

หลักฐานทางธรณีศาสตร์ฐานวิทยาชายฝั่งทะเลที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของ
ระดับน้ำทะเลในสมัยโฮโลซีน อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
นางสาวณิชา ขันเยี่ยม

ธรณีวิทยา

2558

หลักฐานทางธรณีฐานวิทยาชายฝั่งทะเลที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล
ในสมัยโฮโลซีน อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี

นางสาวณิชา อ้นเอี่ยม
เลขประจำตัวนิต 5532716923

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

COASTAL GEOMORPHOLOGIC EVIDENCES OF HOLOCENE SEA-LEVEL
CHANGE AT AMPHOE CHAIYA, CHANGWAT SURAT THANI

MISS NICHIA OWN-EIUM

IDENTIFICATION NUMBER 5532716923

A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF THE BACHELOR OF SCIENCE IN GEOLOGY
DEPARTMENT OF GEOLOGY, FACULTY OF SCIENCE, CHULALONGKORN UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2015

วันที่ส่ง/...../.....

วันที่อนุมัติ/...../.....

ลงชื่อ

(อาจารย์ ดร.สุเมธ พันธุ์วงศ์ราช)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้องานวิจัย	หลักฐานทางธรณีฐานฐานวิทยาชายฝั่งทะเลที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในสมัยโฮโลซีน อำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี
นักวิจัย	นางสาวณิชา อ้นเอียด
ภาควิชา	ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ.ดร.สุเมธ พันธุ์วงศ์ราช
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ศ.ดร.มนตรี ชูวงศ์
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

ที่ราบสันทรายสลับแ่งที่ลุ่มต่ำเป็นลักษณะธรณีฐานอย่างหนึ่งที่เกิดจากการถดถอยของระดับน้ำทะเลในอดีต โดยลักษณะการสะสมตัวของสันทรายอาจได้รับอิทธิพลจากปัจจัยหลายด้าน เช่น ช่วงเวลาในการถดถอยของระดับน้ำทะเล ทิศทางของกระแส น้ำ และ ปริมาณของตะกอนที่มาสะสมตัว และหากเราทราบอายุของสันทรายเหล่านี้ ก็สามารถที่จะบอกสภาพแวดล้อมการสะสมตัวและการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในช่วงเวลานั้นได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าอายุของที่ราบสันทรายสลับกับแ่งที่ลุ่มต่ำและสันดอนจะงอย บริเวณอำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี โดยใช้วิธีการหาอายุด้วยการกระตุ้นด้วยแสง (Optically stimulated luminescence, OSL) เพื่อนำมาใช้หาอัตราและทิศทางการสะสมตัวของที่ราบสันทรายในอดีต จากการเก็บข้อมูลภาคสนาม ได้ทำการเก็บตัวอย่างทรายจากที่ราบสันทราย 6 ตัวอย่าง และจากสันดอนจะงอย 6 ตัวอย่าง นำกลับมาหาอายุในห้องปฏิบัติการและวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตะกอน รวมทั้งแปลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อจัดกลุ่มที่ราบสันทรายเป็นหน่วยย่อย ตามทิศทางการวางตัวและระยะห่างของสันทรายแต่ละสัน

ผลการหาอายุ พบว่าอายุของที่ราบสันทรายอยู่ในยุคโฮโลซีน โดยสันทรายบริเวณสันดอนจะงอย มีอายุระหว่าง 230 ± 10 ปี ถึง 1030 ± 60 ปี โดยสันทรายที่อายุน้อยที่สุดอยู่ทางตอนปลายของสันดอน และอายุของสันทรายบริเวณที่ราบสันทรายสลับแ่งที่ลุ่มต่ำอยู่ระหว่าง $1,880 \pm 140$ ปี ถึง $3,590 \pm 270$ ปี จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูงสามารถแบ่งพื้นที่ราบสันทรายโบราณออกได้เป็น 4 หน่วย ได้แก่ A1, A2, A3, A4 โดย A1 อยู่บริเวณสันดอนจะงอย มีทิศทางการวางตัวเฉลี่ยประมาณ 164 องศาจากทิศเหนือ และมีระยะห่างของสันทรายเฉลี่ย 31 เมตร A2 มีทิศทางการวางตัวเฉลี่ย 221 องศา มีระยะห่างของสันทรายเฉลี่ย 38 เมตร A3 มีทิศทางการวางตัวเฉลี่ย 143 องศา มีระยะห่างของสันทรายเฉลี่ย 47 เมตร และ A4 มีทิศทางการวางตัวเฉลี่ย 188 องศา มีระยะห่างของสันทรายเฉลี่ย 71 เมตร

ส่วนการสะสมตัวของที่ราบสันทราย แบ่งได้ 3 ช่วง คือ ในช่วงแรกสันทรายมีการสะสมตัวไปทางทิศตะวันออกเฉียงไปทางใต้เล็กน้อย หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนทิศทางการสะสมตัวไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และสุดท้ายจึงเกิดการสะสมตัวของสันดอนจะงอยออกไปทางทิศใต้ของพื้นที่ศึกษา

คำสำคัญ: ที่ราบสันทราย, การหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง, การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในสมัยโฮโลซีน

Project title: COASTAL GEOMORPHOLOGIC EVIDENCES OF HOLOCENE SEA-LEVEL
CHANGE AT AMPHOE CHAIYA, CHANGWAT SURAT THANI.

Researcher: Miss Nicha Own-eium

Department: Geology

Advisor: Dr. Sumet Phantuwongraj

Academic Year: 2015

ABSTRACT

Strandplain is a geomorphology of beach ridges and swales on the coastal plain that formed by sea level regression. The deposition of strandplain is affected by several geological features such as sea level change, current directions and the amount of sediment supply. If we know the age of beach ridges then we can determine depositional environment of that certain times.

This project aimed to find the ages of beach ridge plain in Amphoe Chaiya, Changwat Surat Thani using Optically Stimulated Luminescence (OSL) method, and use them to calculate the rate of deposition and direction of sedimentation in the past. Twelve sand samples were collected from the beach ridge plain and sand spit in the study area for laboratory analyses. High resolution satellite images were used for the interpretation of geomorphological units and also divided beach ridges plain into subunit using the direction of the ridges and distances between ridges as criteria.

The sediment samples from beach ridges are mostly composed of quartz, with minor feldspar and heavy minerals. The grain shape is subangular with medium to high sphericity. The OSL dating ages are as follow, the youngest beach ridge is 230 ± 10 years old and the oldest beach ridge is $3,590 \pm 270$ years old. From satellite images interpretation, the strandplain can be divided into 4 units; A1, A2, A3 and A4. Beach ridges in A4 unit are deposited before 3,590 years ago, it growth direction is to the southeast. Subsequently, beach ridges at unit A2 and A3 are deposited between 3,590 and 1,880 years ago and developed in the northeastern trend. Lastly, unit A1, the sand spit, then grew into southeastern direction

Key words: strandplain, Optically Stimulated Luminescence dating, Holocene sea level change

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์สุเมธ พันธุวงศ์ราช อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความรู้และคำแนะนำในการทำวิจัย รวมถึงช่วยเหลือในการออกภาคสนาม ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ขอขอบคุณอาจารย์มนตรี ชูวงษ์ และ อาจารย์สันติ ภัยหลบลี้ ที่ให้คำแนะนำในการอภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ขอขอบคุณอาจารย์ปัญญา จารุศิริ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือทำการวิจัย และขอบคุณนาย พิรสิทธิ์ สุรเกียรติชัย ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ รวมถึงบุคลากรในภาควิชาทุกท่านที่ช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย

ขอบคุณนางสาวกนกภรณ์ สํารัญจิตร นายพศิน ชิวขุนทด และนายกัมปนาท จันทร์คำ ที่ให้ความช่วยเหลือในการออกภาคสนาม สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อน ๆ และพี่น้องในภาควิชาธรณีวิทยาทุกคนที่เป็น กำลังใจและมีส่วนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
บทนำ	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
สมมติฐาน	2
ขอบเขตการศึกษา	2
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
พื้นที่ศึกษา	2
บทที่ 2 พื้นที่ศึกษา	3
ลักษณะภูมิประเทศและธรณีสัณฐาน	3
ธรณีวิทยาของพื้นที่	3
สภาพภูมิอากาศ	3
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	5
ขั้นตอนการวิจัย	5
ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและวางแผนการวิจัย	7
การเก็บข้อมูลภาคสนาม	9
วิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ	10

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการศึกษา	16
ลักษณะธรณีสัณฐานของพื้นที่ศึกษา	16
ข้อมูลจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม	18
ผลการหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง	21
ลักษณะทางกายภาพของตะกอนและองค์ประกอบ	21
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล	23
เอกสารอ้างอิง	28
ภาคผนวก	29

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนที่ธรณีสัณฐานและการใช้ที่ดินของพื้นที่ศึกษา	4
รูปที่ 2.2 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดสุราษฎร์ธานี (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)	4
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย	6
รูปที่ 3.2 วิวัฒนาการของที่ราบสันทรายบริเวณเกาะพระทอง จังหวัดพังงา (Brill et al., 2015)	8
รูปที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งชุมพร (Nimnate, 2015)	8
รูปที่ 3.4 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง แสดงในภาพถ่ายดาวเทียม Google Earth	9
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างหลุมเก็บตัวอย่าง และการเก็บตัวอย่างสำหรับ equivalent dose	10
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างความบกพร่องในโครงสร้างผลึก	11
รูปที่ 3.7 กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง	12
รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์อายุของทราย ด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง (modified from Takashima and Honda, 1989)	13
รูปที่ 3.9 ตารางเปรียบเทียบพื้นผิวตะกอน (Powers, 1953)	15
รูปที่ 4.1 ลักษณะธรณีสัณฐานบริเวณสันดอนจะงอย	16
รูปที่ 4.2 ลักษณะธรณีสัณฐานบริเวณสันดอนจะงอย	17
รูปที่ 4.3 ลักษณะธรณีสัณฐานบริเวณที่ราบสันทราย	17
รูปที่ 4.4 แผนที่ธรณีสัณฐานและการใช้ที่ดินของพื้นที่ศึกษา	18
รูปที่ 4.5 แผนที่แสดงหน่วยการสะสมตัวของที่ราบสันทราย แบ่งด้วยเส้นสีแดง เส้นสีส้มคือแนวที่ทำการวัดข้อมูล	19
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงแนวการวางตัวของสันทราย	20
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงแนวระยะห่างของสันทราย	20

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 4.8 อายุของสันทรายในแต่ละจุดศึกษา	21
รูปที่ 5.1 อัตราในการสะสมตัวของสันดอนจะงอย	23
รูปที่ 5.2 อายุของสันทรายจากแนวเก็บตัวอย่างที่ 1	24
รูปที่ 5.3 อายุของสันทรายจากแนวเก็บตัวอย่างที่ 2	24
รูปที่ 5.4 กราฟการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในสมัยโฮโลซีนบริเวณคาบสมุทรมายู (Choowong, 2011)	24
รูปที่ 5.5 ช่วงการสะสมตัวของที่ราบสันทราย	25

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสี และอัตราการแผ่รังสีต่อปี	14
ตารางที่ 4.1 ตารางน้ำหนักตะกอน แยกตามขนาดตะแกรงคัดขนาด	22
ตารางที่ 4.2 ตารางองค์ประกอบของตะกอนจากที่ราบสันทรายและชายหาด	22

บทที่ 1

บทนำ (Introduction)

1.1 บทนำ

บริเวณชายฝั่งซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างแผ่นดินและทะเล เป็นบริเวณที่มีความสำคัญทั้งในแง่ระบบนิเวศน์ เป็นที่อยู่อาศัยและแหล่งอาหารของมนุษย์ ซึ่งกระบวนการทางธรณีวิทยาต่างๆที่มีผลต่อการเกิดและผุพังของชายฝั่ง ได้แก่ การกัดกร่อน การพัดพา และการสะสมตัวของตะกอน และปัจจัยทางธรรมชาติที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ชายฝั่ง เช่น ลักษณะธรณีสัณฐาน ปริมาณตะกอน กระแสลม คลื่น ปรากฏการณ์น้ำขึ้นน้ำลง และการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล หากเราทราบช่วงเวลาในการสะสมตัวของลักษณะธรณีสัณฐาน ก็จะสามารถบอกสภาพแวดล้อมในช่วงเวลานั้นได้

โดยในประเทศไทยมีการพบหลักฐานทางธรณีวิทยาที่บ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในสมัยโฮโลซีน ทั้งในฝั่งอ่าวไทยและอันดามัน เช่น Brill et al. (2015) ได้ทำการศึกษาที่ราบสันทรายบริเวณเกาะพระทอง จังหวัดพังงา สามารถสรุปวิวัฒนาการเชิงพื้นที่ได้เป็น 6 ช่วง ตามอัตราเร็วและแนวการสะสมตัวของสันทราย และสามารถสรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อวิวัฒนาการของที่ราบแนวสันทราย ว่าเป็นผลจากปัจจัยหลัก ได้แก่ ลักษณะธรณีสัณฐานและปริมาณตะกอน สภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล และเหตุการณ์รุนแรง (extreme events) และจากการศึกษาที่จังหวัดชุมพร พบว่าชายฝั่งโบราณมีอายุอยู่ในสมัยโฮโลซีนซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลทั่วโลก (Nimmate et al., 2015)

พื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้อยู่บริเวณอำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชายฝั่งอ่าวไทย มีการพบที่ราบสันทรายซึ่งเป็นลักษณะธรณีสัณฐานวิทยาที่สามารถบ่งชี้แนวชายฝั่งในอดีตได้ และคาดว่าจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเลในสมัยโฮโลซีน โดยยังไม่เคยมีการศึกษาในพื้นที่นี้มาก่อน งานวิจัยนี้จึงจะศึกษาอายุของที่ราบสันทรายและสันดอน โดยใช้วิธีการกระตุ้นด้วยแสง (Optically stimulated luminescence, OSL) เพื่อหาอายุ รวมถึงอัตราการสะสมตัวของตะกอนชายฝั่งและทิศทางการเกิดของที่ราบสันทรายและสันดอนจะงอยนี้ ซึ่งสามารถบ่งบอกแนวชายฝั่งโบราณ ทิศทางของกระแสน้ำในอดีต และหากมีการศึกษาเพิ่มเติมจะสามารถใช้บ่งบอกระดับน้ำทะเลในอดีตได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. กำหนดอายุของสันทรายโบราณ
2. วิเคราะห์อัตราการสะสมตัวและทิศทางการสะสมตัวของที่ราบสันทรายโบราณ

1.3 สมมติฐาน

จากการหาอายุของสันทรายจะทำให้สามารถบอกทิศทางและอัตราในการสะสมตัวของที่ราบสันทรายสลับแอ่งที่ลุ่มต่ำได้ และสามารถใช้ในการแปลลักษณะธรณีสัณฐานของที่ราบสันทรายจากภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อแบ่งช่วงการสะสมตัวของที่ราบสันทราย

1.4 ขอบเขตการศึกษา

หาอายุของสันทรายในที่ราบสันทรายและสันดอนจะงอย บริเวณอำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี ด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยแสง (Optically stimulated luminescence, OSL) เพื่อวิเคราะห์อายุ อัตราและทิศทางการสะสมตัวของแนวชายฝั่งในอดีต ศึกษาลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของตะกอน และเปรียบเทียบกับชายหาดปัจจุบัน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. อายุของสันทรายโบราณ
2. อัตราการสะสมตัวและทิศทางการสะสมตัวของที่ราบสันทรายโบราณ

1.6 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณอำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี บริเวณหาดนายอำเภอ มีความยาว 8 กิโลเมตร อยู่ในแผนที่ภูมิประเทศลำดับชุด L7018 ระวัง 4827IV อำเภอไชยา มาตรฐาน 1:50,000 พื้นที่ศึกษาดังอยู่ระหว่างละติจูดที่ $9^{\circ} 27' 9''$ N ถึง $9^{\circ} 21' 55''$ N และลองจิจูดที่ $99^{\circ} 15' 2''$ E ถึง $99^{\circ} 19' 23''$ E ด้านตะวันออกของพื้นที่ศึกษาติดทะเลอ่าวไทย

บทที่ 2

พื้นที่ศึกษา (Study area)

2.1 ลักษณะภูมิประเทศและธรณีสัณฐาน

จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูง พบว่าพื้นที่ศึกษาบริเวณหาดพุมเรียง อำเภอไชยา มีลักษณะเป็นที่ราบชายฝั่ง โดยชายหาดมีความยาวประมาณ 8 กิโลเมตร มีความกว้างตั้งแต่ 1 – 2.7 กิโลเมตร มีลักษณะธรณีสัณฐานเป็นที่ราบแนวสันทราย ทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของพื้นที่คือ แหลมทราย ซึ่งเป็นสันดอนจะงอยออกยาวไปทางทิศใต้ ทางด้านตะวันตกของพื้นที่มีทางน้ำคือ คลองท่าชนะ โดยบริเวณริมคลองและชายฝั่งทางใต้ของพื้นที่จะพบเป็นที่ราบน้ำท่วมถึง มีดินไม่ขึ้นหนาแน่น นอกจากนี้ยังพบพื้นที่เกษตรกรรมและที่อยู่อาศัยในพื้นที่ โดยมักจะอยู่ใกล้ชายฝั่งและทางน้ำ

2.2 ธรณีวิทยาของพื้นที่

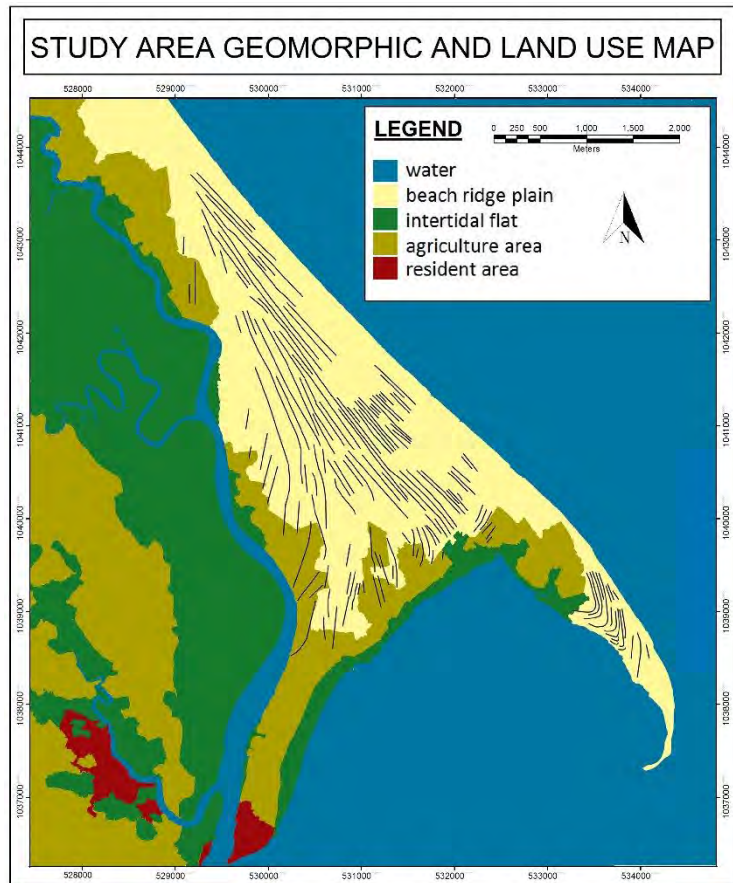
จากแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดสุราษฎร์ธานี (กรมทรัพยากรธรณี, 2550) พื้นที่ศึกษาประกอบด้วยหน่วยตะกอนยุคควอเทอร์นารี คือ หน่วย Qms ซึ่งเป็นตะกอนชายฝั่งโดยอิทธิพลคลื่น หาดสันดอน สันทราย และเนินทราย ประกอบด้วยทรายและทรายปนกรวด

2.3 สภาพภูมิอากาศ

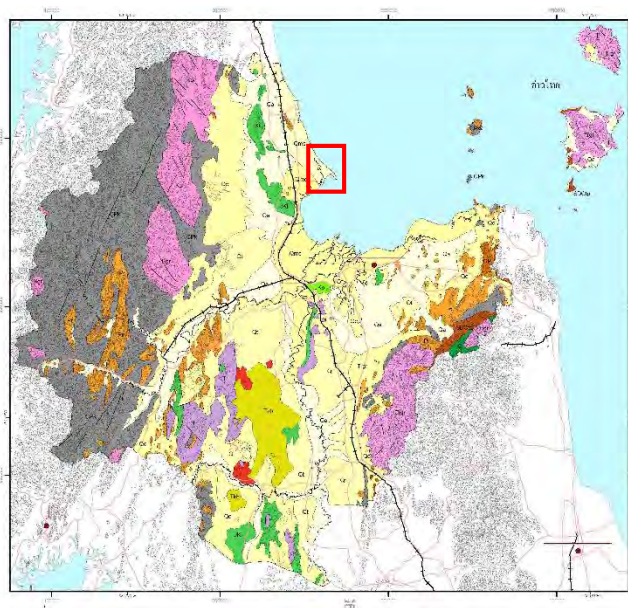
ฤดูกาลในจังหวัดสุราษฎร์ธานีแบ่งออกเป็น 3 ฤดู คือ

- 1) ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม
- 2) ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม
- 3) ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์

มีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 26.3 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 22.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 32.1 องศาเซลเซียส มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 1710.0 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.1 แผนที่ธรณีสัณฐานและการใช้ที่ดินของพื้นที่ศึกษา



แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดสุราษฎร์ธานี

มาตราส่วน



2550

กรมทรัพยากรธรณี

อภิชัย ขวเจริญพันธ์ อธิบดี

สำนักธรณีวิทยา

เบญจวรรณ จารุกุลย์ ผู้อำนวยการสำนัก

คำอธิบาย

EXPLANATION

Qms ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลคลื่น ทราบและทรายปนกรวดของหาดสันดอน
สันทรายและเนินทราย

รูปที่ 2.2 แผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดสุราษฎร์ธานี (กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

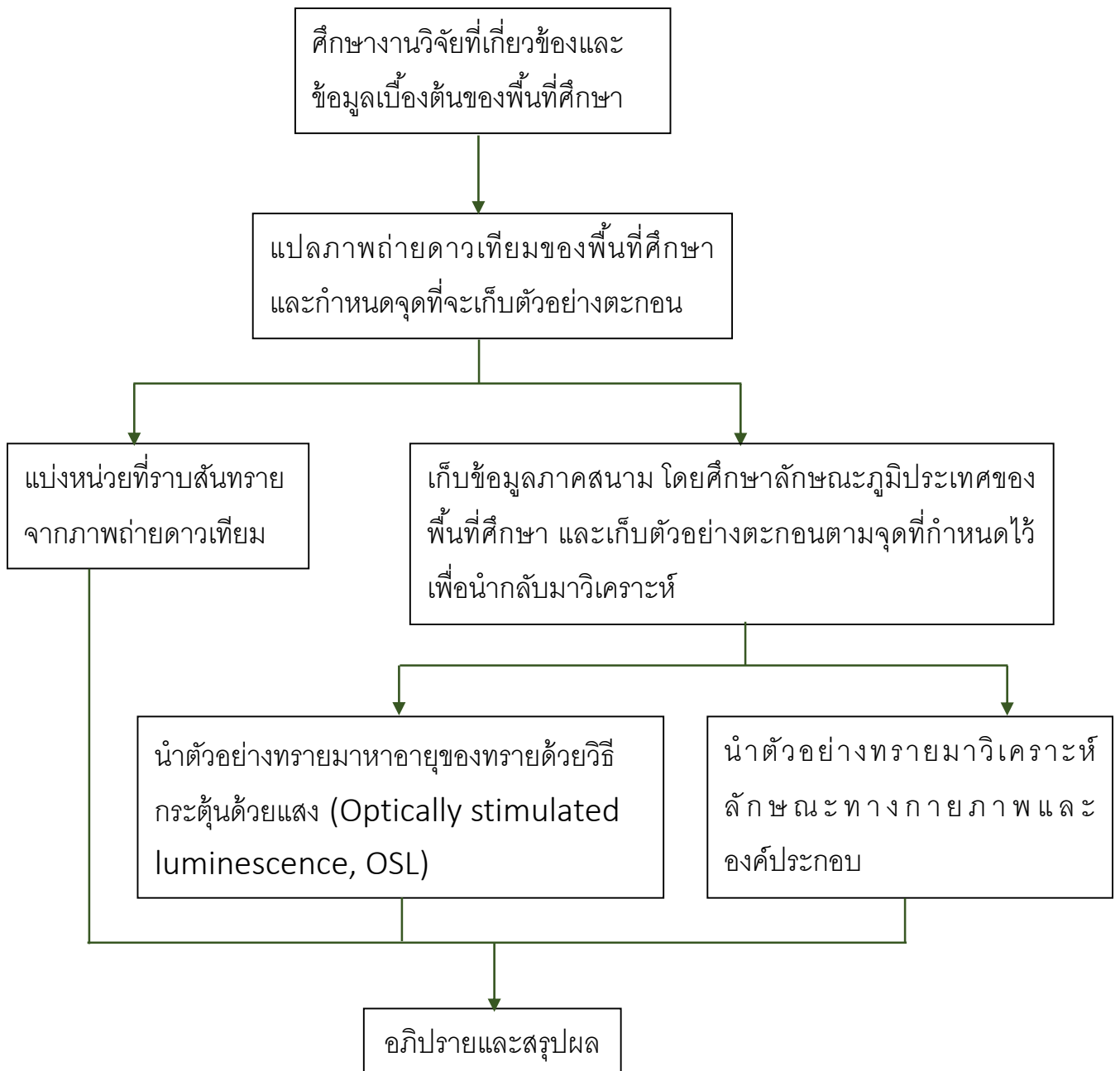
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย (Methodology)

ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยในการวิจัยแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังแสดงในรูป 3.1 และมีรายละเอียดดังนี้

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่ศึกษา
2. แปลภาพถ่ายดาวเทียมของพื้นที่ศึกษาและกำหนดจุดที่จะเก็บตัวอย่างตะกอน
3. ทำแผนที่ธรณีสัณฐานของพื้นที่ศึกษาโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม
4. เก็บข้อมูลภาคสนาม โดยศึกษาลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษา และเก็บตัวอย่างตะกอนตามจุดที่กำหนดไว้เพื่อนำกลับมาวิเคราะห์
5. นำตัวอย่างทรายมาหาอายุของทรายด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง (Optically stimulated luminescence, OSL)
6. นำตัวอย่างทรายมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพในห้องปฏิบัติการ และเปรียบเทียบกับตะกอนชายหาดปัจจุบัน
 - วิเคราะห์ขนาด โดยใช้ตะแกรงร่อนเพื่อแยกตะกอน
 - หาแรงจลน์ประกอบของตะกอน โดยนำมาส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์
7. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย



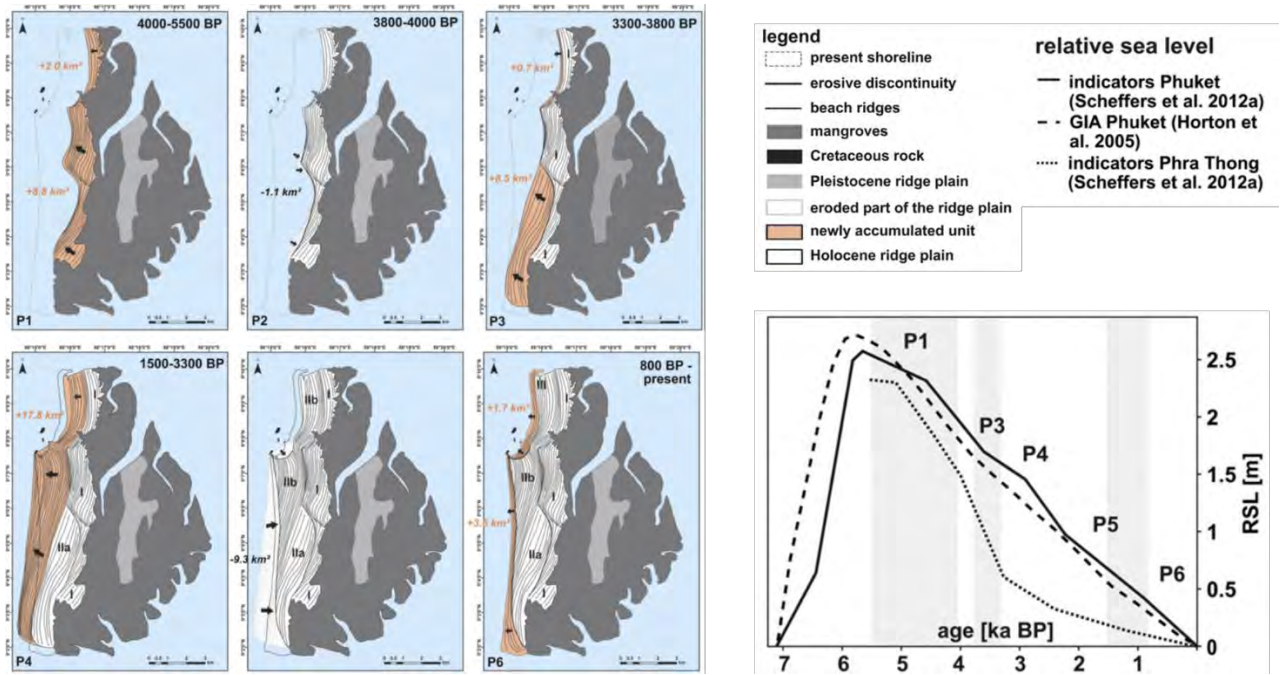
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและวางแผนการวิจัย

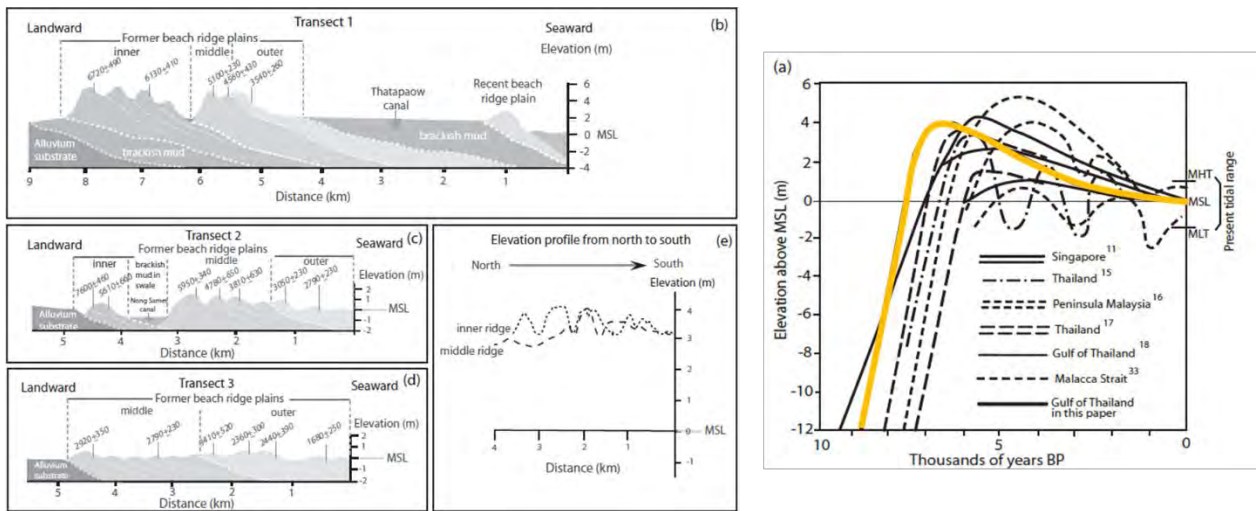
ศึกษาลักษณะธรณีวิทยาทั่วไป ลักษณะภูมิประเทศและธรณีสัณฐานชายฝั่งของอำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี เพื่อวางแผนการศึกษาภาคสนามร่วมกับการใช้แผนที่ภูมิประเทศและภาพถ่ายดาวเทียม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งนำมาใช้ในการศึกษาได้แก่ งานของ Brill et al., 2015 ซึ่งทำการศึกษาวิวัฒนาการของที่ราบสันทรายบริเวณเกาะพระทอง จังหวัดพังงา ได้ทำการแบ่งช่วงการสะสมตัวของที่ราบสันทรายออกเป็นช่วง โดยใช้ร่องรอยการกัดเซาะ อัตราและทิศทางในการสะสมตัวเป็นเกณฑ์ โดยแบ่งได้เป็น 6 ช่วง คือ 1) Phase 1 มีวิวัฒนาการเมื่อประมาณ 5,500 – 4,000 ปีก่อนปัจจุบัน มีอัตราการสะสมตัว 2.1 – 2.5 เมตรต่อปี 2) Phase 2 มีวิวัฒนาการประมาณ 4,000 – 3,800 ปีก่อนปัจจุบัน เป็นช่วงที่มีการกัดเซาะมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ 3) Phase 3 มีวิวัฒนาการประมาณ 3,800 – 3,300 ปีก่อนปัจจุบัน มีการสะสมตัวด้วยอัตรามากกว่า 2 เมตรต่อปี เนื่องจากกระแสน้ำชายฝั่งซึ่งมีทิศจากเหนือไปใต้พัดพาตะกอนมา 4) Phase 4 มีการสะสมตัวประมาณ 3,300 – 1,500 ปีก่อนปัจจุบัน โดยมีอัตราการสะสมตัวลดลงจนเหลือไม่เกิน 1 เมตรต่อปี 5) Phase 5 มีวิวัฒนาการประมาณ 1,500 – 800 ปีก่อนปัจจุบัน เป็นช่วงที่ที่ราบสันทรายโดนกัดเซาะเนื่องจากอิทธิพลของมรสุม 6) Phase 6 มีการสะสมตัวประมาณ 800 ปีก่อนจนถึงปัจจุบัน สันทรายมีการสะสมตัวอีกครั้งโดยมีทิศทางต่างจาก Phase 4 ซึ่งอาจเกิดจากทิศทางลมที่เปลี่ยนไป โดยสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อวิวัฒนาการของที่ราบสันทราย ได้แก่ ลักษณะธรณีสัณฐาน ปริมาณตะกอนที่มาสะสมตัว สภาพภูมิอากาศ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล และเหตุการณ์รุนแรง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในสมัยโฮโลซีนของชายฝั่งจังหวัดชุมพร โดย Nimnate et al., 2015 ได้ทำการศึกษาลักษณะธรณีสัณฐานหลายชนิดที่สามารถแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำทะเล เช่น ที่ราบสันทราย ที่ราบน้ำท่วมถึงและลากูนเก่า โดยได้มีการหาอายุของสันทรายด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยแสง และวัดระดับความสูงของสันทรายจากระดับน้ำทะเลปัจจุบัน และนำมาสร้างกราฟระดับน้ำทะเล ดังรูป 3.2 และได้สรุปว่าการสะสมตัวของสันทรายแบ่งเป็น 3 ช่วงอายุ คือ 8900–5600, 5900–2700 และ 3800–1600 ปีก่อนปัจจุบัน โดยการสะสมตัวของสันทรายได้รับอิทธิพลจากกระแสน้ำชายฝั่งซึ่งไหลในทิศทางเหนือ – ใต้



รูปที่ 3.2 วิวัฒนาการของที่ราบสันทรายบริเวณเกาะพระทอง จังหวัดพังงา (Brill et al., 2015)



รูปที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งชุมพร (Nimnate, 2015)

เส้นสีส้มคือระดับน้ำทะเลที่ได้จากการวิจัย

3.2 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

ในการออกภาคสนาม ได้มีการเก็บตัวอย่างสำหรับหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง โดยจะเก็บจากบริเวณตอนกลางสันทรายซึ่งได้เลือกจากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม การเก็บตัวอย่างจะเริ่มจากจุดหลุมขนาดกว้าง – ยาวประมาณ 1 เมตร ลึก 0.5 เมตร แล้วจึงใช้ท่อพีวีซีที่มีฝาปิดด้านหนึ่งเพื่อเก็บตัวอย่างตะกอนสำหรับวิเคราะห์ equivalent dose โดยใช้ค้อนทุบท่อพีวีซีที่ผนังของหลุม ที่ความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร เมื่อนำออกมาจึงใช้เทปกาวทึบแสงพันปลายอีกด้านให้แน่นหนา สำหรับตัวอย่างของ annual dose ได้เก็บจากระดับความลึกเท่ากัน จุดศึกษาละประมาณ 500 – 1000 กรัม โดยในการวิจัยนี้ได้เก็บตัวอย่างรวมทั้ง 12 จุดศึกษา



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่าง แสดงในภาพถ่ายดาวเทียม Google Earth

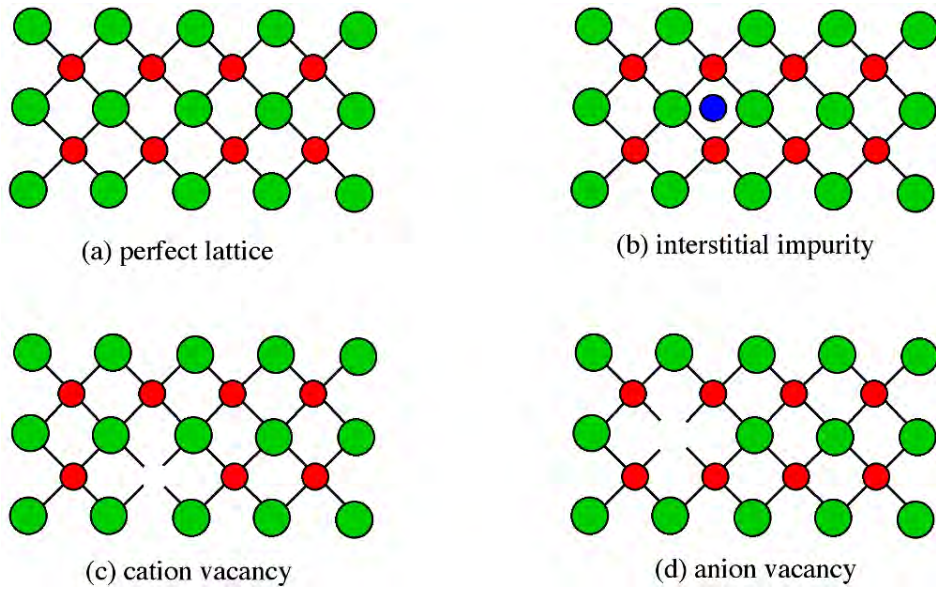


รูปที่ 3.5 ตัวอย่างหลุมเก็บตัวอย่าง จุดที่ 2 - 1 (ซ้าย) และการเก็บตัวอย่างสำหรับ equivalent dose (ขวา)

3.3 วิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ

3.3.1 การหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง

ในทางทฤษฎีเชื่อว่าผลึกประกอบด้วยโครงร่างผลึกของประจุบวกและลบสลับกัน แต่ในธรรมชาติผลึกมักจะมี ความบกพร่อง (defection) เช่น ประจุบางส่วนถูกแทนที่ด้วยแร่มลทิน หรือมีประจุหายไปจากตำแหน่งที่ควรอยู่ ซึ่งเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การเย็นตัวอย่างรวดเร็วในขณะที่ตกผลึก หรือโดนทำลายโดยกัมมันตภาพรังสี ซึ่งในกรณีที่ผลึกมีประจุลบที่หายไป มีโอกาสที่อิเล็กตรอนจากอะตอมที่อยู่ใกล้เคียงจะหลุดเข้าไปแทนที่ช่องว่างนั้น (electron traps) โดยตัวการที่กระตุ้นให้อิเล็กตรอนเข้าไปอยู่ในช่องว่างก็คือการแผ่รังสี ซึ่งมีทั้งรังสีจากอวกาศและรังสีจากธาตุกัมมันตรังสี เช่น โพแทสเซียม ยูเรเนียมและทอเรียม



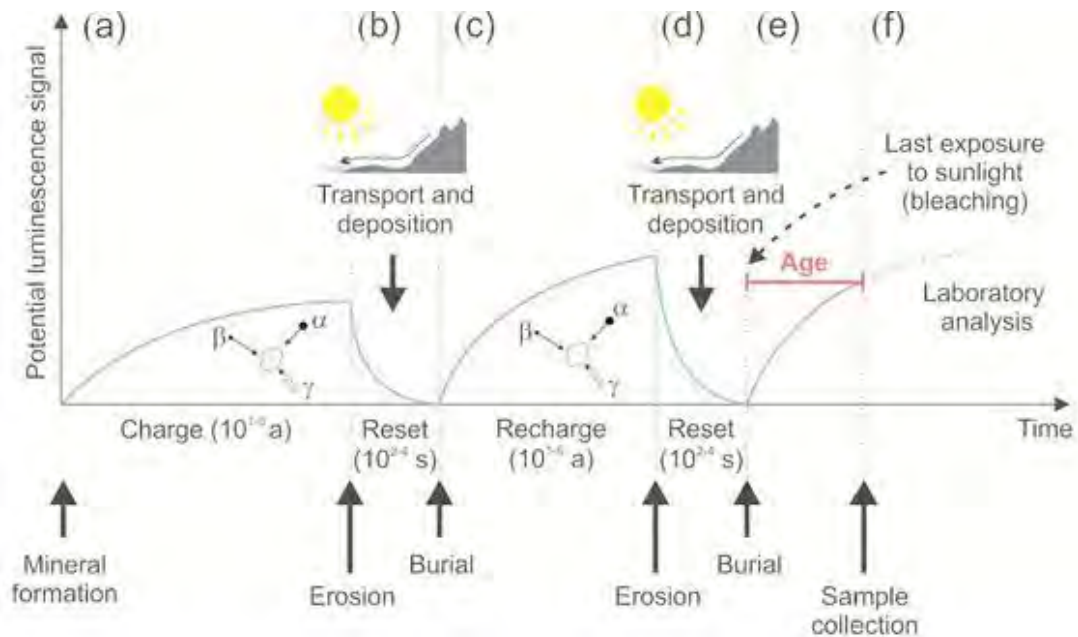
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างความบกพร่องในโครงร่างผลึก

ต่อมาเมื่ออิเล็กตรอนได้รับการกระตุ้นจากภายนอก ไม่ว่าจะด้วยความร้อนหรือแสงสว่าง ก็จะทำให้ อิเล็กตรอนที่อยู่ในช่องว่างนี้ ออกจากช่องว่างและกลับไปอยู่ในอะตอมข้างเคียงเหมือนเดิม ซึ่งการย้ายจาก สถานะถูกกระตุ้น (excited state) ไปยังสถานะพื้น (ground state) ซึ่งมีพลังงานต่ำกว่า จะต้องมีการปล่อย พลังงานออกมา ซึ่งพลังงานที่ว่านี้จะอยู่ในรูปของการเรืองแสง

ในกระบวนการทางธรณีวิทยานั้น หินตั้งต้นหรือตะกอนจะมีการสะสมตัวของอิเล็กตรอนในหลุม อิเล็กตรอน ต่อมาหินนั้นโดนกักร้อนและพัดพา ซึ่งในขั้นตอนนี้ ตะกอนจะได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ ปริมาณอิเล็กตรอนที่สะสมอยู่จึงค่อย ๆ ลดลง โดยอิเล็กตรอนจะเริ่มสะสมตัวอีกครั้งเมื่อมีการสะสมตัวและ ถูกทับถมโดนตะกอนชั้นบนจนไม่โดนแสงอาทิตย์ ยิ่งผ่านไปนานปริมาณอิเล็กตรอนก็ยิ่งสูงขึ้น และสามารถบ่งชี้ถึงช่วงเวลาจากการสะสมตัวครั้งล่าสุดได้

ในการหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง จะต้องกำหนดค่าค่าปริมาณสัญญาณที่มีอยู่ในตัวอย่าง (equivalent dose) ซึ่งเป็นค่าปริมาณอิเล็กตรอนที่อยู่ในช่องว่างเนื่องจากการกระตุ้นของกัมมันตภาพรังสี มีหน่วย เกรย์ (grey) และอัตราการแผ่รังสีต่อปี (annual dose) ซึ่งเป็นค่าการแผ่รังสีต่อปีของธาตุกัมมันตรังสี ในบริเวณรอบข้าง โดยแหล่งกัมมันตภาพรังสีที่สำคัญ ได้แก่ โพแทสเซียม ยูเรเนียมและทอเรียม มีหน่วย เป็น เกรย์ต่อปี เราสามารถหาอายุของวัสดุได้จากสมการ

$$\text{อายุ} = \frac{\text{equivalent dose}}{\text{annual dose}}$$



รูปที่ 3.7 กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง (a) (b) และ (c) เป็นช่วงที่ตะกอนสะสมตัว และมีการเพิ่มขึ้นของอิเล็กตรอน ในขณะที่ (c) และ (d) เป็นช่วงที่มีการอบแดด ทำให้อิเล็กตรอนลดลง

ขั้นตอนการหาอายุด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยแสง

ตัวอย่างที่ได้จากในภาคสนามจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ค่าปริมาณสัญญาณที่มีอยู่ในตัวอย่าง และตัวอย่างสำหรับวัดอัตราการแผ่รังสีต่อปี โดยทั้งสองแบบมีการเตรียมตัวอย่างดังนี้

1) การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ค่าปริมาณสัญญาณที่มีอยู่ในตัวอย่าง

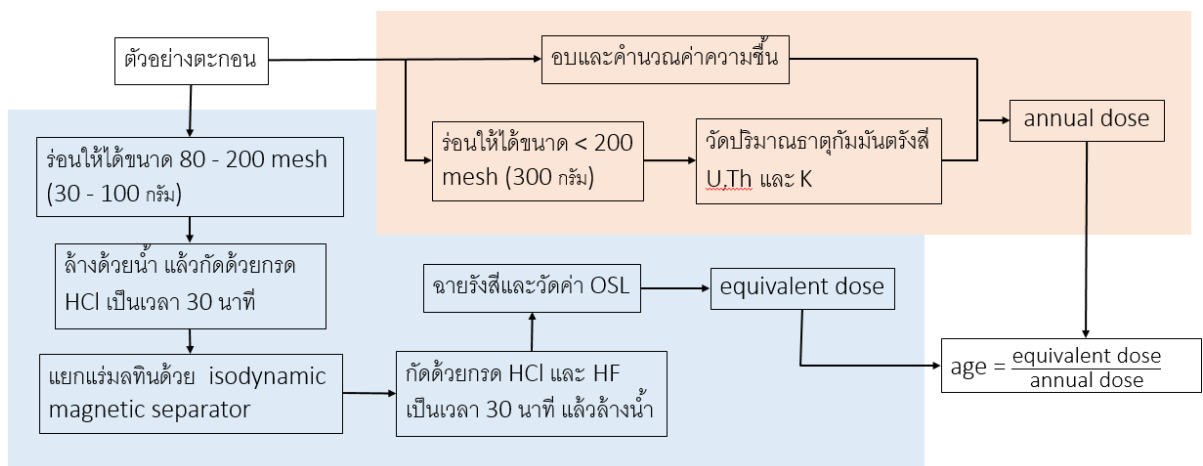
ตัวอย่างส่วนนี้จะต้องเตรียมโดยไม่โดนแสง อบตัวอย่างให้แห้งด้วยตู้อบโดยใช้อุณหภูมิ 50 – 60 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำตัวอย่างไปร่อนด้วยตะแกรง โดยเลือกเอาตะกอนที่มีขนาดระหว่าง 80 – 200 mesh (0.074 - 0.18 มิลลิเมตร) นำมาล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 10 ครั้ง แล้วจึงกักด้วยกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 50% เป็นเวลา 30 นาที ก่อนจะเทกรดทิ้งแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 10 ครั้ง ตัวอย่างที่ได้จะนำมาเข้าเครื่อง isodynamic magnetic separator เพื่อแยกแร่ลทินก่อนจะนำมากักด้วยกรดไฮโดรคลอริกและไฮโดรฟลูออริก ความเข้มข้น 24% เป็นเวลา 20 นาที แล้วจึงล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วนำไปอบให้แห้ง

2) การเตรียมตัวอย่างสำหรับวัดอัตราการแผ่รังสีต่อปี

แบ่งตัวอย่างส่วนหนึ่งมาวัดปริมาณความชื้น โดยวัดน้ำหนักก่อนและหลังการอบ เพื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยใช้สูตรในการคำนวณ ดังนี้

$$\text{ค่าความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตะกอนเปียก} - \text{น้ำหนักตะกอนแห้ง}) * 100}{\text{น้ำหนักตะกอนแห้ง}}$$

ตัวอย่างที่เหลือจะนำไปร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ขนาดเล็กลงกว่า 200 mesh (0.074 มิลลิเมตร) ปริมาณประมาณ 300 กรัม นำใส่ภาชนะพลาสติกเพื่อนำไปวัดปริมาณธาตุกัมมันตรังสีต่อไป



รูปที่ 3.8 แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ห่ออายุของทรายด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง (modified from Takashima and Honda, 1989)

3) การวิเคราะห์อัตราการแผ่รังสีต่อปี

ในการคำนวณอัตราการแผ่รังสีต่อปีจะคำนวณจากธาตุโพแทสเซียม ยูเรเนียมและทอเรียม ซึ่งทั้งสามธาตุนี้จะสลายตัวและแผ่รังสีแอลฟา เบตาและแกมมา ออกมาในปริมาณต่าง ๆ กัน ตัวอย่างที่เตรียมไว้จะนำไปหาความเข้มข้นของธาตุด้วยวิธี gamma spectrometry โดยยูเรเนียมและทอเรียมจะมีค่าความเข้มข้นเป็น ppm ส่วนโพแทสเซียมจะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงแปลงค่าความเข้มข้นนี้เป็นค่าการแผ่รังสีในหน่วยเกรย์ โดยใช้ตารางมาตรฐานของ Bell, 1979

ตารางที่ 3.1 ตารางความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสีและอัตราการแผ่รังสีต่อปี หน่วย μGy (Bell,1979)

อนุภาค	ความเข้มข้น	ชนิด radionuclide		
		แอลฟา	เบตา	แกมมา
Thorium series	1 ppm ^{232}Th			
-no thoron loss		738	28.6	51.4
-100% thoron loss		309	10.3	20.8
Uranium series	1 ppm ^{238}U			
-no radon loss		2783	146.2	114.8
-100% radon loss		1262	60.9	5.6
Natural potassium	1% K_2O	-	689.3	206.9
	1% K	-	830.3	249.2
Natural rubidium	100 ppm Rb	-	46.4	-

ค่าที่ได้จนถึงตอนนี้เป็นค่าการแผ่รังสีทางอุดมคติ แต่ในทางปฏิบัติมีโอกาสที่จะเกิดการลดทอนรังสีจากหลายสาเหตุเช่นการลดทอนสัญญาณเนื่องจากขนาดของเม็ดตะกอน และการลดทอนเนื่องจากปริมาณน้ำหรือความชื้นของตะกอน จึงมีสมการเพื่อใช้คำนวณอัตราการแผ่รังสีต่อปี ดังนี้

$$D_\alpha = K(2.783U + 0.783\text{Th}) / (1 + 1.5W)$$

$$D_\beta = B(0.146U + 0.0286\text{Th} + 0.8303K) / (1 + 1.25W)$$

$$D_\gamma = (0.1148U + 0.0514\text{Th} + 0.2492K) / (1 + 1.14W)$$

$$D_{\text{cosmic}} \text{ กำหนดให้เป็นค่าคงที่ เท่ากับ } 0.15$$

กำหนดให้ K และ B ขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดตะกอน

W คือปริมาณน้ำในช่องว่างของตะกอน (%)













4) การวิเคราะห์ค่าปริมาณสัญญาณที่มีอยู่ในตัวอย่าง

เราจะใช้เครื่อง RISO TL/OSL CONTROLLER MODEL DA-20 เพื่อทำการกระตุ้นตัวอย่าง ด้วยแสงและความร้อน และตรวจวัดปริมาณการเรืองแสงของตัวอย่าง โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดง ในรูปความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่ทำการกระตุ้นด้วยแสง หน่วยวินาที และปริมาณอิเล็กตรอน ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละช่วงเวลา หน่วย count/sec แล้วหลังจากนั้นจึงนำปริมาณอิเล็กตรอน ไปคำนวณเป็นค่ากัมมันตภาพรังสีในหน่วยเกรย์ เพื่อคำนวณร่วมกับ annual dose

3.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตะกอน

แยกขนาดตะกอนใช้ตะแกรงคัดขนาด เบอร์ 5, 10, 18, 35, 60, 120 และ 230 mesh เรียงจากบนลงล่าง แล้วนำตัวอย่างที่อบแห้งและชั่งน้ำหนักแล้วใส่ลงในตะแกรงอันบนสุด แล้วจึงนำไปวางบนเครื่องสั่น (shaker) เป็นเวลา 15 นาที นำตัวอย่างที่อยู่บนตะแกรงแต่ละขนาดมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณตะกอนแต่ละขนาด

วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของตะกอน โดยให้กล้องจุลทรรศน์สองตา โดยทำการวิเคราะห์ร่องรอยประกอบของตะกอน ความกลมมนและรูปร่างของเม็ดตะกอน (sphericity and roundness) โดยใช้แผนภูมิแสดงเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของตะกอนและตารางเปรียบเทียบพื้นผิวตะกอนเป็นเกณฑ์

Roundness classes	Very Angular	Angular	Sub-angular	Sub-rounded	Rounded	Well Rounded
High Sphericity						
Low Sphericity						
Roundness indices	0.12 to 0.17	0.17 to 0.25	0.25 to 0.35	0.35 to 0.49	0.49 to 0.70	0.70 to 1.00

รูปที่ 3.9 ตารางเปรียบเทียบพื้นผิวตะกอน (Powers, 1953)

บทที่ 4

ผลการศึกษา (Results)

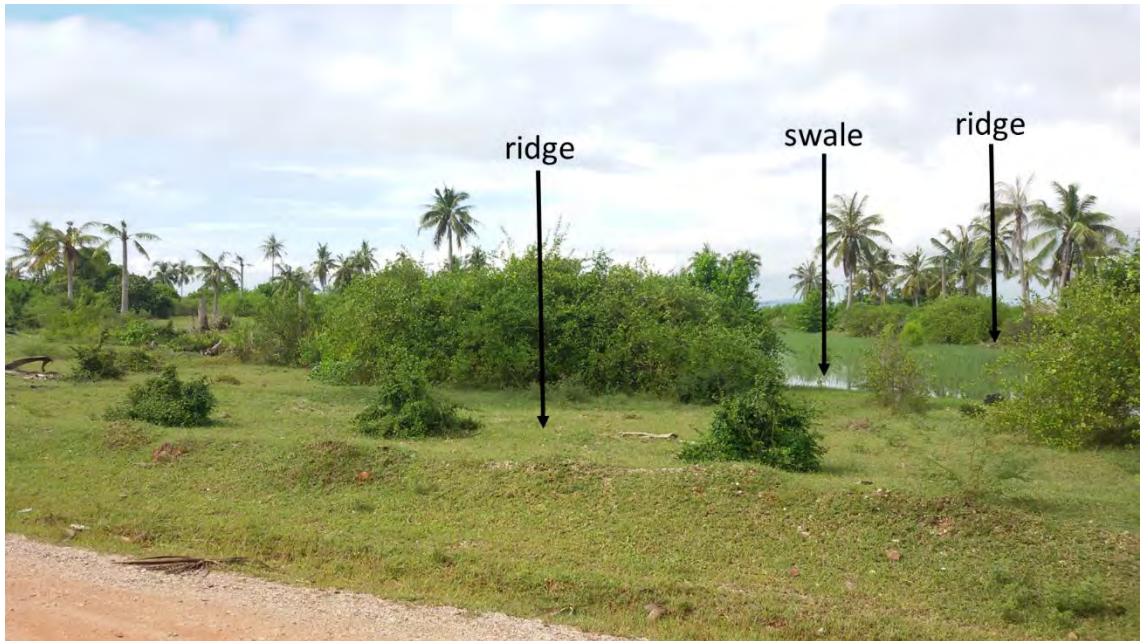
ผลการศึกษางานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ลักษณะธรณีสัณฐานของพื้นที่ศึกษา ข้อมูลจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม ผลการหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง และลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบของตะกอน

4.1 ลักษณะธรณีสัณฐานของพื้นที่ศึกษา

จากการออกภาคสนามในพื้นที่ศึกษา พบลักษณะธรณีสัณฐานแบบที่ราบสันทรายสลับแอ่งที่ลุ่มต่ำ โดยพบว่าสันทราย มีความสูงไม่เกิน 1 เมตร โดยบริเวณสันคอนจะทยอยจะพบสันทรายที่มีแนวไม้พุ่มและไม้ยืนต้น เช่น ต้นมะพร้าวขึ้นปกคลุม ในขณะที่แอ่งที่ลุ่มต่ำมีน้ำขัง เนื่องจากมีความสูงใกล้เคียงกับระดับน้ำทะเลและอยู่ใกล้ชายฝั่ง ลักษณะธรณีสัณฐานบริเวณที่ราบสันทรายด้านในมีความสูงไม่มากนัก ใกล้เคียงกับบริเวณสันคอนจะทยอย แต่บริเวณสันทรายมักจะไม่มีการปลูกต้นไม้หรือมีต้นหญ้าขึ้น ในขณะที่บริเวณที่ลุ่มต่ำจะมีต้นไม้ขึ้นเป็นแนว



รูปที่ 4.1 ลักษณะธรณีสัณฐานบริเวณสันคอนจะทยอย



รูปที่ 4.2 ลักษณะธรณีสัณฐานบริเวณสันคอนจะงอย จะเห็นว่าม่น้ำในแอ่งที่ลุ่มต่ำ

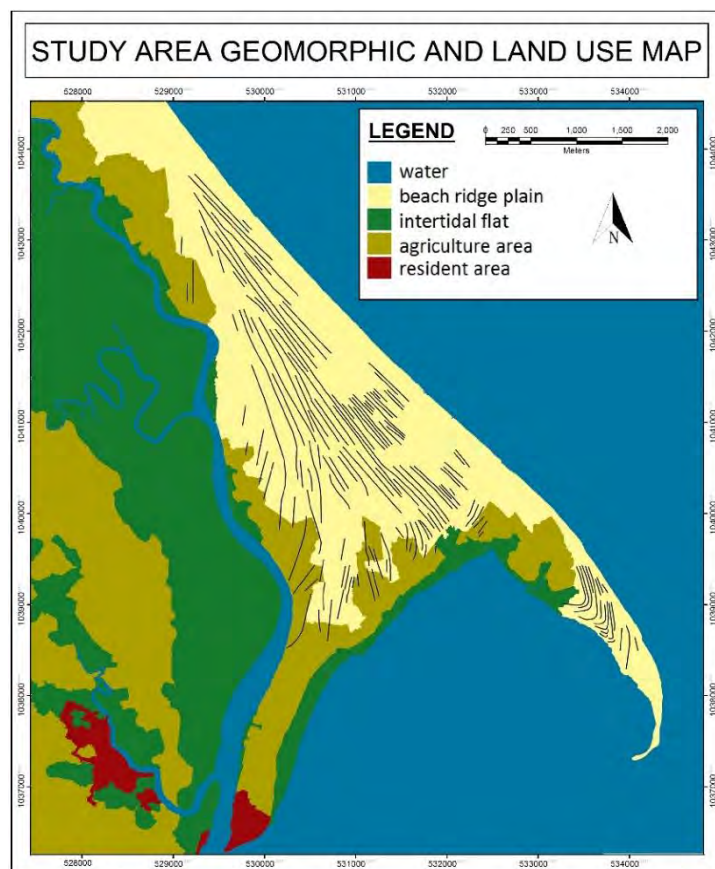


รูปที่ 4.3 ลักษณะธรณีสัณฐานบริเวณที่ราบสันทราย

4.2 ข้อมูลจากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม

จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียม ได้ทำการแบ่งพื้นที่ศึกษาตามลักษณะธรณีสันฐานและการใช้ที่ดิน และแบ่งหน่วยการการสะสมตัวของสันทรายโดยใช้ระยะห่างระหว่างสันทรายและแนวการวางตัวของสันทรายเป็นเกณฑ์ในการแบ่งพื้นที่

จากลักษณะธรณีสันฐานและการใช้ที่ดิน สามารถแบ่งพื้นที่ที่ออกได้เป็น 4 หน่วย คือ ที่ราบสันทราย ซึ่งมีสันทรายสลับที่ลุ่มต่ำเป็นแนวยาว ที่ราบน้ำท่วมถึงซึ่งมีดินไม่ปกคลุมหนาแน่น พื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งมีการทำสวนและเลี้ยงสัตว์น้ำ และที่อยู่อาศัย



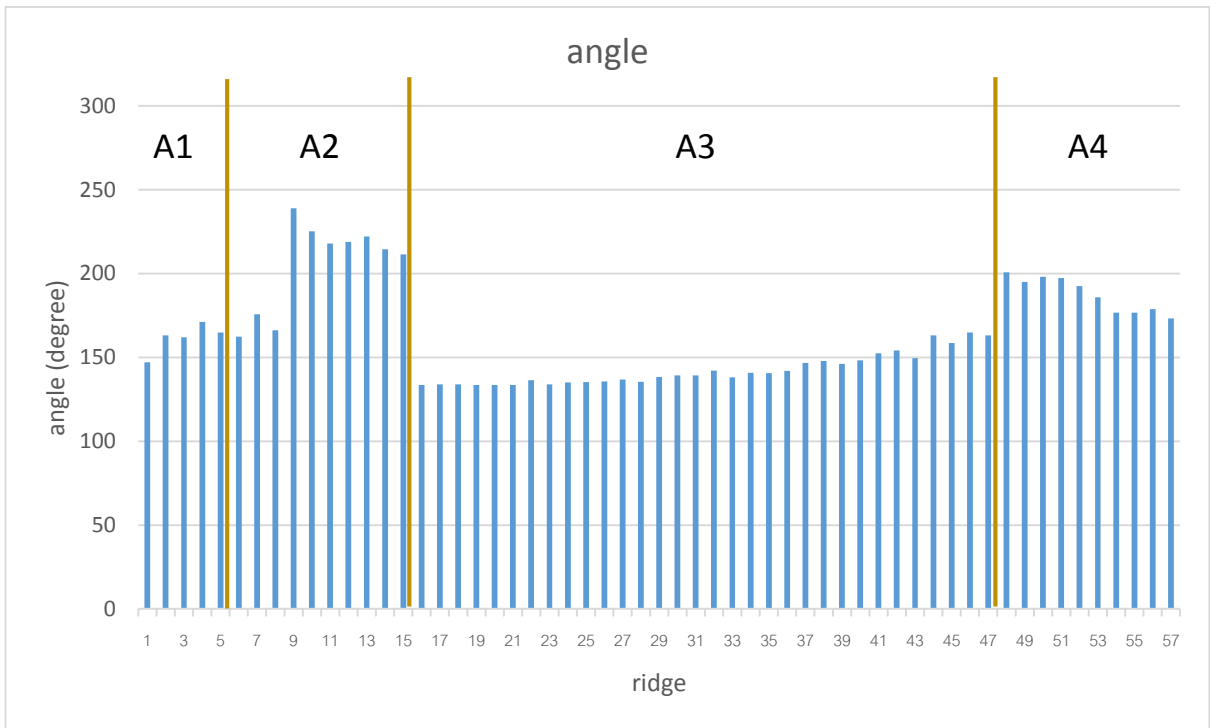
รูปที่ 4.4 แผนที่ธรณีสันฐานและการใช้ที่ดินของพื้นที่ศึกษา

จากการวัดระยะห่างระหว่างสันทรายและมุมที่แนวการวางตัวของสันทรายทำกับทิศเหนือ โดยใช้โปรแกรม Google Earth ทั้งหมด 57 สันทราย สามารถแบ่งหน่วยการสะสมตัวของสันทรายออกได้เป็น 4 หน่วย ได้แก่ A1, A2, A3, A4 ดังรูป 4.5

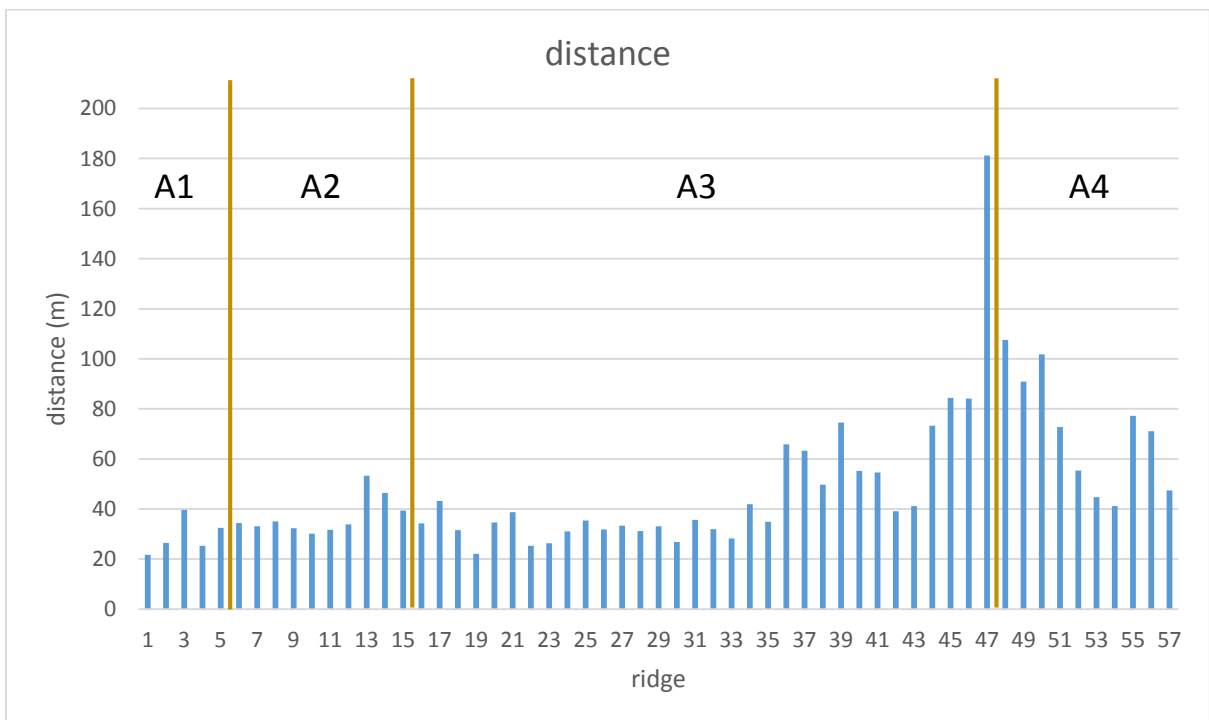


รูปที่ 4.5 แผนที่แสดงหน่วยการสะสมตัวของที่ราบสันทราย แบ่งด้วยเส้นสีแดง
เส้นสีส้มคือแนวที่ทำการวัดข้อมูล

- สันทรายในหน่วย A1 มีแนวการวางตัวเฉลี่ย 164 องศา และมีระยะห่างของสันทรายเฉลี่ย 31 เมตร
- สันทรายในหน่วย A2 มีแนวการวางตัวเฉลี่ย 221 องศา และมีระยะห่างของสันทรายเฉลี่ย 38 เมตร
- สันทรายในหน่วย A3 มีแนวการวางตัวเฉลี่ย 142 องศา และมีระยะห่างของสันทรายเฉลี่ย 47 เมตร
- สันทรายในหน่วย A4 มีแนวการวางตัวเฉลี่ย 187 องศา และมีระยะห่างของสันทรายเฉลี่ย 74 เมตร



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงแนวการวางตัวของสันทราย



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงแนวระยะห่างของสันทราย

4.3 ผลการหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง

จากการคำนวณอายุด้วยวิธีการกระตุ้นด้วยแสง ได้ค่าอายุของสันทรายจากแต่ละจุดศึกษา ดังรูป 4.8 โดยบริเวณสันทรายที่อายุน้อยที่สุดบริเวณสันดอนจะงอย คือ จุดศึกษาที่ 1-1 มีอายุ 230 ± 10 ปี และจุดที่มีอายุมากที่สุดคือ จุดศึกษาที่ 1-6 มีอายุ $1,030 \pm 60$ ปี ส่วนบริเวณที่ราบสันทราย พบว่าสันทรายที่อายุน้อยที่สุดคือ จุดศึกษาที่ 2-3 มีอายุ $1,880 \pm 140$ ปี และจุดที่มีอายุมากที่สุดคือ จุดศึกษาที่ 2-4 มีอายุ $3,590 \pm 270$ ปี



รูปที่ 4.8 อายุของสันทรายในแต่ละจุดศึกษา

4.4 ลักษณะทางกายภาพของตะกอนและองค์ประกอบ

ตะกอนจากสันทราย มีแร่ควอตซ์เป็นองค์ประกอบหลัก มีเฟลด์สปาร์และแร่หนักเป็นแร่รอง ไม่พบซากสิ่งมีชีวิต มีเศษกิ่งไม้และรากไม้ปะปนเล็กน้อย มีความกลมมนแบบเหลี่ยมและกึ่งเหลี่ยม มีภาวะทรงกลมปานกลาง - สูง ตะกอนจากชายหาดทั้งสองจุดพบซากเปลือกหอยทั้งหอยสองฝาและฝาเดียว และฟอรามินิเฟอรา

ตารางที่ 4.1 ตารางน้ำหนักตะกอน แยกตามขนาดตะแกรงคัดขนาด หน่วยเป็นกรัม

	5	10	18	35	60	120	230	tray
1-1	-	0.021	1.416	21.252	125.735	148.360	1.293	1.344
1-2	-	0.123	1.450	10.460	118.678	166.577	2.033	0.552
1-3	-	0.021	2.249	22.866	126.077	139.272	4.317	3.859
1-4	-	0.041	0.344	3.830	84.140	203.124	5.384	2.435
1-5	-	0.090	9.274	130.134	141.839	17.258	0.310	0.599
1-6	-	1.368	16.764	69.299	131.481	80.157	0.324	0.294
	-							
2-1	-	1.429	44.875	100.460	97.293	49.861	3.895	1.857
2-2	-	0.232	23.714	107.256	88.568	73.062	3.571	1.884
2-3	-	0.173	17.893	103.399	152.357	23.262	0.971	1.305
2-4	-	0.268	30.465	152.309	98.856	13.448	1.229	2.540
2-5	-	-	0.397	3.941	96.882	194.006	3.403	0.767
2-6	0.180	0.362	7.998	66.036	142.544	77.090	2.985	2.272

ตารางที่ 4.2 ตารางองค์ประกอบของตะกอนจากที่ราบสันทรายและชายหาด หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

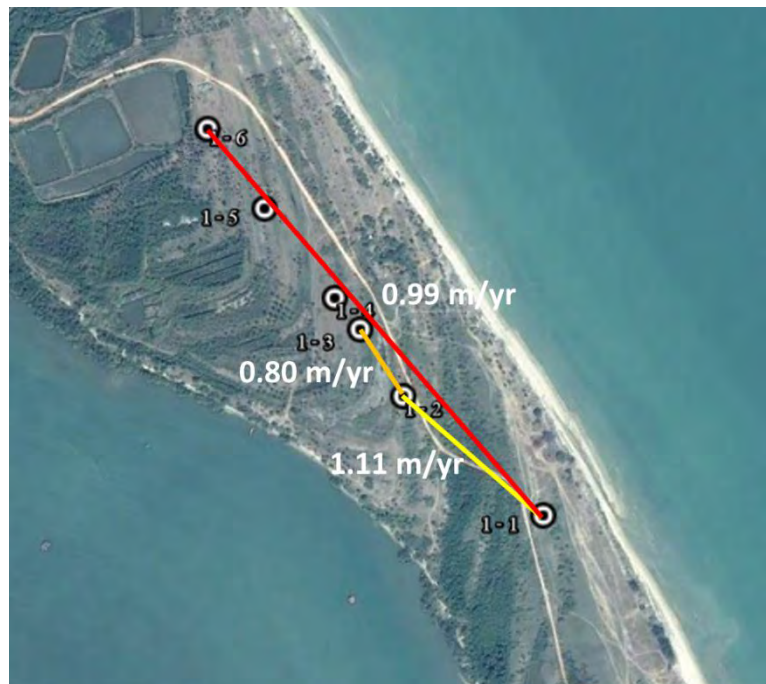
sample	Quartz	Feldspar	Heavy mineral	Mica	Bioclast	Rock fragment	organic matter	sphericity	roundness
1 - 1	98.5	1	0.5	-	-	-	-	high	angular-subangular
1 - 2	98.5	0.5	0.5	-	-	0.5	-	high	angular-subangular
1 - 3	98.7	1	0.2	0.2	-	-	0.1	medium	subangular
1 - 4	98	0.3	1	-	-	0.5	-	high	subangular
1 - 5	98.3	0.2	1	-	-	-	0.5	medium	angular-subangular
1 - 6	98	0.5	0.2	-	-	0.2	0.1	medium	subangular
2 - 1	98	0.5	0.2	0.1	-	-	0.2	high	subangular
2 - 2	98.7	1	0.2	-	-	-	0.1	medium	subangular
2 - 3	99.1	0.5	0.1	-	-	0.1	0.2	high	subangular
2 - 4	97.8	2	0.1	-	-	-	0.1	high	subangular
2 - 5	98.5	1	0.2	-	-	0.1	0.1	medium	subangular
2 - 6	99.1	0.5	0.2	-	-	-	0.2	high	subangular
beach (spit)	91.8	1	2	0.1	5	0.1	-	medium	angular-subangular
beach (Pum Reang)	94.4	0.5	2	-	3	0.1	-	high	subangular

บทที่ 5

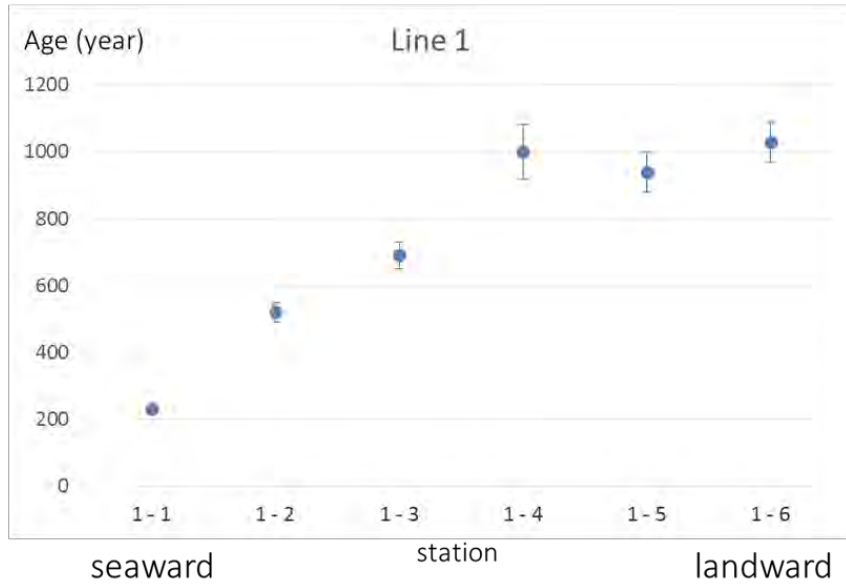
อภิปรายและสรุปผล (Discussion and conclusion)

จากการหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสงและการแปลภาพถ่ายดาวเทียม สามารถอภิปรายผลการศึกษาได้ดังนี้

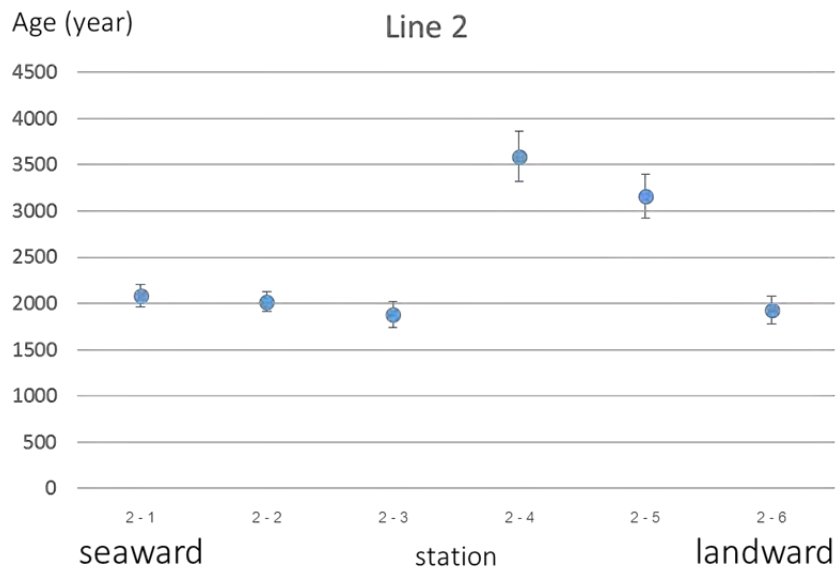
จากการหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสงในแนวเก็บตัวอย่างที่ 1 จะเห็นสันทรายที่อยู่ด้านในสุดจะมีอายุมากที่สุด และอายุของสันทรายค่อย ๆ ลดลงจนถึงสันที่อยู่ตรงปลายสันคอนจะงอย แสดงทิศทางการสะสมตัวของสันทรายจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือไปทางตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งเกิดจากกระแสน้ำที่ไหลไปทางทิศใต้ และสามารถคำนวณอัตราการสะสมตัวของตะกอนได้ คือ อัตราการสะสมตัวของตะกอนตั้งแต่จุดศึกษาที่ 1 - 1 ถึงจุดศึกษาที่ 1 - 2 มีอัตราการสะสมตัว 1.11 เมตรต่อปี อัตราการสะสมตัวของตะกอนตั้งแต่จุดศึกษาที่ 1 - 2 ถึงจุดศึกษาที่ 1 - 3 มีอัตราการสะสมตัว 0.80 เมตรต่อปี และอัตราการสะสมตัวเฉลี่ยของตะกอนตั้งแต่จุดศึกษาที่ 1 - 1 ถึงจุดศึกษาที่ 1 - 6 มีอัตราการสะสมตัว 0.99 เมตรต่อปี



รูปที่ 5.1 อัตราในการสะสมตัวของสันคอนจะงอย



รูปที่ 5.2 อายุของสันทรายจากแนวเก็บตัวอย่างที่ 1



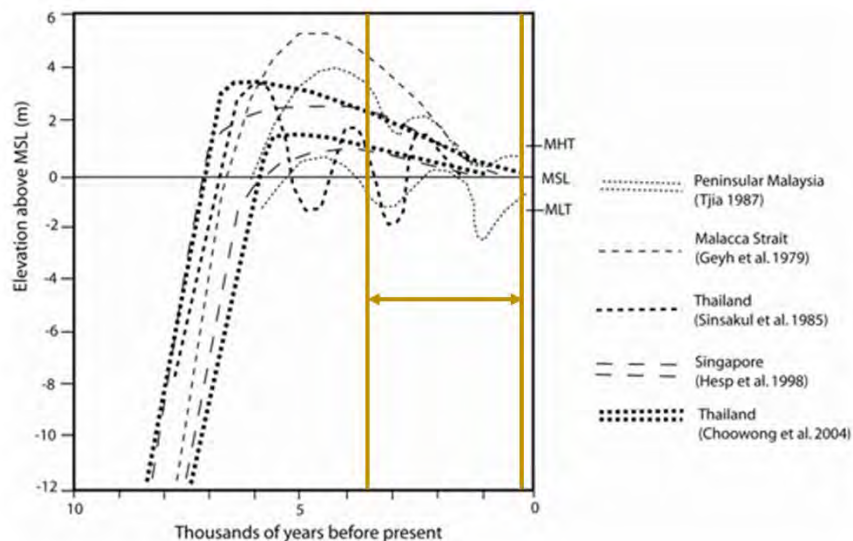
รูปที่ 5.3 อายุของสันทรายจากแนวเก็บตัวอย่างที่ 2

สำหรับแนวเก็บตัวอย่างที่ 2 จะสังเกตได้ว่าจุดศึกษาที่ 2-3 และ 2-4 มีการเว้นช่วงของค่าอายุมากกว่าจุดอื่น ๆ (ดังรูป 5.3) ทำให้คาดได้ว่าอาจเกิดการเว้นช่วงการสะสมตัวของตะกอน อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าอายุของสันทรายตรงจุดอื่น ๆ ไม่ได้เรียงตัวจากแก่ไปอ่อนในทิศออกสู่ทะเลอย่างแนวที่ 1 ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมตัวของตะกอนที่เกิดจากลม (aeolian process) หรือเหตุการณ์รุนแรง เช่น พายุ ที่ทำให้ตะกอนที่อายุอ่อนกว่าสามารถอยู่ลึกเข้าไปในฝั่งได้ หรืออาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนของการหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง ได้แก่

- ในระหว่างกระบวนการสะสมตัวของตะกอน อาจมีตะกอนบางส่วนที่โดนแสงเพียงแค่ช่วงสั้นๆ หรือโดน rework ด้วยกระบวนการต่าง ๆ หรือมีความชื้นในตะกอนสูง เป็นต้น
- ความผิดพลาดระหว่างการเก็บตัวอย่างหรือเตรียมตัวอย่าง เช่น ตัวอย่างโดนแสง
- ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือที่ใช้ในการหาอายุ

สุดท้ายแล้วสามารถสรุปได้จากสันทรายที่อายุมากที่สุดและน้อยที่สุด ว่าที่ราบสันทรายในแนวที่ 2 มีการสะสมตัวตั้งแต่ประมาณ 1,880 ถึง 3,590 ปีก่อน

อายุของสันทรายที่เก็บตัวอย่างมาทั้งหมด มีค่าตั้งแต่ 230 ± 10 ปีถึง $3,590 \pm 270$ ปี ซึ่งอยู่ในสมัยโฮโลซีนและเป็นช่วงที่มีการลดลงของระดับน้ำทะเลบริเวณชายฝั่งอ่าวไทย โดยการสะสมตัวของที่ราบสันทรายบริเวณอำเภอไชยา จังหวัดสุราษฎร์ธานี ก็ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลนี้

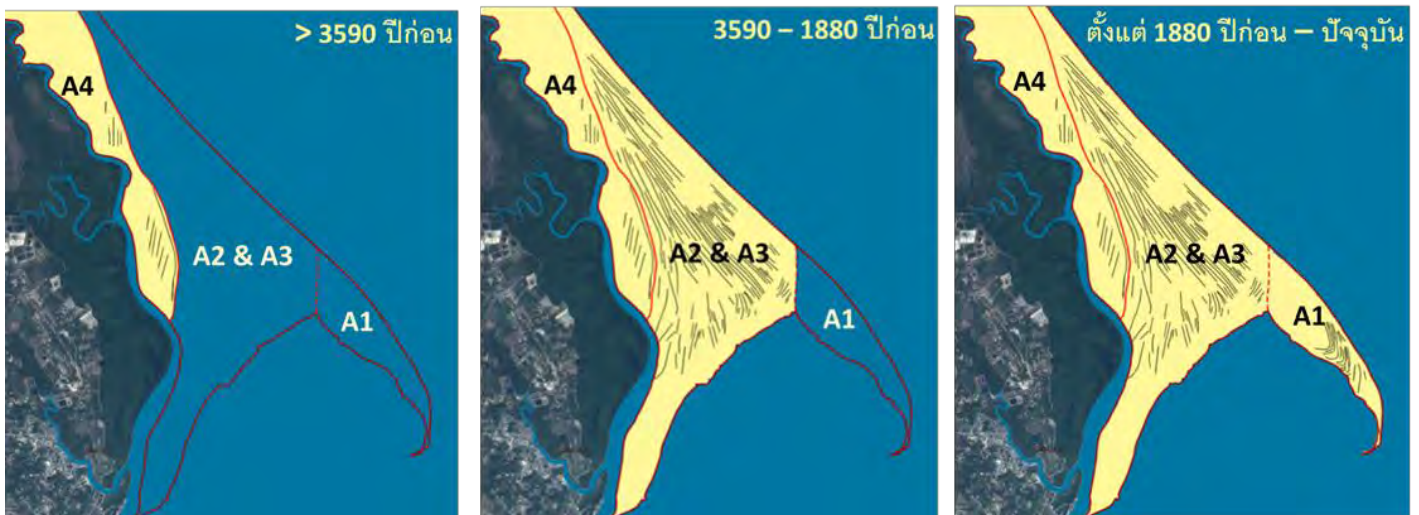


รูปที่ 5.4 กราฟการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในสมัยโฮโลซีนบริเวณคาบสมุทรมลายู (Choowong, 2011)

ช่วงที่กำกับด้วยลูกศรคือช่วงอายุของสันทรายในงานวิจัยนี้

จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม สามารถแบ่งช่วงการสะสมตัวของที่ราบสันทรายได้เป็น 3 ช่วง ได้แก่

- ช่วงที่ 1 เกิดขึ้นก่อน 3,590 ปีก่อน ตะกอนมีการสะสมตัวออกไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ เกิดเป็นที่ราบสันทรายซึ่งจัดให้อยู่ในหน่วย A4 ซึ่งการสะสมตัวนี้แสดงถึงกระแสน้ำชายฝั่งที่ไหลไปทางทิศใต้
- ช่วงที่ 2 มีการสะสมตัวระหว่าง 3,590 – 1,880 ปีก่อน โดยในช่วงนี้ สันทรายสะสมตัวออกไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ (A3) ในขณะที่สันทรายทางทิศใต้มีการสะสมตัวเฉียงไปทางตะวันตกเฉียงใต้ (A2) การสะสมตัวในช่วงนี้แสดงถึงการถดถอยของระดับน้ำทะเล
- ช่วงที่ 3 มีการสะสมตัวตั้งแต่ 1,880 ปีก่อนถึงปัจจุบัน โดยมีการสะสมตัวเป็นสันดอนจะงอยออกไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งแสดงถึงกระแสที่ไหลไปทางทิศใต้เช่นเดียวกับช่วงที่ 1



รูปที่ 5.5 ช่วงการสะสมตัวของที่ราบสันทราย

สรุปผลการศึกษา

จากการหาค่าอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง พบว่าอายุของสันทรายบริเวณสันดอนจะงอย มีอายุระหว่าง 230 ± 10 ปี ถึง 1030 ± 60 ปี และอายุของสันทรายบริเวณที่ราบสันทรายสลับแอ่งที่ลุ่มต่ำอยู่ระหว่าง $1,880 \pm 140$ ปี ถึง $3,590 \pm 270$ ปี โดยการสะสมตัวได้รับอิทธิพลจากกระแสชายฝั่งและการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลในสมัยโฮโลซีน โดยอัตราการสะสมตัวเฉลี่ยบริเวณสันดอนจะงอยคือ 0.99 เมตร/ปี

จากการแปลภาพถ่ายดาวเทียมสามารถแบ่งที่ราบสันทรายโบราณออกได้เป็น 4 หน่วย ได้แก่ A1, A2, A3 และ A4 โดย A1 อยู่บริเวณสันดอนจะงอย มีทิศทางการวางตัวเฉลี่ยประมาณ 164 องศาจากทิศเหนือ และมีระยะห่างของสันทรายเฉลี่ย 31 เมตร A2 มีทิศทางการวางตัวเฉลี่ย 221 องศา มีระยะห่างของสันทรายเฉลี่ย 38 เมตร A3 มีทิศทางการวางตัวเฉลี่ย 143 องศา มีระยะห่างของสันทรายเฉลี่ย 47 เมตร และ A4 มีทิศทางการวางตัวเฉลี่ย 188 องศา มีระยะห่างของสันทรายเฉลี่ย 71 เมตร ส่วนการสะสมตัวของที่ราบสันทรายแบ่งได้ 3 ช่วง คือ ในช่วงแรกสันทรายมีการสะสมตัวไปทางทิศตะวันออกเฉียงไปทางใต้เล็กน้อย หลังจากนั้นมีการเปลี่ยนทิศทางการสะสมตัวไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และสุดท้ายจึงเกิดการสะสมตัวของสันดอนจะงอยออกไปทางทิศใต้ของพื้นที่ศึกษา

เอกสารอ้างอิง (References)

- ศูนย์อุทกนิคมวิทยาทะเล กรมอุทกนิคมวิทยา. ภูมิอากาศจังหวัดสุราษฎร์ธานี. (ออนไลน์). แหล่งที่มา : http://www.marine.tmd.go.th/thai/tus_type/suratthani.html. ๘ พฤษภาคม ๒๕๕๕.
- Brill et al. 2015. Holocene evolution of Phra Thong's beach-ridge plain (Thailand) — Chronology, processes and driving factors. *Geomorphology*. 245 : 117 – 134.
- Choowong, M. 2010. Quaternary. In Ridd et al., *The Geology of Thailand*, 335 – 350. Bangkok.
- Madsen, A.T. and Murray, A.S. Optically stimulated luminescence dating of young sediments: A review. *Geomorphology* 2009 : 3 – 16.
- Nimnate et al. 2015. Evidence of Holocene sea level regression from Chumphon coast of the Gulf of Thailand. *ScienceAsia*. 41 : 55 - 63.
- Scheffers et al. 2012. Holocene sea levels along the Andaman Sea coast of Thailand. *The Holocene* : 1169 – 1180.
- Takashima, I. and Watanabe, K. 1994. Thermoluminescence age determination of lava flows/domes and collapsed materials at Unsen Volcano, SW Japan. *Bulletin of the Volcanological Society of Japan*. 39 : 1 – 12.

ภาคผนวก (Appendix)

พิกัด UTM ของจุดเก็บตัวอย่างตะกอน

จุดศึกษาที่ 1 – 1	47P	0534090	1038590
จุดศึกษาที่ 1 – 2	47P	0533847	1038759
จุดศึกษาที่ 1 – 3	47P	0533772	1038910
จุดศึกษาที่ 1 – 4	47P	0533728	1038964
จุดศึกษาที่ 1 – 5	47P	0533606	1039118
จุดศึกษาที่ 1 – 6	47P	0533507	1039255
จุดศึกษาที่ 2 – 1	47P	0532129	1040316
จุดศึกษาที่ 2 – 2	47P	0532036	1040150
จุดศึกษาที่ 2 – 3	47P	0531933	1039908
จุดศึกษาที่ 2 – 4	47P	0531781	1039787
จุดศึกษาที่ 2 – 5	47P	0531760	1039569
จุดศึกษาที่ 2 – 6	47P	0531294	1039333
ชายหาดบริเวณสันดอนจะงอย	47P	0534162	1038704
ชายหาดบริเวณหาดพุมเรียง	47P	0531707	1041398

ข้อมูลการหาอายุด้วยวิธีกระตุ้นด้วยแสง (OSL)

ค่า annual dose ของแต่ละจุดศึกษา

No.	Sample	Weight (g)	Time (h)	Date	K(counts) 81ch	U(counts) 41ch	Th(counts) 61ch	K(c)-Back (c/100s)	U(c)-Back (c/100s)	Th(c)-Back (c/100s)	Weight correction	U (ppm)	Th (ppm)	K2O (%)	AD
1	01-01	290	24	17-2-16	455402	18971	15055	134.573	9.786	6.756	0.999	1.30	4.16	2.26	2.086
2	01-02	290	24	18-2-16	423116	17011	14005	97.205	7.517	5.541	0.999	0.97	3.41	1.62	1.648
3	01-03	290	24	19-2-16	454318	16602	13213	133.318	7.044	4.624	0.999	0.95	2.85	2.35	1.668
4	01-04	290	24	24-2-16	429417	17347	14274	104.498	7.906	5.852	0.999	1.02	3.60	1.75	1.797
5	01-05	290	24	26-2-16	408579	16331	13429	80.380	6.730	4.874	0.999	0.88	3.00	1.32	1.205
6	01-06	290	24	8-3-16	455959	17762	14213	135.218	8.387	5.781	0.999	1.11	3.56	2.33	2.255
7	02-01	290	24	9-3-16	438615	17206	13976	115.144	7.743	5.507	0.999	1.01	3.39	1.96	1.941
8	02-02	290	24	10-3-16	446181	17479	13967	123.900	8.059	5.497	0.999	1.07	3.38	2.12	2.101
9	02-03	290	24	11-3-16	409052	16267	12494	80.927	6.656	3.792	0.999	0.94	2.33	1.32	1.397
10	02-04	290	24	15-3-16	412802	16183	12493	85.267	6.559	3.791	0.999	0.92	2.33	1.41	1.437
11	02-05	290	24	16-3-16	415850	16695	13314	88.795	7.152	4.741	0.999	0.96	2.92	1.46	1.561
12	02-06	290	24	17-3-16	421412	17051	13856	95.233	7.564	5.368	0.999	0.99	3.30	1.58	1.655

ค่าความเข้มข้นของธาตุกัมมันตรังสี ความชื้น อายุและค่าผิดพลาดของแต่ละจุดศึกษา

ตัวเลขที่เน้นสีเหลืองคืออายุที่นำไปใช้ในงานวิจัย

Sample No.	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)	W (%)	AD (Gy/ka)	AD (Error)	ED (Gy)	ED (Error)	Age (Yr)	Error (Yr)		
1-1-1	1.30	4.16	2.26	13.72	2.09	0.10	1.14	0.04	540.00	30.00	8.10	0.26
1-1-2	1.30	4.16	2.26	13.72	2.09	0.10	1.31	0.04	620.00	30.00	9.27	0.30
1-1-3	1.30	4.16	2.26	13.72	2.09	0.10	1.10	0.04	520.00	30.00	7.82	0.26
1-1-4	1.30	4.16	2.26	13.72	2.09	0.10	1.16	0.04	550.00	30.00	8.20	0.30
1-1-5	1.30	4.16	2.26	13.72	2.09	0.10	1.21	0.04	570.00	30.00	8.55	0.31
1-2-1	0.97	3.41	1.62	8.03	1.65	0.10	1.18	0.04	710.00	40.00	8.40	0.27
1-2-2	0.97	3.41	1.62	8.03	1.65	0.10	1.14	0.04	690.00	40.00	8.09	0.27
1-2-3	0.97	3.41	1.62	8.03	1.65	0.10	1.42	0.05	860.00	60.00	10.09	0.35
1-2-4	0.97	3.41	1.62	8.03	1.65	0.10	1.32	0.06	790.00	60.00	9.33	0.44
1-2-5	0.97	3.41	1.62	8.03	1.65	0.10	1.33	0.05	800.00	50.00	9.40	0.35
1-3-1	0.95	2.85	2.35	26.07	1.67	0.10	1.62	0.06	970.00	60.00	11.51	0.42
1-3-2	0.95	2.85	2.35	26.07	1.67	0.10	1.81	0.06	1,080.00	70.00	12.86	0.43
1-3-3	0.95	2.85	2.35	26.07	1.67	0.10	1.69	0.05	1,010.00	60.00	11.98	0.36
1-3-4	0.95	2.85	2.35	26.07	1.67	0.10	1.69	0.05	1,010.00	60.00	11.99	0.33
1-3-5	0.95	2.85	2.35	26.07	1.67	0.10	1.58	0.05	940.00	60.00	11.22	0.37
1-4-1	1.02	3.60	1.75	6.78	1.80	0.10	1.95	0.07	1,080.00	70.00	13.85	0.49
1-4-2	1.02	3.60	1.75	6.78	1.80	0.10	1.86	0.06	1,030.00	60.00	13.21	0.44
1-4-3	1.02	3.60	1.75	6.78	1.80	0.10	1.92	0.01	1,070.00	50.00	13.64	0.04
1-4-4	1.02	3.60	1.75	6.78	1.80	0.10	1.87	0.06	1,040.00	60.00	13.29	0.45
1-4-5	1.02	3.60	1.75	6.78	1.80	0.10	1.88	0.06	1,040.00	60.00	13.35	0.40
1-5-1	0.88	3.00	1.32	17.73	1.20	0.10	1.30	0.05	1,080.00	90.00	9.23	0.36
1-5-2	0.88	3.00	1.32	17.73	1.20	0.10	1.35	0.06	1,110.00	100.00	9.56	0.45
1-5-3	0.88	3.00	1.32	17.73	1.20	0.10	1.52	0.06	1,250.00	110.00	10.76	0.41
1-5-4	0.88	3.00	1.32	17.73	1.20	0.10	1.21	0.04	1,000.00	80.00	8.58	0.28
1-5-5	0.88	3.00	1.32	17.73	1.20	0.10	1.37	0.04	1,130.00	90.00	9.73	0.29
1-6-1	1.11	3.56	2.33	6.97	2.25	0.10	0.64	0.03	280.00	10.00	4.51	0.19
1-6-2	1.11	3.56	2.33	6.97	2.25	0.10	0.72	0.03	310.00	10.00	5.10	0.20
1-6-3	1.11	3.56	2.33	6.97	2.25	0.10	0.64	0.02	280.00	10.00	4.52	0.15
1-6-4	1.11	3.56	2.33	6.97	2.25	0.10	0.53	0.02	230.00	10.00	3.75	0.17
1-6-5	1.11	3.56	2.33	6.97	2.25	0.10	0.65	0.04	280.00	20.00	4.62	0.27
2-1-1	1.01	3.39	1.96	6.99	1.94	0.10	5.27	0.16	2,710.00	160.00	37.37	1.11
2-1-2	1.01	3.39	1.96	6.99	1.94	0.10	5.14	0.15	2,640.00	150.00	36.47	1.08
2-1-3	1.01	3.39	1.96	6.99	1.94	0.10	5.03	0.16	2,590.00	150.00	35.70	1.16
2-1-4	1.01	3.39	1.96	6.99	1.94	0.10	4.04	0.12	2,080.00	120.00	28.67	0.84
2-1-5	1.01	3.39	1.96	6.99	1.94	0.10	5.54	0.20	2,850.00	180.00	39.29	1.44
2-2-1	1.07	3.38	2.12	5.95	2.10	0.10	4.25	0.12	2,020.00	110.00	30.11	0.85
2-2-2	1.07	3.38	2.12	5.95	2.10	0.10	4.72	0.16	2,240.00	130.00	33.50	1.15
2-2-3	1.07	3.38	2.12	5.95	2.10	0.10	4.27	0.13	2,030.00	110.00	30.25	0.90
2-2-4	1.07	3.38	2.12	5.95	2.10	0.10	4.45	0.17	2,110.00	120.00	31.58	1.18
2-2-5	1.07	3.38	2.12	5.95	2.10	0.10	4.95	0.15	2,350.00	130.00	35.13	1.09
2-3-1	0.94	2.33	1.32	5.20	1.40	0.10	3.68	0.13	2,630.00	200.00	26.08	0.89
2-3-2	0.94	2.33	1.32	5.20	1.40	0.10	2.72	0.12	1,940.00	160.00	19.31	0.83
2-3-3	0.94	2.33	1.32	5.20	1.40	0.10	3.13	0.11	2,240.00	170.00	22.22	0.78
2-3-4	0.94	2.33	1.32	5.20	1.40	0.10	2.64	0.09	1,880.00	140.00	18.70	0.64
2-3-5	0.94	2.33	1.32	5.20	1.40	0.10	2.73	0.13	1,950.00	160.00	19.36	0.93
2-4-1	0.92	2.33	1.41	6.63	1.44	0.10	5.84	0.20	4,060.00	310.00	41.40	1.43
2-4-2	0.92	2.33	1.41	6.63	1.44	0.10	5.16	0.16	3,590.00	270.00	36.63	1.15
2-4-3	0.92	2.33	1.41	6.63	1.44	0.10	6.06	0.19	4,210.00	320.00	42.96	1.34
2-4-4	0.92	2.33	1.41	6.63	1.44	0.10	5.90	0.58	4,100.00	490.00	41.83	4.11
2-4-5	0.92	2.33	1.41	6.63	1.44	0.10	5.47	0.45	3,800.00	400.00	38.78	3.18
2-5-1	0.96	2.92	1.46	4.73	1.56	0.10	5.78	0.46	3,700.00	370.00	40.99	3.25
2-5-2	0.96	2.92	1.46	4.73	1.56	0.10	6.40	0.30	4,090.00	320.00	45.37	2.14
2-5-3	0.96	2.92	1.46	4.73	1.56	0.10	4.94	0.20	3,160.00	240.00	35.04	1.43
2-5-4	0.96	2.92	1.46	4.73	1.56	0.10	6.67	0.23	4,270.00	300.00	47.28	1.60
2-5-5	0.96	2.92	1.46	4.73	1.56	0.10	5.00	0.34	3,200.00	290.00	35.45	2.39
2-6-1	0.99	3.30	1.58	6.07	1.65	0.10	3.88	0.14	2,340.00	160.00	27.50	1.02
2-6-2	0.99	3.30	1.58	6.07	1.65	0.10	5.15	0.21	3,110.00	220.00	36.54	1.48
2-6-3	0.99	3.30	1.58	6.07	1.65	0.10	3.20	0.17	1,930.00	150.00	22.67	1.24
2-6-4	0.99	3.30	1.58	6.07	1.65	0.10	4.53	0.17	2,740.00	190.00	32.16	1.23
2-6-5	0.99	3.30	1.58	6.07	1.65	0.10	6.70	0.26	4,050.00	290.00	47.55	1.83