

การศึกษาผลกระทบ Total water storage ที่มีผลต่อค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกในพื้นที่  
ภาคใต้ ประเทศไทย



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2561  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDYING OF THE EFFECT OF TOTAL WATER STORAGE ON GRAVITY IN SOUTHERN T  
HAILAND



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผลกระทบ Total water storage ที่มีผลต่อ ค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกในพื้นที่ภาคใต้ ประเทศไทย
โดย	น.ส.สรณีย์ วิไลวงษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ดร.ชงทิศ ฉายากุล

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(ดร.ชัยโชค ไวกาษา)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ดร.ชงทิศ ฉายากุล)	
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สรรเพชญ์ ชื่อนิธิไพศาล)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.สุกิจ วิเศษสินธุ์)	

สรณีย์ วิไลวงษ์ : การศึกษาผลกระทบ Total water storage ที่มีผลต่อค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกในพื้นที่ภาคใต้ ประเทศไทย. (

A STUDYING OF THE EFFECT OF TOTAL WATER STORAGE ON GRAVITY IN SOUTHERN THAILAND) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ดร.ธงทิศ ฉายากุล

น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต มีการเคลื่อนที่ เปลี่ยนแปลงสถานะ และรูปร่าง หรือเรียกว่าวัฏจักรของน้ำ ไม่มีการสูญหายไปไหน เพื่อการตรวจสอบปริมาณน้ำในพื้นที่ภาคใต้ ประเทศไทย ข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage อันประกอบด้วย ปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำฝน และการคายระเหย รวมไปถึงปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อน จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกที่ตรวจจับได้จากดาวเทียม GRACE โดยค่าแรงโน้มถ่วงจะมีความสัมพันธ์กับวัตถุต่างๆที่อยู่ในโลก รวมไปถึงน้ำในสถานะที่แตกต่างกันจะมีค่าแรงโน้มถ่วงที่แตกต่างกัน จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลง Total water storage มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก เมื่อปริมาณการเปลี่ยนแปลง Total water storage มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงจะมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ในขณะที่เมื่อปริมาณการเปลี่ยนแปลง Total water storage ลดลง ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกจะลดลงเช่นกัน โดยค่าความผิดพลาดของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกมีค่าคงที่ เมื่อเปรียบเทียบในช่วงการเปลี่ยนแปลง Total water storage หรือเหตุการณ์อุทกภัยและภัยแล้ง และ GRACE สามารถตรวจจับปริมาณน้ำที่มหาศาลได้ดีกว่าปริมาณน้ำขนาดเล็ก เช่นปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำจากการเปลี่ยนแปลง Total water storage

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 5970333721 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: GRACE, Total water storage, Precipitation, Evapotranspiration, Runoff

Water is an essential resource for life. It moves and changes its status and shape, which is called the water cycle. To verify the amount of water in southern Thailand, total water storage changes which includes precipitation, runoff and evapotranspiration and the amount of water in reservoir are calculated along with the gravity of the Earth detected by GRACE. The gravity relates to any mass on the earth; therefore, different amount of water could lead to different amount of the change of gravity. In this research, it is found that the changes of total water storage relate to the changes of gravity on the earth's surface. When the number of the changes of total water storage increases, the changes of the gravity on the earth's surface would also increase and vice versa. Nevertheless, the anomaly of gravity is always stable in the normal cycle of total water storage and even in the flood and drought situations. The changes of gravity from GRACE can be clearly noticed by the change of large amount of water, in this case, the change in water level in the Rajjaprabha Dam.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2018

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

สำหรับการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ที่ประสบความสำเร็จไปได้ด้วยดีถึงแม้จะมีอุปสรรคต่างๆ มากมายเกิดขึ้น ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายๆท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ ดร. ธงทิศ ฉายากุล อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำทั้งด้านเนื้อหาและปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น วิธีการดำเนินงานแต่ละขั้นตอน รวมไปถึงกำลังใจในการทำงานในยามที่รู้สึกสิ้นหวังหรือหมดหนทางในการทำงาน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ชัยโชค ไวกาษา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. สรรเพชญ์ ชื่อนิติไพศาล และ ดร.สุกิจ วิเศษสินธุ์ ที่ได้สละเวลาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ รวมไปถึงคำแนะนำ แนวทางในการทำงานให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอขอบพระคุณครอบครัวของข้าพเจ้า โดยเฉพาะนางสาว พริมา วิไลวงษ์ ผู้ที่เป็นแรงผลักดันสูงสุดที่ทำให้ข้าพเจ้าเดินหน้าต่อไปในการวิทยานิพนธ์เล่มนี้

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจและอาจารย์ท่านอื่นๆที่ได้ที่ได้มอบความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจที่คอยแนะนำการทำงานต่างๆ รวมไปถึงให้กำลังใจในการทำงานครั้งนี้ และขอขอบคุณ นางสาวขจีมาศ อนงค์ไชย นายจิรวัฒน์ จันทองพูน นางสาวพัชรภรณ์ เอิบกมล และนางสาว กุลภรภัศสรณ์ คงรักษารัตน์ ที่ให้คำปรึกษาปัญหาต่างๆ ทั้งระบบ Software และ Hardware

ข้าพเจ้าขอบคุณจากใจจริงถึงทุกท่านที่ได้กล่าวมาและไม่ได้กล่าวมาในที่นี้

สรณีย์ วิไลวงษ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่ 1 .....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ .....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย .....	2
1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา.....	2
1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ที่ศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 .....	6
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ข้อมูลค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก Harmonics 5X5 รายสัปดาห์ จากดาวเทียม GRACE.....	6
2.2 วัฏจักรของน้ำ.....	7
2.3 การเปลี่ยนแปลง Total water storage .....	8
2.3.1 ปริมาณหยาดน้ำฟ้า .....	9
2.3.2 ปริมาณการคายระเหย.....	10

2.3.2 ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน .....	12
2.4 การเปลี่ยนแปลงของแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก .....	13
2.5 สหสัมพันธ์ Cross correlation .....	14
2.6 การประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Kriging .....	14
บทที่ 3 .....	15
3.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
3.1 A comparison of the gravity field over Central Europe from super conducting gravimeters, GRACE and global hydrological models, using EOF analysis .....	15
3.2 Comparison of changes in groundwater storage using GRACE data and a hydrological model in California’s central Valley.....	15
3.3 Estimation of local water storage change by space- and ground-based gravimetry.....	17
3.4 GRACE Gravity satellite observations of terrestrial water storage changes for drought characterization in the arid land of Northwestern China.....	18
3.5 Estimation of quantitative measures of total water storage variation from GRACE and GLDAS-NOAH satellites using geospatial technology .....	18
3.6 Estimation of GRACE water storage components by temporal decomposition	19
3.7 GRACE-based estimates of water discharge over the Yellow river basin .....	20
บทที่ 4 .....	22
4. วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	22
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	22
4.1.1 ข้อมูลค่าความถ่วงพิภพบนพื้นผิวโลกจากดาวเทียม GRACE .....	22
4.1.2 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน .....	22
4.1.3 ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน.....	22
4.1.4 ข้อมูลการคายระเหย .....	24



4.1.5 ข้อมูลปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อน .....	24
4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....	24
4.3 วิธีการวิจัย .....	25
4.3.1 การประมวลผลข้อมูลปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำฝน.....	25
4.3.2 การประมวลผลข้อมูลการคายระเหย .....	28
4.3.3 การประมวลผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage .....	28
4.3.4 การประมวลผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก .....	28
4.3.5 การประมวลผลค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่า.....	29
4.3.6 การประมวลผลค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝน.....	29
4.3.7 การประมวลผลค่าความผิดปกติของปริมาณการคายระเหย .....	30
4.3.8 การประมวลผลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage .....	30
4.3.9 การประมวลผลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก .....	31
4.3.10 การหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลง Total water storage และการ เปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก .....	31
4.3.11การหาความสัมพันธ์ทางเวลาระหว่างค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage และการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก.....	31
4.3.12 การหาความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงและทางเวลาระหว่างปริมาณน้ำที่กักเก็บใน เขื่อนรัชชประภา จังหวัด สุราษฎร์ธานี และการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก...	32
4.3.13 สรุปและนำเสนอผล .....	32
4.4 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	33
บทที่ 5 .....	34
5. ผลการศึกษา.....	34
5.1 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage จากข้อมูลอุทกศาสตร์และ ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงที่ได้จาก GRACE.....	34
5.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ Cross correlation .....	37

5.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ปริมาณน้ำในเขื่อนรัชชประภาและค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก..... 60

บทที่ 6 ..... 64

6. อภิปราย สรุปผล และข้อเสนอแนะ..... 64

6.1 อภิปรายผลการศึกษา ..... 64

6.1.1 กลุ่มความสัมพันธ์เชิงบวกของข้อมูลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage และข้อมูลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก..... 64

6.1.2 กลุ่มความสัมพันธ์เชิงลบของข้อมูลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage และข้อมูลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก.. 65

6.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำและการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก ..... 66

6.2 สรุปผลการศึกษา ..... 66

6.3 ข้อเสนอแนะ ..... 68

ภาคผนวก..... 69

ภาคผนวก ก..... 70

ภาคผนวก ข..... 72

บรรณานุกรม..... 75

ประวัติผู้เขียน..... 79



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1. 1 ภาคใต้ ประเทศไทย.....	4
รูปที่ 2. 1 ดาวเทียมในโครงการ GRACE .....	7
รูปที่ 2. 2 วัฏจักรของน้ำ.....	8
รูปที่ 2. 3 การเกิดหยาดน้ำฟ้าในรูปแบบต่างๆ .....	10
รูปที่ 2. 4 การคายระเหย (Evapotranspiration).....	11
รูปที่ 2. 5 อุปกรณ์ตรวจวัด MODIS .....	12
รูปที่ 3. 1 กราฟแสดง แนวน้ำ Groundwater Storage จาก GRACE .....	16
รูปที่ 3. 2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูล.....	17
รูปที่ 3. 3 กราฟการเปรียบเทียบทางช่วงเวลาของปริมาณฝนและการปล่อยน้ำ .....	21
รูปที่ 4. 1 ตัวอย่างข้อมูลค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก Harmonics 5X5 รายสัปดาห์จาก GRACE .....	22
รูปที่ 4. 2 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำ .....	23
รูปที่ 4. 3 ข้อมูลการคายระเหยจากดาวเทียม AQUA/MODIS.....	24
รูปที่ 4. 4 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลปริมาณน้ำท่าและข้อมูลปริมาณน้ำฝน.....	26
รูปที่ 4. 5 แผนที่แสดงที่ตั้งสถานที่ใช้ในการศึกษา.....	27
รูปที่ 4. 6 ขั้นตอนการประมวลผลค่าความผิดปกติของน้ำท่า .....	29
รูปที่ 4. 7 ขั้นตอนการประมวลผลค่าความผิดปกติของน้ำฝน .....	30
รูปที่ 4. 8 ขั้นตอนการประมวลผลค่าความผิดปกติของการคายระเหย .....	30
รูปที่ 4. 9 ขั้นตอนการประมวลผลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก.....	31
รูปที่ 4. 10 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	33
รูปที่ 5. 1 ตารางแสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage .....	35
รูปที่ 5. 2 ตารางแสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก.....	36
รูปที่ 5. 3 ค่าปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage .....	38
รูปที่ 5. 4 ค่าผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage.....	39

รูปที่ 5. 5 ค่าปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก.....	40
รูปที่ 5. 6 ค่าผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก.....	41
รูปที่ 5. 8 กราฟแสดงปริมาณน้ำกักเก็บในเขื่อน และการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก .....	61



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5. 1 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2002.....	43
ตารางที่ 5. 2 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2003.....	44
ตารางที่ 5. 3 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2004.....	45
ตารางที่ 5. 4 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2005.....	46
ตารางที่ 5. 5 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2006.....	47
ตารางที่ 5. 6 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2007.....	48
ตารางที่ 5. 7 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2008.....	49
ตารางที่ 5. 8 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2009.....	50
ตารางที่ 5. 9 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2010.....	51
ตารางที่ 5. 10 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงลบ ปี ค.ศ. 2002 .....	53
ตารางที่ 5. 11 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงบวก ปี ค.ศ. 2004 .....	54
ตารางที่ 5. 12 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงลบ ปี ค.ศ. 2005 .....	54
ตารางที่ 5. 13 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงบวก ปี ค.ศ. 2006 .....	55
ตารางที่ 5. 14 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงลบ ปี ค.ศ. 2007 .....	55
ตารางที่ 5. 15 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงบวก ปี ค.ศ. 2008 .....	56
ตารางที่ 5. 16 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงลบ ปี ค.ศ. 2008 .....	57
ตารางที่ 5. 17 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงลบ ปี ค.ศ. 2009 .....	57
ตารางที่ 5. 18 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงบวก ปี ค.ศ. 2010 .....	58
ตารางที่ 5. 19 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงบวก ปี ค.ศ. 2010 .....	58
ตารางที่ 5. 20 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงลบ ปี ค.ศ. 2010 .....	59
ตารางที่ 5. 23 ค่า Cross correlation ระหว่างปริมาณน้ำกักเก็บในเขื่อนรัชชประภา .....	62
ตารางที่ ข. 1 เหตุการณ์อุทกภัย.....	73
ตารางที่ ข. 2 เหตุการณ์อุทกภัย.....	74

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

น้ำเป็นทรัพยากรที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตในทางตรงและทางอ้อม ข้อมูลจาก United States Geological Survey (2016) กล่าวว่า พื้นผิวโลกของเราเป็นพื้นน้ำประมาณร้อยละ 71 และร้อยละ 96.5 ของน้ำในโลกเป็นน้ำเค็ม (Saline water) ในมหาสมุทร ไม่สามารถนำมาอุปโภค บริโภค โดยตรงได้ หากยังมีแหล่งน้ำอื่นๆ เช่น แหล่งน้ำสะอาด (The freshwater resource) ที่สามารถนำมาใช้ในชีวิตประจำวันได้ เช่น ทะเลสาบ แม่น้ำ ลำธาร น้ำใต้ดิน เป็นต้น หรือน้ำที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ โดยสามารถแปลงสภาพตัวเองให้กลายเป็นหยดน้ำตกลงสู่พื้นดินได้ น้ำนั้นมีการเคลื่อนที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ หรือที่เรียกว่าวัฏจักรของน้ำ จากน้ำในแหล่งน้ำ เมื่อได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ จะระเหยกลายเป็นไอน้ำในชั้นบรรยากาศ และกลั่นตัวกลายเป็นฝน บางส่วนตกลงสู่แหล่งน้ำ บางส่วนตกลงสู่พื้นดินกลายเป็นน้ำที่อยู่บนพื้นดิน บางส่วนซึมตอลงไปในชั้นดินเข้าสู่แหล่งกักเก็บหรือ Groundwater storage จึงเห็นได้ว่า น้ำมีการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนแปลงสถานะอยู่อย่างเสมอ

ภาคใต้เป็นภาคที่มีจำนวนวันฝนตกต่อปีมากที่สุดในประเทศไทย (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2018) โดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี อยู่ในช่วง 1,418.1 - 4,183.7 มิลลิเมตร โดยจังหวัดระนองเป็นจังหวัดที่มีฝนตกมากที่สุดในประเทศไทย ประมาณ 4,183.7 มิลลิเมตร เพื่อการตรวจสอบปริมาณน้ำที่มีอยู่ในพื้นที่และนำไปจัดสรรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ข้อมูล การเปลี่ยนแปลง Total water storage ที่ประกอบไปด้วยปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า และการคายระเหย จึงถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ นอกจากนี้ ได้มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้เพื่อรังวัดค่าแรงโน้มถ่วงที่เปลี่ยนแปลงบนพื้นโลกโดยรังวัดได้จากอวกาศ บริหารงานโดย The National Aeronautics and Space Administration หรือ NASA และ German Aerospace Center ได้จัดทำโครงการ The Gravity Recovery and Climate Experiment หรือ GRACE ขึ้นมาเพื่อสำรวจค่าสนามแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก Gravity field ซึ่งสามารถศึกษาไปถึงแหล่งเก็บน้ำในพื้นที่ต่างๆได้ ทั้งนี้แรงโน้มถ่วงและแหล่งน้ำนั้นมีความสัมพันธ์กัน โดยน้ำนั้นมีการเคลื่อนที่เสมอระหว่างชั้นบรรยากาศ มหาสมุทร และบนพื้นดิน โดยความแตกต่างของปริมาณหยาดน้ำฟ้าตามฤดูกาลส่งผลต่อการกักเก็บน้ำบนพื้นดินและใต้ผิวดิน ในแต่ละช่วงเวลาจะมีความแตกต่างกันซึ่งส่งผลกระทบต่อแรงโน้มถ่วง การศึกษาข้อมูลปริมาณน้ำทั้งหมดจึงมีความสำคัญโดยสามารถนำมาจัดการทรัพยากรน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

ได้ สามารถศึกษาได้จากแรงโน้มถ่วง งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำทั้งหมดในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำฝน และการคายระเหย และแรงโน้มถ่วงที่เปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวโลก

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลง Total water storage และ การเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงพื้นโลกจากข้อมูลจากดาวเทียม GRACE ในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย เดือนเมษายน พ.ศ. 2545 - เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

### 1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

ศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลง Total water storage และ การเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงพื้นโลกจากข้อมูลจากดาวเทียม GRACE ในช่วงเวลาเดือนเมษายน พ.ศ. 2545 - เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 โดยใช้ข้อมูล Total water storage ที่ได้จากข้อมูลอุทกศาสตร์ ได้แก่ (1) ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ในช่วงปี พ.ศ. 2545 - 2553 (2) ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา ในช่วงปี พ.ศ. 2531 - 2560 (3) ข้อมูลการคายระเหยจากดาวเทียม AQUA/MODIS 16 ในช่วงปี พ.ศ. 2543 - 2557 และ ข้อมูลปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี และการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงพื้นโลกจากข้อมูลจากดาวเทียม GRACE เดือนเมษายน พ.ศ. 2545 - เดือนธันวาคม พ.ศ. 2553 โดยหาความล่าช้าของเหตุการณ์โดยเปรียบเทียบจากค่าผิดปกติจากข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage และค่าผิดปกติของข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก

### 1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ที่ศึกษา

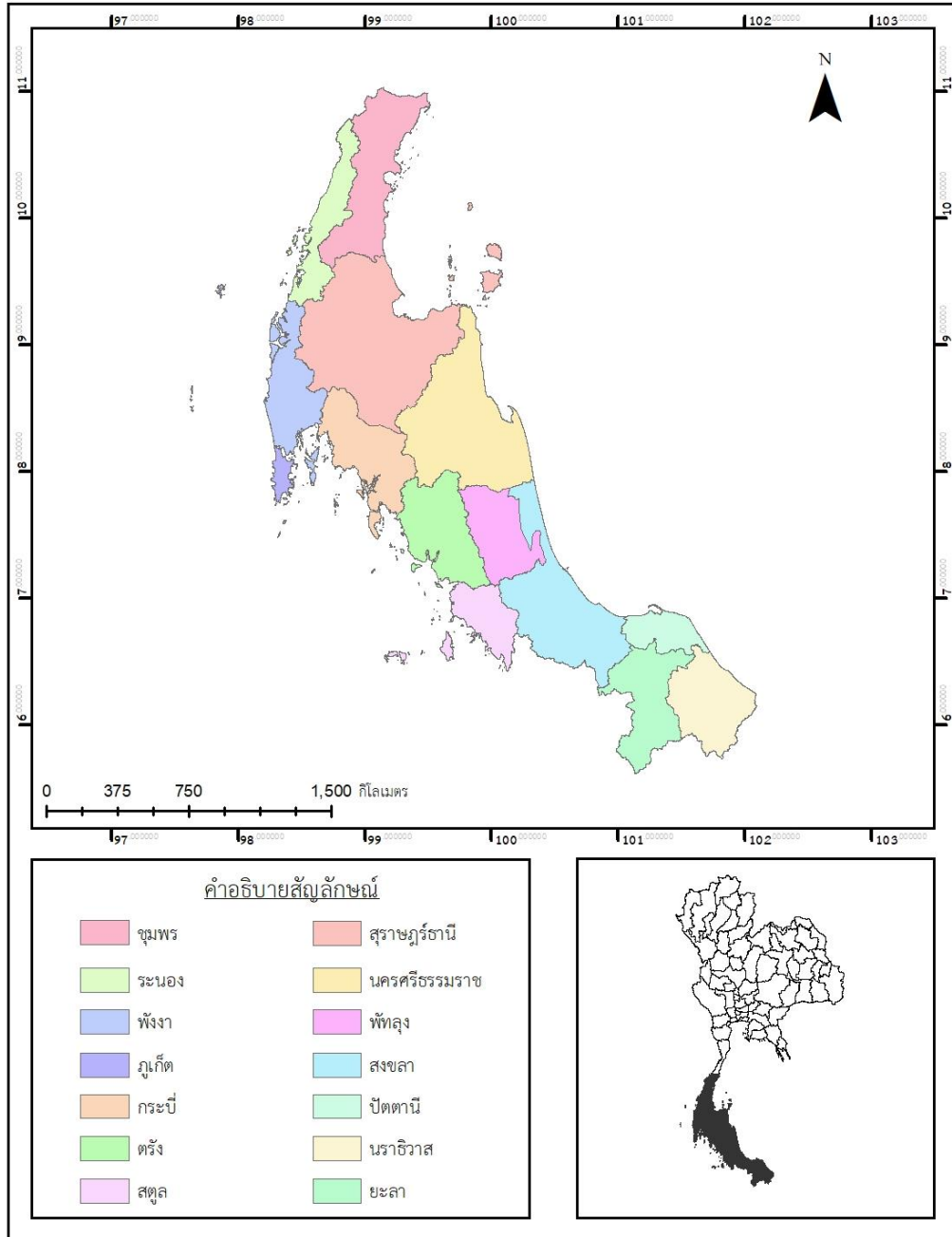
การศึกษาครั้งนี้ครอบคลุมพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างละติจูด 5 ถึง 12 องศาเหนือ และระหว่างลองจิจูด 98 ถึง 103 องศาตะวันออก มีขนาดพื้นที่ประมาณ 44,196,992 ไร่ หรือ 70,715.187 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 13.78 ของเนื้อที่ทั้งประเทศ มีอาณาเขตและพรมแดนติดต่อดังต่อไปนี้

- ทิศเหนือ ติดต่อกับอำเภอบางสะพานน้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
- ทิศตะวันออก ติดต่อกับอ่าวไทย
- ทิศใต้ ติดต่อกับประเทศมาเลเซีย
- ทิศตะวันตก มีอาณาเขตติดกับ สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมาและทะเลอันดามัน





# ภาคใต้



รูปที่ 1. 1 ภาคใต้ ประเทศไทย

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage และค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก เพื่อนำมาใช้ในการบริหารจัดการน้ำต่อไป



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

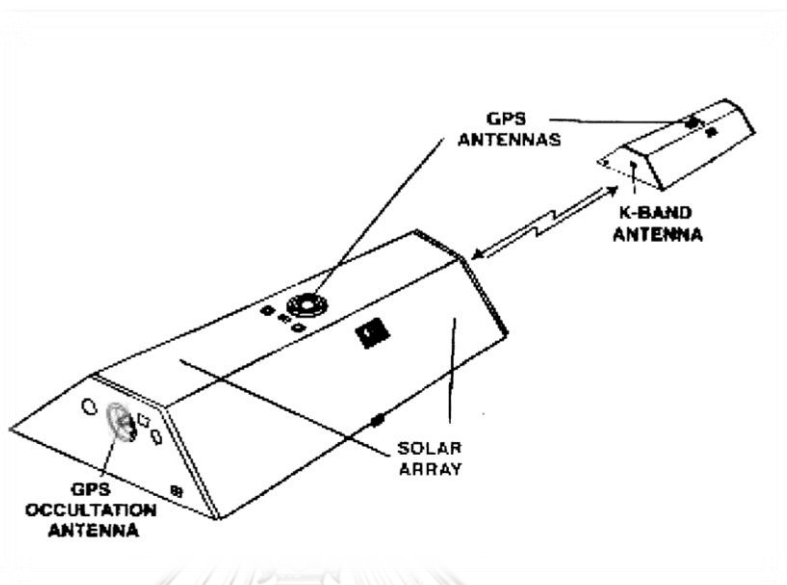
#### 2.1 ข้อมูลค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก Harmonics 5X5 รายสัปดาห์ จากดาวเทียม GRACE

โครงการ Gravity Recovery and Climate Experiment หรือ GRACE เป็นโครงการร่วมมือระหว่าง The National Aeronautics and Space Administration : NASA และ German Aerospace Center ได้ทำการปล่อยเข้าสู่ห้วงอวกาศโดยจรวด Rokot-KM เมื่อวันที่ 17 มีนาคม พ.ศ.2545 (ค.ศ. 2002) จากฐานปล่อยจรวด The Plesetsk Cosmodrome ประเทศรัสเซีย สิ้นสุดโครงการเมื่อวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2560 (ค.ศ. 2017) และได้ส่ง GRACE-Follow On หรือ GRACE-FO ขึ้นไปปฏิบัติงานเมื่อวันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ. 2561 (ค.ศ. 2018) (The National Aeronautics and Space Administration, 2018)

GRACE เป็นโครงการวัดค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก ประกอบด้วยดาวเทียม 2 ดวงได้แก่ “Tom” และ “Jerry” ดาวเทียมทั้ง 2 ดวงนี้มีคุณลักษณะและคุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ น้ำหนักดวงละ 487 กิโลกรัม ระดับวงโคจร 500 กิโลเมตรจากพื้นดิน ทำมุมเอียง 89° จากระนาบเส้นศูนย์สูตรโลก ลักษณะการทำงานนั้น Jerry หรือดาวเทียมดวงแรกจะวิ่งนำในวงโคจรโดยมีระยะห่างจาก Tom หรือดาวเทียมดวงที่ 2 ที่ 220 กิโลเมตร มีการติดตั้ง Microwave Ranging Instrument เครื่อง GPS เพื่อใช้ระบุตำแหน่ง Star Camera และเครื่องวัดความเร่ง โดย ณ ตำแหน่งที่มีการรังวัดนั้น เมื่อดาวเทียมดวงแรกได้วัดความเข้มของแรงโน้มถ่วง ดาวเทียมดวงแรกจะมีความเร็วที่ใช้โคจรในวงโคจรเปลี่ยนไป เมื่อดาวเทียมดวงที่ 2 ได้เดินทางมาสู่ตำแหน่งที่ดวงที่ 1 ได้วัดไว้ จะปรากฏความเข้มของแรงโน้มถ่วงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วที่ใช้วิ่งในวงโคจร โดยใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นตัววัดระยะห่างของทั้ง 2 ดาวเทียม

ข้อมูลค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก Harmonics 5X5 รายสัปดาห์ นั้นประกอบไปด้วยข้อมูล ดีกรีและอันดับ 1 – 5 ได้มาจากการคำนวณระยะห่างระหว่างดาวเทียมทั้ง 2 ดวงด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยปล่อยคลื่นออกมาทุกๆ 5 วินาที โดยดีกรีที่ 3 – 5 มีคุณภาพต่ำกว่าดีกรีสองอันดับที่ 1 และ 2 เนื่องจากลักษณะของการเก็บข้อมูลจากตัวดาวเทียม โดยข้อมูลชนิดนี้ จะรังวัดค่าแรงโน้มถ่วงของสิ่งที่ปรากฏอยู่บนภูมิประเทศจริงเช่น ความสมดุลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำแข็งและหิมะ (A combination of changes in ice and snow water equivalent) น้ำบนชั้นผิวดิน (Surface water storage) น้ำในอ่างเก็บน้ำ (Reservoir storage) ปริมาณการกักเก็บความชุ่มชื้นในดิน (Soil moisture storage) รวมไปถึงข้อมูลใต้ชั้นผิวดิน เช่น ปริมาณการกักเก็บน้ำใต้ดิน (Ground water

storage) (Longuevergne, Wilson, Scanlon, Crétau, & Sciences, 2013) แต่ได้ทำการขจัดค่าต่างๆจากมวลในชั้นบรรยากาศรวมไปถึงแรงดันจากพื้นมหาสมุทรออกแล้ว

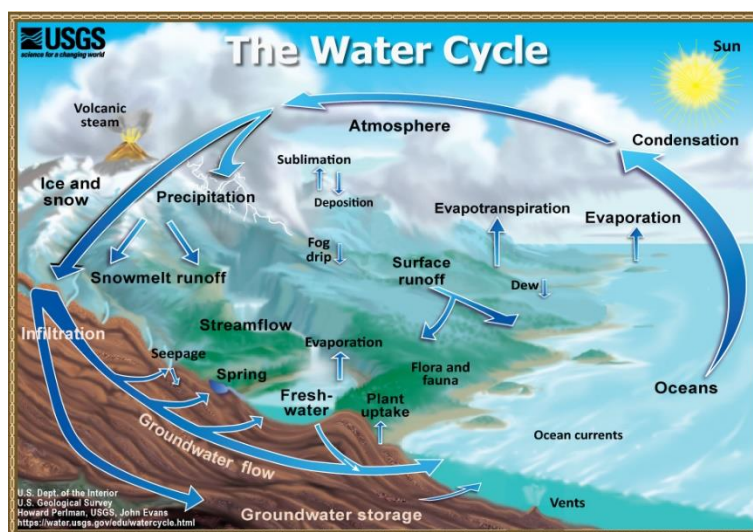


รูปที่ 2. 1 ดาวเทียมในโครงการ GRACE

ที่มา: (The National Aeronautics and Space Administration, 2017)

## 2.2 วัฏจักรของน้ำ

น้ำเป็นสารที่สามารถมีหลายสถานะทั้งของแข็งของเหลวและก๊าซ น้ำในแหล่งน้ำต่างๆ เช่น มหาสมุทร แม่น้ำ ทะเลสาบ รวมไปถึงการคายระเหยน้ำของพืช จะระเหยกลายเป็นไอน้ำในชั้นบรรยากาศ ควบแน่นเป็นละอองน้ำและรวมตัวกันเป็นก้อนเมฆ ก้อนตัวเป็นหยดน้ำตกลงสู่ที่ต่ำกว่า เรียกว่าฝน โดยสามารถตกลงมาได้หลายรูปแบบ หากตกลงมาในรูปของผลึกน้ำแข็งเรียกว่าหิมะ เมื่อมีการสะสมตัวของหิมะหนาเป็นเวลานานจะเกิดเป็นธารน้ำแข็ง มีการเคลื่อนตัวอย่างช้าๆ หรือหากตกลงมาโดยมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งและปะทะเข้ากับของแข็ง หยดน้ำจะจับตัวเข้ากับวัตถุนั้น เรียกว่าลูกเห็บ หรือตกลงมาในรูปแบบของหยดน้ำลงสู่แหล่งน้ำ มีการซึม Infiltration ลงสู่ใต้พื้นดิน กลายเป็นน้ำใต้ดิน หรือน้ำบาดาล ที่สะสมอยู่ใต้ดินตามรอยแยกของชั้นหิน จะเห็นได้ว่าน้ำมีการเปลี่ยนแปลงสถานะและมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ไม่มีการสูญหาย ไม่มีจุดเริ่มต้นและไม่มีการสิ้นสุด ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2. 2 วัฏจักรของน้ำ

ที่มา: (United States Geological Survey, 2017)

### 2.3 การเปลี่ยนแปลง Total water storage

ข้อมูลจาก The National Center for Atmospheric Research (2018) กล่าวว่า Total water storage ได้แก่ น้ำในมหาสมุทรซึ่งหมายถึงความดันได้น้ำมหาสมุทร ปริมาณน้ำบนพื้นดิน ความชุ่มชื้นในดิน ปริมาณน้ำใต้ดิน หิมะ และธารน้ำแข็ง นอกจากนี้ยังรวมไปถึงแหล่งน้ำต่างๆที่มนุษย์สร้างขึ้น ดังได้กล่าวในหัวข้อ 2.2 น้ำเป็นวัฏจักรที่มีการหมุนเวียน เปลี่ยนสถานะอยู่ตลอดเวลา แต่ไม่ได้สูญหายไปไหน กล่าวคือเป็นวัฏจักรปิด โดยการเปลี่ยนแปลง Total water storage ที่วัดได้จากดาวเทียม GRACE (Kuss et al., 2012) สามารถวัดได้จากข้อมูลอุทกศาสตร์ 3 ประเภทได้แก่ ปริมาณหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ปริมาณการคายระเหยน้ำของพืช (Evapotranspiration) และ ปริมาณการปล่อยน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน (Surface Water Discharge) ดังสมการที่ (1)

$$\Delta TWS = P - (ET + Q) \quad (1)$$

โดยที่

$\Delta TWS$  คือ การเปลี่ยนแปลง Total Water Storage

$P$  คือ ปริมาณหยาดน้ำฟ้า

$ET$  คือ ปริมาณการคายระเหยของพืช

$Q$  คือ ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน

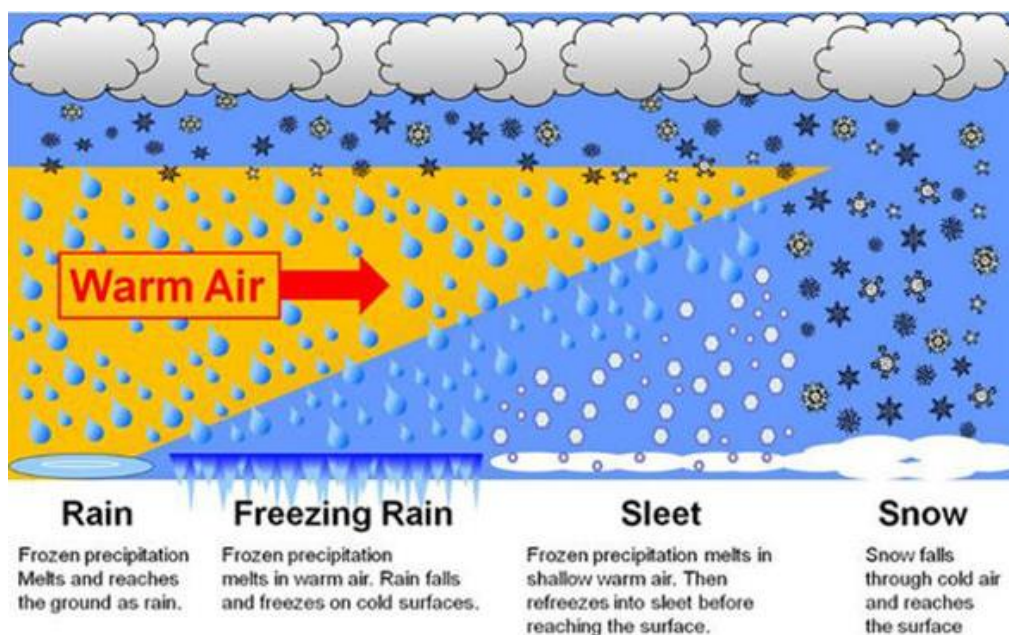
โดยสามารถอธิบายองค์ประกอบต่างๆของสมการที่ (1) ได้ดังนี้

### 2.3.1 ปริมาณหยาดน้ำฟ้า

ปริมาณหยาดน้ำฟ้า หรือ Precipitation คือน้ำที่ได้มาจากเมฆในลักษณะที่ก่อให้เกิดฝน ฝนที่มีการแข็งตัวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง หิมะฝน หิมะ หรือ ลูกเห็บ โดยเป็นส่วนหลักของวัฏจักรน้ำ กล่าวคือ น้ำในรูปแบบต่างๆที่มาจากก้อนเมฆส่วนมากคือฝน และเนื่องจากประเทศไทยไม่มีหิมะ จึงนำข้อมูลน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา มาใช้ในการศึกษาเท่านั้น โดยการวัดน้ำฝนเป็นการวัดความแรงหรือความหนาแน่นของฝน มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตรต่อหน่วยช่วงเวลา เช่น ชั่วโมง วัน (United States Geological Survey, 2018)

นอกจากนี้ ข้อมูลจาก National weateher service (2018) กล่าวว่า เมื่อไอน้ำกลั่นตัวออกจากก้อนเมฆจะเป็นหิมะเสมอ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำในชั้นบรรยากาศ และจะเปลี่ยนแปลงลักษณะออกเป็น 4 ประเภท ดังรูปที่ 2.3

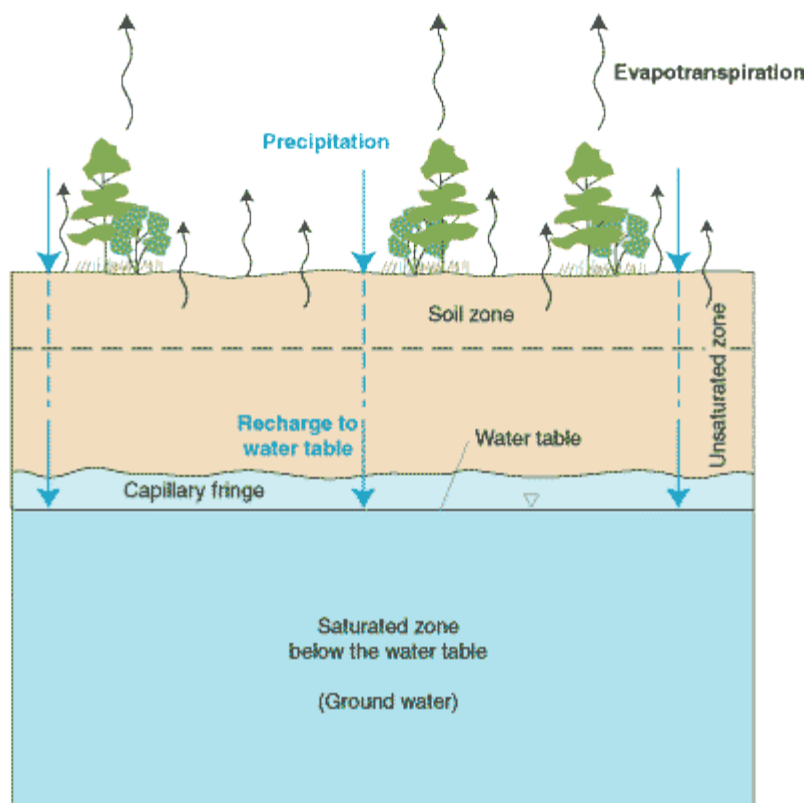
- เมื่ออากาศอุ่นจนถึงพื้นจะกลายเป็นฝน หรือ Rain
- เมื่ออากาศอุ่นบางส่วน หยดน้ำจะกลายเป็นน้ำแข็ง เมื่อตกลงพื้นจะกลายเป็น ฝนเยือกแข็ง หรือ Freezing rain
- เมื่ออากาศอุ่นเพียงเล็กน้อย เกล็ดหิมะจะกลายเป็นเม็ดกลมๆ เมื่อตกลงพื้นเรียกว่า Sleet
- เมื่อไม่มีอากาศอุ่นเลย ไอน้ำที่ตกลงพื้นจะเรียกว่า หิมะ หรือ Snow



รูปที่ 2.3 การเกิดหยาดน้ำฟ้าในรูปแบบต่างๆ  
ที่มา: (National weatheher service, 2018)

### 2.3.2 ปริมาณการคายระเหย

ข้อมูลจาก United States Geological Survey (2016) กล่าวว่า ปริมาณการคายระเหย หรือ Evapotranspiration หมายถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียน้ำจากพื้นดิน (Ground surface) สู่ชั้นบรรยากาศ โดยไม่ได้หมายรวมถึงปริมาณน้ำบนผิวดิน (Surface water) เป็นการรวมกันของกิจกรรม 2 ประเภทคือ การระเหย (Evaporation) หรือการสูญเสียน้ำจากชั้นดินอิ่มตัวแคพิลลารีของชั้นน้ำใต้ดิน (The capillary fringe) และการคายน้ำ (Transpiration) จากน้ำใต้ดินโดยพืช ทั้งนี้การคายน้ำในความหมายของการคายระเหยนั้น ยังหมายรวมไปถึงการคายน้ำทางใบของพืชด้วย



รูปที่ 2. 4 การคายระเหย (Evapotranspiration)

ที่มา: (United States Geological Survey, 2016)

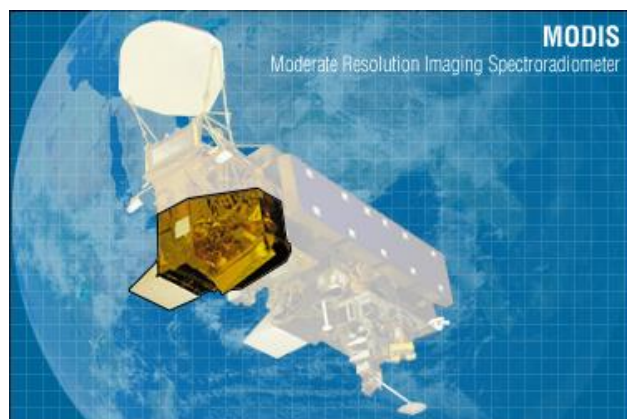
โดยข้อมูลการคายระเหยที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้ได้มาจากข้อมูล MODIS 16

ข้อมูลจาก MODIS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer หรือ MODIS เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดแสง 36 band ในช่วงคลื่น visible และ infrared ติดตั้งบนดาวเทียม AQUA สามารถตรวจวัดลักษณะทางกายภาพของชั้นบรรยากาศ ลักษณะทางกายภาพและชีวภาพของมหาสมุทรและแผ่นดิน เป็นต้น ความกว้างของภาพที่สามารถบันทึกได้คือ 2,330 กิโลเมตร (Across track) (The National Aeronautics and Space Administration, 2018)

สำหรับข้อมูลการคายระเหยนั้นใช้ชุดข้อมูล MODIS 16 เป็นข้อมูล Level 4 ที่ได้จากการประมวลผลข้อมูล MODIS Land Surface Temperature MOD 11 และ MODIS modified vegetation index MOD 13 มีความละเอียดเชิงเวลา 8 วัน 1 เดือน และ 1 ปี



และความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร (The National Aeronautics and Space Administration, 2016)



รูปที่ 2. 5 อุปกรณ์ตรวจวัด MODIS

ที่มา: (The National Aeronautics and Space Administration, 2018)

### 2.3.2 ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน

United States Geological Survey (2016a) กล่าวถึงน้ำจากแหล่งน้ำผิวดินไว้หลายประเภท เช่น น้ำในทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำ น้ำท่าใน แม่น้ำ-ลำธาร เป็นต้น

น้ำท่า หรือ Run off หมายถึง ปริมาณหนึ่งของฝนที่ตกลงมา หิมะละลาย ที่ไม่สามารถควบคุมได้ โดยจะเคลื่อนที่จากที่สูงสู่ที่ต่ำตามแรงโน้มถ่วงของโลก การจำแนกประเภทของน้ำท่า สามารถจำแนกด้วยความเร็วในการไหลของน้ำ น้ำท่าโดยมากมักอยู่รวมกันบนผิวดินหรือแม่น้ำ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลน้ำท่าหรือปริมาณน้ำในแม่น้ำจากกรมชลประทานมาใช้ในการศึกษา

เนื่องจากภาคใต้ของประเทศประกอบด้วยเขื่อนขนาดใหญ่ คือ เขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี จึงได้นำข้อมูลปริมาณกักเก็บน้ำในเขื่อนจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมาใช้ในการศึกษาด้วย

อ่างเก็บน้ำจัดเป็นอีกหนึ่งแหล่งน้ำบนพื้นดินที่น้ำจากแหล่งต่างๆไหลมาอยู่รวมกัน รวมถึงน้ำใต้ดิน โดยเป็นสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น (United States Geological Survey, 2017a)

## 2.4 การเปลี่ยนแปลงของแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

แรงโน้มถ่วง หรือ Gravity คือแรงที่วัตถุใดก็ตามที่มีมวลจะมีแรงที่กระทำต่อโลก เป็นแรงที่วัตถุยึดเข้าหาศูนย์กลางของโลก วัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีแรงโน้มถ่วงมากกว่าวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้วัตถุที่อยู่ใกล้กันจะมีแรงโน้มถ่วงกระทำต่อกันมากกว่าวัตถุที่อยู่ไกลออกไปกล่าวกันว่า แรงโน้มถ่วงนั้นไม่ได้มีค่าเท่ากันทุกพื้นที่ของโลก บริเวณที่มีมวลมากจะมีค่าแรงโน้มถ่วงมากกว่าบริเวณที่มีมวลน้อยกว่า เช่น บริเวณภูเขาจะมีแรงโน้มถ่วงมากกว่าบริเวณแหล่งน้ำ ดังนั้นเมื่อมวลมีการเปลี่ยนแปลง แรงโน้มถ่วงจะมีการเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน การเปลี่ยนแปลงของแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกสามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta g^s(R, \theta, \lambda) = -\frac{GM}{R^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left( n + 1 - \frac{2h'_n}{1 + k'_n} \right)$$

$$\sum_{m=0}^n [\bar{C}_{nm} \cos(m\lambda) + \bar{S}_{nm} \sin(m\lambda)] \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \quad (2)$$

โดยที่

$\Delta g^s$  = ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกที่วัดได้จากอวกาศ

$R$  = รัศมีของโลก

$\theta$  = ละติจูด

$\lambda$  = ลองจิจูด

$G$  = ค่าคงที่แรงโน้มถ่วง (Gravitational Constant)

$M$  = มวลโลก

$h'$  และ  $k'$  = Loaded Love Numbers

$\bar{C}_{nm}$  และ  $\bar{S}_{nm}$  = The fully normalized spherical harmonic coefficients

$\bar{P}_{nm}$  = The fully normalized associated Legendre function

$n$  และ  $m$  = degree และลำดับของ Harmonic

## 2.5 สหสัมพันธ์ Cross correlation

การหาความสัมพันธ์ Cross correlation หรือ ค่า ccf เป็นการหาความสัมพันธ์หรืออิทธิพลทางช่วงเวลาของสมมติฐานหรือข้อมูลโดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ (1) ข้อมูลนำเข้า (The input time-series) และ (2) ข้อมูลนำออก (The output time-series) (Probst, Stelzenmüller, & Fock, 2012) โดยค่าที่บ่งบอกความสัมพันธ์จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 โดยค่าที่อยู่ใกล้ -1.0 และ +1.0 จะถือว่ามีความสัมพันธ์ดีที่สุด ในขณะที่เดียวกัน ถ้าค่าความสัมพันธ์เข้าใกล้ 0 จะถือว่าไม่มีความสัมพันธ์กันที่สุด โดยค่าความสัมพันธ์ที่เป็นค่าบวก หมายถึงเมื่อตัวข้อมูลมีค่าเพิ่มขึ้น ข้อมูลอีกตัวจะมีค่าเพิ่มเติม ในทางตรงกันข้าม เมื่อค่าความสัมพันธ์เป็นลบ หมายความว่า ข้อมูลหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้น ข้อมูลอีกตัวหนึ่งจะมีค่าลดลง (ฉลอง สีแก้วสีว, 2561)

## 2.6 การประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยวิธี Kriging

การประมาณค่าเชิงพื้นที่ด้วยวิธีการ Kriging เป็นการประมาณค่าพื้นที่ที่ไม่ทราบค่าจากจุดควบคุมโดยความสัมพันธ์ของจุดควบคุมที่มีข้อมูลจะทำการถ่วงน้ำหนักของคู่สัมพันธ์ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงหรือค่าเฉลี่ยระหว่างจุดตามระยะทาง โดยใช้แบบจำลอง Semi variance โดยจัดกลุ่มข้อมูลของตำแหน่งที่ทราบค่าไว้เป็นกลุ่มตามลักษณะของข้อมูล และหาความผันแปรเพื่อมาใช้ในการถ่วงน้ำหนัก และพยากรณ์ค่าในพื้นที่ที่ไม่ทราบค่า (Environmental Systems Research Institute, 2016) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (3)$$

โดยที่

$\hat{Z}(S_0)$  = ค่าที่ถูกประมาณ

$\lambda_i$  = ค่าข้อมูลของจุดที่ทราบค่า

$Z(s_i)$  = ค่าถ่วงน้ำหนักของจุดที่ทราบข้อมูล

$S$  = จำนวนข้อมูล

### บทที่ 3

#### 3.งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

##### 3.1 A comparison of the gravity field over Central Europe from superconducting gravimeters, GRACE and global hydrological models, using EOF analysis

Crossley, De Linage, Hinderer, Boy, and Famiglietti (2012) ได้เปรียบเทียบสนามแรงโน้มถ่วงทางตอนกลางของทวีปยุโรปจากข้อมูล GRACE และแบบจำลองอุทกศาสตร์โลก โดยใช้ Empirical orthogonal function (EOF) พบว่าข้อมูลที่ได้จาก แบบจำลอง GLADAS และ Noah สามารถนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจาก GRACE ได้ และ EOF สามารถใช้ในการศึกษาในพื้นที่ได้ดี โดยสามารถระบุค่าเฉลี่ยทางพื้นที่ได้โดยไม่ต้องใช้ข้อมูลความชุ่มชื้นในดินและ groundwater จากสถานีภาคพื้นดิน นอกจากนี้ข้อมูลแรงโน้มถ่วงจาก Global Geodynamics Project (GGP) สามารถตรวจสอบข้อมูลจาก GRACE ได้ โดยใช้ข้อมูลจาก 7 สถานีในพื้นที่ศึกษา พบว่ามีความถูกต้องที่ร้อยละ 79

##### 3.2 Comparison of changes in groundwater storage using GRACE data and a hydrological model in California's central Valley

Kuss et al. (2012) ได้ศึกษาการเปรียบเทียบ การเปลี่ยนแปลงแหล่งกักเก็บน้ำใต้ดินโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม GRACE และแบบจำลองข้อมูลอุทกศาสตร์ในพื้นที่หุบเขาทางตอนกลางของแคลิฟอร์เนียในเดือนตุลาคม ค.ศ. 2002 ถึงเดือนกันยายน ค.ศ. 2009 โดยการเปลี่ยนแปลง Total Water Storage วัดได้จากข้อมูลอุทกศาสตร์ 3 ประเภทได้แก่ ปริมาณหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ปริมาณการคายระเหยน้ำของพืช (Evapotranspiration) และ ปริมาณการปล่อยน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน (Surface water discharge) ดังสมการที่ 4

$$\Delta TWS = P - (ET + Q) \quad (4)$$

โดยที่

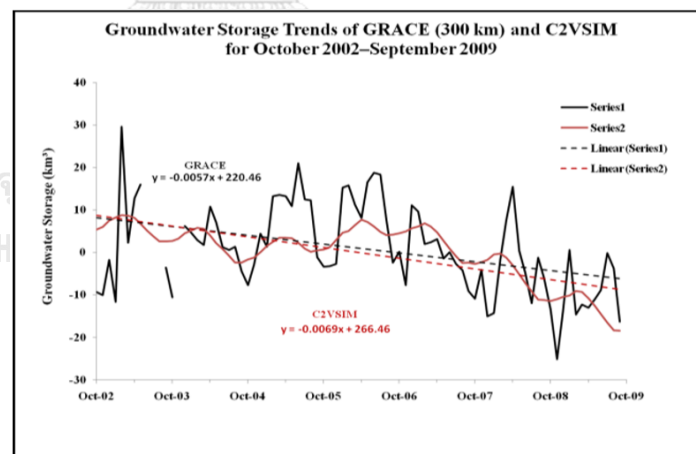
$\Delta TWS$  = การเปลี่ยนแปลง Total Water Storage

$P$  = ปริมาณหยาดน้ำฟ้า

$ET$  = ปริมาณการคายระเหยของพืช

$Q$  = ปริมาณการปล่อยน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน

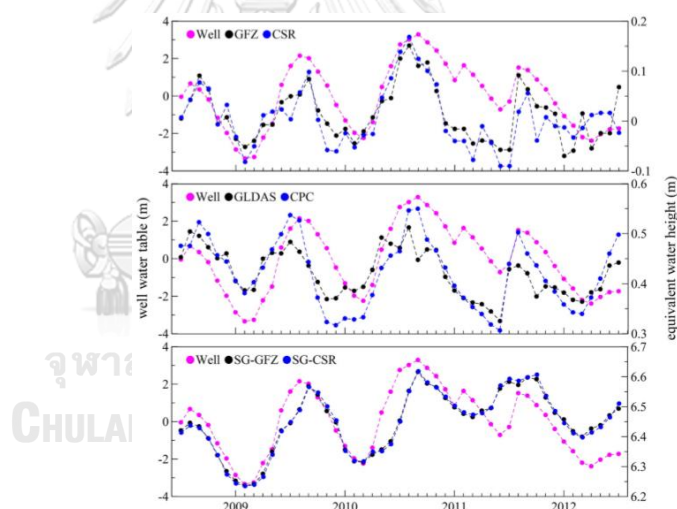
การศึกษาพบว่า การเปรียบเทียบข้อมูลจากดาวเทียม GRACE และข้อมูลอุทกศาสตร์ มีความแตกต่างกันเนื่องจากข้อมูลจากดาวเทียม GRACE มีรายละเอียดเชิงพื้นที่ที่หยาบกว่าข้อมูลอุทกศาสตร์ โดยข้อมูลจากดาวเทียม GRACE ประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงที่  $-14.47 \pm 1.45$  ตารางกิโลเมตร และข้อมูลอุทกศาสตร์ประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงที่  $-17.56 \pm 2.63$  ตารางกิโลเมตร ค่าความแตกต่างของค่าการประมาณที่ 18% ซึ่งอยู่ในเงื่อนไขที่ยอมรับได้



รูปที่ 3. 1 กราฟแสดง แนวโน้ม Groundwater Storage จาก GRACE และข้อมูลอุทกศาสตร์ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2545 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2552  
ที่มา : (Kuss et al., 2012)

### 3.3 Estimation of local water storage change by space- and ground-based gravimetry

Zhou, Sun, Xu, and Zhang (2016) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประมาณการเปลี่ยนแปลง local water storage การรังวัดแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก โดยการศึกษาค่าความถ่วงพิภพบนพื้นโลกที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม GRACE เพื่อให้ได้ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก และนำมาศึกษา local water storage โดยแรงโน้มถ่วงบนโลกนั้นมีผลจากการเปลี่ยนแปลงของ Local water storage งานวิจัยชิ้นนี้ได้้นำ (1) ข้อมูลน้ำบาดาลเปรียบเทียบกับข้อมูลจากดาวเทียม GRACE (2) ข้อมูลน้ำบาดาลเปรียบเทียบกับข้อมูลอุทกศาสตร์ (3) ข้อมูลน้ำบาดาลเปรียบเทียบกับข้อมูลจากดาวเทียม GRACE ร่วมกับข้อมูลแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก ที่วัดจากสถานีรังวัด Wuhan เปรียบเทียบกับข้อมูลอุทกศาสตร์ พบว่าต่างให้ค่าแหล่งเก็บน้ำ (Local water storage) ที่ใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความถ่วงพิภพบนพื้นโลกที่วัดจากสถานีรังวัด Wuhan



รูปที่ 3. 2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูล

กราฟบน การเปรียบเทียบข้อมูลน้ำบาดาล และ ข้อมูลจากดาวเทียม GRACE

กราฟกลาง การเปรียบเทียบข้อมูลน้ำบาดาล และ ข้อมูลอุทกศาสตร์

กราฟล่าง การเปรียบเทียบข้อมูลน้ำบาดาล และ ข้อมูลจากดาวเทียม GRACE ร่วมกับข้อมูลค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกที่วัดจากสถานีรังวัด Wuhan

ที่มา: (Zhou et al., 2016)

### 3.4 GRACE Gravity satellite observations of terrestrial water storage changes for drought characterization in the arid land of Northwestern China

Cao, Nan, and Cheng (2015) ได้ศึกษาคุณลักษณะของภัยแล้งจากข้อมูลการเปลี่ยนแปลง water storage บนพื้นดินจากข้อมูลจากดาวเทียม GRACE ในพื้นที่แห้งแล้งทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศจีน โดยใช้ข้อมูลตัวบ่งชี้พื้นที่แห้งแล้งที่ได้จาก ข้อมูล verified GRACE-recovered total water storage deficit index (TSDI) คำนวณได้จาก GRACE-recovered terrestrial water storage changes (TWSC) โดยทำการศึกษารูปแบบความแห้งแล้งในพื้นที่ พบว่า ข้อมูล GRACE-recovered TWSC สามารถบ่งชี้ลักษณะของ TWSC ได้ดี เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจากแบบจำลองข้อมูลอุทกศาสตร์และปริมาณน้ำฝนรายวัน ข้อมูล verified GRACE-recovered TSDI ตรวจพบเหตุการณ์ภัยแล้งที่รุนแรงและเป็นช่วงเวลานาน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2551 – เดือนธันวาคม พ.ศ. 2552 ข้อมูล GRACE-derived TSDI เป็นตัวบ่งชี้เหตุการณ์ภัยแล้งที่สามารถนำมาพิจารณาองค์ประกอบทางอุทกศาสตร์ทั้งในพื้นที่ระดับภูมิภาคหรือทั่วโลกได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ศึกษาการเฝ้าระวังภัยแล้งโดยใช้ข้อมูล GRACE-recovered TWSC ได้

### 3.5 Estimation of quantitative measures of total water storage variation from GRACE and GLDAS-NOAH satellites using geospatial technology

Singh et al. (2017) ได้ทำการศึกษาการประมาณค่าการวัดปริมาณการเปลี่ยนแปลง total water storage จากข้อมูลจาก GRACE และ GLDAS-NOAH โดยใช้เทคโนโลยี Geospatial ในพื้นที่ New Delhi and Haryana state, Rajasthan และ Uttar Pradesh ประเทศอินเดีย โดยทำการหา Total water storage ดังนี้

Terrestrial water storage changes จาก GRACE สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$TWS_N = (TWS_{N+1} - TWS_{N-1}) \quad (5)$$

$$\Delta TWS_N = (TWS_{N+1} - TWS_N) \quad (6)$$

โดยที่

TWS = Terrestrial water storage store

$\Delta$ TWS = The change in terrestrial water storage

N = ลำดับการวัด

Ground water storage changes จาก GRACE สามารถคำนวณได้ดังต่อไปนี้

$$\Delta TWS = \Delta SMSC + \Delta CWS + \Delta GWS \quad (7)$$

โดยที่

$\Delta TWS$  = The change in terrestrial water storage

$\Delta SMSC$  = Storage change in soil moisture

$\Delta CWS$  = The change in canopy water storage

$\Delta GWS$  = Storage change in groundwater

พบว่าการประมาณการเปลี่ยนแปลง total water storage โดยใช้ข้อมูลจาก GRACE ในพื้นที่ New Delhi and Haryana state มีค่าการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึง ค่าเฉลี่ยการสูญเสีย groundwater ใน New Delhi Haryana มีค่า  $9.7 \pm$  กิโลเมตร<sup>3</sup>/ปี Rajasthan มีค่า  $33.199 \pm$  กิโลเมตร<sup>3</sup>/ปี Uttar Pradesh มีค่า  $44.4827 \pm$  กิโลเมตร<sup>3</sup>/ปี และทั้งพื้นที่ศึกษามีค่า  $86.43 \pm$  กิโลเมตร<sup>3</sup>/ปี

### 3.6 Estimation of GRACE water storage components by temporal decomposition

Andrew, Guan, and Batelaan (2017) ได้ศึกษาการประมาณค่าองค์ประกอบของแหล่งเก็บน้ำจากข้อมูลดาวเทียม GRACE ตามช่วงเวลาในประเทศออสเตรเลีย การประมาณค่าแหล่งน้ำนั้นมีประโยชน์อย่างมากในการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงและแนวโน้มของข้อมูลอุทกศาสตร์ มีการนำข้อมูลจากดาวเทียม GRACE มาจำแนกเป็นชั้นข้อมูลแหล่งน้ำต่างๆ รวมไปถึง น้ำในดิน แหล่งน้ำบนพื้นดิน และใช้แบบจำลองจาก Australian water resources assessment ในการจำแนกแหล่งเก็บน้ำทั้งหมดในพื้นที่ศึกษา พบว่าการจำแนกข้อมูลจากดาวเทียม GRACE ให้เป็นแหล่งเก็บน้ำประเภทต่างๆให้ผลดีกว่าการใช้ข้อมูลที่ไม่ได้มีการแบ่งประเภทของแหล่งเก็บน้ำ โดยค่า  $R^2$  มีค่าสูงขึ้น และค่า RMS-error มีค่าลดลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจากดาวเทียม GRACE ที่มีการจำแนกประเภทแหล่งน้ำและข้อมูลจากดาวเทียม GRACE ที่ไม่มีการจำแนกแหล่งน้ำ



### 3.7 GRACE-based estimates of water discharge over the Yellow river basin

Li, Zhong, Luo, Yao, and Geodynamics (2016) ได้ศึกษาการประมาณค่าการปล่อยน้ำ บริเวณลุ่มน้ำแม่น้ำเหลือง ประเทศจีน โดยแบบจำลอง GRACE monthly gravity field, แบบจำลอง Global hydrological จาก GLDAS และ ปริมาณ น้ำฝน จาก The global precipitation climatology project (GPCP) พบว่าปริมาณการปล่อยน้ำจากลุ่มน้ำเหลืองประมาณค่าได้จาก water balance equation ดังนี้

$$\frac{dS}{dt} = P(t) - R(t) - ET(t) \quad (8)$$

โดยที่

t = เวลา

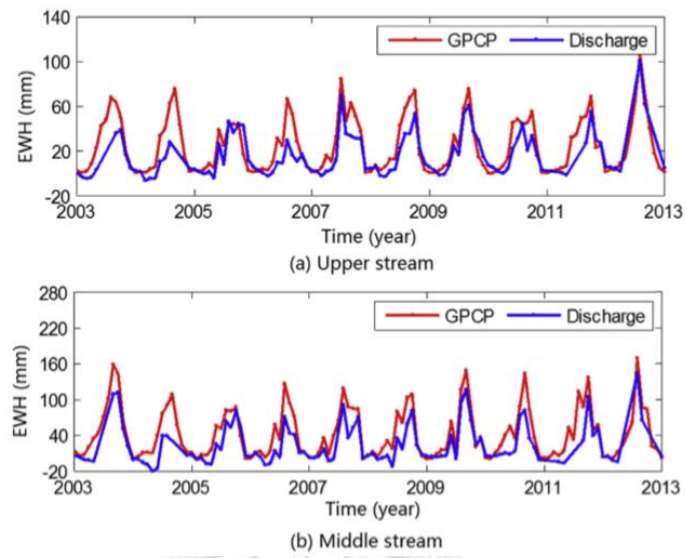
S = The terrestrial water storage จาก GRACE

P = The basin-wide totals of precipitation

E = The basin-wide totals of evapotranspiration

R = ปริมาณการปล่อยน้ำทั้งหมด

จากการเปรียบเทียบข้อมูลจาก GRACE ร่วมกับ GLDAS พบว่า สามารถคำนวณค่าการปล่อยน้ำจากลุ่มน้ำได้ดี และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจากสถานีวัดน้ำ การประมาณค่าปริมาณการปล่อยน้ำจาก Water balance equation สามารถแสดงข้อมูลการปล่อยน้ำจากปริมาณน้ำฝนได้ดี โดยพบค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ปล่อยออกมาและน้ำฝนที่ 0.89 สำหรับลุ่มน้ำช่วงบน และ 0.92 สำหรับลุ่มน้ำช่วงกลางของแม่น้ำเหลือง



รูปที่ 3. 3 กราฟการเปรียบเทียบทางช่วงเวลาของปริมาณฝนและการปล่อยน้ำ  
ที่มา: (Li et al., 2016)

## บทที่ 4

### 4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา โปรแกรมที่ใช้ในการศึกษา ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด ดังต่อไปนี้

##### 4.1.1 ข้อมูลค่าความถ่วงพิภพบนพื้นโลกจากดาวเทียม GRACE

ข้อมูลค่าความถ่วงพิภพบนพื้นโลก Harmonics 5X5 รายสัปดาห์ ช่วงปี

พ.ศ. 2545 – 2553 หรือ ค.ศ. 2002 – 2010 จาก

[ftp://podaac.jpl.nasa.gov/allData/tellus/preview/L2/deg\\_5/CSR.Weekly.](ftp://podaac.jpl.nasa.gov/allData/tellus/preview/L2/deg_5/CSR.Weekly.5x5.Gravity_Harmonics.txt)

[5x5.Gravity\\_Harmonics.txt](ftp://podaac.jpl.nasa.gov/allData/tellus/preview/L2/deg_5/CSR.Weekly.5x5.Gravity_Harmonics.txt)

EPOCH	53211.0	2004.573834				
GEOEST	1 0	5.98868	0.00000	6.43516	0.00000	2004.573834
GEOEST	2 0	-3.16289	0.00000	0.18186	0.00000	2004.573834
GEOEST	3 0	-1.56982	0.00000	0.90931	0.00000	2004.573834
GEOEST	4 0	-1.49997	0.00000	0.67134	0.00000	2004.573834
GEOEST	5 0	3.32531	0.00000	0.79735	0.00000	2004.573834
GEOEST	1 1	0.75525	1.26042	5.51954	5.45525	2004.573834
GEOEST	2 1	-1.02102	0.88005	1.20353	1.02181	2004.573834
GEOEST	2 2	-2.42029	-1.44757	2.28750	1.88724	2004.573834
GEOEST	3 1	-0.01754	-1.76241	2.44059	2.46436	2004.573834
GEOEST	3 2	0.02232	-1.40800	3.75962	3.76638	2004.573834
GEOEST	3 3	-2.26411	-1.93706	7.26801	7.28926	2004.573834
GEOEST	4 1	0.94718	-0.34206	2.79943	2.02495	2004.573834
GEOEST	4 2	-0.77318	-0.65582	2.33540	2.40309	2004.573834
GEOEST	4 3	1.32417	0.57329	2.39333	2.52688	2004.573834
GEOEST	4 4	-0.37801	-0.61375	3.81981	4.12531	2004.573834
GEOEST	5 1	-0.26671	-2.32385	3.25303	3.30808	2004.573834
GEOEST	5 2	-1.17127	0.56535	4.21136	4.15223	2004.573834
GEOEST	5 3	-2.03934	-2.10585	6.15035	6.39209	2004.573834
GEOEST	5 4	0.58090	0.69839	4.53030	4.38402	2004.573834
GEOEST	5 5	-4.26468	0.27289	7.68281	7.42909	2004.573834

รูปที่ 4. 1 ตัวอย่างข้อมูลค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก Harmonics 5X5 รายสัปดาห์จาก GRACE

ที่มา: (The National Aeronautics and Space Administration, 2017)

##### 4.1.2 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายเดือน

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนภาคใต้รายเดือนจากกรมอุตุนิยมวิทยาช่วงปี พ.ศ.

2545 – 2553 และข้อมูลน้ำฝนเฉลี่ย 30 ปี (พ.ศ.2531 – 2560 หรือ ค.ศ. 1988 –

2017)

##### 4.1.3 ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน

ข้อมูลปริมาณน้ำท่าภาคใต้จากกรมชลประทานรายเดือนช่วงปี พ.ศ. 2545

– 2553

## ปริมาณน้ำ รายเดือน - รายปี / ล้านลูกบาศก์เมตร อท.05

สถานี X.36 คลองพุมดวง บ้านท่าขนอน อ.สิริรัตนาคม จ.สุราษฎร์ธานี พื้นที่รับน้ำ 2968.210 ตารางกิโลเมตร

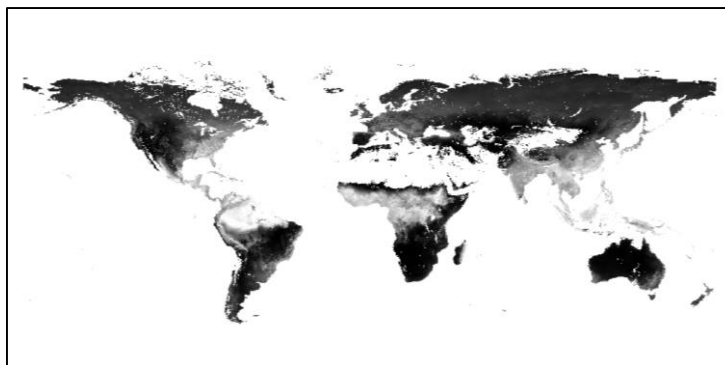
ปีน้ำ		ปริมาณน้ำ - รายเดือน											ปริมาณน้ำ			
		เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.	มค.	กพ.	มีค.	รายปี	เฉลี่ย	เฉลี่ย/พท.
พ.ศ.	ค.ศ.													ล้าน ลบ.ม.	ลบ.ม./กิล.	กิล./ตร.กม.
2532	1989	308.92	493.20	423.90	509.67	1014.55	676.98	736.96	588.95	457.50	225.12	56.42	77.09	5569.26	176.60	59.50
2533	1990	116.85	231.73	335.87	240.70	337.37	479.41	525.40	450.63	251.64	238.40	71.66	130.23	3409.89	108.13	36.43
2534	1991	169.75	234.00	282.40	323.10	435.77	690.80	472.10	285.10	150.20	130.30	124.30	218.30	3516.12	111.50	37.56
2535	1992	201.40	223.55	269.85	220.34	305.46	276.08	321.08	267.50	144.43	94.71	98.18	123.13	2545.73	80.72	27.20
2536	1993	127.04	193.97	173.20	346.37	246.91	412.48	421.16	310.97	333.45	174.70	204.20	177.68	3122.12	99.00	33.35
2537	1994	157.47	266.60	274.70	430.52	376.63	814.86	301.21	241.28	152.00	106.17	113.75	177.49	3412.69	108.22	36.46
2538	1995	132.41	136.39	152.89	68.41	329.94	640.33	243.48	460.73	106.84	62.93	32.74	67.81	2434.91	77.21	26.01
2539	1996	42.94	67.20	88.54	128.92	307.75	715.10	622.10	480.18	544.98	100.45	139.05	160.16	3397.36	107.73	36.29
2540	1997	119.53	264.42	214.58	299.29	859.46	583.69	490.35	312.56	287.73	228.18	158.01	313.74	4131.53	131.01	44.14
2541	1998	399.08	367.66	488.57	419.42	389.71	496.60	796.74	562.94	252.30	94.93	129.73	341.31	4739.00	150.27	50.63
2542	1999	340.56	292.03	376.68	435.09	389.95	284.94	513.48	400.55	174.22	120.38	101.18	107.38	3536.44	112.14	37.78
2543	2000	263.68	525.80	435.26	426.68	703.97	460.49	612.40	534.36	318.69	210.85	179.79	196.61	4868.58	154.38	52.01
2544	2001	217.93	269.27	331.70	506.77	418.55	475.55	478.88	339.41	237.84	156.60	159.08	334.26	3925.83	124.49	41.94
2545	2002	366.63	453.32	400.99	585.20	605.86	612.41	526.13	520.29	397.63	185.41	54.19	131.25	4839.31	153.45	51.70
2546	2003	193.53	243.52	205.09	237.74	354.80	515.77	342.65	285.49	327.64	144.41	162.71	219.77	3233.13	102.52	34.54
2547	2004	208.84	132.64	239.71	316.03	419.55	184.14	340.33	186.87	121.58	98.01	207.15	88.84	2543.69	80.66	27.17
2548	2005	149.26	147.27	277.10	185.74	213.48	245.31	425.26	287.64	299.71	119.85	194.68	290.66	2835.98	89.93	30.30
2549	2006	167.77	487.67	307.41	512.98	497.80	532.72	939.53	352.25	251.46	207.50	171.03	123.15	4551.28	144.32	48.62
2550	2007	159.01	344.05	355.43	577.14	498.73	476.34	595.59	467.21	288.13	82.08	209.34	258.36	4311.40	136.34	45.93
2551	2008															
2552	2009															
2553	2010	221.52	286.88	230.07	335.83	284.62	262.40	377.48	493.63	279.50	154.15	140.54	554.58	3621.20	114.83	38.69
2554	2011	725.07	365.46	525.11	546.63	616.12	760.93	737.48	265.77	256.61	392.40	233.56	339.69	5764.83	182.30	61.42
2555	2012	483.69	718.91	789.22	528.26	390.76	629.99	333.39	383.86	244.07	175.53	211.33	279.15	5168.17	163.88	55.21
2556	2013	193.67	196.67	456.57	313.27	522.18	434.18	638.77	347.98	155.70	100.41	135.32	205.92	3700.64	117.35	39.53
2557	2014	525.38	81.35	829.42	807.36	401.70	371.52	480.28	439.73	348.54	160.14	121.74	241.32	4808.46	152.48	51.37
2558	2015	234.84	219.04	169.60	551.98	568.40	748.90	692.40	332.20	300.23	474.98	272.24	260.72	4825.54	152.60	51.41
2559	2016	173.98	319.49	482.24	611.03	719.69	826.44	850.24	407.64	402.94	402.81	227.89	327.11	5751.50	182.38	61.44
สูงสุด		725.07	718.91	829.42	807.36	1014.55	826.44	939.53	588.95	544.98	474.98	272.24	554.58	5764.83	182.38	61.44
เฉลี่ย		246.18	290.85	350.62	402.48	469.61	523.40	531.34	384.83	272.52	178.52	150.38	220.99	4021.71	127.53	42.96
ต่ำสุด		42.94	67.20	88.54	68.41	213.48	184.14	243.48	186.87	106.84	62.93	32.74	67.81	2434.91	77.21	26.01

รูปที่ 4. 2 ตัวอย่างข้อมูลปริมาณน้ำ

ที่มา: (กรมชลประทาน, 2018)

#### 4.1.4 ข้อมูลการคายระเหย

ข้อมูลการคายระเหยรายเดือนจาก MODIS16 ช่วงปี พ.ศ. 2545 – 2553 และข้อมูลการคายระเหยเฉลี่ย 15 ปี (พ.ศ.2543 – 2557 หรือ ค.ศ. 2000 – 2014)



รูปที่ 4. 3 ข้อมูลการคายระเหยจากดาวเทียม AQUA/MODIS  
ที่มา: (The National Aeronautics and Space Administration, 2016)

#### 4.1.5 ข้อมูลปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อน

ข้อมูลปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อนรัชชประภาจังหวัดสุราษฎร์ธานี ช่วงปี พ.ศ. 2545 – 2553 หรือ ค.ศ. 2002 – 2010 จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

#### 4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

4.2.1 ซอฟต์แวร์ Excel 2013 และ Word 2013 จาก Microsoft Office

4.2.2 ซอฟต์แวร์ ArcGIS 2015

4.2.3 ซอฟต์แวร์ Minitab

4.2.4 ซอฟต์แวร์ MATLAB 2015

4.2.5 คอมพิวเตอร์พกพา

### 4.3 วิธีการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมา เพื่อนำมาพัฒนาและออกแบบวิธีการ  
ดำเนินวิจัยให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยมีวิธีดังนี้

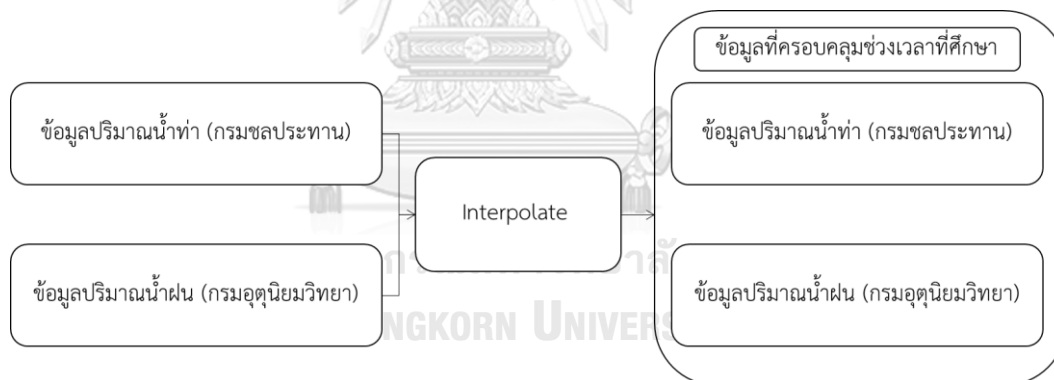
#### 4.3.1 การประมวลผลข้อมูลปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำฝน

เนื่องจากข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ได้จากกรมชลประทานและข้อมูลน้ำฝนรายเดือนที่  
ได้จากกรมอุตุนิยมวิทยาทั่วพื้นที่ภาคใต้ นั้น ในทุกสถานีของข้อมูลแต่ละชนิด มิได้ครอบคลุมพื้นที่  
ศึกษาทั้งหมดในช่วงเวลาปีพ.ศ. 2545 – 2553 (ค.ศ. 2002 -2010) จึงทำการ Interpolate ข้อมูลแต่ละ  
ชนิดรายเดือน ด้วยคำสั่ง Kriging ให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาทั้งหมด จากนั้นพิจารณาว่าข้อมูล ณ  
สถานีใดที่สามารถนำมาศึกษาได้ในช่วงเวลาดังกล่าว พบว่ามีทั้งหมด 19 สถานีที่สามารถใช้ในการ  
การศึกษาได้ดังต่อไปนี้ และรูปที่ 4.2 ตามลำดับ

1. สถานีกรมชลประทานบ้านย่านดินแดง อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี
2. สถานีกรมชลประทานบ้านท่าใหญ่ อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช
3. สถานีกรมชลประทานบ้านท่าแค อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง
4. สถานีกรมชลประทานบ้านวังก้อง อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช
5. สถานีกรมชลประทานบ้านควนอินนอโม อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง
6. สถานีกรมชลประทานบ้านวังพระเคียน อำเภอคลองละงู จังหวัดสตูล
7. สถานีกรมชลประทานบ้านเสาธง อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช
8. สถานีกรมชลประทานบ้านคลองลำ อำเภอศรีนครินทร์ จังหวัดพัทลุง
9. สถานีกรมชลประทานโรงเรียนสตรีภูเก็ต อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต
10. สถานีกรมชลประทานบ้านนาป่า อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช
11. สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาชุมพร อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร
12. สถานีเกษตรอากาศสวี อำเภอสวี จังหวัดชุมพร
13. สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาระนอง อำเภอเมือง จังหวัดระนอง

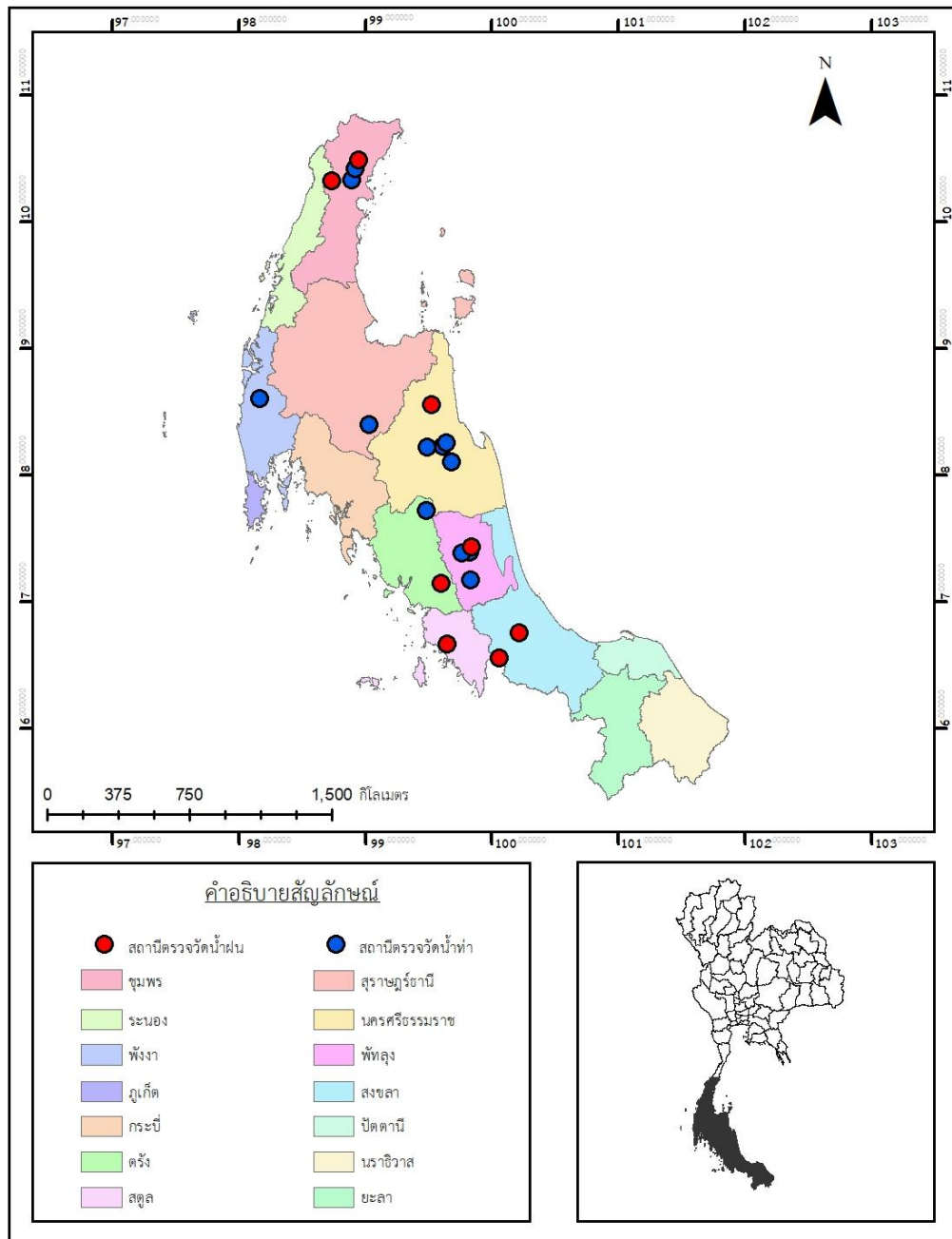
14. สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาสุราษฎร์ธานี อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
15. สถานีกรมอุตุนิยมวิทยานครศรีธรรมราช อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช
16. สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาภูเก็ต อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต
17. สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาตรัง อำเภอเมือง จังหวัดตรัง
18. สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาหาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา
19. สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาสตูล อำเภอเมือง จังหวัดสตูล

จากนั้นจึงใช้คำสั่ง Extract multi values to points เพื่อนำออกข้อมูลรายเดือนของแต่ละสถานีในช่วงเวลาที่ศึกษา ดังรูปที่ 4.1 โดยทั้งนี้ ข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละเดือนได้ใช้ข้อมูลที่มีมากที่สุดเพื่อให้การ Interpolate มีความประสิทธิภาพสูงสุด จากนั้นบันทึกผลลงโปรแกรม Excel



รูปที่ 4. 4 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลปริมาณน้ำท่าและข้อมูลปริมาณน้ำฝน

# สถานที่ที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 4. 5 แผนที่แสดงที่ตั้งสถานที่ใช้ในการศึกษา



#### 4.3.2 การประมวลผลข้อมูลการคายระเหย

นำข้อมูล MODIS 16 เข้าสู่โปรแกรม ArcGIS ใช้คำสั่ง Extract multi values to points เพื่อนำออกค่าการคายระเหยจากสถานีที่ศึกษา 19 สถานีในข้อ 4.3.1 และบันทึกผลลงโปรแกรม Excel

#### 4.3.3 การประมวลผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage

นำข้อมูลปริมาณน้ำท่า ปริมาณน้ำฝน และปริมาณการคายระเหย รายเดือน แต่ละสถานี มาคำนวณดั่งสมการที่ 9 และบันทึกผลลงโปรแกรม Excel ดังแสดงในกราฟ 5.1

$$\Delta TWS = P - (ET + Q) \quad (9)$$

โดยที่

$\Delta TWS$  = การเปลี่ยนแปลง Total Water Storage

$P$  = ปริมาณน้ำฝนที่ได้จาก 4.3.1

$ET$  = ปริมาณการคายระเหยของพืชที่ได้จาก 4.3.2

$Q$  = ปริมาณน้ำท่าที่ได้จาก 4.3.1

#### 4.3.4 การประมวลผลข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

นำข้อมูลค่าความถ่วงพิภพบนพื้นโลก Harmonics 5X5 รายสัปดาห์ ช่วงปี พ.ศ. 2545 – 2553 สูโปรแกรม MATLAB เพื่อคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกของสถานีทั้งหมด 19 สถานีจากข้อ 4.3.1 ดังสมการที่ 10 จากนั้นแปลงข้อมูลรายสัปดาห์ให้เป็นข้อมูลรายเดือน และบันทึกผลลงโปรแกรม Excel ดังแสดงในกราฟ 5.2

$$\Delta g^S(R, \theta, \lambda) = -\frac{GM}{R^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left( n + 1 - \frac{2h'_n}{1 + k'_n} \right) \sum_{m=0}^n [\bar{C}_{nm} \cos(m\lambda) + (\bar{S}_{nm} \sin(m\lambda))] \bar{P}_{nm}(\cos \theta) \quad (10)$$

โดยที่

$\Delta g^S$  = ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกที่วัดได้จากอวกาศ

$R$  = รัศมีของโลก

$\theta$  = ละติจูด

$\lambda$  = ลองจิจูด

$G$  = ค่าคงที่แรงโน้มถ่วง (Gravitational Constant)

$M$  = มวลโลก

$h'$  และ  $k'$  = Loaded Love Numbers

$\bar{C}_{nm}$  และ  $\bar{S}_{nm}$  = The fully normalized spherical harmonic coefficients

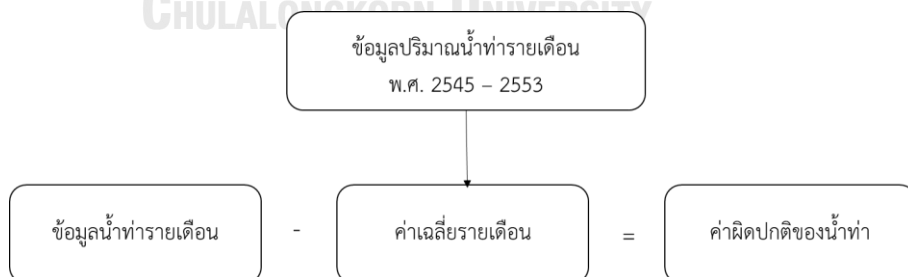
$\bar{P}_{nm}$  = The fully normalized associated Legendre function

$n$  และ  $m$  = degree และลำดับของ Harmonic

#### 4.3.5 การประมวลผลค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่า

นำข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการ Interpolate จากข้อ 4.3.1 โดยเริ่มจากหาข้อมูลเฉลี่ยรายเดือน รายสถานี ของช่วงข้อมูล พ.ศ. 2545 – 2553 หรือ ค.ศ. 2002 -2010 จากนั้นนำค่าข้อมูลจริงที่ได้จากข้อ 4.3.1 มาคำนวณเพื่อหาค่าความผิดปกติ ดังสมการที่ 11 และบันทึกผลลงโปรแกรม Excel

$$\text{ค่าจริง} - \text{ค่าเฉลี่ย} = \text{ค่าความผิดปกติ} \quad (11)$$

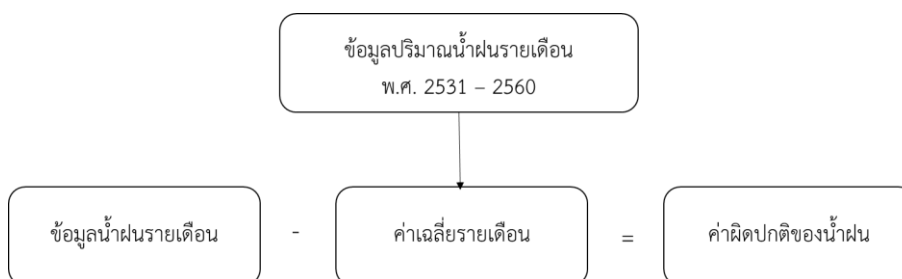


รูปที่ 4. 6 ขั้นตอนการประมวลผลค่าความผิดปกติของน้ำท่า

#### 4.3.6 การประมวลผลค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝน

นำข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้จากการ Interpolate จากข้อ 4.3.1 โดยเริ่มจากหาข้อมูลเฉลี่ยรายเดือน รายสถานี ของช่วงข้อมูล พ.ศ. 2531 – 2560 หรือ ค.ศ. 1988 -2017 จากนั้น

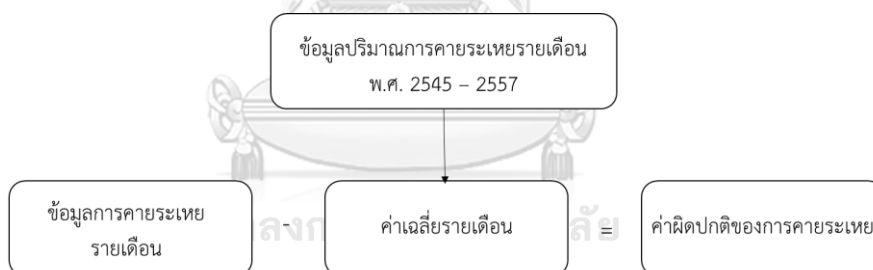
นำค่าข้อมูลจริงที่ได้จากข้อ 4.3.1 ของช่วงข้อมูลที่ศึกษา พ.ศ. 2545 – 2553 หรือ ค.ศ. 2002 -2010 มาคำนวณเพื่อหาค่าความผิดพลาด ดังสมการที่ 11 และบันทึกผลลงโปรแกรม Excel



รูปที่ 4. 7 ขั้นตอนการประมวลผลค่าความผิดพลาดของน้ำฝน

#### 4.3.7 การประมวลผลค่าความผิดพลาดของปริมาณการคายระเหย

นำข้อมูลปริมาณปริมาณการคายระเหย จากMODIS 16 มาทำการ Extract multi values to points เพื่อนำออกค่าการคายระเหยจากสถานีที่ศึกษา 19 สถานีในข้อ 4.3.1 ตั้งแต่ปี พ.ศ.2543 – 2557 รายเดือน รายสถานี จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ยรายเดือน รายสถานี ของช่วงข้อมูล พ.ศ. 2543 – 2557 หรือ ค.ศ. 2000 -2014 จากนั้นนำค่าข้อมูลจริงที่ได้จากข้อ 4.3.3 มาคำนวณเพื่อหาค่าความผิดพลาด ดังสมการที่ 11 และบันทึกผลลงโปรแกรม Excel



รูปที่ 4. 8 ขั้นตอนการประมวลผลค่าความผิดพลาดของการคายระเหย

#### 4.3.8 การประมวลผลค่าความผิดพลาดของการเปลี่ยนแปลง Total water storage

นำข้อมูลค่าผิดพลาดรายเดือน รายสถานี ทั้งข้อมูลค่าผิดพลาดปริมาณน้ำท่าจากข้อ 4.3.5 ข้อมูลค่าผิดพลาดปริมาณน้ำฝนจากข้อ 4.3.6 และ ข้อมูลค่าผิดพลาดปริมาณการคายระเหยจากข้อ 4.3.7 มาคำนวณดังสมการที่ 12 และบันทึกผลลงโปรแกรม Excel ดังแสดงในกราฟ 5.4

$$\Delta TWS_a = P_a - (ET_a + Q_a) \quad (12)$$

โดยที่

$\Delta TWS_a$  = ค่าผิดปกติการเปลี่ยนแปลง Total Water Storage

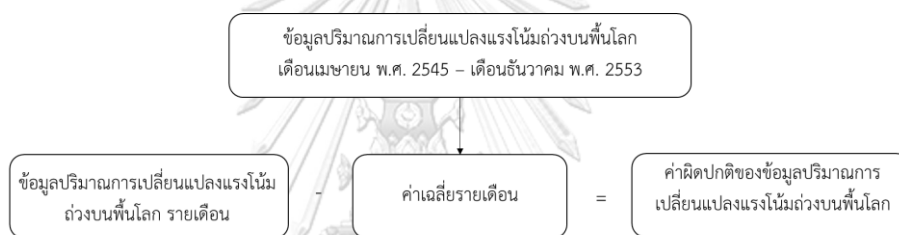
$P_a$  = ค่าผิดปกติปริมาณน้ำฝนที่ได้จาก

$ET_a$  = ค่าผิดปกติปริมาณการคายระเหยของพืชที่ได้จาก

$Q_a$  = ค่าผิดปกติ ปริมาณน้ำท่าที่ได้จาก

#### 4.3.9 การประมวลผลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก

นำข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกที่ได้จากการการคำนวณในข้อที่ จากข้อ 4.3.4 โดยเริ่มจากหาข้อมูลเฉลี่ยรายเดือน รายสถานี ของช่วงข้อมูล พ.ศ. 2545 – 2553 หรือ ค.ศ. 2002 -2010 จากนั้นนำค่าข้อมูลจริงที่มากำหนดเพื่อหาค่าความผิดปกติ ดังสมการที่ 11 และบันทึกผลลงโปรแกรม Excel ดังแสดงในกราฟ 5.6



รูปที่ 4. 9 ขั้นตอนการประมวลผลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก

#### 4.3.10 การหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลง Total water storage และการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก

นำข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage จากข้อ 4.3.3 และข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกจากข้อ 4.3.4 มาหาความสัมพันธ์กันโดยแสดงผลในรูปแบบกราฟ จากนั้นวิเคราะห์และหาความสัมพันธ์ของข้อมูล

#### 4.3.11 การหาความสัมพันธ์ทางช่วงเวลาระหว่างค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage และการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก

นำข้อมูลความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage จากข้อ 4.3.7 และข้อมูลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกจากข้อ 4.3.8 มาหาความสัมพันธ์กันโดยใช้โปรแกรม Minitab โดยจะวิเคราะห์ช่วงเวลารายปีเพื่อหาความสัมพันธ์ Cross correlation จากนั้นบันทึกผลลงโปรแกรม Excel

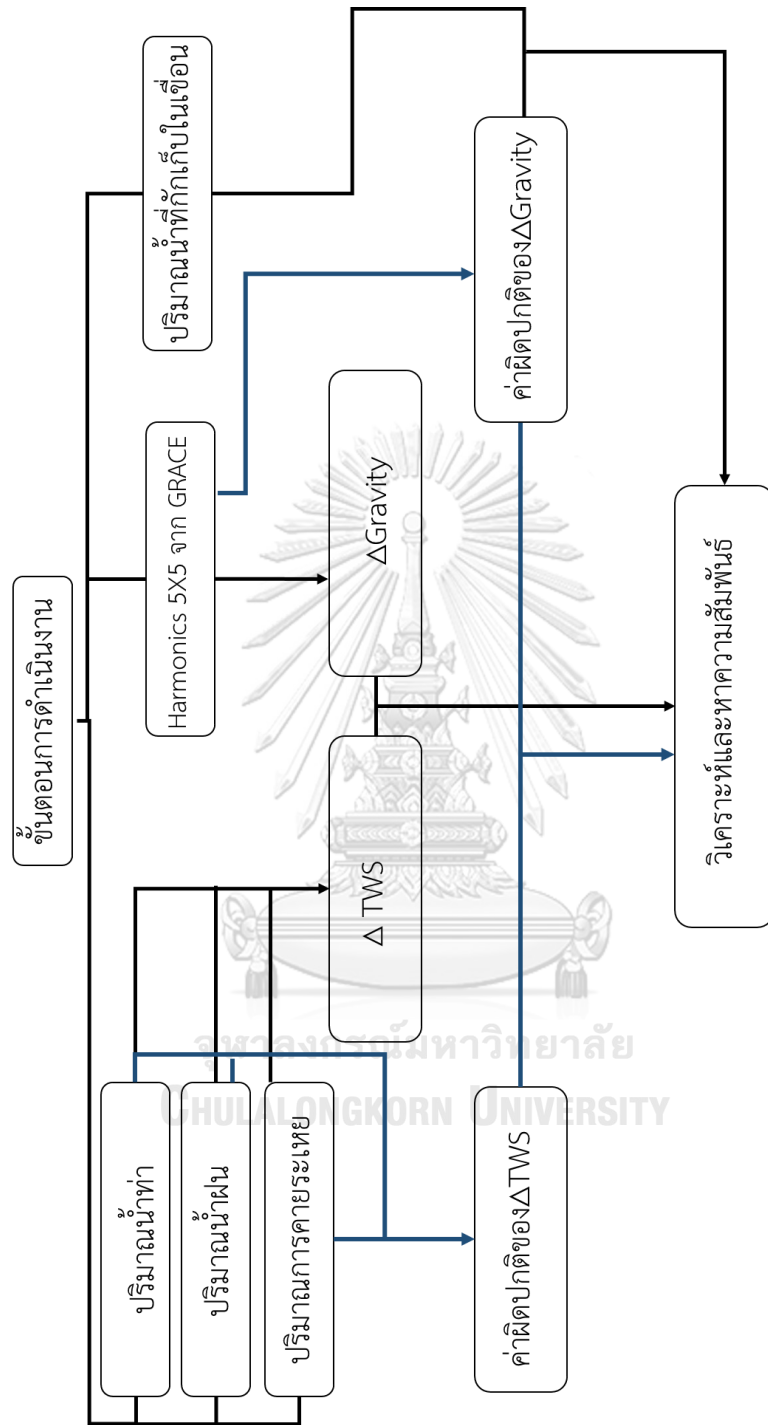
#### 4.3.12 การหาความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงและทางช่วงเวลาระหว่างปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อนรัชชประภา จังหวัด สุราษฎร์ธานี และการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก

เนื่องจากปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อนจัดเป็นน้ำที่อยู่บนผิวดิน (Surface water) ซึ่งอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกได้ จึงได้ทำการศึกษา โดยใช้ข้อมูลปริมาณการกักเก็บน้ำในเขื่อนรายเดือนจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมาหาความสัมพันธ์กับค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลทางช่วงเวลาจะใช้ข้อมูลปริมาณการกักเก็บน้ำในเขื่อนรายเดือนกับค่าการประมวลผลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก โดยใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับข้อ 4.3.8 โดยจะวิเคราะห์ช่วงเวลารายปีเพื่อหาความสัมพันธ์ Cross correlation จากนั้นบันทึกผลลงโปรแกรม Excel ดังแสดงในกราฟ 5.7

#### 4.3.13 สรุปและนำเสนอผล



#### 4.4 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 4. 10 ขั้นตอนการดำเนินงาน

## บทที่ 5

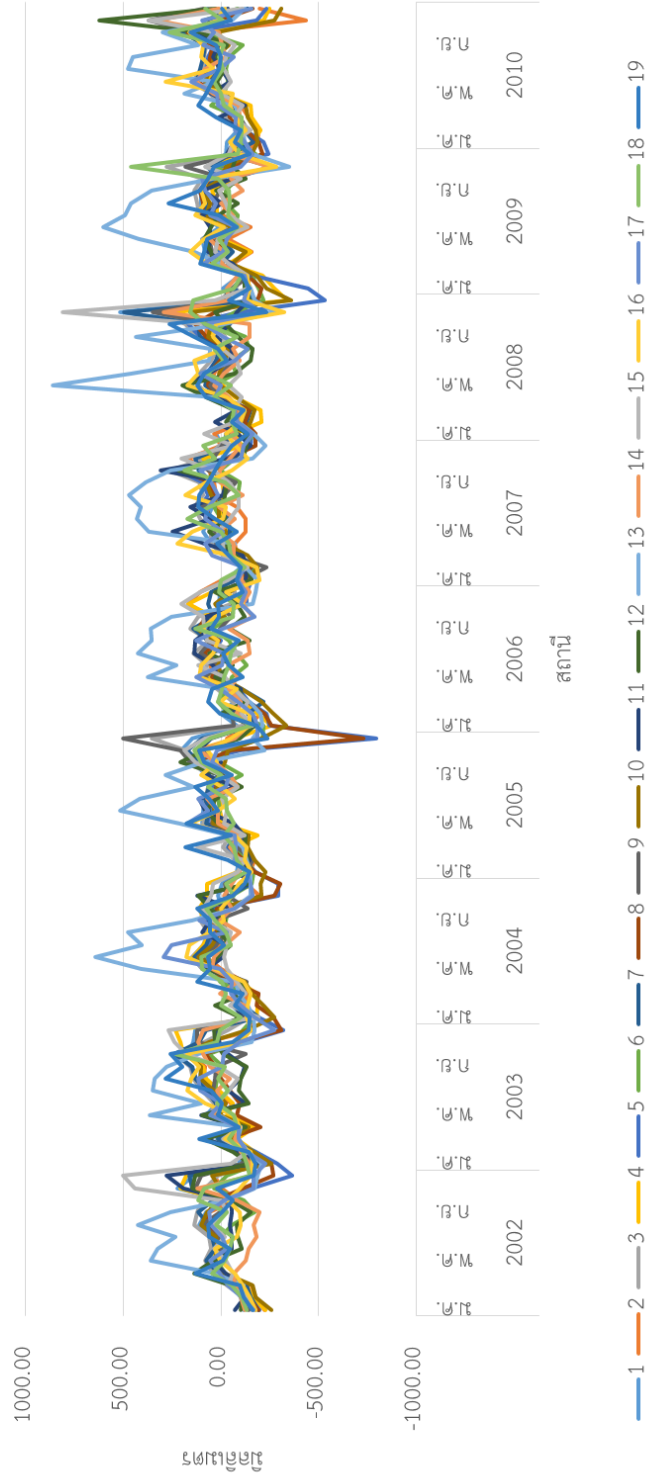
### 5. ผลการศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาและการวิเคราะห์การเปรียบเทียบข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage จากข้อมูลอุทกศาสตร์และข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงที่ได้จาก GRACE ในพื้นที่ภาคใต้ ประเทศไทย

#### 5.1 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage จากข้อมูลอุทกศาสตร์ และข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงที่ได้จาก GRACE

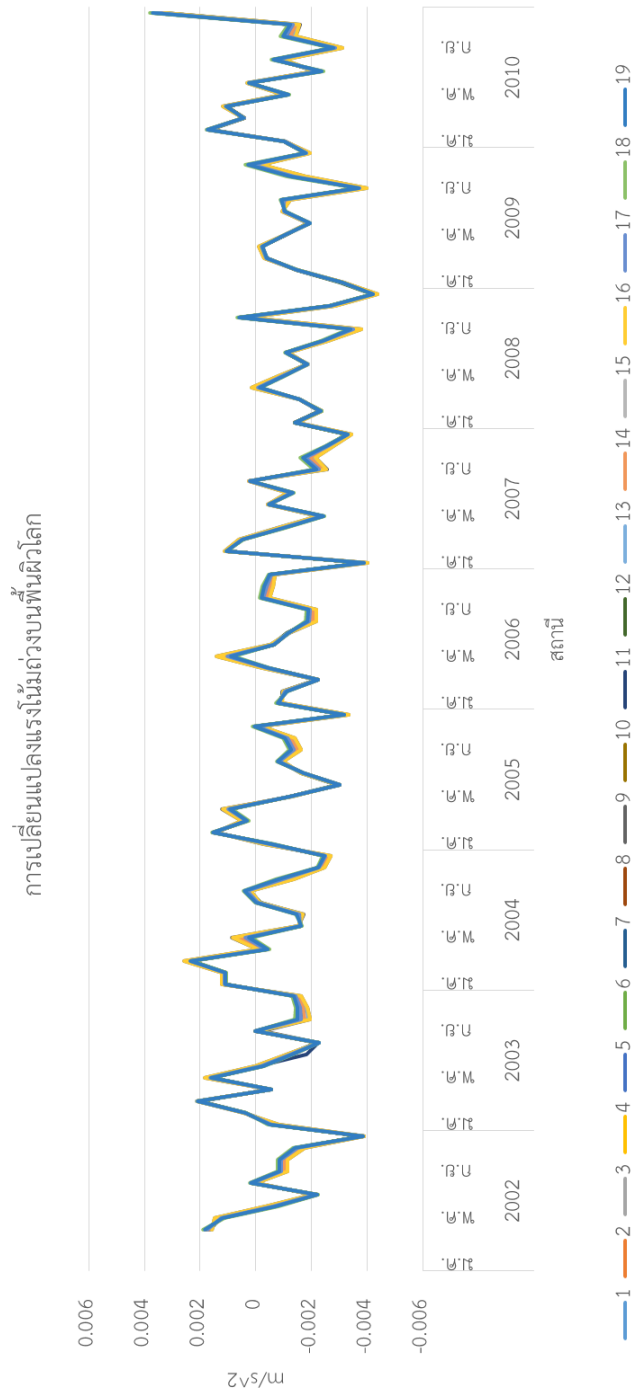
จากการศึกษาข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage ที่ประกอบไปด้วยข้อมูลอุทกศาสตร์ 3 ข้อมูล ได้แก่ (1) ปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา (2) ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากกรมชลประทานและ (3) ข้อมูลการคายระเหยจาก MODIS และข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกที่ได้จาก GRACE โดยผลการศึกษาที่มีดังต่อไปนี้

การเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage



รูปที่ 5.1 ตารางแสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage





รูปที่ 5. 2 ตารางแสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

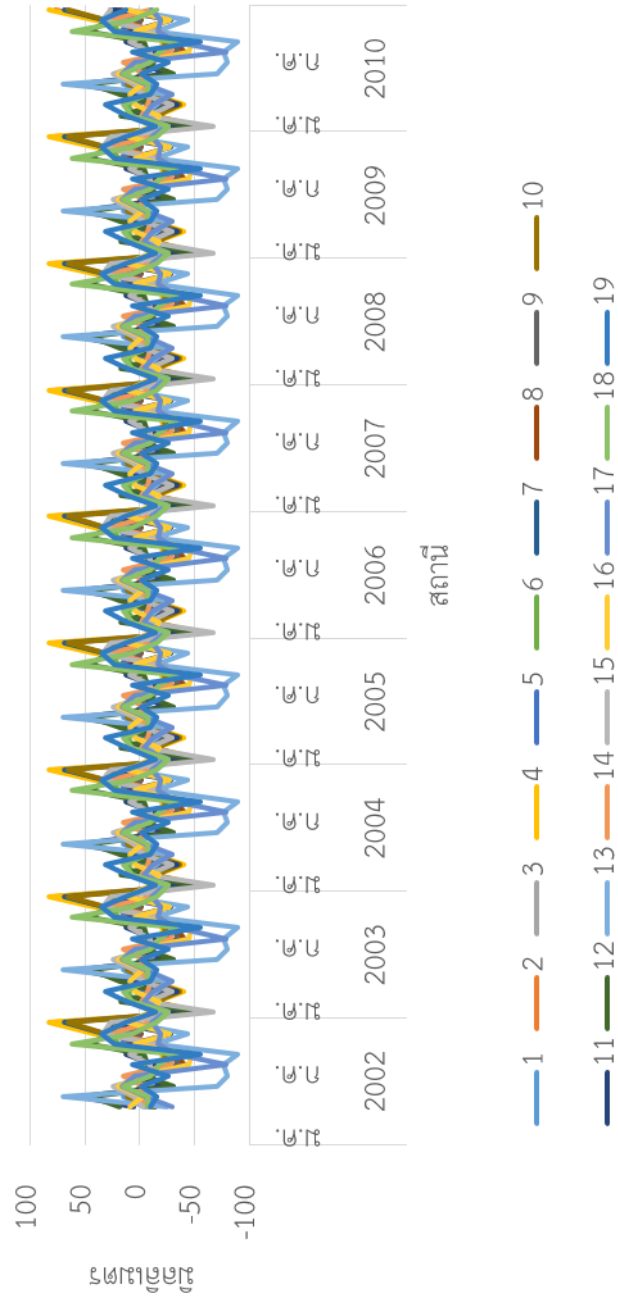
จากตารางค่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage และค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกทั้ง 19 สถานี พบว่าค่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage มีการเปลี่ยนแปลงตามวัฏจักรของน้ำในแต่ละรอบปี โดยการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกจะมีการเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน

## 5.2 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ Cross correlation

จากการศึกษาการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง Total water storage และการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกในหัวข้อที่ 5.1 พบว่าเมื่อค่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage มีการเปลี่ยนแปลง ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงจะมีการเปลี่ยนแปลงด้วย และเพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ด้านเวลาของการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลทั้ง 2 ประเภท จึงได้หาค่า Cross correlation ของข้อมูลค่าความผิดปกติการเปลี่ยนแปลง Total water storage และค่าความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกโดยพบว่ามีค่าปกติและค่าผิดปกติของข้อมูลทั้ง 2 ประเภทดังต่อไปนี้

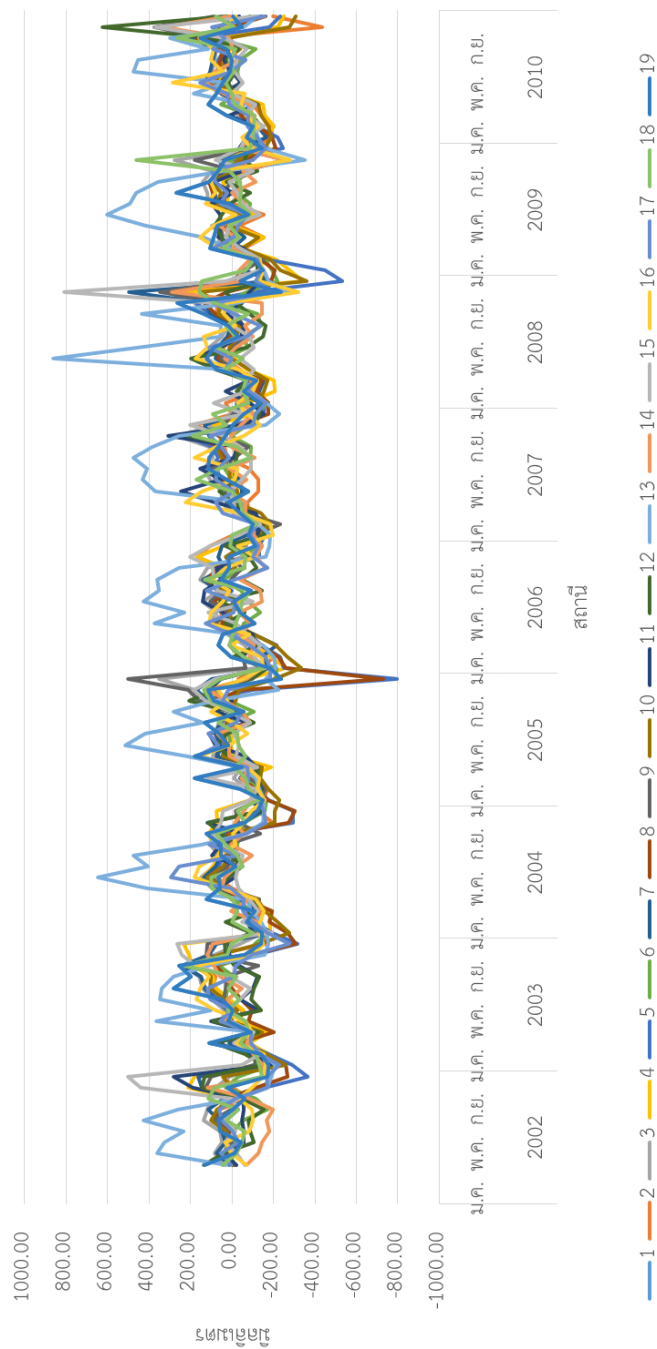


ค่าปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage



รูปที่ 5.3 ค่าปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage

ค่าผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage



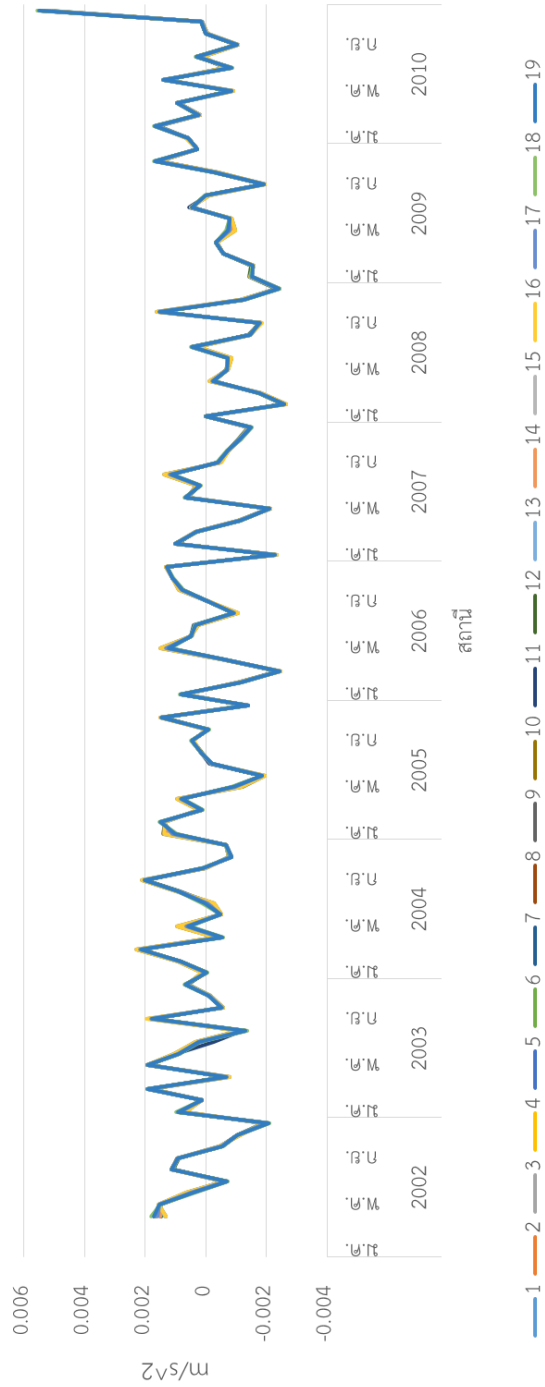
รูปที่ 5. 4 ค่าผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage

ค่าปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วง



รูปที่ 5. 5 ค่าปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

ค่าผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วง



รูปที่ 5. 6 ค่าผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

จากรูปแสดงกราฟแสดงค่าความผิดพลาดการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage ทั้งหมด 19 สถานี พบว่า จากรูปที่ 5.3 ค่าปกติและรูปที่ 5.4 ค่าผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage มีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาการศึกษา และจากรูปที่ 5.5 แสดงค่าปกติการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกทั้งหมด 19 สถานี พบว่าในช่วงเวลาการศึกษาที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยหรือกล่าวอีกนัยยะหนึ่งคือมีความคงที่ (Stable) สูง รวมไปถึงข้อมูลค่าความผิดพลาดของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก สังเกตได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงในระดับน้อยเช่นกัน

นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่า Cross correlation ของข้อมูลค่าผิดพลาดการเปลี่ยนแปลง Total water storage และค่าผิดพลาดการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกรายสถานี รายปี ทั้งหมด 19 สถานี ได้ค่าความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้



ปี ค.ศ. 2002							
สถานี	Lag Of time (เดือน)						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
1	0.325159	-0.32215	-0.58734	-0.31154	0.136648	0.344773	-0.02291
2	0.238966	-0.31675	-0.38627	-0.18672	0.297796	0.430788	0.100396
3	0.053055	-0.41976	-0.23292	0.308306	0.619141	0.093092	-0.04759
4	0.242038	-0.29927	-0.5517	-0.50078	0.009730	0.297809	0.102698
5	0.155871	-0.28315	-0.31447	0.258817	0.484294	0.348898	0.062409
6	0.205301	0.067971	-0.35176	-0.52829	-0.04625	0.471532	0.474007
7	0.136013	-0.3627	-0.40755	-0.43747	0.10036	0.257556	0.143004
8	0.119775	-0.32014	-0.2717	0.299282	0.612483	0.281793	0.021719
9	0.299428	-0.32265	-0.53239	0.040073	0.583177	0.22372	-0.13376
10	0.179944	-0.35023	-0.52836	-0.46705	0.118139	0.218273	0.104355
11	0.111207	-0.31828	-0.53316	-0.60916	-0.1613	0.109581	0.17466
12	0.034971	-0.27077	-0.52518	-0.27894	0.210455	0.144288	0.100945
13	0.034201	-0.33184	-0.33383	0.277347	0.213157	0.012564	0.144645
14	-0.00784	0.158651	-0.30876	-0.24239	-0.35628	0.078171	0.147001
15	0.23809	-0.1851	-0.52848	-0.68342	-0.1147	0.30409	0.163467
16	-0.24001	0.117332	-0.03373	-0.33348	-0.31163	0.266281	0.621805
17	-0.14397	-0.49445	0.118697	0.425199	0.506295	-0.31764	-0.17933
18	-0.20206	0.227917	0.15968	0.525417	-0.01724	-0.30021	-0.03946
19	0.307844	0.105617	-0.406	-0.01757	0.174118	0.504133	0.034148

ตารางที่ 5. 1 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2002

ของข้อมูลค่าความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage  
และ ข้อมูลความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก



ปี ค.ศ. 2003							
สถานี	Lag Of time (เดือน)						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
1	0.141212	-0.28432	-0.18486	0.03444	-0.30557	0.068145	-0.0139
2	-0.47192	0.179463	-0.14348	-0.33562	-0.234	0.057678	0.018627
3	-0.00814	-0.23969	-0.07931	-0.0101	-0.42656	0.020039	0.0375
4	0.046704	-0.24655	-0.30787	-0.11514	-0.06151	0.014996	0.038707
5	-0.04173	-0.25196	-0.18055	-0.09073	-0.31908	-0.05679	0.032286
6	0.102755	-0.19156	-0.11648	0.250985	-0.58714	0.045741	0.085418
7	0.153261	-0.30786	-0.14329	-0.07673	-0.1666	-0.08623	0.16841
8	-0.22576	-0.04744	-0.30601	0.127032	-0.21817	0.16288	0.28794
9	0.216216	0.239534	-0.58622	0.555513	-0.21175	-0.01819	0.035692
10	-0.24669	-0.07141	-0.28362	-0.197	-0.10347	-0.02077	0.098954
11	-0.21059	0.295002	-0.27863	0.308773	0.114295	0.231541	-0.07739
12	-0.05372	0.101327	-0.36334	0.2512	-0.00498	0.241513	-0.05299
13	-0.36672	0.314596	-0.47759	-0.00564	0.067957	0.362343	-0.36281
14	-0.10457	-0.13345	-0.27051	0.020955	-0.33964	-0.11727	-0.01637
15	0.243549	-0.55648	0.021327	0.234098	-0.29507	-0.0764	0.138825
16	-0.09163	-0.176	0.407343	-0.28869	-0.51756	0.147342	0.132022
17	-0.34329	0.60487	-0.05848	-0.20175	-0.04796	-0.12965	-0.24044
18	0.064577	-0.56842	0.421595	-0.28725	-0.23481	-0.04745	0.215784
19	0.123275	-0.15125	-0.18825	-0.1148	-0.28517	-0.0612	0.051309

ตารางที่ 5. 2 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2003

ของข้อมูลค่าความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage  
และ ข้อมูลความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

ปี ค.ศ. 2004							
สถานี	Lag Of time (เดือน)						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
1	0.286183	-0.25963	-0.28889	0.060995	0.238288	0.085967	0.474948
2	0.392935	-0.32573	-0.2967	-0.05261	0.298354	0.036299	0.474876
3	-0.00278	-0.2781	0.024454	0.232952	0.276201	0.028601	0.36338
4	0.519211	-0.03691	-0.34147	-0.5337	-0.10707	-0.04832	0.472429
5	0.323446	-0.42791	-0.2574	-0.01029	0.321391	0.253465	0.318695
6	0.388769	-0.05223	0.055785	-0.24989	0.006782	-0.23099	0.659623
7	0.22182	-0.19379	-0.12398	-0.00517	0.175354	0.0548	0.519308
8	0.232078	-0.21873	-0.09014	-0.10304	0.170427	-0.05577	0.431139
9	0.14777	-0.30219	-0.16522	0.314467	0.205793	0.083878	0.376059
10	0.387676	-0.23539	-0.1768	-0.14147	-0.04573	0.032389	0.521752
11	-0.07821	0.219752	-0.22483	0.24796	0.160392	-0.296	-0.10499
12	-0.10971	0.15392	-0.07555	0.080751	0.250053	-0.432	0.181941
13	0.70837	-0.02018	-0.4436	-0.32739	0.092483	0.358209	0.493678
14	0.09885	-0.0937	-0.08965	0.402631	-0.37884	0.074444	0.256647
15	-0.09103	-0.28083	0.095818	0.208228	0.27771	-0.4511	0.2431
16	0.397674	0.052653	-0.40419	-0.65911	0.011049	0.605728	0.491871
17	0.160283	-0.29858	-0.2174	-0.10853	0.022421	0.445592	0.405708
18	0.068473	-0.14601	0.104045	0.335627	0.053707	-0.2285	0.374003
19	0.368682	0.163257	0.306962	-0.67218	-0.03473	-0.31447	0.522126

ตารางที่ 5. 3 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2004

ของข้อมูลค่าความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage  
และ ข้อมูลความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

ปี ค.ศ. 2005							
สถานี	Lag Of time (เดือน)						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
1	0.149092	-0.03855	0.154823	-0.55779	-0.04256	0.033201	0.057136
2	0.371255	0.090621	0.222289	-0.61277	-0.22668	-0.00178	0.051843
3	0.24693	0.017833	0.406862	-0.42058	-0.02621	-0.00993	0.046464
4	0.250515	0.15217	0.30007	0.024689	-0.01481	0.147443	-0.04592
5	0.056305	0.121275	-0.27476	0.384934	0.009219	-0.13087	-0.02689
6	0.131455	-0.20881	-0.30143	-0.16388	-0.00064	-0.00376	0.255369
7	0.333401	0.028905	0.291141	-0.42927	-0.27621	0.04968	0.046702
8	0.01446	0.081826	-0.29146	0.385422	-0.00625	-0.0565	-0.05229
9	0.062899	-0.061	0.283799	-0.47739	0.083284	-0.00753	0.108609
10	0.474461	0.041655	0.045826	-0.33598	-0.60203	0.19384	0.095257
11	-0.15553	-0.08828	-0.36972	-0.17173	-0.04713	0.427564	0.016457
12	-0.16658	-0.10888	-0.31326	-0.30069	0.181875	-0.00875	0.097679
13	0.342595	0.504319	-0.01126	-0.21549	0.128296	-0.01593	-0.24013
14	0.224927	-0.10139	-0.51949	-0.05799	-0.00718	0.075234	0.015918
15	-0.00618	0.191051	0.235973	-0.4012	0.300736	-0.1109	-0.56272
16	0.099897	0.253414	0.418379	0.078541	-0.50315	0.110094	-0.0572
17	0.490411	0.075665	-0.12557	-0.09033	-0.33695	0.09062	0.105371
18	-0.20056	-0.25797	0.062763	0.237369	0.116021	-0.16679	0.182784
19	0.257726	0.061497	0.125106	0.127182	-0.16059	-0.14942	-0.04314

ตารางที่ 5. 4 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2005

ของข้อมูลค่าความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage  
และ ข้อมูลความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

ปี ค.ศ. 2006							
สถานี	Lag Of time (เดือน)						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
1	0.310737	-0.08281	-0.18095	-0.35616	-0.4918	0.01636	0.211382
2	-0.23441	-0.07387	0.303953	0.590952	0.529527	0.104592	-0.14839
3	-0.01754	-0.16888	-0.29224	-0.11103	-0.26764	-0.02835	0.031652
4	-0.12981	-0.15389	0.081327	0.266871	0.513516	0.387446	-0.01147
5	-0.17552	0.140661	0.320298	0.59243	0.191841	-0.02061	-0.15688
6	0.373327	0.301999	-0.19282	-0.54278	-0.21179	0.41932	0.365884
7	-0.1057	-0.00992	0.391823	0.514925	0.153837	-0.01856	0.007284
8	-0.16195	0.005897	0.113709	0.567733	0.382789	0.187225	-0.10426
9	0.101347	-0.1521	-0.2281	-0.18326	-0.47757	-0.17173	0.10472
10	-0.13216	0.038779	0.240765	0.476078	0.50995	0.251859	-0.00655
11	0.231435	0.22869	0.218551	-0.07062	-0.26236	0.226936	0.314722
12	-0.00169	0.228588	0.140619	0.047102	-0.46258	-0.03233	0.196344
13	0.292406	-0.27718	-0.28197	0.388555	0.352983	0.41842	-0.11143
14	0.093833	-0.01603	-0.34274	-0.512	-0.31064	-0.18811	0.209819
15	-0.15287	-0.14488	0.241984	0.142393	0.308705	0.204889	0.150212
16	-0.45212	-0.00578	0.18179	0.133621	-0.03209	0.072285	-0.2461
17	-0.05992	-0.14959	0.006026	0.08168	-0.01774	-0.10014	-0.13892
18	0.130126	0.130016	-0.407	-0.53348	-0.25301	0.241581	0.250196
19	-0.06361	0.30344	0.07543	-0.32213	-0.24823	-0.05584	0.125984

ตารางที่ 5. 5 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2006

ของข้อมูลค่าความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage  
และ ข้อมูลความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

ปี ค.ศ. 2007							
สถานี	Lag Of time (เดือน)						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
1	-0.25805	0.310573	-0.05092	-0.2868	-0.0759	0.253286	0.366275
2	0.113064	0.086759	-0.06876	-0.36562	-0.37548	-0.16651	-0.14202
3	-0.19587	0.070175	0.057746	-0.14058	-0.01391	0.020297	0.116612
4	-0.16056	-0.16107	-0.21584	-0.47584	-0.06471	0.297646	0.119481
5	0.16461	-0.08043	-0.16248	-0.37324	-0.1869	-0.06314	0.01033
6	-0.12416	-0.33284	-0.07109	-0.15846	0.039363	0.166391	0.041491
7	0.007344	0.118906	-0.05964	-0.56416	-0.39653	-0.00892	-0.00713
8	-0.00968	-0.0004	-0.13391	-0.40041	-0.15195	0.013326	0.079891
9	-0.23163	0.010271	0.069095	-0.03003	0.029888	0.233876	0.381718
10	-0.21016	0.27531	-0.13072	-0.54264	-0.28972	0.282341	-0.05062
11	0.034567	0.441189	0.018433	-0.17891	0.023703	0.125036	0.312742
12	-0.16898	0.484832	0.205007	0.118808	-0.09657	-0.16998	0.112057
13	0.297266	0.336868	0.000706	0.171951	-0.07152	-0.39296	0.076089
14	-0.02043	-0.02886	0.384157	-0.04079	0.279954	-0.20255	-0.00168
15	-0.02436	0.174589	0.028265	-0.16774	-0.1044	0.294578	0.351942
16	-0.52252	0.34704	0.269812	-0.12583	-0.45213	0.153409	0.386047
17	-0.14302	-0.18075	0.119233	-0.15471	-0.24023	-0.06851	0.139561
18	0.222204	-0.25607	-0.31326	-0.13212	0.283536	0.212438	0.111645
19	-0.23606	-0.43589	-0.06908	0.161916	0.12544	0.074008	-0.33242

ตารางที่ 5. 6 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2007

ของข้อมูลค่าความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage  
และ ข้อมูลความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

ปี ค.ศ. 2008							
สถานี	Lag Of time (เดือน)						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
1	-0.18038	-0.50091	0.565266	0.051556	-0.33918	-0.06607	-0.0342
2	-0.1614	-0.45381	0.573497	0.101503	-0.4145	-0.13072	-0.02205
3	-0.21772	-0.32566	0.388334	-0.01173	-0.21125	-0.21673	-0.09263
4	0.03329	-0.64899	0.460387	0.315391	-0.2581	-0.1561	0.03536
5	0.108701	-0.64426	0.141549	0.509873	-0.12163	-0.29819	-0.02147
6	0.053854	-0.57488	-0.0614	0.476737	-0.19419	-0.29204	0.164312
7	-0.136	-0.48545	0.585482	0.127113	-0.36116	-0.1105	-0.02942
8	-0.23844	-0.08199	0.200146	0.00749	-0.10441	-0.2958	-0.08112
9	-0.0819	-0.51739	0.387624	0.132188	-0.34691	-0.17087	-0.07207
10	-0.04211	-0.53997	0.484172	0.172263	-0.36461	-0.20114	-0.01466
11	-0.21531	-0.31138	-0.01468	-0.14779	0.250184	0.258878	-0.18822
12	-0.12451	-0.56065	-0.02306	0.013751	0.060881	0.236141	-0.07518
13	-0.44827	-0.09754	-0.0792	-0.19101	0.306538	0.103801	-0.37486
14	-0.30661	-0.31754	0.672328	-0.19225	-0.54081	0.187548	0.069177
15	-0.09285	-0.2952	0.641369	-0.0539	-0.51736	-0.02622	-0.03372
16	-0.05114	-0.00228	-0.3391	0.309168	0.056553	-0.22777	0.232114
17	-0.01002	0.090382	-0.47865	0.128931	0.255325	-0.45903	-0.0708
18	-0.06104	0.009845	0.253198	-0.10235	-0.42242	-0.03276	0.182517
19	0.022139	0.094941	-0.37158	0.254527	0.302499	-0.23608	-0.24099

ตารางที่ 5. 7 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2008

ของข้อมูลค่าความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage  
และ ข้อมูลความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

ปี ค.ศ. 2009							
สถานี	Lag Of time (เดือน)						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
1	-0.2819	-0.126	-0.02713	-0.27292	-0.5211	-0.26068	0.397506
2	-0.235	-0.25942	0.363671	0.290342	-0.287	-0.24325	0.033747
3	0.180662	-0.50502	-0.24842	0.311809	-0.15869	-0.18818	0.204517
4	-0.35506	-0.19566	0.407096	0.300881	-0.20927	-0.12727	0.182454
5	-0.16591	-0.31594	0.250676	0.61123	0.152342	-0.07301	0.148747
6	-0.01213	-0.46754	-0.09718	0.222315	-0.02821	0.013467	0.045217
7	-0.21813	-0.17249	0.272725	-0.00648	-0.52863	-0.36087	0.23508
8	-0.22845	-0.23273	0.227592	0.26787	-0.22147	-0.23365	0.256804
9	0.129146	-0.41132	-0.43913	0.045882	-0.16915	-0.16466	0.285351
10	-0.20874	-0.16732	0.404689	0.424993	-0.0762	-0.13568	0.14551
11	-0.37243	0.291412	0.093098	-0.51923	-0.21772	0.069869	0.149923
12	-0.38474	0.014291	0.046951	-0.3791	-0.26314	-0.0003	0.051567
13	-0.35576	0.068441	-0.00415	-0.38463	-0.27152	-0.13976	-0.0947
14	-0.2775	0.138765	-0.01033	-0.47661	-0.48469	-0.15592	0.219439
15	-0.3895	-0.04658	0.059896	-0.352	-0.46427	0.005589	0.376129
16	-0.197	-0.04217	-0.18963	-0.24446	-0.17445	-0.23937	0.20297
17	0.261151	-0.04881	-0.39126	-0.01823	0.265521	-0.11171	-0.01208
18	0.27433	-0.49844	-0.17355	0.564614	0.110097	-0.14594	-0.05853
19	0.023406	-0.39662	0.10875	0.353454	-0.39189	-0.05797	0.531859

ตารางที่ 5. 8 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2009

ของข้อมูลค่าความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage  
และ ข้อมูลความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

ปี ค.ศ. 2010							
สถานี	Lag Of time (เดือน)						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
1	-0.21311	-0.22337	-0.17986	0.245724	0.624694	0.270851	-0.26867
2	0.004002	0.179396	-0.05035	-0.0575	-0.85869	0.100594	-0.12572
3	-0.16791	-0.18197	-0.15119	0.240584	0.710624	0.268023	-0.27085
4	0.042857	0.207314	-0.0709	-0.23212	-0.79383	0.1074	-0.21802
5	-0.27989	0.140979	-0.10119	0.76792	-0.31465	0.298193	-0.4997
6	-0.22081	-0.0427	-0.15753	0.274732	0.542444	0.606725	-0.33629
7	-0.03574	0.146297	-0.10847	-0.19514	-0.62641	0.231957	-0.34592
8	-0.29894	-0.04507	-0.18293	0.636779	0.206735	0.38291	-0.42962
9	-0.21653	-0.2508	-0.25519	0.080167	0.666763	0.466139	0.002438
10	0.032121	0.265011	0.024858	0.002269	-0.68036	-0.05535	-0.50832
11	-0.1286	-0.14242	-0.0405	-0.2204	0.309041	0.375942	0.410243
12	-0.15415	-0.25469	-0.15328	0.006917	0.785519	0.187236	0.03709
13	-0.22949	-0.09415	0.045248	0.144512	0.338363	0.401901	-0.15006
14	-0.05368	-0.3025	-0.11902	-0.03902	0.636334	-0.06171	-0.13272
15	0.164911	-0.13079	-0.01216	-0.66524	0.512451	-0.15249	-0.18643
16	-0.28395	-0.00955	-0.31899	0.370275	0.118982	0.380167	-0.16866
17	0.076598	-0.19555	-0.09329	0.08314	0.579157	0.187782	-0.01034
18	-0.28437	0.095075	-0.26188	0.158132	-0.40095	0.770566	-0.19244
19	-0.17257	0.112196	-0.01273	0.613434	0.150165	0.373207	-0.37477

ตารางที่ 5. 9 ค่า Cross correlation ปี ค.ศ. 2010

ของข้อมูลค่าความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage  
และ ข้อมูลความผิดปกติการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก



จากตาราง Cross correlation ระหว่างค่าผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage และ ค่าผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก รายปีตั้งแต่เดือนเมษายน ค.ศ. 2002 – เดือนธันวาคม ค.ศ.2010 พบว่า

- ค่าความสัมพันธ์ที่มีความสัมพันธ์กันน้อย หรือมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (0) ทั้งความสัมพันธ์เชิงบวก และความสัมพันธ์เชิงลบ อาจมาจากข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานั้น เป็นข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ ไม่ใช่ข้อมูลปริมาณน้ำที่แท้จริง แต่ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกได้จากการตรวจจับวัตถุที่ปรากฏบนภูมิประเทศจริง ทั้งนี้ ในช่วงเวลาที่เกิดอุทกภัย GRACE จะตรวจจับปริมาณน้ำบนพื้นดิน (Surface water) แต่ในการศึกษานี้ ณ ช่วงเวลาที่ศึกษา ได้นำข้อมูลปริมาณการเปลี่ยนแปลง Total water storage มาหาความสัมพันธ์ทางช่วงเวลากับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก จึงทำให้พบความสัมพันธ์ที่มีค่าเข้าใกล้ศูนย์
- ค่าความสัมพันธ์เชิงบวกกล่าวคือเมื่อค่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage เพิ่มขึ้น ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงจะเพิ่มขึ้นตาม โดยมีค่า Cross correlation มากที่สุดที่ 0.785519 พบความล่าช้า 1 เดือน ที่สถานีเกษตรอากาศสวี อำเภอสวี จังหวัดชุมพร ในปี ค.ศ. 2010
- ค่าความสัมพันธ์เชิงลบกล่าวคือเมื่อค่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage จะแปรผกผันกับค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วง โดยมีค่า Cross correlation มากที่สุดที่ 0.858688 พบความล่าช้า 1 เดือน ที่สถานีกรมชลประทานบ้านท่าใหญ่ อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช ในปีค.ศ. 2010

- ปี ค.ศ. 2002 พบความสัมพันธ์เชิงบวกและเชิงลบที่มีค่าแตกต่างกัน รวมถึงช่วงเวลาความล่าช้าที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 5.1 โดยพบค่าความสัมพันธ์เชิงลบ มีความล่าช้า 0 เดือน ดังตารางที่ 5.10

สถานี	Cross correlation
สถานีกรมชลประทานบ้านวังก้อ อำเภอมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 4	-0.500784
สถานีกรมชลประทานบ้านวังพระเคียน อำเภอลองละงู จังหวัดสตูล สถานีที่ 6	-0.528291
สถานีกรมชลประทานบ้านเสาธง อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 7	-0.43747
สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาชุมพร อำเภอมือง จังหวัดชุมพร สถานีที่ 11	-0.609161

ตารางที่ 5. 10 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงลบ ปี ค.ศ. 2002

- ปี ค.ศ. 2003 พบความสัมพันธ์เชิงบวก 3 สถานีที่ (1) สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาชุมพร อำเภอมือง จังหวัดชุมพร (2) สถานีที่ 11 สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาภูเก็ต อำเภอมือง จังหวัดภูเก็ต สถานีที่ 16 และ (3) สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาตรัง อำเภอมือง จังหวัดตรัง สถานีที่ 17 โดยสถานีที่ 17 เป็นสถานีที่มีค่า Cross correlation มากที่สุดคือ 0.60487 พบความล่าช้าที่ -1 เดือน และสถานีอื่นๆพบค่าความสัมพันธ์เชิงลบ โดยสถานีกรมชลประทานโรงเรียนสตรีภูเก็ต อำเภอมือง จังหวัดภูเก็ต สถานีที่ 9 มีค่า Cross correlation มากที่สุดคือ 0.586221 มีความล่าช้า -1 เดือน ดังตารางที่ 5.2

- ปี ค.ศ. 2004 พบความสัมพันธ์เชิงบวก ความล่าช้า -3 เดือน มีค่า Cross correlation ดังตารางที่ 5.11

สถานี	Cross correlation
สถานีกรมชลประทานบ้านวังก้อง อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 4	0.519211
สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาระนอง อำเภอเมือง จังหวัดระนอง สถานีที่ 13	0.70837

ตารางที่ 5. 11 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงบวก ปี ค.ศ. 2004

- ปี ค.ศ. 2005 พบความสัมพันธ์เชิงลบ ความล่าช้า 0 เดือน ดังตารางที่ 5.2.12

สถานี	Cross correlation
สถานีกรมชลประทานบ้านย่านดินแดง อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี สถานีที่ 1	-0.557788
สถานีกรมชลประทานบ้านท่าใหญ่ อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 2	-0.612765
สถานีกรมชลประทานบ้านท่าแค อำเภอเมือง จังหวัดพัทลุง สถานีที่ 3	-0.420581
สถานีกรมชลประทานบ้านเสาธง อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 7	-0.429271
สถานีกรมชลประทานโรงเรียนสตรีภูเก็ต อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต สถานีที่ 9	-0.477389

ตารางที่ 5. 12 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงลบ ปี ค.ศ. 2005

- ปี ค.ศ. 2006 พบความสัมพันธ์เชิงบวก ความล่าช้า 0 เดือน ดังตารางที่ 5.13

สถานี	Cross correlation
สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาระนอง อำเภอเมือง จังหวัดระนอง สถานีที่ 2	0.590952
สถานีกรมชลประทานบ้านเสาชาง อำเภอศรีนครินทร์ จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 7	0.514925
สถานีกรมชลประทานบ้านคลองลำ อำเภอศรีนครินทร์ จังหวัดพัทลุง สถานีที่ 8	0.567733

ตารางที่ 5. 13 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงบวก ปี ค.ศ. 2006

- ปี ค.ศ. 2007 พบความสัมพันธ์เชิงลบ ความล่าช้า 0 เดือน ดังตารางที่ 5.14

สถานี	Cross correlation
สถานีกรมชลประทานบ้านเสาชาง อำเภอศรีนครินทร์ จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 7	-0.564155
สถานีกรมชลประทานบ้านนาป่า อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 10	-0.542635

ตารางที่ 5. 14 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงลบ ปี ค.ศ. 2007

- ปี ค.ศ. 2008 พบกลุ่มค่าความสัมพันธ์เชิงบวก ความล่าช้า -1 เดือน โดยมีค่า Cross correlation ดังตาราง 5.15

สถานี	Cross correlation
สถานีกรมชลประทานบ้านย่านดินแดง อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี สถานีที่ 1	0.565266
สถานีกรมชลประทานบ้านท่าใหญ่ อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 2	0.573497
สถานีกรมชลประทานบ้านเสาธง อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 7	0.585482
สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาสุราษฎร์ธานี อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี สถานีที่ 14	0.672328
สถานีกรมอุตุนิยมวิทยานครศรีธรรมราช อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 15	0.641369

ตารางที่ 5. 15 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงบวก ปี ค.ศ. 2008

นอกจากนี้ พบกลุ่มค่าความสัมพันธ์เชิงลบ ความล่าช้า -2 เดือน โดยมีค่า Cross correlation ดังตาราง 5.16

สถานี	Cross correlation
สถานีกรมชลประทานบ้านวังก้อง อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 4	-0.648994
สถานีกรมชลประทานบ้านควนอินนอโม อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง สถานี ที่ 5	-0.644262
สถานีกรมชลประทานบ้านวังพระเคียน อำเภอคลองละงู จังหวัดสตูล สถานีที่ 6	-0.574881
สถานีกรมชลประทานโรงเรียนสตรีภูเก็ต อำเภอเมือง จังหวัดภูเก็ต สถานีที่ 9	-0.517388
สถานีกรมชลประทานบ้านนาป่า อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 10	-0.539966
สถานีเกษตรอากาศสวี อำเภอสวี จังหวัดชุมพร สถานีที่ 12	-0.56065

ตารางที่ 5. 16 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงลบ ปี ค.ศ. 2008

- ปี ค.ศ. 2009 จากตารางที่ 5.9 พบความสัมพันธ์เชิงบวกที่มีค่า Cross correlation มากที่สุดที่สถานีกรมชลประทานบ้านควนอินนอโม อำเภอตะโหมด จังหวัดพัทลุง สถานีที่ 5 มีค่า Cross correlation 0.61123 ความล่าช้า 0 เดือน และพบความสัมพันธ์เชิงลบ ความล่าช้า 1 เดือน ดังตารางที่ 5.17

สถานี	Cross correlation
สถานีกรมชลประทานบ้านย่านดินแดง อำเภอพระแสง จังหวัดสุราษฎร์ธานี สถานีที่ 1	-0.521103
สถานีกรมชลประทานบ้านเสาธง อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 7	-0.528627

ตารางที่ 5. 17 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงลบ ปี ค.ศ. 2009

- ปี ค.ศ. 2010 พบค่าความสัมพันธ์เชิงบวก พบความล่าช้า 0 เดือน โดยมีค่า Cross correlation ดังตาราง 5.18 ต่อไปนี้

สถานี	Cross correlation
สถานีกรมชลประทานบ้านควนอินนอโม อำเภอดงหลวง จังหวัดพัทลุง สถานีที่ 5	0.76792
สถานีกรมชลประทานบ้านคลองลำ อำเภอสรีนครินทร์ จังหวัดพัทลุง สถานีที่ 8	0.636779

ตารางที่ 5. 18 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงบวก ปี ค.ศ. 2010

พบกลุ่มค่าความสัมพันธ์เชิงบวก พบความล่าช้า 1 เดือน โดยมีค่า Cross correlation ดังตาราง 5.19 ต่อไปนี้

สถานี	Cross correlation
สถานีกรมชลประทานบ้านท่าแค อำเภอมือง จังหวัดพัทลุง สถานีที่ 3	0.710624
สถานีกรมชลประทานโรงเรียนสตรีภูเก็ต อำเภอมือง จังหวัดภูเก็ต สถานีที่ 9	0.666763
สถานีเกษตรอากาศสวี อำเภอสวี จังหวัดชุมพร สถานีที่ 12	0.785519
สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาลัยสุราษฎร์ธานี อำเภอบ้านดอน จังหวัดสุราษฎร์ธานี สถานีที่ 14	0.636334
สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาลัยตรัง อำเภอมือง จังหวัดตรัง สถานีที่ 17	0.579157

ตารางที่ 5. 19 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงบวก ปี ค.ศ. 2010

นอกจากนี้ พบค่าความสัมพันธ์เชิงลบ พบความล่าช้า 1 เดือน โดยมีค่า Cross correlation ดังตาราง 5.20 ต่อไปนี้

สถานี	Cross correlation
สถานีกรมชลประทานบ้านท่าใหญ่ อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 2	-0.858688
สถานีกรมชลประทานบ้านวังก้อง อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 4	-0.793825
สถานีกรมชลประทานบ้านเสาธง อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 7	-0.626406
สถานีกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัยนครศรีธรรมราช อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 10	-0.680357

ตารางที่ 5. 20 ตาราง Cross correlation ความสัมพันธ์เชิงลบ ปี ค.ศ. 2010



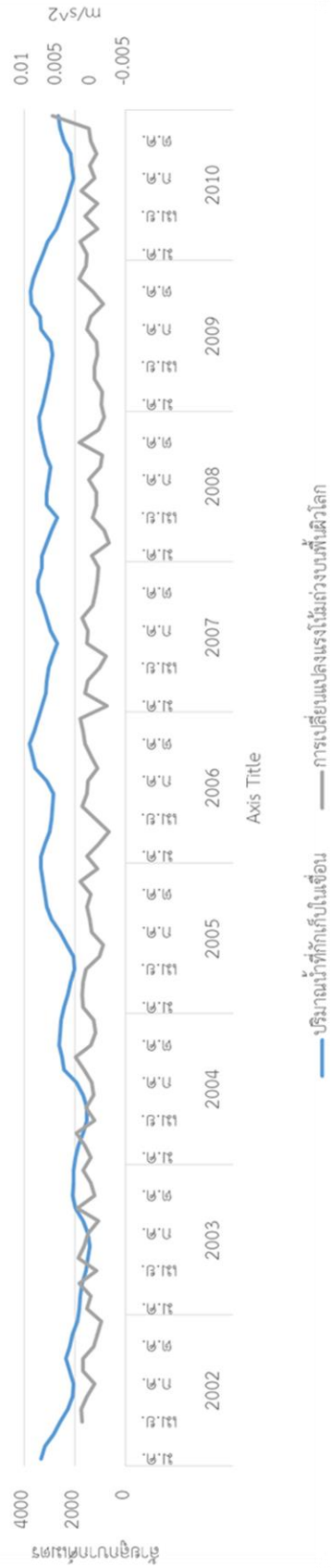
### 5.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ปริมาณน้ำในเขื่อนรัชชประภาและค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

จากการพิจารณาค่าปกติและค่าผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage และการปกติและค่าผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก พบว่าปริมาณค่าปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage มีการเปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักร แต่ค่าปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงที่เปลี่ยนแปลงบนพื้นโลกมีค่าคงที่ จึงได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกกับมวลน้ำที่มีปริมาณมหาศาลกว่าในพื้นที่ศึกษาได้แก่ ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี เมื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage ที่มีมาตรการวัดที่ระดับมิลลิเมตรแล้ว ปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำมีปริมาณมหาศาลมากกว่า ทั้งนี้มีมาตรการวัดเป็นลูกบาศก์ล้านเมตร

และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในเขื่อนรัชชประภาและการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกจึงได้ทำการหาความสัมพันธ์ทางช่วงเวลาโดยใช้วิธี Cross correlation จากข้อมูลปริมาณน้ำกักเก็บในเขื่อนและค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกดังรูปที่ 5.7 และตารางที่ 5.23 ตามลำดับ



ปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อน



รูปที่ 5. 7 กราฟแสดงปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อน และการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก  
 เขื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี เดือนเมษายน ค.ศ. 2002 - เดือนธันวาคม ค.ศ. 2010 (แกนซ้ายและขวาตามลำดับ)

Lag เดือน	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
-11		0.012	-0.042	0.113	0.020	-0.115	0.087	-0.045	-0.001
-10		-0.036	-0.010	0.223	-0.010	-0.120	-0.115	-0.161	0.015
-9		0.082	0.162	0.308	-0.132	-0.021	-0.255	-0.278	-0.017
-8	-0.178	-0.065	0.109	0.338	-0.313	0.104	-0.127	-0.314	-0.018
-7	-0.279	0.079	0.146	0.111	-0.387	-0.033	-0.034	-0.220	-0.048
-6	-0.137	0.130	0.050	-0.223	-0.318	-0.051	0.126	-0.142	0.022
-5	0.214	0.078	-0.039	-0.359	-0.067	0.145	0.268	0.003	0.020
-4	0.007	-0.028	-0.167	-0.482	0.259	0.164	0.083	0.237	0.094
-3	-0.255	-0.007	0.008	-0.480	0.420	0.209	-0.217	0.324	0.054
-2	-0.158	-0.208	-0.025	-0.400	0.291	0.332	0.398	0.256	0.114
-1	0.298	-0.263	-0.017	-0.042	0.231	0.210	0.428	0.196	0.103
0	0.775	-0.065	-0.022	0.042	0.246	-0.253	0.000	0.314	0.269
1	0.313	-0.067	-0.036	0.232	0.251	-0.298	-0.239	0.411	0.183
2	-0.190	0.075	-0.180	0.273	0.281	-0.403	-0.272	0.322	-0.052
3	-0.289	0.134	-0.217	0.214	0.197	-0.280	-0.241	0.228	-0.182
4	0.365	0.156	-0.200	0.110	0.059	-0.107	0.055	0.106	-0.319
5	0.348	0.057	-0.060	0.009	-0.156	0.168	0.206	-0.124	-0.311
6	-0.089	-0.005	0.062	-0.067	-0.280	0.204	-0.268	-0.280	-0.382
7	-0.351	-0.017	0.140	-0.022	-0.275	0.177	-0.195	-0.298	-0.279
8	-0.396	-0.013	0.144	0.013	-0.206	0.041	0.151	-0.271	-0.178
9		-0.039	0.117	0.019	-0.106	-0.005	0.247	-0.180	0.061
10		-0.003	0.059	0.030	-0.020	-0.032	-0.014	-0.071	0.343
11		0.012	0.017	0.040	0.012	-0.034	-0.073	-0.012	0.508

ตารางที่ 5. 21 ค่า Cross correlation ระหว่างปริมาณน้ำกักเก็บในเขื่อนรัชชประภา  
และค่าผิดปกติการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงรายปี

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกกับปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อนรัชชประภา ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นว่าปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อนมีปริมาณมหาศาลกว่าปริมาณการเปลี่ยนแปลง Total water storage พบว่า เมื่อปริมาณน้ำในเขื่อนมีการเปลี่ยนแปลงค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเช่นกัน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาช่วงเวลาของความสัมพันธ์ จากตารางที่ 5.23 พบว่าในปี ค.ศ. 2002 มีความสัมพันธ์เชิงบวก และมีค่า Cross correlation มากที่สุดที่ 0.775 ที่ช่วงเวลาความล่าช้า 0 เดือน โดยในปีดังกล่าวไม่มีเหตุการณ์อุทกภัยหรือภัยแล้งเกิดขึ้นดัง ภาคผนวก ข. (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2018)

นอกจากนี้ยังพบว่า แม้ปริมาณการเปลี่ยนแปลง Total water storage จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเพียงใดก็ตามรวมไปถึงปริมาณน้ำในเหตุการณ์อุทกภัยหรือภัยแล้งจะส่งผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกได้น้อยกว่าปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำที่มีปริมาณมหาศาลกว่า



## บทที่ 6

### 6. อภิปราย สรุปผล และข้อเสนอแนะ

#### 6.1 อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาในบทที่ 5 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าข้อมูลการคายระเหยในช่วงเวลาที่ศึกษามีค่าใกล้เคียงค่าปกติ ดังภาคผนวก ก จึงไม่ได้นำมาศึกษาร่วมในขั้นตอนอภิปรายผล ดังนั้นจึงสามารถอภิปรายผลการศึกษาเป็น 4 หัวข้อได้ดังนี้

6.1.1 กลุ่มความสัมพันธ์เชิงบวกของข้อมูลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage และข้อมูลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

จากตารางที่ 5.13 ปี ค.ศ. 2006 สถานีที่ 2 สถานีกรมชลประทานบ้านท่าใหญ่ อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช มีค่า Cross correlation 0.590952 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณน้ำท่าและน้ำฝน พบว่าในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมมีแนวโน้มมากกว่าค่าปกติ และช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคมมีแนวโน้มน้อยกว่าค่าปกติ และเมื่อพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage และค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก พบว่าในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน ค่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage ติดลบโดยมีแนวโน้มสูงขึ้นและมีแนวโน้มสูงขึ้นตลอดทั้งปี โดยค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกมีแนวโน้มลดลงเช่นกันในช่วงต้นปี หลังจากนั้นพบว่าแนวโน้มสูงขึ้นตลอดทั้งปี จึงสันนิษฐานได้ว่า เมื่อค่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage มีค่าลดลงหรือติดลบ ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงมีแนวโน้มลดลงตาม และเพิ่มขึ้นเมื่อค่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage เพิ่มขึ้นในช่วงความล่าช้า 0 เดือน โดยในปี ค.ศ. 2006 ไม่พบเหตุการณ์อุทกภัยในพื้นที่ศึกษา

จากตาราง 5.18 ในปี ค.ศ. 2010 พบว่ามีความล่าช้า 0 เดือน โดยข้อมูลจากสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (2018) พบร่องความกดอากาศต่ำบริเวณภาคใต้ตอนล่างในช่วงปลายเดือนตุลาคม โดยเฉพาะในวันที่ 31 ตุลาคมและ 1 พฤศจิกายน พายุตีเปรสชันได้เคลื่อนตัวขึ้นฝั่งที่ภาคใต้ตอนล่าง ทำให้เกิดฝนตกอย่างต่อเนื่องและเกิดน้ำท่วม และข้อมูลจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศได้รายงานการติดตามพื้นที่น้ำท่วมโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Advanced Land Observation Satellite (ALOS) พบว่าในวันที่ 2 พฤศจิกายน จังหวัดพัทลุงมีพื้นที่น้ำท่วมขังในอำเภอควนขนุน ปากพะยูน เขาชัยสน ป่าบอน บางแก้ว กงหรา ตะโหมด ศรีบรรพต และกิ่งศรีนครินทร์ และข้อมูลจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศได้รายงานการติดตามพื้นที่น้ำท่วมโดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม RADARSAT-2 บันทึกในวันที่ 26 และ

29 พฤศจิกายน และในวันที่ 6 และ 13 ธันวาคม พบพื้นที่น้ำท่วมในจังหวัดสุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง ตรัง และเมื่อพิจารณาสถานีที่ 5 สถานีกรมชลประทานบ้านควนอินนอโม อำเภอนบพิตำ จังหวัดพัทลุง และ สถานีที่ 8 สถานีกรมชลประทานบ้านคลองลำ อำเภอกิ่งศรี นครินทร์ จังหวัดพัทลุง โดยมีค่า Cross correlation 0.76792 และ 0.63678 ตามลำดับ พบว่าตั้งแต่เดือนตุลาคมเป็นต้นไป ค่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage มีแนวโน้มลดลงหากแต่ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่เดือนตุลาคมเป็นต้นไป นอกจากนี้ ในปีเดียว และช่วงเวลาดังกล่าว พบความล่าช้า 1 เดือน ดังตารางที่ 5.19 ในเดือนพฤศจิกายน ข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับเดือนตุลาคม และเพิ่มขึ้นในเดือน ธันวาคม โดยค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกมีแนวโน้มสูงขึ้นตั้งแต่เดือนตุลาคมเป็นต้นไป

จากข้อมูลทั้ง 2 ชุดในช่วงเวลาเดียวกันของปี ค.ศ. 2010 จึงสันนิษฐานได้ว่าค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกได้รับอิทธิพลจากเหตุการณ์น้ำท่วมมากกว่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage

6.1.2 กลุ่มความสัมพันธ์เชิงลบของข้อมูลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage และข้อมูลค่าความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก

จากตารางที่ 5.12 และตารางที่ 5.14 ในปี ค.ศ. 2005 และปี ค.ศ. 2007 พบความล่าช้า 0 เดือน

ในปีค.ศ. 2005 สถานีที่ 2 สถานีกรมชลประทานบ้านท่าใหญ่ อำเภอลานสกา จังหวัด นครศรีธรรมราช มีค่า Cross correlation  $-0.612765$  และในปี ค.ศ. 2007 สถานีที่ 7 สถานีกรม ชลประทานบ้านเสาธง อำเภอร่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช และ สถานีที่ 10 สถานีกรม ชลประทานบ้านนาป่า อำเภอมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีค่า Cross correlation  $-0.564155$  และ  $-0.542635$  ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage และค่าการ เปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก พบว่าในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน พบค่าการ เปลี่ยนแปลง Total water storage ติดลบ ในขณะที่ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงมีค่าบวกแต่มี แนวโน้มลดลง โดยในช่วงเวลาดังกล่าวไม่พบเหตุการณ์อุทกภัยในพื้นที่ จึงสันนิษฐานได้ว่า เมื่อ ปริมาณการเปลี่ยนแปลง Total water storage มีค่าน้อย หากแต่ยังมีปริมาณน้ำในดินหรือ Groundwater อยู่ จึงทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงยังคงมีค่าบวกและมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการหายไปของปริมาณน้ำในดินตามวัฏจักรของน้ำ

จากตาราง 5.20 ในปี ค.ศ. 2010 พบความล่าช้า 1 เดือน ที่ สถานีที่ 2 สถานีกรมชลประทานบ้านท่าใหญ่ อำเภอลานสกา จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 4 สถานีกรมชลประทานบ้านวังก้อ อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 7 สถานีกรมชลประทานบ้านเสาธง อำเภออ่อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช สถานีที่ 10 สถานีกรมอุตุนิยมวิทยานครศรีธรรมราช อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยมีค่า Cross correlation  $-0.858688$   $-0.793825$   $-0.626406$  และ  $-0.680357$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการเปลี่ยนแปลง Total water storage กับค่าปกติพบว่าในเดือนพฤศจิกายนและเดือนธันวาคม มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยในช่วงเวลาดังกล่าวเกิดเหตุการณ์อุทกภัยในพื้นที่ศึกษาจากที่กล่าวไปในหัวข้อ 6.1.1 จึงสันนิษฐานได้ว่าเหตุการณ์น้ำท่วมส่งผลกระทบต่อค่าการเปลี่ยนแปลงค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกมากกว่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage

#### 6.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำและการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก

พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการกักเก็บน้ำในเขื่อนรัชชประภา และการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก ในปี ค.ศ.2002 ซึ่งเป็นปีที่ไม่มีเกิดเหตุการณ์น้ำท่วม โดยพบความล่าช้าที่ 0 เดือน ดังตารางที่ 5.21

## 6.2 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลง Total water storage ที่ได้จากข้อมูลอุทกวิทยา 3 ข้อมูล ได้แก่ (1) ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากสถานีกรมชลประทาน (2) ข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีกรมอุตุนิยมวิทยา และ (3) ข้อมูลการคายระเหยจาก MODIS กับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกที่ได้จาก ดาวเทียม GRACE เดือนเมษายน ปี ค.ศ. 2002 – เดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคใต้ ประเทศไทยพบว่า การเปลี่ยนแปลง Total water storage และการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกมีความสัมพันธ์กัน เมื่อการเปลี่ยนแปลง Total water storage มีปริมาณสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกจะมีค่าสูงขึ้น และเมื่อการเปลี่ยนแปลง Total water storage ลดลง การเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นดินจะลดลงตาม โดยการเปลี่ยนแปลง Total water storage มีลักษณะเป็นวัฏจักร (Cycle) กล่าวคือสามารถทราบช่วงเวลาที่เกิดขึ้นของข้อมูล Total water storage โดยประมาณอย่างแน่นอน ในขณะที่ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงนั้นมีการเกิดขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage เช่นกัน

นอกจากนี้ยังอาจสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกที่ได้จากข้อมูลค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก Harmonics 5x5 จาก GRACE จะตรวจจับข้อมูลปริมาณน้ำที่มหาศาลได้ดี จากการเปรียบเทียบน้ำที่ใช้ในการศึกษาระหว่าง (1) ปริมาณการเปลี่ยนแปลง Total Water storage ที่มีมาตราการวัดเป็นมิลลิเมตร (2) ปริมาณน้ำจากเหตุการณ์อุทกภัย และ (3) ปริมาณน้ำที่กักเก็บในเขื่อนที่มีมาตราการวัดเป็นล้านลูกบาศก์เมตรซึ่งเป็นปริมาณที่แตกต่างกันมาก การทำงานของดาวเทียม GRACE จะทำงานได้ดีกับข้อมูลปริมาณน้ำที่มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาการประมาณค่าแหล่งกักเก็บน้ำด้วยข้อมูลจาก GRACE ในอ่างเก็บน้ำและทะเลสาบ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำเยอะเช่นกัน (Longuevergne et al., 2013) และจากรูปแสดงค่าปกติและค่าผิดปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage ในหัวข้อที่ 5.2 พบว่า ค่าปกติและค่าผิดปกติในช่วงเวลาที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในขณะที่ค่าปกติของการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกจากรูปที่แสดงในหัวข้อ 5.2 พบการเปลี่ยนแปลงน้อยหรือมีความคงที่ (Stable) สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าปกติของการเปลี่ยนแปลง Total water storage และเมื่อเปรียบเทียบช่วงเวลาค่าความล่าช้าทั้งข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Total water storage และข้อมูลการกักเก็บน้ำในเขื่อนในปีปกติที่ไม่เกิดอุทกภัยและภัยแล้งใดใดกับปริมาณการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลก พบความล่าช้าที่ 0 เดือน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวโลกที่ได้จากข้อมูลค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก Harmonics 5x5 จาก GRACE ได้รวมปรากฏการณ์ทุกอย่างที่เกิดขึ้นบนภูมิภาคประเทศจริงรวมไปถึงข้อมูลใต้ดิน เช่น การกักเก็บความชุ่มชื้นในดิน (Soil moisture storage) ปริมาณการกักเก็บน้ำใต้ดิน (Ground water storage) เข้าด้วย แต่ค่าการเปลี่ยนแปลง Total water storage ได้ใช้ข้อมูลด้านอุทกวิทยาเพียง 3 ข้อมูลในการคำนวณดังที่กล่าวไปข้างต้น ในขณะเดียวกัน พบกลุ่มความสัมพันธ์เชิงบวกและลบที่มีค่าความสัมพันธ์เข้าใกล้ศูนย์ หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่มีความสัมพันธ์ ทั้งนี้อาจเกิดจากการนำข้อมูลมาใช้ในการหาความสัมพันธ์ทางช่วงเวลาเป็นข้อมูลปริมาณการเปลี่ยนแปลงน้ำ ไม่ใช่ปริมาณน้ำที่แท้จริง และอาจเกิดจากบางช่วงเวลาที่ใช้การศึกษาเกิดเหตุการณ์อุทกภัย เมื่อนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ทางช่วงเวลา จึงมีความสัมพันธ์กันน้อย เนื่องจากข้อมูลจาก GRACE ตรวจจับน้ำท่วมได้ หากแต่ข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage ไม่ได้รวมปริมาณจากเหตุการณ์อุทกภัยเข้าด้วย ทั้งนี้เมื่อไม่มีเหตุการณ์อุทกภัยเกิดขึ้น ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลกจะเปลี่ยนแปลงตามข้อมูลการเปลี่ยนแปลง Total water storage ที่มีการหมุนเวียนเป็นวัฏจักร ดังนั้นหากนำข้อมูลค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก Harmonics 5x5

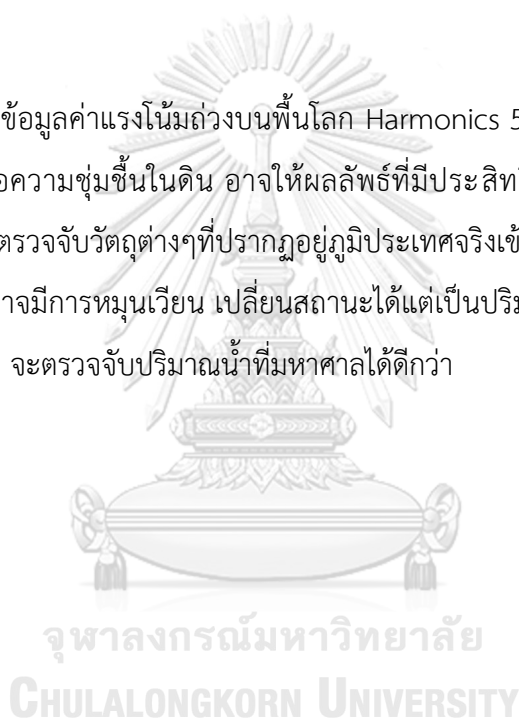


จาก GRACE มาศึกษาปริมาณน้ำใต้ดิน ปริมาณน้ำในชั้นหิน เป็นต้น อาจทำให้การทำงานของ GRACE ทำงานได้ไม่มีประสิทธิภาพพอในการตรวจจับ

### 6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 การนำปัจจัยอื่นๆของการเปลี่ยนแปลง Total water storage เช่น การกักเก็บความชุ่มชื้นในดิน (Soil moisture storage) ปริมาณการกักเก็บน้ำใต้ดิน (Ground water storage) เป็นต้น มาใช้ในการคำนวณ อาจทำให้ได้ผลการเปลี่ยนแปลง Total water storage ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

6.3.2 การนำข้อมูลค่าแรงโน้มถ่วงบนพื้นโลก Harmonics 5x5 จาก GRACE มาคำนวณหาปริมาณน้ำใต้ดิน หรือความชุ่มชื้นในดิน อาจให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพน้อย ถึงแม้ว่าข้อมูลจากดาวเทียม GRACE จะตรวจจับวัตถุต่างๆที่ปรากฏอยู่ภูมิประเทศจริงเข้าร่วมด้วย แต่ปริมาณน้ำที่อยู่ในดินหรือชั้นหินต่างๆ อาจมีการหมุนเวียน เปลี่ยนสถานะได้แต่เป็นปริมาณที่น้อย เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากดาวเทียม GRACE จะตรวจจับปริมาณน้ำที่มหาศาลได้ดีกว่า



ภาคผนวก



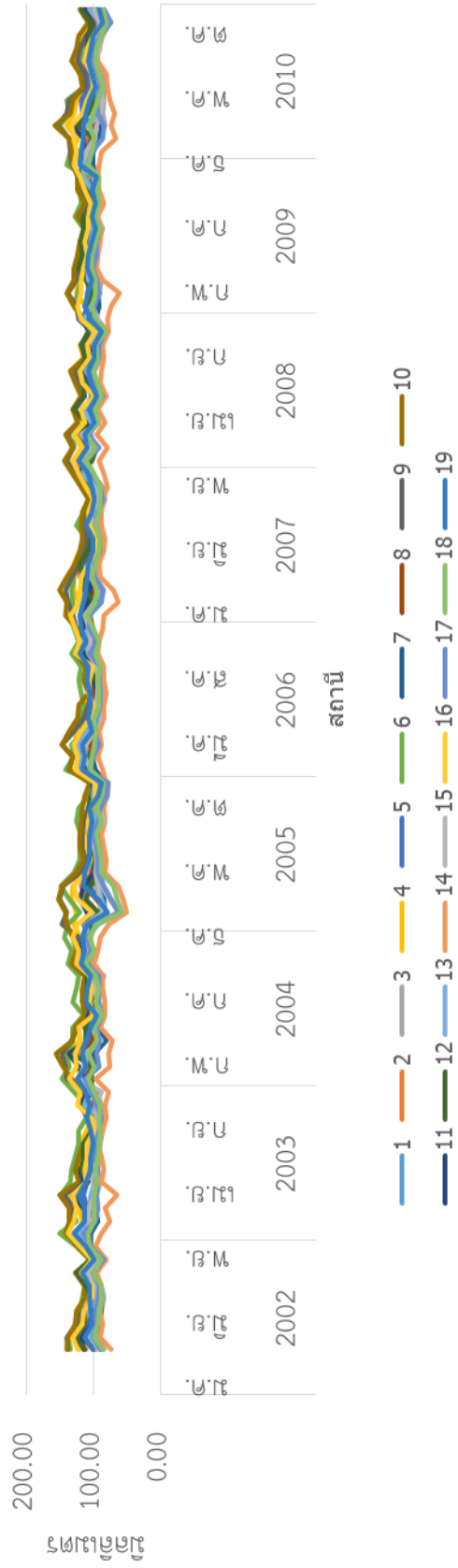
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

**ภาคผนวก ก.**

ปริมาณการคายระเหยรายสถานี 19 สถานีจาก MODIS 16 ดังตารางที่ ก.1



ปริมาณการคายระเหย



รูปที่ ก. 1 ปริมาณการคายระเหย

**ภาคผนวก ข.**

เหตุการณ์อุทกภัย ปี พ.ศ. 2545 – 2553 ค.ศ. 2002 – 2010

เหตุการณ์อุทกภัยที่เกิดขึ้นในภาคใต้ ประเทศในช่วงเวลาปี พ.ศ. 2545 – 2553 มีดังต่อไปนี้  
(สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2018)



ลำดับที่	ปี ค.ศ.	ช่วงเวลา	พื้นที่ประสบภัย (จังหวัด)	สาเหตุ
1	2003	มกราคม	นครศรีธรรมราช	ร่องความกดอากาศต่ำ
2		9-11 ธันวาคม	สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช สงขลา	ฝนตกหนัก/น้ำป่าไหลหลาก
3	2004	25 – 26 พฤศจิกายน	ชุมพร	พายุโซนร้อนหมุยฟ้า
4	2005	21 -27 ตุลาคม	ชุมพร	ร่องความกดอากาศต่ำ
5		ธันวาคม	นครศรีธรรมราช สงขลา ตรัง สตูล สุราษฎร์ธานี ปัตตานี พัทลุง ยะลา	ฝนตกหนัก/น้ำป่าไหลหลาก
6	2007	1 – 20 พฤษภาคม	ระนอง ชุมพร	พายุไซโคลน/ พายุดีเปรสชัน / น้ำป่าไหลหลาก
7		ตุลาคม	ชุมพร สุราษฎร์ธานี	เมฆฝน
8		ธันวาคม	ยะลา สงขลา นราธิวาส ปัตตานี	เมฆฝน

ตารางที่ ข. 1 เหตุการณ์อุทกภัย

ที่มา : (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2018)

ลำดับที่	ปี ค.ศ.	ช่วงเวลา	พื้นที่ประสบภัย (จังหวัด)	สาเหตุ
9	2008	8 – 12 พฤศจิกายน	สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ชุมพร	เมฆฝน
10		20 พฤศจิกายน - 2 ธันวาคม	สงขลา ยะลา นราธิวาส ปัตตานี พัทลุง	เมฆฝน
11	2009	6 - 8 ธันวาคม	สงขลา ยะลา ปัตตานี นราธิวาส พัทลุง	เมฆฝน
12		8 -12 กรกฎาคม	พังงา ตรัง สตูล ระนอง	เมฆฝน
13	2009	3 – 9 พฤศจิกายน	สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช พัทลุง ชุมพร สงขลา สตูล ตรัง นราธิวาส ยะลา ปัตตานี	เมฆฝน
14		18 – 25 พฤศจิกายน	นราธิวาส ยะลา ปัตตานี สงขลา	เมฆฝน
15	2010	1 – 16 พฤศจิกายน	ตรัง พัทลุง สตูล สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ชุมพร พังงา	เมฆฝน
16		26 พฤศจิกายน - 7 ธันวาคม	สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ตรัง พัทลุง ชุมพร	เมฆฝน

ตารางที่ ข. 2 เหตุการณ์อุทกภัย

ที่มา : (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2018)

## บรรณานุกรม

- Andrew, R., Guan, H., & Batelaan, O. (2017). Estimation of GRACE water storage components by temporal decomposition. *Journal of Hydrology*, 552, 341-350.
- Cao, Y., Nan, Z., & Cheng, G. J. R. S. (2015). GRACE gravity satellite observations of terrestrial water storage changes for drought characterization in the arid land of northwestern China. 7(1), 1021-1047.
- Crossley, D., De Linage, C., Hinderer, J., Boy, J.-P., & Famiglietti, J. J. G. J. I. (2012). A comparison of the gravity field over Central Europe from superconducting gravimeters, GRACE and global hydrological models, using EOF analysis. 189(2), 877-897.
- Environmental Systems Research Institute. (2016). Kriging. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/3d-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>
- Kuss, A., Brandt, W. T., Randall, J., Floyd, B., Bourai, A., Newcomer, M., . . . Skiles, J. (2012). *Comparison of changes in groundwater storage using GRACE data and a hydrological model in California's Central Valley*. Paper presented at the ASPRS Ann. Conf.
- Li, Q., Zhong, B., Luo, Z., Yao, C. J. G., & Geodynamics. (2016). GRACE-based estimates of water discharge over the Yellow River basin. 7(3), 187-193.
- Longuevergne, L., Wilson, C., Scanlon, B., Crétaux, J. J. H., & Sciences, E. S. (2013). GRACE water storage estimates for the Middle East and other regions with significant reservoir and lake storage. 17(12), 4817-4830.
- National weateher service. (2018). Winter Precipitation Types. Retrieved from <https://www.weather.gov/ama/preciptypes>
- Probst, W. N., Stelzenmüller, V., & Fock, H. O. J. I. j. o. m. s. (2012). Using cross-correlations to assess the relationship between time-lagged pressure and state indicators: an exemplary analysis of North Sea fish population indicators. 69(4), 670-681.
- Singh, A. K., Jasrotia, A. S., Taloor, A. K., Kotlia, B. S., Kumar, V., Roy, S., . . . Sharma, A. K.



- (2017). Estimation of quantitative measures of total water storage variation from GRACE and GLDAS-NOAH satellites using geospatial technology. *Quaternary International*, 444, 191-200. doi:<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.04.014>
- The National Aeronautics and Space Administration. (2016). MODIS Global Evapotranspiration Project (MOD16) Retrieved from <http://www.nts.gov/project/modis/mod16.php>
- The National Aeronautics and Space Administration. (2017). CSR Weekly 5x5 Gravity Harmonics Retrieved from <https://grace.jpl.nasa.gov/data/get-data/gravity-harmonics/>
- The National Aeronautics and Space Administration. (2017). GRACE. Retrieved from <https://grace.jpl.nasa.gov/mission/grace/>
- The National Aeronautics and Space Administration. (2018). GRACE-FO. Retrieved from <https://gracefo.jpl.nasa.gov/mission/overview/>
- The National Aeronautics and Space Administration. (2018). MODIS. Retrieved from <https://aqua.nasa.gov/modis>
- The National Center for Atmospheric Research. (2018). GRACE: Gravity Recovery and Climate Experiment: Surface mass, total water storage, and derived variables. Retrieved from <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/grace-gravity-recovery-and-climate-experiment-surface-mass-total-water-storage-and>
- United States Geological Survey. (2016). Evapotranspiration Retrieved from <http://water.usgs.gov/edu/watercycleevapotranspiration.html>
- United States Geological Survey. (2016a). Surface Runoff. Retrieved from <https://water.usgs.gov/edu/watercyclerrunoff.html>
- United States Geological Survey. (2016). The World's Water. Retrieved from <https://water.usgs.gov/edu/earthwherewater.html>
- United States Geological Survey. (2017a). Lakes and Reservoirs. Retrieved from <https://water.usgs.gov/edu/earthlakes.html>
- United States Geological Survey. (2017). The Water Cycle. Retrieved from <https://water.usgs.gov/edu/watercycle.html>
- United States Geological Survey. (2018). Precipitation. Retrieved from United States Geological Survey

Zhou, J., Sun, H., Xu, J., & Zhang, W. J. J. o. A. G. (2016). Estimation of local water storage change by space-and ground-based gravimetry. *131*, 23-28.

กรมชลประทาน. (2018). ตารางข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายเดือน-ปี ลุ่มน้ำภาคใต้. Retrieved from <http://hydro-8.com/>

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2018). ปริมาณฝน. Retrieved from <https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=55>

สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. (2018). บันทึกเหตุการณ์น้ำท่วม. Retrieved from <http://www.thaiwater.net/web/index.php>





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สรณีย์ วิไลวงษ์
วัน เดือน ปี เกิด	9 กันยายน 2535
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2557 ศิลปศาสตรบัณฑิต (ศศ.บ.) สาขาภูมิศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ผลงานตีพิมพ์	สรณีย์ วิไลวงษ์ และ ธงทิศ ฉายากุล (2561) "การศึกษาความสัมพันธ์ของค่าแรงโน้มถ่วงเปลี่ยนแปลงบนพื้นโลกจากข้อมูลจากดาวเทียม GRACE และการเปลี่ยนแปลง Total water storage ในภาคใต้ ประเทศไทย", การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23