

การจำลองภาพเหตุการณ์น้ำทะเลท่วมบริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานครและปริมณฑล  
จากปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์

นางสาววนิดา เลิศวัฒนมงคล



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 2558  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Scenario Simulation of Sea Flood in Coastal Greater-Bangkok  
by Geophysical Factors

Miss Vanida Lertwatthanamongkhon



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 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจำลองภาพเหตุการณ์น้ำทะเลท่วมบริเวณชายฝั่ง  
กรุงเทพมหานครและปริมณฑลจากปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์  
โดย นางสาวนิตา เลิศวัฒนมงคล  
สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์)

.....กรรมการ  
(ดร.ชงทีศ ฉายากุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวิทย์ อ่องสมหวัง)

วนิดา เลิศวัฒนมงคล : การจำลองภาพเหตุการณ์น้ำทะเลท่วมบริเวณชายฝั่ง กรุงเทพมหานครและปริมณฑลจากปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ (Scenario Simulation of Sea Flood in Coastal Greater-Bangkok by Geophysical Factors) อ.ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.อิทธิ ตรีสิริสตัยวงศ์, 125 หน้า.

งานวิจัยนี้สร้างแบบจำลองเหตุการณ์น้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของน้ำทะเลบริเวณชายฝั่ง กรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ และบางส่วนของจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยนำปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ 4 ปัจจัยมาวิเคราะห์ร่วมกัน ได้แก่ อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับทะเล 5 มิลลิเมตรต่อปี การทรุดตัวของแผ่นดินที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 30 มิลลิเมตรต่อปี การเปลี่ยนแปลงค่าระดับของแผ่นเปลือกโลกซุนดาและวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยที่มีค่าแอมพลิจูดประมาณ 20 เซนติเมตร จากนั้นจัดทำแผนที่น้ำท่วมเพื่อแสดงขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมและระดับน้ำในแต่ละบริเวณ จากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าในปี 2007 พื้นที่ศึกษาเริ่มเกิดน้ำท่วมบริเวณชายฝั่งทางตะวันตกของกรุงเทพมหานคร ได้แก่ ตำบลนาเกลือ ตำบลบ้านคลองสวน และตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการและในปี 2060 พื้นที่ชายฝั่งมีน้ำท่วมมากถึง 135 ตารางกิโลเมตร เมื่อทดสอบเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำขึ้นจากปัจจุบัน 0.75 เมตรสามารถลดพื้นที่น้ำท่วมเหลือประมาณ 7.05 ตารางกิโลเมตร แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำสามารถป้องกันน้ำท่วมได้ในระยะยาว นอกจากนี้ปัจจัยเรื่องการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกก็มีผลต่อระดับน้ำ จากแบบจำลองในปี 2010 และปี 2050 พบว่าเมื่อพิจารณาปัจจัยดังกล่าวในแบบจำลอง ขอบเขตของพื้นที่น้ำท่วมลดลงเนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวแผ่นเปลือกโลกมีการลดระดับลงประมาณ 28 และ 50 มิลลิเมตรตามลำดับ เช่นเดียวกับปัจจัยด้านวัฏจักรของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยที่ทำให้ขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมและระดับน้ำในแต่ละเดือนแตกต่างกัน จากแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2020 มีพื้นที่น้ำท่วมร้อยละ 1.43 ของพื้นที่ทั้งหมด ในขณะที่เดือนกรกฎาคมปีเดียวกันพื้นที่น้ำท่วมมีขนาดเพียงร้อยละ 0.48 อย่างไรก็ตามการทรุดตัวของแผ่นดินซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลาเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อความถูกต้องของผลลัพธ์จากแบบจำลอง ดังนั้นควรมีการติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินอย่างสม่ำเสมอเพื่อนำข้อมูลมาปรับปรุงแบบจำลอง อีกทั้งระดับน้ำที่อยู่ในบริเวณบ่อประมงและนาเกลือทำให้ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขบริเวณดังกล่าวสูงเกินจริงส่งผลให้ค่าความลึกน้ำท่วมต่ำกว่าความเป็นจริง จึงควรมีการศึกษาข้อมูลเพื่อประมาณความลึกของบ่อน้ำอันจะช่วยให้สามารถได้ความลึกของระดับน้ำท่วมที่ถูกต้องขึ้นได้

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2558

# # 5670358121 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS: SEA LEVEL RISE / LAND SUBSIDENCE / GREATER BANGKOK / FLOOD

VANIDA LERTWATTHANAMONGKHON: Scenario Simulation of Sea Flood in Coastal Greater-Bangkok by Geophysical Factors. ADVISOR: ASSOC. PROF.ITTHI TRISIRISATAYAWONG, Ph.D., 125 pp.

This research aims to provide a model of flooding area in the coast of Greater-Bangkok, taking into account the four geophysical factors of rising of sea level at 5 mm/yr, land subsidence of 0 – 30 mm/yr, variation of vertical plate motion in the seismic cycle of Sumatra-Andaman earthquake and annual cycle of sea level in the Gulf of Thailand with the amplitude of 20 cm. Then, flood maps are produced to display affected area and flood depth in different scenarios. According to January-2007 scenario, flooding occurs in Na-Klua, Ban Khlong Suan, and Laem Fah Pa in Phra Samut Chedi subdistrict, Samutprakarn. In 2060 scenario, there are about 135 square kilometers of sea flood in coastal area but, only 7.05 square kilometers are left over when applying 0.75 meters more to the dyke height. This helps reducing flood in long-term. Plate motion also affect the height of flood as demonstrated in 2010 and 2050 scenarios, the flood depth are lower when considering this factor in the model because the Sunda plate is subsiding about 28 and 50 millimeters respectively. In addition, annual cycle of sea level in the gulf of Thailand causes each month to have different water height. In 2020 scenario, there is 1.43 percent of flood in January while there is only 0.48 percent in July. However, land subsidence is a large scale phenomenon, which has rapid spatial and temporal change, appears to be the main factor that affects model accuracy. Thus, a continuous monitoring of land subsidence is essential for model developing. Underestimation of flood depth caused by the water in aquaculture areas can be alleviated by estimating the actual depth of ponds which will help improve the accuracy of modelled flood depth.

Department: Survey Engineering

Student's Signature .....

Field of Study: Survey Engineering

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2015

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์และการสนับสนุนของบุคคลหลายท่าน ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อธิธิ ตรีสิริสัตยวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้คอยให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษาเมื่อเกิดปัญหาหรืออุปสรรค และข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ในการดำเนินงาน พร้อมทั้งตรวจสอบวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์เช่นนี้ ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรรณี ชีวินศิริวัฒน์ อาจารย์ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ ผู้ให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และกำลังใจในการดำเนินงานตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร. ธงทิศ ฉายากุล และ รองศาสตราจารย์ ดร. สุวิทย์ อ่องสมหวัง กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขและปรับปรุงเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่อนุเคราะห์ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขที่ใช้ในการออกแบบและประมวลผลแบบจำลอง

ขอขอบคุณพี่ น้อง และเพื่อนในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกคน ที่คอยให้การสนับสนุน เป็นกำลังใจและคอยช่วยเหลือทั้งในการดำเนินงานและการติดต่อประสานงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่รัก ผู้คอยให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษา เป็นกำลังใจที่สำคัญ และเป็นผู้มอบโอกาสในการศึกษาตราบจนถึงทุกวันนี้

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.3.1 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	4
1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย.....	4
1.3.3.1 การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล (Sea level rise).....	5
1.3.3.2 การทรุดตัวของแผ่นดิน (Land subsidence).....	6
1.3.3.3 การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก (Vertical plate motion).....	8
1.3.3.4 ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model).....	10
1.3.4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	10
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	10
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
1.6 นิยามศัพท์ (Definition of Terms).....	11
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	12

2.1 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	12
2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	15
2.2.1 การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล.....	15
2.2.2 การทรุดตัวของแผ่นดิน.....	18
2.2.3 การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก .....	28
2.2.4 การสร้างแบบจำลองน้ำท่วม.....	32
2.2.4.1 แบบจำลองของ World Bank.....	32
2.2.4.2 แบบจำลองของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและ สิ่งแวดล้อม.....	44
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	55
บทที่ 3 ขั้นตอนการสร้างและประมวลผลแบบจำลอง .....	56
3.1 การเตรียมข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย .....	57
3.1.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย .....	57
3.1.1.1 การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล (Sea level rise) .....	57
3.1.1.2 การทรุดตัวของแผ่นดิน (Land subsidence).....	57
3.1.1.3 การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก (Vertical plate motion).....	58
3.1.1.4 ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model) .....	58
3.1.1.5 วัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย .....	59
3.1.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	60
3.2 การออกแบบแบบจำลอง.....	60
3.3 การทดสอบแบบจำลอง.....	70
3.4 การแก้ไขและปรับปรุงแบบจำลอง.....	71
บทที่ 4 แผนที่ผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลอง.....	72



4.1 แผนที่น้ำท่วมแสดงช่วงเวลา (ปี) ที่เริ่มเกิดน้ำท่วมบริเวณชายฝั่ง .....	72
4.2 แผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2060 โดยเพิ่มการพิจารณาระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่...79	
4.3 แผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2060 โดยทดลองเพิ่มความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วม ในพื้นที่จากปัจจุบันขึ้น 0.25 เมตร 0.50 เมตร และ 0.75 เมตร .....	83
4.4 แผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2020 - 2030 - 2040 – 2050.....	87
4.5 การเปรียบเทียบแผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคม ปี 2010 และปี 2050 ที่มีการพิจารณา การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกและไม่มีการพิจารณาการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก.....	90
4.6 การเปรียบเทียบการพิจารณาวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยในเดือนมกราคม และเดือนกรกฎาคม ปี 2020 และปี 2030 .....	94
4.7 ข้อจำกัดของแบบจำลอง .....	96
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	103
5.1 สรุปผลการศึกษา .....	103
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	105
รายการอ้างอิง.....	107
ภาคผนวก .....	111
ภาคผนวก ก Source Code ของ Python Script A .....	112
ภาคผนวก ข Source Code ของ Python Script B.....	113
ภาคผนวก ค Source Code ของ Python Script C .....	114
ภาคผนวก ง การนำ Source code ไปใช้งาน .....	115
ภาคผนวก จ ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์ .....	124
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	125

## สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในการสร้างแบบจำลองและจัดทำแผนที่น้ำท่วมในกรอบสีแดง ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งกรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ และบางส่วนของจังหวัด ฉะเชิงเทรา.....	4
รูปที่ 1.2 ผลการศึกษาอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยต่อปีจากการประมวลผลข้อมูล ดาวเทียมวัดระดับน้ำทะเล (Altimetry Satellite) ในช่วงปี 1993-2009 จากงานวิจัยของ Tririsatayawong et al (2011).....	6
รูปที่ 1.3 โครงข่ายหมุดหลักฐานที่กรมแผนที่ทหารใช้ในการดำเนินการสำรวจระดับการทรุดตัว ของแผ่นดินประจำปีในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และขอบเขตพื้นที่ศึกษาของงานวิจัย ในกรอบสีแดง .....	7
รูปที่ 1.4 อัตราการทรุดตัวของกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่ตรวจพบในปี 2005 – 2010 จากการประมวลผลด้วยเทคนิค Time-series InSAR จากงานวิจัย Aobpaet et al (2013).....	8
รูปที่ 1.5 กราฟพยากรณ์การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกตามวัฏจักรการเปลี่ยนแปลงของแผ่น เปลือกโลกซุนดาบริเวณสถานีตรวจวัดจังหวัดชุมพร (CPNT) และจังหวัดระยอง (RNYG) บน สมมติฐานของคาบอุบัติซ้ำ 170 ปี และ 500 ปี จาก Satirapod et al (2013).....	9
รูปที่ 2.1 อัตราการสูบน้ำบาดาลในเขตกรุงเทพมหานครตามช่วงเวลาตั้งแต่ปี 1955 – 2004 จาก งานวิจัย Phien-wej et al (2006) .....	19
รูปที่ 2.2 การขยายตัวของปรากฏการณ์แผ่นดินทรุดที่มีผลต่ออาคารปลูกสร้างทางตะวันออกของ ประเทศจีนในปี 2006 (a) และปี 2010 (b) จาก Feng et al (2008).....	20
รูปที่ 2.3 อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในช่วงปี 2005 – 2010 จากการประมวลผลข้อมูลด้วยเทคนิค Time-series INSAR จาก Aobpaet et al (2013).....	23
รูปที่ 2.4 อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในช่วงปี 2009 – 2012 จากการประมวลผลข้อมูลด้วยเทคนิค Time-series INSAR จาก สรศักดิ์ ชัยทวี และคณะ (2015) .....	24
รูปที่ 2.5 อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในช่วงปี 1996– 2000 จากการประมวลผลข้อมูลด้วยเทคนิค Time-series INSAR จากงานวิจัย ปวัน ภิรมย์ทอง และคณะ (2015) .....	25

รูปที่ 2.6 อัตราการเปลี่ยนแปลงการทรุดตัวของพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในช่วงปี 1996 -2012 จากงานวิจัย ปวัน ภิรมย์ทอง และคณะ (2015) โดยบริเวณที่มีการทรุดตัวช้าลง อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วยังมีค่าน้อย.....26

รูปที่ 2.7 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาการทรุดตัวในงานวิจัยของ Aobpaet et al (2013) ในกรอบสี่มุมงานวิจัยของสรศักดิ์ ชัยทวี และคณะ (2015) ในกรอบสีน้ำเงิน และงานวิจัยของปวัน ภิรมย์ทอง และคณะ (2015) ในกรอบสีแดง .....28

รูปที่ 2.8 แผนที่แสดงแนวร่องลึกที่เกิดจากแผ่นเปลือกโลกอินเดียปะทะกับแผ่นเปลือกโลกซุนดา จาก IRIS (Incorporated Research Institution for Seismology).....30

รูปที่ 2.9 การเคลื่อนตัวทางราบของแผ่นเปลือกโลกซุนดาที่ตรวจวัดได้จากสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสขณะเกิดแผ่นดินไหว Mw 9.2 จาก Vigny et al (2007) แสดงให้เห็นการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกซุนดาเข้าสู่ศูนย์กลางของแผ่นดินไหว .....31

รูปที่ 2.10 ภาพสมมติที่เจ็ดจากดาวเทียม Aster แสดงให้เห็นแนวปะการังรอบเกาะ Rutland ประเทศอินเดียภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหว Mw 9.2 (A) จมลงเมื่อเทียบกับก่อนเกิดแผ่นดินไหว (B) จาก Meltzner et al (2008).....31

รูปที่ 2.11 แผนที่ความสูงของระดับน้ำท่วมจากแบบจำลองสภาพการณ์ปกติปี 2008 ที่มีการพิจารณากระแสน้ำท่วมในพื้นที่ (a) และ แผนที่ความสูงของระดับน้ำจากแบบจำลองสภาพการณ์ในปี 2050 ที่มีการพิจารณาการทรุดตัวของแผ่นดิน การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล และ Storm surge (b) แผนที่ทั้งสองใช้ค่าปริมาณน้ำฝนจากสมมติฐานคาบอุบัติซ้ำ 30 ปี (World Bank, 2009).....36

รูปที่ 2.12 แผนที่ความสูงของระดับน้ำท่วมจากแบบจำลองสภาพการณ์ปี 2050 ที่มีการพิจารณาการทรุดตัวของแผ่นดิน การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล Storm surge และปริมาณน้ำฝนจากสมมติฐานคาบอุบัติซ้ำ 30 ปี ในระยะเวลาท่วมขัง 1 วัน (a) ระยะเวลาท่วมขัง 1 เดือน (b) ระยะเวลาท่วมขัง 2 เดือน (c) และ ระยะเวลาท่วมขัง 4 เดือน (d) (World Bank, 2009).....38

รูปที่ 2.13 กราฟความสูงของผิวน้ำตลอดแม่น้ำเจ้าพระยาตั้งแต่ปากแม่น้ำที่อำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยาจนถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ โดยพิจารณาค่าปริมาณน้ำฝนจากสมมติฐานคาบอุบัติซ้ำ 10 ปี (a) 30 ปี (b) และ 100 ปี (c) (World Bank, 2009).....39

รูปที่ 2.14 ความแปรปรวนของระดับน้ำบริเวณสถานีชี้วัด 4 สถานีคือ 1) อำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา (a) 2) อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี (b) 3) สะพานพระพุทธยอดฟ้า จังหวัด

กรุงเทพมหานคร (c) 4) ป้อมพระจุลจอมเกล้า จังหวัดสมุทรปราการ (d) โดยพิจารณาจากอุบัติน้ำของปริมาณน้ำฝน 10 ปี (World Bank, 2009).....41

รูปที่ 2.15 ความแปรปรวนของระดับน้ำบริเวณสถานีซัด 4 สถานีคือ 1) อำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา (a) 2) อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี (b) 3) สะพานพระพุทธยอดฟ้า จังหวัดกรุงเทพมหานคร (c) 4) ป้อมพระจุลจอมเกล้า จังหวัดสมุทรปราการ (d) โดยพิจารณาจากอุบัติน้ำของปริมาณน้ำฝน 30 ปี (World Bank, 2009).....42

รูปที่ 2.16 ความแปรปรวนของระดับน้ำบริเวณสถานีซัด 4 สถานีคือ 1) อำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา (a) 2) อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี (b) 3) สะพานพระพุทธยอดฟ้า จังหวัดกรุงเทพมหานคร (c) 4) ป้อมพระจุลจอมเกล้า จังหวัดสมุทรปราการ (d) โดยพิจารณาจากอุบัติน้ำของปริมาณน้ำฝน 100 ปี (World Bank, 2009) .....43

รูปที่ 2.17 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยบริเวณเกาะสีชัง (a) และ เกาะหลัก (b) (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009).....45

รูปที่ 2.18 DEM จากฐานข้อมูล SRTM (The Shuttle Radar Topography Mission) บริเวณประเทศไทยประกอบด้วย DEM จำนวน 15 ส่วน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009).....46

รูปที่ 2.19 แผนที่ภาพรวมการใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่ศึกษา (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009).....47

รูปที่ 2.20 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาจำนวน 23 จังหวัดที่มีขอบเขตติดอ่าวไทย (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009) .....48

รูปที่ 2.21 พื้นที่เสี่ยงภัยจากกรณีน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 1 เมตร (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009).....50

รูปที่ 2.22 พื้นที่เสี่ยงภัยจากกรณีน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 2 เมตร (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009).....51

รูปที่ 2.23 พื้นที่เสี่ยงภัยจากกรณีน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 3 เมตร (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009).....52

รูปที่ 2.24 พื้นที่เสี่ยงภัยจากกรณีน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 4 เมตร (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009).....53

รูปที่ 2.25 พื้นที่เสี่ยงภัยจากกรณีน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 5 เมตร (สำนักงานนโยบายและแผน ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009).....	54
รูปที่ 2.26 ความแปรปรวนของระดับน้ำทะเลบริเวณเกาะสี่ซึ่งที่ตรวจวัดได้และจากการจำลอง จาก Trisirisatayawong and Cheewinsiriwat (2013).....	55
รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการประมวลผลเพื่อให้ได้แผนที่จำลองเหตุการณ์น้ำท่วม.....	56
รูปที่ 3.2 ขอบเขตข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่ นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองและจัดทำแผนที่ผลลัพธ์.....	59
รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการออกแบบแบบจำลอง.....	61
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการแปลง Shapefile เป็น raster .....	62
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการ resampling ข้อมูล raster.....	63
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างผลลัพธ์การรวมข้อมูลความสูงไปยังข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข.....	64
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการ classify ข้อมูล .....	66
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการสร้างชั้นข้อมูลใหม่จากการเลือกข้อมูลใน Attribute table.....	67
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการแปลง Shapefile เป็น raster .....	67
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างการเลือกข้อมูลจาก Location ของข้อมูล .....	68
รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการลบข้อมูลบางส่วนออกจากชั้นข้อมูล .....	68
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการสร้างชั้นข้อมูล Raster ใหม่โดยกำหนดขอบเขตของชั้นข้อมูลใหม่จากชั้น ข้อมูล vector.....	69
รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการแปลง Raster เป็น Vector .....	69
รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการแบ่งชั้นข้อมูลเพื่อการแสดงในขั้นตอนการจัดทำแผนที่ .....	70
รูปที่ 4.1 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2007 โดยพิจารณาปัจจัย ทางธรณีพิสีกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด.....	74
รูปที่ 4.2 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2008 (a) ปี 2009 (b) ปี 2010 (c) ปี 2011 (d) ปี 2012 (e) และปี 2016 (f) โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีพิสีกส์ที่ เกี่ยวข้องทั้งหมด.....	76

รูปที่ 4.3 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2060 โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด .....	80
รูปที่ 4.4 ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของกรุงเทพมหานครและจังหวัดสมุทรปราการ .....	81
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายดาวเทียมการใช้ที่ดินบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของกรุงเทพมหานครและจังหวัดสมุทรปราการ จากเว็บไซต์ Google .....	81
รูปที่ 4.6 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2060 โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด และเพิ่มการพิจารณาระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ .....	82
รูปที่ 4.7 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2060 โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง และเพิ่มความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่จากความสูงปัจจุบันขึ้นอีก 0.25 เมตร .....	84
รูปที่ 4.8 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2060 โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง และเพิ่มความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่จากความสูงปัจจุบันขึ้นอีก 0.50 เมตร .....	85
รูปที่ 4.9 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2060 โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง และเพิ่มความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่จากความสูงปัจจุบันขึ้นอีก 0.75 เมตร .....	86
รูปที่ 4.10 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2020 – 2050 ทุกๆ 10 ปี โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด (a) และเพิ่มความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วมจากปัจจุบันขึ้นอีก 0.75 เมตร (b) .....	88
รูปที่ 4.11 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2010 และปี 2050 โดย (a) มีการพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด (b) ไม่มีการพิจารณาปัจจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก .....	92
รูปที่ 4.12 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2020 และปี 2030 (a) และเดือนกรกฎาคมปี 2020 และ 2030 (b) .....	95
รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ศึกษาจากเว็บไซต์ Google โดยกรอบสีแดงคือพื้นที่ที่เริ่มเกิดน้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลอง .....	97

รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายดาวเทียมการใช้ที่ดินบริเวณตำบลนาเกลือ ตำบลบ้านคลองสวน และตำบล  
แหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ จากเว็บไซต์ Google .....97

รูปที่ 4.15 ภาพตัวอย่างการจัดทำความสูงภูมิประเทศเชิงเลขในกรณีที่มีความสูงของภูมิประเทศที่  
ได้เป็นความสูงบริเวณก้นบ่อน้ำ ซึ่งระดับน้ำจากการประมวลผลจะเป็นระดับน้ำที่ถูกต้อง .....98

รูปที่ 4.16 ภาพตัวอย่างการจัดทำความสูงภูมิประเทศเชิงเลขในกรณีที่มีความสูงของภูมิประเทศที่  
ได้เป็นความสูงของผิวน้ำ ซึ่งระดับน้ำจากการประมวลผลจะเป็นระดับน้ำที่น้อยเกินจริง .....99

รูปที่ 4.17 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2016 โดยพิจารณา  
ปัจจัยทางธรณีพิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด และแสดงตำแหน่งพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำทะเลท่วมจากการ  
สัมภาษณ์..... 102



## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง World bank (2009) แบบจำลองสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2009) และแบบจำลองในงานวิจัยนี้.....	15
ตารางที่ 4.1 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองในหัวข้อ 4.1.....	73
ตารางที่ 4.2 สรุปพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในเดือนมกราคมปี 2007 – ปี 2012 และเดือนมกราคม ปี 2016 โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ทั้งหมด.....	78
ตารางที่ 4.3 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองในหัวข้อ 4.2.....	79
ตารางที่ 4.4 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองในหัวข้อ 4.3.....	83
ตารางที่ 4.5 สรุปพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในเดือนมกราคมปี 2060 โดยเพิ่มการพิจารณาระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ .....	87
ตารางที่ 4.6 สรุปพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในเดือนมกราคมปี 2020 – 2050 ทุกๆ 10 ปี .....	90
ตารางที่ 4.7 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองในหัวข้อ 4.5.....	91
ตารางที่ 4.8 สรุปพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในเดือนมกราคมปี 2010 และปี 2050 โดยเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มการพิจารณาปัจจัยด้านการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก.....	93
ตารางที่ 4.9 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองในหัวข้อ 4.6.....	94
ตารางที่ 4.10 สรุปพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในเดือนมกราคมปี 2020 และปี 2030 โดยเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มการพิจารณาปัจจัยด้านวัฏจักรของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย .....	96



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ได้แก่ จังหวัดสมุทรปราการ และฉะเชิงเทรา ตั้งอยู่บริเวณที่ราบภาคกลางของประเทศไทย ทางตอนเหนือของอ่าวไทย บริเวณดังกล่าวมีความสูงภูมิประเทศประมาณ 0.5 – 1.5 เมตรเหนือระดับทะเลปานกลาง และมีพื้นที่ชายฝั่งติดกับอ่าวไทย หากระดับน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยสูงขึ้นย่อมส่งผลกระทบต่อชายฝั่งและประชากรจำนวนมาก การศึกษาเรื่องการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจึงเป็นสิ่งสำคัญในการวางแผนบริหารจัดการน้ำท่วมบริเวณชายฝั่ง จากผลการวิจัยเรื่องระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย (Trisirisatayawong et al, 2011) พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของระดับทะเลปานกลางบริเวณชายฝั่งสมุทรปราการมีค่าประมาณ 5.0 มิลลิเมตรต่อปี จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นเฉลี่ยของระดับน้ำทะเลโลกพบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับทะเลเฉลี่ยจากมาตรวัดน้ำทั่วโลก มีค่าประมาณ 1.7 – 1.8 มิลลิเมตรต่อปี (Woodroffe and Murray-Wallace, 2012) เนื่องจากน้ำทะเลโลกในแต่ละภูมิภาคมีรูปแบบการเคลื่อนที่ที่ไม่แน่ชัด ในบางภูมิภาคอาจมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลมากกว่าอัตราเฉลี่ยของโลก 2-3 เท่า ในขณะที่บางภูมิภาคกลับมีระดับน้ำทะเลลดลง อันเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและสภาพแวดล้อมในท้องถิ่นนั้นๆ (Feng et al, 2013)

นอกจากปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในระยะยาวที่ส่งผลให้เกิดน้ำท่วมบริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พื้นที่ดังกล่าวยังได้รับผลกระทบจากปัญหาแผ่นดินทรุดที่ติดต่อกันมาเป็นระยะเวลานาน ปัญหาแผ่นดินทรุดเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปบริเวณเมืองใหญ่ทั่วโลกที่มีการสูบน้ำบาดาลเร็วเกินกว่าอัตราการไหลเข้าทดแทนทางธรรมชาติ ในอดีตที่ผ่านมากรุงเทพมหานครและปริมณฑลได้มีการพัฒนาน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ และนับตั้งแต่ทศวรรษ 1950 จากการขยายตัวของเมืองและโรงงานอุตสาหกรรมทำให้มีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในปริมาณมาก เมื่อมีการใช้น้ำบาดาลเกินสมดุลทางธรรมชาติติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ทำให้แรงดันของระดับน้ำบาดาลลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว และไม่มีการคืนตัว ผิวดินจึงมีการทรุดตัวทั่วบริเวณ ประเทศไทยจึงเริ่มทำการสังเกตการณ์การทรุดตัวของแผ่นดินของแผ่นดินบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลโดยการทำงานระดับตั้งแต่ปี 1960 เป็นต้นมาโดยกรมแผนที่ทหาร ผลจากการสังเกตการณ์ด้วยการทำงานระดับที่ผ่านมาและการใช้เทคโนโลยี InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) เข้ามาช่วย พบว่าบางพื้นที่มีอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินมากถึง 25 มิลลิเมตรต่อปี บริเวณพื้นที่

กรุงเทพมหานครฝั่งตะวันออกมีการทรุดตัวมาก ทำให้มีความสูงภูมิประเทศต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง การทรุดตัวของแผ่นดินจึงเป็นปัจจัยที่เพิ่มความเสี่ยงให้บริเวณที่ราบชายฝั่งกรุงเทพมหานครเกิดน้ำท่วมในปี 1983 และ 2011 (Aobpaet et al, 2013) ทั้งนี้พื้นที่บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีความหลากหลายทางธรณีวิทยามาก กล่าวคือโครงสร้างชั้นตะกอนในพื้นที่นี้มีความลึกตั้งแต่ไม่กี่ร้อยเมตรจนถึงประมาณสองพันเมตร จึงไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่าการทรุดตัวของแผ่นดินบริเวณนี้จะดำเนินไปยาวนานเท่าไรและสิ้นสุดลงที่ระดับใด

การศึกษาเรื่องแผ่นดินทรุดในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่ผ่านมา ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าแผ่นดินเปลือกโลกไม่มีการเคลื่อนที่ จากงานวิจัยเรื่องการเคลื่อนที่ของแผ่นดินเปลือกโลก (Satirapod et al, 2013) ผลลัพธ์จากการรังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบความเที่ยงตรงสูง (High-precision GPS) แสดงให้เห็นว่าสมมติฐานดังกล่าวไม่เป็นความจริง การรังวัดการเคลื่อนที่ของแผ่นดินเปลือกโลกภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวครั้งใหญ่ Mw 9.2 ในเดือนธันวาคม 2004 บริเวณใกล้เกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย พบว่าแผ่นดินเปลือกโลกซุนดาบริเวณประเทศไทยมีการลดระดับลงอย่างรวดเร็ว (Trisirisatayawong and Cheewinsirawat, 2013) ซึ่งเกิดจากการติดตัวของแผ่นดินเปลือกโลกซุนดา บริเวณร่องลึกบาดาลซุนดา (Sunda Trench) ทำให้เกิดการยึดตัวของพื้นที่แผ่นดินเปลือกโลกบริเวณใจกลางและเกิดการลดระดับขึ้น ในการสร้างแบบจำลองน้ำท่วมในบริเวณประเทศไทยจึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยด้านการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นดินเปลือกโลกที่ดำเนินไปตามวัฏจักรการเคลื่อนที่ของแผ่นดินเปลือกโลกซุนดา อันมีผลต่อระดับความสูงภูมิประเทศเช่นเดียวกับการทรุดตัวของแผ่นดิน

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าหากปรากฏการณ์ต่างๆ ยังคงดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งย่อมประสบปัญหาน้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การศึกษาและหาแนวทางป้องกันจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องได้รับการดำเนินการ ซึ่งในการวางแผนหรือหาแนวทางป้องกันได้นั้นจำเป็นต้องเห็นสภาพการณ์ของปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นอย่างชัดเจน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำและปรับปรุงแบบจำลอง เพื่อแสดงระดับน้ำบริเวณชายฝั่งของกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง โดยวิเคราะห์จากข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM) ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งกรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดฉะเชิงเทรา จากกรมทรัพยากรธรณี ประกอบกับปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ได้แก่ ข้อมูลการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยจากงานวิจัยของ Trisirisatayawong et al (2011) ข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดินจากงานวิจัยของ Aobpaet et al (2013) ข้อมูลวัฏจักรการเปลี่ยนแปลงความสูงของแผ่นดินเปลือกโลกซุนดาจากงานวิจัยของ Satirapod et al (2013) และข้อมูลวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยจากงานวิจัยของ Trisirisatayawong and Cheewinsirawat (2013) โดยศึกษาและปรับปรุงแบบจำลองภาพเหตุการณ์น้ำท่วมและจัดทำแผนที่

น้ำท่วมบริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนบริหารจัดการน้ำท่วมที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 พัฒนาแบบจำลองการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษา อันเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การทรุดตัวของแผ่นดิน วัฏจักรการเปลี่ยนแปลงของแผ่นเปลือกโลกซุนดา วัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย

1.2.2 จัดทำแผนที่น้ำท่วมจำลองภาพเหตุการณ์น้ำทะเลท่วมบริเวณพื้นที่ศึกษา

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

### 1.3.1 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาแบบจำลองภาพเหตุการณ์การเกิดน้ำทะเลท่วมบริเวณพื้นที่ชายฝั่งของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ได้แก่ จังหวัดสมุทรปราการและจังหวัดฉะเชิงเทรา โดยนำปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์คือ ข้อมูลอัตราเฉลี่ยการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย อัตราเฉลี่ยการทรุดตัวของแผ่นดินบริเวณพื้นที่ศึกษา ข้อมูลวัฏจักรการเปลี่ยนแปลงของแผ่นเปลือกโลกซุนดา และข้อมูลวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย มาพิจารณาร่วมกับข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM) เพื่อสร้างแบบจำลองภาพการเกิดเหตุการณ์น้ำท่วม และแสดงผลในรูปแบบของแผนที่น้ำท่วม

ทั้งนี้งานวิจัยตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยที่นำมาอ้างอิงในงานวิจัย มีอัตราคงที่คือ 5 มิลลิเมตรต่อปี อ้างอิงจากงานของ Trisirisatayawong et al (2011) ตลอดระยะเวลาของงานวิจัย เช่นเดียวกับข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดินซึ่งอ้างอิงจาก Aobpaet et al (2013) จะถือว่าอัตราการทรุดตัวในแต่ละบริเวณไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาขอบเขตงานวิจัย สำหรับการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกซุนดาตามวัฏจักรการเคลื่อนที่อ้างอิงจาก Satirapod et al (2013) โดยเลือกใช้ค่าการเปลี่ยนแปลงระดับที่เกิดขึ้นเมื่อใช้คาบอุบัติซ้ำ 500 ปี เนื่องจากผลลัพธ์จากงานวิจัยเรื่องการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกซุนดาซึ่งอ้างอิงสมมติฐานคาบอุบัติซ้ำ 170 ปีและคาบอุบัติซ้ำ 500 ปี ในช่วงเวลาขอบเขตงานวิจัยมีการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกซุนดาที่แตกต่างกันไม่เกิน 20 มิลลิเมตร ดังนั้นการเลือกใช้ข้อมูลจากคาบอุบัติซ้ำที่ต่างกันจึงได้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน

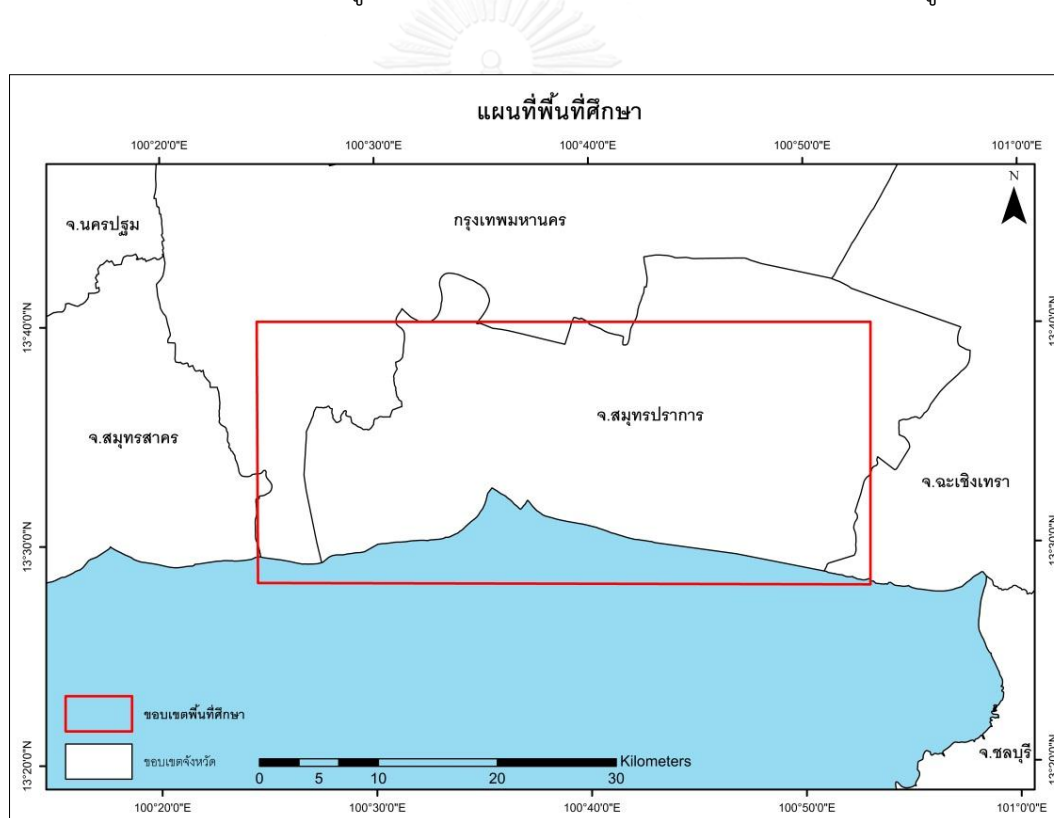
อย่างไรก็ตามแบบจำลองในงานวิจัยนี้ไม่มีการพิจารณาถึงผลกระทบของเหตุการณ์น้ำท่วมที่เกิดจากปัจจัยอื่นนอกเหนือจากที่อ้างอิงมาข้างต้น เช่น ปัจจัยด้านปริมาณน้ำฝน น้ำเหนือไหลหลากที่อาจมาสมทบกับการท่วมของน้ำทะเล และนโยบายการระบายน้ำ เป็นต้น

รวมถึงไม่มีการพิจารณาเรื่องการไหลของน้ำทะเลที่เข้าท่วมพื้นที่ จึงไม่จัดว่าเป็นแบบจำลองทางอุทกศาสตร์ (Hydrological model)

ในการจัดทำแบบจำลองจะมีขอบเขตด้านระยะเวลาคือตั้งแต่ปี 2006 เป็นต้นไป เนื่องจากมีข้อมูลปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองครบทุกประการ และในการจำลองภาพเหตุการณ์ในงานวิจัยนี้จะเลือกปี 2060 เป็นปีตัวอย่างในการจัดทำแผนที่น้ำท่วมให้เห็นอย่างชัดเจน

### 1.3.2 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง 2 จังหวัดได้แก่ จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งถูกกำหนดในขอบเขตของแบบจำลองภูมิประเทศเชิงเลขที่สามารถนำมาใช้ในการศึกษา ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาในการสร้างแบบจำลองและจัดทำแผนที่น้ำท่วมในกรอบสีแดง ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งกรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ และบางส่วนของจังหวัดฉะเชิงเทรา

### 1.3.3 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

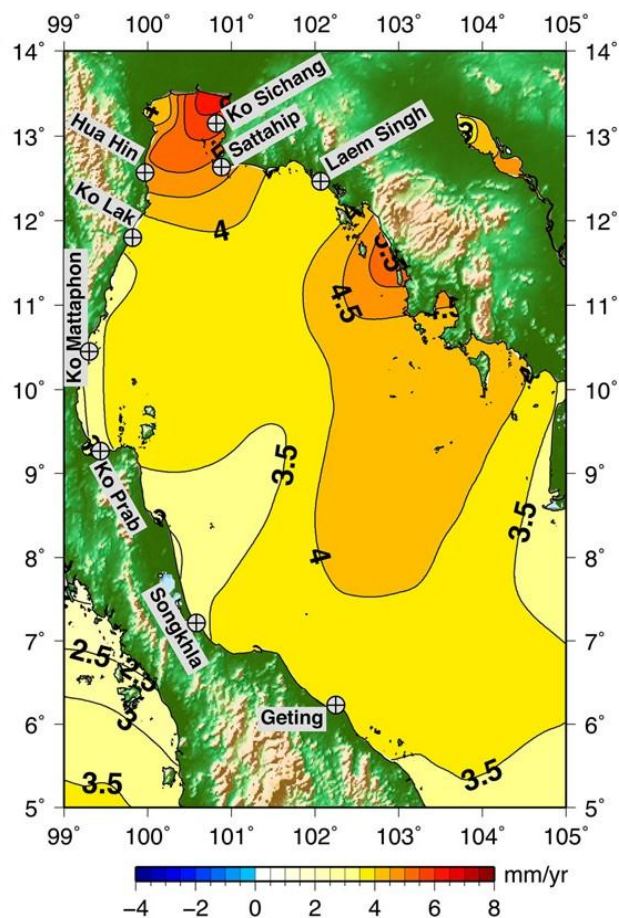
ในการสร้างแบบจำลองมีการพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ร่วมกับข้อมูลความสูงภูมิประเทศ ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย ข้อมูลการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย

ข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดินบริเวณกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง ข้อมูลวัฏจักรการเปลี่ยนแปลงของแผ่นเปลือกโลกซุนดา ข้อมูลวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย และข้อมูลความสูงภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา

#### 1.3.3.1 การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล (Sea level rise)

บริเวณพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ราบลุ่มทางภาคกลางของประเทศไทยและมีพื้นที่ติดกับอ่าวไทย ดังนั้นบริเวณดังกล่าวจึงพื้นที่ชายฝั่งติดกับทะเล การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้บริเวณนี้ประสบน้ำท่วมได้อย่างง่ายดาย ในการสร้างแบบจำลองจึงจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยดังกล่าวอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

งานวิจัยนี้อ้างอิงข้อมูลการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยจากงานวิจัยของ Trisirisatayawong et al (2011) ที่ทำการศึกษาเรื่อง อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย โดยพิจารณาค่าการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกที่รังวัดได้จากสถานีรังวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสเพิ่มเติม เพื่อปรับแก้อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยจากการประมวลผลข้อมูลดาวเทียมวัดระดับน้ำทะเล (Altimetry Satellite) บริเวณสถานีเกาะสีซัง ที่มีค่า 5.0 มิลลิเมตรต่อปี (รูปที่ 1.2) มาใช้ในการสร้างแบบจำลอง และอยู่บนสมมติฐานว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะดำเนินไปอย่างคงที่ตลอดระยะเวลาขอบเขตงานวิจัย



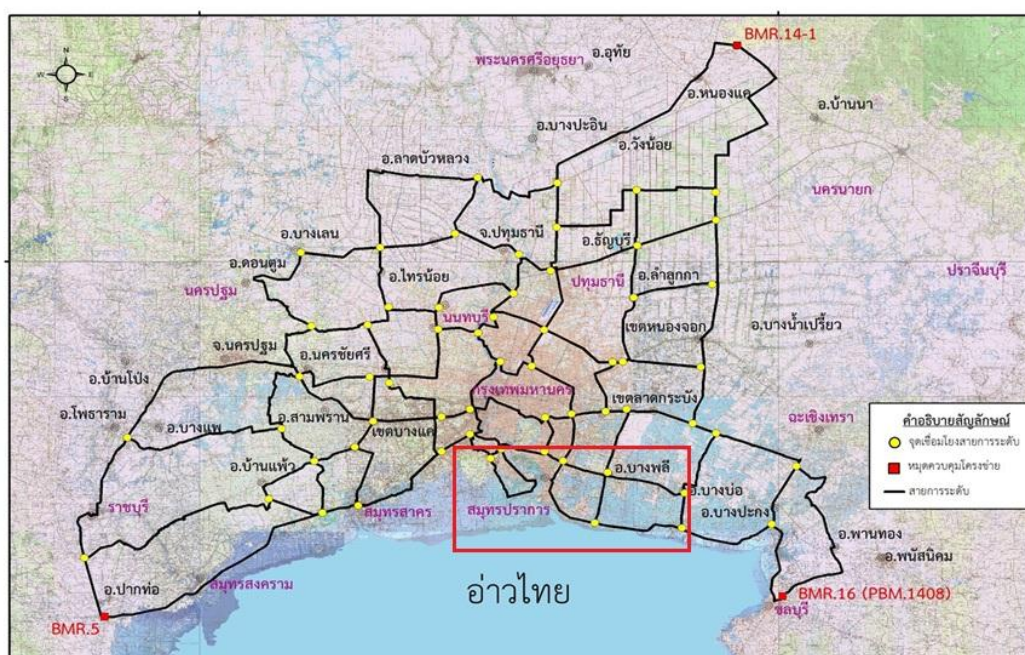
รูปที่ 1.2 ผลการศึกษาอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยต่อปีจากการประมวลผลข้อมูลดาวเทียมวัดระดับน้ำทะเล (Altimetry Satellite) ในช่วงปี 1993-2009 จากงานวิจัยของ Trisirisatayawong et al (2011)

### 1.3.3.2 การทรุดตัวของแผ่นดิน (Land subsidence)

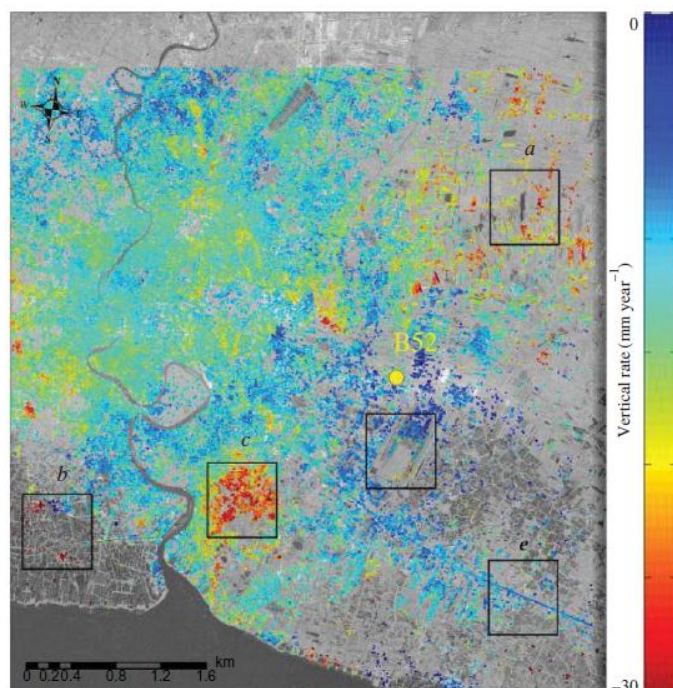
ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่บริเวณพื้นที่ศึกษาประสบอีกประการหนึ่งคือ ปัญหาแผ่นดินทรุดตัว โดยเฉพาะพื้นที่กรุงเทพมหานครฝั่งตะวันออกและจังหวัดสมุทรปราการฝั่งตะวันออกที่มีการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมและบ้านเรือนเป็นจำนวนมาก การขยายตัวของเมืองดังกล่าวส่งผลให้มีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในการอุปโภคบริโภคอย่างมาก จนเกินสมดุลตามธรรมชาติ เกิดปัญหาแผ่นดินทรุดตัว ซึ่งจะทำให้ระดับความสูงภูมิประเทศลดลง ในขณะที่ระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น ส่งเสริมให้เกิดน้ำท่วมทั่วบริเวณชายฝั่งได้รวดเร็วและรุนแรงยิ่งขึ้น ในการสร้างแบบจำลองจึงต้องพิจารณาการทรุดตัวของแผ่นดินอันเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดน้ำท่วม

ข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดินที่ใช้อ้างอิงในงานวิจัยนี้มาจากงานวิจัยของ Aobpaet et al (2013) ที่นำเสนอการศึกษาติดตามการทรุดตัวของแผ่นดิน

กรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง โดยใช้เทคนิค Time-series InSAR ในช่วงเดือนตุลาคมปี 2005 ถึงเดือนมีนาคมปี 2010 เพื่อศึกษาพฤติกรรมทรุดตัวของแผ่นดินในแต่ละบริเวณว่ามีลักษณะอย่างไรและคำนวณหาอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินบริเวณพื้นที่ศึกษา จากการศึกษพบว่าอัตราการทรุดตัวของบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีค่าประมาณ 0 ถึง 30 มิลลิเมตรต่อปี (รูปที่ 1.4) เมื่อนำผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วย Time-series InSAR มาเปรียบเทียบกับงานระดับพบมีความสอดคล้องกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากว่าปรากฏการณ์การทรุดตัวเป็นปรากฏการณ์ขนาดเล็ก กล่าวคือเป็นปรากฏการณ์ที่มีการแปรผันของค่าในเชิงพื้นที่และเชิงเวลามาก ซึ่งบริเวณพื้นที่ศึกษาที่เป็นชายฝั่งกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียงเป็นบริเวณที่ไม่มีหมุดหลักฐาน ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 1.3 ในขณะที่การประมวลผลด้วย Time-series InSAR มีความหนาแน่นของจุดตรวจสอบค่ารังวัดมากกว่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ข้อมูลการทรุดตัวจาก Time-series InSAR เพราะสามารถแสดงอัตราการทรุดตัวบริเวณพื้นที่ศึกษาได้ดีกว่าค่าจากงานระดับ



รูปที่ 1.3 โครงข่ายหมุดหลักฐานที่กรมแผนที่ทหารใช้ในการดำเนินการสำรวจระดับการทรุดตัวของแผ่นดินประจำปีในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และขอบเขตพื้นที่ศึกษาของงานวิจัยในกรอบสีแดง



รูปที่ 1.4 อัตราการทรุดตัวของกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่ตรวจพบในปี 2005 – 2010 จากการประมวลผลด้วยเทคนิค Time-series InSAR จากงานวิจัย Aobpaet et al (2013)

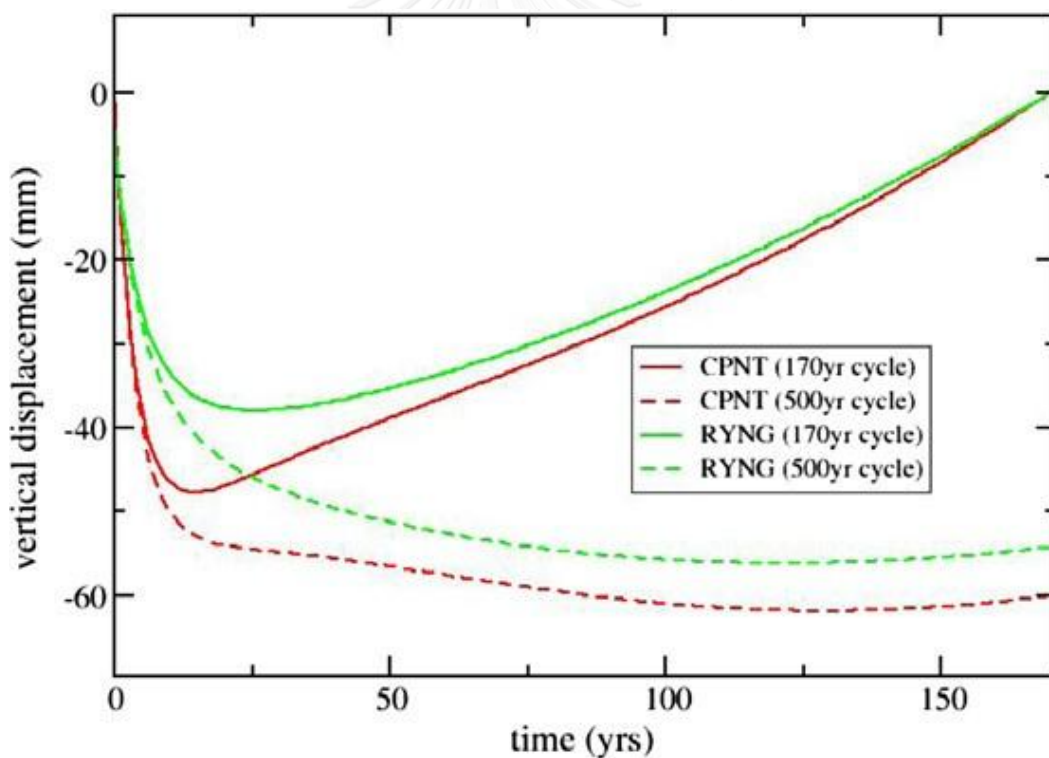
### 1.3.3.3 การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก (Vertical plate motion)

ภายหลังการเกิดแผ่นดินไหวในเดือนธันวาคม ปี 2004 ณ เกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย ได้มีการศึกษาและการรังวัดการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก จากงานวิจัยพบว่าหลังแผ่นดินไหว Mw 9.2 แผ่นเปลือกโลกซุนดาบริเวณประเทศไทยมีการลดระดับลงอย่างรวดเร็ว การเปลี่ยนแปลงความสูงของแผ่นเปลือกโลกนี้มีผลต่อค่าระดับผิวดิน และปริมาณน้ำทะเลที่จะเข้าท่วมพื้นที่เมื่อประสบภัย โดยเฉพาะบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาในกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง ในการสร้างแบบจำลองจึงต้องมีการพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ดังกล่าวร่วมด้วย

จากงานวิจัยของ Satirapod et al (2013) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกซุนดา และคาดการณ์ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกซุนดาบริเวณประเทศไทยในอนาคตภายหลังปรากฏการณ์แผ่นดินไหว Mw 9.2 ณ เกาะสุมาตราในปี 2004 โดยมีสมมติฐานว่าคาบอุบัติซ้ำคือ 170 ปีและ 500 ปี จากการศึกษาพบว่าสิ้นสุดปี 2010 แผ่นเปลือกโลกซุนดาบริเวณประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในแนวราบสะสมขณะเกิดแผ่นดินไหวและช่วงหลังการเกิดแผ่นดินไหวประมาณ 10.5 ถึง 74.7 เซนติเมตร โดยบริเวณที่มีการเคลื่อนที่



มากที่สุดคือบริเวณภาคใต้ ในขณะที่บริเวณภาคกลางและภาคเหนือมีการเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย นอกจากนี้จากการรังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส แสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกหลังการเกิดแผ่นดินไหวปี 2004 จนถึงปี 2010 พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีอัตราการเปลี่ยนแปลงระดับในแนวตั้งมากถึง 1 เซนติเมตรต่อปี อีกทั้งเป็นครั้งแรกที่สามารถรังวัดและบันทึกการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกหลังการเกิดแผ่นดินไหวได้ในระยะไกลมากถึง 650-1500 กิโลเมตรจากศูนย์กลางของแผ่นดินไหว เมื่อศึกษากระบวนการทางกายภาพที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น และนำแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สามมิติ (3D Finite Element Model) มาใช้ในการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของแผ่นเปลือกโลกตลอดวัฏจักรการเปลี่ยนแปลงของแผ่นเปลือกโลก (รูปที่ 1.5) ซึ่งพบว่าแผ่นเปลือกโลกซุนดาบริเวณประเทศไทยจะมีการลดความเร็วในการลดระดับลงจนถึงช่วงทศวรรษ 2030 และระดับที่ลดลงจะมีค่าไม่เกิน 10 เซนติเมตรในเขตกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 1.5 กราฟพยากรณ์การเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกตามวัฏจักรการเปลี่ยนแปลงของแผ่นเปลือกโลกซุนดาบริเวณสถานีตรวจวัดจังหวัดชุมพร (CPNT) และจังหวัดระยอง (RNYG) บนสมมติฐานของคาบอุบัติซ้ำ 170 ปี และ 500 ปี จาก Satirapod et al (2013)

#### 1.3.3.4 ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model)

ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM) ซึ่งงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูล DEM จากกรมทรัพยากรธรณี จัดทำขึ้นในปี 2006 โดยมีความละเอียดของข้อมูล 1 เมตร และมีค่าความถูกต้องทางราบ (Vertical accuracy) 30 เซนติเมตร ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มแม่น้ำสองฝั่งของแม่น้ำเจ้าพระยา อย่างไรก็ตามในปี 2013 บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลได้มีการจัดทำ DEM ขึ้นใหม่ โดย JICA (Japanese International Cooperation Agency) ซึ่งมีความละเอียดของข้อมูล 2 เมตร แต่ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ข้อมูล DEM จากกรมทรัพยากรธรณี ปี 2006 ซึ่งต่ำกว่า เนื่องจากข้อมูล DEM ที่จัดทำขึ้นใหม่ในปี 2013 มีการตัดพื้นที่ชายฝั่งบางส่วนออก จึงไม่เหมาะสมในการนำมาสร้างแบบจำลองภาพเหตุการณ์น้ำท่วมบริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

#### 1.3.4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานวิจัย

1.3.4.1 โปรแกรม Python 2.7 ใช้ในการเขียนชุดคำสั่งเพื่อสร้างแบบจำลอง และประมวลผลข้อมูล

1.3.4.2 โปรแกรม ArcGIS 10.2 ใช้ในการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลอง และจัดทำแผนที่สภาพการณ์ของพื้นที่ขณะเกิดน้ำท่วมจากปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง

### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.4.2 เก็บรวบรวมข้อมูลและจัดเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง

1.4.3 ออกแบบแนวคิดและวิธีการสร้างแบบจำลอง

1.4.4 ทดสอบการทำงานของแบบจำลอง แก้ไขและปรับปรุงแบบจำลองให้มีประสิทธิภาพ

1.4.5 ตรวจสอบและวิเคราะห์ผลลัพธ์จากแบบจำลอง

1.4.6 สรุปผลการวิจัย

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบเทคนิควิธีการและข้อจำกัดในการสร้างแบบจำลองการเกิดน้ำทะเลท่วมบริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

1.5.2 สามารถสร้างแบบจำลองภาพเหตุการณ์น้ำทะเลท่วมที่แสดงระดับน้ำในแต่ละพื้นที่เมื่อประสบภัย

1.5.3 สามารถนำแบบจำลองภาพเหตุการณ์ไปใช้ในการวางแผนป้องกันหรือบรรเทาภัย

## 1.6 นิยามศัพท์ (Definition of Terms)

1.6.1	พื้นที่น้ำท่วม	หมายถึง	พื้นที่ที่น้ำทะเลเข้าท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล
1.6.2	ภาพเหตุการณ์	หมายถึง	ภาพจำลองเหตุการณ์น้ำทะเลท่วมบริเวณพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลาที่มีการกำหนดไว้ในขั้นตอนการประมวลผลแบบจำลอง



## บทที่ 2

### แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

#### 2.1 งานวิจัยที่ผ่านมา

ในอดีตมีการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองน้ำท่วม (flood modeling) บริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจำนวน 2 งานคือการศึกษาของ World Bank (2009) และสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2009) พบว่าแบบจำลองจากงานวิจัยทั้งสองมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ ประการแรกคือในงานวิจัยของ World Bank (2009) มีการอ้างอิงอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจากรายงานประจำปีของคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) ซึ่งค่าการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองเป็นค่าเฉลี่ยของโลก ไม่ใช่ค่าเฉลี่ยเฉพาะบริเวณอ่าวไทย ซึ่งจากงานวิจัยของ Nerem et al (2006) ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลทั่วโลกมีปัจจัยมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและความหลากหลายของลักษณะทางกายภาพของแต่ละภูมิภาคทั่วโลก ดังนั้นแต่ละภูมิภาคจึงมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลที่แตกต่างกันในอัตราที่แตกต่างกัน บางภูมิภาคอาจมีการลดลงของระดับทะเล ในขณะที่หลายภูมิภาคอาจมีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลอย่างต่อเนื่อง แบบจำลองของ World Bank (2009) ซึ่งนำค่าการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยทั่วโลกมาใช้ร่วมกับแบบจำลองเฉพาะในเขตประเทศไทยจึงไม่เหมาะสมเพราะค่าเฉลี่ยของทั่วโลกมีค่าต่ำกว่าบริเวณอ่าวไทยถึง 3 เท่า ส่งผลให้แบบจำลองแสดงความรุนแรงของเหตุการณ์น้ำท่วมต่ำเกินจริง จึงไม่เหมาะสมที่จะนำผลจากแบบจำลองมาใช้วางแผนในการบริหารจัดการพื้นที่ เช่นเดียวกับแบบจำลองจากงานวิจัยของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2009) ที่สมมติสถานการณ์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเป็น 4 ระดับคือ 1, 2, 3 และ 4 เมตรตามลำดับ โดยที่ไม่ได้ระบุว่าแต่ละเหตุการณ์จะเกิดขึ้นประมาณเมื่อไร ซึ่งจากการศึกษาที่มีอยู่ในปัจจุบัน การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยมีค่าประมาณ 5.0 มิลลิเมตรต่อปี ดังนั้นการที่ระดับน้ำทะเลจะเพิ่มขึ้นในระดับแรกคือ 1 เมตรได้ จะต้องใช้ระยะเวลาจนถึงประมาณ 200 ปี ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ไกลเกินกว่าที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนบริหารจัดการพื้นที่ได้จริงในทางปฏิบัติ

ข้อจำกัดประการที่สองคือข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดิน แบบจำลองของ World bank (2009) ได้มีการนำข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดินจากหมุดระดับในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจำนวนเพียง 70 หมุดมาประมาณค่าแบบช่วง (Interpolation) จากนั้นจึงนำพื้นผิวการทรุดตัว

ดังกล่าวมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งปรากฏการณ์การทรุดตัวของแผ่นดินเป็นปรากฏการณ์ขนาดเล็ก มีการเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งที่ค่อนข้างเร็ว ดังนั้นการใช้หมุดระดับเพียงไม่กี่ตำแหน่งมาประมาณค่าของบริเวณพื้นที่ศึกษาขนาด 1140 ตารางกิโลเมตรโดยประมาณ จึงสามารถแสดงภาพเหตุการณ์ขณะเกิดน้ำท่วมในแต่ละบริเวณได้โดยคร่าวเท่านั้น สำหรับแบบจำลองของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2009) ไม่มีการพิจารณาข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดินในการสร้างแบบจำลอง ทำให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองมีความคาดเคลื่อนจากความเป็นจริงอยู่มากเนื่องจากเป็นที่ทราบกันว่าพื้นที่ดังกล่าวประสบปัญหาการทรุดตัวของแผ่นดินอย่างต่อเนื่อง

ข้อจำกัดประการที่สามของแบบจำลอง World bank (2009) และ แบบจำลองของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2009) คือแบบจำลองทั้งสองไม่มีการพิจารณาปัจจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก จากงานวิจัยของ Satirapod et al (2013) ได้แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกซุนดาบริเวณประเทศไทย ภายหลังจากเกิดแผ่นดินไหว Mw 9.2 ปี 2004 ณ เกาะสุมาตรา และทำการคำนวณและปรับให้สอดคล้องกับแบบจำลองธรณีภาคแบบสามมิติ เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของแผ่นเปลือกโลกซุนดาตามสมมติฐานคาบอุบัติซ้ำ 170 ปีและ 500 ปี ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกมีผลต่อการทรุดตัวของแผ่นดินและระดับน้ำทะเลที่เข้าท่วมพื้นที่ ดังนั้นแบบจำลองทั้งสองจึงไม่สามารถแสดงผลลัพธ์ได้อย่างละเอียด

ข้อจำกัดประการที่สี่คือ ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขหรือ DEM ที่ถูกนำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง World Bank และ แบบจำลองของกรมทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมเป็น SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) ซึ่งเป็น DEM ที่จัดทำขึ้นโดย NASA และเปิดให้บริการไม่เสียค่าใช้จ่ายตั้งแต่ปี 2003 ครอบคลุมภูมิประเทศมากกว่าร้อยละ 80 ทั่วโลก ซึ่งมีความละเอียดของข้อมูล (Resolution) 90 เมตรและมีความคาดเคลื่อนของค่าความสูงมากกว่า 10 เมตร ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่มีความสูงภูมิประเทศเหนือระดับทะเลปานกลางประมาณ 1-2 เมตร และมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ด้วยความคาดเคลื่อนของค่าความสูงของ SRTM ที่มีขนาดใหญ่กว่าความสูงภูมิประเทศจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองน้ำท่วมบริเวณพื้นที่ศึกษา

ข้อจำกัดประการที่ห้าคือการสร้างแบบจำลองของทั้ง World bank (2009) และ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2009) ไม่มีการพิจารณาวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย (Annual cycle) แบบจำลองจึงไม่สามารถแสดงระดับน้ำที่เข้าท่วมพื้นที่ในแต่ละเดือนได้อย่างชัดเจน ในงานวิจัยนี้จึงมีการอ้างอิงข้อมูลวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยที่มีความละเอียดระดับรายเดือนมาพิจารณาร่วม โดยแอมพลิจูดของระดับน้ำทะเลมีค่าประมาณ

30 เซนติเมตร ดังนั้นข้อมูลวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลจึงมีผลต่อการจำลองภาพเหตุการณ์น้ำท่วม และช่วงเวลาที่มีปริมาณน้ำมากน้อยต่างกันในแต่ละเดือน

ข้อจำกัดประการสุดท้ายของแบบจำลองจากงานวิจัยที่ผ่านมาคือ แบบจำลองไม่ได้มีการคำนึงถึงระบบป้องกันน้ำท่วมที่มีอยู่ในพื้นที่ศึกษา เช่น เขื่อน คันกั้นน้ำ หรือ ประตูน้ำ เป็นต้น การนำข้อมูลระบบป้องกันน้ำท่วมมาพิจารณาร่วมกับแบบจำลองจะช่วยแสดงภาพเหตุการณ์ที่มีความเสมือนจริงมากยิ่งขึ้น และช่วยเพิ่มความถูกต้องของระดับน้ำทะเลที่เข้าท่วมพื้นที่ เช่น หากพื้นที่ใดมีคันกั้นน้ำที่สูงกว่าระดับน้ำทะเลที่คาดการณ์ไว้ ก็จะช่วยป้องกันภัยได้ แม้ธรรมชาติของพื้นที่ภายในคันกั้นน้ำจะต่ำกว่าระดับน้ำทะเลก็ตาม ในงานวิจัยนี้จึงมีการปรับปรุงแบบจำลองที่ผ่านมา โดยนำข้อมูลระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ศึกษามาร่วมพิจารณา เพื่อให้สามารถนำแบบจำลองไปใช้ในการวางแผนจัดการน้ำท่วมได้ดียิ่งขึ้น

จากข้อจำกัดของแบบจำลองของ World Bank (2009) แบบจำลองจากงานวิจัยของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2009) และแบบจำลองในงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นผลมาจากการเลือกใช้ข้อมูลทางธรณีสัณฐานที่ต่างกัน โดยสามารถสรุปข้อมูลที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองแต่ละแบบจำลองได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง World bank (2009) แบบจำลองสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2009) และแบบจำลองในงานวิจัยนี้

ข้อมูล	แบบจำลองสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2009)	แบบจำลอง World Bank (2009)	แบบจำลองในงานวิจัยนี้
ความสูงภูมิประเทศ เชิงเลข	SRTM	SRTM	DEM จากกรมทรัพยากร ธรณี
การเพิ่มขึ้นของระดับ ทะเลสัมบูรณ์	1 - 4 เมตร	IPCC	Trisirisatayawong et al (2011)
อัตราการทรุดตัวของ แผ่นดิน	-	Leveling	Aobpaet et al (2013)
การเคลื่อนที่ทางตั้ง ของแผ่นเปลือกโลก	-	-	Satirapod et al (2013)
แอมพลิจูดของวัฏจักร รายปีของ ระดับน้ำทะเล ในอ่าวไทย	-	-	Trisirisatayawong and Cheewinsirawat (2013)
แนวคั่นกันน้ำและ ตำแหน่งประตูน้ำ	-	-	สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร

## 2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

Bosello and Cian (2014) ทำการศึกษาเรื่องปฏิสัมพันธ์ของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อพายุบริเวณละติจูดกลางกับพายุในเขตร้อน ซึ่งส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การกัดเซาะบริเวณชายฝั่ง และความเสี่ยงในการป้องกันการเกิดน้ำท่วม

บริเวณชายฝั่งมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น (Nicholls, 2007) นอกจากนี้ผลกระทบดังกล่าวยังส่งผลกระทบต่อสังคม เศรษฐกิจ และสภาพแวดล้อมบริเวณชายฝั่ง ทั้งในด้านการท่องเที่ยว เกษตรกรรม สาธารณสุข แหล่งน้ำจืด และสาธารณสุข (Nicholls et al, 2010) ในการตรวจสอบผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นมีการจัดทำแบบจำลองทางวิศวกรรมและการใช้สารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographical Information Systems; GIS) โดยพิจารณาข้อมูลประชากรและงบประมาณในการสร้างระบบป้องกันประกอบกัน จากการศึกษาพบว่าประชากรมากกว่า 60 ล้านคนทั่วโลกจะได้รับผลกระทบจากน้ำทะเลท่วมหากกระดับน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 1 เมตรในปี 2100 (Nicholls et al, 1999) โดยในแต่ละภูมิภาคของโลกจะมีความสูงของระดับน้ำที่เข้าท่วมพื้นที่อยู่ในระดับ 0.5 - 1.5 เมตร ทั้งนี้จากงานวิจัยดังกล่าวจึงแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่มีต่อชายฝั่งและเสนอแนวคิดในการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้คาดการณ์ระดับน้ำเมื่อเกิดน้ำท่วมได้

Woodroffe and Murray-Wallace (2012) ทำการศึกษาเรื่องสภาพแวดล้อมของชายฝั่งในอดีต โดยทำการศึกษาเรื่องระดับน้ำทะเลและขอบเขตของชายฝั่ง รวมถึงพฤติกรรมของชายฝั่งที่แปรผันไปตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล โดยการศึกษานี้ทำความเข้าใจและศึกษาเพิ่มเติมเรื่องการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล เพื่อให้สามารถคาดการณ์พฤติกรรมของชายฝั่งในอนาคตได้ จากการศึกษาพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลช่วงปลายศตวรรษที่ 20 มีค่าเท่ากับ 1.7 - 1.8 มิลลิเมตรต่อปี แต่จากการรังวัดด้วยดาวเทียมในช่วงระยะเวลาที่สั้นกว่าพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของทะเลมีค่าเท่ากับ 3.1 มิลลิเมตรต่อปี และระดับน้ำทะเลมีผลต่อขอบเขตชายฝั่ง รวมถึงพฤติกรรมของชายฝั่งเช่นกัน ดังนั้นการสังเกตการณ์บริเวณชายฝั่งที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการพัฒนาแบบจำลองบริเวณชายฝั่ง

Palanisamy et al (2014) ศึกษาเรื่องการประมาณระดับน้ำทะเลโลกและระดับน้ำทะเลในภูมิภาคแถบมหาสมุทรอินเดียในช่วงเวลา 60 ปีนับตั้งแต่ปี 1950 จนถึง 2009 เพื่อให้สามารถระบุปัจจัยทางสภาพอากาศที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในภูมิภาคได้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าเมื่อรังวัดความสูงของระดับน้ำทะเลด้วยดาวเทียมความเที่ยงตรงสูง (High-precision Satellite Altimetry) พบว่าระดับน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงมากในระดับภูมิภาค โดยในช่วง 20 ปีแสดงให้เห็นว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลสูงมากบริเวณตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิก โดยมีค่าสูงกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลโลกถึง 3 เท่า นอกจากนี้การศึกษายังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของการเคลื่อนที่ของแผ่นดินที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล พร้อมทั้งชี้ให้เห็นความสำคัญของการศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติของการเคลื่อนที่ของแผ่นดินเพื่อให้สามารถ



เข้าใจการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอดีตได้ เช่น ความเข้าใจเกี่ยวกับการทรุดตัวของแผ่นดิน เป็นต้น ซึ่งปัจจัยที่ทำให้อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินบริเวณตะวันตกของมหาสมุทรแปซิฟิกมีมากขึ้นคือการใช้ น้ำบาดาลที่ทำให้อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินมีค่ามากถึง 6.1 มิลลิเมตรต่อปีในช่วงปี 2000 ถึง 2005 ซึ่งอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลบริเวณภูมิภาคนี้ในช่วงปี 1950 ถึง 2009 มีค่าเท่ากับ 1.5 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งมีค่าน้อยกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลโลกที่มีค่า 1.8 มิลลิเมตรต่อปี สำหรับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งมหาสมุทรอินเดีย ชายฝั่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ชายฝั่งตะวันตกของออสเตรเลีย และเกาะในมหาสมุทรอินเดียมีค่าเท่ากับ 1.4 มิลลิเมตรต่อปี, 1.5 มิลลิเมตรต่อปี, 1.3 มิลลิเมตรต่อปีและ 1.5 มิลลิเมตรต่อปีตามลำดับ อย่างไรก็ตามบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และชายฝั่งตะวันตกของเอเชียตะวันตกแสดงให้เห็นอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลที่สูงมากในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมาคือ 3.5 มิลลิเมตรต่อปีและ 5.5 มิลลิเมตรต่อปี นอกจากนี้ปัจจัยทางภูมิอากาศ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลแล้ว การเคลื่อนที่ในแนวตั้งของแผ่นเปลือกโลกก็เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำทะเลท่วมบริเวณชายฝั่งและเกาะต่างๆเช่นกัน ดังนั้นจึงมีการศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในแนวตั้งเพื่อหาความสัมพันธ์กับระดับน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งทางตะวันตกของออสเตรเลียและเกาะกลางมหาสมุทรอินเดีย

Parker et al (2013) กล่าวว่า การบริหารจัดการชายฝั่งจำเป็นต้องประมาณระดับน้ำทะเลและแนวโน้มของระดับน้ำทะเลได้อย่างถูกต้อง ซึ่งที่ผ่านมาความเข้าใจเกี่ยวกับรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลยังไม่เพียงพอ เพราะการศึกษานั้นขาดการเก็บข้อมูลระดับน้ำทะเลอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน เพื่อให้เข้าใจคาบการเปลี่ยนแปลงในหลายทศวรรษ รวมถึงการเก็บข้อมูลที่ไม่ครอบคลุมทั่วบริเวณ เช่นบริเวณมหาสมุทรแปซิฟิก มีเครื่องบันทึกระดับน้ำทะเลเพียง 5 เครื่องเท่านั้นที่ทำการบันทึกเป็นช่วงเวลามากกว่า 100 ปี ดังนั้นจึงไม่สามารถนำมาใช้คาดการณ์ระดับน้ำทะเลได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการศึกษานี้ได้เสนอแนะการใช้เทคนิค linear fitting เพื่อคำนวณหาความเร็วการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจากข้อมูลในอดีตเป็นช่วงเวลา 60-70 ปีจนถึงปัจจุบัน หากข้อมูลมีช่วงระยะเวลา น้อยกว่า 60 ปีจะทำให้ค่าที่ได้ไม่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในระยะยาว ดังนั้นการบริหารจัดการชายฝั่งจึงต้องพิจารณาถึงปัจจัยด้านการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในระยะเวลา 30 ปีข้างหน้าเป็นอย่างดี

Saramul and Ezer (2014) ทำการศึกษาเรื่องปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระดับน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งของประเทศไทย อันได้แก่การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลอย่างรวดเร็วและความหลากหลายเชิงพื้นที่ รวมทั้งปัจจัยด้านมรสุมตามฤดูกาลที่มีผลต่อระดับน้ำทะเล จากผล

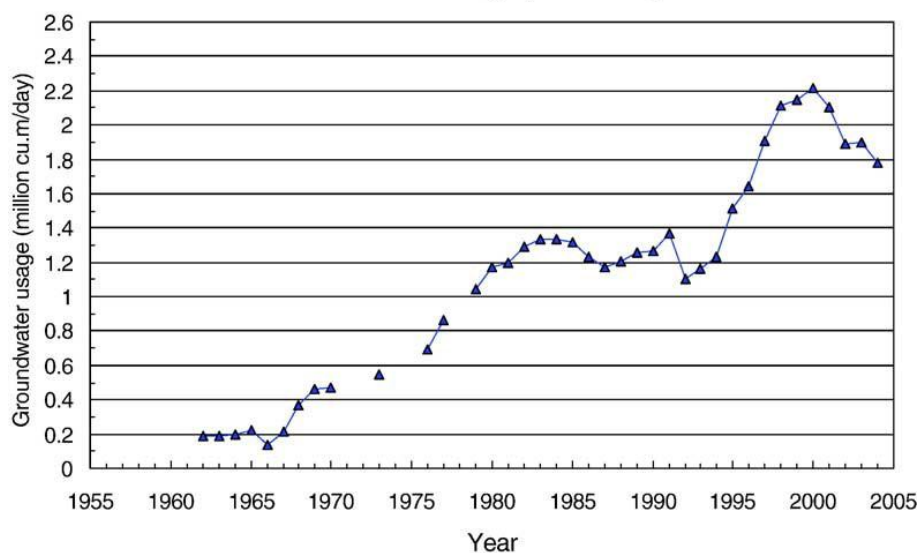
การศึกษาแสดงให้เห็นความหลากหลายของการเปลี่ยนแปลงในระดับภูมิภาค ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลตั้งแต่ 1 จนถึง 20 มิลลิเมตรต่อปี โดยบริเวณที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลมากที่สุดคือบริเวณตอนเหนือของอ่าวไทยใกล้กรุงเทพมหานครอันเป็นผลมาจากการทรุดตัวของแผ่นดินบริเวณนี้อันเนื่องมาจากการใช้น้ำบาดาล สำหรับช่วงเวลาของระดับน้ำทะเลที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตามฤดูกาล พบว่ามีความแตกต่างกันในแต่ละสถานี เช่น บริเวณอ่าวไทยมีระดับน้ำทะเลต่ำสุดในช่วงเดือนมิถุนายนและกรกฎาคม ในขณะที่สถานีในทะเลอันดามันมีค่าระดับน้ำทะเลต่ำสุดในเดือนกุมภาพันธ์ อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลโลกซึ่งมีการบันทึกโดยเครื่องบันทึกที่ระดับน้ำทะเลมานานกว่า 100 ปีมีอัตราการเพิ่มขึ้นอยู่ที่  $1.7 \pm 0.3$  มิลลิเมตรต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในช่วง 20 ปีจากการรังวัดด้วยดาวเทียมพบว่ามีค่าประมาณ  $3.2 \pm 0.5$  มิลลิเมตรต่อปี (Church and White, 2006, 2011) จากการศึกษาเรื่องการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทยล่าสุดโดย Trisirisatayawong et al (2011) พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลบริเวณนี้มีค่า 3.0 - 5.5 มิลลิเมตรต่อปี นอกจากนี้การศึกษาล่าสุดโดย Oliver (2014) ซึ่งเก็บค่าระดับน้ำทะเลจากเครื่องบันทึกตั้งแต่ปี 1985 จนถึง 2010 และใช้แบบจำลองวัฏจักรมหาสมุทรเชิงเลข (Numerical Ocean Circulation Model) เพื่อแสดงถึงความสำคัญของของฤดูกาลและการเปลี่ยนแปลงของลมที่มีผลต่อระดับน้ำทะเล ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหลากหลายของระดับน้ำทะเลคือฤดูกาล ซึ่งขับเคลื่อนด้วยกระบวนการทางดาราศาสตร์และสมุทรศาสตร์ เช่น ลม ความกดอากาศ การแผ่รังสีความร้อน การไหลบ่าของน้ำ (Torres and Tsimplis, 2012)

## 2.2.2 การทรุดตัวของแผ่นดิน

Phien-wej et al (2006) ศึกษาเรื่องการทรุดตัวของแผ่นดินในกรุงเทพมหานคร อันมีสาเหตุมาจากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ โดยผลกระทบนั้นสืบเนื่องยาวนานมากกว่า 35 ปี และการทรุดตัวนั้นเข้าสู่ขั้นวิกฤตในปี 1980 ซึ่งมีอัตราการทรุดตัวมากถึง 120 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งปัญหาการทรุดตัวอันเนื่องมาจากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้เกินขนาดเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับเมืองใหญ่ทั่วเอเชีย เช่น กรุงโตเกียว กรุงโอซากา เมืองเซี่ยงไฮ้ เมืองไทเป กรุงเทพมหานคร กรุงจาการ์ตา เมืองคัลคัตตา กรุงมะนิลา และกรุงฮานอย เป็นต้น สถานการณ์ของประเทศไทยถือว่าอยู่ในขั้นวิกฤตเมื่อเทียบกับประเทศอื่น เพราะแผ่นดินมีการทรุดตัวสะสมไปมากกว่า 1 เมตรในช่วง 35 ปี ดังที่เห็นได้จากกราฟแสดงอัตราการสูบน้ำบาดาล (รูปที่ 2.1) นอกจากนี้ความเป็นเมืองของกรุงเทพมหานครยังแผ่ขยายออกไปบริเวณรอบข้างอย่างรวดเร็วในช่วง 40 ปีที่ผ่านมา ทั้งขยายออกไปสองฝั่งของแม่น้ำเจ้าพระยา และ

จังหวัดรอบข้างครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 4,200 ตารางกิโลเมตร ในบางพื้นที่ที่มีความสูงของผิวดินต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง ทำให้ระบายน้ำได้ยากและใช้ค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเกิดน้ำท่วม ในการสังเกตการณ์อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในกรุงเทพมหานครได้จากการทำงานระดับจากหมุดระดับมากกว่า 220 จุดทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษา จากการเปรียบเทียบค่าที่ในปี 1981 และ 2002 พบว่าอัตราการทรุดตัวลดลงแต่ขยายพื้นที่เป็นบริเวณกว้างไปยังชานเมืองมากขึ้น บริเวณที่มีการทรุดตัวมากที่สุดคือ บริเวณพื้นที่อุตสาหกรรมทางตะวันออกเฉียงใต้และบริเวณตะวันตกเฉียงใต้ของกรุงเทพมหานครที่มีอัตราการทรุดตัว 30 มิลลิเมตรต่อปี และปี 1981 มีอัตราการทรุดตัวมากถึง 120 มิลลิเมตรต่อปีในบริเวณพื้นที่ฝั่งตะวันออก เนื่องจากพื้นที่ที่มีการทรุดตัวอย่างต่อเนื่อง การป้องกันน้ำท่วมของเมืองจึงมีประสิทธิภาพน้อย ขณะนี้ กรุงเทพมหานครได้สร้างอุโมงค์ระบายน้ำขนาดใหญ่มีความยาว 5.5 กิโลเมตร และมีความสามารถในการระบายน้ำ 60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เพื่อช่วยระบายน้ำบริเวณพื้นที่ฝั่งตะวันออกของกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีความสูงน้อยกว่า 1 เมตรเหนือระดับทะเลปานกลาง โดยอุโมงค์ติดตั้งอยู่ใต้พื้นดิน 30 เมตร และระบายน้ำไปยังบริเวณริมแม่น้ำเจ้าพระยาที่มีการติดตั้งเครื่องสูบน้ำอยู่ ซึ่งในการออกแบบสร้างอาคารบ้านเรือนในกรุงเทพมหานครและชานเมืองจึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงปัญหาน้ำท่วมที่อาจเกิดขึ้นในพื้นที่ด้วย

**Groundwater Usage (1955-2004)**

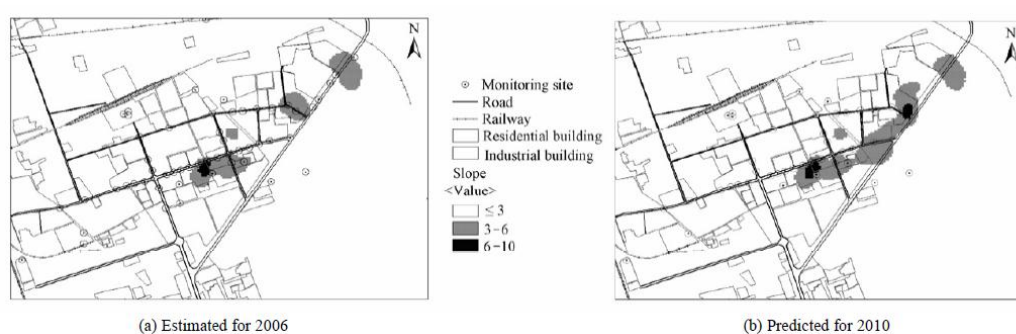


รูปที่ 2.1 อัตราการสูบน้ำบาดาลในเขตกรุงเทพมหานครตามช่วงเวลาตั้งแต่ปี 1955 - 2004

จากงานวิจัย Phien-wej et al (2006)

Feng et al (2008) ทำการศึกษาเรื่องการทรุดตัวของแผ่นดินและปัจจัยที่มีผลต่อการทรุดตัวของแผ่นดิน ซึ่งจากการศึกษาพบว่าระดับการทรุดตัวจะมีความหลากหลายในเชิง

พื้นที่และเชิงเวลา อีกทั้งสัมพันธ์กับการใช้น้ำบาดาล ยิ่งมีการสูบน้ำบาดาลมาใช้มาก บริเวณที่มีการสูบน้ำก็จะยิ่งมีการทรุดตัวมาก และยิ่งมีการสูบน้ำบาดาลไปใช้รวดเร็วเท่าไร ระดับน้ำบาดาลก็จะยิ่งลดลง นำไปสู่การทรุดตัวที่รวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้ปัญหาการทรุดตัวยังเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยพื้นที่ศึกษาคือบริเวณตะวันออกของประเทศจีน จากรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นการขยายตัวของปรากฏการณ์แผ่นดินทรุดในปี 2006 และการคาดการณ์การทรุดตัวในปี 2010 ซึ่งขยายบริเวณกว้างยิ่งขึ้น และส่งผลกระทบต่อสิ่งปลูกสร้างในพื้นที่



รูปที่ 2.2 การขยายตัวของปรากฏการณ์แผ่นดินทรุดที่มีผลต่ออาคารปลูกสร้างทางตะวันออกของประเทศจีนในปี 2006 (a) และปี 2010 (b) จาก Feng et al (2008)

จากรายงานของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2006) การทรุดตัวที่เกิดขึ้นเป็นพื้นที่บริเวณกว้างในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ส่วนใหญ่เกิดขึ้นเนื่องจากการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้จำนวนมากจนทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงโดยไม่มีการคืนตัว โดยในช่วงระหว่างปี 1975-1979 พื้นที่บริเวณใจกลางกรุงเทพมหานครและชานเมืองด้านตะวันออกมีอัตราการลดลงของระดับน้ำมากกว่า 3 เมตรต่อปี ทำให้ในช่วงระหว่างปี 1978-1984 พื้นที่ดังกล่าวมีอัตราการทรุดตัว 5 - 10 เซนติเมตรต่อปี และมากกว่า 10 เซนติเมตรต่อปีตามลำดับ ปัจจุบันถึงแม้ว่าอัตราการทรุดตัวในบริเวณใจกลางกรุงเทพมหานครได้ลดลงแล้ว แต่บริเวณกรุงเทพมหานครรอบนอกและปริมณฑลปริมาณการทรุดตัวยังคงอยู่ในอัตราที่สูงบางแห่งมากกว่า 3 เซนติเมตรต่อปี

จากข้อมูลการใช้น้ำบาดาลในปี 1974 พบว่ามีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ทั้งในหน่วยงานของรัฐและเอกชนรวมกันประมาณ 7 แสนลูกบาศก์เมตรต่อวัน และในปี 1984 เพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 1.4 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ทำให้เกิดการทรุดตัวของแผ่นดินเป็นพื้นที่บริเวณกว้าง โดยพื้นที่ที่มีการทรุดตัวสูงสุดจะเป็นพื้นที่ที่มีอัตราการใช้น้ำบาดาลมาก

ที่สุดซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่บางกะปิ บริเวณหัวหมาก วัดค่าการทรุดตัวสูงสุดได้ประมาณ 2.4 เมตร ในระยะเวลา 70 ปี ตั้งแต่ปี 1933-2003

### สถานการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดในปี 2006 (กรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2006)

จากการที่กรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้ดำเนินมาตรการต่างๆ เพื่อแก้ไขและป้องกันการเกิดวิกฤตการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุด อันเนื่องมาจากการใช้น้ำบาดาลมากเกินไป สมดุลนั้น ทำให้สถานการณ์น้ำบาดาลและแผ่นดินทรุดในปัจจุบันได้ผลเป็นที่น่าพอใจ กล่าวคือการทรุดตัวของพื้นดินได้ลดอัตราการลง และระดับน้ำบาดาลมีการฟื้นตัวอย่างเห็นได้ชัด สรุปลงเป็นพื้นที่ได้ดังนี้

1) บริเวณเขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร เดิมมีอัตราการทรุดตัวของพื้นดิน 3.2 เซนติเมตรต่อปี (1978-1985) ลดลงเหลือ 1.3 เซนติเมตรต่อปี (2006) น้ำบาดาลที่เคยมีระดับต่ำสุดจากระดับพื้นดิน -31 เมตร (1997) ได้ฟื้นตัวเป็น -23 เมตร (2006)

2) บริเวณมหาวิทยาลัยรามคำแหง หัวหมาก กรุงเทพมหานคร เดิมมีอัตราการทรุดตัวของพื้นดิน 10.0 เซนติเมตรต่อปี (1978-1985) ลดลงเหลือ 1.3 เซนติเมตรต่อปี (2006) น้ำบาดาลเคยมีระดับต่ำสุด -54 เมตร (1996) ได้ฟื้นตัวเป็น -33 เมตร (2006)

3) บริเวณลาดกระบัง มีนบุรี กรุงเทพมหานคร เดิมมีอัตราการทรุดตัวของพื้นดิน 3.4 เซนติเมตรต่อปี (1978-1999) ต่อมาลดลงเหลือ 0.6 เซนติเมตรต่อปี (2006) น้ำบาดาลเคยมีระดับต่ำสุด -69 เมตร (1997) ได้ฟื้นตัวเป็น -41 เมตร (2006)

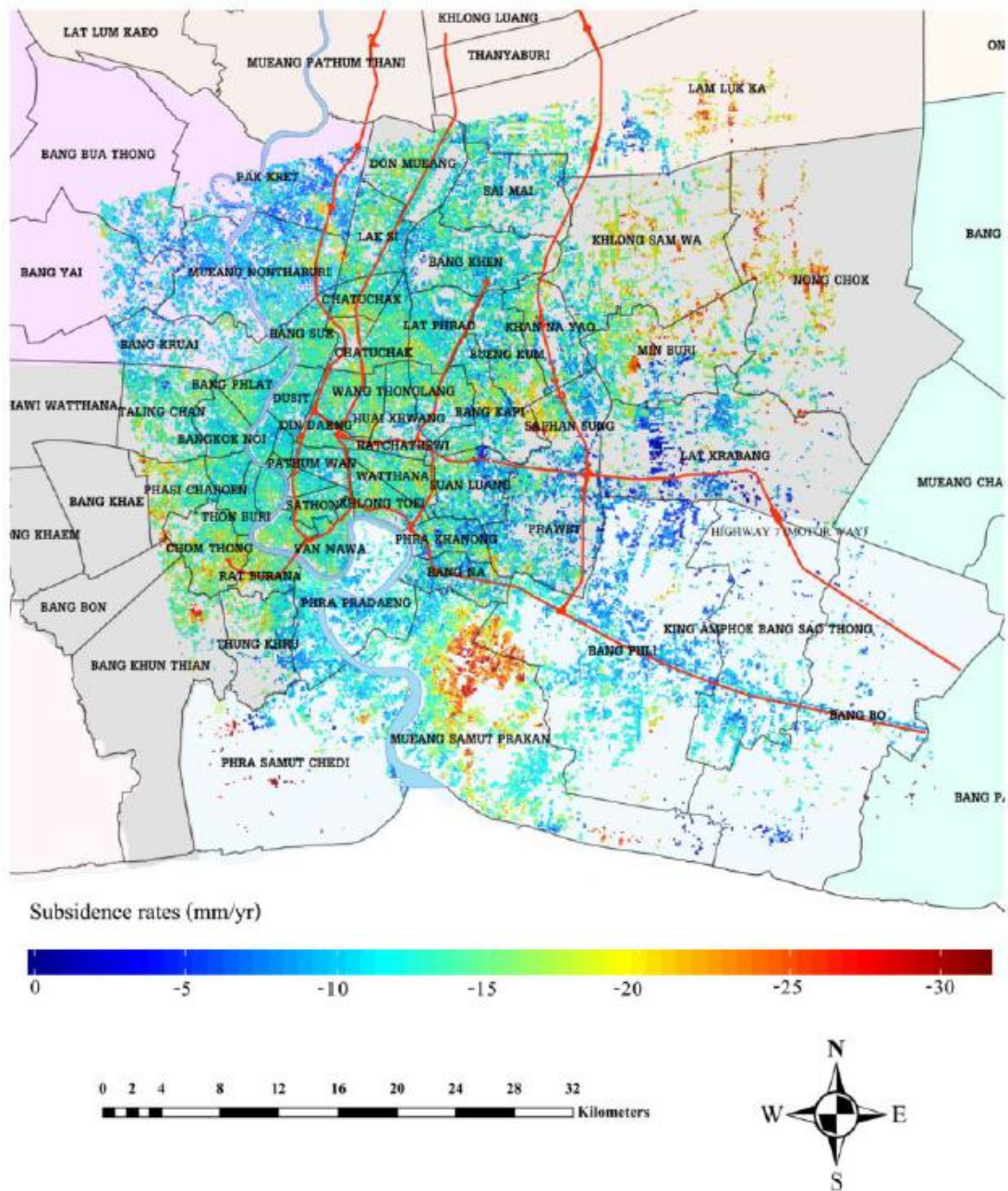
4) บริเวณปริมณฑลของกรุงเทพมหานครด้านตะวันออก (อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ) เดิมมีอัตราการทรุดตัวของพื้นดิน 5.7 เซนติเมตรต่อปี (1986-1998) ลดลงเหลือ 2.3 เซนติเมตรต่อปี (2006) น้ำบาดาลเคยมีระดับต่ำสุด -50 เมตร (1997) ได้ฟื้นตัวเป็น -34 เมตร (2006)

5) บริเวณปริมณฑลของกรุงเทพมหานครด้านเหนือ (อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี) เดิมมีอัตราการทรุดตัวของพื้นดิน 0.3 เซนติเมตรต่อปี (1986-2002) ใน 2006 คาดว่ายังคงตัวอยู่ใกล้กับอัตราเดิม เนื่องจากเหตุผลพื้นฐานซ้ำรูด และอยู่ระหว่างดำเนินการก่อสร้างใหม่ ส่วนน้ำบาดาลเคยมีระดับต่ำสุด -28 เมตร (1997) ได้ฟื้นตัวเป็น -22 เมตร (2006)

6) สำหรับบริเวณปริมณฑลของกรุงเทพมหานครด้านตะวันตก (อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสาคร) เดิมที่มีการใช้น้ำบาดาลไม่มากนัก มีอัตราการทรุดตัวของพื้นดิน 0.9 เซนติเมตรต่อปี (1979-1989) และ 2.6 เซนติเมตรต่อปี (1990-1997) และอัตราการทรุดตัวของพื้นดินลดลงเหลือ 2.3 เซนติเมตรต่อปี (2006) สถานการณ์การทรุดตัวดีขึ้นเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในอัตราที่สูง ส่วนสถานการณ์น้ำบาดาลเคยมีระดับต่ำสุด -51 เมตร (1997) ได้ฟื้นตัวเป็น -33 เมตร (2006)

อย่างไรก็ตาม การที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลตั้งอยู่บริเวณที่ราบลุ่ม ซึ่งมีชั้นดินเหนียวที่อ่อนและหนาปกคลุม และแทรกสลับกับชั้นน้ำบาดาล ถึงแม้จะไม่มีการใช้ น้ำบาดาล การทรุดตัวของพื้นดินนั้นจะยังคงต้องเกิดขึ้นต่อไป จากปัจจัยภายในคือการอัดตัวของดินอ่อนซึ่งเกิดตามธรรมชาติ และปัจจัยภายนอก อันได้แก่ การรับน้ำหนักจากสิ่งก่อสร้าง และการสั่นสะเทือนจากการจราจร เป็นต้น

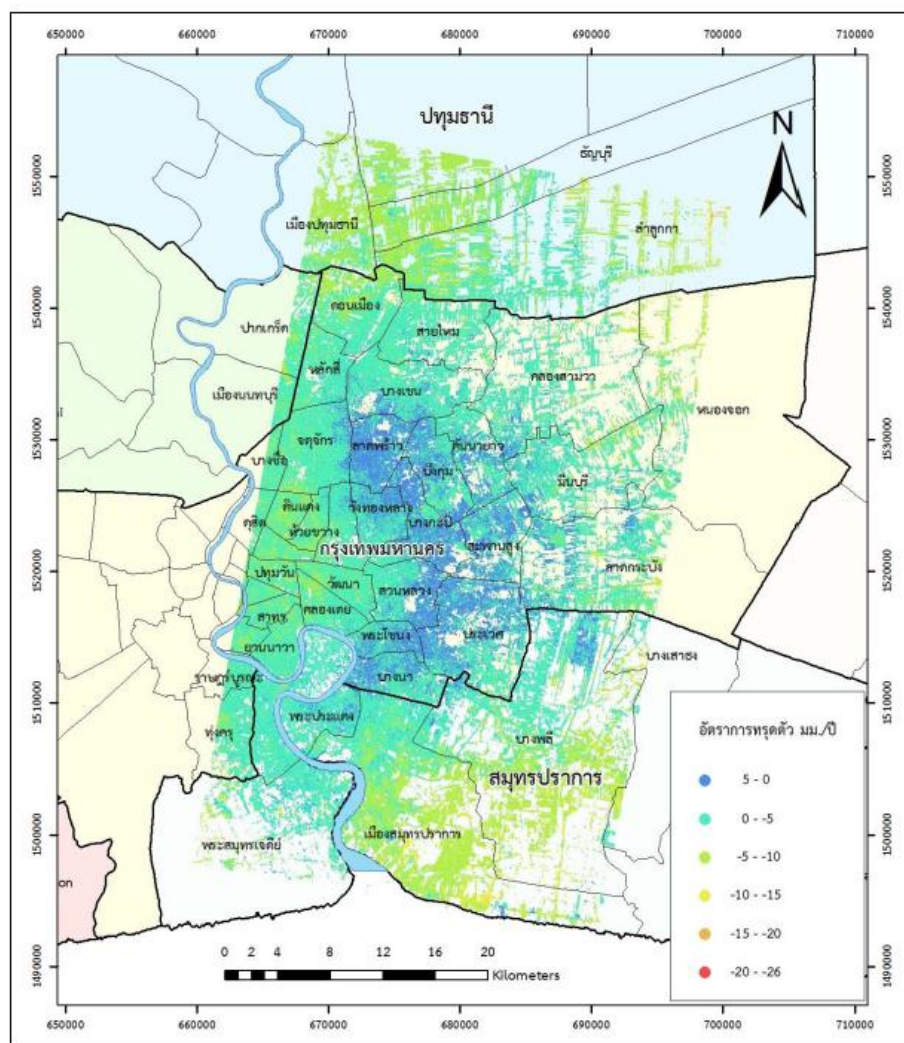
Aobpaet et al (2013) ศึกษาเรื่องการติดตามการทรุดตัวของแผ่นดิน กรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง โดยใช้ภาพจากดาวเทียม RADARSAT-1 จำนวน 19 ภาพ ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา 2500 ตารางกิโลเมตรในช่วงเดือนตุลาคมปี 2005 จนถึงเดือน มีนาคมปี 2010 มาประมวลผลด้วยเทคนิค Time-series InSAR พบว่าอัตราการทรุดตัวของ บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีค่า 0 ถึง 30 มิลลิเมตรต่อปี โดยบริเวณที่มีอัตราการ ทรุดตัวเร็วได้แก่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ และอำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี บริเวณตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา ตอนกลางของกรุงเทพมหานคร พบ การทรุดตัวค่อนข้างช้า ประมาณ 10 มิลลิเมตรต่อปี ในขณะที่ชานเมืองทางตะวันตกของ กรุงเทพมหานคร ตรวจพบการทรุดตัวประมาณ 10 ถึง 20 มิลลิเมตรต่อปี (รูปที่ 2.3) โดย เมื่อคำนวณส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วเฉลี่ยพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่มีค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐานของความเร็วเฉลี่ยน้อยกว่า 1 มิลลิเมตรต่อปี ต่างจากบริเวณตะวันตกเฉียงใต้และ ตะวันออกของพื้นที่ที่มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วเฉลี่ยสูงถึง 6 มิลลิเมตรต่อปี



รูปที่ 2.3 อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในช่วงปี 2005 – 2010 จากการประมวลผลข้อมูลด้วยเทคนิค Time-series INSAR จาก Aobpaet et al (2013)

จากงานวิจัย สรศักดิ์ ชัยทวี และคณะ (2015) ได้ใช้การประมวลผลจากเทคนิค Time-series InSAR ในการตรวจสอบอัตราการทรุดตัวของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ในช่วงเดือนกันยายน 2009 ถึง สิงหาคม 2012 โดยใช้ภาพจากดาวเทียม Terra SAR - X ทั้งหมด 26 ภาพ จากงานวิจัยพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ในเขตกรุงเทพมหานครมีอัตราการทรุดตัว เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2 - 8 มิลลิเมตรต่อปี ในขณะที่เดียวกันพื้นที่ที่มีอัตราการทรุดตัวเร็วจะ

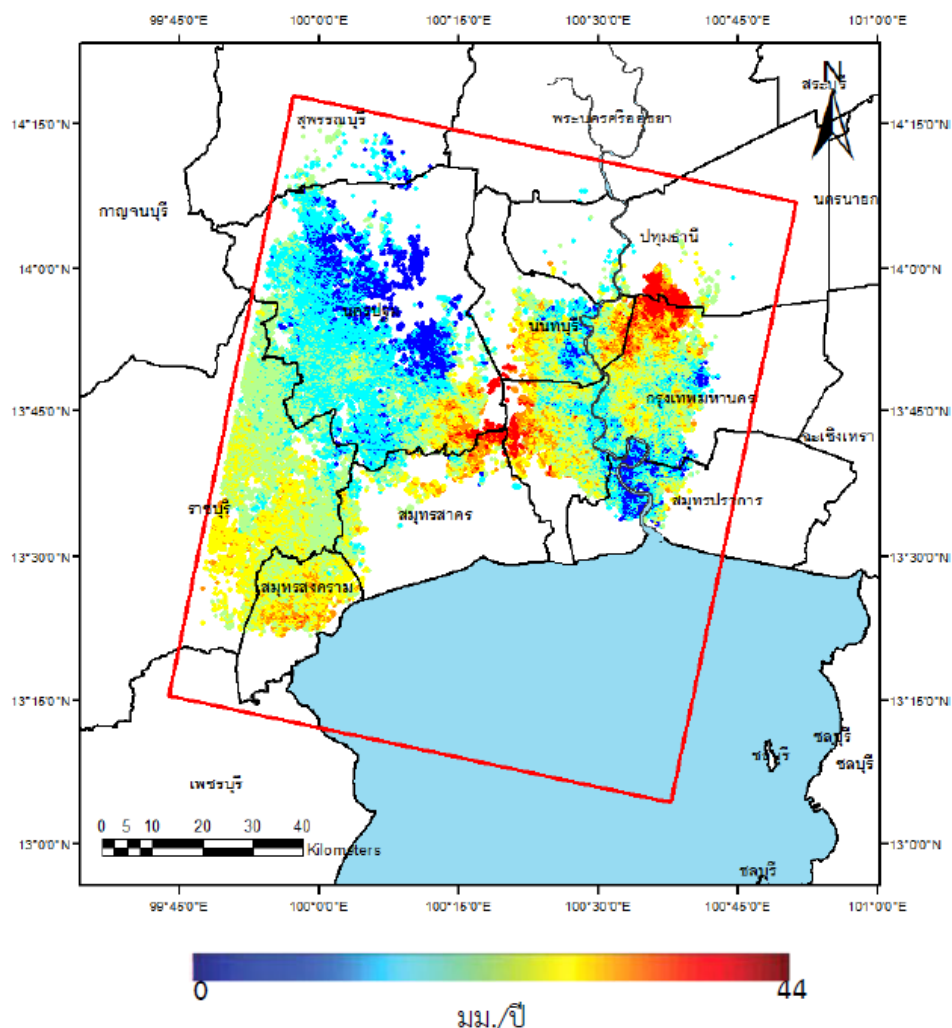
ปรากฏอยู่ในเขตปริมณฑล เช่น อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี มีอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินประมาณ 15 -25 มิลลิเมตรต่อปี และ อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรปราการ ที่มีอัตราการทรุดตัวประมาณ 10 -20 มิลลิเมตรต่อปี (รูปที่ 2.4) บริเวณพื้นที่รอยต่อระหว่างเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เช่น เขตหนองจอก เขตลาดกระบัง พบว่ามีอัตราการทรุดตัวค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับอัตราเฉลี่ยของพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานคร โดยมีอัตรา 8 – 14 มิลลิเมตรต่อปี เช่นเดียวกับอำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ มีอัตราการทรุดตัวประมาณ 12 – 20 มิลลิเมตรต่อปี



รูปที่ 2.4 อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในช่วงปี 2009 – 2012 จากการประมวลผลข้อมูลด้วยเทคนิค Time-series INSAR จาก สรศักดิ์ ชัยทวี และคณะ (2015)

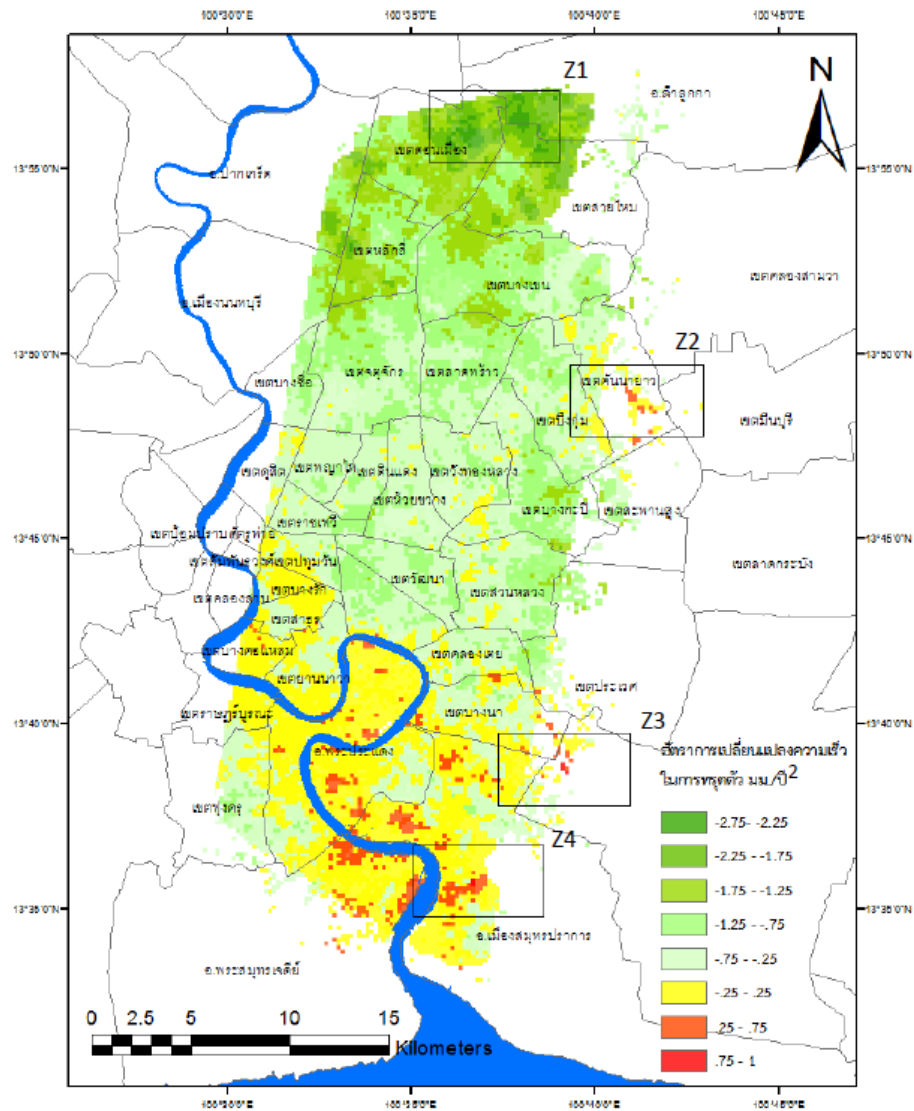


ปวัน ภิรมย์ทอง และคณะ (2015) ทำการตรวจสอบหาอัตราการทรุดตัวของกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในช่วงปี 1996 - 2000 โดยใช้เทคนิค InSAR time-series ในการประมวลผลข้อมูลจากภาพดาวเทียมเรดาร์ ERS1 และ ERS2 จำนวน 18 ภาพ ผลการศึกษาพบว่าค่าอัตราการทรุดตัวที่ตรวจพบอยู่ในช่วงระหว่าง 0 - 44 มิลลิเมตรต่อปี โดยพื้นที่บริเวณริมสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาในเขตกรุงเทพมหานครและจังหวัดสมุทรปราการพบอัตราการทรุดตัวที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั้งหมด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 10 มิลลิเมตรต่อปี ในขณะที่เดียวกันพื้นที่บริเวณเขตดอนเมืองและเขตสายไหมตรวจพบการทรุดตัวมากถึง 35 - 44 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอัตราการทรุดตัวของมากที่สุด ในเขตกรุงเทพมหานคร (รูปที่ 2.5)



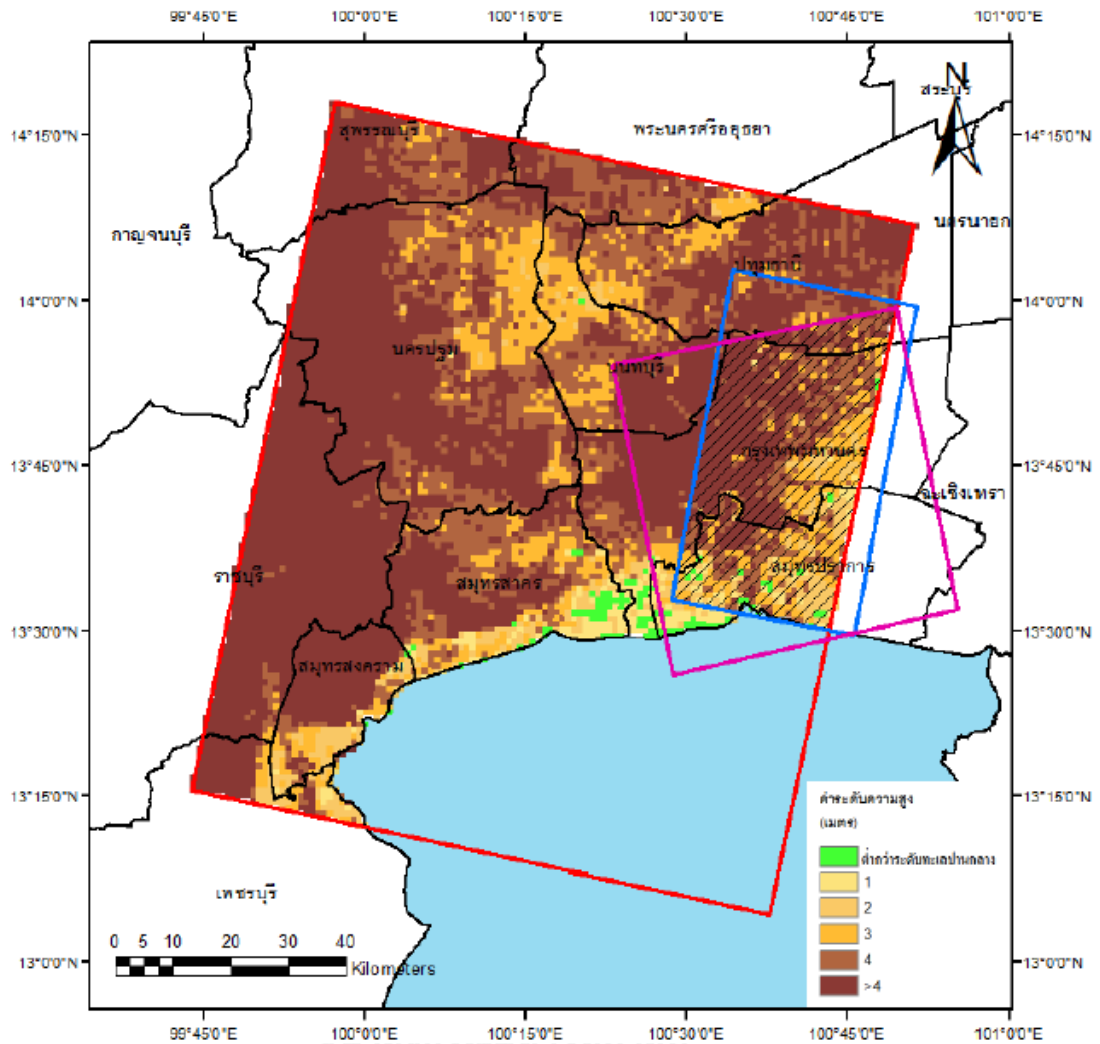
รูปที่ 2.5 อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในช่วงปี 1996- 2000 จากการประมวลผลข้อมูลด้วยเทคนิค Time-series INSAR จากงานวิจัย ปวัน ภิรมย์ทอง และคณะ (2015)

นอกจากนี้เมื่อนำผลลัพธ์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมาวิเคราะห์และจัดทำแผนที่แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการทรุดตัวของดินในช่วงปี 1996-2012 พบว่าพื้นที่ศึกษามีค่าการเปลี่ยนแปลงการทรุดตัวอยู่ในช่วง -2.7 ถึง 1.0 มิลลิเมตรต่อปี<sup>2</sup> โดยพื้นที่ส่วนใหญ่มีอัตราการทรุดตัวที่ช้าลง มีเพียงบางบริเวณในอำเภอเมืองสมุทรปราการ และอำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการที่มีอัตราการทรุดตัวเร็วขึ้น (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 อัตราการเปลี่ยนแปลงการทรุดตัวของพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลในช่วงปี 1996 -2012 จากงานวิจัย ปวัน ภิรมย์ทอง และคณะ (2015) โดยบริเวณที่มีการทรุดตัวช้าลง อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วยังมีค่าน้อย

เมื่อเปรียบเทียบขอบเขตพื้นที่ของงานวิจัยทั้งสามดังรูปที่ 2.7 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาของทั้งสามงานวิจัยครอบคลุมพื้นที่บริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานคร โดยงานวิจัยของสรศักดิ์ ชัยทวี และคณะ (2015) ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งบางส่วนของจังหวัดสมุทรปราการ เช่นเดียวกับงานวิจัยของปวัน ภิรมย์ทอง และคณะ (2015) แต่ในงานของ Aobpaet et al (2013) ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งในจังหวัดสมุทรปราการเกือบทั้งหมด ดังรูปที่ 2.7 นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบช่วงเวลาที่ทำการศึกษาของงานวิจัยทั้งสามพบว่างานวิจัยของสรศักดิ์ ชัยทวี และคณะ (2015) ศึกษาการทรุดตัวในช่วงปี 2009 – 2012 งานวิจัยของปวัน ภิรมย์ทอง และคณะ (2015) ศึกษาการทรุดตัวในช่วงปี 1996 – 2012 ในขณะที่งานวิจัยของ Aobpaet et al (2013) ศึกษาการทรุดตัวในช่วงปี 2005 – 2010 ดังนั้นในงานวิจัยนี้ที่ศึกษาบริเวณชายฝั่งเป็นสิ่งสำคัญ รวมถึงมีการพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์อื่นในการสร้างแบบจำลอง จึงเลือกใช้ข้อมูลจากงานวิจัยของ Aobpaet et al (2013) ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ศึกษามากที่สุด และมีความสัมพันธ์ในเชิงเวลากับปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์อื่น เช่น ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข ที่จัดทำขึ้นในปี 2006 รวมถึงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกที่มีการศึกษาภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวในเดือนธันวาคม ปี 2004 เป็นต้น



รูปที่ 2.7 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาการทรุดตัวในงานวิจัยของ Aobpaet et al (2013) ในกรอบสี่มุม งานวิจัยของสรศักดิ์ ชัยทวี และคณะ (2015) ในกรอบสีน้ำเงิน และงานวิจัยของปวัน ภิรมย์ทองและคณะ (2015) ในกรอบสีแดง

### 2.2.3 การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก

จากการติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินของกรมแผนที่ทหารตั้งแต่ปี 1978 ด้วยการทำงานระดับ อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินที่รังวัดได้เป็นอัตราการทรุดตัวที่อิงกับสมมุติฐานว่าแผ่นเปลือกโลกที่เป็นชั้นหินไม่มีการเคลื่อนตัวทางตั้ง ภายหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหว Mw 9.2 วันที่ 26 ธันวาคม 2004 ทำให้ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกมากยิ่งขึ้น และหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวพบว่าสถานีรังวัดด้วยสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ในประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย และไทยมี

การเปลี่ยนแปลงพิกัดทางแนวตั้งอย่างรวดเร็ว ทำให้สรุปได้ว่าการเคลื่อนที่ดังกล่าวเป็นปรากฏการณ์อันเป็นผลกระทบบของแผ่นดินไหวอย่างแน่นอน และมีความเกี่ยวข้องกับแนวรอยเลื่อนหรือแนวร่องลึกบาดาลซุนดา (Sunda Trench) อันเป็นบริเวณต้นกำเนิดของแผ่นดินไหว

การลดระดับของแผ่นเปลือกโลกหลังจากเหตุการณ์แผ่นดินไหวสามารถตรวจวัดได้บริเวณสถานีชุมพร มีความเร็วประมาณ 27 มิลลิเมตรต่อปี ในปี 2005 และ 16 มิลลิเมตรต่อปี ในปี 2006 ดังนั้นเมื่อแผ่นดินมีการลดระดับลง ค่าแผ่นดินทรุดที่รังวัดได้จากงานระดับบริเวณกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียงจากการทำงานระดับจึงเป็นค่าที่ต่ำเกินจริง อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้มีการใช้อัตราการทรุดตัวที่ได้จากการประมวลผล InSAR ซึ่งค่าที่ได้ไม่ได้รับผลกระทบจากการลดระดับของเปลือกโลก ดังนั้นเมื่อนำการทรุดตัวจาก InSAR มาพิจารณาร่วมกับการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก จึงทำให้การประเมินผลกระทบที่เกิดจากแผ่นดินทรุด เช่น แบบจำลองการเกิดน้ำท่วม ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

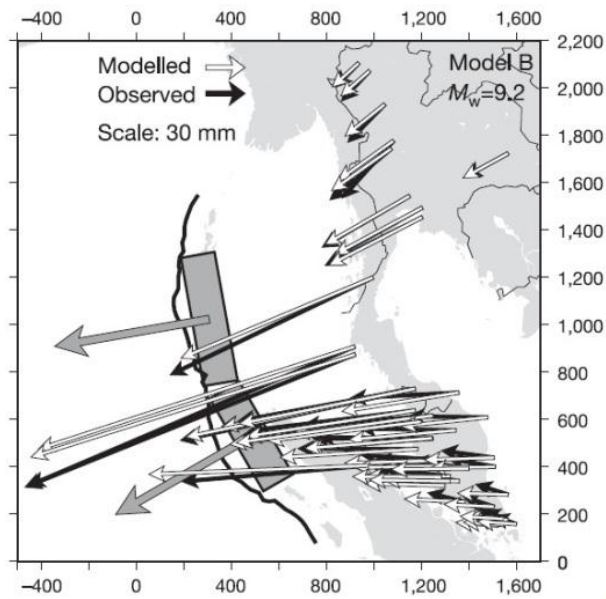
การลดระดับของแผ่นเปลือกโลกบริเวณประเทศไทย เป็นผลมาจากการเกิดแผ่นดินไหวสุมาตรา-อันดามัน ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนที่เรียกว่า รอยเลื่อนย้อน (Reverse Fault) เกิดขึ้นบริเวณร่องลึกบาดาลระหว่างรอยต่อของแผ่นเปลือกโลกมหาสมุทร (Oceanic plate) และ แผ่นเปลือกโลกทวีป (Continental Plate) ในกรณีดังกล่าวคือแผ่นเปลือกโลกอินเดียมุดและดันเข้าหาแผ่นเปลือกโลกซุนดา ดังรูปที่ 2.8 (อิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์ และคณะ, 2013)



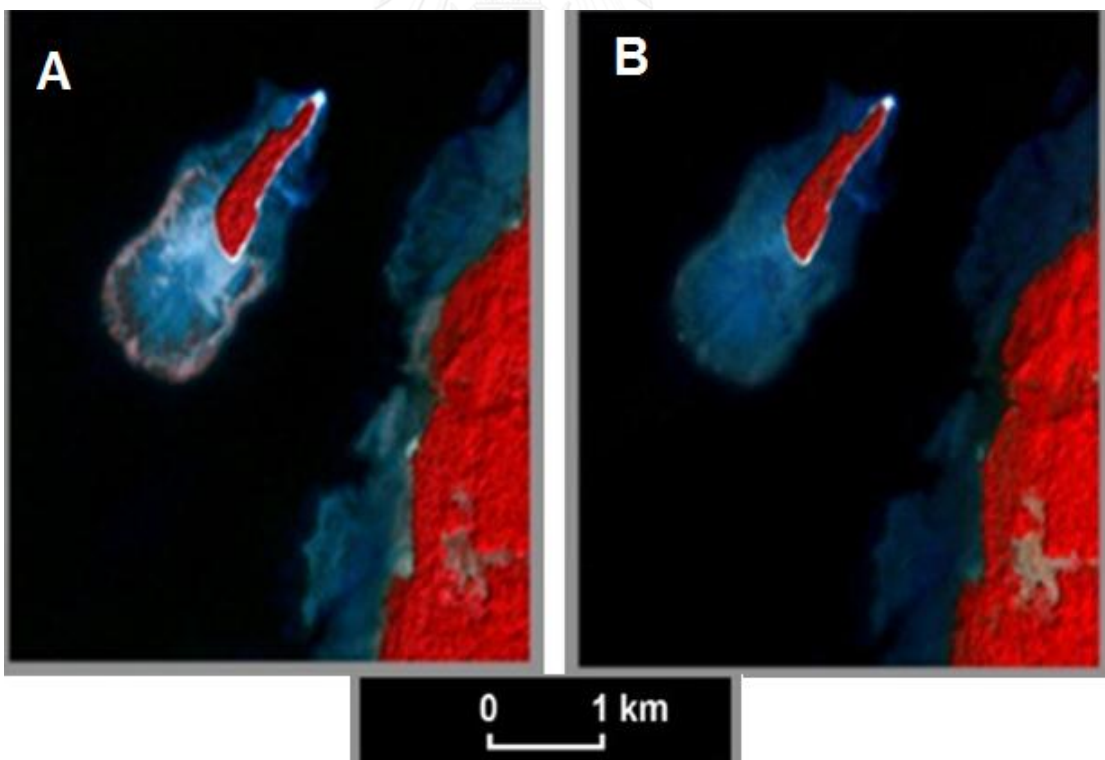
รูปที่ 2.8 แผนที่แสดงแนวร่องลึกที่เกิดจากแผ่นเปลือกโลกอินเดียปะทะกับแผ่นเปลือกโลกซุนดา จาก IRIS (Incorporated Research Institution for Seismology)

Interseismic Period คือช่วงที่แรงเสียดทานระหว่างแผ่นเปลือกโลกทั้งสองแผ่นมีมากกว่าแรงอัดของแผ่นเปลือกโลกอินเดียที่ดันเข้าหาแผ่นเปลือกโลกซุนดา พลังงานสะสมจากแรงอัดทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของแผ่นเปลือกโลก (deformation) เห็นได้จากการโก่งตัวของแผ่นเปลือกโลกซุนดาบริเวณภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยบริเวณที่ใกล้กับร่องน้ำลึกบาดาล (Near-field) คือเกาะขนาดเล็กทางตะวันตกของเกาะสุมาตรา จะมีการยกตัวมากกว่าบริเวณที่ห่างออกมา (Far-field) เช่น ประเทศไทย เป็นต้น

ในเวลาต่อมาเมื่อแรงดันสะสมมีพลังงานมากกว่าแรงเสียดทาน แผ่นเปลือกโลกซุนดาที่โก่งตัวจะดีดตัวออกไป และปล่อยพลังงานที่สะสมไว้ทำให้เกิดเป็นแผ่นดินไหว จากการเปรียบเทียบค่าพิกัดของตำแหน่งเดียวกันก่อนและหลังแผ่นดินไหวพบว่า เกิดการเคลื่อนตัวของตำแหน่งทางราบเข้าสู่ศูนย์กลางแผ่นดินไหว ดังรูปที่ 2.9 และการเคลื่อนตัวในทางตั้งมีการลดระดับอย่างรวดเร็วขณะเกิดแผ่นดินไหว ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 การเคลื่อนตัวทางราบของแผ่นเปลือกโลกซุนดาที่ตรวจวัดได้จากสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสขณะเกิดแผ่นดินไหว  $M_w$  9.2 จาก Vigny et al (2007) แสดงให้เห็นการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกซุนดาเข้าสู่ศูนย์กลางของแผ่นดินไหว



รูปที่ 2.10 ภาพผสมสีเท็จจากดาวเทียม Aster แสดงให้เห็นแนวปะการังรอบเกาะ Rutland ประเทศอินเดียภายหลังจากการเกิดแผ่นดินไหว  $M_w$  9.2 (A) จมลงเมื่อเทียบกับก่อนเกิดแผ่นดินไหว (B) จาก Meltzner et al (2008)

ในช่วงแรกหลังเกิดแผ่นดินไหว (Postseismic Period) การเคลื่อนตัวทางราบยังสอดคล้องกับการเคลื่อนตัวขณะเกิดแผ่นดินไหว แต่ในภายหลังการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกทั้งทางราบและทางตั้งได้มีทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนตัวในช่วง Interseismic ดังนั้นหากการเกิดแผ่นดินไหวเป็นไปตามทฤษฎีวงจรแผ่นดินไหว (Seismic cycle) คือมีการเกิดบริเวณเดิมตามคาบอุบัติซ้ำ (Recurrence Period) ทำยสุดแผ่นเปลือกโลกชุดนี้อาจจะมีการเคลื่อนตัวกลับสู่ช่วง Interseismic อีกครั้ง จึงมีการนำแนวคิดดังกล่าวมาสร้างแบบจำลองทำนายการลดระดับหลังแผ่นดินไหวว่ามีอัตราอย่างไร ลดระดับลงเท่าไร และใช้ระยะเวลาานานเท่าไร

การหาอัตราการเคลื่อนตัวในแนวตั้งของแผ่นเปลือกโลกทำได้โดยการสร้างอนุกรมเวลาของค่าพิกัด โดยการรังวัดต้องมีความถูกต้องในระดับมิลลิเมตร เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงอยู่ในระดับมิลลิเมตรต่อปี จึงมีการรังวัดโดยใช้สัญญาณดาวเทียมจีพีเอสความเที่ยงตรงสูง วิเคราะห์ตำแหน่งเชิงเดี่ยว (Precise Point Positioning GPS) และเก็บข้อมูลด้วยเครื่องรับสัญญาณสองความถี่ (Dual Frequency Geodetic/Geophysics GPS receiver) จากนั้นจึงประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ GIPSY ที่ใช้ในงานด้านวิทยาศาสตร์และยื่อพิสิคส์ ค่าพิกัดที่ได้มีความถูกต้องในระดับมิลลิเมตร และมีการติดตั้งสถานีรังวัดในสถานที่ที่มีโครงสร้างบนชั้นหินเพื่อหลีกเลี่ยงค่าการทรุดตัวของชั้นดิน/ทรายที่อาจปะปนเข้ามาในค่ารังวัด

ทั้งนี้อนุกรมเวลาของค่าพิกัดที่นำมาใช้ในการหาอัตราการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกมีอยู่ 2 ค่าคือ 500 ปี (Jankaew et al, 2008) ที่มาจากการตรวจหาอายุของตะกอนที่พัดพามาโดยคลื่นสึนามิ และ 170 ปี (Natawidjaja et al, 2006) จากการตรวจซากปะการังที่ถูกยกตัวขึ้นเหนือน้ำบริเวณหมู่เกาะ Metawai ทางตะวันตกของเกาะสุมาตรา

#### 2.2.4 การสร้างแบบจำลองน้ำท่วม

การจัดทำแบบจำลองน้ำท่วมบริเวณพื้นที่ศึกษาที่ผ่านมาในอดีตมีแบบจำลองลักษณะคล้ายกันที่จัดทำโดย World Bank ในปี 2009 และแบบจำลองที่จัดทำโดยสำนักนโยบายและแผนพัฒนาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในปี 2009

##### 2.2.4.1 แบบจำลองของ World Bank

แบบจำลองของ World Bank เป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) และการสร้างสภาพการณ์จำลองเมื่อเกิดน้ำท่วมจากปริมาณน้ำฝนและผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลบริเวณสามเหลี่ยม



ปากแม่น้ำทางตอนล่างของแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งเป็นที่ตั้งของกรุงเทพมหานคร ดังนั้น การพิจารณากลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาทั้งหมดจึงจำเป็นอย่างยิ่งในการสร้างภาพ เหตุการณ์ที่มีเสมือนจริงมากที่สุด เพราะปริมาณน้ำส่วนใหญ่มาจากกลุ่มแม่น้ำทาง ตอนเหนือ โดยมีพื้นที่ศึกษารวมทั้งสิ้นประมาณ 158,600 ตารางกิโลเมตร

ในการสร้างแบบจำลองจะครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งเป็นระยะทางประมาณ 80 กิโลเมตรครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ และจังหวัด สมุทรสาคร รวมถึงพื้นที่ในอ่าวไทยประมาณ 5 กิโลเมตรจากชายฝั่งเพื่อใช้ในการ ปรับปรุงแบบจำลองและการระบุกลไกการเกิดน้ำท่วมและระบุตัวแปรทางอุทก- ศาสตร์และผลกระทบที่อาจเกิด

ข้อมูลที่ใช้ในการนำมาพิจารณาสร้างแบบจำลองได้แก่

1. โครงข่ายแม่น้ำและภาพตัดแนวขวางของแม่น้ำที่ทำการสำรวจโดย กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ในปี 1983 และปี 2006

2. ระดับน้ำและอัตราการระบายของน้ำในแม่น้ำ โดยข้อมูลระดับน้ำมาจาก สถานีวัดปริมาณน้ำ 10 สถานีตลอดแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีน ข้อมูลการ ระบายน้ำรายวันจากสถานีระบายน้ำ 8 สถานี ข้อมูลการระบายน้ำ ระดับน้ำ และ การรับน้ำของเขื่อนภูมิพลและเขื่อนสิริกิติ์จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (Electricity Generating Authority of Thailand : EGAT) ข้อมูลระดับน้ำราย ชั่วโมงจากป้อมพระจุลและปากแม่น้ำท่าจีนจากกรมชลประทานและกรมเจ้าท่า

3. โครงสร้างทางธารศาสตร์ คันป้องกันน้ำท่วมถูกสร้างบนแนวของคันดิน ตามธรรมชาติตลอดสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน และทางตอนล่างของแม่ น้ำป่าสัก โดยบริเวณริมสองฝั่งคลองชลประทานหรือคันดินริมถนนก็ทำหน้าที่เป็น คันกันน้ำตามธรรมชาติเพื่อป้องกันน้ำจากแม่น้ำไหลท่วมพื้นที่ ซึ่งกรมชลประทานได้ ทำการปรับปรุงและก่อสร้างคันกันน้ำ สถานีปั้มน้ำ และคลองระบายน้ำเพื่อป้องกัน น้ำท่วมทั้งทางตะวันออกและตะวันตกของกรุงเทพมหานคร นอกจากนี้ข้อมูลในส่วน นี้ยังประกอบด้วยข้อมูลความจุของอ่างเก็บน้ำ การจัดการอ่างเก็บน้ำ และบทบาท ของสถานีสูบน้ำ เป็นต้น

4. ข้อมูลค่าความสูงภูมิประเทศเชิงเลข หรือ DEM เป็นสิ่งจำเป็นในการ สร้างภาพจำลองการเกิดน้ำท่วม ความสูงพื้นผิวภูมิประเทศทางตะวันออกของ กรุงเทพมหานครได้จากแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:4000 สำหรับพื้นที่อื่น ๆ มี การใช้ค่าของจุดความสูงจากการสำรวจของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและกรมแผนที่ ทหาร และข้อมูลความสูงของพื้นผิวทะเลมาจากการสำรวจด้วยการหยั่งความลึก

(echo sounding) จัดทำโดยศาลาว่าการกรุงเทพมหานคร ซึ่งข้อจำกัดประการหนึ่งของแบบจำลองนี้คือค่าความถูกต้องของ DEM ที่จัดเตรียมไว้มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่เนื่องจากความหลากหลายของแหล่งข้อมูล ดังนั้นแบบจำลองในบางพื้นที่จึงมีความถูกต้องน้อย

5. ค่าการทรุดตัวของแผ่นดิน การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินลดลงจาก 10.0 เซนติเมตรต่อปีในช่วงปี 1978-2007 และในช่วงปี 2002-2007 อัตราการทรุดตัวลดลงเหลือ 0.9 เซนติเมตรต่อปี ดังนั้นการทรุดตัวจะลดลงโดยเฉลี่ยร้อยละ 10 ต่อปี ในการสร้างแบบจำลองจึงนำค่าดังกล่าวมาประมาณค่าในช่วง 2002 - 2050 ทั้งพื้นที่ที่จะมีการทรุดตัวสะสมตั้งแต่ 5 - 30 เซนติเมตรในแต่ละพื้นที่ การประมาณค่าการทรุดตัวจะนำมาใช้ในการคาดการณ์ DEM ที่จะใช้ในการสร้างภาพจำลอง

6. ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศจาก JBIC and Application (Japan Bank for International Cooperation) ประกอบด้วยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิโลก ร้อยละของปริมาณน้ำฝนโดยเฉลี่ยต่อปี และการเพิ่มขึ้นของระดับทะเลจากแบบจำลอง A1FI และ B1 ปริมาณน้ำฝนที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองคือ 0.29 และ 0.19 เมตร และค่า Storm surge ที่นำมาใช้คือค่าสูงสุดคือ 0.61 เมตรบริเวณปากแม่น้ำ

แบบจำลองแสดงให้เห็นการไหลของน้ำท่วมตลอดโครงข่ายแม่น้ำและครอบคลุมพื้นที่ศึกษา เพื่อระบุพื้นที่น้ำท่วม ระดับความสูงของน้ำ และช่วงเวลาของแต่ละสภาพการณ์

แนวคิดในการสร้างภาพจำลองของ World Bank คือ

1. คาบอุบัติซ้ำ (Return period) ของปริมาณน้ำฝนที่นำมาใช้คือ 10 ปี 30 ปีและ 100 ปี โดยเป็นปริมาณน้ำฝนที่ทำให้เกิดน้ำท่วมในปี 1995
2. ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองได้แก่
  - 1) ปริมาณน้ำฝนมีค่า return period คือ 10 ปี 30 ปีและ 100 ปี การคาดคะเนปริมาณน้ำฝนในอนาคตคำนวณจากปริมาณน้ำฝนในอดีต ร่วมกับปัจจัยจาก IPCC และการกระจายตัวของน้ำฝนตามรูปแบบของฝนในปี 1995
  - 2) การทรุดตัวของแผ่นดินใช้ข้อมูลการทรุดตัวในอดีต
  - 3) การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลได้รับข้อมูลจาก IPCC
  - 4) ข้อมูล Storm surge จากข้อมูลในอดีต

โดยการสร้างภาพจำลองมี 4 สภาพการณ์คือ

1. สภาพการณ์ปกติ คือการสร้างแบบจำลองสภาพการณ์ของพื้นที่ศึกษาในปี 2008 โดยแบบจำลองรวมถึงระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ที่มีอยู่และอยู่ระหว่างการก่อสร้าง
2. สภาพการณ์ในอนาคต คือการสร้างแบบจำลองสภาพการณ์ของพื้นที่ศึกษาในปี 2050 ที่มีการพิจารณาการทรุดตัวของแผ่นดินร่วมกับระบบป้องกันน้ำท่วม
3. สภาพการณ์ในอนาคตของพื้นที่ศึกษาในปี 2050 โดยเพิ่มข้อมูลการเปลี่ยนแปลงทางภูมิอากาศตามค่าของ IPCC
4. สภาพการณ์ในอนาคตของพื้นที่ศึกษาในปี 2050 และเพิ่มการพิจารณา Storm surge

ผลของแบบจำลองสภาพการณ์ปกติพบว่ากรุงเทพมหานครและสมุทรปราการมีพื้นที่น้ำท่วม 359.06 ตารางกิโลเมตร 550.37 ตารางกิโลเมตรและ 736.68 ตารางกิโลเมตร โดยพิจารณาจากค่า return period คือ 10 ปี 30 ปี (รูปที่ 2.11a) และ 100 ปีตามลำดับ นอกจากนี้ค้นกันน้ำริมสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา ยังส่งผลกระทบต่อระดับน้ำในแม่น้ำ ในกรณีที่มีการพิจารณาค้นกันน้ำ ระดับน้ำในแม่น้ำจะมีระดับสูงกว่ากรณีที่ไม่มีค้นกันน้ำ และกระแสน้ำในอ่าวไทยก็มีผลกระทบต่อระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา โดยเฉพาะในช่วงที่กระแสน้ำสูงในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม

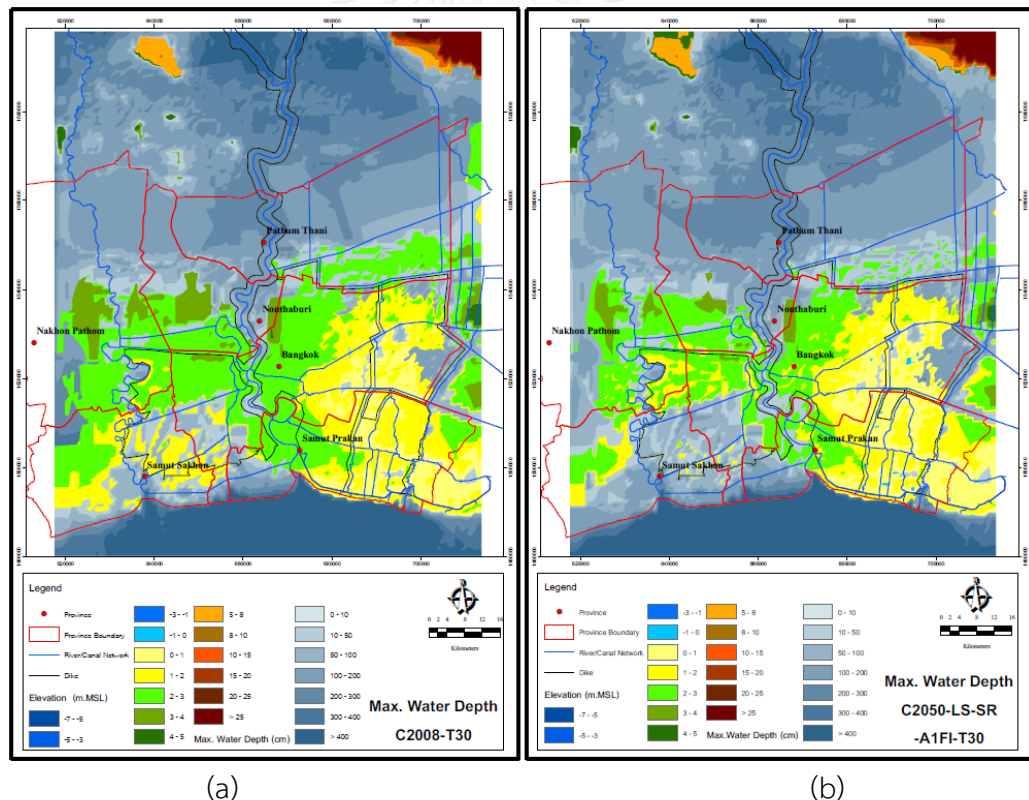
ผลของแบบจำลองสภาพการณ์ในปี 2050 พบว่าการทรุดตัวของแผ่นดินจะเพิ่มพื้นที่น้ำท่วม หากพิจารณาจากปริมาณน้ำฝนกรณี return period 30 ปี พื้นที่น้ำท่วมจะเพิ่มขึ้นจาก 550.37 ตารางกิโลเมตรในปี 2008 เป็น 568.80 ตารางกิโลเมตรในปี 2050 หรือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 3.35

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศร่วมกับแบบจำลองการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล พบว่าบริเวณน้ำท่วมมีมากขึ้น หากพิจารณา return period แบบ 30 ปีพื้นที่น้ำท่วมจะเพิ่มขึ้นจาก 550.37 ตารางกิโลเมตรในปี 2008 เป็น 733.92 ตารางกิโลเมตรในปี 2050 หรือร้อยละ 33.35 (กรณีใช้แบบจำลอง A1FI ของ IPCC) และเพิ่มเป็น 718.53 ตารางกิโลเมตรหรือร้อยละ 30.55 (กรณีใช้แบบจำลอง B1 ของ IPCC)

เมื่อพิจารณาค่าจาก IPCC กับ Storm surge เพิ่มเติมเข้าไปในแบบจำลอง ทำให้พื้นที่น้ำท่วมเพิ่มมากขึ้น กล่าวคือหากพิจารณาค่า return period 30 ปีพื้นที่น้ำท่วมจะเพิ่มขึ้นจาก 550.37 ตารางกิโลเมตรเป็น 744.34 ตารางกิโลเมตรในปี

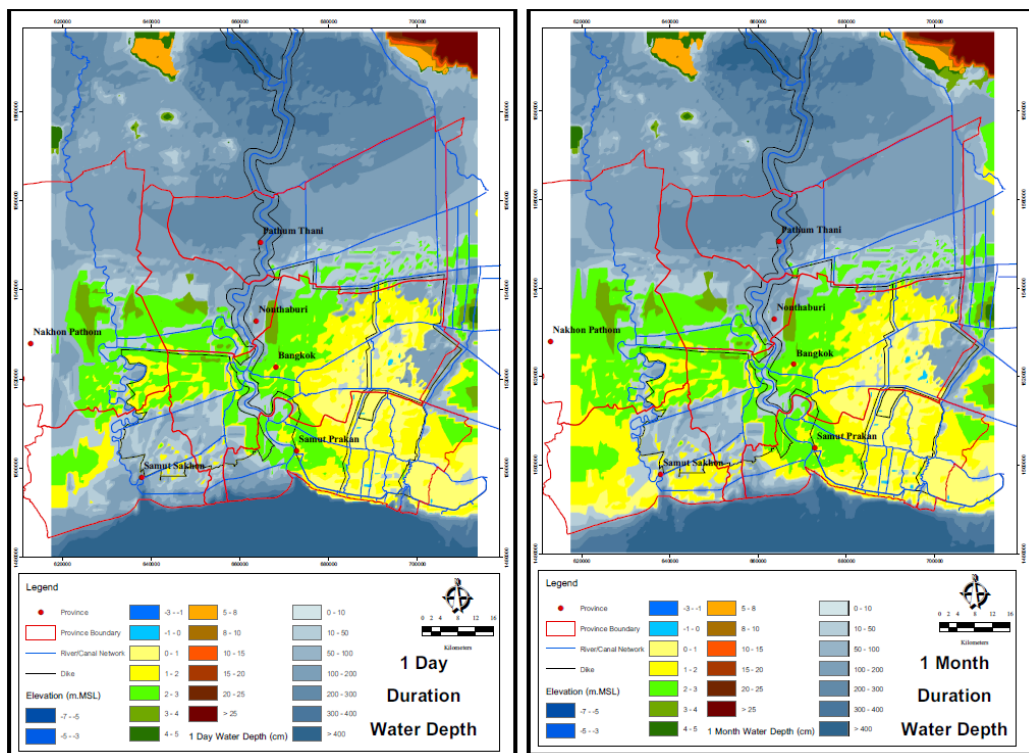
2050 (รูปที่ 2.11b) หรือสูงขึ้นร้อยละ 35.24 และหากพิจารณาเฉพาะค่า Storm surge พื้นที่น้ำท่วมมากขึ้นจากเฉพาะค่าจาก IPCC ร้อยละ 1.89 (กรณีที่ใช้แบบจำลอง A1FI)

ผลจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากแบบจำลองพบว่าระบบป้องกันน้ำท่วม เช่น คันกั้นน้ำและปั้มน้ำ ทำให้พื้นที่ส่วนใหญ่บริเวณตะวันออกของกรุงเทพมหานคร ได้รับการป้องกันน้ำท่วม ยกเว้นบริเวณพื้นที่ที่คันกั้นน้ำมีความสูงไม่ถึง เช่น บริเวณทางเหนือและตะวันออกของพื้นที่ ในขณะที่เดียวกันพื้นที่บริเวณฝั่งตะวันตกของกรุงเทพมหานคร ความสูงของคันกั้นน้ำไม่เพียงพอต่อการป้องกันน้ำท่วมและการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล โดยเฉพาะทางตะวันตกและทางใต้ของพื้นที่ นอกจากนี้ความสามารถของสถานีระบายน้ำที่ภาษีเจริญ สนามชัย และขุนราชพิณิจใจ ก็ไม่เพียงพอต่อการระบายน้ำจากพื้นที่ลุ่มแม่น้ำท่าจีนและอ่าวไทย



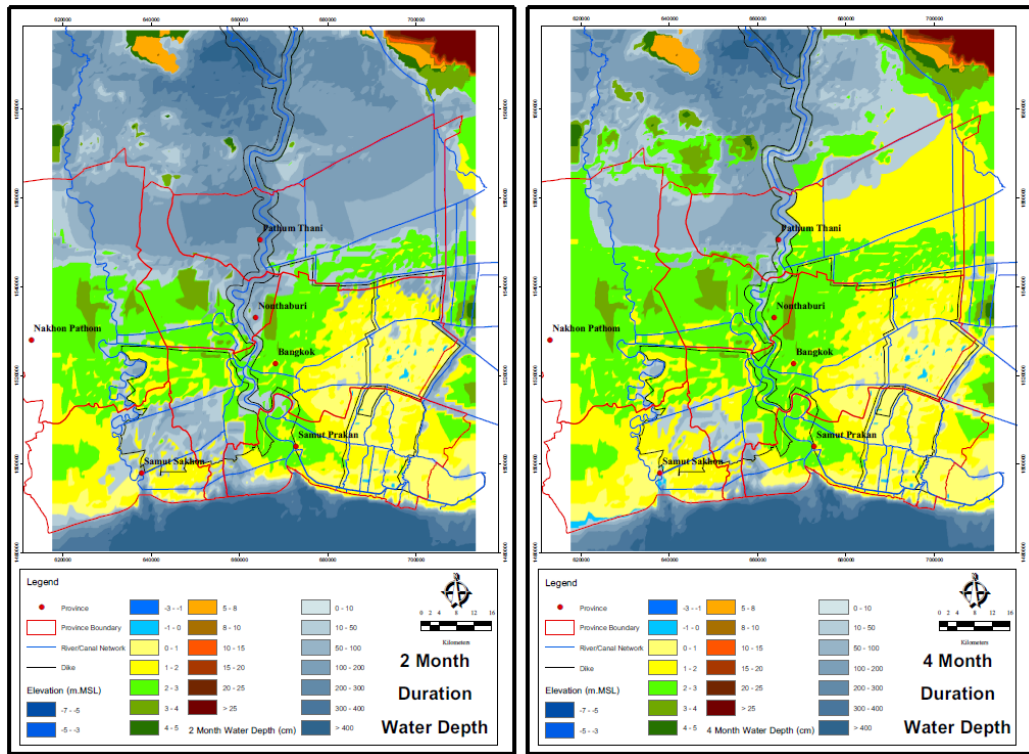
รูปที่ 2.11 แผนที่ความสูงของระดับน้ำท่วมจากแบบจำลองสภาพการณ์ปกติปี 2008 ที่มีการพิจารณา ระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ (a) และ แผนที่ความสูงของระดับน้ำจากแบบจำลองสภาพการณ์ในปี 2050 ที่มีการพิจารณาการทรุดตัวของแผ่นดิน การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล และ Storm surge (b) แผนที่ทั้งสองใช้ค่าปริมาณน้ำฝนจากสมมติฐานคาบอุบัติซ้ำ 30 ปี (World Bank, 2009)

บริเวณพื้นที่น้ำท่วมสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาจะขยายวงกว้างขึ้นบริเวณที่  
 ความสูงของคันกั้นน้ำไม่เพียงพอ อย่างไรก็ตามระดับน้ำที่สูงกว่าคันกั้นน้ำจะเกิดขึ้น  
 ในช่วงเวลาที่กระแสน้ำในอ่าวไทยสูงเท่านั้นและกระแสน้ำจะไม่มีกรไหลเข้าไปตอน  
 ในของกรุงเทพมหานคร รวมถึงระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ที่ช่วยระบายน้ำลงสู่  
 แม่น้ำและอ่าวไทย ทำให้บริเวณศูนย์กลางและทางตะวันออกของกรุงเทพมหานครมี  
 พื้นที่น้ำท่วมน้อยลง



(a)

(b)

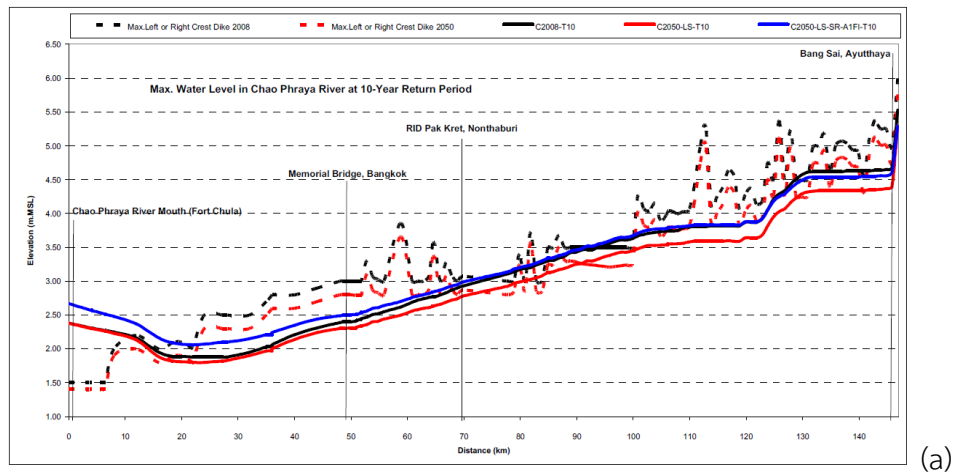


(c)

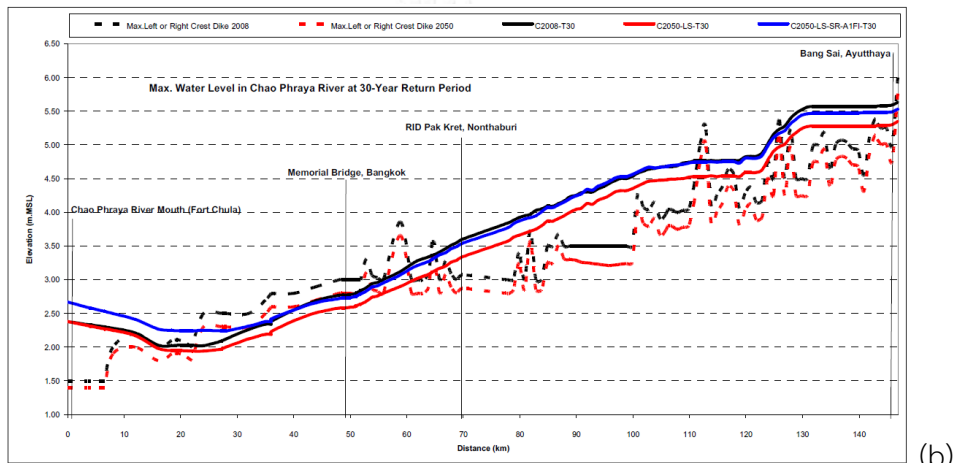
(d)

รูปที่ 2.12 แผนที่ความสูงของระดับน้ำท่วมจากแบบจำลองสภาพการณ์ปี 2050 ที่มีการพิจารณาการทรุดตัวของแผ่นดิน การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล Storm surge และปริมาณน้ำฝนจากสมมติฐานคาบอุบัติซ้ำ 30 ปี ในระยะเวลาท่วมขัง 1 วัน (a) ระยะเวลาท่วมขัง 1 เดือน (b) ระยะเวลาท่วมขัง 2 เดือน (c) และ ระยะเวลาท่วมขัง 4 เดือน (d) (World Bank, 2009)

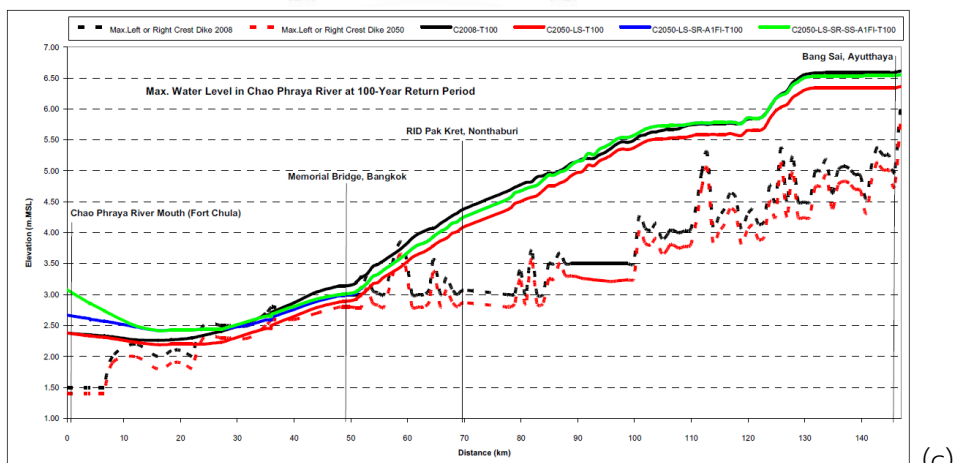
แผนที่พื้นที่ศึกษาที่มีระยะเวลาน้ำท่วมขังที่ต่างกันในอนาคต ดังรูปที่ 2.12 โดยแผนที่ดังกล่าวเป็นผลจากแบบจำลองที่มีการพิจารณาเรื่องแผ่นดินทรุด การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล และปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยร้อยละ 3 ในช่วงคาบอุบัติซ้ำ 30 ปี โดยภายหลังระยะเวลาท่วมขัง 4 เดือน ขนาดของพื้นที่น้ำท่วมในกรุงเทพมหานครและสมุทรปราการจึงจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่บริเวณทางเหนือของกรุงเทพมหานคร อันได้แก่ จังหวัดปทุมธานี จังหวัดอยุธยา ฯลฯ พื้นที่น้ำท่วมจะลดลงหลังจากการท่วมขังเป็นระยะเวลา 5-6 เดือน เนื่องจากน้ำจะใช้ระยะเวลานานในการระบายผ่านแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำท่าจีนลงสู่ทะเล อีกทั้งการผันน้ำจากทางตะวันออกและตะวันตกของกรุงเทพมหานครลงสู่ทะเลเช่นกัน



(a)



(b)



(c)

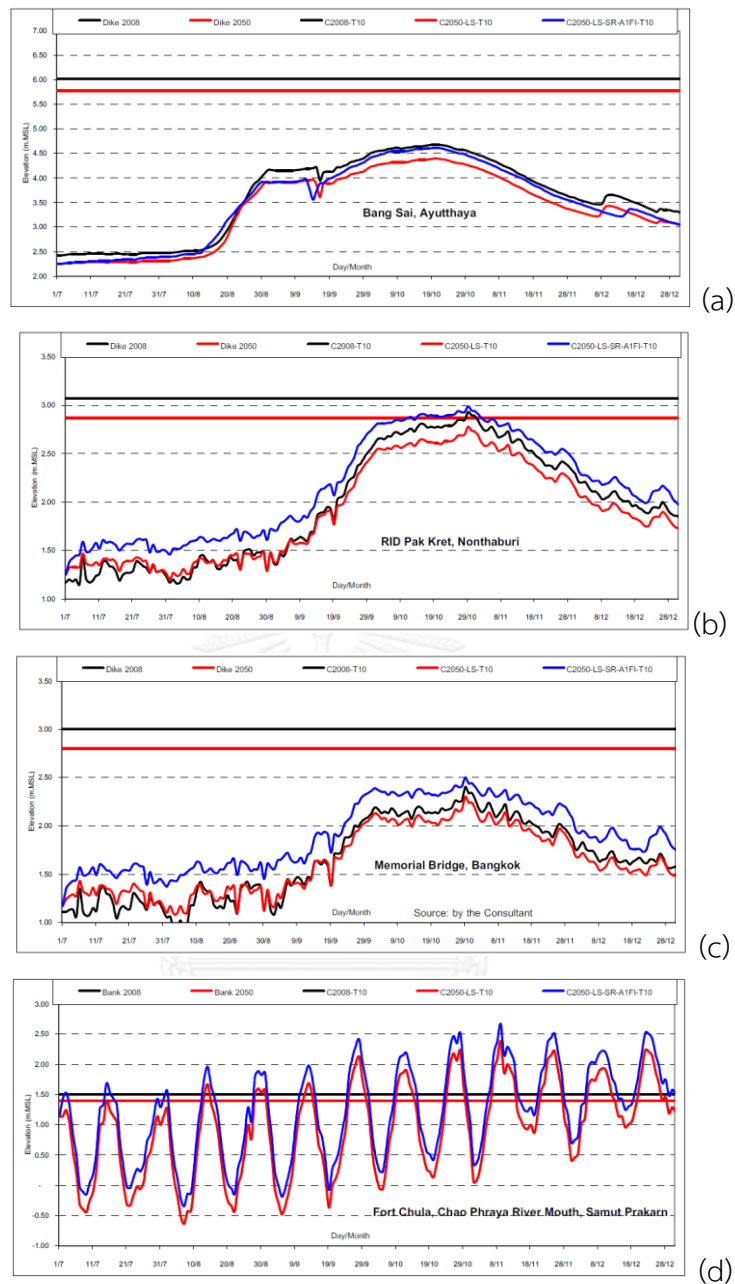
รูปที่ 2.13 กราฟความสูงของผิวน้ำตลอดแม่น้ำเจ้าพระยาตั้งแต่ปากแม่น้ำที่อำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยาจนถึงปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ โดยพิจารณาค่าปริมาณน้ำฝนจากสมมติฐานคาบอุบัติซ้ำ 10 ปี (a) 30 ปี (b) และ 100 ปี (c) (World Bank, 2009)

เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองสภาพการณ์ปัจจุบันกับแบบจำลองสภาพการณ์ปัจจุบันที่มีการพิจารณาการทรุดตัวของแผ่นดิน โดยพิจารณาคาบอุบัติซ้ำของปริมาณน้ำฝน 10 ปี 30 ปี และ 100 ปี (รูปที่ 2.13) พบว่าระดับน้ำที่สูงสุดของกราฟทั้งสองมีระดับลดลงเมื่อพิจารณาการทรุดตัวของแผ่นดิน เนื่องจากแผ่นดินมีการทรุดตัวประมาณ 20 เซนติเมตร และความแปรปรวนของระดับน้ำบริเวณสถานีชีวิต 4 สถานีคือ 1) อำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา 2) อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 3) สะพานพระพุทธยอดฟ้า จังหวัดกรุงเทพมหานคร และ 4) ป้อมพระจุลจอมเกล้า จังหวัดสมุทรปราการ มีความแตกต่างกันเมื่อพิจารณาคาบอุบัติซ้ำของปริมาณน้ำฝน 10 ปี (รูปที่ 2.14) คาบอุบัติซ้ำของปริมาณน้ำฝน 30 ปี (รูปที่ 2.15) และปริมาณน้ำฝน 100 ปี (รูปที่ 2.16)

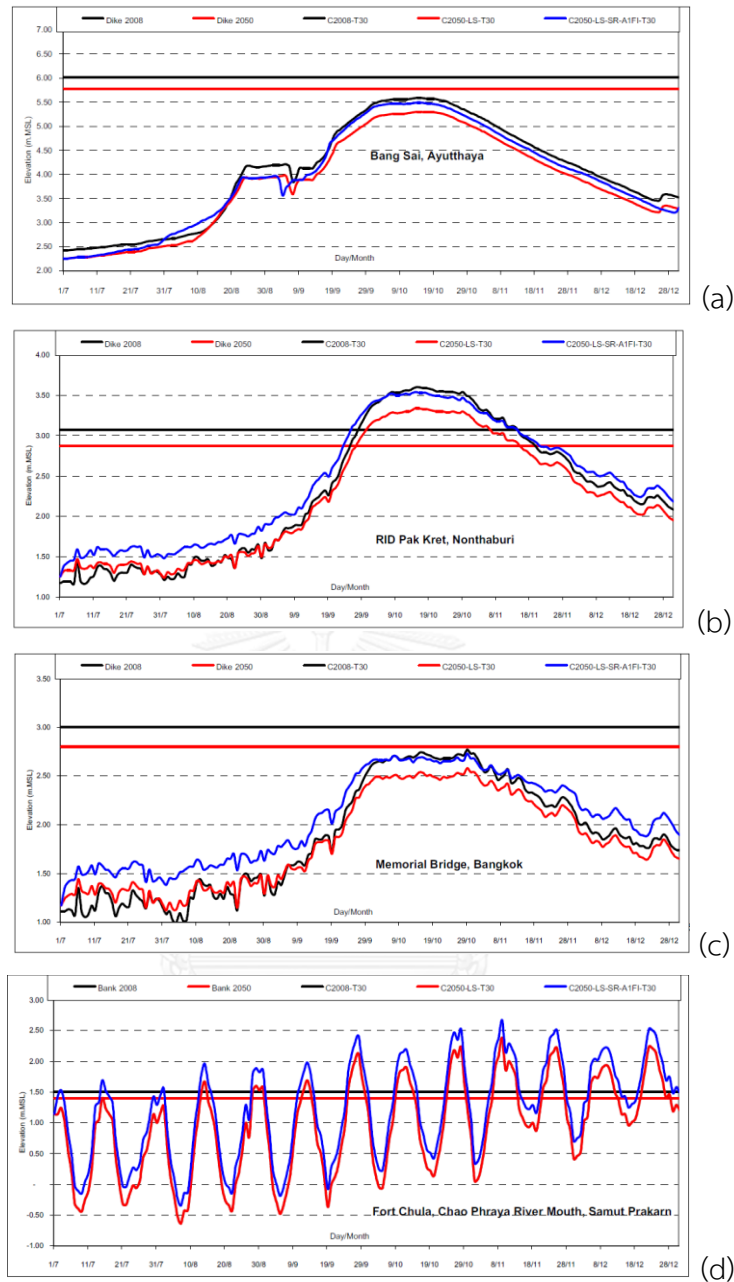
เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองสภาพการณ์ในอนาคตปี 2050 ที่มีการพิจารณาการทรุดตัวของแผ่นดินร่วมกับระบบป้องกันน้ำท่วม และแบบจำลองที่เพิ่มการพิจารณาการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลพบว่า ระดับน้ำที่สูงสุดจะเพิ่มสูงขึ้นจากการที่ระดับน้ำท่วมสูงขึ้นบริเวณที่ราบตอนเหนือและจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล

เมื่อเปรียบเทียบแบบจำลองสภาพการณ์ในอนาคตปี 2050 ที่มีการพิจารณาแผ่นดินทรุดและการเพิ่มขึ้นของระดับทะเล กับแบบจำลองสภาพการณ์ที่มีการพิจารณา storm surge พบว่าระดับน้ำสูงสุดจะเพิ่มขึ้นบริเวณปากแม่น้ำจากปรากฏการณ์ storm surge แต่ผลกระทบจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณปากแม่น้ำในรัศมี 50 กิโลเมตร

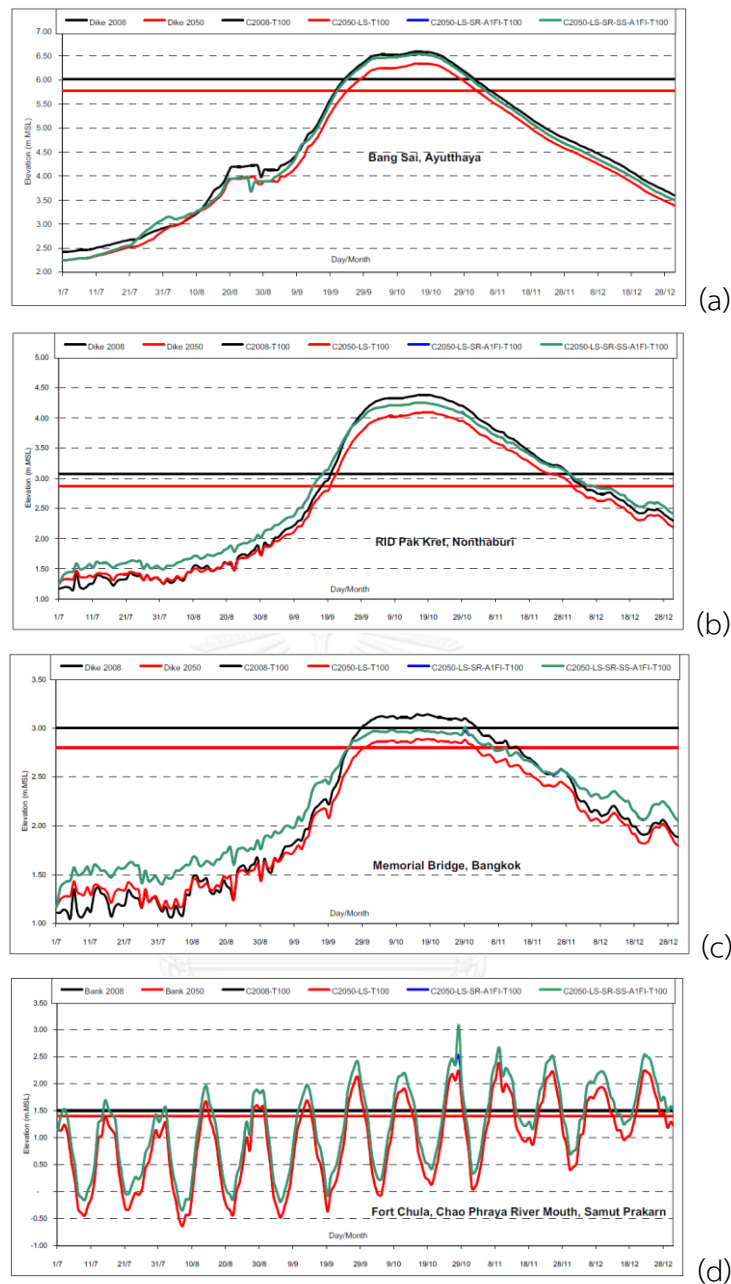




รูปที่ 2.14 ความแปรปรวนของระดับน้ำบริเวณสถานีชี้วัด 4 สถานีคือ 1) อำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา (a) 2) อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี (b) 3) สะพานพระพุทธยอดฟ้า จังหวัดกรุงเทพมหานคร (c) 4) ป้อมพระจุลจอมเกล้า จังหวัดสมุทรปราการ (d) โดยพิจารณาจากอุบัติซ้ำของปริมาณน้ำฝน 10 ปี (World Bank, 2009)



รูปที่ 2.15 ความแปรปรวนของระดับน้ำบริเวณสถานีชี้วัด 4 สถานีคือ 1) อำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา (a) 2) อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี (b) 3) สะพานพระพุทธยอดฟ้า จังหวัดกรุงเทพมหานคร (c) 4) ป้อมพระจุลจอมเกล้า จังหวัดสมุทรปราการ (d) โดยพิจารณาจากอุบัติเหตุซ้ำของปริมาณน้ำฝน 30 ปี (World Bank, 2009)



รูปที่ 2.16 ความแปรปรวนของระดับน้ำบริเวณสถานีชี้วัด 4 สถานีคือ 1) อำเภอบางไทร จังหวัดอยุธยา (a) 2) อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี (b) 3) สะพานพระพุทธยอดฟ้า จังหวัดกรุงเทพมหานคร (c) 4) ป้อมพระจุลจอมเกล้า จังหวัดสมุทรปราการ (d) โดยพิจารณาจากอุบัติเหตุซ้ำของปริมาณน้ำฝน 100 ปี (World Bank, 2009)

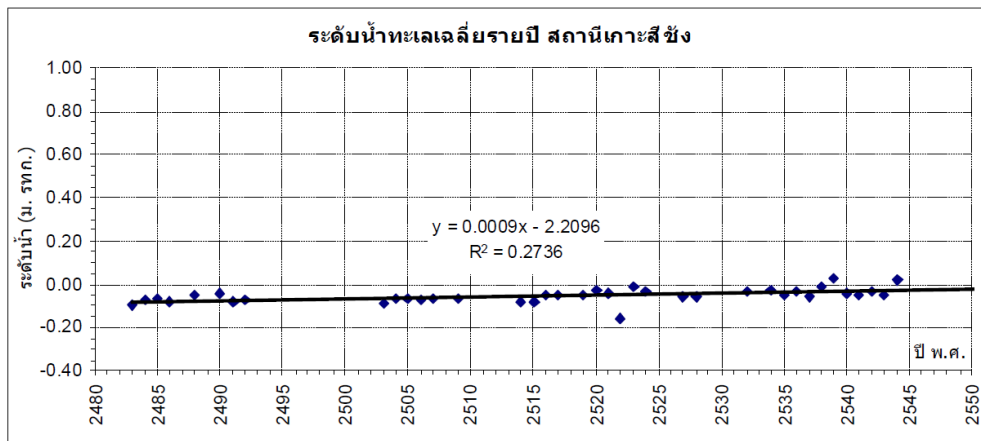
จากกราฟแสดงให้เห็นว่าระบบป้องกันน้ำท่วมสามารถรองรับสถานการณ์น้ำท่วมได้ในกรณีที่คาบอุบัติซ้ำของปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 10 ปี แต่ไม่เหมาะสมสำหรับสถานการณ์น้ำท่วมที่คาบอุบัติซ้ำของปริมาณน้ำฝนเท่ากับ 30 ปีและ 100 ปี ดังนั้น

การปรับปรุงระบบป้องกันน้ำท่วมจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อให้สามารถรับมือกับสถานการณ์ดังกล่าวได้ในอนาคต

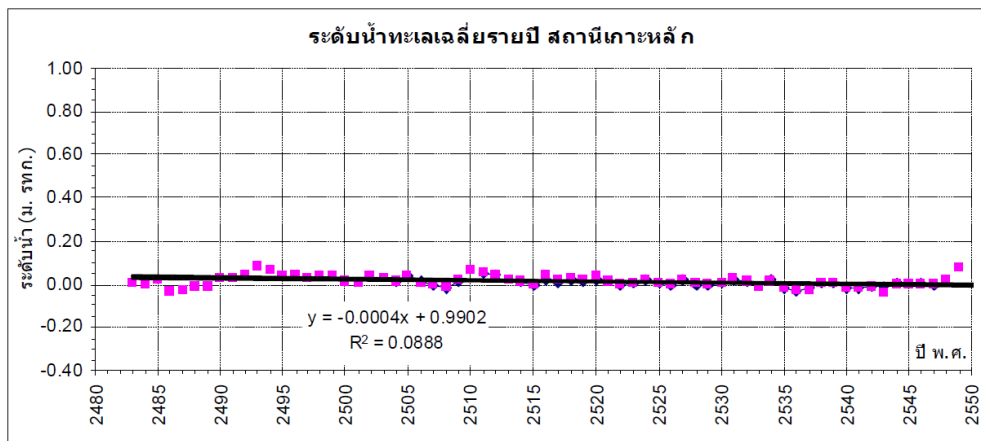
#### 2.2.4.2 แบบจำลองของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

การประเมินแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกในอนาคตโดย IPCC ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ภูมิอากาศโลก (General Circulation Model, GCM) ในการวิเคราะห์คาดการณ์แนวโน้มภูมิอากาศโลก รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลโลก ซึ่งผลจากแบบจำลองพบว่าระดับน้ำทะเลโลกเพิ่มขึ้นในช่วง 1990 - 2100 และมีโอกาสเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 0.09 - 0.88 เมตร เมื่อสิ้นปี 2100 (IPCC, 2001)

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในสถานีรอบอ่าวไทยพบว่าระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะบริเวณอ่าวไทยตอนบน อันเป็นผลมาจากการทรุดตัวของแผ่นดินบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา-ท่าจีน และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลที่เกาะสีชัง และเกาะหลักซึ่งเป็นสถานีวัดระดับน้ำอ้างอิงของประเทศไทยพบว่ามีแนวโน้มที่ต่างกัน คือบริเวณเกาะสีชังมีอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเฉลี่ยประมาณ 0.9 มิลลิเมตรต่อปี ในขณะที่บริเวณเกาะหลักกลับมีอัตราการลดลงประมาณ 0.4 มิลลิเมตรต่อปี ดังรูป 2.17



(a)



(b)

รูปที่ 2.17 ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยบริเวณเกาะสีชัง (a) และ เกาะหลัก (b) (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009)

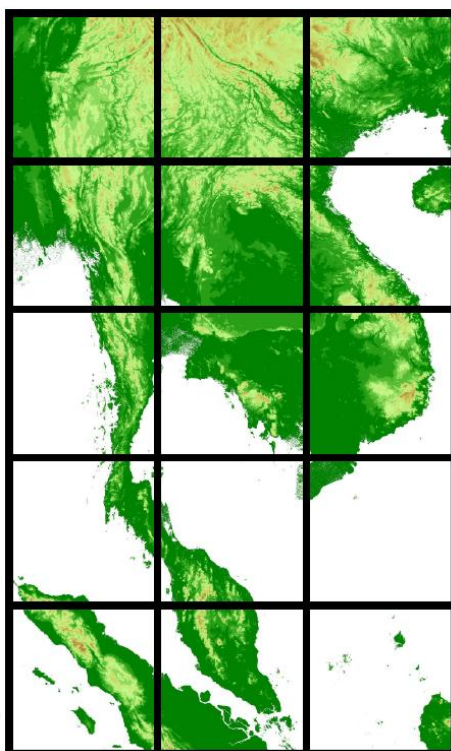
ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย

1. ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ที่สำคัญต่อการดำเนินการศึกษา ซึ่งข้อมูล DEM มีผลต่อความละเอียดของข้อมูล (Resolution) และความถูกต้องของข้อมูล (Accuracy) เช่น ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขจาก LiDAR (Light Detection and Ranging) เป็นการใช้เทคโนโลยีเลเซอร์ในการเก็บข้อมูลความสูงภูมิประเทศ ซึ่งต้องใช้งบประมาณสูงในการเก็บข้อมูลแต่ข้อมูลที่ได้อีกมีความละเอียดระดับสูง

ความผิดพลาดเชิงความสูงมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะภูมิประเทศ เช่น พื้นที่ราบลุ่มจะมีความผิดพลาดเชิงความสูงน้อยกว่าพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูง ซึ่งบริเวณชายฝั่งอันเป็นที่หลักในการศึกษาเป็นพื้นที่ราบ ดังนั้นจึงมี

ความผิดพลาดเชิงความสูงจึงมีค่าน้อย โดยข้อมูลที่น่ามาใช้มีความถูกต้องแนวตั้ง 4 เมตรบริเวณพื้นที่สูงชัน และ 2 เมตรบริเวณพื้นที่ราบ

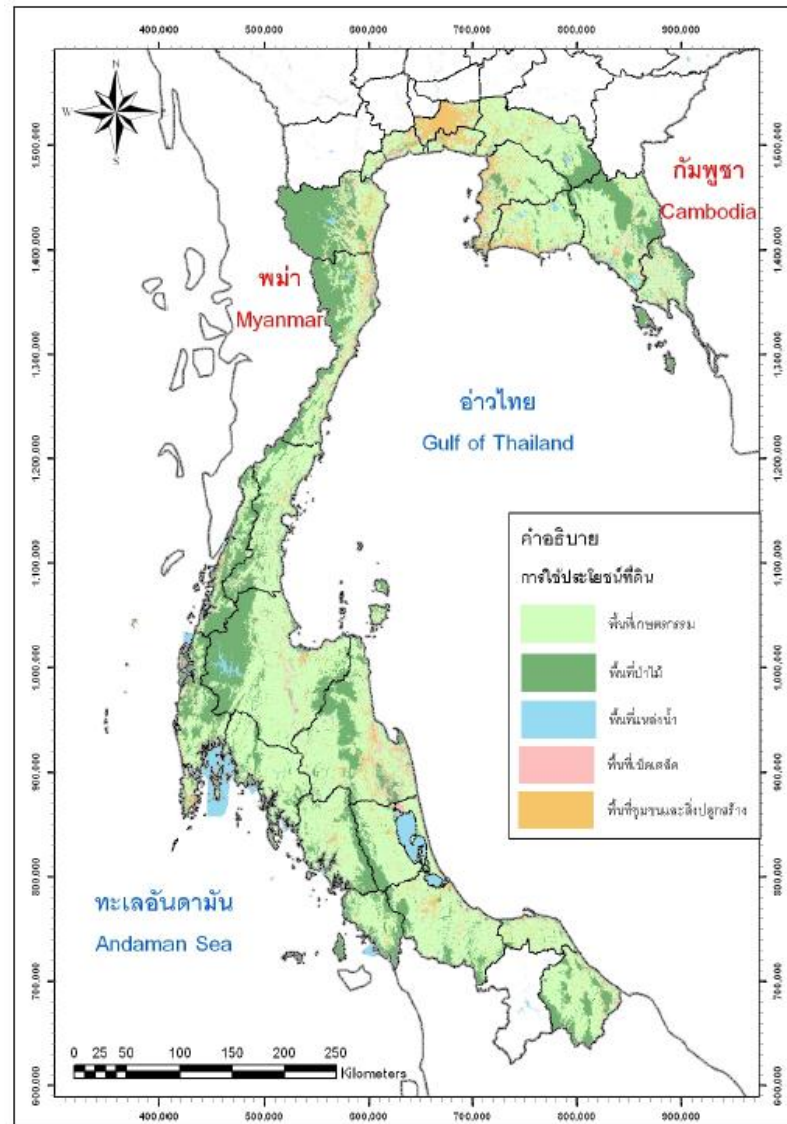
การศึกษาในครั้งนี้ใช้ข้อมูล DEM จากฐานข้อมูล SRTM (The Shuttle Radar Topography Mission) จากศูนย์วิจัยนานาชาติ CGIAR-CSI (Consortium for Spatial Information) ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีความละเอียดของข้อมูล 90 เมตร และประเทศไทยประกอบด้วย DEM จำนวน 15 ส่วน ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 DEM จากฐานข้อมูล SRTM (The Shuttle Radar Topography Mission) บริเวณประเทศไทยประกอบด้วย DEM จำนวน 15 ส่วน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009)

2. ข้อมูลการใช้ที่ดิน (Land use) สามารถจำแนกออกเป็น 5 ประเภท (รูปที่ 2.19) อ้างอิงจากส่วนวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน แผนที่มาตราส่วน 1:25000 ปี 2006 และ 2007

1. พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง (Urban and Built-up land, U)
2. พื้นที่เกษตรกรรม (Agricultural land, A)
3. พื้นที่ป่าไม้ (Forest land, F)
4. พื้นที่แหล่งน้ำ (Water Body, W)
5. พื้นที่เบ็ดเตล็ด (Miscellaneous land, M)

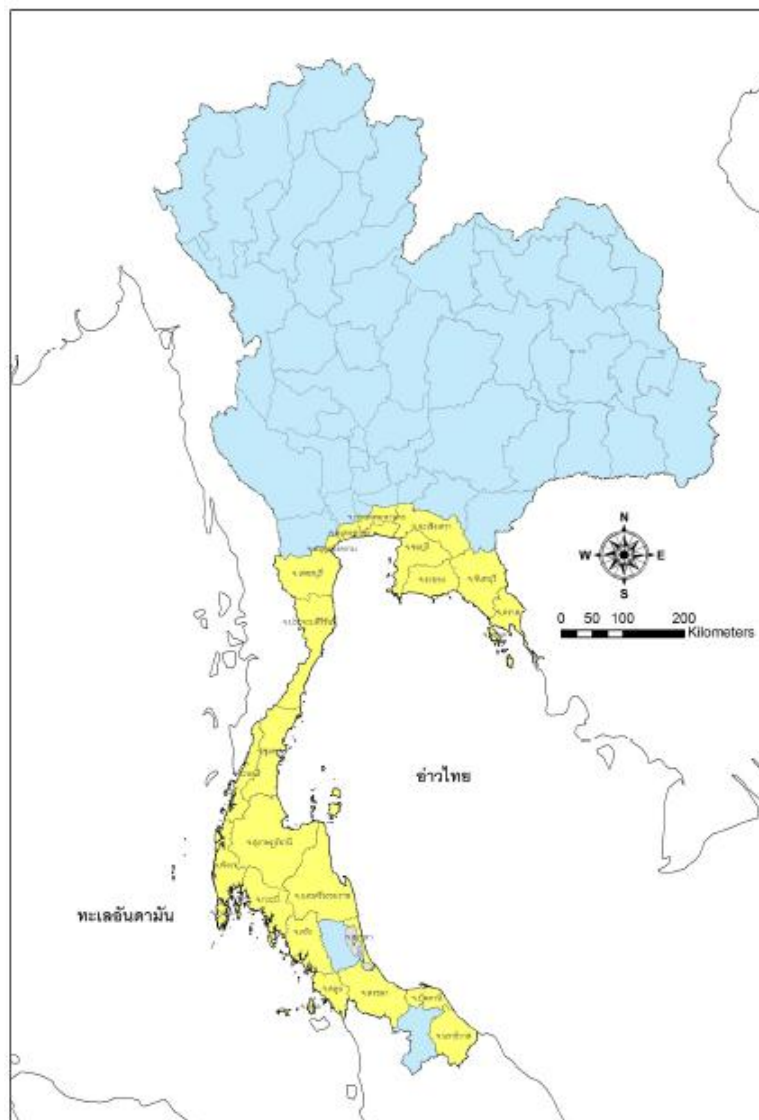


รูปที่ 2.19 แผนที่ภาพรวมการใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่ศึกษา

(สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009)

โดยพื้นที่ศึกษารอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด 24 จังหวัดติดกับอ่าวไทยแบ่งเป็น 3 ภาค (รูปที่ 2.20) ได้แก่

1. ภาคกลาง ประกอบด้วย กรุงเทพมหานคร ประจวบคีรีขันธ์ เพชรบุรี สมุทรปราการ สมุทรสงคราม และสมุทรสาคร
2. ภาคตะวันออก ประกอบด้วย จันทบุรี ฉะเชิงเทรา ชลบุรี ตราด และระยอง
3. ภาคใต้ ประกอบด้วย กระบี่ ชุมพร ตรัง นครศรีธรรมราช นราธิวาส ปัตตานี พังงา พัทลุง ภูเก็ต ระนอง สงขลา สตูล และสุราษฎร์ธานี



รูปที่ 2.20 ขอบเขตพื้นที่ศึกษาจำนวน 23 จังหวัดที่มีขอบเขตติดอ่าวไทย (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009)

บริเวณอ่าวไทยมีการผันผวนของระดับน้ำทะเลอย่างเห็นได้ชัด ในการวิเคราะห์คาดการณ์ผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจึงแบ่งกรณีศึกษาเป็น 4 กรณีคือ 1 2 3 และ 5 เมตร

สมมติฐานในการวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงภัยมีดังนี้

1. การวิเคราะห์พื้นที่อ้างอิง DEM ความละเอียด 90 เมตร จากฐานข้อมูล SRTM จากศูนย์วิจัยนานาชาติ CGIAR-CSI ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเชิงพื้นที่แบ่งเป็น 4 กรณีคือ น้ำทะเลเพิ่มขึ้น 1 2 3 และ 5 เมตรตามลำดับ โดยไม่คำนึงถึงสภาพการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำขึ้น-ลงในสภาวะปกติ (Tide) และการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเนื่องจากเหตุการณ์



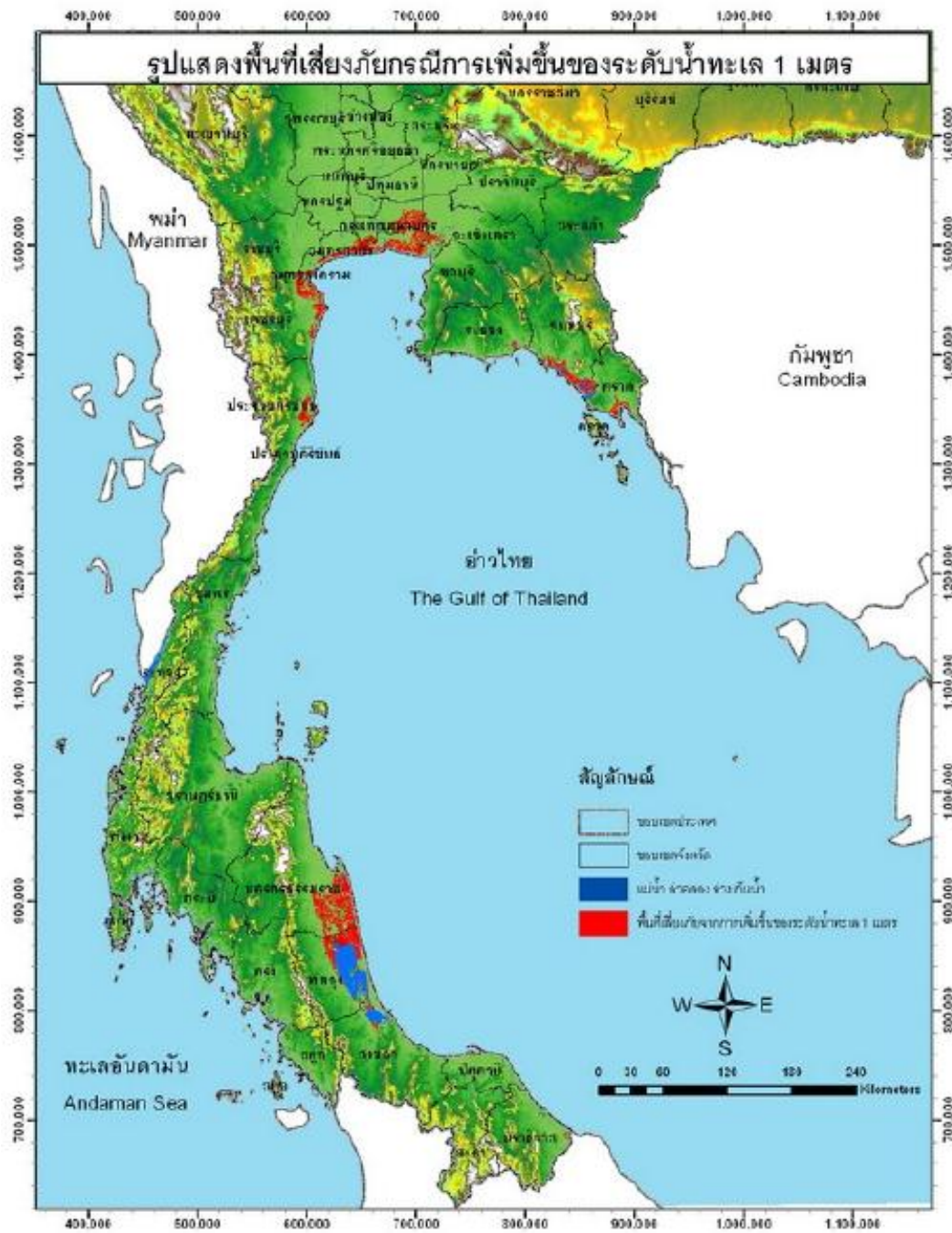
ไม่ปกติ เช่น การยกตัวของระดับน้ำจากพายุ (Storm surge) หรือปริมาณน้ำฝนหรือน้ำท่ามาก เป็นต้น

3. การพิจารณาผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลตามแนวแม่น้ำสายหลักจะถือว่าเมื่อระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้นจะเพิ่มขึ้นในระดับเดียวกันตลอดทั้งแม่น้ำ

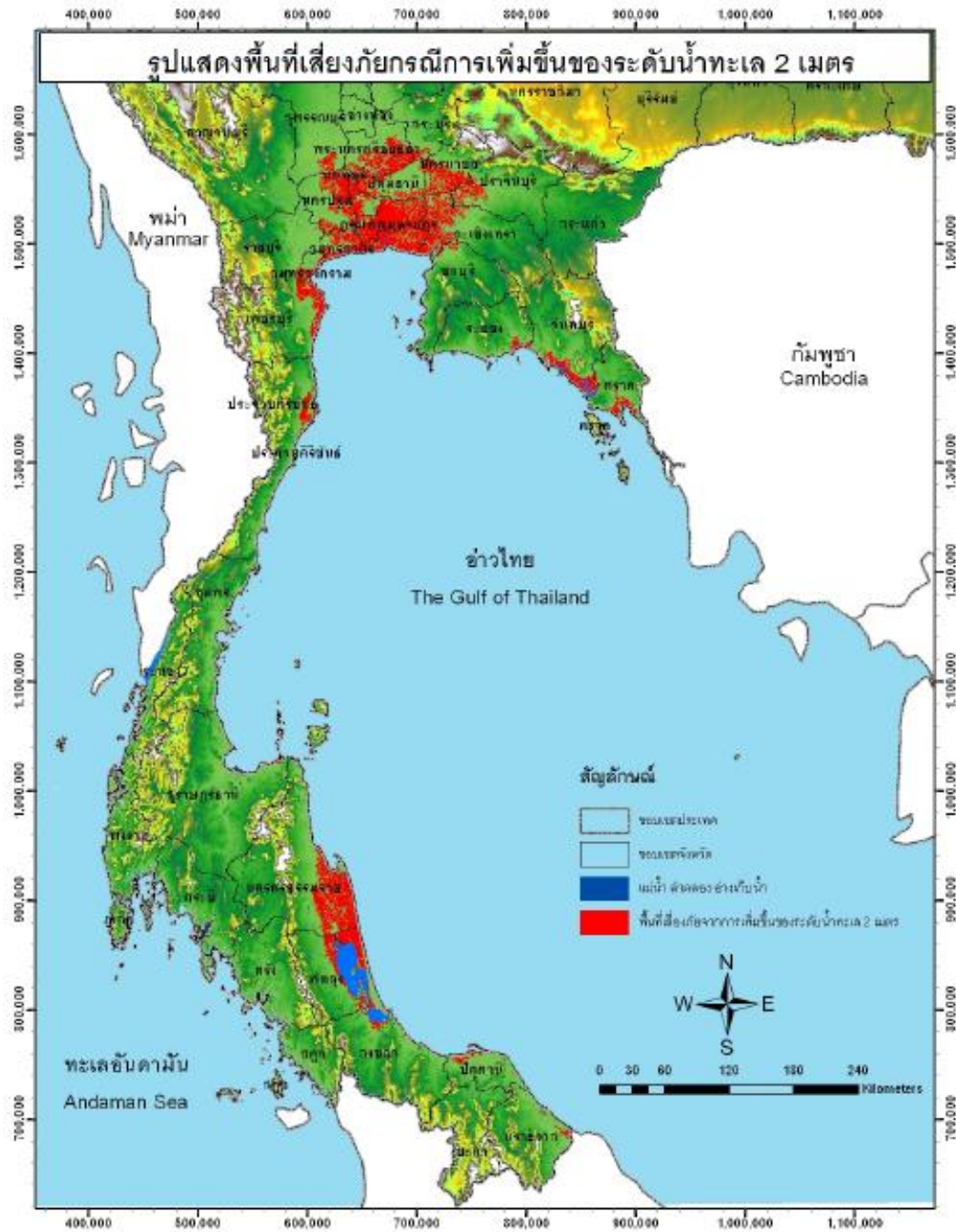
ผลการวิเคราะห์ผลกระทบเชิงพื้นที่จากกรณีการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลมีการจัดทำผลกระทบเพิ่มเติมเป็น 5 กรณีคือ

- การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล 1 เมตร (รูปที่ 2.21)
- การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล 2 เมตร (รูปที่ 2.22)
- การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล 3 เมตร (รูปที่ 2.23)
- การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล 4 เมตร (รูปที่ 2.24)
- การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล 5 เมตร (รูปที่ 2.25)

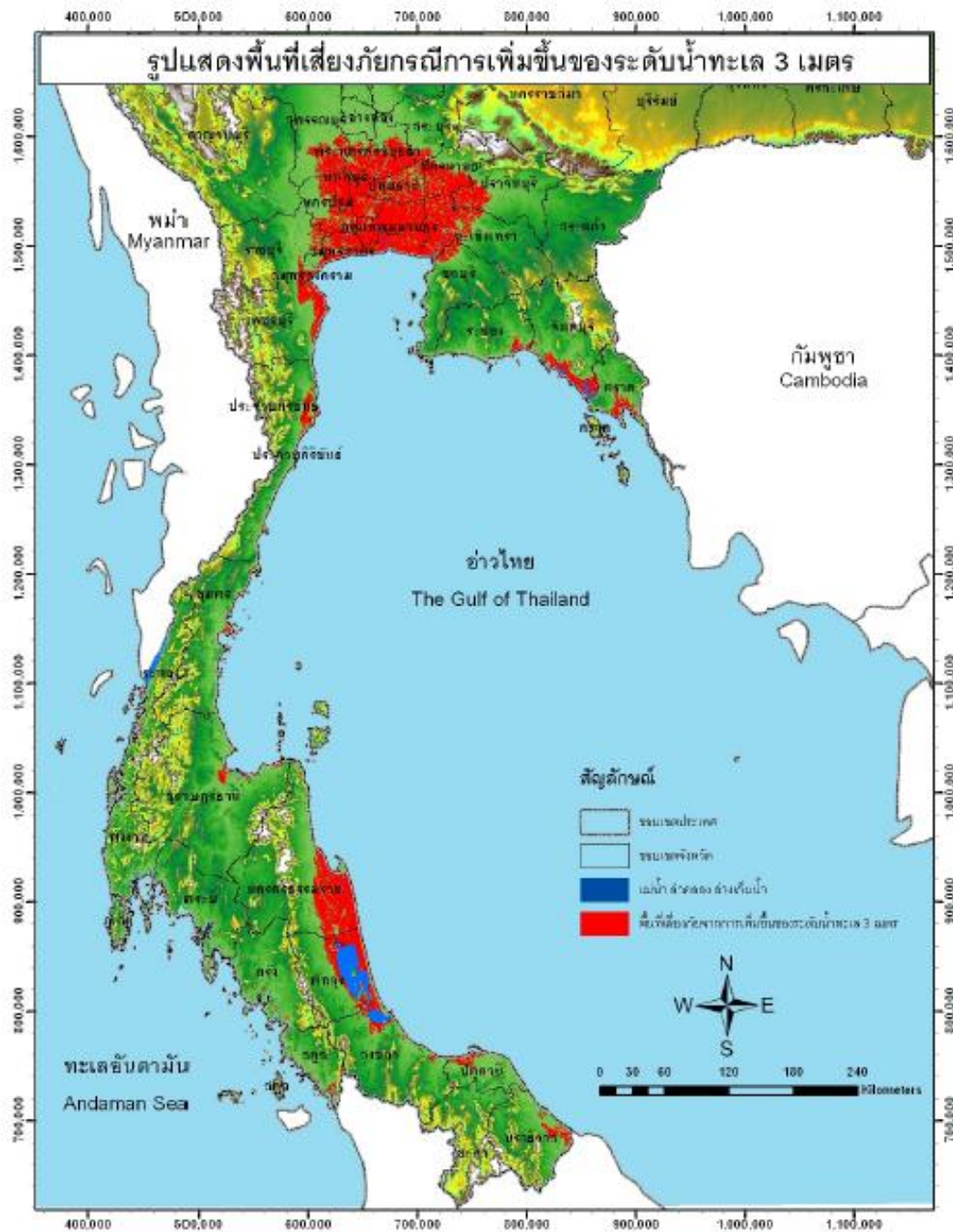




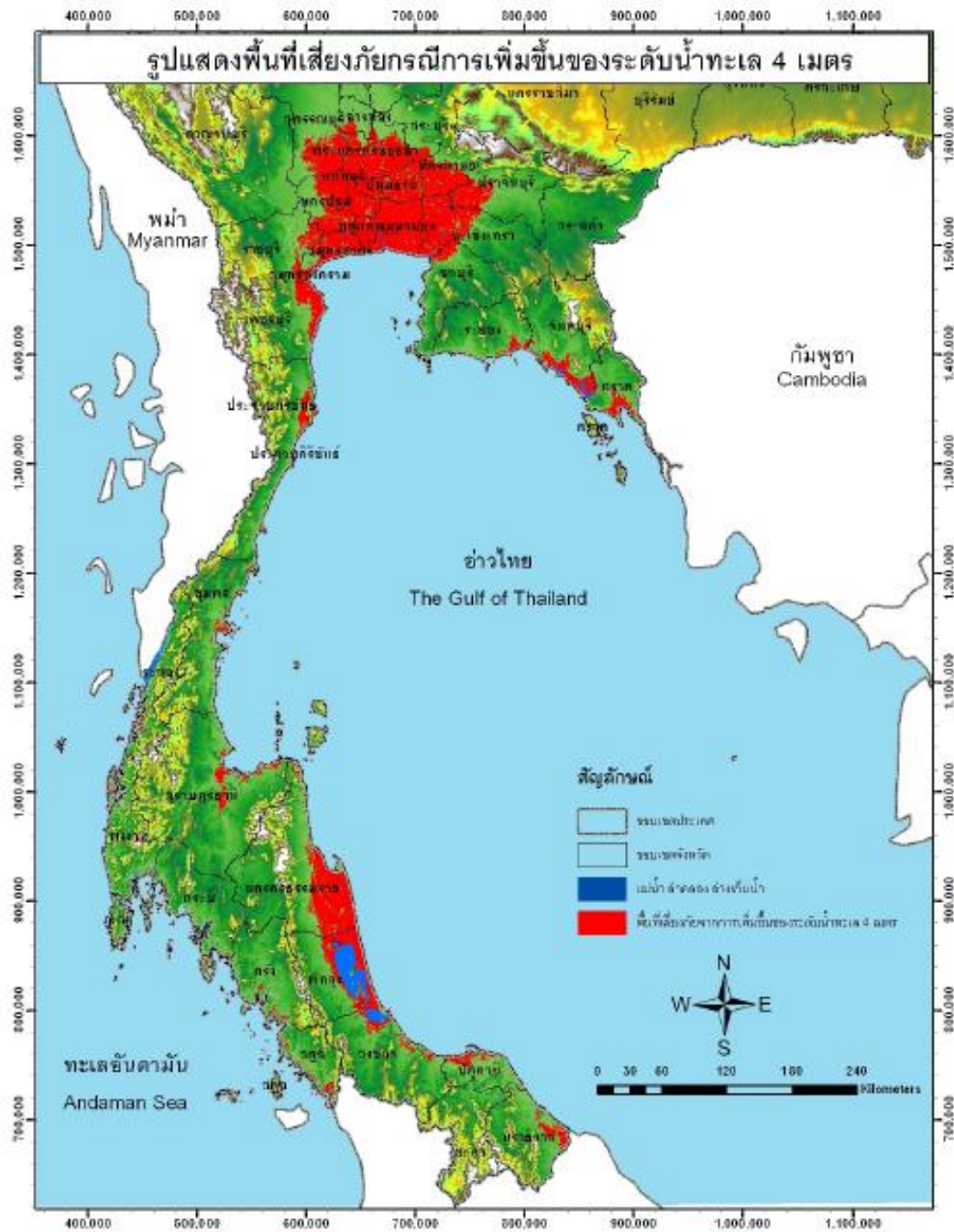
รูปที่ 2.21 พื้นที่เสี่ยงภัยจากกรณีน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 1 เมตร  
(สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009)



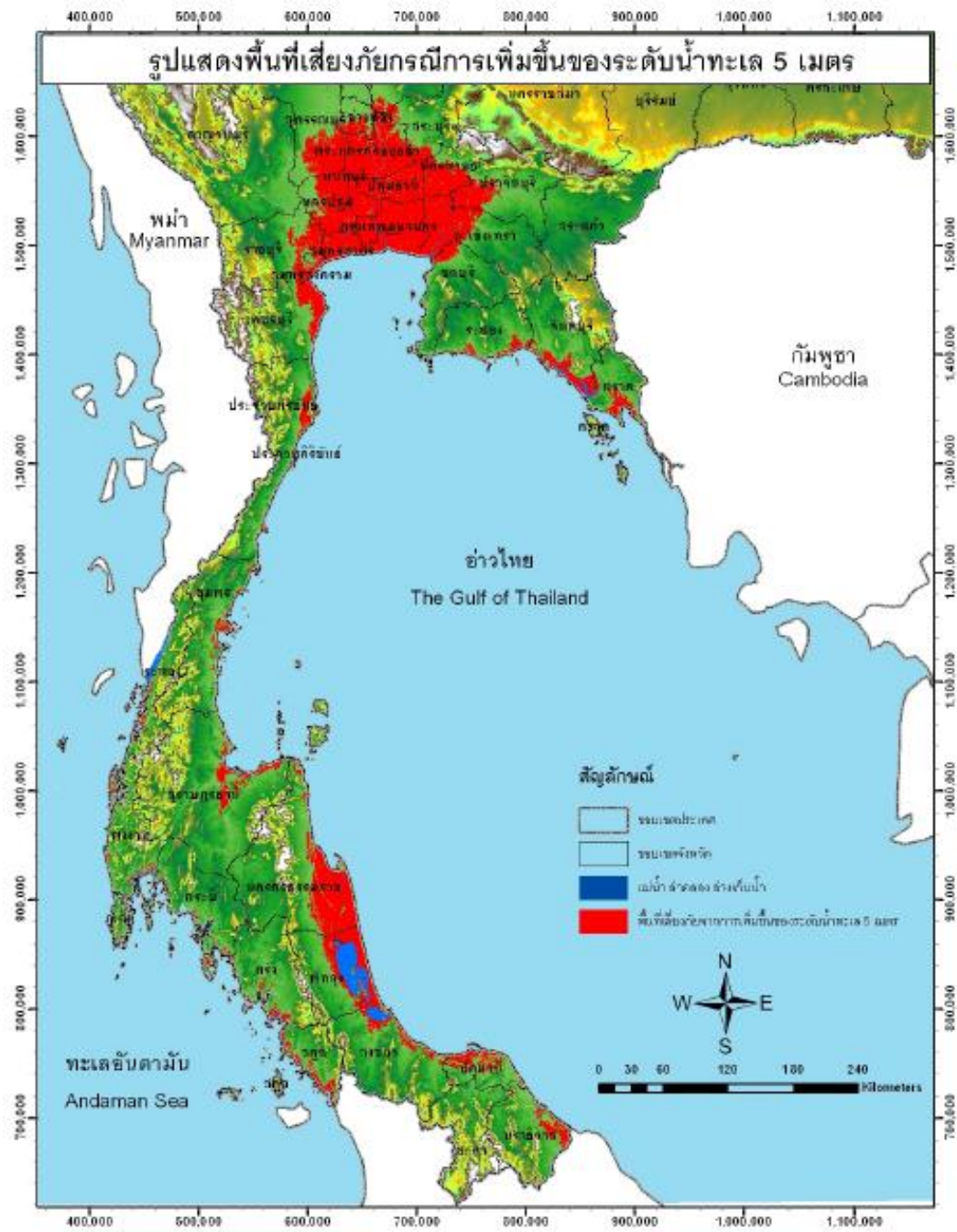
รูปที่ 2.22 พื้นที่เสี่ยงภัยจากกรณีน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 2 เมตร  
(สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009)



รูปที่ 2.23 พื้นที่เสี่ยงภัยจากกรณีน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 3 เมตร  
(สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009)



รูปที่ 2.24 พื้นที่เสี่ยงภัยจากกรณีน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 4 เมตร  
(สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009)

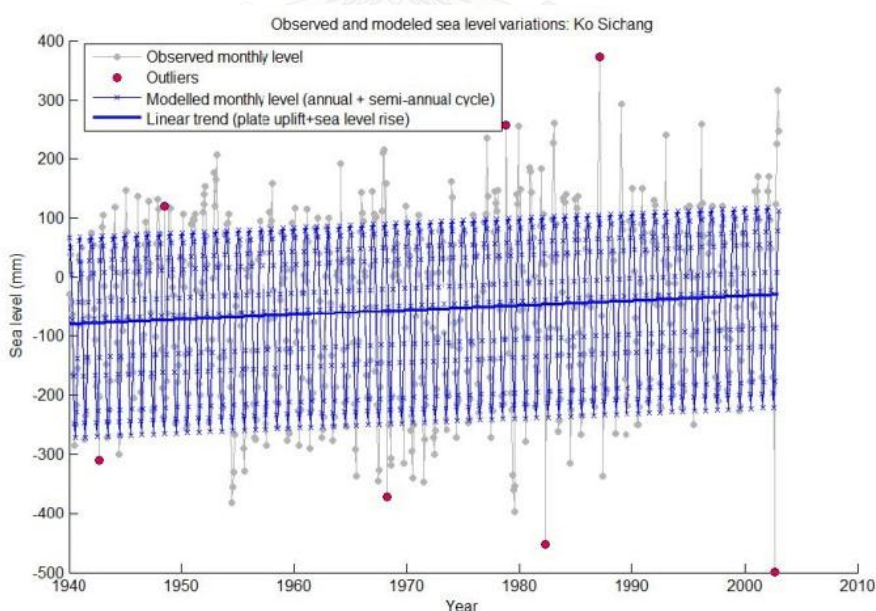


รูปที่ 2.25 พื้นที่เสี่ยงภัยจากกรณีน้ำทะเลเพิ่มสูงขึ้น 5 เมตร  
(สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2009)

## 2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการสนธิค่าอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล อัตราการทรุดตัวของแผ่นดิน และการเคลื่อนตัวทางดิ่งของแผ่นเปลือกโลกซุนดา เพื่อจำลองเหตุการณ์น้ำทะเลท่วมโดยใช้ระบบภูมิสารสนเทศ ในบริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

เนื่องจากระดับน้ำทะเลมีความแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของปี หรือที่เรียกว่าวัฏจักรรายปีของน้ำทะเล จากงานวิจัยของ Trisirisatayawong and Cheewinsirawat (2013) ทำการคำนวณค่าแอมพลิจูดของวัฏจักรรายปี เพื่อนำมาใช้ประกอบการจำลองภาพเหตุการณ์น้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล โดยเลือกใช้ข้อมูลจากสถานีวัดระดับน้ำเกาะสีชัง เพราะเป็นเกาะหินโผล่ จึงไม่ได้รับผลกระทบเรื่องการทรุดตัว อีกทั้งเป็นสถานีที่อยู่ใกล้กับพื้นที่ศึกษามากที่สุด ค่าที่ได้จึงถือเป็นตัวแทนของระดับน้ำบริเวณพื้นที่ศึกษาได้ จากการศึกษาช่วงเวลาที่มีระดับน้ำทะเลสูงสุดคือเดือนมกราคมและ ในขณะที่เดือนกรกฎาคมเป็นช่วงที่มีระดับน้ำทะเลลดลงต่ำสุด โดยมีแอมพลิจูดประมาณ 20 เซนติเมตร (รูปที่ 2.26) ทั้งนี้ ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในช่วงเวลาสั้นๆมีความแปรปรวนมากกว่าข้อมูลในช่วงเวลานาน ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองจึงมีการนำข้อมูลวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยตอนบนมาพิจารณาร่วมเพื่อให้แบบจำลองมีความละเอียดในเชิงเวลามากขึ้น



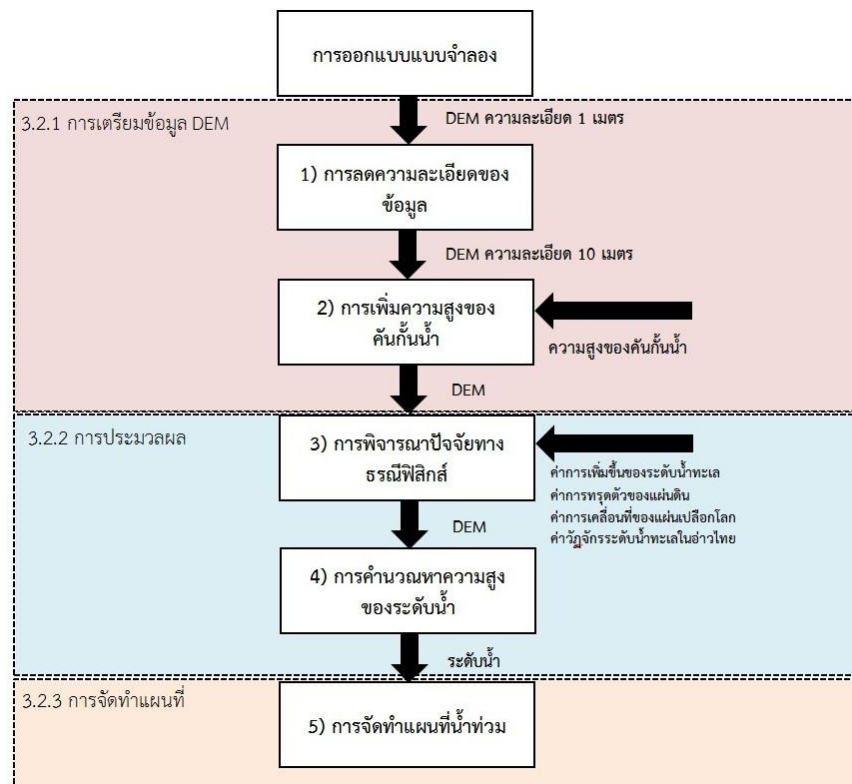
รูปที่ 2.26 ความแปรปรวนของระดับน้ำทะเลบริเวณเกาะสีชังที่ตรวจวัดได้และจากการจำลองจาก Trisirisatayawong and Cheewinsirawat (2013)

### บทที่ 3

#### ขั้นตอนการสร้างและประมวลผลแบบจำลอง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาแบบจำลองการเกิดน้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ได้แก่ อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย การทรุดตัวของแผ่นดิน วัฏจักรการเปลี่ยนแปลงของแผ่นเปลือกโลกซุนดา วัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย ร่วมกับข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข อีกทั้งมีการพิจารณาระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ เพื่อแสดงให้เห็นความสามารถในการป้องกันน้ำท่วมของระบบป้องกันที่อยู่ในปัจจุบัน และเพื่อทดลองปรับปรุงความสูงของระบบป้องกัน ซึ่งช่วยในการวางแผนบริหารจัดการพื้นที่ได้ดียิ่งขึ้น โดยผลลัพธ์จากแบบจำลองจะถูกนำมาจัดทำแผนที่น้ำท่วมเพื่อใช้ในการแสดงผล

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยประกอบไปด้วยการจัดเตรียมข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลอง การออกแบบแบบจำลอง (รูปที่ 3.1) การทดสอบแบบจำลอง และการปรับปรุงและแก้ไขแบบจำลอง



รูปที่ 3.1 แผนภูมิขั้นตอนการประมวลผลเพื่อให้ได้แผนที่จำลองเหตุการณ์น้ำท่วม



### 3.1 การเตรียมข้อมูลและเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

#### 3.1.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

##### 3.1.1.1 การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล (Sea level rise)

ในงานวิจัยนี้มีการจัดทำแบบจำลองน้ำท่วมบริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานครและจังหวัดสมุทรปราการจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล จึงอ้างอิงข้อมูลการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยจาก Trisirisatayawong (2011) ซึ่งมีค่าประมาณ 5 มิลลิเมตรต่อปีในการสร้างแบบจำลอง โดยธรรมชาติของปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเป็นปรากฏการณ์ขนาดใหญ่ (Large-scale phenomena) ซึ่งมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงในเชิงพื้นที่คือ การเปลี่ยนแปลงจะแปรผันตามขนาดพื้นที่และระยะเวลา บริเวณพื้นที่ขนาดเล็กการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลจะมีค่าน้อยมาก แต่เมื่อพื้นที่ศึกษามีขนาดใหญ่ขึ้นจะพบว่าค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลก็ยิ่งสูงขึ้นด้วยเช่นกัน เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงในเชิงเวลา ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ระดับของน้ำทะเลจะมีค่าการเปลี่ยนแปลงน้อย และค่าการเปลี่ยนแปลงจะมากขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปนาน ดังนั้นพื้นที่ศึกษาในงานวิจัยซึ่งมีขนาดเล็กและการทดสอบสร้างสภาพการณ์น้ำท่วมในอนาคตไปเพียงไม่กี่ปี จึงสามารถตั้งสมมติฐานได้ว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจะดำเนินไปอย่างคงที่ตลอดระยะเวลาขอบเขตงานวิจัย

##### 3.1.1.2 การทรุดตัวของแผ่นดิน (Land subsidence)

ในงานวิจัยนี้อ้างอิงข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดิน จากงานวิจัยของ Aobpaet et al (2013) ที่ติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง โดยใช้เทคนิค Time-series InSAR ในช่วงเดือนตุลาคมปี 2005 ถึงเดือนมีนาคมปี 2010 พบว่าอัตราการทรุดตัวของบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีค่า 0 ถึง 30 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งข้อมูลก็นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นข้อมูลอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินที่เป็น raster ได้จากการประมาณค่า (Interpolation) ของจุดรังวัดทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษา มีความละเอียดของข้อมูล 1 เมตร เพื่อให้สามารถประมวลผลร่วมกับข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขที่มีความละเอียดของข้อมูลในระดับเดียวกันได้ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะใช้ในการคำนวณหาความสูงภูมิประเทศเชิงเลขในช่วงเวลาที่ต้องการสร้างแบบจำลองน้ำท่วม อย่างไรก็ตามการทรุด

ตัวของแผ่นดินเป็นปรากฏการณ์ขนาดเล็ก (Small-scale phenomena) ที่มีความแปรปรวนของค่าเชิงพื้นที่และเชิงเวลามาก โดยอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินอาจมีการแปรผันมากทั่วบริเวณหรือแปรผันอย่างมากในระยะเวลาสั้นๆ บางพื้นที่ที่มีอัตราการทรุดตัวสูงอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหนึ่งอาจมีการทรุดตัวที่ช้าลงและสิ้นสุดได้ในระยะเวลาเพียงไม่นาน ดังนั้นการใช้อัตราการทรุดตัวที่คงที่ของบริเวณๆ หนึ่งในการจำลองสภาพการณ์ล่วงหน้าหลายปี อาจทำให้ผลลัพธ์มีการคาดเคลื่อนได้ ปัจจัยด้านการทรุดตัวของแผ่นดินจึงถือเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งในงานวิจัยนี้

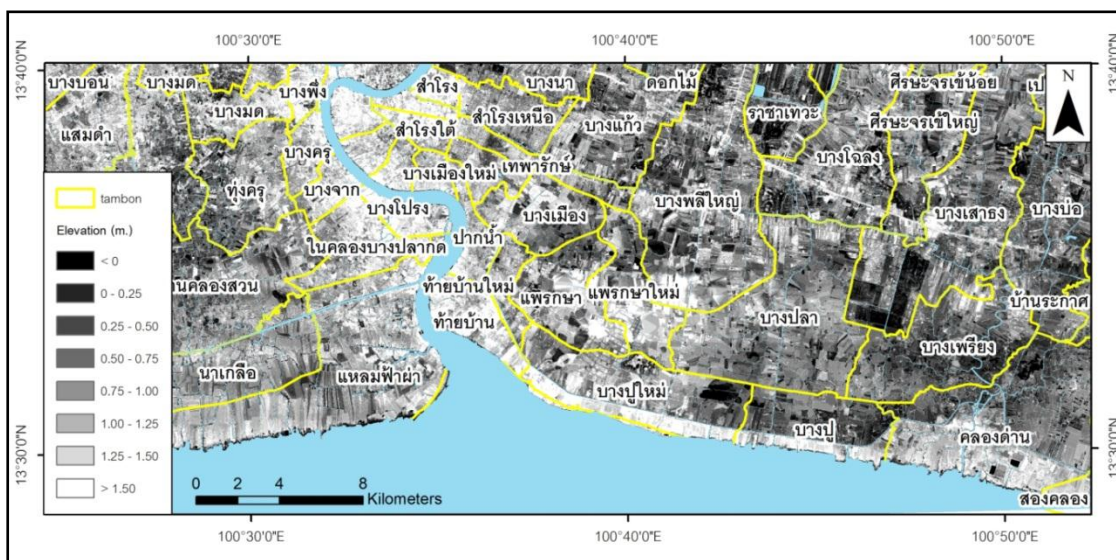
### 3.1.1.3 การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก (Vertical plate motion)

การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติขนาดใหญ่เช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล ดังนั้นในช่วงระยะเวลาไม่กี่สิบปี การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกจึงมีค่าไม่มาก อย่างไรก็ตามแม้การเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในช่วงระยะเวลาที่จัดทำแบบจำลองแต่มีผลต่อระดับน้ำที่เข้าท่วมพื้นที่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกจากงานวิจัยของ Satirapod et al (2012) ที่คาดการณ์ความเร็วในการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกซุนดาบริเวณประเทศไทยภายหลังปรากฏการณ์แผ่นดินไหว Mw 9.2 ณ เกาะสุมาตราในปี 2004 จากสถานีตรวจวัดชุมพร และสถานีตรวจวัดระยอง งานวิจัยนี้อ้างอิงข้อมูลจากคาบอุบัติซ้ำ 500 ปี จากสถานีระยอง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกเป็นปรากฏการณ์ขนาดใหญ่ดังที่ได้กล่าวไว้ ดังนั้นในพื้นที่ศึกษาซึ่งเป็นพื้นที่ขนาดเล็กจึงสามารถตั้งสมมติฐานได้ว่าบริเวณพื้นที่ศึกษาน่าจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกเท่ากันทั่วบริเวณ และค่าที่ใช้อ้างอิงจากสถานีระยอง ซึ่งอยู่ใกล้กับพื้นที่ศึกษา โดยค่าที่นำมาใช้เป็นค่าคงที่ของการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกที่แตกต่างกันในช่วงเวลาแต่ละปี

### 3.1.1.4 ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model)

ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (Digital Elevation Model; DEM) ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมทรัพยากรธรณี จัดทำขึ้นในปี 2006 มีความละเอียดของข้อมูล 1 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มแม่น้ำสองฝั่งของแม่น้ำเจ้าพระยา และพื้นที่ชายฝั่งกรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ และบางส่วนของจังหวัด

จะเชิงเทรา (รูปที่ 3.2) โดย DEM จะถือเป็นข้อมูลหลักในการสร้างแบบจำลอง ในการทดสอบประมวลผลแบบจำลอง DEM จะถูกทำการ downsampling ให้มีความละเอียด 10 เมตรเพื่อให้ระยะเวลาในการทดสอบงานได้เร็วขึ้น และในการประมวลผลจริงจะใช้ข้อมูลที่มีความละเอียด 1 เมตรในการดำเนินงานทุกขั้นตอน



รูปที่ 3.2 ขอบเขตข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองและจัดทำแผนที่ผลลัพธ์

### 3.1.1.5 วัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย

เนื่องจากระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยมีความแปรปรวนในแต่ละช่วงเวลาของปี ดังนั้นพื้นที่น้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจึงมีความสูงของระดับน้ำที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาของปีเช่นเดียวกัน เพื่อให้แบบจำลองสามารถนำไปใช้ในการวางแผนจัดการได้ดี จึงต้องมีการพิจารณาปัจจัยดังกล่าวเพื่อแสดงระดับน้ำในแต่ละช่วงของปีได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น โดยอ้างอิงค่าแอมพลิจูดของระดับน้ำทะเลจากงานวิจัยของ Trisirisatayawong and Cheewinsirawat (2013) พบว่าช่วงที่ระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยมีระดับสูงสุดคือช่วงเดือนมกราคม มีความสูงของระดับน้ำเหนือระดับทะเลปานกลางประมาณ 148 ซม. และเดือนกรกฎาคมเป็นช่วงที่ระดับน้ำทะเลลดลงต่ำสุด มีความสูงของระดับน้ำต่ำกว่าระดับทะเลปานกลางประมาณ 192 ซม. ข้อมูลความแปรปรวนของระดับน้ำที่นำมาใช้อ้างอิงจากสถานีวัดระดับน้ำเกาะสีชัง เพราะเป็นเกาะหินโผล่ จึงไม่ได้รับผลกระทบเรื่องการทรุดตัว อีกทั้งเป็นสถานีที่อยู่ใกล้กับพื้นที่ศึกษามากที่สุด ค่าที่ได้จึงถือเป็นตัวแทนของระดับน้ำบริเวณพื้นที่ศึกษาได้

### 3.1.2 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานวิจัย

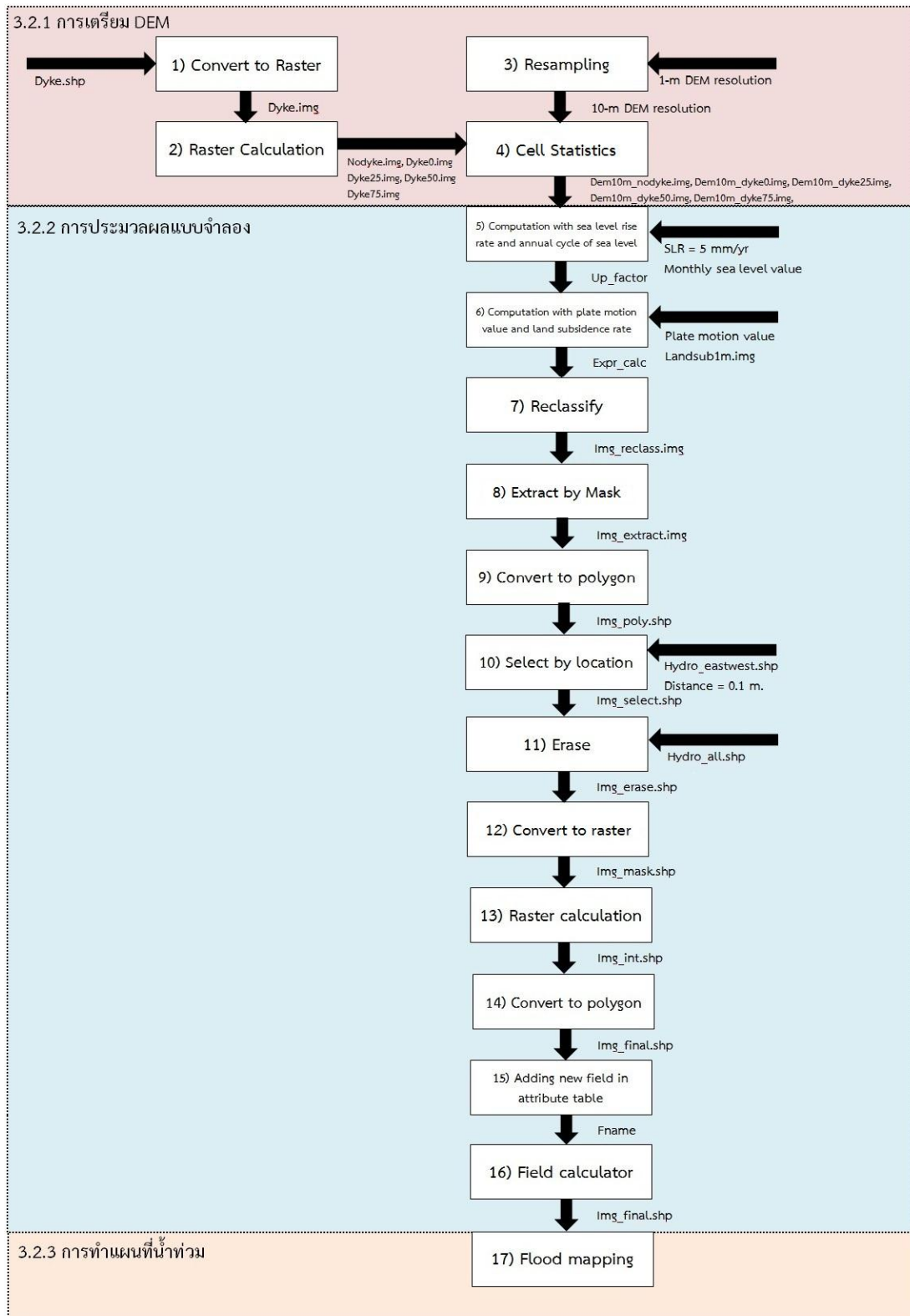
3.1.2.1 โปรแกรม Python 2.7.1

3.1.2.2 โปรแกรม ArcMap 10.2

### 3.2 การออกแบบแบบจำลอง

การออกแบบแบบจำลองสามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานเป็น 3 ส่วนได้แก่ การเตรียมข้อมูลความสูงภูมิประเทศก่อนการประมวลผล การประมวลผล และการทำแผนที่นำท่วม ดังแสดงในรูปที่ 3.3





รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการออกแบบแบบจำลอง

### 3.2.1 การเตรียมข้อมูล DEM

ในการสร้างและประมวลผลแบบจำลองในงานวิจัยใช้ DEM จากกรมทรัพยากรธรณีที่มีความละเอียดของข้อมูล 1 เมตร แต่ในการทดสอบประมวลผลแบบจำลองจะมีการลดความละเอียดของข้อมูลให้มีความละเอียด 10 เมตร เพื่อช่วยให้การทดสอบรวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการจัดเตรียมข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขที่จะใช้ในการประมวลผลโดยมีการผนวกข้อมูลระบบป้องกันน้ำท่วมภายในพื้นที่ที่มีอยู่ในปัจจุบันเช่น คันกั้นน้ำ ประตูน้ำ หรือ ถนนสุขุมวิทซึ่งทำหน้าที่เสมือนคันกั้นน้ำในกรุงเทพมหานครฝั่งตะวันออก เพื่อให้แบบจำลองสามารถแสดงสภาพการณ์ได้เสมือนจริงมากยิ่งขึ้น อีกทั้งสามารถทดลองเพิ่มความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วม เพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นและช่วยในการวางแผนได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสิ่งปลูกสร้างของคันกั้นน้ำถูกสร้างขึ้นบนชั้นดินที่มีการทรุดตัวเช่นเดียวกับแผ่นดิน ดังนั้นในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลจึงต้องมีการพิจารณาความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่เข้าไปในความสูงภูมิประเทศเชิงเลขก่อนการนำไปประมวลผลในขั้นตอนถัดไป ดังสมการที่ 1

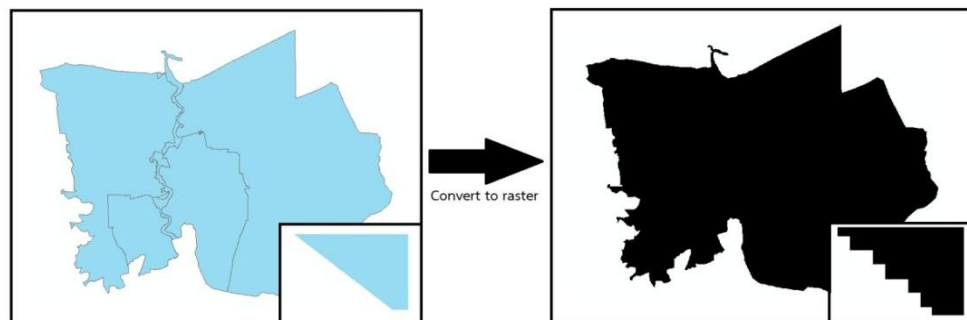
$$DEM_R = DEM_N + H_{dyke} \quad (1)$$

โดยที่

$DEM_R$	คือ	DEM ผลลัพธ์จากทำงาน
$DEM_N$	คือ	DEM ตั้งต้นในการทำงาน
$H_{dyke}$	คือ	ความสูงของคันกั้นน้ำหรือประตูน้ำ

ซึ่งการเตรียมข้อมูล DEM มีขั้นตอนการทำงานบนโปรแกรม Arcmap ดังนี้

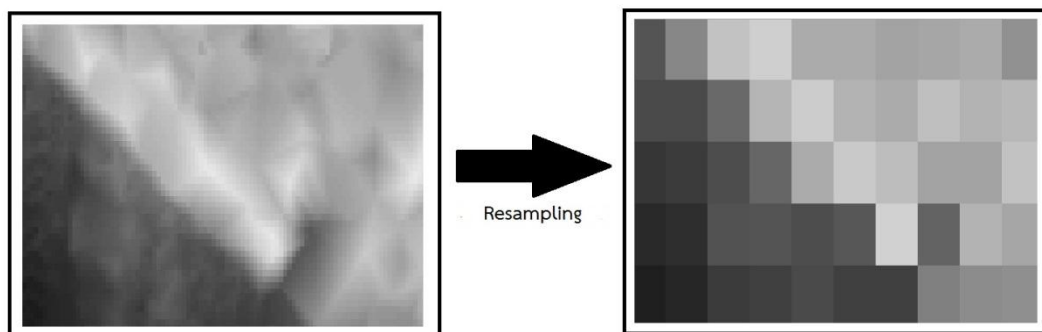
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 1) Convert to raster คือขั้นตอนในการแปลงชั้นข้อมูลคันกั้นน้ำที่มีลักษณะเป็น vector ให้เป็นข้อมูล Raster และกำหนดความละเอียดของข้อมูลให้เท่ากับข้อมูลความสูงภูมิประเทศ โดย Input ของขั้นตอนนี้เป็น Shapefile คันกั้นน้ำในพื้นที่ศึกษาที่เป็นข้อมูล Vector และ Output คือชั้นข้อมูลคันกั้นน้ำที่ผ่านการแปลงเป็นข้อมูล Raster และมีความละเอียดเท่ากับข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข เพื่อให้สามารถนำไปคำนวณร่วมกันได้ (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการแปลง Shapefile เป็น raster

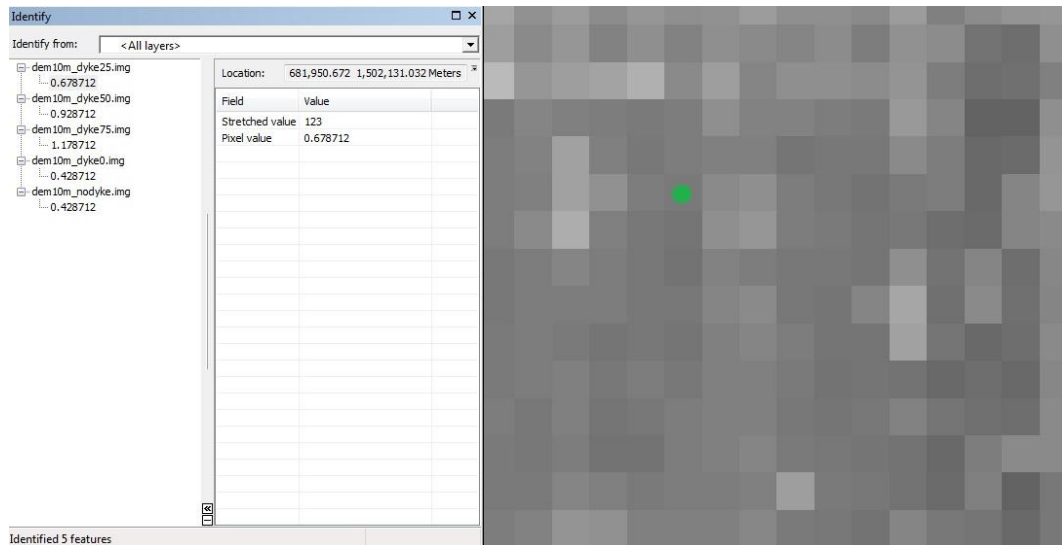
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 2) Raster calculation คือขั้นตอนในการเพิ่มความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วม โดยแบ่งเป็น 3 ระดับคือ การเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำจากปัจจุบันขึ้นมา 0.25 เมตร 0.50 เมตร และ 0.75 เมตรตามลำดับ โดย Input ในขั้นตอนนี้คือ ชั้นข้อมูลคันกั้นน้ำจากขั้นตอนที่ 1) และ Output คือชั้นข้อมูลคันกั้นน้ำที่มีความสูงตามที่กำหนดจำนวน 3 ชั้นข้อมูล

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 3) Resampling คือขั้นตอนการเปลี่ยนความละเอียดของข้อมูล Raster โดยลดความละเอียดของข้อมูลความสูงภูมิประเทศจากเดิมที่มีความละเอียด 1 เมตร เป็น 10 เมตร เพื่อใช้ทดสอบการประมวลผล (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการ resampling ข้อมูล raster

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 4) Cell statistics คือการรวมความสูงของคันกั้นน้ำในแต่ละระดับ ซึ่งเป็นผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 2) กับความสูงภูมิประเทศเชิงเลขจากขั้นตอนที่ 3) ในขั้นตอนนี้จะได้ผลลัพธ์ซึ่งเป็นข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขที่มีการรวมความสูงของคันกั้นน้ำแล้ว จำนวน 5 แบบคือ 1) ข้อมูลความสูงภูมิประเทศที่ไม่มีการพิจารณาความสูงของคันกั้นน้ำ 2) ข้อมูลความสูงภูมิประเทศที่มีการพิจารณาความสูงของคันกั้นน้ำที่มีอยู่ในปัจจุบัน 3) ข้อมูลความสูงภูมิประเทศที่เพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำ 0.25 เมตร 4) ข้อมูลความสูงภูมิประเทศที่เพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำ 0.50 เมตร และ 5) ข้อมูลความสูงภูมิประเทศที่เพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำ 0.75 เมตร (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างผลลัพธ์การรวมข้อมูลความสูงไปยังข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข

### 3.2.2 การพัฒนา Python script เพื่อใช้ในการประมวลผล

ในงานวิจัยนี้การสร้างและประมวลผลแบบจำลองจะดำเนินการด้วยโปรแกรม Python 2.7.1 โดยอาศัยชุดคำสั่งจาก Arcmap 10.2 ซึ่งการพัฒนา Python script ประกอบด้วย Script จำนวน 3 ไฟล์คือ

1. Script A คือชุดคำสั่งในการนำเข้า Input และส่งออก Output ที่ประมวลผลบน Python ไปเก็บไว้ยังฐานข้อมูลภายนอก โดยกำหนดตัวแปรที่ใช้เก็บข้อมูล Input และ Output และในขั้นตอนการประมวลผลทั้งหมดจะเรียกใช้ตัวแปรดังกล่าว เพื่อให้การทำงานสะดวกและง่ายยิ่งขึ้น

2. Script B คือชุดคำสั่งที่ใช้เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลอื่น ในงานวิจัยนี้มีการจัดเก็บข้อมูลวัฏจักรการเปลี่ยนแปลงของแผ่นเปลือกโลกซุนดา และข้อมูลวัฏจักรของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยในฐานข้อมูล Microsoft Access ดังนั้น Script B จึงทำหน้าที่เรียกค่าจากฐานข้อมูลภายนอกเพื่อนำมาใช้ในการประมวลผลในขั้นตอนต่างๆ บน Python

3. Script C คือชุดคำสั่งซึ่งเป็นขั้นตอนในการประมวลผลแบบจำลองเกือบทั้งสิ้น โดยชุดคำสั่งที่ใช้บน Script นี้เป็นชุดคำสั่งบนโปรแกรม ArcMap 10.2

ซึ่งขั้นตอนในการดำเนินงานมีดังนี้

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 5) Computation with sea level rise rate and annual cycle of sea level ในขั้นตอนดังกล่าวเป็นการนำข้อมูลความสูงภูมิประเทศซึ่งเป็นผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 4) ไปคำนวณร่วมกับระดับทะเลปานกลางในปีที่ต้องการ บน Script A โดยระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยจะได้รับการคำนวณอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำในแต่ละปี (5 มิลลิเมตรต่อปี) และจำนวนปีตั้งแต่ปีที่มีการจัดทำข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขจนถึงปีที่ต้องการสร้างแบบจำลองสภาพการณ์น้ำท่วม ดังสมการที่ 2



$$WL_R = SLRR * (R - N) \quad (2)$$

โดยที่

$WL_R$	คือ	ระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยในปีที่ต้องการ
$SLRR$	คือ	อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำทะเลต่อปี
$R$	คือ	ปีค.ศ.ของผลลัพธ์ของแบบจำลอง
$N$	คือ	ปีค.ศ.ของ DEM ตั้งต้น

เนื่องจากในแต่ละเดือนระดับน้ำทะเลมีการเพิ่มและลดจากระดับทะเลปานกลาง ดังนั้นเพื่อให้แบบจำลองสามารถแสดงระดับน้ำของแต่ละบริเวณในแต่ละเดือนได้ จึงต้องมีการพิจารณาปัจจัยด้านวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย โดยข้อมูลความแปรปรวนของระดับน้ำทะเลในแต่ละเดือนจะถูกจัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูล Microsoft Access ดังนั้นการดำเนินขั้นตอนนี้จึงมีการดำเนินงานบน Script B ในการดึงข้อมูลและประมวลผลบน Script A ร่วมกับข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข ดังสมการที่ 3

$$WL_M = WL_R + VSL_M \quad (3)$$

โดยที่

$WL_M$	คือ	ระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยในเดือนที่ต้องการ
$WL_R$	คือ	ระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยในปีที่ต้องการ
$VSL_M$	คือ	ความแปรปรวนของน้ำทะเลในแต่ละเดือน

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 6) Computation with land subsidence rate and plate motion value คือขั้นตอนในการคำนวณข้อมูลวัฏจักรการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกซุนดา ซึ่งเป็นค่าคงที่มีการจัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูล Microsoft Access กับข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข โดยในขั้นตอนนี้จะมีการเรียกใช้ข้อมูลในปีที่ต้องการจำลองสภาพการณ์บน Script B และใช้ค่าที่ได้ในการประมวลผลบน Script A ดังสมการที่ 4

$$DEM_R = DEM_N + PM \quad (4)$$

โดยที่

$DEM_R$	คือ	DEM ผลลัพธ์จากทำงาน
$DEM_N$	คือ	DEM ตั้งต้นในการทำงาน
$PM$	คือ	ผลรวมการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกในปีที่ต้องการ

ในขั้นตอนนี้ข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดินซึ่งมีลักษณะเป็นข้อมูล Raster จะถูกเรียกใช้ในการคำนวณร่วมกับข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขบน Script A และการจำลอง

สภาพการณ์ของภูมิประเทศในปีที่ต้องการ จะคำนวณจากอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินทั่วบริเวณพื้นที่ศึกษา และจำนวนปีตั้งแต่จัดทำข้อมูลภูมิประเทศเชิงเลขจนถึงปีที่ต้องการจำลองสภาพการณ์ ดังสมการที่ 5

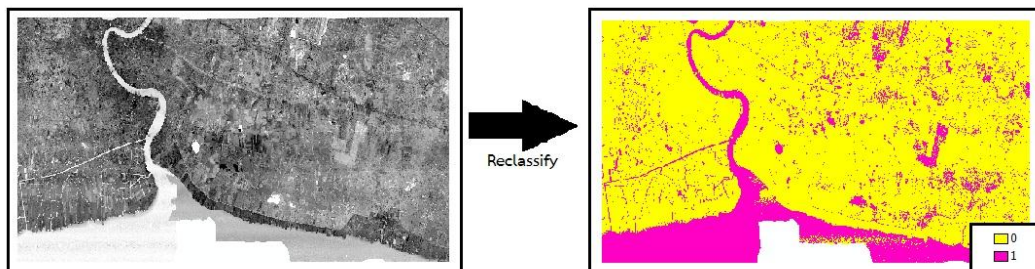
$$DEM_R = DEM_N - (LSR * (R - N)) \quad (5)$$

โดยที่

$DEM_R$	คือ	DEM ผลลัพธ์จากทำงาน
$DEM_N$	คือ	DEM ตั้งต้นในการทำงาน
$LSR$	คือ	อัตราการทรุดตัวของแผ่นดิน
$R$	คือ	ปีค.ศ.ของผลลัพธ์ของแบบจำลอง
$N$	คือ	ปีค.ศ.ของ DEM ตั้งต้น

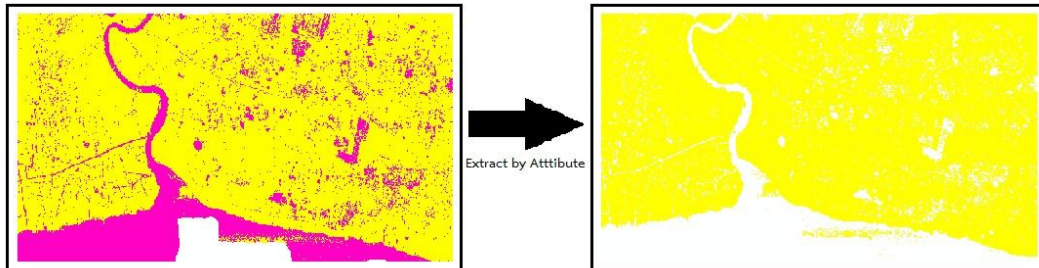
ซึ่งผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 5) และ 6) จะได้ความสูงภูมิประเทศเชิงเลขในปีที่ต้องการจำลองสภาพการณ์น้ำท่วม โดยแต่ละ cell จะมีค่าความสูงภูมิประเทศที่ค่าบวกหรือค่าลบ ซึ่งค่าลบหมายถึงความสูงภูมิประเทศต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง และค่าบวกหมายถึงความสูงภูมิประเทศสูงกว่าระดับทะเลปานกลาง ดังนั้นพื้นที่ที่มีค่าติดลบจึงเป็นบริเวณที่น้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลและปัจจัยสนับสนุนต่างๆ ในขั้นตอนต่อจากนี้ไปเป็นการดำเนินการกับข้อมูลความสูงภูมิประเทศซึ่งเป็นผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 6) บน Script C เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ท้ายสุดเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล และความสูงของระดับน้ำในแต่ละพื้นที่โดยผลลัพธ์ของแต่ละขั้นตอนจะถูกส่งไปจัดเก็บในฐานข้อมูลภายนอกผ่าน Script A

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 7) Reclassify เป็นขั้นตอนในการจำแนกข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขเป็น 2 กลุ่ม คือ cell ที่มีค่าเป็นค่าบวกหมายถึงบริเวณที่มีความสูงเหนือระดับทะเลปานกลางจะกำหนดให้เป็นค่า 1 และ cell ที่มีค่าติดลบหมายถึงมีความสูงต่ำกว่าระดับทะเลปานกลางจะกำหนดให้เป็นค่า 0 เพื่อแยกบริเวณที่น้ำท่วมออกมาเพื่อการดำเนินการในขั้นตอนถัดไป (รูปที่ 3.7)



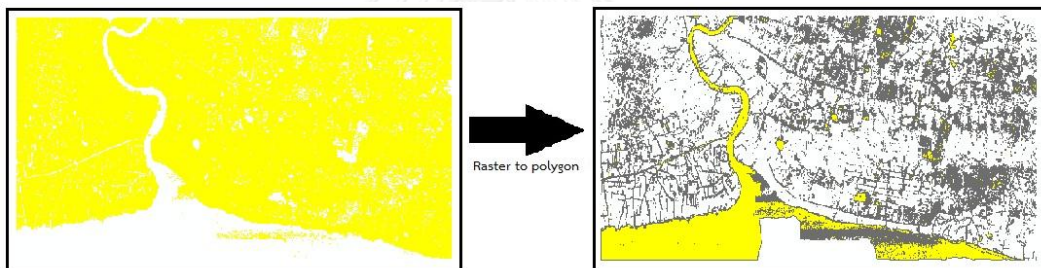
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการ classify ข้อมูล

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 8) Extract by Attribute เป็นขั้นตอนการสร้างชั้นข้อมูลใหม่ โดยเลือกเฉพาะบริเวณที่ต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง หรือมีค่าของ cell เท่ากับ 0 จาก ขั้นตอนก่อนหน้า ผลลัพธ์จากขั้นตอนดังกล่าวจึงเป็นขอบเขตพื้นที่ที่น้ำท่วม (รูปที่ 3.8)



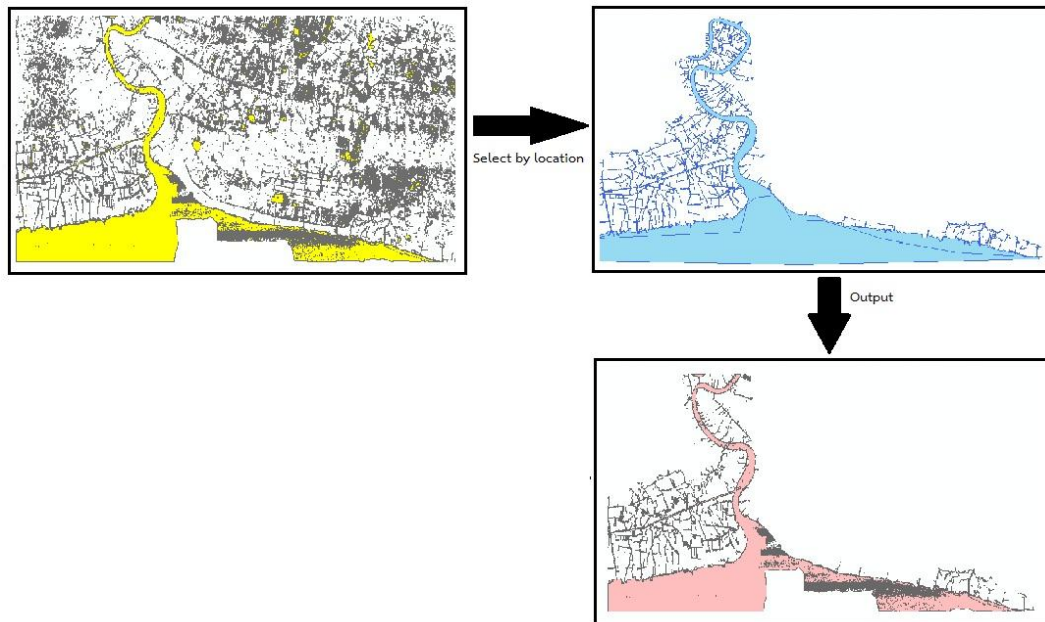
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการสร้างชั้นข้อมูลใหม่จากการเลือกข้อมูลใน Attribute table

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 9) Raster to polygon ต่อมาจึงทำการแปลงข้อมูล Raster ขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมให้เป็นข้อมูล Vector เพื่อให้สามารถดำเนินการร่วมกับข้อมูลอื่นใน ขั้นตอนต่อไป (รูปที่ 3.9)



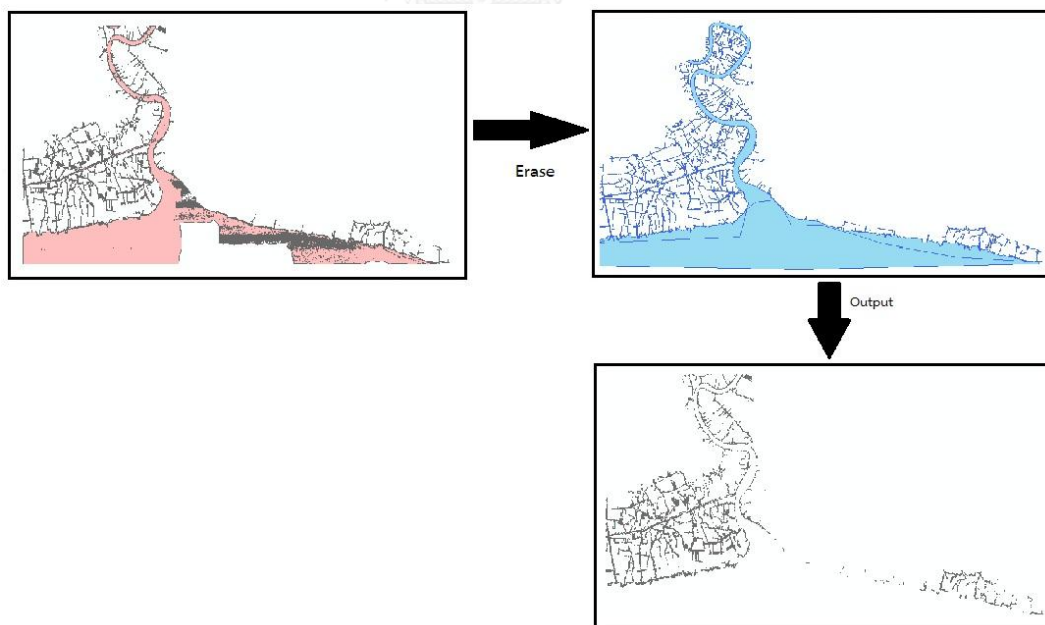
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการแปลง Shapefile เป็น raster

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 10) Select by location คือการเลือกบริเวณน้ำท่วมที่มีพื้นที่ ติดกับทะเลหรือทางน้ำในระยะ 0.1 เมตร เพื่อหาพื้นที่ที่น้ำทะเลสามารถไหลเอ่อล้นเข้าไปได้ โดยเริ่มต้นจากบริเวณชายฝั่งหรือบริเวณที่ติดกับทางน้ำ แล้วค่อย ๆ กระจายเข้าไปใน แผ่นดินตามลักษณะสูงต่ำของภูมิประเทศ ดังนั้นพื้นที่น้ำท่วมที่ได้จากขั้นตอนดังกล่าวจึงเป็น บริเวณที่มีค่าความสูงภูมิประเทศต่ำกว่าระดับน้ำทะเลและติดกับทะเลหรือทางน้ำ สำหรับ บางบริเวณที่แม้จะมีความสูงภูมิประเทศต่ำกว่าระดับน้ำทะเล แต่ไม่ติดกับทะเลหรือทางน้ำ หรือพื้นที่ที่ถูกน้ำทะเลท่วมก็จะได้ไม่ได้รับผลกระทบจากน้ำทะเลเนื่องจากมีพื้นที่ที่สูงกว่า ล้อมรอบอยู่ ซึ่งผลลัพธ์จากขั้นตอนดังกล่าวคือ Shapefile แม่น้ำและขอบเขตพื้นที่น้ำท่วม (รูปที่ 3.10)



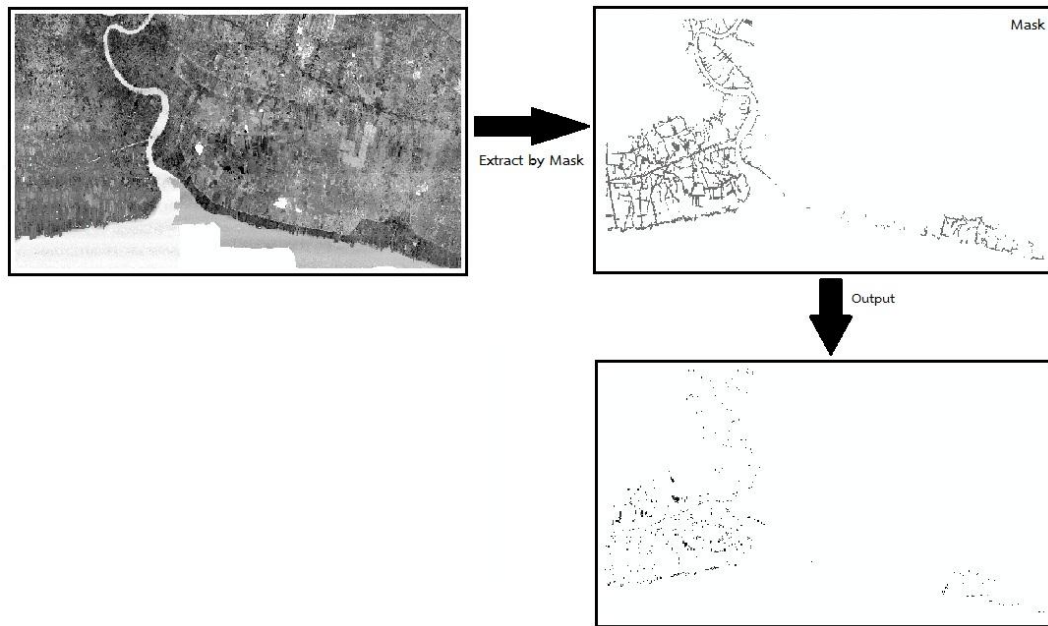
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างการเลือกข้อมูลจาก Location ของข้อมูล

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 11) Erase เมื่อได้ขอบเขตพื้นที่น้ำท่วมและอยู่นอกคันกั้นน้ำ จึงทำการเลือกลบบริเวณที่เป็นทางน้ำออกเพื่อให้เหลือเฉพาะบริเวณที่เป็นพื้นดิน (รูปที่ 3.11)



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการลบข้อมูลบางส่วนออกจากชั้นข้อมูล

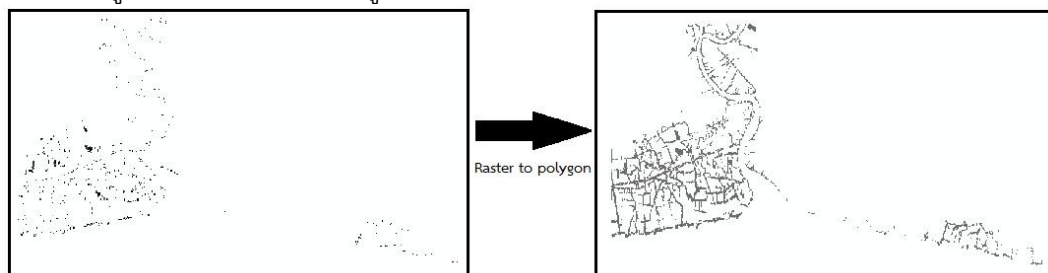
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 12) Extract by Mask เป็นขั้นตอนในการนำข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขอันเป็นผลลัพธ์จากขั้นตอนที่ 6) ซึ่งแต่ละ cell มีค่าความสูงของระดับน้ำ มาเลือกเฉพาะ cell ที่เป็นพื้นที่น้ำท่วม โดยเลือกจากขอบเขตพื้นที่ผลลัพธ์ในขั้นตอนที่ 11) เพื่อให้ได้ความสูงภูมิประเทศเชิงเลขซึ่งมีความสูงของระดับน้ำ (รูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการสร้างชั้นข้อมูล Raster ใหม่โดยกำหนดขอบเขตของชั้นข้อมูลใหม่จากชั้นข้อมูล vector

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 13) Raster calculation คือการคำนวณค่าในแต่ละ cell ของความสูงข้อมูลภูมิประเทศเชิงเลขให้เป็นจำนวนเต็มเพื่อให้สามารถดำเนินการในขั้นตอนถัดไปได้

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 14) Raster to polygon เมื่อได้ข้อมูลค่าความสูงที่เป็นจำนวนเต็มแล้ว จึงทำการแปลงข้อมูลจาก Raster เป็นข้อมูล Vector เพื่อให้สามารถจำแนกชั้นข้อมูลเพื่อการแสดงผลได้ (รูปที่ 3.13)



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการแปลง Raster เป็น Vector

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 15) Adding new field เป็นการแก้ไข Attribute table ของชั้นข้อมูลพื้นที่น้ำท่วม โดยเพิ่ม Field ใหม่เพื่อใช้ในการคำนวณความสูงของระดับน้ำ อันเป็นผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลอง

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 16) Field calculator คือขั้นตอนสุดท้ายในการประมวลผล โดยเป็นการคำนวณความสูงของระดับน้ำจากการแปลงหน่วยของข้อมูลจากเมตรเป็น มิลลิเมตร เพื่อให้สอดคล้องกับการจำแนกชั้นข้อมูลเพื่อการแสดงผล คือ การแบ่งความสูงของระดับน้ำออกเป็น 5 ระดับคือ 1) ความสูงของระดับน้ำที่มีค่าน้อยกว่า 0.25 เมตร 2) ความสูงของระดับน้ำที่มีค่าระหว่าง 0.25-0.49 เมตร 3) ความสูงของระดับน้ำที่มีค่าระหว่าง 0.50-0.74 เมตร 4) ความสูงของระดับน้ำที่มีค่าระหว่าง 0.75-1.00 เมตร 2) ความสูงของระดับน้ำที่มีค่ามากกว่า 1.00 เมตร

### 3.2.3 การทำแผนที่น้ำท่วม

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนที่ 17) Flood mapping ในขั้นตอนนี้จะดำเนินการบน ArcMap 10.2 โดยจัดทำแผนที่จำลองภาพเหตุการณ์น้ำท่วมในเดือนและปีที่ต้องการจากผลลัพธ์ในการประมวลผลแบบจำลอง และแสดงให้เห็นความสูงของระดับน้ำท่วม 5 ระดับดังที่กล่าวไว้ในขั้นตอนที่ 16) ซึ่งแสดงด้วยสัญลักษณ์สีที่แตกต่างกัน พร้อมทั้งใส่องค์ประกอบของแผนที่ต่างๆ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนต่อไปในอนาคตได้ (รูปที่ 3.14)



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการแบ่งชั้นข้อมูลเพื่อการแสดงในขั้นตอนการจัดทำแผนที่

### 3.3 การทดสอบแบบจำลอง

การทดสอบแบบจำลองเป็นการประมวลผลแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขที่มีความละเอียด 10 เมตร จากนั้นทำการประมวลผลจาก Python Script ทั้ง 3 บน Python

shell ในขั้นตอนการประมวลผลแต่ละขั้นตอนจะมีการส่งผลลัพธ์ของแต่ละขั้นตอนไปยังฐานข้อมูลภายนอก ดังนั้นเมื่อสิ้นสุดการประมวลผลโดยไม่มีข้อผิดพลาดปรากฏบน Python shell และมีผลลัพธ์จากการประมวลผลครบทุกขั้นตอนปรากฏบนฐานข้อมูลภายนอก หมายถึงเสร็จสิ้นการประมวลผล ดังนั้นจึงทำการประมวลผลจริง โดยใช้ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขที่มีความละเอียด 1 เมตร ซึ่งในการประมวลผลในแต่ละครั้งจะได้ภาพจำลองเหตุการณ์น้ำท่วมในช่วงเวลาที่ต้องการเพียง 1 เหตุการณ์ และเมื่อต้องการจำลองภาพเหตุการณ์ในช่วงเวลาอื่น ต้องทำการประมวลผลใหม่อีกครั้ง โดยเปลี่ยน Input ของข้อมูลบน Python Script ตามที่ต้องการ

ในการทดสอบแบบจำลองผลลัพธ์ท้ายสุดที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองจึงเป็น cell ของพื้นที่ที่น้ำท่วมและความสูงของระดับน้ำในแต่ละ cell จัดเก็บอยู่ในฐานข้อมูลอื่น จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ไปจัดทำแผนที่น้ำท่วมบนโปรแกรม ArcMap 10.2

### 3.4 การแก้ไขและปรับปรุงแบบจำลอง

ในขั้นตอนการทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขความละเอียด 10 เมตร บางครั้งการประมวลผลจะสิ้นสุดลงและปรากฏข้อผิดพลาดบน Python Shell โดยระบุว่าข้อผิดพลาดในการประมวลผลเกิดจากขั้นตอนใดในการทำงาน จากนั้นจึงกลับไปทำการแก้ไข Python script หรือข้อมูล Input ที่เกี่ยวข้อง และทำการทดสอบอีกครั้ง หากเกิดข้อผิดพลาดในขั้นตอนการประมวลผลอื่น จึงทำการแก้ไขด้วยวิธีการดังกล่าวจนสามารถประมวลผลได้ เมื่อทำการแก้ไขเรียบร้อยแล้วจึงทำการประมวลผลโดยใช้ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขความละเอียด 1 เมตรเพื่อนำเสนอในงานวิจัย

## บทที่ 4

### แผนที่ผลลัพธ์จากการประมวลผลแบบจำลอง

ในการประมวลผลแบบจำลองที่เกิดจากการพัฒนา Python Script และการประยุกต์ใช้เครื่องมือบน ArcMap ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองสามารถนำไปแสดงผลผ่านระบบภูมิสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ หรือจัดทำเป็นแผนที่น้ำท่วมเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์ การจัดทำแผนที่น้ำท่วมในบทนี้แบ่งเป็น 7 กรณี โดยแต่ละกรณีจะพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ หรือ ช่วงเวลาในการจำลองสภาพการณ์ที่ต่างกัน โดยแผนที่น้ำท่วมที่จัดทำขึ้นแบ่งระดับน้ำท่วมออกเป็น 5 ระดับคือ 1) ความสูงของระดับน้ำน้อยกว่า 0.25 เมตร 2) ความสูงของระดับน้ำในช่วง 0.25 – 0.49 เมตร 3) ความสูงของระดับน้ำในช่วง 0.50 – 0.74 เมตร 4) ความสูงของระดับน้ำในช่วง 0.75 – 1.00 เมตร และ 5) ความสูงของระดับน้ำตั้งแต่ 1.00 เมตรขึ้นไป

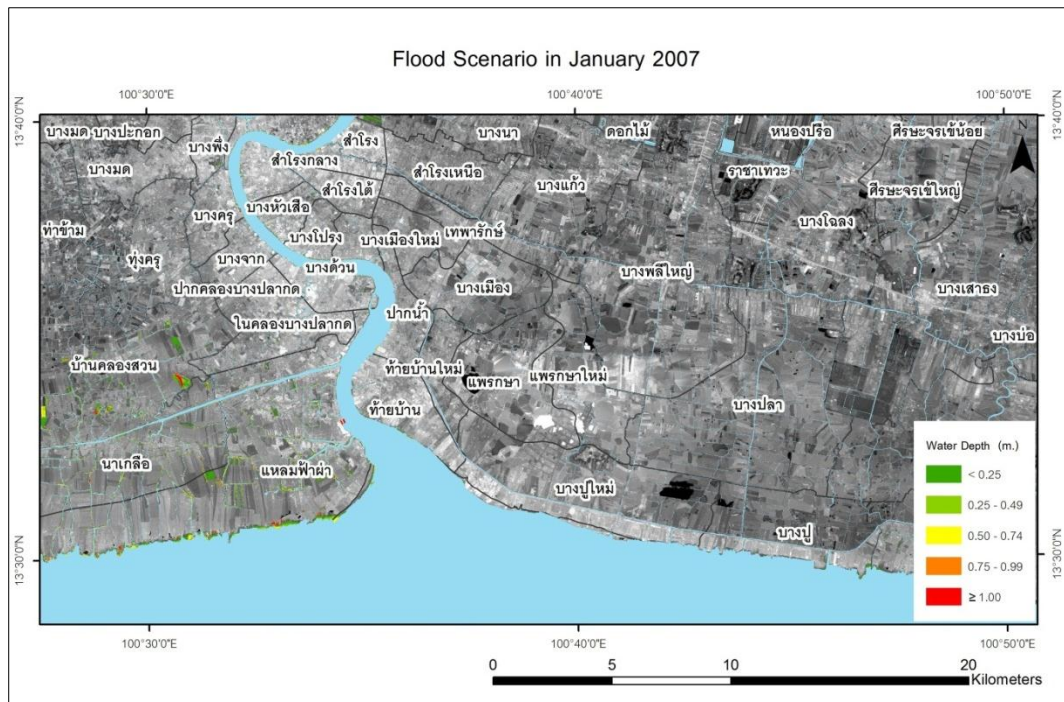
#### 4.1 แผนที่น้ำท่วมแสดงช่วงเวลา (ปี) ที่เริ่มเกิดน้ำท่วมบริเวณชายฝั่ง

เนื่องจากข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขถูกจัดทำขึ้นในปี 2006 ดังนั้นในการสร้างแบบจำลองสภาพการณ์น้ำท่วมจึงสามารถประมวลผลได้ตั้งแต่ปี 2007 เป็นต้นไป ในหัวข้อนี้จึงมีการจัดทำแผนที่น้ำท่วมตั้งแต่ปี 2007 จนถึงปี 2012 และปัจจัยที่นำมาใช้ในการประมวลผลแบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 4.1



ตารางที่ 4.1 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองในหัวข้อ 4.1

รูปที่	ชื่อแผนที่	ปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่ใช้ในการประมวลผล				ระบบป้องกันน้ำท่วม
		การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล	การทรุดตัวของแผ่นดิน	การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก	วิฤกษ์ของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย	
4.1	แผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2007	✓	✓	✓	✓	✗
4.2 (a)	แผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2008	✓	✓	✓	✓	✗
4.2 (b)	แผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2009	✓	✓	✓	✓	✗
4.2 (c)	แผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2010	✓	✓	✓	✓	✗
4.2 (d)	แผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2011	✓	✓	✓	✓	✗
4.2 (e)	แผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2012	✓	✓	✓	✓	✗
4.2 (f)	แผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2016	✓	✓	✓	✓	✗

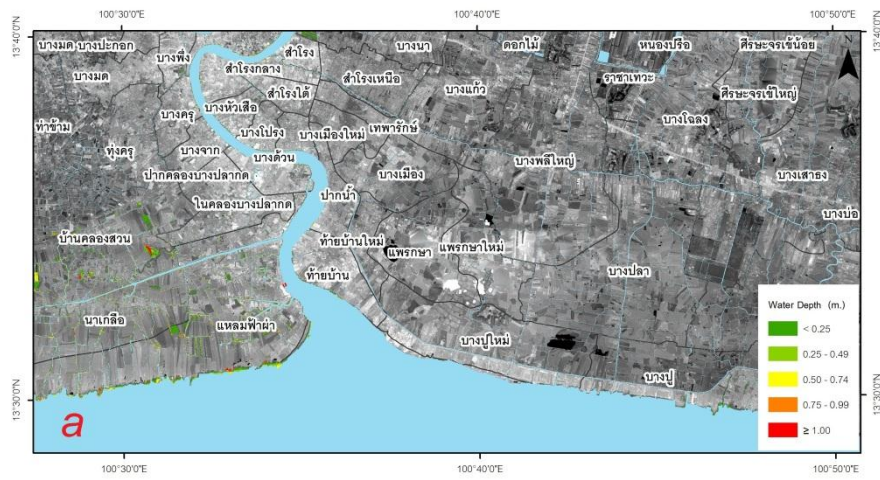


รูปที่ 4.1 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2007

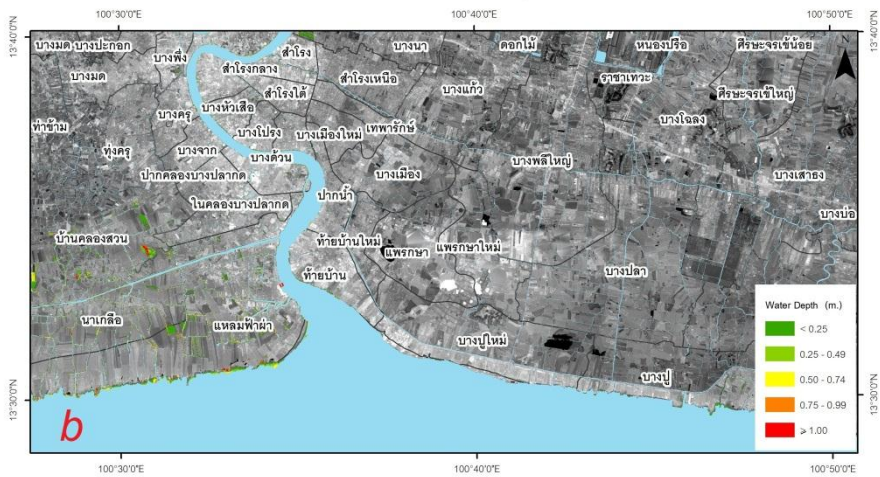
โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

จากการพิจารณารูปที่ 4.1 พบว่าปี 2007 เป็นปีที่เริ่มเกิดน้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับทะเลโดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งตะวันตกของกรุงเทพมหานคร ได้แก่ ตำบลบ้านคลองสวน ตำบลนาเกลือ และตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ โดยพื้นที่น้ำท่วมคิดเป็นร้อยละ 0.61 ของพื้นที่ทั้งหมด หรือประมาณ 5.50 ตารางกิโลเมตร โดยมีความสูงของระดับน้ำน้อยกว่า 0.25 เมตรหรือร้อยละ 0.28 ความสูงของระดับน้ำในช่วง 0.25 - 0.49 คิดเป็นร้อยละ 0.15 ของพื้นที่ทั้งหมด ความสูงของระดับน้ำในช่วง 0.50 - 0.74 ร้อยละ 0.09 ความสูงของระดับน้ำในช่วง 0.75 - 1.00 คิดเป็นร้อยละ 0.06 และความสูงของระดับน้ำตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไปคิดเป็นร้อยละ 0.04 ของพื้นที่ทั้งหมด

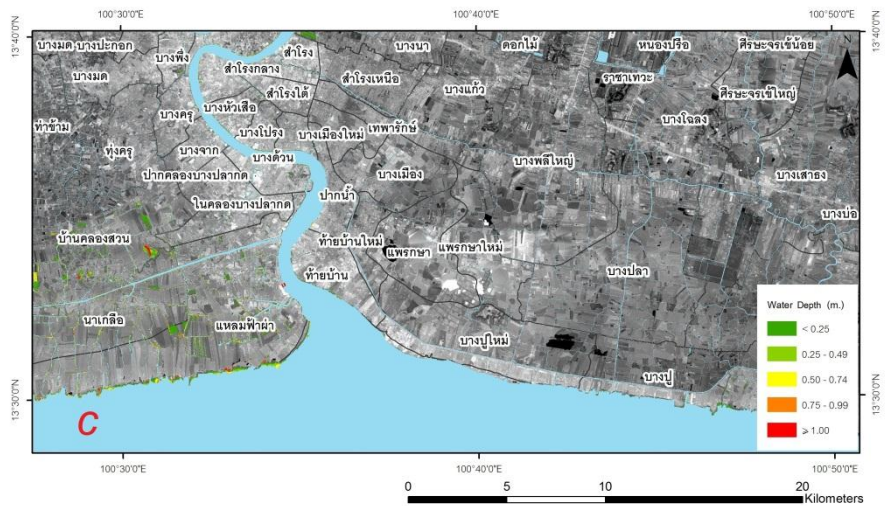
Flood Scenario in January 2008

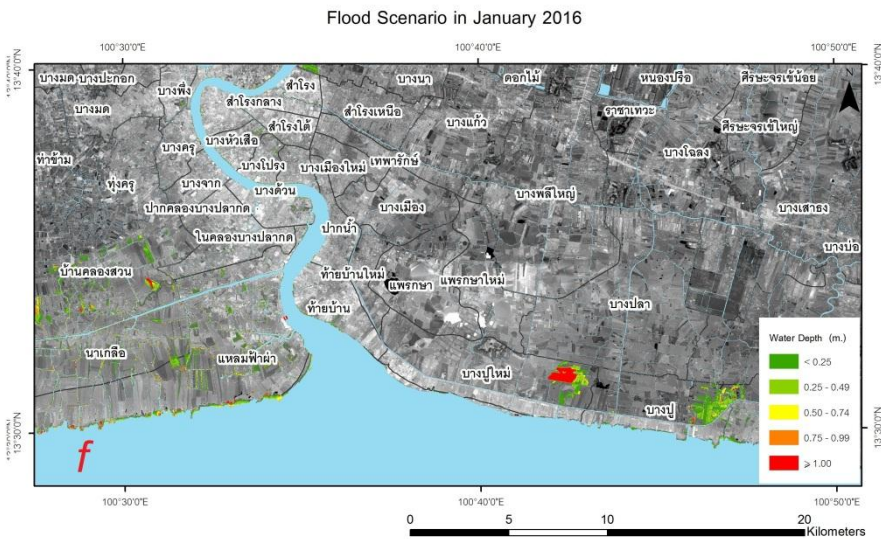
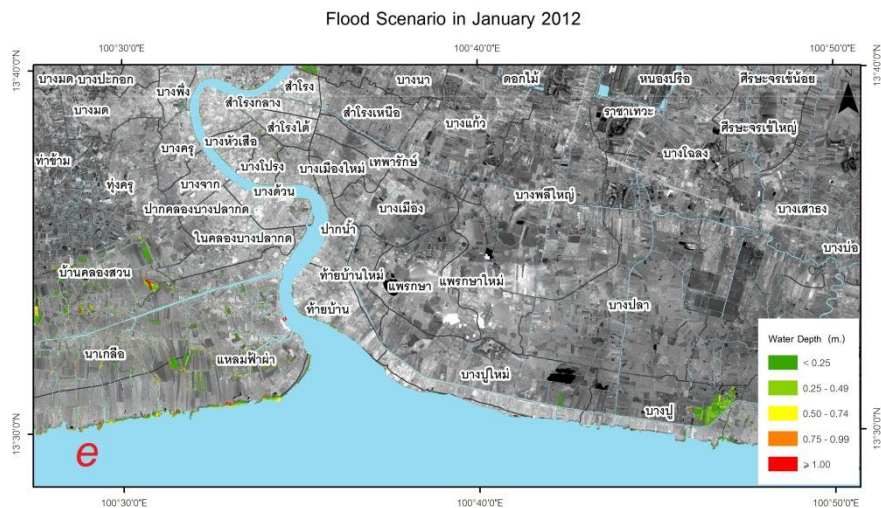
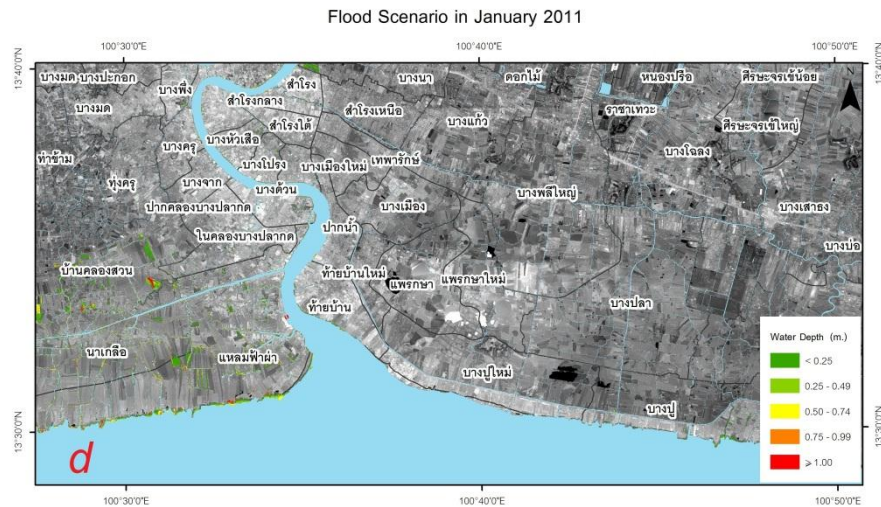


Flood Scenario in January 2009



Flood Scenario in January 2010





รูปที่ 4.2 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2008 (a) ปี 2009 (b) ปี 2010 (c) ปี 2011 (d) ปี 2012 (e) และปี 2016 (f) โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.2 พบว่าในปี 2008 พื้นที่ที่น้ำท่วมเพิ่มมากขึ้นจาก 5.50 ตารางกิโลเมตรในปี 2007 เป็น 5.79 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.65 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยบริเวณที่มีน้ำท่วมเพิ่มจากปี 2007 ยังคงเป็นบริเวณชายฝั่งทางตะวันตกของกรุงเทพมหานคร ได้แก่ ตำบลบ้านคลองสวน ตำบลนาเกลือ และตำบลแหลมฟ้าผ่า ในอำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีการขยายตัวของพื้นที่น้ำท่วม แต่ระดับความสูงน้ำส่วนใหญ่ยังคงอยู่ในระดับต่ำกว่า 0.25 เมตร

ในปี 2009 พื้นที่น้ำท่วมเพิ่มมากขึ้นจากปีก่อนหน้า โดยมีพื้นที่น้ำท่วมประมาณ 6.13 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 0.68 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งเมื่อสังเกตแผนที่น้ำท่วมในปีถัดไป คือปี 2010 และปี 2011 ก็พบว่าพื้นที่น้ำท่วมขยายวงกว้างมากยิ่งขึ้น คิดเป็นร้อยละ 0.73 และ 0.77 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ

ในปี 2012 พื้นที่น้ำท่วมเพิ่มมากขึ้นจากเดิมถึงร้อยละ 1.55 และบริเวณที่เห็นได้ชัดว่าเริ่มมีน้ำท่วมคือบริเวณชายฝั่งทางตะวันตกของกรุงเทพมหานครที่ ได้แก่ ตำบลบางปู และตำบลบางปูใหม่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ โดยมีพื้นที่น้ำท่วมโดยรวมประมาณ 8.49 ตารางกิโลเมตร

เมื่อพิจารณาสภาพการณ์น้ำท่วมในช่วงเดือนมกราคม ปี 2016 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่น้ำท่วมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากปี 2012 จนถึงปี 2016 ซึ่งมีพื้นที่น้ำท่วมประมาณ 12.82 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 1.43 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งความสูงของระดับน้ำส่วนใหญ่ต่ำกว่า 0.25 เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 0.62 ของพื้นที่ทั้งหมด ในขณะที่ระดับน้ำในช่วง 0.25 - 0.49 เมตร คิดเป็นร้อยละ 0.39 ระดับน้ำในช่วง 0.50 - 0.74 เมตรคิดเป็นร้อยละ 0.16 ระดับน้ำในช่วง 0.75 -0.99 เมตรคิดเป็นร้อยละ 0.09 และความสูงของระดับน้ำมากกว่า 1 เมตรคิดเป็นร้อยละ 0.16 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งจากรูปที่ 4.2 สามารถสรุปพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในเดือนมกราคมปี 2007 – ปี 2012 และเดือนมกราคม ปี 2016 โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ทั้งหมด

	ขนาดพื้นที่ (ร้อยละ)					
	น้อยกว่า 0.25 เมตร	0.25 – 0.49 เมตร	0.50 – 0.74 เมตร	0.75 – 0.99 เมตร	ตั้งแต่ 1 เมตร ขึ้นไป	รวม
แผนที่น้ำท่วม เดือนมกราคม ปี 2007	2.47 (0.28)	1.36 (0.15)	0.84 (0.09)	0.51 (0.06)	0.32 (0.04)	5.50 (0.61)
แผนที่น้ำท่วม เดือนมกราคม ปี 2008	2.61 (0.29)	1.43 (0.16)	0.87 (0.10)	0.54 (0.06)	0.35 (0.04)	5.79 (0.65)
แผนที่น้ำท่วม เดือนมกราคม ปี 2009	2.77 (0.31)	1.50 (0.17)	0.91 (0.10)	0.57 (0.06)	0.38 (0.04)	6.13 (0.68)
แผนที่น้ำท่วม เดือนมกราคม ปี 2010	3.02 (0.34)	1.59 (0.18)	0.94 (0.10)	0.59 (0.07)	0.42 (0.05)	6.56 (0.73)
แผนที่น้ำท่วม เดือนมกราคม ปี 2011	3.20 (0.36)	1.69 (0.19)	0.98 (0.11)	0.62 (0.07)	0.45 (0.05)	6.94 (0.77)
แผนที่น้ำท่วม เดือนมกราคม ปี 2012	4.01 (0.45)	2.28 (0.25)	1.04 (0.12)	0.65 (0.07)	0.50 (0.06)	8.49 (0.95)
แผนที่น้ำท่วม เดือนมกราคม ปี 2016	5.61 (0.62)	3.48 (0.39)	1.48 (0.16)	0.83 (0.09)	1.43 (0.16)	12.82 (1.43)

จากตารางเปรียบเทียบพื้นที่น้ำท่วมและความสูงของระดับน้ำในช่วงต่ำกว่า 0.50 เมตรของ แต่ละปีจะเห็นได้ว่าความสูงของระดับน้ำทุกระดับเพิ่มมากขึ้นทุกปี ในขณะที่ความสูงของระดับน้ำที่มากกว่า 0.50 เมตรจะอยู่ในระดับคงที่หรือเพิ่มมากขึ้นเพียงเล็กน้อยในแต่ละปี แสดงให้เห็นว่าร้อยละของพื้นที่น้ำท่วมที่มากขึ้นเกิดจากการขยายตัวของพื้นที่ที่น้ำท่วม ในขณะที่ความสูงของระดับน้ำแต่ละระดับอาจอยู่ในระดับคงที่หรือเพิ่มมากขึ้นเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามในปี 2016 พื้นที่น้ำท่วมที่มีระดับน้ำตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไปเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับปีก่อนหน้า โดยระยะเวลา 4 ปีตั้งแต่

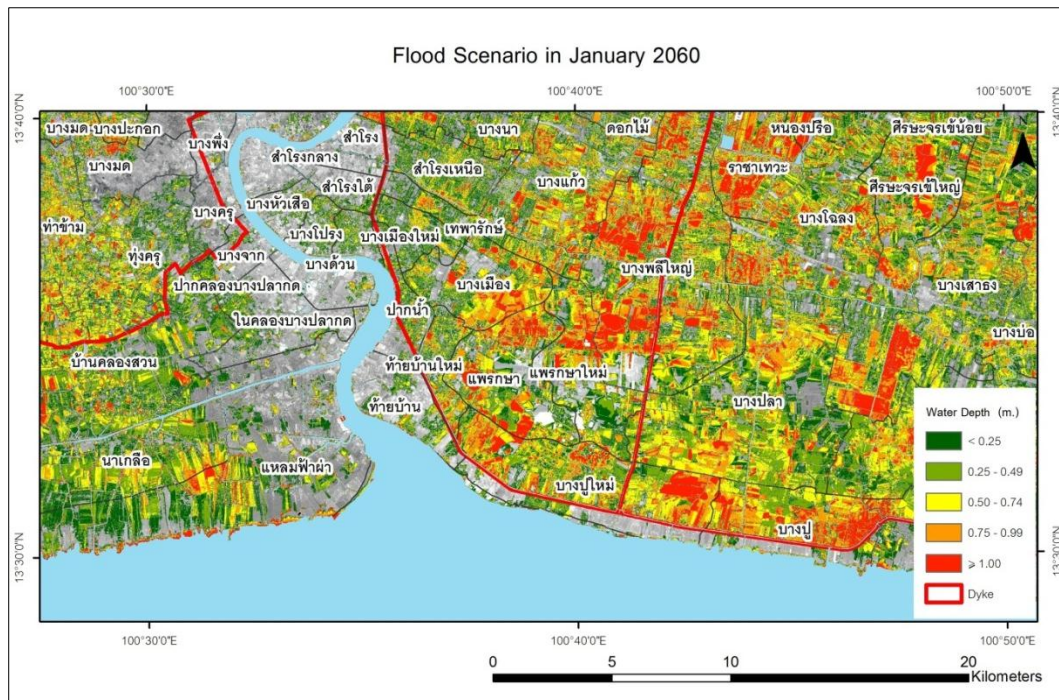
ปี 2012 จนถึงปี 2016 ระดับน้ำท่วมที่มีความสูงน้อยกว่า 0.25 เมตรเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.17 ระดับน้ำในช่วง 0.25 – 0.49 เมตร เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.14 ระดับน้ำในช่วง 0.50 – 0.74 เมตร เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.04 ระดับน้ำในช่วง 0.75 – 0.99 เมตร เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.02 และระดับน้ำตั้งแต่ 1.00 เมตรขึ้นไป เพิ่มขึ้นมากถึงร้อยละ 0.1 หรือ 0.93 ตารางกิโลเมตร

#### 4.2 แผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2060 โดยเพิ่มการพิจารณาระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่

เนื่องจากแบบจำลองสามารถนำไปใช้ในการสร้างภาพเหตุการณ์น้ำท่วมบริเวณชายฝั่งปีใดก็ได้ นับตั้งแต่ปี 2007 เป็นต้นไป ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการวางแผนบริหารจัดการพื้นที่น้ำท่วมที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้ โดยในงานวิจัยเลือกประมวลผลแบบจำลองเพื่อสร้างภาพเหตุการณ์น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2060 พร้อมทั้งพิจารณาระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ เพื่อให้แบบจำลองสามารถแสดงพื้นที่น้ำท่วมและความสูงของระดับน้ำที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการประมวลผลสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองในหัวข้อ 4.2

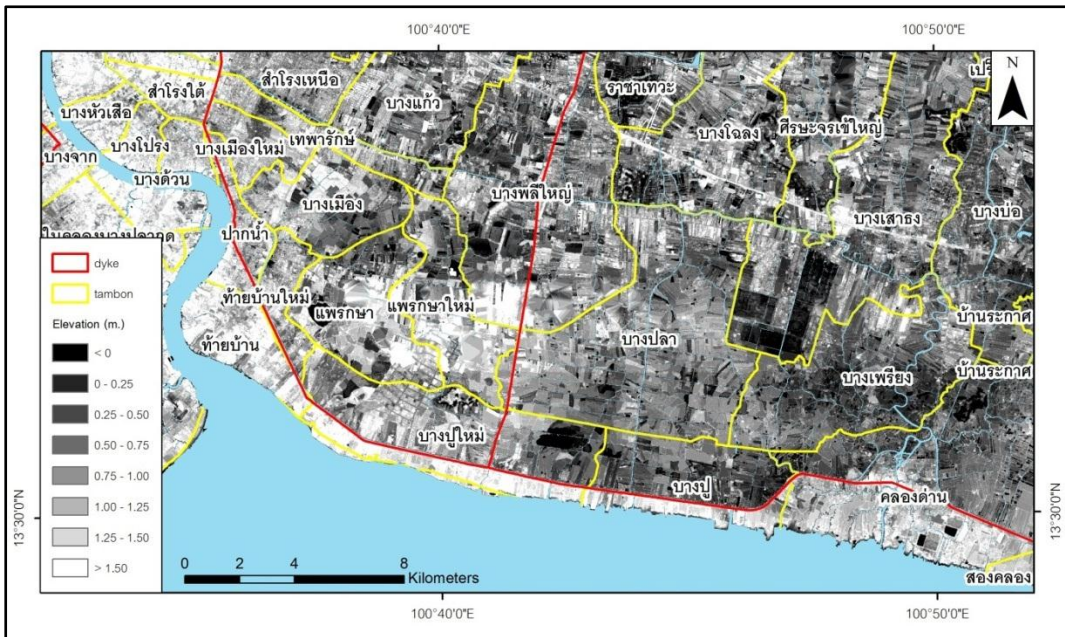
รูปที่	คำอธิบาย	ปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่ใช้ในการประมวลผล				ระบบป้องกันน้ำท่วม
		การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล	การทรุดตัวของแผ่นดิน	การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก	วัฏจักรของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย	
4.3	Scenario 1	✓	✓	✓	✓	✗
4.6	Scenario 2	✓	✓	✓	✓	✓



รูปที่ 4.3 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2060  
โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

จาก Scenario 1 พบว่าบริเวณส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษาหรือร้อยละ 15.05 ของพื้นที่ จะประสบภัยน้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล โดยร้อยละ 3.49 ของพื้นที่ประสบภัยมีความสูงของระดับน้ำน้อยกว่า 0.25 เมตร ร้อยละ 4.20 ของพื้นที่ประสบภัยมีความสูงของระดับน้ำอยู่ในช่วง 0.25 - 0.49 เมตร ร้อยละ 3.48 ของพื้นที่ประสบภัยมีความสูงของระดับน้ำอยู่ในช่วง 0.50 - 0.74 เมตร ร้อยละ 2.09 ของพื้นที่ประสบภัยมีความสูงของระดับน้ำ 0.75 - 0.99 เมตร และร้อยละ 1.79 ของพื้นที่ประสบภัยมีความสูงของระดับน้ำตั้งแต่ 1.00 เมตรขึ้นไปตามลำดับ โดยจากแผนที่พบว่า บริเวณชายฝั่งทางตะวันออกของกรุงเทพมหานครบริเวณที่เป็นพื้นที่ติดทะเลไม่พบน้ำท่วม จากข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าบริเวณชายฝั่งมีความสูงภูมิประเทศมากกว่าพื้นที่ชายฝั่งถัดเขาไปด้านในดังแสดงในรูปที่ 4.4 เนื่องจากบริเวณพื้นที่ดังกล่าวมีการใช้ที่ดินประเภทอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงเป็นที่ตั้งของโรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก (รูปที่ 4.5) ซึ่งโดยปกติการก่อสร้างอาคารหรือโรงงานจำเป็นต้องมีการถมที่ดินสูงกว่าระดับถนน ดังนั้นที่ดินบริเวณดังกล่าวจึงมีความสูงกว่าที่ดินโดยธรรมชาติ และยิ่งสูงกว่าระดับถนนสุขุมวิทและพื้นที่ชายฝั่งด้านใน จากปัจจัยเรื่องการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล รวมถึงการทรุดตัวของแผ่นดิน จึงส่งผลให้น้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นเข้าท่วมพื้นที่ชายฝั่งด้านในมากกว่าบริเวณพื้นที่ที่ติดกับทะเลดังแสดงบนรูปที่ 4.3

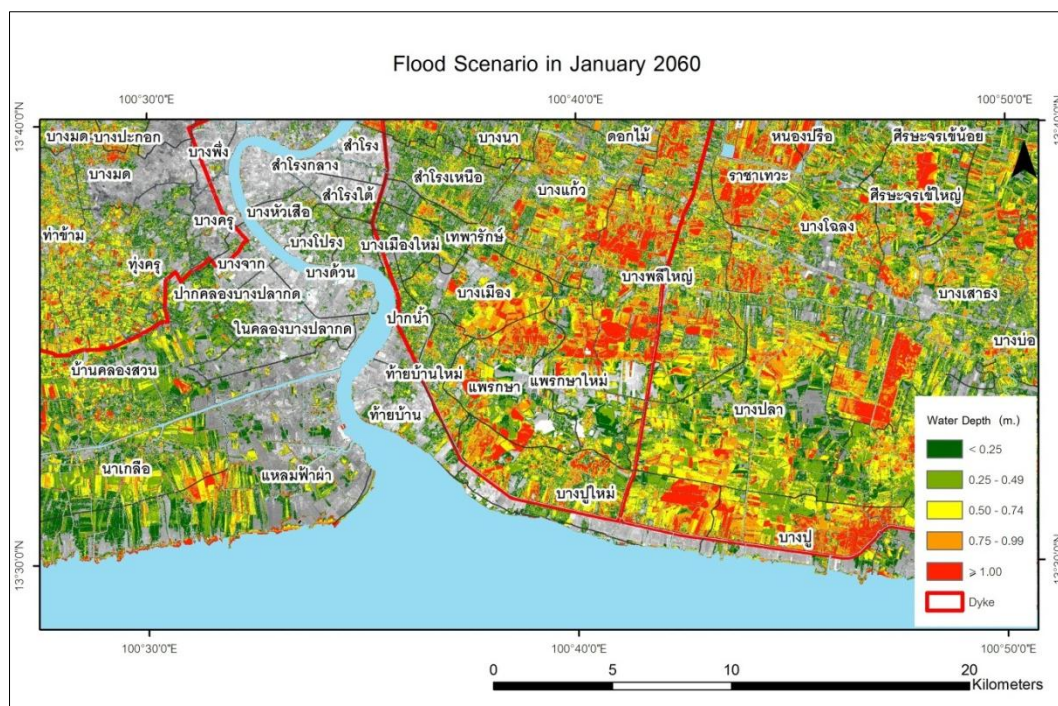




รูปที่ 4.4 ข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของกรุงเทพมหานครและจังหวัดสมุทรปราการ



รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายดาวเทียมการใช้ที่ดินบริเวณชายฝั่งด้านตะวันออกของกรุงเทพมหานครและจังหวัดสมุทรปราการ จากเว็บไซต์ Google



รูปที่ 4.6 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2060 โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด และเพิ่มการพิจารณาระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่

จากนั้นประมวลผลแบบจำลองในช่วงเวลาเดียวกัน โดยพิจารณาระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่ที่มีอยู่ในปัจจุบันพบว่า พื้นที่ศึกษาร้อยละ 15.05 หรือประมาณ 135.03 ตารางกิโลเมตรจะประสบภัยน้ำท่วม โดยร้อยละ 3.49 ของพื้นที่ประสบภัยมีความสูงของระดับน้ำน้อยกว่า 0.25 เมตร ร้อยละ 4.20 , ร้อยละ 3.48 , ร้อยละ 2.09, และร้อยละ 1.79 ของพื้นที่ประสบภัยมีความสูงของระดับน้ำอยู่ในช่วง 0.25 – 0.49 เมตร, 0.50 – 0.74 เมตร , 0.75 – 0.99 เมตร ระดับน้ำตั้งแต่ 1.00 เมตรขึ้นไป ตามลำดับ

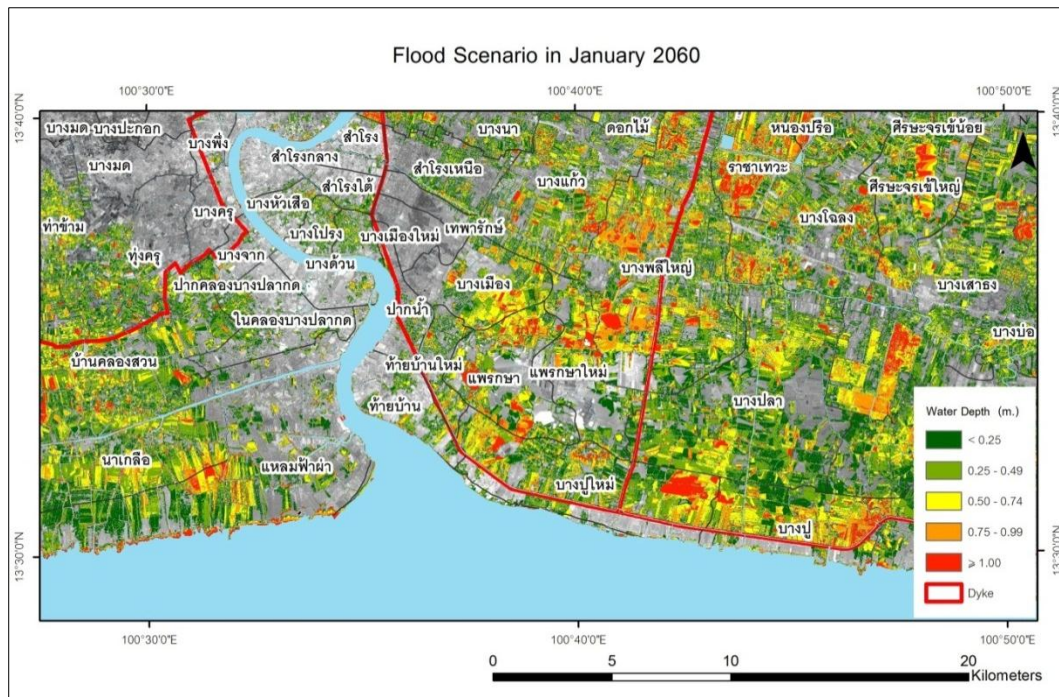
เมื่อทำการเปรียบเทียบ Scenario 1 และ Scenario 2 พบว่าในปี 2060 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมีความแตกต่างกันน้อยมาก ทั้งในเชิงขนาดของพื้นที่และความสูงของระดับน้ำ แสดงให้เห็นว่าระบบป้องกันน้ำท่วมที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่สามารถป้องกันน้ำท่วมที่อาจเกิดขึ้นในปี 2060 ได้ ดังนั้นในการประมวลผลแบบจำลองจึงมีการทดสอบเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำขึ้นจากความสูงปัจจุบัน และจะมีการอภิปรายในหัวข้อถัดไป

#### 4.3 แผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2060 โดยทดลองเพิ่มความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่จากปัจจุบันขึ้น 0.25 เมตร 0.50 เมตร และ 0.75 เมตร

เพื่อให้แบบจำลองสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนบริหารจัดการพื้นที่น้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในงานวิจัยจึงมีการทดลองเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งในการบริหารจัดการพื้นที่ โดยทดลองเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำ 3 ระดับคือ 0.25 เมตร , 0.50 เมตร และ 0.75 เมตร และทำการประเมินผลเพื่อดูความสามารถในการป้องกันน้ำท่วมจากวิธีการดังกล่าว โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการประเมินแบบจำลองในบทนี้ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.4

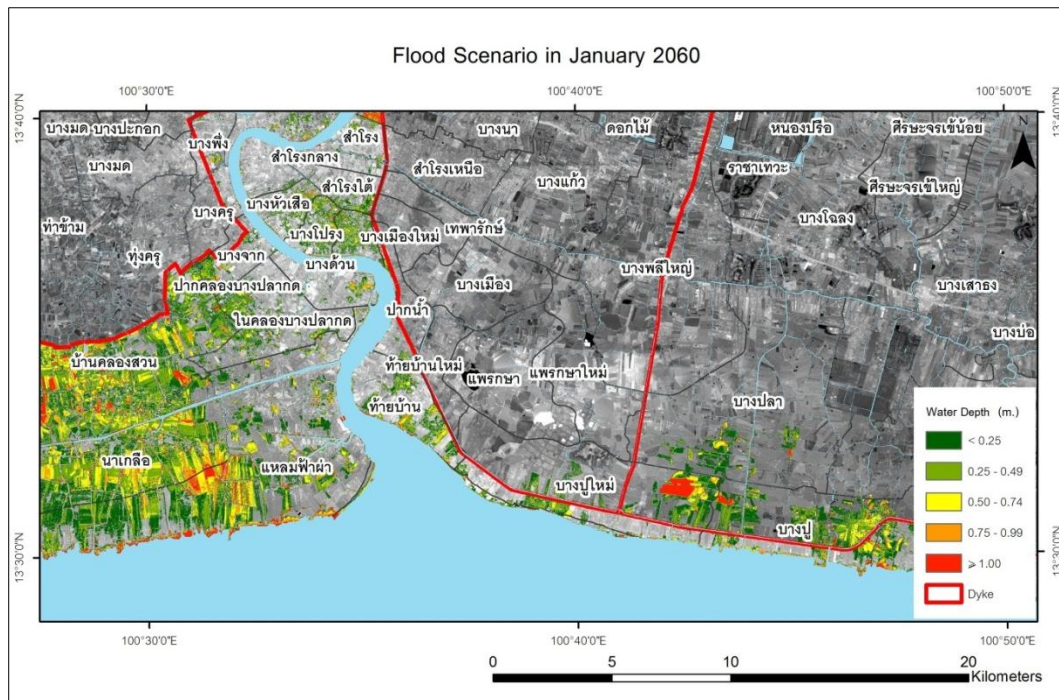
ตารางที่ 4.4 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผลแบบจำลองในหัวข้อ 4.3

รูปที่	คำอธิบาย	ปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่ใช้ในการประเมินผล				ระบบป้องกันน้ำท่วม
		การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล	การทรุดตัวของแผ่นดิน	การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก	วัฏจักรของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย	
4.7	Scenario 3	✓	✓	✓	✓	+0.25 เมตร
4.8	Scenario 4	✓	✓	✓	✓	+0.50 เมตร
4.9	Scenario 5	✓	✓	✓	✓	+0.75 เมตร



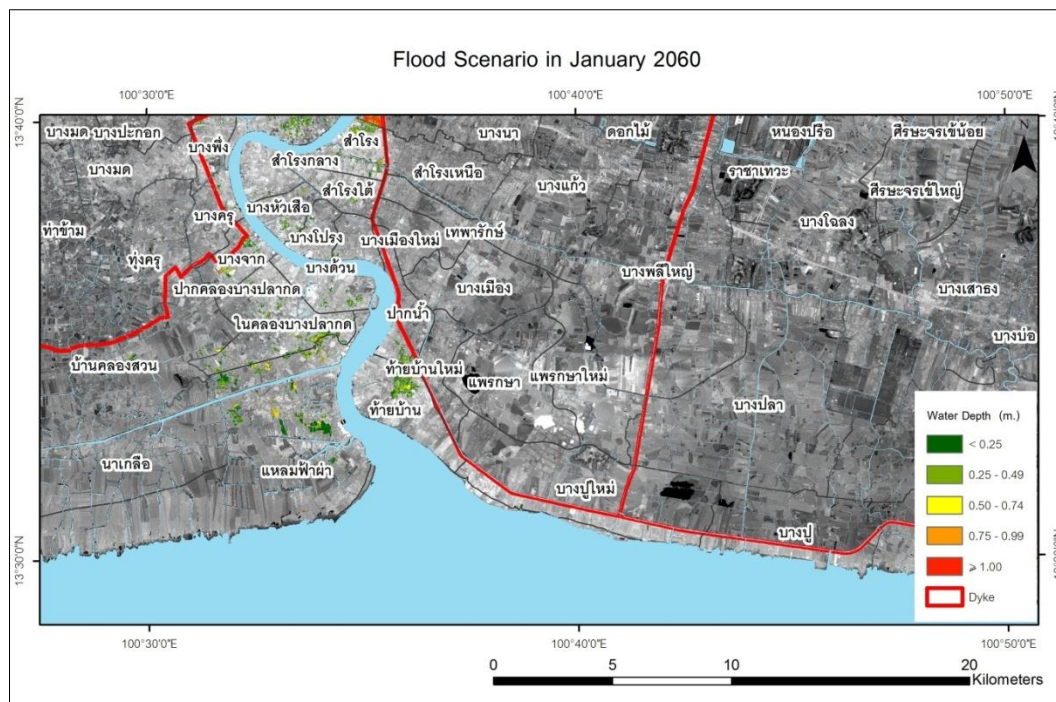
รูปที่ 4.7 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2060 โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง และเพิ่มความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่จากความสูงปัจจุบันขึ้นอีก 0.25 เมตร

จาก Scenario 3 ที่มีการเพิ่มความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วม 0.25 เมตรเพื่อรองรับสถานการณ์น้ำท่วมที่อาจเกิดขึ้น จากภาพจำลองสภาพการณ์พบว่า พื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่ประมาณ 102.95 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 11.47 ของพื้นที่ จะประสบภัยน้ำท่วม ซึ่งพื้นที่น้ำท่วมมีความสูงของระดับน้ำน้อยกว่า 0.25 เมตรมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 3.64 ของพื้นที่ประสบภัยมี ร่องลงมาคือ ความสูงในช่วง 0.25 – 0.49 เมตรคิดเป็นร้อยละ 3.62 ของพื้นที่ประสบภัย ร้อยละ 2.27 ของพื้นที่ประสบภัยมีความสูงของระดับน้ำอยู่ในช่วง 0.50 – 0.74 เมตร ร้อยละ 1.12 ของพื้นที่ประสบภัยมีความสูงของระดับน้ำ 0.75 – 0.99 เมตร และความสูงของระดับน้ำตั้งแต่ 1.00 เมตรขึ้นไปคิดเป็น ร้อยละ 0.82 หรือประมาณ 7.35 ตารางกิโลเมตร



รูปที่ 4.8 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2060 โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง และเพิ่มความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่จากความสูงปัจจุบันขึ้นอีก 0.50 เมตร

เมื่อทำการทดสอบเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำขึ้นจาก Scenario 3 อีก 0.25 เมตร และทำการประมวลผลได้ Scenario 4 พบว่าพื้นที่ประสบภัยน้ำท่วมมีประมาณ 26.97 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 3.01 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยมีความสูงของระดับน้ำต่ำกว่า 0.25 เมตรคิดเป็นร้อยละ 1.09 ของพื้นที่ประสบภัย ความสูงของระดับน้ำในช่วง 0.25 - 0.49 เมตร คิดเป็นร้อยละ 0.96 ความสูงของระดับน้ำอยู่ในช่วง 0.50 - 0.74 เมตร มีร้อยละ 0.52 ความสูงของระดับน้ำ 0.75 - 0.99 เมตร คิดเป็นร้อยละ 0.22 และพื้นที่น้ำท่วมที่มีความสูงของระดับน้ำตั้งแต่ 1.00 เมตรขึ้นไปมีเพียงร้อยละ 0.21 ของพื้นที่ประสบภัย



รูปที่ 4.9 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2060 โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้อง และเพิ่มความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่จากความสูงปัจจุบันขึ้นอีก 0.75 เมตร

จากการสังเกตเปรียบเทียบ Scenario 3 และ Scenario 4 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำช่วยลดขนาดพื้นที่น้ำท่วมได้มากถึงร้อยละ 8.46 หรือประมาณ 75.98 ตารางกิโลเมตร แต่ถ้าหากปรากฏการณ์ต่างๆยังคงดำเนินต่อไป การปรับปรุงระบบป้องกันตาม Scenario 4 จะสามารถป้องกันได้เพียงระยะสั้น ดังนั้นในการวางแผนจัดการพื้นที่จึงทดสอบเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำขึ้นจาก Scenario 4 อีก 0.25 เมตร เพื่อให้การป้องกันน้ำท่วมมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น จากการประมวลผลแบบจำลองจึงได้ Scenario 5 ซึ่งบริเวณพื้นที่ประสบภัยลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.79 ของพื้นที่ทั้งหมด ประมาณ 7.05 ตารางกิโลเมตร โดยร้อยละ 0.36 ของพื้นที่น้ำท่วมมีความสูงของระดับน้ำน้อยกว่า 0.25 เมตร ซึ่งพื้นที่น้ำท่วมส่วนใหญ่มีความสูงของระดับน้ำอยู่ในระดับดังกล่าว ร้อยละ 0.21 ของพื้นที่น้ำท่วมมีความสูงของระดับน้ำอยู่ในช่วง 0.25 – 0.49 เมตร ร้อยละ 0.10 ของพื้นที่น้ำท่วมมีความสูงของระดับน้ำอยู่ในช่วง 0.50 – 0.74 เมตร ร้อยละ 0.05 ของพื้นที่น้ำท่วมมีความสูงของระดับน้ำ 0.75 – 0.99 เมตร และร้อยละ 0.06 ของพื้นที่น้ำท่วมมีความสูงของระดับน้ำตั้งแต่ 1.00 เมตรขึ้นไป ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำขึ้นจากปัจจุบันอีก 0.75 เมตร จะสามารถช่วยลดขนาดพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบเพิ่มได้อีกร้อยละ 2.22 หรือประมาณ 19.92 ตารางกิโลเมตร

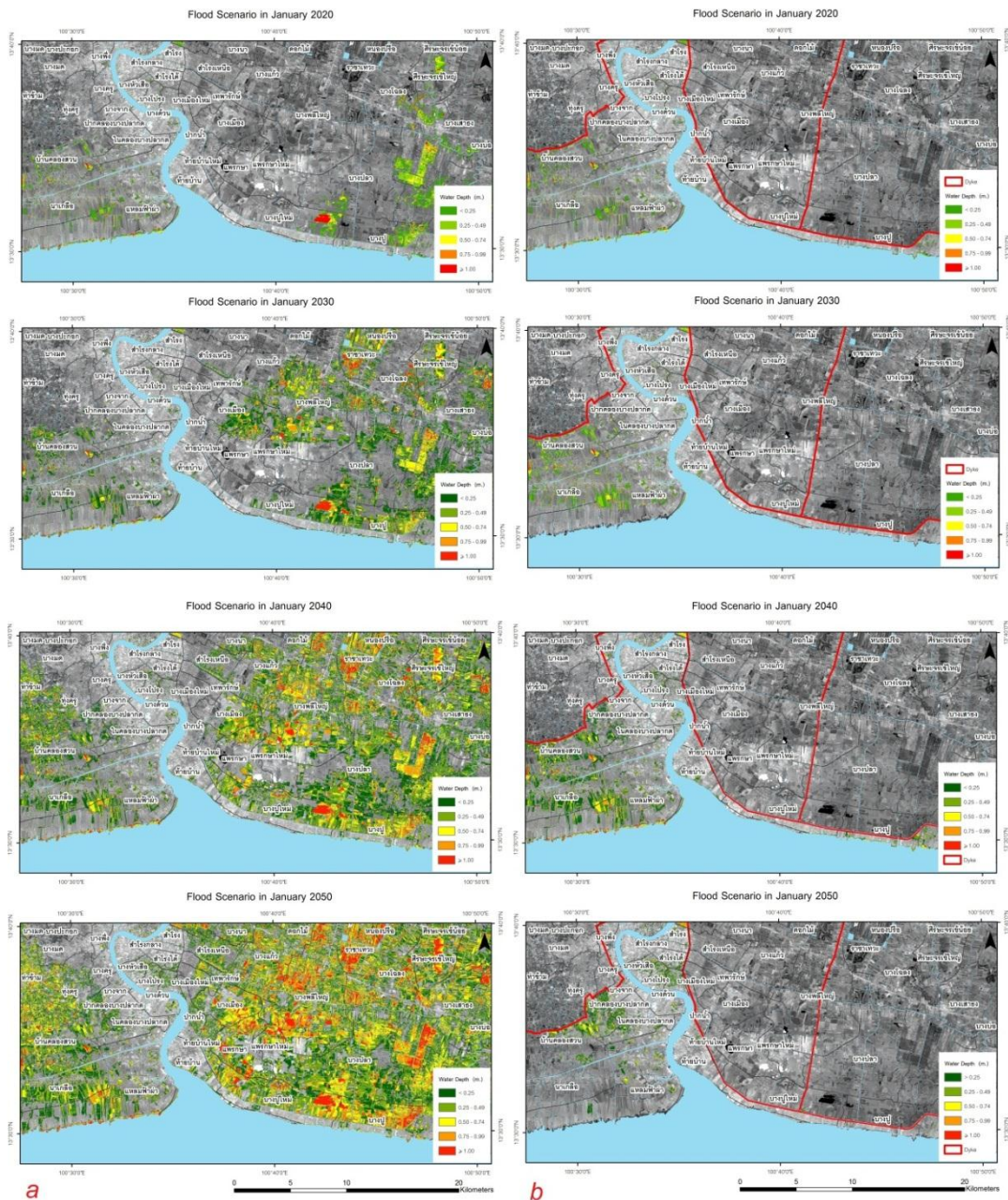
จากการประมวลผลแบบจำลองทั้งหมด 5 สภาพการณ์ สามารถสรุปขนาดของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลตามความสูงของระดับน้ำได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 สรุปพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในเดือนมกราคมปี 2060 โดยเพิ่มการพิจารณาระบบป้องกันน้ำท่วมในพื้นที่

	ขนาดพื้นที่ (ร้อยละ)					
	น้อยกว่า 0.25 เมตร	0.25 – 0.49 เมตร	0.50 – 0.74 เมตร	0.75 – 0.99 เมตร	ตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไป	รวม
Scenario 1	31.29 (3.49)	37.70 (4.20)	31.19 (3.48)	18.79 (2.09)	16.05 (1.79)	135.03 (15.05)
Scenario 2	31.29 (3.49)	37.70 (4.20)	31.19 (3.48)	18.79 (2.09)	16.05 (1.79)	135.03 (15.05)
Scenario 3	32.69 (3.64)	32.48 (3.62)	20.39 (2.27)	10.05 (1.12)	7.35 (0.82)	102.95 (11.47)
Scenario 4	9.82 (1.09)	8.65 (0.96)	4.67 (0.52)	1.95 (0.22)	1.88 (0.21)	26.97 (3.01)
Scenario 5	3.23 (0.36)	1.88 (0.21)	0.92 (0.10)	0.46 (0.05)	0.57 (0.06)	7.05 (0.79)

#### 4.4 แผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2020 - 2030 - 2040 - 2050

ในหัวข้อที่ 4.3 ที่แสดงให้เห็นถึงประโยชน์จากการเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำขึ้นจากปัจจุบัน 0.75 เมตร ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงเป็นการจัดทำแผนที่จำลองสภาพการณ์ในเดือนมกราคมซึ่งระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยสูงสุด ทุกๆสิบปีตั้งแต่ปี 2020 ถึงปี 2050 เพื่อเปรียบเทียบสภาพการณ์น้ำท่วมในกรณีที่ไม่มีการปรับปรุงความสูงของคันกั้นน้ำ (a) และในกรณีที่มีการปรับปรุงความสูงของคันกั้นน้ำขึ้นจากปัจจุบัน 0.75 เมตร (b) เพื่อให้เห็นผลลัพธ์ของการเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.10 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2020 – 2050 ทุกๆ 10 ปี โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด (a) และเพิ่มความสูงของระบบป้องกันน้ำท่วมจากปัจจุบันขึ้นอีก 0.75 เมตร (b)

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าในปี 2020 และปี 2030 ขนาดของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมใน (a) และ (b) ไม่มีความแตกต่างกันมาก ในปี 2020 พื้นที่น้ำท่วมของ (a) คิดเป็นร้อยละ 4.78 ของพื้นที่ทั้งหมด และร้อยละ 6.09 ในขณะที่ (b) มีพื้นที่น้ำท่วมร้อยละ 1.43 ในปี 2020 และเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 1.74 ในปี 2030 ซึ่งทั้งสองปีขนาดของพื้นที่น้ำท่วมของ (a) และ (b) มีความ



แตกต่างกันเพียงร้อยละ 1.31 และ 0.31 ตามลำดับ แต่ในปี 2030 จนถึงปี 2050 จะเห็นได้ชัดว่าขนาดของพื้นที่น้ำท่วมใน (a) ขยายวงกว้างอย่างมาก อีกทั้งระดับความสูงของน้ำยังมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้นไปจนถึงปี 2050 โดยในปี 2040 และปี 2050 ขนาดของพื้นที่น้ำท่วมใน (a) เพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 7.54 และ 11.75 ของพื้นที่ทั้งหมดตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณน้ำท่วมใน (b) มีการขยายพื้นที่น้อยกว่า และมีความรุนแรงน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด โดยมีขนาดพื้นที่น้ำท่วมร้อยละ 1.69 และ 1.68 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากมีการปรับปรุงความสูงของคันกั้นน้ำจะสามารถลดขนาดของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมลงมากถึงร้อยละ 10.01 ของพื้นที่ทั้งหมดในปี 2050 ซึ่งจากแผนที่ข้างต้นสามารถทำการสรุปและเปรียบเทียบขนาดของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลหากมีการปรับปรุงระบบป้องกันน้ำท่วมได้ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำขึ้นจากปัจจุบัน 0.75 เมตร จะสามารถป้องกันพื้นที่น้ำท่วมได้มากในระยะยาว



ตารางที่ 4.6 สรุปพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในเดือนมกราคมปี 2020 – 2050 ทุกๆ 10 ปี

		ขนาดพื้นที่ (ร้อยละ)					รวม
		น้อยกว่า 0.25 เมตร	0.25 – 0.49 เมตร	0.50 – 0.74 เมตร	0.75 – 0.99 เมตร	ตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไป	
เดือน มกราคม ปี 2020	(a)	21.02 (2.34)	12.73 (1.42)	4.53 (0.51)	1.97 (0.22)	2.66 (0.30)	42.92 (4.78)
	(b)	6.31 (0.70)	3.26 (0.36)	1.43 (0.16)	0.90 (0.10)	0.97 (0.11)	12.88 (1.43)
เดือน มกราคม ปี 2030	(a)	22.43 (2.50)	16.43 (1.83)	9.31 (1.04)	3.63 (0.40)	2.87 (0.32)	54.67 (6.09)
	(b)	7.67 (0.85)	4.31 (0.48)	1.70 (0.19)	0.87 (0.10)	1.06 (0.12)	15.61 (1.74)
เดือน มกราคม ปี 2040	(a)	25.48 (2.84)	22.24 (2.48)	11.68 (1.30)	4.79 (0.53)	3.48 (0.39)	67.66 (7.54)
	(b)	9.08 (1.01)	3.88 (0.43)	1.33 (0.15)	0.62 (0.07)	0.25 (0.03)	15.16 (1.69)
เดือน มกราคม ปี 2050	(a)	32.65 (3.64)	32.44 (3.62)	21.75 (2.42)	10.85 (1.21)	7.72 (0.86)	105.41 (11.75)
	(b)	7.18 (0.80)	4.91 (0.55)	1.96 (0.22)	0.65 (0.07)	0.34 (0.04)	15.04 (1.68)

#### 4.5 การเปรียบเทียบแผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคม ปี 2010 และปี 2050 ที่มีการพิจารณาการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกและไม่มีการพิจารณาการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก

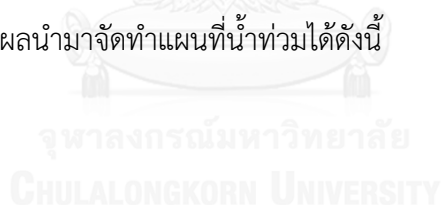
จากการประมวลแบบจำลองในหัวข้ออื่นๆ ที่มีการพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ทุกประการ คือ การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล การทรุดตัวของแผ่นดิน การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก และวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย ในหัวข้อนี้จึงเป็นการเปรียบเทียบการประมวลผลแบบจำลองที่ไม่มีการพิจารณาปัจจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งมีผลต่อระดับน้ำท่วมบริเวณชายฝั่งเมื่อระดับน้ำในอ่าวไทยเพิ่มสูงขึ้นโดยประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี

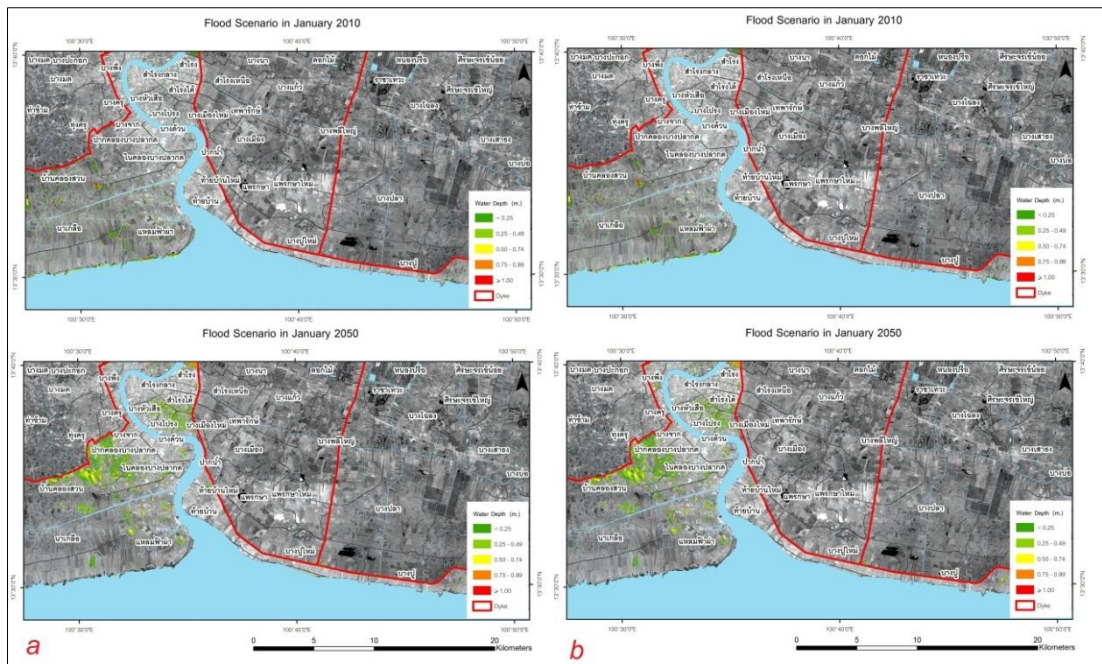
2010 และปี 2050 ดังสรุปในตารางที่ 4.7 ซึ่งมีระยะห่างของช่วงเวลา 40 ปี เนื่องจากปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกเป็นปรากฏการณ์ขนาดใหญ่ ดังนั้นการเปรียบเทียบสภาพการณ์ในปีที่ต่างกันมากทำให้เห็นผลลัพธ์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.7 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองในหัวข้อ 4.5

รูปที่	คำอธิบาย	ปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่ใช้ในการประมวลผล				ระบบป้องกันน้ำท่วม
		การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล	การทรุดตัวของแผ่นดิน	การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก	วัฏจักรของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย	
4.11 (a)	แผนที่น้ำท่วมเดือนมกราคมปี 2010 และปี 2050	✓	✓	✓	✓	+0.75 เมตร
4.12 (b)	แผนที่น้ำท่วมเดือนมกราคมปี 2010 และปี 2050	✓	✓	x	✓	+0.75 เมตร

จากการประมวลผลนำมาจัดทำแผนที่น้ำท่วมได้ดังนี้





รูปที่ 4.11 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2010 และปี 2050 โดย (a) มีการพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด (b) ไม่มีการพิจารณาปัจจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก

เมื่อทดสอบแบบจำลองและจัดทำแผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคม ปี 2010 และปี 2050 โดยรูปที่ 4.11 (a) เป็นแผนที่น้ำท่วมที่มีการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.11 (b) แผนที่น้ำท่วมที่ไม่มีการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก จากแผนที่ทั้งสองสถานการณ์แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบในปีเดียวกัน พบว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบรวมถึงความสูงของระดับน้ำในแต่ละพื้นที่ที่มีความสูงไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกในช่วงปีที่มีการจัดทำแผนที่น้ำท่วมหรือปี 2010 และปี 2050 แผ่นเปลือกโลกลดระดับลงโดยประมาณ 28 และ 50 มิลลิเมตรตามลำดับ ดังนั้นในช่วงเวลาดังกล่าวปัจจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกจึงยังไม่ส่งผลต่อระดับน้ำที่เข้าท่วมพื้นที่มากนัก ดังจะเห็นได้จากพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมที่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก ในปี 2010 คิดเป็นร้อยละ 0.73 และในปี 2050 ร้อยละ 1.68 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งมากกว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบหากไม่นำการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกมาพิจารณา ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 0.70 และร้อยละ 1.47 ของพื้นที่ทั้งหมด ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สรุปพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในเดือนมกราคมปี 2010 และปี 2050 โดยเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มการพิจารณาปัจจัยด้านการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก

	ขนาดพื้นที่ (ร้อยละ)					
	น้อยกว่า 0.25 เมตร	0.25 – 0.49 เมตร	0.50 – 0.74 เมตร	0.75 – 0.99 เมตร	ตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไป	รวม
แผนที่น้ำ ท่วมเดือน มกราคม ปี 2010 (a)	3.02 (0.34)	1.59 (0.18)	0.94 (0.10)	0.59 (0.07)	0.42 (0.05)	6.55 (0.73)
แผนที่น้ำ ท่วมเดือน มกราคม ปี 2010 (b)	2.84 (0.32)	1.52 (0.17)	0.91 (0.10)	0.57 (0.06)	0.39 (0.04)	6.24 (0.70)
แผนที่น้ำ ท่วมเดือน มกราคม ปี 2050 (a)	7.18 (0.80)	4.91 (0.55)	1.96 (0.22)	0.65 (0.07)	0.34 (0.04)	15.04 (1.68)
แผนที่น้ำ ท่วมเดือน มกราคม ปี 2050 (b)	6.42 (0.72)	4.15 (0.46)	1.67 (0.19)	0.60 (0.07)	0.31 (0.03)	13.15 (1.47)

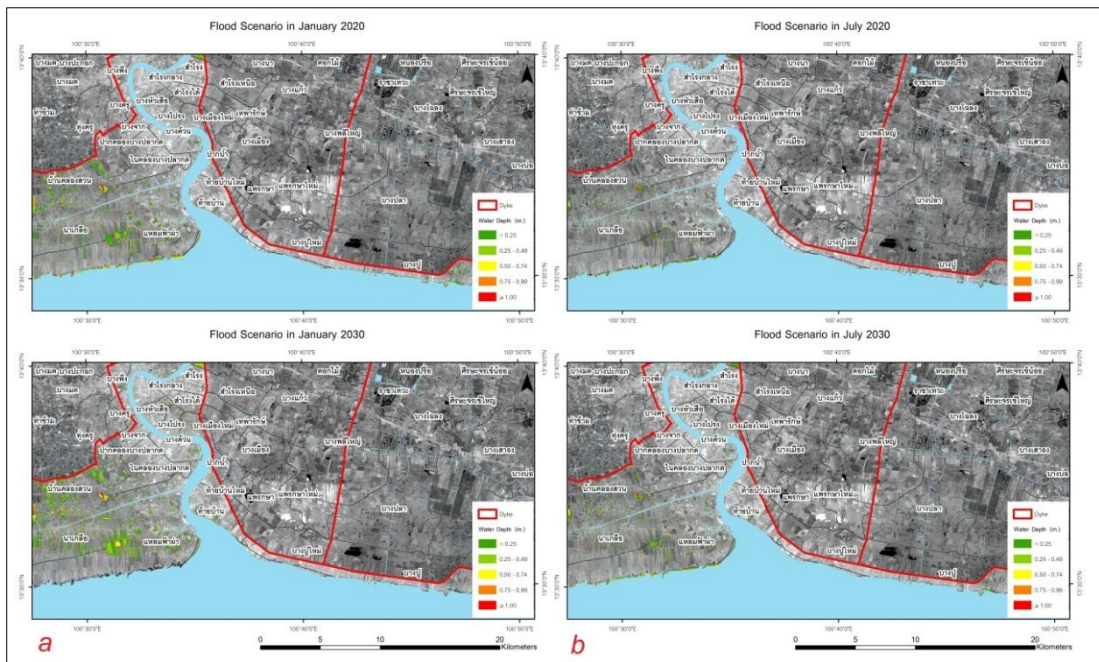
นอกจากนี้เมื่อพิจารณาตารางที่ 4.8 พบว่าขนาดของพื้นที่น้ำท่วมในแต่ละช่วงความสูงของระดับน้ำ ต่างก็เพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาปัจจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก ส่งผลให้ผลรวมของพื้นที่น้ำท่วมเมื่อมากขึ้น ซึ่งในปี 2010 ปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อพื้นที่ที่มีระดับน้ำน้อยกว่า 0.25 เมตรมากที่สุด โดยทำให้พื้นที่น้ำท่วมเพิ่มมากขึ้นประมาณ 0.18 ตารางกิโลเมตร ในขณะที่ปี 2050 ขนาดพื้นที่น้ำท่วมโดยรวมเพิ่มขึ้นจากระดับน้ำในช่วง 0.25 -0.49 เมตรมากที่สุด หรือประมาณ 0.76 ตารางกิโลเมตร

#### 4.6 การเปรียบเทียบการพิจารณาวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยในเดือนมกราคม และเดือนกรกฎาคม ปี 2020 และปี 2030

ในการทดสอบความสำคัญของปัจจัยเรื่องวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยที่มีผลต่อระดับความสูงของน้ำท่วมและขนาดพื้นที่ จึงได้จัดทำแผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2020 และปี 2030 (รูปที่ 4.12a) ซึ่งเป็นเดือนที่ระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยมีระดับสูงสุด เปรียบเทียบกับเดือนกรกฎาคมในปีเดียวกัน (รูปที่ 4.12b) ซึ่งเป็นเดือนที่ระดับน้ำในอ่าวไทยมีระดับต่ำสุดในรอบปี โดยแอมพลิจูดของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยบริเวณพื้นที่ศึกษาในช่วงเดือนที่ทำการทดสอบมีขนาดประมาณ 20 เซนติเมตร ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวย่อมส่งผลกระทบต่อระดับน้ำทะเลที่เข้าท่วมพื้นที่ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 สรุปข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองในหัวข้อ 4.6

รูปที่	คำอธิบาย	ปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่ใช้ในการประมวลผล				ระบบป้องกันน้ำท่วม
		การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล	การทรุดตัวของแผ่นดิน	การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก	วัฏจักรของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย	
4.12 (a)	แผนที่น้ำท่วมปี 2020 และ ปี 2030	✓	✓	✓	เดือนมกราคม	+0.75 เมตร
4.12 (b)	แผนที่น้ำท่วมปี 2020 และ ปี 2030	✓	✓	✓	เดือนกรกฎาคม	+0.75 เมตร



รูปที่ 4.12 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2020 และปี 2030 (a) และเดือนกรกฎาคมปี 2020 และ 2030 (b)

จากรูปที่ 4.12 ขนาดของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบในเดือนมกราคมปี 2020 มีมากกว่าเดือนกรกฎาคมในปีเดียวกันอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งทางตะวันตกของกรุงเทพมหานคร ในตำบลนาเกลือ ตำบลบ้านคลองสวน และตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ เมื่อเปรียบเทียบขนาดของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ พบว่าในเดือนมกราคม ปี 2020 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบคิดเป็นร้อยละ 1.43 ของพื้นที่ทั้งหมด หรือประมาณ 12.88 ตารางกิโลเมตร ในขณะที่เดือนกรกฎาคม มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบเพียงร้อยละ 0.48 หรือประมาณ 4.27 ตารางกิโลเมตรเท่านั้น เช่นเดียวกับในปี 2030 ซึ่งเห็นได้ชัดว่าในเดือนมกราคม แม้พื้นที่น้ำท่วมขยายตัวจากในปี 2020 ประมาณร้อยละ 4.66 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยเฉพาะบริเวณชายฝั่งทางตะวันตกของกรุงเทพมหานคร และในเดือนกรกฎาคมมีการขยายตัวร้อยละ 0.32 แต่พื้นที่ที่น้ำท่วมก็มีเพียงร้อยละ 0.80 ของพื้นที่ทั้งหมดเท่านั้น

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความสูงของระดับน้ำแต่ละช่วง พบว่าในเดือนมกราคม มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากปริมาณน้ำแต่ละช่วงมากกว่าในเดือนกรกฎาคมทั้งสิ้น จากแผนที่ดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าในเดือนกรกฎาคมระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยจะลดต่ำสุดและส่งผลกระทบต่อขนาดของพื้นที่น้ำท่วมและความสูงของระดับน้ำ โดยสรุปขนาดของพื้นที่น้ำท่วมได้ดังตารางที่ 4.10

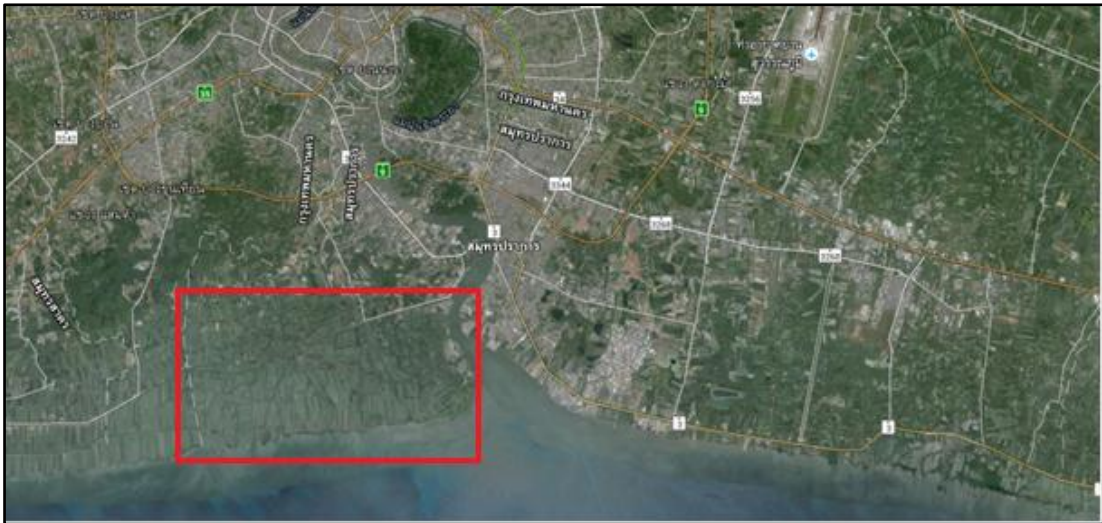
ตารางที่ 4.10 สรุปพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในเดือนมกราคมปี 2020 และปี 2030 โดยเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มการพิจารณาปัจจัยด้านวัฏจักรของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย

		ขนาดพื้นที่ (ร้อยละ)					
		น้อยกว่า 0.25 เมตร	0.25 – 0.49 เมตร	0.50 – 0.74 เมตร	0.75 – 0.99 เมตร	ตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไป	รวม
ปี 2020	เดือน มกราคม	6.31 (0.70)	3.26 (0.36)	1.43 (0.16)	0.90 (0.10)	0.97 (0.11)	12.88 (1.43)
	เดือน กรกฎาคม	1.90 (0.21)	1.06 (0.12)	0.70 (0.08)	0.37 (0.04)	0.23 (0.03)	4.27 (0.48)
ปี 2030	เดือน มกราคม	22.43 (2.50)	16.43 (1.83)	9.31 (1.04)	3.63 (0.40)	2.87 (0.32)	54.67 (6.09)
	เดือน กรกฎาคม	3.27 (0.36)	1.79 (0.20)	0.97 (0.11)	0.62 (0.07)	0.51 (0.06)	7.15 (0.80)

#### 4.7 ข้อจำกัดของแบบจำลอง

4.7.1 จากการประมวลผลแบบจำลองพบว่าบริเวณแรกที่เกิดน้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลคือบริเวณชายฝั่งทางตะวันตกของกรุงเทพมหานคร ในตำบลนาเกลือ ตำบลบ้านคลองสวน และตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ (รูปที่ 4.13) ซึ่งข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขแสดงให้เห็นว่าบริเวณชายฝั่งทางตะวันตกของกรุงเทพมหานครเป็นบริเวณที่มีความสูงต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง เนื่องจากการใช้ที่ดินบริเวณดังกล่าวเป็นการใช้ที่ดินในการประมงและการทำนาเกลือ จึงมีลักษณะพื้นที่เป็นบ่อน้ำจำนวนมาก (รูปที่ 4.14)





รูปที่ 4.13 ภาพถ่ายดาวเทียมพื้นที่ศึกษาจากเว็บไซต์ Google โดยกรอบสีแดงคือพื้นที่ที่เริ่มเกิดน้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลอง



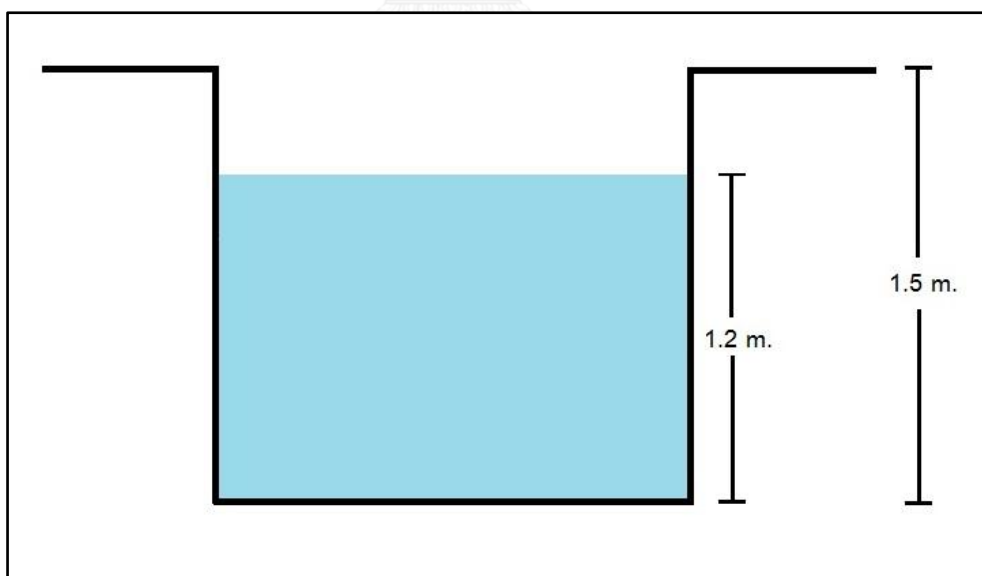
รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายดาวเทียมการใช้ที่ดินบริเวณตำบลนาเกลือ ตำบลบ้านคลองสวน และตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ จากเว็บไซต์ Google

ระดับน้ำที่ได้จากการประมวลผลจึงต้องมีการคำนึงถึงลักษณะการใช้ที่ดินดังกล่าวด้วย เพราะในขณะที่มีการจัดทำข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข ซึ่งได้จากเทคโนโลยี LiDAR เป็นช่วงที่ไม่สามารถทราบได้ว่าความสูงขณะจัดทำเป็นความสูงของบ่อน้ำที่มีน้ำหรือไม่ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ 2 กรณีคือ

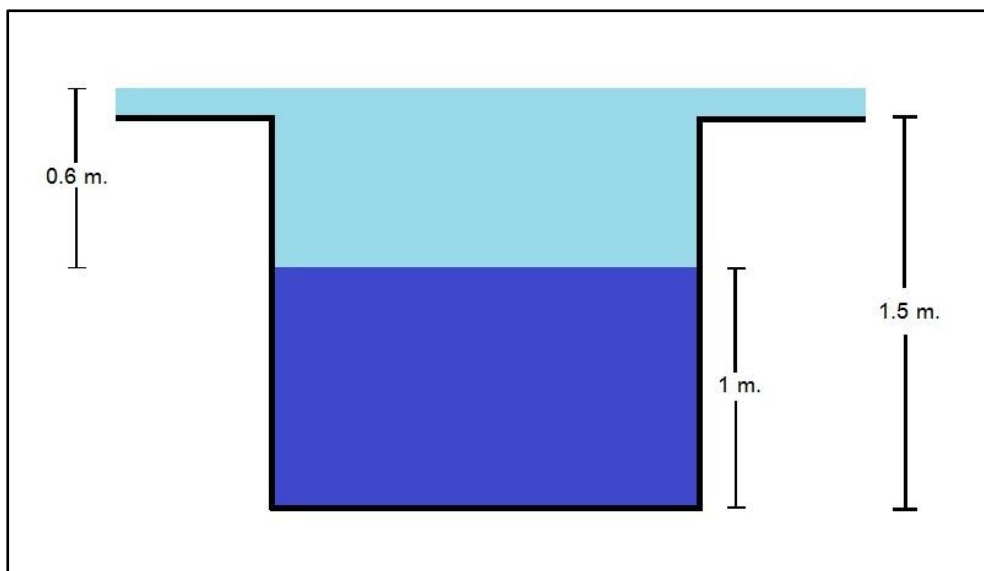
- 1) ขณะจัดทำข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข บ่อน้ำไม่มีน้ำ ดังนั้นค่าระดับภูมิประเทศที่ได้จาก DEM คือค่าระดับบริเวณก้นบ่อน้ำ

2) ขณะจัดทำข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข บ่อน้ำมีน้ำอยู่ ซึ่งค่าระดับความสูงภูมิประเทศที่ได้อาจเป็นระดับความสูงของ a) ก้นบ่อน้ำ b) ผิวหน้า หรือ c) ระหว่างผิวหน้าและก้นบ่อ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ประเภทของ LiDAR ที่ใช้ในการจัดทำความสูงภูมิประเทศเชิงเลข เพราะช่วงคลื่นของ LiDAR แต่ละประเภทมีความสามารถในการทะลุผิวน้ำไม่เท่ากัน รวมถึงสถานะของน้ำในบ่อ ซึ่ง LiDAR จะสามารถทะลุผ่านน้ำใสได้มากกว่าน้ำขุ่น หรือ การสะท้อนจากพื้นน้ำที่เรียบหรือผิวหน้าที่มีคลื่นก็ทำให้เกิดการสะท้อนที่แตกต่างกัน เป็นต้น

ในช่วงที่จัดทำข้อมูลหากเป็นกรณีที่ 1 และ 2a) ความสูงที่ได้จาก DEM จึงเป็นความสูงของพื้นดินที่ถูกต้อง ดังรูปที่ 4.15 แต่ในกรณี 2b) และ 2c) ค่าระดับที่ได้จาก DEM จึงเป็นค่าความสูงที่มากเกินไปจริง ดังนั้นเมื่อประมวลผลแบบจำลอง ความลึกของระดับน้ำท่วมจึงน้อยกว่าความเป็นจริง ดังเช่นบริเวณชายฝั่งตะวันตกของกรุงเทพมหานครที่มีน้ำท่วมในบริเวณที่มีการใช้ที่ดินประเภทการทำประมง หรือนาเกลือ ค่าความลึกของน้ำอาจเป็นค่าที่ถูกต้องหากเป็นไปตามกรณีที่ 1 หรือ 2a) ดังรูปที่ 4.15 หรือ ระดับน้ำอาจน้อยเกินจริง หากเป็นไปตามกรณี 2b) หรือ 2c) ดังรูปที่ 4.16 ซึ่งถือว่าเป็นข้อจำกัดหนึ่งของงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.15 ภาพตัวอย่างการจัดทำความสูงภูมิประเทศเชิงเลขในกรณีที่ความสูงของภูมิประเทศที่ได้เป็นความสูงบริเวณก้นบ่อน้ำ ซึ่งระดับน้ำจากการประมวลผลจะเป็นระดับน้ำที่ถูกต้อง



รูปที่ 4.16 ภาพตัวอย่างการจัดทำความสูงภูมิประเทศเชิงเลขในกรณีที่มีความสูงของภูมิประเทศที่ได้เป็นความสูงของผิวน้ำ ซึ่งระดับน้ำจากการประมวลผลจะเป็นระดับน้ำที่น้อยเกินจริง

4.7.2 ในการประมวลผลแบบจำลองมีการคำนวณพื้นที่ริมฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาเสมือนบริเวณชายฝั่ง เพื่อให้สะดวกต่อการประมวลผลแบบจำลอง ดังนั้นหากบริเวณริมแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณใดมีความสูงของภูมิประเทศเท่ากับบริเวณชายฝั่ง บริเวณทั้งสองแห่งควรมีระดับความสูงของน้ำท่วมเท่ากัน ซึ่งในความเป็นจริงระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาในแต่ละปีไม่เท่ากับระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย เพราะระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาจะสูงกว่าระดับน้ำทะเล น้ำในแม่น้ำจึงสามารถไหลลงสู่ทะเลได้ ยกเว้นบริเวณปากแม่น้ำที่อาจถือว่ามีความสูงระดับน้ำในแม่น้ำใกล้เคียงหรือเท่ากับในทะเล ดังนั้นในความเป็นจริงบริเวณที่ราบริมแม่น้ำเจ้าพระยาอาจมีระดับน้ำท่วมสูงกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลอง

4.7.3 ปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่นำมาใช้ในการพิจารณาออกแบบจำลองประกอบด้วย อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล อัตราการทรุดตัวของแผ่นดิน การเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก และวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย วัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย และการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกมีลักษณะเป็นปรากฏการณ์ขนาดใหญ่ที่ต้องใช้ระยะเวลาค่อนข้างมากในการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในการประมวลผลแบบจำลองสภาพการณ์ในอนาคตหลายๆสิบปีจึงสามารถใช้ค่าคงที่ที่ตั้งที่อ้างอิงในงานวิจัยได้ แต่สำหรับอัตราการทรุดตัวของแผ่นดิน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ขนาดเล็ก จึงมีการเปลี่ยนแปลงมากในระยะเวลาเพียงไม่นาน อีกทั้งอัตราการทรุดตัวของพื้นที่ศึกษามีค่าตั้งแต่ระดับมิลลิเมตรจนถึงหลายเซนติเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์อื่นๆที่นำมาพิจารณา ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าการทรุดตัวของแผ่นดินในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ย่อมส่งผลต่อผลลัพธ์ของแบบจำลอง ในการ

ประมวลผลแบบจำลองเพื่อสร้างสภาพการณ์น้ำท่วมในอนาคตหลายสิบปี ปัจจัยเรื่องการทรุดตัวของแผ่นดินจึงอาจทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

4.7.4 ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองที่จัดทำขึ้น จำต้องมีการเปรียบเทียบกับข้อมูลจากแหล่งอื่น ซึ่งกรุงเทพมหานครไม่มีหน่วยงานรับผิดชอบในการเก็บข้อมูลน้ำท่วมที่เกิดจากน้ำทะเลหนุนเพียงสาเหตุเดียว ข้อมูลน้ำท่วมที่มีอยู่ในปัจจุบันเป็นข้อมูลของน้ำท่วมที่เกิดจากปัจจัยทางธรรมชาติหลายปัจจัยร่วมกัน เช่น น้ำป่า ปริมาณน้ำฝน และน้ำทะเล เป็นต้น และอาจรวมไปถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์คือ ระบบการควบคุมน้ำในแหล่งกักเก็บน้ำ เช่น เขื่อน อ่างเก็บน้ำ ฯลฯ ข้อมูลน้ำท่วมดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมในการนำมาตรวจสอบเทียบกับผลลัพธ์ของแบบจำลอง ซึ่งเป็นการแสดงภาพเหตุการณ์น้ำท่วมที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลเพียงประการเดียวได้

อย่างไรก็ตามจากการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในหน่วยงานในพื้นที่ศึกษาพบว่า ในเดือนมกราคมปี 2016 บริเวณอำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ใกล้ชายฝั่งมักจะประสบปัญหาน้ำท่วมจากน้ำทะเลหนุน เช่น บริเวณวัดอโศการาม หรือ ศาลากลางจังหวัดสมุทรปราการ เป็นต้น พื้นที่ในส่วนของสถานตากอากาศบางปูจะไม่ได้รับผลกระทบจากปัญหาดังกล่าว เนื่องจากมีการสร้างกำแพงสีเขียวหรือกำแพงป่าชายเลนความหนาประมาณ 40 เมตรและยาวกว่า 200 เมตรเลียบชายฝั่งไว้ช่วยลดการกัดเซาะของชายฝั่งจากคลื่นในทะเล อีกทั้งยังมีเขื่อนตามแนวพระราชดำริที่สามารถช่วยลดปัญหาน้ำท่วมได้ (ตรีรัช ภูคชสารศิลป์, สัมภาษณ์, 10 มิถุนายน 2559) ซึ่งจากแผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคมปี 2016 (รูปที่ 4.17) พบว่ามีน้ำท่วมบริเวณชายฝั่งใกล้วัดอโศการาม และไม่พบน้ำท่วมบริเวณสถานตากอากาศบางปูซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลจากการสัมภาษณ์

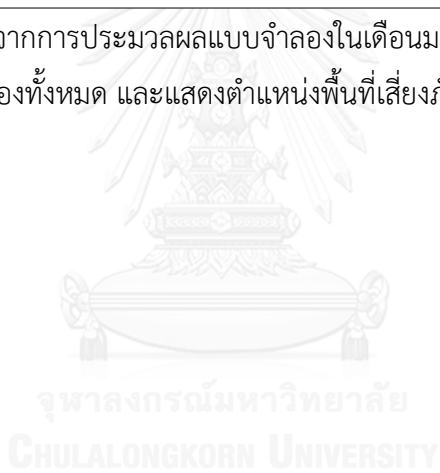
นอกจากนี้จากการสัมภาษณ์พบว่าภายในนิคมอุตสาหกรรมบางปูมักประสบน้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมของทุกปี แต่เนื่องจากภายในนิคมอุตสาหกรรมมีการติดตั้งเครื่องสูบน้ำจำนวน 10 เครื่องเพื่อช่วยระบายน้ำ ดังนั้นแม้บริเวณดังกล่าวจะประสบภัยน้ำท่วมจากน้ำทะเลหนุนทุกปีแต่ก็สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ (ดำรงศักดิ์ จันทร์ดี, สัมภาษณ์, 10 มิถุนายน 2559) ซึ่งในแบบจำลองไม่มีการแสดงพื้นที่น้ำท่วมในบริเวณดังกล่าวแต่อย่างใด ในขณะที่บริเวณใกล้เคียงติดกับแนวถนนสุขุมวิทพบว่ามีพื้นที่น้ำท่วม จากการสัมภาษณ์พบว่าบริเวณริมสองฝั่งของถนนสุขุมวิทบริเวณหน้าวัดศรีจันทาราม ตำบลบางปู มักประสบปัญหาน้ำท่วมจากน้ำทะเลหนุน โดยพื้นที่น้ำท่วมตามแนวถนนสุขุมวิทมีความยาวกว่า 500 เมตรและมีความสูงของระดับน้ำท่วมประมาณ 10-15 ซม. รวมถึงบางพื้นที่ในตำบลแพรกษา และตำบลท้ายบ้าน (มหัทชัช แซ่ตั้ง, สัมภาษณ์, 10 มิถุนายน 2559) ซึ่งจากแบบจำลองพบว่ามีพื้นที่น้ำท่วมบริเวณใกล้วัดศรีจันทารามและชายฝั่งในตำบลท้ายบ้าน แต่ในส่วนของตำบลแพรกษากลับไม่พบน้ำท่วม

สำหรับชายฝั่งทางตะวันตกของพื้นที่ศึกษา บริเวณน้ำท่วมส่วนใหญ่ที่พบจากการประมวลผลแบบจำลองเป็นพื้นที่ที่มีการใช้ที่ดินในการทำบ่อกัก บ่อปลา รวมถึงนาเกลือ จากการสัมภาษณ์พบว่า บริเวณที่มักเกิดน้ำท่วมจากน้ำทะเลหนุนได้แก่บริเวณวัดแหลมและกรมอุทกหารเรือ โดยมีความสูงของระดับน้ำประมาณ 30-60 ซม. ซึ่งน้ำที่ท่วมในบริเวณนี้มักเกิดขึ้นเป็นประจำทุกเดือนในช่วงขึ้น 1 ค่ำ จนถึงขึ้น 5 ค่ำ และจะมีระดับน้ำสูงสุดในช่วงขึ้น 5 ค่ำ เดือน 11 (เครือวัลย์ พึ่งสาย, สัมภาษณ์, 10 มิถุนายน 2559) สำหรับบางบริเวณเช่นวัดขุนสมุทราชิน อาจมีระดับน้ำท่วมสูงกว่า 80 ซม. ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนธันวาคม (มารุต คชบุรี, สัมภาษณ์, 10 มิถุนายน 2559) หรือบริเวณบ้านล่างและถนนเลียบบคลองสรรพสามิตที่มีการทรุดตัวมากกว่าบริเวณอื่นจะมีน้ำท่วมประมาณ 40 ซม. (ธีรชาติ สุทธิประภา, สัมภาษณ์, 10 มิถุนายน 2559) อย่างไรก็ตามแม้พื้นที่น้ำท่วมทางชายฝั่งตะวันตกของกรุงเทพมหานครจะได้รับผลกระทบจากน้ำทะเลหนุนในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคมของทุกปี แต่ลักษณะของน้ำท่วมที่เกิดขึ้นมักจะได้รับอิทธิพลจากปรากฏการณ์น้ำเกิดน้ำตายมากกว่า ดังนั้นเมื่อเกิดน้ำท่วมจึงไม่ใช่ลักษณะของน้ำท่วมขัง โดยน้ำท่วมจะเกิดขึ้นราว 2-3 ชั่วโมง จากนั้นระดับน้ำจะลดลงตามธรรมชาติจนเข้าสู่สภาวะปกติ (ณัฐชยาน์ ทองหมื่นศรี, สัมภาษณ์, 10 มิถุนายน 2559) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบริเวณน้ำท่วมที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2016 มีความสอดคล้องกับข้อมูลจากการสัมภาษณ์

ถึงแม้ข้อมูลน้ำท่วมที่มีอยู่ในปัจจุบันอาจไม่เหมาะสมต่อการนำมาตรวจสอบเทียบกับผลลัพธ์ของแบบจำลอง แต่จากการสัมภาษณ์สามารถกล่าวได้ว่าแบบจำลองถือเป็นเครื่องมือที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการแสดงแนวโน้มของพื้นที่ที่จะเกิดน้ำท่วมรวมถึงระดับการท่วมหากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติต่างๆยังคงดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.17 แผนที่น้ำท่วมจากการประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2016 โดยพิจารณาปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด และแสดงตำแหน่งพื้นที่เสี่ยงภัยน้ำทะเลท่วมจากการสัมภาระณ



## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

ในการจัดทำและปรับปรุงแบบจำลองเพื่อแสดงระดับน้ำบริเวณชายฝั่งของกรุงเทพมหานคร และจังหวัดใกล้เคียง โดยทำการวิเคราะห์จากข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลข ครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งกรุงเทพมหานคร จังหวัดสมุทรปราการ และบางส่วนของจังหวัดฉะเชิงเทรา ข้อมูลการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลบริเวณอ่าวไทย ข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดิน ข้อมูลวัฏจักรการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกซุนดา และข้อมูลวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย เพื่อจัดทำแผนที่น้ำท่วมบริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวมทั้งสรุปพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ดังกล่าว โดยแบ่งการประมวลผลออกเป็น 3 กรณี

กรณีที่ 1 การประมวลผลแบบจำลองเพื่อแสดงปีที่เริ่มเกิดน้ำท่วมบริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง ผลลัพธ์จากแบบจำลองพบว่าปี 2007 เป็นปีที่เริ่มเกิดน้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับทะเล โดยพื้นที่มีขนาดประมาณ 5.50 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 0.61 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยพื้นที่น้ำท่วมทั้งหมดอยู่บริเวณชายฝั่งตะวันตกของกรุงเทพมหานคร ได้แก่ ตำบลบ้านคลองสวน ตำบลนาเกลือ และตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัดสมุทรปราการ และขนาดของพื้นที่น้ำท่วมได้ขยายตัวอย่างต่อเนื่องทุกปี และการประมวลผลในเดือนมกราคมปี 2016 พบว่าพื้นที่น้ำท่วมมีขนาดประมาณ 12.82 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 1.43 ของพื้นที่ทั้งหมด

กรณีที่ 2 การประมวลผลแบบจำลองในเดือนมกราคมปี 2060 เพื่อจำลองเหตุการณ์ในอนาคตและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น ผลลัพธ์จากแบบจำลองพบว่าพื้นที่มากถึง 135 ตารางกิโลเมตร จะประสบภัยน้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล โดยร้อยละ 3.49 ของพื้นที่มีความสูงของระดับน้ำน้อยกว่า 0.25 เมตร ร้อยละ 4.20 มีความสูงของระดับน้ำอยู่ในช่วง 0.25 – 0.49 เมตร ร้อยละ 3.48 ของพื้นที่ประสบภัยมีความสูงของระดับน้ำอยู่ในช่วง 0.50 - 0.74 เมตร ร้อยละ 2.09 มีความสูงของระดับน้ำ 0.75 – 0.99 เมตร และร้อยละ 1.79 ของพื้นที่ประสบภัยมีความสูงของระดับน้ำตั้งแต่ 1.00 เมตรขึ้นไป ซึ่งจากผลลัพธ์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าในปี 2060 พื้นที่ชายฝั่งทั้งหมดจะได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับทะเล ดังนั้นจึงทำการทดสอบเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำในพื้นที่ขึ้นจากปัจจุบัน 3 ระดับคือ 0.25 เมตร 0.50 เมตร และ 0.75 ซึ่งจากการประมวลผลพบว่า การเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำ 0.75 เมตรจะสามารถป้องกันน้ำท่วมได้ในระยะยาว โดยในที่ตั้งกล่าวพื้นที่น้ำท่วมจะลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.79 ของพื้นที่ทั้งหมดหรือ ประมาณ 7.05 ตารางกิโลเมตร และ

พื้นที่ส่วนใหญ่มีความสูงของระดับน้ำอยู่ในระดับน้อยกว่า 0.25 เมตรหรือคิดเป็นร้อยละ 0.36 ของพื้นที่น้ำท่วม ระดับน้ำในช่วง 0.25 – 0.49 เมตรคิดเป็นร้อยละ 0.21 ระดับน้ำในช่วง 0.50 – 0.74 เมตรมีร้อยละ 0.10 ระดับน้ำ 0.75 – 0.99 เมตรคิดเป็นร้อยละ 0.05 และร้อยละ 0.06 ของพื้นที่น้ำท่วมมีความสูงของระดับน้ำตั้งแต่ 1.00 เมตรขึ้นไป

กรณีที่ 3 เมื่อทำการทดสอบเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำในเดือนมกราคมปี 2060 แล้วพบว่าสามารถช่วยลดขนาดของพื้นที่น้ำท่วมได้มาก จึงทำการทดสอบเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำ 0.75 เมตรกับเหตุการณ์ในเดือนมกราคมปี 2020, 2030, 2040 และปี 2050 จากผลลัพธ์ของแบบจำลองพบว่าในปี 2020 การเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำช่วยลดพื้นที่น้ำท่วมจากร้อยละ 4.78 ของพื้นที่ทั้งหมดให้เหลือเพียงร้อยละ 1.43 เช่นเดียวกับปี 2030 ที่สามารถลดพื้นที่น้ำท่วมจากร้อยละ 6.09 ของพื้นที่ทั้งหมดเหลือเพียงร้อยละ 1.74 และจากร้อยละ 7.54 และ 11.75 เหลือเพียงร้อยละ 1.69 และ 1.68 ในปี 2040 และปี 2050 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความสูงของคันกั้นน้ำขึ้นจากปัจจุบัน 0.75 เมตร จะสามารถป้องกันพื้นที่น้ำท่วมได้มากในระยะยาว

เมื่อพิจารณาปัจจัยการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกในแบบจำลองและจัดทำแผนที่น้ำท่วมในเดือนมกราคม ปี 2010 และปี 2050 แม้แผนที่ที่มีการพิจารณาเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกจะแสดงสภาพการณ์ที่ไม่แตกต่างจากแผนที่ที่ไม่มีการพิจารณาเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก แต่เมื่อวิเคราะห์ขนาดพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบพบว่าเมื่อพิจารณาเรื่องการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลก พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบในปี 2010 และปี 2050 คิดเป็นร้อยละ 0.73 และ 1.68 ของพื้นที่ทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบเมื่อไม่นำการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกมาพิจารณา ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 0.70 และ 1.47 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยในปี 2010 พื้นที่ที่มีน้ำท่วมเพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาปัจจัยดังกล่าว ได้แก่ พื้นที่ในตำบลนาเกลือ ตำบลบ้านคลองสวน และตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอมะนัง จังหวัดสมุทรสาคร และในปี 2050 พื้นที่น้ำท่วมที่เพิ่มขึ้นอยู่ในตำบลสำโรง ตำบลสำโรงใต้ ตำบลบางหัวเสือ อำเภอมะนัง จังหวัดสมุทรสาคร ตำบลบางโปรง ตำบลบางด้วน อำเภอมะนัง จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร และตำบลในคลองบางปลากด และตำบลบ้านคลองสวน อำเภอมะนัง จังหวัดสมุทรสาคร อย่างไรก็ตามแม้พื้นที่น้ำท่วมที่เพิ่มขึ้นจะพบในหลายอำเภอ แต่ขนาดที่เพิ่มขึ้นก็มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

แผนที่น้ำท่วมที่จัดทำขึ้นยังแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของปัจจัยเรื่องวัฏจักรรายปีของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยที่มีผลต่อระดับความสูงของน้ำที่เข้าท่วมพื้นที่ จากแผนที่น้ำท่วมปี 2020 และปี 2030 ในเดือนมกราคมพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมคิดเป็นร้อยละ 1.43 และ 4.66 ของพื้นที่ทั้งหมดตามลำดับ ในขณะที่เดือนกรกฎาคม มีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบเพียงร้อยละ 0.48 และ 0.80 เท่านั้น แสดงให้เห็นว่าในแต่ละเดือนระดับน้ำทะเลในอ่าวไทยมีความแปรปรวน โดยบริเวณที่มีการขยายตัว



ของพื้นที่น้ำท่วมเมื่อพิจารณาปัจจัยดังกล่าวคือบริเวณชายฝั่งทางตะวันตกของกรุงเทพมหานคร ใน ตำบลนาเกลือ ตำบลบ้านคลองสวน และตำบลแหลมฟ้าผ่า อำเภอพระสมุทรเจดีย์ จังหวัด สมุทรปราการ ดังนั้นการพิจารณาเรื่องวัฏจักรรายปีจะช่วยให้แบบจำลองมีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ในการศึกษาและหาแนวทางป้องกันน้ำท่วมจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลจึงเป็นสิ่งสำคัญ ที่ต้องได้รับการดำเนินการ ในการวางแผนหาแนวทางป้องกันจึงใช้แบบจำลองภาพเหตุการณ์มาช่วย ในการนำเสนอพื้นที่บริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนบริหารจัดการน้ำท่วมที่อาจเกิดขึ้นต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์ที่นำมาพิจารณาในการสร้างแบบจำลองอันได้แก่ การเพิ่มขึ้นของ ระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย การทรุดตัวของแผ่นดิน และการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกซุนดา รวมทั้งวัฏจักรของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นพลวัตและมีการเปลี่ยนแปลงในอัตราที่แตกต่างกัน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย วัฏจักรรายปีของ ระดับน้ำทะเลในอ่าวไทย และการเปลี่ยนแปลงระดับของแผ่นเปลือกโลกมีลักษณะเป็นปรากฏการณ์ ขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงเปลี่ยนแปลงค่อนข้างช้าในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ต่างจากอัตราการทรุดตัวของ แผ่นดิน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ขนาดเล็ก มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทั้งในเชิงพื้นที่และเชิงเวลา ดังนั้นการทรุดตัวของแผ่นดินจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้ผลลัพธ์มีความคลาดเคลื่อนไป เนื่องจาก อัตราการทรุดตัวของพื้นที่ศึกษามีค่าตั้งแต่ระดับมิลลิเมตรจนถึงหลายเซนติเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า ปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์อื่น ๆ ที่นำมาพิจารณา เช่น การเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเล และ การเปลี่ยนแปลง ระดับของแผ่นเปลือกโลกที่อยู่ในระดับไม่กี่มิลลิเมตรต่อปี ดังนั้นการประมาณค่าการทรุดตัวที่คงที่เพื่อ สร้างสภาพการณ์ในอนาคตไกลๆอาจทำให้ผลลัพธ์มีโอกาสคลาดเคลื่อนสูง เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าว จึงควรมีการติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินบริเวณพื้นที่ศึกษาอย่างสม่ำเสมอ เพื่อหาแนวโน้มการทรุด ตัวในระยะยาวมาใช้แทนค่าคงที่จากในงานวิจัย และทำให้ผลลัพธ์ของแบบจำลองมีความถูกต้องมาก ยิ่งขึ้น

5.2.2 จากการนำข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขมาใช้ในการสร้างแบบจำลองพบว่าพื้นที่ ชายฝั่งทางตะวันตกของกรุงเทพมหานครเป็นบริเวณที่มีความสูงต่ำกว่าระดับทะเลปานกลาง เนื่องจากการใช้ที่ดินบริเวณดังกล่าวเป็นการใช้ที่ดินในการประมงและการทำนาเกลือ จึงมีลักษณะ พื้นที่เป็นบ่อน้ำจำนวนมาก ดังนั้นระดับน้ำที่ได้จากการประมวลผลจึงอาจมีความคลาดเคลื่อนเพราะ การจัดทำข้อมูลความสูงภูมิประเทศเชิงเลขโดยใช้เทคโนโลยี LiDAR ซึ่งในขณะที่จัดทำข้อมูลความสูง ภูมิประเทศเชิงเลขเป็นช่วงที่ไม่สามารถทราบได้ว่าความสูงขณะจัดทำเป็นความสูงของบริเวณกันบ่อ

น้ำหรือผิวน้ำ หากความสูงที่ได้จาก DEM เป็นความสูงของก้นบ่อ ระดับน้ำที่ได้จึงเป็นระดับที่มีความถูกต้อง แต่หากเป็นความสูงของผิวน้ำ ระดับน้ำจากการประมวลผลอาจน้อยเกินจริง ซึ่งเพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวการหาข้อมูลเกี่ยวกับความสูงของบ่อน้ำจะช่วยให้สามารถประมาณค่าระดับน้ำที่แท้จริงได้



รายการอ้างอิง



- Aobpaet, A., M. C. Cuenca, A. Hooper and I. Trisirisatayawong. "Insar Time-Series Analysis of Land Subsidence in Bangkok, Thailand." *International Journal of Remote Sensing* 34, no. 8 (2013): 2969-2982.
- Church, J.A. and N.J. White. "A 20th Century Acceleration in Global Sea-Level Rise." *Geophys. Res. Lett.* 33, (2006).
- Church, J.A. and N.J. White. "Sea-Level Rise from the Late 19th Century to the Early 21st Century." *Surv. Geophys.* 32, (2011): 585-602.
- Feng, G., S. Jin and T. Zhang. "Coastal Sea Level Changes in Europe from Gps, Tide Gauge, Satellite Altimetry and Grace, 1993–2011." *Advances in Space Research* 51, no. 6 (2013): 1019-1028.
- Feng, Q., G. Liu, L. Meng, E. Fu, H. Zhang and K. Zhang. "Land Subsidence Induced by Groundwater Extraction and Building Damage Level Assessment - a Case Study of Datun, China." *Journal of China University of Mining and Technology* 18, no. 4 (2008): 556-560.
- IPCC. *Climate Change 2001. The Scientific Basis - Contribution of Working Group I to the Ipcc Third Assessment Report 2001.*, 2001.
- Jankaew, K., B.F. Atwater and Y. Sawai. "Medieval Forewarning of the 2004 Indian Ocean Tsunami in Thailand." *Nature* 455, (2008): 1228-1231.
- Meltzner, A.J., C. Shen, K. Li, K. Sieh, D. Natawidjaja, H. Cheng, X. Wang, R.L. Edwards, D.D. Lam, Y. Hsieh, T. Fan, F.W. Taylor, T.M. Quinn, H. Chiang and K.H. Kilbourne. "Variation of the Initial 230th/232th and Limits of High Precision U-Th Dating of Shallow-Water Corals." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72, no. 17 (2008): 4201-4223.
- Natawidjaja, D., K. Sieh and M. Chlieh. "Source Parameters of the Great Sumatran Megathrust Earthquakes of 1797 and 1833 Inferred from Coral Microatolls." *Geophys. Res.* 111, (2006).
- Nerem, R.S., E. Leuliette and A. Cazenave. "Present-Day Sea-Level Change: A Review." *La Terre observée depuis l'espace* 338, no. 14-15 (2006): 1077-1083.
- Nicholls, R.J. "Adaptation Options for Coastal Areas and Infrastructure: An Analysis for 2030." (2007).

- Nicholls, R.J., F.M.J. Hoozemans and M. Marchand. "Increasing Flood Risk and Wetland Losses Due to Global Sea-Level Rise: Regional and Global Analyses." *Glob. Environ. Chang.* 9, (1999): S69-S87.
- Oliver, E.C.J. "Intraseasonal Variability of Sea Level and Circulation in the Gulf of Thailand: The Role of the Madden-Julian Oscillation." *Clim. Dyn.* 42(1-2), (2014): 401-416.
- Palanisamy, H., A. Cazenave, B. Meyssignac, L. Soudarin, G. Wöppelmann and M. Becker. "Regional Sea Level Variability, Total Relative Sea Level Rise and Its Impacts on Islands and Coastal Zones of Indian Ocean over the Last Sixty Years." *Global and Planetary Change* 116, (2014): 54-67.
- Parker, A., M. Saad Saleem and M. Lawson. "Sea-Level Trend Analysis for Coastal Management." *Ocean & Coastal Management* 73, (2013): 63-81.
- Phien-wej, N., P. H. Giao and P. Nutalaya. "Land Subsidence in Bangkok, Thailand." *Engineering Geology* 82, no. 4 (2006): 187-201.
- Saramul, S. and T. Ezer. "Spatial Variations of Sea Level Along the Coast of Thailand: Impacts of Extreme Land Subsidence, Earthquakes and the Seasonal Monsoon." *Global and Planetary Change* 122, (2014): 70-81.
- Satirapod, C., I. Trisirisatayawong, L. Fleitout, J. D. Garau and W. J. F. Simons. "Vertical Motions in Thailand after the 2004 Sumatra–Andaman Earthquake from Gps Observations and Its Geophysical Modelling." *Advances in Space Research* 51, no. 8 (2013): 1565-1571.
- Torres, R.R. and M.N. Tsimplis. "Seasonal Sea Level Cycle in the Caribbean Sea." *Geophys. Res.* 117, (2012).
- Trisirisatayawong, I. and P. Cheewinsiriwat. "Assessment of Flooded Area from Sea Level Rise in the Upper Coastal Area of Gulf of Thailand." In *the 12th South East Asian Survey Congress*. Manila, 2013.
- Trisirisatayawong, I., M. Naeije, W. Simons and L. Fenoglio-Marc. "Sea Level Change in the Gulf of Thailand from Gps-Corrected Tide Gauge Data and Multi-Satellite Altimetry." *Global and Planetary Change* 76, no. 3-4 (2011): 137-151.
- Vigny, C., J. Pietrzak, A. Socquet, D. Ham, W. Simons, R.J. Labeur, E. Schrama, G. Stelling and D. Vatvani. "Defining the Source Region of the Indian Ocean Tsunami from Gps, Altimeters, Tide Gauges and Tsunami Models." *Earth and Planetary Science Letter* 261, no. 1-2 (2007): 49-64.

Woodroffe, Colin D. and Colin V. Murray-Wallace. "Sea-Level Rise and Coastal Change: The Past as a Guide to the Future." *Quaternary Science Reviews* 54, (2012): 4-11.

World Bank. "Final Report of Climate Change Impact and Adaptation Study of Bangkok Metropolitan Region. ." (2009).

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. "รายงานสถานการณ์และแผ่นดินทรุด และแนวทางการบริหารจัดการน้ำบาดาลในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล." (2006).

สรศักดิ์ ชัยทวี. "การตรวจหาอัตราทรุดตัวของแผ่นดินในช่วงปี ค.ศ. 1996 – 2000 และแนวโน้มการทรุดตัวบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลด้วยเทคนิคอนุกรมเวลาอินซาร์." จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2015.

อิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์, เฉลิมชนม์ สติระพจน์ and ศักดา ธรรมวิวัฒน์. การติดตามการเคลื่อนตัวทางตั้งของเปลือกโลกหลังแผ่นดินไหวสุมาตราอันดามันในบริเวณที่ราบลุ่มปากแม่น้ำเจ้าพระยา-ท่าจีน และบริเวณใกล้เคียง. สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย, 2013.

ปวัน ภิรมย์ทอง. "การติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยเทคนิค Time-Series Insar." จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2015.

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. การศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบจากการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำทะเลต่อสภาพการใช้ที่ดินชายฝั่งของประเทศไทย. 2009.



## ภาคผนวก ก Source Code ของ Python Script A

ชุดคำสั่งในการนำเข้า Input และส่งออก Output ที่ประมวลผลบน Python ไปเก็บไว้ยัง  
ฐานข้อมูลภายนอก

```
import ModuleDB
import FloodModel

ws = 'C:\\Thesis\\'
db = 'FloodData.accdb'
data = "C:\\Thesis\\Data\\"

in_path = data
dem_name = 'Dem.img'
hydro_name = 'hydro.shp'
hydro_all = 'hydroall.shp'
landsub_name = data + 'landsub.img'
out_path = 'C:\\Thesis\\Result\\'

yy = [year of wanted result]
rp = [Return period of plate motion cycle]
dem_baseyear = [year of DEM]
slr = [sea level rise rate]

for mm in range(x,y):

    yymm = ((yy - 2000) * 100) + mm

    # negative factor : SLR + base_water
    sea = slr * (yy - dem_baseyear)
    waterLevel = ModuleDB.GetWaterBaseLevel(ws,db,2007,mm)
    factor1 = (sea + waterLevel) / 1000

    # negative value
    plateLevel = ModuleDB.GetPlateLevel(ws,db,yy,rp,dem_baseyear) / 1000
    factor2 = factor1 + (-1 * plateLevel)
    expr_calc = str(factor2) + " + ((-1 * " + landsub_name + " / 1000) * " + str(yy - dem_baseyear) + ")"

    FloodModel.model(in_path,dem_name,out_path,str(expr_calc),hydro_name,hydro_all,str(yymm))
```



## ภาคผนวก ข Source Code ของ Python Script B

ชุดคำสั่งที่ใช้เชื่อมต่อกับฐานข้อมูลอื่น (Microsoft Access) เพื่อเรียกข้อมูลมาใช้ในการประมวลผลแบบจำลอง

```

import pyodbc

def GetPlateLevel(workspace, dbname, yyyy, rp, baseyear) :
    cnxn = pyodbc.connect(r'DRIVER={Microsoft Access Driver (*.mdb, *.accdb)};DBQ='+workspace+dbname)
    cursor = cnxn.cursor()
    cursor.execute('select * from plate_level where yyyy = ' + str(baseyear))
    for row in cursor:
        if rp == 170:
            blevel170 = row.ry170yr
        else:
            blevel500 = row.ry500yr
    cursor.execute('select * from plate_level where yyyy = ' + str(yyyy))
    for row in cursor:
        if rp == 170:
            level = row.ry170yr - blevel170
        else:
            level = row.ry500yr - blevel500
    cnxn.close()
    return level

def GetWaterBaseLevel(workspace, dbname, yyyy, mm) :
    cnxn = pyodbc.connect(r'DRIVER={Microsoft Access Driver (*.mdb, *.accdb)};DBQ='+workspace+dbname)
    cursor = cnxn.cursor()
    cursor.execute('select * from base_sea_level where yyyy = ' + str(yyyy) + ' and mm = ' + str(mm))
    for row in cursor:
        wlevel = row.base_level
    cnxn.close()
    return wlevel

```



## ภาคผนวก ค Source Code ของ Python Script C

ชุดคำสั่งซึ่งเป็นขั้นตอนในการประมวลผลแบบจำลองเกือบทั้งสิ้น โดยชุดคำสั่งที่ใช้บน Script นี้เป็นชุดคำสั่งบนโปรแกรม ArcMap 10.2

```
def model(in_path,dem_name,out_path,expr_calc,hydro_name,hydro_all,yymm):

    import sys, string, os, arcgisscripting

    gp = arcgisscripting.create()
    gp.CheckOutExtension("spatial")

    gp.AddToolbox("C:/Program Files (x86)/ArcGIS/Desktop10.2/ArcToolbox/Toolboxes/Spatial Analyst Tools.tbx")
    gp.AddToolbox("C:/Program Files (x86)/ArcGIS/Desktop10.2/ArcToolbox/Toolboxes/Conversion Tools.tbx")
    gp.AddToolbox("C:/Program Files (x86)/ArcGIS/Desktop10.2/ArcToolbox/Toolboxes/Data Management Tools.tbx")
    gp.AddToolbox("C:/Program Files (x86)/ArcGIS/Desktop10.2/ArcToolbox/Toolboxes/Analysis Tools.tbx")

    dem_img = in_path + dem_name
    img_calc = out_path + yymm + "_calc.img"
    img_reclass = out_path + yymm + "_reclass.img"
    img_extract = out_path + yymm + "_extract.img"
    img_mask = out_path + yymm + "_mask.img"
    img_int = out_path + yymm + "_int.img"
    img_poly = out_path + yymm + "_poly.shp"

    gp.SingleOutputMapAlgebra_sa(expr_calc + " - " + in_path + dem_name, img_calc)
    gp.Reclassify_sa(img_calc, "VALUE", "-100 0 0:0 100 1", img_reclass, "DATA")
    gp.ExtractByAttributes_sa(img_reclass, "VALUE > 0", img_extract)
    gp.RasterToPolygon_conversion(img_extract, img_poly, "NO_SIMPLIFY", "VALUE")

    d = 0.1
    hydro = in_path + hydro_name
    hydroall = in_path + hydro_all
    poly_select = out_path + yymm + "_select.shp"
    poly_erase = out_path + yymm + "_erase.shp"
    poly_final = out_path + yymm + "_final.shp"
    poly_layer = out_path + yymm + "_poly.lyr"
    hydro_layer = out_path + yymm + "_hydro.lyr"

    gp.MakeFeatureLayer(img_poly,poly_layer)
    gp.MakeFeatureLayer(hydro,hydro_layer)

    gp.SelectLayerByLocation_management(poly_layer, "WITHIN_A_DISTANCE", hydro, d, "NEW_SELECTION")
    gp.CopyFeatures_management(poly_layer, poly_select, "", "0", "0", "0")
    gp.Erase_analysis(poly_select, hydroall, poly_erase)
    gp.ExtractByMask_sa(img_calc, poly_erase, img_mask)
    gp.SingleOutputMapAlgebra_sa("INT(" + img_mask + " * 1000)", img_int, "")
    gp.RasterToPolygon_conversion(img_int, poly_final, "NO_SIMPLIFY", "VALUE")

    fname = "flood_" + yymm
    gp.AddField_management(poly_final, fname, "DOUBLE", "", "", "", "NON_NULLABLE", "NON_REQUIRED", "")
    gp.CalculateField_management(poly_final, fname, "[GRIDCODE] / 1000", "VB", "")
```

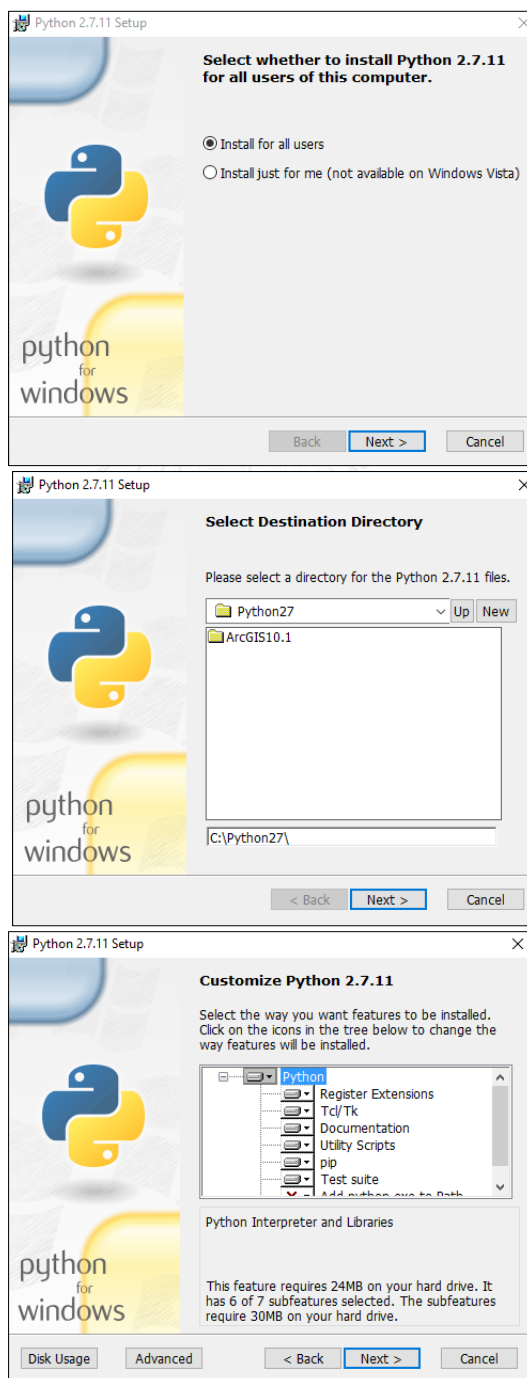
## ภาคผนวก ง การนำ Source code ไปใช้งาน

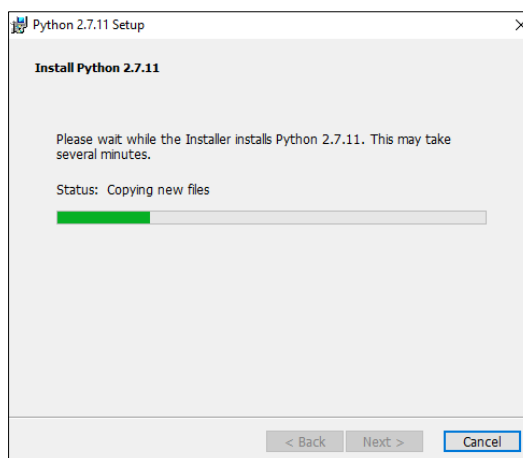
1.ติดตั้งโปรแกรม ArcMap 10.2

2.ติดตั้งโปรแกรม Python 2.7

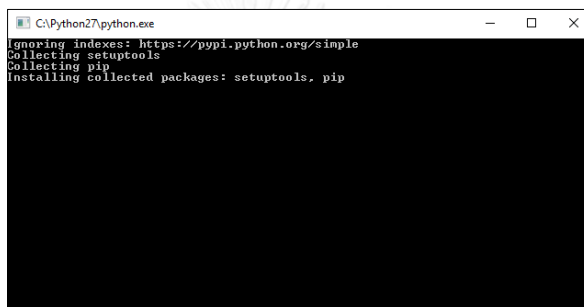
- ดาวน์โหลดโปรแกรม Python 2.7 จาก <https://www.python.org/downloads/>

- ติดตั้งโปรแกรมตามขั้นตอนดังนี้



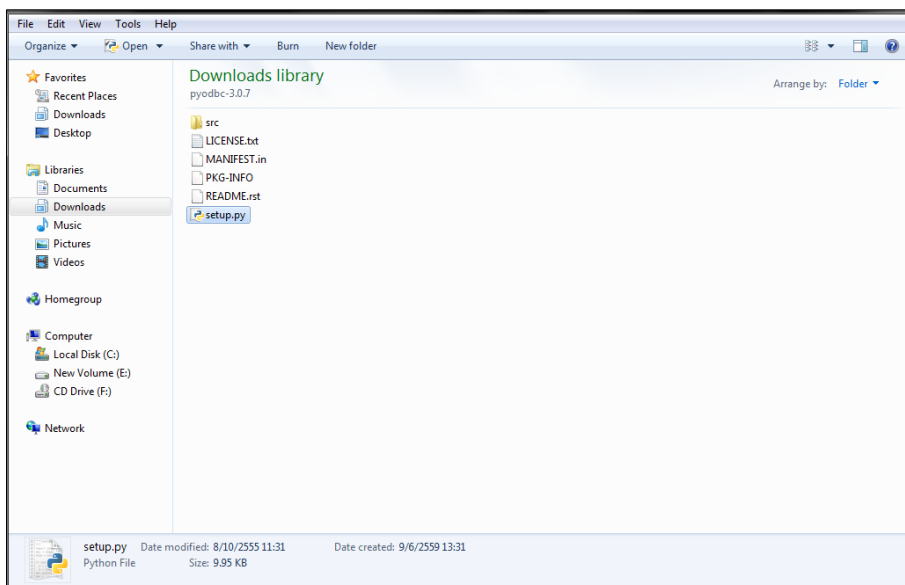


- เมื่อติดตั้งเสร็จจะปรากฏหน้าจอสีดำและหน้าต่างด้านล่าง จากนั้นจึงกด Finish เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการติดตั้ง



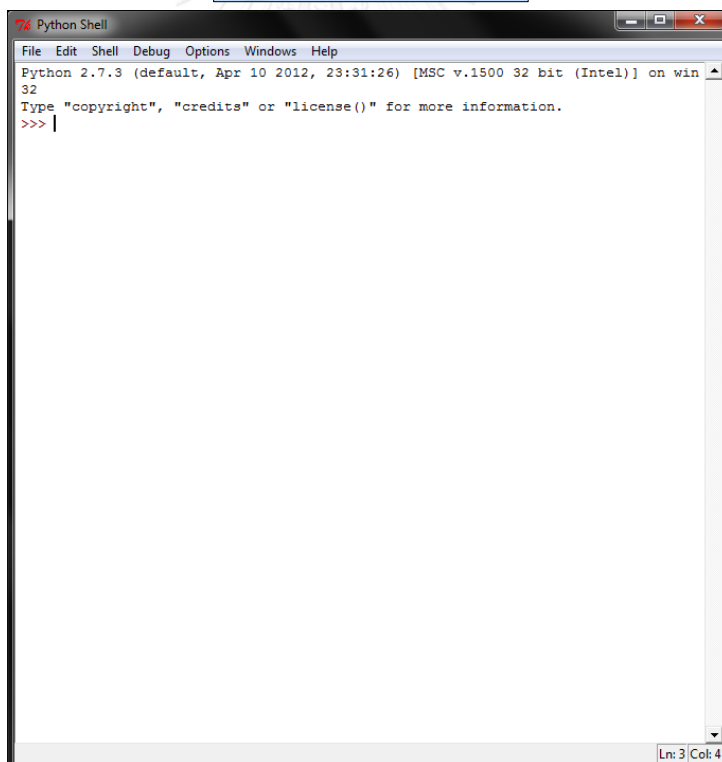
### 3. ติดตั้ง PYODBC module

- ดาวน์โหลด module จาก <https://pypi.python.org/pypi/pyodbc/3.0.7>
- ติดตั้ง module โดยการเลือก setup.py

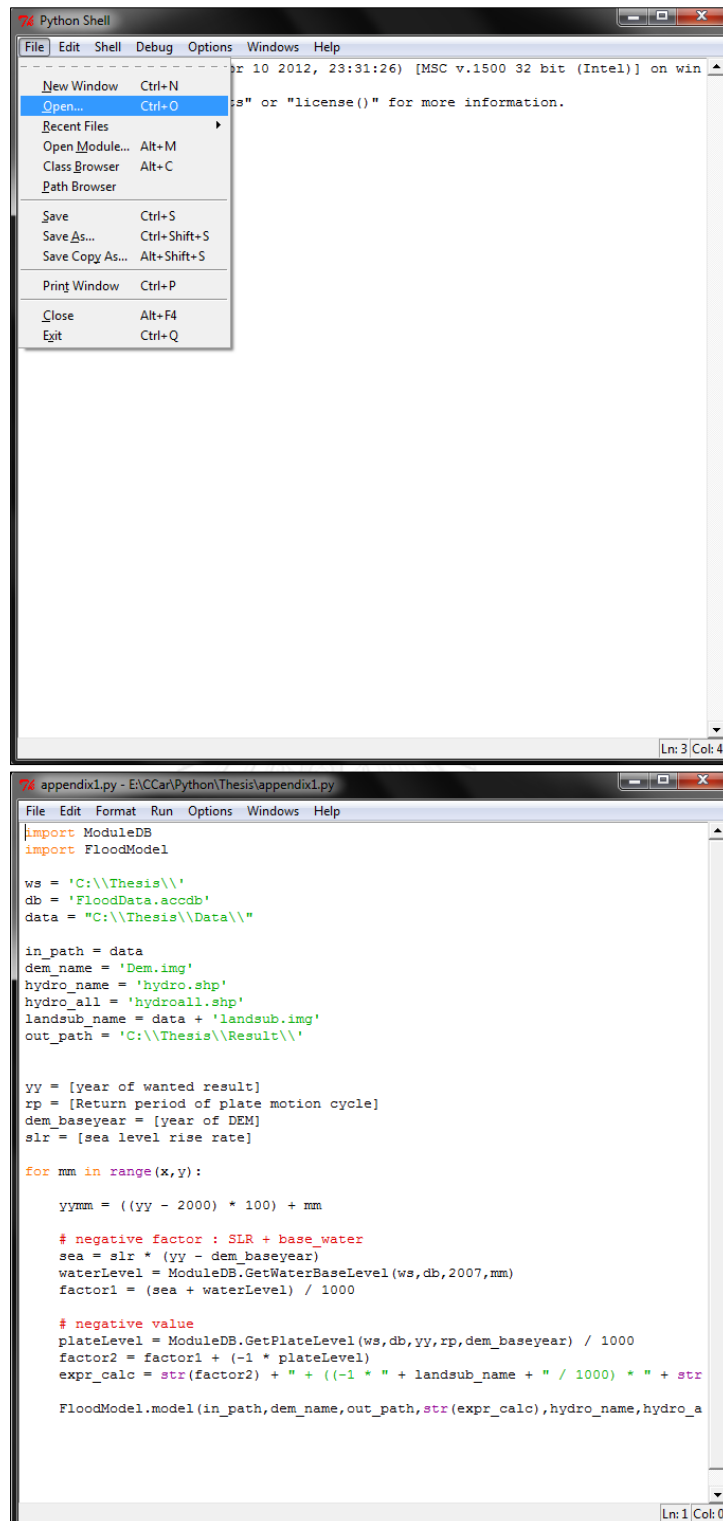


#### 4.เปิดโปรแกรม Python

- เลือกไอคอน IDLE (Python GUI)



- เปิด Python Script A โดยการเลือก File > Open > เลือก script



- เปิด Python Script B โดยการเลือก File > Open > เลือก script

```

appendix1.py - E:\Car\Python\Thesis\appendix1.py
File Edit Format Run Options Windows Help
New Window Ctrl+N
Open... Ctrl+O
Recent Files
Open Module... Alt+M
Class Browser Alt+C
Path Browser

Save Ctrl+S
Save As... Ctrl+Shift+S
Save Copy As... Alt+Shift+S

Print Window Ctrl+P

Close Alt+F4
Exit Ctrl+Q

\
'
landsub.img'
result\

[lt]
[ate motion cycle]
dem_baseyear = [year of DEM]
slr = [sea level rise rate]

for mm in range(x,y):

    yymm = ((yy - 2000) * 100) + mm

    # negative factor : SLR + base_water
    sea = slr * (yy - dem_baseyear)
    waterLevel = ModuleDB.GetWaterBaseLevel(ws,db,2007,mm)
    factor1 = (sea + waterLevel) / 1000

    # negative value
    plateLevel = ModuleDB.GetPlateLevel(ws,db,yy,rp,dem_baseyear) / 1000
    factor2 = factor1 + (-1 * plateLevel)
    expr_calc = str(factor2) + " + ((-1 * " + landsub_name + " / 1000) * " + str

    FloodModel.model(in_path, dem_name, out_path, expr_calc, hydro_name, hydro_a

Ln: 5 Col: 0

```

```

mFloodtrial.py - E:\Car\Python\Thesis\mFloodtrial.py
File Edit Format Run Options Windows Help
def model(in_path,dem_name,out_path,expr_calc,hydro_name,hydro_all,yymm):

    import sys, string, os, arcgisscripting

    gp = arcgisscripting.create()
    gp.CheckOutExtension("spatial")

    # Load required toolboxes...
    gp.AddToolbox("C:/Program Files (x86)/ArcGIS/Desktop10.2/ArcToolbox/Toolboxe
    gp.AddToolbox("C:/Program Files (x86)/ArcGIS/Desktop10.2/ArcToolbox/Toolboxe
    gp.AddToolbox("C:/Program Files (x86)/ArcGIS/Desktop10.2/ArcToolbox/Toolboxe
    gp.AddToolbox("C:/Program Files (x86)/ArcGIS/Desktop10.2/ArcToolbox/Toolboxe

    # Local variables...
    dem_img = in_path + dem_name
    img_calc = out_path + yymm + "_calc.img"
    img_reclass = out_path + yymm + "_reclass.img"
    img_extract = out_path + yymm + "_extract.img"
    img_mask = out_path + yymm + "_mask.img"
    img_int = out_path + yymm + "_int.img"
    img_poly = out_path + yymm + "_poly.shp"

    gp.SingleOutputMapAlgebra_sa(expr_calc + " - " + in_path + dem_name, img_ca
    gp.Reclassify_sa(img_calc, "VALUE", "-100 0 0;0 100 1", img_reclass, "DATA")
    gp.ExtractByAttributes_sa(img_reclass, "VALUE > 0", img_extract)
    gp.RasterToPolygon_conversion(img_extract, img_poly, "NO_SIMPLIFY", "VALUE")

    d = 0.1
    hydro = in_path + hydro_name
    hydroall = in_path + hydro_all
    poly_select = out_path + yymm + "_select.shp"
    poly_erase = out_path + yymm + "_erase.shp"
    poly_final = out_path + yymm + "_final.shp"
    poly_layer = out_path + yymm + "_poly.lyr"
    hydro_layer = out_path + yymm + "_hydro.lyr"

    gp.MakeFeatureLayer(img_poly,poly_layer)
    gp.MakeFeatureLayer(hydro,hydro_layer)

Ln: 1 Col: 0

```

- เปิด Python Script C โดยการเลือก File > Open > เลือก script

```

mFloodtrial.py - E:\CCar\Python\Thesis\mFloodtrial.py
File Edit Format Run Options Windows Help
New Window Ctrl+N
Open... Ctrl+O
Recent Files
Open Module... Alt+M
Class Browser Alt+C
Path Browser
Save Ctrl+S
Save As... Ctrl+Shift+S
Save Copy As... Alt+Shift+S
Print Window Ctrl+P
Close Alt+F4
Exit Ctrl+Q

import arcpy
import os

out_path, expr_calc, hydro_name, hydro_all, yymm =
s, arcgisscripting

create()
"spatial")

oxes...
gram Files (x86)/ArcGIS/Desktop10.2/ArcToolbox/Toolboxe
gram Files (x86)/ArcGIS/Desktop10.2/ArcToolbox/Toolboxe
gram Files (x86)/ArcGIS/Desktop10.2/ArcToolbox/Toolboxe
gram Files (x86)/ArcGIS/Desktop10.2/ArcToolbox/Toolboxe

dem_name
yymm + "_calc.img"
h + yymm + "_reclass.img"
img_extract = out_path + yymm + "_extract.img"
img_mask = out_path + yymm + "_mask.img"
img_int = out_path + yymm + "_int.img"
img_poly = out_path + yymm + "_poly.shp"

gp.SingleOutputMapAlgebra_sa(expr_calc + " - " + in_path + dem_name, img_ca
gp.Reclassify_sa(img_calc, "VALUE", "-100 0 0;0 100 1", img_reclass, "DATA")
gp.ExtractByAttributes_sa(img_reclass, "VALUE > 0", img_extract)
gp.RasterToPolygon_conversion(img_extract, img_poly, "NO_SIMPLIFY", "VALUE")

d = 0.1
hydro = in_path + hydro_name
hydroall = in_path + hydro_all
poly_select = out_path + yymm + "_select.shp"
poly_erase = out_path + yymm + "_erase.shp"
poly_final = out_path + yymm + "_final.shp"
poly_layer = out_path + yymm + "_poly.lyr"
hydro_layer = out_path + yymm + "_hydro.lyr"

gp.MakeFeatureLayer(img_poly, poly_layer)
gp.MakeFeatureLayer(hydro, hydro_layer)
Ln: 1 Col: 0

```

```

modDB.py - E:\CCar\Python\Thesis\modDB.py
File Edit Format Run Options Windows Help
#module: modDB
#Pyodbc is a function connect python with database
import pyodbc

def GetPlateLevel(workspace, dbname, yyyy, rp, baseyear):
    cnxn = pyodbc.connect(r'DRIVER={Microsoft Access Driver (*.mdb, *.acdb)};DB
    cursor = cnxn.cursor()
    cursor.execute('select * from plate_level where yyyy = ' + str(baseyear))
    for row in cursor:
        if rp == 170:
            blevel170 = row.ry170yr
        else:
            blevel150 = row.ry500yr
    cursor.execute('select * from plate_level where yyyy = ' + str(yyyy))
    for row in cursor:
        if rp == 170:
            level = row.ry170yr - blevel170
        else:
            level = row.ry500yr - blevel150
    cnxn.close()
    return level

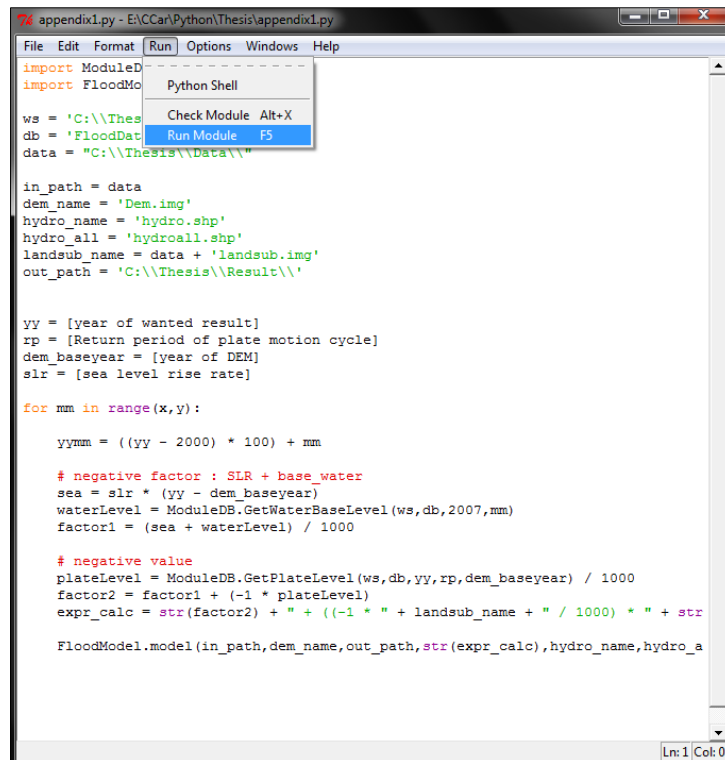
def GetWaterBaseLevel(workspace, dbname, yyyy, mm):
    cnxn = pyodbc.connect(r'DRIVER={Microsoft Access Driver (*.mdb, *.acdb)};DB
    cursor = cnxn.cursor()
    cursor.execute('select * from base_sea_level where yyyy = ' + str(yyyy) + '
    for row in cursor:
        wlevel = row.base_level
    cnxn.close()
    return wlevel
Ln: 1 Col: 0

```

## 5.Run Model

- เปิดหน้า Script A เลือก Run > Run Module (F5)





```

appendix1.py - E:\CCar\Python\Thesis\appendix1.py
File Edit Format Run Options Windows Help
import ModuleD
import FloodMo
Python Shell
Check Module Alt+X
Run Module F5
data = "C:\\Thesis\\Data\\"

in_path = data
dem_name = 'Dem.img'
hydro_name = 'hydro.shp'
hydro_all = 'hydroall.shp'
landsub_name = data + 'landsub.img'
out_path = 'C:\\Thesis\\Result\\'

yy = [year of wanted result]
rp = [Return period of plate motion cycle]
dem_baseyear = [year of DEM]
slr = [sea level rise rate]

for mm in range(x, y):

    yyymm = ((yy - 2000) * 100) + mm

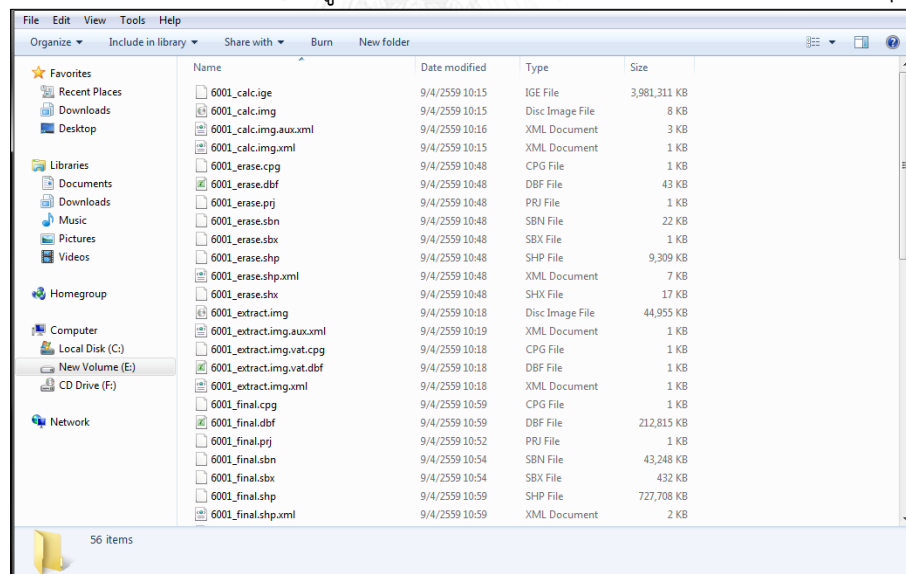
    # negative factor : SLR + base_water
    sea = slr * (yy - dem_baseyear)
    waterLevel = ModuleDB.GetWaterBaseLevel(ws,db,2007,mm)
    factor1 = (sea + waterLevel) / 1000

    # negative value
    plateLevel = ModuleDB.GetPlateLevel(ws,db,yy,rp,dem_baseyear) / 1000
    factor2 = factor1 + (-1 * plateLevel)
    expr_calc = str(factor2) + " + ((-1 * " + landsub_name + " / 1000) * " + str

    FloodModel.model(in_path, dem_name, out_path, str(expr_calc), hydro_name, hydro_a
Ln: 1 Col: 0

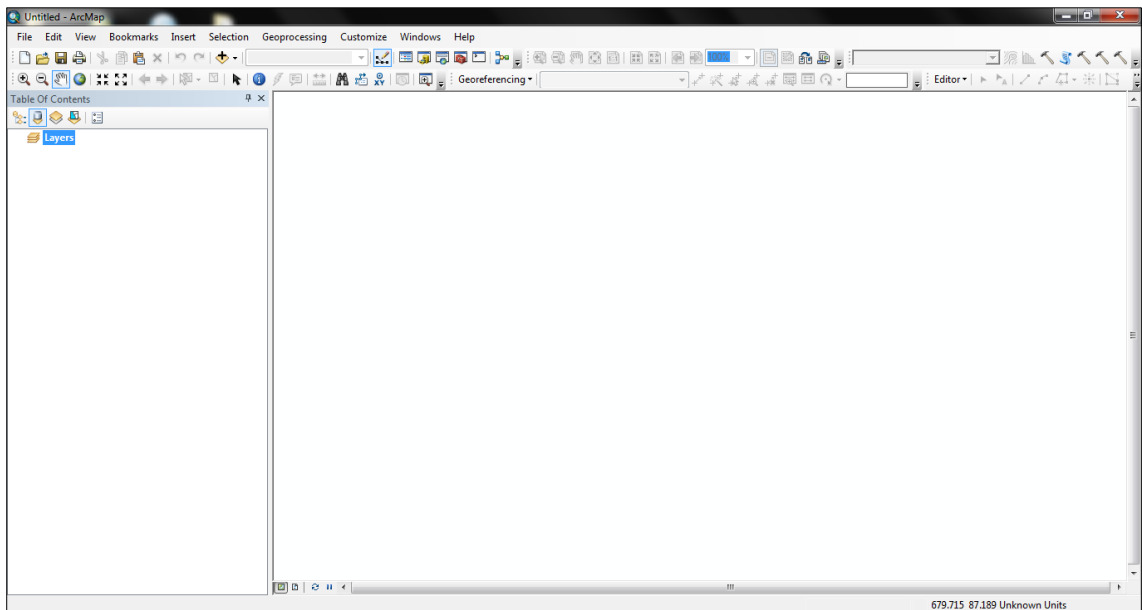
```

- ผลลัพธ์จากการ run แบบจำลองจะถูกจัดเก็บในโฟลเดอร์ตาม Path ที่กำหนดไว้ใน Script A

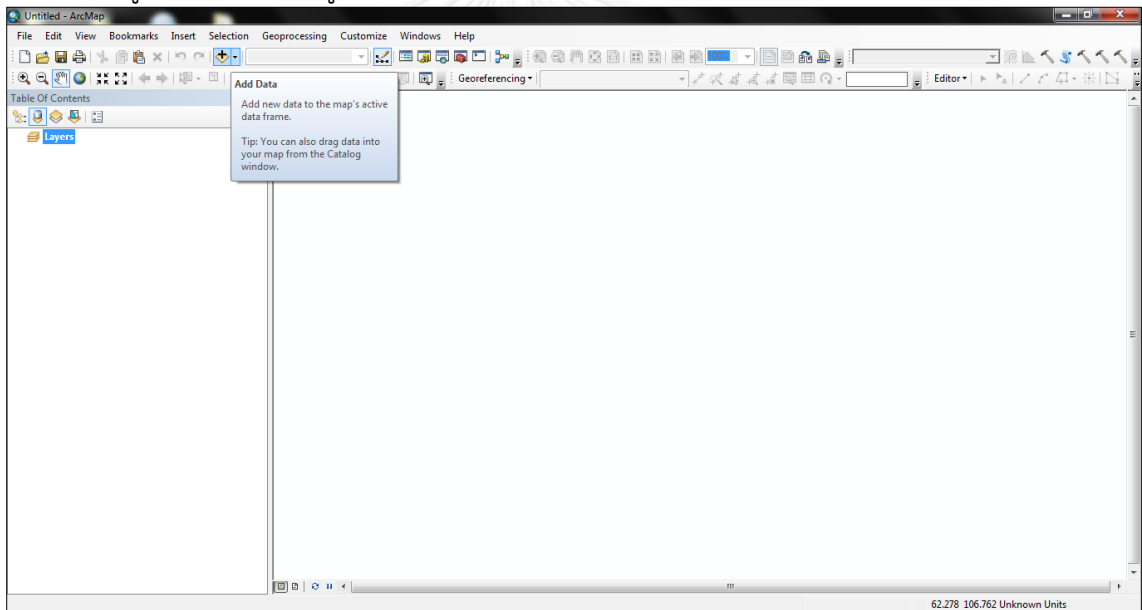


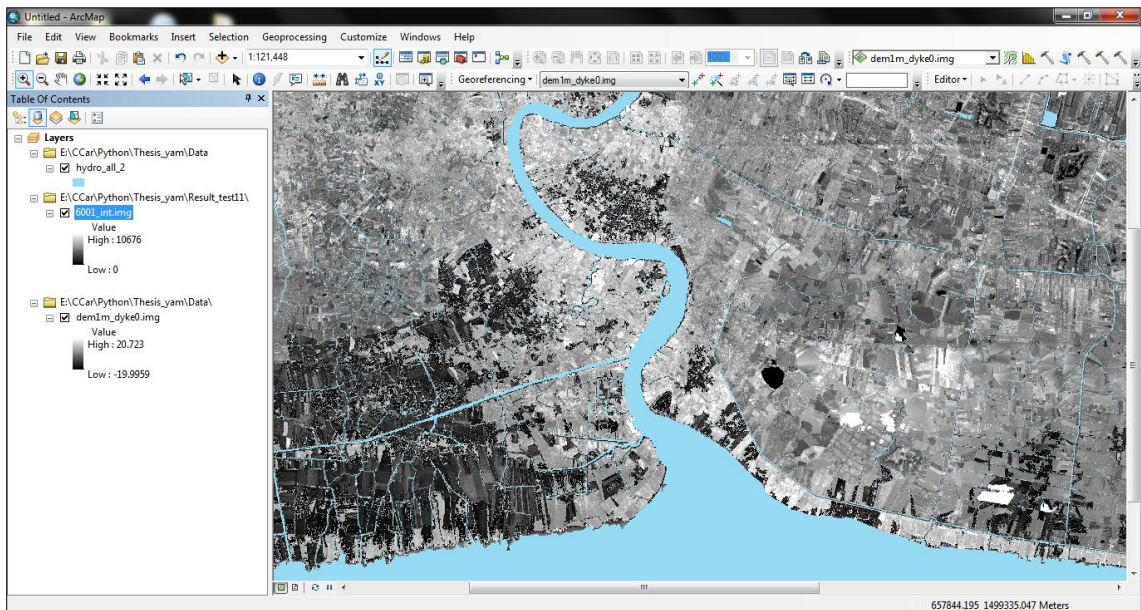
6. แสดงผลใน ArcMap

- เปิดโปรแกรม ArcMap

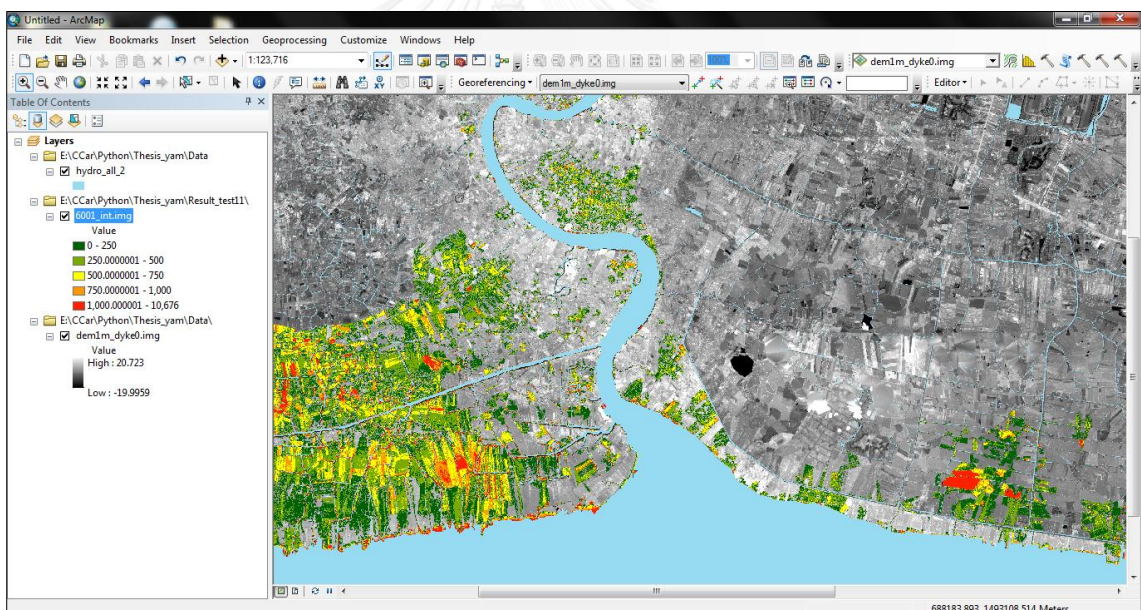


- นำเข้าข้อมูลผลลัพธ์และข้อมูลที่ต้องการแสดงผล





- แบ่งชั้นข้อมูลความสูงของระดับน้ำท่วมเป็น 5 ระดับเพื่อให้สามารถแสดงผลพีชจากแบบจำลองได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



## ภาคผนวก จ ข้อมูลของผู้ให้สัมภาษณ์

ลำดับที่	ชื่อ-สกุลผู้ให้สัมภาษณ์	ตำแหน่งงาน	เบอร์ติดต่อ
1	ดร.ตรีรัช ภูคชสารศีล	ผู้อำนวยการ FEED	081-892-6415
3	พตท.ดำรงศักดิ์ จันทร์ดี	สารวัตรจราจรสภ.บางปู	087-598-3763
4	คุณมหัทศชัย แซ่ตั้ง	หัวหน้างานป้องกันภัยฝ่ายพลเรือนและ บรรเทาสาธารณภัย	081-420-8203
5	คุณเครือวัลย์ พึ่งสาย	แพทย์ประจำตำบลแหลมฟ้าผ่า	081-801-6798
6	คุณณัฐธยาน์ ทองหมื่นศรี	หัวหน้าสำนักปลัด อบต.แหลมฟ้าผ่า	080-770-6935
7	คุณมารุต คชบุรี	พนักงานดับเพลิง อบต.นาเกลือ	096-436-2886
8	คุณธีรชาติ สุทธิประภา	ผู้ช่วยนายช่างเครื่องยนต์ อบต.บ้าน คลองสวน	089-897-1626

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววนิดา เลิศวัฒนมงคล เกิดเมื่อวันอาทิตย์ที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2534 สำเร็จการศึกษาในระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสารสาสน์วิเทศศึกษา จังหวัดสมุทรปราการ เริ่มเข้าศึกษาในระดับปริญญาตรีเมื่อปีพ.ศ. 2552 ในภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2555 โดยมีผลงานทางวิชาการคือ การนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20 เมื่อปี พ.ศ. 2558 ในหัวข้อการจำลองภาพเหตุการณ์น้ำทะเลท่วมบริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จากปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์

วนิดา เลิศวัฒนมงคล, อธิติ ตริสิริสัตยวงศ์ และ พรรณี ชีวินศิริวัฒน์. การจำลองภาพเหตุการณ์น้ำทะเลท่วมบริเวณชายฝั่งกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จากปัจจัยทางธรณีฟิสิกส์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20. 2015.

