

การศึกษาทางคณิตศาสตร์และสถิติของการกัดเซาะชายฝั่ง เพื่อคาดการณ์  
การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในอำเภอบางปะกง (ประเทศไทย)  
MATHEMATICAL AND STATISTICAL STUDIES OF COASTAL  
EROSION TO PREDICT SHORELINE CHANGES IN BANG PAKONG  
DISTRICT (THAILAND)



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาคณิตศาสตร์ประยุกต์  
ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2021-SC-M-001-019

MATHEMATICAL AND STATISTICAL STUDIES OF COASTAL  
EROSION TO PREDICT SHORELINE CHANGES IN BANG PAKONG  
DISTRICT (THAILAND)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE  
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN APPLIED MATHEMATICS  
DEPARTMENT OF MATHEMATICS SCHOOL OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ KMITL-2021-SC-M-001-019 ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

SCHOOL OF SCIENCE

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาทางคณิตศาสตร์และสถิติของการกัดเซาะชายฝั่ง เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในอำเภอ บางปะกง (ประเทศไทย)
ชื่อนักศึกษา	นายสุรัตน์ พูลสวัสดิ์
รหัสประจำตัว	61605025
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชา	คณิตศาสตร์
พ.ศ.	2564
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษยมาส พิมพ์พรรณชาติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณพงษ์ เตรียมโพธิ์

### บทคัดย่อ

การกัดเซาะชายฝั่งเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นทั่วโลก ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศชายฝั่ง การพัฒนาทางเศรษฐกิจและธุรกิจการท่องเที่ยว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของตำบลบางปะกง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ประเทศไทย โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth Pro ช่วงปี 2552–2563 ร่วมกับโปรแกรม R และ โปรแกรม WebPlotDigitizer เป็นเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้ และใช้วิธีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ ชายฝั่ง (Shoreline Change Envelope) การเคลื่อนที่ชายฝั่งสุทธิ (Net Shoreline Movement) อัตราจุดสิ้นสุด (End Point Rate) และอัตราการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Rate) ในการหาการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง และใช้แบบจำลองอัตราจุดสิ้นสุด อัตราการถดถอยเชิงเส้นตรง ในการประยุกต์ใช้ร่วมกับการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี Natural Cubic Spline (NCS) นำมา เปรียบเทียบเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด และนำไปใช้ในการทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่ช่วยตัดสินใจในการวางแผน หรือหาแนวทางป้องกันพื้นที่ชายฝั่งทะเลได้อย่าง เหมาะสม และสามารถนำหลักการของงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ชายฝั่งในสถานที่อื่นได้

**คำสำคัญ :** การทำนายชายฝั่ง การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ อัตราการ เปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

<b>Thesis Title</b>	Mathematical and Statistical Studies of Coastal Erosion to Predict Shoreline Changes in Bang Pakong District (Thailand)
<b>Student Name</b>	Mr. Surat Poolsawat
<b>Student ID</b>	61605025
<b>Degree</b>	Master of Science (Applied Mathematics)
<b>Department</b>	Mathematics
<b>Year</b>	2021
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Dr. Busayamas Pimpunchat
<b>Thesis Co-advisor</b>	Associate Professor Dr. Wannapong Triampo

### Abstract

Coastal erosion is a major problem around the world that affects coastal ecosystems' economic development and tourism business. This research aims to analyze the spatial change in Bang Pakong Subdistrict, Bang Pakong District, Chachoengsao Province, Thailand by using satellite images from Google Earth Pro during 2009-2020 together with the R program and WebPlotDigitizer program. Shoreline Change Envelope (SCE), Net Shoreline Movement (NSM), End Point Rate (EPR), and Linear Regression Rate (LRR) were used to divide coastal changes. The End Point Rate (EPR) and Linear Regression Rate (LRR) models were used in conjunction with the Natural Cubic Spline (NCS) range estimation method, and were compared to determine the most suitable model and used to predict future coastlines. To be used as information to aid in planning decisions or find ways to protect coastal areas appropriately, the principles of this research can be applied to coastal areas in other places.

**Keywords :** Shoreline Prediction, Shoreline Change, Spatial Change, Shoreline Change Rate.

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์หัวข้อ การศึกษาทางคณิตศาสตร์และสถิติของการกัดเซาะชายฝั่ง เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในอำเภอบางปะกง (ประเทศไทย) ที่สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีนี้ ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุษยมาศ พิมพ์พรรณชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.วรรณพงษ์ เตรียมโพธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่คอยให้คำชี้แนะในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ พร้อมทั้งสละเวลาอันมีค่าช่วยตรวจงานและให้คำแนะนำการแก้ปัญหาต่าง ๆ และให้กำลังใจตลอดการดำเนินงานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เบญจวรรณ โรจนดิษฐ์ และอาจารย์บัณฑิตประจำกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกณัฐชวี วัฒนแจ่มศรี ผู้พิจารณาหัวข้อและสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้ความกรุณาชี้แนะแนวทางในการทำงานวิจัยต่าง ๆ ตลอดจนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมคิด อมรสมานกุล กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง กรมอุตุนิยมวิทยา (ศูนย์อุตุนิยมวิทยาทะเล) และสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ศูนย์ความเป็นเลิศด้านคณิตศาสตร์ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ ที่ให้ความรู้ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาคณิตศาสตร์และเจ้าหน้าที่บัณฑิตคณะวิทยาศาสตร์ที่คอยช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในเรื่องเอกสารต่าง ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ให้การช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ กราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าผู้เป็นกำลังใจที่สำคัญในการทำวิทยานิพนธ์

และขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และศูนย์ความเป็นเลิศด้านคณิตศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนทุนการศึกษา

สุรัตน์ พูลสวัสดิ์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำย่อและสัญลักษณ์.....	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ระเบียบงานวิจัย.....	2
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
<b>บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของชายฝั่ง.....	4
2.1.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง.....	5
2.1.1.1 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของชายฝั่ง.....	5
2.1.1.2 การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่แนวชายฝั่ง.....	6
2.1.1.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง.....	7
2.1.2 การทำนายแนวชายฝั่ง.....	8
2.1.2.1 แบบจำลองอัตราจุดสิ้นสุด (End Point Rate).....	8
2.1.2.2 แบบจำลองอัตราการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Rate).....	9
2.1.2.3 การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี Natural Cubic Spline.....	11
2.1.2.4 การประเมินความเหมาะสมของแบบจำลอง.....	18
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>22</b>
3.1 การเตรียมข้อมูล.....	22
3.1.1 ข้อมูลและภาพถ่ายของชายฝั่งจากดาวเทียม.....	23
3.1.2 การสกัดเส้นแนวชายฝั่ง.....	28
3.1.3 การหาพิกัดคู่อันดับสองจุดกับละติจูดของแนวชายฝั่ง.....	28
3.2 การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของชายฝั่ง.....	28
3.2.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง.....	29
3.2.1.1 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของชายฝั่ง.....	29
3.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่แนวชายฝั่ง.....	29
3.2.1.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง.....	29
3.2.2 การทำนายแนวชายฝั่ง.....	29
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>	<b>31</b>
4.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง.....	31
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของชายฝั่ง.....	32
4.1.2 การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่แนวชายฝั่ง.....	32
4.1.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง.....	33
4.2 การทำนายแนวชายฝั่ง.....	34
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>41</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	41
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	42
เอกสารอ้างอิง.....	43
ภาคผนวก.....	46
ประวัติผู้เขียน.....	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางแสดงขั้นตอนของงานวิจัย.....	3
4.1 ลักษณะของอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง.....	33
4.2 เปรียบเทียบชุดข้อมูลในแต่ละช่วงปีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและเปรียบเทียบ วิธีที่ใช้ในการทำนายแนวชายฝั่ง โดยใช้ชุดข้อมูลปี 2561 เป็นปีอ้างอิง.....	35
4.3 แบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS เปรียบเทียบกับแบบจำลองของ E2 ร่วมกับ NCS และใช้ชุดข้อมูลปี 2561 เป็นปีอ้างอิง.....	36
4.4 แบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS เปรียบเทียบกับแบบจำลองของ E2 ร่วมกับ NCS และใช้ชุดข้อมูลปี 2562 เป็นปีอ้างอิง.....	37
4.5 แบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS เปรียบเทียบกับแบบจำลองของ E2 ร่วมกับ NCS และใช้ชุดข้อมูลปี 2563 เป็นปีอ้างอิง.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงองค์ประกอบของวิธีการหาพื้นที่ (พื้นที่สี่เทา) ของชายฝั่ง.....	5
2.2 รูปประกอบของวิธี SCE และ NSM.....	7
2.3 แสดงองค์ประกอบของแนวคิดการนำค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง EPR และ LRR มาเป็นข้อมูลชุดใหม่.....	12
2.4 การประมาณค่าในช่วง.....	12
3.1 แผนผังแสดงภาพรวมวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	22
3.2 พื้นที่ชายฝั่งที่ศึกษา.....	23
3.3 ภาพถ่ายชายฝั่งจากดาวเทียมของ Google Earth Pro.....	24
3.4 ภาพลายเส้นवाद้าที่แปลงโดยใช้โปรแกรม R.....	25
3.5 ไฮไลต์ขอบเส้นแนวชายฝั่งจากโปรแกรม R.....	26
3.6 พิกัดคู่อันดับลองจิจูดกับละติจูดของแนวชายฝั่งจากโปรแกรม WebPlotDigitize.....	27
3.7 กระบวนการของการประยุกต์ใช้การประมาณค่าในช่วงด้วย NCS.....	30
4.1 แนวชายฝั่งปี 2552 ถึงปี 2563.....	31
4.2 ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ชายฝั่ง.....	32
4.3 ปริมาณการเคลื่อนที่แนวชายฝั่งด้วยวิธี SCE และ NSM.....	33
4.4 ปริมาณอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งที่คำนวณด้วยวิธี EPR และ LRR.....	34
4.5 เปรียบเทียบแบบจำลอง E2, L1, E2NCS1 และ L1NCS1 โดยใช้ข้อมูลแนวชายฝั่ง ปี 2561 เป็นปีอ้างอิง.....	38
4.6 เปรียบเทียบแบบจำลอง E2, L1, E2NCS2 และ L1NCS2 โดยใช้ข้อมูลแนวชายฝั่ง ปี 2562 เป็นปีอ้างอิง.....	38
4.7 เปรียบเทียบแบบจำลอง E2, L1, E2NCS3 และ L1NCS3 โดยใช้ข้อมูลแนวชายฝั่ง ปี 2563 เป็นปีอ้างอิง.....	39
4.8 ทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต (ปี 2567) .....	39

## คำย่อและสัญลักษณ์

SCE	การเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนชายฝั่ง (Shoreline Change Envelope) หน่วยเป็นเมตร
NSM	การเคลื่อนที่ชายฝั่งสุทธิ (Net Shoreline Movement) หน่วยเป็นเมตร
EPR	อัตราจุดสิ้นสุด (End Point Rate) หน่วยเป็นเมตรต่อปี
LRR	อัตราการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Rate) หน่วยเป็นเมตรต่อปี
DSAS	ระบบวิเคราะห์เส้นชายฝั่งดิจิทัล (Digital Shoreline Analysis System)
GIS	ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geographic information system)
NCS	การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี Natural Cubic Spline
E1	แบบจำลอง EPR ที่สร้างจากชุดข้อมูลปี 2552–2560
E2	แบบจำลอง EPR ที่สร้างจากชุดข้อมูลปี 2553–2560
E3	แบบจำลอง EPR ที่สร้างจากชุดข้อมูลปี 2554–2560
E4	แบบจำลอง EPR ที่สร้างจากชุดข้อมูลปี 2556–2560
E5	แบบจำลอง EPR ที่สร้างจากชุดข้อมูลปี 2557–2560
E6	แบบจำลอง EPR ที่สร้างจากชุดข้อมูลปี 2558–2560
L1	แบบจำลอง LRR ที่สร้างจากชุดข้อมูลปี 2552–2560
L2	แบบจำลอง LRR ที่สร้างจากชุดข้อมูลปี 2553–2560
L3	แบบจำลอง LRR ที่สร้างจากชุดข้อมูลปี 2554–2560
L4	แบบจำลอง LRR ที่สร้างจากชุดข้อมูลปี 2556–2560
L5	แบบจำลอง LRR ที่สร้างจากชุดข้อมูลปี 2557–2560
L6	แบบจำลอง LRR ที่สร้างจากชุดข้อมูลปี 2558–2560
L1NCS1	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS และทดสอบแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูลปี 2561 เป็นปีอ้างอิง
E2NCS1	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง E2 ร่วมกับ NCS และทดสอบแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูลปี 2561 เป็นปีอ้างอิง
L1NCS2	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS และทดสอบแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูลปี 2562 เป็นปีอ้างอิง
E2NCS2	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง E2 ร่วมกับ NCS และทดสอบแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูลปี 2562 เป็นปีอ้างอิง
L1NCS3	การประยุกต์ใช้แบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS และทดสอบแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูลปี 2563 เป็นปีอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

E2NCS3 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง E2 ร่วมกับ NCS และทดสอบแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูลปี 2563 เป็นปีอ้างอิง

RMSE ค่าความคลาดเคลื่อน Root Mean Square Error (ในการศึกษานี้มีหน่วยเป็นเมตร)

MAPE ค่าความคลาดเคลื่อน Mean Absolute Percentage Error (%)

$R^2$  ค่าความน่าเชื่อถือแบบจำลอง Coefficient of Determination (%)

$R$  ค่ารัศมีโลกมีค่าประมาณ 6,371 กิโลเมตร

$lat_1$  ละติจูดของพิกัดจุดที่หนึ่ง

$lat_2$  ละติจูดของพิกัดจุดที่สอง

$long_1$  ลองจิจูดของพิกัดจุดที่หนึ่ง

$long_2$  ลองจิจูดของพิกัดจุดที่สอง

$D$  ระยะทางระหว่างพิกัดจุดที่หนึ่งกับพิกัดจุดที่สอง หน่วยเป็นกิโลเมตร

$A$  พื้นที่ของชายฝั่ง หน่วยเป็นตารางกิโลเมตร

$L$  ระยะทางระหว่าง transect หน่วยเป็นกิโลเมตร

$l^{(j)}$  ระยะทางระหว่าง onshore baseline ไปยังเส้นแนวชายฝั่งที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นกิโลเมตร

$l^{(j+1)}$  ระยะทางระหว่าง onshore baseline ไปยังเส้นแนวชายฝั่งที่ transect ( $j+1$ ) หน่วยเป็นกิโลเมตร

$s^{(j)}$  ระยะทางการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งด้วยวิธี SCE ที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตร

$f^{(j)}$  ระยะทางของแนวชายฝั่งที่ไกลที่สุดวัดระยะทางจาก onshore baseline ที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตร

$c^{(j)}$  ระยะทางของแนวชายฝั่งที่ไกลที่สุดวัดระยะทางจาก onshore baseline ที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตร

$n^{(j)}$  ระยะทางการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งด้วยวิธี NSM ที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตร

$p^{(j)}$  ระยะทางระหว่างแนวชายฝั่งของปีที่ศึกษาล่าสุด (ปี 2563) กับ onshore baseline ที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตร

$d^{(j)}$  ระยะทางระหว่างแนวชายฝั่งของปีที่เริ่มศึกษา (ปี 2552) กับ onshore baseline ที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตร

$\tilde{y}^{(j)}$  ค่าประมาณตำแหน่งของแนวชายฝั่งของวิธี EPR ที่ transect ( $j$ )

$\tilde{r}^{(j)}$  อัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งของวิธี EPR ที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตรต่อปี

$\tilde{b}^{(j)}$  ค่าประมาณของจุดตัดของแกน  $\tilde{y}^{(j)}$  ที่ transect ( $j$ )

## คำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

$t$	ปีทำนายแนวชายฝั่ง (ใช้กับแบบจำลอง EPR)
$t_i$	ปีทำนายแนวชายฝั่งที่ $i$ (ใช้กับแบบจำลอง LRR)
$v$	ปีของแนวชายฝั่งที่ศึกษาล่าสุด
$u$	ปีของแนวชายฝั่งที่เริ่มต้นศึกษา
$y_i^{(j)}$	ค่าจริงตำแหน่งของแนวชายฝั่งที่ transect ( $j$ )
$\hat{y}_i^{(j)}$	ค่าประมาณตำแหน่งของแนวชายฝั่งของวิธี LRR ที่ transect ( $j$ )
$e_i^{(j)}$	ค่าคลาดเคลื่อนแนวชายฝั่งของตัวที่ $i$ ที่ transect ( $j$ )
$\hat{r}^{(j)}$	อัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งของวิธี LRR ที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตรต่อปี
$\hat{b}^{(j)}$	ค่าประมาณของจุดตัดของแกน $\hat{y}_i^{(j)}$ ที่ transect ( $j$ )
$\varepsilon^{(j)}$	ค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายแนวชายฝั่ง ที่ transect ( $j$ )
$B^{(j)}$	ค่าจริงตำแหน่งของแนวชายฝั่งที่ได้จาก Google Earth Pro ที่ transect ( $j$ )
$a^{(j)}$	ค่าประมาณตำแหน่งของแนวชายฝั่งที่ transect ( $j$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การกัดเซาะชายฝั่งทะเลเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นทั่วโลก ส่งผลกระทบต่อตรงต่อสมดุลทางระบบนิเวศและชายฝั่ง[1–2] และส่งผลกระทบต่อธุรกิจการท่องเที่ยว การพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคม [3–5] ประเทศไทยก็เช่นเดียวกันที่ประสบปัญหาการกัดเซาะชายฝั่ง โดยทางรัฐบาลให้ความสนใจในการกำหนดให้เป็นปัญหาสำคัญที่จะต้องมีการแก้ไขอย่างเร่งด่วนมาอย่างต่อเนื่อง[6] โดยมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมา จากการรายงานข่าวของมติชน พบว่าจากการรวบรวมข้อมูลตั้งแต่ปี 2495–2562 มีพื้นที่ชายฝั่งทะเลที่ประสบปัญหาถูกกัดเซาะเป็นความยาวที่ 794.37 กิโลเมตร จากความยาวชายฝั่งทั้งสิ้น 3,151.13 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 25.21 ของความยาวชายฝั่งประเทศไทย แบ่งเป็นชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย 2,039.78 กิโลเมตร และฝั่งอันดามัน 1,111.35 กิโลเมตร ซึ่งพบว่าพื้นที่ที่ถูกกัดเซาะรุนแรง ระยะทาง 12.87 กิโลเมตร กัดเซาะปานกลาง 28.64 กิโลเมตร พื้นที่กัดเซาะน้อย 50.18 กิโลเมตร[7]

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาปัญหาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งทะเล ของตำบลบางปะกง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งเป็นจังหวัดที่เกิดปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งมาอย่างต่อเนื่อง รวมถึงได้พัฒนาแบบจำลองที่ใช้สำหรับการทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่จะช่วยตัดสินใจในการวางแผน หรือหาแนวทางป้องกัน และแก้ไขพื้นที่ชายฝั่งทะเลได้อย่างเหมาะสม

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของชายฝั่ง การเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่ง และอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง และ 2) การทำนายแนวชายฝั่งโดยการประยุกต์แบบจำลอง EPR และ LRR ร่วมกับการประมาณค่าในช่วงด้วย NCS และเปรียบเทียบแบบจำลองทั้งสอง เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต และเพื่อช่วยตัดสินใจในการวางแผน หรือหาแนวทางป้องกันและแก้ไขพื้นที่ชายฝั่งทะเลได้อย่างเหมาะสม

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) การวิจัยครั้งนี้เลือกศึกษาบริเวณพื้นที่ชายฝั่ง ตำบลบางปะกง อำเภอบางปะกง จังหวัด ฉะเชิงเทรา โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายชายฝั่งจากดาวเทียมของ Google Earth Pro ปี 2552 ถึง 2563 โดยไม่ใช้ข้อมูลของปี 2555 เนื่องจากภาพถ่ายมีส่วนที่เกิดความบดบังของกลุ่มเมฆจึงไม่สามารถใช้ ข้อมูลปีนี้ได้ และใช้โปรแกรม R กับโปรแกรม WebPlotDigitize ในการสกัดและดึงพิกัดของแนว ชายฝั่ง

2) การวิจัยครั้งนี้ใช้ข้อมูลพิกัดลองจิจูดและละติจูดของแนวชายฝั่งเป็นตัวแปรในการตรวจหาการ เปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง โดยไม่ได้นำปัจจัยโดยตรงของคลื่น กระแสน้ำ ทิศทางลม และปัจจัยแวดล้อม อื่น ๆ ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งมาพิจารณา

3) พิกัดลองจิจูดกับละติจูดของงานวิจัยนี้ใช้เป็นแบบของศานตนิยม และศึกษาบริเวณพื้นที่ขอบเขต ลองจิจูดที่ 100.9368 ถึง 100.9548 และละติจูดที่ 13.4604 ถึง 13.4676

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้สามารถบ่งบอกถึงสภาพแวดล้อมของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และสามารถทำนาย การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในอนาคตได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลที่จะช่วยตัดสินใจในการวางแผน หรือ หาแนวทางป้องกันพื้นที่ชายฝั่งทะเลได้อย่างเหมาะสม และสามารถนำหลักการของงานวิจัยนี้ ไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ชายฝั่งในสถานที่อื่นได้

### 1.5 ระเบียบงานวิจัย

- 1) ศึกษาและตั้งหัวข้อปัญหาที่สนใจศึกษา
- 2) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายชายฝั่งจากดาวเทียมของ Google Earth Pro
- 3) ศึกษาการสกัดและดึงพิกัดของแนวชายฝั่งด้วยโปรแกรม R และโปรแกรม WebPlotDigitize
- 4) ศึกษาวิธีการคำนวณเชิงปริมาณของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และพัฒนาแบบจำลอง คณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต
- 5) ตรวจสอบและแก้ไขผลลัพธ์
- 6) สรุปลงและจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงขั้นตอนของงานวิจัย

กิจกรรม	ระยะเวลาในการวิจัย								
	2561		2562				2563		2564
	ส.ค.-ก.ย.	ต.ค.-ธ.ค.	ม.ค.-มี.ค.	เม.ย.-มิ.ย.	ก.ค.-ก.ย.	ต.ค.-ธ.ค.	ม.ค.-มี.ค.	เม.ย.-ธ.ค.	ม.ค.-ก.ค.
1)	←→								
2)		←→							
3)			←→						
4)						←→			
5)							←→		
6)								←→	

### 1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

“การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของชายฝั่ง” ในงานวิจัยนี้คือปริมาณการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ของชายฝั่ง คือ 1) การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง ซึ่งประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของชายฝั่ง การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่แนวชายฝั่ง และอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง และ 2) การทำนายแนวชายฝั่ง

“การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของชายฝั่ง” ในงานวิจัยนี้หมายถึงการเปลี่ยนแปลงฝั่งพื้นดินของชายฝั่ง

## บทที่ 2

# ความรู้พื้นฐานและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้นำเสนอความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยงานวิจัยนี้ได้คำนวณหาปริมาณการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของชายฝั่ง 1) การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของชายฝั่ง การเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งด้วยวิธี SCE กับ NSM และอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งด้วยวิธี EPR กับ LRR และ 2) การทำนายแนวชายฝั่งโดยใช้แบบจำลอง EPR ประยุกต์ร่วมกับการประมาณค่าในช่วงด้วย NCS เพื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลอง LRR ประยุกต์ร่วมกับการประมาณค่าในช่วงด้วย NCS และรวมถึงการประเมินความเหมาะสมของแบบจำลอง ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 2.1 และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อที่ 2.2

### 2.1 การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของชายฝั่ง

ในงานวิจัยนี้มีการคำนวณเชิงปริมาณของการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของชายฝั่ง โดยก่อนอื่นจะแสดงแนวคิดของระยะทางระหว่างจุดสองจุด เพราะเป็นพื้นฐานของการนำไปใช้ต่อในสูตรการคำนวณต่าง ๆ เป็นลำดับถัดไป เนื่องจากระยะทางระหว่างจุดสองจุดบนพื้นผิวโลก (ในที่นี่สมมติว่าเป็นทรงกลม) จึงใช้หลักการของ Haversine ในการคำนวณในงานวิจัยนี้ โดยจะเรียกใช้ฟังก์ชันของโปรแกรม R ในการคำนวณ ซึ่งงานวิจัยนี้จะแสดงสูตรในการคำนวณเพื่อให้มีความเข้าใจเพิ่มขึ้นของการคำนวณระยะทางระหว่างจุดสองจุดบนผิวโลก ดังนี้

กำหนดให้

$R$  คือ รัศมีโลก มีค่าประมาณ 6,371 กิโลเมตร

$lat_1$  คือ ละติจูดของพิกัดจุดที่หนึ่ง

$lat_2$  คือ ละติจูดของพิกัดจุดที่สอง

$long_1$  คือ ลองจิจูดของพิกัดจุดที่หนึ่ง

$long_2$  คือ ลองจิจูดของพิกัดจุดที่สอง

$D$  คือ ระยะทางระหว่างพิกัดจุดที่หนึ่งกับพิกัดจุดที่สอง หน่วยเป็นกิโลเมตร

จะได้ว่าระยะทางระหว่างจุดสองจุดสามารถหาได้จาก

$$D = 2R \times \arcsin(\sqrt{a}) \quad (2.1)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$a = \sin^2 \left( \frac{\pi}{180} \frac{(lat_2 - lat_1)}{2} \right) + \left( \cos \left( \frac{\pi}{180} \times lat_1 \right) \times \cos \left( \frac{\pi}{180} \times lat_2 \right) \times \sin^2 \left( \frac{\pi}{180} \frac{(long_2 - long_1)}{2} \right) \right)$$

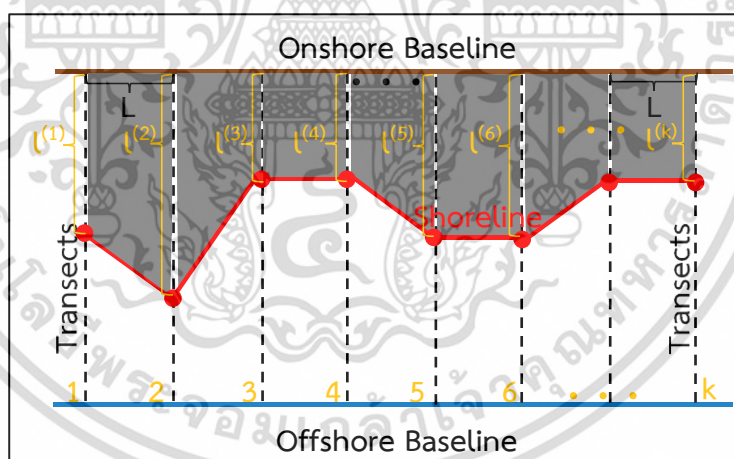
สมการที่ (2.1) จะนำไปใช้ในการหาระยะทางที่เป็นส่วนประกอบในการคำนวณเชิงปริมาณในสูตรต่าง ๆ ที่จะกล่าวในลำดับต่อไปนี้

### 2.1.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

งานวิจัยนี้จะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งด้วย การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของชายฝั่ง การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่แนวชายฝั่ง และอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง

#### 2.1.1.1 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของชายฝั่ง

ปริมาณการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของชายฝั่งเป็นหนึ่งตัวชี้วัดเบื้องต้นได้ว่าพื้นที่ชายฝั่งเกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิมเมื่อผ่านไปในแต่ละช่วงเวลา โดยสามารถพิจารณาวิธีการคำนวณพื้นที่ชายฝั่งจากรูปที่ 2.1 และสมการที่ (2.2)



รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของวิธีการหาพื้นที่ (พื้นที่สี่เหลี่ยม) ของชายฝั่ง

$$A = \frac{L}{2} \sum_{j=1}^{k-1} (l^{(j)} + l^{(j+1)}) \quad (2.2)$$

โดยที่

- A คือ พื้นที่ของชายฝั่ง (พื้นที่สี่เหลี่ยมทั้งหมด รูปที่ 2.1) หน่วยเป็นตารางกิโลเมตร
- L คือ ระยะทางระหว่าง transect ( $j$ ) กับ transect ( $j+1$ ) หน่วยเป็นกิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$l^{(j)}$  คือ ระยะทางระหว่าง onshore baseline ไปยังเส้นแนวชายฝั่งที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นกิโลเมตร

$l^{(j+1)}$  คือ ระยะทางระหว่าง onshore baseline ไปยังเส้นแนวชายฝั่งที่ transect ( $j+1$ ) หน่วยเป็นกิโลเมตร

### 2.1.1.2 การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่แนวชายฝั่ง

การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่แนวชายฝั่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธี SCE และวิธี NSM โดยทั้งสองวิธีนี้จะได้รับการอธิบายดังนี้

วิธี SCE เป็นการคำนวณระยะทางระหว่างแนวชายฝั่งที่อยู่ไกลที่สุดกับแนวชายฝั่งที่อยู่ใกล้ที่สุด โดยวัดจาก onshore baseline ของแต่ละ transect ซึ่งเป็นอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่สำหรับตำแหน่งชายฝั่ง สามารถพิจารณารูปที่ 2.2 (ก) ประกอบเพื่อความเข้าใจยิ่งขึ้น และคำนวณได้จากสมการที่ 2.3

$$s^{(j)} = f^{(j)} - c^{(j)} \quad (2.3)$$

โดยที่

$s^{(j)}$  คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตร

$f^{(j)}$  คือ ระยะทางของแนวชายฝั่งที่ไกลที่สุดวัดระยะทางจาก onshore baseline ที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตร

$c^{(j)}$  คือ ระยะทางของแนวชายฝั่งที่ใกล้ที่สุดวัดระยะทางจาก onshore baseline ที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตร

วิธี NSM เป็นการคำนวณระยะทางระหว่างแนวชายฝั่งของปีที่เริ่มศึกษา (งานวิจัยนี้คือปี 2552) กับแนวชายฝั่งของปีศึกษาล่าสุด (งานวิจัยนี้คือปี 2563) ของแต่ละ transect ซึ่งอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่สุทธิสำหรับแต่ละตำแหน่งของแนวชายฝั่ง ถ้าผลการคำนวณให้ค่าเป็นลบ แสดงว่าบริเวณตำแหน่งนั้นเกิดการกัดเซาะ แต่ถ้าเป็นบวกแสดงว่าบริเวณตำแหน่งนั้นมีการเพิ่มขึ้นของพื้นดิน สามารถพิจารณารูปที่ 2.2 (ข) และคำนวณได้จากสมการที่ 2.4

$$n^{(j)} = p^{(j)} - d^{(j)} \quad (2.4)$$

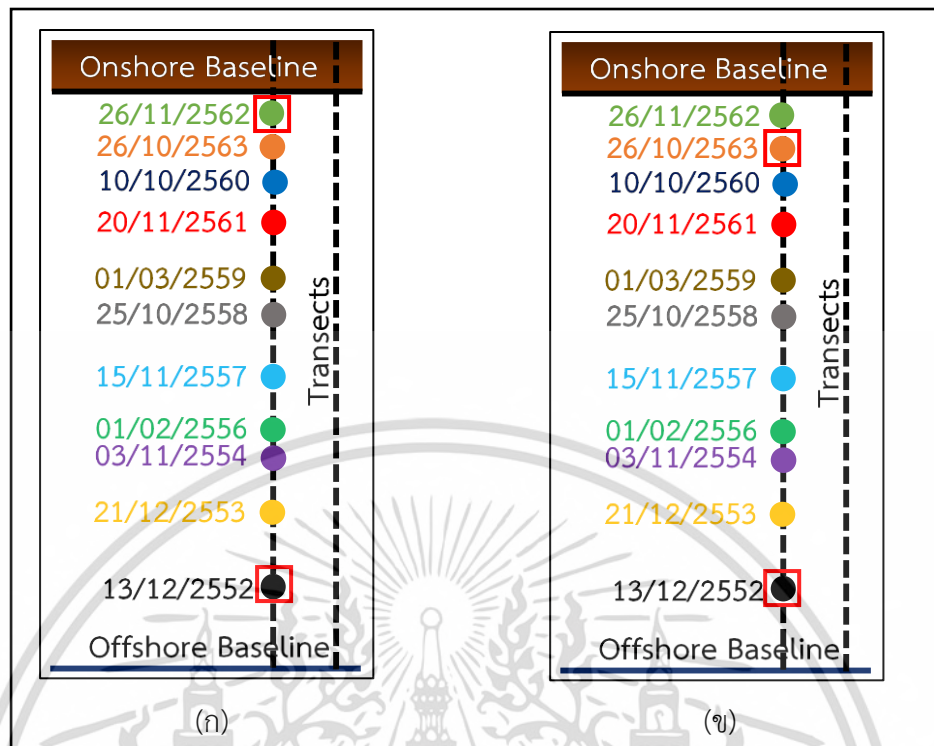
โดยที่

$n^{(j)}$  คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตร

$p^{(j)}$  คือ ระยะทางระหว่างแนวชายฝั่งของปีศึกษาล่าสุด (ปี 2563) กับ onshore baseline ที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตร

$d^{(j)}$  คือ ระยะทางระหว่างแนวชายฝั่งของปีที่เริ่มศึกษา (ปี 2552) กับ onshore baseline ที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 รูปประกอบของวิธี SCE และ NSM

### 2.1.1.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง โดยงานวิจัยนี้ใช้วิธี EPR และ LRR ทั้งสองวิธีนี้จะกล่าวอย่างละเอียดถึงวิธีการคำนวณในหัวข้อของการทำนายแนวชายฝั่ง แต่จะให้ทราบก่อนว่าการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งด้วยวิธี EPR และ LRR สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.24) ตามลำดับ

### 2.1.2 การทำนายแนวชายฝั่ง

การทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลอง EPR และ LRR ซึ่งทั้งสองแบบจำลองนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม เนื่องจากแบบจำลองไม่ค่อยมีความซับซ้อน และไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ปัจจัยอย่างเช่น คลื่น กระแสน้ำมาคำนวณในแบบจำลอง โดยผลลัพธ์ที่ได้ของแบบจำลองจะเป็นตำแหน่งของแนวชายฝั่ง[8] ซึ่งแบบจำลองทั้งสองสามารถอธิบายได้ดังนี้

#### 2.1.2.1 แบบจำลองอัตราจุดสิ้นสุด (End Point Rate)

แบบจำลอง EPR มีสมการที่ใช้คำนวณคือ

$$\hat{y}^{(j)} = \hat{r}^{(j)}t + \hat{b}^{(j)} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

$\tilde{y}^{(j)}$  คือ ค่าประมาณตำแหน่งของแนวชายฝั่งที่ transect ( $j$ )

$\tilde{r}^{(j)}$  คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตรต่อปี

$t$  คือ ปีทำนายแนวชายฝั่ง

$\tilde{b}^{(j)}$  คือ ค่าประมาณของจุดตัดของแกน  $\tilde{y}^{(j)}$  ที่ transect ( $j$ )

จากสมการที่ (2.5) จะหาสัมประสิทธิ์ของ  $\tilde{r}^{(j)}$  และ  $\tilde{b}^{(j)}$  ตามลำดับ ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้  
ค่าสัมประสิทธิ์ของ  $\tilde{r}^{(j)}$  จากสมการที่ (2.5) สามารถหาได้จาก

$$\tilde{r}^{(j)} = \frac{p^{(j)} - d^{(j)}}{v - u} \quad (2.6)$$

โดยที่

$v$  คือ ปีของแนวชายฝั่งที่ศึกษาล่าสุด

$u$  คือ ปีของแนวชายฝั่งที่เริ่มต้นศึกษา

ในลำดับถัดไปจะพิจารณาการหาค่าสัมประสิทธิ์ของ  $\tilde{b}^{(j)}$  โดยใช้สมการที่ (2.6) มาพิจารณา จะได้ว่า

$$\tilde{r}^{(j)}(v - u) = p^{(j)} - d^{(j)} \quad (2.7)$$

นำสมการที่ (2.7) กระจายพจน์ของ  $\tilde{r}^{(j)}$  ไปยังพจน์  $(v - u)$  จะได้

$$\tilde{r}^{(j)}v - \tilde{r}^{(j)}u = p^{(j)} - d^{(j)} \quad (2.8)$$

นำสมการที่ (2.8) จัดรูปใหม่ได้เป็น

$$d^{(j)} - \tilde{r}^{(j)}u = p^{(j)} - \tilde{r}^{(j)}v \quad (2.9)$$

เนื่องจากสมการที่ (2.5)  $\tilde{y}^{(j)} = \tilde{r}^{(j)}t + \tilde{b}^{(j)}$  จะย้ายข้างสมการเพื่อหาค่าของ  $\tilde{b}^{(j)}$  จะได้

$$\tilde{b}^{(j)} = \tilde{y}^{(j)} - \tilde{r}^{(j)}t \quad (2.10)$$

จากสมการที่ (2.9) จะพบว่าพจน์ฝั่งซ้ายของเครื่องหมายเท่ากับคือ  $d^{(j)} - \tilde{r}^{(j)}u$  และพจน์ฝั่งขวาของ  
เครื่องหมายเท่ากับคือ  $p^{(j)} - \tilde{r}^{(j)}v$  เมื่อพิจารณาร่วมกับสมการที่ (2.10) จะได้ว่า

$$\tilde{b}^{(j)} = d^{(j)} - \tilde{r}^{(j)}u \quad (2.11)$$

และ

$$\tilde{b}^{(j)} = p^{(j)} - \tilde{r}^{(j)}v \quad (2.12)$$

ดังนั้นค่าของ  $\tilde{b}^{(j)}$  สามารถหาได้จากสมการที่ (2.11) และ (2.12) ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้จะใช้สมการ  
ที่ (2.12) ในการหาค่าของ  $\tilde{b}^{(j)}$  และนำสมการที่ (2.6) และ (2.12) แทนในสมการที่ (2.5) จะได้

$$\tilde{y}^{(j)} = \left( \frac{p^{(j)} - d^{(j)}}{v - u} \right) t + \left( p^{(j)} - \left( \frac{p^{(j)} - d^{(j)}}{v - u} \right) v \right) \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดึงตัวร่วม  $\left(\frac{p^{(j)} - d^{(j)}}{v - u}\right)$  ของสมการที่ (2.13) จะได้

$$\hat{y}^{(j)} = \left(\frac{p^{(j)} - d^{(j)}}{v - u}\right)(t - v) + p^{(j)} \quad (2.14)$$

ดังนั้นแบบจำลอง EPR สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.14)

### 2.1.2.2 แบบจำลองอัตราการถดถอยเชิงเส้นตรง (Linear Regression Rate)

แบบจำลอง LRR ใช้หลักการของการถดถอยเชิงเส้นตรง เป็นการประมาณค่าการหาเส้นสมการที่เหมาะสมด้วยวิธีถดถอยอันดับสองน้อยที่สุด (Least Square Approximation) นั่นคือการใช้สมการเส้นตรงเพื่อประมาณค่าเซตของจุดหรือข้อมูล [9] ซึ่งมีหลักการคือ

$$\text{ค่าจริง} = \text{ค่าประมาณ} + \text{ค่าคลาดเคลื่อน} \quad (2.15)$$

จากสมการที่ (2.15) สามารถเขียนให้อยู่ของตัวแปรทางคณิตศาสตร์ โดยที่ค่าจริงคือ  $y_i^{(j)}$

ค่าประมาณคือ  $\hat{y}_i^{(j)}$  และค่าคลาดเคลื่อนคือ  $e_i^{(j)}$  สามารถเขียนได้เป็น

$$y_i^{(j)} = \hat{y}_i^{(j)} + e_i^{(j)} \quad (2.16)$$

กำหนดให้ค่าประมาณ  $\hat{y}_i^{(j)}$  คือ

$$\hat{y}_i^{(j)} = \hat{r}^{(j)}t_i + \hat{b}^{(j)} \quad (2.17)$$

นำสมการที่ (2.17) แทนในสมการที่ (2.16) จะได้

$$y_i^{(j)} = \hat{r}^{(j)}t_i + \hat{b}^{(j)} + e_i^{(j)} \quad (2.18)$$

โดยที่

$y_i^{(j)}$  คือ ค่าจริงตำแหน่งของแนวชายฝั่งที่ transect ( $j$ )

$\hat{r}^{(j)}$  คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งที่ transect ( $j$ ) หน่วยเป็นเมตรต่อปี

$t_i$  คือ ปีทำนายแนวชายฝั่งที่  $i$

$\hat{b}^{(j)}$  คือ ค่าประมาณของจุดตัดของแกน  $\hat{y}_i^{(j)}$  ที่ transect ( $j$ )

$e_i^{(j)}$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนแนวชายฝั่งของตัวที่  $i$  ที่ transect ( $j$ )

จากสมการที่ (2.18) จะได้ค่าคลาดเคลื่อนของการประมาณค่าคือ

$$e_i^{(j)} = y_i^{(j)} - \hat{b}^{(j)} - \hat{r}^{(j)}t_i \quad (2.19)$$

เนื่องจากต้องการให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด จึงนำสมการที่ (2.19) ยกกำลังสองทั้งสองข้างของสมการจะได้

$$(e_i^{(j)})^2 = (y_i^{(j)} - \hat{b}^{(j)} - \hat{r}^{(j)}t_i)^2 \quad (2.20)$$

จากสมการที่ (2.20) เป้าหมายคือผลรวมของค่าคลาดเคลื่อนยกกำลังสองต่ำที่สุด นั่นคือทำให้  $\sum_{i=1}^m (e_i^{(j)})^2$  มีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นจึงใช้อนุพันธ์เชิงส่วน (Partial Derivative) เทียบกับ  $\hat{b}^{(j)}$  และ  $\hat{r}^{(j)}$  ตามลำดับแล้วให้เท่ากับศูนย์ ดังนี้

หาสัมประสิทธิ์ของ  $\hat{b}^{(j)}$  จะได้

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \hat{b}^{(j)}} \left[ \sum_{i=1}^m (y_i^{(j)} - \hat{y}_i^{(j)})^2 \right] &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial \hat{b}^{(j)}} \left[ \sum_{i=1}^m (y_i^{(j)} - \hat{b}^{(j)} - \hat{r}^{(j)} t_i)^2 \right] &= 0 \\ -2 \sum_{i=1}^m (y_i^{(j)} - \hat{b}^{(j)} - \hat{r}^{(j)} t_i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} - \sum_{i=1}^m \hat{b}^{(j)} - \sum_{i=1}^m \hat{r}^{(j)} t_i &= 0 \\ \sum_{i=1}^m \hat{b}^{(j)} &= \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} - \sum_{i=1}^m \hat{r}^{(j)} t_i \\ m \hat{b}^{(j)} &= \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} - \hat{r}^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i \\ \hat{b}^{(j)} &= \frac{\sum_{i=1}^m y_i^{(j)}}{m} - \frac{\hat{r}^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i}{m} \end{aligned} \quad (2.21)$$

หาสัมประสิทธิ์ของ  $\hat{r}^{(j)}$  จะได้

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \hat{r}^{(j)}} \left[ \sum_{i=1}^m (y_i^{(j)} - \hat{y}_i^{(j)})^2 \right] &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial \hat{r}^{(j)}} \left[ \sum_{i=1}^m (y_i^{(j)} - \hat{b}^{(j)} - \hat{r}^{(j)} t_i)^2 \right] &= 0 \\ -2 t_i \sum_{i=1}^m (y_i^{(j)} - \hat{b}^{(j)} - \hat{r}^{(j)} t_i) &= 0 \\ \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} t_i - \sum_{i=1}^m \hat{r}^{(j)} t_i^2 - \sum_{i=1}^m \hat{b}^{(j)} t_i &= 0 \\ \sum_{i=1}^m \hat{r}^{(j)} t_i^2 &= \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} t_i - \sum_{i=1}^m \hat{b}^{(j)} t_i \\ \hat{r}^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i^2 &= \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} t_i - \hat{b}^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i \end{aligned} \quad (2.22)$$

แทนค่าของ  $\hat{b}^{(j)}$  ที่ได้จากสมการ (2.21) ในสมการที่ (2.22) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
\hat{r}^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i^2 &= \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} t_i - \left( \frac{\sum_{i=1}^m y_i^{(j)}}{m} - \frac{\hat{r}^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i}{m} \right) \sum_{i=1}^m t_i \\
\hat{r}^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i^2 &= \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} t_i - \frac{\sum_{i=1}^m y_i^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i}{m} + \frac{\hat{r}^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i \sum_{i=1}^m t_i}{m} \\
\hat{r}^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i^2 - \frac{\hat{r}^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i \sum_{i=1}^m t_i}{m} &= \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} t_i - \frac{\sum_{i=1}^m y_i^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i}{m}
\end{aligned} \tag{2.23}$$

คูณ  $m$  เข้าตลอดทั้งสองข้างของสมการที่ (2.23) จะได้

$$\begin{aligned}
m\hat{r}^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i^2 - \hat{r}^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i^2 \sum_{i=1}^m t_i &= m \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} t_i - \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i \\
\hat{r}^{(j)} \left( m \sum_{i=1}^m t_i^2 - \left( \sum_{i=1}^m t_i \right)^2 \right) &= m \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} t_i - \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i \\
\hat{r}^{(j)} &= \frac{m \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} t_i - \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i}{m \sum_{i=1}^m t_i^2 - \left( \sum_{i=1}^m t_i \right)^2}
\end{aligned} \tag{2.24}$$

นำสมการที่ (2.21) และ (2.24) แทนในสมการที่ (2.17) จะได้

$$\hat{y}_i^{(j)} = \left( \frac{m \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} t_i - \sum_{i=1}^m y_i^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i}{m \sum_{i=1}^m t_i^2 - \left( \sum_{i=1}^m t_i \right)^2} \right) t_i + \left( \frac{\sum_{i=1}^m y_i^{(j)}}{m} - \frac{\hat{r}^{(j)} \sum_{i=1}^m t_i}{m} \right) \tag{2.25}$$

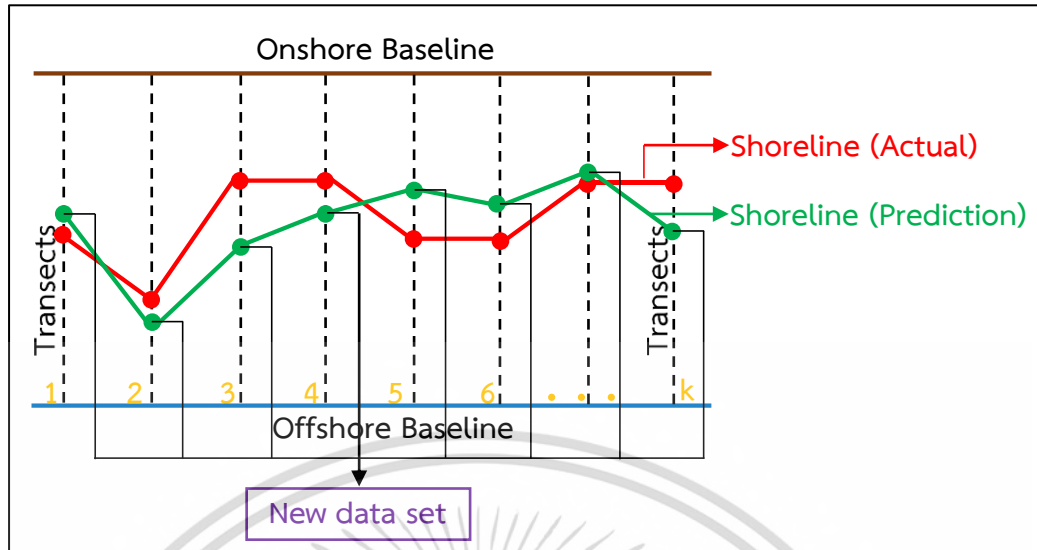
โดยที่  $m$  คือ จำนวนข้อมูล

ดังนั้นแบบจำลอง LRR สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.25)

### 2.1.2.3 การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี Natural Cubic Spline

หลังจากได้ค่าทำนายตำแหน่งของแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง EPR และ LRR แล้ว งานวิจัยนี้ จะให้เป็นข้อมูลชุดใหม่ (แสดงดังรูปที่ 2.3) และจะนำไปประยุกต์ใช้ด้วยการประมาณค่าในช่วงวิธี NCS ซึ่งมีหลักการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงองค์ประกอบของแนวคิดการนำค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง EPR และ LRR มาเป็นข้อมูลชุดใหม่

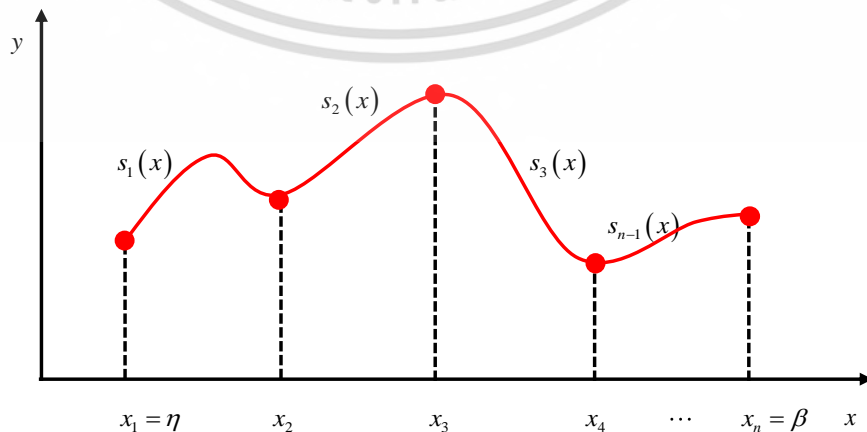
การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี NCS เป็นการประมาณค่าระหว่างจุด ในแต่ละช่วงของสองจุดข้อมูลที่ติดกัน โดยกำหนดให้ฟังก์ชัน  $y$  นิยามบนช่วง  $[\eta, \beta]$  และมีเซตของจุด  $\eta = x_1 < x_2 < \dots < x_n = \beta$  สามารถดูรูปประกอบที่ 2.4 และตัวประมาณกำลังสาม  $S$  ของ  $y$  เขียนได้ดังนี้

$$S(x) = \begin{cases} s_1(x) & \text{if } x_1 \leq x < x_2 \\ s_2(x) & \text{if } x_2 \leq x < x_3 \\ \vdots & \\ s_{n-1}(x) & \text{if } x_{n-1} \leq x < x_n \end{cases} \quad (2.26)$$

โดยที่  $s_i(x)$  เป็นพหุนามดีกรีสามที่กำหนดโดย[10]

$$s_i(x) = a_i(x-x_i)^3 + b_i(x-x_i)^2 + c_i(x-x_i) + d_i \quad (2.27)$$

สำหรับ  $i = 1, 2, \dots, n-1$



รูปที่ 2.4 การประมาณค่าในช่วง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาคู่เท่านั้น มิได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี NCS มีเงื่อนไขดังนี้

1) เนื่องจากฟังก์ชันที่ละส่วน  $S(x)$  จะผ่านจุดข้อมูลทั้งหมด สามารถเขียนได้ว่า

$$S(x_i) = y_i$$

สำหรับ  $i = 1, 2, \dots, n-1$  และเนื่องจาก  $x_i \in [x_i, x_{i+1}]$  จะได้ว่า

$$S(x_i) = s_i(x_i)$$

$$y_i = s_i(x_i)$$

$$y_i = a_i(x_i - x_i)^3 + b_i(x_i - x_i)^2 + c_i(x_i - x_i) + d_i$$

$$y_i = d_i \quad (2.28)$$

2) ค่าของฟังก์ชันสองฟังก์ชันที่ต่อกันจะเท่ากันที่จุดต่อ จะได้ว่า

$$s_i(x_i) = s_{i-1}(x_i) \quad (2.29)$$

สำหรับ  $i = 2, 3, \dots, n$

จากสมการที่ (2.29) จะได้

$$a_i(x_i - x_i)^3 + b_i(x_i - x_i)^2 + c_i(x_i - x_i) + d_i = a_{i-1}(x_i - x_{i-1})^3 + b_{i-1}(x_i - x_{i-1})^2 + c_{i-1}(x_i - x_{i-1}) + d_{i-1}$$

ดังนั้น

$$d_i = a_{i-1}(x_i - x_{i-1})^3 + b_{i-1}(x_i - x_{i-1})^2 + c_{i-1}(x_i - x_{i-1}) + d_{i-1} \quad (2.30)$$

สำหรับ  $i = 2, 3, \dots, n-1$

กำหนดให้  $h_i = x_i - x_{i-1}$  แทนในสมการที่ (2.30) จะได้เป็น

$$d_i = a_{i-1}h_i^3 + b_{i-1}h_i^2 + c_{i-1}h_i + d_{i-1} \quad (2.31)$$

สำหรับ  $i = 2, 3, \dots, n-1$

3) อนุพันธ์อันดับหนึ่งของฟังก์ชันสองฟังก์ชันที่ต่อกันจะเท่ากันที่จุดต่อ

พิจารณา  $s'_i(x)$  จะได้เป็น

$$s'_i(x) = 3a_i(x - x_i)^2 + 2b_i(x - x_i) + c_i \quad (2.32)$$

เนื่องจากอนุพันธ์อันดับหนึ่งของฟังก์ชันสองฟังก์ชันที่ต่อกันจะเท่ากันที่จุดต่อ จะได้ว่า

$$s'_i(x_i) = s'_{i-1}(x_i) \quad (2.33)$$

$$3a_i(x_i - x_i)^2 + 2b_i(x_i - x_i) + c_i = 3a_{i-1}(x_i - x_{i-1})^2 + 2b_{i-1}(x_i - x_{i-1}) + c_{i-1}$$

ดังนั้น

$$c_i = 3a_{i-1}(x_i - x_{i-1})^2 + 2b_{i-1}(x_i - x_{i-1}) + c_{i-1} \quad (2.34)$$

กำหนดให้  $h_i = x_i - x_{i-1}$  แทนในสมการที่ (2.34) จะได้เป็น

$$c_i = 3a_{i-1}h_i^2 + 2b_{i-1}h_i + c_{i-1} \quad (2.35)$$

สำหรับ  $i = 2, 3, \dots, n-1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) อนุพันธ์อันดับสองของฟังก์ชันสองฟังก์ชันที่ต่อกันจะเท่ากันที่จุดต่อ

พิจารณา  $s_i''(x)$  จะได้เป็น

$$s_i''(x) = 6a_i(x - x_i) + 2b_i \quad (2.36)$$

เนื่องจากอนุพันธ์อันดับสองของฟังก์ชันสองฟังก์ชันที่ต่อกันจะเท่ากันที่จุดต่อ จะได้ว่า

$$s_i''(x_i) = s_{i-1}''(x_i) \quad (2.37)$$

พิจารณา  $s_{i-1}''(x_i)$  จะได้

$$s_{i-1}''(x_i) = 6a_{i-1}(x_i - x_{i-1}) + 2b_{i-1} \quad (2.38)$$

และพิจารณา  $s_i''(x_i)$  จะได้

$$\begin{aligned} s_i''(x_i) &= 6a_i(x_i - x_i) + 2b_i \\ s_i''(x_i) &= 2b_i \end{aligned} \quad (2.39)$$

จากสมการที่ (2.37);  $s_i''(x_i) = s_{i-1}''(x_i)$  จะได้สมการที่ (2.38) เท่ากับสมการที่ (2.39) นั่นคือ

$$2b_i = 6a_{i-1}(x_i - x_{i-1}) + 2b_{i-1} \quad (2.40)$$

กำหนดให้  $h_i = x_i - x_{i-1}$  แทนในสมการที่ (2.40) จะได้เป็น

$$2b_i = 6a_{i-1}h_i + 2b_{i-1} \quad (2.41)$$

สำหรับ  $i = 2, 3, \dots, n-1$

เพื่อให้ง่ายต่อการหาค่าของสัมประสิทธิ์  $a_i, b_i$  และ  $c_i$  กำหนดให้  $s_i''(x_i) = M_i$  จะได้ว่า

$$\begin{aligned} 2b_i &= M_i \\ b_i &= \frac{M_i}{2} \end{aligned} \quad (2.42)$$

สำหรับ  $i = 2, 3, \dots, n-1$

ขณะนี้ได้ค่าของ  $b_i$  (จากสมการที่ (2.41)) และ ค่า  $d_i$  (จากสมการที่ (2.28)) ในลำดับถัดไปจะ

พิจารณาการหาค่าของ  $a_i$  และ  $c_i$  ตามลำดับดังนี้

พิจารณาการหาค่าสัมประสิทธิ์  $a_i$  โดยใช้สมการที่ (2.41) จะได้

$$\begin{aligned} 6a_{i-1}h_i &= 2b_i - 2b_{i-1} \\ a_{i-1} &= \frac{2b_i - 2b_{i-1}}{6h_i} \\ a_i &= \frac{2b_{i+1} - 2b_i}{6h_{i+1}} \end{aligned} \quad (2.43)$$

แทนค่าของ  $b_i = \frac{M_i}{2}$  และ  $b_{i+1} = \frac{M_{i+1}}{2}$  ในสมการที่ (2.43) จะได้

$$a_i = \frac{2\left(\frac{M_{i+1}}{2}\right) - 2\left(\frac{M_i}{2}\right)}{6h_{i+1}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$a_i = \frac{M_{i+1} - M_i}{6h_{i+1}} \quad (2.44)$$

สำหรับ  $i = 2, 3, \dots, n-1$

พิจารณาการหาค่าสัมประสิทธิ์  $c_i$  โดยใช้สมการที่ (2.31) จะได้

$$\begin{aligned} c_{i-1}h_i &= -a_{i-1}h_i^3 - b_{i-1}h_i^2 - d_{i-1} + d_i \\ c_{i-1} &= \frac{-a_{i-1}h_i^3 - b_{i-1}h_i^2 - d_{i-1} + d_i}{h_i} \\ c_i &= \frac{-a_i h_{i+1}^3 - b_i h_{i+1}^2 - d_i + d_{i+1}}{h_{i+1}} \end{aligned} \quad (2.45)$$

แทนค่า  $a_i = \frac{M_{i+1} - M_i}{6h_{i+1}}$ ,  $b_i = \frac{M_i}{2}$ ,  $d_i = y_i$  และ  $d_{i+1} = y_{i+1}$  ลงในสมการที่ (2.45) จะได้

$$\begin{aligned} c_i &= \frac{-\left(\frac{M_{i+1} - M_i}{6h_{i+1}}\right)h_{i+1}^3 - \left(\frac{M_i}{2}\right)h_{i+1}^2 - y_i + y_{i+1}}{h_{i+1}} \\ c_i &= -\left(\frac{M_{i+1} - M_i}{6}\right)h_{i+1} - \frac{M_i}{2}h_{i+1} - \frac{y_i}{h_{i+1}} + \frac{y_{i+1}}{h_{i+1}} \\ c_i &= \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}}\right) - \left(\left(\frac{M_{i+1} - M_i}{6}\right)h_{i+1} + \frac{3M_i}{6}h_{i+1}\right) \\ c_i &= \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}}\right) - \frac{(M_{i+1} - M_i + 3M_i)h_{i+1}}{6} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$c_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{(M_{i+1} + 2M_i)h_{i+1}}{6} \quad (2.46)$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์ของ  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  และ  $d_i$  สามารถหาได้จาก

$$\begin{aligned} a_i &= \frac{M_{i+1} - M_i}{6h_{i+1}} \\ b_i &= \frac{M_i}{2} \end{aligned} \quad (2.47)$$

$$c_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{(M_{i+1} + 2M_i)h_{i+1}}{6}$$

$$d_i = y_i$$

ระบบสมการนี้สามารถทำให้ง่ายขึ้น โดยการจัดให้อยู่ในรูปแบบเมทริกซ์ ซึ่งใช้สมการที่ (2.35) นั่นคือ

$$c_i = 3a_{i-1}h_i^2 + 2b_{i-1}h_i + c_{i-1}$$

ทำการปรับตรรกะนี้เพื่อแทนค่าของ  $a_i$ ,  $b_i$  และ  $c_i$  จะได้เป็น

$$c_{i+1} = 3a_i h_{i+1}^2 + 2b_i h_{i+1} + c_i$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
\frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{h_{i+2}} - \frac{(M_{i+2} + 2M_{i+1})}{6} h_{i+2} &= 3 \left( \frac{M_{i+1} - M_i}{6h_{i+1}} \right) h_{i+1}^2 + 2 \left( \frac{M_i}{2} \right) h_{i+1} \\
&\quad + \left( \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} \right) - \frac{(M_{i+1} + 2M_i)}{6} h_{i+1} \\
3 \left( \frac{M_{i+1} - M_i}{6h_{i+1}} \right) h_{i+1}^2 + 6 \left( \frac{M_i}{6} \right) h_{i+1} - \frac{(M_{i+1} + 2M_i)}{6} h_{i+1} + \frac{(M_{i+2} + 2M_{i+1})}{6} h_{i+2} &= \frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{h_{i+2}} \\
&\quad - \left( \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} \right) \\
(3(M_{i+1} - M_i) + 6M_i - (M_{i+1} + 2M_i)) \frac{h_{i+1}}{6} + (M_{i+2} + 2M_{i+1}) \frac{h_{i+2}}{6} &= \frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{h_{i+2}} - \left( \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} \right) \\
(3M_{i+1} - 3M_i + 6M_i - M_{i+1} - 2M_i) \frac{h_{i+1}}{6} + (M_{i+2} + 2M_{i+1}) \frac{h_{i+2}}{6} &= \frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{h_{i+2}} - \left( \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} \right) \\
(M_i + 2M_{i+1}) \frac{h_{i+1}}{6} + (M_{i+2} + 2M_{i+1}) \frac{h_{i+2}}{6} &= \frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{h_{i+2}} - \left( \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} \right) \\
(M_i + 2M_{i+1}) h_{i+1} + (M_{i+2} + 2M_{i+1}) h_{i+2} &= 6 \left( \frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{h_{i+2}} - \left( \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} \right) \right) \\
h_{i+1} M_i + 2(h_{i+1} + h_{i+2}) M_{i+1} + h_{i+2} M_{i+2} &= 6 \left( \frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{h_{i+2}} - \left( \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} \right) \right) \tag{2.48}
\end{aligned}$$

กำหนดให้  $\alpha_i = 2(h_{i+1} + h_{i+2})$  และแทนในสมการที่ (2.48) จะได้

$$h_{i+1} M_i + \alpha_i M_{i+1} + h_{i+2} M_{i+2} = 6 \left( \frac{y_{i+2} - y_{i+1}}{h_{i+2}} - \left( \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} \right) \right) \tag{2.49}$$

สำหรับ  $i = 1, 2, \dots, n-1$

เขียนสมการที่ (2.49) ให้อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์จะได้

$$\begin{bmatrix} h_2 & \alpha_1 & h_3 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_3 & \alpha_2 & h_4 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_4 & \alpha_3 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & \alpha_{n-4} & h_{n-2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & h_{n-2} & \alpha_{n-3} & h_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & h_{n-1} & \alpha_{n-2} & h_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \\ \vdots \\ M_{n-3} \\ M_{n-2} \\ M_{n-1} \\ M_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{y_3 - y_2}{h_3} - \frac{(y_2 - y_1)}{h_2} \\ \frac{y_4 - y_3}{h_4} - \frac{(y_3 - y_2)}{h_3} \\ \frac{y_5 - y_4}{h_5} - \frac{(y_4 - y_3)}{h_4} \\ \vdots \\ \frac{y_{n-2} - y_{n-3}}{h_{n-2}} - \frac{(y_{n-3} - y_{n-4})}{h_{n-3}} \\ \frac{y_{n-1} - y_{n-2}}{h_{n-1}} - \frac{(y_{n-2} - y_{n-3})}{h_{n-2}} \\ \frac{y_n - y_{n-1}}{h_n} - \frac{(y_{n-1} - y_{n-2})}{h_{n-1}} \end{bmatrix} \tag{2.50}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) งานวิจัยนี้ศึกษาค่าขอบที่เท่ากับศูนย์ นั่นคือ อนุพันธ์อันดับสองของฟังก์ชันสองฟังก์ชันที่ผ่านจุดปลายทั้งสองเท่ากับศูนย์ ทำให้ได้ว่า  $M_1 = 0$  และ  $M_n = 0$  แทนลงใน (2.50) จะได้

$$\begin{bmatrix} h_2 & \alpha_1 & h_3 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_3 & \alpha_2 & h_4 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_4 & \alpha_3 & \cdots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & \alpha_{n-4} & h_{n-2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & h_{n-2} & \alpha_{n-3} & h_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & h_{n-1} & \alpha_{n-2} & h_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ M_2 \\ M_3 \\ M_4 \\ \vdots \\ M_{n-3} \\ M_{n-2} \\ M_{n-1} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{y_3 - y_2}{h_3} - \frac{(y_2 - y_1)}{h_2} \\ \frac{y_4 - y_3}{h_4} - \frac{(y_3 - y_2)}{h_3} \\ \frac{y_5 - y_4}{h_5} - \frac{(y_4 - y_3)}{h_4} \\ \vdots \\ \frac{y_{n-2} - y_{n-3}}{h_{n-2}} - \frac{(y_{n-3} - y_{n-4})}{h_{n-3}} \\ \frac{y_{n-1} - y_{n-2}}{h_{n-1}} - \frac{(y_{n-2} - y_{n-3})}{h_{n-2}} \\ \frac{y_n - y_{n-1}}{h_n} - \frac{(y_{n-1} - y_{n-2})}{h_{n-1}} \end{bmatrix} \quad (2.51)$$

เมื่อค่าขอบมีค่าเท่ากับศูนย์ สามารถลดรูปเมทริกซ์ที่ (2.51) จะได้

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 & h_3 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ h_3 & \alpha_2 & h_4 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_4 & \alpha_3 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \alpha_{n-4} & h_{n-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & h_{n-2} & \alpha_{n-3} & h_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & h_{n-1} & \alpha_{n-2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_2 \\ M_3 \\ M_4 \\ \vdots \\ M_{n-3} \\ M_{n-2} \\ M_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{y_3 - y_2}{h_3} - \frac{(y_2 - y_1)}{h_2} \\ \frac{y_4 - y_3}{h_4} - \frac{(y_3 - y_2)}{h_3} \\ \frac{y_5 - y_4}{h_5} - \frac{(y_4 - y_3)}{h_4} \\ \vdots \\ \frac{y_{n-2} - y_{n-3}}{h_{n-2}} - \frac{(y_{n-3} - y_{n-4})}{h_{n-3}} \\ \frac{y_{n-1} - y_{n-2}}{h_{n-1}} - \frac{(y_{n-2} - y_{n-3})}{h_{n-2}} \\ \frac{y_n - y_{n-1}}{h_n} - \frac{(y_{n-1} - y_{n-2})}{h_{n-1}} \end{bmatrix} \quad (2.52)$$

สามารถหาค่าของ  $M_2, M_3, M_4, \dots, M_{n-1}$  ได้จาก

$$\begin{bmatrix} M_2 \\ M_3 \\ M_4 \\ \vdots \\ M_{n-3} \\ M_{n-2} \\ M_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & h_3 & 0 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ h_3 & \alpha_2 & h_4 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_4 & \alpha_3 & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & \alpha_{n-4} & h_{n-2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & h_{n-2} & \alpha_{n-3} & h_{n-1} \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & h_{n-1} & \alpha_{n-2} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{y_3 - y_2}{h_3} - \frac{(y_2 - y_1)}{h_2} \\ \frac{y_4 - y_3}{h_4} - \frac{(y_3 - y_2)}{h_3} \\ \frac{y_5 - y_4}{h_5} - \frac{(y_4 - y_3)}{h_4} \\ \vdots \\ \frac{y_{n-2} - y_{n-3}}{h_{n-2}} - \frac{(y_{n-3} - y_{n-4})}{h_{n-3}} \\ \frac{y_{n-1} - y_{n-2}}{h_{n-1}} - \frac{(y_{n-2} - y_{n-3})}{h_{n-2}} \\ \frac{y_n - y_{n-1}}{h_n} - \frac{(y_{n-1} - y_{n-2})}{h_{n-1}} \end{bmatrix} \quad (2.53)$$

เมื่อได้ค่าของ  $M_2, M_3, M_4, \dots, M_{n-1}$  จะนำไปแทนในระบบสมการที่ (2.47) และจะได้สัมประสิทธิ์ของ  $a_i, b_i, c_i$  และ  $d_i$  ตามลำดับ

#### 2.1.2.4 การประเมินความเหมาะสมของแบบจำลอง

การเปรียบเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์ เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับใช้ทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต สามารถพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายได้ดังนี้ กำหนดให้ค่าคลาดเคลื่อนของการทำนายแนวชายฝั่ง คือ

$$\varepsilon^{(j)} = B^{(j)} - a^{(j)} \quad (2.54)$$

โดยที่  $\varepsilon^{(j)}$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนแนวชายฝั่ง ที่ transect ( $j$ )

$B^{(j)}$  คือ ค่าจริงตำแหน่งของแนวชายฝั่งที่ได้จาก Google Earth Pro ที่ transect ( $j$ )

$a^{(j)}$  คือ ค่าประมาณตำแหน่งของแนวชายฝั่งที่ transect ( $j$ )

งานวิจัยนี้ใช้ค่าความคลาดของ RMSE MAPE และค่าความน่าเชื่อถือแบบจำลองด้วย  $R^2$  มาพิจารณาในการหาว่าแบบจำลองใดมีความเหมาะสมมากกว่ากัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.55) ถึงสมการที่ (2.57) ดังนี้

Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (\varepsilon^{(j)})^2} \quad (2.55)$$

Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

$$MAPE = \frac{100}{k} \sum_{j=1}^k \left| \frac{\varepsilon^{(j)}}{B^{(j)}} \right| \quad (2.56)$$

Coefficient of Determination ( $R^2$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k (\varepsilon^{(j)})^2}{\sum_{i=1}^k (B^{(j)} - \bar{B})^2} \quad (2.57)$$

โดยที่  $\bar{B}$  คือ ค่าจริงตำแหน่งของแนวชายฝั่งที่ได้จาก Google Earth Pro

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเพื่อติดตามประเมินเกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงและทำนายแนวชายฝั่ง ได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างต่อเนื่องตามแต่ละช่วงเวลาดังนี้

R. Dolan และคณะ[11] ได้ตรวจสอบข้อมูลของแนวชายฝั่งของสหรัฐอเมริกา และวิเคราะห์โดยใช้วิธี End Point Rate (EPR), Average of Rates (AOR), Linear Regression (LR) และ Jack Knife (JK)

M. Bouchahma และ W. Yan[12] ใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ Digital Shoreline Analysis System (DSAS) และภาพถ่าย Landsat ตามแนวชายฝั่งของเกาะ Djerba ประเทศตูนิเซีย มีการสังเกตการเพิ่มขึ้นและการกัดเซาะของพื้นดิน ช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2527 ถึง พ.ศ. 2552

N. K. Barman และคณะ[13] ได้วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง Odisha ประเทศอินเดีย เนื่องมาจากกระบวนการชายฝั่ง และประเมินตำแหน่งแนวชายฝั่งในอนาคตที่ดีที่สุดโดยอิงจากแนวชายฝั่งก่อนหน้านี้ ใช้ภาพถ่าย Landsat ในปี 2518, 2523, 2533, 2538, 2543, 2548, 2553 และ 2556 ซึ่งแบบจำลองอัตราจุดสิ้นสุด (EPR) ถูกนำมาใช้เพื่อคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งและตำแหน่งในอนาคต โดยใช้ข้อมูลปี 2556 เป็นชุดอ้างอิง ข้อผิดพลาดโดยรวมสำหรับแนวชายฝั่งที่คาดการณ์ทั้งหมดมีค่า RMSE อยู่ที่ 41.88 เมตร นอกจากนี้ ได้ทำการทดสอบโดยวิธีความแตกต่างระหว่างตำแหน่งชายฝั่งจริงกับที่คาดการณ์ไว้โดยใช้การทดสอบที และพบว่าแนวชายฝั่งที่คาดการณ์ไว้ไม่แตกต่างจากตำแหน่งแนวชายฝั่งจริง

T. W. S. Warnasuriya และคณะ[14] ได้พัฒนาวิธีการในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมของแนวชายฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือของ Jaffna ในศรีลังกาที่ได้รับจากแพลตฟอร์ม Google Earth ระหว่างปี 2545 และ 2560 นอกจากนี้ ยังตรวจพบการเปลี่ยนแปลงโดยใช้ระบบวิเคราะห์ชายฝั่งดิจิทัล (DSAS) ใน ArcGIS พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของแนวชายฝั่ง  $6.13 \pm 8.74$  เมตร โดยมีอัตราการตกสะสมต่อปี 0.5 เมตรต่อปี ในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาพบว่าแนวชายฝั่งที่สังเกตพบเพิ่มขึ้น 76.12 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ชายฝั่งถูกกัดเซาะ 23.88 เปอร์เซ็นต์ และยังได้กล่าวว่าการศึกษารายภาพถ่ายดาวเทียมจาก Google Earth สามารถใช้สำหรับการวิเคราะห์อนุกรมเวลาของแนวชายฝั่งได้เป็นอย่างดี

S. Nandi และคณะ[15] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงและทำนายแนวชายฝั่งในเกาะ Sagar ซึ่งเป็นสามเหลี่ยมปากแม่น้ำคงคา ตั้งอยู่ในรัฐเบงกอลตะวันตก ประเทศอินเดีย โดยใช้ข้อมูลจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Landsat MSS (2518), Landsat TM (2502 2534) และ Landsat รูปภาพ ETM+ (2542 2545 2548 2551 และ 2554) และเปรียบเทียบแบบจำลองวิธีอัตราจุดสิ้นสุด (EPR) กับการถดถอยเชิงเส้นตรง (LRR) ที่ใช้ในการทำนายแนวชายฝั่งโดยใช้ข้อมูลปี 2554 เป็นชุดอ้างอิง พบว่า EPR และ LRR มีค่าความคลาดเคลื่อนของ RMSE เฉลี่ย 37.09 เมตร และ 35.61 เมตร ตามลำดับ สรุปว่าวิธี LRR มีความถูกต้องมากกว่า EPR ที่จะใช้ในการทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต

R. A. Bheeroo และคณะ[16] ได้ศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งและความเสี่ยงจากการกัดเซาะตามแนวชายหาด Trou aux Biches–Mont Choisy ในชายฝั่งตะวันตกเฉียงเหนือของ Mauritius โดยใช้ระบบวิเคราะห์แนวชายฝั่งดิจิทัล Digital Shoreline Analysis System (DSAS) ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงในช่วง พ.ศ. 2510–2555 วิเคราะห์อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งด้วย อัตราจุดสิ้นสุด (EPR) พบว่า กัดเซาะอย่างรุนแรง ( $-1.75$  ถึง  $-0.03$  เมตรต่อปีระหว่าง transect 41 และ 61) ในส่วน NE–SW และความเสี่ยงจากการกัดเซาะปานกลาง ( $-1.09$  ถึง  $-0.18$  เมตรต่อปี ระหว่าง transect 62 ถึง 95 ของ NNE–SSW) ส่วน NNW–SSE แสดงความเสี่ยงการกัดเซาะต่ำด้วยค่า  $-0.55$  ถึง  $-0.05$  เมตรต่อปี และวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งด้วย (SCE) ผลการวิจัยพบว่า NE–SW มีค่าสูงถึง 78 เมตร เป็นเพราะอิทธิพลของมนุษย์จำนวนมากตามแนวชายฝั่งในรูปแบบของการก่อสร้างและการตัดแปลงชายฝั่ง อย่างไรก็ตามองค์ประกอบเหล่านี้ไม่สามารถนำมาประกอบกับการเคลื่อนตัวเข้าหาแนวชายฝั่งได้ เนื่องจากมีการสร้างโครงสร้างตั้งฉากตามแนวชายหาด ในทางกลับกัน NNW–SSE มีค่าเฉลี่ย 20 เมตร ซึ่งบ่งชี้ว่าโซนนี้มีลักษณะการกระจายคลื่นที่ดีกว่าเนื่องจากการกำหนดค่าทางสัญญาณวิทยาและระยะห่างจากแนวปะการัง อย่างไรก็ตามการกำหนดค่า NNE–SSW มีค่า SCE เฉลี่ย 35 เมตร ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากการรบกวนจากมนุษย์และการเคลื่อนตัวของแนวชายฝั่งสุทธิ (NSM) พบว่า  $-15$  เมตร ใน NNW–SSE ส่วนใน NE–SW และ NNE–SSW มีค่า  $-31$  และ  $-32$  เมตร ตามลำดับ

T. D. T. Oyedotun[17] ได้ศึกษาเรขาคณิตชายฝั่ง โดยใช้โปรแกรม DSAS เป็นเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์แนวโน้มในอดีต และได้กล่าวว่าเรขาคณิตของแนวชายฝั่งยังคงเป็นหนึ่งในตัวแปรสำคัญในการตรวจหาการกัดเซาะและการสะสมของชายฝั่ง เปรียบเทียบตำแหน่งแนวชายฝั่งช่วงเวลาต่าง ๆ และรวมถึงการใช้วิธี NSM, SCE, EPR, LRR และอัตราการถดถอยเชิงเส้นแบบถ่วงน้ำหนัก (WLR) ในการศึกษาครั้งนี้

S. Prukpitikul และคณะ[18] ใช้การสำรวจระยะไกลร่วมกับ GIS (ระบบข้อมูลทางภูมิศาสตร์) ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลองการทำนายแนวชายฝั่งตามพื้นที่ศึกษาสองแห่งในจังหวัดสมุทรปราการและจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ภาพ LANDSAT-5 TM ที่ได้รับในช่วงปี 2542–2552 ผลการศึกษาพบว่า อัตราการกัดเซาะและการเพิ่มกำลังตามจังหวัดสมุทรปราการเฉลี่ย 22.30 เมตรต่อปี และ 2.94 เมตรต่อปี ตามลำดับ ในทางกลับกัน อัตราเฉลี่ยการกัดเซาะชายฝั่งในจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ต่ำกว่ามาก คือ 2.48 เมตรต่อปี ในขณะที่อัตราการเพิ่มของพื้นที่ดินอยู่ที่ประมาณ 4.11 เมตรต่อปี สำหรับการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งที่จังหวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมุทรปราการปี 2562 อยู่ที่ประมาณ  $-132.69 \pm 0.758$  เมตร ส่วนจังหวัดประจวบคีรีขันธ์  $40.58 \pm 0.0012$  เมตร สรุปว่าแบบจำลองการทำนายนี้เน้นการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในระยะยาว และสามารถปรับปรุงความแม่นยำของแบบจำลองได้โดยการเพิ่มจำนวน transect

J. Li [19] ได้ให้ความรู้ในการประยุกต์ใช้ Google Earth ในการศึกษาเชิงพื้นที่และการกัดเซาะชายฝั่งตามแนวชายฝั่งของทะเลสาบ Michigan โดยนำไปใช้เพื่อช่วยในการสำรวจและวางแผนสถานที่ทางธรณีเทคนิคในอนาคต และกล่าวว่า Google Earth สามารถใช้สำหรับการวางแผนการตรวจสอบ และมีประสิทธิภาพในทางวิศวกรรมของการศึกษาผลกระทบของโครงการในปัจจุบันและอนาคต

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของบริเวณชายฝั่งที่ศึกษาจาก Google Earth Pro และใช้โปรแกรม R ในการสกัดแนวชายฝั่งร่วมโปรแกรม WebPlotDigitizer ที่ใช้ในการดึงพิกัดลองจิจูดกับละติจูดของแนวชายฝั่ง และนำข้อมูลแนวชายฝั่งมาหาค่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ โดยงานวิจัยนี้ใช้วิธี SCE และ NSM ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่ง ในส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งใช้วิธี EPR กับ LRR และการทำนายแนวชายฝั่งได้ใช้แบบจำลอง EPR ประยุกต์ร่วมกับการประมาณค่าในช่วงด้วย NCS เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้แบบจำลอง LRR ประยุกต์ร่วมกับการประมาณค่าในช่วงด้วย NCS ซึ่งสามารถช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนายแนวชายฝั่งให้มีความแม่นยำมากขึ้น เพื่อให้ได้แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายแนวชายฝั่ง และใช้ข้อมูลสำหรับในการวางแผนหรือหาแนวทางในการป้องกันแนวชายฝั่งในอนาคตต่อไป

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทนี้ได้นำเสนอภาพรวมของวิธีการดำเนินงานวิจัยในรูปที่ 3.1 และได้อธิบายในแต่ละหัวข้อ โดยหัวข้อที่ 3.1 อธิบายถึงขั้นตอนการเตรียมข้อมูลที่ประกอบด้วย การเก็บรวบรวมข้อมูลชายฝั่งจากภาพถ่ายดาวเทียม การสกัดเส้นแนวชายฝั่ง และการหาค่าพิกัดละติจูดกับลองจิจูดของแนวชายฝั่ง และในหัวข้อที่ 3.2 อธิบายขั้นตอนของการคำนวณเชิงปริมาณการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของชายฝั่ง ซึ่งประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และการทำนายแนวชายฝั่ง



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงภาพรวมวิธีการดำเนินงานวิจัย

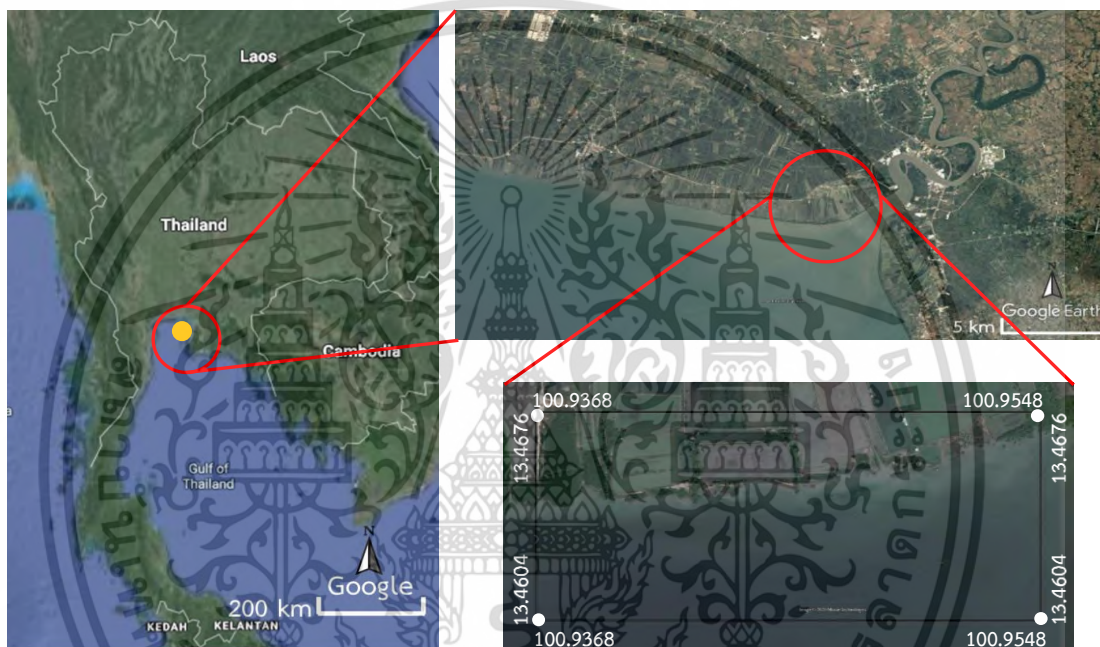
### 3.1 การเตรียมข้อมูล

ในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.1 ข้อมูลและภาพถ่ายของชายฝั่งจากดาวเทียม

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงพื้นที่ชายฝั่งที่ศึกษา โดยชายฝั่งทะเลของประเทศไทยมีระยะทางประมาณ 3,15.13 กิโลเมตร ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ทะเลอันดามัน และอ่าวไทย โดยแบ่งเป็นพื้นที่ชายฝั่งทะเลอันดามัน 1,111.35 กิโลเมตร ครอบคลุม 6 จังหวัด และพื้นที่ชายฝั่งอ่าวไทย 2,039.78 กิโลเมตร ครอบคลุม 17 จังหวัด หนึ่งในนั้นคือจังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษานั้นคือตำบลบางปะกง อำเภอบางปะกง ที่ขอบเขตลองจิจูด 100.9368 ถึง 100.9548 และละติจูด 13.4604 ถึง 13.4676 แสดงในรูปที่ 3.2[20] โดยบริเวณพื้นที่ทั้งหมดเป็นหาดโคลนอยู่ติดกับปากแม่น้ำบางปะกงที่เชื่อมกับอ่าวไทย พื้นดินมีความลาดเอียงเป็นป่าชายเลนที่ติดกับชายฝั่ง[21]



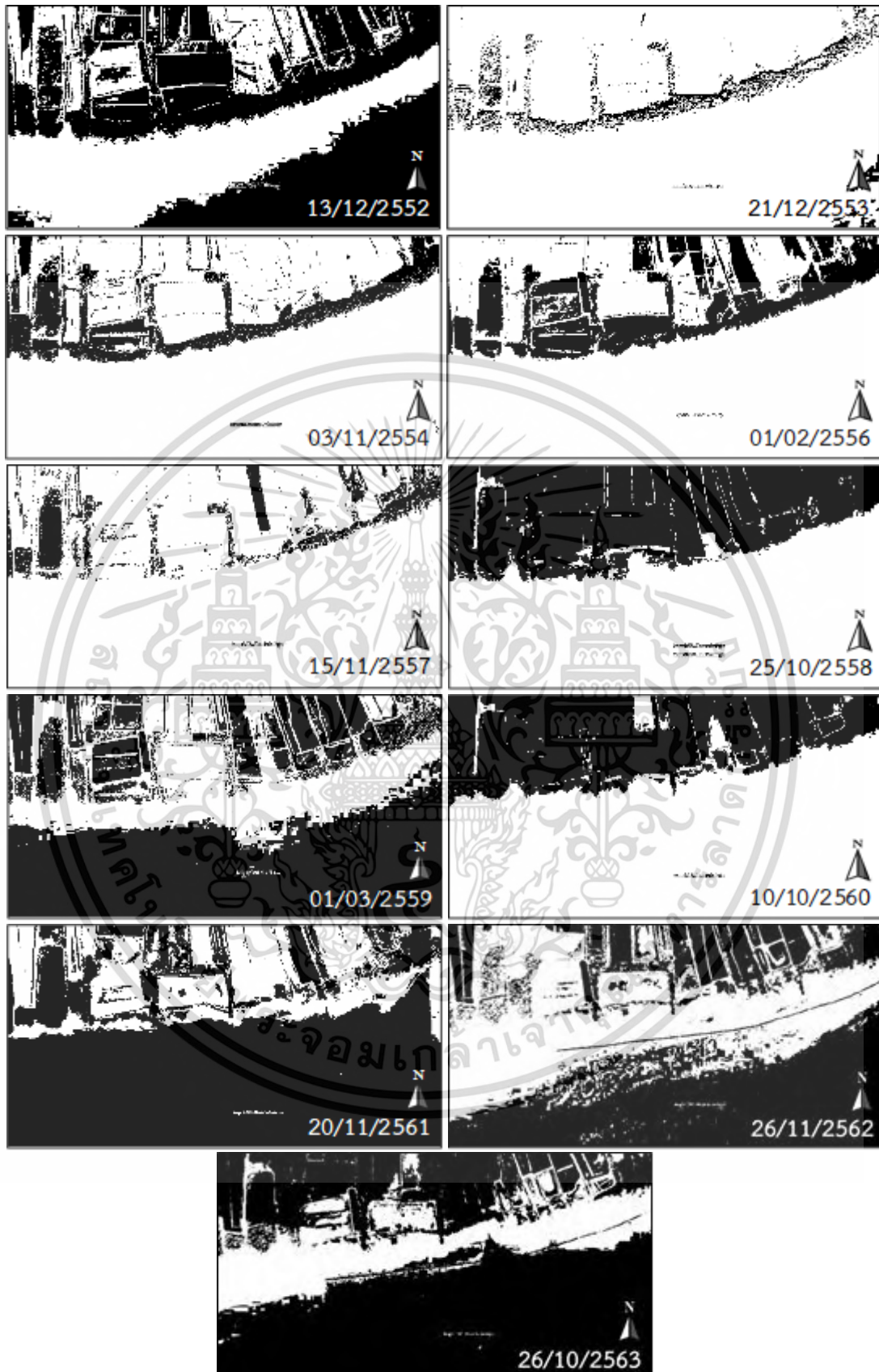
รูปที่ 3.2 พื้นที่ชายฝั่งที่ศึกษา

การศึกษานี้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมของ Google Earth Pro ซึ่งมีความพร้อมด้านการใช้งานของรูปภาพความละเอียดปานกลางถึงความละเอียดสูง และสามารถย้อนช่วงเวลาของพื้นที่ศึกษาได้ [22] โดยจะเลือกภาพที่มีความคมชัด และเลือกช่วงเวลาของเดือนที่มีข้อมูลมากที่สุดซึ่งอยู่ในช่วงเดือนตุลาคมถึงธันวาคม กล่าวคือความถูกต้องของการประมาณอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งสะท้อนการเปลี่ยนแปลงจริง และการทำนายการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งในอนาคตขึ้นอยู่กับความใกล้เคียงของการสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลาระหว่างการวัด[11] แต่ด้วยข้อจำกัดของข้อมูลปี 2556 และ 2559 ที่ไม่มีข้อมูลในช่วงเดือนดังกล่าวหรือภาพถ่ายดาวเทียมไม่มีความคมชัด ดังนั้นจึงเลือกเดือนถัดไปที่ใกล้ที่สุดของแต่ละปีและมีภาพที่คมชัดนั้นคือเดือนกุมภาพันธ์ และมีนาคม ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.3

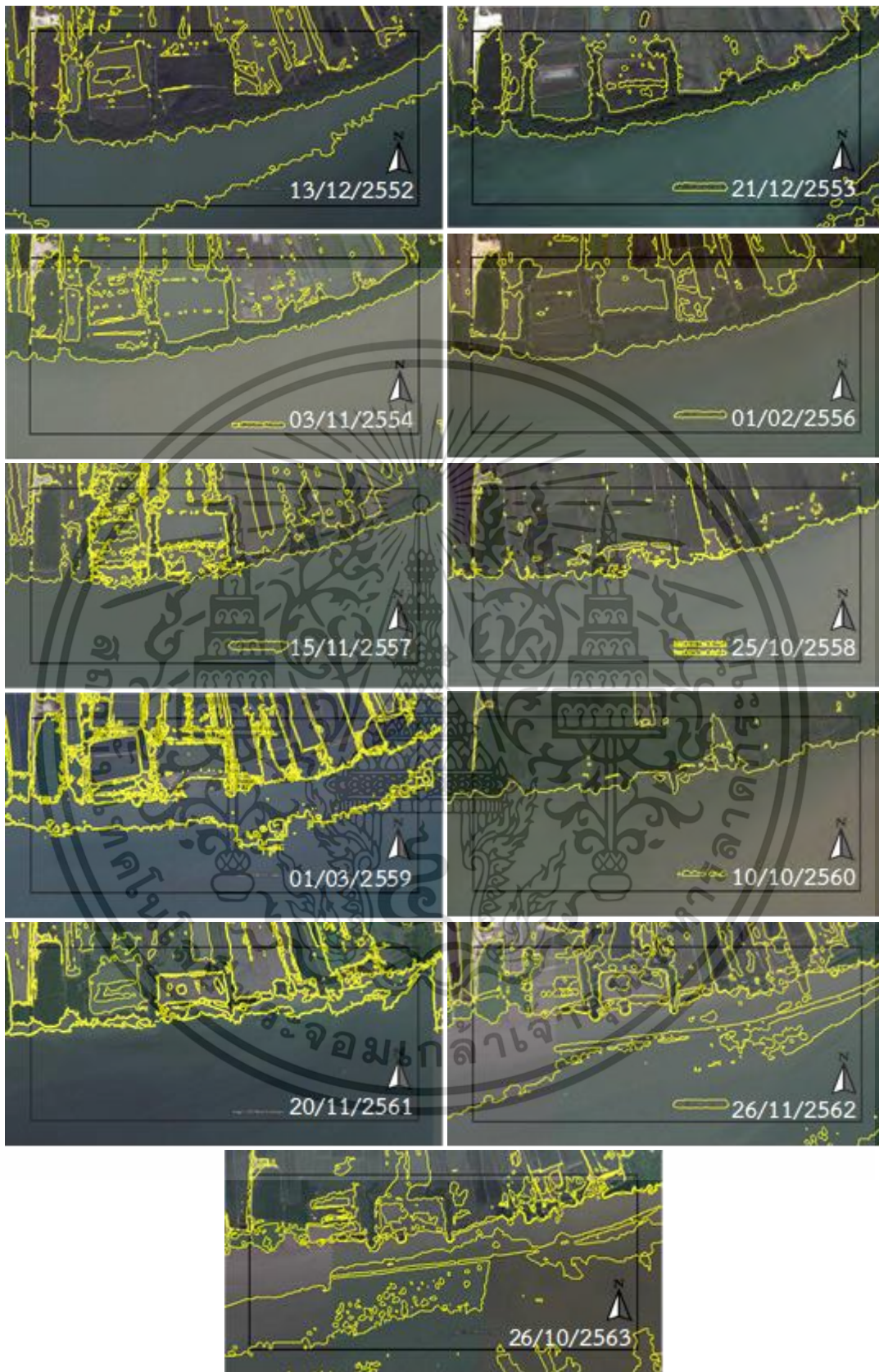
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



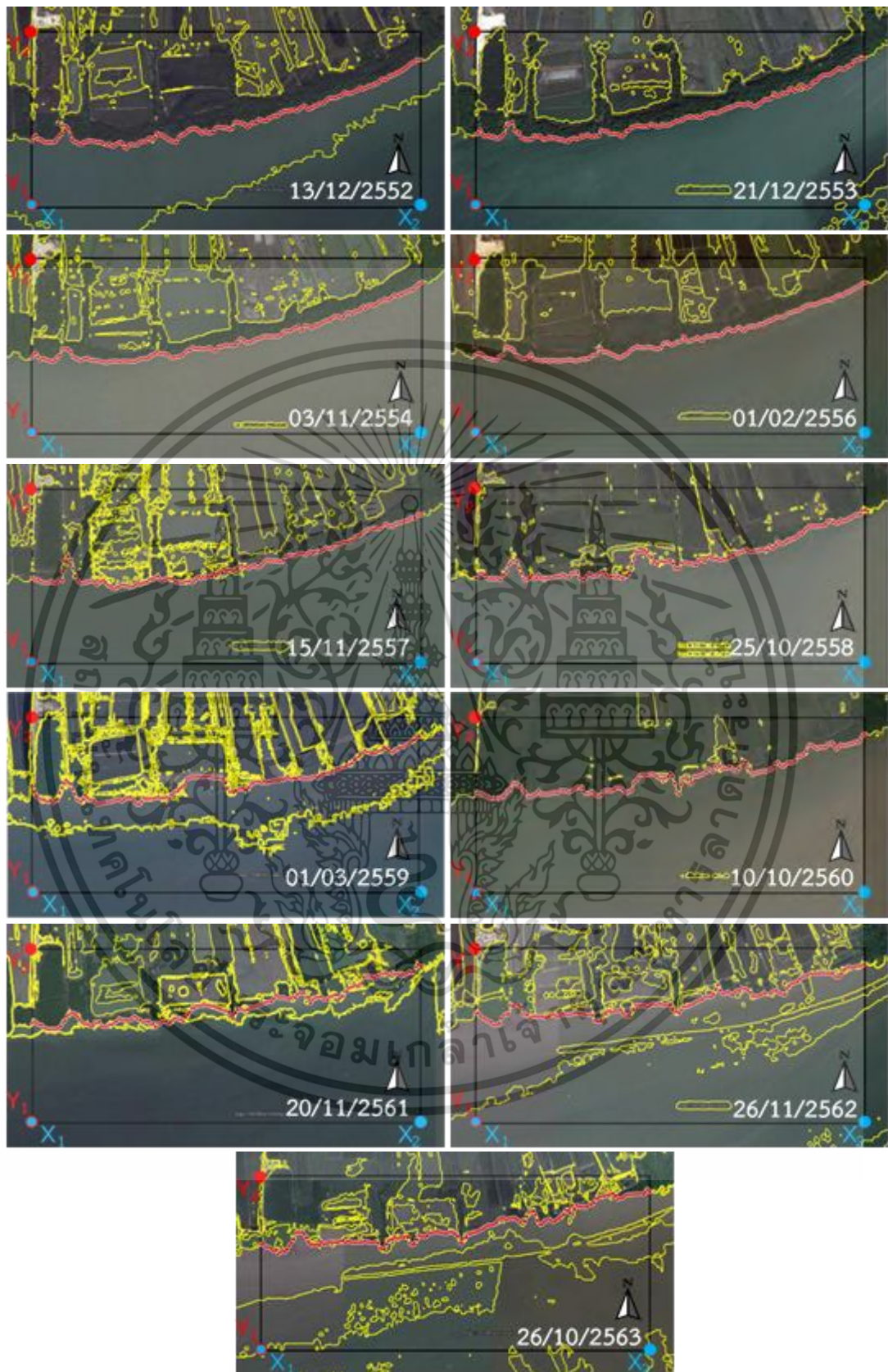
รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายชายฝั่งจากดาวเทียมของ Google Earth Pro เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เขียนได้เผยแพร่ข้อมูลนี้ไปโดยไม่ได้รับอนุญาต การนำข้อมูลนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ภาพลายเส้นขาคำที่แปลงโดยใช้โปรแกรม R  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ไฮไลต์ขอบเส้นแนวชายฝั่งจากโปรแกรม R  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรณการเชิงงานเพื่อกรรณการศึกษารวบรวมนี้ เมื่อนุญตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 พิกัดคู่อันดับสองจุดกับละติจูดของแนวชายฝั่งจากโปรแกรม WebPlotDigitize เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นเว็บไซต์ราชการด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.2 การสกัดเส้นแนวชายฝั่ง

ในขั้นตอนนี้เป็น การสกัดเส้นแนวชายฝั่งที่เป็นส่วนแยกระหว่างพื้นดินกับน้ำ โดยการใช้โปรแกรม R เป็นเครื่องมือในการช่วยสกัดแนวชายฝั่ง เมื่อได้ภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่แนวชายฝั่งแต่ละปีแล้ว ในส่วนที่สองนี้จะ เป็นขั้นตอนการแบ่งส่วนของฝั่งพื้นดินกับฝั่งทะเล ซึ่งมีแนวพรรณพืชที่ขึ้นบริเวณชายฝั่งเป็นแนวเส้นของชายฝั่งเช่นเดียวกับ[23] โดยใช้โปรแกรม R เพื่อลดความผิดพลาดจากการลากเส้นแนวชายฝั่งด้วยวิธีมองด้วยสายตา และการตีความด้วยตนเอง[24] ซึ่งวิธีนี้ขึ้นอยู่กับทักษะส่วนบุคคล[25] ที่ต้องมีความความรู้และมีความชำนาญเกี่ยวกับสถานที่ที่ศึกษา[26] โดยนำภาพถ่ายแนวชายฝั่ง (รูปที่ 3.3) มาทำเป็นภาพขาวดำโดยใช้ packages imager แล้วใช้ฟังก์ชัน grayscale ในการทำให้เป็นภาพขาวดำแสดงดังรูปที่ 3.4 และใช้ฟังก์ชัน highlight เพื่อทำให้เห็นถึงการแบ่งส่วนของฝั่งพื้นดินกับฝั่งทะเลชัดเจนมากขึ้นดังรูปที่ 3.5

### 3.1.3 การหาพิกัดคู่อันดับสองจุดกับละติจูดของแนวชายฝั่ง

การหาพิกัดคู่อันดับสองจุดกับละติจูดของแนวชายฝั่งโดยใช้โปรแกรม WebPlotDigitize เนื่องจากโปรแกรมมีความน่าเชื่อถือในการสกัดข้อมูลจากการศึกษาของ D. Drevon และคณะ[27] โดยนำภาพถ่ายดาวเทียมของแนวชายฝั่งแต่ละปี (รูปที่ 3.5) มาทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) เปิดโปรแกรม WebPlotDigitize และนำเข้าภาพถ่ายที่ได้จากการ highlight ของโปรแกรม R Studio
- 2) เลือก plot type as 2D XY และกำหนดขอบเขตพิกัด โดยใช้พิกัดเป็นแบบของศาตศนิยม คือ  $X_1 = 100.9368$  ถึง  $X_2 = 100.9548$  และ  $Y_1 = 13.4604$  ถึง  $Y_2 = 13.4676$
- 3) เลือก highlight ข้อมูลที่จะทำการดึงออกมา โดยในที่นี้ให้ดึงข้อมูลตามแนวชายฝั่งที่แบ่งส่วนของฝั่งพื้นดินกับฝั่งทะเล และกำหนดให้ดึงข้อมูล ทุก ๆ ระยะตามแนวแกนสองจุด เท่ากับ 0.0001 หรือมีระยะห่างทุก ๆ 10.81 เมตร จะได้ข้อมูลพิกัดคู่อันดับทั้งหมด 181 พิกัด แสดงได้ดังรูปที่ 3.6

## 3.2 การเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของชายฝั่ง

ในขั้นตอนนี้จะอธิบายถึงการหาค่าปริมาณการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากหัวข้อที่ 3.1 ซึ่งแบ่งการหาค่าปริมาณชายฝั่งออกเป็น 2 หัวข้อ คือ 3.2.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง และ 3.2.2 การทำนายแนวชายฝั่ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

### 3.2.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

การเปลี่ยนแปลงชายฝั่งของพื้นที่ที่ศึกษาทางวิจัยนี้ได้หาปริมาณการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ การเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่ง และอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง โดยจะอธิบายรายละเอียดดังนี้

#### 3.2.1.1 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของชายฝั่ง

การคำนวณพื้นที่ของชายฝั่งเมื่อเวลาผ่านไปในแต่ละช่วงเวลาจะทำให้ทราบว่าพื้นที่ชายฝั่งเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยในขั้นแรกจะหาระยะทางจาก onshore baseline ไปยังเส้นแนวชายฝั่งตามแต่ละ transect ของเส้นชายฝั่งแต่ละปี และระยะห่างระหว่างแต่ละ transect ที่ได้จากขั้นตอน 3.1.3 มีค่าประมาณ 0.01 กิโลเมตร และใช้สมการที่ (2.2) ในการหาพื้นที่ชายฝั่งของแต่ละปี ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นพื้นที่ในหน่วยตารางกิโลเมตร (รายละเอียดเพิ่มเติมจากตัวอย่างที่ 1 ในภาคผนวก)

#### 3.2.1.2 การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่แนวชายฝั่ง

การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่แนวชายฝั่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธี SCE และวิธี NSM ด้วยทั้งสองวิธี มีการคำนวณที่คล้ายกันต่างกันตรงที่วิธี SCE เป็นการคำนวณของระยะทางทั้งหมดที่แนวชายฝั่งเคลื่อนที่ในแต่ละ transect ส่วนวิธี NSM เป็นการคำนวณระยะทางระหว่างปีที่เริ่มศึกษา (ปี 2552) กับปีที่ศึกษาล่าสุด (ปี 2563) ในแต่ละ transect โดยทั้งสองวิธีจะบ่งบอกถึงว่าแนวชายฝั่งเกิดการเคลื่อนที่ในแบบถอยร่นเข้าหาฝั่งพื้นดินหรือถอยออกไปในทางชายฝั่งเป็นระยะเท่าใดหน่วยเป็นเมตร ซึ่งวิธี SCE และ NSM สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3) และสมการที่ (2.4) ตามลำดับ (รายละเอียดเพิ่มเติมจากตัวอย่างที่ 2 ในภาคผนวก)

#### 3.2.1.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง

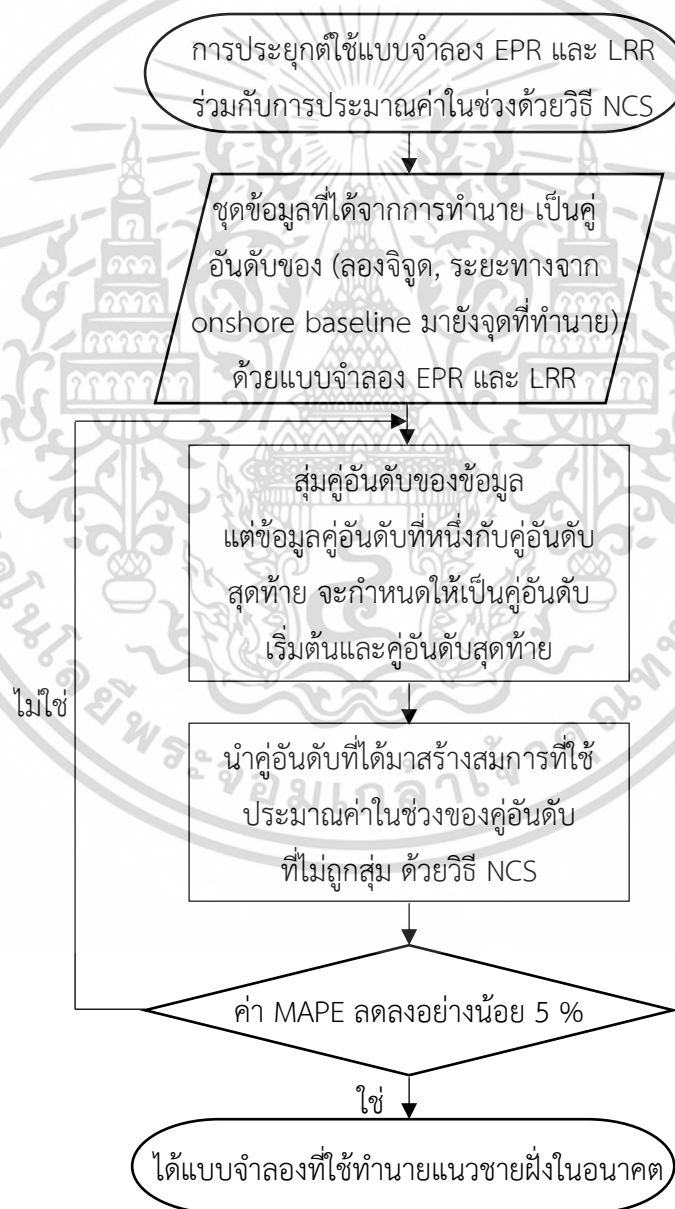
การคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งงานวิจัยนี้ใช้วิธี EPR และ LRR โดยวิธี EPR จะเป็นการคำนวณที่ใช้แนวชายฝั่งของปีที่เริ่มศึกษา (ปี 2552) กับปีที่ศึกษาล่าสุด (ปี 2563) ใช้ในการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงในแต่ละ transect แต่ในทางกลับกันวิธี LRR จะใช้แนวชายฝั่งทุกเส้น (ปี 2552–2563) ในการนำมาคำนวณ ซึ่งวิธี EPR และ LRR สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.24) ตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองวิธีจะเป็นการบ่งบอกถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในหน่วยเมตรต่อปี (รายละเอียดเพิ่มเติมจากตัวอย่างที่ 3 ในภาคผนวก)

### 3.2.2 การทำนายแนวชายฝั่ง

การทำนายแนวชายฝั่งของการวิจัยครั้งนี้จะเปรียบเทียบผลการทำนายของแบบจำลอง EPR กับแบบจำลอง LRR และนำไปพัฒนาหาแบบจำลองเพิ่มเติมซึ่งใช้วิธีการประมาณค่าในช่วง NCS โดยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นแรกจะสร้างแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลพิกัดคู่อันดับของแนวชายฝั่งปี 2552–2563 จะแบ่งข้อมูลออกเป็นทั้งหมด 3 ชุด ประกอบด้วย 1) ชุดข้อมูลปี 2552, 2553, 2554, 2556, 2557, 2558, 2559 และปี 2560 ใช้ในการนำมาสร้างแบบจำลอง 2) ชุดข้อมูลปี 2561 ใช้สำหรับตรวจสอบแบบจำลอง และ 3) ชุดข้อมูลปี 2562 และปี 2563 ใช้สำหรับทดสอบแบบจำลองเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุด (รายละเอียดเพิ่มเติมจากตัวอย่างที่ 4 ในภาคผนวก)

หลังจากได้ตัวแทนของแบบจำลอง EPR และ LRR แล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการนำชุดข้อมูลที่ได้จากการทำนายแนวชายฝั่งทั้งสองวิธี มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี NCS เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความแม่นยำมากขึ้น ซึ่งแสดงผังกระบวนการของ NCS ในรูปที่ 3.7 (รายละเอียดเพิ่มเติมจากตัวอย่างที่ 5 ในภาคผนวก)



รูปที่ 3.7 กระบวนการของการประยุกต์ใช้การประมาณค่าในช่วงด้วย NCS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

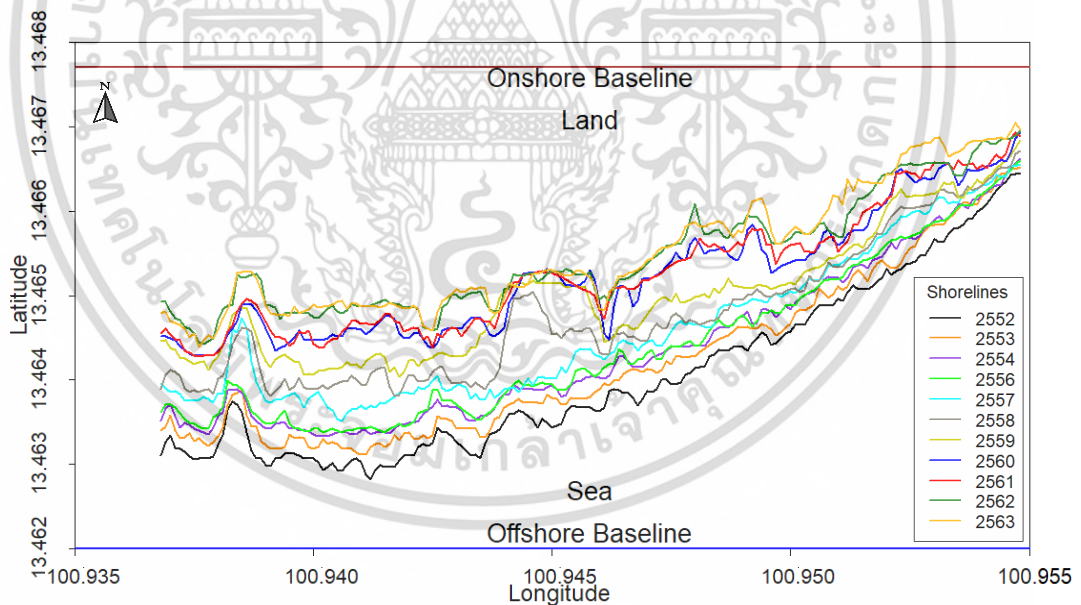
## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการวิจัยและอภิปรายผลการเปลี่ยนแปลงเชิงพื้นที่ของชายฝั่ง โดยผลการวิจัยของการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งนำเสนอในหัวข้อที่ 4.1 และการทำนายแนวชายฝั่งในหัวข้อที่ 4.2

#### 4.1 การเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

การศึกษาพื้นที่ชายฝั่งของตำบลบางปะกง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อพิจารณาแนวชายฝั่งตั้งแต่ปี 2552 ถึงปี 2563 (รูปที่ 3.3) แบบเบื้องต้นด้วยการประมาณโดยสายตา พบว่าแนวชายฝั่งเกิดการกัดเซาะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุก ๆ ปี ดังนั้นแล้วในลำดับถัดไปจะเป็นการวิเคราะห์เชิงปริมาณเพื่อพิจารณาว่าบริเวณชายฝั่งที่ศึกษามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณมากหรือน้อยเพียงใด เมื่อนำแนวชายฝั่งของแต่ละปีมาสร้างกราฟเพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนมากขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.1



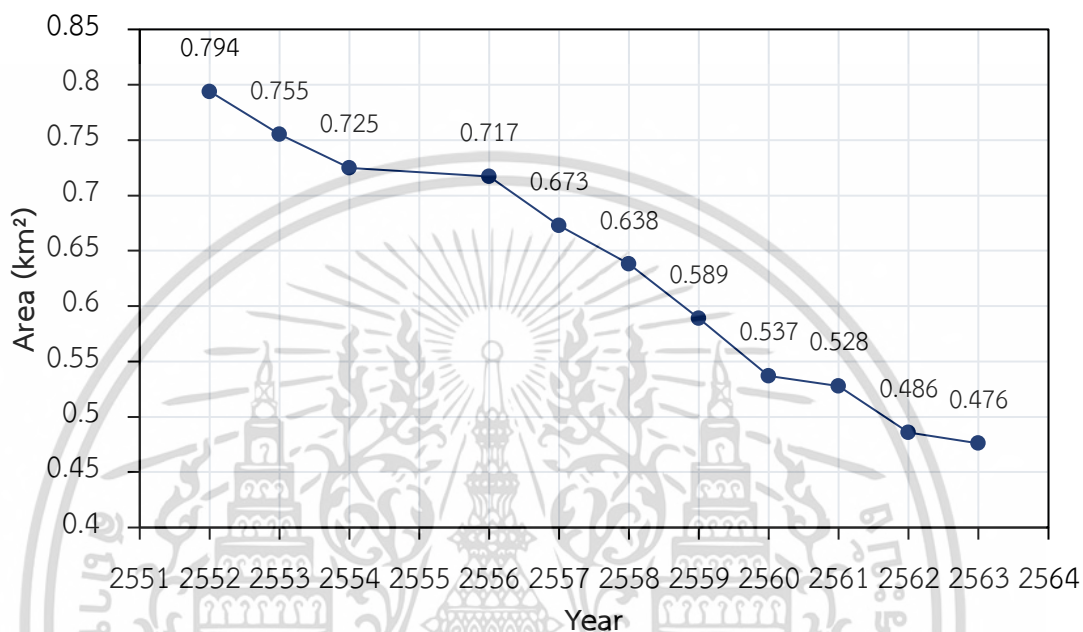
รูปที่ 4.1 แนวชายฝั่งปี 2552 ถึงปี 2563

จากรูปที่ 4.1 เห็นได้อย่างชัดเจนว่ารูปแบบของแนวชายฝั่งมีลักษณะรูปแบบความขรุขระที่คล้ายกันในแต่ละปี มีการถอยร่นเข้าไปฝั่งพื้นดินเมื่อเวลาผ่านไป และได้คำนวณเชิงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งเป็นลำดับถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ของชายฝั่ง

การเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ชายฝั่งแสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่า ปี 2552 ถึงปี 2563 พื้นที่ชายฝั่งลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในช่วงระยะเวลา 12 ปีที่ผ่านมา พื้นที่ชายฝั่งลดลงประมาณ 0.318 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 40.05 เฮกตาร์ ในการเปลี่ยนแปลงในช่วงแต่ละปีโดยเฉลี่ยแล้วพื้นที่ลดลงประมาณ 5 เฮกตาร์ และเห็นได้ว่าแนวโน้มในอนาคตของพื้นที่ชายฝั่งจะเหลือน้อยลง

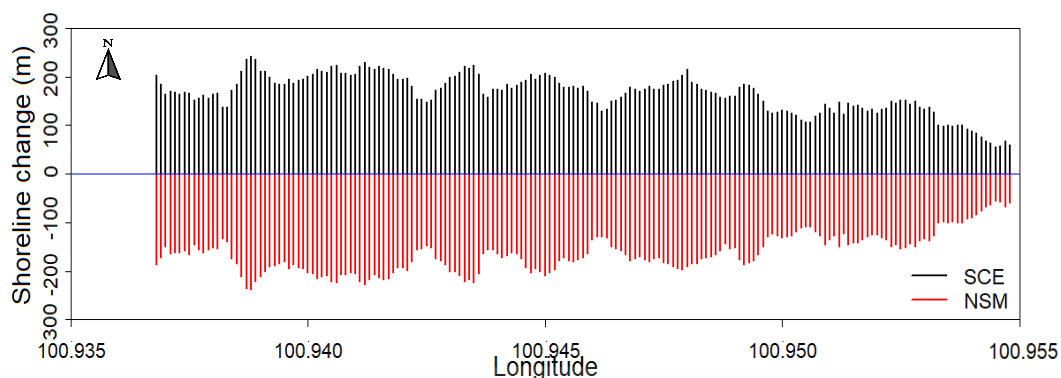


รูปที่ 4.2 ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ชายฝั่ง

#### 4.1.2 การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่แนวชายฝั่ง

การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่แนวชายฝั่งวิธี SCE และวิธี NSM แสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่า ทั้งสองวิธีมีลักษณะกราฟที่ค่อนข้างสมมาตรกัน นั้นหมายความว่า การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งในแต่ละตำแหน่งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือวิธี SCE เป็นระยะทางการเคลื่อนที่ทั้งหมดในช่วง 12 ปี ตามแต่ละ transect และวิธี NSM เป็นการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งจากแนวชายฝั่งปีแรก (ปี 2552) จนถึงปีที่ศึกษาล่าสุด (ปี 2563)

วิธี SCE มีระยะการเคลื่อนที่เฉลี่ย 165.621 เมตร โดยมีการเคลื่อนที่มากที่สุดในลองจิจูดที่ 100.9388 ที่ระยะ 243.469 เมตร และเคลื่อนที่น้อยที่สุดเป็นระยะ 56.045 เมตร ในลองจิจูดที่ 100.9545 ในส่วนวิธี NSM พบว่าเกิดการถอยร่นหรือกัดเซาะเข้าไปในพื้นที่ชายฝั่งในทุก transect โดยมีระยะการเคลื่อนที่เฉลี่ย 163.216 เมตร มีการเคลื่อนที่มากที่สุดในลองจิจูดที่ 100.9388 ที่ระยะ 238.263 เมตร และเคลื่อนที่น้อยที่สุดเป็นระยะ 56.045 เมตร ในลองจิจูดที่ 100.9545 และพบว่าแนวชายฝั่งมีการเคลื่อนที่ในระยะทางที่มาก (เทียบกับการศึกษาของ R. A. Bheeroo และคณะ)[16]



รูปที่ 4.3 ปริมาณการเคลื่อนที่แนวชายฝั่งด้วยวิธี SCE และ NSM

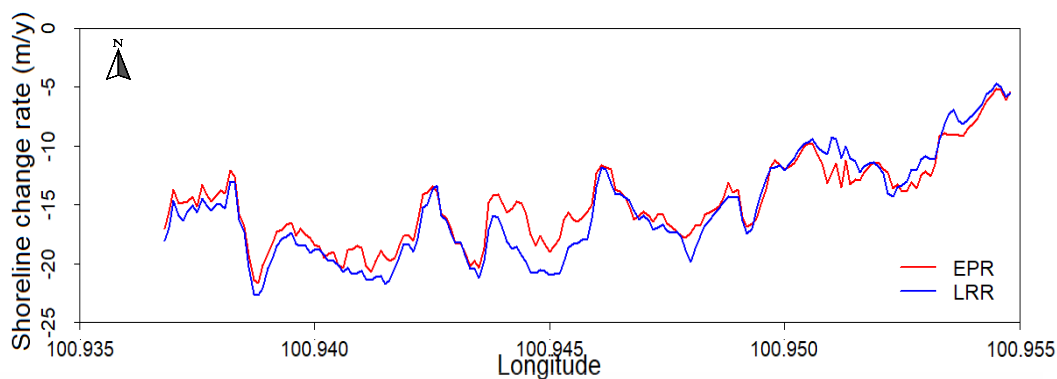
#### 4.1.3 อัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่ง

การพิจารณาอัตราการเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในช่วง 12 ปีที่ผ่านมา ทำให้ทราบถึงปริมาณการกัดเซาะชายฝั่งต่อปีว่าอยู่ในระดับใด โดยใช้การจำแนกลักษณะการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งของกรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง[28] ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง

กัดเซาะน้อย	กัดเซาะปานกลาง	กัดเซาะรุนแรง
น้อยกว่า 1 เมตรต่อปี	ตั้งแต่ 1-5 เมตรต่อปี	มากกว่า 5 เมตรต่อปี

ผลการวิจัยของอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งที่คำนวณด้วยวิธี EPR และวิธี LRR แสดงดังรูปที่ 4.4 พบว่าทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์เป็นในทิศทางเดียวกัน และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงแบบกัดเซาะแนวชายฝั่งในทุก transect โดยวิธี EPR และ LRR มีอัตราการกัดเซาะเฉลี่ยอยู่ที่ 14.838 เมตรต่อปี และ 15.415 เมตรต่อปี ตามลำดับ จะเห็นว่าทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ของอัตราการกัดเซาะแนวชายฝั่งที่อยู่ในระดับรุนแรง และเมื่อพิจารณาค่าสูงสุดของอัตราการกัดเซาะวิธี EPR มีค่าอยู่ที่ 21.660 เมตรต่อปี ส่วนวิธี LRR มีค่า 22.639 เมตรต่อปี ในขณะที่ค่าต่ำสุดของอัตราการกัดเซาะมีค่าอยู่ที่ 5.095 เมตรต่อปี และ 4.742 เมตรต่อปี ของวิธี EPR และ LRR ตามลำดับ ทำให้เห็นความชัดเจนมากยิ่งขึ้นว่าค่าต่ำสุดของอัตราการกัดเซาะแนวชายฝั่งทั้งสองวิธีอยู่ในช่วงของการกัดเซาะในระดับปานกลางและกัดเซาะรุนแรง อย่างแน่นอนว่าในตำแหน่ง transect ที่เหลือก็จะมีอัตราการกัดเซาะที่มากกว่านี้



รูปที่ 4.4 ปริมาณอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งที่คำนวณด้วยวิธี EPR และ LRR

เมื่อทราบถึงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งในหัวข้อที่ 4.1 พบว่าพื้นที่ชายฝั่งลดลง แนวชายฝั่งเกิดการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องส่งผลให้เกิดการกัดเซาะชายฝั่งในระดับที่รุนแรงในช่วง 12 ปีที่ผ่านมา ดังนั้นจึงได้สร้างแบบจำลองเพื่อใช้ทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต ได้ผลการวิจัยในหัวข้อถัดไป

#### 4.2 การทำนายแนวชายฝั่ง

การทำนายแนวชายฝั่งของงานวิจัยนี้ก็เพื่อที่จะทำให้ทราบว่าเส้นแนวชายฝั่งในอนาคตเป็นไปในลักษณะใด และสามารถนำมาคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่ง การเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่ง และทำให้ทราบถึงปริมาณของอัตราการกัดเซาะชายฝั่ง ดังนั้นการทำนายแนวชายฝั่งจะต้องทำการสร้างและทดสอบแบบจำลองเพื่อให้ได้แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดกับข้อมูลของแนวชายฝั่งที่ศึกษาในครั้งนี้อยู่

ส่วนแรกนี้จะเป็นการพิจารณาถึงการเปรียบเทียบแบบจำลอง EPR และ LRR โดยการแบ่งชุดข้อมูลออกเป็นชุดที่ใช้สร้างแบบจำลองเพื่อพิจารณาว่าควรใช้ชุดข้อมูลชายฝั่งปีใดบ้างในการนำไปพัฒนาสร้างแบบจำลอง โดยจากการแบ่งชุดข้อมูลโดยแบ่งออกเป็นชุดข้อมูลปี 2552–2560 ปี 2553–2560 ปี 2554–2560 ปี 2556–2560 ปี 2557–2560 และปี 2558–2560 แล้วเปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้ชุดข้อมูลปี 2561 เป็นข้อมูลอ้างอิง และหาค่าความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี RMSE วิธี MAPE และหาค่าความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้วย  $R^2$  แสดงผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบชุดข้อมูลในแต่ละช่วงปีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและเปรียบเทียบวิธีที่ใช้ในการทำนายแนวชายฝั่ง โดยใช้ชุดข้อมูลปี 2561 เป็นปีอ้างอิง

ชุดข้อมูล	แบบจำลอง	ชื่อย่อ แบบจำลอง	RMSE (m)	MAPE (%)	R <sup>2</sup> (%)
ปี 2552–2560	EPR	E1	18.010	4.561	94.919
	LRR	L1	14.659	3.223	96.634
ปี 2553–2560	EPR	E2	17.824	4.516	95.024
	LRR	L2	15.352	3.418	96.308
ปี 2554–2560	EPR	E3	18.181	4.585	94.822
	LRR	L3	15.907	3.642	96.037
ปี 2556–2560	EPR	E4	24.597	6.371	90.523
	LRR	L4	25.288	6.180	89.983
ปี 2557–2560	EPR	E5	25.662	6.440	89.658
	LRR	L5	26.776	6.416	88.770
ปี 2558–2560	EPR	E6	28.246	7.096	87.503
	LRR	L6	27.878	7.132	87.826

จากตารางที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบแบบจำลอง EPR กับแบบจำลอง LRR ที่ใช้ชุดข้อมูลในแต่ละช่วงเวลามาสร้างแบบจำลอง พบว่าเมื่อเปรียบเทียบเฉพาะภายในแบบจำลอง EPR จะเห็นว่าแบบจำลอง E2 ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเนื่องจากให้ค่าความคลาดเคลื่อน RMSE กับ MAPE ที่น้อยกว่าในแบบจำลองอื่นของ EPR (E1, E3, E4, E5, E6) และให้ค่า R<sup>2</sup> ที่มากกว่าแบบจำลองอื่นของ EPR ดังนั้นแบบจำลอง E2 จะเป็นตัวแทนของแบบจำลอง EPR ในส่วนของแบบจำลอง LRR พบว่าแบบจำลอง L1 เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดในกลุ่มของ LRR (L2–L6) และได้เป็นตัวแทนของแบบจำลอง LRR

เมื่อได้แบบจำลองที่เป็นตัวแทนของแต่ละกลุ่มแล้ว จะนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกัน ซึ่งพบว่าแบบจำลอง L1 มีความเหมาะสมมากกว่าแบบจำลอง E2 โดยแบบจำลอง L1 มีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE, MAPE และค่า R<sup>2</sup> คือ 14.659, 3.23 และ 96.634 ตามลำดับ ในขณะที่แบบจำลอง E2 มีค่าอยู่ที่ 17.824, 4.516 และ 95.024 ตามลำดับ สังเกตว่าค่าของความคลาดเคลื่อนทั้งสองและค่าความน่าเชื่อถือของแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน จึงยังใช้แบบจำลองทั้งสองนี้โดยจะนำไปประยุกต์เพิ่มเติมเพื่อให้แบบจำลองที่มีความเหมาะสมมากขึ้นที่จะนำไปใช้ในการทำนาย

โดยการประยุกต์ใช้ร่วมกับการประมาณค่าในช่วงด้วย NCS จึงได้นำค่าที่ได้จากการทำนายด้วยแบบจำลอง E2 และ L1 มาเข้ากระบวนการของการประมาณค่าในช่วงด้วย NCS (รูปที่ 3.7) ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นใบแจ้งบริษัทย่อยขึ้นดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลอง E2 ร่วมกับ NCS เปรียบเทียบกับ L1 ร่วมกับ NCS และนำมาทดสอบกับชุดข้อมูลปี 2561 ที่เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบแบบจำลอง ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5

**ตารางที่ 4.3** แบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS เปรียบเทียบกับแบบจำลองของ E2 ร่วมกับ NCS และ ใช้ชุดข้อมูลปี 2561 เป็นปีอ้างอิง

	L1	L1 กับ NCS (L1NCS1)	เปลี่ยนแปลง	E2	E2 กับ NCS (E2NCS1)	เปลี่ยนแปลง
RMSE (m)	14.659	11.127	ลดลง 24.09%	17.824	17.289	ลดลง 3.00%
MAPE (%)	3.223	2.265	ลดลง 29.72%	4.516	4.277	ลดลง 5.29%
R <sup>2</sup> (%)	96.634	98.061	เพิ่มขึ้น 1.48%	95.024	95.318	เพิ่มขึ้น 0.31%

จากตารางที่ 4.3 แบบจำลอง L1 และ E2 ที่ประยุกต์ใช้ร่วมกับการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี NCS พบว่าทั้งสองแบบจำลองให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นจากเดิม โดยแบบจำลอง L1NCS1 ทดสอบทำนายแนวชายฝั่งปี 2561 ที่เป็นปีอ้างอิง สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนของ RMSE กับ MAPE ลงได้ 24.09% และ 29.72% ตามลำดับ และ R<sup>2</sup> มีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมมา 1.48% ในส่วนของแบบจำลอง E2NCS1 ก็สามารลดค่าความคลาดเคลื่อนของ RMSE กับ MAPE ลงได้เช่นกันโดยลดลง 3.00% และ 5.29% ตามลำดับ และ R<sup>2</sup> เพิ่มขึ้น 0.31% จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้การประมาณค่าในช่วงด้วย NCS สามารถช่วยให้แบบจำลองสามารถทำนายได้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ช่วยให้แบบจำลองมีความเหมาะสมมากขึ้นที่จะนำไปใช้ในการทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต

แต่อย่างไรก็ตามจะต้องลองทดสอบแบบจำลองที่ประยุกต์ใช้ร่วมกับการประมาณในช่วงด้วยวิธี NCS กับชุดข้อมูลทดสอบปีอ้างอิงปี 2562 และปี 2563 ตามลำดับ โดยจะยังคงยึดตำแหน่งของ Knots ไว้ที่ตำแหน่งเดิม เพื่อพิจารณาผลลัพธ์ของการทำนายว่ายังคงดีกว่าแบบจำลองเดิมที่ไม่ได้ประยุกต์ใช้ร่วมกับ NCS หรือไม่ ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 ตามลำดับ และแสดงในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS เปรียบเทียบกับแบบจำลองของ E2 ร่วมกับ NCS และ ใช้ชุดข้อมูลปี 2562 เป็นปีอ้างอิง

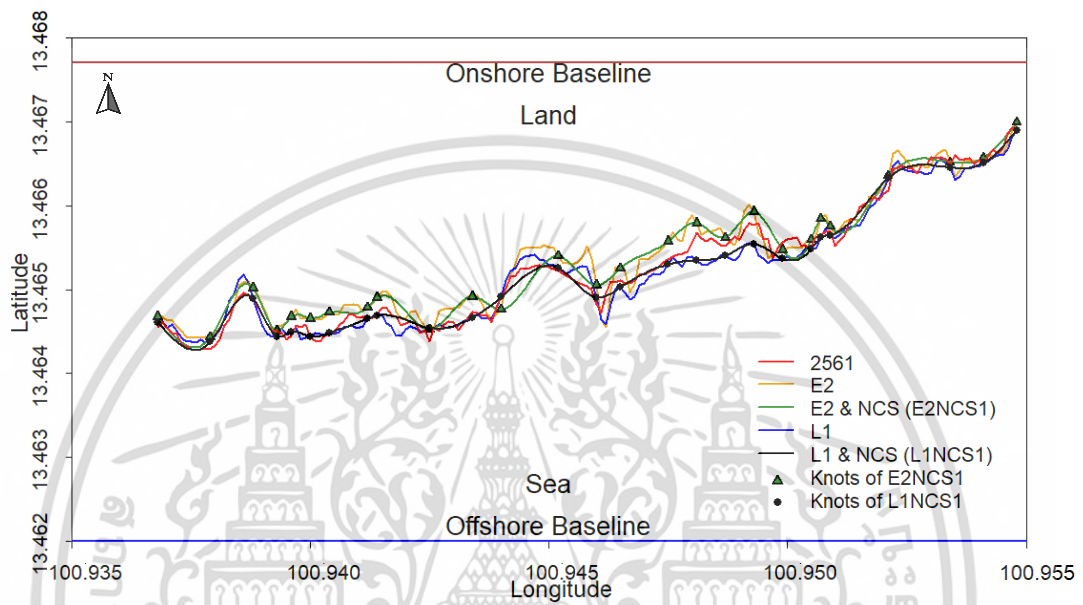
	L1	L1 กับ NCS (L1NCS2)	เปลี่ยนแปลง	E2	E2 กับ NCS (E2NCS2)	เปลี่ยนแปลง
RMSE (m)	22.142	18.074	ลดลง 18.37%	19.505	16.234	ลดลง 16.77%
MAPE (%)	4.990	3.884	ลดลง 22.16%	3.993	3.657	ลดลง 8.41%
R <sup>2</sup> (%)	91.140	94.097	เพิ่มขึ้น 3.24%	93.124	95.237	เพิ่มขึ้น 2.27%

ตารางที่ 4.5 แบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS เปรียบเทียบกับแบบจำลองของ E2 ร่วมกับ NCS และ ใช้ชุดข้อมูลปี 2563 เป็นปีอ้างอิง

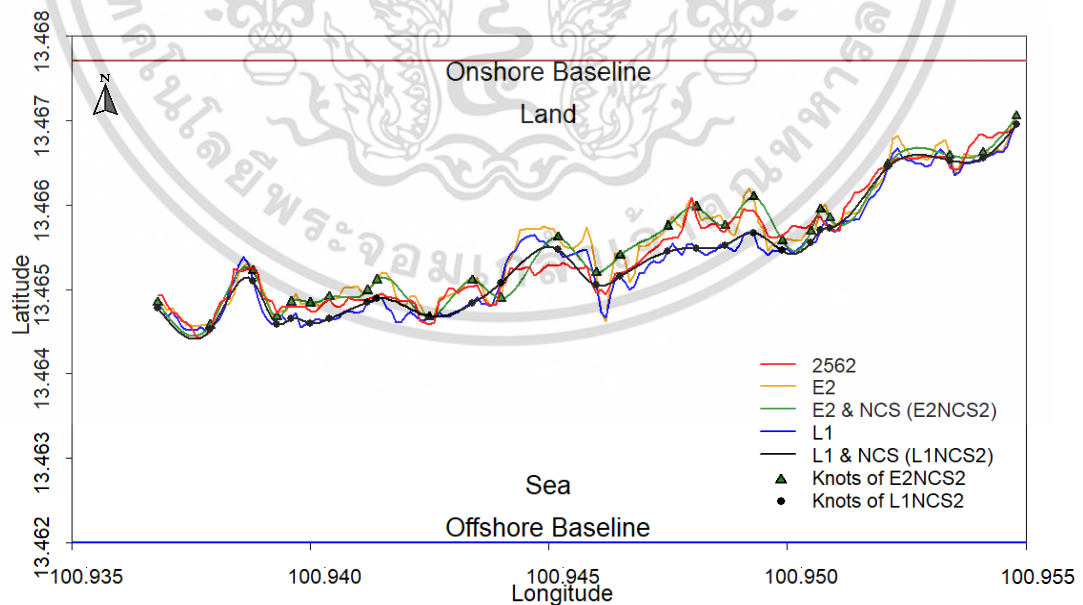
	L1	L1 กับ NCS (L1NCS3)	เปลี่ยนแปลง	E2	E2 กับ NCS (E2NCS3)	เปลี่ยนแปลง
RMSE (m)	26.552	21.114	ลดลง 20.48%	31.988	26.888	ลดลง 15.94%
MAPE (%)	5.425	4.452	ลดลง 17.94%	7.121	6.218	ลดลง 12.68%
R <sup>2</sup> (%)	89.087	93.099	เพิ่มขึ้น 4.50%	84.161	88.809	เพิ่มขึ้น 5.52%

จากตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 พบว่าแบบจำลอง L1 และ E2 ที่ประยุกต์ใช้ร่วมกับการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี NCS ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบจำลองเดิม (ที่ไม่ได้ประยุกต์ใช้ร่วมกับ NCS) โดยค่าความคลาดเคลื่อนของ RMSE และ MAPE ลดลงจากแบบจำลองเดิม และสำหรับ R<sup>2</sup> ก็เพิ่มขึ้น นี่เป็นผลลัพธ์ที่ดีกับการที่ประยุกต์ใช้การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี NCS และจากตารางที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 จะเห็นว่าแบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS และแบบจำลอง E2 ร่วมกับ NCS ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบจำลองเดิมคือ L1 และ E2 ตามลำดับ นั่นแสดงว่าการประยุกต์ใช้การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี NCS สามารถทำนายชายฝั่งได้ถูกต้องมากขึ้นกว่าแบบจำลองเดิม (L1 และ E2) ดังนั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในลำดับถัดมาจึงพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างระหว่างแบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS กับแบบจำลอง E2 ร่วมกับ NCS ว่าแบบจำลองใดที่มีความเหมาะสมมากกว่ากันที่จะนำไปใช้ในการทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต ซึ่งพบว่าแบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS มีความเหมาะสมมากกว่าแบบจำลอง E2 ร่วมกับ NCS ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS ในการทำนายแนวชายฝั่งในปี 2567 ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.8

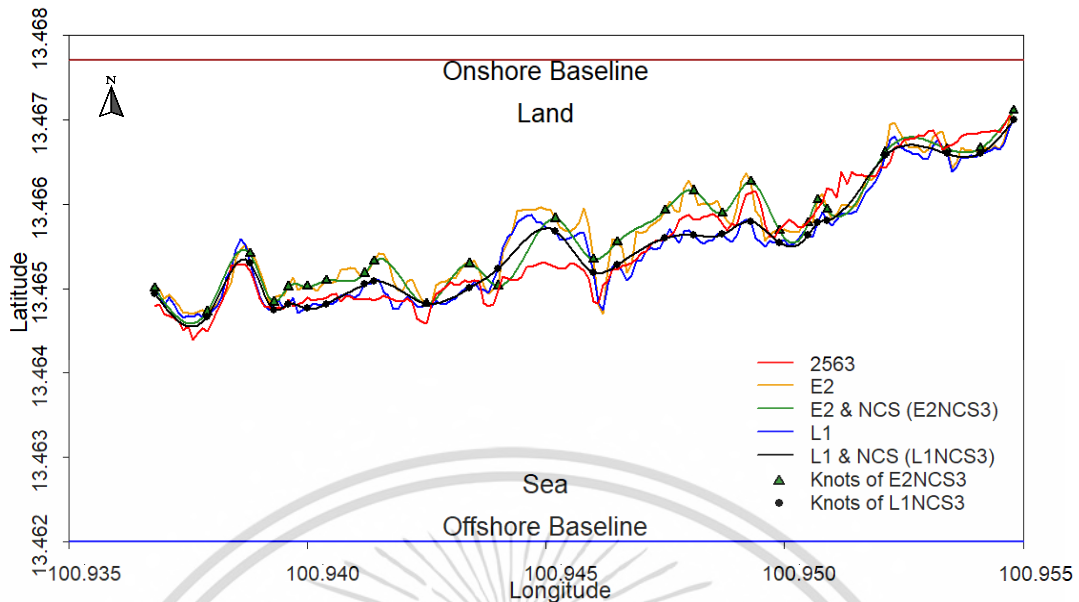


รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบแบบจำลอง E2, L1, E2NCS1 และ L1NCS1 โดยใช้ข้อมูลแนวชายฝั่งปี 2561 เป็นปีอ้างอิง

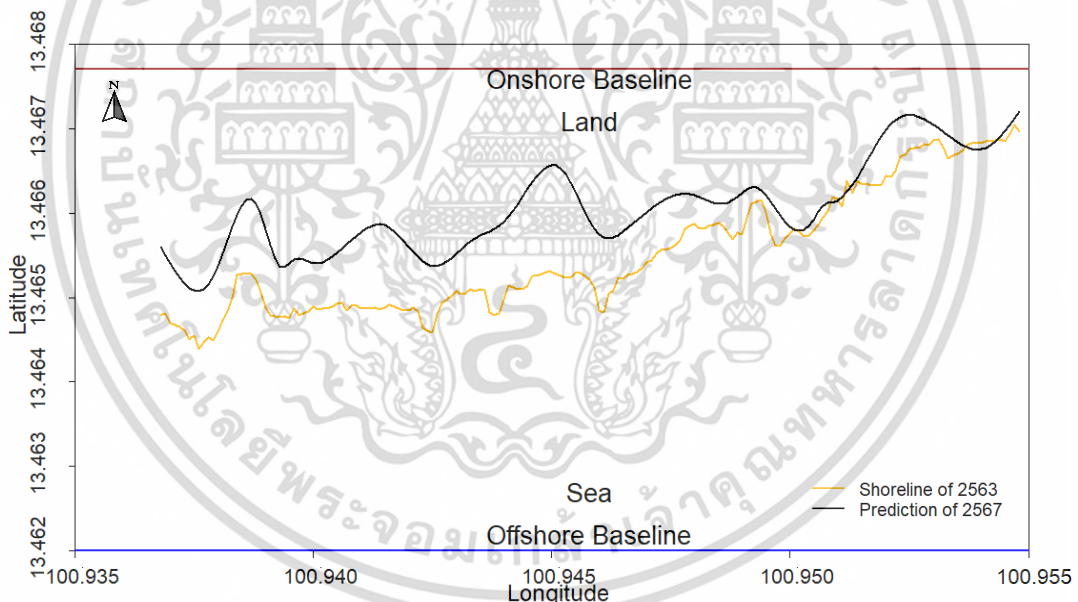


รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบแบบจำลอง E2, L1, E2NCS2 และ L1NCS2 โดยใช้ข้อมูลแนวชายฝั่งปี 2562 เป็นปีอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบแบบจำลอง E2, L1, E2NCS3 และ L1NCS3 โดยใช้ข้อมูลแนวชายฝั่งปี 2563 เป็นปีอ้างอิง



รูปที่ 4.8 ทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต (ปี 2567)

จากรูปที่ 4.8 เป็นการทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต (ปี 2567) โดยเป็นการทำนายชายฝั่งในระยะสั้น เนื่องจากว่าบริเวณชายฝั่งที่ศึกษาเกิดการเปลี่ยนแปลงในทุก ๆ ปี เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในระยะเวลายาวไกลนี้ และเพื่อช่วยในการตัดสินใจที่จะเป็นแนวทางในการป้องกันหรือหาแนวทางในการแก้ไขปัญหาได้อย่างทันเวลา จึงทำนายแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS จะเห็นว่าเส้นแนวชายฝั่งเกิดการถอยร่นเข้าไปในพื้นที่ดินมากขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นแนวชายฝั่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี 2563 ซึ่งพื้นที่ชายฝั่งจะเหลือประมาณ 0.357 ตารางกิโลเมตร และเมื่อเทียบกับปี 2563 พบว่าพื้นที่ชายฝั่งลดลงประมาณ 25% ทำให้ทราบว่าชายฝั่งมีการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งอย่างต่อเนื่องโดยมีการเคลื่อนที่เข้าถอยร่นไปในพื้นที่ชายฝั่งเฉลี่ยอยู่ที่ 61.114 เมตร และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงจากปี 2563 ไปยังปี 2567 เป็นอัตราเฉลี่ย 15.279 เมตรต่อปี ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับการกัดเซาะที่รุนแรง และพบว่ามีความอัตราการกัดเซาะต่ำสุดอยู่ที่ 3.526 เมตรต่อปี ในขณะที่มีอัตราการกัดเซาะมากที่สุดที่ 35.526 เมตรต่อปี ทำให้เห็นได้ว่าแนวชายฝั่งในอนาคต (ปี 2567) มีการเปลี่ยนแปลงมาก ดังนั้นจึงต้องเร่งดำเนินการหาแนวทางป้องกัน หรือแก้ไขบริเวณพื้นที่ชายฝั่งบริเวณนี้ เพราะเมื่อปล่อยให้เวลาผ่านไปในช่วงหลายปีจะทำให้พื้นที่ชายฝั่งเกิดการกัดเซาะมากขึ้นตามกาลเวลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ ของการศึกษาทางคณิตศาสตร์และสถิติ ของการกัดเซาะชายฝั่ง เพื่อคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งในอำเภอบางปะกง (ประเทศไทย) โดยได้ศึกษาบริเวณพื้นที่ชายฝั่งของตำบลบางปะกง อำเภอบางปะกง จังหวัด ฉะเชิงเทรา โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายชายฝั่งจากดาวเทียมของ Google Earth Pro ร่วมกับโปรแกรม R และโปรแกรม WebPlotDigitize เป็นเครื่องมือวิจัย จึงขอสรุปผลการวิจัยในหัวข้อที่ 5.1 และข้อเสนอแนะสำหรับการนำงานวิจัยไปพัฒนาต่อยอดสำหรับอนาคตในหัวข้อที่ 5.2

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงของชายฝั่ง พบว่าพื้นที่ชายฝั่งมีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วง 12 ปีที่ผ่านมาเกิดการลดลงของพื้นที่ประมาณ 40.05 เฮกตาร์ ซึ่งถือว่าลดลงเป็นอย่างมาก ในส่วนของการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งด้วยวิธี SCE และ NSM พบว่ามีการเคลื่อนที่เฉลี่ยอยู่ที่ 165.621 เมตร และ 163.216 เมตร จะเห็นว่าแนวชายฝั่งมีการเคลื่อนที่ในระยะทางที่มาก และอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งที่คำนวณด้วยวิธี EPR และ LRR พบว่าทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ของอัตราการเซาะไปในทิศทางเดียวกัน และกัดเซาะแนวชายฝั่งในทุก transect ซึ่งมีค่าอัตราการกัดเซาะเฉลี่ย 14.838 เมตรต่อปี และ 15.415 เมตรต่อปี ตามลำดับ ถือว่าอยู่ในระดับการกัดเซาะที่รุนแรง

การทำนายแนวชายฝั่งในอนาคตจากขั้นแรกได้ทำการเปรียบเทียบแบบจำลองและ EPR (E1–E6) กับแบบจำลอง LRR (L1–L6) เพื่อหาตัวแทนของแต่ละแบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลแนวชายฝั่งปี 2561 เป็นปีอ้างอิง พบว่าได้ E2 (ใช้ข้อมูลปี 2553–2560 สร้างแบบจำลอง) และ L1 (ใช้ข้อมูลปี 2552–2560 สร้างแบบจำลอง) เป็นตัวแทนของแต่ละแบบจำลอง ดังนั้นจึงนำแบบจำลอง E2 และแบบจำลอง L1 ทั้งคู่มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี NCS เพื่อช่วยให้แบบจำลองมีความถูกต้องของการทำนายมากขึ้น โดยยังคงใช้ชุดข้อมูลปี 2561 เป็นปีอ้างอิงเช่นเดิม พบว่าแบบจำลองที่ประยุกต์ใช้การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี NCS ให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นโดยมีเปอร์เซ็นต์ของความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ( $R^2$ ) E2NCS1 และ L1NCS1 เพิ่มขึ้นที่ 0.31 เปอร์เซ็นต์ และ 1.48 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามจะต้องใช้แบบจำลองที่มีการประยุกต์ใช้การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี NCS ลองทดสอบกับชุดข้อมูลแนวชายฝั่งปี 2562 และปี 2563 ตามลำดับ พบว่าแบบจำลอง E2NCS2 กับแบบจำลอง L1NCS2 ที่ใช้ชุดข้อมูลปี 2562 เป็นปีอ้างอิง และแบบจำลอง E2NCS3 กับแบบจำลอง L1NCS3 ที่ใช้ชุดข้อมูลปี 2563 เป็นปีอ้างอิง ต่างก็ให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นกว่าแบบจำลองเดิมที่ยังไม่ได้มีการประยุกต์ใช้การประมาณค่าในช่วงด้วยวิธี NCS และได้พิจารณาเปรียบเทียบระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างแบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS กับแบบจำลอง E2 ร่วมกับ NCS ว่าแบบจำลองใดที่มีความเหมาะสมมากกว่ากันที่จะนำไปใช้ในการทำนายแนวชายฝั่งในอนาคต ซึ่งพบว่าแบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS มีความเหมาะสมมากกว่าแบบจำลอง E2 ร่วมกับ NCS ดังนั้นใช้แบบจำลอง L1 ร่วมกับ NCS ในการทำนายแนวชายฝั่งในปี 2567 พบว่าเส้นแนวชายฝั่งเกิดการถอยร่นเข้าไปในพื้นที่ดินมากขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นแนวชายฝั่งปี 2563 ซึ่งพื้นที่ชายฝั่งจะเหลือประมาณ 0.357 ตารางกิโลเมตร และเมื่อเทียบกับปี 2563 พบว่าพื้นที่ชายฝั่งลดลงประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ทราบว่าชายฝั่งมีการเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่งอย่างต่อเนื่องโดยมีการเคลื่อนที่เข้าถอยร่นไปในพื้นที่ชายฝั่งเฉลี่ยอยู่ที่ 61.114 เมตร และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงจากปี 2563 ไปยังปี 2567 เป็นอัตราเฉลี่ย 15.279 เมตรต่อปี ซึ่งถือว่าอยู่ในระดับการกัดเซาะที่รุนแรง ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปช่วยในการตัดสินใจวางแผนหรือหาแนวทางป้องกันพื้นที่ชายฝั่งทะเลได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาครั้งนี้ สามารถนำหลักการของงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่ชายฝั่งในสถานที่อื่นต่อไปได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] D. H. Prasad and N. D. Kumar. 2014. **Coastal Erosion Studies: A Review.** International Journal of Geosciences, vol. 5, pp. 341–345.
- [2] S. Maiti and A. K. Bhattacharya. 2009. **Shoreline change analysis and its application to prediction: A remote sensing and statistics based approach.** Marine Geology, vol. 257, pp. 11–23.
- [3] F. Adamo, C. D. Capua, P. Filianoti, A. M. L. Lanzolla and R. Morello. 2014. **A coastal erosion model to predict shoreline changes.** Measurement, vol. 47, pp. 734–740.
- [4] X. Chen and Y. Zong. 1998. **Coastal erosion along the Changjiang Deltaic Shoreline China: history and prospective.** Coast. Shelf Sci, vol. 46, pp. 733–742.
- [5] A. S. Genz, C. H. Fletcher, R. A. Dunn, L. N. Frazer and J. J. Rooney. 2007. **The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii.** Journal of Coastal Research, vol. 23, pp. 87–105.
- [6] M. Naohiro, S. Putth and M. Keiyo. 2012. **Mangrove rehabilitation on highly eroded coastal Shorelines at Samut Sakhon, Thailand.** International Journal of Ecology, vol. 2012.
- [7] มติชน. 2564. **ปัญหาการกัดเซาะชายฝั่งทะเลไทย กับแผนการแก้ไขที่ผ่านมา.** [Online]. [https://www.matichon.co.th/local/quality-life/news\\_2514288](https://www.matichon.co.th/local/quality-life/news_2514288).
- [8] R. Li, J. K. Liu and Y. Felus. 2001. **Spatial modeling and analysis for shoreline change detection and coastal erosion monitoring.** Marine Geodesy, vol. 24, pp. 1–12.
- [9] กาญจนา คำนึ่งกิจ. 2558. **การวิเคราะห์เชิงตัวเลข.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: พีริเมียร์ โพร.
- [10] S. McKinley and M. Levine, **Cubic Spline Interpolation,** Math 45: Linear Algebra.
- [11] R. Dolan, M. S. Fenster and S. J. Holme. 1991. **Temporal analysis of shoreline recession and accretion.** Journal of Coastal Research, vol. 7, pp. 723–744.
- [12] M. Bouchahma and W. Yan. 2012. **Automatic measurement of shoreline change on Djerba island of Tunisia.** Computer and Information Science 5, vol. 5, pp. 17–24.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] N. K. Barman, S. Chatterjee and A. Khan. 2015. **Trends of shoreline position: an approach to future prediction for balasore shoreline.** Open Journal of Marine Science, vol. 5, pp. 13–25.
- [14] T. W. S. Warnasuriya, G. Kuddithamby and S. S. Gunasekara. 2018. **Google Earth: A new resource for shoreline change estimation–Case study from Jaffna Peninsula, Sri Lanka.** Marine Geodesy, vol. 41, pp. 1–35.
- [15] S. Nandi, M. Ghosh, A. Kundu, D. Dutta and M. Baksi. 2015. **Shoreline shifting and its prediction using remote sensing and GIS techniques: a case study of Sagar island, West Bengal (India).** Journal of Coastal Conservation, vol. 20, pp. 61–80.
- [16] R. A. Bheeroo, N. Chandrasekar, S. Kaliraj and N. S. Magesh. 2016. **Shoreline change rate and erosion risk assessment along the Trou Aux Biches–Mont Choisy beach on the northwest coast of Mauritius using GIS–DSAS technique.** Environmental Earth Sciences, vol. 75, pp. 53–68.
- [17] T. D. T. Oyedotun. 2014. **Shoreline Gometry : DSAS as a Tool for Historical Trend Analysis.** Geomorphological Techniques, Chap. 3, Sec. 2.2.
- [18] S. Prukpitikul, V. Buakaew, W. Keshdet, A. Kongprom and N. Kaewpoo. 2012. **Shoreline change prediction model for coastal zone management in Thailand.** J. Shipp. Ocean Eng, vol. 2, pp. 238–243.
- [19] J. Li. 2016. **Using Google Earth in the Study of Shoreline Erosion Process.** Conference & Exposition. American Society for Engineering Education.
- [20] ภาคภูมิ เหล่าตระกูล. 2563. **คลื่นทะเลความถี่ที่เกี่ยวยกราด.** สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). [Online]. <https://www.gistda.or.th/main/en/node/3605>.
- [21] C. Saengsupavanich. 2013. **Erosion protection options of a muddy coastline in Thailand: stakeholders’ shared responsibilities.** Ocean & Coastal Management, vol. 83, pp. 81–91.
- [22] K. Malarvizhi, S. V. Kumar, and P. Porchelvan. 2016. **Use of high resolution google earth satellite imagery in landuse map preparation for urban related applications.** Procedia Technology, vol. 24, pp. 1835–1842.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

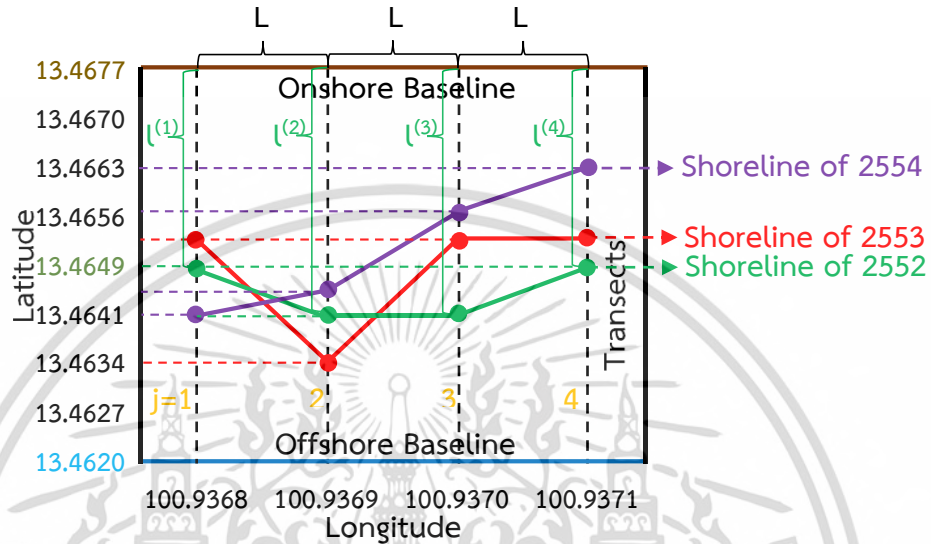
- [23] F. Cellone, E. Carol and L. Tosi. 2016. **Coastal erosion and loss of wetlands in the middle Río de la Plata estuary (Argentina)**. Applied Geography, vol. 76, pp. 37–48.
- [24] J. H. List, and A. S. Farris. 1999. **Large-scale shoreline response to storms and fair weather**. Proceedings of the Coastal Sediments 99 (Long Island, New York), pp. 1324–1338.
- [25] F. J. Anders and M. R. Byrnes. 1991. **Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs**. Shore and Beach, vol. 59, pp. 17–26.
- [26] M. R. Byrnes, R. A. McBride and M. W. Hiland. 1991. **Accuracy standards and development of a national shoreline change database**. Proceedings of the Coastal Sediments 91 (Seattle, Washington), pp. 1027–1042.
- [27] D. Drevon, S. R. Fursa and A. Malcolm. 2016. **Intercoder reliability and validity of WebPlotDigitizer in extracting graphed data**. Behavior Modification, vol. 41.
- [28] กรมทรัพยากรทางทะเลและชายฝั่ง. 2561. **คู่มือความรู้ การกัดเซาะชายฝั่ง**.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง เพื่อเพิ่มความเข้าใจหลักการของการคำนวณพื้นที่ การเคลื่อนที่ของแนวชายฝั่ง อัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง และการทำนายแนวชายฝั่ง จึงยกตัวอย่างดังนี้

ตัวอย่างที่ 1) เป็นการคำนวณของการหาพื้นที่ชายฝั่ง โดยพิจารณาจากรูปที่ 1 (ตัวอย่าง) ในตัวอย่างนี้จะแสดงการหาพื้นที่ของปี 2552 ซึ่งใช้เส้นแนวชายฝั่งปี 2552 มาพิจารณา จากรูป จะพบว่ามี ทั้งหมด 4 transect



รูปที่ 1 (ตัวอย่าง) การหาพื้นที่ชายฝั่ง

จากการหาพื้นที่ชายฝั่งจะใช้สมการที่ (2.2) และจากรูปที่ 1 (ตัวอย่าง) มีทั้งหมด 4 transect จะได้

$$A = \frac{L}{2} \sum_{j=1}^3 (l^{(j)} + l^{(j+1)})$$

นั่นคือ

$$A = \frac{L}{2} \left[ (l^{(1)} + l^{(2)}) + (l^{(2)} + l^{(3)}) + (l^{(3)} + l^{(4)}) \right] \tag{1}$$

จากสมการที่ (1) มีตัวแปรที่จะต้องหาคือ  $l^{(1)}, l^{(2)}, l^{(3)}, l^{(4)}$  และ  $L$  โดยแต่ละ transect จะได้พิกัดคู่อันดับลงจิจุดกับละติจูด 2 คู่ ดังนี้ transect ที่ 1, 2, 3 และ 4 จะได้ [(100.9368, 13.4649), (100.9368, 13.4677)], [(100.9369, 13.4641), (100.9369, 13.4677)], [(100.9370, 13.4641), (100.9370, 13.4677)] และ [(100.9371, 13.4649), (100.9371, 13.4677)] ตามลำดับ

พิจารณาการหา  $l^{(1)}$  ซึ่งเป็นระยะทางจากเส้นแนวชายฝั่งไปยัง onshore baseline ของ transect ที่ 1 โดยใช้สมการที่ (2.1) และกำหนดให้เป็นสมการที่ (2) นั่นคือ

$$D = 2R \times \arcsin(\sqrt{a}) \tag{2}$$

โดยที่

$$a = \sin^2 \left( \frac{\frac{\pi}{180}(lat_2 - lat_1)}{2} \right) + \left( \cos \left( \frac{\pi}{180} \times lat_1 \right) \times \cos \left( \frac{\pi}{180} \times lat_2 \right) \times \sin^2 \left( \frac{\frac{\pi}{180}(long_2 - long_1)}{2} \right) \right)$$

จะหาค่าของ  $a$  ก่อนโดยแทนค่าของพิกัดคู่อันดับ [(100.9368, 13.4649), (100.9368, 13.4677)]  
จะได้

$$a = \sin^2 \left( \frac{\frac{\pi}{180}(13.4677 - 13.4649)}{2} \right) + \left( \cos \left( \frac{\pi}{180} \times 13.4649 \right) \times \cos \left( \frac{\pi}{180} \times 13.4677 \right) \times \sin^2 \left( \frac{\frac{\pi}{180}(100.9368 - 100.9368)}{2} \right) \right)$$

$$a = 5.970501 \times 10^{-10}$$

แทนค่า  $a = 5.970501 \times 10^{-10}$  และ  $R$  คือ รัศมีโลก มีค่าประมาณ 6,371 กิโลเมตร ในสมการ  
ที่ (2) จะได้

$$D = 2 \times 6,371 \times \arcsin \left( \sqrt{5.970501 \times 10^{-10}} \right)$$

$$D = 0.3113$$

ดังนั้นค่าของ  $I^{(1)}$  มีค่าเท่ากับ 0.3113 กิโลเมตร ส่วนค่าของ  $I^{(2)}$ ,  $I^{(3)}$  และ  $I^{(4)}$  สามารถหา  
ได้โดยใช้หลักการเดียวกับการหาค่าของ  $I^{(1)}$  ซึ่งค่าของ  $I^{(2)}$ ,  $I^{(3)}$  และ  $I^{(4)}$  มีค่า 0.4003, 0.4003  
และ 0.3113 กิโลเมตร ตามลำดับ

ในส่วนต่อมาจะพิจารณาการหาค่าของ  $L$  ซึ่งในโจทย์ของตัวอย่างนี้ระยะห่างระหว่าง  
transect ห่างเท่า ๆ กัน โดยจะเลือกพิกัดของคู่อันดับ [(100.9368, 13.4677), (100.9369,  
13.4677)] เพื่อมาเป็นตัวอย่างในการคำนวณ ซึ่งสามารถใช้หลักการคำนวณเพื่อหาระยะทาง  
เช่นเดียวกับการหาค่าของ  $I^{(1)}$  ดังนั้นได้  $L$  มีค่าเท่ากับ 0.0108 กิโลเมตร  
เมื่อได้ค่าของ  $I^{(1)}$ ,  $I^{(2)}$ ,  $I^{(3)}$ ,  $I^{(4)}$  และ  $L$  แล้วในลำดับถัดไปจะนำไปแทนในสมการที่ (1) จะได้

$$A = \frac{0.0108}{2} [(0.3113 + 0.4003) + (0.4003 + 0.4003) + (0.4003 + 0.3113)]$$

$$A = 0.012$$

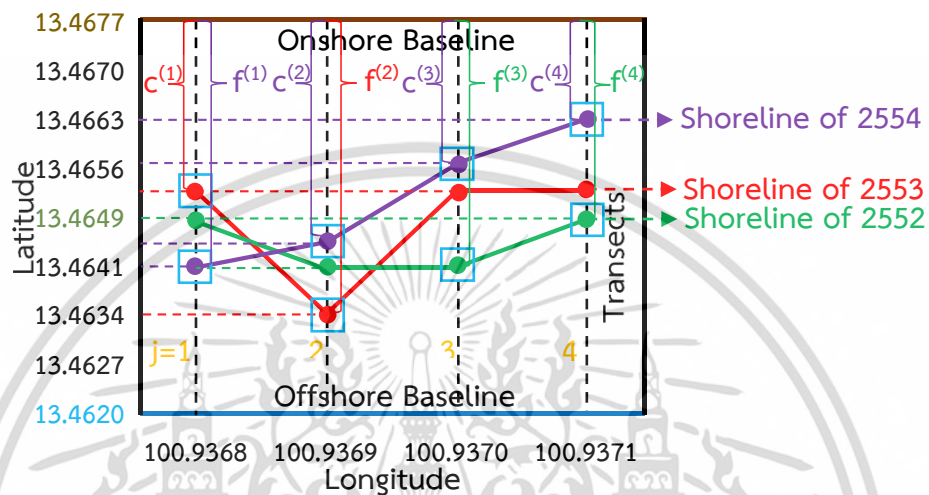
ดังนั้นปี 2552 มีพื้นที่ชายฝั่งประมาณ 0.012 ตารางกิโลเมตร และในส่วนของปีอื่น ๆ

ใช้หลักการเช่นเดียวกันนี้ในการคำนวณหาพื้นที่ชายฝั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 2) เป็นการคำนวณค่าของการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่แนวชายฝั่งด้วยวิธี SCE และ NSM สามารถคำนวณได้ดังนี้

พิจารณาวิธี SCE จะใช้สมการที่ (2.3) ซึ่งเป็นการคำนวณระยะทางระหว่างแนวชายฝั่งที่อยู่ไกลที่สุดกับแนวชายฝั่งที่อยู่ใกล้ที่สุด โดยวัดจาก onshore baseline ของแต่ละ transect และใช้ข้อมูลจากรูปที่ 2 (ตัวอย่าง) ดังนี้



รูปที่ 2 (ตัวอย่าง) การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่แนวชายฝั่งด้วยวิธี SCE

วิธี SCE สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3) นั่นคือ

$$s^{(j)} = f^{(j)} - c^{(j)}$$

ในที่นี้มีทั้งหมด 4 transect จึงได้ค่าของ  $s^{(j)}$ ,  $j = 1, 2, 3, 4$  จำนวน 4 ค่า ดังนั้นจะแสดงตัวอย่างการคำนวณของ  $s^{(1)}$  จากสมการที่ (2.3) จะได้เป็น

$$s^{(1)} = f^{(1)} - c^{(1)} \quad (3)$$

มีตัวแปรที่จะต้องหานั้นคือ  $f^{(1)}$  และ  $c^{(1)}$  โดยสามารถหาได้ดังนี้

พิจารณาการหาค่าของ  $f^{(1)}$  ซึ่งเป็นระยะทางจากเส้นแนวชายฝั่งไปยัง onshore baseline ของ transect ที่ 1 โดยใช้สมการที่ (2.1) และกำหนดให้เป็นสมการที่ (4) นั่นคือ

$$D = 2R \times \arcsin(\sqrt{a}) \quad (4)$$

โดยที่

$$a = \sin^2 \left( \frac{\frac{\pi}{180}(lat_2 - lat_1)}{2} \right) + \left( \cos \left( \frac{\pi}{180} \times lat_1 \right) \times \cos \left( \frac{\pi}{180} \times lat_2 \right) \times \sin^2 \left( \frac{\frac{\pi}{180}(long_2 - long_1)}{2} \right) \right)$$

จะหาค่าของ  $a$  เพื่อนำไปสู่การนำไปแทนค่ากลับในสมการที่ (2.61) ซึ่งเป็นระยะทางของ  $f^{(1)}$  ในขณะเดียวกัน  $f^{(1)}$  จะมีพิกัดคู่อันดับ 2 คู่คือ [(100.9368, 13.4641), (100.9368, 13.4677)] จึงสามารถหาค่าของ  $a$  ได้ดังนี้

$$a = \sin^2 \left( \frac{\frac{\pi}{180}(13.4677 - 13.4641)}{2} \right) + \left( \cos \left( \frac{\pi}{180} \times 13.4641 \right) \times \cos \left( \frac{\pi}{180} \times 13.4677 \right) \times \sin^2 \left( \frac{\frac{\pi}{180}(100.9368 - 100.9368)}{2} \right) \right)$$

$$a = 9.869604 \times 10^{-10}$$

แทนค่า  $a = 9.869604 \times 10^{-10}$  และ  $R$  คือ รัศมีโลก มีค่าประมาณ 6,371 กิโลเมตร ในสมการที่ (4) จะได้

$$D = 2 \times 6,371 \times \arcsin \left( \sqrt{9.869604 \times 10^{-10}} \right)$$

$$D = 0.4003$$

ดังนั้นค่าของ  $f^{(1)}$  มีค่าประมาณ 0.4003 กิโลเมตร หรือ 400.3 เมตร

พิจารณาการหาค่าของ  $c^{(1)}$  ซึ่งใช้หลักการเดียวกับการหาค่าของ  $f^{(1)}$  ดังนั้น  $c^{(1)}$  มีค่าประมาณ 272.4 เมตร เมื่อได้ค่าของ  $f^{(1)}$  และ  $c^{(1)}$  แล้วให้จะนำไปแทนสมการที่ (3) จะได้

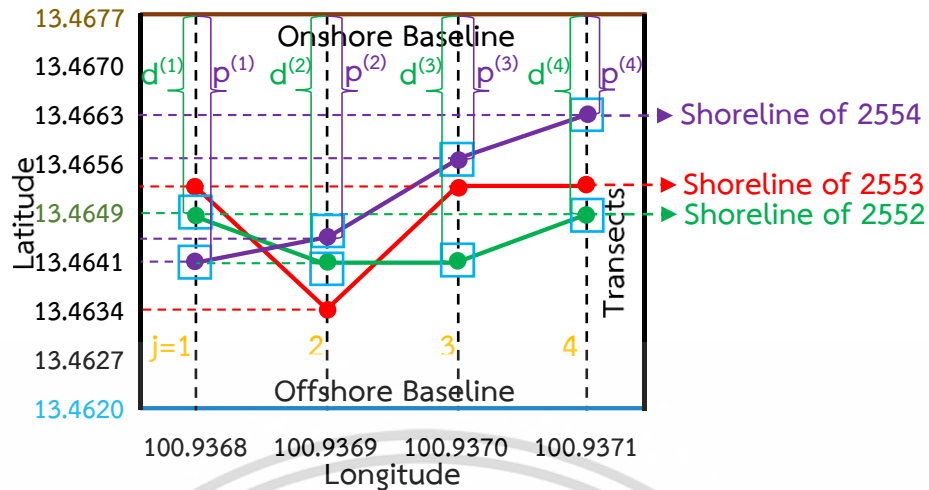
$$s^{(1)} = 400.3 - 272.4$$

$$s^{(1)} = 127.9$$

ดังนั้นค่า SCE ของ transect ที่ 1 มีค่า 127.9 เมตร และค่า SCE ในส่วนของ transect ที่ 2, 3 และ 4 ใช้หลักการเดียวกับการหาค่าของ  $s^{(1)}$  ซึ่งได้ผลลัพธ์คือ 122.3, 166.8 และ 155.7 เมตร ตามลำดับ

พิจารณาวิธี NSM เป็นการคำนวณระยะทางระหว่างแนวชายฝั่งของปีที่เริ่มศึกษากับแนวชายฝั่งของปีศึกษาล่าสุดของแต่ละ transect โดยใช้ข้อมูลจากรูปที่ 3 (ตัวอย่าง) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 (ตัวอย่าง) การเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่แนวชายฝั่งด้วยวิธี NSM

วิธี NSM สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4) นั่นคือ

$$n^{(j)} = p^{(j)} - d^{(j)}$$

ในที่นี้มีทั้งหมด 4 transect จึงได้ค่าของ  $s^{(j)}$ ,  $j=1, 2, 3, 4$  จำนวน 4 ค่า ดังนั้นจะแสดงตัวอย่างการคำนวณของ  $n^{(1)}$  จากสมการที่ (2.4) จะได้เป็น

$$n^{(1)} = p^{(1)} - d^{(1)} \quad (5)$$

ในส่วนต่อมาจะพิจารณาการหาค่าของ  $p^{(1)}$  และ  $d^{(1)}$  ซึ่งจากตัวอย่างที่ 1 ที่ผ่านมาได้มีการแสดงระยะทางใน ใช้หลักการเดียวกับการหาค่าของ  $l^{(1)}$  และ  $f^{(1)}$  ดังนั้นจะได้ว่า  $p^{(1)} = f^{(1)}$  ซึ่งมีค่า 400.3 เมตร และ  $d^{(1)} = l^{(1)}$  มีค่า 311.3 เมตร จึงทำให้สามารถหาค่าของ  $n^{(1)}$  ได้คือ

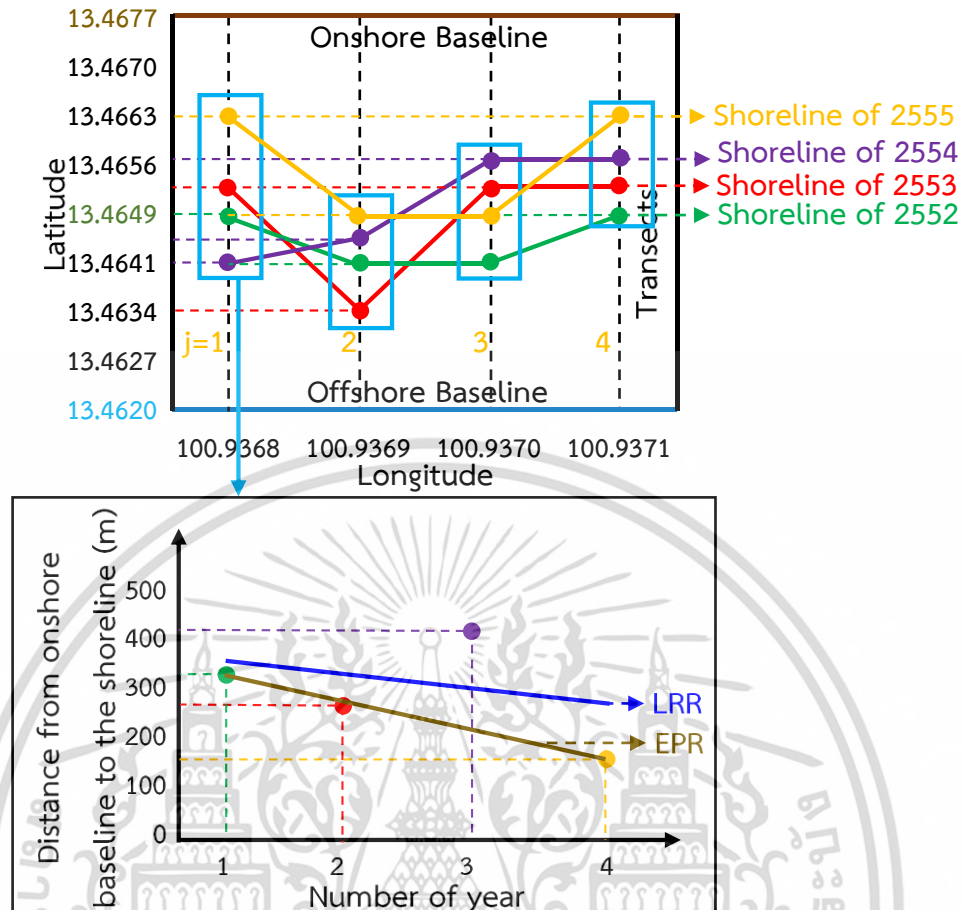
$$n^{(1)} = 400.3 - 311.3$$

$$n^{(1)} = 89$$

ดังนั้นค่า NSM ของ transect ที่ 1 มีค่า 89 เมตร และค่า NSM ในส่วนของ transect ที่ 2, 3 และ 4 ใช้หลักการเดียวกับการหาค่าของ  $n^{(1)}$  ซึ่งได้ผลลัพธ์คือ -44.5, -166.8 และ -155.7 เมตร ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 3) เป็นตัวอย่างการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยวิธี EPR และ LRR โดยใช้ข้อมูลจากรูปที่ 4 (ตัวอย่าง) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 (ตัวอย่าง) อัตราการเปลี่ยนแปลงชายฝั่ง

พิจารณาการหาคำนวณค่าของวิธี EPR โดยจะใช้เพียงพิกัดคู่อันดับของแนวชายฝั่งของปีที่เริ่มต้นศึกษากับปีที่ศึกษาล่าสุด และคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงได้จากสมการที่ (2.6) ซึ่งในตัวอย่างนี้จะพิจารณาของ transect ที่ 1 นั่นคือ

$$\tilde{r}^{(1)} = \frac{p^{(1)} - d^{(1)}}{v - u} \quad (6)$$

โดยที่

$v$  คือ ปีของแนวชายฝั่งที่ศึกษาล่าสุด (ในตัวอย่างนี้คือปี 2555)

$u$  คือ ปีของแนวชายฝั่งที่เริ่มต้นศึกษา (ในตัวอย่างนี้คือปี 2552)

จากสมการที่ (6) สิ่งที่ต้องหาคือ  $p^{(1)}$  และ  $d^{(1)}$  ซึ่งใช้หลักการเดียวของการหาระยะทางจากตัวอย่างก่อนหน้านี้มีค่าโดยมีค่า (ตัวอย่างนี้ขอใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง) 155.673 และ 311.346 เมตรตามลำดับ ดังนั้นสามารถนำไปแทนในสมการที่ (6) จะได้

$$\tilde{r}^{(1)} = \frac{155.673 - 311.346}{4 - 1}$$

$$\tilde{r}^{(1)} = -51.891$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นค่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยวิธี EPR ที่ transect ที่ 1 มีค่าประมาณ -51.891 เมตรต่อปี ส่วนใน transect ที่ 2, 3 และ 4 ใช้หลักการเดียวกันกับ  $\hat{r}^{(1)}$  และมีค่า -29.652, -29.652 และ -51.891 เมตรต่อปี ตามลำดับ

พิจารณาวิธี LRR ซึ่งใช้ข้อมูลพิกัดคู่อันดับของแนวชายฝั่งทั้งหมดมาคำนวณมีด้วยกัน 4 คู่ อันดับคือ (1, 311.346), (2, 272.428), (3, 400.302) และ (4, 155.673) โดยสามารถคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งโดยใช้สมการที่ (2.24) ในที่นี้จะยกตัวอย่างของ transect ที่ 1 ข้อมูลเส้นแนวชายฝั่งจำนวน 3 ปี ( $m=4$ ) จะได้

$$\hat{r}^{(1)} = \frac{4 \sum_{i=1}^4 y_i^{(1)} t_i - \sum_{i=1}^4 y_i^{(1)} \sum_{i=1}^4 t_i}{4 \sum_{i=1}^4 t_i^2 - \left( \sum_{i=1}^4 t_i \right)^2} \quad (7)$$

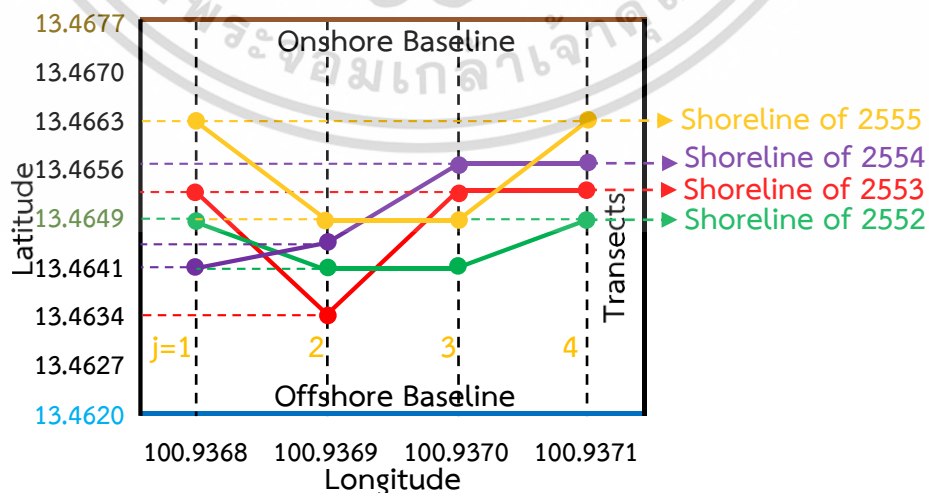
ในลำดับต่อมาคำนวณหาค่าของ  $\sum_{i=1}^4 y_i^{(1)} t_i$ ,  $\sum_{i=1}^4 y_i^{(1)}$ ,  $\sum_{i=1}^4 t_i$ ,  $\sum_{i=1}^4 t_i^2$  และ  $\left( \sum_{i=1}^4 t_i \right)^2$  ซึ่งได้ผลลัพธ์คือ 2679.8, 1139.749, 10, 30 และ 100 ตามลำดับ และนำไปแทนในสมการที่ (7) จะได้

$$\hat{r}^{(1)} = \frac{4(2679.8) - (1139.749)(10)}{4(30) - 100}$$

$$\hat{r}^{(1)} = -33.915$$

ดังนั้นค่าของอัตราการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งด้วยวิธี LRR ที่ transect ที่ 1 มีค่าประมาณ -33.915 เมตรต่อปี ส่วนใน transect ที่ 2, 3 และ 4 ใช้หลักการเดียวกันกับ  $\hat{r}^{(1)}$  และมีค่า -38.918, -30.579 และ -50.594 เมตรต่อปี ตามลำดับ

ตัวอย่างที่ 4) เป็นการทำนายแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง EPR และ LRR โดยใช้ข้อมูลจากรูปที่ 5 (ตัวอย่าง) ดังนี้



รูปที่ 5 (ตัวอย่าง) ข้อมูลที่ใช้คำนวณการทำนายแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง EPR และ LRR เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณาการทำนายแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง EPR ในตัวอย่างนี้จะทำนายแนวชายฝั่งปี 2556 (ปีที่ 5) และใช้สมการที่ (2.14) ในการทำนายแนวชายฝั่ง โดยจะขอแสดงตัวอย่างของการทำนายแนวชายฝั่งใน transect ที่ 1 จะได้

$$\tilde{y}^{(1)} = \left( \frac{p^{(1)} - d^{(1)}}{v - u} \right) (t - v) + p^{(1)} \quad (8)$$

จากตัวอย่างที่ 4) ทำให้ทราบค่าของ  $\left( \frac{p^{(1)} - d^{(1)}}{v - u} \right)$  ซึ่งมีค่า  $-51.891$  ส่วนค่าของ  $t$  เท่ากับ 5 (ทำนายปี 2556),  $v$  มีค่าเท่ากับ 4 และ  $p^{(1)}$  เท่ากับ 155.673 โดยนำไปแทนในสมการที่ (8) จะได้

$$\tilde{y}^{(1)} = -51.891(5 - 4) + 155.673$$

$$\tilde{y}^{(1)} = 103.782$$

การทำนายแนวชายฝั่งปี 2556 ของ transect ที่ 1 ด้วยแบบจำลอง EPR ได้ระยะทาง 103.782 เมตร โดยวัดจาก onshore baseline ซึ่งจะต้องนำค่าระยะทางนี้แปลงกลับเป็นละติจูดโดยใช้สมการที่ (2.1) และแก้สมการย้อนกลับเพื่อหาละติจูด นั่นคือ

$$lat_1 = lat_2 - \left( \frac{360}{\pi} \right) \left( \arcsin \left( \frac{D}{2R} \right) \right) \quad (9)$$

ในที่นี้จะได้ว่า  $lat_2$  มีค่า 13.4677,  $D$  มีค่าเท่ากับ 103.782 เมตร (0.103782 กิโลเมตร) และ  $R$  คือ รัศมีโลกมีค่าประมาณ 6,371 กิโลเมตร และแทนค่าลงในสมการที่ (9) จะได้

$$lat_1 = 13.4677 - \left( \frac{360}{\pi} \right) \left( \arcsin \left( \frac{0.103782}{2 \times 6371} \right) \right)$$

$$lat_1 = 13.46677$$

ดังนั้นการทำนายแนวชายฝั่งปี 2556 ของ transect ที่ 1 ด้วยแบบจำลอง EPR แนวชายฝั่งอยู่ตำแหน่งที่ลองจิจูด 100.9368 ละติจูดที่ 13.46677 ส่วน transect ที่ 2, 3 และ 4 ได้ตำแหน่งชายฝั่งคือ (100.9369, 13.46517), (100.9370, 13.46517) และ (100.9371, 13.46677) ตามลำดับ และสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 6 (ตัวอย่าง)

พิจารณาการทำนายแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง LRR ในตัวอย่างนี้จะทำนายแนวชายฝั่งปี 2556 (ปีที่ 5) ในการทำนายแนวชายฝั่ง จากข้อมูลรูปที่ 5 (ตัวอย่าง) พบว่ามีข้อมูลเส้นแนวชายฝั่งเท่ากับ 4 ( $m=4$ ) และใช้ข้อมูลพิกัดคู่อันดับของแนวชายฝั่งทั้งหมดมาคำนวณมีด้วยกัน 4 คู่ของ transect ที่ 1 จะได้ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1 (ตัวอย่าง)

ตารางที่ 1 (ตัวอย่าง) ข้อมูลที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลอง LRR เพื่อทำนายแนวชายฝั่งปี 2556

ปีที่	1	2	3	4	5
ระยะทางจาก onshore baseline ไปยังเส้นแนวชายฝั่ง (เมตร)	311.346	272.428	400.302	155.673	ทำนาย

จากข้อมูลตารางที่ 1 (ตัวอย่าง) จะนำค่ามาคำนวณโดยใช้สมการ (2.25) จะได้

$$\hat{y}_i^{(1)} = \left( \frac{4 \sum_{i=1}^4 y_i^{(1)} t_i - \sum_{i=1}^4 y_i^{(1)} \sum_{i=1}^4 t_i}{4 \sum_{i=1}^4 t_i^2 - \left( \sum_{i=1}^4 t_i \right)^2} \right) t_i + \left( \frac{\sum_{i=1}^4 y_i^{(1)}}{4} - \frac{\hat{r}^{(1)} \sum_{i=1}^4 t_i}{4} \right) \quad (10)$$

จากสมการที่ (10) ค่าของ  $\sum_{i=1}^4 y_i^{(1)} t_i$ ,  $\sum_{i=1}^4 y_i^{(1)}$ ,  $\sum_{i=1}^4 t_i$ ,  $\sum_{i=1}^4 t_i^2$ ,  $\left( \sum_{i=1}^4 t_i \right)^2$  และ  $\hat{r}^{(1)} \sum_{i=1}^4 t_i$  มีค่า 2679.8, 1139.749, 10, 30, 100 และ -339.15 ตามลำดับ และนำไปแทนค่าในสมการที่ (10) จะได้

$$\hat{y}_i^{(1)} = \left( \frac{4(2679.8) - (1139.749)(10)}{4(30) - 100} \right) t_i + \left( \frac{1139.749}{4} - \frac{-339.15}{4} \right)$$

$$\hat{y}_i^{(1)} = -33.915 t_i + 369.725$$

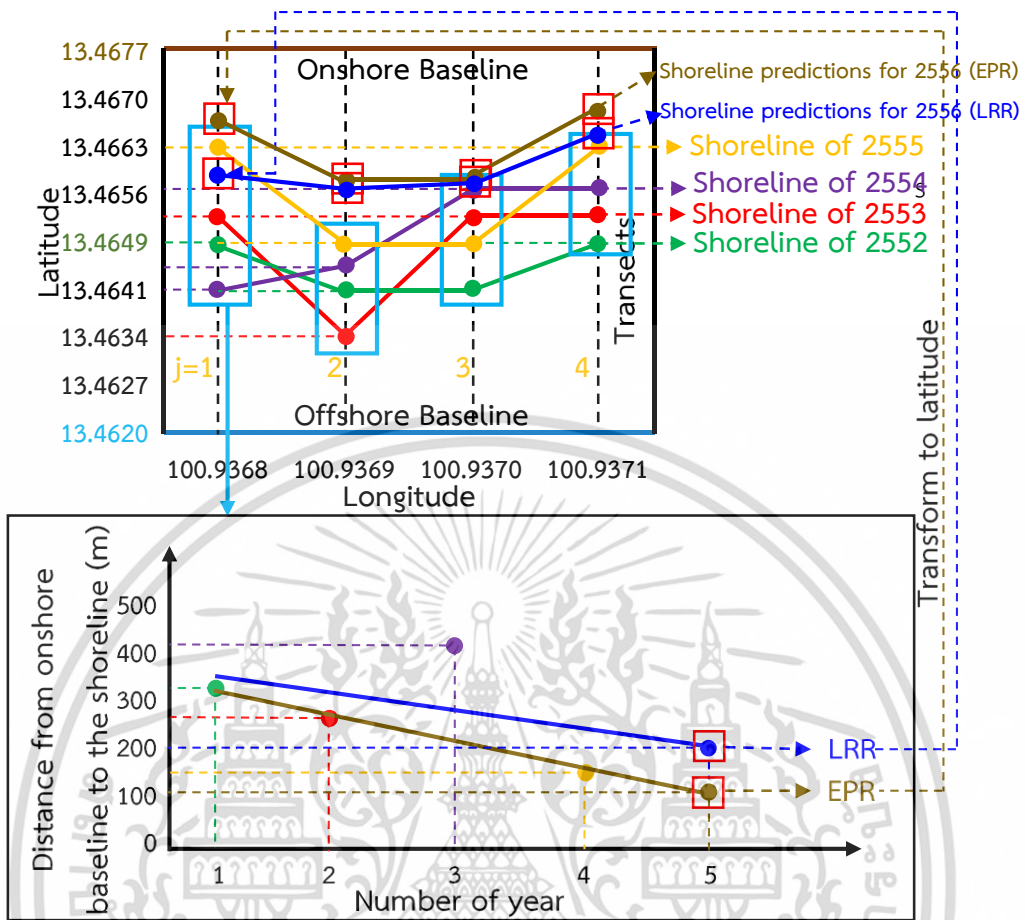
ทำนายปี 2556 (ปีที่ 5) จะได้

$$\hat{y}_5^{(1)} = -33.915 t_5 + 369.725$$

$$\hat{y}_5^{(1)} = -33.915(5) + 369.725$$

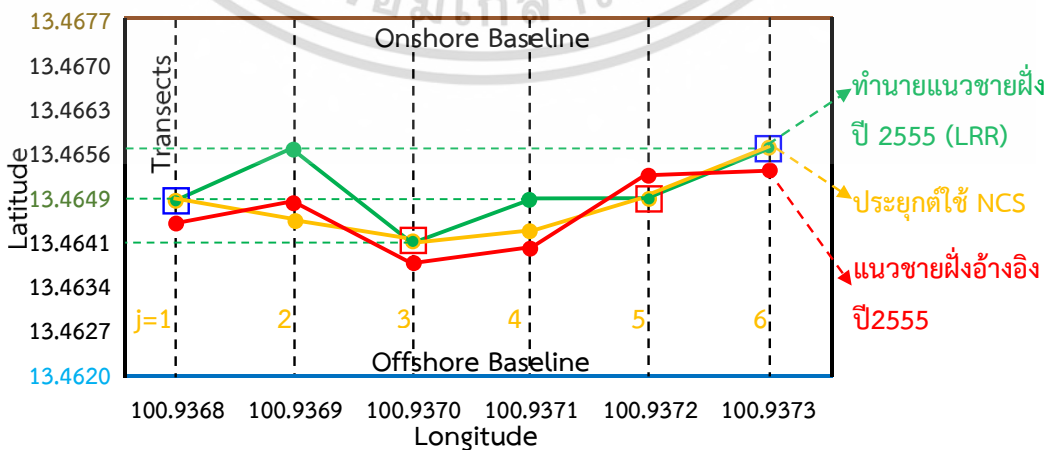
$$\hat{y}_5^{(1)} = 200.150$$

ดังนั้นการทำนายแนวชายฝั่งปี 2556 ของ transect ที่ 1 ด้วยแบบจำลอง LRR ได้ระยะทาง 200.150 เมตร โดยวัดจาก onshore baseline ซึ่งจะต้องนำค่าระยะทางนี้แปลงกลับเป็นละติจูดโดยใช้สมการที่ (2.1) และแก้สมการย้อนกลับเพื่อหาละติจูด เช่นเดียวกับตัวอย่างข้างต้นที่ได้แสดงในแบบจำลอง EPR และในส่วนของแบบจำลอง LRR แนวชายฝั่งอยู่ตำแหน่งที่ลองจิจูด 100.9368 ละติจูดที่ 13.4659 ส่วน transect ที่ 2, 3 และ 4 ได้ตำแหน่งชายฝั่งคือ (100.9369, 13.46510), (100.9370, 13.46565) และ (100.9371, 13.46665) ตามลำดับ และสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 6 (ตัวอย่าง)



รูปที่ 6 (ตัวอย่าง) ผลลัพธ์ของการทำนายแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง EPR และ LRR

ตัวอย่างที่ 5) การประยุกต์แบบจำลอง EPR และ LRR ร่วมกับการประมาณค่าในช่วงด้วย NCS โดยตัวอย่างนี้จะสมมติค่าที่ได้จากการทำนายแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง LRR จะพิจารณาข้อมูลที่ได้จากการทำนาย โดยมองเป็นชุดข้อมูลชุดใหม่ พิจารณารูปที่ 7 (ตัวอย่าง) ดังนี้



รูปที่ 7 (ตัวอย่าง) แสดงข้อมูลของการประยุกต์ใช้แบบจำลอง LRR ร่วมกับ NCS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดเห็นเข้าโดยไม่ได้รับอนุญาตจากการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 7 (ตัวอย่าง) จะได้ข้อมูลที่ได้จากการทำนายแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง LRR แสดงดังตารางที่ 2 (ตัวอย่าง) ดังนี้

ตารางที่ 2 (ตัวอย่าง) ข้อมูลที่ได้จากการทำนายแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง LRR

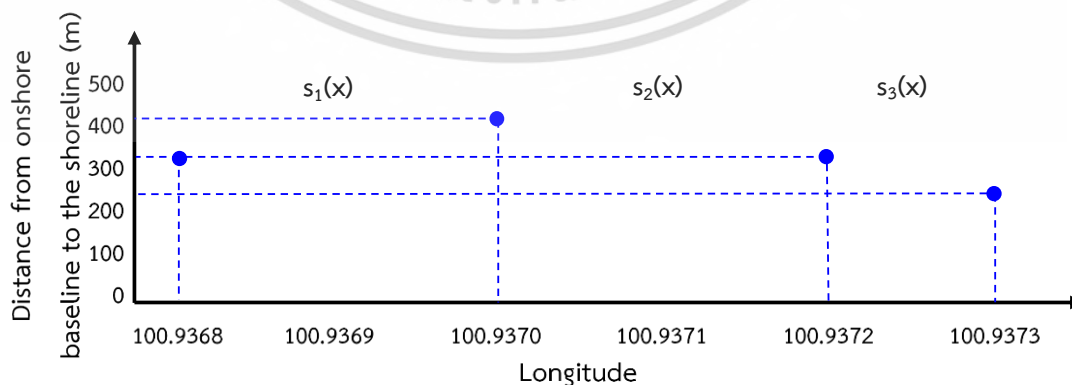
i	1	2	3	4	5	6
ลองจิจูด ( $x_i$ )	100.9368	100.9369	100.9370	100.9371	100.9372	100.9373
ระยะทางจาก onshore baseline ไปยังเส้นแนวชายฝั่ง (เมตร) ( $y_i$ )	311.346	233.509	400.302	311.346	311.346	233.509

จากตารางที่ 2 (ตัวอย่าง) และรูปที่ 7 (ตัวอย่าง) โดยกำหนดให้ข้อมูลที่  $i = 1$  และ  $i = 6$  เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของข้อมูล และข้อมูลที่  $i = 2, 3, 4$  และ  $5$  จะสุ่มข้อมูลเพื่อจะนำมาคำนวณด้วย NCS ในที่นี้สุ่มเลือกข้อมูลแสดงได้ดังตารางที่ 3 (ตัวอย่าง)

ตารางที่ 3 (ตัวอย่าง) ข้อมูลที่สุ่มจากการทำนายแนวชายฝั่งด้วยแบบจำลอง LRR

i เดิม	1	3	5	6
i ใหม่	1	2	3	4
ลองจิจูด ( $x_i$ )	100.9368	100.9370	100.9372	100.9373
ระยะทางจาก onshore baseline ไปยังเส้นแนวชายฝั่ง (เมตร) ( $y_i$ )	311.346	400.302	311.346	233.509

ข้อมูลจากตารางที่ 3 (ตัวอย่าง) ข้างต้น จะนำไปคำนวณด้วย NCS เพื่อใช้ประมาณค่าของตำแหน่งลองจิจูดที่ 100.9369 และ 100.9371 ตามลำดับ และสามารถพิจารณารูปที่ 8 (ตัวอย่าง) เพื่อความเข้าใจมากขึ้น



รูปที่ 8 (ตัวอย่าง) รูปประกอบการประมาณค่าในช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 8 (ตัวอย่าง) พบว่าต้องฟังก์ชันทั้งหมด 3 ฟังก์ชันที่ใช้สำหรับการประมาณค่าในช่วงของตัวอย่างนี้ โดยมีฟังก์ชัน  $s_1(x)$ ,  $s_2(x)$  และ  $s_3(x)$  และใช้สมการที่ (2.27) ในการประมาณค่า ละติจูดที่ตำแหน่งลองจิจูด 100.9369 และ 100.9371 จะได้

$$s_1(x) = a_1(x-x_1)^3 + b_1(x-x_1)^2 + c_1(x-x_1) + d_1 \quad ; x_1 \leq x < x_2 \quad (11)$$

$$s_2(x) = a_2(x-x_2)^3 + b_2(x-x_2)^2 + c_2(x-x_2) + d_2 \quad ; x_2 \leq x < x_3 \quad (12)$$

$$s_3(x) = a_3(x-x_3)^3 + b_3(x-x_3)^2 + c_3(x-x_3) + d_3 \quad ; x_3 \leq x < x_4 \quad (13)$$

จากสมการที่ (11) ถึงสมการที่ (13) จะต้องหาสัมประสิทธิ์ของ  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  และ  $d_i$  โดยที่  $i=1, 2, 3$  ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากระบบสมการที่ (2.47) นั่นคือ

$$a_i = \frac{M_{i+1} - M_i}{6h_{i+1}} \quad (14)$$

$$b_i = \frac{M_i}{2}$$

$$c_i = \frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{(M_{i+1} + 2M_i)h_{i+1}}{6}$$

$$d_i = y_i$$

จากระบบสมการที่ (14) สามารถหาค่าของ  $M_{i+1}$  และ  $M_i$  โดยที่  $i=1, 2, 3$  ได้จากเมทริกซ์ที่ (2.53) และในตัวอย่างนี้มีข้อมูลทั้งหมด ( $n=4$ ) จะได้

$$\begin{bmatrix} M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 & h_3 \\ h_3 & \alpha_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{y_3 - y_2}{h_3} - \frac{(y_2 - y_1)}{h_2} \\ \frac{y_4 - y_3}{h_4} - \frac{(y_3 - y_2)}{h_3} \end{bmatrix} \quad (15)$$

โดยที่  $\alpha_i = 2(h_{i+1} + h_{i+2})$ ;  $i=1, 2$  และ  $h_i = x_i - x_{i-1}$ ;  $i=2, 3, 4$  นำข้อมูลจากตารางที่ 3 (ตัวอย่าง) แทนค่าในเมทริกซ์ที่ (15) โดยในที่นี้จะคำนวณโดยใช้โปรแกรม R ซึ่งได้ผลลัพธ์ของสัมประสิทธิ์ ดังนี้

$$s_1(x) = -5.307023 \times 10^{12} (x-100.9368)^3 + 0(x-100.9368)^2 + 657060.91(x-100.9368) + 311.346 \quad ; 100.9368 \leq x < 100.9370 \quad (16)$$

$$s_2(x) = 4.296114 \times 10^{12} (x-100.9370)^3 - 3184213636(x-100.9370)^2 + 20218.18(x-100.9370) + 400.302 \quad ; 100.9370 \leq x < 100.9372 \quad (17)$$

$$s_3(x) = 2.021818 \times 10^{12} (x-100.9372)^3 - 606545455(x-100.9372)^2 - 737933.64(x-100.9372) + 311.346 \quad ; 100.9372 \leq x < 100.9373 \quad (18)$$

เมื่อได้สมการที่ใช้สำหรับประมาณค่าในแต่ละช่วงแล้ว ดังนั้นสามารถทำนายแนวชายฝั่งที่ตำแหน่งลองจิจูด 100.9369 โดยใช้สมการที่ (16) และที่ลองจิจูด 100.9371 ใช้สมการที่ (17) ได้ผลลัพธ์คือ 371.7451 เมตร และ 374.7778 เมตร ตามลำดับ (เป็นระยะทางที่วัดจาก onshore baseline) และขั้นตอนสุดท้ายจะต้องแปลงกลับไปเป็นละติจูด (ใช้หลักการเดียวกันกับตัวอย่างที่ได้

แสดงไว้ก่อนหน้านี้) นั่นคือที่ลองจิจูด 100.9369 ได้ตำแหน่งละติจูดเป็น 13.46436 และลองจิจูดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกต่อนโยบายหรือเงื่อนไขใดๆ และไม่รับประกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100.9371 ได้ตำแหน่งละติจูดที่ 13.46433 และจะได้ข้อมูลที่เกิดจากการประยุกต์ LRR ร่วมกับ NCS ให้นำไปทดสอบเพื่อประเมินความเหมาะสมของแบบจำลองในลำดับต่อไป และหลักในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อให้ได้แบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดจะใช้หลักแนวคิดดังรูปที่ 3.7 กระบวนการของการประยุกต์ใช้การประมาณค่าในช่วงด้วย NCS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายสุรัตน์ พูลสวัสดิ์
วัน เดือน ปีเกิด	25 สิงหาคม 2538
ที่อยู่ปัจจุบัน	99/484 หมู่บ้านเอโทลล์ดีฟปีซส์ ตำบลบางพลี อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540
ประวัติการศึกษา	2561 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาคณิตศาสตร์ประยุกต์ เกรตเฉลี่ย 3.28 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2564 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาคณิตศาสตร์ประยุกต์ เกรตเฉลี่ย 3.76 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษาของคณะวิทยาศาสตร์ ทุนศูนย์ความเป็นเลิศทางคณิตศาสตร์
ผลงานทางวิชาการ	Spatial and Temporal Shoreline Changes of the Bang Pakong Subdistrict (Thailand) in 2009–2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้