1,559.64	1,487.41	1,297.23	1,271.14	1,272.71	1,385.33	1,417.83	2,144.32	2,355.33	2,355.33	1,654.63
2012	992.45	1,012.34	1,008.81	984.77	967.68	890.69	894.32	924.43	835.03	835.03	934.55
2013	1,163.55	1,187.53	1,145.48	1,143.09	1,107.22	1,062.05	1,059.04	1,223.97	1,326.84	1,326.84	1,174.56
2014	964.29	912.33	813.68	807.04	806.09	967.87	1,003.69	1,299.10	1,333.64	1,333.64	1,024.14
2015	782.74	771.81	748.47	749.50	743.82	770.25	789.22	1,088.40	1,105.22	1,105.22	865.46
2016	1,231.21	1,216.20	1,200.98	1,221.39	1,205.96	1,272.32	1,232.49	1,370.51	1,300.87	1,300.87	1,255.28
2017	1,414.25	1,366.67	1,312.83	1,312.67	1,332.84	1,397.16	1,331.11	903.75	1,081.24	1,081.24	1,253.37
2018	970.17	910.33	897.54	888.41	896.52	987.53	984.98	1,504.68	1,511.90	1,511.90	1,106.40
<b>เฉลี่ยรายปี</b>	1,203.50	1,199.73	1,133.61	1,126.66	1,123.44	1,173.67	1,210.12	1,522.97	1,536.65	1,248.48	1,247.88

ในขั้นตอนการสร้างแผนที่เชิงพื้นที่แบบกริดของ SENSWAT มีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

- (1) ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลฝนจากสถานีวัดน้ำฝนทั่วประเทศไทยที่นำมาใช้ด้วยวิธี Automated Quality Control (QC) System ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Hamada et al. (2011)
- (2) ทำการเฉลี่ยปริมาณฝนแต่ละสถานีโดยรอบให้อยู่ในรูปแบบกริด โดยใช้วิธี Inverse Distance Weighted (IDW) (De Silva et al., 2007) ดังสมการที่ (33) และ สมการที่ (34)

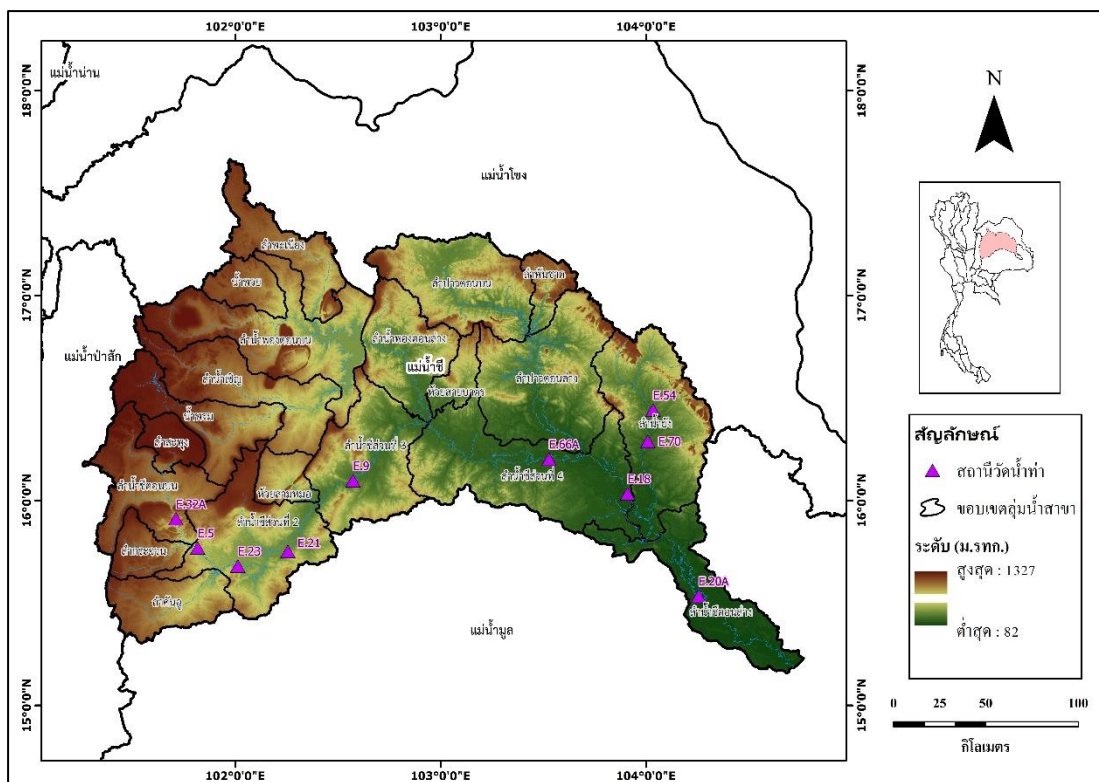
$$W_i = \frac{\frac{1}{d_i^n}}{\sum_i^N \frac{1}{d_i^n}} \quad (33)$$

$$P = \sum_i^n p_i \times W_i \quad (34)$$

เมื่อ	$W_i$	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับที่จุดพิจารณา $i$
	$d_i$	คือ ระยะทางระหว่างจุดที่พิจารณาถึงจุดศูนย์กลางของตำแหน่งที่ต้องการหาค่าเฉลี่ย
	$p_i$	คือ ค่าที่ตำแหน่งพิจารณา $i$
	$P$	คือ ค่าเฉลี่ยที่จุดศูนย์กลางที่ต้องการหาค่า
	$N$	คือ จำนวนจุดที่พิจารณา
	$n$	คือ พารามิเตอร์ยกกำลังเพื่อให้ความสำคัญกับระยะทางที่ใกล้มีค่าถ่วงน้ำหนักมาก ซึ่งค่าที่นิยมใช้โดยทั่วไปคือ 2

### 1.3 ข้อมูลน้ำท่ารายวัน

ในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลน้ำท่ารายวันที่สถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ของลุ่มน้ำชีจำนวน 10 สถานี ซึ่งประกอบด้วยสถานี E.32A, E.5, E.23, E.21, E.9, E.66A, E.18, E.54, E.70 และ E.20A ดังแสดงในภาพที่ 11 และได้แสดงตำแหน่งที่ตั้ง ช่วงปีสถิติข้อมูลและขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่าในตารางที่ 5 ทั้งนี้ ข้อมูลน้ำท่ารายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชีในหน่วยมิลลิเมตรแสดงดังในตารางที่ 6 โดยเป็นข้อมูลที่ได้รับการรวบรวมข้อมูลไว้โดยกรมชลประทาน และถูกบันทึกไว้ไว้ในเว็บไซต์ <https://senswat.eng.ku.ac.th> ของศูนย์วิจัย SENSWAT โดยได้แสดงค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่า (C) รายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของลุ่มน้ำชีในหน่วยมิลลิเมตรต่อมิลลิเมตรดังแสดงในตารางที่ 7



ภาพที่ 11 ตำแหน่งของสถานีวัดน้ำท่าที่ตั้งอยู่ในลุ่มน้ำชี

ตารางที่ 5 ตำแหน่งที่ตั้ง ช่วงปีสถิติข้อมูลและขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำของสถานีวัดน้ำท่าในลุ่มน้ำชีที่ใช้ศึกษา

รหัสสถานี	ชื่อสถานี	ตำแหน่งที่ตั้ง		ช่วงปีสถิติข้อมูล (ค.ศ.)		พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตร. กม.)		
		อำเภอ	จังหวัด	ละติจูด	ลองจิจูด		เริ่มต้น	สิ้นสุด
E.32A	บ้านหนองอ้อ	อ.บ้านเขว้า	จ.ชัยภูมิ	15.91	101.71	1967	ปัจจุบัน	2,906
E.5	บ้านโนนเปลือย	อ.บ้านเขว้า	จ.ชัยภูมิ	15.77	101.81	1958	ปัจจุบัน	4,207
E.23	บ้านคำย	อ.เมือง	จ.ชัยภูมิ	15.68	102.01	1968	ปัจจุบัน	6,282
E.21	บ้านแก่งโก	อ.เมือง	จ.ชัยภูมิ	15.75	102.25	1968	ปัจจุบัน	8,777
E.9	บ้านโจด	อ.มัญจาคีรี	จ.ขอนแก่น	16.10	102.57	1967	ปัจจุบัน	10,878
E.66A	บ้านม่วงลาด	อ.จังหาร	จ.ร้อยเอ็ด	16.20	103.53	1983	ปัจจุบัน	31,879
E.18	บ้านท่าสะแบง	กิ่งอ.ทุ่งเขาหลวง	จ.ร้อยเอ็ด	16.03	103.91	1974	ปัจจุบัน	41,187
E.54	บ้านแก่งยาว	อ.ภูจินารายณ์	จ.กาฬสินธุ์	16.44	104.03	1969	ปัจจุบัน	1,548
E.70	บ้านกุดกว้าง	อ.โพนทอง	จ.ร้อยเอ็ด	16.29	104.00	1984	2015	2,647
E.20A	บ้านฟ้าหยาด	อ.มหาชนะชัย	จ.ยโสธร	15.52	104.25	1974	ปัจจุบัน	47,800

ตารางที่ 6 ข้อมูลน้ำท่ารายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของกลุ่มน้ำชี

หน่วย: ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

รหัสสถานี	E.32A	E.5	E.23	E.21	E.9	E.66A	E.18	E.54	E.70	E.20A	เฉลี่ย
2001	11.83	14.30	11.83	19.15	27.77	212.24	428.02	38.24	69.84	554.94	<b>138.82</b>
2002	35.95	44.26	47.59	61.88	66.93	278.89	379.93	27.02	52.89	509.21	<b>150.46</b>
2003	19.21	24.27	18.22	20.77	17.86	148.45	193.36	16.83	31.12	271.22	<b>76.13</b>
2004	15.58	23.01	17.20	17.44	15.07	122.98	237.62	24.41	38.69	335.97	<b>84.80</b>
2005	19.11	24.85	20.72	27.11	25.34	63.52	146.26	30.05	44.10	242.09	<b>64.32</b>
2006	34.85	47.69	48.28	70.75	57.59	111.44	189.05	22.40	39.11	228.46	<b>84.96</b>
2007	22.36	31.73	26.74	60.86	60.33	197.29	288.94	21.41	36.01	350.64	<b>109.63</b>
2008	33.78	42.92	65.86	84.08	97.22	339.79	389.97	22.94	30.55	441.54	<b>154.86</b>
2009	44.81	43.24	49.47	77.14	73.67	158.65	196.53	13.09	27.41	289.03	<b>97.30</b>
2010	53.80	61.39	66.46	101.11	114.50	249.63	261.99	17.31	35.74	382.90	<b>134.48</b>
2011	66.98	63.86	72.28	93.10	101.85	331.89	421.13	37.41	67.72	572.45	<b>182.87</b>
2012	26.09	35.20	21.48	44.02	35.09	82.02	111.08	5.11	10.04	127.42	<b>49.76</b>
2013	28.05	42.42	52.22	59.75	69.37	113.13	126.69	17.56	31.93	182.11	<b>72.32</b>
2014	10.24	15.42	10.47	10.77	8.65	56.81	95.34	9.58	29.06	169.72	<b>41.61</b>
2015	12.94	19.00	13.27	13.93	12.35	33.91	70.89	8.22	-	81.31	<b>26.58</b>
2016	23.86	29.14	33.58	49.59	58.87	157.43	202.33	9.93	-	216.85	<b>78.16</b>
2017	34.36	57.27	57.83	86.67	110.36	368.27	517.47	42.82	-	590.72	<b>186.58</b>
2018	17.07	28.61	21.14	25.07	28.45	100.88	212.18	29.27	-	245.08	<b>70.78</b>
<b>เฉลี่ยรายปี</b>	<b>28.38</b>	<b>36.03</b>	<b>36.37</b>	<b>51.29</b>	<b>54.52</b>	<b>173.73</b>	<b>248.27</b>	<b>21.87</b>	<b>38.87</b>	<b>321.76</b>	<b>100.25</b>

ตารางที่ 7 สัมประสิทธิ์น้ำท่า (C) รายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของกลุ่มน้ำชี

สัมประสิทธิ์ น้ำท่า	E.32A	E.5	E.23	E.21	E.9	E.66A	E.18	E.54	E.70	E.20A	เฉลี่ย
2001	0.12	0.10	0.06	0.07	0.08	0.17	0.24	0.39	0.43	0.26	<b>0.192</b>
2002	0.26	0.23	0.18	0.17	0.15	0.20	0.21	0.35	0.40	0.24	<b>0.237</b>
2003	0.23	0.20	0.10	0.08	0.06	0.14	0.14	0.24	0.28	0.16	<b>0.164</b>
2004	0.19	0.19	0.10	0.07	0.05	0.12	0.16	0.30	0.30	0.19	<b>0.167</b>
2005	0.19	0.16	0.10	0.09	0.07	0.06	0.10	0.33	0.30	0.13	<b>0.152</b>
2006	0.33	0.31	0.22	0.23	0.15	0.09	0.12	0.27	0.28	0.12	<b>0.213</b>
2007	0.25	0.23	0.13	0.20	0.16	0.16	0.17	0.31	0.33	0.18	<b>0.213</b>
2008	0.27	0.23	0.24	0.22	0.20	0.21	0.19	0.24	0.21	0.19	<b>0.220</b>
2009	0.39	0.26	0.21	0.23	0.18	0.13	0.11	0.17	0.17	0.14	<b>0.200</b>
2010	0.40	0.32	0.26	0.28	0.26	0.19	0.15	0.24	0.30	0.19	<b>0.260</b>
2011	0.47	0.32	0.28	0.26	0.23	0.24	0.23	0.36	0.34	0.25	<b>0.298</b>
2012	0.29	0.26	0.11	0.16	0.11	0.09	0.10	0.11	0.14	0.09	<b>0.145</b>
2013	0.26	0.27	0.23	0.19	0.18	0.11	0.09	0.29	0.29	0.11	<b>0.202</b>
2014	0.12	0.13	0.06	0.05	0.03	0.06	0.07	0.15	0.26	0.11	<b>0.103</b>
2015	0.18	0.18	0.09	0.07	0.05	0.04	0.07	0.15	-	0.07	<b>0.100</b>
2016	0.21	0.18	0.14	0.15	0.14	0.12	0.13	0.15	-	0.12	<b>0.148</b>
2017	0.26	0.32	0.22	0.24	0.24	0.26	0.30	0.97	-	0.29	<b>0.345</b>
2018	0.19	0.24	0.12	0.10	0.09	0.10	0.16	0.40	-	0.16	<b>0.173</b>
<b>เฉลี่ยรายปี</b>	<b>0.26</b>	<b>0.23</b>	<b>0.16</b>	<b>0.16</b>	<b>0.13</b>	<b>0.14</b>	<b>0.15</b>	<b>0.30</b>	<b>0.22</b>	<b>0.17</b>	<b>0.169</b>

#### 1.4 ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith

ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, PET) ที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นข้อมูลที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith ซึ่งแสดงไว้ในสมการที่ (35) ที่ครอบคลุมลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำชีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 โดยเป็นข้อมูลที่คำนวณจากข้อมูลการตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 123 สถานี ทั่วประเทศ และทำการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Inverse Distance Weighted (IDW) (De Silva et al., 2007) ให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 1 ตารางกิโลเมตร โดยข้อมูลดังกล่าวจัดทำขึ้นภายใต้การดำเนินงานของศูนย์วิจัย SENSWAT

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T_{mean} + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (35)$$

โดยที่	$ET_o$	คือ ปริมาณใช้น้ำของพืชอ้างอิง (mm/day)
	$Rn$	คือ ปริมาณรังสีสุทธิทั้งหมดที่พืชได้รับ (MJ/m <sup>2</sup> /day)
	$G$	คือ ฟลักซ์ความร้อนของพื้นดิน (MJ/m <sup>2</sup> /day)
	$T_{mean}$	คือ อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย (°C)
	$\Delta$	คือ ความชันของเส้นโค้งความดันไอ (kPa/°C)
	$\gamma$	คือ ค่าคงที่ของ Psychrometric (kPa/°C)
	$U_2$	คือ ความเร็วลมที่ระดับ 2 เมตรจากพื้นดิน (m/s)
	$e_s$	คือ ความดันไออิ่มตัว (kPa)
	$e_a$	คือ ความดันไออิ่มตัวจริง (kPa)
	900	คือ ค่าคงที่ที่ใช้ในการแปลงหน่วย

ในการศึกษานี้ได้นำข้อมูลการคายระเหยของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith ที่ครอบคลุมกลุ่มน้ำชีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 มาสร้างเป็นข้อมูลแบบกริดที่สร้างขึ้นด้วยความละเอียดเชิงพื้นที่เท่ากับ 1 ตารางกิโลเมตร โดยใช้ข้อมูลการคายระเหยของพืชอ้างอิงที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith มาทำการเฉลี่ยเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Inverse Distance Weighted IDW (De Silva et al., 2007) ทั้งนี้ ข้อมูลความลึกฝนรายปีระหว่างข้อมูลการคายระเหยของพืชอ้างอิงที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith ได้แสดงในตารางที่ 9

### 1.5 ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (PET) ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (PET) ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ที่ครอบคลุมกลุ่มน้ำย่อยของกลุ่มน้ำชีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 โดยรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 8 โดยผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF เป็นผลิตภัณฑ์การคายระเหย (Evapotranspiration, ET) ที่ได้รับการพัฒนาต่อจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2 โดยการกำจัดข้อมูลที่มีคุณภาพไม่ดีออกไปจากข้อมูลราย



8 วัน ของ Leaf Area Index และ Fraction of Photosynthetically Active Radiation (LAI/FPAR) ที่นำมาใช้ประกอบการคำนวณ โดยทำการปรับปรุงตามข้อกำหนดในการควบคุมคุณภาพ (Quality Control, QC) สำหรับแต่ละพิกเซล โดยในกรณีที่ค่า LAI/FPAR ของพิกเซลใดไม่ผ่านเกณฑ์การควบคุมคุณภาพ ค่าดังกล่าวจะถูกแทนที่ (Gap Filled) ด้วยค่าเฉลี่ยโดยการหาค่าในระหว่างแบบเส้นตรง ทั้งนี้การดำเนินงานดังกล่าวจะทำเมื่อสิ้นสุดเวลาในแต่ละปี นอกจากนั้นแล้ว ในการศึกษา นี้ได้ทำการคำนวณค่ารายวันของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF จากข้อมูลเบื้องต้นที่เป็นราย 8 วัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าให้กับแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD

ในส่วนของผลิตภัณฑ์ Global Land Evaporation Amsterdam (GLEAM) เป็นชุดอัลกอริทึมที่ประเมินส่วนประกอบต่าง ๆ ของการคายระเหยบนดินแยกออกจากกัน ประกอบไปด้วยค่า Transpiration, Bare-Soil Evaporation, Interception Loss, Open-Water Evaporation and Sublimation นอกจากนี้ GLEAM V3.5a ยังให้ค่าความชื้นในดินที่พื้นผิวและบริเวณรากอีกด้วยในผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a นั้นใช้สมการของ Priestley และ Taylor ในการประเมินค่าการคายระเหยที่จะประเมินโดยใช้ปัจจัยหลักคือ การแผ่ของรังสีความร้อนสุทธิบริเวณพื้นผิว และอุณหภูมิของอากาศใกล้พื้นผิวของดิน โดยการคำนวณค่าการคายระเหยจากประเภทการใช้ที่ดินของพืชเตี้ยและพืชสูงโดยการคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าการคายระเหยที่แท้จริง (AET) โดยใช้ Evaporative stress factor บนพื้นฐานของคลื่นไมโครเวฟ ที่ายสุดแล้วจะสามารถคำนวณค่าการคายระเหยที่แท้จริงบนพื้นผิวน้ำ พื้นผิวน้ำแข็ง และพื้นผิวหิมะ เป็นไปตามสมการของ Priestley และ Taylor (Priestley & Taylor, 1972)

ตารางที่ 8 รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

ET product	Spectral measurements used	Energy balance	Directly downloadable	Spatial resolution		Original temporal resolution	Data Availability (Water years)	AET	PET
				Deg	km				
GLEAM V3.5a	Red, NIR, PMW, AMW	2-layer Priestley & Taylor	Yes	0.25	25	Daily	2001 – Present	✓	✓
MOD16A2GF	Red, NIR	3-layer Penman-Monteith	Yes	0.005	0.5	8 Days	2001 – Present	✓	✓

\* Note: NIR = Near InfraRed; SWIR = Shortwave InfraRed; PMW = Passive Microwave; AMW = Active Microwave.

ค่าศักยภาพการคายระเหย (PET) เฉลี่ยรายฤดูกาลและรายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของกลุ่มน้ำชีที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a แสดงดังในตารางที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF มีค่าเฉลี่ยสูงสุดทั้งฤดูฝน ฤดูแล้ง และรายปี

**ตารางที่ 9** การเปรียบเทียบศักยภาพการคายระเหยเฉลี่ยรายฤดูกาลและรายปีในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของกลุ่มน้ำชีที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

รหัส สถานี	รายปี			ฤดูฝน			ฤดูแล้ง		
	Penman Monteith	MOD16A2 GF	GLEAM V3.5a	Penman Monteith	MOD16A2 GF	GLEAM V3.5a	Penman Monteith	MOD16A2 GF	GLEAM V3.5a
<b>E.32A</b>	1,421.39	1,817.64	1,168.63	859.18	960.48	720.86	562.20	857.17	447.77
<b>E.5</b>	1,424.61	1,813.50	1,149.77	861.30	957.87	705.95	563.31	855.63	443.82
<b>E.23</b>	1,433.77	1,787.54	1,131.54	866.10	937.05	693.77	567.68	850.49	437.77
<b>E.21</b>	1,432.15	1,775.65	1,121.64	865.05	928.06	687.83	567.10	847.59	433.81
<b>E.9</b>	1,436.72	1,767.48	1,113.54	867.71	919.17	683.35	569.00	848.31	430.19
<b>E.66A</b>	1,449.18	1,746.74	1,105.81	874.20	902.38	680.98	574.98	844.36	424.83
<b>E.18</b>	1,426.02	1,721.58	1,097.72	860.45	891.97	677.09	565.57	829.62	420.63
<b>E.54</b>	1,453.39	1,671.10	1,086.11	882.82	879.50	669.73	570.57	791.60	416.38
<b>E.70</b>	1,443.31	1,656.88	1,081.48	878.50	869.16	666.40	564.82	787.72	415.09
<b>E.20A</b>	1,416.06	1,725.60	1,093.64	854.38	899.67	674.08	561.68	825.93	419.56
<b>เฉลี่ย</b>	<b>1,433.66</b>	<b>1,748.37</b>	<b>1,114.99</b>	<b>866.97</b>	<b>914.53</b>	<b>686.00</b>	<b>566.69</b>	<b>833.84</b>	<b>428.99</b>

## 1.6 ข้อมูลผลิตภัณฑ์การคายระเหยจริง (AET) ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกล

Sriwongsitanon et al., (2020) ได้ตรวจสอบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์การคายระเหยที่แท้จริงจำนวน 7 ผลิตภัณฑ์ ซึ่งประกอบด้วย ALEXI, CMESSET, ETMonitor, GLEAM V3.3b, MOD16A2GF, SEBS V3 และ SSEBop โดยใช้วิธีการสมมูลน้ำและตรวจสอบความสอดคล้องกับประเภทการใช้ที่ดิน สำหรับในการศึกษานี้ได้นำผลิตภัณฑ์ทั้ง 7 ผลิตภัณฑ์ มาทำการศึกษา และได้เพิ่มผลิตภัณฑ์ Global Land Data Assimilation System (GLDAS) รวมเป็น 8 ผลิตภัณฑ์ โดยลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ ได้แสดงไว้แล้วในตารางที่ 2 โดยที่ข้อมูลที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS และ SSEBop เป็นข้อมูลที่สามารถดาวน์โหลดได้โดยตรงจากเว็บไซต์จึงทำการศึกษาระหว่างปี ค.ศ. 2001-2018 สำหรับ SSEBop ได้ศึกษาในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2003-2014 และสำหรับผลิตภัณฑ์ ALEXI, CMRSET, ETMonitor และ SEBS V3 ได้ศึกษาในช่วงเวลาระหว่างปี ค.ศ. 2003-2013, 2003-2012, 2008-2013 และ 2001-2015 ตามลำดับ

## 1.7 ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก (Terrestrial water storage change, TWSC) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE (The Gravity Recovery and Climate Experiment)

The Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) รายเดือน โดยเรียกเทอมนี้ว่า  $TWSC_{GRACE}$  (Wahr, Swenson, Zlotnicki, & Velicogna, 2004) โดยผลิตภัณฑ์นี้แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการเก็บกักทั้งในรูปแบบของปริมาณน้ำผิวดิน ความชื้นในดิน และน้ำใต้ดิน ทั้งนี้  $TWSC_{GRACE}$  สามารถคำนวณได้จากค่าความแตกต่างแบบรายเดือนของค่า TWSA (Monthly Terrestrial Water Storage Anomalies) (Rodell & Famiglietti, 1999) ที่อยู่ในช่วงเวลาระหว่างเวลา  $t_i + \Delta t$  และ  $t_i$  (Billah et al., 2015) ดังสมการที่ (36)

$$TWSC_{GRACE}(\Delta t) = TWSA(t_i + \Delta t) - TWSA(t_i) \quad (36)$$

ทั้งนี้ ผลิตภัณฑ์ GRACE เริ่มมีใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ. 2002 และสิ้นสุดในเดือนตุลาคม ค.ศ. 2017 และต่อมาในเดือนพฤษภาคม ค.ศ. 2018 ได้เปิดตัวอีกครั้ง โดยเป็นผลิตภัณฑ์ TWSA ที่อยู่ในรูปแบบของ Circular Harmonic Solution แบบกริดที่มีขนาดประมาณ 100 กิโลเมตร (Swenson & Wahr, 2006) ทั้งนี้ ชุดข้อมูล TWSA ได้รับการประมวลผลโดย 3 หน่วยงาน คือ

(1) Center for Space Research of the University of Texas (CSR) (2) Jet Propulsion Laboratory (JPL) และ (3) Geo Forschungs Zentrum (GFZ) และต่อมาในเดือนกรกฎาคม ค.ศ. 2018 JPL ได้เริ่มให้บริการข้อมูล GRACE-FO RL06 แบบ Solution Mascon ที่มีความละเอียด 50 กิโลเมตร และสามารถดาวน์โหลดได้จาก <https://podaactools.jpl.nasa.gov/drive/files/allData/tellus/L3/mascon/RL06> ทั้งนี้ในการศึกษานี้ได้นำข้อมูลในส่วนหลังระหว่างปี ค.ศ. 2002-2018 มาใช้เพื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกักที่ได้จากสมการสมดุลน้ำ

### 1.8 ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ที่ครอบคลุมลุ่มน้ำชี

การศึกษานี้ได้นำแบบจำลองความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ที่มีความละเอียด 30 เมตร มาใช้ประกอบการประยุกต์ใช้แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากหน่วยงาน The U.S. Geological Survey's (USGS) และมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น งานวิจัยที่ดำเนินการโดย Mukul et al. (2015a); Mukul et al. (2015b), Yang et al., (2011) และ Rennó et al., (2008) เป็นต้น

### 1.9 ข้อมูลการใช้ที่ดิน

การศึกษานี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลการใช้ที่ดินระดับ 2 ของกรมพัฒนาที่ดิน โดยเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องในระหว่างปี ค.ศ. 2010-2013 มีความละเอียด 250 เมตร ซึ่งเป็นช่วงที่ AET<sub>RS</sub> ทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์มีข้อมูลตรงกันสำหรับรายละเอียดพื้นที่และเปอร์เซ็นต์การใช้ที่ดินแต่ละประเภทระดับ 1 และ 2 ของลุ่มน้ำชี ที่เผยแพร่โดยกรมพัฒนาที่ดินในระหว่างปี ค.ศ. 2010-2013 แสดงดังในตารางที่ 10 ทั้งนี้ การใช้ที่ดินระดับที่ 1 ประกอบด้วย พื้นที่เกษตรกรรม (A) พื้นที่ป่าไม้ (F) พื้นที่เบ็ดเตล็ด (M) พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (U) และพื้นที่น้ำ (W) ในขณะที่การใช้ที่ดินระดับที่ 2 มีการแยกย่อยเป็นหลายประเภท แต่บางประเภทมีพื้นที่น้อยมาก ดังนั้น ในการศึกษานี้ได้ทำการจัดรวมเป็น 10 กลุ่ม เพื่อสะดวกต่อการวิจัยดังแสดงในตารางที่ 11 และแสดงด้วยแผนที่ดังในภาพที่ 12

ตารางที่ 10 พื้นที่และเปอร์เซ็นต์การใช้ที่ดินแต่ละประเภทในระดับ 1 และ 2 ของลุ่มน้ำชี ที่เผยแพร่  
โดยกรมพัฒนาที่ดินในระหว่างปี ค.ศ. 2010-2013

พื้นที่: ตร.กม.

		ระดับ	ปี ค.ศ.
1	2		2010-2013
A			33,896.6 (69%)
พื้นที่ เกษตรกรรม	A1	พื้นที่นา (ในเขตพื้นที่ชลประทาน)	1,762.9 (3.6%)
		พื้นที่นา (นอกเขตพื้นที่ชลประทาน)	18,291.9 (37.2%)
	A2	พืชไร่	11,552.7 (23.5%)
	A3	ไม้ยืนต้น	1,861.9 (3.8%)
	A4	ไม้ผล	167.6 (0.3%)
	A5	พืชสวน	54.4 (0.1%)
	A6	ไร่มวนเวียน	-
	A7	ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์และ	141.7 (0.3%)
	A8	พืชน้ำ	0.1 (0%)
	A9	สถานที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ	60.9 (0.1%)
	A0	เกษตรผสมผสาน/ไร่นาสวนผสม	2.4 (0%)
F			9,839.6 (20%)
พื้นที่ป่าไม้	F1	ป่าไม่ผลัดใบ	2,445.8 (5%)
	F2	ป่าผลัดใบ	6,787.7 (13.8%)
	F3	ป่าชายเลน	-
	F4	ป่าพรุ	-
	F5	ป่าปลูก	606 (1.2%)
	F6	วนเกษตร	-
	F7	ป่าชายหาด	-
	F	ป่าสมบูรณ์	-
	F0	ป่ารอสภาพฟื้นฟู	-
	M		
พื้นที่เบ็ดเตล็ด	M1	ทุ่งหญ้าและไม้ละเมาะ	1,352.6 (2.8%)
	M2	พื้นที่ลุ่ม	307.4 (0.6%)
	M3	เหมืองแร่ บ่อขุด	31.3 (0.1%)
	M4	พื้นที่เบ็ดเตล็ดอื่น ๆ	121.3 (0.2%)
	M5	นาเกลือ	-
	M6	หาดทราย	-
	M7	ที่ทิ้งขยะ	1.1 (0%)

ตารางที่ 10 พื้นที่และเปอร์เซ็นต์การใช้ที่ดินแต่ละประเภทในระดับ 1 และ 2 ของลุ่มน้ำชี ที่เผยแพร่  
โดยกรมพัฒนาที่ดินในระหว่างปี ค.ศ. 2010-2013 (ต่อ)

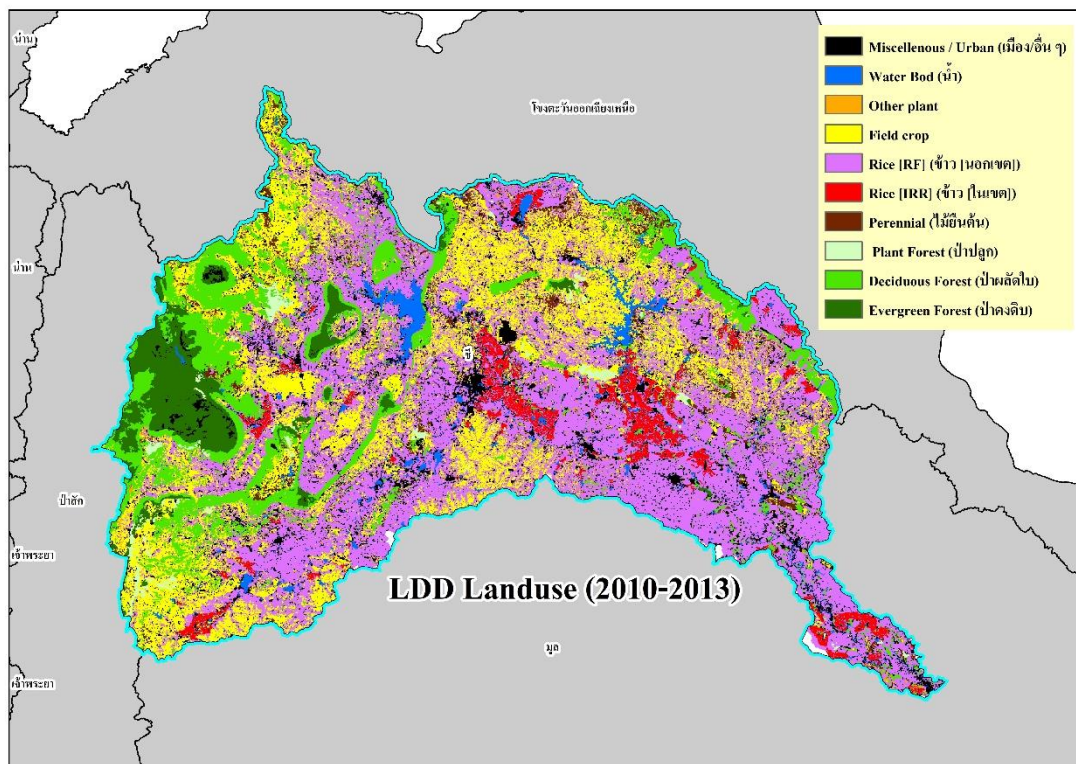
พื้นที่: ตร.กม.

ระดับ		ปี ค.ศ.	
1	2	2010-2013	
U		2,319.7 (4.7%)	
พื้นที่ชุมชนและ	U1	ตัวเมืองและย่านการค้า	327 (0.7%)
สิ่งปลูกสร้าง	U2	หมู่บ้าน	1,537.6 (3.1%)
	U3	สถานที่ราชการ และสถาบันต่าง ๆ	356.8 (0.7%)
	U4	สถานีคมนาคม	6.5 (0%)
	U5	พื้นที่อุตสาหกรรม	70.9 (0.1%)
	U6	สิ่งปลูกสร้างอื่น ๆ	18.3 (0%)
W		1,260.3 (2.6%)	
พื้นที่น้ำ	W1	แหล่งน้ำธรรมชาติ	453.6 (0.9%)
	W2	แหล่งน้ำที่สร้างขึ้น	806.6 (1.6%)

หมายเหตุ: “-“ หมายถึง ไม่มีการเก็บข้อมูลการใช้ที่ดินประเภทนั้น

ตารางที่ 11 การใช้ที่ดินในลุ่มน้ำชีที่จัดรวมเป็น 10 กลุ่ม เพื่อประกอบการศึกษา

กลุ่มประเภทการใช้ที่ดิน	การใช้ที่ดินระดับที่ 2	พื้นที่ (ตร.กม.)
1) Miscelleneous + Urban (เมือง/อื่น ๆ)	M1-M7, U1-U6	4,133.5 (8.4%)
2) Water (น้ำ)	W1-W2, A9	1,321.2 (2.7%)
3) Other plant (พืชอื่น ๆ)	A0, A4-A8	366.2 (0.7%)
4) Field crop (พืชไร่)	A2	11,552.7 (23.5%)
5) Rice [RF] (ข้าว [นอกเขต])	A1 (นอกเขตพื้นที่ชลประทาน)	18,291.9 (37.2%)
6) Rice [IRR] (ข้าว [ในเขต])	A1 (ในเขตพื้นที่ชลประทาน)	1,762.9 (3.6%)
7) Perennial (ไม้ยืนต้น)	A3	1,861.9 (3.8%)
8) Plant Forest (ป่าปลูก)	F3-F5	606 (1.2%)
9) Deciduous Forest (ป่าผลัดใบ)	F2	6,787.7 (13.8%)
10) Evergreen Forest (ป่าดงดิบ)	F1	2,445.8 (5%)



ภาพที่ 12 แผนที่แสดงการใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำชีที่จัดรวมเป็น 10 กลุ่ม

2. เปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a และเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล AET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop

เพื่อสร้างความเข้าใจขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับข้อมูล PET และ AET ในการศึกษานี้จึงได้ดำเนินการเปรียบเทียบค่า PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith กับค่า PET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a โดยทำการพิจารณาในช่วงที่มีข้อมูลตรงกันคือในระหว่าง ปี ค.ศ. 2001-2014 รวมทั้งการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของค่า AET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลที่มีอยู่ในช่วงเดียวกัน

### 3. ศึกษาทฤษฎีและแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD เพื่อการประเมินน้ำท่า

จากการศึกษาทฤษฎีและแนวทางการประยุกต์ใช้แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD นั้นพบว่า การประยุกต์ใช้แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD เพื่อการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์นั้นได้นำภาษา MATLAB มาประยุกต์ใช้เพื่อเขียนโปรแกรมสำหรับแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD และมีการเชื่อมต่อกับโปรแกรม MOSCEM (Multi Objective Shuffle Complex Evolution Metropolis) ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย (Vrugt et al., 2003) เพื่อใช้ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองทางอุทกวิทยาแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Function) โดยได้เริ่มจากการสุ่มประชากรชุดแรกจากวิธี Latin Hyper Cube เพื่อสร้างประชากรชุดเริ่มต้นที่มีการกระจายตัวอย่างทั่วทั้งมิติ และเริ่มทำการคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับประชากรทุกตัวที่สุ่มมา จากนั้นจะจัดลำดับของประชากรแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วยกระบวนการ Pareto Ranking แล้วจึงนำไปผ่านกระบวนการสุ่มซ้ำโดยใช้อัลกอริทึม Markov Chain Monte Carlo Sample เพื่อให้ได้ประชากรชุดถัดไป สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาโดย MOSCEM จะเป็นชุดคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่เรียกว่า Pareto Front ซึ่งก็คือ ชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่ในลำดับที่ 1 กล่าวคือ Pareto Front เป็นชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ไม่แพ้พารามิเตอร์ชุดอื่น ๆ ซึ่งในกรณีการแก้ปัญหาแบบ Minimize จะไม่มีพารามิเตอร์ชุดไหนที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่น้อยกว่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ Pareto Front ทั้งนี้ ทั้งแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ได้มีการนำโปรแกรม MOSCEM มาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองโดยอัตโนมัติ โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ Kling-Gupta Efficiencies จำนวน 3 ตัวแปร คือ  $KGE_E$ ,  $KGE_L$  และ  $KGE_F$  ซึ่งให้ความสำคัญกับตรรกการไหลสูง อัตราการไหลต่ำ และสมดุลน้ำ ตามลำดับ

### 4. สอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และการศึกษาความไวของช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่มีต่อผลการประเมินน้ำท่า

ก่อนที่จะทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith รวมทั้งที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a นั้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith เพียงผลิตภัณฑ์เดียวเนื่องจากเป็นข้อมูลที่ได้รับการยอมรับโดยองค์การ Food and Agriculture



Organization of the United Nations (FAO) เพื่อนำมาศึกษาความไวของช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่มีต่อผลการประเมินน้ำท่าในกลุ่มน้ำชี โดยกระบวนการ Sliding Windows Cross Validation ซึ่งเริ่มต้นด้วยการใช้ข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 2001-2010 เพื่อการสอบเทียบแบบจำลอง และใช้ข้อมูลระหว่างปี ค.ศ. 2011-2014 เพื่อการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง และทำการ Moving ช่วงเวลาช่วงละ 1 ปี จากนั้นจึงนำผลการประเมินน้ำท่าตามช่วงเวลาต่าง ๆ มาทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่า โดยแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด ทั้งนี้ แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD นอกจากจะได้ผลการประเมินน้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ที่ทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองแล้ว ยังได้ผลพลอยได้ของการประเมินน้ำท่าที่ท้ายน้ำของทั้ง 98 กลุ่มน้ำย่อย และที่สถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือของสถานี E.20A อีกจำนวน 9 สถานี ซึ่งสามารถนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดเพื่อประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองที่มีการใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith โดยในการศึกษานี้ได้พิจารณาใช้ค่า Nash-Sutcliffe's Efficiency (NSE) (Nash & Sutcliffe, 1970) มาเป็นตัวแปรทางสถิติกลางที่ใช้ประเมินผลการดำเนินงาน โดยแบบจำลองนอกเหนือจากการใช้ค่า  $KGE_E$ ,  $KGE_L$  และ  $KGE_F$  ที่ใช้ในการกระบวนการ Optimization โดยโปรแกรม MOSCEM

##### 5. สอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับกลุ่มน้ำชีโดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a สำหรับกลุ่มน้ำชี

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ในระหว่างปี ค.ศ. 2001-2010 และการตรวจพิสูจน์แบบจำลองกระทำในระหว่าง ปี ค.ศ. 2011-2014 และเปรียบเทียบกับการใช้ช่วงเวลาในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่ทำให้ได้ผลการประเมินน้ำท่าที่ถูกต้องที่สุดจากกระบวนการ Sliding Windows Cross Validation ที่ดำเนินการในข้อที่ 4 โดยใช้ข้อมูล PET 3 ประเภท คือ PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith รวมทั้งที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a โดยได้ตั้งสมมุติฐานว่า ถ้าข้อมูล PET ประเภทใดที่สามารถสร้างความถูกต้องให้กับผลการประเมินน้ำท่าในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าต่าง ๆ ในกลุ่มน้ำชีได้ แสดงว่าข้อมูล PET ประเภทนั้นมีความน่าเชื่อถือที่จะใช้เพื่อประกอบการประเมินน้ำท่าได้โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง โดยการเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่าได้ดำเนินการทั้งที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ซึ่งทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองรวมทั้งที่ 9 สถานีวัดน้ำท่า ที่เป็นผลพลอยได้จากการดำเนินงานของแบบจำลอง ทั้งนี้จะใช้ค่าตัวแปรทางสถิติทั้ง 4 ตัวแปร คือ NSE,  $KGE_E$ ,  $KGE_L$  และ  $KGE_F$

**6. สอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำที่ใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith ในระหว่าง ปี ค.ศ. 2001-2014 เพื่อให้ได้ค่า  $AET_{model\_Penman}$  ที่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่า  $AET$  ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop**

สำหรับขั้นตอนนี้เป็น การสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำที่ใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith โดยใช้ข้อมูลระหว่าง ปี ค.ศ. 2001-2014 โดยแบบจำลองสามารถประเมินค่าการคายระเหยที่แท้จริงซึ่งในที่นี้เรียกว่า  $AET_{model\_Penman}$  เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop โดยการเปรียบเทียบความสอดคล้องของข้อมูลจะพิจารณาค่า  $R^2$ , NSE และ KGE โดยทำการพิจารณาทั้งข้อมูลเฉลี่ยรายปีและรายฤดูกาล โดยตั้งสมมติฐานว่าค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ใดที่เข้ากันได้กับค่าการคายระเหยที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD มากที่สุดในภาพรวมของทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

**7. วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกักจากสมการสมดุลน้ำ โดย  $AET_{RS}$  ที่ได้จาก 8 ผลิตภัณฑ์**

สำหรับขั้นตอนนี้เป็น การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) ด้วยสมการสมดุลน้ำ ( $\Delta S = P - Q - AET_{RS}$ ) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) ที่ได้จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก (Terrestrial Water Storage Change, TWSC) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE (The Gravity Recovery and Climate Experiment) แบบรายเดือน ซึ่งจะดำเนินการทั้งรายสถานีวัดน้ำท่าและรายลุ่มน้ำย่อยของลุ่มน้ำชี ในปี ค.ศ. 2002-2018 สำหรับรายสถานีวัดน้ำท่า นั้น ได้ทำการเปรียบเทียบใน 10 สถานี ซึ่งใช้ข้อมูลอัตราการไหล ( $Q$ ) จากข้อมูลตรวจวัดที่แต่ละสถานีวัดน้ำท่า และใช้ค่า  $AET_{RS}$  จากผลิตภัณฑ์ทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ และสำหรับในส่วนของรายลุ่มน้ำย่อยจะดำเนินการทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย โดยใช้ข้อมูลอัตราการไหล ( $Q$ ) ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A โดยใช้ข้อมูล PET จากผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a และใช้ค่า  $AET_{RS}$  จากทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ เพื่อวิเคราะห์ว่าผลิตภัณฑ์ใดให้ผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) ที่ใกล้เคียงกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก (Terrestrial Water Storage Change, TWSC) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE (The Gravity Recovery and Climate Experiment) มากที่สุด

8. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินกับการเปลี่ยนแปลงค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จาก ผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, SSEBop, ALEXI, CMRSET, ETMonitor และ SEBS

ในขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินกับการเปลี่ยนแปลงค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop โดยดำเนินการโดยนำค่า  $AET_{RS}$  ของแต่ละผลิตภัณฑ์ในปี ค.ศ. 2010 มาศึกษาการกระจายค่าตามประเภทการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินที่ทำการเก็บข้อมูลไว้ในปี ค.ศ. 2010-2013 ที่มีการแบ่งกลุ่มการใช้ที่ดินออกเป็น 10 กลุ่ม เพื่อพิจารณาความสอดคล้องกันระหว่างค่า  $AET_{RS}$  สำหรับประเภทการใช้ที่ดิน 10 กลุ่ม และวิเคราะห์ Boxplot ของค่า  $AET_{RS}$  แต่ละผลิตภัณฑ์ เพื่อนำมาใช้สรุปผลการศึกษาว่าผลิตภัณฑ์  $AET_{RS}$  ใดที่มีความเหมาะสมผลกับประเภทการใช้ที่ดินโดยรวมมากที่สุด

9. สรุปผล

สรุปผลว่าผลิตภัณฑ์ศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิงและผลิตภัณฑ์ศักยภาพการคายระเหยจริงที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลผลิตภัณฑ์ใดที่มีความเหมาะสมสำหรับลุ่มน้ำชีและสามารถนำไปประยุกต์สำหรับลุ่มน้ำอื่น ๆ ของประเทศไทยต่อไป

## ผลการศึกษา

ผลการศึกษางานวิจัยเรื่อง “การเปรียบเทียบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์การคายระเหยที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกลด้วยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD และสมมูลน้ำสำหรับลุ่มน้ำชี” สามารถสรุปได้ดังในหัวข้อต่อไปนี้

(1) ผลการเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a และเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล  $AET_{RS}$  ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop

(2) ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และการศึกษาความไวของช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่มีต่อผลการประเมินน้ำท่า

(3) ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่าระหว่างการใช้ข้อมูล PET จาก Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

(4) ผลการเปรียบเทียบสอดคล้องกันของข้อมูล AET ที่ได้จากการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล AET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop

(5) ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) จากสมมูลน้ำ โดย AET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop ทั้งรายสถานีวัดน้ำท่าและรายลุ่มน้ำย่อยในลุ่มน้ำชีในปี ค.ศ. 2002-2018 โดยนำมาเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) ที่ได้จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก (Terrestrial Water Storage Change, TWSC) ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE (The Gravity Recovery and Climate Experiment) แบบรายเดือน

(6) ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินกับการเปลี่ยนแปลงค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จาก 8 ผลลัพธ์

สำหรับรายละเอียดของผลการศึกษาในแต่ละหัวข้อแสดงได้ดังต่อไปนี้



2967045753

KTU\_Thesis\_6314500753\_thesis / recv: 07112565 14:31:54 / seq: 62

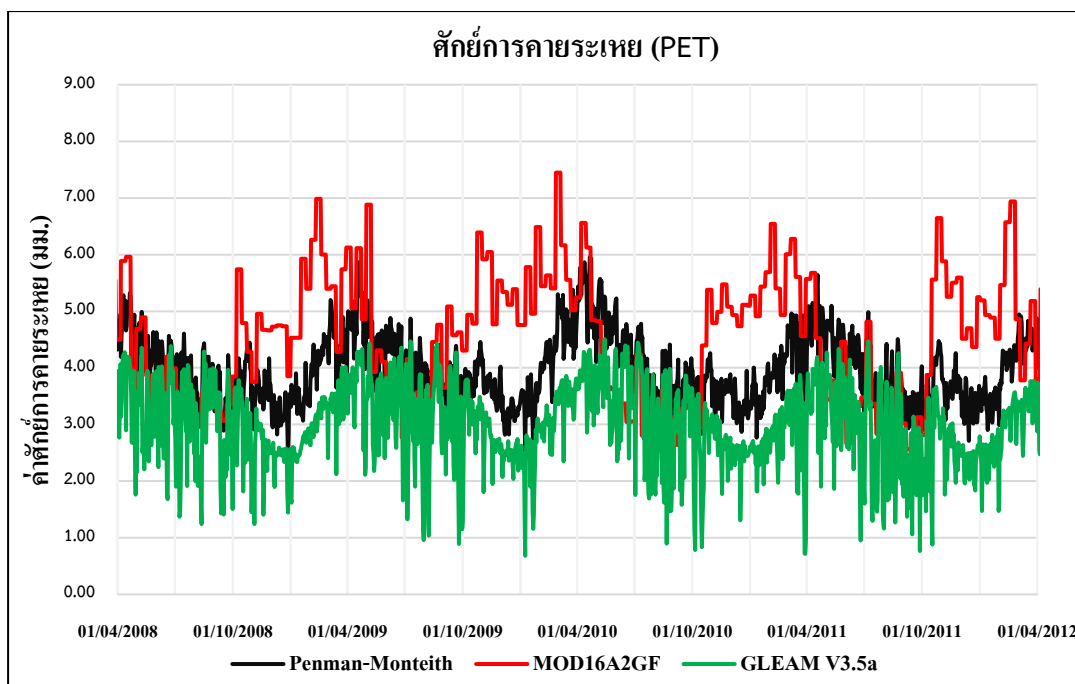
1. ผลการเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a และเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล AET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop

### 1.1 ผลการเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

ผลการเปรียบเทียบศักยภาพการคายระเหยเฉลี่ยรายฤดูกาลและรายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 10 สถานี ของลุ่มน้ำชีที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a แสดงดังตารางที่ 12 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่า PET ของทั้ง 3 ประเภท มีค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,433.66, 1,748.37 และ 1,114.99 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยรายฤดูฝน (เม.ย-ต.ค.) เท่ากับ 866.97, 914.53 และ 686.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยรายฤดูแล้ง (พ.ย-มี.ค.) เท่ากับ 566.69, 833.34 และ 428.99 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยสัดส่วนระหว่างค่า PET ที่ได้จาก MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ต่อ Penman-Monteith แบบรายปีเท่ากับ 1.22 และ 0.78 ตามลำดับ แบบรายฤดูฝนเท่ากับ 1.05 และ 0.79 ตามลำดับ และแบบรายฤดูแล้งเท่ากับ 1.47 และ 0.76 ตามลำดับ ทั้งนี้ได้แสดงตัวอย่างค่าศักยภาพการคายระเหยที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ระหว่างปี ค.ศ. 2008-2012 ไว้ในภาพที่ 13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า PET ของผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากวิธี Penman-Monteith โดยสัดส่วนใกล้เคียงกันทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ในขณะที่ PET ของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF มีค่ามากกว่า ค่าที่ได้จากวิธี Penman-Monteith โดยสัดส่วนในช่วงฤดูแล้ง (1.47) มีความแตกต่างกับ Penman-Monteith มากกว่าความแตกต่างในช่วงฤดูฝน (1.22) นอกจากนั้นแล้ว เมื่อพิจารณาภาพรวมของค่า PET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF มีค่า PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a อย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง (พ.ย-มี.ค.) โดยมีข้อสังเกตคือพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณที่แตกต่างกัน โดย PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith เป็นค่าที่คำนวณโดยใช้ข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศเท่านั้น ในขณะที่ค่า PET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF มีการคำนวณโดยใช้สมการ Penman-Monteith เช่นกันแต่มีการใช้ข้อมูลที่ได้จาก Reanalysis data รวมทั้งมีการนำข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกลอื่น ๆ มาใช้ประกอบการคำนวณด้วย อาทิเช่น ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของพืชพรรณ (Vegetation property dynamics) ข้อมูลสัดส่วน

การสะท้อนกลับจากวัตถุบนพื้นโลก (Albedo) ข้อมูลสิ่งปกคลุม (Land cover) เป็นต้น (ที่มา <https://lpdaac.usgs.gov/products/mod16a2gfv006>) ในขณะที่ค่า PET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a มีการคำนวณโดยใช้สมการ Priestley-Taylor ที่ใช้พื้นฐานของข้อมูลรังสีสุทธิจากพื้นผิวโลก (Surface net radiation) และข้อมูลอุณหภูมิอากาศบริเวณใกล้พื้นผิวโลก (Near-surface air temperature) (ที่มา <https://www.gleam.eu/>) ดังนั้นจึงทำให้ผลการคำนวณค่า PET ของทุกผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกัน

นอกจากนั้นแล้วได้วิเคราะห์ค่าทางสถิติที่แสดงความสอดคล้องกันของข้อมูลศักยภาพการคายระเหยที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ดังแสดงในตารางที่ 13 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่า PET ที่ได้จาก Penman-Monteith มีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จาก GLEAM V3.5a มากกว่าค่าที่ได้จาก MOD16A2GF โดยค่า  $R^2$ , KGE และ RMSE ระหว่าง 2 ประเภทมีค่าเท่ากับ 0.44, 0.51 และ 1.13 มิลลิเมตร ในช่วงฤดูฝน และเท่ากับ 0.53, 0.60 และ 1.10 มิลลิเมตร ในช่วงฤดูแล้ง แต่สำหรับค่า NSE มีค่าเท่ากับ -1.90 และ -2.55 ตามลำดับ แสดงว่าค่า PET ที่ได้จากข้อมูลทั้ง 2 ประเภท มีแนวโน้ม (Trend) ที่สอดคล้องกันในระดับหนึ่ง (พิจารณาจากค่า  $R^2$  และ KGE อยู่ในระดับพอใช้) แต่มีปริมาณที่แตกต่างกันจึงทำให้ NSE มีค่าต่ำ ในขณะที่ค่า PET ที่ได้จาก MOD16A2GF มีความสอดคล้องกันน้อยมากกับค่าที่ได้จาก Penman-Monteith โดยค่า  $R^2$ , NSE, KGE และ RMSE ระหว่าง 2 ประเภท มีค่าเท่ากับ 0.20, -1.99, -0.04 และ 1.16 มิลลิเมตร ในช่วงฤดูฝน และเท่ากับ 0.12, -9.78, 0.09 และ 1.89 มิลลิเมตร ในช่วงฤดูแล้ง นอกจากนี้แล้ว ค่า PET ที่ได้จาก MOD16A2GF มีความสอดคล้องกันน้อยมากกับค่าที่ได้จาก GLEAM V3.5a โดยค่า  $R^2$ , NSE, KGE และ RMSE ระหว่าง 2 ประเภท มีค่าเท่ากับ 0.10, -0.68, 0.2 และ 1.60 มิลลิเมตร ในช่วงฤดูฝน และเท่ากับ 0.15, -10.54, 0.13 และ 2.82 มิลลิเมตร ในช่วงฤดูแล้ง



ภาพที่ 13 ค่าศักยภาพการคายระเหยที่คำนวณ โดยวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ระหว่างปี ค.ศ. 2008-2012

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบศักยภาพการคายระเหยเฉลี่ยรายฤดูกาลและรายปีระหว่างปี ค.ศ. 2001-2014 สำหรับแต่ละสถานีวัดน้ำท่าของกลุ่มน้ำชีที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

หน่วย : มิลลิเมตร

รหัสสถานี	รายปี			ฤดูฝน			ฤดูแล้ง		
	Penman Monteith	MOD16A2 GF	GLEAM V3.5a	Penman Monteith	MOD16A2 GF	GLEAM V3.5a	Penman Monteith	MOD16A2 GF	GLEAM V3.5a
E.32A	1,421.39	1,817.64	1,168.63	859.18	960.48	720.86	562.20	857.17	447.77
E.5	1,424.61	1,813.50	1,149.77	861.30	957.87	705.95	563.31	855.63	443.82
E.23	1,433.77	1,787.54	1,131.54	866.10	937.05	693.77	567.68	850.49	437.77
E.21	1,432.15	1,775.65	1,121.64	865.05	928.06	687.83	567.10	847.59	433.81
E.9	1,436.72	1,767.48	1,113.54	867.71	919.17	683.35	569.00	848.31	430.19
E.66A	1,449.18	1,746.74	1,105.81	874.20	902.38	680.98	574.98	844.36	424.83
E.18	1,426.02	1,721.58	1,097.72	860.45	891.97	677.09	565.57	829.62	420.63
E.54	1,453.39	1,671.10	1,086.11	882.82	879.50	669.73	570.57	791.60	416.38
E.70	1,443.31	1,656.88	1,081.48	878.50	869.16	666.40	564.82	787.72	415.09
E.20A	1,416.06	1,725.60	1,093.64	854.38	899.67	674.08	561.68	825.93	419.56
เฉลี่ย	1,433.66	1,748.37	1,114.99	866.97	914.53	686.00	566.69	833.84	428.99



ตารางที่ 13 ค่าทางสถิติที่แสดงความสอดคล้องกันของข้อมูลศักยภาพการคายระเหยรายวันที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

ความสัมพันธ์ ศักยภาพการคายระเหย	รายปี				ฤดูฝน				ฤดูแล้ง			
	R <sup>2</sup>	NSE	KGE	RMSE (มม.)	R <sup>2</sup>	NSE	KGE	RMSE (มม.)	R <sup>2</sup>	NSE	KGE	RMSE (มม.)
Penman Monteith - MOD16A2GF	0.05	-4.41	-0.26	1.51	0.20	-1.99	-0.04	1.16	0.12	-9.78	0.09	1.89
Penman Monteith - GLEAM V3.5a	<b>0.48</b>	<b>-1.94</b>	<b>0.57</b>	<b>1.12</b>	<b>0.44</b>	-1.90	<b>0.51</b>	<b>1.13</b>	<b>0.53</b>	<b>-2.55</b>	<b>0.60</b>	<b>1.10</b>
MOD16A2GF - GLEAM V3.5a	0.02	-1.96	-0.02	2.19	0.10	<b>-0.68</b>	0.20	1.60	0.15	-10.54	0.13	2.82

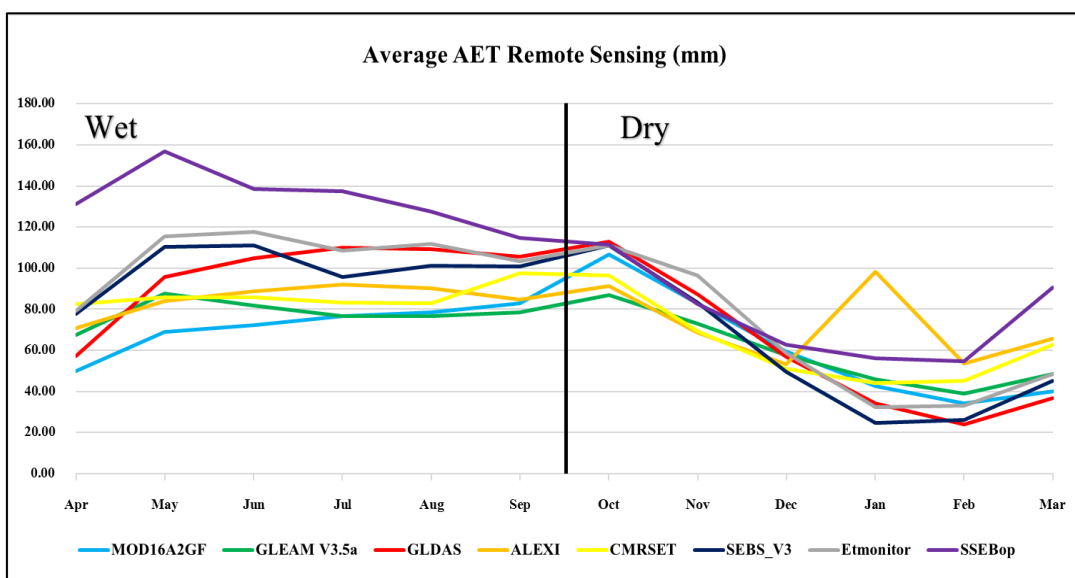
## 1.2 ผลการเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูล AET ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF, GLEAM V3.5a, GLDAS, ALEXI, CMRSET, ETMonitor, SEBS V3 และ SSEBop

ผลการเปรียบเทียบค่าการคายระเหยที่แท้จริง (AET) เฉลี่ยรายปี รายฤดูฝน และรายฤดูแล้งของกลุ่มน้ำชีในแต่ละช่วงเวลาที่มียข้อมูลสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์แสดงดังในตารางที่ 14 และในภาพที่ 14 ได้แสดงค่าการคายระเหยที่แท้จริงเฉลี่ยรายเดือนของทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ค่า AET เฉลี่ยรายปีสูงสุดไปต่ำสุดคือ SSEBop, ETMonitor, ALEXI, SEBS V3, GLDAS, CMRSET, GLEAM V3.5a และ MOD16A2GF โดยมีค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 1,265.15, 1,016.71, 941.01, 937.47, 935.10, 887.60, 820.40 และ 795.44 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณารายฤดูกาลโดยกำหนดให้ฤดูฝน (WET) คือระหว่างเดือนเมษายนถึงกันยายน และฤดูแล้ง (DRY) คือระหว่างเดือนตุลาคมถึงมีนาคม พบว่าค่า AET ในฤดูฝนจะมากกว่าฤดูแล้งในทุกผลิตภัณฑ์ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ระหว่าง 54% ถึง 64% ของค่าเฉลี่ยรายปี ทั้งนี้ได้แสดงตัวอย่างค่าการคายระเหยที่แท้จริงรายเดือนของทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ ในระหว่างปี ค.ศ. 2008-2012 ไว้ในภาพที่ 15 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า AET<sub>RS</sub> ของผลิตภัณฑ์ SSEBop มีค่ามากกว่าผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อย่างชัดเจนในช่วงฤดูฝน แต่ในช่วงฤดูแล้งจะมีค่าต่างกันไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับทุกผลิตภัณฑ์ ยกเว้น ALEXI ที่มีค่าโดดเด่นในช่วงเดือนมกราคม สำหรับผลการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีทั้ง PET และ AET นั้น พบว่า ข้อมูลมีแนวโน้มในแต่ละเดือนที่ใกล้เคียงกัน

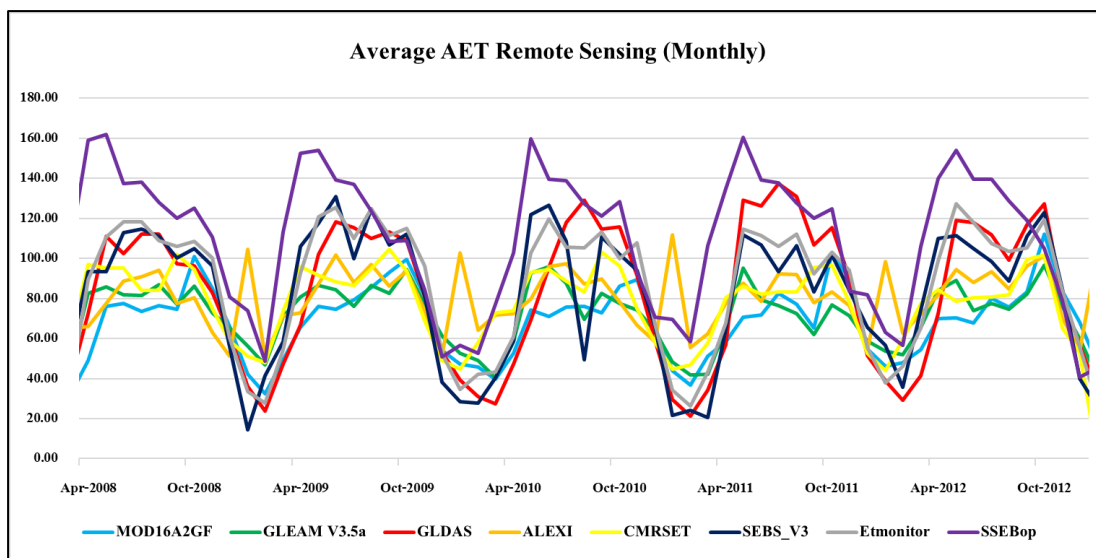
ตารางที่ 14 ค่าการคายระเหยที่แท้จริง (AET) เฉลี่ยรายปี รายฤดูฝน และรายฤดูแล้ง ของลุ่มน้ำชีใน  
แต่ละช่วงเวลาที่มียข้อมูลสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์

หน่วย : มิลลิเมตร

AET <sub>rs</sub> (ช่วงข้อมูล)	MOD16A2GF (2001-2018)	GLEAM V3.5a (2001-2018)	GLDAS (2001-2018)	ALEXI (2003-2013)	CMRSET (2003-2011)	ETmonitor (2008-2013)	SEBS V3 (2001-2015)	SSEBop (2003-2014)
เม.ย.	50.05	67.67	57.16	70.73	82.46	79.32	77.90	131.28
พ.ค.	69.06	87.82	95.69	83.90	85.91	115.33	110.39	156.93
มิ.ย.	72.45	81.74	105.06	88.77	85.84	117.74	111.15	138.46
ก.ค.	76.65	76.87	109.94	92.06	83.43	108.71	95.69	137.51
ส.ค.	78.64	76.83	109.30	90.15	83.09	111.69	101.40	127.73
ก.ย.	82.86	78.60	105.54	84.60	97.55	103.45	100.95	114.67
ต.ค.	106.68	86.95	112.99	91.29	96.51	111.12	110.97	111.52
พ.ย.	83.06	72.95	87.14	68.72	69.51	96.38	83.46	82.54
ธ.ค.	59.33	57.80	56.79	53.15	50.95	58.59	49.64	62.94
ม.ค.	42.59	45.85	34.40	98.27	44.17	32.42	24.74	56.34
ก.พ.	34.07	38.95	24.15	53.62	45.29	33.31	26.02	54.70
มี.ค.	40.00	48.37	36.94	65.75	62.89	48.65	45.16	90.53
<b>รายปี</b>	<b>795.44</b>	<b>820.40</b>	<b>935.10</b>	<b>941.01</b>	<b>887.60</b>	<b>1,016.71</b>	<b>937.47</b>	<b>1,265.15</b>
<b>ฤดูฝน</b> (เม.ย.-ก.ย.)	<b>429.71</b> (54%)	<b>469.53</b> (57%)	<b>582.69</b> (62%)	<b>510.21</b> (54%)	<b>518.28</b> (58%)	<b>636.24</b> (63%)	<b>597.48</b> (64%)	<b>806.58</b> (64%)
<b>ฤดูแล้ง</b> (ต.ค.-มี.ย.)	<b>365.73</b> (46%)	<b>350.87</b> (43%)	<b>352.41</b> (38%)	<b>430.80</b> (46%)	<b>369.32</b> (42%)	<b>380.47</b> (37%)	<b>339.99</b> (36%)	<b>458.57</b> (36%)



ภาพที่ 14 ค่าการคายระเหยที่แท้จริงเฉลี่ยรายเดือนของทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 15 การคายระเหยที่แท้จริงรายเดือนของทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ ในระหว่างปี ค.ศ. 2008-2012

ตารางที่ 15 และตารางที่ 16 แสดงค่า  $R^2$  และค่า NSE ระหว่างผลิตภัณฑ์  $AET_{RS}$  แต่ละผลิตภัณฑ์ ตามช่วงเวลาที่มีข้อมูลตรงกัน ตามลำดับ จากตารางที่ 15 พบว่า ETMonitor มีความสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยเฉลี่ยมากที่สุดคือ มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.66 รองลงมาคือ GLEAM V3.5a มีค่า  $R^2$  เฉลี่ยเท่ากับ 0.63 ในขณะที่ ALEXI มีค่า  $R^2$  เฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.32 และเมื่อพิจารณาค่า NSE ในตารางที่ 16 พบว่า CMRSET มีความสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยเฉลี่ยมากที่สุดคือ มีค่า NSE เท่ากับ 0.48 รองลงมาคือ SEBS V3 มีค่า NSE เฉลี่ยเท่ากับ 0.46 ในขณะที่ SSEBop มีค่า NSE เฉลี่ยต่ำสุดคือ -1.66

อย่างไรก็ตามในตารางที่ 17 และ 18 ได้แสดงค่า  $R^2$  และ NSE ของแต่ละผลิตภัณฑ์เฉพาะ ในช่วงเวลาเดียวกันคือในปี ค.ศ. 2005-2012 ตามลำดับ จากตารางที่ 17 พบว่า ETMonitor มีความสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยเฉลี่ยมากที่สุดคือ มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.66 รองลงมาคือ GLEAM V3.5a มีค่า  $R^2$  เฉลี่ยเท่ากับ 0.61 ในขณะที่ ALEXI มีค่า  $R^2$  เฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.255 และเมื่อพิจารณาค่า NSE ในตารางที่ 18 พบว่า GLEAM V3.5a มีความสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยเฉลี่ยมากที่สุดคือ มีค่า NSE เท่ากับ 0.16 รองลงมาคือ CMRSET มีค่า NSE เฉลี่ยเท่ากับ 0.12 ในขณะที่ SSEBop มีค่า NSE เฉลี่ยต่ำสุดคือ -2.95

ตารางที่ 15 ค่า  $R^2$  ระหว่างผลิตภัณฑ์  $AET_{RS}$  แต่ละผลิตภัณฑ์ โดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในช่วงเดียวกัน

$R^2$	MOD16A2GF (2001-2018)	GLEAM V3.5a (2001-2018)	GLDAS (2001-2018)	ALEXI (2003-2013)	CMRSET (2003-2012)	ETMonitor (2008-2013)	SEBS_V3 (2001-2015)	SSEBop (2003-2014)
MOD16A2GF	<b>1.00</b>	0.59	0.67	0.21	0.57	0.62	0.50	0.27
GLEAM V3.5a	0.59	<b>1.00</b>	0.66	0.22	0.60	0.77	0.65	0.54
GLDAS	0.67	0.66	<b>1.00</b>	0.28	0.58	0.80	0.57	0.46
ALEXI	0.21	0.22	0.28	<b>1.00</b>	0.24	0.18	0.22	0.17
CMRSET	0.57	0.60	0.58	0.24	<b>1.00</b>	0.62	0.24	0.55
ETMonitor	0.62	0.77	0.80	0.18	0.62	<b>1.00</b>	0.67	0.59
SEBS_V3	0.50	0.65	0.57	0.22	0.64	0.67	<b>1.00</b>	0.55
SSEBop	0.27	0.54	0.46	0.17	0.55	0.59	0.55	<b>1.00</b>
<b>AVG</b>	<b>0.56</b>	<b>0.63</b>	<b>0.63</b>	<b>0.32</b>	<b>0.60</b>	<b>0.66</b>	<b>0.55</b>	<b>0.52</b>

ตารางที่ 16 ค่า NSE ระหว่างผลิตภัณฑ์  $AET_{RS}$  แต่ละผลิตภัณฑ์ โดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่ในช่วงเดียวกัน

NSE	MOD16A2GF (2001-2018)	GLEAM V3.5a (2001-2018)	GLDAS (2001-2018)	ALEXI (2003-2013)	CMRSET (2003-2012)	ETMonitor (2008-2013)	SEBS_V3 (2001-2015)	SSEBop (2003-2014)
MOD16A2GF	<b>1.00</b>	0.43	-0.37	-0.16	0.61	-0.60	0.50	-2.34
GLEAM V3.5a	0.21	<b>1.00</b>	-0.83	0.06	0.55	-1.04	0.38	-3.01
GLDAS	0.45	0.48	<b>1.00</b>	0.48	0.72	0.46	0.90	0.06
ALEXI	-1.26	-0.65	-2.09	<b>1.00</b>	-0.20	-3.22	-0.73	-5.70
CMRSET	0.14	0.28	-0.66	-0.09	<b>1.00</b>	-0.94	0.24	-3.32
ETMonitor	0.27	0.36	0.43	0.29	0.67	<b>1.00</b>	0.82	0.09
SEBS_V3	0.29	0.39	0.58	0.07	0.55	0.42	<b>1.00</b>	-0.02
SSEBop	-1.00	-0.70	-0.51	-0.48	-0.05	-0.24	0.55	<b>1.00</b>
<b>AVG</b>	<b>0.01</b>	<b>0.20</b>	<b>-0.31</b>	<b>0.15</b>	<b>0.48</b>	<b>-0.52</b>	<b>0.46</b>	<b>-1.66</b>

ตารางที่ 17 ค่า  $R^2$  ระหว่างผลิตภัณฑ์  $AET_{RS}$  แต่ละผลิตภัณฑ์ในปี ค.ศ. 2008-2012

$R^2$	MOD16A2GF	GLEAM V3.5a	GLDAS	ALEXI	CMRSET	SEBS_V3	ETMonitor	SSEBop
MOD16A2GF	<b>1.00</b>	0.55	0.62	0.12	0.47	0.63	0.50	0.22
GLEAM V3.5a	0.56	<b>1.00</b>	0.63	0.14	0.53	0.79	0.69	0.52
GLDAS	0.62	0.63	<b>1.00</b>	0.20	0.53	0.81	0.59	0.50
ALEXI	0.10	0.14	0.20	<b>1.00</b>	0.17	0.14	0.13	0.13
CMRSET	0.47	0.53	0.53	0.17	<b>1.00</b>	0.62	0.61	0.58
SEBS_V3	0.64	0.79	0.81	0.14	0.62	<b>1.00</b>	0.71	0.60
ETMonitor	0.51	0.69	0.59	0.13	0.61	0.71	<b>1.00</b>	0.55
SSEBop	0.24	0.52	0.50	0.13	0.58	0.60	0.55	<b>1.00</b>
<b>AVG</b>	<b>0.52</b>	<b>0.61</b>	<b>0.61</b>	<b>0.25</b>	<b>0.56</b>	<b>0.66</b>	<b>0.60</b>	<b>0.51</b>

ตารางที่ 18 ค่า NSE ระหว่างผลิตภัณฑ์  $AET_{RS}$  แต่ละผลิตภัณฑ์ในปี ค.ศ. 2008-2012

NSE	MOD16A2GF	GLEAM V3.5a	GLDAS	ALEXI	CMRSET	SEBS_V3	ETMonitor	SSEBop
MOD16A2GF	<b>1.00</b>	0.39	-1.47	-0.70	-0.07	-1.73	-1.17	-6.35
GLEAM V3.5a	0.12	<b>1.00</b>	-2.18	-0.63	-0.19	-2.40	-1.52	-7.33
GLDAS	0.31	0.38	<b>1.00</b>	0.14	0.38	0.34	0.73	-0.26
ALEXI	-1.36	-0.58	-3.03	<b>1.00</b>	-0.78	-3.56	-2.86	-6.78
CMRSET	0.00	0.21	-1.19	-0.27	<b>1.00</b>	-0.98	-0.64	-3.54
ETMonitor	0.22	0.33	0.34	0.10	0.48	<b>1.00</b>	0.56	-0.21
SEBS_V3	0.29	0.40	0.59	0.06	0.46	0.48	<b>1.00</b>	-0.09
SSEBop	-1.25	-0.86	-0.50	-0.66	-0.34	-0.33	-0.04	<b>1.00</b>
<b>AVG</b>	<b>-0.08</b>	<b>0.16</b>	<b>-0.81</b>	<b>-0.12</b>	<b>0.12</b>	<b>-0.90</b>	<b>-0.49</b>	<b>-2.95</b>

## 2. ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และการศึกษาความไวของช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่มีต่อผลการประเมินน้ำท่า

การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith รวมทั้งการศึกษาความไวของช่วงเวลาสถิติข้อมูลที่มีผลต่อความถูกต้องของการประเมินน้ำท่าด้วยกระบวนการ Sliding Windows Cross Validation ทำให้มีกรณีศึกษาทั้งสิ้น 14 กรณี ดังแสดงในภาพที่ 16 จากนั้นจึงนำผลการประเมินน้ำท่าในแต่ละกรณีมาตรวจสอบความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดทั้งที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ที่ทำการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองรวมทั้งที่สถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือหน้าของสถานี E.20A อีกจำนวน 9 สถานี ซึ่งประกอบด้วยสถานีวัดน้ำท่า E.32A, E.5, E.23, E.21, E.9, E.66A, E.18, E.54 และ E.70 โดยผลเปรียบเทียบค่าทางสถิติเฉลี่ยจาก 10 สถานี จำนวน 14 กรณี ที่เป็นผลจากการสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A แสดงดังในตารางที่ 19 โดยในตารางดังกล่าวได้ทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าตัวแปรทางสถิติทั้ง 4 ตัวแปร คือ NSE,  $KGE_E$ ,  $KGE_L$  และ  $KGE_F$  ทั้งในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง โดยกำหนดค่าวงน้ำหนักสำหรับแต่ละค่าตัวแปรทางสถิติคือ 0.35, 0.35, 0.2 และ 0.1 ตามลำดับ ตามความสำคัญของแต่ละตัวแปร ทั้งนี้เนื่องจากค่า NSE และ  $KGE_E$  เป็นตัวแปรทางสถิติที่แสดงภาพรวมของผลการประเมินน้ำท่าที่ให้ความสำคัญกับอัตราการไหลทั้งหมดโดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราการไหลสูง ๆ ซึ่งจัดว่ามีความสำคัญสูงสุด จึงสมควรให้ค่าวงน้ำหนักรวมมากที่สุดและควรมีค่าเท่ากัน จึงถูกกำหนดให้ค่าการถ่วงน้ำหนักเท่ากับ 0.35 ในขณะที่ค่า  $KGE_L$  เป็นค่าที่ให้ความสำคัญกับอัตราการไหลในช่วงหน้าแล้งหรือช่วงเวลาที่ม้ออัตราการไหลต่ำ (Low Flow) จึงได้ค่าการถ่วงน้ำหนักรวมที่ลดลงมาคือ 0.2 ในขณะที่ค่า  $KGE_F$  เป็นค่าที่แสดงโค้งอัตราการไหล-ช่วงเวลา (Flow Duration Curve) ซึ่งมีความสำคัญน้อยที่สุดและผลการประเมินน้ำท่าในส่วนนี้จะไม่แตกต่างกันมากนักในการจำลองแบบแต่ละประเภทจึงถูกกำหนดให้ค่าการถ่วงน้ำหนักรวมที่น้อยที่สุดคือ 0.1 จากนั้นทำการเฉลี่ยค่าดังกล่าวในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง จากนั้นทำการจัดลำดับของค่าสถิติเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากรณีที่ให้ค่าทางสถิติเฉลี่ยสูงสุด 3 ลำดับแรก คือกรณีที่ 5 (2005-2014) กรณีที่ 7 (2007-2001) และ กรณีที่ 2 (2002-2012) ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.711, 0.695 และ 0.693 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าสถิติเฉลี่ยต่ำสุด 3 ลำดับแรก คือกรณีที่ 12 (2012-2007) กรณีที่ 14 (2014-2009) และ กรณีที่ 11 (2011-2016) ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.511, 0.616 และ 0.621 ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าทางสถิติเฉลี่ยสำหรับทั้ง 14 กรณี

เท่ากับ 0.655 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.063 ทั้งนี้ จากการพิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์มีความแตกต่างกันในแต่ละกรณี โดยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าเฉลี่ยในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองน่าจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับความต้องการของผลการประเมินน้ำท่าในแต่ละกรณี ดังนั้น ในตารางดังกล่าวจึงได้แสดงค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าเฉลี่ยในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองสำหรับแต่ละกรณี โดยจะเห็นได้ว่า กรณีที่ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าเฉลี่ยในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีความแตกต่างกันมากจะส่งผลให้ผลการประเมินน้ำท่ามีความผิดพลาดมากตามไปด้วย ทั้งนี้ ในกรณีที่ 12, 14 และ 11 ที่ให้ค่าเฉลี่ยของค่าทางสถิติต่ำสุด 3 ลำดับแรก พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าในแต่ละกรณีในช่วงการสอบเทียบเท่ากับ 0.18, 0.19 และ 0.19 ตามลำดับ และในช่วงการตรวจพิสูจน์เท่ากับ 0.25, 0.23 และ 0.22 ตามลำดับ ในขณะที่ ในกรณีที่ 5, 7 และ 2 ที่ให้ค่าเฉลี่ยของค่าทางสถิติสูงสุด 3 ลำดับแรก พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าในแต่ละกรณีในช่วงการสอบเทียบเท่ากับ 0.20, 0.21 และ 0.21 ตามลำดับ และในช่วงการตรวจพิสูจน์เท่ากับ 0.19, 0.17 และ 0.16 ตามลำดับ ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของข้อมูลในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีอิทธิพลอย่างมากต่อความต้องการของผลการประเมินน้ำท่า โดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD

นอกจากนั้นแล้ว ได้แสดงค่าชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานี E.20A ทั้ง 14 กรณี ดังในตารางที่ 20 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ชุดพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดในแต่ละกรณีศึกษาจะแตกต่างกันพอสมควร โดยในตารางดังกล่าวได้แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) สำหรับแต่ละพารามิเตอร์ทั้ง 17 พารามิเตอร์ และเพื่อให้เห็นความแตกต่างของพารามิเตอร์แต่ละตัวในแต่ละกรณีเทียบกับค่าของพารามิเตอร์ของกรณีศึกษาที่ 5 ซึ่งให้ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ถูกต้องสูงสุด จึงได้แสดงเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังกล่าวดังในตารางที่ 21 โดยในตารางดังกล่าวได้ทำการเรียงลำดับค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ไม่คิดเครื่องหมายจากน้อยไปหามาก รวมทั้งได้แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างในแต่ละพารามิเตอร์ไว้ด้วย จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า พารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์แรกที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างน้อยที่สุดคือ  $D_{,alpha}$  และ  $SumaxT$  โดยมีความแตกต่างเฉลี่ยเท่ากับ 3.25%, 6.72% และ 25.92% ตามลำดับ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 3.94%, 5.06% และ 16.55% ตามลำดับ ในขณะที่พารามิเตอร์ 3 พารามิเตอร์แรกที่มีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมากที่สุดคือ  $Sfmax$ ,  $RKf$  และ  $Ks$  โดยมีความแตกต่างเฉลี่ยเท่ากับ 274.55%, 135.82% และ 52.97% ตามลำดับ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 251.87%, 77.68% และ 69.97% ตามลำดับ

กรณีศึกษา	ช่วงปีสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD (Water Year)													= การสอบเทียบ = การตรวจพิสูจน์	
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															

ภาพที่ 16 ช่วงเวลาในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith

ตารางที่ 19 การเปรียบเทียบค่าทางสถิติเฉลี่ยจาก 10 สถานี จำนวน 14 กรณี ที่เป็นผลจากการสอบเทียบและการตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith

กรณีศึกษา	การสอบเทียบแบบจำลอง					การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง					เฉลี่ย	สัมประสิทธิ์น้ำท่า	
	NSE	KGE <sub>F</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	ค่าเฉลี่ย	NSE	KGE <sub>F</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	ค่าเฉลี่ย		สอบเทียบ	ตรวจพิสูจน์
5	0.69	0.68	0.67	0.74	0.688	0.79	0.72	0.65	0.74	0.731	0.711	0.20	0.19
7	0.67	0.69	0.68	0.76	0.687	0.71	0.68	0.71	0.73	0.702	0.695	0.21	0.16
2	0.71	0.74	0.72	0.80	0.732	0.67	0.64	0.63	0.69	0.653	0.693	0.20	0.18
9	0.73	0.78	0.63	0.83	0.737	0.54	0.70	0.65	0.80	0.646	0.692	0.21	0.17
3	0.69	0.69	0.66	0.75	0.69	0.74	0.63	0.64	0.65	0.673	0.682	0.20	0.19
8	0.69	0.70	0.63	0.75	0.691	0.69	0.62	0.66	0.67	0.658	0.675	0.21	0.18
1	0.69	0.73	0.70	0.80	0.716	0.65	0.63	0.57	0.68	0.629	0.673	0.21	0.17
13	0.67	0.72	0.71	0.78	0.707	0.65	0.62	0.64	0.64	0.636	0.672	0.20	0.19
10	0.75	0.76	0.67	0.80	0.739	0.45	0.64	0.67	0.72	0.588	0.664	0.20	0.20
6	0.61	0.59	0.66	0.66	0.619	0.68	0.65	0.64	0.71	0.667	0.643	0.19	0.21
4	0.63	0.61	0.61	0.68	0.622	0.71	0.61	0.59	0.63	0.642	0.632	0.19	0.22
11	0.71	0.75	0.70	0.79	0.728	0.34	0.57	0.65	0.64	0.513	0.621	0.18	0.25
14	0.61	0.61	0.69	0.67	0.633	0.65	0.58	0.55	0.60	0.599	0.616	0.19	0.23
12	0.60	0.58	0.64	0.63	0.605	0.30	0.43	0.58	0.46	0.416	0.511	0.19	0.23
เฉลี่ย	0.67	0.69	0.67	0.75	0.685	0.61	0.62	0.63	0.67	0.625	0.655	0.198	0.198
SD	0.05	0.07	0.03	0.06	0.047	0.15	0.07	0.04	0.08	0.080	0.063	0.011	0.027



ตารางที่ 20 ชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD จำนวน 14 กรณี ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานี E.20A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith

กรณีศึกษา	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	เฉลี่ย	SD
<i>ImaxH</i>	1.55	2.51	2.15	3.16	2.44	4.68	4.46	4.25	4.11	1.75	3.98	3.61	3.05	1.87	<b>3.11</b>	<b>1.08</b>
<i>SumaxH</i>	388.98	358.11	532.29	415.73	699.21	648.14	724.81	461.78	493.48	599.29	611.08	727.31	442.27	401.88	<b>536.03</b>	<b>130.95</b>
<i>Ce</i>	0.46	0.63	0.70	0.41	0.37	0.45	0.73	0.96	0.39	0.68	0.39	0.43	0.46	0.33	<b>0.53</b>	<b>0.18</b>
<i>beta</i>	0.53	0.51	0.50	0.11	1.78	0.21	0.66	0.25	2.00	0.58	2.40	0.34	0.67	0.25	<b>0.77</b>	<b>0.73</b>
<i>D</i>	1.00	0.98	0.99	0.91	0.98	0.91	0.98	0.92	0.98	0.97	0.98	0.90	0.89	0.98	<b>0.95</b>	<b>0.04</b>
<i>RKf</i>	0.78	0.87	0.67	0.62	0.28	0.47	0.58	0.54	0.75	0.13	0.72	0.92	0.81	0.40	<b>0.61</b>	<b>0.23</b>
<i>Ks</i>	149.12	42.26	20.28	57.44	57.18	65.84	49.60	15.71	25.18	106.67	82.66	13.42	20.54	61.79	<b>54.83</b>	<b>38.44</b>
<i>BTagF</i>	32.93	29.57	39.34	45.39	34.16	25.56	42.32	33.48	48.53	24.03	19.80	26.69	45.63	22.94	<b>33.60</b>	<b>9.37</b>
<i>BTagS</i>	24.00	85.44	32.25	54.47	98.94	47.49	82.84	74.73	77.94	53.11	72.89	69.48	91.50	48.06	<b>65.22</b>	<b>22.42</b>
<i>Sfmax</i>	2.60	8.16	14.14	11.97	2.05	3.10	2.63	18.18	5.25	3.61	1.19	9.18	11.05	7.23	<b>7.17</b>	<b>5.18</b>
<i>RKff</i>	0.13	0.56	0.75	0.37	0.83	0.83	0.55	0.60	0.25	0.36	0.13	0.33	0.43	0.68	<b>0.49</b>	<b>0.24</b>
<i>alpha</i>	0.84	0.92	0.90	0.85	0.96	0.93	0.93	0.93	0.92	0.97	0.81	0.88	0.89	0.98	<b>0.91</b>	<b>0.05</b>
<i>x</i>	0.28	0.31	0.12	0.25	0.14	0.23	0.32	0.20	0.18	0.24	0.22	0.32	0.16	0.12	<b>0.22</b>	<b>0.07</b>
<i>SumaxT</i>	247.38	288.54	311.90	319.26	250.44	279.34	348.42	364.99	315.72	400.11	335.10	278.08	279.05	325.67	<b>310.28</b>	<b>43.38</b>
<i>SumaxW</i>	769.02	667.72	573.53	589.91	552.16	692.97	667.28	483.63	440.60	531.64	624.84	572.78	570.61	799.00	<b>609.69</b>	<b>101.35</b>
<i>betaW</i>	0.67	0.44	0.76	0.15	0.81	0.16	0.30	0.44	0.13	0.25	0.24	0.76	0.70	0.27	<b>0.43</b>	<b>0.25</b>
<i>Pmax</i>	0.34	0.80	0.86	0.70	0.94	0.77	0.35	0.42	0.63	0.42	0.66	0.57	0.80	0.14	<b>0.60</b>	<b>0.23</b>

ตารางที่ 21 เปรอ์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวในแต่ละกรณีเทียบกับพารามิเตอร์ของกรณีศึกษาที่ 5 ที่ให้ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ถูกต้องสูงสุด

กรณีศึกษา	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	เฉลี่ย	SD
<i>D</i>	1.54	0.24	0.79	-7.12	-	-6.72	-0.38	-5.70	0.18	-0.96	-0.49	-8.19	-9.54	-0.49	<b>3.25</b>	<b>3.94</b>
<i>alpha</i>	-13.12	-5.07	-6.84	-11.64	-	-3.25	-4.03	-3.98	-4.53	0.30	-15.81	-9.08	-8.14	1.62	<b>6.72</b>	<b>5.06</b>
<i>SumaxT</i>	-1.22	15.22	24.55	27.48	-	11.54	39.13	45.74	26.07	59.76	33.81	11.04	11.43	30.04	<b>25.92</b>	<b>16.55</b>
<i>SumaxH</i>	-44.37	-48.78	-23.87	-40.54	-	-7.30	3.66	-33.96	-29.42	-14.29	-12.60	4.02	-36.75	-42.52	<b>26.32</b>	<b>18.20</b>
<i>SumaxW</i>	39.27	20.93	3.87	6.84	-	25.50	20.85	-12.41	-20.20	-3.72	13.16	3.73	3.34	44.70	<b>16.81</b>	<b>18.85</b>
<i>BTagS</i>	-75.75	-13.65	-67.41	-44.95	-	-52.00	-16.27	-24.47	-21.23	-46.33	-26.33	-29.78	-7.52	-51.42	<b>36.70</b>	<b>21.26</b>
<i>Pmax</i>	-63.46	-15.51	-8.51	-25.82	-	-18.15	-62.91	-55.72	-33.22	-55.98	-30.32	-39.77	-15.51	-85.07	<b>39.23</b>	<b>23.47</b>
<i>RKff</i>	-84.73	-33.10	-10.24	-55.73	-	-0.43	-34.36	-28.36	-69.49	-57.09	-84.36	-60.18	-49.08	-18.25	<b>45.03</b>	<b>26.89</b>
<i>BTagF</i>	-3.60	-13.45	15.18	32.89	-	-25.18	23.89	-1.98	42.06	-29.64	-42.04	-21.86	33.58	-32.84	<b>24.48</b>	<b>28.54</b>
<i>betaW</i>	-17.27	-45.72	-5.94	-81.91	-	-80.48	-62.59	-45.19	-83.56	-68.95	-70.32	-5.18	-13.69	-66.35	<b>49.78</b>	<b>29.79</b>
<i>beta</i>	-70.44	-71.40	-71.86	-93.57	-	-87.95	-62.77	-86.07	12.43	-67.09	35.05	-80.63	-62.15	-85.76	<b>68.24</b>	<b>39.14</b>
<i>ImaxH</i>	-36.58	2.99	-11.87	29.45	-	91.88	82.90	73.94	68.31	-28.43	62.91	47.86	24.88	-23.53	<b>45.04</b>	<b>45.32</b>
<i>Ce</i>	25.78	71.08	90.16	13.06	-	23.00	100.97	161.83	6.99	86.52	6.85	16.36	27.11	-10.89	<b>49.28</b>	<b>50.15</b>
<i>x</i>	104.85	130.45	-9.60	84.83	-	72.01	137.12	49.13	29.74	76.04	60.34	132.82	20.81	-8.67	<b>70.49</b>	<b>50.50</b>
<i>Ks</i>	160.81	-26.09	-64.53	0.46	-	15.15	-13.26	-72.52	-55.96	86.57	44.57	-76.52	-64.07	8.07	<b>52.97</b>	<b>69.97</b>
<i>RKf</i>	181.07	213.18	140.33	122.09	-	67.94	106.69	92.46	169.12	-52.34	156.66	230.96	190.32	42.47	<b>135.82</b>	<b>77.68</b>
<i>Sfmax</i>	26.38	297.34	588.35	482.83	-	51.04	27.91	785.18	155.66	75.70	-42.00	347.13	437.83	251.85	<b>274.55</b>	<b>251.87</b>
เฉลี่ย	<b>55.90</b>	<b>60.25</b>	<b>67.29</b>	<b>68.31</b>	-	<b>37.62</b>	<b>47.04</b>	<b>92.86</b>	<b>48.72</b>	<b>47.63</b>	<b>43.39</b>	<b>66.18</b>	<b>59.75</b>	<b>47.33</b>	<b>57.10</b>	<b>45.27</b>
SD	<b>77.97</b>	<b>98.46</b>	<b>152.03</b>	<b>129.88</b>	-	<b>50.02</b>	<b>60.83</b>	<b>200.08</b>	<b>69.21</b>	<b>57.23</b>	<b>58.02</b>	<b>112.00</b>	<b>119.80</b>	<b>76.52</b>	<b>63.73</b>	<b>56.96</b>

### 3. ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่าระหว่างการใช้ข้อมูล PET จาก Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

การเปรียบเทียบศักยภาพของศักยภาพการคายระเหย (PET) ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith กับที่ได้จากข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลของผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a เพื่อใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าในการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD สำหรับลุ่มน้ำซึ่งได้ดำเนินการใน 2 กรณี คือ (1) กรณีการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ในปี ค.ศ. 2001-2010 และ ค.ศ. 2011-2014 ตามลำดับ และ (2) กรณีการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A ในปี ค.ศ. 2005-2014 และ ค.ศ. 2001-2004 ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่ถูกต้องสูงสุดจากการศึกษาความไวด้วยกระบวนการ Sliding windows cross validation

ในการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A นั้น นอกจากจะได้ผลการประเมินน้ำท่าที่สถานี E.20A แล้ว จะได้ผลการประเมินน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้ทั้งใน 98 ลุ่มน้ำย่อย รวมทั้งที่สถานีวัดน้ำท่าด้านเหนือน้ำของสถานีวัดน้ำท่า E.20A อีกจำนวน 9 สถานี ดังนั้น ในที่นี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับที่ได้จากสถานีตรวจวัดอีก 9 สถานี โดยผลการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A สำหรับกรณีที่ 1 ซึ่งใช้ช่วงเวลา ระหว่างปี ค.ศ. 2001-2010 แสดงดังในตารางที่ 22 และผลการตรวจพิสูจน์ในระหว่างปี ค.ศ. 2011-2014 แสดงดังในตารางที่ 23 ตามลำดับ โดยในตารางดังกล่าวได้แสดงค่าทางสถิติ 4 ตัวแปร คือ NSE,  $KGE_E$ ,  $KGE_L$  และ  $KGE_F$  จากการใช้ค่า PET ทั้ง 3 ประเภท จากนั้นทำการเฉลี่ยค่าทางสถิติของทั้ง 4 ตัวแปร ด้วยสัดส่วนเท่ากับ 0.35, 0.35, 0.2 และ 0.1 ตามลำดับ จากตารางที่ 22 แสดงให้เห็นว่าผลการสอบเทียบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูล PET โดยวิธี Penman-Monteith ให้ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางสถิติสำหรับทั้ง 10 สถานี สูงสุด คือเท่ากับ 0.725 รองลงมาคือ GLEAM V3.5a และ MOD16A2GF ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.701 และ 0.638 ตามลำดับ ในขณะที่ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่แสดงในตารางที่ 23 พบว่าค่าทางสถิติที่ได้จากการตรวจพิสูจน์โดยใช้ข้อมูล PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 0.614 และ 0.616 ตามลำดับ ในขณะที่ MOD16A2GF ให้ค่าเฉลี่ยต่ำกว่าเล็กน้อยคือ 0.592

สำหรับผลการวิเคราะห์ในกรณีที่ 2 ซึ่งหมายถึงกรณีการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยใช้ข้อมูลในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2005-2014 และ 2001-2004 ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่ถูกต้องสูงสุดจากการศึกษาความไวด้วยกระบวนการ Sliding windows cross validation โดยได้แสดงผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ในตารางที่ 24 และ 25 ตามลำดับ จากตารางที่ 24 พบว่าการสอบเทียบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูล PET จากผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a ให้ค่าเฉลี่ยของทั้ง 10 สถานี สูงสุด คือ 0.702 รองลงมาคือ PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และ MOD16A2GF ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.697 และ 0.644 ตามลำดับ ในขณะที่ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองที่แสดงในตารางที่ 25 พบว่าค่าทางสถิติที่ได้จากการตรวจพิสูจน์แบบจำลองโดยใช้ข้อมูล PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a ให้ค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันคือ 0.738 และ 0.737 ตามลำดับ ในขณะที่ MOD16A2GF ให้ค่าเฉลี่ยต่ำกว่าคือ 0.687

จากผลการวิเคราะห์ความถูกต้องของผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองโดยใช้ช่วงเวลาปกติในกรณีที่ 1 และช่วงเวลาที่ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่ดีที่สุดในการกรณีที่ 2 สามารถสรุปได้ว่า การใช้ค่า PET จากทั้งที่ได้จากวิธี Penman-Monteith และจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a สำหรับกรณีที่ 1 ให้ผลการสอบเทียบแบบจำลองที่ดีกว่ากรณีที่ 2 เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ผลการตรวจพิสูจน์แบบจำลองในกรณีที่ 2 ดีกว่ากรณีที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญ จึงเป็นผลให้การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์ในภาพรวมของกรณีที่ 2 จึงดีกว่าในกรณีที่ 1 อย่างชัดเจน ดังนั้น การเลือกช่วงเวลาของการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองจึงมีผลต่อความถูกต้องในการประเมินน้ำท่ามากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงของการตรวจพิสูจน์แบบจำลองไม่ว่าจะเป็นการใช้ PET จาก Penman-Monteith หรือจากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a



2967045753

KU Thesisis 6314500753 thesisis / recv: 07112565 14:31:54 / seq: 62

ตารางที่ 22 เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่เป็นผลจากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD  
ที่สถานี E.20A ในกรณี 1 (ค.ศ.2001-2010)

รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ	Penman-Monteith					MOD16A2GF					GLEAM V3.5a					เฉลี่ย
		NSE	KGE <sub>E</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	เฉลี่ย	NSE	KGE <sub>E</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	เฉลี่ย	NSE	KGE <sub>E</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	เฉลี่ย	
E.32A	2,906	0.70	0.62	0.58	0.65	0.643	0.56	0.30	0.62	0.32	0.457	0.59	0.38	0.58	0.40	0.496	0.532
E.5	4,207	0.77	0.82	0.64	0.87	0.772	0.69	0.47	0.79	0.48	0.612	0.74	0.65	0.69	0.67	0.692	0.692
E.23	6,282	0.74	0.85	0.70	0.95	0.792	0.76	0.58	0.82	0.59	0.692	0.71	0.79	0.75	0.85	0.760	0.748
E.21	8,777	0.70	0.73	0.69	0.78	0.717	0.67	0.44	0.73	0.45	0.580	0.67	0.64	0.73	0.69	0.674	0.657
E.9	10,878	0.66	0.81	0.64	0.94	0.737	0.73	0.59	0.54	0.61	0.631	0.62	0.76	0.61	0.87	0.692	0.687
E.66A	31,879	0.71	0.85	0.64	0.97	0.771	0.75	0.84	0.63	0.91	0.774	0.72	0.86	0.64	0.97	0.778	0.774
E.18	41,187	0.70	0.81	0.60	0.87	0.736	0.74	0.85	0.59	0.92	0.767	0.73	0.82	0.60	0.87	0.750	0.751
E.54	1,548	0.39	0.69	0.73	0.95	0.619	0.21	0.56	0.88	0.72	0.518	0.47	0.67	0.83	0.86	0.651	0.596
E.70	2,647	0.49	0.75	0.71	0.92	0.668	0.31	0.58	0.85	0.67	0.549	0.57	0.76	0.82	0.91	0.721	0.646
E.20A	47,800	0.78	0.88	0.58	0.97	0.794	0.79	0.89	0.58	0.96	0.800	0.8	0.88	0.58	0.94	0.798	0.797
เฉลี่ย		0.66	0.78	0.65	0.89	0.725	0.62	0.61	0.70	0.66	0.638	0.662	0.721	0.683	0.803	0.701	0.688

ตารางที่ 23 เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่เป็นผลจากตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD  
ที่สถานี E.20A ในกรณี 1 (ค.ศ.2011-2014)

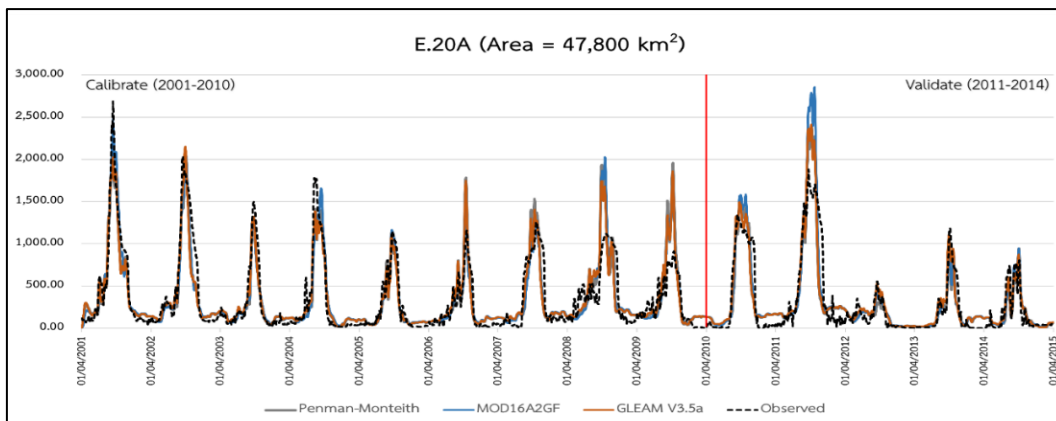
รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ	Penman-Monteith					MOD16A2GF					GLEAM V3.5a					เฉลี่ย
		NSE	KGE <sub>E</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	เฉลี่ย	NSE	KGE <sub>E</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	เฉลี่ย	NSE	KGE <sub>E</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	เฉลี่ย	
E.32A	2,906	0.65	0.43	0.59	0.44	0.540	0.53	0.21	0.63	0.22	0.407	0.55	0.27	0.6	0.28	0.435	0.461
E.5	4,207	0.7	0.55	0.47	0.57	0.589	0.61	0.32	0.66	0.33	0.491	0.65	0.42	0.51	0.43	0.520	0.533
E.23	6,282	0.67	0.58	0.64	0.61	0.627	0.64	0.42	0.76	0.43	0.566	0.64	0.56	0.71	0.59	0.621	0.605
E.21	8,777	0.62	0.53	0.4	0.58	0.541	0.63	0.39	0.64	0.4	0.525	0.59	0.54	0.55	0.6	0.566	0.544
E.9	10,878	0.58	0.51	0.47	0.56	0.532	0.62	0.43	0.49	0.45	0.511	0.54	0.55	0.45	0.63	0.535	0.526
E.66A	31,879	0.71	0.65	0.52	0.67	0.647	0.78	0.74	0.54	0.76	0.716	0.74	0.7	0.54	0.73	0.685	0.683
E.18	41,187	0.67	0.75	0.53	0.82	0.685	0.7	0.83	0.55	0.88	0.734	0.7	0.76	0.55	0.82	0.703	0.707
E.54	1,548	0.36	0.68	0.55	0.83	0.557	0.32	0.68	0.45	0.85	0.525	0.47	0.74	0.54	0.89	0.621	0.568
E.70	2,647	0.69	0.84	0.47	0.95	0.725	0.56	0.74	0.88	0.83	0.714	0.72	0.84	0.62	0.94	0.764	0.734
E.20A	47,800	0.71	0.77	0.49	0.82	0.698	0.7	0.84	0.51	0.9	0.731	0.73	0.79	0.5	0.84	0.716	0.715
เฉลี่ย		0.64	0.63	0.51	0.69	0.614	0.61	0.56	0.61	0.61	0.592	0.63	0.62	0.56	0.675	0.616	0.607

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่เป็นผลจากการสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD  
ที่สถานี E.20A ในกรณี 2 (ค.ศ.2005-2014)

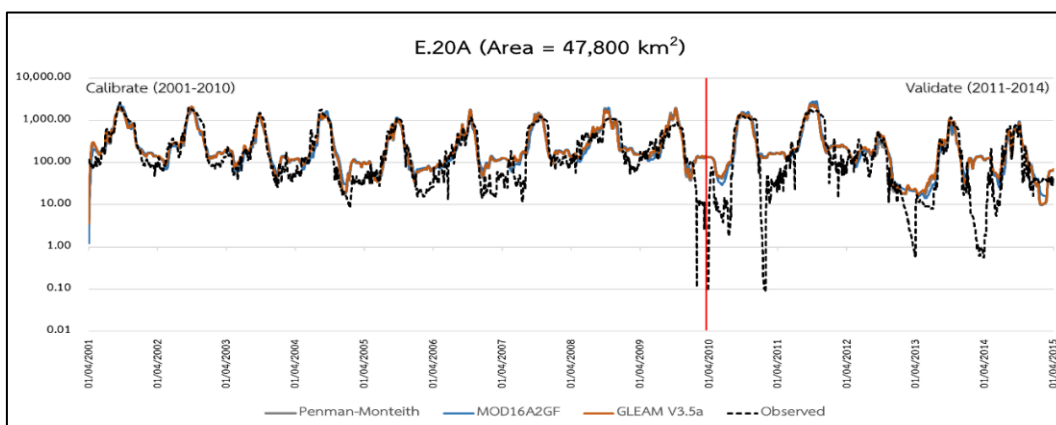
รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ	Penman-Monteith					MOD16A2GF					GLEAM V3.5a					เฉลี่ย
		NSE	KGE <sub>E</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	เฉลี่ย	NSE	KGE <sub>E</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	เฉลี่ย	NSE	KGE <sub>E</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	เฉลี่ย	
E.32A	2,906	0.53	0.32	0.69	0.34	<u>0.471</u>	0.51	0.20	0.40	0.22	<u>0.331</u>	<b>0.61</b>	<b>0.41</b>	<b>0.74</b>	<b>0.42</b>	<u>0.544</u>	<b>0.449</b>
E.5	4,207	0.68	0.59	0.83	0.62	<u>0.681</u>	0.62	0.36	0.48	0.37	<u>0.459</u>	<b>0.76</b>	<b>0.69</b>	<b>0.86</b>	<b>0.71</b>	<u>0.754</u>	<b>0.631</b>
E.23	6,282	0.72	0.69	<b>0.87</b>	0.72	<u>0.752</u>	0.75	0.50	0.60	0.51	<u>0.588</u>	<b>0.75</b>	<b>0.75</b>	0.80	<b>0.78</b>	<u>0.769</u>	<b>0.703</b>
E.21	8,777	<b>0.76</b>	0.58	<b>0.75</b>	0.60	<u>0.671</u>	0.73	0.43	0.71	0.43	<u>0.575</u>	0.74	<b>0.66</b>	0.74	<b>0.68</b>	<u>0.707</u>	<b>0.651</b>
E.9	10,878	0.77	0.71	0.62	0.73	<u>0.709</u>	<b>0.79</b>	0.62	<b>0.84</b>	0.63	<u>0.721</u>	0.71	<b>0.76</b>	0.51	<b>0.82</b>	<u>0.699</u>	<b>0.710</b>
E.66A	31,879	<b>0.80</b>	<b>0.90</b>	0.63	<b>0.97</b>	<u>0.827</u>	0.78	0.88	<b>0.64</b>	0.95	<u>0.813</u>	0.74	0.87	0.60	0.95	<u>0.789</u>	<b>0.810</b>
E.18	41,187	0.73	0.78	0.59	0.81	<u>0.730</u>	0.71	0.77	0.60	0.80	<u>0.722</u>	0.67	0.74	0.57	0.77	<u>0.686</u>	<b>0.713</b>
E.54	1,548	0.36	0.64	0.61	0.85	<u>0.617</u>	<b>0.51</b>	<b>0.71</b>	<b>0.69</b>	<b>0.88</b>	<u>0.700</u>	0.38	0.64	0.62	0.80	<u>0.611</u>	<b>0.643</b>
E.70	2,647	0.52	0.71	0.87	0.83	<u>0.732</u>	<b>0.63</b>	<b>0.78</b>	0.78	<b>0.90</b>	<u>0.773</u>	0.54	0.69	<b>0.84</b>	0.79	<u>0.715</u>	<b>0.740</b>
E.20A	47,800	<b>0.80</b>	<b>0.87</b>	0.55	<b>0.91</b>	<u>0.779</u>	0.78	0.82	<b>0.57</b>	0.85	<u>0.754</u>	0.76	0.83	0.53	0.87	<u>0.747</u>	<b>0.760</b>
เฉลี่ย		<b>0.67</b>	<b>0.68</b>	<b>0.70</b>	<b>0.74</b>	<u>0.697</u>	<b>0.68</b>	<b>0.61</b>	<b>0.63</b>	<b>0.66</b>	<u>0.644</u>	<b>0.67</b>	<b>0.70</b>	<b>0.68</b>	<b>0.76</b>	<u>0.702</u>	<b>0.681</b>

ตารางที่ 25 เปรียบเทียบค่าทางสถิติที่เป็นผลจากตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD  
ที่สถานี E.20A ในกรณี 2 (ค.ศ.2001-2004)

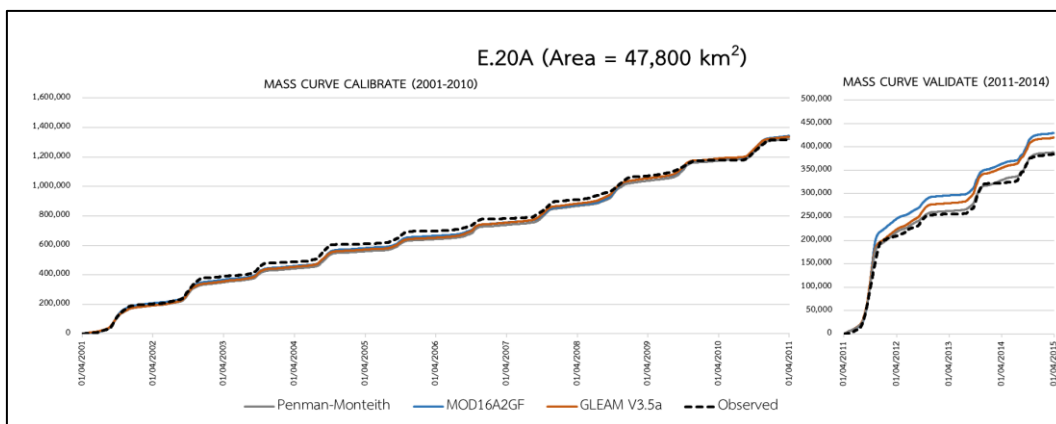
รหัสสถานี	พื้นที่รับน้ำ	Penman-Monteith					MOD16A2GF					GLEAM V3.5a					เฉลี่ย
		NSE	KGE <sub>E</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	เฉลี่ย	NSE	KGE <sub>E</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	เฉลี่ย	NSE	KGE <sub>E</sub>	KGE <sub>L</sub>	KGE <sub>F</sub>	เฉลี่ย	
E.32A	2,906	0.56	0.52	<b>0.75</b>	0.57	<u>0.599</u>	0.53	0.31	0.41	0.34	<u>0.395</u>	<b>0.69</b>	<b>0.68</b>	0.63	<b>0.71</b>	<u>0.677</u>	<b>0.557</b>
E.5	4,207	0.69	0.67	<b>0.73</b>	0.71	<u>0.702</u>	0.58	0.32	0.45	0.34	<u>0.423</u>	<b>0.81</b>	<b>0.80</b>	0.59	<b>0.83</b>	<u>0.756</u>	<b>0.627</b>
E.23	6,282	0.77	<b>0.75</b>	0.56	<b>0.77</b>	<u>0.713</u>	0.74	0.49	<b>0.78</b>	0.49	<u>0.623</u>	<b>0.82</b>	0.62	0.45	0.63	<u>0.633</u>	<b>0.657</b>
E.21	8,777	0.83	<b>0.79</b>	<b>0.85</b>	<b>0.80</b>	<u>0.817</u>	0.76	0.51	0.55	0.52	<u>0.587</u>	<b>0.84</b>	0.70	0.67	0.71	<u>0.726</u>	<b>0.710</b>
E.9	10,878	0.81	0.77	0.29	0.79	<u>0.668</u>	<b>0.83</b>	<b>0.78</b>	<b>0.81</b>	<b>0.80</b>	<u>0.805</u>	0.79	0.56	0.14	0.57	<u>0.517</u>	<b>0.663</b>
E.66A	31,879	<b>0.86</b>	0.87	<b>0.72</b>	0.89	<u>0.837</u>	0.81	0.81	0.71	0.84	<u>0.793</u>	0.87	<b>0.92</b>	0.72	<b>0.94</b>	<u>0.861</u>	<b>0.830</b>
E.18	41,187	0.89	0.86	0.72	0.87	<u>0.839</u>	0.87	0.891	<b>0.73</b>	<b>0.91</b>	<u>0.852</u>	<b>0.90</b>	<b>0.89</b>	0.73	0.905	<u>0.858</u>	<b>0.850</b>
E.54	1,548	0.59	0.72	0.43	<b>0.83</b>	<u>0.643</u>	<b>0.76</b>	<b>0.78</b>	<b>0.86</b>	0.82	<u>0.806</u>	0.65	0.75	0.63	0.83	<u>0.717</u>	<b>0.722</b>
E.70	2,647	0.65	<b>0.75</b>	0.87	<b>0.83</b>	<u>0.773</u>	<b>0.80</b>	0.71	0.78	0.73	<u>0.756</u>	0.71	0.77	<b>0.89</b>	0.83	<u>0.800</u>	<b>0.776</b>
E.20A	47,800	0.88	0.78	0.72	0.78	<u>0.792</u>	0.89	<b>0.84</b>	<b>0.74</b>	<b>0.85</b>	<u>0.832</u>	<b>0.91</b>	0.83	0.73	0.84	<u>0.827</u>	<b>0.817</b>
เฉลี่ย		<b>0.75</b>	<b>0.75</b>	<b>0.67</b>	<b>0.79</b>	<u>0.738</u>	<b>0.76</b>	<b>0.65</b>	<b>0.68</b>	<b>0.66</b>	<u>0.687</u>	<b>0.80</b>	<b>0.75</b>	<b>0.62</b>	<b>0.78</b>	<u>0.737</u>	<b>0.721</b>



(ก) กราฟน้ำท่าทั้งสเกลธรรมดาของสถานี E.20A



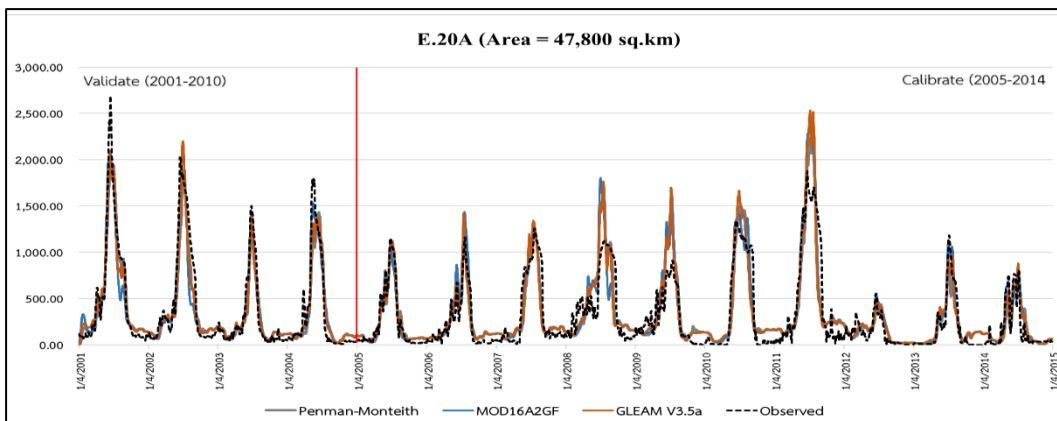
(ข) กราฟน้ำท่าสเกล Semi-log ของสถานี E.20A



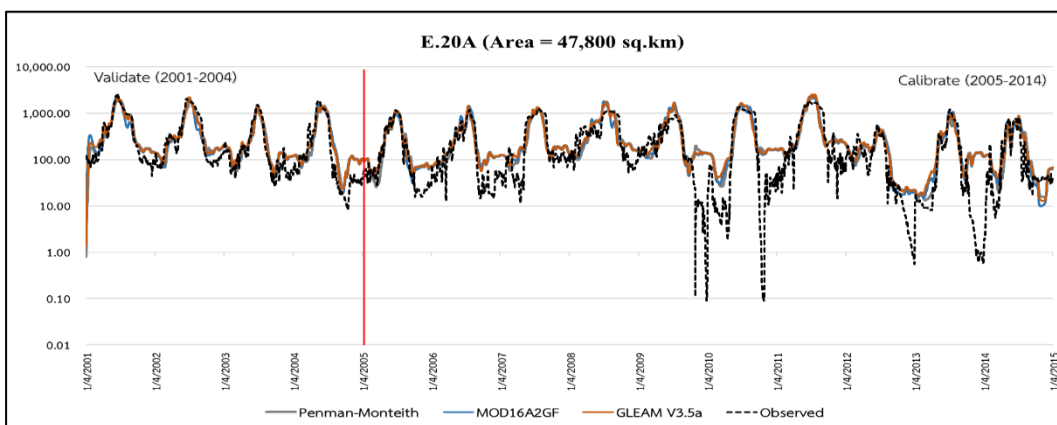
(ค) กราฟน้ำท่าสะสม (Mass Curve) ของสถานี E.20A

ภาพที่ 17 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A ในกรณีที่ 1 โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

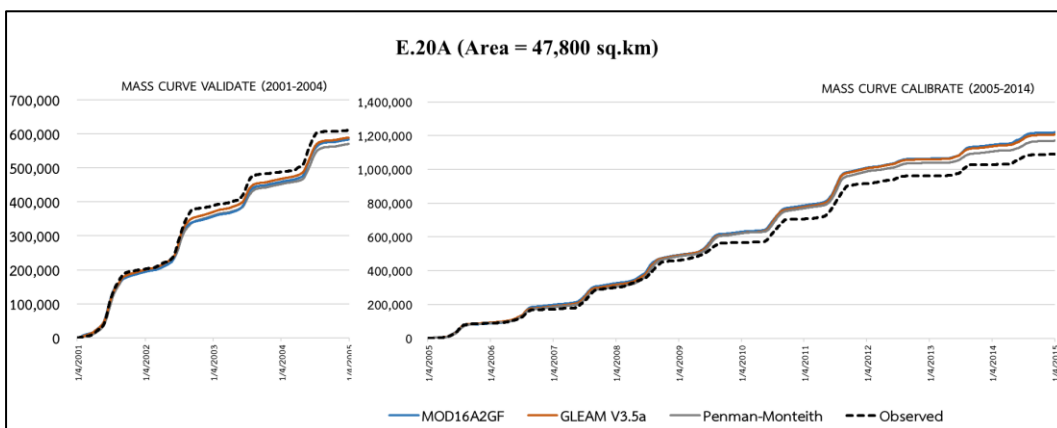




(ก) กราฟน้ำท่าทั้งสเกลธรรมดาของสถานี E.20A



(ข) กราฟน้ำท่าสเกล Semi-log ของสถานี E.20A

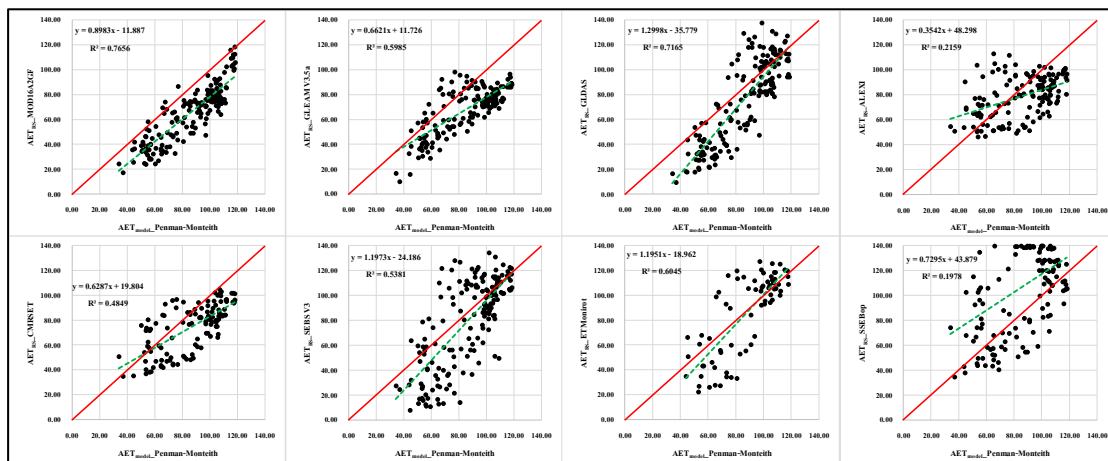


(ค) กราฟน้ำท่าสะสม (Mass Curve) ของสถานี E.20A

ภาพที่ 18 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A ในกรณีที่ 2 โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

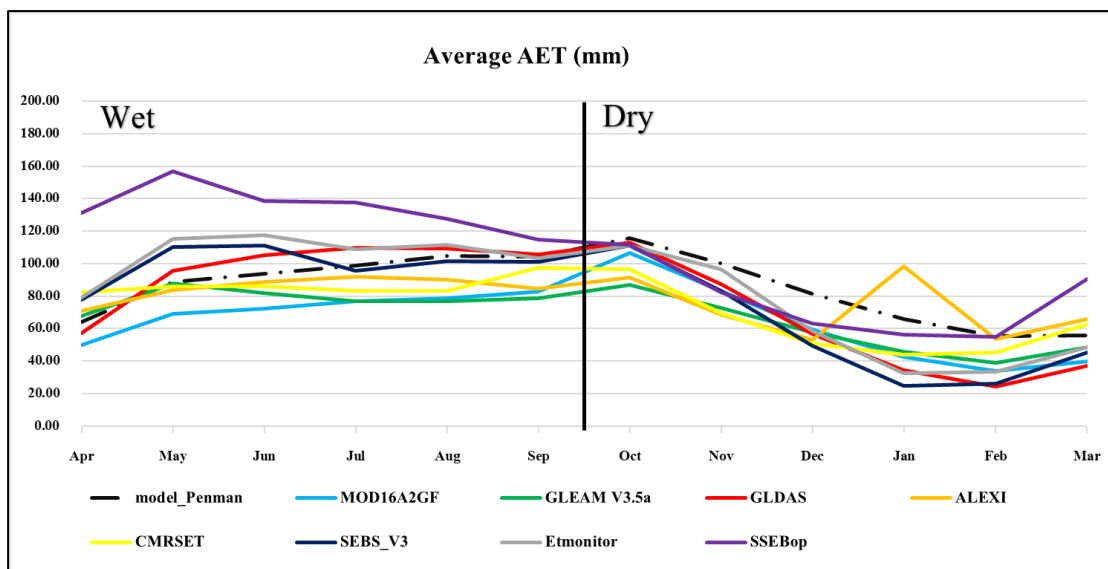
4. ผลการเปรียบเทียบสอดคล้องกันของข้อมูล AET ที่ได้จากการประเมินน้ำท่า โดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith ( $AET_{model\_Penman}$ ) กับข้อมูล  $AET_{RS}$  ที่ได้จากทั้ง 8 ผลลัพธ์

การเปรียบเทียบความสอดคล้องของข้อมูล AET ที่ได้จากการประเมินน้ำท่า โดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith ( $AET_{model\_Penman}$ ) กับข้อมูล AET ที่ได้จากทั้ง 8 ผลลัพธ์ แบบรายเดือนแสดงด้วย Scatter plot ดังในภาพที่ 19 จากภาพดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ผลลัพธ์ที่มีความสัมพันธ์กับ  $AET_{model\_Penman}$  ดีที่สุด คือ MOD16A2GF ซึ่งมีเทรนความสัมพันธ์ที่ใกล้ 45 องศา (เส้นสีเขียว) โดยให้ค่า  $R^2$  สูงสุดคือ 0.765 และผลลัพธ์ที่ความสัมพันธ์น้อยที่สุดคือ SSEBop ซึ่งมีค่าที่กระจาย โดยให้ค่า  $R^2$  ต่ำสุดคือ 0.197 และเมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยรายเดือนของแต่ละผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 20 พบว่า ผลลัพธ์ MOD16A2GF (เส้นสีฟ้า) มีค่าเฉลี่ยรายเดือนเป็นไปในทิศทางเดียวกับ  $AET_{model\_Penman}$  (เส้นประสีดำ) แต่มีค่าที่ต่ำกว่า และผลลัพธ์ SSEBop มีค่าที่แตกต่างกับค่า  $AET_{model\_Penman}$  มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝน



ภาพที่ 19 Scatter plot แสดงการเปรียบเทียบข้อมูล  $AET_{model\_Penman}$  กับข้อมูล  $AET_{RS}$  ที่ได้จากทั้ง 8 ผลลัพธ์ แบบรายเดือน





ภาพที่ 20 การเปรียบเทียบข้อมูล  $AET_{\text{model\_Penman}}$  กับ  $AET_{\text{RS}}$  ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ 8 ผลิตภัณฑ์ แบบเฉลี่ยรายเดือน

นอกจากนั้นแล้ว ได้แสดงการเปรียบเทียบข้อมูล  $AET_{\text{model\_Penman}}$  กับ  $AET_{\text{RS}}$  ที่ได้จากทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ แบบเฉลี่ยรายปี รายฤดูฝน และรายฤดูแล้ง ดังในตารางที่ 26 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า  $AET_{\text{model\_Penman}}$  มีค่าเฉลี่ยรายปี รายฤดูฝน และรายฤดูแล้ง เท่ากับ 1,028.02 , 553.62 และ 474.40 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีค่าเฉลี่ยรายปีใกล้เคียงกับ  $AET_{\text{model\_Penman}}$  มากที่สุดคือ SEBS V3 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,016.71 มิลลิเมตร และรองลงมาก็คือ ALEXI ซึ่งมีค่าเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 941.01 มิลลิเมตร และผลิตภัณฑ์ที่มีค่าเฉลี่ยรายฤดูฝน (เม.ย.-ก.ย.) ใกล้เคียงกับ  $AET_{\text{model\_Penman}}$  มากที่สุดคือ GLDAS โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 582.69 มิลลิเมตร และรองลงมาก็คือ CMRSET ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 518.27 มิลลิเมตร และผลิตภัณฑ์ที่มีค่าเฉลี่ยฤดูแล้ง (ต.ค.-มี.ค.) ใกล้เคียงกับ  $AET_{\text{model\_Penman}}$  มากที่สุดคือ SSEBop โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 458.57 มิลลิเมตร และรองลงมาก็คือ ALEXI ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 430.81 มิลลิเมตร

ผลการเปรียบเทียบความสอดคล้องของข้อมูล AET แสดงในตารางที่ 27 โดยพิจารณาจากค่า  $R^2$ , NSE และ KGE โดยเมื่อพิจารณาจากค่า  $R^2$  พบว่า  $AET_{\text{RS}}$  ที่มีความสัมพันธ์กับ  $AET_{\text{model\_Penman}}$  ดีที่สุด 4 อันดับแรก คือ MOD16A2GF, GLDAS, ETMonitor และ GLEAM V3.5a ตามลำดับ ซึ่งให้ค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.64, 0.62, 0.53 และ 0.50 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า NSE มีค่าค่อนข้างต่ำ โดยค่า NSE สูงสุด 4 อันดับแรกคือผลิตภัณฑ์ ETMonitor, CMRSET , GLDAS และ ALEXI ซึ่งให้ค่า NSE เท่ากับ 0.50, 0.15, -0.04 และ -0.04 ตามลำดับ

ตารางที่ 26 การเปรียบเทียบข้อมูล  $AET_{model\_Penman}$  กับ  $AET_{RS}$  ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ 8 ผลิตภัณฑ์  
แบบเฉลี่ยรายปี รายฤดูฝน และรายฤดูแล้ง

หน่วย: มิลลิเมตร

AET	$AET_{model\_Penman}$	MOD16A2GF	GLEAM V3.5a	GLDAS	ALEXI	CMRSET	ETmonitor	SEBS V3	SSEBop
ม.ย.	63.83	50.05	67.67	57.16	70.73	82.46	77.90	79.32	131.28
พ.ค.	88.70	69.06	87.82	95.69	83.90	85.91	110.39	115.33	156.93
มิ.ย.	93.66	72.45	81.74	105.06	88.77	85.84	111.15	117.74	138.46
ก.ค.	98.61	76.65	76.87	109.94	92.06	83.43	95.69	108.71	137.51
ส.ค.	104.66	78.64	76.83	109.30	90.15	83.09	101.40	111.69	127.73
ก.ย.	104.16	82.86	78.60	105.54	84.60	97.55	100.95	103.45	114.67
ต.ค.	115.80	106.68	86.95	112.99	91.29	96.51	110.97	111.12	111.52
พ.ย.	100.13	83.06	72.95	87.14	68.72	69.51	83.46	96.38	82.54
ธ.ค.	81.34	59.33	57.80	56.79	53.15	50.95	49.64	58.59	62.94
ม.ค.	66.07	42.59	45.85	34.40	98.27	44.17	24.74	32.42	56.34
ก.พ.	55.45	34.07	38.95	24.15	53.62	45.29	26.02	33.31	54.70
มี.ค.	55.62	40.00	48.37	36.94	65.75	62.89	45.16	48.65	90.53
รายปี	<b>1,028.02</b>	<b>795.44</b>	<b>820.40</b>	<b>935.10</b>	<b>941.01</b>	<b>887.60</b>	<b>937.47</b>	<b>1,016.71</b>	<b>1,265.15</b>
		-23%	-20%	-9%	-8%	-14%	-9%	-1%	23%
ฤดูฝน (ม.ย.-ก.ย.)	553.62	429.70	469.52	582.69	510.21	518.27	597.49	636.24	806.58
		-22%	-15%	5%	-8%	-6%	8%	15%	46%
ฤดูแล้ง (ต.ค.-มิ.ย.)	474.40	365.74	350.88	352.41	430.81	369.33	339.99	380.47	458.57
		-23%	-26%	-26%	-9%	-22%	-28%	-20%	-3%

ตารางที่ 27 ค่าทางสถิติที่ได้จากการเปรียบเทียบค่า  $AET_{model\_Penman}$  กับค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จากทั้ง  
8 ผลิตภัณฑ์ แบบรายปี

$AET_{model\_Penman}$	MOD16A2GF	GLEAM V3.5a	GLDAS	ALEXI	CMRSET	ETMonitor	SEBS_V3	SSEBop
$R^2$	<b>0.64</b>	0.50	0.62	0.18	0.40	0.53	0.41	0.17
NSE	-0.37	-0.12	-0.04	-0.04	0.15	<b>0.50</b>	-1.10	-1.71

## 5. ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) แบบรายเดือนด้วยสมการสมดุลน้ำ สำหรับลุ่มน้ำชี

การศึกษาในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) แบบรายเดือน ด้วยสมการสมดุลน้ำ ( $\Delta S = P - Q - AET$ ) สำหรับลุ่มน้ำชี และนำมาเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) ที่ได้จากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก (Terrestrial Water Storage Change, TWSC) จากผลิตภัณฑ์ GRACE (The Gravity Recovery and Climate Experiment) โดยการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 4 กรณี ดังนี้

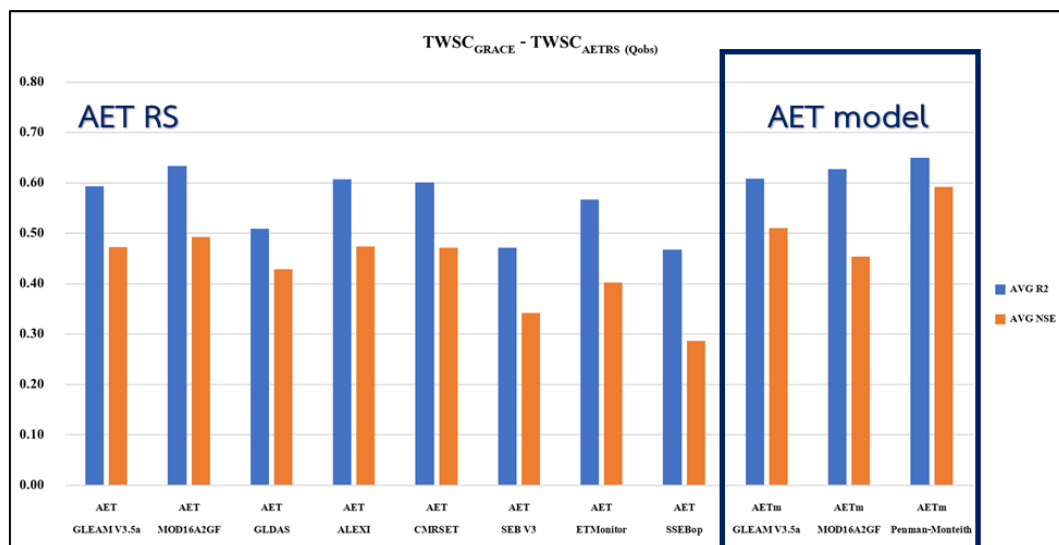
**กรณีที่ 1** คือการเปรียบเทียบในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 10 สถานี โดยการวิเคราะห์หา การเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกักที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ ( $TWSC_{WB}$ ) เป็นการใช้อัตราการไหล ( $Q$ ) จากข้อมูลตรวจวัด ณ สถานีวัดน้ำท่า และใช้ค่า  $AET_{RS}$  จากทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกันโดยใช้ Scatter plot สำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ในแต่ละสถานีตาม ข้อมูลที่มีอยู่สำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยได้แสดงไว้ในภาพผนวกที่ 1 ถึง 10 นอกจากนั้นแล้วได้ แสดงค่า  $R^2$  และ NSE ของแต่ละผลิตภัณฑ์ทั้ง 10 สถานี ในตารางที่ 28 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า  $R^2$  เฉลี่ยทั้ง 10 สถานี มีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 0.63 และ 0.47 ซึ่งเกิดขึ้นกับ MOD16A2GF และ SSEBop ตามลำดับ และสำหรับค่า NSE ก็ไปในทำนองเดียวกันโดยค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 0.49 และ 0.29 ตามลำดับ ทั้งนี้ได้แสดงค่า  $R^2$  และ NSE ที่ได้จากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง ปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) ที่วิเคราะห์จากสมดุลน้ำและจาก  $TWSC_{GRACE}$  โดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำท่า 10 สถานี สำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ ดังในภาพที่ 21

**กรณีที่ 2** คือการเปรียบเทียบในแต่ละสถานีวัดน้ำท่าจำนวน 10 สถานี โดยการวิเคราะห์หา ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกักที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ ( $TWSC_{WB}$ ) โดยใช้ค่า  $AET_{model}$  ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a จากนั้นนำผลที่ได้ มาเปรียบเทียบกันโดยใช้ Scatter plot สำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ในแต่ละสถานีโดยใช้อัตราการไหล ระหว่างปี ค.ศ. 2002-2014 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีข้อมูล  $TWSC_{GRACE}$  จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบ กันโดยใช้ Scatter plot สำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ในแต่ละสถานีตามข้อมูลที่มีอยู่สำหรับแต่ละ ผลิตภัณฑ์ โดยได้แสดงไว้ในภาพผนวกที่ 11 ถึง 20 นอกจากนั้นแล้วได้แสดงค่า  $R^2$  และ NSE ของ แต่ละผลิตภัณฑ์ทั้ง 10 สถานี ในตารางที่ 28 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า  $R^2$  เฉลี่ยทั้ง 10 สถานี มีค่าสูงสุด

และต่ำสุดเท่ากับ 0.65 และ 0.61 ซึ่งเกิดขึ้นกับ  $AET_{\text{model_Penman}}$  และ  $AET_{\text{model_GLEAM V3.5a}}$  ตามลำดับ และสำหรับค่า NSE มีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 0.59 และ 0.45 ตามลำดับ ซึ่งเกิดขึ้นกับ  $AET_{\text{model_Penman}}$  และ  $AET_{\text{model_MOD16A2GF}}$  ทั้งนี้ได้แสดงค่า  $R^2$  และ NSE ที่ได้จากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) ที่วิเคราะห์จากสมมูลน้ำและจาก  $TWSC_{\text{GRACE}}$  โดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำท่า 10 สถานี สำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์ ดังในภาพที่ 21

ตารางที่ 28 ค่า  $R^2$  และ NSE ที่ได้จากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) จากการวิเคราะห์สมมูลน้ำ และจาก  $TWSC_{\text{GRACE}}$  ที่สถานีวัดน้ำท่า 10 สถานี

Station	Area (km <sup>2</sup> )	Indicator	GLEAM V3.5a	MOD16A2GF	GLDAS	ALEXI	CMRSET	SEB V3	ETMonitor	SSEBop	$AET_{\text{model}}_{\text{GLEAM V3.5a}}$	$AET_{\text{model}}_{\text{MOD16A2GF}}$	$AET_{\text{model}}_{\text{Penman-Monteith}}$
E.32A	2,877	$R^2$	0.60	0.67	0.49	0.58	0.58	0.42	0.62	0.52	0.59	0.56	0.61
		NSE	0.56	0.58	0.47	0.48	0.51	0.28	0.51	0.27	0.57	0.50	0.66
E.5	4,207	$R^2$	0.61	0.67	0.51	0.60	0.60	0.47	0.63	0.52	0.62	0.60	0.65
		NSE	0.60	0.63	0.50	0.56	0.57	0.40	0.59	0.35	0.61	0.55	0.70
E.23	6,771	$R^2$	0.61	0.66	0.51	0.60	0.61	0.48	0.59	0.45	0.62	0.64	0.66
		NSE	0.61	0.65	0.51	0.59	0.61	0.46	0.56	0.33	0.62	0.61	0.71
E.21	8,806	$R^2$	0.60	0.64	0.50	0.60	0.61	0.46	0.56	0.43	0.61	0.62	0.64
		NSE	0.60	0.64	0.49	0.58	0.61	0.44	0.52	0.30	0.61	0.57	0.70
E.9	11,129	$R^2$	0.59	0.63	0.49	0.59	0.60	0.46	0.56	0.41	0.61	0.64	0.64
		NSE	0.57	0.61	0.48	0.57	0.59	0.43	0.51	0.30	0.60	0.59	0.70
E.66A	31,758	$R^2$	0.58	0.62	0.50	0.59	0.59	0.45	0.54	0.42	0.61	0.66	0.64
		NSE	0.49	0.53	0.45	0.50	0.50	0.36	0.42	0.28	0.55	0.56	0.52
E.18	41,278	$R^2$	0.60	0.64	0.53	0.62	0.61	0.48	0.56	0.45	0.63	0.67	0.67
		NSE	0.48	0.52	0.47	0.51	0.49	0.37	0.43	0.32	0.55	0.56	0.46
E.54	1,524	$R^2$	0.51	0.52	0.44	0.63	0.60	0.51	0.52	0.52	0.52	0.54	0.66
		NSE	0.06	0.01	0.07	0.29	0.24	0.19	0.16	0.28	0.18	-0.06	0.54
E.70	2,630	$R^2$	0.60	0.63	0.57	0.61	0.58	0.47	0.49	0.48	0.63	0.66	0.63
		NSE	0.26	0.26	0.37	0.14	0.09	0.07	-0.12	0.08	0.41	0.24	0.42
E.20A	47,721	$R^2$	0.63	0.66	0.56	0.66	0.64	0.51	0.60	0.49	0.66	0.69	0.70
		NSE	0.49	0.51	0.49	0.53	0.50	0.39	0.45	0.35	0.39	0.42	0.52
AVERAGE		$R^2$	0.59	0.63	0.51	0.61	0.60	0.47	0.57	0.47	0.61	0.63	0.65
		NSE	0.47	0.49	0.43	0.47	0.47	0.34	0.40	0.29	0.51	0.45	0.59



ภาพที่ 21 ค่า  $R^2$  และ NSE ที่ได้จากการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) ที่วิเคราะห์จากสมมูลน้ำและจาก  $TWSC_{GRACE}$  โดยเฉลี่ยจากสถานีวัดน้ำท่า 10 สถานี สำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์

กรณีที่ 3 คือการเปรียบเทียบใน 98 กลุ่มน้ำย่อย โดยการวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกักที่คำนวณด้วยสมการสมมูลน้ำ ( $TWSC_{WB}$ ) เป็นการใช้อัตราการไหล (Q) จากสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A โดยใช้ PET จาก GLEAM V3.5a และใช้ค่า  $AET_{RS}$  จากทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกันดังแสดงการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  และ NSE ในภาพที่ 22 และ 23 ตามลำดับ นอกจากนั้นแล้ว ได้แสดงค่า  $R^2$  และ NSE ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง  $TWSC_{WB}$  กับ  $TWSC_{GRACE}$  โดยเฉลี่ยทั้ง 98 กลุ่มน้ำย่อย ดังในตารางที่ 29 โดยพบว่า  $R^2$  มีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 0.548 และ 0.353 ซึ่งเกิดขึ้นกับ MOD16A2GF และ SSEBop ตามลำดับ และ NSE มีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 0.387 และ 0.152 ซึ่งเกิดขึ้นกับ ALEXI และ SSEBop ตามลำดับ ทั้งนี้ค่า NSE ที่ได้จาก MOD16A2GF มีค่าเท่ากับ 0.33

กรณีที่ 4 คือการเปรียบเทียบใน 98 กลุ่มน้ำย่อย โดยการวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกักที่คำนวณด้วยสมการสมมูลน้ำ ( $TWSC_{WB}$ ) เป็นการใช้อัตราการไหล (Q) จากสอบเทียบแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานี E.20A โดยใช้ PET จาก GLEAM V3.5a และใช้ค่า  $AET_{model}$  ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD โดยใช้อัตราการไหล PET ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกันดังแสดงการเปรียบเทียบค่า  $R^2$  และ NSE ในภาพที่ 24 นอกจากนั้นแล้ว



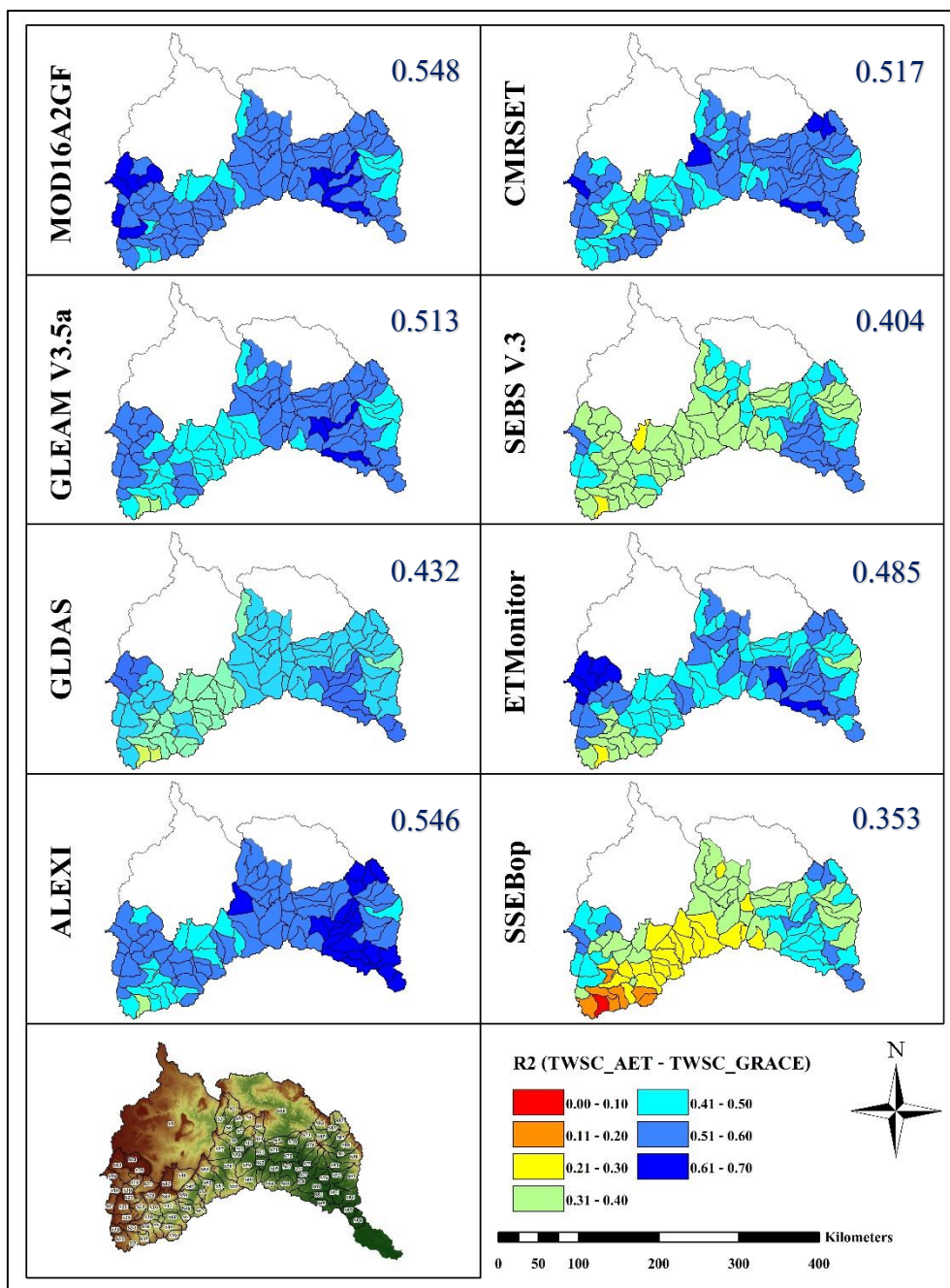
2967045753

ได้แสดงค่า  $R^2$  และ NSE ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง  $TWSC_{WB}$  กับ  $TWSC_{GRACE}$  โดยเฉลี่ยทั้ง 98 กลุ่มน้ำย่อย ดังในตารางที่ 29 โดยพบว่า  $R^2$  มีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 0.595 และ 0.543 ซึ่งเกิดขึ้นกับ  $AET_{model\_Penman}$  และ  $AET_{model\_MOD16A2GF}$  ตามลำดับ และ NSE มีค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 0.506 และ 0.367 ซึ่งเกิดขึ้นกับ  $AET_{model\_Penman}$  และ  $AET_{model\_MOD16A2GF}$  ตามลำดับ

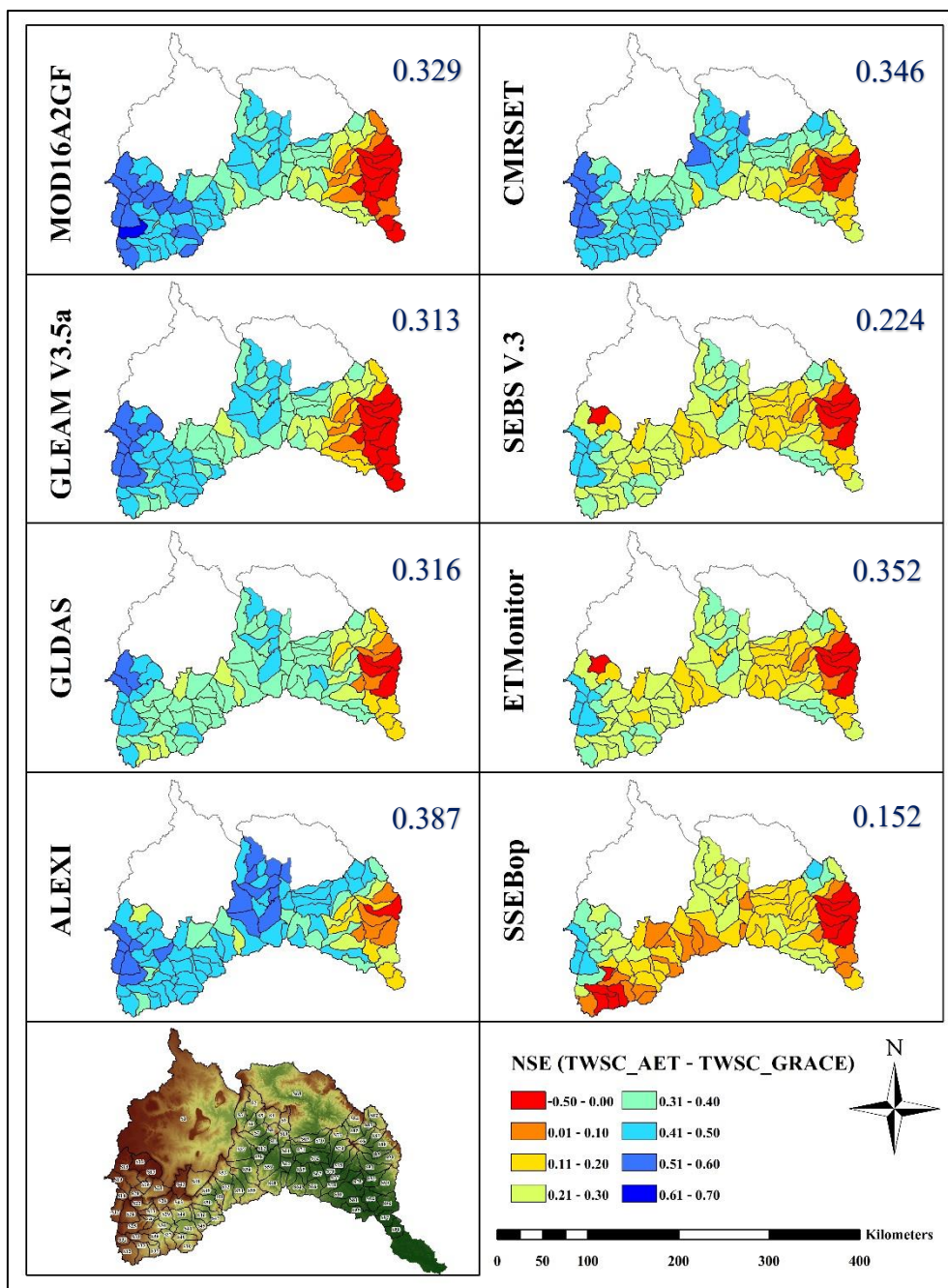
จากผลเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) ที่ได้จากการวิเคราะห์สมดุลน้ำกับที่ได้จากข้อมูล  $TWSC_{GRACE}$  ทั้ง 4 กรณี สามารถสรุปได้ว่า  $AET_{model\_Penman}$  ให้ผลการประเมินค่า  $\Delta S$  ได้ใกล้เคียงกับ  $TWSC_{GRACE}$  มากที่สุดโดยมากกว่าการใช้ค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จากทั้ง 8 ผลลัพธ์ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาใช้ค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จากทั้ง 8 ผลลัพธ์ ในการวิเคราะห์  $\Delta S$  แล้วนั้นพบว่า MOD16A2GF ให้ผลการประเมินค่า  $\Delta S$  ได้ใกล้เคียงกับ  $TWSC_{GRACE}$  มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์อื่น ๆ ในภาพรวม

ตารางที่ 29 ความสัมพันธ์  $TWSC_{WB}$  กับ  $TWSC_{GRACE}$  เฉลี่ย 98 กลุ่มน้ำย่อย ในลุ่มน้ำชี

	MOD16A2GF	GLEAM V3.5a	GLDAS	ALEXI	CMRSET	SEBSV3	ETMonitor	SSEBop	AET <sub>model</sub> GLEAM V3.5a	AET <sub>model</sub> MOD16A2GF	AET <sub>model</sub> Penman
<b>R<sup>2</sup></b>	0.548	0.513	0.432	0.546	0.517	0.404	0.485	0.353	0.543	0.595	0.595
<b>NSE</b>	0.329	0.313	0.316	0.387	0.346	0.224	0.352	0.152	0.430	0.367	0.506

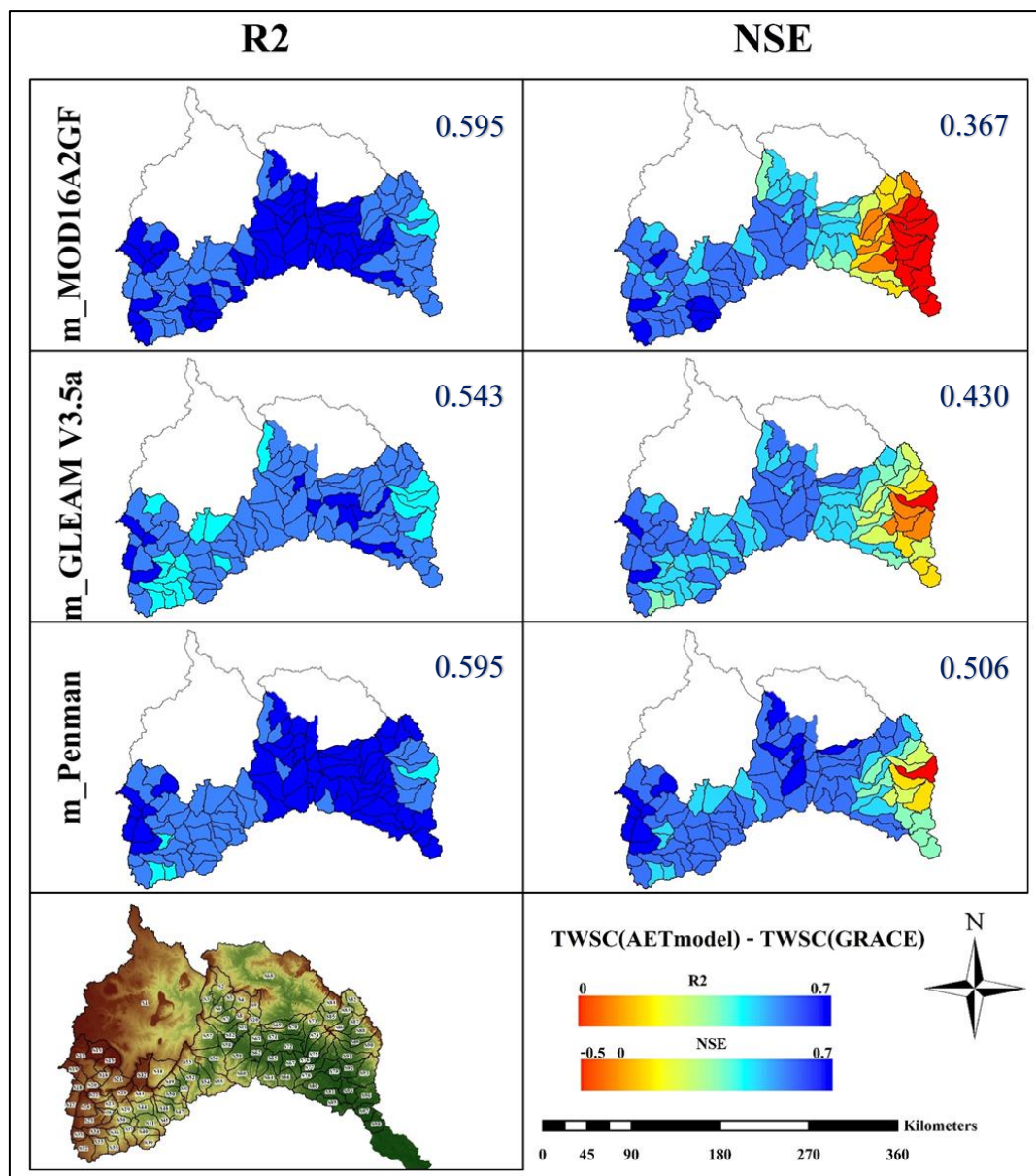


ภาพที่ 22 ค่า  $R^2$  ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำโดยใช้ข้อมูล  $AET_{RS}$  กับ  $TWS_{CGRACE}$  ของทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย



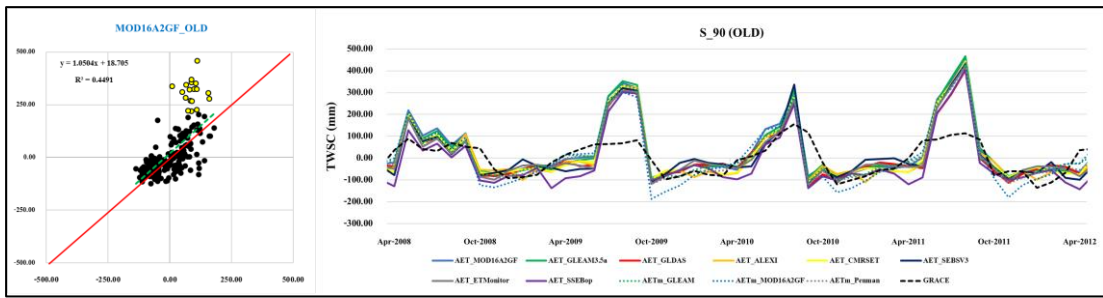
ภาพที่ 23 ค่า NSE ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำโดยใช้ข้อมูล  $AET_{RS}$  กับ  $TWSC_{GRACE}$  ของทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย



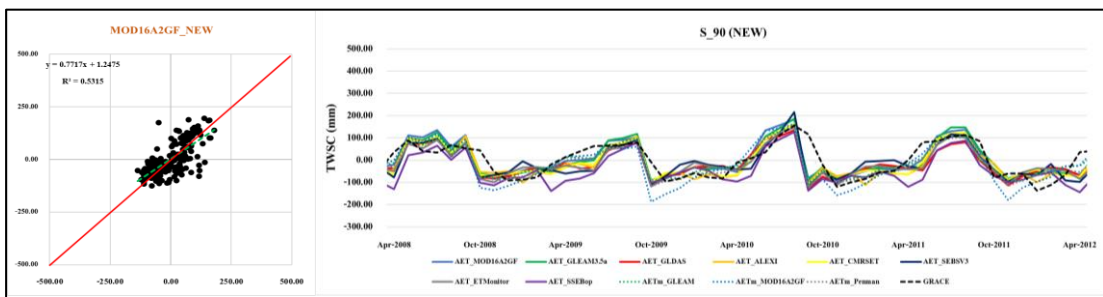


ภาพที่ 24 ค่า  $R^2$  และ NSE ที่ได้จากการสัมพันธ์ระหว่าง TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมมูลน้ำ โดยใช้ข้อมูล  $AET_{model}$  กับ  $TWSC_{GRACE}$  ของทั้ง 98 กลุ่มน้ำย่อย

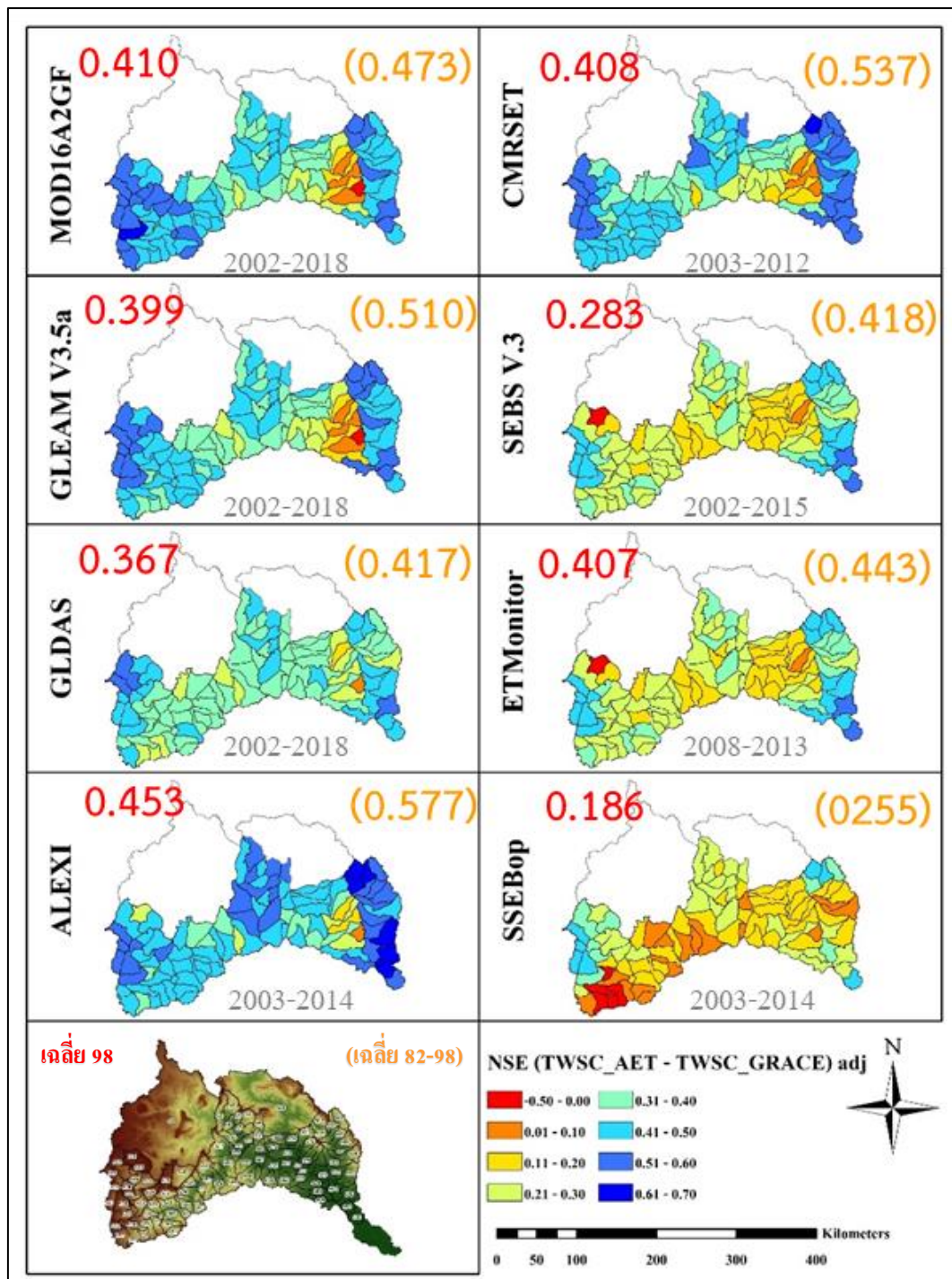
อย่างไรก็ตาม จากผลการศึกษาสำหรับกรณีที่ 3 และ 4 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ในระดับลุ่มน้ำย่อยทั้ง 98 ลุ่มน้ำย่อย นั้น พบข้อสังเกตที่น่าสนใจคือ ค่า NSE สำหรับลุ่มน้ำย่อยที่อยู่ด้านตะวันออกเฉียงเหนือของลุ่มน้ำชี (ลุ่มน้ำย่อยที่ 82-98) มีค่าค่อนข้างต่ำกว่าลุ่มน้ำย่อยในส่วนอื่น ๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากการใช้ค่า  $AET_{RS}$  จากทุกผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในการคำนวณสมมูลน้ำเพื่อให้ได้ค่า  $\Delta S$  ทั้งนี้ ได้แสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างค่า TWSC ที่ได้จากการคำนวณสมมูลน้ำกับ TWSC<sub>Grace</sub> สำหรับลุ่มน้ำย่อยที่ 90 โดยใช้  $AET_{RS}$  ทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ รวมทั้ง  $AET_{model}$  ดังแสดงในภาพที่ 25 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า TWSC มีค่าสูงกว่าค่า TWSC<sub>Grace</sub> ในปริมาณค่อนข้างมากจึงเป็นสาเหตุทำให้จุดเหล่านั้นมีค่าเบี่ยงเบนออกจากแนวเส้นตรงที่เป็นตัวแทนของข้อมูลโดยรวม อันเนื่องมาจากการใช้ค่าอัตราการไหลที่น้อยกว่าปกติซึ่งเป็นผลจากการสอบเทียบแบบจำลองที่สถานี E.20A ที่มีการใช้ค่าอัตราการไหลที่อาจน้อยกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริงซึ่งอาจเนื่องมาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับอัตราการไหล (Rating Curve) ที่สถานีวัดน้ำท่ามีความผิดพลาดเนื่องจากการไหลล้นตลิ่งแต่ Rating Curve ไม่มีข้อมูลในช่วงของการไหลล้นตลิ่ง จึงต้องทำการต่อกราฟ Rating Curve จากแนวโน้มการไหลในทางน้ำ จึงเป็นผลให้อัตราการไหลที่ประเมินได้จาก Rating Curve มีค่าต่ำกว่าค่าความเป็นจริง และส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังผลการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลองในลุ่มน้ำย่อยเหล่านั้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำการปรับค่าอัตราการไหลสูงสุดของเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ ที่ลุ่มน้ำย่อย 87-98 ตามแนวโน้มของอัตราการไหลที่ควรจะเป็นของสมการความสัมพันธ์ระหว่าง TWSC และ TWSC<sub>Grace</sub> จากผลการดำเนินการดังกล่าวทำให้ค่า TWSC มีความสอดคล้องกับค่า TWSC<sub>Grace</sub> มากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 26 จากนั้นได้นำแนวคิดดังกล่าวมาประยุกต์ใช้สำหรับทุกลุ่มน้ำย่อยระหว่าง 82-98 โดยผลการเปลี่ยนค่า NSE หลังปรับแก้ค่าอัตราการไหลสูงสุดของเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ ในลุ่มน้ำย่อย 82-98 สำหรับการวิเคราะห์สมมูลน้ำโดยใช้ข้อมูล  $AET_{RS}$  ทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ แสดงดังในภาพที่ 27 และสำหรับกรณีที่วิเคราะห์สมมูลน้ำโดยใช้ข้อมูล  $AET_{model}$  แสดงดังในภาพที่ 28 ทั้งนี้ ได้แสดงค่า  $R^2$  ระหว่าง TWSC<sub>WB</sub> กับ TWSC<sub>GRACE</sub> เฉลี่ยทั้งก่อนและหลังการปรับแก้อัตราการไหลสูงสุดของเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ ในลุ่มน้ำย่อย 82-98 ดังในตารางที่ 30 และแสดงค่า NSE ดังในตารางที่ 31 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า  $R^2$  มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ NSE มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ กล่าวคือ ค่า  $R^2$  โดยเฉลี่ยสำหรับการใช้  $AET_{RS}$  ทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ และการใช้  $AET_{model}$  ทั้ง 3 ประเภท มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.522 เป็น 0.568 และค่า NSE เพิ่มจาก 0.112 เป็น 0.458 ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า ความผิดพลาดของการต่อ Rating Curve ในช่วงของการไหลล้นตลิ่งเป็นผลให้ศักยภาพของการประเมิน AET โดยผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทคือลดลง ดังนั้น เมื่อมีการปรับแก้อัตราการไหลให้สมเหตุสมผลมากขึ้นจึงเป็นผลให้ AET ที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลทุกผลิตภัณฑ์มีความถูกต้องในภาพรวมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ



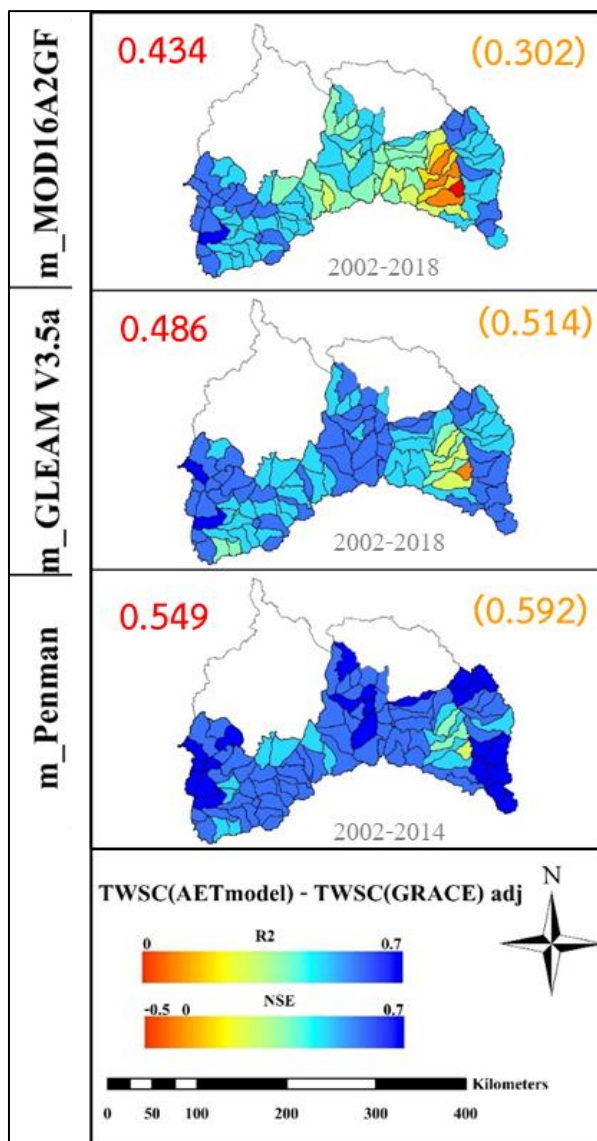
ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TWSC ที่ได้จากการคำนวณสมมูลน้ำกับ  $TWSC_{Grace}$  สำหรับลุ่มน้ำย่อยที่ 90 โดยใช้  $AET_{RS}$  ทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ รวมทั้ง  $AET_{model}$



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า TWSC ที่ได้จากการคำนวณสมมูลน้ำกับ  $TWSC_{Grace}$  สำหรับลุ่มน้ำย่อยที่ 90 โดยใช้  $AET_{RS}$  ทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ รวมทั้ง  $AET_{model}$  หลังการปรับแก้อัตราการไหลสูงสุดของเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ



ภาพที่ 27 ค่า NSE ที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่าง TWSC ที่ได้จากการวิเคราะห์สมดุลน้ำโดยใช้ข้อมูล  $AET_{RS}$  ทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ เปรียบเทียบกับ  $TWSC_{GRACE}$  ใน 98 ลุ่มน้ำย่อย หลังปรับแก้อัตราการไหลสูงสุดของเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ ในลุ่มน้ำย่อย 82-98



ภาพที่ 28 ค่า NSE ที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง TWSC ที่ได้จากการวิเคราะห์สมดุลน้ำโดยใช้ข้อมูล  $AET_{model}$  เปรียบเทียบกับ  $TWSC_{GRACE}$  ใน 98 กลุ่มน้ำย่อย หลังปรับแก้อัตราการไหลสูงสุดของเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ ในกลุ่มน้ำย่อย 82-98

ตารางที่ 30 ค่า  $R^2$  ระหว่าง  $TWSC_{WB}$  กับ  $TWSC_{GRACE}$  เฉลี่ยทั้งก่อนและหลังการปรับแก้อัตราการไหลสูงสุดของเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ ในลุ่มน้ำย่อย 82-98

$R^2$	MOD16A2GF	GLEAM V3.5a	GLDAS	ALEXI	CMRSET	SEBSV3	ETMonitor	SSEBop	AET <sub>model</sub> GLEAM V3.5a	AET <sub>model</sub> MOD16A2GF	AET <sub>model</sub> Penman	AVG
ก่อนปรับ	0.535	0.523	0.456	0.586	0.551	0.463	0.495	0.450	0.525	0.547	<b>0.607</b>	<b>0.522</b>
หลังปรับ	0.600	0.600	0.492	0.648	0.599	0.491	0.518	0.467	0.582	0.585	<b>0.662</b>	<b>0.568</b>

ตารางที่ 31 ค่า NSE ระหว่าง  $TWSC_{WB}$  กับ  $TWSC_{GRACE}$  เฉลี่ย ทั้งก่อนและหลังการปรับแก้อัตราการไหลสูงสุดของเหตุการณ์น้ำท่วมต่าง ๆ ในลุ่มน้ำย่อย 82-98

NSE	MOD16A2GF	GLEAM V3.5a	GLDAS	ALEXI	CMRSET	SEBS V3	ETMonitor	SSEBop	AET <sub>model</sub> GLEAM V3.5a	AET <sub>model</sub> MOD16A2GF	AET <sub>model</sub> Penman	AVG
ก่อนปรับ	0.022	0.025	0.118	0.192	0.178	0.078	0.122	0.068	0.182	-0.071	<b>0.322</b>	<b>0.112</b>
หลังปรับ	0.473	0.510	0.417	0.577	0.537	0.418	0.443	0.255	0.514	0.302	<b>0.592</b>	<b>0.458</b>

## 6. ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินกับการเปลี่ยนแปลงค่า $AET_{RS}$ ที่ได้จาก 8 ผลลัพธ์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินกับการเปลี่ยนแปลงค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จาก 8 ผลลัพธ์ ดำเนินการโดยนำค่า  $AET_{RS}$  ของแต่ละผลลัพธ์ในปี ค.ศ. 2010 มาศึกษาการกระจายค่าตามประเภทการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินที่ทำการเก็บข้อมูลไว้ในปี ค.ศ. 2010-2013 ทั้งนี้ การกระจายตัวของค่า  $AET_{RS}$  รายปีของทั้ง 8 ผลลัพธ์ ในปี ค.ศ. 2010 ของลุ่มน้ำชีแสดงดังในภาพที่ 29 ซึ่งในภาพดังกล่าวได้แสดงเจดสีจำนวน 10 เจดสี ที่แบ่งตามการเปลี่ยนแปลงค่า  $AET_{RS}$  ในแต่ละ pixel ของแต่ละผลลัพธ์ โดยแต่ละเจดสีแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า  $AET_{RS}$  ในแต่ละช่วง ซึ่งจากภาพดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ MOD16A2GF, ETMonitor และ SSEBop มีขนาด pixel เล็ก ๆ เท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.0 กิโลเมตร จะแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงค่า  $AET_{RS}$  ที่ชัดเจนมากที่สุด รองลงมาคือผลลัพธ์ ALEXI, CMRSET และ SEBS V3 ซึ่งมีขนาด pixel ขนาดกลางคือเท่ากับ 5 กิโลเมตร จึงแสดงความชัดเจนของการเปลี่ยนแปลงค่า  $AET_{RS}$  ในระดับกลาง ในขณะที่ผลลัพธ์ GLEAM V3.5a และ GLDAS ซึ่งมีขนาด pixel ใหญ่คือเท่ากับ 25 กิโลเมตร จึงแยกความแตกต่างของค่า  $AET_{RS}$  ได้ไม่ชัดเจนที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการใช้ที่ดินเป็นพื้นที่เล็กกว่าขนาดของ pixel อาทิเช่น พื้นที่เกษตรกรรมในเขตชลประทาน

นอกจากนั้นแล้วได้แสดงค่า  $AET_{RS}$  รายปีของทั้ง 8 ผลลัพธ์ ในปี ค.ศ. 2010 ตามประเภทการใช้ที่ดิน 10 กลุ่ม ดังในตารางที่ 32 จากตารางดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ทุกผลลัพธ์ให้ค่า  $AET_{RS}$  รายปีสูงสุดสำหรับป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen Forest) โดยมีค่าเฉลี่ยสำหรับทุกผลลัพธ์ เท่ากับ 1,242.56 มิลลิเมตร โดย SEBS V3 และ GLDAS ให้ค่าสูงสุดและต่ำสุด ตามลำดับ โดยมีค่าเท่ากับ 1,536.32 และ 960.65 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับการให้ค่า  $AET_{RS}$  รายปีที่มีค่าสูงรองลงมาคือ ป่าผลัดใบ (Deciduous Forest) และป่าปลูก (Plant Forest) โดยมีค่าเท่ากับ 1,066.88 และ 1,055.45 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่การใช้ที่ดินอีก 7 ประเภท มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 922.89 ถึง 984.00 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยเกิดขึ้นสำหรับข้าวนอกเขตชลประทาน (Rice[RF]) และพื้นที่น้ำ (Water) ตามลำดับ จากการพิจารณาตารางดังกล่าวพบว่า การกระจายตัวของค่า  $AET_{RS}$  รายปีที่มีค่าพิสัยจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ SEBS V3, MOD16A2GF, ALEXI, CMRSET, GLEAM V3.5a, SSEBop, ETMonitor และ GLDAS ซึ่งมีค่าเท่ากับ 675.32, 575.24, 425.02, 368.75, 242.09, 196.88, 118.44 และ 56.78 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่า



เบี่ยงเบนมาตรฐานจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด คือ MOD16A2GF, SEBS V3, ALEXI, CMRSET, GLEAM V3.5a, SSEBop, ETMonitor และ GLDAS ซึ่งมีค่าเท่ากับ 198.97, 195.39, 126.75, 119.3, 70.68, 57.88, 39.82 และ 16.25 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ต่อจากนั้นได้นำข้อมูลการใช้ที่ดินของกลุ่มน้ำชีจำนวน 10 กลุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 29 มาใช้แยกค่าของ  $AET_{RS}$  ตามประเภทกลุ่มการใช้ที่ดิน 10 กลุ่ม เพื่อนำไปแสดงการกระจายค่าโดยใช้ Boxplot สำหรับทั้ง 8 ผลลัพธ์ที่แยกตามการใช้ที่ดิน 10 กลุ่ม ในภาพที่ 30

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างประเภทการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินกับการเปลี่ยนแปลงค่า  $AET_{RS}$  ที่ได้จาก 8 ผลลัพธ์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

(1) GLDAS มีความสามารถน้อยที่สุดในการแยกความแตกต่างของค่า AET ตามประเภทการใช้ที่ดิน

(2) GLEAM V3.5a และ GLDAS ซึ่งมีขนาด pixel ใหญ่คือ 25 กิโลเมตร จึงไม่สามารถแยกการใช้ที่ดินที่มีพื้นที่เล็กกว่าขนาดของ pixel ดังนั้น จึงไม่สามารถแยกความแตกต่างของค่า AET สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมในเขตชลประทาน ในขณะที่ ALEXI, CMRSET และ SEBS V3 ซึ่งมีขนาด pixel ที่เล็กกว่าขนาด pixel ของ GLEAM V3.5a และ GLDAS คือเท่ากับ 5 กิโลเมตร แต่ก็ยังไม่สามารถแยกความแตกต่างของค่า AET สำหรับพื้นที่เกษตรกรรมในเขตชลประทานได้อย่างชัดเจนเช่นกัน ในขณะที่ MOD16A2GF และ SSEBop ซึ่งมีขนาด pixel เล็กคือเท่ากับ 0.5 และ 1.0 กิโลเมตร ตามลำดับ มีความสามารถดังกล่าว นอกจากนั้นแล้ว SEBS V3 มีข้อมูลที่ขาดหายไปพอสมควรทำให้ขาดความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ (ภาพที่ 29)

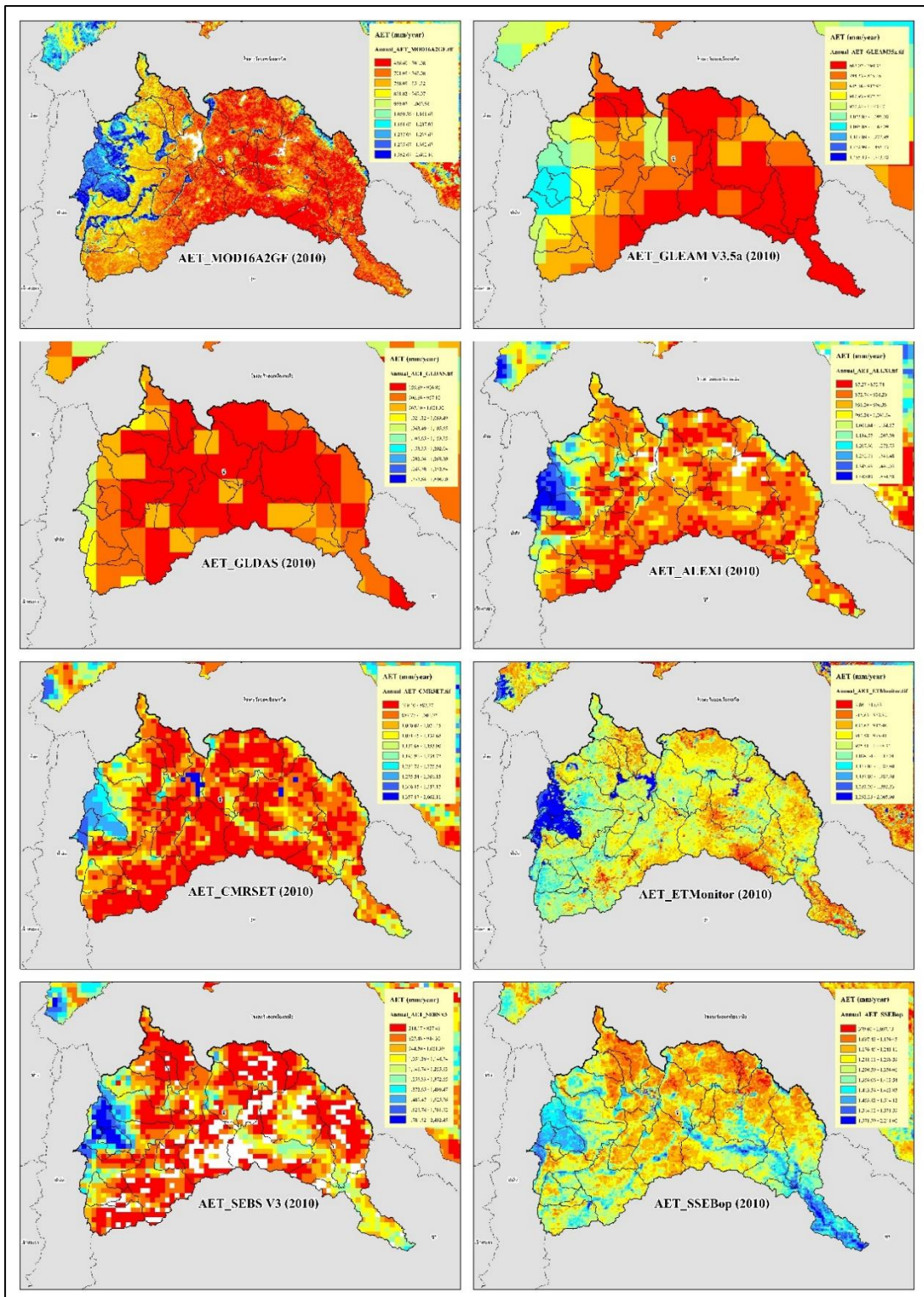
(3) ETMonitor ซึ่งมีขนาด pixel เท่ากับ 1.0 กิโลเมตร ซึ่งจัดว่ามีความละเอียด แต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างป่าไม่ผลัดใบ (Evergreen Forest) ออกจากป่าผลัดใบ (Deciduous Forest) และป่าปลูก (Plant Forest) ได้อย่างชัดเจน นอกจากนั้นแล้วค่า Median ของค่า AET ในแต่ละประเภทการใช้ที่ดินมีความใกล้เคียงกันมากดังแสดงในภาพที่ 31

(4) SSEBop มีขนาด pixel ที่เล็กจึงสามารถแยกให้เห็นความแตกต่างของค่า AET สำหรับการการใช้ที่ดินประเภทต่าง ๆ ได้รวมทั้งพื้นที่เกษตรกรรมในเขตชลประทาน อย่างไรก็ตาม เมื่อมา

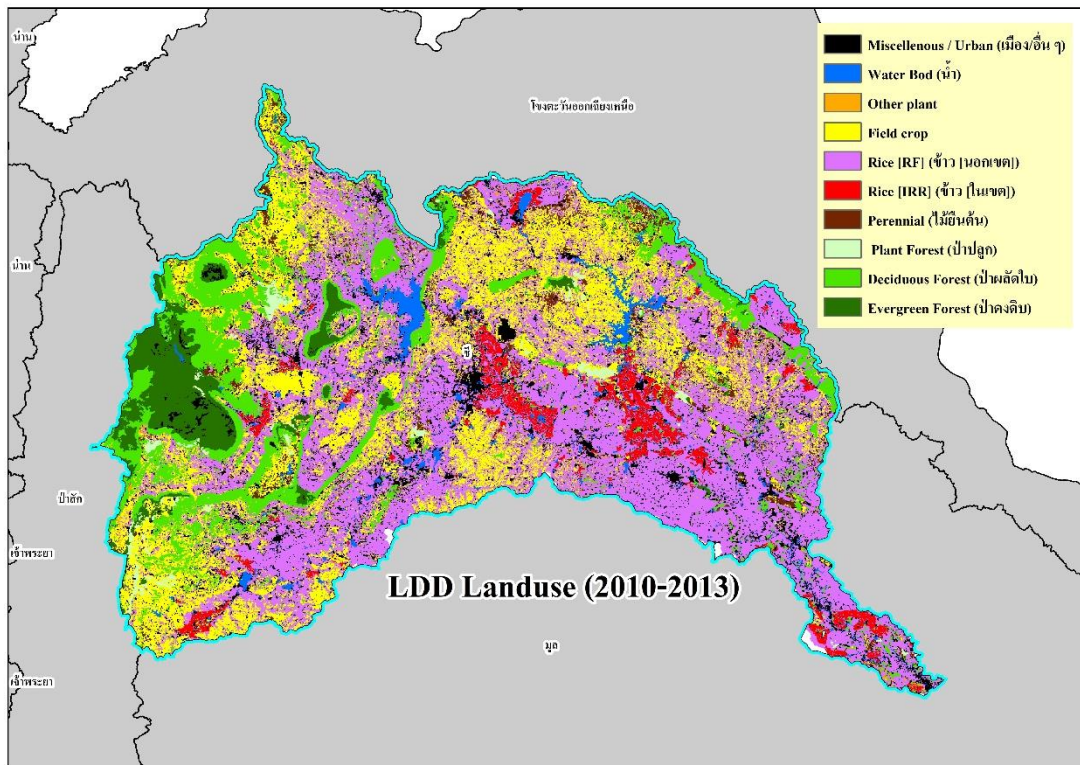


พิจารณาในรายละเอียดพบว่า ค่า AET ที่ได้จาก SSEBop สำหรับการใช้ที่ดินประเภทต่าง ๆ มีความแตกต่างกันค่อนข้างน้อยรวมทั้งป่าไม้ผลัดใบ ทำให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยรวมของ AET มีค่าค่อนข้างต่ำ คือ 57.88 มิลลิเมตร และในภาพที่ 31 แสดงให้เห็นว่าค่า AET ในพื้นที่ป่าและพื้นที่เกษตรกรรมมีความใกล้เคียงกันมาก รวมทั้งค่า AET ที่ได้จาก SSEBop มีค่าที่สูงกว่าทุกผลิตภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญซึ่งนับว่าไม่สมเหตุสมผล

(5) MOD16A2GF มีขนาด pixel ที่เล็กที่สุดคือ 0.5 กิโลเมตร จึงให้ค่า AET ที่มีเปลี่ยนแปลงไปตามประเภทการใช้ที่ดินที่สมเหตุสมผลมากที่สุด โดยมีค่าสูงสุดในป่าไม้ผลัดใบ รองลงมาคือป่าผลัดใบป่าปลูก และไม้ยืนต้น และเมื่อพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานพบว่า MOD16A2GF ให้ค่าที่สูงที่สุดคือ 198.97 มิลลิเมตร ทั้งนี้ค่าแตกต่างในการใช้ที่ดินอีก 6 ประเภท ที่เหลือก็มีความสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่น



ภาพที่ 29 การกระจายตัวของค่า AET<sub>RS</sub> รายปีของทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ ในปี ค.ศ. 2010 ในลุ่มน้ำชี

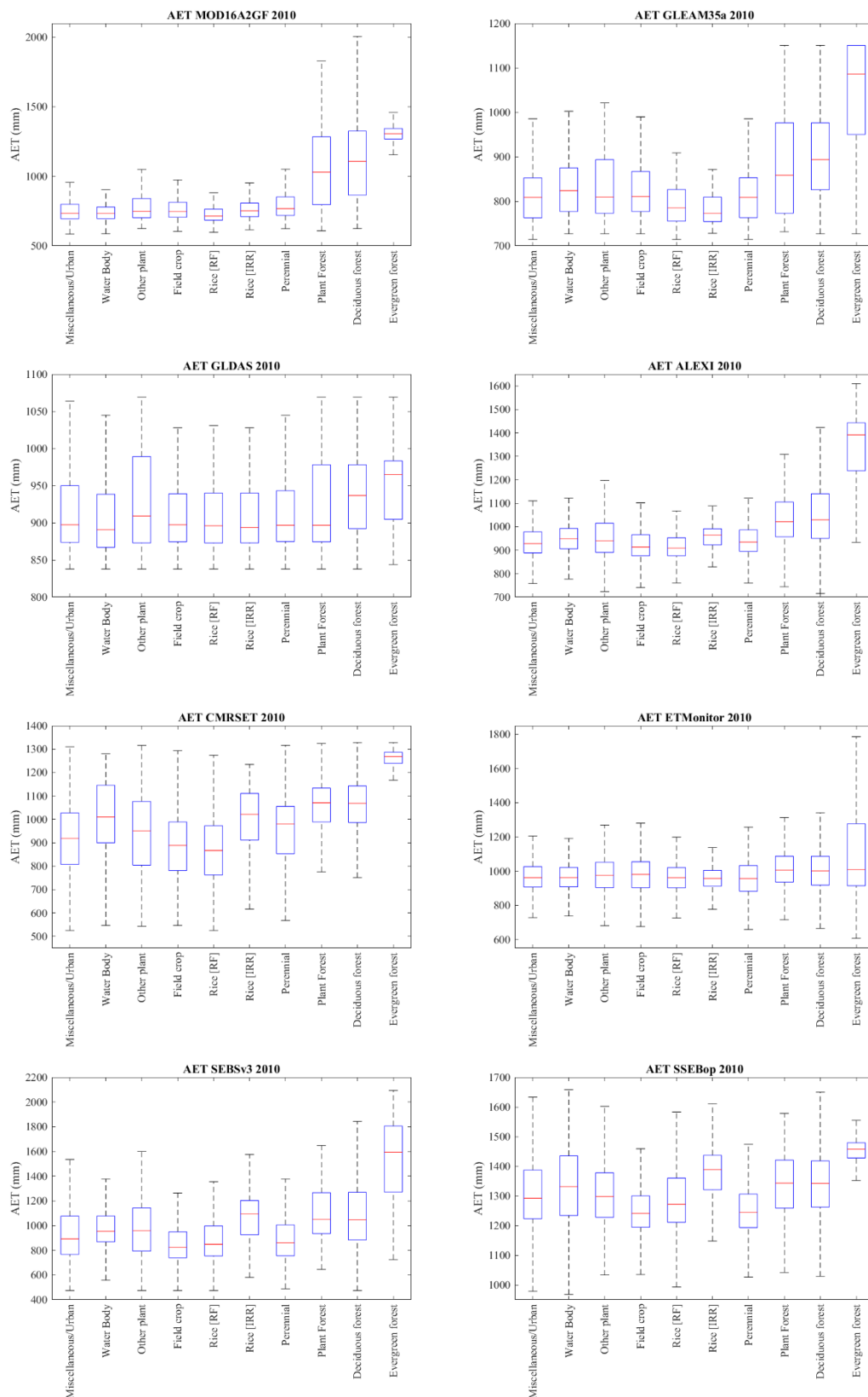


ภาพที่ 30 แผนที่แสดงการใช้ที่ดินในกลุ่มน้ำชีที่จัดรวมเป็น 10 กลุ่ม

ตารางที่ 32 ค่า AET<sub>RS</sub> เฉลี่ยในปี ค.ศ. 2010 ของทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ ตามประเภทการใช้ที่ดิน 10 กลุ่ม

หน่วย : มิลลิเมตร

AET <sub>RS</sub>	Miscellaneous + Urban (เมืองอื่น ๆ)	Water (น้ำ)	Other plant (พืชอื่น ๆ)	Field crop (พืชไร่)	Rice [RF] (ข้าว [นอกเขต])	Rice [IRR] (ข้าว [ในเขต])	Perennial (ไม้ยืนต้น)	Plant Forest (ป่าปลูก)	Deciduous Forest (ป่าผลัดใบ)	Evergreen Forest (ป่าดงดิบ)	S.D.
<b>MOD16A2GF</b>	771.28	747.10	792.94	774.60	731.12	761.22	806.53	1,062.60	1,107.40	1,306.36	<b>198.97</b>
<b>GLEAM V3.5a</b>	822.03	843.96	845.38	837.13	804.31	792.21	821.50	887.31	907.19	1,034.30	<b>70.68</b>
<b>GLDAS</b>	916.18	903.87	928.00	915.77	910.06	912.01	917.61	929.50	933.46	960.65	<b>16.25</b>
<b>ALEXI</b>	944.21	952.41	958.82	925.92	913.90	953.85	946.21	1,032.67	1,061.19	1,338.92	<b>126.75</b>
<b>CMRSET</b>	921.09	1,146.60	934.18	885.92	874.86	995.42	950.60	1,047.28	1,060.75	1,243.61	<b>119.30</b>
<b>ETMonitor</b>	976.21	968.84	1,002.99	999.86	972.78	955.14	981.38	1,054.43	1,035.98	1,073.58	<b>39.82</b>
<b>SEBS V3</b>	941.83	976.37	991.64	861.00	886.48	1,058.95	896.61	1,089.75	1,092.07	1,536.32	<b>195.39</b>
<b>SSEBop</b>	1,307.98	1,332.88	1,308.06	1,249.85	1,289.62	1,374.60	1,254.48	1,340.04	1,336.98	1,446.73	<b>57.88</b>
<b>AVG</b>	<b>950.10</b>	<b>984.00</b>	<b>970.25</b>	<b>931.26</b>	<b>922.89</b>	<b>975.43</b>	<b>946.86</b>	<b>1,055.45</b>	<b>1,066.88</b>	<b>1,242.56</b>	



ภาพที่ 31 Boxplot ค่า AET<sub>RS</sub> รายปีในปี ค.ศ.2010 ของทั้ง 8 ผลดักันท์ ที่แยกตามการใช้ที่ดิน 10 กลุ่ม

## สรุปผลการศึกษา

เทคนิคการรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing Technique) ได้ถูกนำมาประยุกต์อย่างแพร่หลายเพื่อประกอบการประเมินองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบอุทกวิทยา รวมทั้งการประเมินการคายระเหยซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญมาก อย่างไรก็ตาม ข้อมูลการคายระเหยที่ได้จากเทคนิคการรับรู้จากระยะไกลมีอยู่มากมายหลายผลิตภัณฑ์จึงต้องนำมาตรวจสอบความถูกต้องก่อนจะนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาเรื่อง “การเปรียบเทียบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์การคายระเหยที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกลด้วยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD และสมมูลน้ำสำหรับลุ่มน้ำชี” โดยผลการศึกษาที่ได้รับสรุปได้ดังต่อไปนี้

การศึกษานี้เริ่มต้นด้วยการเปรียบเทียบความสอดคล้องกันของข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชอ้างอิง (PET) ที่คำนวณด้วยวิธี Penman-Monteith และที่ได้จากผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a โดยผลการศึกษาพบว่า ข้อมูล PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith มีแนวโน้มที่สอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ GLEAM V3.5a มากกว่า MOD16A2GF ซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง

ต่อจากนั้นจึงนำค่า PET ที่ได้จากวิธี Penman-Monteith มาใช้ประกอบการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ที่สถานีวัดน้ำท่า E.20A โดยกระบวนการ Sliding Windows Cross Validation ทั้งในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง โดยพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์น้ำท่าของข้อมูลในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีอิทธิพลอย่างมากต่อความถูกต้องของผลการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ดังนั้น ในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองจึงควรเลือกข้อมูลน้ำท่าในช่วงการสอบเทียบให้ครอบคลุมทั้งปีน้ำน้อย น้ำปานกลาง และน้ำมาก เพื่อให้ได้ชุดพารามิเตอร์ที่เป็นตัวแทนที่ดีและสามารถนำไปใช้เพื่อการประเมินน้ำท่าให้มีความถูกต้องได้มากขึ้น

เมื่อพบว่า PET ที่ได้จาก Penman-Monteith สามารถนำมาใช้เพื่อการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลองได้แล้วจึงนำผลิตภัณฑ์ MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a มาประกอบการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลองเช่นกัน โดยพบว่า ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith ให้ผลการประเมินน้ำท่าที่ถูกต้องมากกว่าการใช้ GLEAM V3.5a และ MOD16A2GF ไม่มากนักทำให้สามารถนำผลิตภัณฑ์ทั้งสองไปประกอบการประเมินน้ำท่าโดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ได้อย่างมี

ประสิทธิภาพเพราะการได้มาซึ่งข้อมูลสามารถกระทำได้โดยง่ายมากเมื่อเปรียบเทียบกับการประเมิน โดยวิธี Penman-Monteith

ต่อจากนั้น ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลการคายระเหยที่แท้จริง (AET) ที่ได้จากทั้ง 8 ผลิตภัณฑ์ ซึ่งพบว่า ETMonitor มีความสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยเฉลี่ยมากที่สุดคือ มีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.66 รองลงมาคือ GLEAM V3.5a ซึ่งให้ค่า  $R^2$  เฉลี่ยเท่ากับ 0.63 และเมื่อพิจารณาค่า NSE พบว่า CMRSET มีความสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ โดยเฉลี่ยมากที่สุดคือ มีค่า NSE เท่ากับ 0.48 รองลงมาคือ SEBS V3 มีค่า NSE เฉลี่ยเท่ากับ 0.46 อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์ที่ดีมิได้หมายถึงความถูกต้องของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลิตภัณฑ์ AET<sub>RS</sub> โดยนำไปแทนค่าในสมการสมดุลน้ำร่วมกับข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากผลการประเมิน โดยแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD ทั้ง 98 กลุ่มย่อย รวมทั้งที่สถานีวัดน้ำท่า 10 สถานี ซึ่งจะได้ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเก็บกัก ( $\Delta S$ ) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูล TWSC<sub>GRACE</sub> ผลการศึกษาพบว่า MOD16A2GF ให้ผลการประเมินค่า  $\Delta S$  ได้ใกล้เคียงกับ TWSC<sub>GRACE</sub> มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ในภาพรวม นอกจากนั้นแล้วในการศึกษาพบว่า ข้อมูลน้ำท่าที่เกิดจากการไหลล้นตลิ่งได้สร้างความผิดพลาดให้ผลการประเมินค่า  $\Delta S$  และเมื่อทำการปรับแก้พบว่าผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ สามารถประเมิน  $\Delta S$  ได้ถูกต้องมากขึ้น ดังนั้น หน่วยงานควรทบทวนการใช้งาน Rating Curve ในกรณีเกิดการไหลล้นตลิ่งซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการเพิ่มความถูกต้องให้งานด้านการบริหารจัดการน้ำของประเทศ

ในส่วนสุดท้ายของการศึกษาเป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่า AET กับการใช้ที่ดินแต่ละประเภทของกรมพัฒนาที่ดิน ผลการศึกษาพบว่า MOD16A2GF ให้ผลการประเมินค่า AET ที่สอดคล้องกับประเภทการใช้ที่ดินมากที่สุด เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ในระดับ 500 เมตร ที่ละเอียดกว่าผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่ทำการศึกษา จึงสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า AET สำหรับพื้นที่ที่มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 500 เมตร ได้เป็นอย่างดี โดยสามารถแยกให้เห็นความแตกต่างของป่าไม้ผลัดใบ ป่าผลัดใบ ป่าปลูก และไม้ผล ไม้ยืนต้น ได้เป็นอย่างดี รวมทั้งแสดงให้เห็นว่าค่า AET ในพื้นที่เกษตรกรรมในเขตชลประทานมีค่าที่สูงกว่าค่า AET ในเขตเกษตรกรรมนอกเขตชลประทาน นอกจากนั้นแล้ว ผลการศึกษาในส่วนต้นได้แสดงให้เห็นว่าผลการประเมิน AET โดย MOD16A2GF มีความเหนือกว่าผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ในภาพรวม ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า MOD16A2GF เป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ประกอบการประเมินค่าการคายระเหยได้เป็นอย่างดีซึ่งจะมีส่วนช่วยอย่างมากต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศในภาพรวมต่อไป

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *Fao, Rome*, 300(9), D05109.
- De Silva, R. P., Dayawansa, N. D. K., & Ratnasiri, M. D. (2007). A comparison of methods used in estimating missing rainfall data. *Journal of Agricultural Sciences – Sri Lanka*, 3(2), 101–108.
- Gao, H., Hrachowitz, M., Fenicia, F., Gharari, S., & Savenije, H. H. G. (2014). Testing the realism of a topography-driven model (FLEX-Topo) in the nested catchments of the Upper Heihe, China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(5), 1895-1915.
- Hamada, A., Arakawa, O., & Yatagai, A. (2011). An automated quality control method for daily rain-gauge data. *Global Environ. Res*, 15(2), 183-192.
- Mukul, M., Srivastava, V., & Mukul, M. (2015a). Analysis of the accuracy of Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) height models using International Global Navigation Satellite System Service (IGS) Network. In *Journal of Earth System Science* (Vol. 124, pp. 1343-1357).
- Mukul, M., Srivastava, V., & Mukul, M. (2015b). Analysis of the accuracy of shuttle radar topography mission (SRTM) height models using international global navigation satellite system service (IGS) network. *Journal of Earth System Science*, 124(6), 1343-1357.
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), 282-290.
- Onnabi Milani, A., & Neyshabouri, M. (2018). Comparison of Some Empirical Estimating Methods of Reference Evapotranspiration in Tabriz Plain Using Lysimeter and Proposing a Model for its Determination from Climatic Data. *Water and Soil Science*, 28(1), 41-54.
- Priestley, C. H. B., & Taylor, R. J. (1972). On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly weather review*, 100(2), 81-92.
- Rennó, C. D., Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hodnett, M. G., & Tomasella, J. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, 112(9), 3469-3481.



- Swenson, S., & Wahr, J. (2006). Post-processing removal of correlated errors in GRACE data. *Geophysical Research Letters*, 33(8).
- Vrugt, J. A., Gupta, H. V., Bastidas, L. A., Bouten, W., & Sorooshian, S. (2003). Effective and efficient algorithm for multiobjective optimization of hydrologic models. *Water resources research*, 39(8).
- Wahr, J., Swenson, S., Zlotnicki, V., & Velicogna, I. (2004). Time-variable gravity from GRACE: First results. *Geophysical Research Letters*, 31(11).

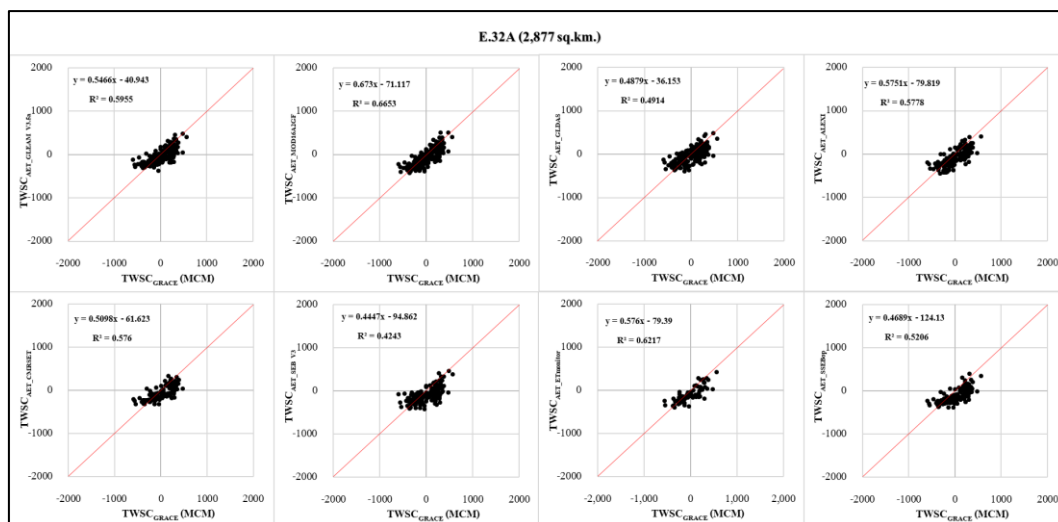


## ภาคผนวก

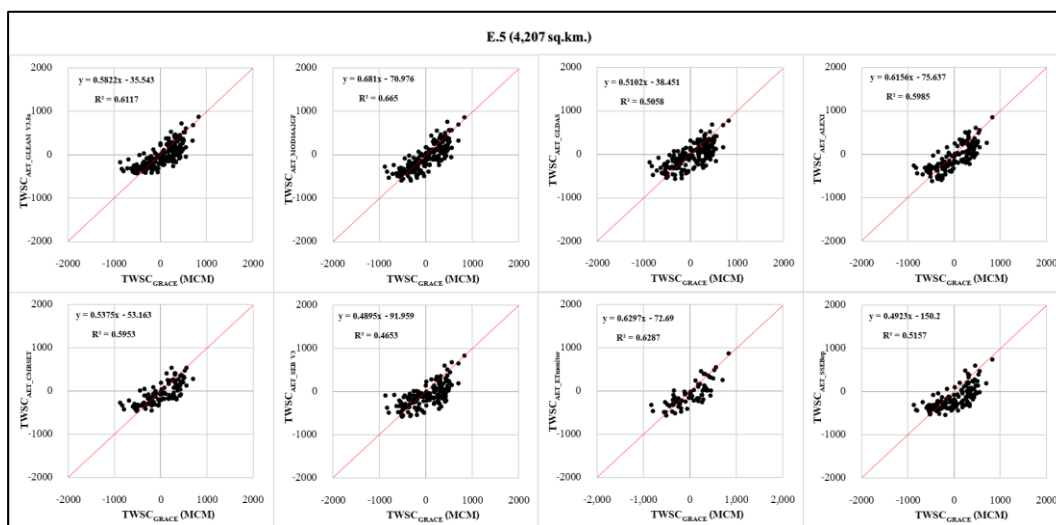


2967045753

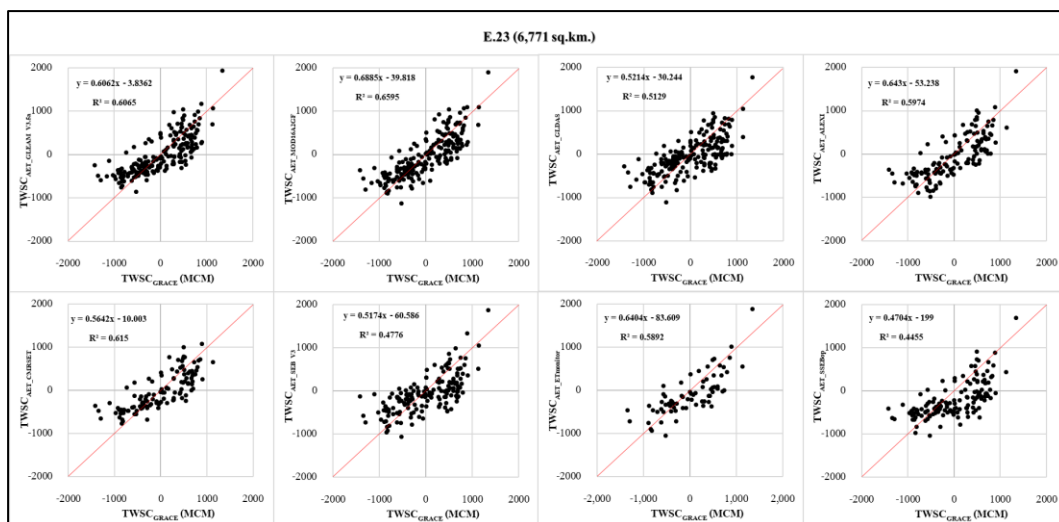
KU ThesIs 6314500753 thesis / rcv: 07112565 14:31:54 / seq: 62



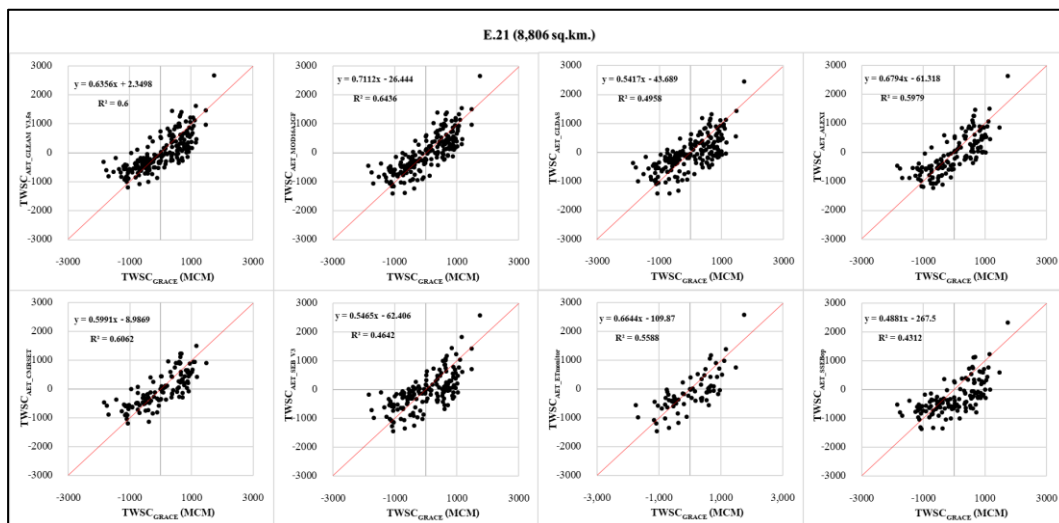
ภาพผนวกที่ 1 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>RS</sub> กับ TWSC ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.32A



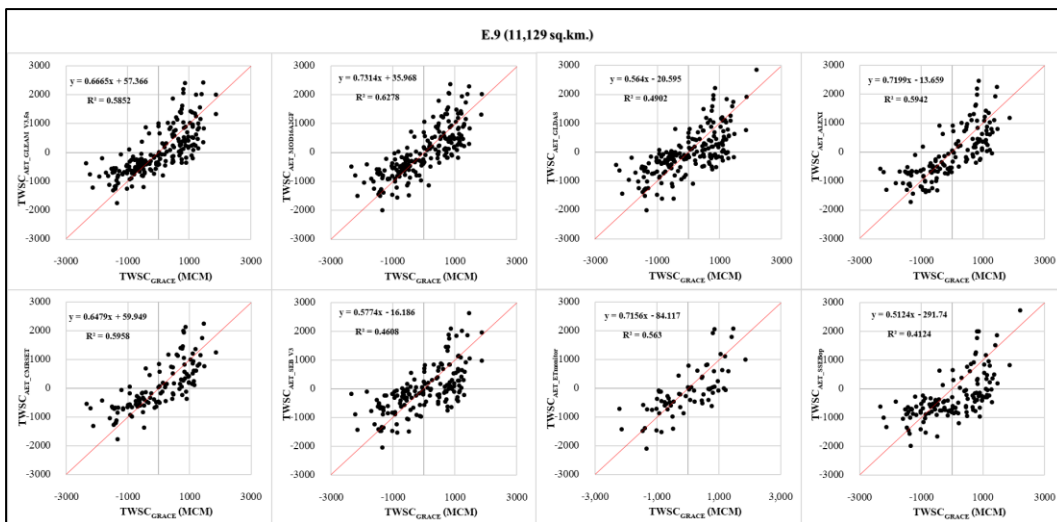
ภาพผนวกที่ 2 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>RS</sub> กับ TWSC ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.5



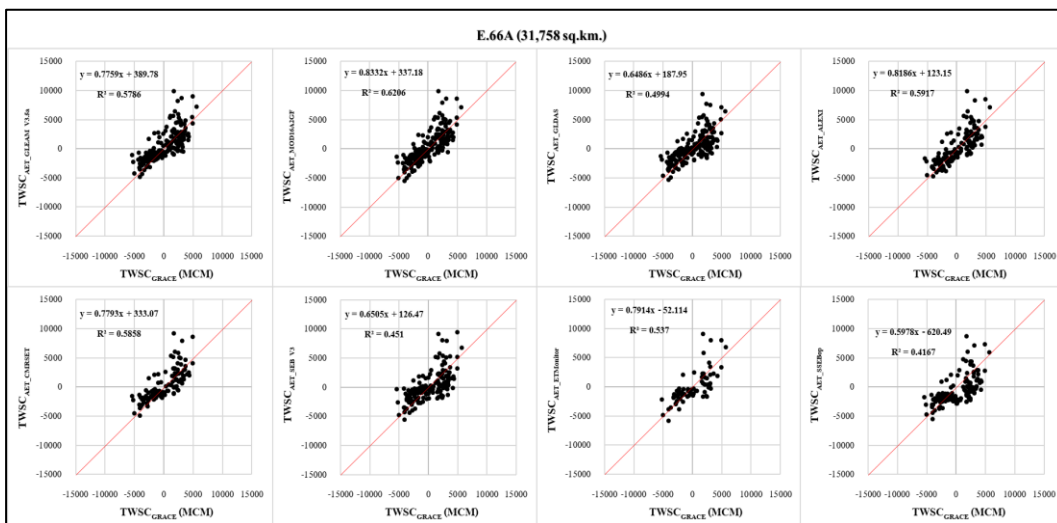
ภาพผนวกที่ 3 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>RS</sub> กับ TWSC ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.23



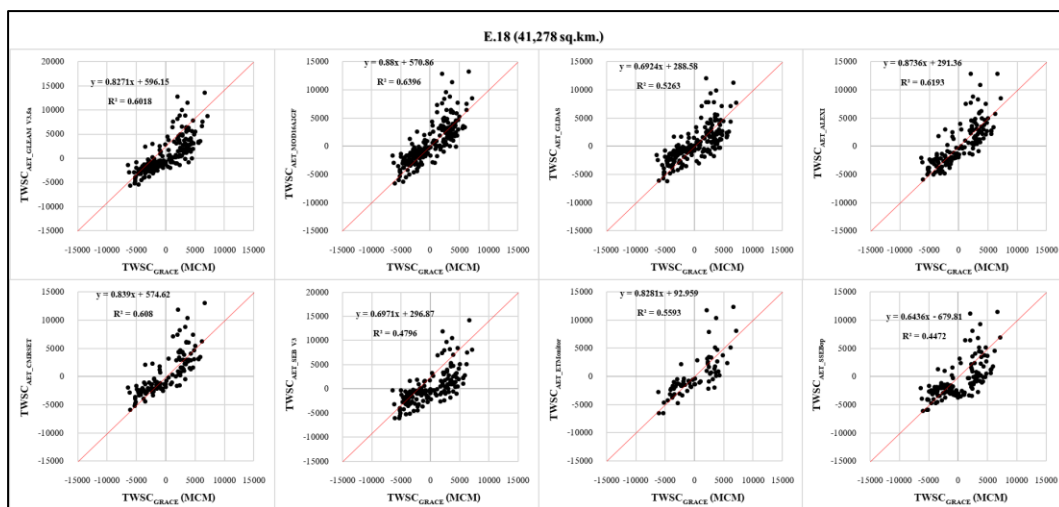
ภาพผนวกที่ 4 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>RS</sub> กับ TWSC ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.21



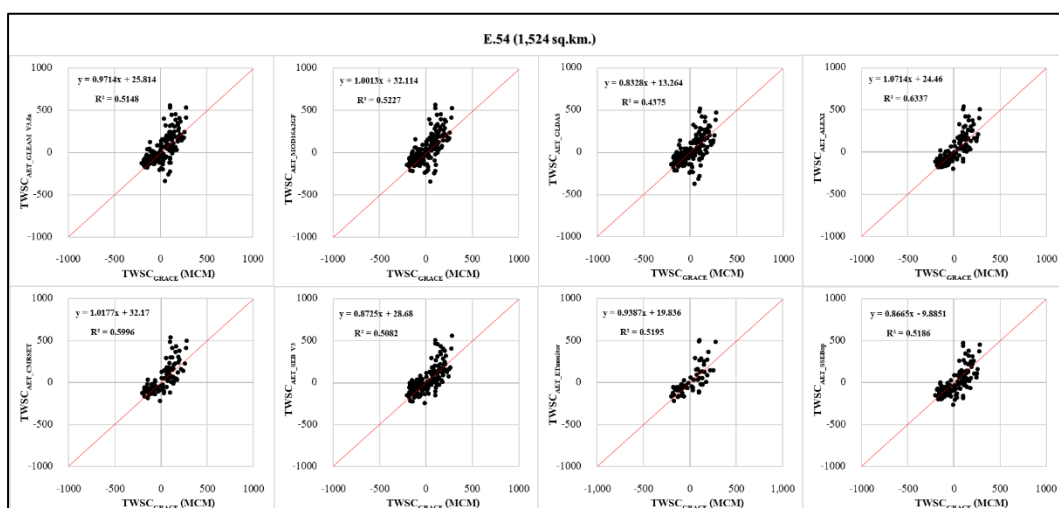
ภาพผนวกที่ 5 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>RS</sub> กับ TWSC ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.9



ภาพผนวกที่ 6 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>RS</sub> กับ TWSC ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.66A



ภาพผนวกที่ 7 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย  $AET_{RS}$  กับ TWSC ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.18

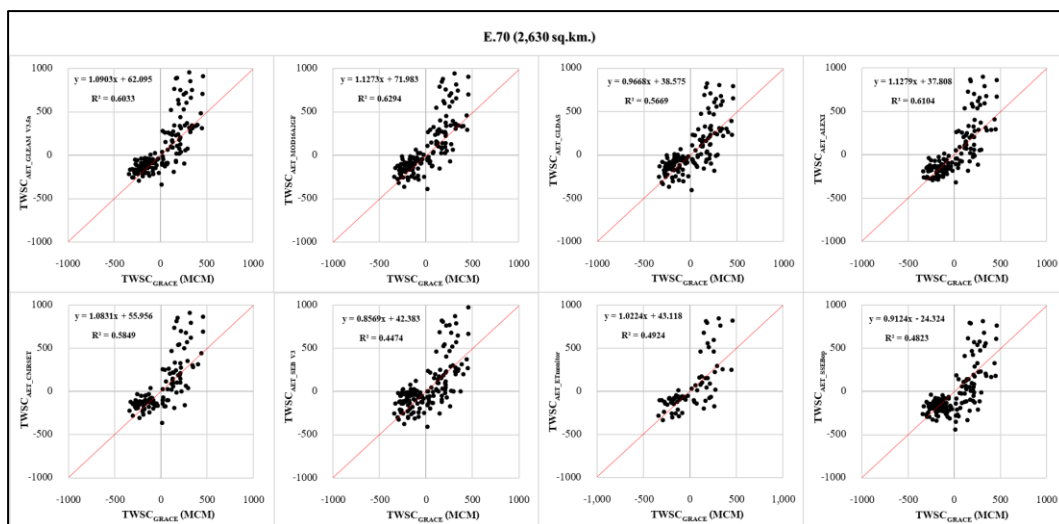


ภาพผนวกที่ 8 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย  $AET_{RS}$  กับ TWSC ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.54

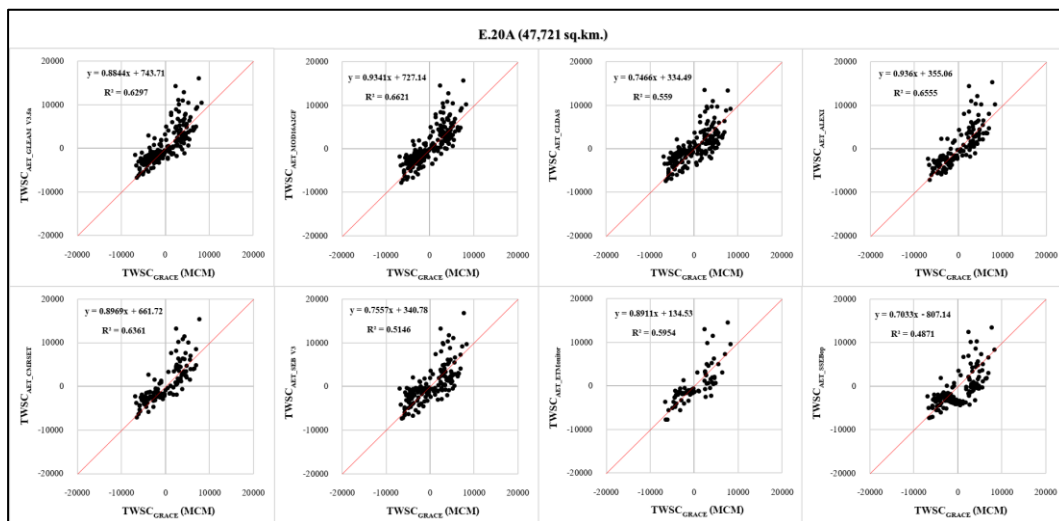
2967045753



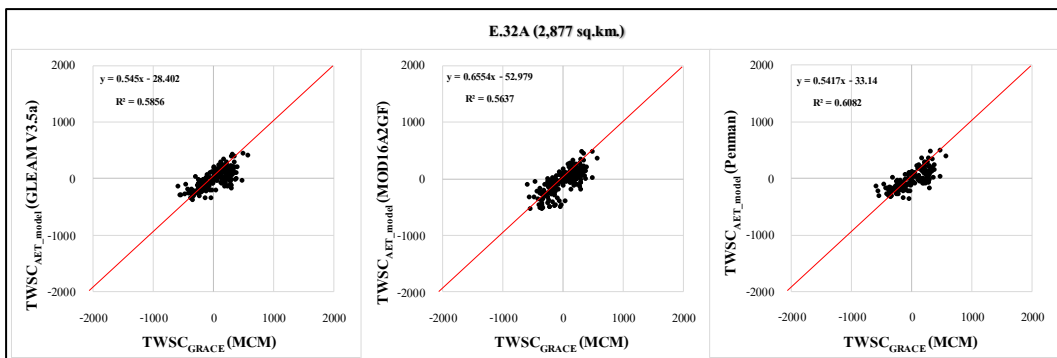
KU\_Thesis 63114500753 thesis / rev: 07112565 14:31:54 / seq: 62



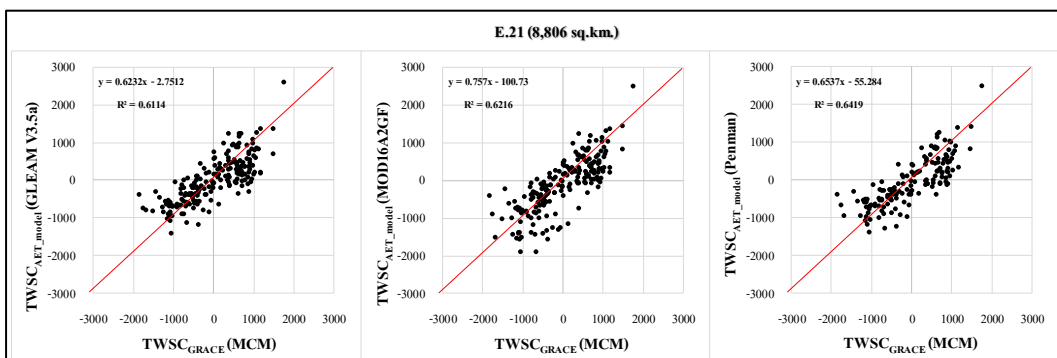
ภาพผนวกที่ 9 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมมูลน้ำ โดย AET<sub>RS</sub> กับ TWSC ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.70



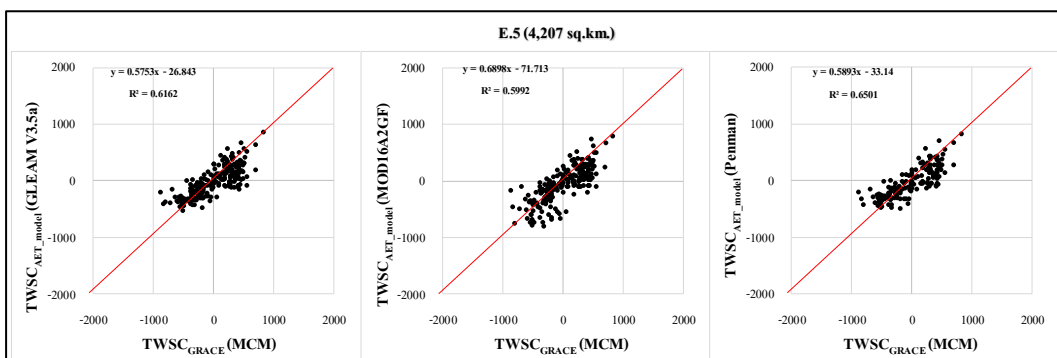
ภาพผนวกที่ 10 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมมูลน้ำ โดย AET<sub>RS</sub> กับ TWSC ที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.20A



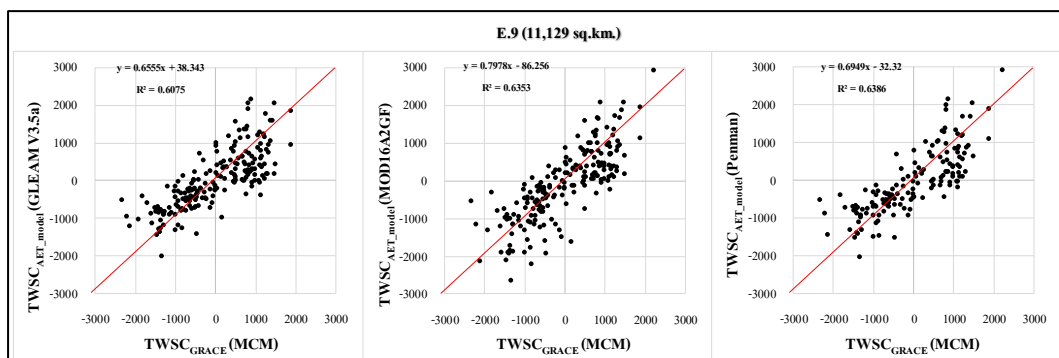
ภาพผนวกที่ 11 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>model</sub> กับ TWSC ที่ได้ จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.32A



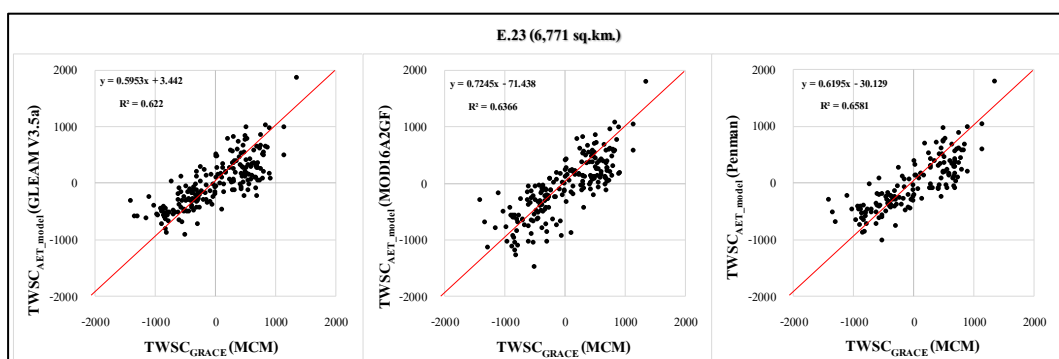
ภาพผนวกที่ 12 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>model</sub> กับ TWSC ที่ได้ จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.21



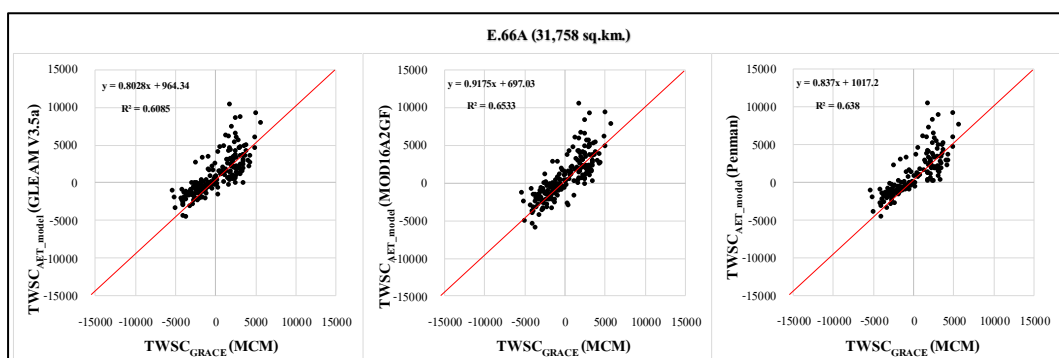
ภาพผนวกที่ 13 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>model</sub> กับ TWSC ที่ได้ จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.5



ภาพผนวกที่ 14 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>model</sub> กับ TWSC ที่ได้ จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.9

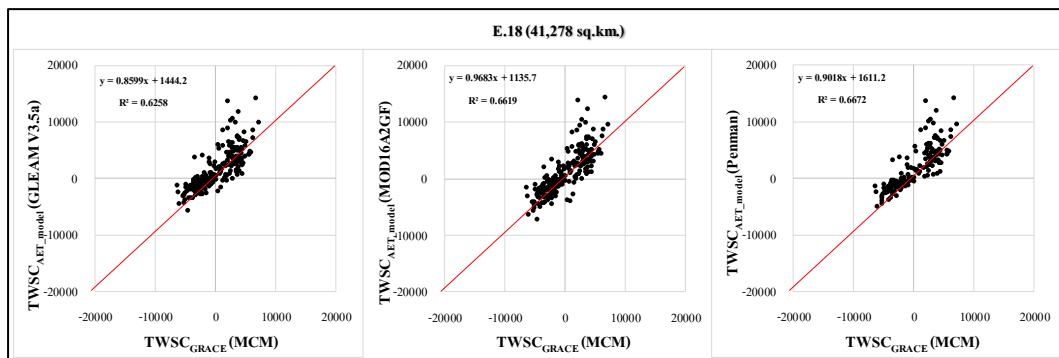


ภาพผนวกที่ 15 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>model</sub> กับ TWSC ที่ได้ จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.23

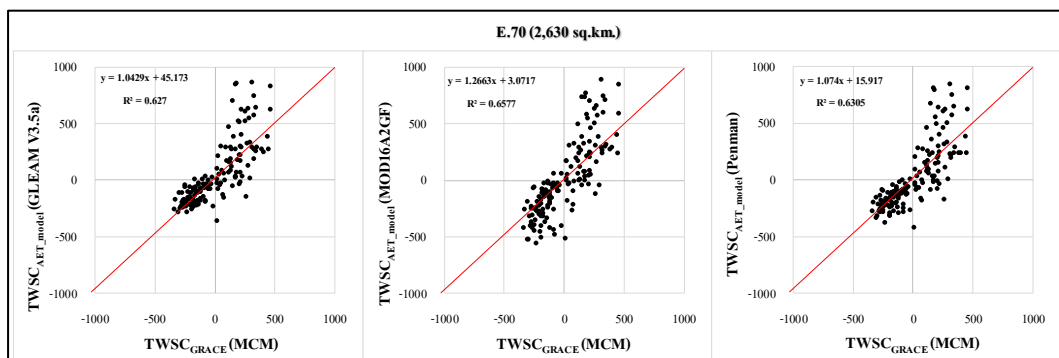


ภาพผนวกที่ 16 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>model</sub> กับ TWSC ที่ได้ จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.66A

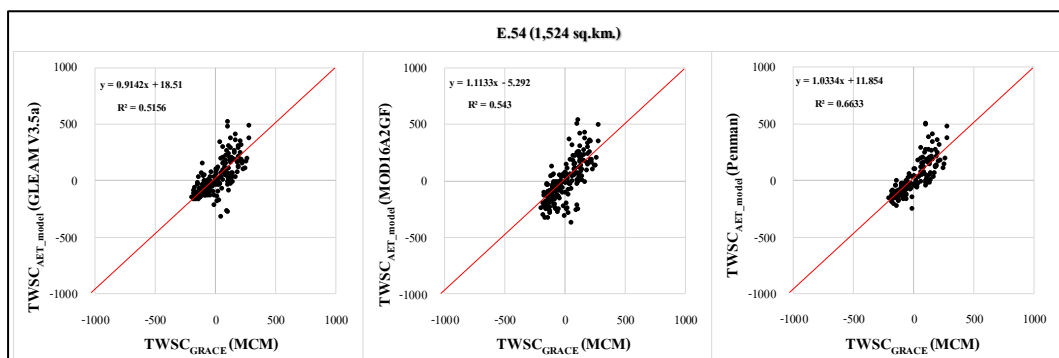




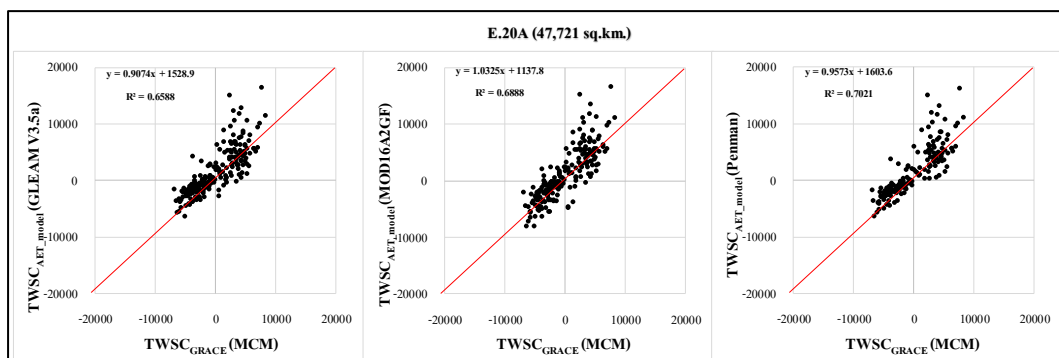
ภาพผนวกที่ 17 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>model</sub> กับ TWSC ที่ได้ จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.18



ภาพผนวกที่ 18 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>model</sub> กับ TWSC ที่ได้ จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.70



ภาพผนวกที่ 19 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>model</sub> กับ TWSC ที่ได้ จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.54

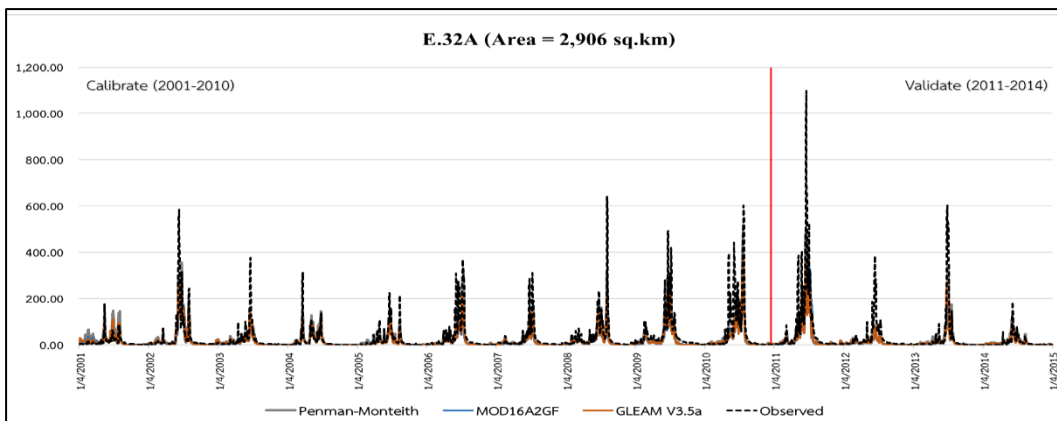


ภาพผนวกที่ 20 Scatter plot TWSC ที่คำนวณด้วยสมการสมดุลน้ำ โดย AET<sub>model</sub> กับ TWSC ที่ได้ จากผลิตภัณฑ์ GRACE ที่สถานี E.20A

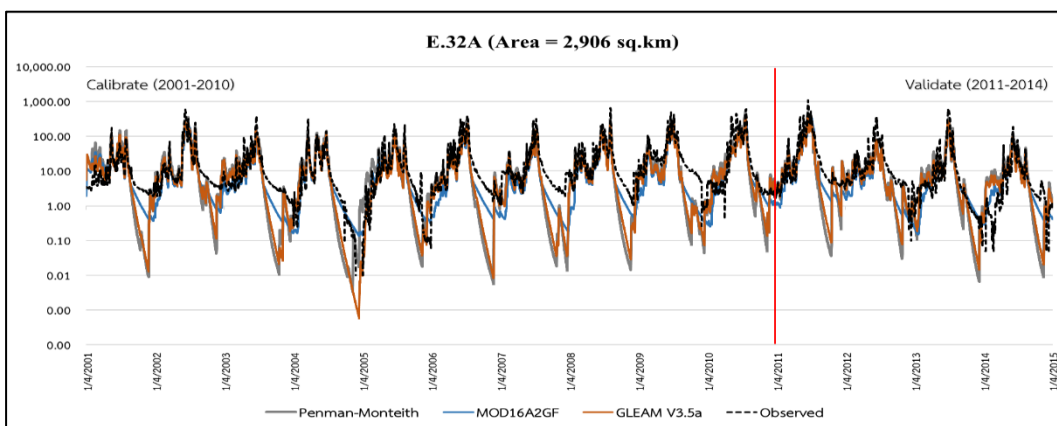


2967045753

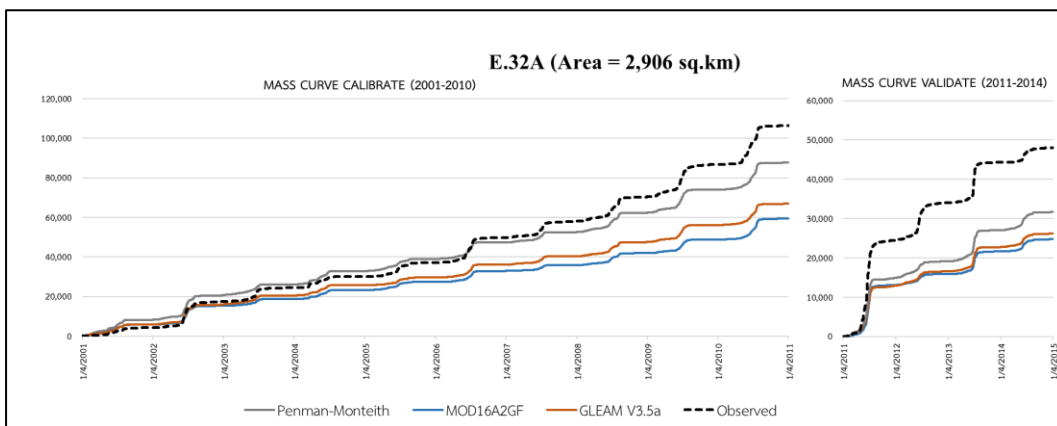
KU IThesis 6314500753 thesis / recv: 07112565 14:31:54 / seq: 62



(ก) กราฟน้ำท่าทั้งสเกลธรรมดาของสถานี E.32A

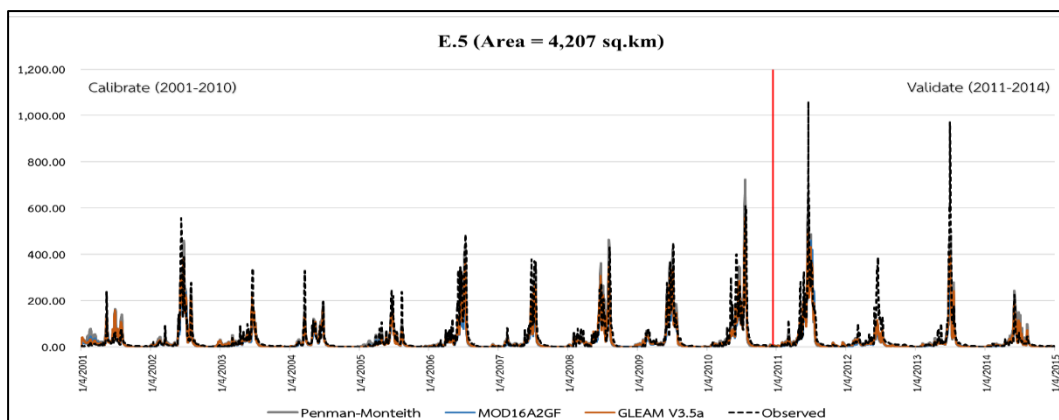


(ข) กราฟน้ำท่าสเกล Semi-log ของสถานี E.32A

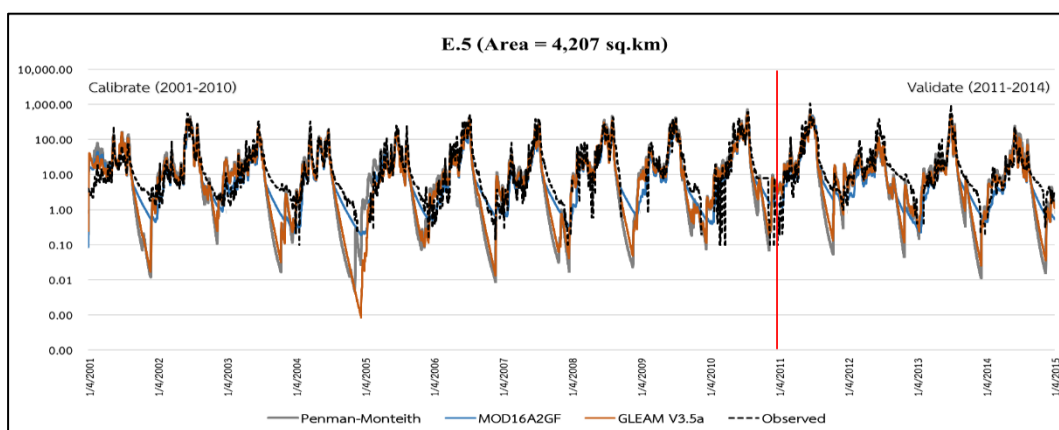


(ค) กราฟน้ำท่าสะสม (Mass Curve) ของสถานี E.32A

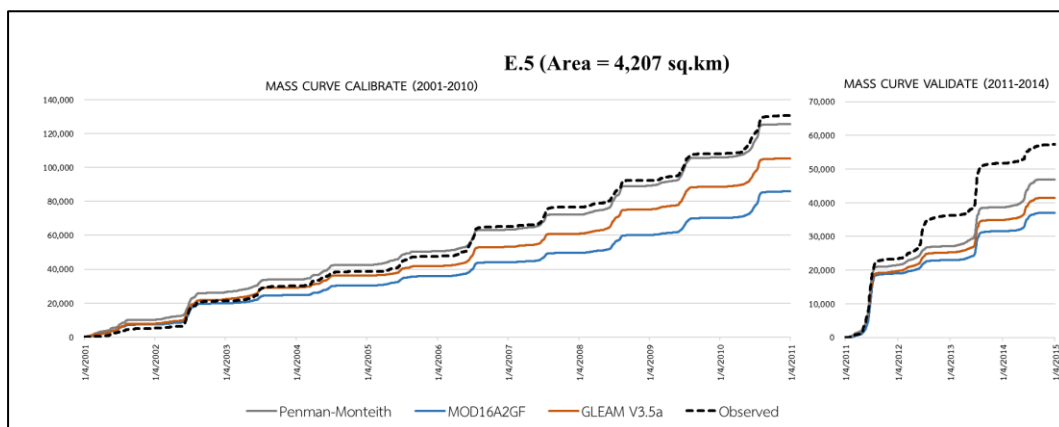
ภาพผนวกที่ 21 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD (จากผลการศึกษาข้อที่ 3 ในกรณีที่ 1) ที่สถานี E.32A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a



(ก) กราฟน้ำท่าทั้งสเกลธรรมดาของสถานี E.5

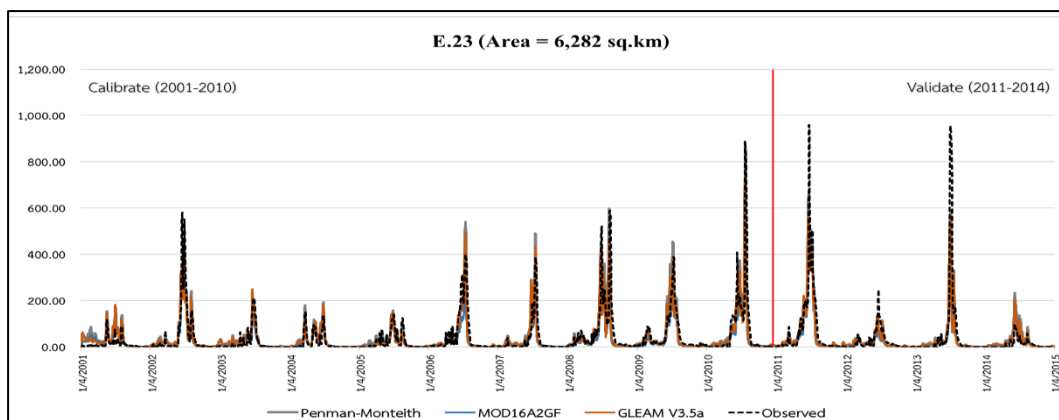


(ข) กราฟน้ำท่าสเกล Semi-log ของสถานี E.5

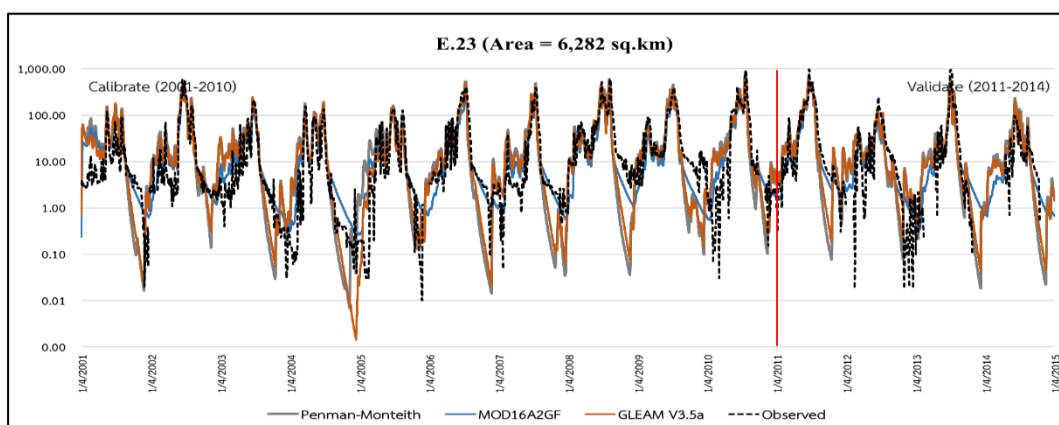


(ค) กราฟน้ำท่าสะสม (Mass Curve) ของสถานี E.5

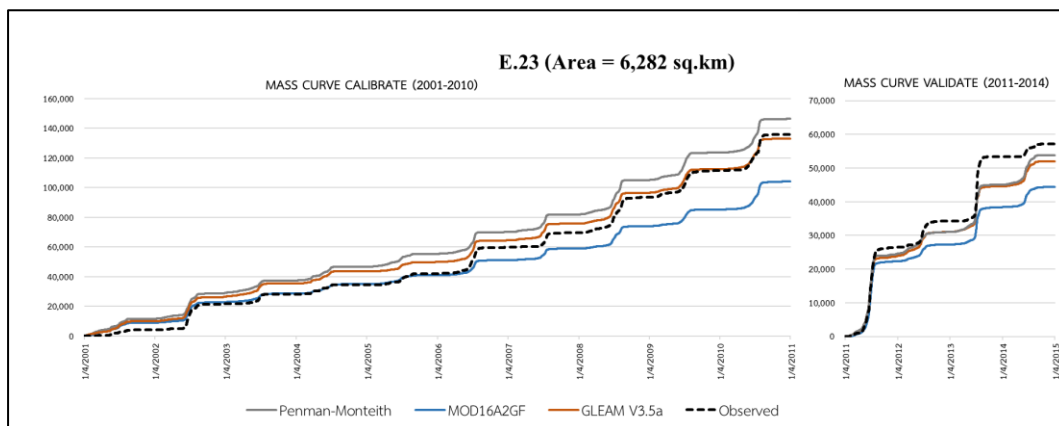
ภาพผนวกที่ 22 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD (จากผลการศึกษาข้อที่ 3 ในกรณีที่ 1) ที่สถานี E.5 โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a



(ก) กราฟน้ำท่าทั้งสเกลธรรมดาของสถานี E.23

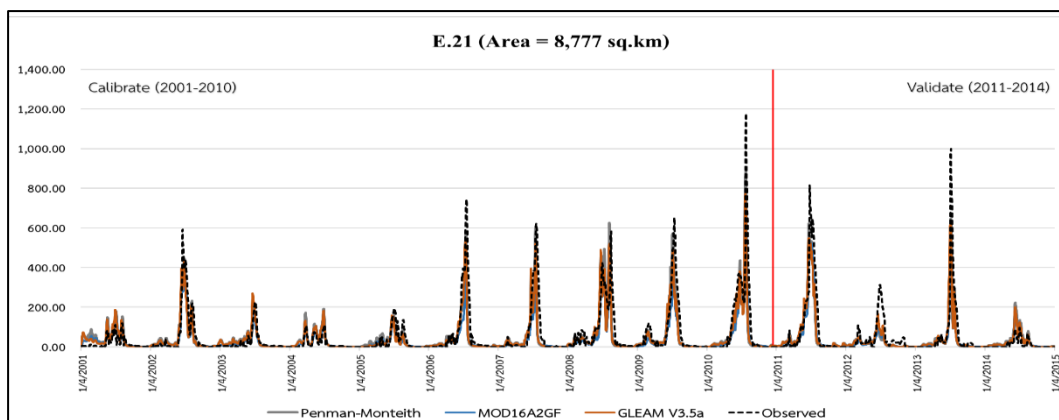


(ข) กราฟน้ำท่าสเกล Semi-log ของสถานี E.23

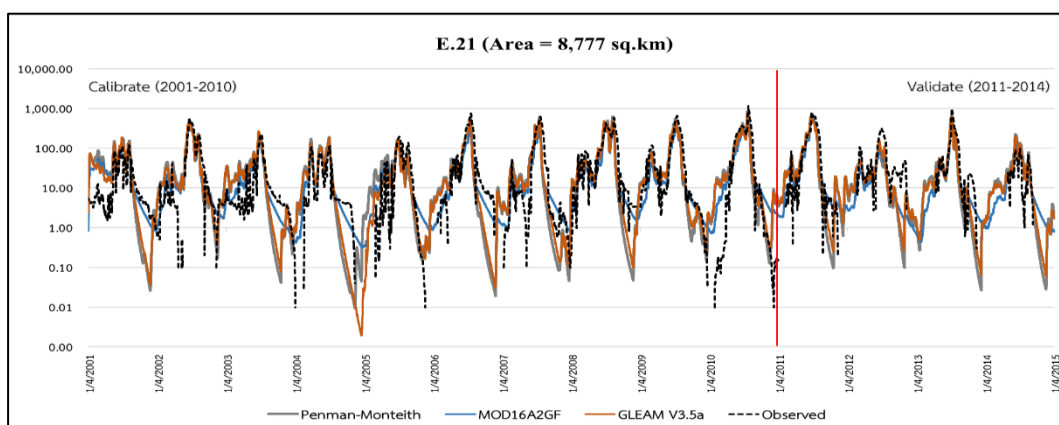


(ค) กราฟน้ำท่าสะสม (Mass Curve) ของสถานี E.23

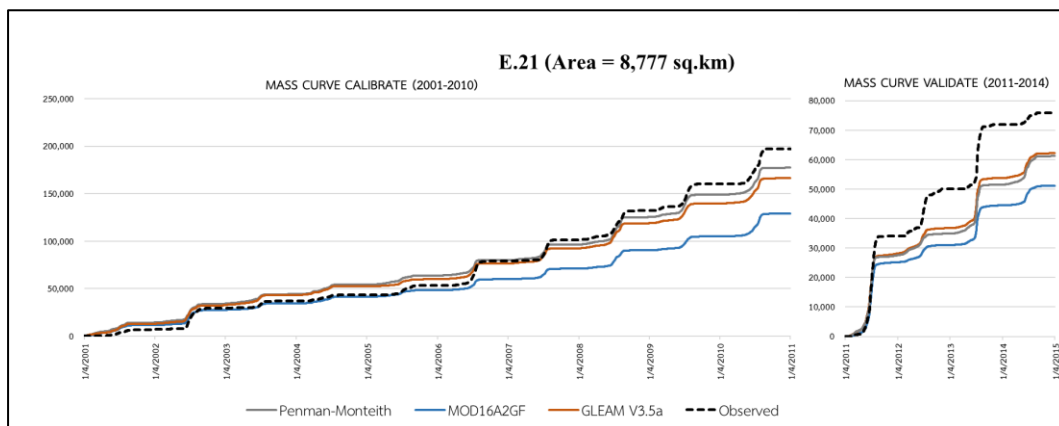
ภาพผนวกที่ 23 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD (จากผลการศึกษาข้อที่ 3 ในกรณีที่ 1) ที่สถานี E.23 โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a



(ก) กราฟน้ำท่าทั้งสเกลธรรมดาของสถานี E.21

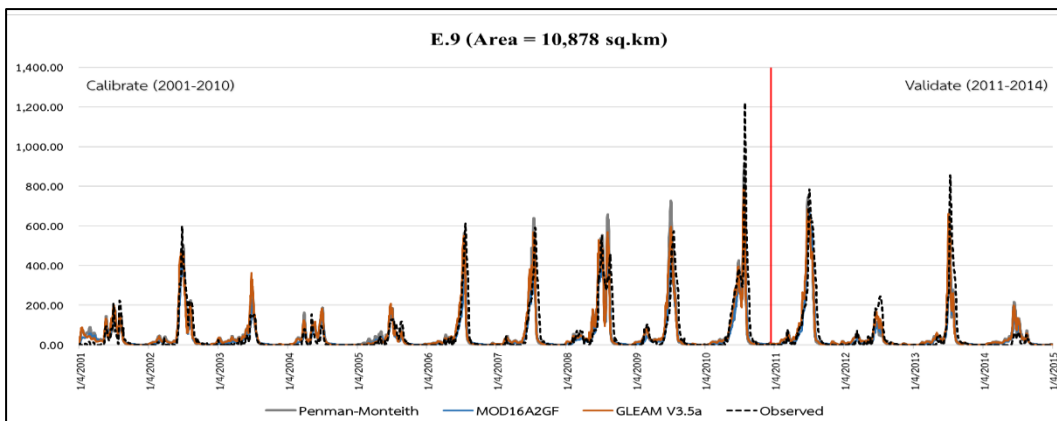


(ข) กราฟน้ำท่าสเกล Semi-log ของสถานี E.21

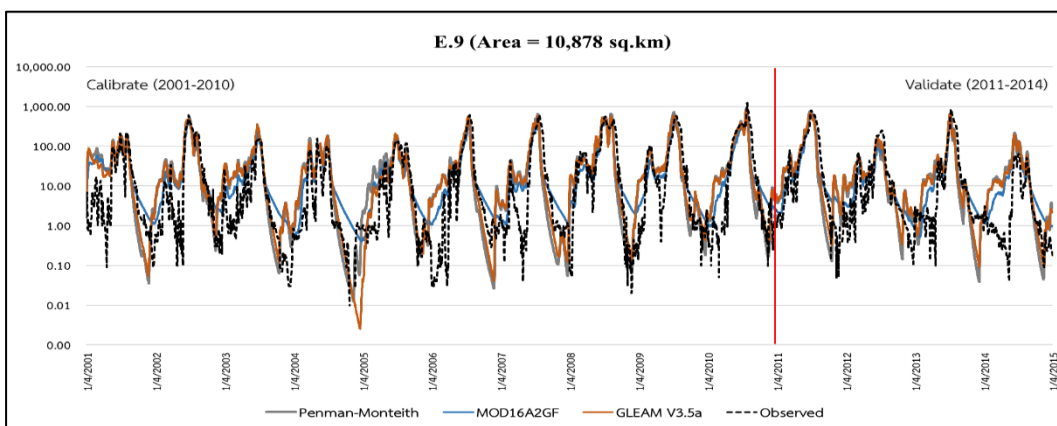


(ค) กราฟน้ำท่าสะสม (Mass Curve) ของสถานี E.21

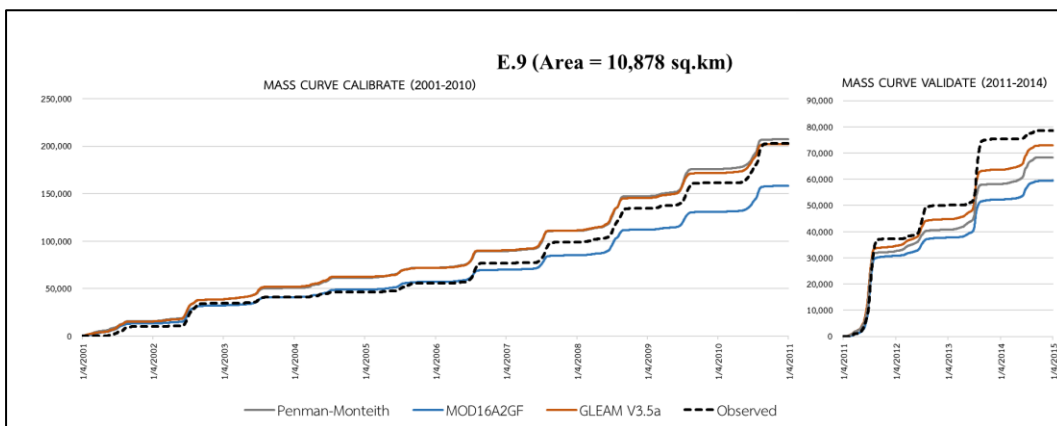
ภาพผนวกที่ 24 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD (จากผลการศึกษาข้อที่ 3 ในกรณีที่ 1) ที่สถานี E.21 โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a



(ก) กราฟน้ำท่าทั้งสเกลธรรมดาของสถานี E.9

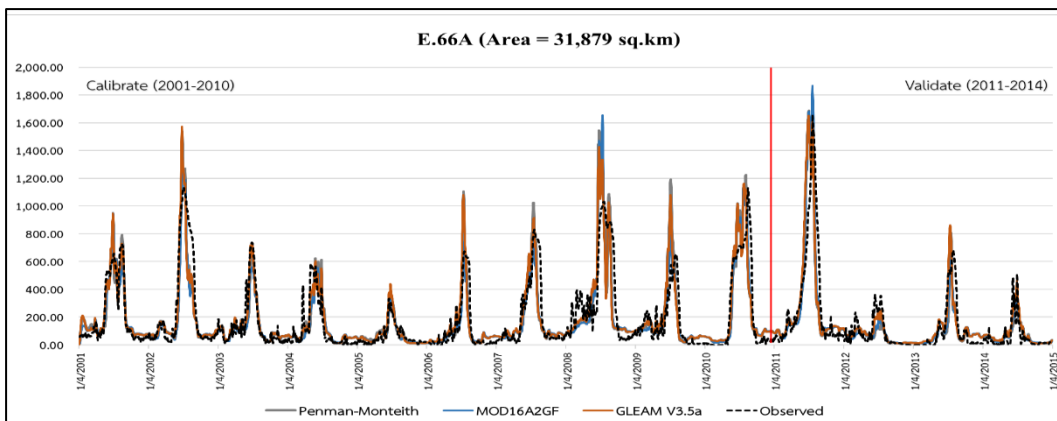


(ข) กราฟน้ำท่าสเกล Semi-log ของสถานี E.9

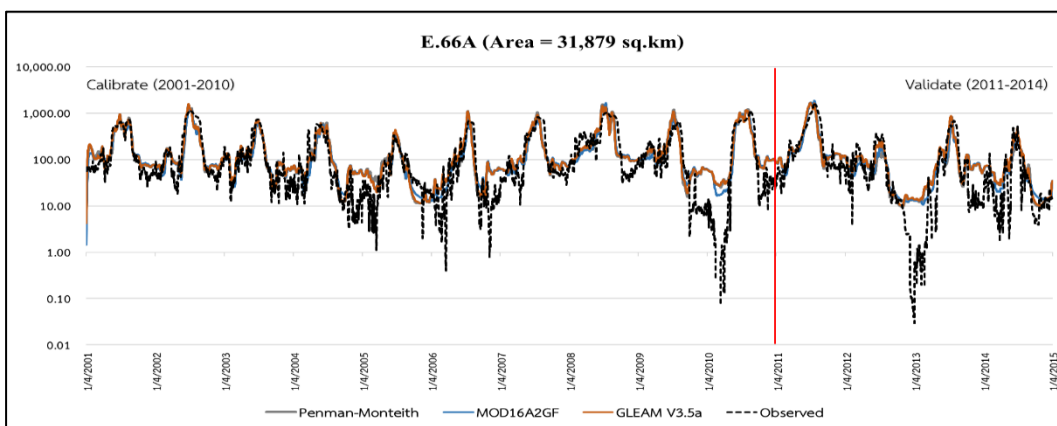


(ค) กราฟน้ำท่าสะสม (Mass Curve) ของสถานี E.9

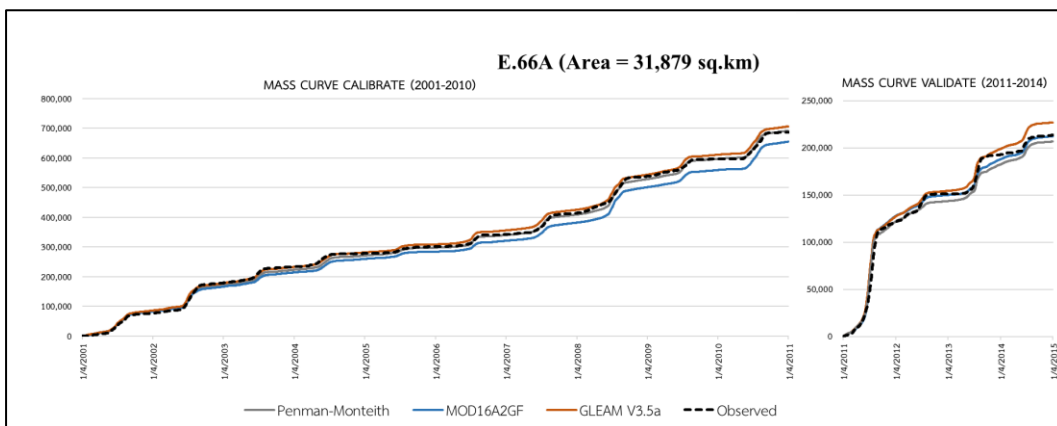
ภาพผนวกที่ 25 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD (จากผลการศึกษาข้อที่ 3 ในกรณีที่ 1) ที่สถานี E.9 โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a



(ก) กราฟน้ำท่าทั้งสเกลธรรมดาของสถานี E.66A



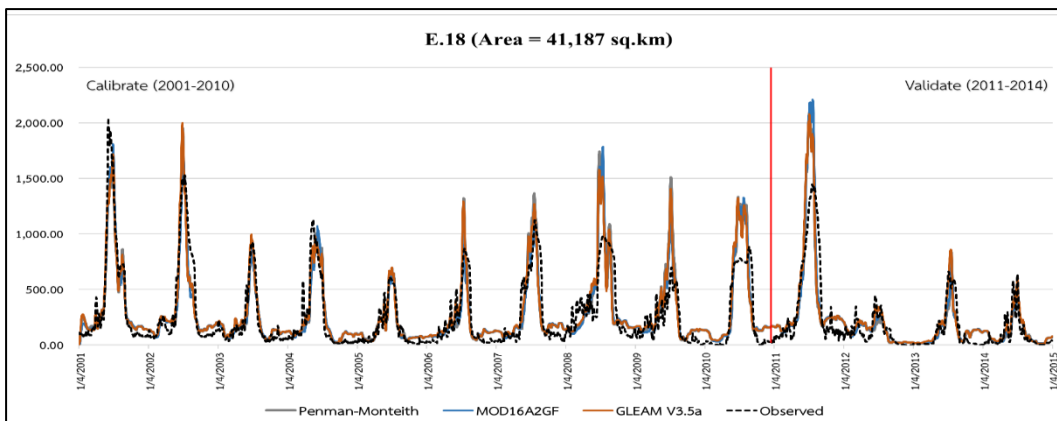
(ข) กราฟน้ำท่าสเกล Semi-log ของสถานี E.66A



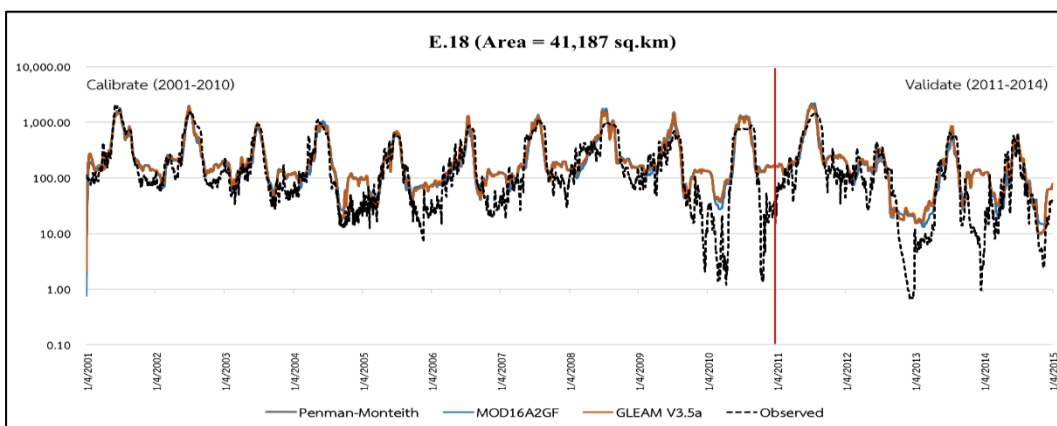
(ค) กราฟน้ำท่าสะสม (Mass Curve) ของสถานี E.66A

ภาพผนวกที่ 26 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD (จากผลการศึกษาข้อที่ 3 ในกรณีที่ 1) ที่สถานี E.66A โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

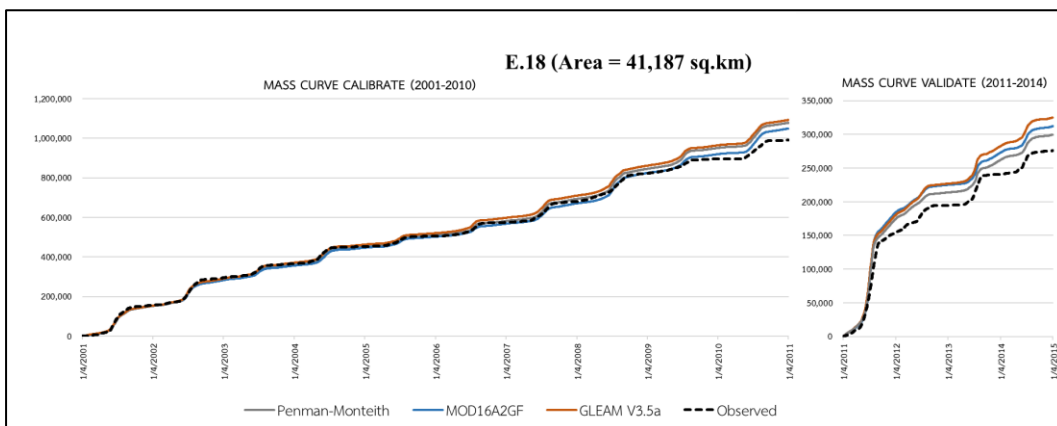




(ก) กราฟน้ำท่าทั้งสเกลธรรมดาของสถานี E.18

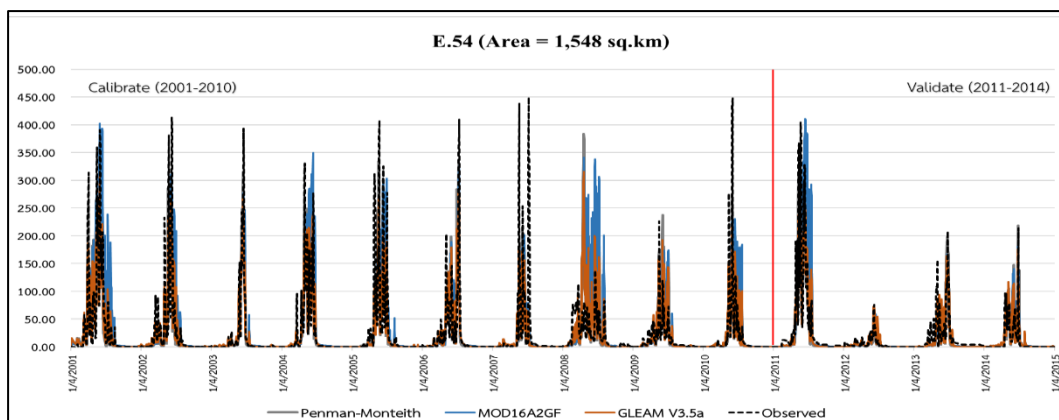


(ข) กราฟน้ำท่าสเกล Semi-log ของสถานี E.18

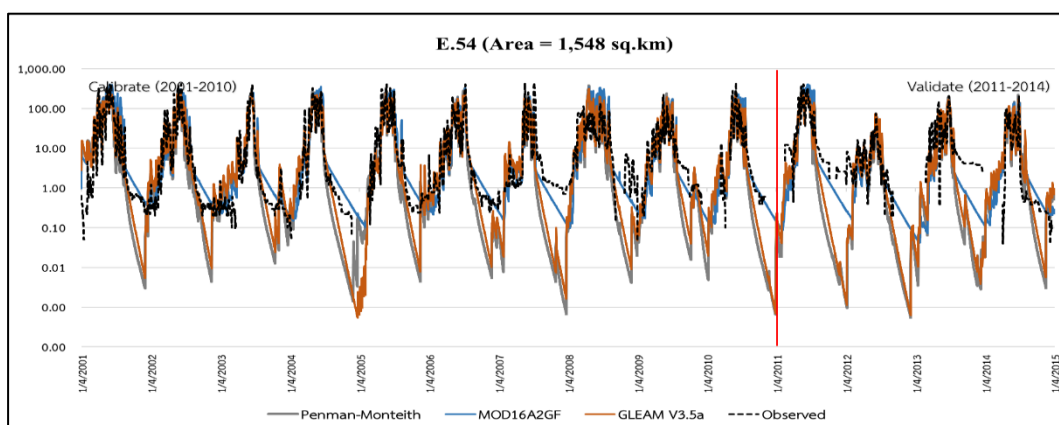


(ค) กราฟน้ำท่าสะสม (Mass Curve) ของสถานี E.18

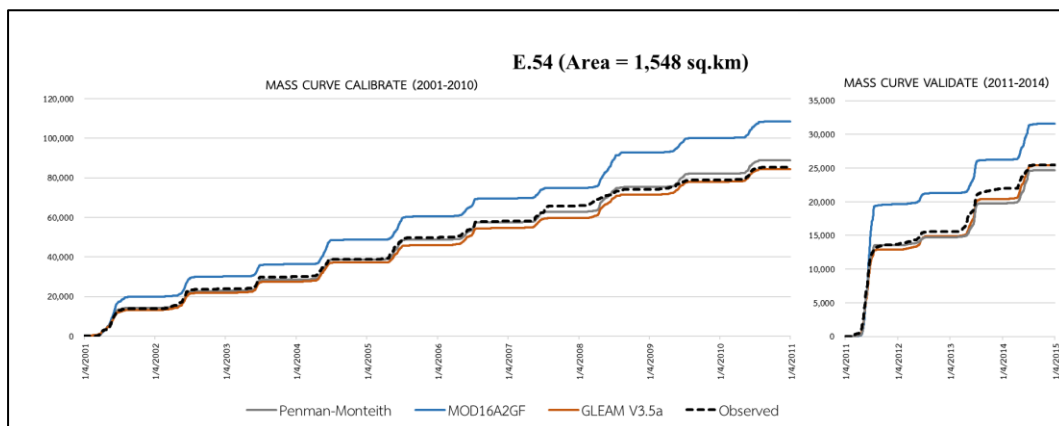
ภาพผนวกที่ 27 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD (จากผลการศึกษาข้อที่ 3 ในกรณีที่ 1) ที่สถานี E.18 โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a



(ก) กราฟน้ำท่าทั้งสเกลธรรมดาของสถานี E.54

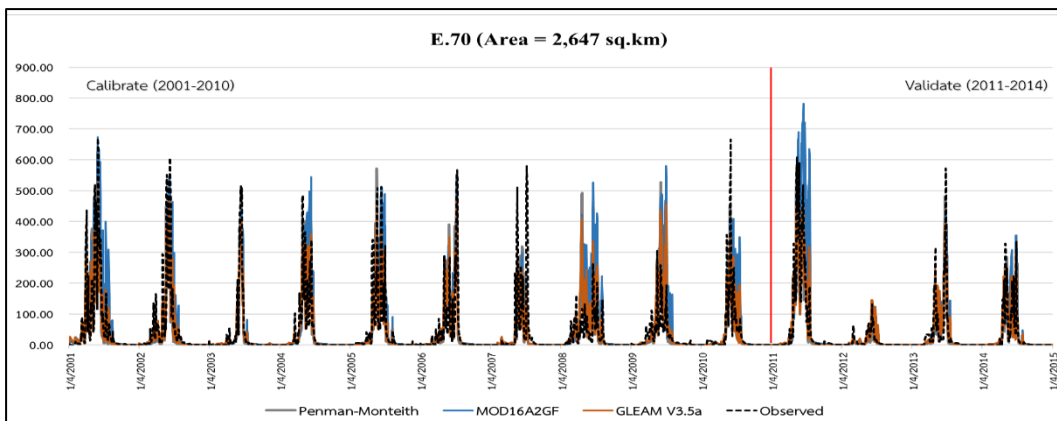


(ข) กราฟน้ำท่าสเกล Semi-log ของสถานี E.54

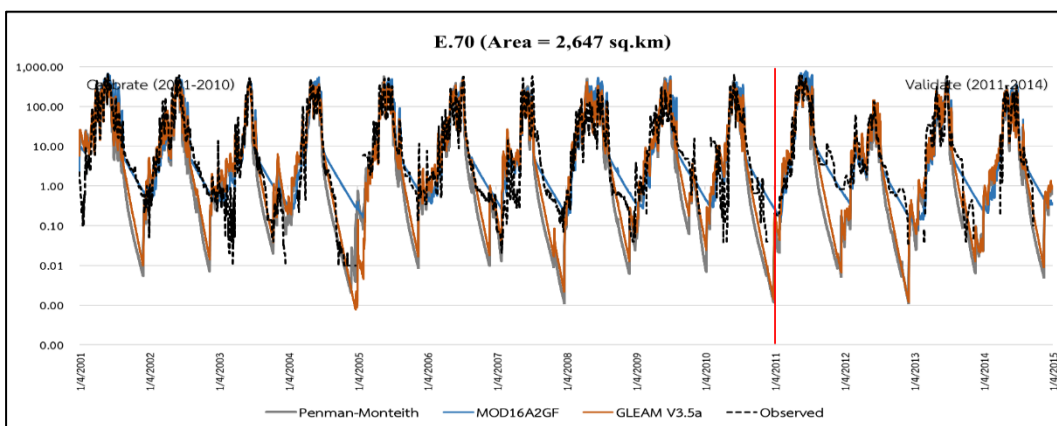


(ค) กราฟน้ำท่าสะสม (Mass Curve) ของสถานี E.54

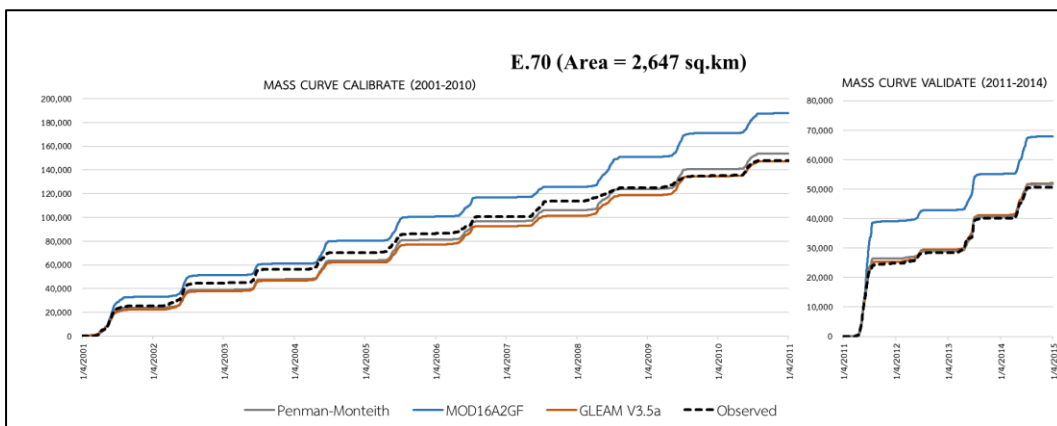
ภาพผนวกที่ 28 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD (จากผลการศึกษาข้อที่ 3 ในกรณีที่ 1) ที่สถานี E.54 โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a



(ก) กราฟน้ำท่าทั้งสเกลธรรมดาของสถานี E.70



(ข) กราฟน้ำท่าสเกล Semi-log ของสถานี E.70



(ค) กราฟน้ำท่าสะสม (Mass Curve) ของสถานี E.70

ภาพผนวกที่ 29 การเปรียบเทียบกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดและกราฟน้ำท่าที่เป็นผลพลอยได้จากแบบจำลอง KU-FLEX-TOPO-SD (จากผลการศึกษาข้อที่ 3 ในกรณีที่ 1) ที่สถานี E.70 โดยใช้ข้อมูล PET ที่คำนวณโดยวิธี Penman-Monteith, MOD16A2GF และ GLEAM V3.5a

ชื่อ-นามสกุล

ณัฐกร ประเสริฐทองกร

วัน เดือน ปี เกิด

สถานที่เกิด

ที่อยู่ปัจจุบัน

88 ถ.สุขาภิบาล5 ซ.32แยก4(จัดสรร2แยก4) แขวงออเงิน เขตสายไหม

กรุงเทพมหานคร 10220

ประวัติการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ทรัพยากรน้ำ),  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



2967045753

KTU Thesais 6314500753 thesais / recv: 07112565 14:31:54 / seq: 62