

การติดตามการเปลี่ยนแปลงของ Total Water Storage  
จากข้อมูลดาวเทียม GRACE โดยใช้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน



นายจิรวัดน์ จันทร์ทองพูน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A MONITORING CHANGE OF TOTAL WATER STORAGE  
FROM GRACE DATA BY USING SEA SURFACE TEMPERATURE CHANGE  
IN THE AREA OF UPPER THAILAND REGION

Mr. Jirawat Jantongpoon



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

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์               | การติดตามการเปลี่ยนแปลงของ Total Water Storage จากข้อมูลดาวเทียม GRACE โดยใช้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมิวน้ำทะเลในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน |
| โดย                             | นายจิรวุฒิ จันทองพูน   |
| สาขาวิชา                        | วิศวกรรมสำรวจ  |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ดร.ชงทิศ ฉายากุล   |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์  |

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ดร.ชัยโชค ไวกาษา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ดร.ชงทิศ ฉายากุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนก วีรวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.สุกิจ วิเศษสินธุ์)

จิรววัฒน์ จันทองพูน : การติดตามการเปลี่ยนแปลงของ Total Water Storage จากข้อมูลดาวเทียม GRACE โดยใช้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน (A MONITORING CHANGE OF TOTAL WATER STORAGE FROM GRACE DATA BY USING SEA SURFACE TEMPERATURE CHANGE IN THE AREA OF UPPER THAILAND REGION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ดร.รงทิด ฉายากุล, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ. ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์, 165 หน้า.

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อติดตาม Total Water Storage (TWS) ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน โดยใช้การประมาณค่าด้วยข้อมูลดาวเทียม GRACE ที่สามารถหาค่า Gravity field Changes และแปลงค่า TWS ที่อยู่บนพื้นผิวโลก โดยศึกษาเปรียบเทียบกับข้อมูลของ TWS ที่ได้จากข้อมูลอุทกวิทยา อันประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลปริมาณน้ำท่า และข้อมูลการคายระเหย จากสมการสมดุลน้ำ และทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในบริเวณตอนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิกกับข้อมูล TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE และข้อมูลอุทกวิทยาของพื้นที่ประเทศไทยตอนบน จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูล TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE และข้อมูลอุทกวิทยา ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากข้อมูลสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินมีความสอดคล้องกันในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ที่ร้อยละ 71.16 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงของ TWS ในพื้นที่ได้ โดยความแตกต่างระหว่างข้อมูล TWS ที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากปริมาณน้ำบาดาลซึ่งไม่ถูกรวมอยู่ในข้อมูลอุทกวิทยา ซึ่งผลจากการศึกษาความสัมพันธ์พบว่า อุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีอิทธิพลสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของ TWS ในปีที่มีปรากฏการณ์ ENSO ทั้งในปีที่มีปรากฏการณ์ลานีญาและปรากฏการณ์เอลนีโญ และการคำนวณความล่าช้าของเวลาระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับการเปลี่ยนแปลงของ TWS ในพื้นที่การศึกษามีประโยชน์ในการทำนายปริมาณน้ำในพื้นที่

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อนิสิต .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 5970126121 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS: GRACE, TOTAL WATER STORAGE, SEA SURFACE TEMPERATURE, ENSO, HYDROLOGICAL DATA

JIRAWAT JANTONGPOON: A MONITORING CHANGE OF TOTAL WATER STORAGE FROM GRACE DATA BY USING SEA SURFACE TEMPERATURE CHANGE IN THE AREA OF UPPER THAILAND REGION. ADVISOR: D.ENG.THONGTHIT CHAYAKULA, CO-ADVISOR: ASST. PROF. D.ENG.ANURAK SRIARIYAWAT, 165 pp.

Total Water Storage (TWS) in the northern part of Thailand is monitored by GRACE satellite data, which is calculated from Gravity Changes and normal Hydrological data, which consists of rainfall data, evaporation data and ground water runoff data by using Water Balance Equation. This study also estimates this relationship between the changes of Sea Surface Temperature (SST) in the Pacific Ocean and the changes of TWS from both GRACE and Hydrological data in the Northern part of Thailand. It is found that the cross correlation between TWS from GRACE data and Hydrological data is at 71.16% on 0.05 significant level and good enough to estimate the change of TWS in the area, but the differences are suspected to be from the underground water, in which Hydrological data can not be found. Moreover, Sea Surface Temperature (SST), plays a vital role in the changes of TWS. It is clearly shown in the years which there were ENSO phenomenon, both La Nina and El Nino. And from the research, time-delay between SST changes and TWS changes in the study areas could be calculated, which is very useful to predict and amount of water in the area

Department: Survey Engineering

Field of Study: Survey Engineering

Academic Year: 2017

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Co-Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ประสบความสำเร็จไปด้วยดี ซึ่งได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลหลายบุคคล โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ ดร.ธงทิศ ฉายากุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้โอกาส ความรู้ วิธีการเขียนวิจัย และแนวคิดต่าง ๆ รวมถึงการติดต่อประสานงานในด้านต่าง ๆ ทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่สนับสนุนร่างกาย แรงใจ และแรงทรัพย์ ซึ่งทำให้ผู้วิจัยมีกำลังใจในการทำงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.อนุรักษ์ ศรีอริยวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับความเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศโลก และคำแนะนำในการเขียนวิจัย

ขอขอบพระคุณ ดร.ชัยโชค ไวกาษา ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.กนก วีรวงศ์ และดร.สุกิจ วิเศษสินธุ์ ที่ได้สละเวลาเป็นกรรมการภายนอกที่กรุณาให้คำแนะนำ คำติชม รวมไปถึงแนวคิดที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ ที่ได้มอบความรู้อันทรงคุณค่า และคำแนะนำแก่ข้าพเจ้า และขอขอบคุณ นางสาวกนกพรรณ ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา ที่ให้คำปรึกษาในการสืบค้นและประมวลผลข้อมูล รวมถึงเพื่อน พี่ น้อง ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจที่คอยให้คำแนะนำในการเรียนและการวิจัย คอยช่วยเหลือเมื่อมีปัญหาและให้กำลังใจกันตลอดมาจนวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณทุกท่านจากใจจริง

## สารบัญ

หน้า

|   |    |
|---|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ง  |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....   | จ  |
| กิตติกรรมประกาศ.....  | ฉ  |
| สารบัญ.....   | ช  |
| สารบัญตาราง.....  | ญ  |
| สารบัญรูป.....  | ฎ  |
| บทที่ 1 บทนำ.....   | 1  |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....   | 1  |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....  | 2  |
| 1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....   | 2  |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....  | 4  |
| 1.5 นิยามศัพท์.....   | 4  |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....   | 5  |
| 2.1 วัฏจักรของน้ำ (Hydrologic Cycle).....   | 5  |
| 2.2 GRACE DATA.....   | 7  |
| 2.3 Total Water Storage.....  | 9  |
| 2.5 อุณหภูมิผิวน้ำทะเล.....   | 23 |
| 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ทางสมุทรศาสตร์กับฝน.....   | 26 |
| 2.7 การหาความสัมพันธ์ด้วยเทคนิค Cross Correlation.....  | 32 |
| บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 34 |
| 3.1 The 2009 exceptional Amazon flood and interannual terrestrial water storage change observed by GRACE..... | 34 |
| 3.2 Global Terrestrial Water Storage Changes and connections to ENSO events....                               | 36 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.3 GRACE-Derived Terrestrial Water Storage Changes in the Inter-Basin Region and Its Possible Influencing Factors: A Case Study of the Sichuan Basin .....  | 38  |
| 3.4 Terrestrial water storage changes over the Pearl River Basin from GRACE and connections with Pacific climate variability. ....                           | 39  |
| บทที่ 4 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....  | 42  |
| 4.1 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย.....   | 42  |
| 4.2 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย .....   | 42  |
| 4.3 วิธีดำเนินงานวิจัย .....   | 43  |
| บทที่ 5 ผลการศึกษา.....  | 53  |
| 5.1 ผลการเปรียบเทียบระหว่าง TWS from GRACE กับ TWS from Hydrological data .....  | 53  |
| 5.2 ผลจากความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมิวน้ำทะเลกับปริมาณน้ำฝน และ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน.....   | 56  |
| 5.3 ผลของค่าความผิดปกติของอุณหภูมิมิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลาง.....  | 59  |
| 5.4 ผลจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิมิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝนและค่าความผิดปกติของ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน .....                 | 62  |
| 5.5 ผลจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิมิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝนและค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่รอยภาคของประเทศไทยตอนบน ..... | 68  |
| บทที่ 6 อภิปราย สรุปผล และข้อเสนอแนะ .....   | 88  |
| 6.1 อภิปรายผลการศึกษา.....   | 88  |
| 6.2 สรุปผลการศึกษา.....  | 93  |
| 6.3 ข้อเสนอแนะ.....  | 94  |
| รายการอ้างอิง .....  | 95  |
| ภาคผนวก.....   | 100 |



ภาคผนวก ก การเปรียบเทียบระหว่าง TWS from GRACE กับ TWS from Hydrological data ในประเทศไทยตอนบน ..... 101

ภาคผนวก ข ผลจากการประมวลผลของค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมิวิวทะเล ปริมาณน้ำฝนและ TWS ในประเทศไทยตอนบน ..... 107

ภาคผนวก ค ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมิวิวน้ำทะเลกับปริมาณน้ำฝนและ TWS ในประเทศไทยตอนบน ..... 113

ภาคผนวก ง ค่าการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิมิวิวทะเลและ ENSO Index ..... 115

ภาคผนวก จ การประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิมิวิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน และค่าความผิดปกติของ TWS ในประเทศไทยตอนบน ..... 121

ภาคผนวก ฉ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิมิวิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน และค่าความผิดปกติของ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน ..... 127

ภาคผนวก ช การประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิมิวิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน และค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่รอยภาคของประเทศไทยตอนบน.... 131

ภาคผนวก ซ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิมิวิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน และค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่รอยภาคของประเทศไทยตอนบน ..... 152

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... 165



## สารบัญตาราง

|   | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 ปริมาณน้ำฝน (มม.) ของประเทศไทยในฤดูกาลต่าง ๆ ..... | 17   |
| ตารางที่ 5.1 ค่า Model Summary ของ Lag time.....                | 55   |



## สารบัญรูป

|   | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 1.1 ขอบเขตพื้นที่การศึกษา.....   | 3    |
| รูปที่ 2.1 วัฏจักรของน้ำ .....  | 6    |
| รูปที่ 2.2 หลักการวัด TWS ด้วยดาวเทียม GRACE .....  | 8    |
| รูปที่ 2.3 GRACE Mission Data Flow .....  | 10   |
| รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการประมวลผล TWS ของข้อมูลดาวเทียม GRACE.....                              | 11   |
| รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของ Total Water Storage.....   | 12   |
| รูปที่ 2.6 แบบจำลองระบบอุทกวิทยาอย่างง่าย.....  | 13   |
| รูปที่ 2.7 วงจรอุทกวิทยาในระบบลุ่มน้ำธรรมชาติ.....  | 14   |
| รูปที่ 2.8 การแบ่งแยกระหว่างกระบวนการระเหยกับการคายน้ำ .....                                | 18   |
| รูปที่ 2.9 แนวทางในการหาค่าการระเหยและการระเหยจริงโดยการตรวจวัดข้อมูล .....                 | 18   |
| รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลการคายระเหย.....  | 19   |
| รูปที่ 2.11 ผังแสดงกระบวนการเกิดน้ำท่า.....   | 21   |
| รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบเครื่องรับรู้ของดาวเทียม AQUA.....                                    | 22   |
| รูปที่ 2.13 อุณหภูมิผิวน้ำในมหาสมุทร (องศาเซลเซียส) ในเดือนกุมภาพันธ์ .....                 | 24   |
| รูปที่ 2.14 MODIS Ocean Processing .....  | 25   |
| รูปที่ 2.15 ตำแหน่งร่องความกดอากาศต่ำ ทิศทางลมมรสุมและทางเดินพายุหมุนเขตร้อน .....          | 28   |
| รูปที่ 2.16 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน.....                                 | 30   |
| รูปที่ 2.17 Walker circulation : Normal conditions.....                                     | 31   |
| รูปที่ 3.1 ผลจากการติดตามสถานการณ์น้ำในพื้นที่ด้านตะวันออกเฉียงเหนือของกลุ่มน้ำอเมซอน ..... | 34   |
| รูปที่ 3.2 การเชื่อมโยงกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนกับดัชนี Nino 3.4 .....                  | 35   |
| รูปที่ 3.3 พื้นที่ศึกษาทั้ง 4 แห่ง .....  | 37   |
| รูปที่ 3.4 ผลจากการศึกษาจากพื้นที่ทั้ง 4 แห่ง.....  | 37   |

|  |    |
|--|----|
| รูปที่ 3.5 การเปรียบเทียบระหว่าง TWS จาก GRACE และข้อมูลอุทกวิทยาในกลุ่มน้ำเสฉวน .....                           | 38 |
| รูปที่ 3.6 ผลจากการเปรียบเทียบ TWS กับดัชนีต่าง ๆ (a) NINO 3.4 (b) IOD และ (c) PDO. ....                         | 39 |
| รูปที่ 3.7 ผลจากการเปรียบเทียบระหว่าง TWS จาก GRACE กับข้อมูลอุทกวิทยา .....                                     | 40 |
| รูปที่ 3.8 ผลจากการเปรียบเทียบระหว่าง TWS จาก GRACE กับดัชนี ENSO และ PDO .....                                  | 41 |
| รูปที่ 4.1 แผนดำเนินการ.....   | 43 |
| รูปที่ 4.2 Model Builder ที่เรียกใช้คำสั่ง Set Null (Raster Calculator) .....                                    | 44 |
| รูปที่ 4.3 Model Builder คำนวณหาค่า SSTA .....   | 45 |
| รูปที่ 4.4 SSTA ในเดือนมกราคม ค.ศ. 2006 .....  | 46 |
| รูปที่ 4.5 ลักษณะข้อมูล TWS ก่อน Set Null.....   | 47 |
| รูปที่ 4.6 Model Builder ที่เรียกใช้คำสั่ง Set Null (Raster Calculator) .....                                    | 47 |
| รูปที่ 4.7 TWS ในเดือนมกราคม ค.ศ. 2006 .....   | 48 |
| รูปที่ 4.8 ลักษณะข้อมูลการคายระเหยก่อน Set Null .....  | 49 |
| รูปที่ 4.9 Model Builder ที่เรียกใช้คำสั่ง Set Null (Raster Calculator) .....                                    | 49 |
| รูปที่ 4.10 การคายระเหยในเดือนมกราคม ค.ศ. 2006 .....   | 49 |
| รูปที่ 4.11 สถานีวัดน้ำฝนของข้อมูลภาคสนาม.....   | 50 |
| รูปที่ 4.12 Model Builder สำหรับการ Interpolation ด้วยวิธีการ Kriging.....                                       | 51 |
| รูปที่ 4.13 ปริมาณน้ำในเดือนมกราคม ค.ศ. 2006 ด้วยวิธีการ Kriging.....  | 51 |
| รูปที่ 5.1 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่าง TWS from GRACE กับ TWS from Hydrological data ของประเทศไทยตอนบน ..... | 54 |
| รูปที่ 5.2 กราฟแสดงผลความสอดคล้องระหว่าง TWS from GRACE กับ .....  | 55 |
| รูปที่ 5.3 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่าง Delta SST. กับปริมาณน้ำฝน ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน.....                | 56 |
| รูปที่ 5.4 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่าง Delta SST. กับ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน .....                      | 56 |
| รูปที่ 5.5 Cross Correlation ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับปริมาณน้ำฝน ..                         | 58 |

|   |    |
|---|----|
| รูปที่ 5.6 Cross Correlation ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับ TWS.....   | 58 |
| รูปที่ 5.7 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่าง SSTA กับ ENSO Index .....  | 59 |
| รูปที่ 5.8 SST Anomaly ในเดือนตุลาคม ปี ค.ศ.2011 (สภาวะลานีญา).....   | 60 |
| รูปที่ 5.9 SST Anomaly ในเดือนตุลาคม ปี ค.ศ.2015 (สภาวะเอลนีโญ).....  | 61 |
| รูปที่ 5.10 SST Anomaly ในเดือนตุลาคม ปี ค.ศ.2013 (สภาวะปกติ) .....   | 61 |
| รูปที่ 5.11 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน .....           | 62 |
| รูปที่ 5.12 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน .....                 | 63 |
| รูปที่ 5.13 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของ ปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลา 10 ปี .....                   | 65 |
| รูปที่ 5.14 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของ ปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ..... | 65 |
| รูปที่ 5.15 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของ ปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2010 - ค.ศ. 2015 ..... | 66 |
| รูปที่ 5.16 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของ TWS ในช่วงเวลาปีเวลา 10 ปี.....                     | 66 |
| รูปที่ 5.17 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของ TWS ในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010.....         | 67 |
| รูปที่ 5.18 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของ TWS ในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015.....         | 67 |
| รูปที่ 5.19 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนพื้นที่ภาคเหนือ .....                   | 68 |
| รูปที่ 5.20 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าพื้นที่ภาคเหนือ.....                   | 69 |





รูปที่ 5.47 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติ  
ของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคตะวันออก..... 86

รูปที่ 5.48 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติ  
ของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลา 10 ปีในพื้นที่ภาคกลาง..... 86

รูปที่ 5.49 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติ  
ของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคกลาง..... 87

รูปที่ 5.50 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติ  
ของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคกลาง..... 87





## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โลกมีอีกชื่อที่เรียกว่า “Blue Planet” จากลักษณะของพื้นผิวโลกที่มีมหาสมุทรครอบคลุมอยู่ที่ประมาณร้อยละ 70 จากพื้นผิวโลกทั้งหมด แต่จากปริมาณน้ำทั้งหมดของโลกพบว่า ร้อยละ 97 ของปริมาณน้ำทั้งหมดเป็นน้ำในมหาสมุทร ซึ่งเป็นน้ำเค็มที่ไม่สามารถนำมาบริโภคได้ โดยที่น้ำจืดที่เหลือในร้อยละ 3 ก็ไม่สามารถนำมาใช้เพื่ออุปโภคบริโภคได้ทั้งหมด เพราะร้อยละ 2 อยู่ในธารน้ำแข็ง (Glacier) ที่บริเวณขั้วโลกใต้และบริเวณเทือกเขาต่าง ๆ ในหลายภาคพื้นทวีป ดังนั้นจึงเหลือเพียงร้อยละ 1 ที่เป็นน้ำจืดที่อยู่ตามแหล่งน้ำ (วิษุวัตม์ แต่สมบัติ, 2555) เช่น แม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบ และน้ำบาดาล หรือสามารถรวมให้อยู่ในรูปของเทอม Total Water Storage ซึ่งให้ความหมายได้ว่า เป็นปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บอยู่บนพื้นผิวโลก และใต้พื้นผิวโลก ให้รวมถึงทะเลสาบ แม่น้ำ อ่างเก็บน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น พื้นที่ชุ่มน้ำ น้ำภายในดิน ความชื้นในดิน และน้ำบาดาล ทั้งนี้ทรัพยากรน้ำยังมีความสำคัญในอีกหลาย ๆ ด้าน เช่น ด้านการใช้บริโภคบริโภค ด้านเกษตรกรรมที่ใช้ในการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ ด้านอุตสาหกรรม และในด้านการผลิตพลังงาน

ในปี ค.ศ. 2002 องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) และศูนย์การบินและอวกาศแห่งชาติเยอรมัน (German Aerospace Center) ได้จัดตั้งโครงการ Gravity Recovery And Climate Experiment หรือ GRACE ที่ปฏิบัติการเกี่ยวกับการวัดแรงโน้มถ่วงของโลก ได้เริ่มปฏิบัติการตั้งแต่วันที่เดือนมีนาคม ค.ศ. 2002 โดยทางโครงการได้ตั้งสมมติฐานว่า แรงโน้มถ่วงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงมวลของโลก จึงทำการวัดการเปลี่ยนแปลงจากมวลของโลก ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะทำให้สามารถวัดค่า Total Water Storage (TWS) ของพื้นโลกได้ ประกอบกับสถานการณ์ในปัจจุบันของประเทศไทยที่กำลังเผชิญกับสภาวะปริมาณน้ำฝนที่ผิดปกติที่รุนแรงขึ้น (extreme rainfall event) ในรูปแบบของภัยแล้งและน้ำท่วม ซึ่งสถานการณ์น้ำดังกล่าวนี้ก็สามารถนำข้อมูลดาวเทียม GRACE มาเพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสถานการณ์น้ำได้ (กนกพรรณ ปาลกะวงศ์ ณ อยุธยา, 2559) และจากสถานการณ์น้ำในปัจจุบันพบว่า มีความแปรปรวนที่ทวีความรุนแรงและถี่ขึ้น การเกิดภัยพิบัติดังกล่าวนี้จะก่อให้เกิดความเสียหายในหลาย ๆ ด้าน อาทิ ความเสียหายต่อชีวิต ทรัพย์สิน เศรษฐกิจ และสังคม คิดเป็นมูลค่ามหาศาลในแต่ละปี และจากข้อมูลสถิติพบว่า ในช่วงเวลา 30 ปีที่ผ่านมาได้เกิดภาวะภัยแล้งและอุทกภัยที่รุนแรงในประเทศไทยมากกว่า 50 ครั้ง คิดเป็นมูลค่าความเสียหายในด้านเศรษฐกิจมากถึงหลายพันล้านบาท และหนึ่งในปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความแปรปรวนของสถานการณ์น้ำ คือ ระบบมรสุม และปรากฏการณ์

ENSO ที่เป็นปรากฏการณ์ความแปรปรวนของภูมิอากาศโลก ที่เกิดจากความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ซึ่งส่งผลทำให้มรสุมฤดูร้อนแถบเอเชียเปลี่ยนแปลงไปในรอบปีถึงรอบทศวรรษ (ชนิษฐา กู้ศรีสกุล, 2552) ตัวอย่างที่มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ ENSO กับมรสุมทางตอนใต้ของประเทศจีน (Lau and Wu, 2001; Wang, Wu and Lau, 2001; Xu and Chan, 2001) และจากการศึกษาที่ผ่านมาจะได้กล่าวถึงการลดลงของมรสุมในช่วงที่เกิดปรากฏการณ์ El Nino (Rasmusson and Carpenter, 1983) นอกจากนี้ผลกระทบของปรากฏการณ์ ENSO ก็ยังส่งอิทธิพลต่อ Total Water Storage (TWS) ในพื้นที่ลุ่มน้ำต่าง ๆ ในประเทศจีน (Luo, Yao, Li and Huang, 2016; Yao, Luo, Wang, Li and Zhou, 2016; Zhang, Chao, Chen and Wilson, 2015) ซึ่งสาเหตุหลักของความผันแปรของระบบอากาศโลก คือ การหมุนเวียนของอากาศแบบวอล์กเกอร์ (Walker circulation) ที่เกิดจากการเสียสมดุลของการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างบรรยากาศและมหาสมุทร

ดังนั้นสำหรับในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาเพียงเฉพาะค่าของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณตอนกลางของมหาสมุทรแปซิฟิกที่เป็นจุดเกิดปรากฏการณ์ ENSO และระบบมรสุมที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทย ทำให้ส่งอิทธิพลต่อความแปรปรวนของปริมาณน้ำในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของ Total Water Storage (TWS) ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน และติดตามสถานการณ์น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลางกับข้อมูลดาวเทียม GRACE (Total Water Storage Change from GRACE) และข้อมูลอุทกวิทยาที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นสนามของพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE กับข้อมูลทางอุทกวิทยาในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

1.2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลางกับข้อมูลดาวเทียม GRACE และข้อมูลอุทกวิทยาในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

### 1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

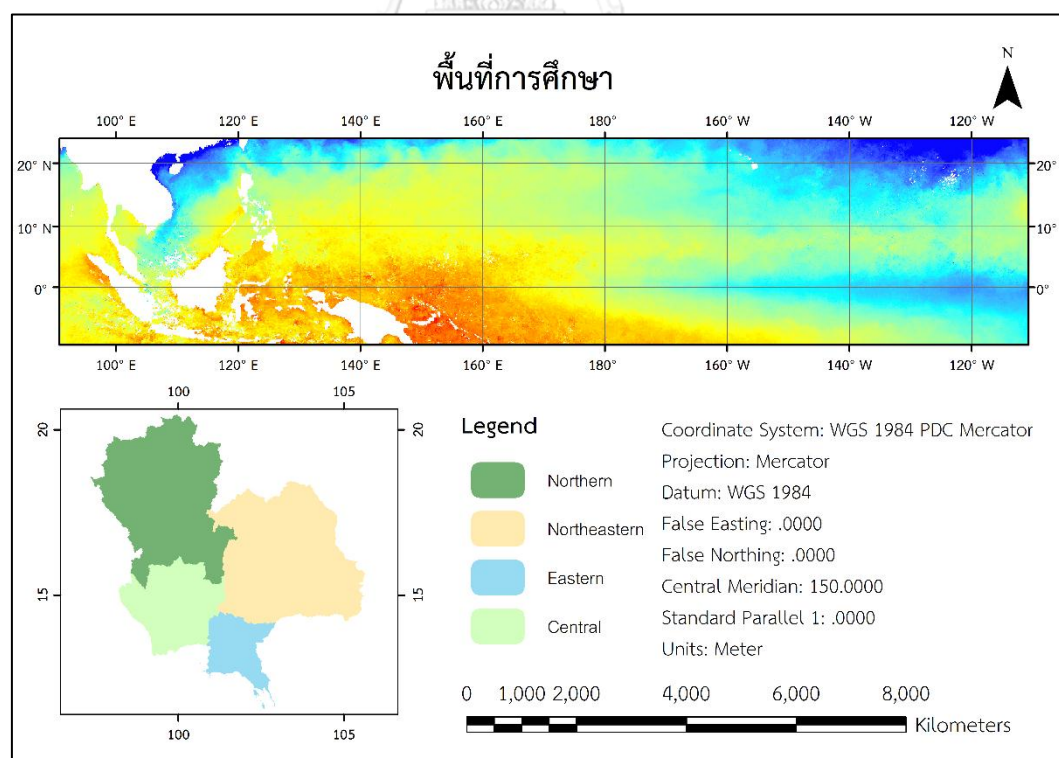
ศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลางกับข้อมูลดาวเทียม GRACE และข้อมูลอุทกวิทยา อันประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนจาก

กรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลปริมาณน้ำท่าจากกรมชลประทาน และข้อมูลการคายระเหยจากข้อมูลดาวเทียม AQUA โดยใช้เครื่องวัดคลื่นเชิงสเปกตรัม MODIS ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ประเทศไทยตอนบน โดยเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในรอบ 10 ปี (ค.ศ. 2006 – 2015) เว้นแต่ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ได้ทำการเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยในรอบ 30 ปี (ค.ศ. 1981 – 2010) ในแต่ละภาคของประเทศไทยตอนบน เพื่อหาค่าความแปรปรวนของสถานการณ์น้ำที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลาง

### 1.3.2 ขอบเขตพื้นที่การศึกษา

การแบ่งขอบเขตพื้นที่ศึกษาสามารถแบ่งได้ 2 พื้นที่ ได้แก่

- พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนของสถานการณ์น้ำ คือ พื้นที่ประเทศไทยตอนบน อันประกอบด้วย 4 ภาค คือภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคกลางตามการแบ่งภาคทางอุตุนิยมวิทยา
- พื้นที่ปัจจัยที่ก่อให้เกิดความแปรปรวนของของสถานการณ์น้ำ คือ ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลผิวน้ำทะเล คือ ตั้งแต่ lat. 10°S – 25°N และ long. 99°E – 110°W ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ขอบเขตพื้นที่การศึกษา

จากรูปที่ 1.1 จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่า พื้นที่ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะครอบคลุมพื้นที่มหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลาง ทำให้เห็นถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในภาพรวมของแต่ละเดือน เมื่อเปรียบเทียบกับดัชนี Nino 3.4 ที่ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ Lat. 5°S - 5°N และ Long. 170°E - 120°W และดัชนี Nino 4 ที่ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ Lat. 5°S - 5°N และ Long. 160°E - 150°W ที่มักใช้ในงานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งทั้งสองดัชนีจะครอบคลุมที่เล็ก ๆ ของมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งอาจทำให้มองไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำโดยภาพรวมในช่วงเวลาของแต่ละเดือน

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบการเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลางกับ TWS จาก GRACE และข้อมูลอุทกวิทยาของพื้นที่ประเทศไทยตอนบน เพื่อที่จะนำมาใช้ในการติดตามสถานการณ์น้ำที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละปี

#### 1.5 นิยามศัพท์

1.5.1 Total Water Storage from GRACE: TWS from GRACE คือ ปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บอยู่บนพื้นผิวโลก และใต้พื้นผิวโลก โดยรวมถึงทะเลสาบ แม่น้ำ อ่างเก็บน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น พื้นที่ชุ่มน้ำ น้ำภายในดิน ความชื้นในดิน และน้ำบาดาล

1.5.2 Total Water Storage from Hydrological data: TWS from Hydrological data คือ ปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้ในดิน หรือกล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำทั้งหมด แต่สำหรับในงานวิจัยนี้ได้ตัดเทอมของปริมาณน้ำใต้ดิน เพราะข้อจำกัดด้านข้อมูล

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีเกี่ยวข้องเป็นส่วนสำคัญของการจัดทำงานวิจัย ประกอบไปด้วยองค์ประกอบของข้อมูลดาวเทียม GRACE และ MODIS วัฏจักรของน้ำ และ Total Water Storage จากข้อมูลดาวเทียม GRACE และ Total Water Storage จากข้อมูลอุทกวิทยา ปรากรณการณ์ ENSO และรวมถึงการหาความสัมพันธ์ของปัจจัยด้วยเทคนิค Cross – Correlation

#### 2.1 วัฏจักรของน้ำ (Hydrologic Cycle)

วีระพล แต่สมบัติ (2533) ได้กล่าวว่า วัฏจักรของน้ำก็คือ การเกิดและการหมุนเวียนของน้ำที่อยู่ในโลกนั่นเอง ซึ่งวัฏจักรของน้ำที่เคลื่อนที่หมุนเวียนอยู่เป็นภาคตอนต่าง ๆ น้ำในโลกไม่ได้สูญหายไปไหน แต่จะเปลี่ยนรูปอยู่ในสภาพต่าง ๆ วนเวียนอยู่ในวัฏจักรของน้ำอันไม่มีจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งอาจจะอธิบายได้ดังนี้

ไอน้ำในบรรยากาศเรียกว่า atmospheric moisture ได้แก่ น้ำในรูปของไอน้ำ โดยมีอยู่ในบรรยากาศทั่วไปตลอดเวลา อาจมองเห็นได้ในรูปแบบของเมฆ หมอก และมองเห็นไม่ได้ในรูปของไอน้ำ ไอน้ำนี้เกิดมาจากการระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ บนผิวโลก ไอน้ำในอากาศนี้ถ้าหากมีมากขึ้นจนถึงจุดอิ่มตัว ความแปรปรวนทางอุณหภูมิตามธรรมชาติของบรรยากาศรอบผิวโลก จะทำให้อไอน้ำกลั่นตัวเป็นละอองน้ำและรวมตัวกันเป็นหยดน้ำตกลงสู่ผิวโลกได้ในหลายรูปแบบ เรียกว่า น้ำฟ้าหรือน้ำจากอากาศ (precipitation) ซึ่งถ้าเป็นรูปของเหลวก็คือ ฝน (rain) ถ้าเป็นรูปผลึกก็คือ หิมะ (snow) ถ้าเป็นรูปของแข็งก็คือ ลูกเห็บ (hail, sleet) และน้ำแข็ง (ice) นอกจากนั้นก็ยังมีรูปอื่น คือ น้ำค้าง (dew) หรือน้ำค้างแข็งตัว (frost) ในเมืองหนาว

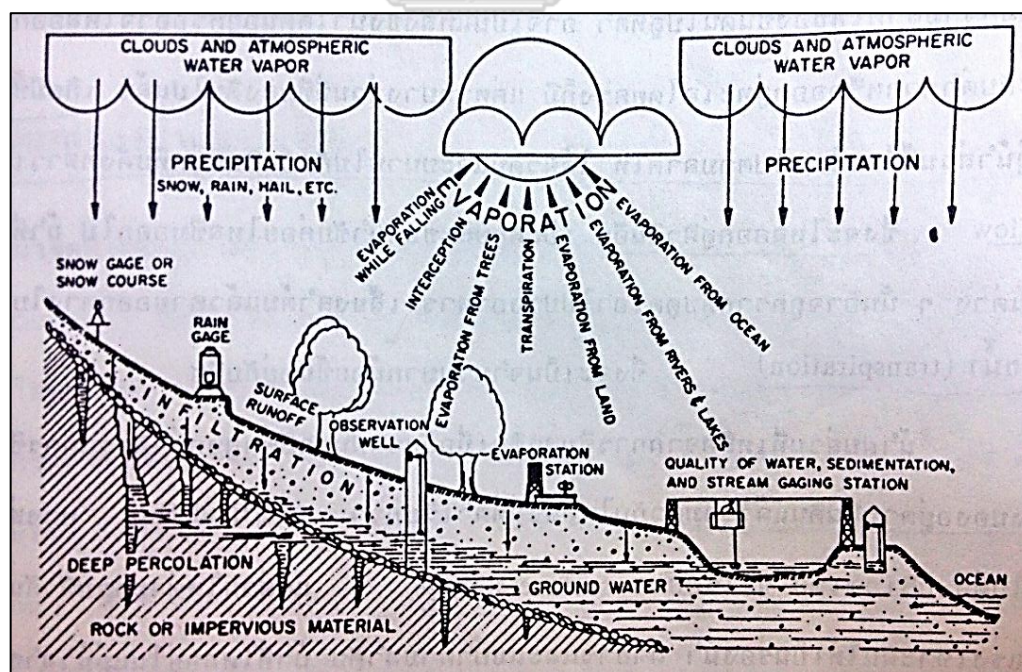
น้ำฝนที่ตกลงมาสู่ผิวโลกนั้น อาจตกปรอย ๆ บางส่วนอาจไม่ตกถึงผิวโลก แต่ระเหยกลับไปสู่บรรยากาศเสียก่อนก็มี ส่วนที่เป็นฝนตกลงถึงผิวโลกก็มาก น้ำฝนที่ตกลงในป่าจะถูกพืชกักไว้บางส่วนตามใบหรือลำตัวของพืช เรียกว่า interception ซึ่งบางส่วนจะระเหยกลับสู่บรรยากาศและบางส่วนจะหยดต่อลงสู่พื้นดิน

น้ำฝนส่วนที่ตกถึงพื้นดินจะเริ่มซึมลงดินด้วยแรงดึงดูดของเม็ดดินในลักษณะที่เรียกว่า การซึมสู่ผิวดินหรือการซึมผ่านผิวดิน (infiltration) และจะกลายเป็นน้ำที่ไหลในดิน เรียกว่า subsurface runoff ในกรณีที่ดินมีความชื้นเดิมน้อยมาก เช่น แห้ง อัตรการซึ่มลงดินในลักษณะนี้จะสูงมาก แต่เมื่อดินอิ่มตัวก็จะลดลงทันทีทันใดเช่นกัน น้ำส่วนที่ซึมลงไปอิมตัวอยู่ในดินจะถูกแรงดึงดูดโลกดูดให้ซึมลึกลงไปอีก เรียกว่า percolation ซึ่งจะซึมต่อไปถึงระดับน้ำใต้ดินที่มีน้ำอิมตัวขังอยู่เป็นน้ำใต้

ดินเรียกว่า ground water น้ำใต้ดินนี้มีหลายระดับชั้น จะค่อย ๆ ไหลตามความลาดเทใต้ผิวดิน และขนานไปกับชั้นดินแน่นทึบดังกล่าว เรียกว่า interflow ซึ่งจะไหลออกสู่ผิวดินอีก เป็นลักษณะของน้ำซับค่อยไหลซึมออกไป น้ำที่ซึมลงดินตามชั้นตอนต่าง ๆ นั้นอาจถูกรากพืชดูดเอาไปปรุงอาหาร เลี้ยงลำต้นแล้วคายออกทางใบ เรียกว่า การคายน้ำ (transpiration) ซึ่งเป็นจำนวนมากน้อยขึ้นอยู่กับพืช

น้ำฝนส่วนที่เหลือจากการซึมลงดินเมื่ออัตราฝนตกมีค่าสูงกว่าอัตราการซึมลงดิน ก็จะเกิดขังนองอยู่ตามพื้นดินแล้วรวมตัวกันไหลลงสู่ที่ต่ำ เรียกว่า overland flow บางส่วนอาจไปรวมตัวอยู่ในลุ่มบริเวณเล็ก ๆ เรียกว่า surface storage แต่ส่วนใหญ่จะรวมตัวกันมีปริมาณมากขึ้น มีแรงเซาะดินให้เป็นร่องน้ำ ลำธารและแม่น้ำตามลำดับ น้ำที่ไหลอยู่ในแม่น้ำลำธาร เรียกว่า น้ำท่า (surface runoff) น้ำท้านี้จะไหลออกทะเล มหาสมุทรไปในที่สุด

ตลอดเวลาที่น้ำอยู่ในชั้นตอนต่าง ๆ เหล่านี้ จะเกิดการระเหยเรียกว่า evaporation คือ น้ำที่เปลี่ยนสภาพเป็นไอน้ำขึ้นไปสู่บรรยากาศตลอดเวลา อาจเป็นจากผิวของใบไม้ที่ตักน้ำฝนไว้ จากผิวดินที่อึมไปด้วยน้ำ จากผิวน้ำในแม่น้ำ ลำธาร ทะเลสาบ หนอง บึง อ่างเก็บน้ำ แต่ส่วนใหญ่ก็คือ จากทะเล มหาสมุทร เมื่อเป็นไอน้ำก็จะลอยสูงขึ้นไป และเมื่ออุณหภูมิลดลงก็จะกลั่นตัวเป็นละอองน้ำหรือหยดน้ำ และจะกลายเป็นฝนตกลงมาอีก ดังนั้นวัฏจักรของน้ำจึงไม่มีเริ่มต้น ไม่มีสิ้นสุดหมุนเวียนเช่นนี้ตลอดเวลา



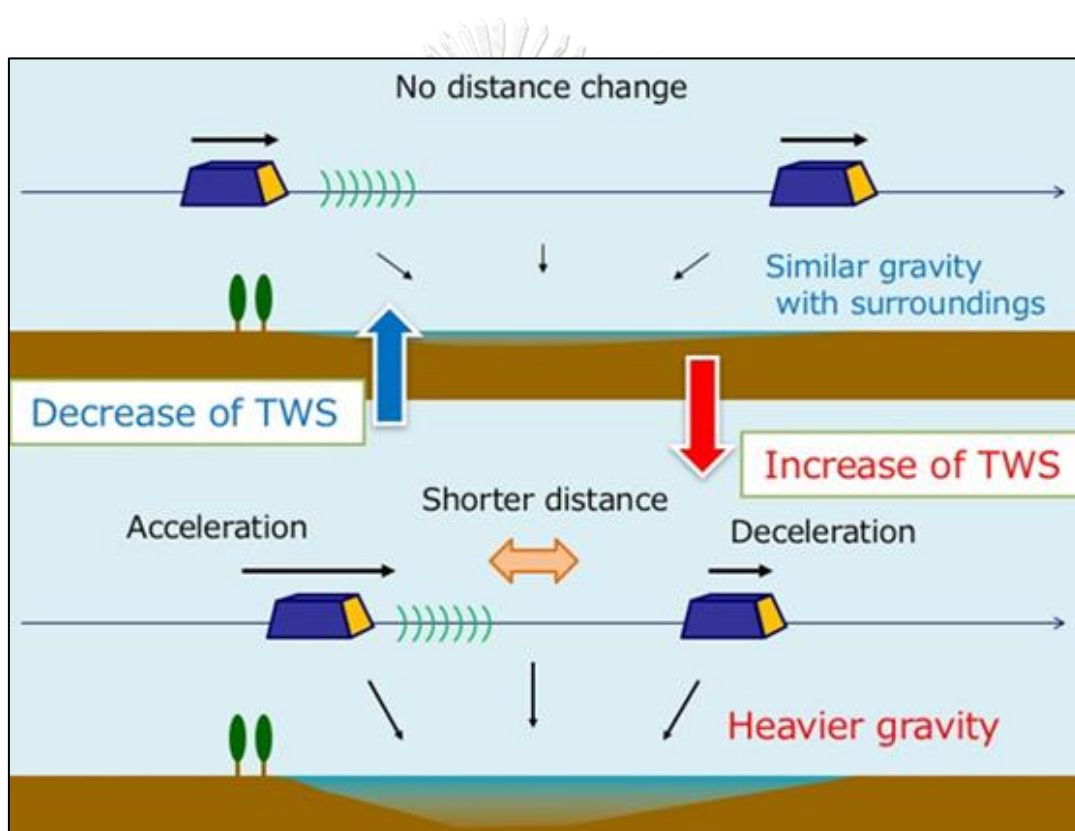
รูปที่ 2.1 วัฏจักรของน้ำ

ที่มา : (วิระพล แต่สมบัติ, 2533)

## 2.2 GRACE DATA

โครงการ Gravity Recovery And Climate Experiment หรือ GRACE เป็นโครงการที่ร่วมมือกันระหว่างองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) และศูนย์การบินและอวกาศแห่งชาติเยอรมัน (German Aerospace Center) ปฏิบัติภารกิจเกี่ยวกับการวัดแรงโน้มถ่วงของโลก เริ่มปฏิบัติการกิจตั้งแต่เดือนมีนาคม ค.ศ.2002 โดยทางโครงการได้ตั้งสมมติฐานว่า แรงโน้มถ่วงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากมวลของโลก จึงทำการวัดการเปลี่ยนแปลงจากมวลของโลก ดังนั้น ข้อมูลดาวเทียม GRACE จึงสามารถนำมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงมวลของมหาสมุทร มวลของภาคพื้นทวีป และสภาพภูมิอากาศ โดยวิธีการวัดข้อมูลดาวเทียม GRACE เริ่มจากตัวของดาวเทียม GRACE ประกอบไปด้วยยานดาวเทียม 2 ดวง (Tom and Jerry) ที่ได้รับการออกแบบให้เหมือนกันทุกประการ ดาวเทียมแต่ละดวงหนักประมาณครึ่งตัน และมีขนาดใหญ่เท่ากับรถยนต์ ในยานจะประกอบไปด้วยเครื่องรับสัญญาณ GNSS เป็นเครื่องมือในการระบุตำแหน่งการวัดบนพื้นผิวโลก และเครื่อง accelerometer ใช้วัดความเร่ง สำหรับการส่งสัญญาณระหว่างยานสองดวงส่งด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยยานจะถูกส่งให้อยู่เหนือพื้นดิน 500 กิโลเมตร และระยะห่างระหว่างยาน 220 กิโลเมตร การวัดความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงมวลสารของโลก โดยวัดจากความเร่งอันเนื่องมาจากระยะห่างของยานทั้งสองที่เปลี่ยนแปลงไป โดยยานทั้งสองจะโคจรในวงโคจรของโลกเมื่อยานเคลื่อนตัวไปบริเวณพื้นโลกที่เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงดึงดูดบนพื้นโลก ยกตัวอย่างเช่น เมื่อดาวเทียมดวงแรกกำลังโคจรผ่านแหล่งน้ำ โดยที่แรงโน้มถ่วงของแหล่งน้ำจะดึงดูดดาวเทียม ให้พุ่งไปข้างหน้าอย่างรวดเร็ว ทำให้ระยะห่างระหว่างดาวเทียมนั้นกับคู่แฝดเกิดระยะห่างเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อดาวเทียมโคจรผ่านแหล่งน้ำไปแล้ว แหล่งน้ำก็จะส่งแรงโน้มถ่วงดึงดูดดาวเทียมกลับ และในขนาดเดียวกันกับแหล่งน้ำก็จะดึงดูดดาวเทียมดวงที่สองที่กำลังตามมาให้พุ่งไปข้างหน้าอย่างรวดเร็วขึ้น ดังนั้น ระยะห่างระหว่างดาวเทียมทั้งสองก็จะน้อยลง การเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างดาวเทียมนี้แสดงให้เห็นนักวิทยาศาสตร์รู้ว่า บริเวณนั้นมีแหล่งน้ำอยู่ และแหล่งน้ำทำให้ความเข้มของสนามแรงโน้มถ่วงเปลี่ยนแปลงมาน้อยเพียงใด และเมื่อดาวเทียมทั้งสองโคจรผ่านแหล่งน้ำไปแล้ว ระยะห่างระหว่างดาวเทียมทั้งสองก็จะคงเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยที่การวัดระยะห่างระหว่างดาวเทียมสองดวงใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Global Navigation Satellite System, GNSS) และระบบช่วงคลื่นไมโครเวฟเป็นตัววัดระยะห่างระหว่างดาวเทียม ที่ต้องใช้ยานถึงสองดวง เพราะ จะตัดค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ เพื่อให้เหลือแค่ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (G) และนำค่า G มาใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงมวลสารของโลก ค่า G ดังกล่าวคือ แบบจำลองชนิดความโน้มถ่วงพิภพ เช่น EGM2008 เป็นต้น

การรู้ข้อมูลที่แปรปรวนผิดปกตินี้ทำให้ให้นักวิทยาศาสตร์รู้ว่า ความหนาแน่นของโลกในบริเวณต่าง ๆ มีค่าน้อยเพียงใด เพราะการบันทึกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นบนดาวเทียมสามารถกระทำได้วันละ 5 ครั้ง ดังนั้นภายใน 1 เดือน ดาวเทียมทั้งสองก็จะสามารถวัดความเข้มของสนามแรงโน้มถ่วงในบริเวณต่าง ๆ ของโลกได้หมด แต่โครงการ GRACE ก็มีข้อจำกัดที่ว่า ข้อมูลที่ได้เป็นผลรวมของอิทธิพลจากน้ำทะเล จากหินใต้ดิน และทุก ๆ อย่างบนโลก GRACE ยังไม่สามารถแยกแยะอิทธิพลของสิ่งต่าง ๆ ออกจากกันได้ และเพราะดาวเทียมทั้งสองต้องใช้เวลาสแกนภาพนาน 1 เดือน ดังนั้นเหตุการณ์อะไรก็ตาม ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาที่รวดเร็ว โดยใช้เวลาน้อยกว่า 1 เดือน GRACE ก็ตรวจจับไม่ได้



รูปที่ 2.2 หลักการวัด TWS ด้วยดาวเทียม GRACE

ที่มา : (JAMSTEC, 2016)

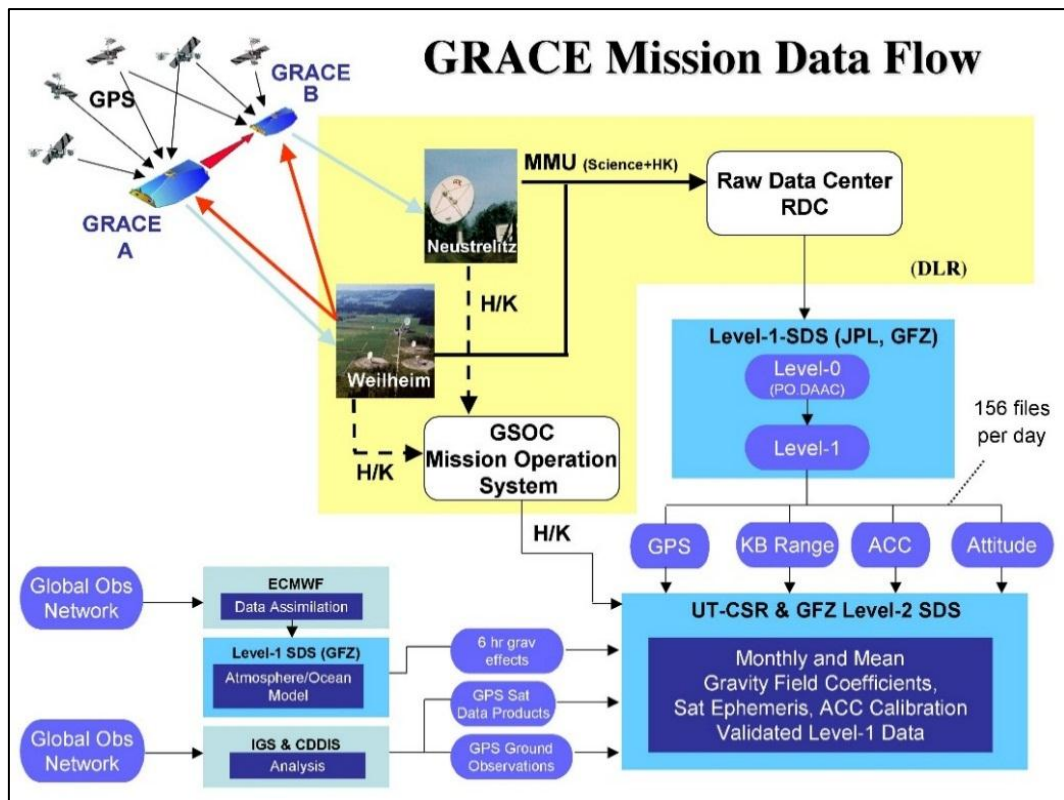


## 2.3 Total Water Storage

Total Water Storage คือ ปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บอยู่บนพื้นผิวโลก และใต้พื้นผิวโลก โดยรวมถึงทะเลสาบ แม่น้ำ อ่างเก็บน้ำที่มนุษย์สร้างขึ้น พื้นที่ชุ่มน้ำ น้ำภายในดิน ความชื้นในดิน และน้ำบาดาล ดังนั้น TWS จึงเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญของวัฏจักรน้ำที่หมุนเวียนอยู่ในธรรมชาติ และสำหรับการประมาณค่า TWS โดยทั่วไป สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ (1) ได้จากการประมาณค่าโดยการรังวัดด้วยดาวเทียม เช่น Total Water Storage จากข้อมูลดาวเทียม GRACE (2) ได้จากแบบจำลองทางอุทกวิทยา เช่น แบบจำลอง GLDAS และแบบจำลอง WGHM (3) ได้จากการประมวลผลจากสมการสมดุลน้ำ (Water balance or Water budget) ที่ประมาณค่าจากเทอมของน้ำในวัฏจักร ได้แก่ ปริมาณน้ำจากอากาศ (Precipitation) ปริมาณน้ำท่า (Runoff) ปริมาณน้ำใต้ดิน (Ground Water) และการคายระเหย (Evapotranspiration)

### 2.3.1 Total Water Storage from GRACE

การรังวัดของดาวเทียมทั้งสองดวงของ GRACE เป็นการรังวัดด้วยคลื่นไมโครเวฟในช่วงคลื่น K-Band ปล่อยคลื่นสัญญาณในทุก ๆ 5 วินาที โดยมีความถูกต้องในระดับ  $1 \mu\text{m}$  เพื่อรังวัดระยะห่างระหว่างดาวเทียมสองดวง โดยการเปลี่ยนแปลงของสนามแรงโน้มถ่วงของโลกเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของมวลในภาคพื้นทวีป การเปลี่ยนแปลงในชั้นบรรยากาศ และการเปลี่ยนแปลงของมหาสมุทรรวมถึง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากกระแสน้ำ และการเปลี่ยนแปลงของธารน้ำแข็ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้เปลี่ยนแปลงไปตามในแต่ละช่วงเวลา โดยผลจากการรังวัดด้วยดาวเทียม GRACE จะถูกทำการประมวลผลแล้วแสดงผลในรูปแบบของค่าสัมประสิทธิ์ของอนุกรมฮาร์โมนิก Spherical Harmonic (SH) หรือค่า Gravity Field Coefficients ในชั้นข้อมูล Level 2 ดังแสดงในรูปที่ 2.3

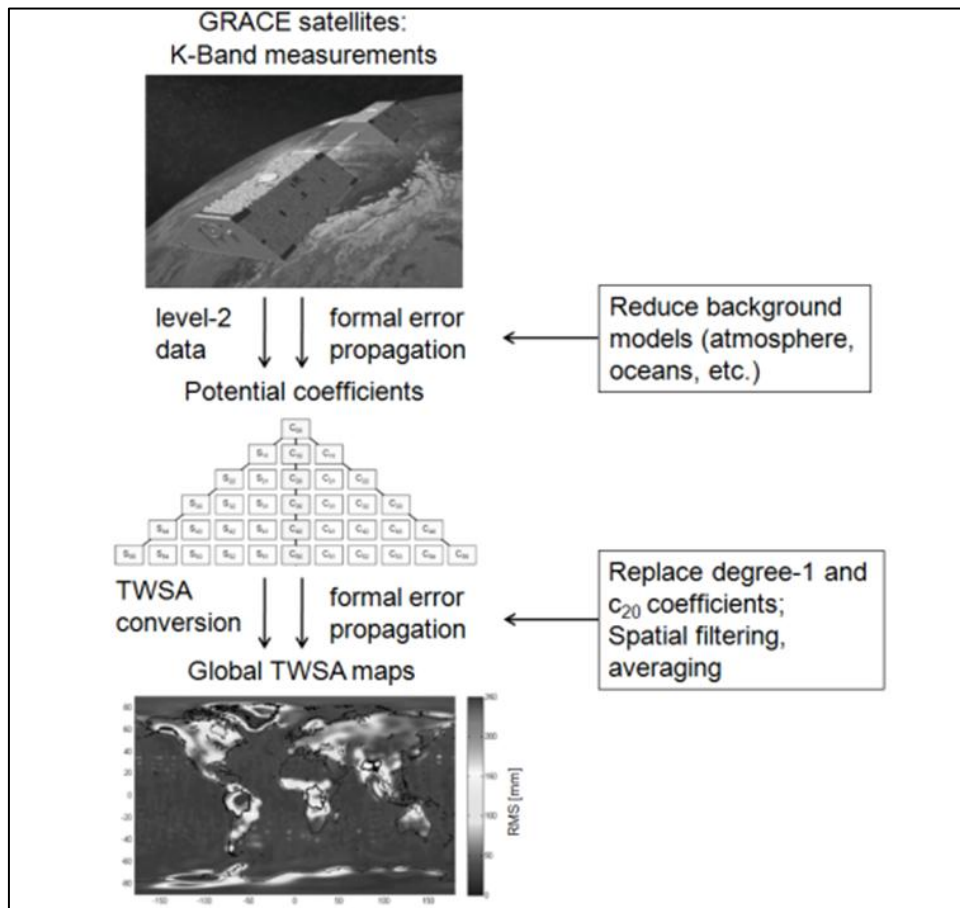


รูปที่ 2.3 GRACE Mission Data Flow

ที่มา : (The University of Texas at Austin, 2018)

โดยข้อมูล TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE เวอร์ชัน RL05 ซึ่งข้อมูล Level 3 ก็ได้จากการประมวลผลของข้อมูล Level 2 ที่ได้จัดการเปลี่ยนแปลงของมวลในชั้นบรรยากาศ และการเปลี่ยนแปลงของมหาสมุทรออกไปแล้ว โดยแสดงผลในรูปแบบของ Gravity field change แล้วจึงทำการแปลงค่าจาก Gravity field change เป็น TWS from GRACE โดยผลลัพธ์ที่ได้จะยังมีสัญญาณรบกวน (noise) แฝงอยู่ จึงต้องนำข้อมูลที่ได้เข้าขบวนการ Low-pass filtering ซึ่งตัวกรองนี้จะยับยั้งหรือกรองความถี่ปานกลางหรือความถี่สูงออก มีผลทำให้ภาพดูเรียบขึ้น กล่าวคือ ค่าความสว่างจะมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น วิธีการนี้บางที่เรียกว่าการทำให้ภาพเรียบ (image smoothing) เพื่อลบหรือลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขณะดาวเทียมตรวจจับภาพ โดยวิธีการในการกรองผ่านความถี่ต่ำสำหรับข้อมูลดาวเทียม GRACE เป็นใช้เป็นตัวกรองแบบเกาส์ (Gaussian filter) และในท้ายที่สุดจะต้องทำการประมาณค่าของการแพร่ของความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจาก harmonic coefficients เพื่อทำการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 สามารถดาวน์โหลด

ข้อมูล TWS ที่ผ่านขบวนการดังกล่าว ที่ GRACE Tellus : Monthly Mass Grids - Land มาทำการวิเคราะห์ และศึกษาต่อไป



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการประมวลผล TWS ของข้อมูลดาวเทียม GRACE  
ที่มา : (Schumacher, 2016)

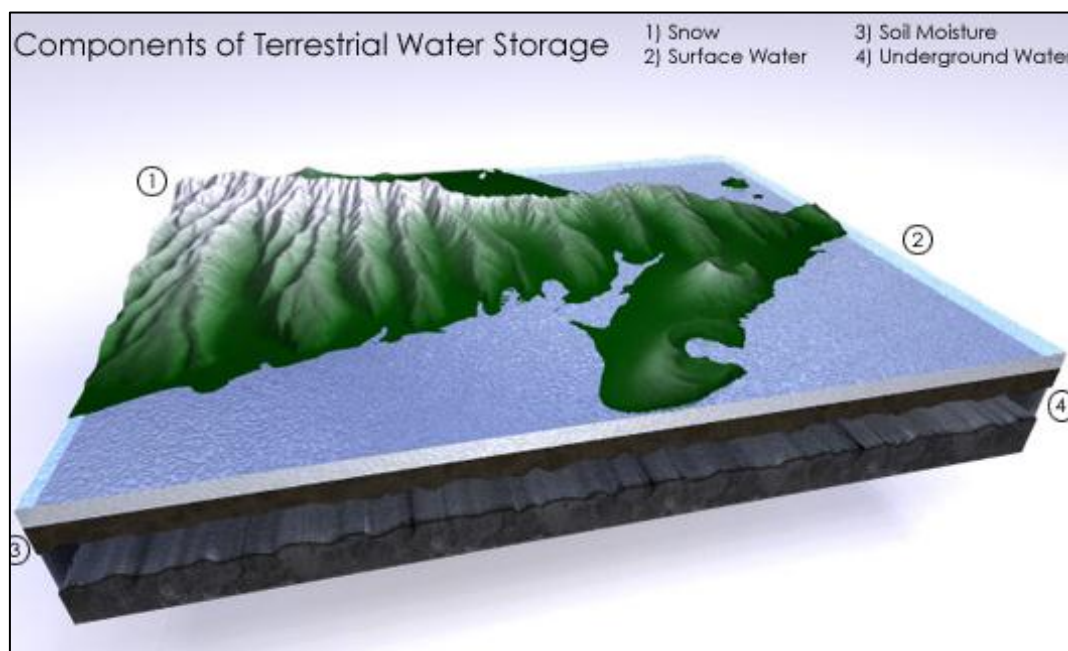
โดยข้อมูล TWS จากดาวเทียม GRACE (TWS GRACE) สามารถอธิบายส่วนประกอบของข้อมูลได้จากสมการที่ (1)

$$TWS = GW + SW + SM \tag{1}$$

เมื่อให้

- TWS คือ Total Water Storage จากข้อมูลดาวเทียม GRACE
- GW คือ Ground Water หรือ น้ำใต้ดิน
- Surface Water คือ Surface Water หรือ น้ำผิวดิน
- Soil Moisture คือ ความชื้นในดิน

และเนื่องจากในประเทศไทยไม่มีหิมะปกคลุมอยู่ จึงไม่ขอนำเทอมของ SP (Snow Pack) หรือหิมะมาร่วมคำนวณในสมการ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



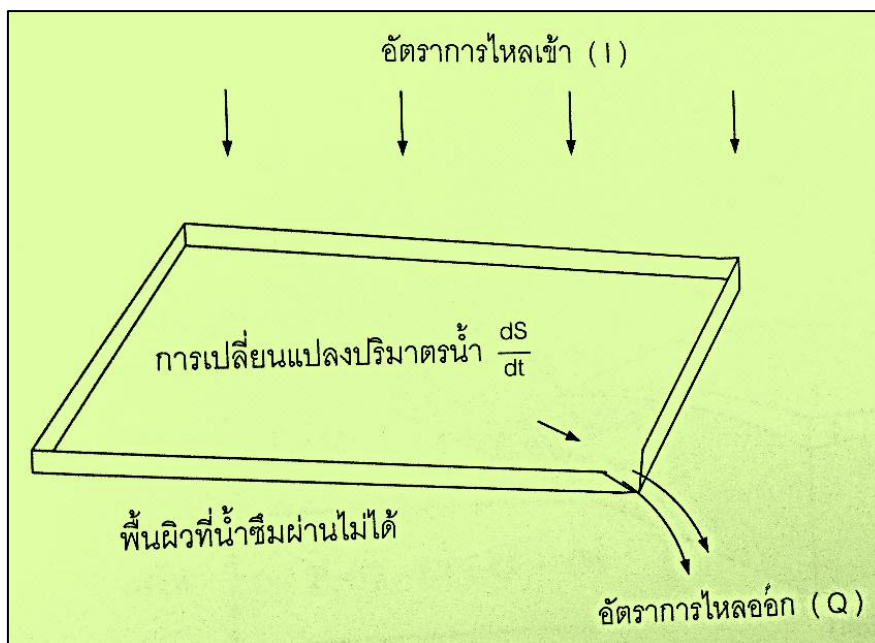
รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของ Total Water Storage

ที่มา : (NASA Earth Observations, n.d.)

### 2.3.2 Total Water Storage from Hydrological data

เนื่องจากปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในโลกนี้ มีปริมาณที่แน่นอนและไม่สูญหายไปไหน ดังนั้นภาพรวมของระบบวงจรอุทกวิทยาจึงถือได้ว่าเป็นระบบปิด แต่ถ้ามองเป็นระบบย่อยทางอุทกวิทยาบางส่วน ก็จะเป็นระบบเปิดเพราะมีการเปลี่ยนแปลง เคลื่อนไหว และถ่ายเทไปมาได้ทั้งภายในระบบมันเอง และระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อมภายนอก โดยอาจจะเป็นการเคลื่อนไหวจากภายในระบบสู่สิ่งแวดล้อม หรือจากสิ่งแวดล้อมเข้ามาในระบบก็ได้ ซึ่งปัญหาของนักอุทกวิทยามักจะเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำในส่วนต่าง ๆ ของโลก โดยที่ปริมาณน้ำเหล่านี้ เรียกว่า งบน้ำ (water budget) (กิริติ ลีวัจนกุล, 2550)

เพื่อที่จะอธิบายเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ในวงจรอุทกวิทยาที่มีผลต่องบน้ำในระบบที่พิจารณา ในเบื้องต้นให้พิจารณาแบบจำลองระบบอุทกวิทยาอย่างง่าย (simple hydrologic system model) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แบบจำลองระบบอุทกวิทยาอย่างง่าย

ที่มา : (กิริติ ลีวัจนกุล, 2550)

จากรูปที่ 2.6 เป็นพื้นผิวที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ และวางตัวในแนวเอียง โดยมีจุดออกที่ A ถ้ามีอัตราการไหลเข้า เช่น มีฝนตกลงบริเวณพื้นผิวด้วยอัตราการตกหรือความเข้มฝน (rainfall intensity) เท่ากับ  $I$  เป็นตัวแปรที่เข้าสู่ระบบ และมีอัตราการไหลออก ( $Q$ ) จากจุด A เป็นตัวแปรที่ออกจากระบบ จะได้งบน้ำในวงจรรูทกวิทยาของระบบนี้เป็นสมการอนุพันธ์ (differential equation) ซึ่งเป็นสมการการไหลไม่คงที่ (unsteady flow equation) ดังในสมการที่ 2

$$I - Q = \frac{dS}{dt} \quad (2)$$

เมื่อให้

$I$  คือ อัตราการไหลเข้า (ปริมาตรต่อเวลา)

$Q$  คือ อัตราการไหลออก (ปริมาตรต่อเวลา)

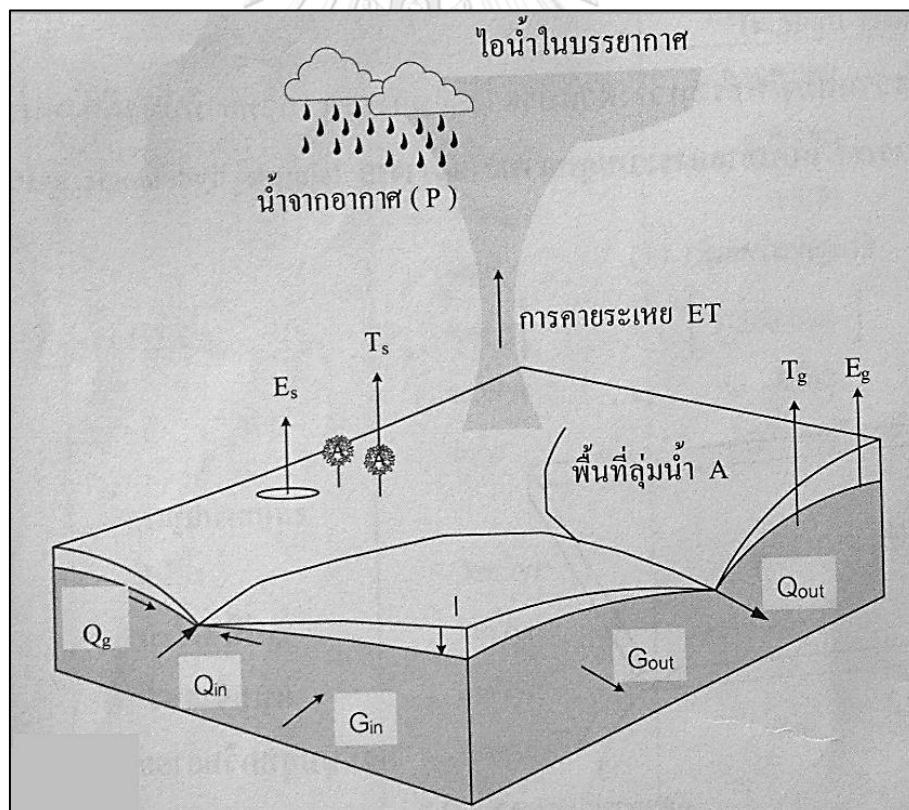
$\frac{dS}{dt}$  คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำ  $dS$  ในช่วงเวลา  $dt$

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำในระบบขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออก

3 กรณี คือ

- กรณีที่ 1 เมื่ออัตราการไหลเข้า (I) มากกว่าอัตราการไหลออก (Q) ทำให้  $dS/dt$  เป็นบวก เป็นผลทำให้ปริมาณน้ำในระบบเพิ่มขึ้นตามเวลา ระดับน้ำก็เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เป็นการไหลไม่คงที่ (unsteady flow)
- กรณีที่ 2 เมื่ออัตราการไหลเข้า (I) เท่ากับอัตราการไหลออก (Q) ทำให้  $dS/dt$  เป็นศูนย์ เป็นผลทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในระบบ ระดับน้ำคงที่ เป็นการไหลคงที่ (steady flow)
- กรณีที่ 3 เมื่ออัตราการไหลเข้า (I) น้อยกว่าอัตราการไหลออก (Q) ทำให้  $dS/dt$  เป็นลบ เป็นผลทำให้ปริมาณน้ำในระบบลดลงตามระยะเวลา ระดับน้ำก็จะลดลงเรื่อย ๆ เป็นการไหลที่ไม่คงที่ (unsteady flow)

และจากสมการที่ 2 เมื่อนำไปประยุกต์ใช้สำหรับวงจรอุทกวิทยาของระบบลุ่มน้ำตามธรรมชาติ ก็จะสามารถแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรอุทกวิทยาในระบบลุ่มน้ำธรรมชาติ  
ที่มา : (กิริติ ลีวัจนกุล, 2550)

เมื่อให้

- $P$  = น้ำจากอากาศ (precipitation)  
 $Q_{in}$  = การไหลของน้ำผิวดินเข้าไปในระบบลุ่มน้ำ (stream inflow)  
 $Q_{out}$  = การไหลของน้ำผิวดินออกจากระบบลุ่มน้ำ (stream outflow)  
 $Q_g$  = การไหลซึมของน้ำใต้ดินไปยังลำน้ำผิวดิน (groundwater to stream)  
 $G_{in}$  = การไหลของน้ำใต้ดินเข้าไปในระบบลุ่มน้ำ (groundwater inflow)  
 $G_{out}$  = การไหลของน้ำใต้ดินออกจากระบบลุ่มน้ำ (groundwater outflow)  
 $I$  = การไหลซึม (infiltration)  
 $E_s$  = การระเหยจากน้ำผิวดิน  
 $E_g$  = การระเหยจากน้ำใต้ดิน  
 $T_s$  = การคายน้ำของพืชจากความชื้นผิวดิน (surface moisture)  
 $T_g$  = การคายน้ำของพืชจากความชื้นใต้ดิน

จากหลักการของสมการสมดุลน้ำ (water balance) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ของงบน้ำรวมของวงจรรูทกวิทยาทั้งหมด ได้ตั้งสมการที่ 3

$$P - (Q_{out} - Q_{in}) - (E_s - E_g) - (T_s - T_g) - (G_{out} - G_{in}) = \Delta (S_s - S_g) \quad (3)$$

เมื่อให้

- $Q_{out} - Q_{in} = Q$  คือ การไหลของน้ำผิวดินสุทธิ (net surface)  
 $E_s - E_g = E$  คือ การระเหยสุทธิ (net evaporation)  
 $T_s - T_g = T$  คือ การคายน้ำจากพืชสุทธิ (net transpiration)  
 $G_{out} - G_{in} = G$  คือ การไหลของน้ำใต้ดินสุทธิ (net underground flow)  
 $\Delta (S_s - S_g) = \Delta S$  คือ การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำทั้งหมด  
 สามารถเขียนสมการที่ 3 ให้สั้นลงได้เป็น

$$P - Q - E - T - G = \Delta S \quad (4)$$

หรือ

$$P - Q - ET - G = \Delta S \quad (5)$$

โดยที่  $ET$  คือ การคายระเหย (Evapotranspiration) เป็นผลรวมของการคายระเหย ( $E$ ) กับ การคายน้ำ ( $T$ )

แต่เนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลภาคสนาม สำหรับในงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลปริมาณน้ำท่า แทนข้อมูลอัตราการไหลของน้ำผิวดินสุทธิ และตัดทอนของการไหลของน้ำใต้ดินสุทธิ (net underground flow, G) ออกไปเพราะข้อจำกัดด้านข้อมูลภาคสนาม ดังแสดงในสมการที่ 6

$$P - Q - ET = \Delta S \quad (6)$$

ดังนั้น การตัดทอนของอัตราการไหลของน้ำผิวดินสุทธิ จะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างข้อมูล TWS ระหว่างข้อมูลดาวเทียม GRACE และข้อมูลอุทกวิทยาในพื้นที่ประเทศไทยตอนบนที่เกิดจากปริมาณน้ำใต้ดิน ดังนั้นการตรวจสอบของ TWS ระหว่างข้อมูลดาวเทียม GRACE และข้อมูลอุทกวิทยาในพื้นที่ประเทศไทยตอนบนจะเป็นการตรวจแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของ TWS ในพื้นที่ศึกษาเพียงเท่านั้น

### 2.3.2.1 น้ำจากอากาศ (Precipitation)

ตามความหมายของคณะกรรมการจัดทำนิยามศัพท์อุตุนิยมวิทยา Precipitation หมายถึง น้ำในลักษณะของเหลว หรือของแข็งรูปผลึก หรือของแข็งอสัณฐาน ซึ่งเกิดจากก้อนเมฆบนท้องฟ้าแล้วตกลงมายังพื้นโลก Precipitation จะหมายรวมถึง ฝนละออง ฝน ทิมะ ผลึกน้ำแข็ง และลูกเห็บ เนื่องจากมีผู้แปลคำว่า Precipitation เป็นภาษาไทยไว้หลากหลายคำ อาทิ “น้ำจากอากาศ” “หยาดน้ำฟ้า” หรือ “น้ำฟ้า” ในสำหรับนี้ได้เลือกใช้ น้ำจากอากาศ เป็นคำแปล ถึงกระนั้น ที่จะกล่าวต่อไปในเนื้อหาจะใช้คำว่า “ฝน” หรือ “น้ำฝน” แทน เนื่องจากเป็นคำที่สื่อความหมายได้ดีกว่า (วีระพล แต่สมบัติ, 2533)

โดยทั่วไปประเทศไทยมีปริมาณน้ำฝนอยู่เกณฑ์ดี พื้นที่ส่วนใหญ่มีปริมาณน้ำฝนประมาณ 1,200 – 1,600 มิลลิเมตรต่อปี ปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปีเฉลี่ยทั่วประเทศมีค่าโดยประมาณ 1,587.7 มิลลิเมตร ซึ่งปริมาณน้ำฝนในแต่ละพื้นที่ผันแปรไปตามลักษณะของภูมิประเทศ นอกเหนือจากการผันแปรตามฤดูกาล บริเวณประเทศไทยตอนบนในสภาวะปกติจะมีความแห้งแล้ง และมีฝนน้อยในฤดูหนาว เมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนปริมาณน้ำฝนจะเพิ่มขึ้นบ้างพร้อมมีพายุคะนอง และเมื่อเข้าสู่ฤดูฝนปริมาณน้ำฝนจะเพิ่มขึ้นมากโดยจะมีปริมาณมากที่สุดในเดือนสิงหาคมหรือกันยายน พื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนมากส่วนใหญ่จะอยู่ด้านหน้าทิวเขา หรือด้านรับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ได้แก่ พื้นที่ทางด้านตะวันตกของประเทศและปริมาณภาคตะวันออก โดยเฉพาะที่อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด มีปริมาณน้ำฝนรวมตลอดปีมากกว่า 4,000 มิลลิเมตร ส่วนพื้นที่ที่มีปริมาณน้ำฝนน้อย ส่วนใหญ่อยู่ด้านหลังเขา ได้แก่ พื้นที่บริเวณตอนกลางของภาคเหนือและภาคกลาง และบริเวณด้านตะวันตกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2558) โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.1



ตารางที่ 2.1 ปริมาณน้ำฝน (มม.) ของประเทศไทยในฤดูกาลต่าง ๆ

| ภาค                | ฤดูหนาว | ฤดูร้อน | ฤดูฝน   | จำนวนวันฝนตกตลอดปี |
|--------------------|---------|---------|---------|--------------------|
| เหนือ              | 100.4   | 187.3   | 943.2   | 122                |
| ตะวันออกเฉียงเหนือ | 76.3    | 224.4   | 1,103.8 | 116                |
| กลาง               | 127.3   | 205.4   | 942.5   | 116                |
| ภาคตะวันออก        | 178.4   | 277.3   | 1,433.2 | 130                |

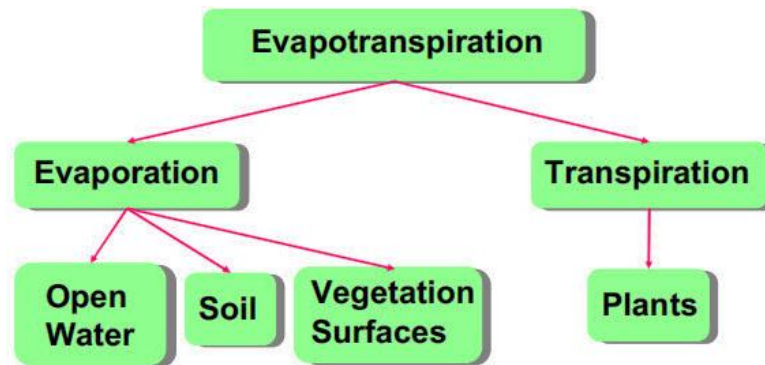
หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ.2524-2553) (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2558)

### 2.3.2.2 การคายระเหย (Evapotranspiration)

การคายระเหย (Evapotranspiration) หรือบางครั้งในตำราทางด้านงานวิศวกรรมชลประทานจะเรียกเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืช เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียดังกล่าวนี้ประกอบขึ้นด้วยสองส่วนหลัก คือ (วิษุวัตม์ แต่สมบัต, 2555)

- ปริมาณที่พืชดูดไปจากดิน นำไปใช้สร้างเซลล์และเนื้อเยื่อและคายออกทางใบสู่บรรยากาศ ซึ่งเรียกว่า การคายน้ำ (Transpiration)
- ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินบริเวณรอบ ต้นพืชจากผิวน้ำในขณะให้น้ำ หรือขณะที่มีน้ำขังอยู่ และจากน้ำที่เกาะอยู่ตามใบเนื่องจากฝนหรือการให้น้ำ ซึ่งเรียกว่า การระเหย (Evaporation)

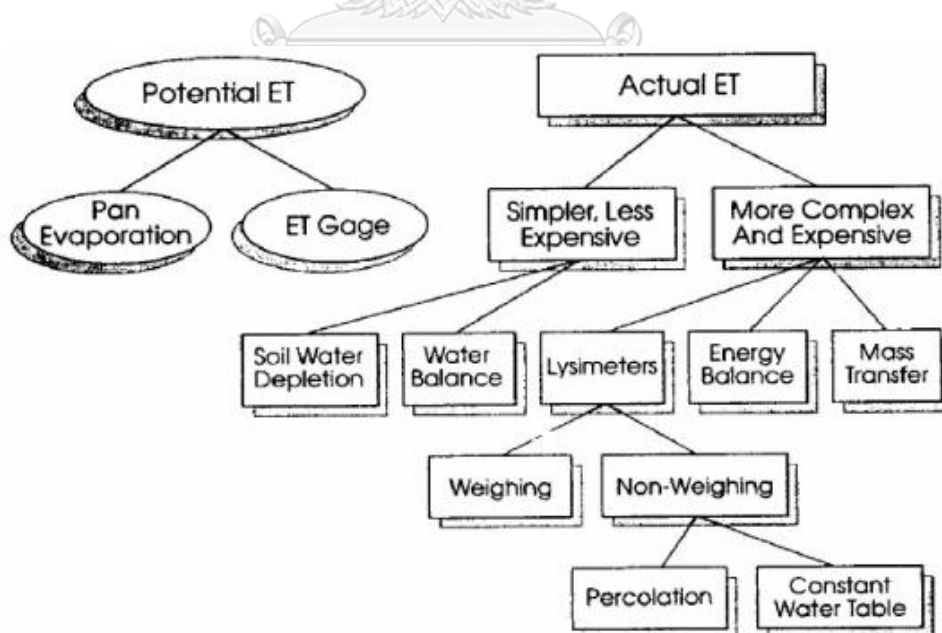
จากนิยามข้างต้น เห็นได้ว่าการคายน้ำ (Transpiration) นั้นเป็นส่วนหนึ่งของน้ำที่ระเหยไปทั้งหมดนั่นเอง โดยน้ำส่วนนี้ระเหยสู่บรรยากาศจากดินโดยผ่านต้นพืช ส่วนการระเหย (Evaporation) เป็นกระบวนการที่น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอจากผิวน้ำ ผิวดินหรือผิวของพืช และคำว่า การคายระเหย (Evapotranspiration) เป็นคำที่เรียกรวมของกระบวนการทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การแบ่งแยกระหว่างกระบวนการระเหยกับการคายน้ำ  
ที่มา : (Ward and Elliot, 1995)

โดยแต่เดิมวิธีการหาค่าการระเหยอาจแบ่งได้เป็น 2 แนวทาง ได้แก่

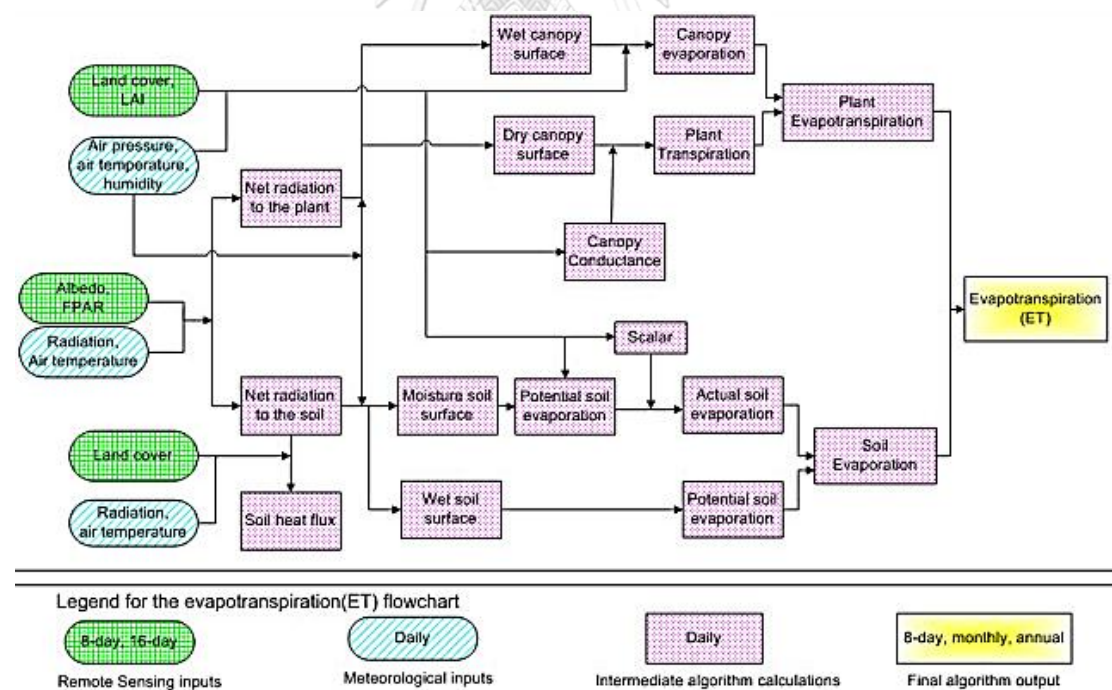
- การตรวจวัดการระเหย ได้แก่ การหาจากภาตวัดการระเหย (Pan Evaporation) การใช้เกจวัดการระเหย (Evaporation Gage) การหาโดยใช้หลักสมดุลของพลังงาน (Energy Balance) และการหาโดยใช้หลักสมดุลของปริมาณน้ำ (Water Balance) เป็นต้น
- การคำนวณจากข้อมูลภูมิอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แนวทางในการหาค่าการระเหยและการระเหยจริงโดยการตรวจวัดข้อมูล  
ที่มา : (วิษุวัตม์กั แต่สมบัตติ, 2555)

การคำนวณการระเหยจากข้อมูลภูมิอากาศ ไม่ได้วัดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการระเหยโดยตรง แต่จะใช้ข้อมูลภูมิอากาศมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความสัมพันธ์กับการระเหย อาจแบ่งตามชนิดของข้อมูลที่น่ามาใช้ได้แก่ วิธีการหาการระเหยจากอุณหภูมิ (Temperature based Estimating Methods) เช่น วิธีของ Blaney-Criddle, วิธีการหาการระเหยจากรังสีแสงอาทิตย์ (Radiation Methods) เช่น วิธีของ Makkink และท้ายสุด วิธีของ Penman ซึ่งอาจนับอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย เนื่องจากในเบื้องต้น Penman ได้ใช้วิธีการทางสถิติในหลายส่วนของสมการ แต่ต่อมาได้มีการพัฒนาโดยนำทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการระเหยมาใช้

และสำหรับในงานวิจัยฉบับนี้ ได้นำข้อมูลการคายระเหยจากข้อมูลดาวเทียม AQUA โดยใช้เครื่องวัดคลื่นเชิงสเปกตรัม MODIS ในชื่อข้อมูล MOD16 ซึ่งประมวลผลโดย Numerical Terradynamic Simulation Group : NTSG ในรูปแบบ GeoTIFF Resolution 0.05 Degree ในปีค.ศ. 2005 - 2014 ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ที่ ([http://files.ntsg.umd.edu/data/NTSG\\_Products/MOD16/](http://files.ntsg.umd.edu/data/NTSG_Products/MOD16/)) สำหรับข้อมูล MOD16 เป็นข้อมูลการคายระเหยซึ่งเป็นข้อมูล Level 4 ได้จากการประมวลผลข้อมูล Level 3 ได้แก่ ข้อมูล MOD12 (Land cover) ข้อมูล MOD15 (LAI and FPAR) และข้อมูล MOD43 (Albedo/BRDF) ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลการคายระเหย  
ที่มา : (Mu, Zhao and Running, 2011)

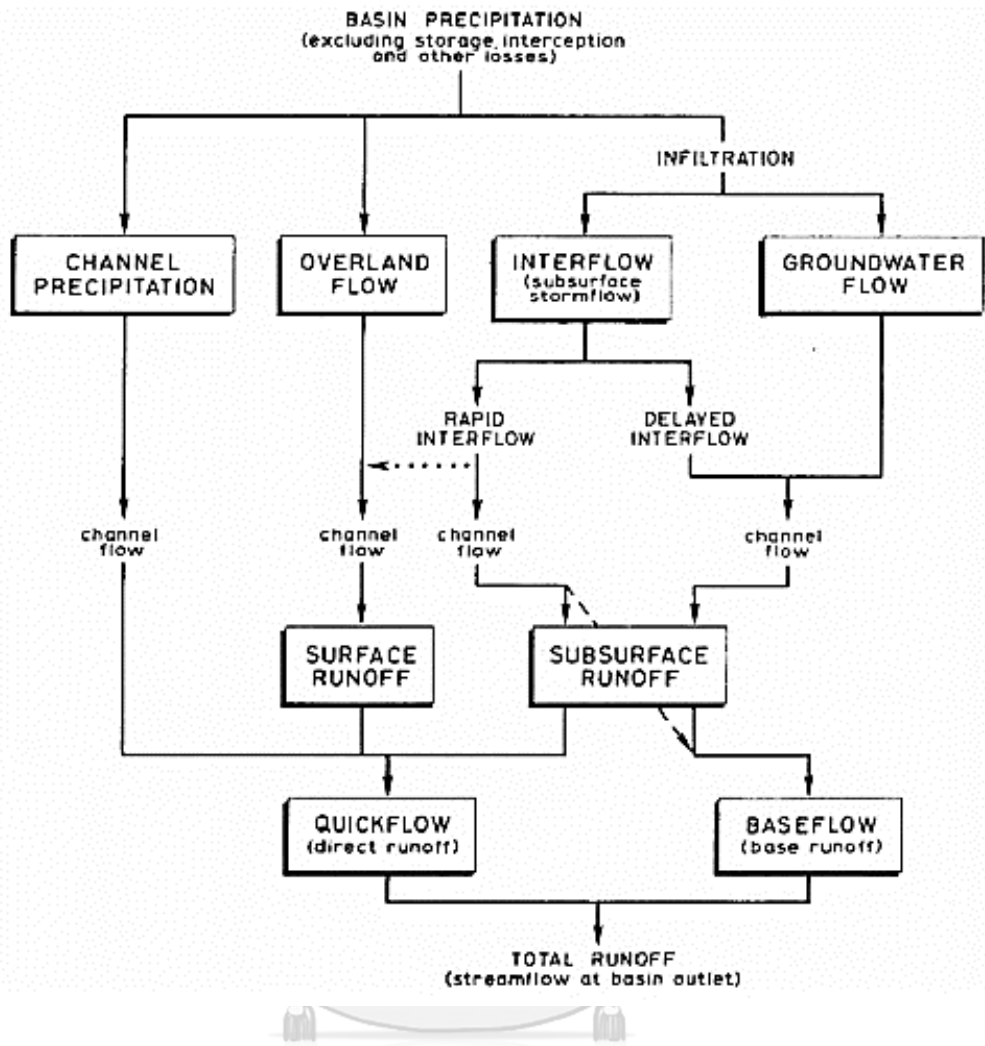
### 2.3.2.3 น้ำท่าหรือน้ำในแม่น้ำลำธาร (Runoff or Stream Flow)

นอกจากปริมาณน้ำฝนแล้ว น้ำท่าหรือน้ำในแม่น้ำก็นับว่าเป็นข้อมูลที่สำคัญตัวหนึ่งทางด้านอุทกวิทยา หรือวิศวกรรมจะต้องทราบ เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของโครงการพัฒนาแหล่งน้ำใช้ศึกษาปริมาณน้ำในโครงการป้องกันน้ำท่วม ตลอดจนนำไปใช้คำนวณขนาดของเขื่อน อ่างเก็บน้ำ และอาคารชลศาสตร์ต่าง ๆ

คำอธิบายของข้อสงสัยที่ว่าน้ำในแม่น้ำลำธารนั้นมาจากไหน ได้ให้คำตอบถึงที่มาอันซับซ้อนของน้ำในแม่น้ำลำธาร ดังแสดงในรูปที่ 2.11 น้ำที่ไหลมารวมกันในแม่น้ำ (Total Runoff) นั้นประกอบไปด้วย 4 ส่วน ได้แก่

- ฝนที่ตกลงในลำน้ำโดยตรง (Channel Precipitation,  $Q_p$ )
- น้ำผิวดิน (Overland Flow,  $Q_o$  หรือ Surface Runoff)
- น้ำใต้ผิวดิน (Interflow,  $Q_f$  หรือ Sub - surface Flow)
- น้ำใต้ดิน (Groundwater Flow,  $Q_g$ )

แต่เนื่องจากเส้นทางการไหลของน้ำฝนที่ตกลงมาในลุ่มน้ำมีความซับซ้อนและมีการเปลี่ยนแปลงไปมา การตรวจวัดปริมาณน้ำในแต่ละส่วนนั้นทำได้ยาก ในการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำท่าจึงนิยมพิจารณาน้ำในแม่น้ำเป็น 2 ส่วน คือ น้ำที่ไหลมาอยู่ในลำน้ำเร็ว เรียกว่า Direct Runoff (หรือ quick flow) และน้ำที่ไหลมาอยู่ในลำน้ำช้า เรียกว่า Baseflow (วิชวุฒม์ แต่สมบัติ, 2555)

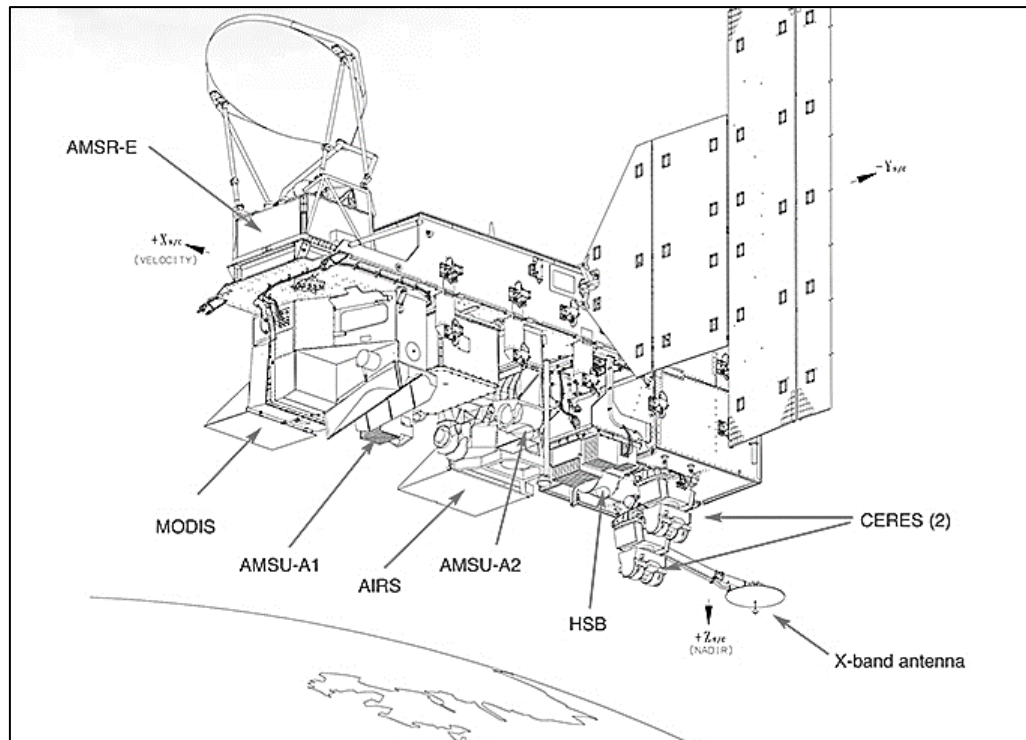


รูปที่ 2.11 ผังแสดงกระบวนการเกิดน้ำท่า

ที่มา : (วิษุวัตม์ แต่สมบัติ, 2555)

#### 2.4 ดาวเทียม AQUA และเครื่องวัดคลื่นเชิงสเปกตรัม MODIS

ดาวเทียม AQUA เป็นดาวเทียมสำรวจทรัพยากรขนาดใหญ่ ส่งขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 4 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2545 แต่เดิมมีชื่อว่า EOS PM-1 ถูกออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการติดตามและตรวจสอบข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติโดยองค์การ NASA และทางองค์การ NASA พัฒนาตัวยานและเครื่องรับรู้ที่ติดตั้งบนดาวเทียม คือ Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES), Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), AMSR-E : Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS, AMSU-A : Advanced Microwave Sounding Unit-A, AIRS : Atmospheric Infrared Sounder และ HSB : Humidity Sounder for Brazil ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบเครื่องรับรู้ของดาวเทียม AQUA

ที่มา : (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2018a)

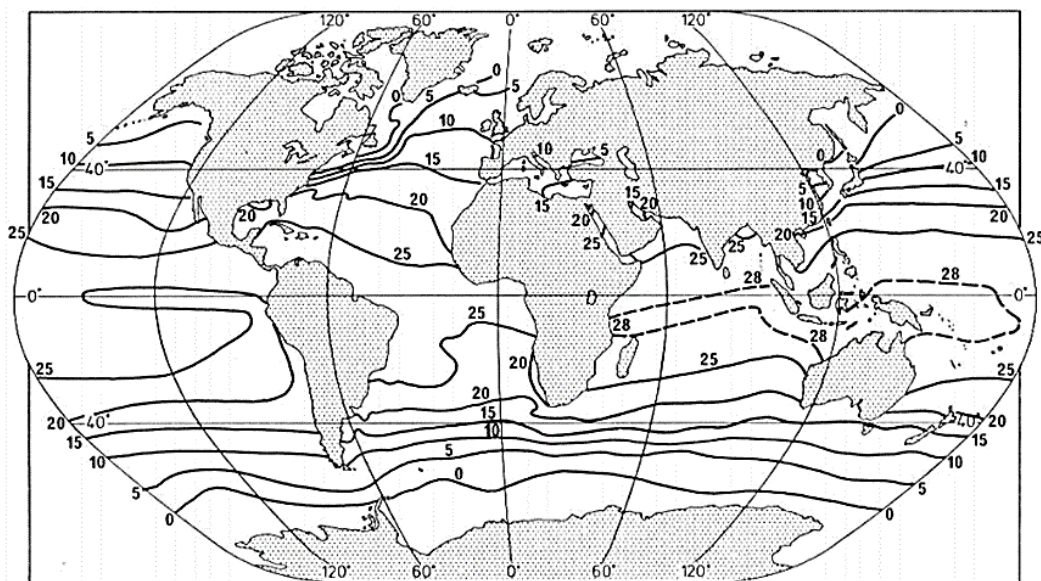
MODIS เป็นเครื่องวัดคลื่นเชิงสเปกตรัม ที่ถูกติดตั้งบนดาวเทียม Aqua ถูกออกแบบขึ้น เพื่อใช้ในการติดตามและตรวจสอบข้อมูลทรัพยากรธรรมชาติและสภาพสิ่งแวดล้อมในระดับภูมิภาค ข้อมูลภาพถ่ายในระบบ MODIS มีความกว้าง หรือ Swath ประมาณ 2,330 กิโลเมตร และสามารถบันทึกข้อมูล ครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกภายใน 2 วัน และกลับมาที่เดิมทุก ๆ 16 วัน (เวลาประมาณ 13.30 น. ที่เคลื่อนผ่านประเทศไทย) โดยข้อมูลที่ได้รับจาก MODIS ประกอบไปด้วย 36 ช่วงคลื่น ระหว่าง 405 nm. ถึง 2155 nm. สำหรับช่วงคลื่นที่ 1 – 19 และระหว่าง 1.360 ถึง 14.385  $\mu\text{m}$ . สำหรับช่วงคลื่นที่ 20 – 36 โดยมีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่แตกต่างกันไปในแต่ละช่วงคลื่น โดยช่วงคลื่น 1 – 2 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 250 เมตร ช่วงคลื่น 3 – 7 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 500 เมตร และช่วงคลื่น 8 – 36 มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1,000 เมตร และสำหรับข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะใช้ข้อมูลในช่วงคลื่นที่ 20 – 23 และในช่วงคลื่นที่ 31 – 32 ซึ่งเป็นข้อมูล Level 3 ในชื่อของข้อมูล MOD28 และสำหรับข้อมูลการคายระเหยซึ่งเป็นข้อมูล Level 4 ได้จากการประมวลผลข้อมูล Level 3 ได้แก่ ข้อมูล MOD12 (Land cover) ข้อมูล MOD15 (LAI and FPAR) และข้อมูล MOD43 (Albedo/BRDF) ในชื่อข้อมูล MOD16 (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2018b)

## 2.5 อุณหภูมิผิวน้ำทะเล

น้ำทะเลร้อนขึ้นจากการถูกแดดเผาที่ผิวน้ำ ความร้อนนี้จะถูกส่งผ่านไปยังน้ำเบื้องล่างจากการผสมผสานกันของน้ำเนื่องจากลมและคลื่น (100-200 เมตร) อุณหภูมิน้ำในช่วงนี้คงที่ตามความลึก เรียกว่า “Isothermal” ใต้ระดับนี้ลงไปแล้วอุณหภูมิจะลดลงตามความลึก เรียกน้ำในเขตนี้ว่า “Thermocline” อุณหภูมิน้ำจะลดลงจนเท่ากับอุณหภูมิของมวลน้ำชั้นล่าง (deep water) ซึ่งมีค่าประมาณ 1 องศาเซลเซียส โดยรูปแบบของน้ำทะเลผิวน้ำแสดงไว้ในรูปที่ 2.13 อุณหภูมิน้ำมีค่าตั้งแต่  $-1.9$  องศาเซลเซียสที่บริเวณขั้วโลกจนถึงกว่า 30 องศาที่บริเวณศูนย์สูตร การเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิตามฤดูกาลมีมากที่สุดบริเวณละติจูดกลาง ๆ ในซีกโลกเหนือ เนื่องจากมีแผ่นดินบนเปลือกโลกจำนวนมาก บริเวณที่น้ำร้อนที่สุดจะขยับไปทางซีกโลกเหนือที่ละติจูด 5 องศาเนื่องจากอิทธิพลของแผ่นดินเช่นกัน ทวีปแอนตาร์กติกาที่ขั้วโลกใต้มีความหนาวเย็นมากเพราะรังสีจากดวงอาทิตย์ถูกสะท้อนกลับออกไปเกือบหมด

โดยน้ำร้อนเขตเส้นศูนย์สูตรจะถูกถ่ายเทไปยังขั้วโลกด้วยกระบวนการไหลเวียนของน้ำ โดยมีแผ่นดินเป็นตัวกำหนดรูปแบบการไหลเวียนของน้ำ กระแสน้ำอุ่นที่นำความร้อนจากศูนย์สูตรไปยังขั้วโลก (กัลฟ์สตรีมที่ฝั่งตะวันตกของมหาสมุทรแอตแลนติก เป็นต้น) และกระแสน้ำเย็นน้ำเย็นจากขั้วโลกกลับสู่เขตศูนย์สูตรอีกครั้ง ทำให้อุณหภูมิน้ำที่ฝั่งซ้ายและขวาของมหาสมุทรในละติจูดเดียวกันมีค่าแตกต่างกัน (นิคม อ่อนสี, 2557)

ค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเล เป็นการวัดค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในช่วงความลึกตั้งแต่ 1 ไมโครเมตรถึง 1 เมตร ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการวัดที่แตกต่างกัน โดยค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสามารถนำมาใช้ประกอบการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้โดยคร่าวๆ ฤดูกาลในแต่ละปีเริ่มต้นที่ช่วงเวลาใด สิ้นสุดที่ช่วงเวลาใด นอกจากนี้แล้วการสังเกตค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเล สามารถช่วยคาดการณ์สภาพอากาศได้ระดับหนึ่ง เช่น การเกิดพายุ เนื่องจากพายุเป็นปรากฏการณ์เกิดจากความไม่สมดุลของพลังงานในมหาสมุทร และสามารถตรวจจับได้จากค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าอุณหภูมิจะก่อตัวจากน้อยไปมากจนกระทั่งเกิดพายุ เช่น การพิจารณาค่าอุณหภูมิบริเวณที่สูงเกินกว่า 26.5 องศาเซลเซียส และแตกต่างจากบริเวณข้างเคียงมากขึ้นเท่าไร มักเป็นสัญญาณเตือนถึงการเกิดพายุในเขตร้อนมากขึ้นเท่านั้น และสำหรับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ หรือการเปลี่ยนแปลงใด ๆ ที่เกิดขึ้นกับสภาพอากาศย่อมส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิผิวน้ำทะเลเช่นกัน



Surface temperature of the oceans ( $^{\circ}\text{C}$ ) in February.

รูปที่ 2.13 อุณหภูมิผิวน้ำในมหาสมุทร (องศาเซลเซียส) ในเดือนกุมภาพันธ์  
ที่มา : (Harvey, J.G. 1975)

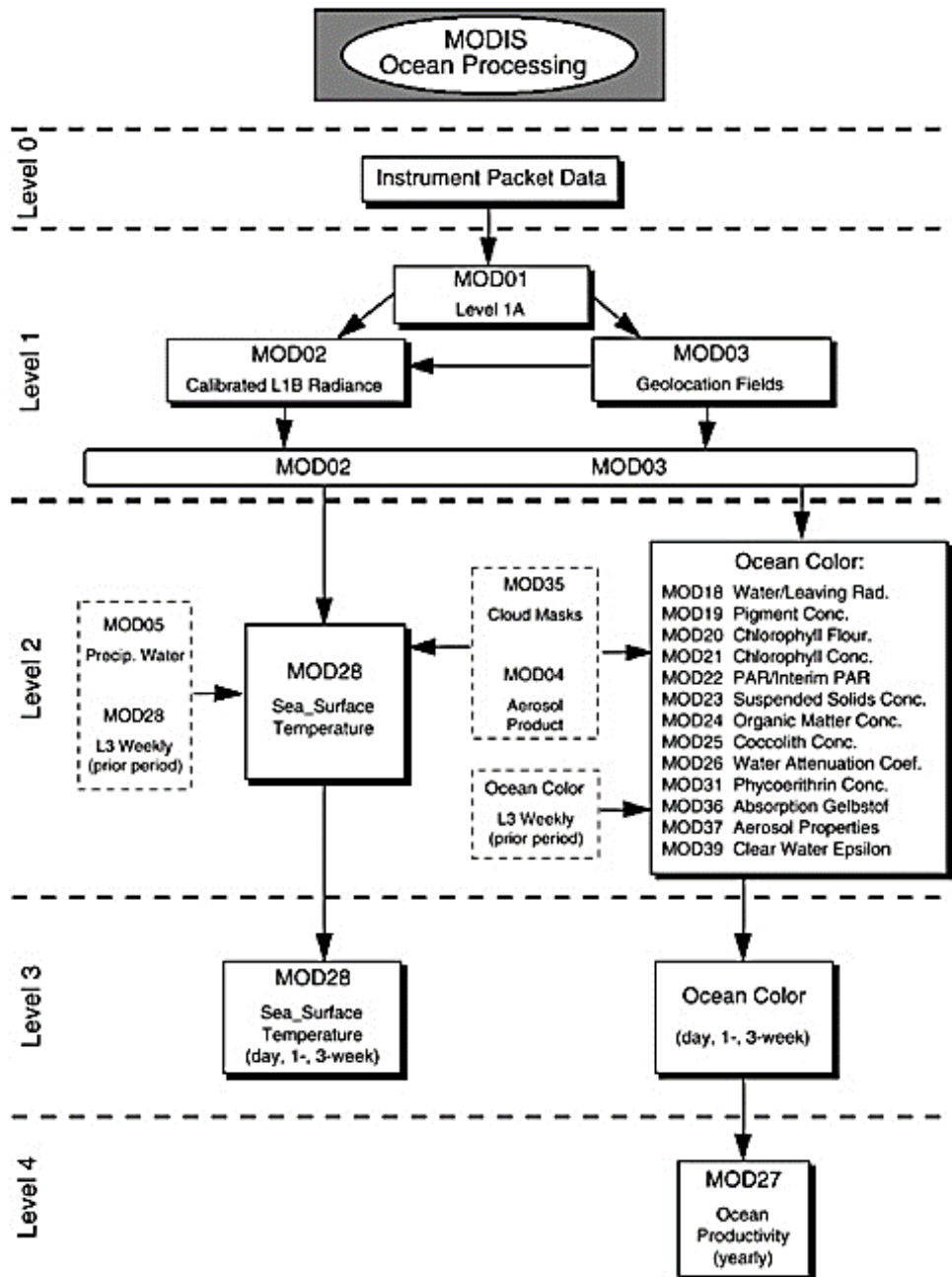
### 2.5.1 ข้อมูลดาวเทียม Sea Surface Temperature

ข้อมูลชุดอุณหภูมิพื้นผิวทะเล (SST) มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 1 กิโลเมตร สำหรับข้อมูล Level 2 และ 4.6 กิโลเมตร 36 กิโลเมตร และ 1 องศา สำหรับข้อมูล Level 3 ครอบคลุมพื้นที่มหาสมุทรทั่วโลก โดยข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวทะเล (SST) ทั่วโลก จะประกอบด้วยข้อมูล 4 ชุด คือ ข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวทะเลในช่วงเวลากลางวัน (D1) กับข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวทะเลในช่วงเวลากลางคืน (N1) ในช่วงความยาวคลื่น 11 ไมครอน และข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวทะเลในช่วงเวลากลางวัน (D2) กับข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวทะเลในช่วงเวลากลางคืน (N2) ในช่วงความยาวคลื่น 4 ไมครอน โดยข้อมูล Level 2 ที่ให้บริการข้อมูลในรายวัน จะถูกใช้เพื่อสร้างข้อมูล Level 3 ที่ให้บริการข้อมูลรายสัปดาห์รายเดือน ดังแสดงในรูปที่ 2.14

โดยข้อมูลเหล่านี้มีระบบการรับรู้ของ Moderate Resolution Imaging Spectro Radiometer (MODIS) ที่ติดตั้งบนดาวเทียม Terra และ Aqua สำหรับข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวทะเลใช้ชื่อข้อมูลว่า MOD28 เป็นการวัดค่าอุณหภูมิพื้นผิวทะเลที่ความลึกผิวน้ำของมหาสมุทร (ที่ระดับความลึกไม่เกิน 1 mm จากผิวน้ำ) สำหรับอัลกอริทึมที่ใช้ คือ เทคนิค multiple atmospheric window ที่ใช้เพื่อประมาณค่าพารามิเตอร์ เพื่อใช้ประมาณค่าการดูดซับและการกระเจิงของพลังงานที่แผ่กระจายและสะท้อนจากมหาสมุทร และข้อมูลของอุณหภูมิที่ระดับความลึก 10 - 20 ซม. ถึง 1



เมตรวัดโดยเครื่องวัดอุณหภูมิด้วยทุ่นและเรือ โดยมีการวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับระหว่างข้อมูลดาวเทียมและข้อมูลภาคสนาม เพื่อให้อัลกอริทึมสามารถประมาณอุณหภูมิพื้นผิวทะเลได้ถูกต้องยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.14 MODIS Ocean Processing

ที่มา : (Global Imaging, 2015)

## 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ทางสมุทรศาสตร์กับฝน

ประเทศไทยตอนบนตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นที่มีลักษณะแปรปรวนสูงทั้งในเชิงพื้นที่และเวลา ความแปรปรวนดังกล่าว มีสาเหตุพื้นฐานมาจากลักษณะและปัจจัยทางภูมิประเทศที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ทั้งนี้ปริมาณน้ำฝนส่วนใหญ่ในประเทศไทยตอนบนเกิดขึ้นจากมรสุมฤดูร้อน ซึ่งความแปรปรวนของฝนในประเทศไทยตอนบนมีความสัมพันธ์กับความผันแปรของระบบมรสุมและปรากฏการณ์ ENSO

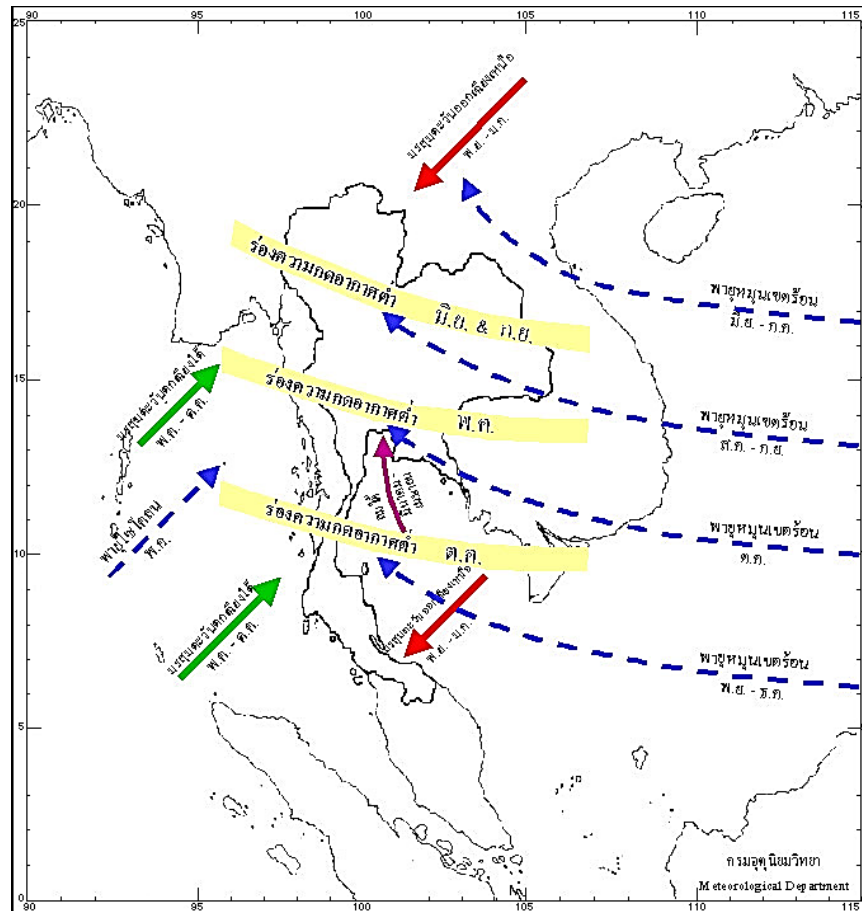
### 2.6.1 ระบบมรสุมที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทยตอนบน

เนื่องจากประเทศไทยตอนบนตั้งอยู่ในเขตอิทธิพลของมรสุม จึงทำให้ประเทศไทยตอนบนมีฤดูกาลที่เด่นชัด 2 ฤดู คือ ฤดูฝนกับฤดูแล้ง (Wet and Dry Seasons) สลับกัน และสำหรับฤดูแล้งนั้น ถ้าพิจารณาให้ละเอียดลงไปสามารถแยกออกได้เป็น 2 ฤดู คือ ฤดูร้อนกับฤดูหนาว ดังนั้นฤดูกาลของประเทศไทยตอนบนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ฤดู คือ

- ฤดูร้อน เริ่มประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงประมาณกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่เปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (หรือที่เปลี่ยนจากฤดูหนาวเข้าสู่ฤดูฝน) เป็นระยะที่ขั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะในเดือนเมษายนประเทศไทยตอนบนที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ลำแสงของดวงอาทิตย์ จะตั้งฉากกับผิวพื้นโลกในเวลาเที่ยงวัน ทำให้ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์อย่างเต็มที่ จึงทำให้สภาวะอากาศร้อนอบอ้าวโดยทั่วไป ในฤดูนี้แม้ว่าประเทศไทยตอนบนอากาศจะร้อนและแห้งแล้ง แต่ในบางครั้งอาจมีมวลอากาศเย็นจากประเทศจีนแผ่ลงมาถึงประเทศไทยตอนบนได้ ทำให้เกิดการปะทะกันระหว่างมวลอากาศเย็น ที่แผ่ลงมากับมวลอากาศร้อนที่ปกคลุมอยู่เหนือประเทศไทยตอนบน ซึ่งก่อให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนองและลมกระโชกแรง หรืออาจมีลูกเห็บตกลงมาด้วย ก่อให้เกิดความเสียหายได้ พายุฝนฟ้าคะนองที่เกิดขึ้นในฤดูนี้มักเรียกว่า “พายุฤดูร้อน”
- ฤดูฝน เริ่มประมาณกลางเดือนพฤษภาคมถึงประมาณกลางเดือนตุลาคม ฤดูนี้จะเริ่มเมื่อมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นลมชื้นพัดปกคลุมประเทศไทยตอนบน ขณะที่ร่องความกดอากาศต่ำ (แนวร่องที่ก่อให้เกิดฝน) พาดผ่านประเทศไทยตอนบนทำให้มีฝนชุกทั่วไป ร่องความกดอากาศต่ำนี้ปกติจะเริ่มพาดผ่านภาคใต้ในเดือนเมษายน แล้วจึงเลื่อนขึ้นไปพาดผ่านภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ ในเดือนพฤษภาคมและมิถุนายนตามลำดับ ประมาณปลายเดือนมิถุนายนจะเลื่อนขึ้นไปพาดผ่านบริเวณประเทศจีนตอนใต้ ทำให้ฝนในประเทศไทย

ไทยลดลงระยะหนึ่งและเรียกว่าเป็น “ฝนทิ้งช่วง” ซึ่งอาจนานประมาณ 1 - 2 สัปดาห์ หรือบางปีอาจเกิดขึ้นรุนแรงและมีฝนน้อยนานนับเดือนได้ ประมาณเดือนสิงหาคมถึงพฤศจิกายนร่องความกดอากาศต่ำจะเลื่อนกลับลงมาทางใต้พาดผ่านบริเวณประเทศไทยตอนบนอีกครั้งหนึ่ง โดยจะพาดผ่านตามลำดับจากภาคเหนือลงไปภาคใต้ ทำให้ช่วงเวลาดังกล่าวประเทศไทยตอนบนจะมีฝนชุกต่อเนื่อง โดยประเทศไทยตอนบนฝนจะตกชุกช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน และภาคใต้ฝนจะตกชุกช่วงเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน ตลอดช่วงเวลาที่ร่องความกดอากาศต่ำเลื่อนขึ้นลงนี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 ประเทศไทยตอนบนก็จะได้รับอิทธิพลของมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ที่พัดปกคลุมอยู่ตลอดเวลา เพียงแต่บางระยะอาจมีกำลังแรง บางระยะอาจมีกำลังอ่อน ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแนวร่องความกดอากาศต่ำ ประมาณกลางเดือนตุลาคมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งเป็นลมหนาวจะเริ่มพัดเข้ามาปกคลุม ประเทศไทยตอนบนแทนที่มรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นสัญญาณว่าได้เริ่มฤดูหนาวของประเทศไทยตอนบน

- ฤดูหนาว เริ่มประมาณกลางเดือนตุลาคมถึงประมาณกลางเดือนกุมภาพันธ์ เมื่อมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเริ่มพัดปกคลุมประเทศไทยตอนบนประมาณกลางเดือนตุลาคม ซึ่งจะนำความหนาวเย็นมาสู่ประเทศไทยตอนบน เป็นระยะที่ข้าวโลกได้หั้นเข้าหาดวงอาทิตย์ ตำแหน่งลำแสงของดวงอาทิตย์ทำมุมฉากกับผิวพื้นโลกขณะเที่ยงวันจะอยู่ทางซีกโลกใต้ ทำให้ลำแสงที่ตกกระทบกับพื้นที่ในประเทศไทยตอนบนเป็นลำแสงเฉียงตลอดเวลา จากความสัมพันธ์ของระบบมรสุมจะสามารถสังเกตได้ว่าแนวร่องความกดอากาศต่ำ พายุหมุนเขตร้อนจะมีอิทธิพลต่อความแปรปรวนต่อปริมาณน้ำฝนโดยรวมของประเทศไทยตอนบน ดังนั้นจึงได้อธิบายเพิ่มเติมในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 2.15 ตำแหน่งร่องความกดอากาศต่ำ ทิศทางลมมรสุมและทางเดินพายุหมุนเขตร้อน

ที่มา : (กรมอุตุนิยมวิทยา, ม.ป.ป.)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 2.6.1.1 แนวร่องความกดอากาศต่ำ UNIVERSITY

แนวร่องความกดอากาศต่ำ (Inter Tropical Convergence Zone, ITCZ)

คือ แนวที่ลมสินค้าตะวันออกเฉียงเหนือจากซีกโลกเหนือและลมสินค้าตะวันออกเฉียงใต้จากซีกโลกใต้มาบรรจบกัน ก่อให้เกิดการวางตัวของกลุ่มเมฆในแนวทิศตะวันออก - ตะวันตก โดยมีความกว้างประมาณ 6-8 องศาละติจูด ในแนวร่องความกดอากาศต่ำนี้ อากาศไหลเวียนขึ้นลงสลับกัน ทำให้เป็นบริเวณที่มีเมฆปกคลุมหนาแน่น ซึ่งพื้นที่ที่มีร่องความกดอากาศต่ำพาดผ่านจะมีฝนตกชุก ทั้งนี้แนวร่องความกดอากาศต่ำจะเลื่อนขึ้นทางเหนือ และเลื่อนลงทางใต้ผ่านเส้นศูนย์สูตรตามแนวโคจรของดวงอาทิตย์ และโดยทั่วไปฝนที่ตกในประเทศไทยตอนบนก็เนื่องจากร่องมรสุม ซึ่งเป็นร่องหรือแนวที่พาดผ่านห่อมความกดอากาศต่ำ ถ้าร่องมรสุมนี้มีกำลังแรงก็จะเกิดฝนตกหนักในแนวร่อง หรือแนวที่ลมพัดสอบเข้าหากัน ถ้าร่องมีกำลังปานกลางก็จะมีฝนในระดับปานกลาง ถ้าร่องมีกำลังอ่อนก็จะมีฝนน้อยไปด้วย

โดยลมสินค้า (Trade Winds) คือ ลมที่พัดออกจากบริเวณความกดอากาศสูงกึ่งโซนร้อน ไปยังบริเวณความกดอากาศต่ำที่เส้นศูนย์สูตร ในซีกโลกเหนือจะพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นลมสินค้าตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนซีกโลกใต้จะมีลมสินค้าตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งจะนำความชื้นเข้ามาทำให้มีฝนตกแถวชายฝั่งด้านตะวันออกของทวีปที่ตั้งอยู่ในเขตร้อน ส่วนด้านตะวันตกของทวีปใน เขตร้อนได้รับความชื้นน้อยลง จึงมักแห้งแล้งกว่า แนวร่องความกดอากาศต่ำบริเวณเส้นศูนย์สูตรซึ่งลมสินค้า (Trade Winds) จะพัดสอบเข้าหากัน ทำให้เกิดเป็นแนวของความกดอากาศต่ำ และมีการยกตัวของกระแสอากาศที่นำความชื้นเข้าไปก่อตัวเป็นเมฆฝนได้

การเคลื่อนตัวของพื้นที่ที่ฝนเพิ่มขึ้นซึ่งสอดคล้องกับความกดอากาศต่ำนี้ มีสาเหตุมาจากปรากฏการณ์ขึ้นยิ่งขึ้นขึ้น (wet-get-wetter) ในขณะที่การเคลื่อนตัวเข้าสู่เส้นศูนย์สูตรของร่องความกดอากาศต่ำ ได้รับอิทธิพลจากอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, 2560)

#### 2.6.1.2 พายุหมุนเขตร้อน

พายุหมุนเขตร้อน มีสาเหตุหลักเกิดจากการถ่ายเทความร้อนที่มีแหล่งกำเนิดจากมหาสมุทรเขตร้อน ซึ่งประเทศไทย ตั้งอยู่ระหว่างสองแหล่งกำเนิดที่สำคัญของพายุหมุนเขตร้อนคือ ทะเลจีนใต้และอ่าวเบงกอล และจากการศึกษาข้อมูลเส้นทางของพายุ พบว่า พายุหมุนเขตร้อนส่วนใหญ่ที่ส่งผลกระทบต่อประเทศไทย มีแหล่งกำเนิดมาจากมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันตกและทะเลจีนใต้ (TMD, 2011; Vongvisessomjai, 2009) เส้นทางเฉลี่ยของพายุหมุนเขตร้อนในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม จะผ่านภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และขยับลงไปทางทิศใต้ผ่านทางด้านล่างของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตะวันออกและภาคกลางในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ซึ่งบางครั้งความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนสามารถอธิบายได้ด้วยการลดลงของกิจกรรมของพายุหมุนเขตร้อนในทะเลจีนใต้และมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันตก (ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, 2560) ซึ่งส่งผลกระทบต่อประเทศไทยที่เป็นประเทศเกษตรกรรม ที่จำเป็นต้องใช้ปริมาณน้ำในการทำนาและการเพาะปลูกทั่วไป โดยประเทศไทยต้องการฝนอันเกิดจากพายุดีเปรสชันประมาณปีละ 3-4 ลูก ถ้าปีใดมีพายุดีเปรสชันผ่านเข้ามาน้อยกว่า 3-4 ลูก ก็อยู่ในเกณฑ์แล้ง น้ำท่าในแม่น้ำน้อย แต่ถ้าปีใดมีพายุดีเปรสชันมามากกว่า 3-4 ลูก น้ำก็จะมากและอาจจะทำให้น้ำท่วมได้ (สุวพันธ์ นิลายน, 2543)

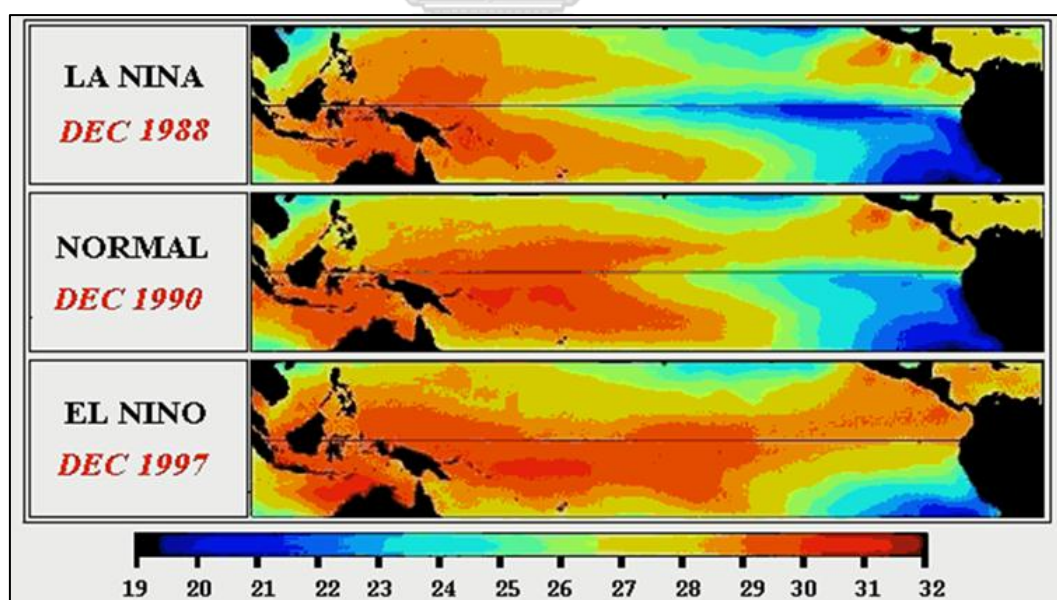
#### 2.6.2 ปรากฏการณ์ ENSO

ENSO เป็นคำที่ใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในแปซิฟิกเขตศูนย์สูตรและความผันแปรของระบบอากาศในซีกโลกใต้ จึงหมายความรวมถึงปรากฏการณ์ทั้งเอลนีโญและลานีญา กลุ่มนักวิทยาศาสตร์มักใช้คำว่าสภาวะอุ่นของ ENSO (ENSO warm event หรือ warm phase of ENSO) ในความหมายเดียวกันกับเอลนีโญเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเล

บริเวณตอนกลางและตะวันออกของแปซิฟิกเขตศูนย์สูตรอุ่นขึ้นผิดปกติ และในทางกลับกันจะใช้คำว่าสภาวะเย็นของ ENSO (ENSO cold event หรือ cold phase of ENSO) ในความหมายเดียวกันกับลานีญา ซึ่งก็คือปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณตอนกลางและตะวันออกของแปซิฟิกเขตศูนย์สูตรเย็นกว่าปกติ ดังแสดงในรูปที่ 2.16

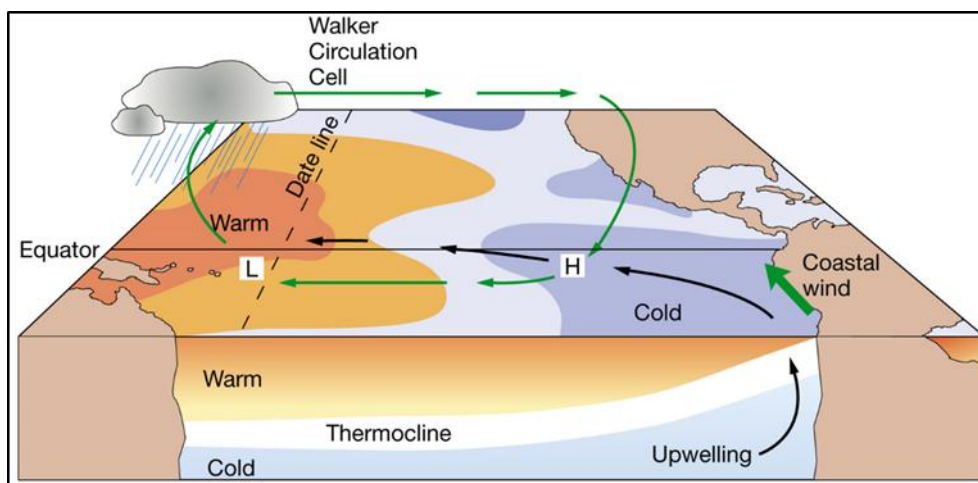
#### 2.6.2.1 การเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ ENSO

ในสภาวะปกติบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันออก หรือแถบชายฝั่งของประเทศเปรู ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของทวีปอเมริกาใต้ จะมีการพัดขึ้นของมวลน้ำเย็นขึ้นมายังผิวน้ำ โดยกระบวนการดังกล่าวเป็นผลมาจากลมสินค้าตะวันออกเฉียงใต้ ที่มีกำลังแรงพัดขนานฝั่งบวกกับการหมุนรอบตัวเองของโลก จึงผลักดันให้ผิวน้ำทะเลที่อุ่นเบี่ยงเบนพัดห่างชายฝั่งออกไป มวลน้ำเย็นด้านล่างที่อุดมด้วยแร่ธาตุอาหาร ซึ่งเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำพัดขึ้นมา บริเวณชายฝั่งเปรูจึงอุดมด้วยสัตว์น้ำต่าง ๆ มากมาย ส่วนน้ำทะเลที่อุ่นบริเวณศูนย์สูตรก็จะถูกลมพัดพาไปสะสมอยู่ทางตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก แถบบริเวณออสเตรเลีย อินโดนีเซีย และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้บรรยากาศเหนือมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันตก มีความชุ่มชื้นเนื่องจากการระเหยและการก่อตัวของเมฆและฝน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวอาศัยการหมุนเวียนอากาศแบบวอล์คเกอร์ (Walker circulation) ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.16 อุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน

ที่มา : (กรมอุตุฯ, 2546)



รูปที่ 2.17 Walker circulation : Normal conditions

ที่มา : (Pearson Prentice Hall, Inc. , 2005)

การหมุนเวียนของอากาศแบบวอล์คเกอร์เป็นการหมุนเวียนของบรรยากาศบริเวณศูนย์สูตรในแนวตั้ง โดยรูปแบบของการหมุนเวียนอากาศแบบวอล์คเกอร์บริเวณมหาสมุทรแปซิฟิกจะเป็นการยกตัวขึ้นของอากาศบริเวณอินโดนีเซีย เมื่อยกตัวขึ้นถึงระดับบน จะมีการหมุนเวียนไปทางทิศตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิกแล้วจมตัวลงบริเวณชายฝั่งตะวันตกของอเมริกาใต้ และระดับล่างใกล้ผิวพื้น และจะหมุนเวียนกลับมาทางตะวันตกอีกครั้ง

และจากรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่า El Niño เกิดจากความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณเส้นศูนย์สูตรของมหาสมุทรแปซิฟิก ความผิดปกติดังกล่าวเกิดขึ้นเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกด้านตะวันออก โดยที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลด้านฝั่งตะวันออกจึงสูงกว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลด้านตะวันตก ทำให้ความกดอากาศทางทิศตะวันออกต่ำกว่าความกดอากาศทางทิศตะวันตก ลมจึงพัดจากบริเวณที่เย็นกว่าซึ่งมีความกดอากาศสูงไปสู่บริเวณที่อุ่นกว่าซึ่งมีความกดอากาศที่ต่ำ เกิดเป็นลมต้านจากการพัดจากทางทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออก โดยลมต้านนี้มีอิทธิพลมากพอที่จะพัดพาให้กระแสน้ำอุ่นไหลย้อนกลับ จากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก ปรากฏการณ์เช่นนี้ ทำให้มหาสมุทรแปซิฟิกด้านฝั่งตะวันออกแถบประเทศเปรู มีความชุ่มชื้นกว่าปกติ ส่งผลทำให้เกิดอุทกภัย ส่วนมหาสมุทรแปซิฟิกฝั่งตะวันตกแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และออสเตรเลีย จะมีความแห้งแล้งกว่าปกติ เป็นผลให้เกิดภัยแล้ง

ในทางกลับกัน La Niña เกิดจากการเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกด้านตะวันตก ทำให้อุณหภูมิด้านตะวันตกสูงกว่าด้านตะวันออก ลมจึงพัดจากบริเวณที่เย็นกว่าซึ่งมีความกดอากาศสูงไปสู่บริเวณที่ร้อนกว่าซึ่งมีความกดอากาศต่ำ เกิดเป็นลม

พัดจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก ซึ่งเป็นการเสริมกันกับลมสินค้าที่พัดอยู่เดิม ส่งผลให้แถบบริเวณด้านทิศตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกแถบออสเตรเลีย และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีความชุ่มชื้นมากกว่าปกติ

#### 2.6.2.2 ENSO และความสัมพันธ์กับภูมิอากาศในพื้นที่ห่างไกล (ENSO and Climate Teleconnections)

ENSO เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อนสูง ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่าง ENSO กับสภาพภูมิอากาศในบริเวณที่เกิดปรากฏการณ์ หรือพื้นที่ใกล้เคียงจึงเป็นเรื่องปกติ แต่สิ่งที่น่าสนใจประการหนึ่งคือ ENSO มีความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกับความผิดปกติของภูมิอากาศในพื้นที่ซึ่งอยู่ห่างไกล เช่น ความแห้งแล้งทางตอนใต้ของแอฟริกา และพายุเฮอริเคนในมหาสมุทรแอตแลนติก เป็นต้น อย่างไรก็ตามได้มีงานวิจัยทั้งทางฟิสิกส์และสถิติที่แสดงให้เห็นว่าความเกี่ยวข้องเชื่อมโยงกันนั้นเกิดขึ้นจริง (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2546)

ปรากฏการณ์ ENSO เกิดขึ้นมานานนับพันปีแล้ว แต่เริ่มมีความรุนแรงเพิ่มขึ้นในช่วงศตวรรษนี้ จึงส่งผลต่อสภาพภูมิอากาศอย่างรุนแรง โดยเฉพาะในช่วงปี พ.ศ. 2540-2541 หลายประเทศทั่วโลกได้รับผลกระทบจากความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในรูปแบบที่แตกต่างกัน ประกอบกับประเทศไทยซึ่งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับแปซิฟิกตะวันตก ที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากเอลนีโญในรูปแบบของความแห้งแล้งและปริมาณน้ำฝนที่ต่ำกว่าปกติ อุณหภูมิอากาศสูงกว่าปกติทั่วประเทศ และในปี พ.ศ. 2542-2543 ซึ่งเป็นช่วงลานีญาประเทศไทยมีฝนตกมากกว่าปกติ และอากาศหนาวทำลายสถิติในหลายจังหวัด

สำหรับประเทศที่ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ ENSO โดยตรง คือ ประเทศในแถบแปซิฟิกใต้ทั้งหมด ตั้งแต่ อินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ประเทศในกลุ่มเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ออสเตรเลีย เปรู ชิลี เอกวาดอร์ เป็นต้น โดยความแปรปรวนของอากาศที่เกิดขึ้นก็จะมาในรูปแบบด้วยกัน คือ ความแห้งแล้ง ภัยพิบัติจากฝนและความหนาวเย็น และสุดท้ายคือ การเกิดพายุหมุนเขตร้อน

## 2.7 การหาความสัมพันธ์ด้วยเทคนิค Cross Correlation

เทคนิค Cross Correlation เป็นการศึกษาเพื่อคำนวณหาความสัมพันธ์และการพล็อตระหว่างปัจจัยอนุกรมเวลา 2 ข้อมูล ในช่วงเวลาต่าง ๆ กัน การพล็อตความสัมพันธ์ด้วยเทคนิค Cross Correlation จะช่วยให้ทราบถึงความสัมพันธ์ในช่วงเวลาต่าง ๆ ในแต่ละ Lag Time และทราบว่าข้อมูลใดมีอิทธิพลมีต่อข้อมูลอื่นเป็นระยะเวลาเท่าไร สามารถเขียนเป็นสมการ (IBM Knowledge Center, 2013) ดังนี้



$$CCF = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (X_t - \bar{X})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{S_x S_y} \quad (7)$$

เมื่อ

CCF = Cross Correlation Function

n = number of observations

t = row number

k = lag

$\bar{X}$  = mean of X

$\bar{Y}$  = mean of Y

$S_x = \sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2}$

$S_y = \sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}$

สหสัมพันธ์เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สนใจว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นไปในทิศทางใด ในการพิจารณาว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมีมากน้อยเพียงใดหาได้โดยการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นค่าที่แสดงถึงค่าสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรมีค่าตั้งแต่ 1.00 ถึง -1.00 ซึ่งค่า 1.00 และ -1.00 เป็นความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ทางบวกและลบ เครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นการอธิบายทิศทางไม่บอกถึงปริมาณมากน้อย ในกรณีที่ตัวแปร X และตัวแปร Y ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าเท่า 0 หรือสามารถบอกความมากน้อยของความสัมพันธ์เป็นช่วงได้ดังนี้ (สำราญ มีแจ้ง, 2557)

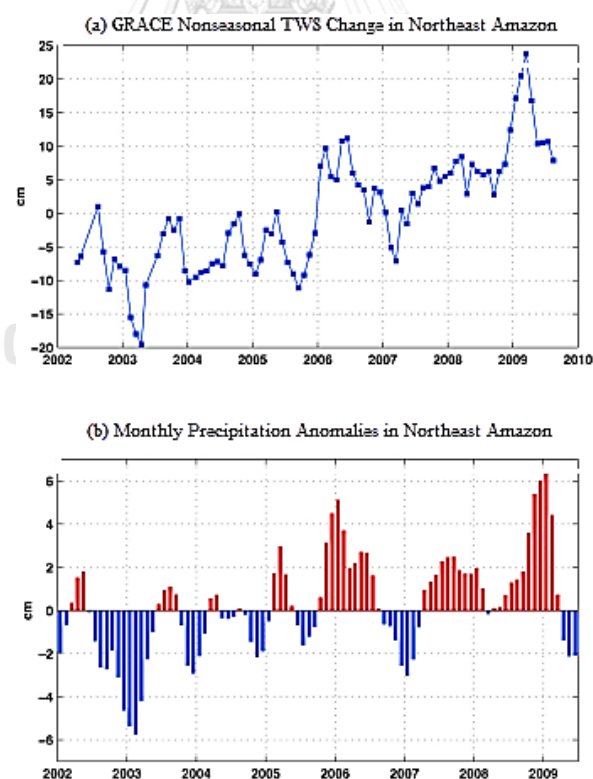
| <u>ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์</u> | <u>ความหมาย</u>          |
|----------------------------------|--------------------------|
| 0.91 – 1.00                      | มีความสัมพันธ์มากที่สุด  |
| 0.71 – 0.90                      | มีความสัมพันธ์มาก        |
| 0.51 – 0.70                      | มีความสัมพันธ์ปานกลาง    |
| 0.31 – 0.50                      | มีความสัมพันธ์น้อย       |
| 0.00 – 0.30                      | มีความสัมพันธ์น้อยที่สุด |

### บทที่ 3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 3.1 The 2009 exceptional Amazon flood and interannual terrestrial water storage change observed by GRACE

(Chen, Wilson and Tapley, 2010) ได้ทำการศึกษาติดตามสถานการณ์น้ำในพื้นที่ตะวันออกเฉียงเหนือของกลุ่มน้ำอเมซอนของทวีปอเมริกาใต้ด้วยข้อมูล TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือนมิถุนายน ค. ศ 2002 ถึงเดือนสิงหาคม ค. ศ 2009 เป็นระยะเวลา 7 ปี โดย และผลจากการติดตามสถานการณ์น้ำในพื้นที่ศึกษา

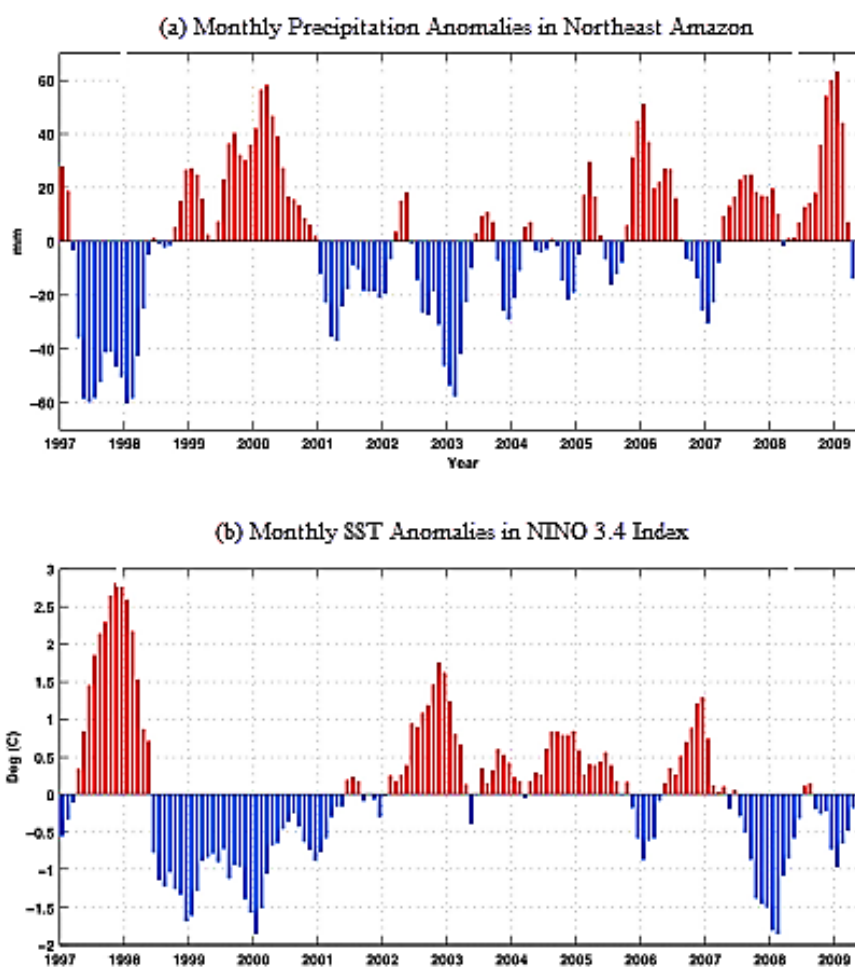
จากรูปที่ 3.1 พบว่า ในเดือนมิถุนายนปี ค. ศ 2002 ถึงเดือนมิถุนายนปี ค. ศ. 2003 ในพื้นที่ศึกษาได้ประสบภาวะภัยแล้งรุนแรง และในปี ค. ศ 2009 ในพื้นที่ศึกษาได้ประสบอุทกภัยที่รุนแรงในพื้นที่ และสำหรับการศึกษาได้มีการเปรียบเทียบข้อมูล TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE กับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษาที่ผ่านกระบวนการ Normalized ด้วยเทคนิค moving average



รูปที่ 3.1 ผลจากการติดตามสถานการณ์น้ำในพื้นที่ด้านตะวันออกเฉียงเหนือของกลุ่มน้ำอเมซอน

ที่มา : (Chen et al., 2010)

จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่าง TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE กับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา กล่าวคือ เมื่อในพื้นที่ลุ่มน้ำได้มีฝนตกลงในพื้นที่เป็นจำนวนมาก จะส่งผลทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บบนพื้นโลกจะเพิ่มขึ้นด้วยมากตามความรุนแรงของปริมาณน้ำฝน และจากความแปรปรวนของปริมาณน้ำฝนนั่นเอง ทำให้ได้มีการเชื่อมโยงสถานการณ์น้ำที่เกิดในพื้นที่ศึกษากับปรากฏการณ์ El Niño และ La Niña ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การเชื่อมโยงกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนกับดัชนี Nino 3.4

ที่มา : (Chen et al., 2010)

และจากรูปที่ 3.2 พบจะมีความสัมพันธ์เชิงลบ โดยในปีที่เกิดปรากฏการณ์ El Niño จะส่งผลทำให้ปริมาณน้ำฝนลดลง ซึ่งทำให้ TWS ในพื้นที่ตะวันออกเฉียงเหนือของกลุ่มน้ำอเมซอนลดลงเช่นกัน และในปีที่เกิดปรากฏการณ์ La Niña จะส่งผลทำให้ปริมาณน้ำฝนเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ TWS ในพื้นที่ตะวันออกเฉียงเหนือของกลุ่มน้ำอเมซอนเพิ่มขึ้นเช่นกัน

### 3.2 Global Terrestrial Water Storage Changes and connections to ENSO events

(Ni et al., 2017) ได้ทำการศึกษาวิจัยการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่าง TWS กับปรากฏการณ์ ENSO ด้วยข้อมูลดาวเทียม GRACE ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่เดือนเมษายน ค. ศ 2002 ถึงเดือนเมษายน ค. ศ 2015 ในพื้นที่ลุ่มน้ำ 4 แห่ง ที่ประกอบด้วย 1. ลุ่มน้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ 2. ลุ่มน้ำโอรีโนโกในประเทศเวเนซุเอลา ประเทศบราซิล และประเทศโคลอมเบียของทางตอนเหนือทวีปอเมริกาใต้ 3. ลุ่มน้ำโคโลราโด ในทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา และทางตอนเหนือของประเทศเม็กซิโก 4. ลุ่มน้ำสินธุในประเทศรัสเซีย ดังแสดงในรูปที่ 3.3

ในการศึกษาความสัมพันธ์ในพื้นที่ที่จะต้องมีการขจัดอิทธิพลจากฤดูกาลออกไป และผ่านกระบวนการ Normalized ด้วยเทคนิค moving average ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (a) – 3.4 (d) จะทำการหาความสัมพันธ์ด้วยเทคนิค Cross-correlation เพื่อหาความสัมพันธ์และระยะเวลาที่ส่งกระทบระหว่างปัจจัย (lag time) แต่จำเป็นต้องตัดช่วงเวลาที่ไม่พบความสัมพันธ์ หรือมีความสัมพันธ์ที่ระดับน้อยมากออกไป ในที่นี้คือ การตัดข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 2002 ถึง ค.ศ. 2007 เพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ที่เด่นชัดขึ้น

จากการศึกษาพบว่า ในแต่ละพื้นที่จะมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างกันไปตามตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะของภูมิประเทศนั้น ๆ สามารถสรุปได้ ดังนี้

#### 3.2.1 ลุ่มน้ำอเมซอน

ผลจากการวิจัยของลุ่มน้ำอเมซอนพบความสัมพันธ์เชิงบวกที่ร้อยละ 70 กล่าวคือ เมื่อค่าดัชนี ENSO เพิ่มขึ้น ค่า TWS ก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และมีช่วงเวลา lag time อยู่ที่ 4 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (a) แต่หากสังเกตจากรูปที่ 3.3 ในทางตอนตะวันออกเฉียงเหนือของลุ่มน้ำอเมซอนจะมีความสัมพันธ์ที่แตกต่างออกไป คือ มีความสัมพันธ์ที่เป็นเชิงลบเช่นเดียวกับพื้นที่ลุ่มน้ำโอรีโนโกที่ใกล้เคียงกัน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Chen et al., 2010)

#### 3.2.2 ลุ่มน้ำโอรีโนโก

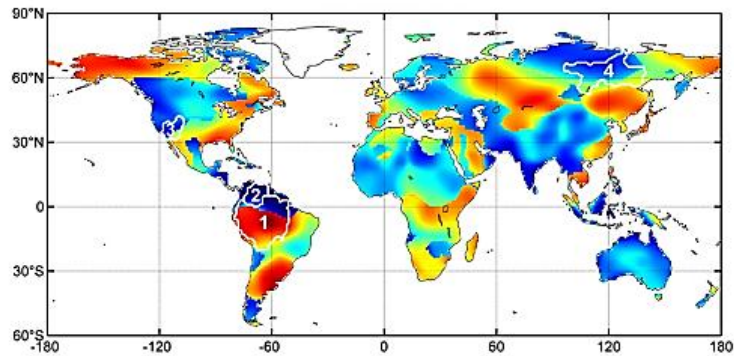
ผลจากการวิจัยของลุ่มน้ำโอรีโนโกพบความสัมพันธ์เชิงลบที่ร้อยละ 70 กล่าวคือ เมื่อค่าดัชนี ENSO เพิ่มขึ้น ค่า TWS ก็จะลดลงด้วย และมีช่วงเวลา lag time อยู่ที่ 2 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (b)

#### 3.2.3 ลุ่มน้ำโคโลราโด

ผลจากการวิจัยของลุ่มน้ำโคโลราโดพบความสัมพันธ์เชิงลบที่ร้อยละ 49 กล่าวคือ เมื่อค่าดัชนี ENSO เพิ่มขึ้น ค่า TWS ก็จะลดลงด้วย และมีช่วงเวลา lag time อยู่ที่ 5 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (c)

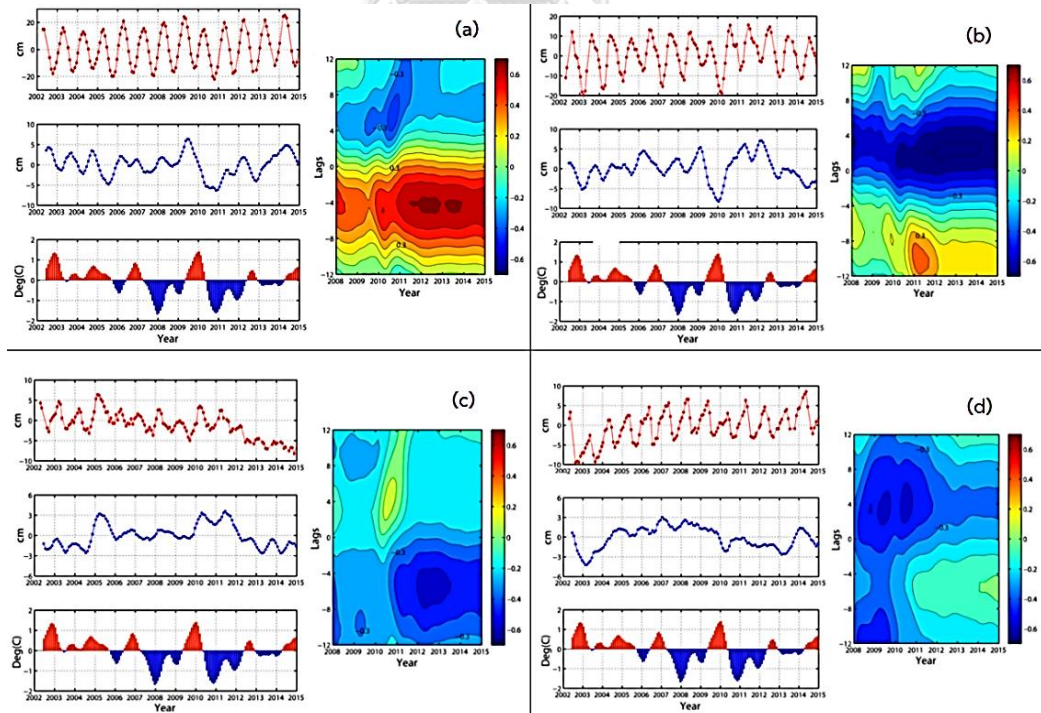
### 3.2.4 ลุ่มน้ำลึน้่า

ผลจากการวิจัยของกลุ่มน้ำลึน้่าพบความสัมพันธ์เชิงลบที่ร้อยละ 32 กล่าวคือ เมื่อค่าดัชนี ENSO เพิ่มขึ้น ค่า TWS ก็ลดลงด้วย และมีช่วงเวลา lag time อยู่ที่ 4 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 (d)



รูปที่ 3.3 พื้นที่ศึกษาทั้ง 4 แห่ง

ที่มา : (Ni et al., 2017)

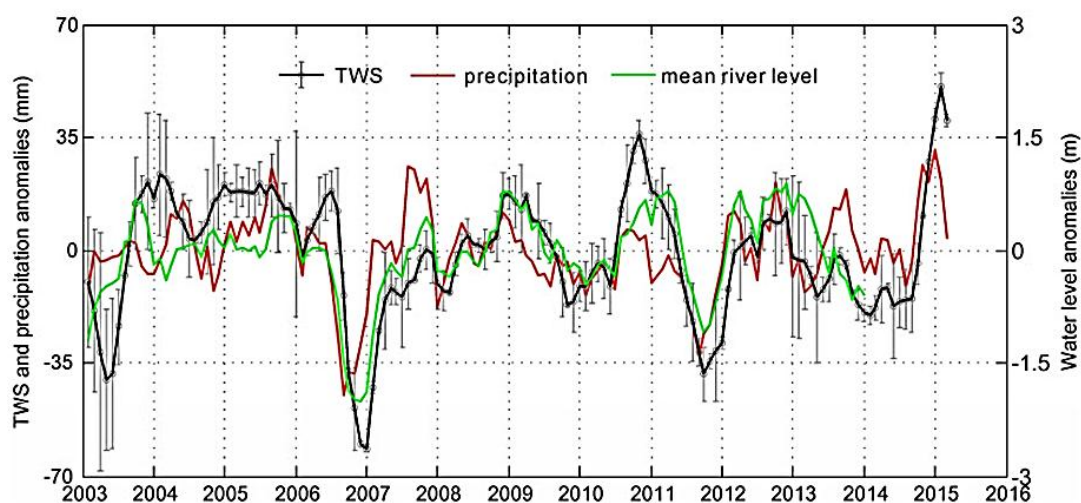


รูปที่ 3.4 ผลจากการศึกษาจากพื้นที่ทั้ง 4 แห่ง

ที่มา : (Ni et al., 2017)

### 3.3 GRACE-Derived Terrestrial Water Storage Changes in the Inter-Basin Region and Its Possible Influencing Factors: A Case Study of the Sichuan Basin

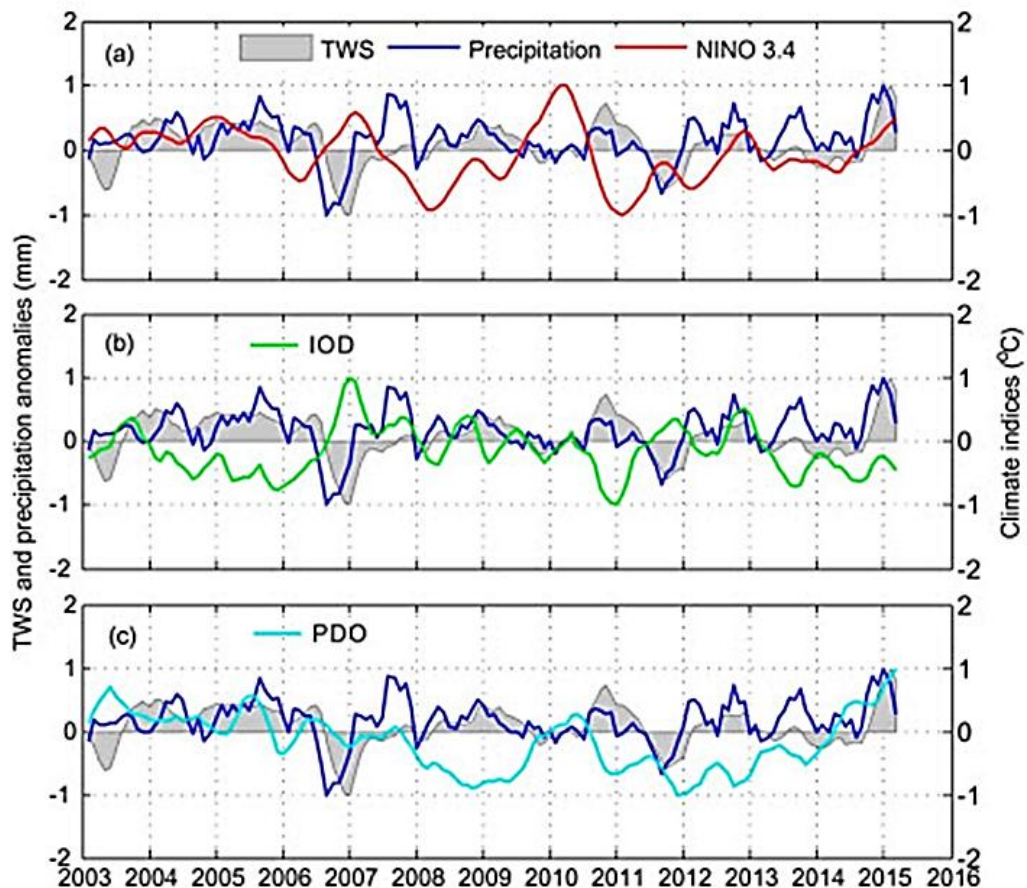
(Yao et al., 2016) ได้ทำการศึกษาติดตามสถานการณ์น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเสฉวนของประเทศจีน และแม่น้ำที่ตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันด้วยข้อมูล TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE ข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยในแม่น้ำ และข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำเสฉวน ในช่วงเวลาดังแต่เดือนมกราคม ค. ศ 2003 ถึงกุมภาพันธ์ ค. ศ. 2015 และจากการศึกษาพบสภาวะภัยแล้งรุนแรงในปี 2006 และ 2011 ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การเปรียบเทียบระหว่าง TWS จาก GRACE และข้อมูลอุทกวิทยาในลุ่มน้ำเสฉวน  
ที่มา : (Yao et al., 2016)

และจากรูปที่ 3.5 ระหว่าง TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE กับข้อมูลปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำเสฉวน และข้อมูลระดับน้ำเฉลี่ยในแม่น้ำ พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งให้เห็นได้ว่า TWS ได้รับอิทธิพลจากปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ ในการศึกษาครั้งนี้ก็ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความแปรผันของลุ่มน้ำเสฉวนที่เกิดจากอิทธิพลของปรากฏการณ์ El Niño Southern Oscillation (ENSO) และปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole (IOD) และในช่วงเวลาที่ทำการศึกษพบว่า ในช่วงเวลาจากเดือนมกราคม ค. ศ 2003 ถึงเดือนกรกฎาคม ค. ศ 2012 พบว่าความสัมพันธ์ในเชิงลบระหว่าง TWS กับดัชนีของปรากฏการณ์ IOD มากกว่าความสัมพันธ์ระหว่าง TWS กับดัชนีของปรากฏการณ์ ENSO แต่ภายหลังจากเดือนสิงหาคม ค. ศ 2012 มีผลพบว่า

ความสัมพันธ์ในเชิงบวกระหว่าง TWS กับดัชนีของปรากฏการณ์ ENSO เข้ามาแทนที่อิทธิพลจากดัชนีของปรากฏการณ์ Indian Ocean Dipole (IOD) ดังแสดงในรูปที่ 3.6

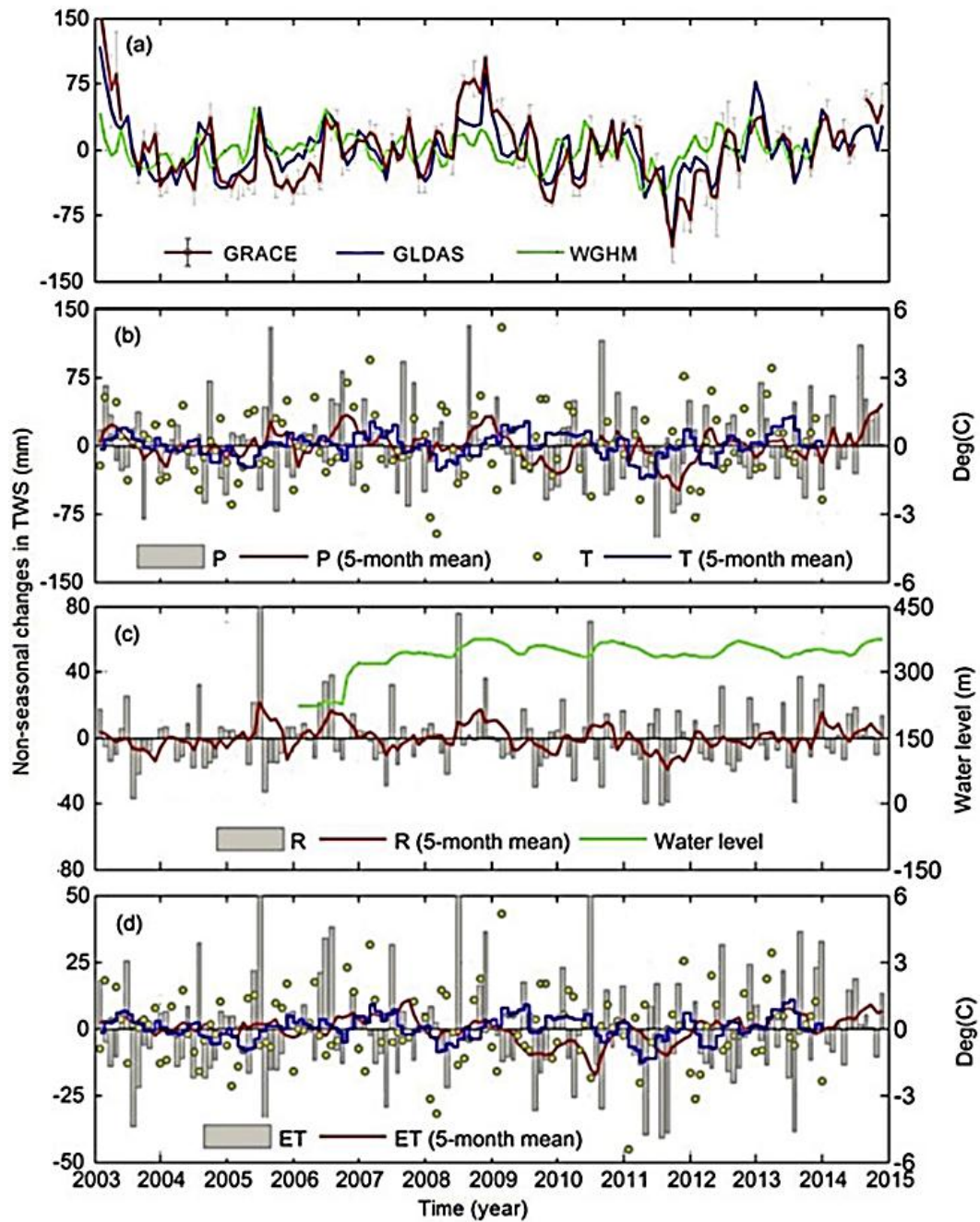


รูปที่ 3.6 ผลจากการเปรียบเทียบ TWS กับดัชนีต่าง ๆ (a) NINO 3.4 (b) IOD และ (c) PDO.

ที่มา : (Yao et al., 2016)

### 3.4 Terrestrial water storage changes over the Pearl River Basin from GRACE and connections with Pacific climate variability.

(Luo et al., 2016) ได้ทำการศึกษาติดตามสถานการณ์น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเพิร์ลของประเทศจีน โดยสำหรับการศึกษาได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE และ TWS จากแบบจำลองทางอุทกวิทยา ได้แก่ แบบจำลอง GLDAS และ WGHM และจากการติดตามสถานการณ์น้ำจาก GRACE และแบบจำลองทางอุทกวิทยาพบ สถานการณ์ภัยแล้งที่รุนแรงในปี ค.ศ. 2011 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (a)



รูปที่ 3.7 ผลจากการเปรียบเทียบระหว่าง TWS จาก GRACE กับข้อมูลอุทกวิทยา

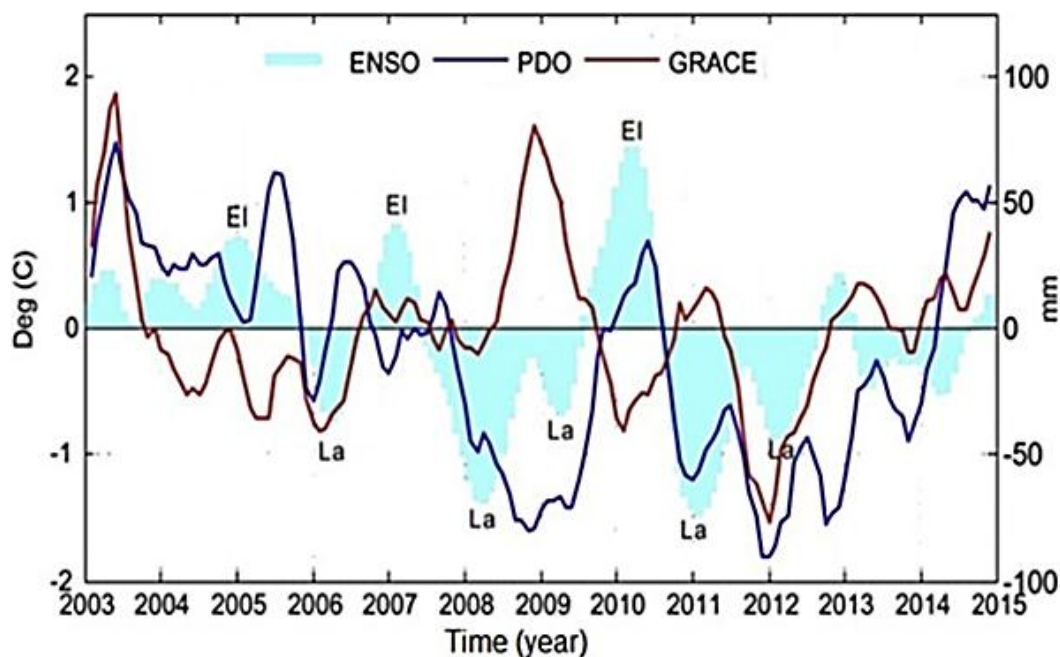
ที่มา : (Luo et al., 2016)

และจากรูปที่ 3.7 พบความสัมพันธ์กันระหว่างปริมาณน้ำฝนกับปริมาณน้ำท่า ระดับน้ำในแม่น้ำ กล่าวคือ จากสถานการณ์ภัยแล้งในปี ค.ศ. 2011 ในรูปที่ 3.7 (b) พบว่าปริมาณน้ำฝนมีระดับ



ความผิดปกติในเชิงลบอย่างมาก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณน้ำท่าที่มีความผิดปกติในเชิงลบอย่างมากเช่นกัน และมีระดับน้ำที่ต่ำกว่าปกติ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 (c)

โดย TWS ของลุ่มน้ำเพิร์ลพบความสัมพันธ์ในเชิงลบระหว่าง TWS จากดาวเทียม GRACE กับดัชนี Pacific Decadal Oscillation (PDO) ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ผลจากการเปรียบเทียบระหว่าง TWS จาก GRACE กับดัชนี ENSO และ PDO

ที่มา : (Luo et al., 2016)

จากรูปที่ 3.8 สามารถอธิบายถึงอิทธิจากปรากฏการณ์ ENSO ที่เป็นผลมาจากความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลของมหาสมุทรแปซิฟิก ที่ส่งผลกระทบต่อ TWS ในลุ่มแม่น้ำเพิร์ลของประเทศจีน จากรูปที่ 3.8 จะสามารถสังเกตแนวโน้มที่เกิดขึ้นได้ว่า ในปีที่เกิดปรากฏการณ์ El Niño จะส่งผลกระทบต่อทำให้สถานการณ์น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำมีสภาพที่แห้งแล้งตั้งในปลายปี ค.ศ. 2009 ถึงกลางปี ค.ศ. 2010 และในปีที่เกิดปรากฏการณ์ La Niña จะส่งผลกระทบต่อทำให้สถานการณ์น้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำมีสภาพที่ชุ่มชื้นตั้งในปี ค.ศ. 2008 ถึงกลางปี ค.ศ. 2009 และในปลายปี ค.ศ. 2010 ถึงต้นปี ค.ศ. 2011

## บทที่ 4

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีดำเนินงานประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงานทั้งหมด 9 ขั้นตอน ได้กล่าวถึง รายละเอียดของการประมวลผลข้อมูล TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE ข้อมูลอุณหภูมิมิวน้ำทะเลจากเครื่องวัดคลื่นเชิงสเปกตรัม MODIS และการประมวลผลข้อมูล TWS จากข้อมูลอุทกวิทยา

#### 4.1 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

4.1.1 ซอฟต์แวร์จัดการข้อมูลระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ArcGIS เวอร์ชัน 10.1 ของบริษัท Environmental Systems Research Institute (ESRI)

4.1.2 ซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลทางสถิติ SPSS เวอร์ชัน 24 ของบริษัท IBM

4.1.3 ซอฟต์แวร์สำหรับการประมาณค่า TWS ของเดือนที่ขาดหายไป (Missing Data) จากข้อมูลของเดือนอื่น ๆ ที่มีอยู่ด้วยโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน R2015a ของบริษัท MathWorks, Inc.

4.1.4 ซอฟต์แวร์สำหรับการนำเสนอกราฟ Microsoft office Excel เวอร์ชัน 2016 ของบริษัท Microsoft, Inc.

#### 4.2 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยประกอบด้วยข้อมูล ดังนี้ คือ

4.2.1 ข้อมูลอุณหภูมิมิวน้ำทะเลจากดาวเทียม AQUA โดยใช้เครื่องวัดคลื่นเชิงสเปกตรัม MODIS ในชื่อข้อมูล MOD28 ซึ่งประมวลผลโดย NASA Earth Observation: NEO ในรูปแบบ GeoTIFF Resolution 4.6 km. ในปีค.ศ. 2006 – 2015 (<ftp://neoftp.sci.gsfc.nasa.gov/geotiff.float/>)

4.2.2 ข้อมูลดาวเทียม GRACE (RL05) ในรูปแบบ GeoTIFF Resolution 1 Degree ในปี ค.ศ. 2006 – 2015 ([ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov/allData/tellus/L3/land\\_mass/RL05/geotiff/](ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov/allData/tellus/L3/land_mass/RL05/geotiff/))

4.2.3 ข้อมูลปริมาณน้ำฝนภาคสนามในปี ค.ศ. 2006 – 2015 และปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 30 ปี (ค.ศ. 1981 – 2010) จากกรมอุตุนิยมวิทยา

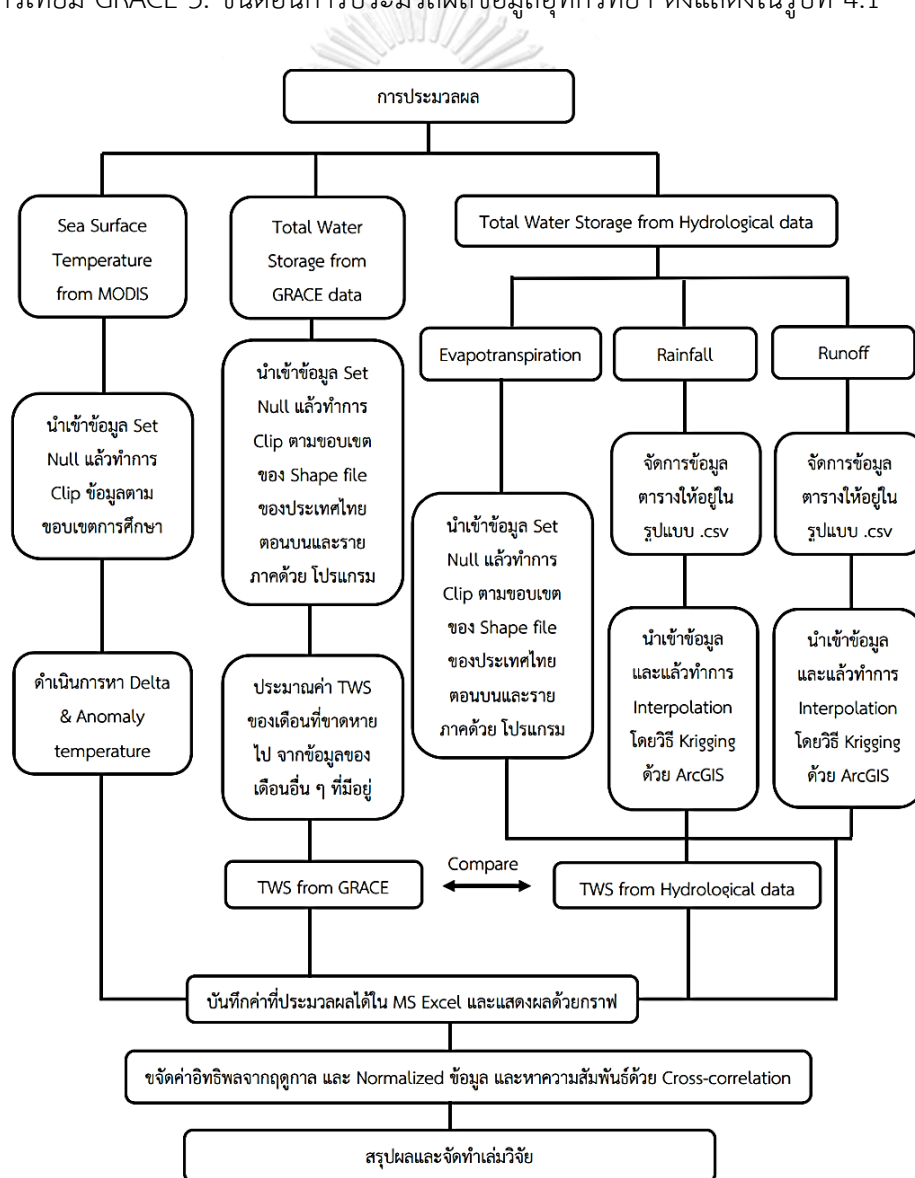
4.2.4 ข้อมูลปริมาณน้ำท่าภาคสนามในปี ค.ศ. 2006 – 2015 จากกรมชลประทาน

4.2.5 ข้อมูลการคายระเหยจากดาวเทียม AQUA โดยใช้เครื่องวัดคลื่นเชิงสเปกตรัม MODIS ในชื่อข้อมูล MOD16 ซึ่งประมวลผลโดย Numerical Terradynamic Simulation Group: NTSG

ในรูปแบบ GeoTIFF Resolution 1 km. ในปีค.ศ. 2006 – 2014 ([http://files.ntsg.umd.edu/data/NTSG\\_Products/MOD16/](http://files.ntsg.umd.edu/data/NTSG_Products/MOD16/))

### 4.3 วิธีดำเนินงานวิจัย

จากการค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และงานวิจัยที่ผ่านมา เพื่อให้เข้าใจแนวทางการศึกษา วิธีการ และการรวบรวมผลลัพธ์ของการวิจัยที่ผ่านมา เพื่อนำมาประยุกต์และพัฒนาแนวทางการศึกษาวิจัย โดยเนื้อหาในหัวข้อนี้จะทำการกล่าวถึงขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล ซึ่งการประมวลผลที่สำคัญจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1. ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลอุณหภูมิมิวน้ำทะเล 2. ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลดาวเทียม GRACE 3. ขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลอุทกวิทยา ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนดำเนินการ

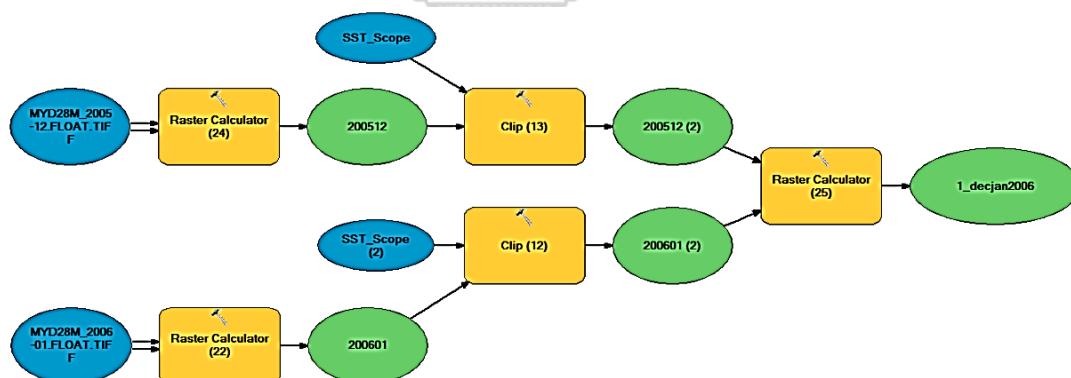
จากรูปที่ 4.1 แผนดำเนินงาน สามารถอธิบายพอสังเขปได้ดังนี้

#### 4.3.1 การประมวลผลข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล

4.3.1.1 ข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลผิวน้ำทะเล หรืออีกชื่อหนึ่งเรียกว่า MOD28 เป็นข้อมูล Level 3 ในส่วนของ MODIS ocean processing ในส่วนข้อมูลรายเดือนของข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลผิวน้ำทะเลมีการให้บริการจาก NASA Earth Observation: NEO ในรูปแบบ GeoTIFF สามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จาก <ftp://neoftp.sci.gsfc.nasa.gov/geotiff.float> เลือกเพิ่มข้อมูลเป็น MYD28M ในช่วงเวลาเดือนธันวาคม ค.ศ.2005 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ.2015

4.3.1.2 เมื่อทำการดาวน์โหลดข้อมูลเสร็จสิ้น ทำการนำเข้าข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเลภายในโปรแกรม ArcGIS 10.1 จะพบว่าข้อมูลในส่วนที่เป็นพื้นดิน (No data) จะมี Pixel value เป็น 99999 แล้วจึงดำเนินการตัดภาพตามขอบเขตพื้นที่การศึกษา คือ ตั้งแต่ lat. 5°S – 25°N และ long. 99°E – 110°W

4.3.1.3 ดำเนินการหาความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลผิวน้ำทะเล (Delta temperature) ด้วยชุดคำสั่ง Raster Calculator จาก Arc Toolbox และเพื่อประหยัดเวลาในการประมวลผล จึงเรียกใช้คำสั่ง Model Builder เพื่อดำเนินการพร้อมกันทั้งสามชุดคำสั่งจากหัวข้อที่ 4.3.1.2 และ 4.3.1.3 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 แล้ว Export เป็นรูปแบบ GeoTIFF



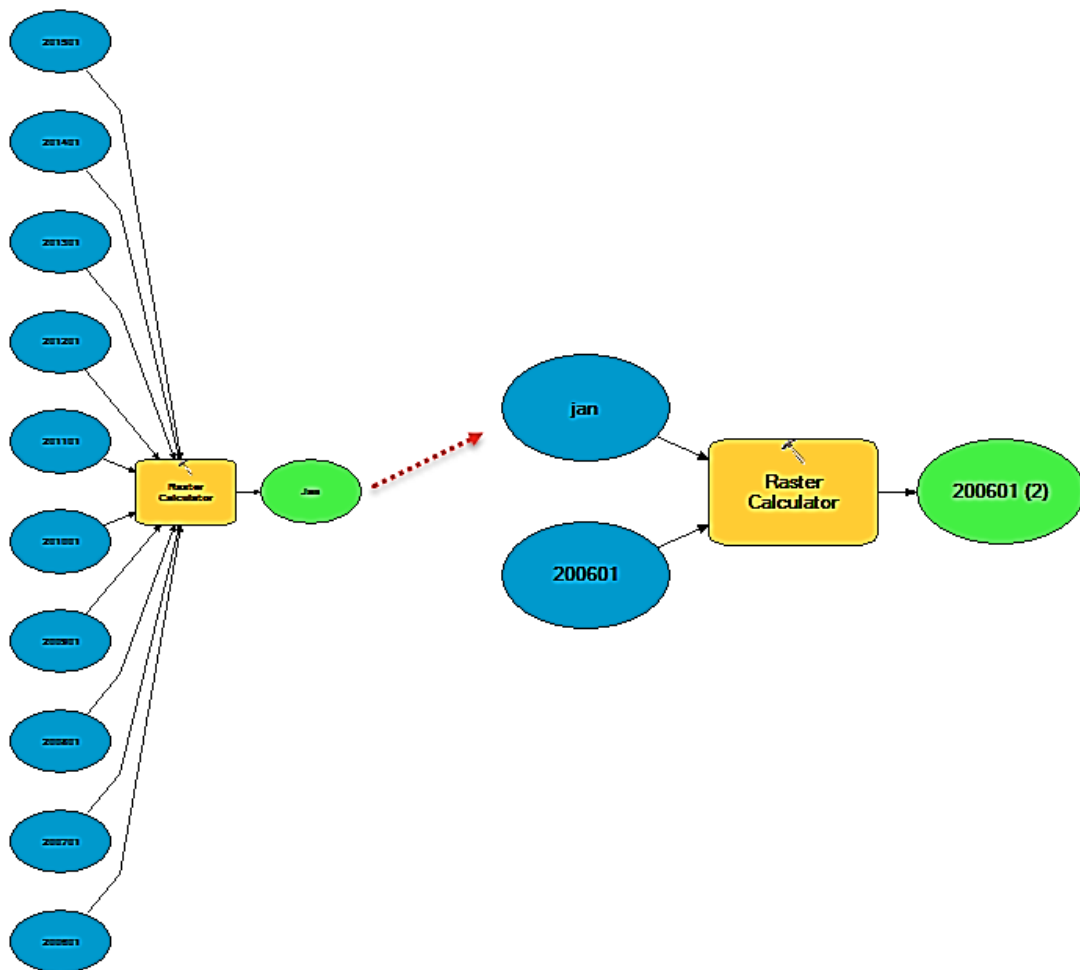
รูปที่ 4.2 Model Builder ที่เรียกใช้คำสั่ง Set Null (Raster Calculator)

Clip และ Raster Calculator

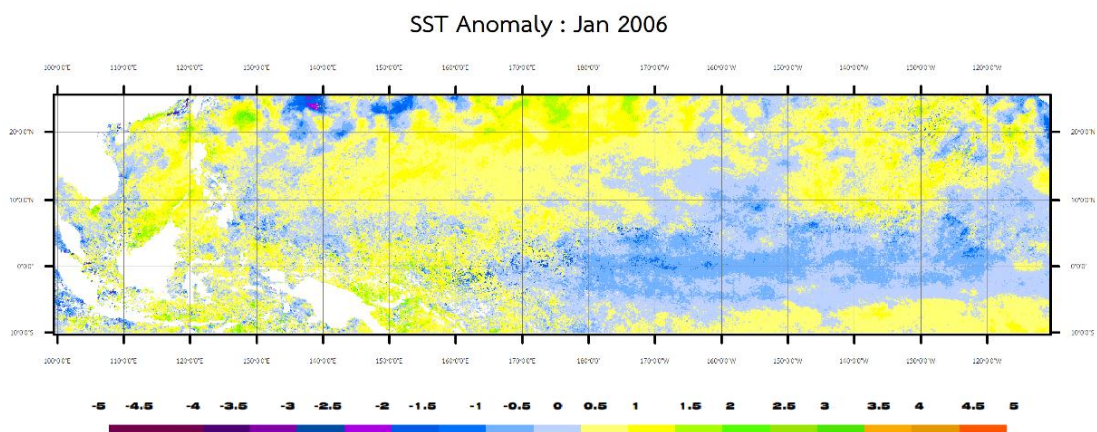
4.3.1.4 ดำเนินการหาค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature Anomaly, SSTA) ในขั้นตอนจะใช้ภาพที่ผ่านการ set null จากขั้นตอนที่ 4.3.1.3 สามารถอธิบายแยกย่อยได้สองขั้นตอน กล่าวคือ

- การคำนวณปีฐานของแต่ละเดือน เช่น ในการคำนวณปีฐานของเดือนมกราคม จะต้องนำเข้าภาพของแต่ละปีตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2006 ถึง ค.ศ. 2015 แล้วจึงเรียกใช้คำสั่ง Raster Calculator เพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าอุณหภูมิมิวน้ำทะเลในรอบ 10 ปี แล้ว Export เป็น Raster
- นำเข้าภาพในเดือนที่ต้องการหาค่าผิดปกติเข้ามา แล้วจึงเรียกใช้คำสั่ง Raster Calculator เพื่อหาค่าเฉลี่ยของค่าอุณหภูมิมิวน้ำทะเลในแต่ละเดือนของทุก ๆ ปี ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในรูปที่ 4.4

4.3.1.5 บันทึกค่าที่ประมวลผลได้ในโปรแกรม Excel เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 4.3 Model Builder คำนวณหาค่า SSTA



รูปที่ 4.4 SSTA ในเดือนมกราคม ค.ศ. 2006

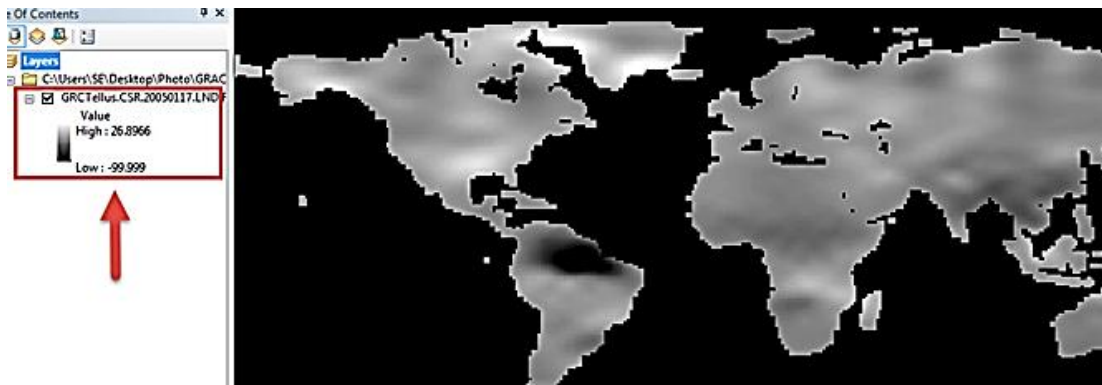
#### 4.3.2 การประมวลผลข้อมูลดาวเทียม GRACE (Total Water Storage from GRACE)

4.3.2.1 ข้อมูล TWS จาก GRACE (RL05) เป็นข้อมูล Level 3 สามารถทำการดาวน์โหลดข้อมูลได้จาก [ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov/allData/tellus/L3/land\\_mass/RL05/geotiff/](ftp://podaac-ftp.jpl.nasa.gov/allData/tellus/L3/land_mass/RL05/geotiff/) โดยดาวน์โหลดข้อมูลในประเภทของ Monthly Mass Grid-Land ในรูปแบบไฟล์ GeoTIFF ในช่วงเวลาเดือนมกราคม ค.ศ.2006 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ.2015 ของหน่วยงาน Center for Space Research at University of Texas, Austin

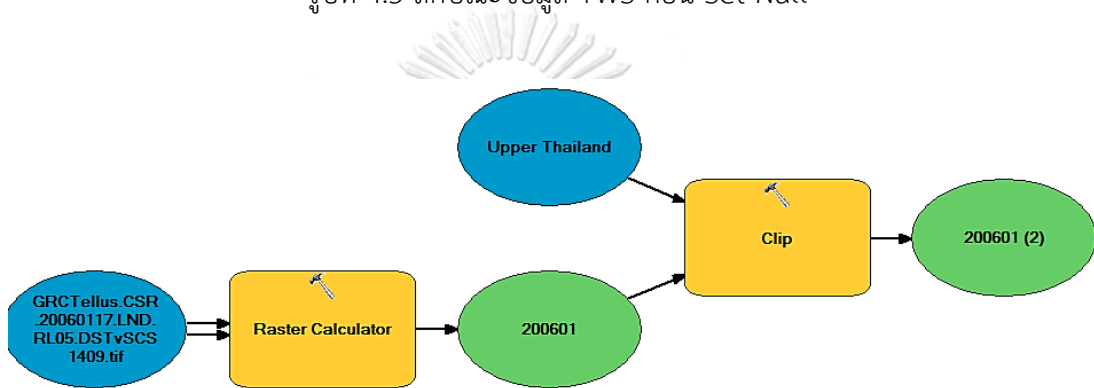
4.3.2.2 เมื่อทำการดาวน์โหลดข้อมูลเสร็จสิ้น ทำการนำเข้าข้อมูล TWS ภายในโปรแกรม ArcGIS 10.1 จะพบว่าข้อมูลในส่วนที่เป็นมหาสมุทร (No data) จะมีค่า Pixel value เป็น -99.999 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 แล้วจึงดำเนินการตัดภาพตามขอบเขตพื้นที่การศึกษา จึงเรียกใช้คำสั่ง Model Builder เพื่อดำเนินการพร้อมกันทั้งสองชุดคำสั่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และผลลัพธ์ที่ได้จะดังแสดงในรูปที่ 4.7

4.3.2.3 ประมาณค่า TWS ของเดือนที่ขาดหายไป (Missing Data) จากข้อมูลของเดือนอื่น ๆ ที่มีอยู่ด้วยฟังก์ชัน Curve Fitting Tool ของโปรแกรม MATLAB และเลือกใช้ Cubic – Spline interpolation ที่เป็นฟังก์ชันที่จะลากผ่านจุดข้อมูลทุกจุด จากการใช้สมการ polynomial degree 3 ที่เชื่อมต่อระหว่างจุด 2 จุด ที่อยู่ติดกันและนอกจากนั้นแล้วยังให้ slope ของเส้นโค้งสองเส้นที่บรรจบกันที่จุดข้อมูลมีค่าเท่ากันหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ curve จะราบเรียบที่จุดต่อของ curve ทั้งสองเส้นนั่นเอง (ไศรฐา แฉิงการ และกนต์ธร ชำนิประศาสน์, 2549) ซึ่งจากการประมวลผลพบว่า การประมวลผลด้วยวิธีการนี้สามารถ Fitting ข้อมูลได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆ

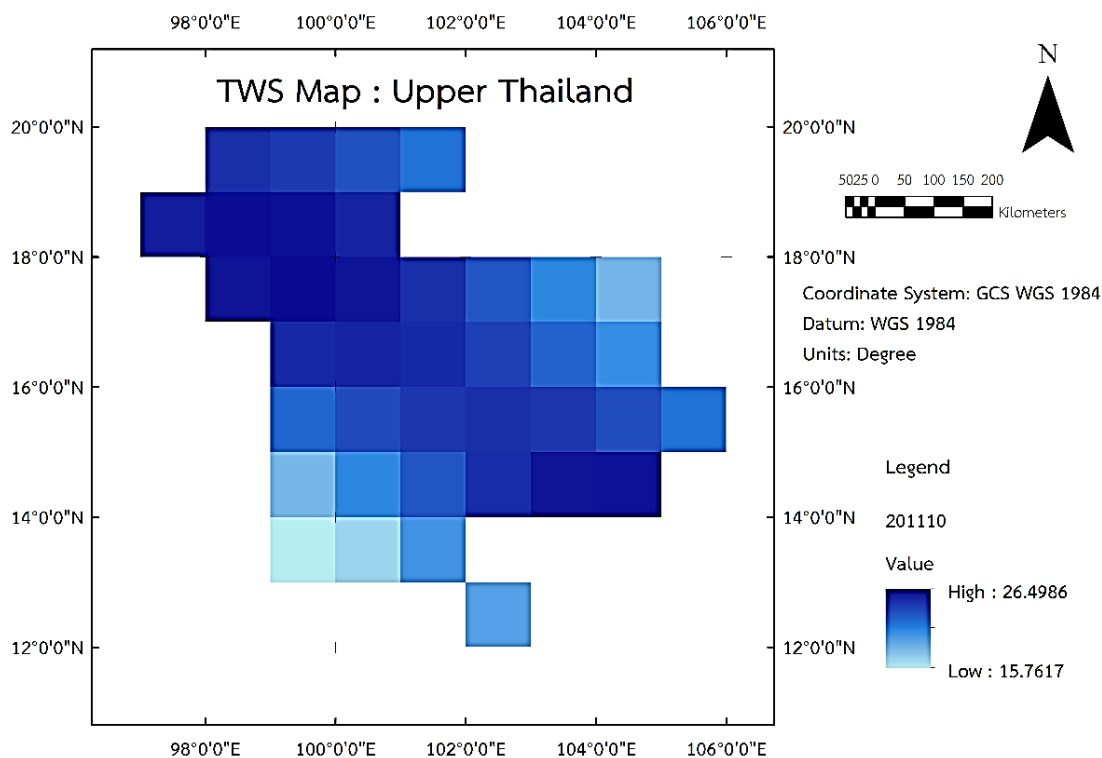
4.3.2.4 บันทึกค่าที่ประมวลผลได้ในโปรแกรม Excel เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 4.5 ลักษณะข้อมูล TWS ก่อน Set Null



รูปที่ 4.6 Model Builder ที่เรียกใช้คำสั่ง Set Null (Raster Calculator) และ Clip ของข้อมูลดาวเทียม GRACE



รูปที่ 4.7 TWS ในเดือนมกราคม ค.ศ. 2006

#### 4.3.3 การประมวลผลข้อมูลการคายระเหย

4.3.3.1 ข้อมูลการคายระเหย หรืออีกชื่อหนึ่งเรียกว่า MOD16 เป็นข้อมูล Level 4 ในส่วนของ MODIS land processing ในส่วนข้อมูลรายเดือนของข้อมูลการคายระเหย มีการให้บริการข้อมูลจาก Numerical Terradynamic Simulation Group: NTSG ในรูปแบบ GeoTIFF สามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จาก [http://files.nts.g.umd.edu/data/NTSG\\_Products/MOD16/MOD16A2\\_MONTHLY.MERRA\\_GMAO\\_1kmALB/](http://files.nts.g.umd.edu/data/NTSG_Products/MOD16/MOD16A2_MONTHLY.MERRA_GMAO_1kmALB/) ในช่วงเวลาเดือนมกราคม ค.ศ.2006 ถึงเดือน ธันวาคม ค.ศ.2014

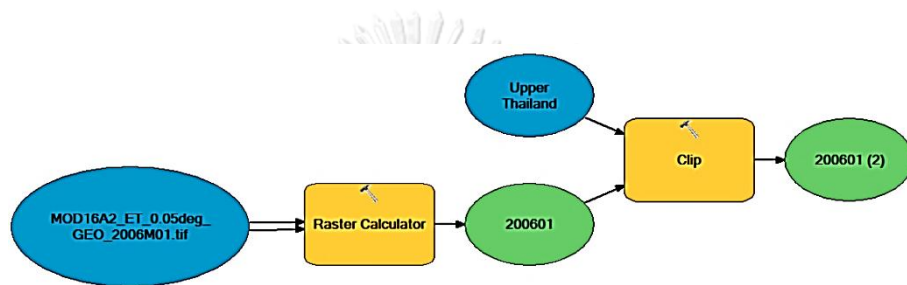
4.3.3.2 เมื่อทำการดาวน์โหลดข้อมูลเสร็จสิ้น ทำการนำเข้าข้อมูลการคายระเหย ภายในโปรแกรม ArcGIS 10.1 จะพบว่าข้อมูลในส่วนที่เป็นมหาสมุทร (No data) จะมี Pixel value เป็น 32767 ดังแสดงในรูปที่ 4.8 แล้วจึงดำเนินการตัดภาพตามขอบเขตพื้นที่ จึงเรียกใช้คำสั่ง Model Builder เพื่อดำเนินการพร้อมกันทั้งสองชุดคำสั่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในรูปที่ 4.10

4.3.3.3 บันทึกค่าที่ประมวลผลได้ในโปรแกรม Excel เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

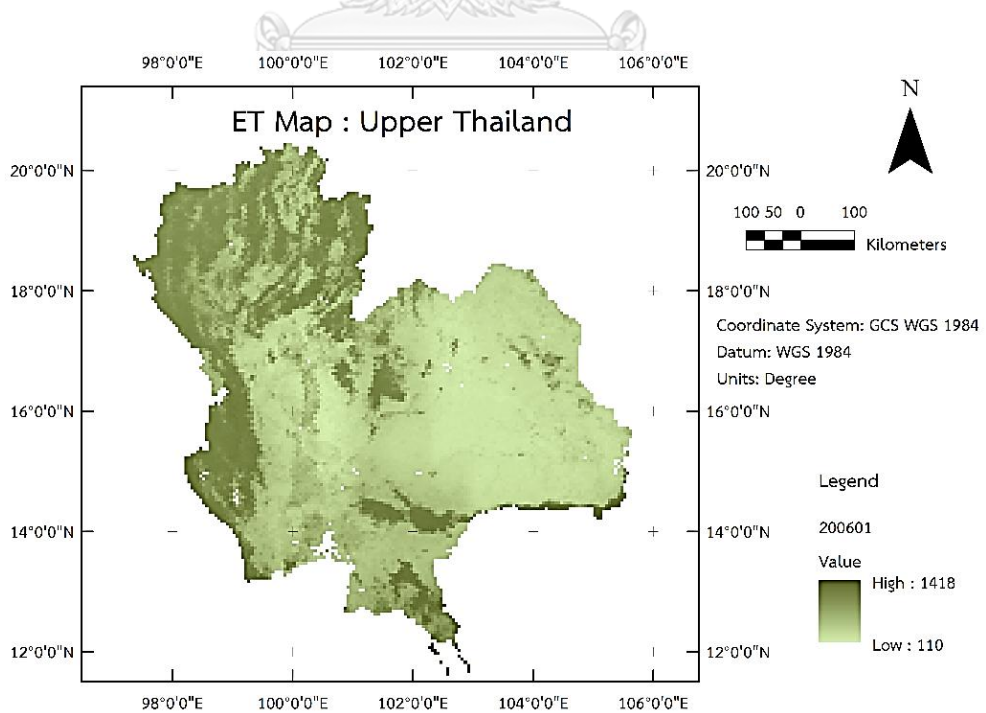




รูปที่ 4.8 ลักษณะข้อมูลการคายระเหยก่อน Set Null



รูปที่ 4.9 Model Builder ที่เรียกใช้คำสั่ง Set Null (Raster Calculator) และ Clip ของข้อมูลการคายระเหย

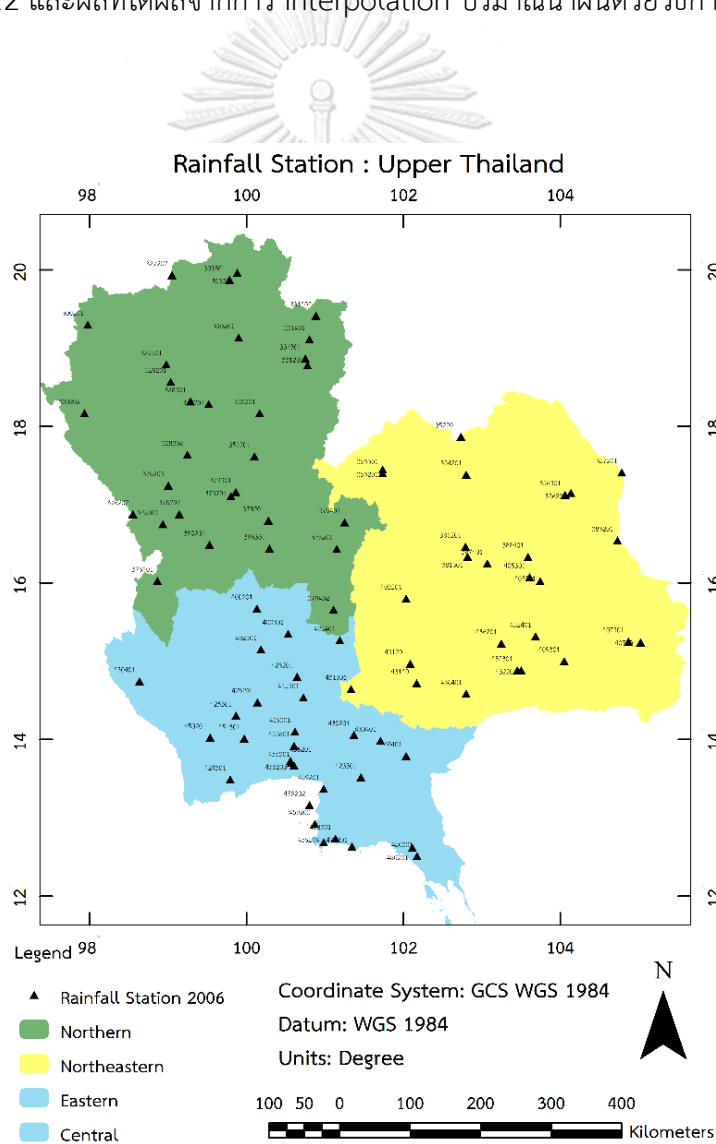


รูปที่ 4.10 การคายระเหยในเดือนมกราคม ค.ศ. 2006

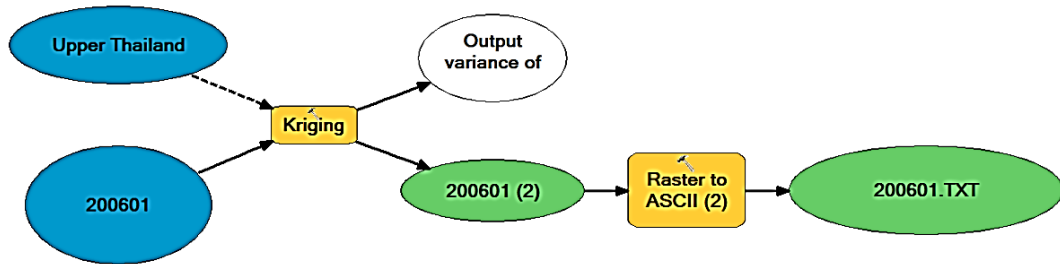
#### 4.3.4 การประมวลผลข้อมูลปริมาณน้ำฝน

4.3.4.1 ข้อมูลภาคสนามของปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา ครอบคลุมในช่วงเวลาเดือนมกราคม ค.ศ.2006 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ.2015 สำหรับใช้ในการประมวลผลจำเป็นต้องปรับข้อมูลให้อยู่ในฟิลด์ต่าง ๆ และมีการเลือกรูปแบบให้เหมาะสม แล้วจัดนำเข้าข้อมูลโปรแกรม ArcGIS ในรูปแบบไฟล์ .csv เพื่อสร้าง Raster file ดังแสดงในรูปที่ 4.11

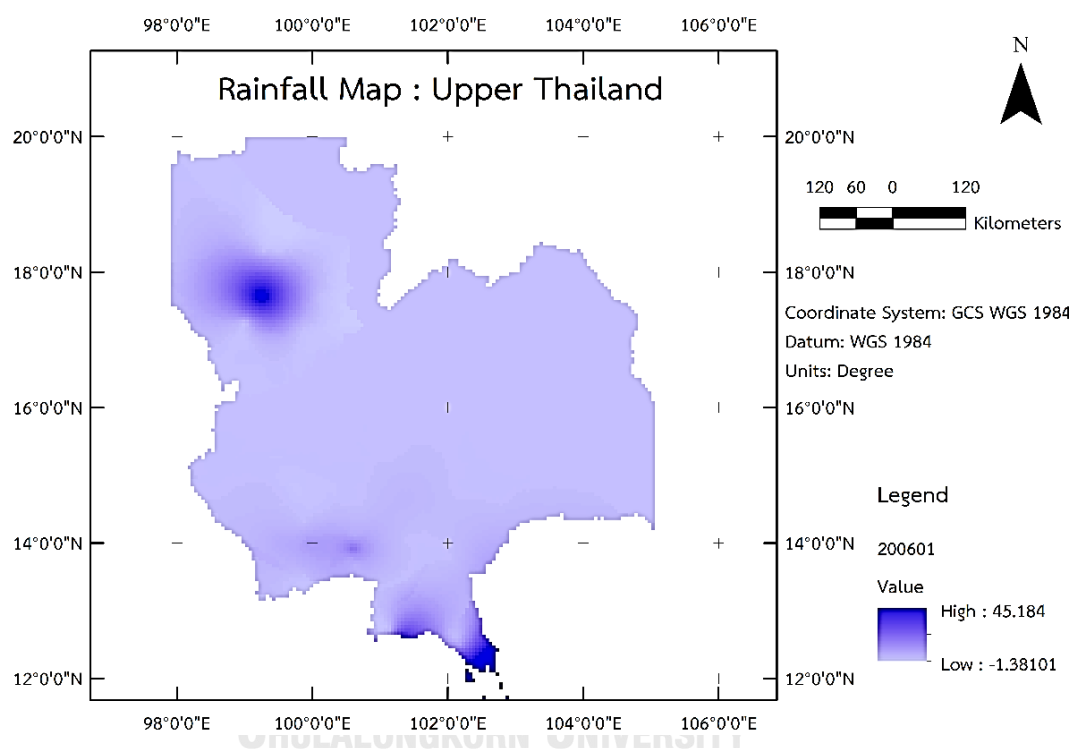
4.3.4.2 และสำหรับการประมวลผลโดยวิธีการ Interpolation ด้วยวิธีการ Kriging เนื่องจากงานวิจัย (สัจชัย เอี่ยมประเสริฐ, 2557) ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยทำการ Interpolation ตามขอบเขตพื้นที่การศึกษา จึงเรียกใช้คำสั่ง Model Builder เพื่อประมวลผลพร้อมกันในแต่ละพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และผลที่ได้ผลจากการ Interpolation ปริมาณน้ำฝนด้วยวิธีการ Kriging ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.11 สถานีวัดน้ำฝนของข้อมูลภาคสนาม



รูปที่ 4.12 Model Builder สำหรับการ Interpolation ด้วยวิธีการ Kriging



รูปที่ 4.13 ปริมาณน้ำในเดือนมกราคม ค.ศ. 2006 ด้วยวิธีการ Kriging

4.3.4.3 บันทึกค่าที่ประมวลผลได้ลงในโปรแกรม Excel เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

4.3.5 การประมวลผลข้อมูลปริมาณน้ำท่า

ข้อมูลภาคสนามของปริมาณน้ำท่าจากกรมชลประทาน ครอบคลุมในช่วงเวลาเดือนมกราคม ค.ศ.2006 ถึงเดือนธันวาคม ค.ศ.2015 สามารถประมวลผลเช่นเดียวกับข้อมูลปริมาณน้ำฝน

4.3.6 นำข้อมูลอุทกวิทยาที่ประกอบด้วยปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า และการคายระเหยมาประมวลผลด้วยสมการสมดุลน้ำ เพื่อหาค่า TWS จากข้อมูลอุทกวิทยา เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE เพื่อศึกษาความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในพื้นที่ศึกษา

4.3.7 นำค่าประมวลผลจากข้อมูลต่าง ๆ มาทำการศึกษาเปรียบเทียบ และหาความสัมพันธ์ด้วยเทคนิค Regression และ Cross-Correlation ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมิวน้ำทะเลกับ TWS และปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

4.3.8 จัดค่าอิทธิพลเนื่องจากฤดูกาลออกไปด้วยการหาค่าผิดปกติของข้อมูล และทำการ Normalized ข้อมูลด้วยเทคนิค Moving Average เพื่อช่วยกระจายความผิดปกติออกไปจากข้อมูล และทำการหาความสัมพันธ์ และความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างข้อมูลด้วย Cross-Correlation จากโปรแกรม SPSS ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิมิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของ TWS และปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน และพื้นที่รอยภาค

4.3.9 สรุปผลและจัดทำเล่มวิจัย

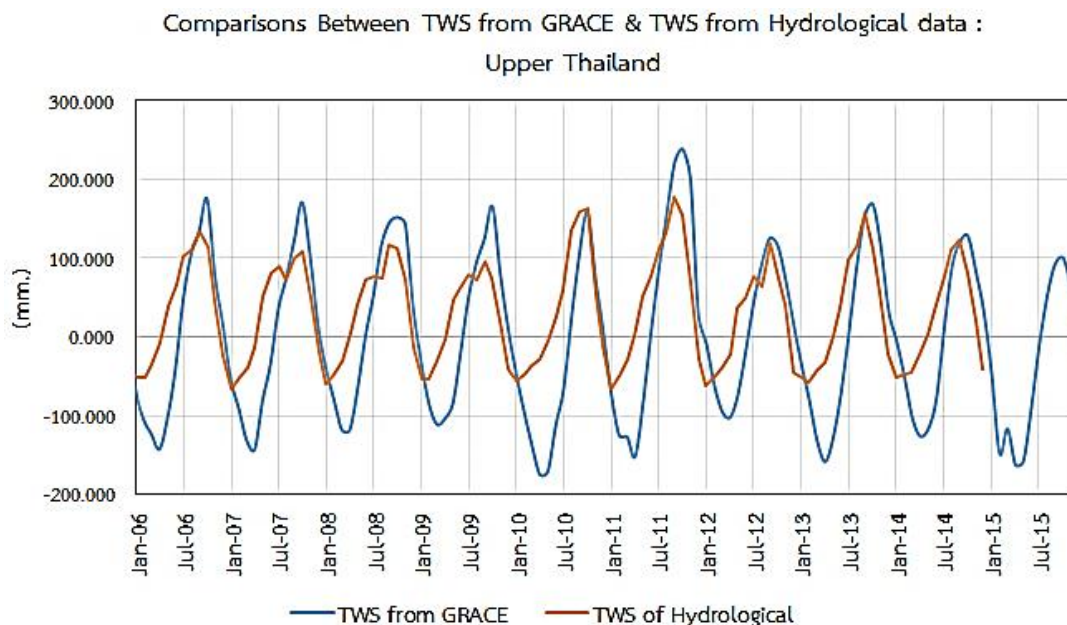


## บทที่ 5 ผลการศึกษา

ในบทที่จะกล่าวถึงผลการศึกษาประกอบด้วยหัวข้อ คือ การศึกษาเปรียบเทียบข้อมูล TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE กับข้อมูลอุทกวิทยาในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน และการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงและค่าผิดปกติของอนุกรมวิธานน้ำทะเลกับข้อมูลอุทกวิทยา และ Total Water Storage (TWS) ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน และพื้นที่รอยภาค

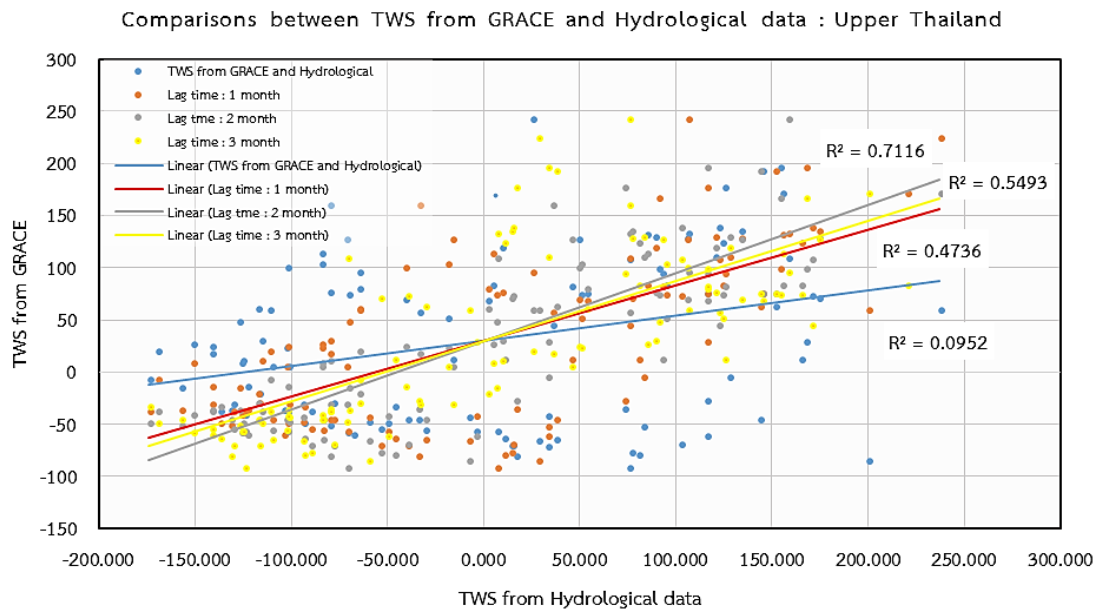
### 5.1 ผลการเปรียบเทียบระหว่าง TWS from GRACE กับ TWS from Hydrological data

ข้อมูลดาวเทียม GRACE สามารถรังวัดค่า Gravity field change แล้วจึงทำการแปลงค่าจาก Gravity field change เป็น Total Water Storage (TWS) ซึ่งข้อมูล TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE มีการนำมาใช้เพื่อติดตามสถานการณ์น้ำในหลายประเทศ เช่น ประเทศจีนในงานวิจัยของ (Luo et al., 2016; Yao et al., 2016; Zhang et al., 2015) ประเทศสหรัฐอเมริกา (McCullum et al., 2012) และอีกหลาย ๆ พื้นที่ (Ni et al., 2017; Schumacher, 2016) ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การนำข้อมูลดาวเทียม GRACE จำเป็นต้องมีการตรวจสอบข้อมูลอุทกวิทยาที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นสนาม หรือแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่ใช้อยู่ทั่วไป แต่สำหรับในการวิจัยนี้จะทำการตรวจสอบกับข้อมูลอุทกวิทยา ที่ประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา ปริมาณน้ำท่าจากกรมชลประทาน และข้อมูลการคายระเหยจากข้อมูลดาวเทียม AQUA และเครื่องวัดคลื่นเชิงสเปกตรัม MODIS แล้วจึงนำมาเข้าสมการสมดุลน้ำ (Water balance) ดำเนินการแปลงค่าเป็น TWS จากข้อมูลอุทกวิทยาเช่นเดียวกับงานวิจัยของ (McCullum et al., 2012) เพื่อนำมาใช้ตรวจสอบสอดคล้องระหว่างข้อมูลดาวเทียม GRACE กับข้อมูลอุทกวิทยาที่ได้จากสถานีตรวจวัดภาคพื้นสนาม และนำมาใช้ติดตามสถานการณ์น้ำในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน โดยผลจากการศึกษาเปรียบเทียบปรากฏดังแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่าง TWS from GRACE กับ TWS from Hydrological data ของประเทศไทยตอนบน

จากรูปที่ 5.1 เป็นกราฟเพื่อแสดงการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล Total Water Storage (TWS) ข้อมูลดาวเทียม GRACE กับข้อมูลอุทกวิทยาในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน โดยข้อมูลที่แสดงในรูปที่ 5.1 จะครอบคลุมช่วงเวลาตั้งแต่เดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2006 ถึงเดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2015 สำหรับข้อมูล TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE และตั้งแต่เดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2006 ถึงเดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2014 สำหรับข้อมูล TWS จากข้อมูลอุทกวิทยาเนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลการคายระเหย โดยจากกราฟสามารถแสดงให้เห็นถึงวัฏจักรของ TWS ที่เกิดขึ้นในแต่ละปี ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่า ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคมของทุกปี ค่า TWS จะมีค่าเป็นบวก เพราะในช่วงเวลานั้นประเทศไทยตอนบนได้เข้าสู่ฤดูฝน ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บบนพื้นดิน เช่น ปริมาณน้ำท่าในลุ่มแม่น้ำ ปริมาณน้ำในเขื่อน ความชื้นในดิน หรือปริมาณน้ำใต้ดิน เป็นต้น มีจำนวนเพิ่มขึ้น ทำให้ค่า TWS มีค่าเป็นบวกในช่วงฤดูฝน ในทางกลับกันจะสามารถสังเกตได้ว่า ตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคมของทุกปี ค่า TWS จะมีค่าเป็นลบ เพราะในช่วงเวลานั้นประเทศไทยตอนบนได้เข้าสู่ฤดูแล้งและฤดูร้อน จึงทำให้ปริมาณฝนในพื้นที่ลดลง ส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บบนพื้นดินลดลงกระทั่งมีค่าติดลบเป็นวัฏจักรของ TWS ทุก ๆ ปี โดยค่าการประมวลผลของค่าการเปลี่ยนแปลงของ TWS ทั้งหมดจะถูกแสดงในตารางภาคผนวก ก และเพื่อทำการตรวจสอบความสอดคล้องระหว่าง TWS จากข้อมูล GRACE กับ TWS จากข้อมูลอุทกวิทยาในประเทศไทยตอนบน จึงได้นำมาสมการเส้นตรงเพื่ออธิบายความสอดคล้องของข้อมูลทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงผลความสอดคล้องระหว่าง TWS from GRACE กับ TWS from Hydrological data ของประเทศไทยตอนบน

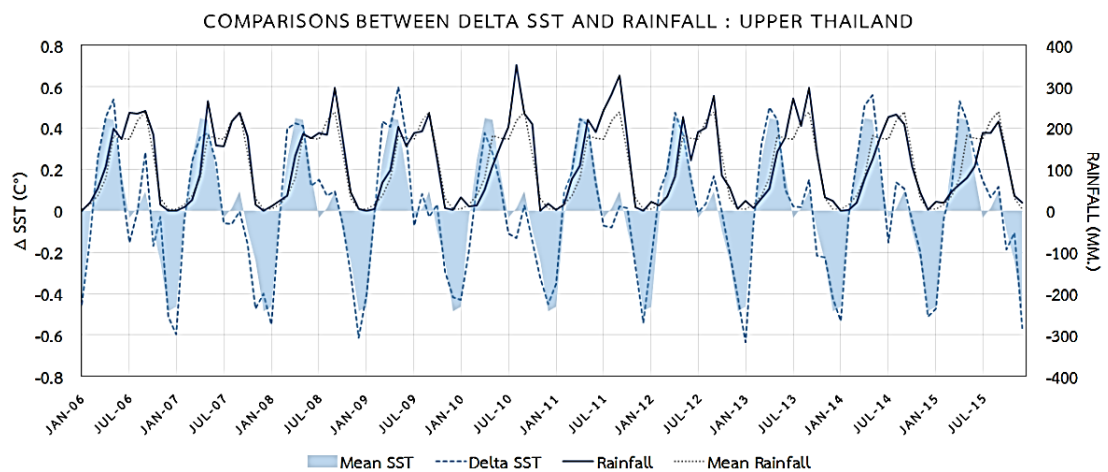
ซึ่งจากรูปที่ 5.2 จะพบว่า ค่า TWS ระหว่างข้อมูลดาวเทียม GRACE และข้อมูลอุทกวิทยาในช่วงเวลาล่าช้า (Lag time) ตั้งแต่ 0 เดือนถึง 3 เดือน โดยผลจากการศึกษาพบมีช่วงเวลาล่าช้า (Lag time) ที่สอดคล้องระหว่างชุดข้อมูลที่ดีที่สุด คือ 2 เดือน ซึ่งข้อมูล TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE จะมีระยะเวลาที่ช้ากว่าข้อมูลอุทกวิทยา มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ที่ร้อยละ 71.16 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error)  $\pm 4$  cm. ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่า Model Summary ของ Lag time

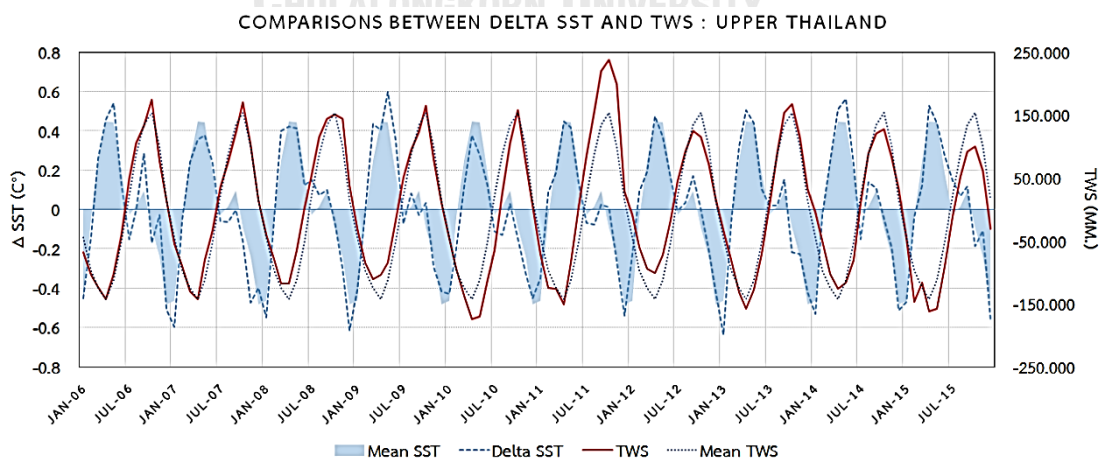
| TWS from GRACE and Hydrological data | $R^2$ | R     | S.E. (cm.) | Sig.  |
|--------------------------------------|-------|-------|------------|-------|
| - Lag time: 0                        | 0.095 | 0.308 | 7.78       | 0.001 |
| - Lag time: 1                        | 0.474 | 0.688 | 5.92       | 0.000 |
| - Lag time: 2                        | 0.712 | 0.844 | 4.38       | 0.000 |
| - Lag time: 3                        | 0.549 | 0.741 | 5.50       | 0.000 |

## 5.2 ผลจากความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับปริมาณน้ำฝน และ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

ความแปรปรวนของสถานการณ์น้ำในประเทศไทยตอนบนมีสาเหตุมาจากระบบมรสุมที่ประกอบด้วยอิทธิพลจากลมมรสุม ร่องความกดอากาศต่ำ และพายุหมุนเขตร้อน ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมา มีสาเหตุมาจากอิทธิพลของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ซึ่งในหัวข้อนี้จะทำการศึกษาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในพื้นที่มหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลางที่ส่งอิทธิพลต่อปริมาณน้ำฝนและ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน โดยผลการศึกษาได้แสดงดังกราฟในรูปที่ 5.3 และ 5.4



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่าง Delta SST. กับปริมาณน้ำฝน  
ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

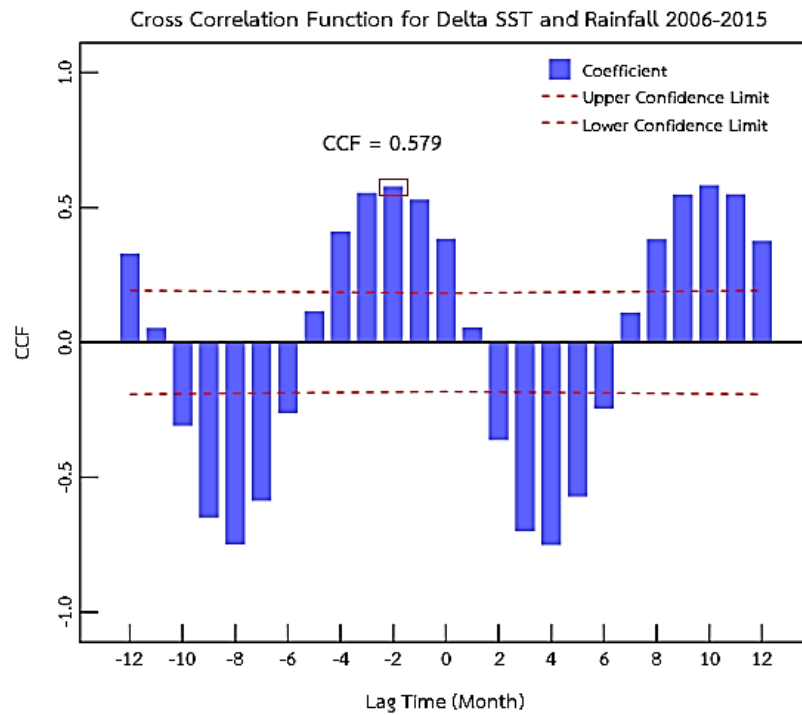


รูปที่ 5.4 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่าง Delta SST. กับ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

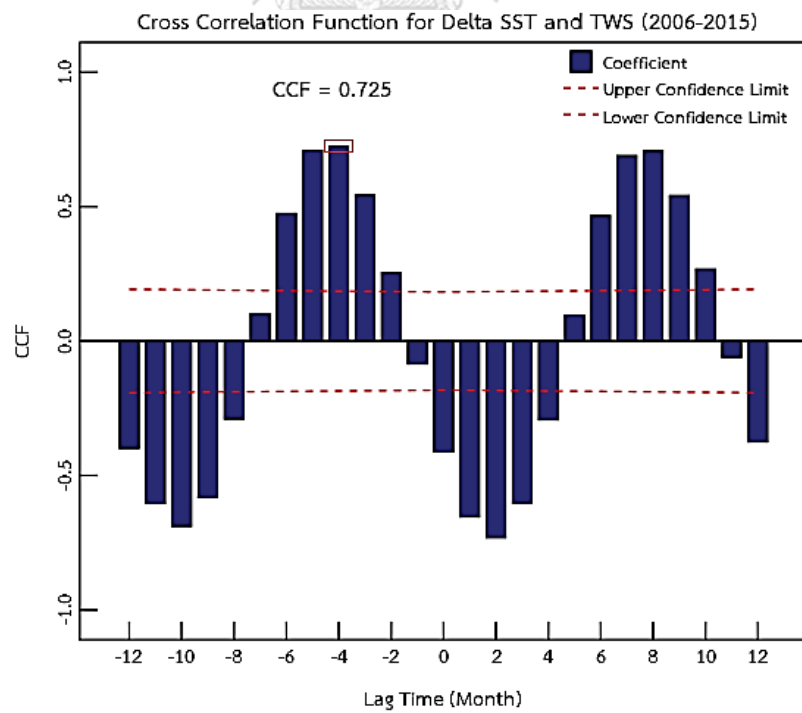


จากรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 ค่าแกน Y ผังซ้ายมือแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Delta Temperature) กล่าวคือ จากรูปที่ 5.3 และ 5.4 ค่าในเดือนตุลาคม ปี ค.ศ. 2006 เป็นผลมาจากค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในเดือนตุลาคม ค.ศ. 2006 ลบด้วยค่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในเดือนกันยายน ค.ศ. 2006 โดยค่าแกน Y ผังขวามือแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ TWS และปริมาณน้ำฝนที่ถูกกักเก็บในพื้นที่ประเทศไทยตอนบนตามลำดับ และค่าแกน X แสดงช่วงเวลารายเดือนครอบคลุมตั้งเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2006 ถึงเดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2015 ซึ่งจากรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในรอบ 1 ปีมีการเปลี่ยนแปลงที่เป็นวัฏจักรในทุก ๆ ปี โดยมีช่วงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายน - พฤษภาคม และมีช่วงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลลดลงต่ำสุดที่สุดอยู่ในช่วงเดือนธันวาคม - มกราคม เช่นเดียวกับ TWS และปริมาณน้ำฝนก็มีวัฏจักรในทุก ๆ ปีเหมือนกัน โดยช่วงที่ปริมาณน้ำฝนมีปริมาณสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคม - กันยายนของทุก ๆ ปี และปริมาณน้ำฝนต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม - มกราคมของทุก ๆ ปี และช่วงที่ TWS มีค่าปริมาณสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนกันยายน - ตุลาคมในทุก ๆ ปี และจะเห็นได้ว่าทั้งข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝน และ TWS มีวัฏจักรที่เหมือนกันในรอบ 1 ปี ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์จะพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรทั้งสองอยู่ กล่าวคือ วัฏจักรของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับวัฏจักรของปริมาณน้ำฝน แต่พบว่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่าง 2 วัฏจักรอยู่ที่ 2 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 5.5 และวัฏจักรของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับวัฏจักรของ TWS และพบว่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่าง 2 วัฏจักรอยู่ที่ 4 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 5.6

โดยค่าการประมวลผลของค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลทั้งหมดจะถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ข และค่าความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับปริมาณน้ำฝน และ TWS ในประเทศไทยตอนบนทั้งหมดจะถูกแสดงไว้ในตารางภาคผนวก ค แต่ทั้งนี้ค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลไม่สามารถอธิบายความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนและ TWS ได้ อาจเป็นเหตุมาจากลักษณะของข้อมูล TWS และปริมาณน้ำฝนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ทำให้สมการที่ประมวลผลได้มีค่าความสัมพันธ์ที่ต่ำ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการไม่มีนัยสำคัญ จึงได้นำค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature Anomaly) มาอธิบายในหัวข้อถัดไป



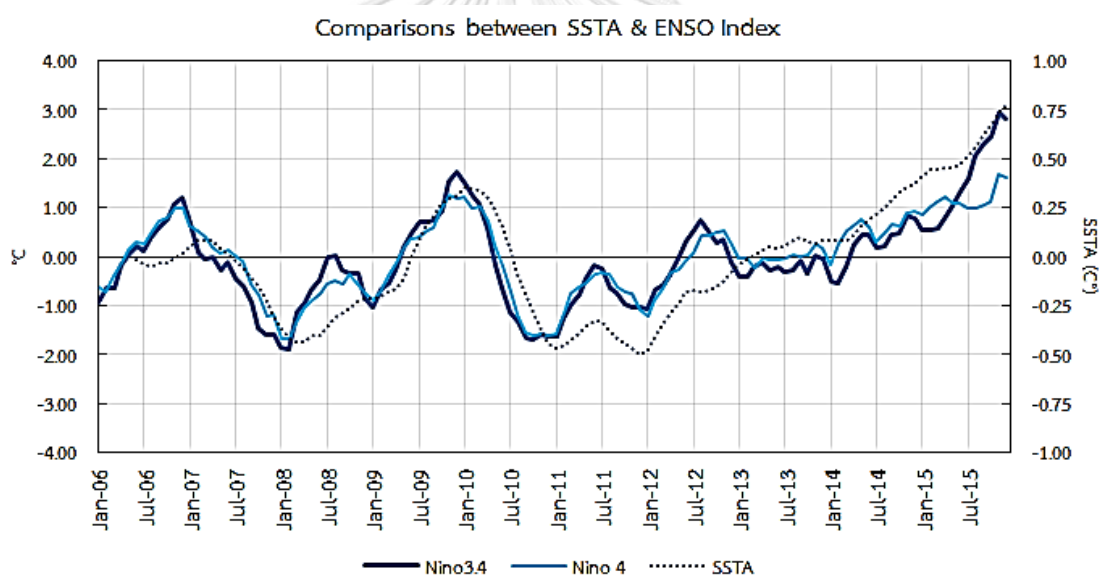
รูปที่ 5.5 Cross Correlation ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับปริมาณน้ำฝน



รูปที่ 5.6 Cross Correlation ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับ TWS

### 5.3 ผลของค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกตอนกลาง

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับปริมาณน้ำฝนและ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบนในหัวข้อที่ผ่านมาไม่สามารถอธิบายความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนและ TWS ได้ เนื่องจากยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดความแปรปรวนของสถานการณ์น้ำในประเทศไทยตอนบนอีกหนึ่งปัจจัย คือ ปรากฏการณ์ ENSO ที่สามารถติดตามการก่อตัวของปรากฏการณ์ได้จากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลเช่นกัน แต่ปรากฏการณ์ ENSO จะต้องใช้ค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ที่คำนวณมาจากค่าเฉลี่ยรอบ 10 ปีของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในพื้นที่ศึกษา และเพื่อตรวจสอบความถูกต้องก่อนนำมาใช้งาน จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบกับ ENSO Index ที่ใช้ในการบ่งชี้การเกิดปรากฏการณ์ ENSO ในงานวิจัยที่ผ่านมา (Chen et al., 2010; Ni et al., 2017; Yao et al., 2016; Zhang et al., 2015) ดังแสดงในรูปที่ 5.7

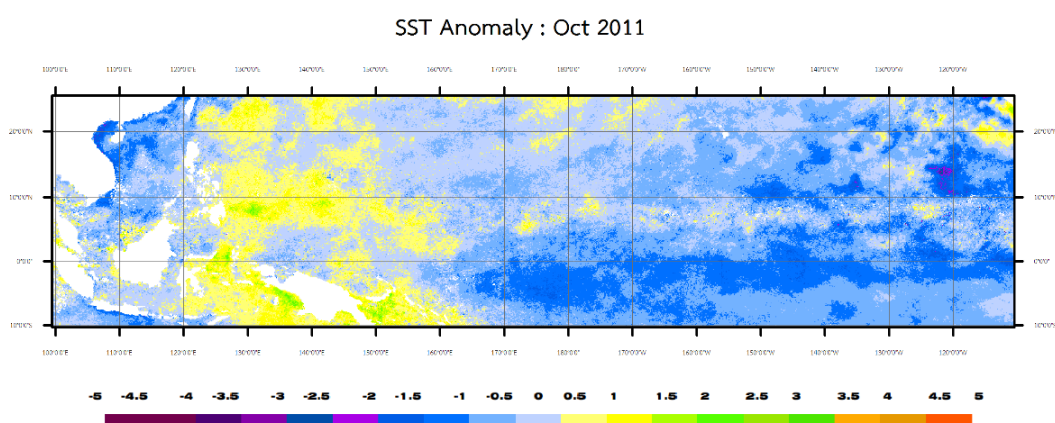


รูปที่ 5.7 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่าง SSTA กับ ENSO Index

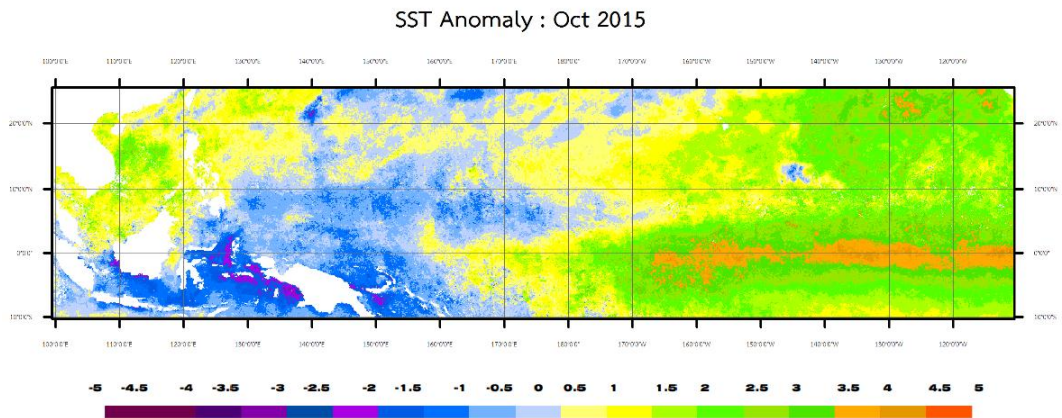
จากรูปที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลของค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature Anomaly, SSTA) กับ ENSO Index ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้แสดงค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลของมหาสมุทรแปซิฟิก ณ ตำแหน่งที่ Lat. 5°S - 5°N และ Long. 170°E - 120°W สำหรับดัชนี Nino 3.4 และตำแหน่งที่ Lat. 5°S - 5°N และ Long. 160°E - 150°W สำหรับดัชนี Nino 4 มีความสอดคล้องกันระหว่างข้อมูลทั้งสองดัชนี โดยพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับดัชนี Nino 3.4 อยู่ที่ร้อยละ 86.7 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

และพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับดัชนี Nino 4 อยู่ที่ร้อยละ 87.8 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 จากรูปที่ 5.7 ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ในปี ค.ศ. 2011 มีค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลต่ำกว่าค่าปกติ ได้บ่งบอกถึงการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ลานีญา กล่าวคือ ปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณตอนกลางและตะวันออกของแปซิฟิกเขตศูนย์สูตรเย็นกว่าปกติ ดังแสดงในรูปที่ 5.8

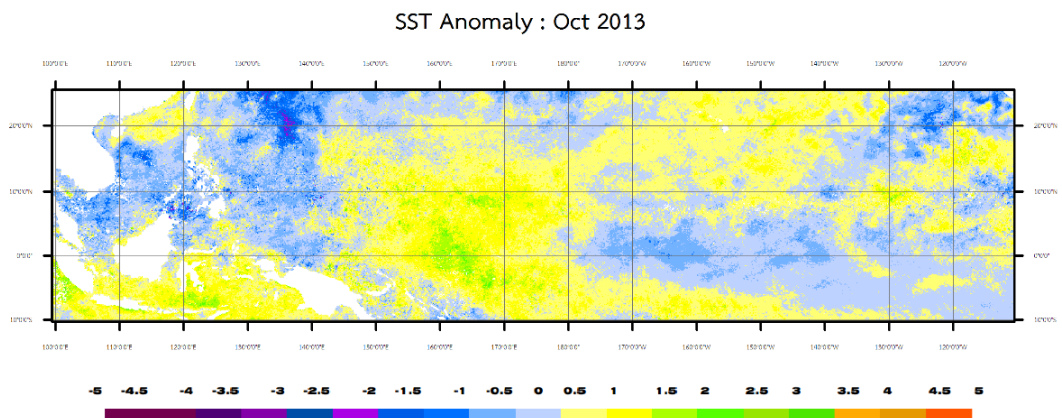
และในปี ค.ศ.2015 ค่าผิดปกติของอุณหภูมิมีค่าสูงกว่าค่าปกติ ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์เอลนีโญ ซึ่งก็คือปรากฏการณ์ที่อุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณตอนกลางและตะวันออกของแปซิฟิกเขตศูนย์สูตรอุ่นขึ้นผิดปกติ ดังแสดงในรูปที่ 5.9 ซึ่งในสภาวะปกติค่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 5.10 โดยการพิจารณาค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ถ้าหากค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีค่าต่ำกว่า  $-0.250$  นานอย่างน้อย 5 เดือน ก็จะเป็น Cold Episode หรือเป็นปรากฏการณ์ La Niña และถ้าหากค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีค่าต่ำกว่า  $+0.250$  นานอย่างน้อย 5 เดือน ก็จะเป็น Warm Episode หรือเป็นปรากฏการณ์ El Niño สำหรับข้อมูลของ SSTA จากข้อมูลดาวเทียม MODIS และถ้าหากค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีค่าต่ำกว่า  $-0.500$  นานอย่างน้อย 5 เดือน ก็จะเป็น Cold Episode หรือเป็นปรากฏการณ์ La Niña และถ้าหากค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลมีค่าต่ำกว่า  $+0.500$  นานอย่างน้อย 5 เดือน ก็จะเป็น Warm Episode หรือเป็นปรากฏการณ์ El Niño สำหรับข้อมูล ENSO Index ทั้งสอง (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2018) โดยค่าการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลและ ENSO Index ทั้งหมดจะถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ง



รูปที่ 5.8 SST Anomaly ในเดือนตุลาคม ปี ค.ศ.2011 (สภาวะลานีญา)



รูปที่ 5.9 SST Anomaly ในเดือนตุลาคม ปี ค.ศ.2015 (สภาวะเอลนีโญ)

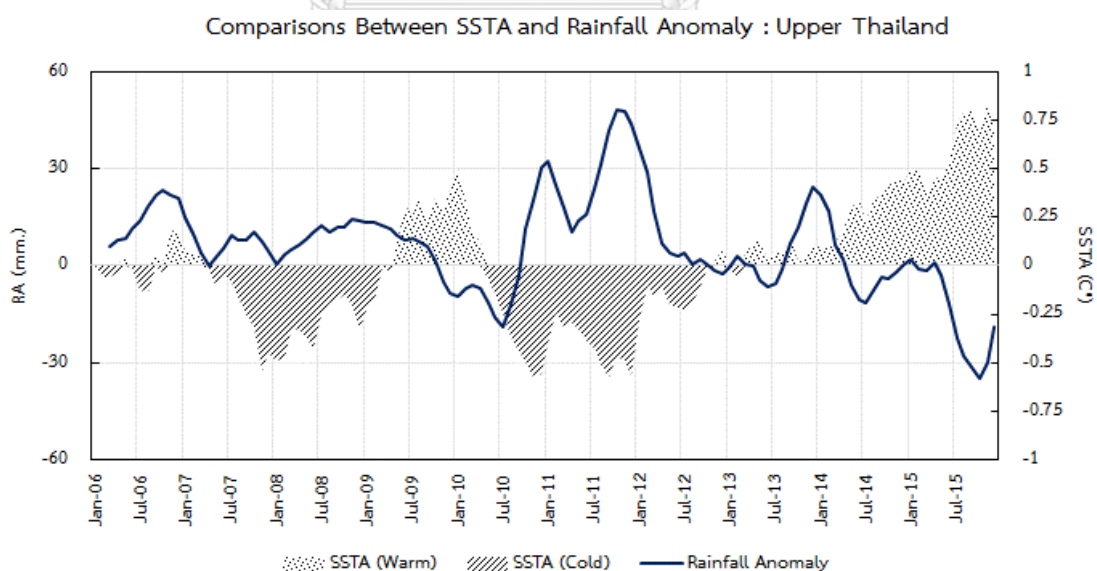


รูปที่ 5.10 SST Anomaly ในเดือนตุลาคม ปี ค.ศ.2013 (สภาวะปกติ)

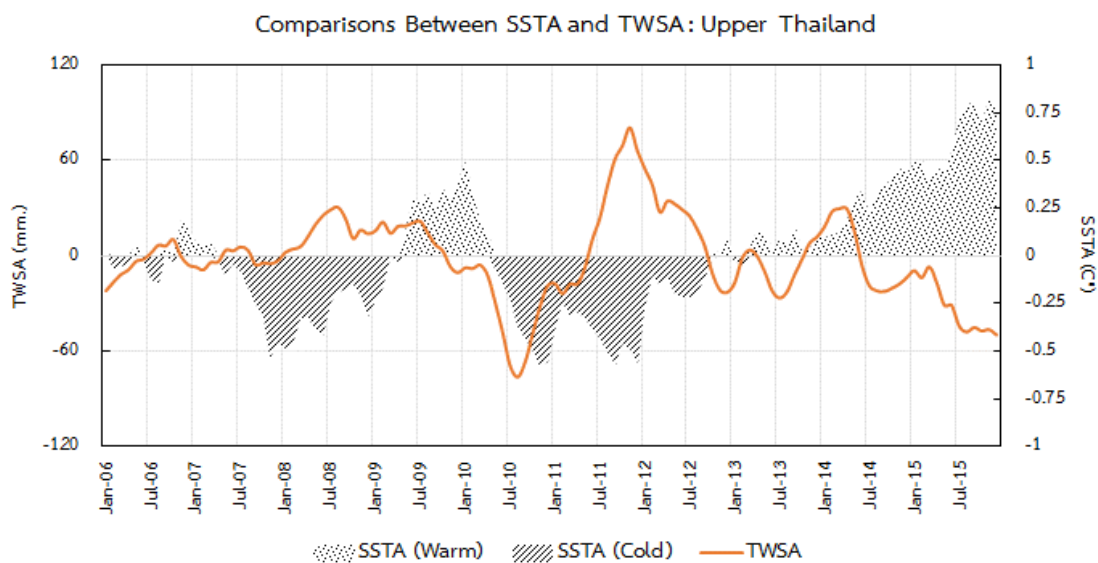
CHULABOROMH UNIVERSITY

#### 5.4 ผลจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝนและค่าความผิดปกติของ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

ปรากฏการณ์ ENSO เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากเป็นปฏิสัมพันธ์ระหว่างการหมุนเวียนของกระแสอากาศ และกระแสน้ำในมหาสมุทรทั้งบนผิวพื้นและใต้มหาสมุทร ซึ่งสามารถติดตามการก่อตัวของปรากฏการณ์ได้จากอุณหภูมิผิวน้ำทะเลของมหาสมุทรแปซิฟิก โดยผลกระทบจากปรากฏการณ์ ENSO จะส่งอิทธิพลให้เกิดความแปรปรวนของสถานการณ์น้ำในหลาย ๆ พื้นที่ทั่วโลก รวมถึงประเทศไทยตอนบนเช่นกัน ซึ่งการติดตามสถานการณ์น้ำในที่นี้จะใช้ค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature Anomaly, SSTa) ที่คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยรายเดือนในรอบ 10 ปี (เดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2006 ถึงเดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2015) เพื่อบ่งชี้ของการเกิดปรากฏการณ์ ENSO ที่ส่งผลกระทบต่อสถานการณ์น้ำในประเทศไทยตอนบน โดยการติดตามความแปรปรวนของสถานการณ์น้ำจะใช้ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝน (Rainfall Anomaly, RA) ที่คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยรายเดือนในรอบ 30 ปี (ปี ค.ศ. 1981 ถึง ปี ค.ศ. 2010) และจากค่าความผิดปกติของความผิดปกติของ TWS (Total Water Storage Anomaly, TWSA) ที่คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยรายเดือนในรอบ 10 ปี (ปี ค.ศ. 2006 ถึง ปี ค.ศ. 2015) โดยค่าความผิดปกติของ TWS และปริมาณน้ำฝนจะต้องผ่านการ Normalized ด้วยเทคนิค moving average ดังในงานวิจัยที่ผ่านมา (Chen et al., 2010; Luo et al., 2016; Yao et al., 2016; Zhang et al., 2015) ดังแสดงในรูปที่ 5.11 และ 5.12



รูปที่ 5.11 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 5.11 และ 5.12 ค่าแกน Y ผั่งขวามือแสดงค่าความผิดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล (Sea Surface Temperature Anomaly, SSTA) โดยค่าแกน Y ผั่งซ้ายมือแสดงค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝน และ TWS ที่ถูกกักเก็บในพื้นที่ประเทศไทยตอนบนตามลำดับ ซึ่งค่าติดลบแสดงถึงปริมาณน้ำฝน (TWS) มีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยในรอบ 30 ปี (10 ปี) ในทางกลับกัน เมื่อค่าเป็นบวกแสดงถึงปริมาณน้ำฝน (TWS) มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยในรอบ 30 ปี (10 ปี) และค่าแกน X แสดงช่วงเวลารายเดือนครอบคลุมตั้งเดือนมกราคม ปี ค.ศ. 2006 ถึงเดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2015

และจากกราฟที่แสดงในรูปที่ 5.11 และ 5.12 แสดงให้เห็นว่า ตั้งแต่เดือนกันยายนของปี ค.ศ. 2007 ถึงเดือนมิถุนายนของปี ค.ศ. 2008 (เฟส 1) และตั้งแต่เดือนสิงหาคมของปี ค.ศ. 2010 ถึงเดือนธันวาคม ปีของค.ศ. 2011 (เฟส 2) เป็นช่วงภาวะลานีญา แต่ในช่วงเฟส 2 จะมีภาวะที่รุนแรงกว่า และตั้งแต่เดือนมิถุนายนของปี ค.ศ. 2009 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ของปี ค.ศ. 2010 (เฟส 1) และตั้งแต่เดือนสิงหาคมของปี ค.ศ. 2014 ถึงเดือนธันวาคมของปี ค.ศ. 2015 (เฟส 2) เป็นช่วงภาวะเอลนีโญ แต่ในช่วงเฟส 2 จะมีภาวะที่รุนแรงกว่า และตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ของปี ค.ศ. 2013 ถึงเดือนธันวาคมของปี ค.ศ. 2013 เป็นช่วงภาวะปกติ และจากการศึกษาได้พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 67.5 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 1 เดือนในช่วงเวลา 10 ปี ดังแสดงในรูปที่ 5.13 และพบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของ TWS อยู่ที่ร้อยละ 59.5 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า

(Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 8 เดือนในช่วงเวลา 10 ปี ดังแสดงในรูปที่ 5.16 แต่จะสังเกตเห็นว่าค่าความผิดพลาดในปี ค.ศ. 2010 จะมีค่าความล่าช้าอย่างมาก ทำให้ค่าสัมพัทธ์ที่ประมวลผลได้มีความผิดพลาดไป ดังนั้นจึงได้วิเคราะห์เพิ่มเติม โดยแบ่งแยกวิเคราะห์เป็น 2 เฟส กล่าวคือ เฟส 1 ตั้งแต่ ช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ที่มีภาวะ ENSO แบบอ่อน ซึ่งผลของการศึกษาความสัมพันธ์ในช่วงเวลาเฟส 1 พบว่า

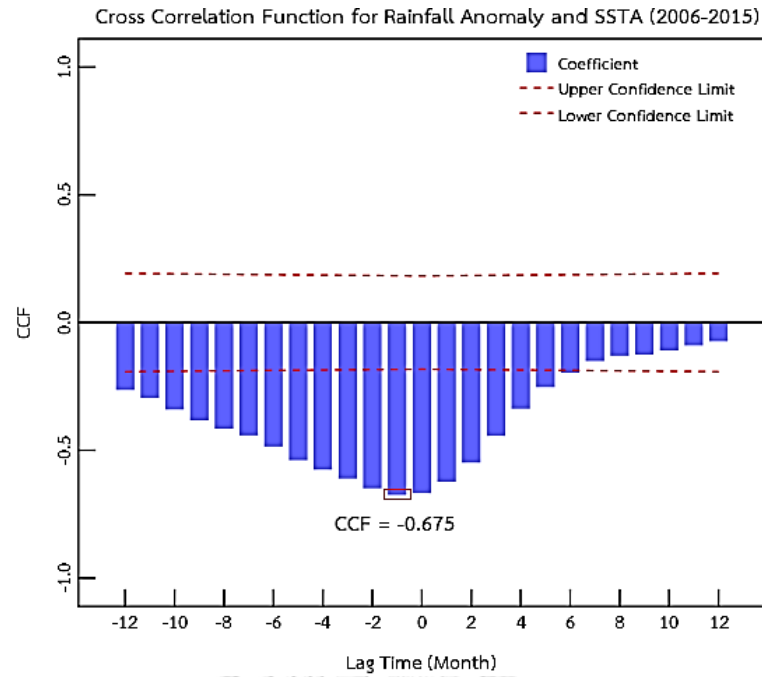
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดพลาดของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 56.2 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 4 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 5.14
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดพลาดของ TWS อยู่ที่ร้อยละ 71.5 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 8 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 5.17

และในเฟส 2 คือ ตั้งแต่ช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ที่มีภาวะ ENSO ที่รุนแรงกว่า ซึ่งผลของการศึกษาความสัมพันธ์ในช่วงเวลาเฟส 2 พบว่า

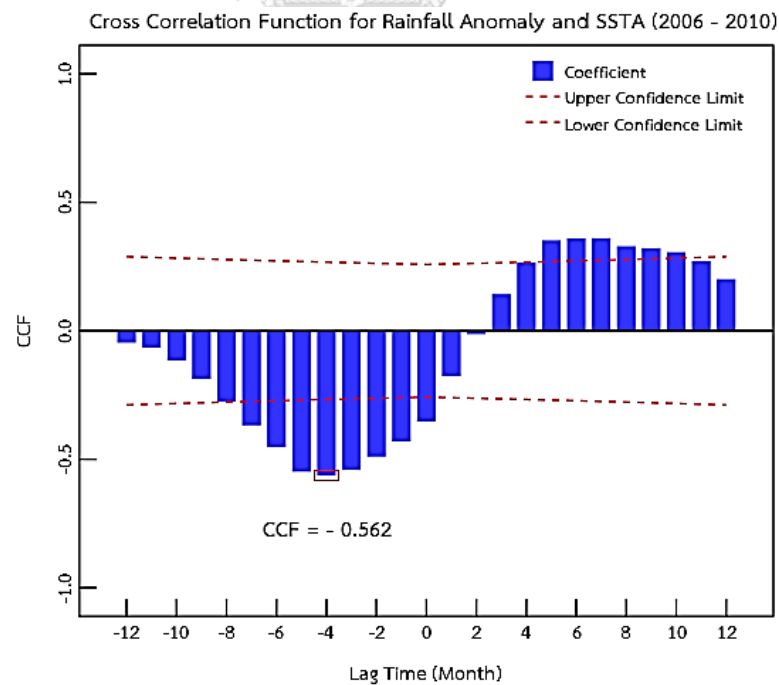
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดพลาดของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 80.8 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 5.15
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดพลาดของ TWS อยู่ที่ร้อยละ 74.5 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 1 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 5.18

โดยค่าการประมวลผลของค่าผิดพลาดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าความผิดพลาดของ TWS และค่าผิดพลาดของปริมาณน้ำฝนทั้งหมดจะถูกแสดงไว้ในภาคผนวก จ และค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดพลาดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดพลาดของปริมาณน้ำฝนและค่าความผิดพลาดของ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบนแสดงในตารางภาคผนวก ฉ

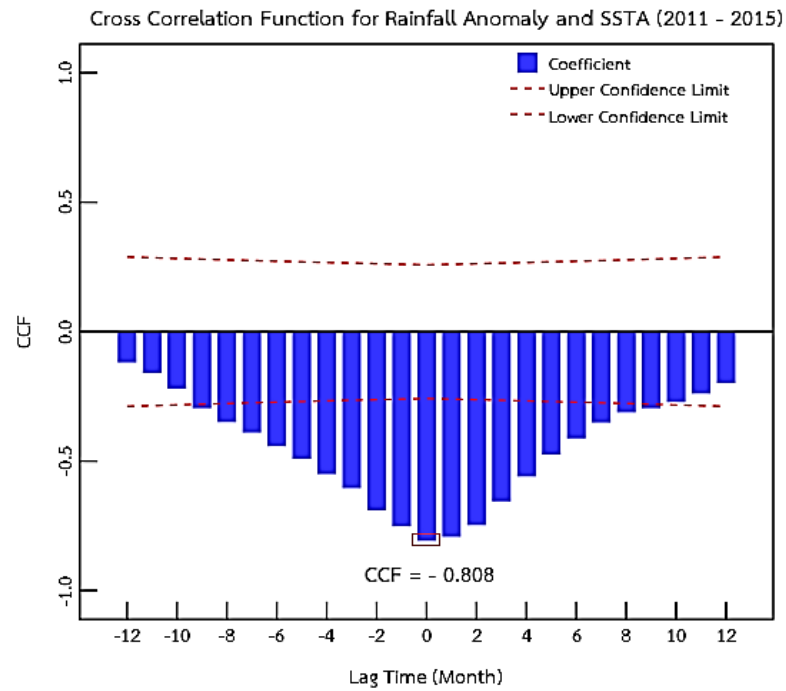




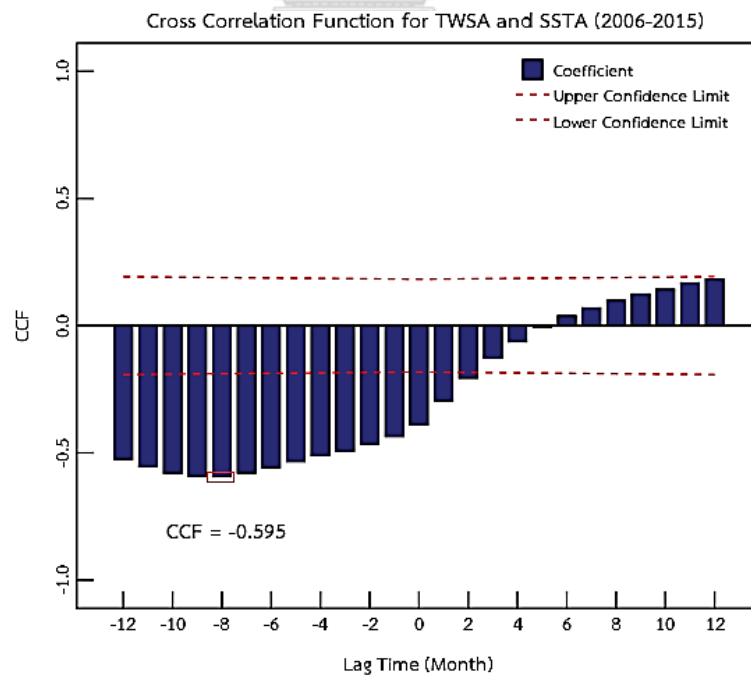
รูปที่ 5.13 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลา 10 ปี



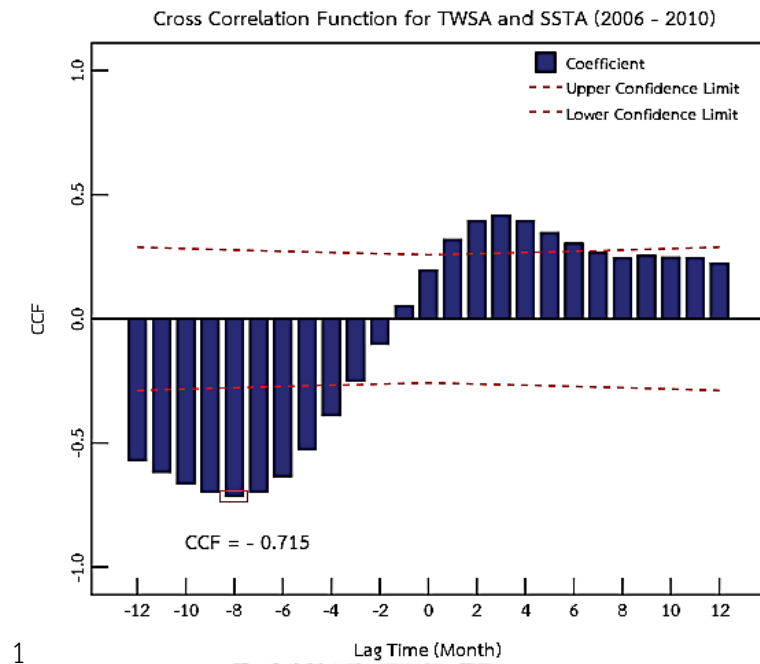
รูปที่ 5.14 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010



รูปที่ 5.15 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2010 - ค.ศ. 2015

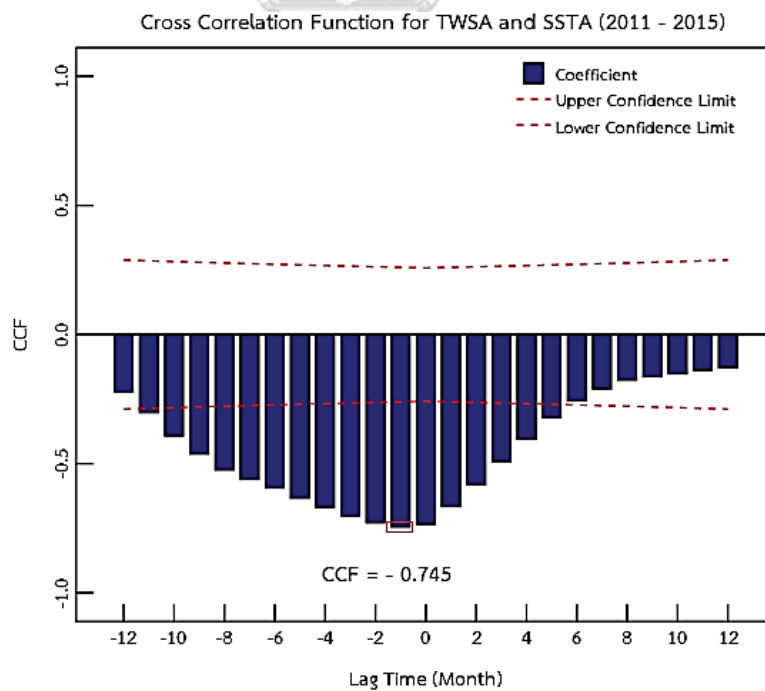


รูปที่ 5.16 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของ TWS ในช่วงเวลาปีเวลา 10 ปี



1

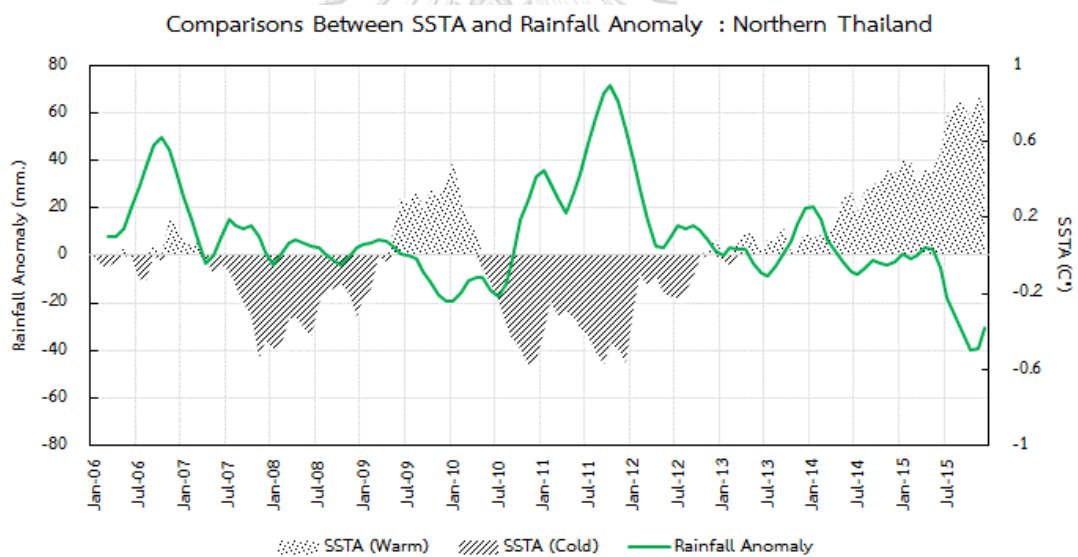
รูปที่ 5.17 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของ TWS ในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010



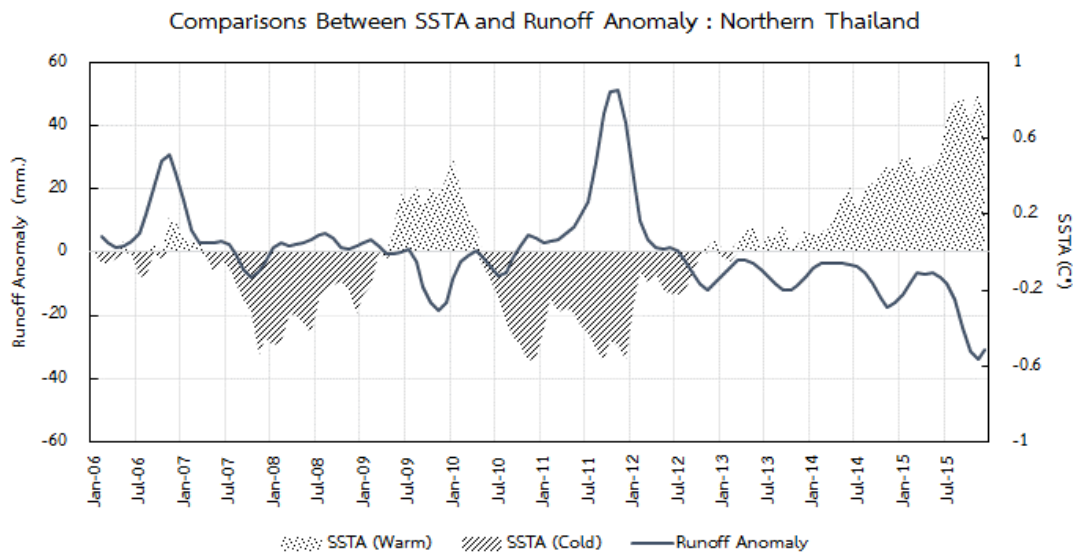
รูปที่ 5.18 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของ TWS ในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015

## 5.5 ผลจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝนและค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่รอยภาคของประเทศไทยตอนบน

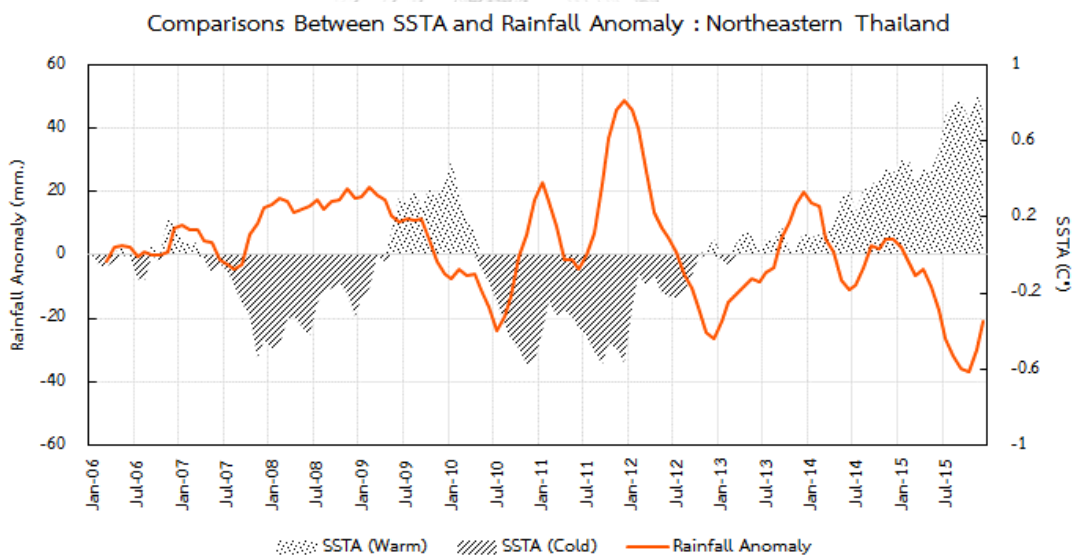
ปริมาณน้ำฝนในแต่ละพื้นที่จะผันแปรไปตามลักษณะภูมิประเทศนอกเหนือจากการผันแปรตามฤดูกาลของแต่ละปี ซึ่งประเทศไทยตอนบนที่ประกอบด้วยภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคกลางก็มีลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกัน ซึ่งถือเป็นปัจจัยที่ก่อให้เกิดความแตกต่างของลักษณะภูมิอากาศ ทำให้จำเป็นต้องวิเคราะห์เพิ่มเติมรายภาค เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝนและค่าความผิดปกติของน้ำท่า ในที่นี้ต้องใช้ข้อมูลค่าความผิดปกติของน้ำท่าแทนที่ข้อมูลค่าความผิดปกติของ TWS เพราะข้อจำกัดเรื่องความละเอียดของข้อมูลดาวเทียม GRACE ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่ขนาดใหญ่มากกว่า โดยผลการศึกษการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าในพื้นที่รอยภาคได้แสดงดังรูปที่ 5.19 ถึงรูปที่ 5.26



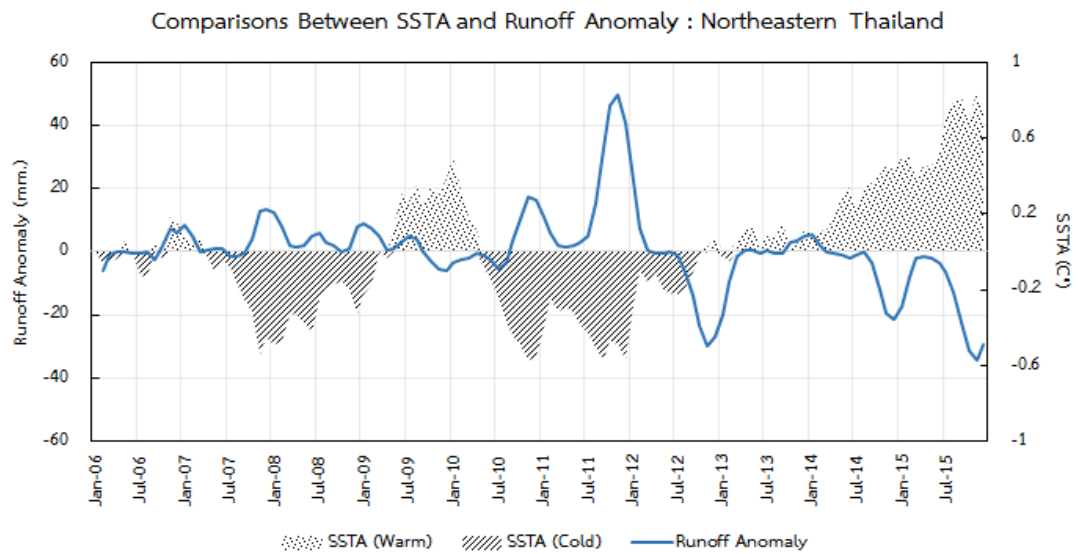
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนพื้นที่ภาคเหนือ



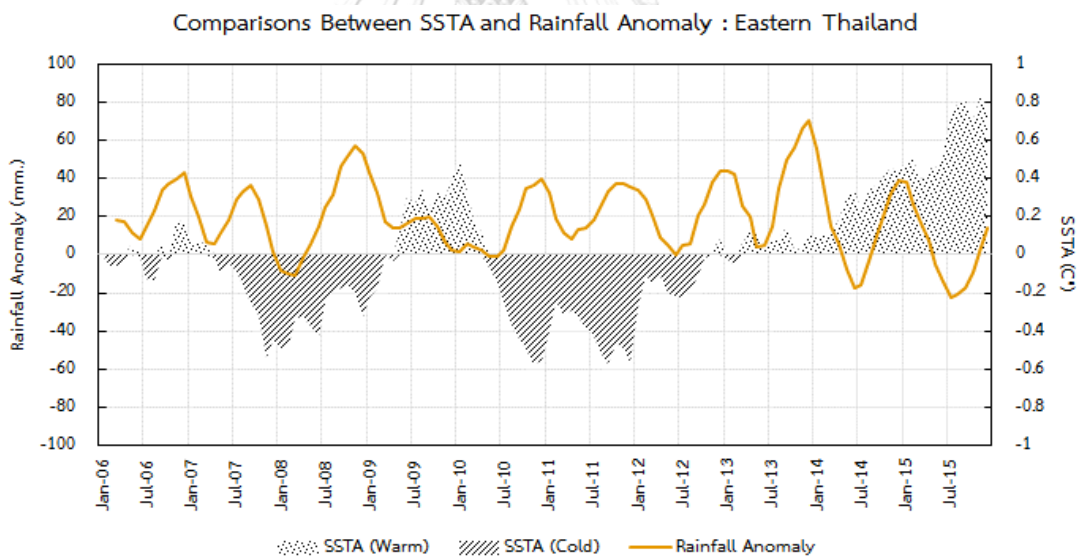
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าพื้นที่ภาคเหนือ



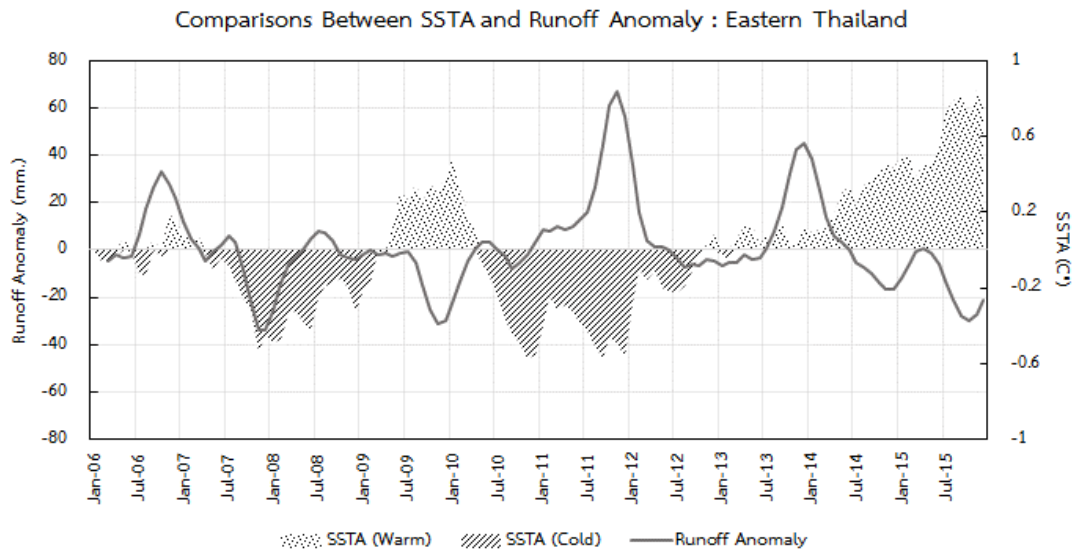
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



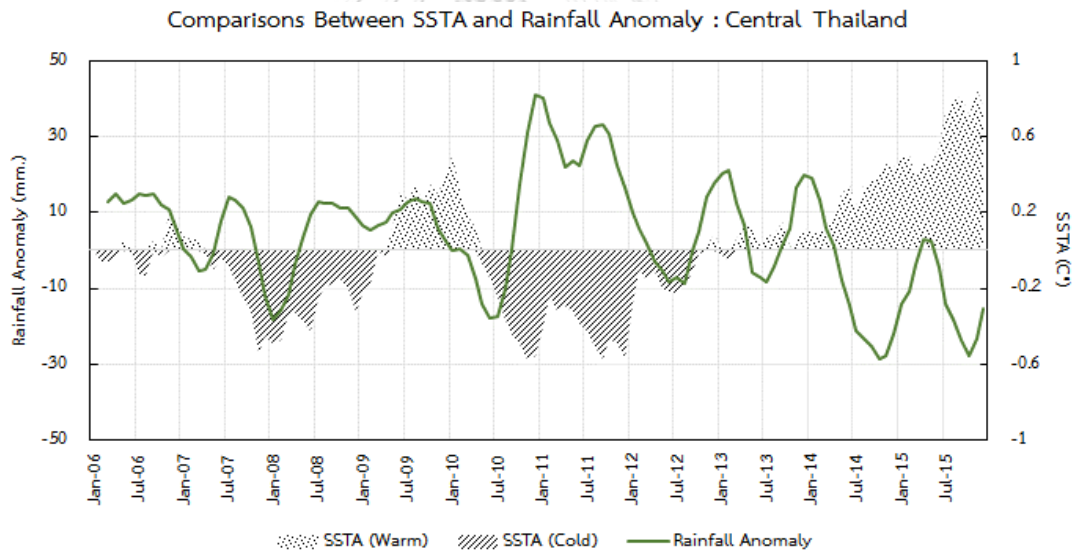
รูปที่ 5.22 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



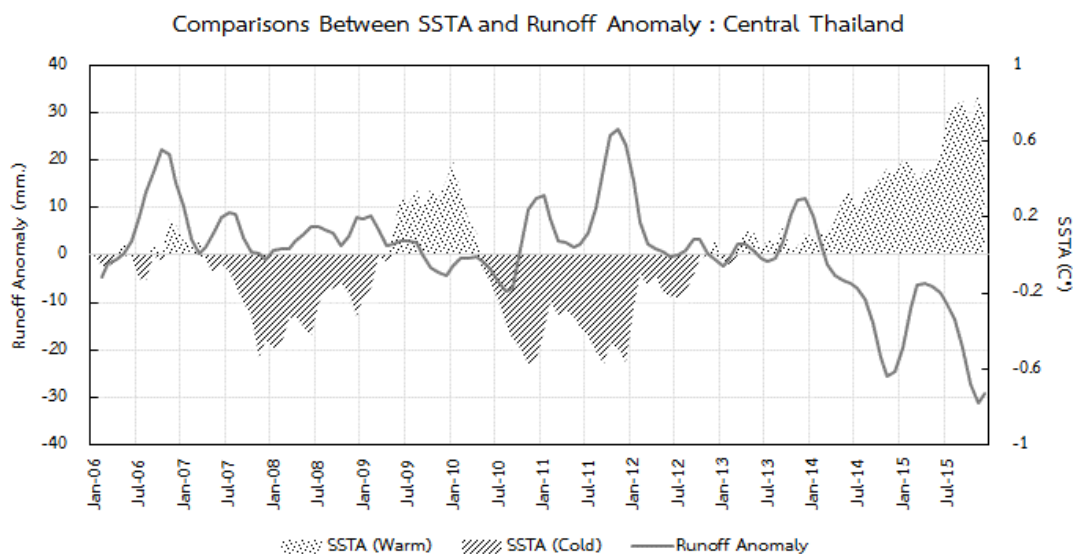
รูปที่ 5.23 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนพื้นที่ภาคตะวันออก



รูปที่ 5.24 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าพื้นที่ภาคตะวันออก



รูปที่ 5.25 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนพื้นที่ภาคกลาง



รูปที่ 5.26 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคกลาง

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ 5.19 ถึงรูปที่ 5.26 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าในพื้นที่รายภาคของประเทศไทยตอนบน ซึ่งประกอบด้วยภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคกลาง จากผลของการศึกษาความสัมพันธ์ในช่วงเวลารอบ 10 ปี พบว่า

- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 62.8 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือนในพื้นที่ภาคเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 5.27
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 59.1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 1 เดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 5.30
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 26.3 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือนในพื้นที่ภาคตะวันออก ดังแสดงในรูปที่ 5.33



- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 52.5 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 1 เดือนในพื้นที่ภาคกลาง ดังแสดงในรูปที่ 5.36
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าอยู่ที่ร้อยละ 62.6 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือนในพื้นที่ภาคเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 5.39
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าอยู่ที่ร้อยละ 65.0 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 5.42
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าอยู่ที่ร้อยละ 39.8 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือนในพื้นที่ภาคตะวันออก ดังแสดงในรูปที่ 5.45
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าอยู่ที่ร้อยละ 67.7 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 1 เดือนในพื้นที่ภาคกลาง ดังแสดงในรูปที่ 5.48

โดยแบ่งแยกวิเคราะห์ที่เป็น 2 เฟสเช่นเดียวกับการวิเคราะห์โดยภาพรวมของประเทศไทย ตอนบน กล่าวคือ เฟส 1 ตั้งแต่ ช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ที่มีภาวะ ENSO แบบอ่อน ซึ่งผลของการศึกษาความสัมพันธ์ในช่วงเวลาเฟส 1 พบว่า

- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 33.3 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 2 เดือนในพื้นที่ภาคเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 5.28
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 71.5 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 5 เดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 5.31
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 32.2 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 5 เดือนในพื้นที่ภาคตะวันออก ดังแสดงในรูปที่ 5.34

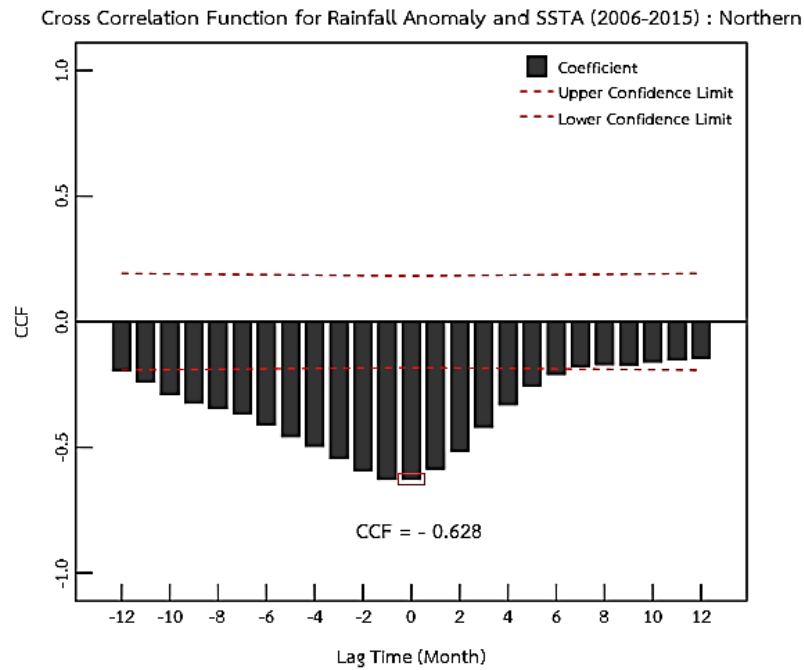
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 34.3 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 1 เดือนในพื้นที่ภาคกลาง ดังแสดงในรูปที่ 5.37
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าอยู่ที่ร้อยละ 28.2 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 3 เดือนในพื้นที่ภาคเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 5.40
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าอยู่ที่ร้อยละ 56.0 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 5.43
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าอยู่ที่ร้อยละ 15.2 ไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 3 เดือนในพื้นที่ภาคตะวันออก ดังแสดงในรูปที่ 5.46
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าอยู่ที่ร้อยละ 28.0 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 5 เดือนในพื้นที่ภาคกลาง ดังแสดงในรูปที่ 5.49

และในเฟส 2 คือ ตั้งแต่ช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ที่มีภาวะ ENSO ที่รุนแรงกว่า ซึ่งผลของการศึกษาความสัมพันธ์ในช่วงเวลาเฟส 2 พบว่า

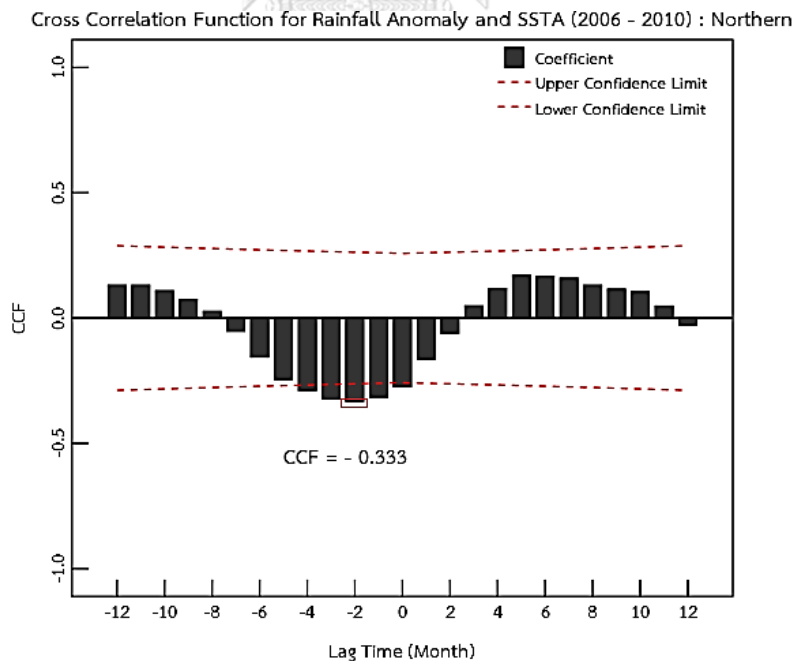
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 85.2 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือนในพื้นที่ภาคเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 5.29
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 63.6 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 5.32
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 34.5 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 2 เดือนในพื้นที่ภาคตะวันออก ดังแสดงในรูปที่ 5.35

- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดพลาดของปริมาณน้ำฝนอยู่ที่ร้อยละ 71.3 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือนในพื้นที่ภาคกลาง ดังแสดงในรูปที่ 5.38
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดพลาดของปริมาณน้ำท่าอยู่ที่ร้อยละ 81.1 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือนในพื้นที่ภาคเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 5.41
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดพลาดของปริมาณน้ำท่าอยู่ที่ร้อยละ 68.6 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือนในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังแสดงในรูปที่ 5.44
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดพลาดของปริมาณน้ำท่าอยู่ที่ร้อยละ 67.7 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือนในพื้นที่ภาคตะวันออก ดังแสดงในรูปที่ 5.47
- พบความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดพลาดของปริมาณน้ำท่าอยู่ที่ร้อยละ 85.2 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 พบค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือนในพื้นที่ภาคกลาง ดังแสดงในรูปที่ 5.50

โดยค่าการประมวลผลของค่าผิดพลาดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าความผิดพลาดของปริมาณน้ำท่า และค่าผิดพลาดของปริมาณน้ำฝนรายภาคทั้งหมดจะถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ข และผลของความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดพลาดของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดพลาดของปริมาณน้ำฝนและค่าความผิดพลาดของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่รายภาคของประเทศไทยตอนบนแสดงในตารางภาคผนวก ข

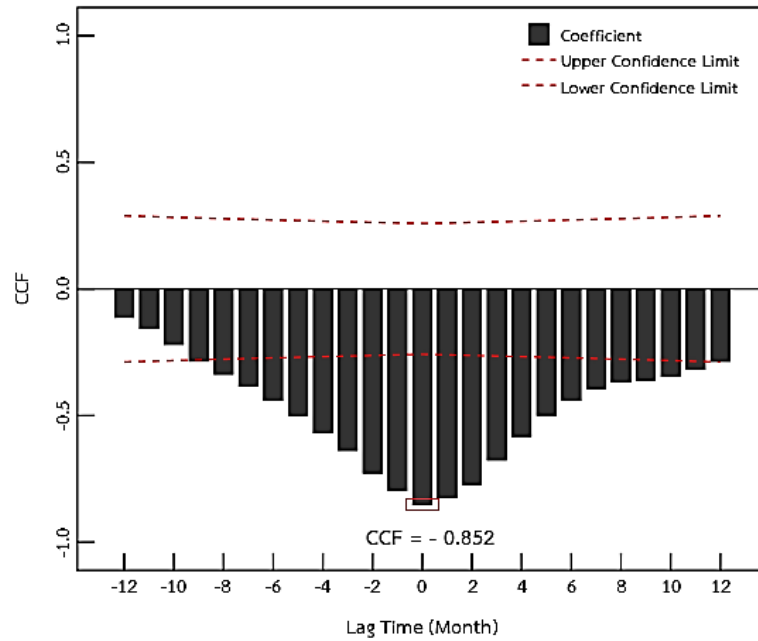


รูปที่ 5.27 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลา 10 ปีในพื้นที่ภาคเหนือ



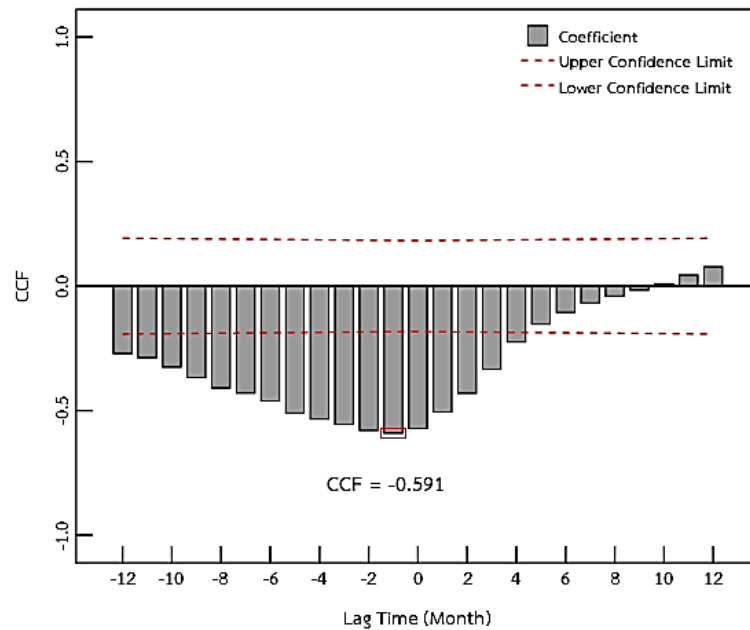
รูปที่ 5.28 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคเหนือ

Cross Correlation Function for Rainfall Anomaly and SSTA (2011 - 2015) : Northern

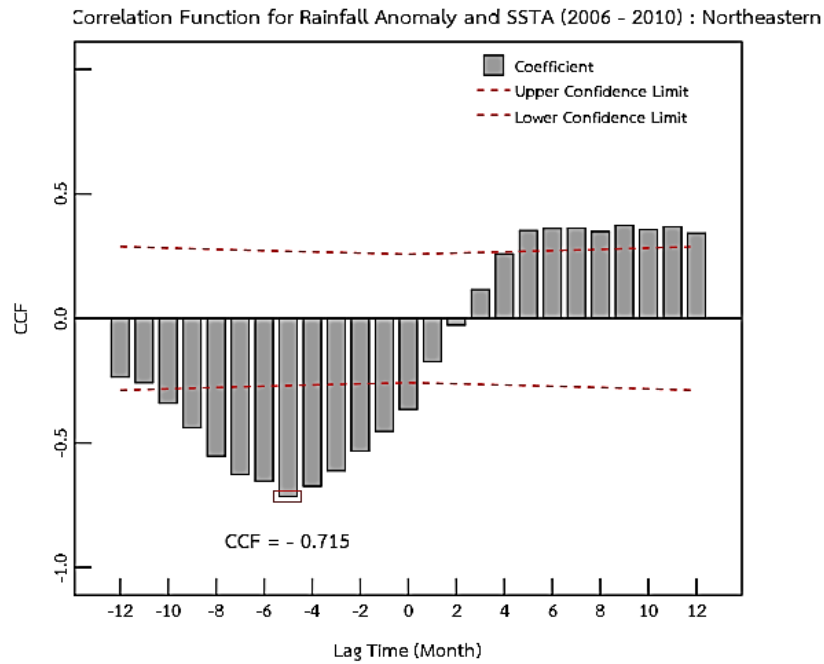


รูปที่ 5.29 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคเหนือ

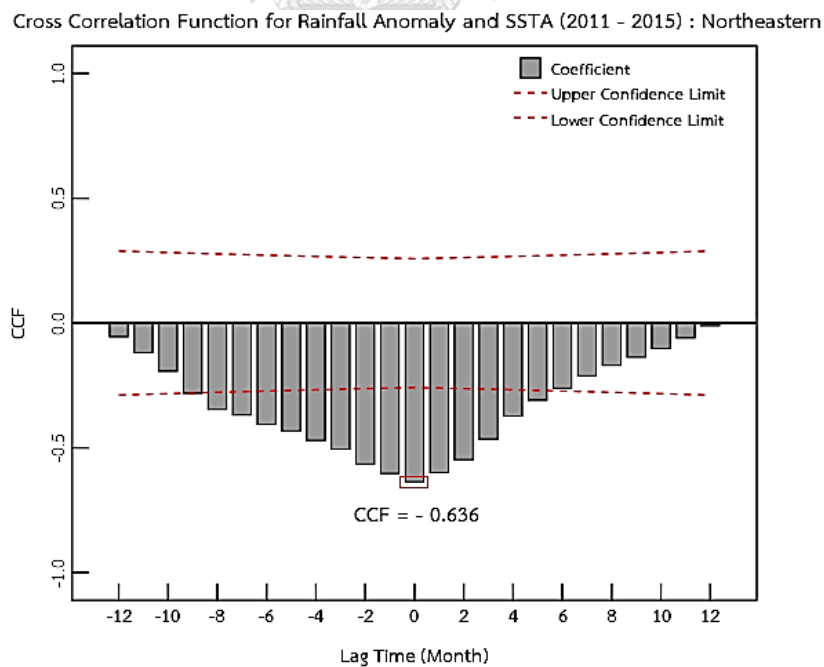
Cross Correlation Function for Rainfall Anomaly and SSTA (2006-2015) : Northeastern



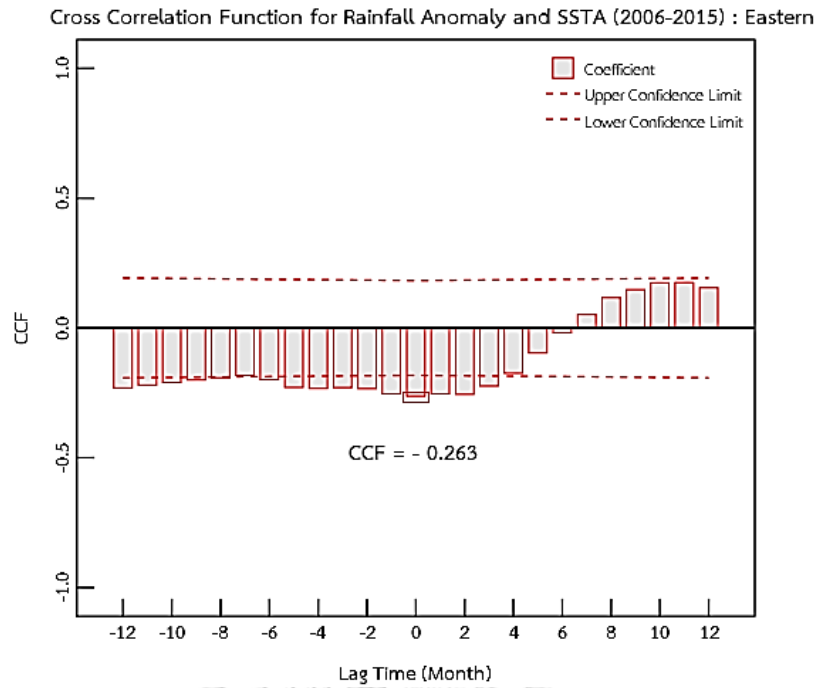
รูปที่ 5.30 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลา 10 ปีในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



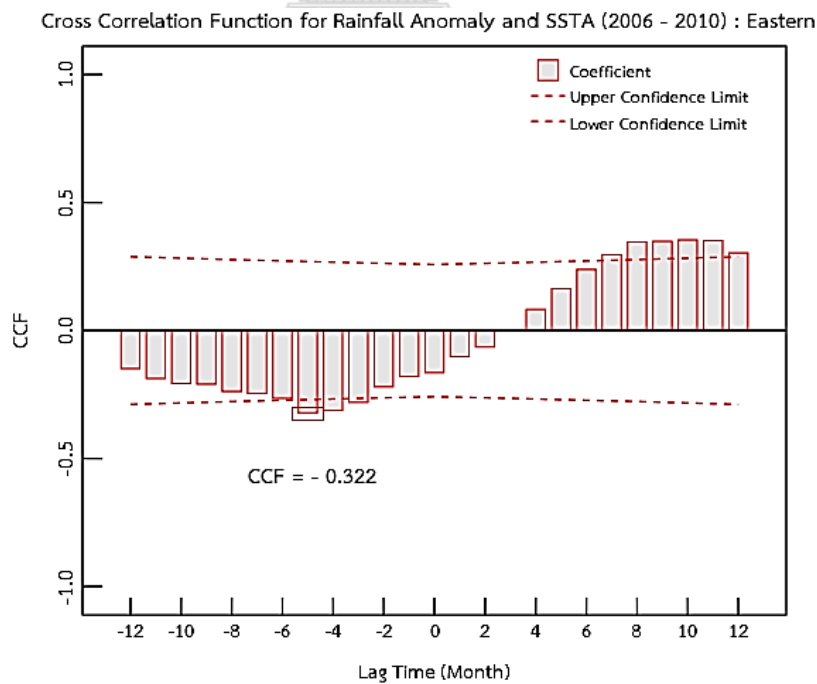
รูปที่ 5.31 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



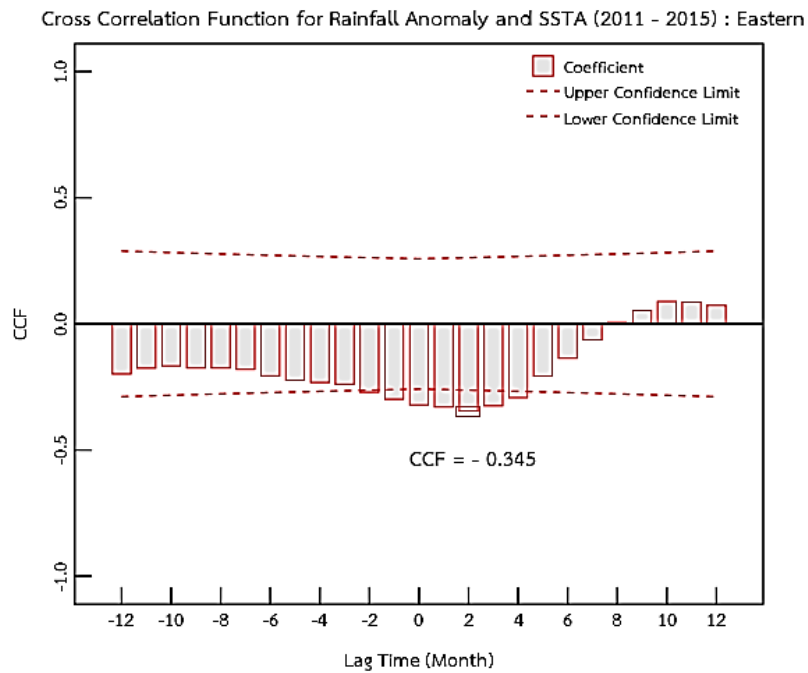
รูปที่ 5.32 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



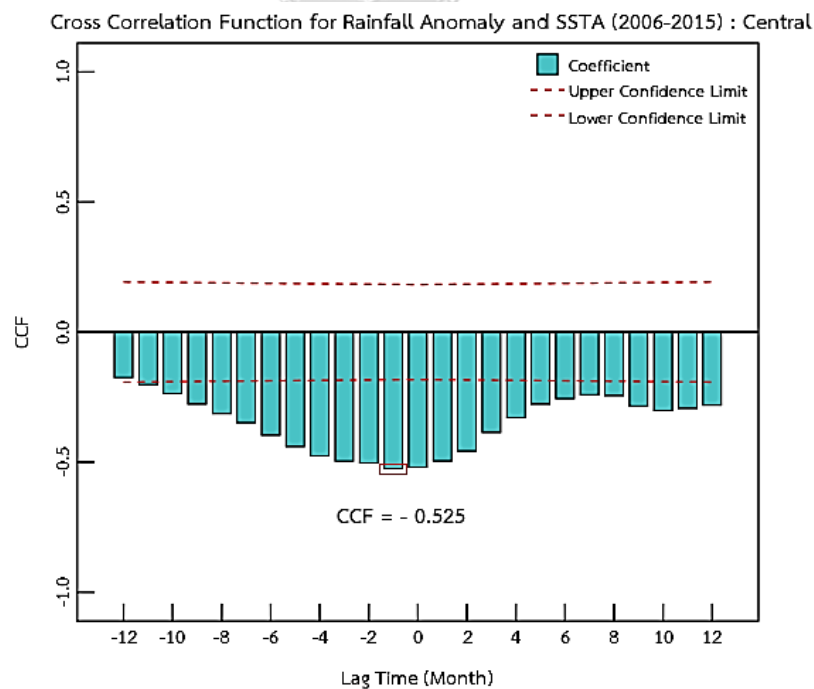
รูปที่ 5.33 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลา 10 ปีในพื้นที่ภาคตะวันออก



รูปที่ 5.34 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคตะวันออก

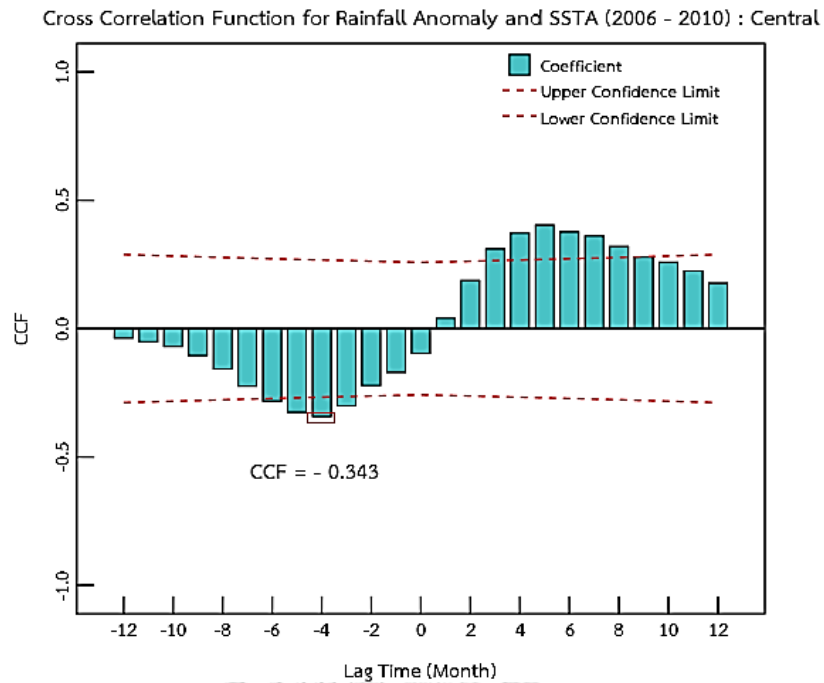


รูปที่ 5.35 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคตะวันออก

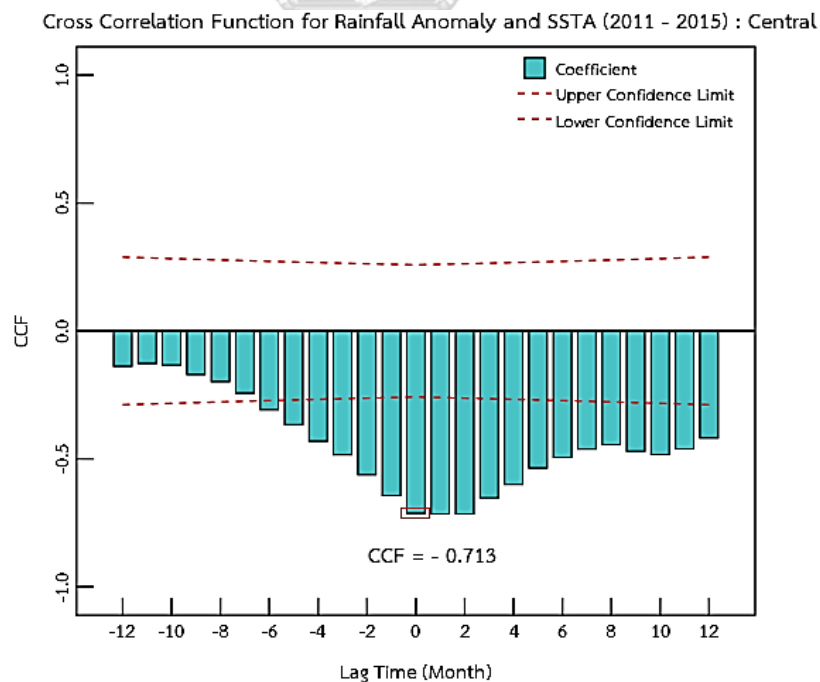


รูปที่ 5.36 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลา 10 ปีในพื้นที่ภาคกลาง

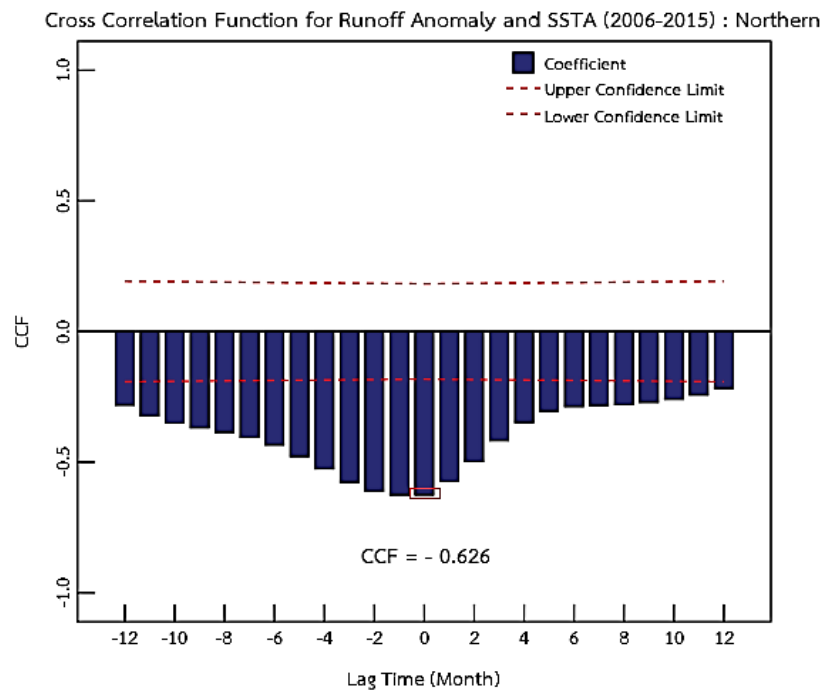




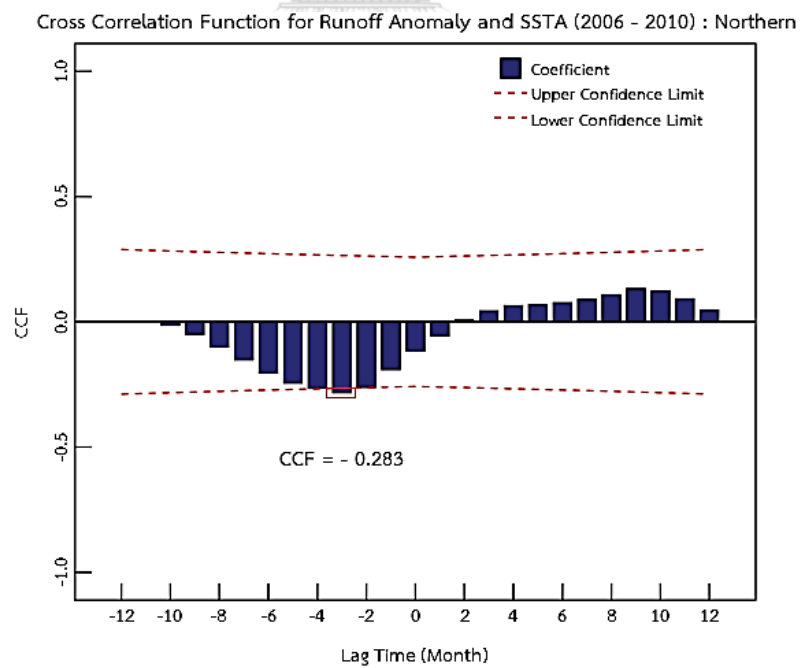
รูปที่ 5.37 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคกลาง



รูปที่ 5.38 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำฝนในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคกลาง

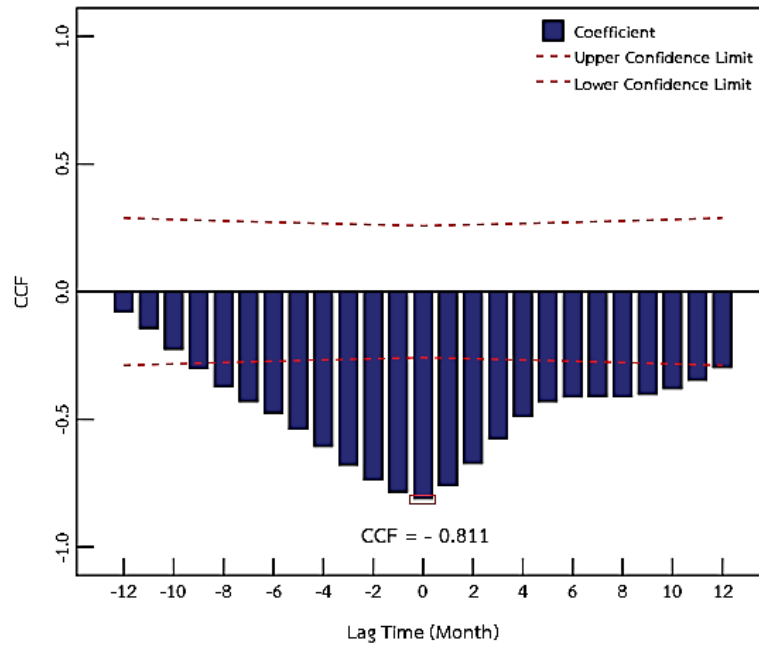


รูปที่ 5.39 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลา 10 ปีในพื้นที่ภาคเหนือ



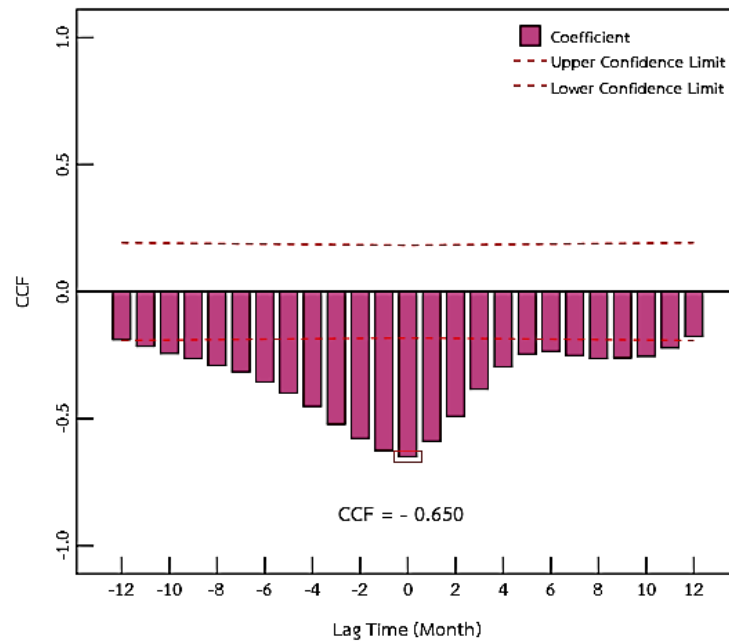
รูปที่ 5.40 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคเหนือ

Cross Correlation Function for Runoff Anomaly and SSTA (2011 - 2015) : Northern

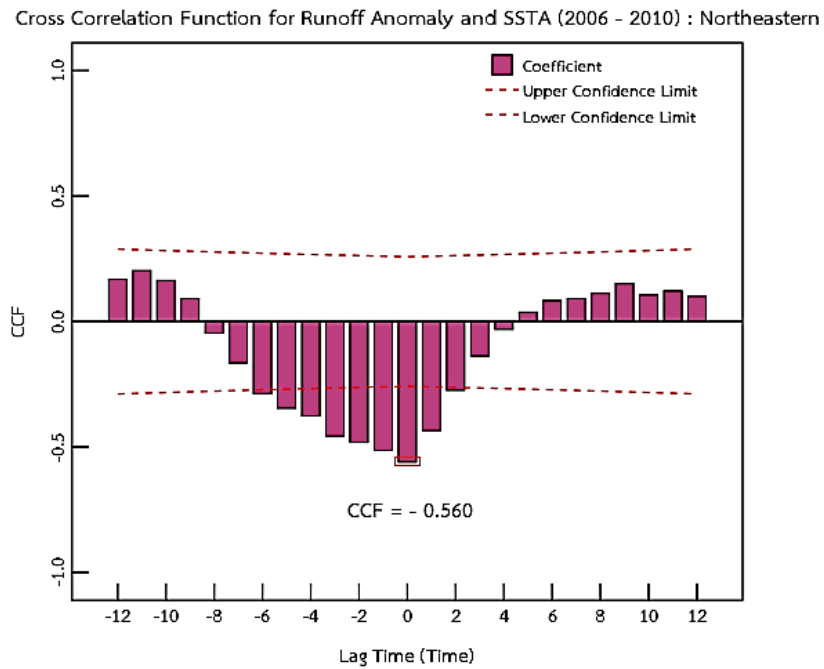


รูปที่ 5.41 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคเหนือ

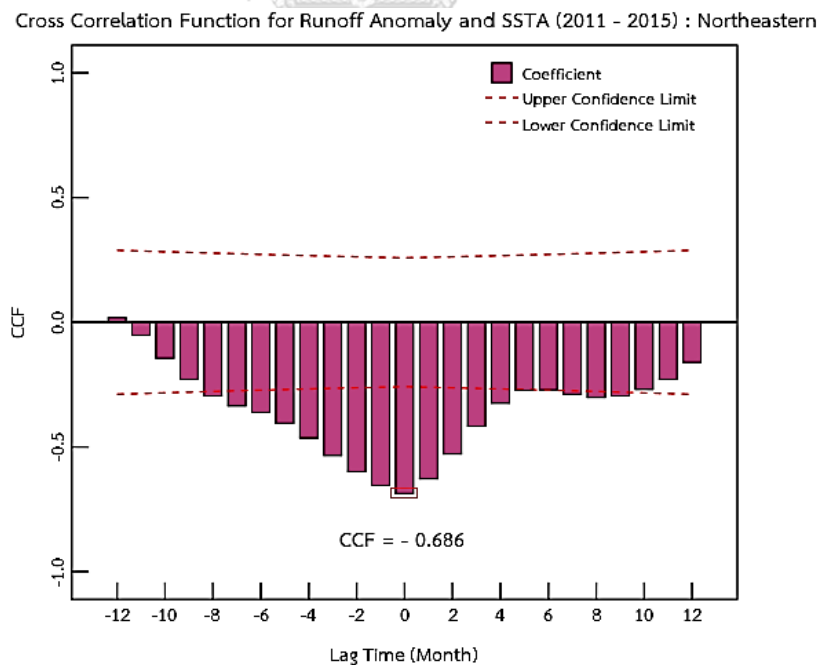
Cross Correlation Function for Runoff Anomaly and SSTA (2006-2015) : Northeastern



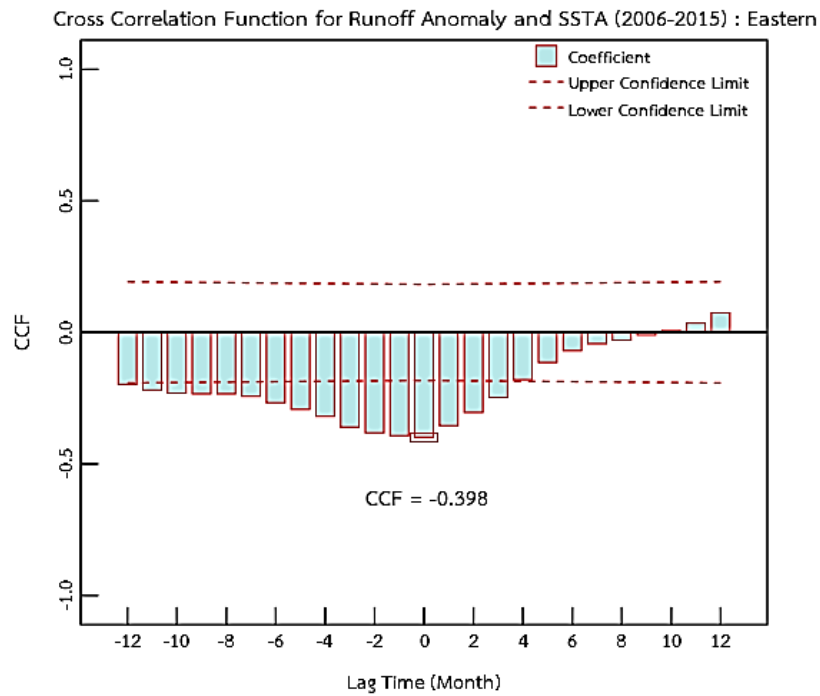
รูปที่ 5.42 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลา 10 ปีในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



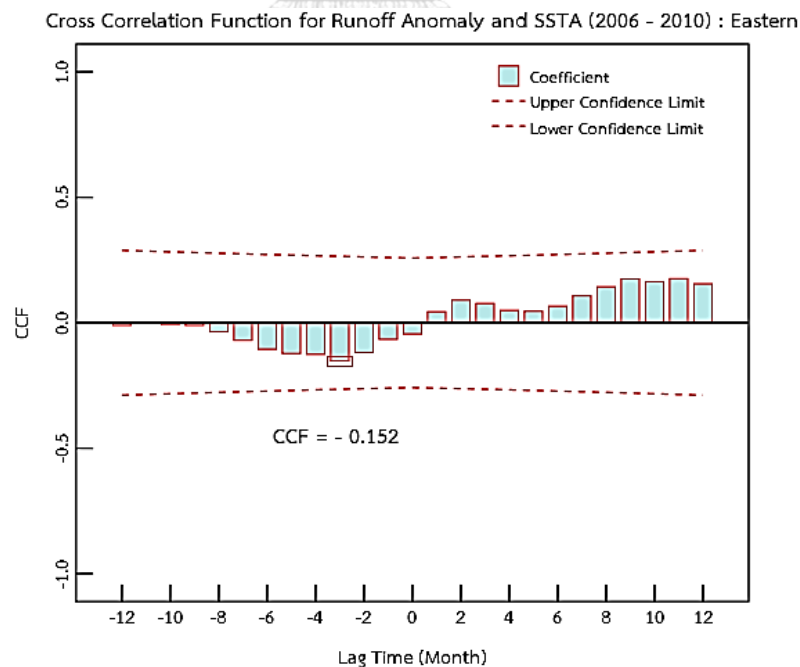
รูปที่ 5.43 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



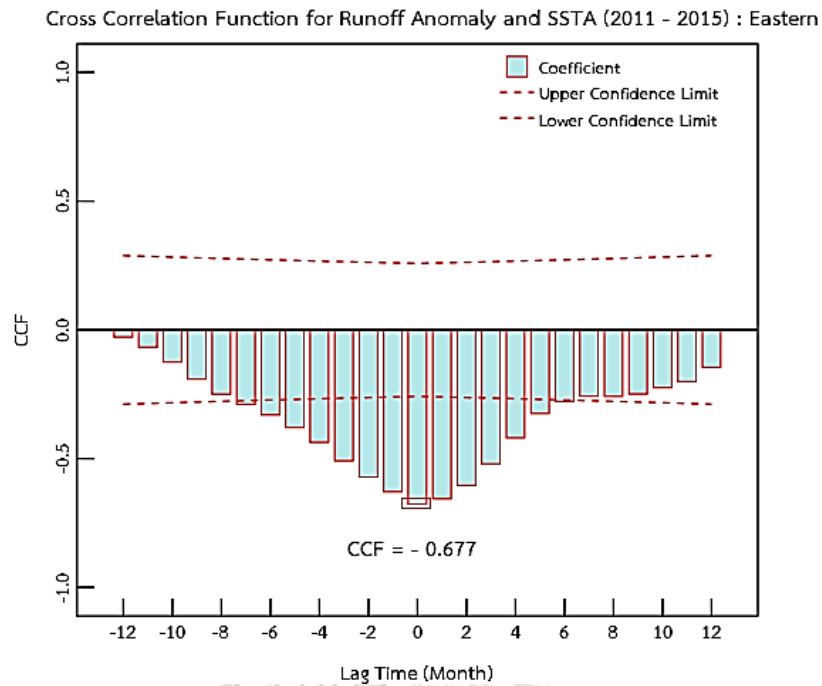
รูปที่ 5.44 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



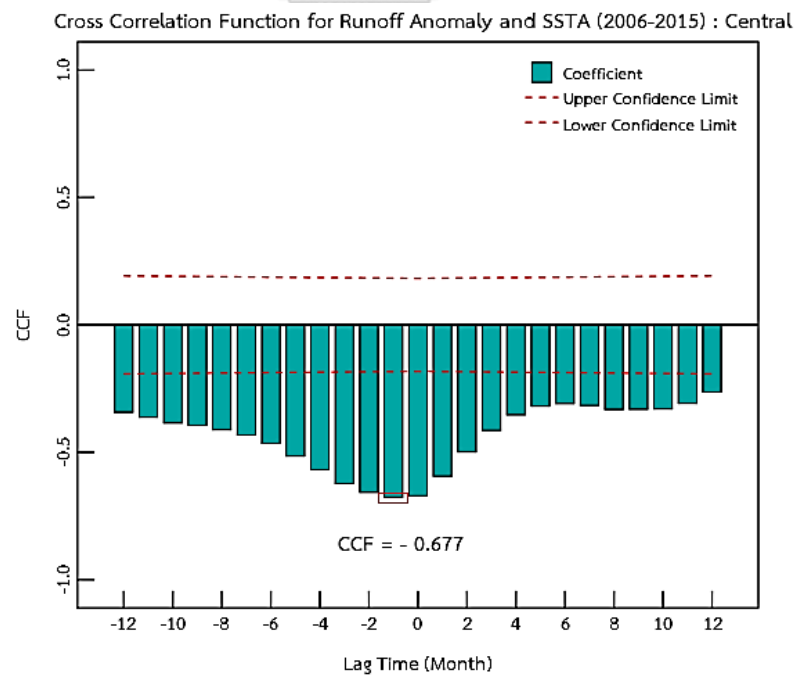
รูปที่ 5.45 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลา 10 ปีในพื้นที่ภาคตะวันออก



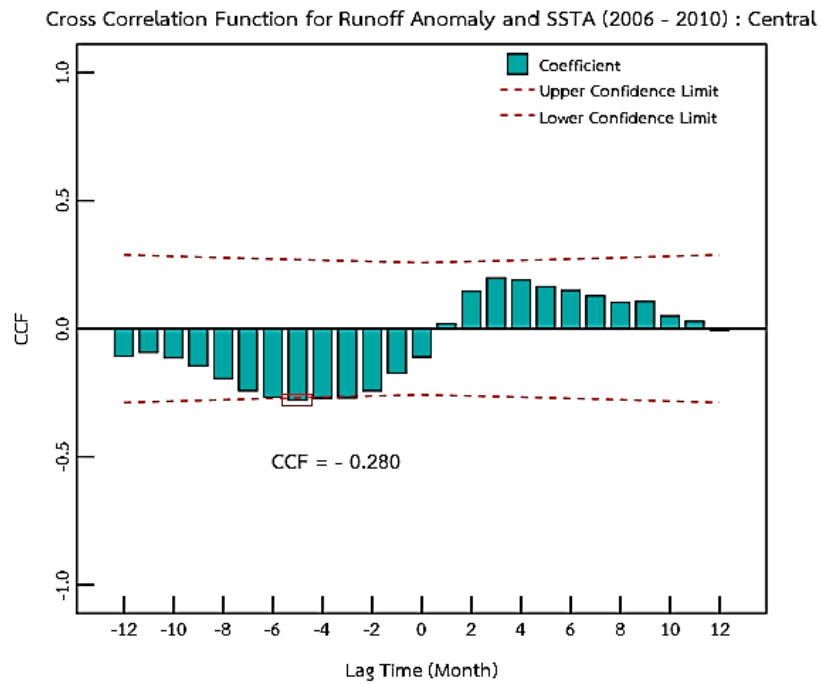
รูปที่ 5.46 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคตะวันออก



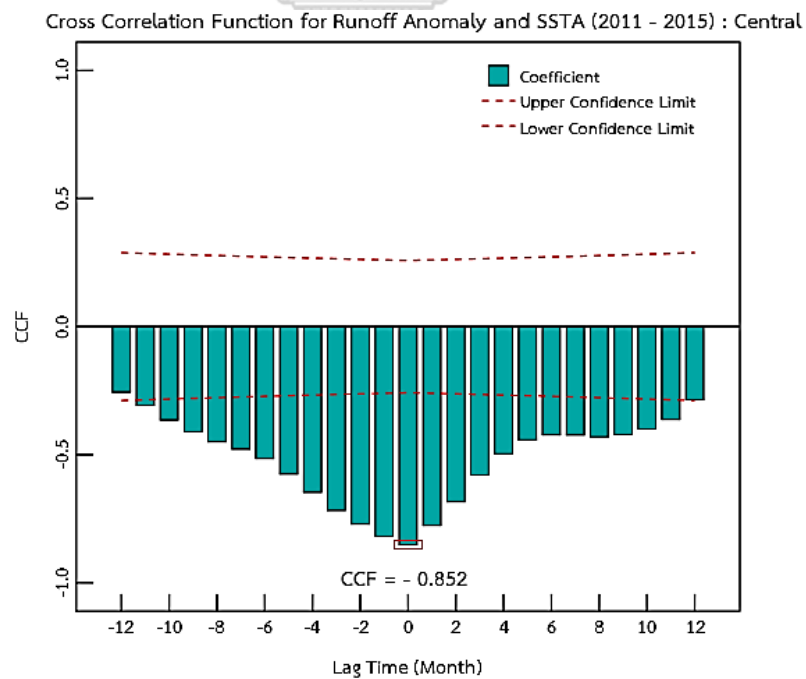
รูปที่ 5.47 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคตะวันออก



รูปที่ 5.48 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลา 10 ปีในพื้นที่ภาคกลาง



รูปที่ 5.49 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคกลาง



รูปที่ 5.50 Cross Correlation ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคกลาง

## บทที่ 6

### อภิปราย สรุปผล และข้อเสนอแนะ

ในบทที่จะกล่าวถึงการอภิปรายผลการวิจัย และการสรุปผลการวิจัยในหัวข้อต่าง ๆ ข้อจำกัด งานวิจัย และข้อเสนอแนะในการนำผลงานวิจัย หรือเทคนิคที่ใช้ในการทำวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคตต่อไป

#### 6.1 อภิปรายผลการศึกษา

จากผลการศึกษาในบทที่ผ่านมา สามารถแบ่งหัวข้อการอภิปรายเป็นรายหัวข้อทั้งหมด 3 หัวข้อดังต่อไปนี้

6.1.1 อภิปรายผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างค่า TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE กับข้อมูลทางอุทกวิทยา

จากการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างค่า TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE กับข้อมูลทางอุทกวิทยาในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน ซึ่งจากรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นได้ว่า ข้อมูลที่ได้จากข้อมูลสถานีตรวจวัดภาคพื้นดินพบความสอดคล้องกันในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน สามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์น้ำในประเทศไทยตอนบนได้ โดยสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ในปี ค.ศ. 2011 ในพื้นที่ของประเทศไทยตอนบนได้ประสบอุทกภัยที่รุนแรงมากกว่าในรอบ 10 ปี โดยฝนตกหนักในพื้นที่ภาคเหนือกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างเกือบทั้งภาค ซึ่งก่อให้เกิดปริมาณน้ำจำนวนมากมหาศาล ที่ทำให้เกิดน้ำท่วมหนักในพื้นที่ อีกทั้งปริมาณน้ำดังกล่าวได้ไหลลงสู่ภาคกลาง (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2560) ประกอบกับสภาพอากาศในช่วงเวลานั้นมีความชุ่มชื้น จึงทำให้ค่าความชื้นในดินสูงกว่าปกติ ทำให้ค่า TWS ในปี ค.ศ.2011 มีค่าสูงกว่าปีอื่น ๆ โดยเฉพาะในเดือนสิงหาคมถึงตุลาคมจะมีค่าสูงกว่าค่าปกติ และก็ยังสามารถตรวจจับได้ว่าค่า TWS ในช่วงฤดูร้อนในปี ค.ศ.2010 และปลายปี ค.ศ.2014 ถึง ค.ศ.2015 ในพื้นที่ของประเทศไทยตอนบนได้ประสบภัยแล้ง โดยในปี ค.ศ.2010 ในช่วงฤดูร้อนระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนเมษายน ค.ศ.2010 มีปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูร้อนนี้จะต่ำกว่าค่าปกติเล็กน้อย และจากการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า ในช่วงฤดูร้อนของปี ค.ศ. 2010 มีสภาพอากาศที่ร้อนอบอ้าวเกือบทั่วไป และอากาศร้อนจัดหลายพื้นที่ บริเวณประเทศไทยตอนบน ส่วนมากในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยตลอดช่วงจะสูงกว่าค่าปกติ และสูงกว่าปีที่ผ่านมา (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2554) ทำให้หลายพื้นที่ของประเทศไทยตอนบนต้องประสบกับความแห้งแล้ง ทำให้ความชื้นในดินมีค่าต่ำสุดในรอบหลายปี ประกอบกับ ปริมาณน้ำท่ารายเดือนในช่วงฤดูร้อนในปีดังกล่าว ก็มีระดับต่ำกว่าปีปกติ



ทำให้ค่า TWS จากชุดข้อมูลดาวเทียม GRACE ในช่วงฤดูร้อนมีค่าติดลบมากกว่าปกติ แต่ในช่วงฤดูฝนของปี ค.ศ.2010 มีปริมาณน้ำฝนสูงกว่าค่าปกติ ทำให้บรรเทาสภาวะภัยแล้งในฤดูร้อน ส่งผลให้ค่า TWS เพิ่มขึ้นตามลำดับ และโดยเฉพาะในปี ค.ศ.2015 จะเป็นภัยแล้งที่รุนแรงที่สุดในรอบหลายปี ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดภาวะภัยแล้ง คือ ปริมาณน้ำฝน ซึ่งในปี ค.ศ. 2015 มีปริมาณน้ำฝนสะสมโดยเฉลี่ยทั้งประเทศประเทศไทยตอนบนน้อยกว่าปกติ ทำให้ปริมาณน้ำท่าที่ถูกกักเก็บในลุ่มน้ำของพื้นที่ประเทศไทยตอนบนมีระดับต่ำที่สุดในรอบช่วงเวลา 10 ปี ประกอบกับสภาพอากาศที่แห้งแล้งจะทำให้ค่าความชื้นในดินมีค่าต่ำ จึงส่งผลให้ค่า TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE มีค่าต่ำกว่าปีปกติตลอดเกือบทั้งปี

จากรูปที่ 5.1 พบว่าค่า TWS ระหว่าง GRACE และข้อมูลอุทกวิทยามีช่วงเวลาล่าช้า (Lag time) อยู่ 2 เดือน โดยข้อมูล TWS จากข้อมูลดาวเทียมจะมีระยะเวลาที่ช้ากว่าข้อมูลอุทกวิทยาในพื้นที่ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ที่ร้อยละ 71.16 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานที่ระดับ (Standard Error)  $\pm 4$  cm. ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Zhang et al., 2015) โดยค่าคลาดเคลื่อนของ TWS กับข้อมูลอุทกวิทยาเป็นผลมาจากการตัดทอนของน้ำใต้ดินในสมการสมดุลน้ำออกไป จึงทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนระหว่างข้อมูลทั้งสอง และในสภาพภูมิประเทศจริงก็ยังมีปริมาณน้ำอื่น ๆ ที่ถูกกักเก็บไว้พื้นดิน คือ ความชื้นของดิน จึงทำให้ค่าปริมาณน้ำของข้อมูลดาวเทียม GRACE มีค่ามากกว่าข้อมูลอุทกวิทยา โดยค่าล่าช้าที่เกิดขึ้นระหว่างข้อมูลทั้งสองอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำใต้ดินที่มีการสูบน้ำมาใช้ในการเกษตร และในการดำรงชีวิตประจำวันของผู้คนในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Hu et al., 2017) หรือระยะเวลาการเก็บข้อมูลภาคสนามและข้อมูลดาวเทียมที่แตกต่างกันของแต่ละเดือน

6.1.2 อภิปรายผลความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับ TWS และปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

จากรูปที่ 5.3 และรูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิผิวน้ำทะเลรอบ 1 ปีมีการเปลี่ยนแปลงที่เป็นวัฏจักรในทุก ๆ ปี โดยมีช่วงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนเมษายน – พฤษภาคมซึ่งสอดคล้องการกับแกนหมุนของโลกที่เอียง (Earth's axial tilt) เมื่อโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ จึงมีผลสลับขั้วโลกเหนือกับขั้วโลกใต้ เข้าหาดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดฤดูกาลต่าง ๆ ขึ้น (ปัญญาจารุศิริ, 2558) เช่น ซีกโลกเหนือซึ่งส่วนใหญ่เป็นภาคพื้นทวีปได้เอียงเข้าหาดวงอาทิตย์ ทำให้ซีกโลกเหนือเป็นช่วงฤดูร้อน จึงทำให้ช่วงอุณหภูมิผิวน้ำทะเลต่ำสุดอยู่ในช่วงเดือนธันวาคม – มกราคมซึ่งสอดคล้องการกับเอียงของโลกในช่วงเวลานั้น เพราะซีกโลกเหนือหันออกจากดวงอาทิตย์ ทำให้ซีกโลกเหนือเป็นช่วงฤดูหนาว และอีกปัจจัย คือ กระแสน้ำพื้นผิวสมุทร เพราะมหาสมุทรสามารถกักเก็บความร้อนไว้ได้ดี แล้วจึงค่อย ๆ ปลดปล่อยความร้อนออกมา ทำให้กระแสน้ำในมหาสมุทรสามารถไหลไปยังที่ต่าง ๆ เป็นระยะทางไกลได้ โดยกระแสน้ำจะทำให้อุณหภูมิผิวน้ำเปลี่ยนแปลงไป ทำให้

ส่งผลต่อสภาพอากาศ เช่นเดียวกับ TWS และปริมาณน้ำฝนก็มีวัฏจักรในทุก ๆ ปีเหมือนกัน โดยช่วงที่ปริมาณน้ำฝนมีปริมาณสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนสิงหาคม – กันยายนของทุก ๆ ปี และปริมาณน้ำฝนต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม – มกราคมของทุก ๆ ปี และช่วงที่ TWS มีค่าปริมาณสูงสุดอยู่ในช่วงเดือนกันยายน – ตุลาคมในทุก ๆ ปี เพราะปริมาณน้ำฝนจะเข้ามาเติมปริมาณ TWS ที่อยู่บนพื้นดินโดยจะมีความล่าช้ากันอยู่ประมาณ 1-2 เดือน จะเห็นได้ว่าทั้งข้อมูลอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ปริมาณน้ำฝน และ TWS มีวัฏจักรที่เหมือนกันในช่วงเวลารอบ 1 ปี ซึ่งเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์จะพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรทั้งสองอยู่กล่าวคือ วัฏจักรของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับวัฏจักรของปริมาณน้ำฝน แต่พบว่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่าง 2 วัฏจักร

ซึ่งจากวัฏจักรของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับวัฏจักรของปริมาณน้ำฝน แต่พบว่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่าง 2 วัฏจักรอยู่ที่ 2 เดือน และวัฏจักรของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับวัฏจักรของ TWS และพบว่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่าง 2 วัฏจักรอยู่ที่ 4 เดือน เนื่องจากแนวร่องความกดอากาศต่ำมีการเลื่อนขึ้นลงช้า ๆ ไปทางเหนือ หรือทางใต้ตามแนวโคจร (Declination) ของดวงอาทิตย์ โดยล่าหลัง หรือช้ากว่าแนวโคจรของดวงอาทิตย์อยู่โดยประมาณ 1-2 เดือน สอดคล้องกับ (สุพันธ์ นิลายน, 2543) ซึ่งจากการความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับ TWS และปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลในพื้นที่ประเทศไทยตอนบนของแต่ละปี แต่ทั้งนี้ค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลไม่สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนและ TWS ได้ อาจเป็นเหตุมาจากลักษณะของข้อมูล TWS และปริมาณน้ำฝนไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ทำให้สมการที่ประมวลผลได้มีค่าความสัมพันธ์ที่ต่ำ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยในสมการไม่นัยความสำคัญ ดังนั้นจึงได้นำค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลมาอธิบายค่าผิดปกติของ TWS และปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

6.1.3 อภิปรายผลความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝนกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่รอยภาค และค่าความผิดปกติของ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝนและปริมาณน้ำท่าในพื้นที่รอยภาค และค่าความผิดปกติของ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน สามารถอธิบายได้ว่า ในช่วงที่ประเทศไทยตอนบนประสบภาวะลานีญา จะส่งผลกระทบต่อค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า และค่าความผิดปกติของ TWS มีแนวโน้มสูงกว่าค่าปกติ สามารถสังเกตได้จากปี ค.ศ. 2008 และปี ค.ศ. 2011 ซึ่งเป็นผลมาจากปรากฏการณ์ลานีญา ที่มีกลไกเช่นเดียวกับในภาวะปกติ แต่มีกำลังแรงขึ้น โดยมีสาเหตุจากการที่ลมสินค้าที่พัดปกคลุมเหนือมหาสมุทรแปซิฟิกมีกำลังแรงขึ้น และได้นำพาความชื้นและก่อให้เกิดฝนตกในบริเวณภูมิภาคเอเชีย

ตะวันออกเฉียงใต้รวมถึงประเทศไทยในปริมาณรวมสูงขึ้น แต่จะสามารถสังเกตได้ว่า ในปี ค.ศ. 2011 เป็นปีที่มีภาวะลานีญารุนแรงกว่าปี ค.ศ. 2008 และในปีดังกล่าว ประเทศไทยได้ประสบอุทกภัยที่รุนแรงที่สุดเป็นประวัติการณ์ โดยเฉพาะพื้นที่ภาคเหนือและภาคกลางที่เกิดน้ำท่วมหนักเป็นระยะเวลายาวนาน ประกอบกับในปีดังกล่าวประเทศไทยได้รับอิทธิพลทั้งโดยตรงและโดยอ้อมจากพายุที่เคลื่อนตัวจากทะเลจีนใต้ ทั้งหมด 5 ลูก ได้แก่ พายุโซนร้อนไหหม่า ทำให้มีฝนตกหนาแน่นเป็นบริเวณกว้างในภาคเหนือ โดยเฉพาะพื้นที่บริเวณจังหวัดเชียงราย พะเยา น่าน และตากในช่วงปลายเดือนมิถุนายน พายุทกเตน (NOCK-TEN) ทำให้เกิดหย่อมความกดอากาศต่ำปกคลุมภาคเหนือของประเทศไทยบริเวณจังหวัดแพร่ ลำปาง เชียงใหม่ และแม่ฮ่องสอนในปลายเดือนกรกฎาคม พายุไห่ถาง (HAITANG) ทำให้เกิดหย่อมความกดอากาศต่ำกำลังแรงเคลื่อนเข้าปกคลุมภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของประเทศไทยปลายเดือนกรกฎาคม พายุเนสาด (NESAT) พายุลูกนี้ส่งผลทำให้ด้านตะวันออกของภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนมีฝนเพิ่มขึ้นในช่วงเดือนกันยายน และพายุเอนกที่ส่งอิทธิพลในรูปของหย่อมความกดอากาศต่ำในปลายเดือนกันยายน จะเห็นได้ว่า ภาคเหนือเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบหนักที่สุด และรวมถึงอิทธิพลจากร่องมรสุมและลมประจำถิ่น ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม มีร่องมรสุมพาดผ่านบริเวณประเทศไทยตอนบนอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะบริเวณตอนบนและตอนของกลางของประเทศไทย ส่งผลให้เกิดฝนตกหนักและน้ำท่วมในหลายพื้นที่ (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2555) ส่งผลให้มีฝนตกหนักในพื้นที่ภาคเหนือกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างเกือบทั้งภาค ซึ่งก่อให้เกิดปริมาณน้ำจํานวนมหาศาล ที่ทำให้เกิดน้ำท่วมหนักในพื้นที่ อีกทั้งปริมาณน้ำดังกล่าวได้ไหลลงสู่ภาคกลาง ผ่านแม่น้ำ 4 สายหลัก คือ ปิง วัง ยม น่าน โดยเฉพาะลุ่มน้ำยม ที่ปริมาณน้ำส่วนใหญ่ไหลลงสู่ตอนล่างเกือบทั้งหมด ทำให้ปริมาณน้ำท่าและค่า TWS มีค่าสูงด้วยเช่นกัน

ในช่วงที่ประเทศไทยตอนบนประสบภาวะเอลนีโญ จะส่งผลกระทบต่อค่าความผิดปกติของ TWS และปริมาณน้ำฝน มีแนวโน้มต่ำกว่าค่าปกติ สามารถสังเกตได้จากปลายปี ค.ศ. 2009 ถึงต้นปี ค.ศ. 2010 และปี ค.ศ. 2015 ซึ่งเป็นผลมาจากปรากฏการณ์เอลนีโญ ที่มีสาเหตุมาจากการที่ลมสินค้าที่พัดปกคลุมเหนือมหาสมุทรแปซิฟิกอ่อนกำลังลง ทำให้กระแสน้ำอุ่น Equatorial Counter Current (ECC) มีกำลังแรงขึ้น ชันมวลน้ำอุ่นจึงไหลย้อนกลับไปยังบริเวณตอนกลางของมหาสมุทรทำให้เกิดกลุ่มเมฆและฝนตกบริเวณกลางมหาสมุทร เป็นผลให้เกิดภัยแล้งบริเวณภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้รวมถึงประเทศไทย ดังในช่วงเวลาปี ต้นปี ค.ศ. 2010 และปี ค.ศ. 2015 ที่ประสบภาวะดังกล่าว แต่จะสามารถสังเกตได้ว่า ในปี ค.ศ. 2015 เป็นปีที่มีภาวะเอลนีโญกว่าปี ค.ศ. 2010 และในปีดังกล่าว ประเทศไทยจะได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์เอลนีโญรุนแรงขึ้นเช่นเดียวกับประเทศอื่น ๆ ในภูมิภาคเอเชีย ทำให้ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีต่ำกว่าปีปกติถึงร้อยละ 14.73 (สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร, 2559) และเมื่อพิจารณาถึงการกระจายตัวของฝนปี 2015

พบว่าบริเวณตอนกลางของประเทศมีฝนตกน้อยมากเป็นบริเวณกว้าง ครอบคลุมทั้งพื้นที่ภาคเหนือ ภาคกลาง และด้านตะวันตกของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งนี้พื้นที่ดังกล่าวมีฝนตกน้อยต่อเนื่องมา ตั้งแต่ปี 2014 ทำให้ปริมาณน้ำท่าที่มีปริมาณต่ำกว่าปีปกติ และปริมาณน้ำกักเก็บคงเหลือในแต่ละ ภาคมีอยู่ค่อนข้างน้อย ทำให้ส่งผลต่อค่า TWS มีค่าต่ำด้วยเช่นกัน ประกอบกับในจากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้บ่งชี้ว่า ภาวะเอลนีโญมีอิทธิพลต่อการก่อตัวและการเคลื่อนตัวของพายุหมุนเขตร้อนที่เกิด ทางด้านตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกเหนือและทะเลจีนใต้ ทำให้มีจำนวนพายุลดลงเมื่อมีภาวะ เอลนีโญ (Wang and Chan, 2002) ทำให้ค่า TWS มีค่าต่ำกว่าปกติเมื่อเกิดภาวะเอลนีโญ

และสำหรับในปีปกติ ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ. 2013 ถึงเดือนธันวาคม ปี ค.ศ. 2013 จะไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนเท่ากับปีที่ประสบภาวะ ENSO ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา (ปริญ หล่อพิทยากร, 2555) และสอดคล้องกับ (มันทนา พลฤกษ์วัน และนงศ์นาถ อุประสิทธิ์วงศ์, 2545) ที่ได้ศึกษาของอุณหภูมิมิวน้ำทะเลกับฝนในภาวะปกติ และพบว่าไม่มีการกระจายตัวอย่าง ชัดเจน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิมิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติ ของปริมาณน้ำฝนกับค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่รายภาค และค่าความผิดปกติของ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน พบความสัมพันธ์ที่เป็นลักษณะความสัมพันธ์เชิงลบในทุกพื้นที่ และมีค่าความสัมพันธ์ในแต่ละภาคอยู่ในระดับที่แตกต่างกัน ดังนี้

- โดยพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิมิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณ น้ำฝนเมื่อพิจารณาในช่วงเวลา 10 ปี มีผลการศึกษาดังนี้ ระดับปานกลาง คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง ระดับน้อยที่สุด คือ ภาคตะวันออก และพบ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิมิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำท่า ระดับปานกลาง คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง ระดับน้อย คือ ภาคตะวันออก
- โดยพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิมิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณ น้ำฝนเมื่อพิจารณาในช่วงเวลาตั้งแต่ปี 2006-2010 ที่มีภาวะ ENSO แบบอ่อน มีผล การศึกษาดังนี้ ระดับมาก คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และระดับน้อย คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคกลาง และพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิมิวน้ำ ทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำท่า ระดับปานกลาง คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ระดับ น้อยที่สุด คือ ภาคเหนือ ภาคตะวันออก และภาคกลาง
- โดยพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิมิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณ น้ำฝนเมื่อพิจารณาในช่วงเวลาตั้งแต่ปี 2011-2015 ที่มีภาวะ ENSO ที่รุนแรง ระดับมาก

คือ ภาคเหนือ และภาคกลาง ระดับปานกลาง คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และระดับน้อย คือ ภาคตะวันออก และพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำท่า ระดับมาก คือ ภาคเหนือและภาคกลาง ระดับปานกลาง คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคตะวันออก

จากความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าในช่วงปีที่มีภาวะ ENSO รุนแรง (ในช่วงเวลาระหว่างปี ค.ศ. 2011 ถึงปี ค.ศ. 2015) ปรากฏการณ์ ENSO จะส่งอิทธิพลต่อสถานการณ์น้ำในประเทศไทยตอนบนในรูปแบบของปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำท่า โดยพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุด คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตามลำดับ โดยมีค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือน และภาคตะวันออกพบความสัมพันธ์ที่ระดับน้อย เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศแตกต่างจากภาคอื่น ๆ และมีปัจจัยอื่น ๆ เช่น พายุ และลมมรสุมที่พัดเข้ามาในแต่ละปี เป็นต้น และในช่วงปีที่มีภาวะ ENSO แบบอ่อน (ในช่วงเวลาระหว่างปี ค.ศ. 2006 ถึงปี ค.ศ. 2010) ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนเท่ากับปีที่มีภาวะ ENSO รุนแรง ซึ่งความแตกต่างของความสัมพันธ์ของแต่ละภาคในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน เกิดจากลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่

## 6.2 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า จากศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างค่า TWS จากข้อมูลดาวเทียม GRACE กับข้อมูลทางอุทกวิทยาซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากข้อมูลสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน มีความสอดคล้องกันในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ที่ร้อยละ 71.16 อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และมีค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานที่ระดับ (Standard Error)  $\pm 4$  cm. และพบช่วงเวลาล่าช้า (Lag time) อยู่ 2 เดือน โดยค่าล่าช้าที่เกิดขึ้นระหว่างข้อมูลทั้งสอง อาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำใต้ดิน และระยะเวลาการเก็บข้อมูลภาคสนามและข้อมูลดาวเทียม แต่ทั้งนี้ข้อมูลดาวเทียม GRACE สามารถตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของเหตุการณ์น้ำในประเทศไทยตอนบนได้ เช่น ในปี ค.ศ. 2011 ที่ประเทศไทยได้ประสบอุทกภัยครั้งใหญ่ หรือในปี ค.ศ. 2015 ที่ประเทศไทยได้ประสบภัยแล้งครั้งรุนแรงในช่วงหลายปีที่ผ่านมา และข้อมูลดาวเทียม GRACE ก็สามารถใช้ตรวจวัดค่า TWS ได้เป็นรายเดือน ทำให้สามารถนำมาใช้ในการดูแลแนวโน้มของสถานการณ์น้ำทั้งแบบรายเดือน และรายปีได้

จากการอภิปรายในหัวข้อที่ผ่านมา จึงสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า และ TWS ได้ว่า ในปีที่เกิดปรากฏการณ์ ENSO จะมีความสัมพันธ์เชิงลบ โดยส่งผลกระทบต่อปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า และ TWS โดยรวมของ

ประเทศไทย เพราะจากการศึกษาพบว่า ในปีที่ประเทศไทยประสบกับปรากฏการณ์ลานีญา จะส่งผลให้ประเทศไทยตอนบนมีแนวโน้มที่ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า และ TWS เพิ่มสูงขึ้นกว่าปีปกติ โดยมีแนวโน้มที่จะเกิดอุทกภัยในปีที่มีปรากฏการณ์ลานีญารุนแรง เช่น ปี ค.ศ. 2011 และในปีที่ประเทศไทยประสบกับปรากฏการณ์เอลนีโญ จะส่งผลให้ประเทศไทยมีแนวโน้มที่ปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า และ TWS มีค่าลดลงกว่าปีปกติ และมีแนวโน้มการเกิดภาวะแห้งแล้งในปีที่มีปรากฏการณ์เอลนีญารุนแรง เช่น ปี ค.ศ. 2015 และในปีปกติของประเทศไทย จะไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนเท่ากับปีที่ประสบปรากฏการณ์ ENSO

โดยปรากฏการณ์ ENSO มีอิทธิพลต่อสถานการณ์น้ำในประเทศไทยตอนบนในของปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำท่า โดยพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ ENSO มากที่สุด คือ ภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตามลำดับ โดยมีค่าความล่าช้า (Lag Time) ระหว่างสองชุดข้อมูลที่ 0 เดือน และภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบความสัมพันธ์ที่ระดับน้อย เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างจากภาคอื่น ๆ ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศติดกับทะเลทำให้มีปัจจัยอื่น ๆ เช่น พายุ และลมมรสุม เป็นต้น สร้างความแปรปรวนของสถานการณ์ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในช่วงปีที่มีภาวะ ENSO รุนแรง (ปี ค.ศ. 2011 ถึงปี ค.ศ. 2015) และในช่วงปีมีภาวะ ENSO แบบอ่อน (ปี ค.ศ. 2006 ถึงปี ค.ศ. 2010) ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนเท่ากับปีที่มีภาวะ ENSO รุนแรง

### 6.3 ข้อเสนอแนะ

6.3.1 เนื่องจากข้อมูล Total Water Storage จากข้อมูลดาวเทียม GRACE มีขนาดจุดภาพที่  $1^\circ \times 1^\circ$  ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงควรนำไปประยุกต์ใช้สำหรับพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่มากกว่า 150,000 ตารางกิโลเมตร (McCullum et al., 2012)

6.3.2 สำหรับการจัดสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ Total Water Storage หรือปริมาณน้ำฝน ควรนำอุณหภูมิผิวน้ำทะเลจากมหาสมุทรแปซิฟิก และมหาสมุทรอินเดีย เข้ามาเป็นปัจจัยสำหรับการสร้างแบบจำลอง

## รายการอ้างอิง

- Chen, J. L., Wilson, C. R. and Tapley, B. D. (2010). The 2009 exceptional Amazon flood and interannual terrestrial water storage change observed by GRACE. Water Resources Research, 46(12). doi:10.1029/2010wr009383
- Hu, K., Awange, J. L., Khandu, Forootan, E., Goncalves, R. M. and Fleming, K. (2017). Hydrogeological characterisation of groundwater over Brazil using remotely sensed and model products. Science of the Total Environment, 599-600, 372-386. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.04.188
- IBM Knowledge Center. (2013). Cross Correlation (cross-correlation functions algorithms) [Online]. IBM Knowledge Center. Available from: [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSLVMB\\_22.0.0/com.ibm.spss.statistics.algorithms/alg\\_ccf\\_cross.htm](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/en/SSLVMB_22.0.0/com.ibm.spss.statistics.algorithms/alg_ccf_cross.htm) [15 Mar 2018]
- Lau, K. M. and Wu, H. T. (2001). Principal Modes of Rainfall–SST Variability of the Asian Summer Monsoon: A Reassessment of the Monsoon–ENSO Relationship. Journal of Climate, 14(13), 2880-2895. doi:10.1175/1520-0442(2001)014<2880:PMORSV>2.0.CO;2
- Luo, Zhicai, Yao, Chaolong, Li, Qiong and Huang, Zhengkai. (2016). Terrestrial water storage changes over the Pearl River Basin from GRACE and connections with Pacific climate variability. Geodesy and Geodynamics, 7(3), 171-179. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geog.2016.04.008>
- McCullum, Amber Jean, Brandt, William, Randall, Joshua, Floyd, Bridget, Bourai, Abdelwahab, Newcomer, Michelle, et al. (2012). Comparison of changes in groundwater storage using GRACE data and a hydrological model in California's Central Valley. Paper presented at the ASPRS 2012 Annual Conference, Sacramento, California.
- Mu, Qiaozhen, Zhao, Maosheng and Running, Steven W. (2011). Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. Remote Sensing of Environment, 115(8), 1781-1800. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.02.019>

- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2018a). Aqua Project Science [Online]. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Available from: <https://aqua.nasa.gov/> [2017, 20 Dec]
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2018b). Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) [Online]. National Aeronautics and Space Administration (NASA). Available from: <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/> [2017, 20 Dec]
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2018). Cold & Warm Episodes by Season [Online]. NOAA/ National Weather Service National Centers for Environmental Prediction Climate Prediction Center. Available from: [http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php) [18 Mar 2018]
- Ni, Shengnan, Chen, Jianli, Wilson, Clark R., Li, Jin, Hu, Xiaogong and Fu, Rong. (2017). Global Terrestrial Water Storage Changes and Connections to ENSO Events. Surveys in Geophysics, 39(1), 1-22. doi:10.1007/s10712-017-9421-7
- Rasmusson, Eugene M. and Carpenter, Thomas H. (1983). The Relationship Between Eastern Equatorial Pacific Sea Surface Temperatures and Rainfall over India and Sri Lanka. Monthly Weather Review, 111(3), 517-528. doi:10.1175/1520-0493(1983)111<0517:TRBEEP>2.0.CO;2
- Schumacher, M. . (2016). Methods for assimilating remotely-sensed water storage changes into hydrological models. (Doctor of Engineering), Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- The University of Texas at Austin. (2018). GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) [Online]. Available from: <http://www2.csr.utexas.edu/grace/> [10 Oct 2017]
- TMD. (2011). tropical cyclone in Thailand historical data 1951-2010. Climatological Center, Meteorological Development Bureau, Thai Meteorological Department, 8 pp.
- Vongvisessomjai, S. (2009). Tropical cyclone disasters in the Gulf of Thailand. Songklanakarin Journal of Science and Technology (SJST), 31(2), 213-227.



- Wang, Bin and Chan, Johnny C. L. (2002). How Strong ENSO Events Affect Tropical Storm Activity over the Western North Pacific. *Journal of Climate*, 15(13), 1643-1658. doi:10.1175/1520-0442(2002)015<1643:HSEEAT>2.0.CO;2
- Wang, Bin, Wu, Renguang and Lau, K. M. (2001). Interannual Variability of the Asian Summer Monsoon: Contrasts between the Indian and the Western North Pacific–East Asian Monsoons. *Journal of Climate*, 14(20), 4073-4090. doi:10.1175/1520-0442(2001)014<4073:IVOTAS>2.0.CO;2
- Xu, Jianjun and Chan, Johnny C. L. (2001). The Role of the Asian–Australian Monsoon System in the Onset Time of El Niño Events. *Journal of Climate*, 14(3), 418-433. doi:10.1175/1520-0442(2001)014<0418:TROTAA>2.0.CO;2
- Yao, Chaolong, Luo, Zhicai, Wang, Haihong, Li, Qiong and Zhou, Hao. (2016). GRACE-Derived Terrestrial Water Storage Changes in the Inter-Basin Region and Its Possible Influencing Factors: A Case Study of the Sichuan Basin, China. *Remote Sensing*, 8(6). doi:10.3390/rs8060444
- Zhang, Zizhan, Chao, B. F., Chen, Jianli and Wilson, C. R. (2015). Terrestrial water storage anomalies of Yangtze River Basin droughts observed by GRACE and connections with ENSO. *Global and Planetary Change*, 126, 35-45. doi:10.1016/j.gloplacha.2015.01.002
- กนกพรพรณ ปาลกะวงค์ ณ อยุธยา. (2559). การศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำทั้งหมดจากข้อมูลดาวเทียม GRACE และข้อมูลทางอุทกวิทยาในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย. (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2546). ปรากฏการณ์ ENSO [Online]. กรมอุตุนิยมวิทยา. Available from: <https://www.tmd.go.th/info/info.php?FileID=19> [10 ตุลาคม 2560]
- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2558). ภูมิอากาศของประเทศไทย [Online]. กรมอุตุนิยมวิทยา. Available from: [https://www.tmd.go.th/info/climate\\_of\\_thailand-2524-2553.pdf](https://www.tmd.go.th/info/climate_of_thailand-2524-2553.pdf) [20 ธันวาคม 2560]
- กีรติ ลีวัจนกุล. (2550). อุทกวิทยา (Vol. 1): สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต : กรุงเทพฯ.
- ชนิษฐา กุศลศรีสกุล. (2552). การแปรผันของปริมาณน้ำฝนเชิงพื้นที่และเวลาในประเทศไทย และความเชื่อมโยงกับความแปรปรวนของภูมิอากาศระดับภูมิภาคและระดับโลก. (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

- นิคม อ่อนสี. (2557). สมุทรศาสตร์ฟิสิกส์ (เอกสารประกอบการสอน). คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย.
- ปริญ หล่อพิทยากร. (2555). ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยตอนในกับปริมาณน้ำฝนบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในภาวะเอลนีโญ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 24(ฉบับที่ 3), หน้า 400-417.
- ปัญญา จารุศิริ. (2558). สภาพภูมิอากาศและอิทธิพลการแปรสัณฐาน [Online]. หน่วยปฏิบัติการวิจัยธรณีวิทยาแผ่นดินไหวและธรณีแปรสัณฐานผืนแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ Available from: <http://www.eatgru.sc.chula.ac.th/Thai/interest/pdf/tectonic.pdf> [10 มีนาคม 2561]
- มันทนา พุกษะวัน และนงศ์นาค อู่ประสิทธิ์วงศ์. (2545). รูปแบบของฝนและอุณหภูมิในประเทศไทยในปีเอลนีโญและความสัมพันธ์กับดัชนีความผันแปรของระบบอากาศในซีกโลกใต้และอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในมหาสมุทรแปซิฟิกเขตร้อน. เอกสารวิชาการ: กรมอุตุนิยมวิทยา.
- วิษุวัตม์ แต่สมบัติ. (2555). อุทกวิทยาทางวิศวกรรม (เอกสารประกอบการสอน): ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- วีระพล แต่สมบัติ. (2533). อุทกวิทยาประยุกต์ (Applied Hydrology). ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ กรุงเทพฯ.
- ศูนย์ประสานงานและพัฒนางานวิจัยด้านโลกร้อนและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ. (2560). รายงานการสังเคราะห์และประมวลสถานการณ์องค์ความรู้ด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศของไทย พ.ศ.2559. บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: บริษัท ริงโก จำกัด กรุงเทพฯ
- โศรฎา แข็งการ และกนต์ธร ขำนิประศาสน์. (2549). การใช้ MATLAB สำหรับงานทางวิศวกรรม (2 Ed.): มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. (2554). สรุปสถานการณ์ภัยแล้ง (พ.ย.52 - เม.ย.53) [Online]. คลังข้อมูลน้ำและภูมิอากาศแห่งชาติ (Thai Water). Available from: <http://www.thaiwater.net/current/flood54.html> [21 มีนาคม 2561]
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. (2555). บันทึกเหตุการณ์มหาอุทกภัยปี 2554 [Online]. คลังข้อมูลน้ำและภูมิอากาศแห่งชาติ (Thai Water). Available from: <http://www.thaiwater.net/current/flood54.html> [21 มีนาคม 2561]
- สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. (2559). บันทึกเหตุการณ์ภัยแล้งปี 2558/2559 [Online]. คลังข้อมูลน้ำและภูมิอากาศแห่งชาติ (Thai Water). Available from:

<http://www.thaiwater.net/current/2016/drought59/drought59.html> [21 มีนาคม 2561]

สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร. (2560). การเปรียบเทียบสถานการณ์น้ำปี 2554 และ 2560 [Online]. คลังข้อมูลน้ำและภูมิอากาศแห่งชาติ (Thai Water). Available from:

<http://www.thaiwater.net/current/2017/compare2017and2011/compare2017and2011.html> [21 มีนาคม 2561]

สัญญา เอี่ยมประเสริฐ. (2557). การเปรียบเทียบวิธีการประมาณค่าปริมาณน้ำฝนรายวันด้วยแบบสารสนเทศภูมิศาสตร์บริเวณพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา. (ปริญญาโทบริหารศาสตรบัณฑิต), สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

สำราญ มีแจ้ง. (2557). สถิติขั้นสูงสำหรับการวิจัย : ทฤษฎีและปฏิบัติ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ

สุวพันธ์ นิลายน. (2543). อุตุวิทยวิทยา (4 ed.). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพฯ.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**



ภาคผนวก ก

การเปรียบเทียบระหว่าง TWS from GRACE กับ TWS from Hydrological data

ในประเทศไทยตอนบน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก.1 การเปรียบเทียบระหว่าง TWS from GRACE กับ TWS from Hydrological data ของประเทศไทยตอนบน

| Year | Month | TWS from GRACE (mm.) | TWS from Hydrological data (mm.) |
|------|-------|----------------------|----------------------------------|
| 2006 | Jan   | -68.292              | -50.814                          |
|      | Feb   | -104.517             | -51.378                          |
|      | Mar   | -123.345             | -35.169                          |
|      | Apr   | -141.773             | -6.779                           |
|      | May   | -102.459             | 39.108                           |
|      | Jun   | -41.162              | 66.800                           |
|      | Jul   | 48.570               | 101.087                          |
|      | Aug   | 105.256              | 110.456                          |
|      | Sep   | 133.594              | 132.523                          |
|      | Oct   | 173.944              | 113.777                          |
|      | Nov   | 76.435               | 45.066                           |
|      | Dec   | 14.125               | -23.563                          |
| 2007 | Jan   | -54.186              | -65.345                          |
|      | Feb   | -90.510              | -51.928                          |
|      | Mar   | -130.686             | -38.981                          |
|      | Apr   | -142.061             | -14.838                          |
|      | May   | -80.521              | 50.775                           |
|      | Jun   | -34.181              | 80.189                           |
|      | Jul   | 35.544               | 88.977                           |
|      | Aug   | 75.490               | 71.881                           |
|      | Sep   | 122.082              | 99.021                           |
|      | Oct   | 169.991              | 108.477                          |
|      | Nov   | 102.468              | 49.117                           |
|      | Dec   | 14.577               | -20.285                          |

ตารางที่ ก.1 การเปรียบเทียบระหว่าง TWS from GRACE กับ TWS from Hydrological data ของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | TWS from GRACE (mm.) | TWS from Hydrological data (mm.) |
|------|-------|----------------------|----------------------------------|
| 2008 | Jan   | -40.004              | -59.860                          |
|      | Feb   | -78.790              | -46.687                          |
|      | Mar   | -117.266             | -30.374                          |
|      | Apr   | -117.836             | 5.052                            |
|      | May   | -65.133              | 41.802                           |
|      | Jun   | 1.642                | 71.494                           |
|      | Jul   | 53.115               | 76.337                           |
|      | Aug   | 115.705              | 74.776                           |
|      | Sep   | 144.410              | 116.391                          |
|      | Oct   | 151.046              | 112.186                          |
|      | Nov   | 143.381              | 71.856                           |
|      | Dec   | 37.356               | -14.131                          |
| 2009 | Jan   | -30.738              | -53.547                          |
|      | Feb   | -84.436              | -53.354                          |
|      | Mar   | -110.350             | -29.744                          |
|      | Apr   | -103.378             | -3.329                           |
|      | May   | -84.935              | 46.239                           |
|      | Jun   | -18.922              | 61.320                           |
|      | Jul   | 50.193               | 78.323                           |
|      | Aug   | 94.189               | 71.644                           |
|      | Sep   | 123.883              | 95.940                           |
|      | Oct   | 164.607              | 75.097                           |
|      | Nov   | 79.871               | 20.742                           |
|      | Dec   | 10.188               | -41.925                          |

ตารางที่ ก.1 การเปรียบเทียบระหว่าง TWS from GRACE กับ TWS from Hydrological data ของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | TWS from GRACE (mm.) | TWS from Hydrological data (mm.) |
|------|-------|----------------------|----------------------------------|
| 2010 | Jan   | -46.581              | -56.872                          |
|      | Feb   | -94.201              | -46.758                          |
|      | Mar   | -137.513             | -37.810                          |
|      | Apr   | -174.102             | -29.033                          |
|      | May   | -169.963             | -5.887                           |
|      | Jun   | -111.701             | 26.464                           |
|      | Jul   | -64.985              | 60.575                           |
|      | Aug   | 25.264               | 134.746                          |
|      | Sep   | 105.931              | 159.226                          |
|      | Oct   | 157.729              | 163.732                          |
|      | Nov   | 75.007               | 52.179                           |
|      | Dec   | 6.621                | -11.282                          |
| 2011 | Jan   | -71.400              | -66.827                          |
|      | Feb   | -124.364             | -49.906                          |
|      | Mar   | -126.166             | -27.928                          |
|      | Apr   | -151.382             | 0.011                            |
|      | May   | -84.868              | 51.679                           |
|      | Jun   | 4.224                | 76.396                           |
|      | Jul   | 84.522               | 111.577                          |
|      | Aug   | 155.212              | 130.598                          |
|      | Sep   | 220.079              | 177.700                          |
|      | Oct   | 237.071              | 153.387                          |
|      | Nov   | 199.501              | 68.033                           |
|      | Dec   | 28.062               | -28.776                          |



ตารางที่ ก.1 การเปรียบเทียบระหว่าง TWS from GRACE กับ TWS from Hydrological data ของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | TWS from GRACE (mm.) | TWS from Hydrological data (mm.) |
|------|-------|----------------------|----------------------------------|
| 2012 | Jan   | -8.278               | -62.997                          |
|      | Feb   | -60.443              | -50.731                          |
|      | Mar   | -94.516              | -39.079                          |
|      | Apr   | -101.805             | -22.777                          |
|      | May   | -72.060              | 35.666                           |
|      | Jun   | -16.506              | 50.110                           |
|      | Jul   | 45.414               | 75.631                           |
|      | Aug   | 92.106               | 64.645                           |
|      | Sep   | 124.657              | 119.516                          |
|      | Oct   | 115.500              | 83.218                           |
|      | Nov   | 72.727               | 39.878                           |
|      | Dec   | 16.646               | -45.701                          |
| 2013 | Jan   | -34.312              | -51.735                          |
|      | Feb   | -80.303              | -56.957                          |
|      | Mar   | -131.800             | -42.537                          |
|      | Apr   | -157.462             | -32.453                          |
|      | May   | -127.754             | 0.776                            |
|      | Jun   | -70.743              | 37.619                           |
|      | Jul   | 6.164                | 98.342                           |
|      | Aug   | 90.760               | 115.292                          |
|      | Sep   | 153.600              | 156.115                          |
|      | Oct   | 167.445              | 110.027                          |
|      | Nov   | 115.430              | 56.481                           |
|      | Dec   | 32.889               | -22.849                          |

ตารางที่ ก.1 การเปรียบเทียบระหว่าง TWS from GRACE กับ TWS from Hydrological data ของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | TWS from GRACE (mm.) | TWS from Hydrological data (mm.) |
|------|-------|----------------------|----------------------------------|
| 2014 | Jan   | -4.663               | -51.480                          |
|      | Feb   | -50.230              | -47.314                          |
|      | Mar   | -102.784             | -45.800                          |
|      | Apr   | -125.555             | -23.077                          |
|      | May   | -116.306             | 3.465                            |
|      | Jun   | -80.257              | 41.288                           |
|      | Jul   | 9.261                | 77.298                           |
|      | Aug   | 88.902               | 110.389                          |
|      | Sep   | 119.952              | 121.805                          |
|      | Oct   | 127.348              | 80.308                           |
|      | Nov   | 82.728               | 19.652                           |
|      | Dec   | 32.690               | -41.017                          |
| 2015 | Jan   | -45.955              | -                                |
|      | Feb   | -146.916             | -                                |
|      | Mar   | -116.258             | -                                |
|      | Apr   | -161.562             | -                                |
|      | May   | -157.300             | -                                |
|      | Jun   | -90.230              | -                                |
|      | Jul   | -11.547              | -                                |
|      | Aug   | 51.226               | -                                |
|      | Sep   | 91.985               | -                                |
|      | Oct   | 99.920               | -                                |
|      | Nov   | 61.240               | -                                |
|      | Dec   | -31.221              | -                                |



ตารางที่ ข.1 ผลจากการประมวลผลของค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวทะเล Total Water Storage และปริมาณน้ำฝน

| Year | Month | Delta SST (C°) | TWS from GRACE (mm.) | Rainfall (mm.) |
|------|-------|----------------|----------------------|----------------|
| 2006 | Jan   | -0.45222       | -68.292              | 0.587          |
|      | Feb   | -0.14053       | -104.517             | 19.962         |
|      | Mar   | 0.25678        | -123.345             | 54.511         |
|      | Apr   | 0.45629        | -141.773             | 107.437        |
|      | May   | 0.54086        | -102.459             | 199.720        |
|      | Jun   | 0.13112        | -41.162              | 174.106        |
|      | Jul   | -0.15382       | 48.570               | 237.932        |
|      | Aug   | -0.00235       | 105.256              | 235.662        |
|      | Sep   | 0.28398        | 133.594              | 242.545        |
|      | Oct   | -0.16912       | 173.944              | 185.336        |
|      | Nov   | -0.02640       | 76.435               | 15.113         |
|      | Dec   | -0.50888       | 14.125               | 1.117          |
| 2007 | Jan   | -0.59746       | -54.186              | 1.491          |
|      | Feb   | -0.05485       | -90.510              | 9.990          |
|      | Mar   | 0.24223        | -130.686             | 27.452         |
|      | Apr   | 0.35491        | -142.061             | 89.233         |
|      | May   | 0.37538        | -80.521              | 265.927        |
|      | Jun   | 0.23577        | -34.181              | 159.843        |
|      | Jul   | -0.05908       | 35.544               | 156.171        |
|      | Aug   | -0.06314       | 75.490               | 215.428        |
|      | Sep   | -0.00125       | 122.082              | 238.400        |
|      | Oct   | -0.16259       | 169.991              | 179.849        |
|      | Nov   | -0.47279       | 102.468              | 15.089         |
|      | Dec   | -0.39837       | 14.577               | 0.236          |

ตารางที่ ข.1 ผลจากการประมวลผลของค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมิวิหทะเล Total Water Storage และปริมาณน้ำฝน (ต่อ)

| Year | Month | Delta SST (C°) | TWS from GRACE (mm.) | Rainfall (mm.) |
|------|-------|----------------|----------------------|----------------|
| 2008 | Jan   | -0.55002       | -40.004              | 11.091         |
|      | Feb   | -0.05054       | -78.790              | 25.394         |
|      | Mar   | 0.39793        | -117.266             | 36.108         |
|      | Apr   | 0.42238        | -117.836             | 134.120        |
|      | May   | 0.41314        | -65.133              | 186.621        |
|      | Jun   | 0.12042        | 1.642                | 176.016        |
|      | Jul   | 0.15305        | 53.115               | 188.294        |
|      | Aug   | 0.07245        | 115.705              | 183.697        |
|      | Sep   | 0.09740        | 144.410              | 298.464        |
|      | Oct   | -0.06498       | 151.046              | 171.015        |
|      | Nov   | -0.29962       | 143.381              | 46.297         |
|      | Dec   | -0.61426       | 37.356               | 4.552          |
| 2009 | Jan   | -0.40563       | -30.738              | 0.077          |
|      | Feb   | -0.01429       | -84.436              | 5.073          |
|      | Mar   | 0.43311        | -110.350             | 68.220         |
|      | Apr   | 0.40573        | -103.378             | 99.498         |
|      | May   | 0.59864        | -84.935              | 204.159        |
|      | Jun   | 0.35722        | -18.922              | 157.593        |
|      | Jul   | -0.07281       | 50.193               | 188.985        |
|      | Aug   | 0.08281        | 94.189               | 192.357        |
|      | Sep   | -0.02807       | 123.883              | 234.931        |
|      | Oct   | 0.03253        | 164.607              | 123.682        |
|      | Nov   | -0.29299       | 79.871               | 7.033          |
|      | Dec   | -0.41753       | 10.188               | 1.981          |

ตารางที่ ข.1 ผลจากการประมวลผลของค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมิวิวทะเล Total Water Storage และปริมาณน้ำฝน (ต่อ)

| Year | Month | Delta SST (C°) | TWS from GRACE (mm.) | Rainfall (mm.) |
|------|-------|----------------|----------------------|----------------|
| 2010 | Jan   | -0.42747       | -46.581              | 32.206         |
|      | Feb   | -0.19637       | -94.202              | 10.913         |
|      | Mar   | 0.11257        | -137.513             | 14.686         |
|      | Apr   | 0.37658        | -174.102             | 51.547         |
|      | May   | 0.27730        | -169.963             | 109.004        |
|      | Jun   | 0.12306        | -111.701             | 158.272        |
|      | Jul   | -0.11116       | -64.984              | 202.916        |
|      | Aug   | -0.13055       | 25.264               | 353.455        |
|      | Sep   | 0.02925        | 105.931              | 235.278        |
|      | Oct   | -0.14532       | 157.729              | 210.764        |
|      | Nov   | -0.32484       | 75.007               | 1.588          |
|      | Dec   | -0.45255       | 6.621                | 16.949         |
| 2011 | Jan   | -0.35208       | -71.400              | 2.495          |
|      | Feb   | 0.08571        | -124.364             | 15.460         |
|      | Mar   | 0.18787        | -126.166             | 77.012         |
|      | Apr   | 0.44761        | -151.382             | 109.647        |
|      | May   | 0.41603        | -84.868              | 220.424        |
|      | Jun   | 0.13614        | 4.224                | 190.864        |
|      | Jul   | -0.06978       | 84.522               | 243.425        |
|      | Aug   | -0.07896       | 155.212              | 282.605        |
|      | Sep   | 0.02354        | 220.079              | 326.949        |
|      | Oct   | 0.01335        | 237.071              | 171.553        |
|      | Nov   | -0.26698       | 199.501              | 9.439          |
|      | Dec   | -0.53873       | 28.062               | 0.863          |

ตารางที่ ข.1 ผลจากการประมวลผลของค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวทะเล Total Water Storage และปริมาณน้ำฝน (ต่อ)

| Year | Month | Delta SST (C°) | TWS from GRACE (mm.) | Rainfall (mm.) |
|------|-------|----------------|----------------------|----------------|
| 2012 | Jan   | -0.22770       | -8.278               | 22.882         |
|      | Feb   | 0.09224        | -60.443              | 13.636         |
|      | Mar   | 0.19313        | -94.516              | 34.491         |
|      | Apr   | 0.47457        | -101.805             | 84.143         |
|      | May   | 0.36829        | -72.060              | 227.888        |
|      | Jun   | 0.16137        | -16.506              | 122.674        |
|      | Jul   | -0.00720       | 45.414               | 190.635        |
|      | Aug   | 0.03389        | 92.106               | 202.222        |
|      | Sep   | 0.16840        | 124.657              | 278.384        |
|      | Oct   | -0.00357       | 115.500              | 85.503         |
|      | Nov   | -0.20427       | 72.727               | 56.334         |
|      | Dec   | -0.41419       | 16.646               | 4.994          |
| 2013 | Jan   | -0.63570       | -34.311              | 23.931         |
|      | Feb   | -0.06273       | -80.303              | 6.852          |
|      | Mar   | 0.32184        | -131.800             | 30.462         |
|      | Apr   | 0.50310        | -157.462             | 55.254         |
|      | May   | 0.44096        | -127.754             | 142.912        |
|      | Jun   | 0.10381        | -70.743              | 178.317        |
|      | Jul   | 0.02198        | 6.164                | 272.915        |
|      | Aug   | 0.01800        | 90.760               | 206.502        |
|      | Sep   | 0.15032        | 153.600              | 297.646        |
|      | Oct   | -0.21794       | 167.445              | 141.235        |
|      | Nov   | -0.22511       | 115.430              | 33.010         |
|      | Dec   | -0.41989       | 32.889               | 24.179         |

ตารางที่ ข.1 ผลจากการประมวลผลของค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวทะเล Total Water Storage และปริมาณน้ำฝน (ต่อ)

| Year | Month | Delta SST (C°) | TWS from GRACE (mm.) | Rainfall (mm.) |
|------|-------|----------------|----------------------|----------------|
| 2014 | Jan   | -0.53234       | -4.663               | 0.000          |
|      | Feb   | -0.02703       | -50.230              | 2.591          |
|      | Mar   | 0.24378        | -102.784             | 19.470         |
|      | Apr   | 0.51033        | -125.555             | 77.245         |
|      | May   | 0.56210        | -116.306             | 123.645        |
|      | Jun   | 0.22675        | -80.257              | 179.223        |
|      | Jul   | -0.15170       | 9.261                | 227.446        |
|      | Aug   | 0.13748        | 88.902               | 233.863        |
|      | Sep   | 0.10988        | 119.952              | 210.726        |
|      | Oct   | -0.04564       | 127.348              | 108.489        |
|      | Nov   | -0.19582       | 82.728               | 45.023         |
|      | Dec   | -0.51151       | 32.690               | 2.624          |
| 2015 | Jan   | -0.47098       | -45.955              | 21.615         |
|      | Feb   | -0.03740       | -146.916             | 19.929         |
|      | Mar   | 0.12254        | -116.258             | 47.814         |
|      | Apr   | 0.52909        | -161.562             | 65.132         |
|      | May   | 0.43753        | -157.300             | 79.955         |
|      | Jun   | 0.27244        | -90.230              | 108.082        |
|      | Jul   | 0.14696        | -11.547              | 188.734        |
|      | Aug   | 0.06717        | 51.226               | 188.828        |
|      | Sep   | 0.11503        | 91.985               | 216.318        |
|      | Oct   | -0.18534       | 99.920               | 131.759        |
|      | Nov   | -0.10553       | 61.240               | 36.155         |
|      | Dec   | -0.56767       | -31.221              | 19.130         |





ภาคผนวก ค  
ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับปริมาณน้ำฝนและ TWS  
ในประเทศไทยตอนบน

ตารางที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | 0.330  | -3               | 0.555  | 6                | -0.245 |
| -11              | 0.054  | -2               | 0.579  | 7                | 0.111  |
| -10              | -0.309 | -1               | 0.530  | 8                | 0.383  |
| -9               | -0.650 | 0                | -0.669 | 9                | 0.549  |
| -8               | -0.750 | 1                | 0.055  | 10               | 0.583  |
| -7               | -0.588 | 2                | -0.362 | 11               | 0.550  |
| -6               | -0.262 | 3                | -0.701 | 12               | 0.377  |
| -5               | 0.117  | 4                | -0.751 |                  |        |
| -4               | 0.411  | 5                | -0.572 |                  |        |

ตารางที่ ค.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | -0.399 | -3               | 0.543  | 6                | 0.467  |
| -11              | -0.604 | -2               | 0.255  | 7                | 0.690  |
| -10              | -0.690 | -1               | -0.086 | 8                | 0.708  |
| -9               | -0.582 | 0                | -0.413 | 9                | 0.541  |
| -8               | -0.290 | 1                | -0.655 | 10               | 0.268  |
| -7               | 0.101  | 2                | -0.732 | 11               | -0.061 |
| -6               | 0.475  | 3                | -0.603 | 12               | -0.376 |
| -5               | 0.710  | 4                | -0.293 |                  |        |
| -4               | 0.725  | 5                | 0.097  |                  |        |



ตารางที่ ง.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวทะเลและ ENSO Index

| Year | Month | SSTA (C°) | Nino 3.4 | Nino 4 |
|------|-------|-----------|----------|--------|
| 2006 | Jan   | 0.01156   | -0.930   | -0.620 |
|      | Feb   | -0.06152  | -0.640   | -0.710 |
|      | Mar   | -0.05918  | -0.650   | -0.400 |
|      | Apr   | -0.03707  | -0.190   | -0.120 |
|      | May   | 0.05532   | 0.060    | 0.120  |
|      | Jun   | -0.01102  | 0.200    | 0.310  |
|      | Jul   | -0.12566  | 0.130    | 0.270  |
|      | Aug   | -0.13768  | 0.400    | 0.540  |
|      | Sep   | 0.05006   | 0.620    | 0.710  |
|      | Oct   | -0.03254  | 0.780    | 0.780  |
|      | Nov   | 0.18972   | 1.080    | 1.000  |
|      | Dec   | 0.15562   | 1.190    | 0.980  |
| 2007 | Jan   | 0.07135   | 0.690    | 0.630  |
|      | Feb   | 0.05386   | 0.090    | 0.520  |
|      | Mar   | 0.06879   | -0.040   | 0.380  |
|      | Apr   | -0.02001  | 0.000    | 0.200  |
|      | May   | -0.10052  | -0.280   | 0.070  |
|      | Jun   | -0.04272  | -0.100   | 0.140  |
|      | Jul   | -0.08469  | -0.430   | 0.010  |
|      | Aug   | -0.15686  | -0.620   | -0.100 |
|      | Sep   | -0.25262  | -0.950   | -0.570 |
|      | Oct   | -0.31871  | -1.470   | -0.800 |
|      | Nov   | -0.54028  | -1.590   | -1.210 |
|      | Dec   | -0.45007  | -1.600   | -1.190 |

ตารางที่ ง.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวทะเลและ ENSO Index (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Nino 3.4 | Nino 4 |
|------|-------|-----------|----------|--------|
| 2008 | Jan   | -0.48723  | -1.860   | -1.680 |
|      | Feb   | -0.47050  | -1.890   | -1.670 |
|      | Mar   | -0.32935  | -1.150   | -1.350 |
|      | Apr   | -0.32832  | -0.950   | -1.060 |
|      | May   | -0.37445  | -0.670   | -0.890 |
|      | Jun   | -0.42235  | -0.480   | -0.760 |
|      | Jul   | -0.24654  | -0.030   | -0.550 |
|      | Aug   | -0.19183  | 0.030    | -0.500 |
|      | Sep   | -0.17283  | -0.280   | -0.550 |
|      | Oct   | -0.14998  | -0.360   | -0.370 |
|      | Nov   | -0.20174  | -0.350   | -0.550 |
|      | Dec   | -0.32181  | -0.830   | -0.770 |
| 2009 | Jan   | -0.22799  | -1.030   | -0.880 |
|      | Feb   | -0.17914  | -0.680   | -0.730 |
|      | Mar   | -0.00315  | -0.550   | -0.400 |
|      | Apr   | -0.03385  | -0.270   | -0.130 |
|      | May   | 0.11630   | 0.180    | 0.200  |
|      | Jun   | 0.30312   | 0.470    | 0.360  |
|      | Jul   | 0.26790   | 0.720    | 0.400  |
|      | Aug   | 0.34615   | 0.710    | 0.530  |
|      | Sep   | 0.23629   | 0.750    | 0.580  |
|      | Oct   | 0.34774   | 0.940    | 0.990  |
|      | Nov   | 0.29960   | 1.540    | 1.250  |
|      | Dec   | 0.38926   | 1.720    | 1.180  |

ตารางที่ ง.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวทะเลและ ENSO Index (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Nino 3.4 | Nino 4 |
|------|-------|-----------|----------|--------|
| 2010 | Jan   | 0.49527   | 1.500    | 1.210  |
|      | Feb   | 0.32441   | 1.220    | 1.000  |
|      | Mar   | 0.18027   | 1.080    | 1.020  |
|      | Apr   | 0.11314   | 0.590    | 0.740  |
|      | May   | -0.06824  | -0.170   | 0.240  |
|      | Jun   | -0.13919  | -0.650   | -0.210 |
|      | Jul   | -0.24189  | -1.130   | -0.710 |
|      | Aug   | -0.36757  | -1.320   | -1.200 |
|      | Sep   | -0.44002  | -1.650   | -1.560 |
|      | Oct   | -0.48879  | -1.680   | -1.600 |
|      | Nov   | -0.57547  | -1.580   | -1.570 |
|      | Dec   | -0.55601  | -1.620   | -1.600 |
| 2011 | Jan   | -0.39759  | -1.640   | -1.580 |
|      | Feb   | -0.24154  | -1.270   | -1.150 |
|      | Mar   | -0.31479  | -0.980   | -0.770 |
|      | Apr   | -0.29364  | -0.760   | -0.640 |
|      | May   | -0.32675  | -0.430   | -0.510 |
|      | Jun   | -0.38226  | -0.180   | -0.370 |
|      | Jul   | -0.42740  | -0.260   | -0.330 |
|      | Aug   | -0.50410  | -0.640   | -0.360 |
|      | Sep   | -0.56969  | -0.740   | -0.640 |
|      | Oct   | -0.46179  | -0.970   | -0.720 |
|      | Nov   | -0.48684  | -1.050   | -0.770 |
|      | Dec   | -0.56587  | -1.040   | -1.100 |

ตารางที่ ง.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวทะเลและ ENSO Index (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Nino 3.4 | Nino 4 |
|------|-------|-----------|----------|--------|
| 2012 | Jan   | -0.27758  | -1.080   | -1.210 |
|      | Feb   | -0.10160  | -0.690   | -0.900 |
|      | Mar   | -0.15951  | -0.580   | -0.660 |
|      | Apr   | -0.11149  | -0.390   | -0.340 |
|      | May   | -0.20071  | -0.050   | -0.260 |
|      | Jun   | -0.21968  | 0.310    | -0.110 |
|      | Jul   | -0.22132  | 0.530    | 0.060  |
|      | Aug   | -0.18941  | 0.730    | 0.420  |
|      | Sep   | -0.10976  | 0.510    | 0.430  |
|      | Oct   | -0.01852  | 0.290    | 0.500  |
|      | Nov   | 0.02610   | 0.360    | 0.540  |
|      | Dec   | 0.08264   | -0.110   | 0.230  |
| 2013 | Jan   | -0.02311  | -0.410   | -0.020 |
|      | Feb   | -0.04843  | -0.400   | -0.040 |
|      | Mar   | 0.05613   | -0.220   | -0.240 |
|      | Apr   | 0.12738   | -0.100   | -0.030 |
|      | May   | 0.12020   | -0.270   | -0.080 |
|      | Jun   | 0.02413   | -0.210   | -0.080 |
|      | Jul   | 0.08271   | -0.310   | -0.040 |
|      | Aug   | 0.07438   | -0.280   | 0.030  |
|      | Sep   | 0.14811   | -0.070   | 0.010  |
|      | Oct   | 0.01775   | -0.330   | 0.040  |
|      | Nov   | 0.03752   | 0.010    | 0.270  |
|      | Dec   | 0.11187   | -0.040   | 0.150  |

ตารางที่ ง.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวทะเลและ ENSO Index (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Nino 3.4 | Nino 4 |
|------|-------|-----------|----------|--------|
| 2014 | Jan   | 0.09311   | -0.510   | -0.170 |
|      | Feb   | 0.10999   | -0.550   | 0.270  |
|      | Mar   | 0.11790   | -0.220   | 0.520  |
|      | Apr   | 0.18411   | 0.240    | 0.630  |
|      | May   | 0.29995   | 0.460    | 0.770  |
|      | Jun   | 0.33677   | 0.460    | 0.590  |
|      | Jul   | 0.22197   | 0.180    | 0.290  |
|      | Aug   | 0.33576   | 0.200    | 0.460  |
|      | Sep   | 0.36247   | 0.450    | 0.650  |
|      | Oct   | 0.40262   | 0.490    | 0.640  |
|      | Nov   | 0.45517   | 0.850    | 0.880  |
|      | Dec   | 0.43513   | 0.780    | 0.910  |
| 2015 | Jan   | 0.49395   | 0.530    | 0.860  |
|      | Feb   | 0.49926   | 0.560    | 1.020  |
|      | Mar   | 0.37962   | 0.580    | 1.130  |
|      | Apr   | 0.45534   | 0.780    | 1.230  |
|      | May   | 0.44712   | 1.030    | 1.090  |
|      | Jun   | 0.53752   | 1.320    | 1.090  |
|      | Jul   | 0.73334   | 1.600    | 1.000  |
|      | Aug   | 0.78491   | 2.070    | 0.980  |
|      | Sep   | 0.81705   | 2.280    | 1.040  |
|      | Oct   | 0.70439   | 2.460    | 1.120  |
|      | Nov   | 0.84215   | 2.950    | 1.670  |
|      | Dec   | 0.75225   | 2.820    | 1.630  |



ภาคผนวก จ  
การประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
และค่าความผิดปกติของ TWS ในประเทศไทยตอนบน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ จ.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล Total Water Storage Anomaly และค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน

| Year | Month | SSTA (C°) | TWSA (mm.) | Rainfall Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|------------|------------------------|
| 2006 | Jan   | 0.01156   | -21.776    | 6.822                  |
|      | Feb   | -0.06152  | -16.381    | 10.121                 |
|      | Mar   | -0.05918  | -11.590    | 0.565                  |
|      | Apr   | -0.03707  | -8.664     | 12.798                 |
|      | May   | 0.05532   | -3.372     | 11.239                 |
|      | Jun   | -0.01102  | -2.018     | 9.804                  |
|      | Jul   | -0.12566  | 1.838      | 21.414                 |
|      | Aug   | -0.13768  | 6.823      | 23.507                 |
|      | Sep   | 0.05006   | 6.324      | 21.312                 |
|      | Oct   | -0.03254  | 10.323     | 24.605                 |
|      | Nov   | 0.18972   | -0.062     | 19.160                 |
|      | Dec   | 0.15562   | -5.565     | 18.770                 |
| 2007 | Jan   | 0.07135   | -6.832     | 7.311                  |
|      | Feb   | 0.05386   | -8.683     | 3.556                  |
|      | Mar   | 0.06879   | -3.989     | 1.241                  |
|      | Apr   | -0.02001  | -3.543     | -5.085                 |
|      | May   | -0.10052  | 3.707      | 11.394                 |
|      | Jun   | -0.04272  | 3.305      | 9.407                  |
|      | Jul   | -0.08469  | 5.739      | 7.239                  |
|      | Aug   | -0.15686  | 3.354      | 7.622                  |
|      | Sep   | -0.25262  | -5.507     | 9.246                  |
|      | Oct   | -0.31871  | -4.242     | 14.658                 |
|      | Nov   | -0.54028  | -4.861     | -1.826                 |
|      | Dec   | -0.45007  | -2.810     | 0.015                  |

ตารางที่ จ.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล Total Water Storage Anomaly และค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | TWSA (mm.) | Rainfall Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|------------|------------------------|
| 2008 | Jan   | -0.48723  | 2.347      | 3.783                  |
|      | Feb   | -0.47050  | 4.414      | 5.967                  |
|      | Mar   | -0.32935  | 5.955      | 5.786                  |
|      | Apr   | -0.32832  | 12.344     | 7.855                  |
|      | May   | -0.37445  | 19.895     | 11.121                 |
|      | Jun   | -0.42235  | 25.519     | 11.976                 |
|      | Jul   | -0.24654  | 28.991     | 13.562                 |
|      | Aug   | -0.19183  | 30.604     | 6.089                  |
|      | Sep   | -0.17283  | 23.478     | 16.280                 |
|      | Oct   | -0.14998  | 11.051     | 12.739                 |
|      | Nov   | -0.20174  | 16.267     | 14.674                 |
|      | Dec   | -0.32181  | 13.959     | 14.539                 |
| 2009 | Jan   | -0.22799  | 15.850     | 11.117                 |
|      | Feb   | -0.17914  | 21.242     | 15.203                 |
|      | Mar   | -0.00315  | 14.283     | 10.364                 |
|      | Apr   | -0.03385  | 18.592     | 8.135                  |
|      | May   | 0.11630   | 18.877     | 9.122                  |
|      | Jun   | 0.30312   | 20.771     | 6.187                  |
|      | Jul   | 0.26790   | 21.783     | 9.724                  |
|      | Aug   | 0.34615   | 14.403     | 7.081                  |
|      | Sep   | 0.23629   | 7.096      | 1.332                  |
|      | Oct   | 0.34774   | 3.200      | -4.327                 |
|      | Nov   | 0.29960   | -6.731     | -11.859                |
|      | Dec   | 0.38926   | -10.452    | -9.352                 |

ตารางที่ จ.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล Total Water Storage Anomaly และค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน (ต่อ)


| Year | Month | SSTA (C°) | TWSA (mm.) | Rainfall Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|------------|------------------------|
| 2010 | Jan   | 0.49527   | -7.390     | -7.534                 |
|      | Feb   | 0.32441   | -7.830     | -3.918                 |
|      | Mar   | 0.18027   | -5.702     | -7.092                 |
|      | Apr   | 0.11314   | -12.281    | -9.424                 |
|      | May   | -0.06824  | -29.293    | -17.751                |
|      | Jun   | -0.13919  | -48.152    | -20.145                |
|      | Jul   | -0.24189  | -69.144    | -19.641                |
|      | Aug   | -0.36757  | -76.075    | 3.593                  |
|      | Sep   | -0.44002  | -66.613    | 6.824                  |
|      | Oct   | -0.48879  | -49.033    | 23.669                 |
|      | Nov   | -0.57547  | -31.386    | 31.089                 |
|      | Dec   | -0.55601  | -18.767    | 35.978                 |
| 2011 | Jan   | -0.39759  | -17.387    | 30.522                 |
|      | Feb   | -0.24154  | -23.648    | 8.046                  |
|      | Mar   | -0.31479  | -17.467    | 15.203                 |
|      | Apr   | -0.29364  | -17.475    | 8.041                  |
|      | May   | -0.32675  | -7.043     | 19.191                 |
|      | Jun   | -0.38226  | 10.669     | 19.734                 |
|      | Jul   | -0.42740  | 24.218     | 31.941                 |
|      | Aug   | -0.50410  | 44.094     | 42.609                 |
|      | Sep   | -0.56969  | 60.819     | 50.731                 |
|      | Oct   | -0.46179  | 69.203     | 51.358                 |
|      | Nov   | -0.48684  | 80.597     | 41.516                 |
|      | Dec   | -0.56587  | 66.089     | 38.292                 |

ตารางที่ จ.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล Total Water Storage Anomaly และค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | TWSA (mm.) | Rainfall Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|------------|------------------------|
| 2012 | Jan   | -0.27758  | 54.678     | 29.482                 |
|      | Feb   | -0.10160  | 44.561     | 18.511                 |
|      | Mar   | -0.15951  | 27.532     | 3.302                  |
|      | Apr   | -0.11149  | 34.557     | -1.576                 |
|      | May   | -0.20071  | 32.591     | 9.510                  |
|      | Jun   | -0.21968  | 29.090     | 1.369                  |
|      | Jul   | -0.22132  | 24.949     | 1.380                  |
|      | Aug   | -0.18941  | 16.655     | -1.045                 |
|      | Sep   | -0.10976  | 6.178      | 6.069                  |
|      | Oct   | -0.01852  | -10.724    | -3.395                 |
|      | Nov   | 0.02610   | -21.246    | -6.664                 |
|      | Dec   | 0.08264   | -22.832    | 2.165                  |
| 2013 | Jan   | -0.02311  | -16.896    | 2.328                  |
|      | Feb   | -0.04843  | -1.460     | 3.623                  |
|      | Mar   | 0.05613   | 3.808      | -4.163                 |
|      | Apr   | 0.12738   | -0.226     | 0.486                  |
|      | May   | 0.12020   | -9.753     | -10.407                |
|      | Jun   | 0.02413   | -21.848    | -9.962                 |
|      | Jul   | 0.08271   | -26.405    | 3.588                  |
|      | Aug   | 0.07438   | -22.374    | 3.006                  |
|      | Sep   | 0.14811   | -11.748    | 14.003                 |
|      | Oct   | 0.01775   | -1.978     | 18.642                 |
|      | Nov   | 0.03752   | 7.987      | 25.648                 |
|      | Dec   | 0.11187   | 12.052     | 28.401                 |

ตารางที่ จ.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล Total Water Storage Anomaly และค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | TWSA (mm.) | Rainfall Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|------------|------------------------|
| 2014 | Jan   | 0.09311   | 18.364     | 10.863                 |
|      | Feb   | 0.10999   | 27.850     | 10.734                 |
|      | Mar   | 0.11790   | 29.771     | -2.094                 |
|      | Apr   | 0.18411   | 29.653     | -3.069                 |
|      | May   | 0.29995   | 15.576     | -13.286                |
|      | Jun   | 0.33677   | -6.058     | -15.887                |
|      | Jul   | 0.22197   | -18.718    | -5.927                 |
|      | Aug   | 0.33576   | -21.876    | -1.239                 |
|      | Sep   | 0.36247   | -22.323    | -2.897                 |
|      | Oct   | 0.40262   | -20.200    | -7.380                 |
|      | Nov   | 0.45517   | -17.636    | 4.839                  |
|      | Dec   | 0.43513   | -13.475    | 3.848                  |
| 2015 | Jan   | 0.49395   | -9.274     | -2.509                 |
|      | Feb   | 0.49926   | -13.577    | -4.308                 |
|      | Mar   | 0.37962   | -6.849     | 2.074                  |
|      | Apr   | 0.45534   | -16.855    | 4.538                  |
|      | May   | 0.44712   | -30.857    | -14.963                |
|      | Jun   | 0.53752   | -31.170    | -25.828                |
|      | Jul   | 0.73334   | -44.116    | -25.923                |
|      | Aug   | 0.78491   | -47.692    | -31.630                |
|      | Sep   | 0.81705   | -44.882    | -37.080                |
|      | Oct   | 0.70439   | -47.122    | -35.666                |
|      | Nov   | 0.84215   | -46.276    | -17.643                |
|      | Dec   | 0.75225   | -49.608    | -4.027                 |



ภาคผนวก ฉ  
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
และค่าความผิดปกติของ TWS ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ฉ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
ในช่วงเวลา 10 ปี ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| -12                 | -0.264 | -3                  | -0.611 | 6                   | -0.197 |
| -11                 | -0.296 | -2                  | -0.649 | 7                   | -0.150 |
| -10                 | -0.341 | -1                  | -0.675 | 8                   | -0.130 |
| -9                  | -0.383 | 0                   | -0.669 | 9                   | -0.126 |
| -8                  | -0.416 | 1                   | -0.623 | 10                  | -0.109 |
| -7                  | -0.442 | 2                   | -0.549 | 11                  | -0.090 |
| -6                  | -0.486 | 3                   | -0.444 | 12                  | -0.073 |
| -5                  | -0.539 | 4                   | -0.337 |                     |        |
| -4                  | -0.576 | 5                   | -0.253 |                     |        |

ตารางที่ ฉ.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
ในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF   |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|-------|
| -12                 | -0.046 | -3                  | -0.542 | 6                   | 0.360 |
| -11                 | -0.066 | -2                  | -0.490 | 7                   | 0.361 |
| -10                 | -0.115 | -1                  | -0.431 | 8                   | 0.330 |
| -9                  | -0.187 | 0                   | -0.353 | 9                   | 0.322 |
| -8                  | -0.275 | 1                   | -0.177 | 10                  | 0.306 |
| -7                  | -0.368 | 2                   | -0.014 | 11                  | 0.271 |
| -6                  | -0.453 | 3                   | 0.143  | 12                  | 0.201 |
| -5                  | -0.548 | 4                   | 0.265  |                     |       |
| -4                  | -0.562 | 5                   | 0.352  |                     |       |



ตารางที่ ฉ.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
ในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| -12                 | -0.119 | -3                  | -0.605 | 6                   | -0.413 |
| -11                 | -0.159 | -2                  | -0.690 | 7                   | -0.351 |
| -10                 | -0.220 | -1                  | -0.752 | 8                   | -0.312 |
| -9                  | -0.296 | 0                   | -0.808 | 9                   | -0.295 |
| -8                  | -0.350 | 1                   | -0.792 | 10                  | -0.273 |
| -7                  | -0.389 | 2                   | -0.747 | 11                  | -0.239 |
| -6                  | -0.443 | 3                   | -0.655 | 12                  | -0.199 |
| -5                  | -0.491 | 4                   | -0.559 |                     |        |
| -4                  | -0.550 | 5                   | -0.475 |                     |        |

ตารางที่ ฉ.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของ TWS  
ในช่วงเวลา 10 ปี ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF   |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|-------|
| -12                 | -0.526 | -3                  | -0.493 | 6                   | 0.039 |
| -11                 | -0.556 | -2                  | -0.467 | 7                   | 0.070 |
| -10                 | -0.581 | -1                  | -0.437 | 8                   | 0.100 |
| -9                  | -0.592 | 0                   | -0.390 | 9                   | 0.125 |
| -8                  | -0.595 | 1                   | -0.297 | 10                  | 0.144 |
| -7                  | -0.580 | 2                   | -0.208 | 11                  | 0.169 |
| -6                  | -0.559 | 3                   | -0.129 | 12                  | 0.183 |
| -5                  | -0.535 | 4                   | -0.064 |                     |       |
| -4                  | -0.511 | 5                   | -0.006 |                     |       |

ตารางที่ ฉ.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของ TWS ในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF   |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|-------|
| -12              | -0.572 | -3               | -0.252 | 6                | 0.305 |
| -11              | -0.618 | -2               | -0.103 | 7                | 0.267 |
| -10              | -0.665 | -1               | 0.054  | 8                | 0.247 |
| -9               | -0.699 | 0                | 0.198  | 9                | 0.256 |
| -8               | -0.715 | 1                | 0.320  | 10               | 0.248 |
| -7               | -0.699 | 2                | 0.395  | 11               | 0.246 |
| -6               | -0.636 | 3                | 0.418  | 12               | 0.224 |
| -5               | -0.527 | 4                | 0.395  |                  |       |
| -4               | -0.390 | 5                | 0.348  |                  |       |

ตารางที่ ฉ.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าความผิดปกติของ TWS ในช่วงเวลาปี ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | -0.223 | -3               | -0.705 | 6                | -0.257 |
| -11              | -0.303 | -2               | -0.729 | 7                | -0.211 |
| -10              | -0.393 | -1               | -0.745 | 8                | -0.176 |
| -9               | -0.463 | 0                | -0.735 | 9                | -0.164 |
| -8               | -0.525 | 1                | -0.667 | 10               | -0.153 |
| -7               | -0.562 | 2                | -0.582 | 11               | -0.139 |
| -6               | -0.595 | 3                | -0.492 | 12               | -0.128 |
| -5               | -0.634 | 4                | -0.406 |                  |        |
| -4               | -0.670 | 5                | -0.322 |                  |        |

ภาคผนวก ช  
การประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
และค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่รอยภาคของประเทศไทยตอนบน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ช.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2006 | Jan   | 0.01156   | 12.567                    | 5.926                   |
|      | Feb   | -0.06152  | 13.140                    | 4.297                   |
|      | Mar   | -0.05918  | -2.428                    | 1.555                   |
|      | Apr   | -0.03707  | 12.565                    | 1.085                   |
|      | May   | 0.05532   | 23.159                    | 2.845                   |
|      | Jun   | -0.01102  | 25.793                    | 4.079                   |
|      | Jul   | -0.12566  | 37.826                    | 8.138                   |
|      | Aug   | -0.13768  | 47.843                    | 15.560                  |
|      | Sep   | 0.05006   | 53.132                    | 25.007                  |
|      | Oct   | -0.03254  | 48.643                    | 32.824                  |
|      | Nov   | 0.18972   | 32.123                    | 28.459                  |
|      | Dec   | 0.15562   | 27.069                    | 21.626                  |
| 2007 | Jan   | 0.07135   | 14.925                    | 11.111                  |
|      | Feb   | 0.05386   | 3.653                     | 2.550                   |
|      | Mar   | 0.06879   | -5.754                    | 3.510                   |
|      | Apr   | -0.02001  | -8.753                    | 2.607                   |
|      | May   | -0.10052  | 15.321                    | 3.688                   |
|      | Jun   | -0.04272  | 17.650                    | 3.647                   |
|      | Jul   | -0.08469  | 12.584                    | 0.968                   |
|      | Aug   | -0.15686  | 8.057                     | -2.042                  |
|      | Sep   | -0.25262  | 12.187                    | -9.395                  |
|      | Oct   | -0.31871  | 16.552                    | -6.698                  |
|      | Nov   | -0.54028  | -5.038                    | -4.863                  |
|      | Dec   | -0.45007  | -7.437                    | -1.647                  |

ตารางที่ ช.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2008 | Jan   | -0.48723  | 0.782                     | 4.163                   |
|      | Feb   | -0.47050  | 8.655                     | 1.691                   |
|      | Mar   | -0.32935  | 5.577                     | 2.427                   |
|      | Apr   | -0.32832  | 6.192                     | 2.880                   |
|      | May   | -0.37445  | 3.146                     | 2.782                   |
|      | Jun   | -0.42235  | 2.761                     | 4.829                   |
|      | Jul   | -0.24654  | 3.998                     | 6.188                   |
|      | Aug   | -0.19183  | -5.127                    | 5.831                   |
|      | Sep   | -0.17283  | -4.798                    | 3.321                   |
|      | Oct   | -0.14998  | -1.707                    | -0.226                  |
|      | Nov   | -0.20174  | 4.593                     | 1.938                   |
|      | Dec   | -0.32181  | 6.368                     | 2.350                   |
| 2009 | Jan   | -0.22799  | 1.967                     | 3.738                   |
|      | Feb   | -0.17914  | 7.106                     | 4.094                   |
|      | Mar   | -0.00315  | 10.532                    | -0.346                  |
|      | Apr   | -0.03385  | 1.034                     | -0.637                  |
|      | May   | 0.11630   | 0.150                     | -0.472                  |
|      | Jun   | 0.30312   | 1.429                     | 0.773                   |
|      | Jul   | 0.26790   | -0.863                    | 0.892                   |
|      | Aug   | 0.34615   | -5.580                    | -7.063                  |
|      | Sep   | 0.23629   | -14.522                   | -14.461                 |
|      | Oct   | 0.34774   | -14.701                   | -17.579                 |
|      | Nov   | 0.29960   | -20.133                   | -19.525                 |
|      | Dec   | 0.38926   | -22.389                   | -12.933                 |

ตารางที่ ช.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2010 | Jan   | 0.49527   | -15.127                   | -4.350                  |
|      | Feb   | 0.32441   | -10.310                   | -2.039                  |
|      | Mar   | 0.18027   | -6.190                    | 0.251                   |
|      | Apr   | 0.11314   | -11.291                   | 0.448                   |
|      | May   | -0.06824  | -11.372                   | -3.399                  |
|      | Jun   | -0.13919  | -21.141                   | -5.618                  |
|      | Jul   | -0.24189  | -20.067                   | -8.967                  |
|      | Aug   | -0.36757  | 5.089                     | -3.871                  |
|      | Sep   | -0.44002  | 11.075                    | 0.255                   |
|      | Oct   | -0.48879  | 28.993                    | 4.078                   |
|      | Nov   | -0.57547  | 28.749                    | 7.109                   |
|      | Dec   | -0.55601  | 42.299                    | 2.139                   |
| 2011 | Jan   | -0.39759  | 37.185                    | 3.270                   |
|      | Feb   | -0.24154  | 12.539                    | 3.431                   |
|      | Mar   | -0.31479  | 22.333                    | 4.927                   |
|      | Apr   | -0.29364  | 19.743                    | 6.629                   |
|      | May   | -0.32675  | 38.092                    | 9.367                   |
|      | Jun   | -0.38226  | 45.342                    | 13.578                  |
|      | Jul   | -0.42740  | 58.034                    | 18.627                  |
|      | Aug   | -0.50410  | 71.265                    | 38.073                  |
|      | Sep   | -0.56969  | 75.265                    | 49.023                  |
|      | Oct   | -0.46179  | 67.863                    | 52.917                  |
|      | Nov   | -0.48684  | 51.463                    | 49.309                  |
|      | Dec   | -0.56587  | 40.223                    | 31.845                  |

ตารางที่ ช.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2012 | Jan   | -0.27758  | 28.533                    | 14.897                  |
|      | Feb   | -0.10160  | 15.625                    | 5.285                   |
|      | Mar   | -0.15951  | -1.267                    | 2.586                   |
|      | Apr   | -0.11149  | -2.984                    | 0.192                   |
|      | May   | -0.20071  | 14.153                    | 1.576                   |
|      | Jun   | -0.21968  | 10.267                    | 0.865                   |
|      | Jul   | -0.22132  | 13.497                    | -0.441                  |
|      | Aug   | -0.18941  | 9.080                     | -5.884                  |
|      | Sep   | -0.10976  | 14.827                    | -7.960                  |
|      | Oct   | -0.01852  | 7.176                     | -12.153                 |
|      | Nov   | 0.02610   | -3.065                    | -11.977                 |
|      | Dec   | 0.08264   | 1.889                     | -7.343                  |
| 2013 | Jan   | -0.02311  | 1.292                     | -6.961                  |
|      | Feb   | -0.04843  | 6.308                     | -2.761                  |
|      | Mar   | 0.05613   | 0.694                     | -2.342                  |
|      | Apr   | 0.12738   | 1.663                     | -2.984                  |
|      | May   | 0.12020   | -12.115                   | -4.497                  |
|      | Jun   | 0.02413   | -11.155                   | -6.698                  |
|      | Jul   | 0.08271   | -3.798                    | -8.333                  |
|      | Aug   | 0.07438   | 0.376                     | -11.274                 |
|      | Sep   | 0.14811   | 5.977                     | -12.737                 |
|      | Oct   | 0.01775   | 11.351                    | -11.270                 |
|      | Nov   | 0.03752   | 22.498                    | -9.888                  |
|      | Dec   | 0.11187   | 25.262                    | -6.423                  |

ตารางที่ ข.1 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2014 | Jan   | 0.09311   | 13.336                    | -3.850                  |
|      | Feb   | 0.10999   | 7.572                     | -3.450                  |
|      | Mar   | 0.11790   | -1.185                    | -3.241                  |
|      | Apr   | 0.18411   | -0.940                    | -3.690                  |
|      | May   | 0.29995   | -6.886                    | -3.557                  |
|      | Jun   | 0.33677   | -12.815                   | -4.412                  |
|      | Jul   | 0.22197   | -4.756                    | -4.705                  |
|      | Aug   | 0.33576   | 2.069                     | -8.606                  |
|      | Sep   | 0.36247   | -3.840                    | -11.452                 |
|      | Oct   | 0.40262   | -8.790                    | -17.338                 |
|      | Nov   | 0.45517   | 0.038                     | -17.396                 |
|      | Dec   | 0.43513   | 1.049                     | -14.147                 |
| 2015 | Jan   | 0.49395   | 0.398                     | -12.497                 |
|      | Feb   | 0.49926   | -5.702                    | -6.421                  |
|      | Mar   | 0.37962   | 4.856                     | -6.953                  |
|      | Apr   | 0.45534   | 10.687                    | -6.624                  |
|      | May   | 0.44712   | -8.643                    | -6.893                  |
|      | Jun   | 0.53752   | -19.066                   | -8.764                  |
|      | Jul   | 0.73334   | -25.552                   | -11.645                 |
|      | Aug   | 0.78491   | -31.060                   | -18.738                 |
|      | Sep   | 0.81705   | -41.456                   | -28.807                 |
|      | Oct   | 0.70439   | -46.252                   | -33.996                 |
|      | Nov   | 0.84215   | -30.493                   | -33.491                 |
|      | Dec   | 0.75225   | -14.485                   | -27.967                 |



ตารางที่ ช.2 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2006 | Jan   | 0.01156   | -2.565                    | -10.920                 |
|      | Feb   | -0.06152  | 0.266                     | -1.353                  |
|      | Mar   | -0.05918  | -3.805                    | -0.270                  |
|      | Apr   | -0.03707  | 10.923                    | -0.092                  |
|      | May   | 0.05532   | 1.081                     | -0.242                  |
|      | Jun   | -0.01102  | -5.114                    | -0.751                  |
|      | Jul   | -0.12566  | 3.034                     | -0.257                  |
|      | Aug   | -0.13768  | 4.879                     | 0.161                   |
|      | Sep   | 0.05006   | -8.158                    | -4.769                  |
|      | Oct   | -0.03254  | 3.230                     | 8.249                   |
|      | Nov   | 0.18972   | 8.342                     | 6.519                   |
|      | Dec   | 0.15562   | 14.096                    | 5.670                   |
| 2007 | Jan   | 0.07135   | 5.997                     | 11.230                  |
|      | Feb   | 0.05386   | 4.163                     | -0.957                  |
|      | Mar   | 0.06879   | 13.164                    | 0.517                   |
|      | Apr   | -0.02001  | -4.598                    | 0.713                   |
|      | May   | -0.10052  | 3.548                     | 1.323                   |
|      | Jun   | -0.04272  | -4.153                    | 0.605                   |
|      | Jul   | -0.08469  | -8.439                    | -3.810                  |
|      | Aug   | -0.15686  | -1.622                    | 1.000                   |
|      | Sep   | -0.25262  | 1.193                     | -1.909                  |
|      | Oct   | -0.31871  | 19.454                    | 10.238                  |
|      | Nov   | -0.54028  | 9.012                     | 15.414                  |
|      | Dec   | -0.45007  | 16.674                    | 11.382                  |

ตารางที่ ข.2 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2008 | Jan   | -0.48723  | 21.966                    | 13.571                  |
|      | Feb   | -0.47050  | 14.486                    | 2.165                   |
|      | Mar   | -0.32935  | 14.662                    | 1.516                   |
|      | Apr   | -0.32832  | 10.347                    | 0.989                   |
|      | May   | -0.37445  | 18.034                    | 3.204                   |
|      | Jun   | -0.42235  | 18.465                    | 6.276                   |
|      | Jul   | -0.24654  | 15.911                    | 5.295                   |
|      | Aug   | -0.19183  | 8.661                     | 0.750                   |
|      | Sep   | -0.17283  | 26.678                    | 2.808                   |
|      | Oct   | -0.14998  | 17.523                    | -3.032                  |
|      | Nov   | -0.20174  | 18.010                    | 5.120                   |
|      | Dec   | -0.32181  | 18.162                    | 11.121                  |
| 2009 | Jan   | -0.22799  | 19.675                    | 6.339                   |
|      | Feb   | -0.17914  | 25.897                    | 8.680                   |
|      | Mar   | -0.00315  | 11.767                    | 1.118                   |
|      | Apr   | -0.03385  | 13.832                    | 0.172                   |
|      | May   | 0.11630   | 12.236                    | 2.191                   |
|      | Jun   | 0.30312   | 5.930                     | 3.385                   |
|      | Jul   | 0.26790   | 15.361                    | 6.175                   |
|      | Aug   | 0.34615   | 11.034                    | 1.834                   |
|      | Sep   | 0.23629   | 8.331                     | -2.409                  |
|      | Oct   | 0.34774   | -3.819                    | -3.180                  |
|      | Nov   | 0.29960   | -10.190                   | -7.632                  |
|      | Dec   | 0.38926   | -4.105                    | -4.577                  |

ตารางที่ ช.2 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2010 | Jan   | 0.49527   | -7.648                    | -2.434                  |
|      | Feb   | 0.32441   | -1.213                    | -2.771                  |
|      | Mar   | 0.18027   | -10.332                   | -0.953                  |
|      | Apr   | 0.11314   | -6.467                    | -0.558                  |
|      | May   | -0.06824  | -16.841                   | -1.851                  |
|      | Jun   | -0.13919  | -25.394                   | -3.545                  |
|      | Jul   | -0.24189  | -29.112                   | -7.528                  |
|      | Aug   | -0.36757  | -4.575                    | 0.931                   |
|      | Sep   | -0.44002  | -5.115                    | 5.792                   |
|      | Oct   | -0.48879  | 7.966                     | 14.559                  |
|      | Nov   | -0.57547  | 17.192                    | 20.350                  |
|      | Dec   | -0.55601  | 26.677                    | 12.150                  |
| 2011 | Jan   | -0.39759  | 24.528                    | 9.348                   |
|      | Feb   | -0.24154  | -0.656                    | 2.766                   |
|      | Mar   | -0.31479  | 2.674                     | 1.432                   |
|      | Apr   | -0.29364  | -6.774                    | 1.715                   |
|      | May   | -0.32675  | -1.177                    | 2.079                   |
|      | Jun   | -0.38226  | -6.330                    | 3.522                   |
|      | Jul   | -0.42740  | 7.855                     | 6.489                   |
|      | Aug   | -0.50410  | 18.896                    | 23.933                  |
|      | Sep   | -0.56969  | 40.417                    | 41.891                  |
|      | Oct   | -0.46179  | 50.799                    | 50.701                  |
|      | Nov   | -0.48684  | 46.161                    | 49.283                  |
|      | Dec   | -0.56587  | 50.007                    | 31.951                  |

ตารางที่ ข.2 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2012 | Jan   | -0.27758  | 40.941                    | 12.710                  |
|      | Feb   | -0.10160  | 28.836                    | 1.754                   |
|      | Mar   | -0.15951  | 8.901                     | -0.575                  |
|      | Apr   | -0.11149  | 3.027                     | -0.744                  |
|      | May   | -0.20071  | 12.722                    | -0.433                  |
|      | Jun   | -0.21968  | 0.282                     | -0.105                  |
|      | Jul   | -0.22132  | -10.524                   | -2.403                  |
|      | Aug   | -0.18941  | -8.425                    | -10.378                 |
|      | Sep   | -0.10976  | -13.231                   | -17.287                 |
|      | Oct   | -0.01852  | -28.308                   | -29.550                 |
|      | Nov   | 0.02610   | -32.260                   | -30.594                 |
|      | Dec   | 0.08264   | -19.337                   | -23.543                 |
| 2013 | Jan   | -0.02311  | -11.369                   | -15.998                 |
|      | Feb   | -0.04843  | -14.641                   | -3.502                  |
|      | Mar   | 0.05613   | -11.379                   | 0.417                   |
|      | Apr   | 0.12738   | -4.673                    | 0.859                   |
|      | May   | 0.12020   | -6.647                    | -0.401                  |
|      | Jun   | 0.02413   | -14.083                   | -0.470                  |
|      | Jul   | 0.08271   | 3.678                     | 1.574                   |
|      | Aug   | 0.07438   | -2.184                    | -2.801                  |
|      | Sep   | 0.14811   | 15.125                    | 1.653                   |
|      | Oct   | 0.01775   | 17.965                    | 4.278                   |
|      | Nov   | 0.03752   | 14.724                    | 2.285                   |
|      | Dec   | 0.11187   | 27.095                    | 7.360                   |

ตารางที่ ช.2 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2014 | Jan   | 0.09311   | 7.013                     | 3.424                   |
|      | Feb   | 0.10999   | 12.732                    | 0.428                   |
|      | Mar   | 0.11790   | -5.426                    | -0.020                  |
|      | Apr   | 0.18411   | -3.733                    | -0.647                  |
|      | May   | 0.29995   | -14.697                   | -1.549                  |
|      | Jun   | 0.33677   | -14.922                   | -2.263                  |
|      | Jul   | 0.22197   | 0.830                     | 0.619                   |
|      | Aug   | 0.33576   | 2.281                     | -0.465                  |
|      | Sep   | 0.36247   | 5.301                     | -7.026                  |
|      | Oct   | 0.40262   | -1.734                    | -17.435                 |
|      | Nov   | 0.45517   | 10.978                    | -21.676                 |
|      | Dec   | 0.43513   | 6.083                     | -20.875                 |
| 2015 | Jan   | 0.49395   | -9.028                    | -13.654                 |
|      | Feb   | 0.49926   | -4.573                    | -2.726                  |
|      | Mar   | 0.37962   | -5.213                    | -1.634                  |
|      | Apr   | 0.45534   | -3.682                    | -1.446                  |
|      | May   | 0.44712   | -20.951                   | -2.472                  |
|      | Jun   | 0.53752   | -27.828                   | -4.498                  |
|      | Jul   | 0.73334   | -30.691                   | -8.894                  |
|      | Aug   | 0.78491   | -36.521                   | -17.239                 |
|      | Sep   | 0.81705   | -40.454                   | -28.155                 |
|      | Oct   | 0.70439   | -33.516                   | -35.110                 |
|      | Nov   | 0.84215   | -16.029                   | -33.431                 |
|      | Dec   | 0.75225   | -12.992                   | -25.702                 |

ตารางที่ ช.3 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2006 | Jan   | 0.01156   | 19.163                    | -11.911                 |
|      | Feb   | -0.06152  | 23.468                    | 2.379                   |
|      | Mar   | -0.05918  | 12.196                    | -3.632                  |
|      | Apr   | -0.03707  | 15.705                    | -4.244                  |
|      | May   | 0.05532   | 7.699                     | -2.270                  |
|      | Jun   | -0.01102  | 0.765                     | -2.106                  |
|      | Jul   | -0.12566  | 36.337                    | 23.485                  |
|      | Aug   | -0.13768  | 32.125                    | 31.070                  |
|      | Sep   | 0.05006   | 33.335                    | 25.198                  |
|      | Oct   | -0.03254  | 45.448                    | 42.790                  |
|      | Nov   | 0.18972   | 40.456                    | 15.540                  |
|      | Dec   | 0.15562   | 43.445                    | 7.328                   |
| 2007 | Jan   | 0.07135   | 8.879                     | 11.892                  |
|      | Feb   | 0.05386   | 7.353                     | -5.803                  |
|      | Mar   | 0.06879   | 3.854                     | -3.754                  |
|      | Apr   | -0.02001  | 6.221                     | -3.737                  |
|      | May   | -0.10052  | 24.774                    | 5.212                   |
|      | Jun   | -0.04272  | 24.607                    | 4.394                   |
|      | Jul   | -0.08469  | 37.307                    | 7.395                   |
|      | Aug   | -0.15686  | 36.937                    | -2.410                  |
|      | Sep   | -0.25262  | 34.549                    | -28.946                 |
|      | Oct   | -0.31871  | 14.507                    | -35.082                 |
|      | Nov   | -0.54028  | -4.327                    | -38.343                 |
|      | Dec   | -0.45007  | -4.590                    | -28.025                 |

ตารางที่ ช.3 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2008 | Jan   | -0.48723  | -16.369                   | -10.672                 |
|      | Feb   | -0.47050  | -8.133                    | -3.878                  |
|      | Mar   | -0.32935  | -7.844                    | -3.410                  |
|      | Apr   | -0.32832  | 10.586                    | -2.867                  |
|      | May   | -0.37445  | 14.564                    | 5.748                   |
|      | Jun   | -0.42235  | 18.493                    | 10.763                  |
|      | Jul   | -0.24654  | 40.666                    | 6.633                   |
|      | Aug   | -0.19183  | 36.214                    | 3.468                   |
|      | Sep   | -0.17283  | 63.273                    | 2.247                   |
|      | Oct   | -0.14998  | 55.330                    | -12.052                 |
|      | Nov   | -0.20174  | 53.654                    | -1.232                  |
|      | Dec   | -0.32181  | 49.761                    | 1.811                   |
| 2009 | Jan   | -0.22799  | 25.203                    | -5.943                  |
|      | Feb   | -0.17914  | 22.082                    | 3.393                   |
|      | Mar   | -0.00315  | 5.965                     | -3.608                  |
|      | Apr   | -0.03385  | 14.869                    | -3.348                  |
|      | May   | 0.11630   | 22.087                    | -1.151                  |
|      | Jun   | 0.30312   | 13.488                    | 0.692                   |
|      | Jul   | 0.26790   | 22.461                    | -2.197                  |
|      | Aug   | 0.34615   | 20.837                    | -14.059                 |
|      | Sep   | 0.23629   | 17.020                    | -27.080                 |
|      | Oct   | 0.34774   | 6.520                     | -33.913                 |
|      | Nov   | 0.29960   | -4.274                    | -33.020                 |
|      | Dec   | 0.38926   | 5.511                     | -22.692                 |

ตารางที่ ช.3 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2010 | Jan   | 0.49527   | 3.428                     | -11.819                 |
|      | Feb   | 0.32441   | 7.237                     | -5.228                  |
|      | Mar   | 0.18027   | 1.293                     | 2.471                   |
|      | Apr   | 0.11314   | -1.748                    | 4.094                   |
|      | May   | -0.06824  | -2.468                    | 4.041                   |
|      | Jun   | -0.13919  | 0.296                     | 2.640                   |
|      | Jul   | -0.24189  | 9.586                     | -6.289                  |
|      | Aug   | -0.36757  | 35.200                    | -3.651                  |
|      | Sep   | -0.44002  | 27.648                    | -13.252                 |
|      | Oct   | -0.48879  | 41.162                    | 0.639                   |
|      | Nov   | -0.57547  | 39.952                    | 6.513                   |
|      | Dec   | -0.55601  | 37.117                    | 2.379                   |
| 2011 | Jan   | -0.39759  | 20.932                    | 16.035                  |
|      | Feb   | -0.24154  | -0.988                    | 6.154                   |
|      | Mar   | -0.31479  | 13.631                    | 6.800                   |
|      | Apr   | -0.29364  | 12.762                    | 12.002                  |
|      | May   | -0.32675  | 14.447                    | 10.768                  |
|      | Jun   | -0.38226  | 14.905                    | 15.768                  |
|      | Jul   | -0.42740  | 24.092                    | 22.034                  |
|      | Aug   | -0.50410  | 35.674                    | 42.173                  |
|      | Sep   | -0.56969  | 39.942                    | 69.840                  |
|      | Oct   | -0.46179  | 35.934                    | 70.747                  |
|      | Nov   | -0.48684  | 35.567                    | 60.288                  |
|      | Dec   | -0.56587  | 34.283                    | 38.034                  |



ตารางที่ ข.3 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2012 | Jan   | -0.27758  | 32.468                    | 8.651                   |
|      | Feb   | -0.10160  | 19.561                    | 0.563                   |
|      | Mar   | -0.15951  | 9.184                     | 2.602                   |
|      | Apr   | -0.11149  | -1.366                    | 0.910                   |
|      | May   | -0.20071  | 6.028                     | 1.199                   |
|      | Jun   | -0.21968  | -5.724                    | -2.961                  |
|      | Jul   | -0.22132  | 15.562                    | -7.539                  |
|      | Aug   | -0.18941  | 7.262                     | -11.310                 |
|      | Sep   | -0.10976  | 38.812                    | 0.100                   |
|      | Oct   | -0.01852  | 34.279                    | -8.185                  |
|      | Nov   | 0.02610   | 42.083                    | -4.840                  |
|      | Dec   | 0.08264   | 54.521                    | -1.452                  |
| 2013 | Jan   | -0.02311  | 34.803                    | -12.873                 |
|      | Feb   | -0.04843  | 38.216                    | -1.815                  |
|      | Mar   | 0.05613   | 4.057                     | -1.786                  |
|      | Apr   | 0.12738   | 16.869                    | -2.776                  |
|      | May   | 0.12020   | -8.098                    | -7.588                  |
|      | Jun   | 0.02413   | 6.967                     | 0.279                   |
|      | Jul   | 0.08271   | 45.368                    | 8.470                   |
|      | Aug   | 0.07438   | 51.247                    | 15.250                  |
|      | Sep   | 0.14811   | 53.036                    | 30.666                  |
|      | Oct   | 0.01775   | 63.829                    | 50.787                  |
|      | Nov   | 0.03752   | 81.358                    | 45.109                  |
|      | Dec   | 0.11187   | 66.487                    | 39.397                  |

ตารางที่ ข.3 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2014 | Jan   | 0.09311   | 19.140                    | 31.246                  |
|      | Feb   | 0.10999   | 13.975                    | 5.591                   |
|      | Mar   | 0.11790   | 11.886                    | 5.729                   |
|      | Apr   | 0.18411   | -7.617                    | 5.632                   |
|      | May   | 0.29995   | -27.100                   | -1.590                  |
|      | Jun   | 0.33677   | -18.443                   | -4.570                  |
|      | Jul   | 0.22197   | -2.648                    | -9.615                  |
|      | Aug   | 0.33576   | 12.065                    | -8.159                  |
|      | Sep   | 0.36247   | 20.210                    | -12.907                 |
|      | Oct   | 0.40262   | 27.466                    | -20.129                 |
|      | Nov   | 0.45517   | 48.612                    | -15.988                 |
|      | Dec   | 0.43513   | 40.548                    | -14.775                 |
| 2015 | Jan   | 0.49395   | 26.255                    | -5.653                  |
|      | Feb   | 0.49926   | 12.951                    | 2.473                   |
|      | Mar   | 0.37962   | 9.299                     | 1.283                   |
|      | Apr   | 0.45534   | 0.032                     | -1.442                  |
|      | May   | 0.44712   | -23.383                   | -4.910                  |
|      | Jun   | 0.53752   | -19.067                   | -11.824                 |
|      | Jul   | 0.73334   | -24.206                   | -22.608                 |
|      | Aug   | 0.78491   | -18.185                   | -30.068                 |
|      | Sep   | 0.81705   | -9.255                    | -30.827                 |
|      | Oct   | 0.70439   | -1.172                    | -29.832                 |
|      | Nov   | 0.84215   | 23.597                    | -20.357                 |
|      | Dec   | 0.75225   | 20.704                    | -13.005                 |

ตารางที่ ช.4 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยตอนบน

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2006 | Jan   | 0.01156   | 9.625                     | -7.954                  |
|      | Feb   | -0.06152  | 18.792                    | -1.547                  |
|      | Mar   | -0.05918  | 10.446                    | -1.507                  |
|      | Apr   | -0.03707  | 15.850                    | -0.680                  |
|      | May   | 0.05532   | 10.562                    | 1.227                   |
|      | Jun   | -0.01102  | 13.579                    | 4.742                   |
|      | Jul   | -0.12566  | 20.550                    | 11.669                  |
|      | Aug   | -0.13768  | 9.811                     | 15.148                  |
|      | Sep   | 0.05006   | 14.198                    | 19.836                  |
|      | Oct   | -0.03254  | 11.703                    | 24.888                  |
|      | Nov   | 0.18972   | 6.069                     | 17.293                  |
|      | Dec   | 0.15562   | 0.532                     | 13.295                  |
| 2007 | Jan   | 0.07135   | -5.952                    | 7.452                   |
|      | Feb   | 0.05386   | 0.554                     | -0.734                  |
|      | Mar   | 0.06879   | -11.359                   | 1.082                   |
|      | Apr   | -0.02001  | -4.299                    | 1.937                   |
|      | May   | -0.10052  | 13.457                    | 7.520                   |
|      | Jun   | -0.04272  | 13.803                    | 8.432                   |
|      | Jul   | -0.08469  | 14.526                    | 9.434                   |
|      | Aug   | -0.15686  | 11.276                    | 7.705                   |
|      | Sep   | -0.25262  | 7.171                     | -0.551                  |
|      | Oct   | -0.31871  | 0.149                     | 1.868                   |
|      | Nov   | -0.54028  | -17.647                   | -1.568                  |
|      | Dec   | -0.45007  | -18.373                   | -0.586                  |

ตารางที่ ช.4 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2008 | Jan   | -0.48723  | -19.076                   | 2.596                   |
|      | Feb   | -0.47050  | -10.491                   | 0.052                   |
|      | Mar   | -0.32935  | -5.719                    | 2.648                   |
|      | Apr   | -0.32832  | 4.496                     | 3.418                   |
|      | May   | -0.37445  | 10.715                    | 5.035                   |
|      | Jun   | -0.42235  | 13.490                    | 6.793                   |
|      | Jul   | -0.24654  | 14.693                    | 5.355                   |
|      | Aug   | -0.19183  | 8.456                     | 5.191                   |
|      | Sep   | -0.17283  | 13.558                    | 3.721                   |
|      | Oct   | -0.14998  | 11.022                    | 0.103                   |
|      | Nov   | -0.20174  | 9.065                     | 7.856                   |
|      | Dec   | -0.32181  | 6.276                     | 7.719                   |
| 2009 | Jan   | -0.22799  | 4.522                     | 7.695                   |
|      | Feb   | -0.17914  | 5.576                     | 8.596                   |
|      | Mar   | -0.00315  | 9.483                     | 2.028                   |
|      | Apr   | -0.03385  | 6.801                     | 2.181                   |
|      | May   | 0.11630   | 13.822                    | 2.414                   |
|      | Jun   | 0.30312   | 12.105                    | 3.206                   |
|      | Jul   | 0.26790   | 12.016                    | 2.616                   |
|      | Aug   | 0.34615   | 16.814                    | 2.355                   |
|      | Sep   | 0.23629   | 9.913                     | -2.682                  |
|      | Oct   | 0.34774   | 10.117                    | -2.846                  |
|      | Nov   | 0.29960   | -2.406                    | -4.462                  |
|      | Dec   | 0.38926   | -0.719                    | -3.921                  |

ตารางที่ ช.4 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2010 | Jan   | 0.49527   | 3.515                     | -0.791                  |
|      | Feb   | 0.32441   | -1.564                    | -0.885                  |
|      | Mar   | 0.18027   | -5.281                    | -0.334                  |
|      | Apr   | 0.11314   | -15.428                   | -0.390                  |
|      | May   | -0.06824  | -21.218                   | -2.020                  |
|      | Jun   | -0.13919  | -17.497                   | -4.294                  |
|      | Jul   | -0.24189  | -13.536                   | -7.091                  |
|      | Aug   | -0.36757  | 1.471                     | -8.553                  |
|      | Sep   | -0.44002  | 12.630                    | -5.233                  |
|      | Oct   | -0.48879  | 37.813                    | 7.627                   |
|      | Nov   | -0.57547  | 42.568                    | 11.481                  |
|      | Dec   | -0.55601  | 42.835                    | 12.263                  |
| 2011 | Jan   | -0.39759  | 35.087                    | 12.669                  |
|      | Feb   | -0.24154  | 22.851                    | 2.874                   |
|      | Mar   | -0.31479  | 29.346                    | 3.073                   |
|      | Apr   | -0.29364  | 13.998                    | 1.923                   |
|      | May   | -0.32675  | 27.151                    | 1.416                   |
|      | Jun   | -0.38226  | 25.978                    | 3.333                   |
|      | Jul   | -0.42740  | 34.318                    | 5.981                   |
|      | Aug   | -0.50410  | 38.199                    | 13.642                  |
|      | Sep   | -0.56969  | 27.513                    | 23.331                  |
|      | Oct   | -0.46179  | 25.871                    | 27.385                  |
|      | Nov   | -0.48684  | 13.501                    | 25.922                  |
|      | Dec   | -0.56587  | 10.777                    | 20.424                  |

ตารางที่ ข.4 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2012 | Jan   | -0.27758  | 4.961                     | 10.506                  |
|      | Feb   | -0.10160  | 1.754                     | 3.422                   |
|      | Mar   | -0.15951  | -2.188                    | 1.429                   |
|      | Apr   | -0.11149  | -8.629                    | 1.297                   |
|      | May   | -0.20071  | -5.375                    | 0.037                   |
|      | Jun   | -0.21968  | -11.336                   | -0.715                  |
|      | Jul   | -0.22132  | -4.609                    | 0.633                   |
|      | Aug   | -0.18941  | -10.016                   | 1.420                   |
|      | Sep   | -0.10976  | 14.013                    | 5.382                   |
|      | Oct   | -0.01852  | 10.720                    | 1.402                   |
|      | Nov   | 0.02610   | 17.946                    | -0.470                  |
|      | Dec   | 0.08264   | 24.250                    | -1.488                  |
| 2013 | Jan   | -0.02311  | 18.474                    | -3.024                  |
|      | Feb   | -0.04843  | 21.168                    | 1.841                   |
|      | Mar   | 0.05613   | -2.286                    | 2.580                   |
|      | Apr   | 0.12738   | 1.139                     | 2.282                   |
|      | May   | 0.12020   | -16.096                   | -0.365                  |
|      | Jun   | 0.02413   | -6.892                    | -1.335                  |
|      | Jul   | 0.08271   | -1.667                    | -1.107                  |
|      | Aug   | 0.07438   | -4.107                    | -0.448                  |
|      | Sep   | 0.14811   | 9.072                     | 6.580                   |
|      | Oct   | 0.01775   | 12.867                    | 10.744                  |
|      | Nov   | 0.03752   | 28.256                    | 12.293                  |
|      | Dec   | 0.11187   | 18.829                    | 11.821                  |

ตารางที่ ข.4 ผลจากการประมวลผลของค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเล ค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยตอนบน (ต่อ)

| Year | Month | SSTA (C°) | Rainfall<br>Anomaly (mm.) | Runoff<br>Anomaly (mm.) |
|------|-------|-----------|---------------------------|-------------------------|
| 2014 | Jan   | 0.09311   | 9.750                     | 4.670                   |
|      | Feb   | 0.10999   | 11.296                    | -0.346                  |
|      | Mar   | 0.11790   | -3.957                    | -3.632                  |
|      | Apr   | 0.18411   | -3.690                    | -4.943                  |
|      | May   | 0.29995   | -16.610                   | -5.446                  |
|      | Jun   | 0.33677   | -23.191                   | -6.552                  |
|      | Jul   | 0.22197   | -24.341                   | -7.736                  |
|      | Aug   | 0.33576   | -21.920                   | -10.628                 |
|      | Sep   | 0.36247   | -29.797                   | -17.792                 |
|      | Oct   | 0.40262   | -33.717                   | -25.720                 |
|      | Nov   | 0.45517   | -19.824                   | -25.722                 |
|      | Dec   | 0.43513   | -12.837                   | -23.295                 |
| 2015 | Jan   | 0.49395   | -9.300                    | -16.015                 |
|      | Feb   | 0.49926   | -10.197                   | -6.776                  |
|      | Mar   | 0.37962   | 7.765                     | -5.695                  |
|      | Apr   | 0.45534   | 11.169                    | -6.128                  |
|      | May   | 0.44712   | -11.735                   | -7.251                  |
|      | Jun   | 0.53752   | -12.801                   | -8.955                  |
|      | Jul   | 0.73334   | -18.302                   | -11.638                 |
|      | Aug   | 0.78491   | -23.690                   | -15.825                 |
|      | Sep   | 0.81705   | -29.348                   | -23.171                 |
|      | Oct   | 0.70439   | -30.278                   | -31.290                 |
|      | Nov   | 0.84215   | -9.602                    | -31.180                 |
|      | Dec   | 0.75225   | -6.440                    | -27.205                 |

ภาคผนวก ซ  
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
และค่าความผิดปกติของปริมาณน้ำท่าในพื้นที่รอยภาคของประเทศไทยตอนบน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ตารางที่ ซ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
ในช่วงเวลา 10 ปี ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| -12                 | -0.195 | -3                  | -0.544 | 6                   | -0.209 |
| -11                 | -0.241 | -2                  | -0.594 | 7                   | -0.178 |
| -10                 | -0.290 | -1                  | -0.628 | 8                   | -0.171 |
| -9                  | -0.324 | 0                   | -0.628 | 9                   | -0.172 |
| -8                  | -0.345 | 1                   | -0.586 | 10                  | -0.160 |
| -7                  | -0.368 | 2                   | -0.516 | 11                  | -0.151 |
| -6                  | -0.410 | 3                   | -0.420 | 12                  | -0.145 |
| -5                  | -0.457 | 4                   | -0.330 |                     |        |
| -4                  | -0.496 | 5                   | -0.257 |                     |        |

ตารางที่ ซ.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
ในช่วงเวลา 10 ปี ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| -12                 | -0.271 | -3                  | -0.555 | 6                   | -0.106 |
| -11                 | -0.287 | -2                  | -0.580 | 7                   | -0.068 |
| -10                 | -0.326 | -1                  | -0.591 | 8                   | -0.040 |
| -9                  | -0.367 | 0                   | -0.572 | 9                   | -0.016 |
| -8                  | -0.409 | 1                   | -0.506 | 10                  | 0.010  |
| -7                  | -0.430 | 2                   | -0.430 | 11                  | 0.045  |
| -6                  | -0.461 | 3                   | -0.334 | 12                  | 0.078  |
| -5                  | -0.510 | 4                   | -0.225 |                     |        |
| -4                  | -0.534 | 5                   | -0.153 |                     |        |

ตารางที่ ซ.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
ในช่วงเวลา 10 ปี ในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทยตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| -12                 | -0.231 | -3                  | -0.230 | 6                   | -0.018 |
| -11                 | -0.220 | -2                  | -0.234 | 7                   | 0.052  |
| -10                 | -0.210 | -1                  | -0.254 | 8                   | 0.117  |
| -9                  | -0.201 | 0                   | -0.263 | 9                   | 0.148  |
| -8                  | -0.192 | 1                   | -0.254 | 10                  | 0.174  |
| -7                  | -0.183 | 2                   | -0.256 | 11                  | 0.175  |
| -6                  | -0.199 | 3                   | -0.224 | 12                  | 0.155  |
| -5                  | -0.229 | 4                   | -0.175 |                     |        |
| -4                  | -0.233 | 5                   | -0.097 |                     |        |

ตารางที่ ซ.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
ในช่วงเวลา 10 ปี ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| -12                 | -0.175 | -3                  | -0.496 | 6                   | -0.256 |
| -11                 | -0.202 | -2                  | -0.504 | 7                   | -0.241 |
| -10                 | -0.236 | -1                  | -0.525 | 8                   | -0.245 |
| -9                  | -0.277 | 0                   | -0.519 | 9                   | -0.285 |
| -8                  | -0.314 | 1                   | -0.496 | 10                  | -0.301 |
| -7                  | -0.349 | 2                   | -0.457 | 11                  | -0.294 |
| -6                  | -0.397 | 3                   | -0.386 | 12                  | -0.281 |
| -5                  | -0.441 | 4                   | -0.329 |                     |        |
| -4                  | -0.477 | 5                   | -0.277 |                     |        |

ตารางที่ ข.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
ในช่วงเวลา ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| -12                 | 0.131  | -3                  | -0.324 | 6                   | 0.167  |
| -11                 | 0.131  | -2                  | -0.333 | 7                   | 0.159  |
| -10                 | 0.109  | -1                  | -0.316 | 8                   | 0.131  |
| -9                  | 0.075  | 0                   | -0.273 | 9                   | 0.116  |
| -8                  | 0.027  | 1                   | -0.165 | 10                  | 0.105  |
| -7                  | -0.053 | 2                   | -0.061 | 11                  | 0.048  |
| -6                  | -0.156 | 3                   | 0.049  | 12                  | -0.029 |
| -5                  | -0.246 | 4                   | 0.118  |                     |        |
| -4                  | -0.290 | 5                   | 0.171  |                     |        |

ตารางที่ ข.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
ในช่วงเวลา ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF   |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|-------|
| -12                 | -0.235 | -3                  | -0.612 | 6                   | 0.362 |
| -11                 | -0.258 | -2                  | -0.533 | 7                   | 0.362 |
| -10                 | -0.341 | -1                  | -0.454 | 8                   | 0.350 |
| -9                  | -0.440 | 0                   | -0.366 | 9                   | 0.373 |
| -8                  | -0.554 | 1                   | -0.174 | 10                  | 0.358 |
| -7                  | -0.627 | 2                   | -0.027 | 11                  | 0.368 |
| -6                  | -0.654 | 3                   | 0.116  | 12                  | 0.343 |
| -5                  | -0.715 | 4                   | 0.259  |                     |       |
| -4                  | -0.674 | 5                   | 0.353  |                     |       |

ตารางที่ ซ.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
ในช่วงเวลา ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทยตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF   |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|-------|
| -12                 | -0.149 | -3                  | -0.281 | 6                   | 0.239 |
| -11                 | -0.187 | -2                  | -0.220 | 7                   | 0.296 |
| -10                 | -0.207 | -1                  | -0.179 | 8                   | 0.346 |
| -9                  | -0.209 | 0                   | -0.164 | 9                   | 0.348 |
| -8                  | -0.238 | 1                   | -0.101 | 10                  | 0.354 |
| -7                  | -0.246 | 2                   | -0.064 | 11                  | 0.352 |
| -6                  | -0.265 | 3                   | 0.004  | 12                  | 0.304 |
| -5                  | -0.322 | 4                   | 0.083  |                     |       |
| -4                  | -0.312 | 5                   | 0.164  |                     |       |

ตารางที่ ซ.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
ในช่วงเวลา ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF   |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|-------|
| -12                 | -0.038 | -3                  | -0.301 | 6                   | 0.377 |
| -11                 | -0.051 | -2                  | -0.222 | 7                   | 0.361 |
| -10                 | -0.070 | -1                  | -0.171 | 8                   | 0.320 |
| -9                  | -0.105 | 0                   | -0.096 | 9                   | 0.279 |
| -8                  | -0.157 | 1                   | 0.041  | 10                  | 0.259 |
| -7                  | -0.224 | 2                   | 0.188  | 11                  | 0.225 |
| -6                  | -0.283 | 3                   | 0.311  | 12                  | 0.177 |
| -5                  | -0.326 | 4                   | 0.372  |                     |       |
| -4                  | -0.343 | 5                   | 0.404  |                     |       |

ตารางที่ ซ.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน  
ในช่วงเวลา ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| -12                 | -0.112 | -3                  | -0.637 | 6                   | -0.439 |
| -11                 | -0.156 | -2                  | -0.726 | 7                   | -0.394 |
| -10                 | -0.218 | -1                  | -0.795 | 8                   | -0.368 |
| -9                  | -0.285 | 0                   | -0.852 | 9                   | -0.361 |
| -8                  | -0.336 | 1                   | -0.824 | 10                  | -0.345 |
| -7                  | -0.384 | 2                   | -0.772 | 11                  | -0.318 |
| -6                  | -0.440 | 3                   | -0.675 | 12                  | -0.285 |
| -5                  | -0.501 | 4                   | -0.582 |                     |        |
| -4                  | -0.567 | 5                   | -0.498 |                     |        |

ตารางที่ ซ.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณ  
น้ำฝน ในช่วงเวลา ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย  
ตอนบน

| Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    | Lag time<br>(month) | CCF    |
|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
| -12                 | -0.055 | -3                  | -0.505 | 6                   | -0.261 |
| -11                 | -0.119 | -2                  | -0.565 | 7                   | -0.211 |
| -10                 | -0.193 | -1                  | -0.603 | 8                   | -0.169 |
| -9                  | -0.281 | 0                   | -0.636 | 9                   | -0.137 |
| -8                  | -0.346 | 1                   | -0.600 | 10                  | -0.103 |
| -7                  | -0.368 | 2                   | -0.547 | 11                  | -0.060 |
| -6                  | -0.406 | 3                   | -0.465 | 12                  | -0.010 |
| -5                  | -0.432 | 4                   | -0.373 |                     |        |
| -4                  | -0.470 | 5                   | -0.309 |                     |        |

ตารางที่ ข.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ในช่วงเวลา ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | -0.198 | -3               | -0.239 | 6                | -0.136 |
| -11              | -0.176 | -2               | -0.271 | 7                | -0.063 |
| -10              | -0.167 | -1               | -0.299 | 8                | 0.006  |
| -9               | -0.175 | 0                | -0.321 | 9                | 0.053  |
| -8               | -0.175 | 1                | -0.330 | 10               | 0.089  |
| -7               | -0.180 | 2                | -0.345 | 11               | 0.086  |
| -6               | -0.206 | 3                | -0.325 | 12               | 0.074  |
| -5               | -0.224 | 4                | -0.293 |                  |        |
| -4               | -0.232 | 5                | -0.207 |                  |        |

ตารางที่ ข.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ในช่วงเวลา ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | -0.139 | -3               | -0.485 | 6                | -0.494 |
| -11              | -0.127 | -2               | -0.563 | 7                | -0.462 |
| -10              | -0.133 | -1               | -0.643 | 8                | -0.444 |
| -9               | -0.171 | 0                | -0.713 | 9                | -0.471 |
| -8               | -0.199 | 1                | -0.710 | 10               | -0.484 |
| -7               | -0.244 | 2                | -0.710 | 11               | -0.461 |
| -6               | -0.308 | 3                | -0.653 | 12               | -0.419 |
| -5               | -0.366 | 4                | -0.600 |                  |        |
| -4               | -0.431 | 5                | -0.536 |                  |        |

ตารางที่ ข.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำท่า ในช่วงเวลา 10 ปี ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | -0.282 | -3               | -0.578 | 6                | -0.288 |
| -11              | -0.322 | -2               | -0.611 | 7                | -0.284 |
| -10              | -0.350 | -1               | -0.626 | 8                | -0.281 |
| -9               | -0.369 | 0                | -0.626 | 9                | -0.272 |
| -8               | -0.387 | 1                | -0.574 | 10               | -0.260 |
| -7               | -0.406 | 2                | -0.498 | 11               | -0.244 |
| -6               | -0.435 | 3                | -0.418 | 12               | -0.219 |
| -5               | -0.479 | 4                | -0.350 |                  |        |
| -4               | -0.526 | 5                | -0.306 |                  |        |

ตารางที่ ข.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำท่า ในช่วงเวลา 10 ปี ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | -0.189 | -3               | -0.523 | 6                | -0.235 |
| -11              | -0.216 | -2               | -0.578 | 7                | -0.252 |
| -10              | -0.244 | -1               | -0.626 | 8                | -0.264 |
| -9               | -0.264 | 0                | -0.650 | 9                | -0.262 |
| -8               | -0.291 | 1                | -0.589 | 10               | -0.255 |
| -7               | -0.317 | 2                | -0.491 | 11               | -0.222 |
| -6               | -0.356 | 3                | -0.385 | 12               | -0.177 |
| -5               | -0.400 | 4                | -0.297 |                  |        |
| -4               | -0.453 | 5                | -0.246 |                  |        |

ตารางที่ ข.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ในช่วงเวลา 10 ปี ในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | -0.198 | -3               | -0.360 | 6                | -0.070 |
| -11              | -0.219 | -2               | -0.382 | 7                | -0.043 |
| -10              | -0.231 | -1               | -0.393 | 8                | -0.029 |
| -9               | -0.234 | 0                | -0.398 | 9                | -0.010 |
| -8               | -0.234 | 1                | -0.354 | 10               | 0.007  |
| -7               | -0.243 | 2                | -0.304 | 11               | 0.035  |
| -6               | -0.268 | 3                | -0.247 | 12               | 0.075  |
| -5               | -0.293 | 4                | -0.180 |                  |        |
| -4               | -0.319 | 5                | -0.115 |                  |        |

ตารางที่ ข.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ในช่วงเวลา 10 ปี ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | -0.343 | -3               | -0.624 | 6                | -0.309 |
| -11              | -0.363 | -2               | -0.658 | 7                | -0.317 |
| -10              | -0.385 | -1               | -0.677 | 8                | -0.332 |
| -9               | -0.395 | 0                | -0.671 | 9                | -0.332 |
| -8               | -0.412 | 1                | -0.594 | 10               | -0.330 |
| -7               | -0.432 | 2                | -0.499 | 11               | -0.309 |
| -6               | -0.465 | 3                | -0.414 | 12               | -0.264 |
| -5               | -0.515 | 4                | -0.353 |                  |        |
| -4               | -0.569 | 5                | -0.319 |                  |        |



ตารางที่ ข.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ในช่วงเวลา ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF   |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|-------|
| -12              | 0.003  | -3               | -0.283 | 6                | 0.076 |
| -11              | -0.001 | -2               | -0.262 | 7                | 0.090 |
| -10              | -0.015 | -1               | -0.191 | 8                | 0.109 |
| -9               | -0.050 | 0                | -0.117 | 9                | 0.133 |
| -8               | -0.102 | 1                | -0.056 | 10               | 0.123 |
| -7               | -0.152 | 2                | 0.007  | 11               | 0.092 |
| -6               | -0.205 | 3                | 0.043  | 12               | 0.047 |
| -5               | -0.245 | 4                | 0.065  |                  |       |
| -4               | -0.267 | 5                | 0.068  |                  |       |

ตารางที่ ข.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ในช่วงเวลา ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF   |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|-------|
| -12              | 0.168  | -3               | -0.457 | 6                | 0.084 |
| -11              | 0.203  | -2               | -0.482 | 7                | 0.092 |
| -10              | 0.164  | -1               | -0.514 | 8                | 0.113 |
| -9               | 0.092  | 0                | -0.560 | 9                | 0.151 |
| -8               | -0.046 | 1                | -0.435 | 10               | 0.106 |
| -7               | -0.165 | 2                | -0.275 | 11               | 0.122 |
| -6               | -0.287 | 3                | -0.138 | 12               | 0.101 |
| -5               | -0.346 | 4                | -0.031 |                  |       |
| -4               | -0.377 | 5                | 0.038  |                  |       |

ตารางที่ ข.19 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ในช่วงเวลา ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF   |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|-------|
| -12              | -0.011 | -3               | -0.152 | 6                | 0.066 |
| -11              | -0.002 | -2               | -0.118 | 7                | 0.108 |
| -10              | -0.006 | -1               | -0.066 | 8                | 0.144 |
| -9               | -0.010 | 0                | -0.044 | 9                | 0.174 |
| -8               | -0.036 | 1                | 0.044  | 10               | 0.164 |
| -7               | -0.070 | 2                | 0.091  | 11               | 0.176 |
| -6               | -0.105 | 3                | 0.077  | 12               | 0.155 |
| -5               | -0.123 | 4                | 0.050  |                  |       |
| -4               | -0.126 | 5                | 0.046  |                  |       |

ตารางที่ ข.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ในช่วงเวลา ค.ศ. 2006 - ค.ศ. 2010 ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | -0.108 | -3               | -0.270 | 6                | 0.150  |
| -11              | -0.093 | -2               | -0.242 | 7                | 0.129  |
| -10              | -0.114 | -1               | -0.173 | 8                | 0.103  |
| -9               | -0.145 | 0                | -0.111 | 9                | 0.107  |
| -8               | -0.195 | 1                | 0.019  | 10               | 0.050  |
| -7               | -0.243 | 2                | 0.146  | 11               | 0.030  |
| -6               | -0.268 | 3                | 0.199  | 12               | -0.008 |
| -5               | -0.280 | 4                | 0.190  |                  |        |
| -4               | -0.271 | 5                | 0.165  |                  |        |

ตารางที่ ข.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ในช่วงเวลา ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | -0.079 | -3               | -0.679 | 6                | -0.413 |
| -11              | -0.143 | -2               | -0.738 | 7                | -0.410 |
| -10              | -0.226 | -1               | -0.785 | 8                | -0.412 |
| -9               | -0.301 | 0                | -0.811 | 9                | -0.402 |
| -8               | -0.372 | 1                | -0.759 | 10               | -0.380 |
| -7               | -0.431 | 2                | -0.673 | 11               | -0.347 |
| -6               | -0.475 | 3                | -0.576 | 12               | -0.297 |
| -5               | -0.538 | 4                | -0.489 |                  |        |
| -4               | -0.606 | 5                | -0.431 |                  |        |

ตารางที่ ข.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ในช่วงเวลา ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | 0.018  | -3               | -0.535 | 6                | -0.271 |
| -11              | -0.052 | -2               | -0.599 | 7                | -0.289 |
| -10              | -0.145 | -1               | -0.654 | 8                | -0.302 |
| -9               | -0.229 | 0                | -0.686 | 9                | -0.295 |
| -8               | -0.296 | 1                | -0.628 | 10               | -0.270 |
| -7               | -0.336 | 2                | -0.528 | 11               | -0.229 |
| -6               | -0.362 | 3                | -0.416 | 12               | -0.161 |
| -5               | -0.405 | 4                | -0.325 |                  |        |
| -4               | -0.465 | 5                | -0.273 |                  |        |

ตารางที่ ซ.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ในช่วงเวลา ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคตะวันออกของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | -0.028 | -3               | -0.509 | 6                | -0.277 |
| -11              | -0.067 | -2               | -0.571 | 7                | -0.258 |
| -10              | -0.125 | -1               | -0.629 | 8                | -0.258 |
| -9               | -0.192 | 0                | -0.677 | 9                | -0.249 |
| -8               | -0.249 | 1                | -0.656 | 10               | -0.225 |
| -7               | -0.289 | 2                | -0.604 | 11               | -0.201 |
| -6               | -0.330 | 3                | -0.520 | 12               | -0.146 |
| -5               | -0.380 | 4                | -0.419 |                  |        |
| -4               | -0.437 | 5                | -0.325 |                  |        |

ตารางที่ ซ.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าผิดปกติของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลกับค่าผิดปกติของปริมาณน้ำฝน ในช่วงเวลา ค.ศ. 2011 - ค.ศ. 2015 ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยตอนบน

| Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    | Lag time (month) | CCF    |
|------------------|--------|------------------|--------|------------------|--------|
| -12              | -0.256 | -3               | -0.718 | 6                | -0.423 |
| -11              | -0.307 | -2               | -0.771 | 7                | -0.423 |
| -10              | -0.365 | -1               | -0.819 | 8                | -0.431 |
| -9               | -0.411 | 0                | -0.852 | 9                | -0.422 |
| -8               | -0.450 | 1                | -0.777 | 10               | -0.401 |
| -7               | -0.479 | 2                | -0.684 | 11               | -0.363 |
| -6               | -0.515 | 3                | -0.579 | 12               | -0.286 |
| -5               | -0.576 | 4                | -0.497 |                  |        |
| -4               | -0.647 | 5                | -0.443 |                  |        |

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ : นายจิรวัดน์ จันทองพูน

วันเดือนปีเกิด : 19 มกราคม พ.ศ. 2536

คุณวุฒิทางการศึกษา :

พ.ศ. 2558 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ สาขา  
วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผลงานทางวิชาการ :

จิรวัดน์ จันทองพูน และธงทศ ฉายากุล (2561) "การศึกษาความสัมพันธ์ของการ  
เปลี่ยนแปลง TOTAL WATER STORAGE จากข้อมูลดาวเทียม GRACE และอุณหภูมิผิวน้ำทะเล  
ในพื้นที่ประเทศไทยตอนบน" , การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 23



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY