



โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ลำดับชั้นตะกอนควอเทอร์นารี
จากอำเภอรูทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

โดย

นางสาวปิยาภัสร์ แผ่นทอง
เลขประจำตัวนิสิต 5732736623

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี
ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของโครงการทางวิชาการที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของโครงการทางวิชาการที่ส่งผ่านทางคณะที่สังกัด

The abstract and full text of senior projects in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the senior project authors' files submitted through the faculty.

ลำดับชั้นตะกอนควอเทอร์นารีจากอำเภออุ้มผาง จังหวัดสุพรรณบุรี

นางสาวปิยาภัสร์ แผ่นทอง

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

QUATERNARY STRATIGRAPHY FROM U-THONG DISTRICT, SUPHANBURI PROVINCE

MISS PIYAPAT PANTHONG

A Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Bachelor of Science Program in Geology
Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
Academic Year 2017

หัวข้อโครงการ

ลำดับชั้นตะกอนควอเทอร์นารี จากอำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

โดย

นางสาวปิยามัสร์ แผ่นทอง

สาขาวิชา

ธรณีวิทยา

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก

ศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ชูวงศ์

วันที่ส่ง

วันที่อนุมัติ

.....
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการหลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ชูวงศ์)

5732736623 : ภาควิชาธรณีวิทยา

คำสำคัญ: สภาพแวดล้อมในอดีต / ลำดับชั้นตะกอนควอเทอร์นารี / การวิเคราะห์ทางเคมี

ปิยาภัสร์ แผ่นทอง: ลำดับชั้นตะกอนควอเทอร์นารี จากอำเภออุทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

(QUATERNARY STRATIGRAPHY FROM U-THONG DISTRICT, SUPHANBURI PROVINCE)

อ.ที่ปรึกษาโครงการวิจัยหลัก: ศ.ดร.มนตรี ชูวงศ์, 41 หน้า

เมืองอุทองเป็นเมืองโบราณที่ตั้งอยู่ในด้านตะวันตกของจังหวัดสุพรรณบุรีบนที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่างซึ่งพื้นที่บริเวณนี้เคยมีรายงานว่าได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลที่เพิ่มระดับขึ้นสูงสุดในตอนกลางสมัย Holocene เมื่อประมาณ 6000-7000 ปีมาแล้ว โครงการนี้ได้ตั้งวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารายละเอียดของลำดับชั้นตะกอนควอเทอร์นารีที่ถูกบันทึกไว้ในชั้นตะกอนด้านตะวันออกของเมืองอุทองนี้ การวิเคราะห์ลำดับชั้นตะกอนควอเทอร์นารีประกอบด้วย การจำแนกสมบัติทางกายภาพ ส่วนการวิเคราะห์ทางเคมีประกอบด้วย การวิเคราะห์มวลที่หายไปจากการเผาและการหาธาตุองค์ประกอบในรูปแบบออกไซด์โดยใช้เครื่อง XRF ผลการศึกษาพบว่า สมบัติตะกอนสามารถนำมาใช้บอกสภาพแวดล้อมในอดีตของบริเวณนี้ได้ 4 ช่วง โดยช่วงแรกคือ ตะกอนชุดล่างสุดเป็นการสะสมตัวแบบบก จากการเทียบเคียงคุณสมบัติเป็นชั้นตะกอนดินเหนียวแข็ง (stiff clay) จากนั้นมีการเพิ่มระดับของน้ำทะเลรุกเข้ามาในพื้นที่ ทำให้ตะกอนในช่วงที่สองสะสมตัว โดยเป็นตะกอนดินเหนียวสีเทาไม่แข็งมาก มีค่าอินทรีย์วัตถุไม่สูงมากและมีค่าคาร์บอนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการมีธาตุที่บ่งบอกการเข้ามามีอิทธิพลของน้ำเค็มในตะกอนบริเวณนี้สูงกว่าช่วงอื่น หรืออาจเรียกตะกอนชั้นนี้ว่าชั้นตะกอนดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok clay) ช่วงที่สาม เป็นตะกอนสีน้ำตาล มีค่าออกไซด์ของเหล็กมากกว่าบริเวณอื่น รวมถึงขนาดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นช่วงที่น้ำทะเลน่าจะเริ่มถอยร่นลงไปแต่ยังอยู่ในบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง (tidal zone) สอดคล้องกับการเกิดออกซิเดชันค่อนข้างมากจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ รวมถึงค่าคาร์บอนที่ลดลงซึ่งบ่งบอกการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในพื้นที่ ทั้งนี้ค่าออกไซด์ของเหล็กที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากน้ำใต้ดินในบริเวณนี้ด้วย ในช่วงที่สี่ เป็นตะกอนสีเทาเข้มถึงดำพบเกลือของแคลเซียมซัลเฟตมากกว่าชั้นอื่น เป็นผลจากการตกตะกอนของแร่ที่ระเหยจากน้ำเค็ม (evaporite) และ เป็นผลผลิตจากการผุพังของหินปูนซึ่งมีที่มาจากภูเขาหินปูนทางตะวันตกของพื้นที่ทำให้ค่าคาร์บอนในตะกอนชั้นนี้เพิ่มมากขึ้นกว่าชั้นก่อนหน้า กล่าวโดยสรุป ลำดับชั้นการสะสมตัวของตะกอนบ่งชี้ว่าพื้นที่นี้มีการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของการสะสมตัวจากตะกอนบกไปเป็นตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนทะเลโดยมีชั้นดินปัจจุบันปิดทับตามลำดับ

ภาควิชา : ธรณีวิทยา.....ลายมือชื่อ.....

สาขาวิชา : ธรณีวิทยา.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก.....

ปีการศึกษา :2560.....

5732736623 : Major Geology

KEYWORDS: PALEOENVIRONMENT / QUATERNARY STRATIGRAPHY / CHEMICAL ANALYSIS

PIYAPAT PANTHONG: QUATERNARY STRATIGRAPHY FROM U-THONG DISTRICT,
SUPHANBURI PROVINCE. ADVISOR: PROF.DR. MONTRI CHOOWOONG, 41 pp.

U-Thong ancient city is located at Suphan Buri province in the western part of the lower central plain of Thailand close to the paleo-shoreline of highest sea level previously reported in Middle Holocene around 6,000-7,000 years ago. This study is aimed to characterize Quaternary stratigraphy in place where the middle Holocene sea level change may record from boreholes drilled in the eastern side of the city. Stratigraphic analysis included the description of physical properties, chemical analysis by XRF for analyzing major oxide elements and Loss On Ignition technique for calculating % organic and carbonate contents. As a result, 4 stages of environmental change were identified based on stratigraphic context from bottom to top as follows. Firstly, subaerial condition is represented by stiff clay in the bottom of the core. Secondly, sediment including higher percentage of carbonate content and important elements indicating seawater in grey clay sediment or Bangkok clay is the indication of brackish water deposit. Thirdly, brown silty-sandy clay sediment with high iron oxide indicating oxidation event is interpreted to relate with tidal zone or ground water level change. Lowest carbonate content in this third layer can be used as indicator of environment change. Finally, very dark grey to black clay sediment with high calcium sulfate indicated evaporite deposit. Increase in carbonate content comparing with below layer possibly causes by an effect of weathering product from limestone mountain on the west side of U-Thong city. Based on stratigraphy, the paleo-environment in this area started from freshwater, brackish, marine and floodplain environment, respectively.

Department : Geology.....Student's signature.....

Field of study : Geology.....Advisor's signature.....

Academic Year : 2017.....

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้จากความร่วมมือและความช่วยเหลือ ขอกล่าวขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนให้โครงการนี้สำเร็จได้ ดังนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ศ.ดร.มนตรี ชูวงศ์ สำหรับ คำปรึกษา คำแนะนำ การแก้ไข และความช่วยเหลือ และขอบพระคุณสำหรับความสบายใจ และกำลังใจที่มีให้เสมอมาตลอดการทำโครงการวิจัยนี้

ขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อ.ดร.สกลวรรณ ชาวไชย สำหรับคำแนะนำ การแก้ไข และการผลักดันให้พัฒนาตนเอง รวมถึง อ.ดร.อัคนีวรุฑ ชะบางบอน ที่คอยแนะนำและให้คำปรึกษาที่ดีเสมอ

ขอบพระคุณ ผศ.ชวลิต ชาวเขียว คณบดีคณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลจาก “โครงการวิจัยภูมิสถานชายฝั่งทะเลโบราณ เมืองท่า เส้นทางการค้า และความเชื่อมโยงกับการตั้งถิ่นฐานแรกเริ่มในประเทศไทยในบริบทของภูมิภาคอารยธรรมสุวรรณภูมิ” รวมถึงการดูแล สั่งสอน เรื่องที่เกี่ยวกับโครงการทั้งหมด

ขอบพระคุณพี่ๆบุคลากร โดยเฉพาะ คุณจิระประภา เนียมปาน, คุณบรรจง พวงทอง และคุณไศภิต พุ่มพวง ที่ช่วยเหลือและ อำนวยความสะดวกทำให้การใช้ห้องปฏิบัติการเป็นไปด้วยความราบรื่น

ขอบคุณนายกานต์ เพื่อนทอง สำหรับการตอบคำถาม ข้อเสนอแนะในงานวิจัย และการใช้เตาเผา

ขอบคุณนายพันธกานต์ พรมยะ เพื่อนที่ทำวิจัยจากแห่งตะกอนเดียวกัน สำหรับความช่วยเหลือและกำลังใจจนสำเร็จลุล่วงมาด้วยกัน

ขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้กำลังใจ และคอยเป็นที่ปรึกษาที่ดี รับฟัง และช่วยเหลือจนก้าวผ่านปัญหาทุกอย่างมาได้

ท้ายที่สุดขอบคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา และเป็นแรงผลักดันสำคัญในการทำงานให้สำเร็จไปด้วยดี

สารบัญ
(Content)

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 พื้นที่ศึกษา	1
1.4 ข้อมูลธรณีวิทยาของพื้นที่	4
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
บทที่ 2 วิธีดำเนินงานวิจัย	10
2.1 การเลือกพื้นที่ศึกษา การแปลภาพถ่ายทางอากาศและการวางแผนตำแหน่งหลุมเจาะ	10
2.2 การลำดับชั้นตะกอนตามความลึก	10
2.3 การวิเคราะห์ทางเคมี	11
2.3.1 การวิเคราะห์มวลที่หายไปจากการเผา หรือ Loss On Ignition (LOI)	11
2.3.2 การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในรูปแบบออกไซด์โดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF)	11
บทที่ 3 ผลการศึกษา	16
3.1 ผลการศึกษาภาพถ่ายทางอากาศและการวางหลุมเจาะ	16
3.2 ผลการลำดับชั้นตะกอนและลำดับความลึกโดยลักษณะทางกายภาพและผลการ วิเคราะห์ทางเคมี	17
3.2.1 ผลการลำดับชั้นตะกอนและผลการวิเคราะห์มวลที่หายไปจากการเผา (Loss On Ignition)	17
3.2.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุประกอบในรูปแบบออกไซด์โดยใช้เครื่อง XRF (X-Ray Fluorescence)	19
3.3 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)	22

3.4 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงธาตุองค์ประกอบในรูปแบบออกไซด์จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF	24
บทที่ 4 อภิปรายผล	25
บทที่ 5 สรุปผล	39
ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	40
เอกสารอ้างอิง	41

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1 แสดงแนวชายฝั่งในช่วงตอนกลางสมัยโฮโลซีนขณะที่น้ำทะเลขึ้นสูงสุด (Tanabe et al., 2003)	2
รูปที่ 1.2 กราฟแสดงระดับน้ำทะเลในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Nimnate et.al.,2015)	2
รูปที่ 1.3 ภาพพื้นที่ศึกษา	3
รูปที่ 1.4 แผนที่ธรณีวิทยาของจังหวัดสุพรรณบุรีและบริเวณพื้นที่ศึกษา	4
รูปที่ 1.5 ภาพแสดงตำแหน่งที่ตั้งเมืองโบราณที่แสดงความสัมพันธ์กับแนวชายฝั่งทะเลในอดีต (ผ่องศรี วนาสิน และ ทิวา ศุภจรรยา. 2525)	6
รูปที่ 1.4 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลตั้งแต่ 8,000 ปีก่อนจนถึงปัจจุบันแสดงผลทุก 1,000 ปี (Tanabe et.al. 2003)	7
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการเรียงลำดับตะกอนตามลำดับความลึกของ หลุมเจาะที่ 2	10
รูปที่ 2.2 การชั่งน้ำหนักตัวอย่าง	11
รูปที่ 2.3 การนำตัวอย่างเข้าไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง	12
รูปที่ 2.4 การบดตัวอย่างสำหรับอัดเพื่อทำ XRF โดยใช้ครก	14
รูปที่ 2.5 การอัดตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF	14
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างที่อัดเสร็จเรียบร้อยพร้อมวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF	15
รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่ศึกษา	16
รูปที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลจากการทำ LOI กับลำดับชั้นตะกอน ในหลุมเจาะที่ 2	18
รูปที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลจากการทำ LOI กับลำดับชั้นตะกอน ในหลุมเจาะที่ 3	18
รูปที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลจากการทำ LOI กับลำดับชั้นตะกอน ในหลุมเจาะที่ 4	19
รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งตัวอย่างที่นำไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF	20
รูปที่ 3.6 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของธาตุประกอบในรูปแบบออกไซด์ในแท่งตะกอน	24
รูปที่ 4.1 แสดงการเทียบสัมพันธ์ในชั้นตะกอนดินเหนียวแข็ง (Stiff clay)	25
รูปที่ 4.2 แสดงผล LOI ในช่วงที่ 2 ของการเปลี่ยนแปลง	26
รูปที่ 4.3 ภาพจำลองสภาพแวดล้อมของพื้นที่ในช่วงที่ 2 ของการเปลี่ยนแปลง	28
รูปที่ 4.4 แสดงการเทียบสัมพันธ์ในชั้นตะกอนสีเทาหรือชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ (Bangkok clay) ในช่วงที่ 2 ของการเปลี่ยนแปลง	29
รูปที่ 4.5 แสดงผล LOI ในช่วงที่ 3 ของการเปลี่ยนแปลง	30
รูปที่ 4.6 ภาพจำลองสภาพแวดล้อมของพื้นที่ในช่วงที่ 3 ของการเปลี่ยนแปลง	32

รูปที่ 4.7 แสดงการเทียบสัมพันธ์ในชั้นตะกอนสีน้ำตาลในช่วงที่ 3 ของการเปลี่ยนแปลง	33
รูปที่ 4.8 แสดงผล LOI ในช่วงที่ 4 ของการเปลี่ยนแปลง	34
รูปที่ 4.9 ภาพจำลองสภาพแวดล้อมของพื้นที่ในช่วงที่ 4 ของการเปลี่ยนแปลง	36
รูปที่ 4.10 แสดงการเทียบสัมพันธ์ในชั้นตะกอนสีเทาเข้มถึงดำในช่วงที่ 4 ของการเปลี่ยนแปลง	37
รูปที่ 4.11 แสดงการเทียบสัมพันธ์ของชั้นตะกอนในหลุมเจาะที่ 2,3 และ 4	38

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงผล XRF ของตัวอย่างที่ 1 ,4 และ 7 ที่เป็นตะกอนเนื้อละเอียดสีเทาเข้มถึงดำ	20
ตารางที่ 3.2 แสดงผล XRF ของตัวอย่างที่ 2, 5 และ 8 จากชั้นตะกอนสีน้ำตาลในช่วงกลางของ แท่งตะกอน	21
ตารางที่ 3.3 แสดงผล XRF ของตัวอย่างที่ 3, 6 และ 9 จากชั้นตะกอนสีเทาในช่วงล่างของแท่ง ตะกอน	21
ตารางที่ 3.4 แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวอย่างลำดับที่ 1,4,7 จาก 3 หลุมเจาะ ในชั้น ตะกอนสีเทาเข้มจนถึงดำ ส่วนบนของแท่งตะกอน	22
ตารางที่ 3.5 แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวอย่างลำดับที่ 2,5,8 จาก 3 หลุมเจาะ ในชั้น ตะกอนสีน้ำตาล ส่วนกลางของแท่งตะกอน	23
ตารางที่ 3.6 แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวอย่างลำดับที่ 3,6,9 จาก 3 หลุมเจาะ ในชั้น ตะกอนสีเทา ส่วนล่างของแท่งตะกอน	23

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

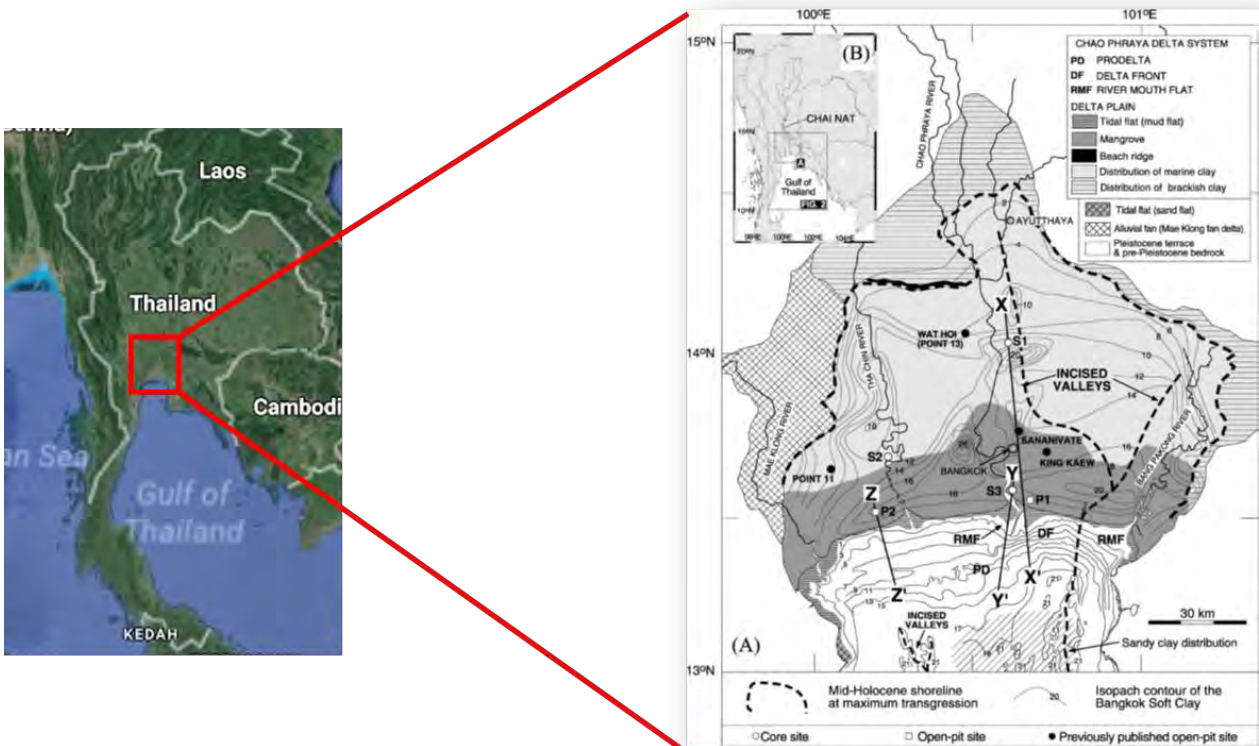
อำเภออุทอง จังหวัดสุพรรณบุรี เป็นพื้นที่ที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์ คือเป็นที่ตั้งของเมืองโบราณอุทอง และยังพบหลักฐานของชุมชนโบราณ ซึ่งประวัติศาสตร์เหล่านี้สัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ในอดีต ความรู้ทางธรณีวิทยาจึงสามารถช่วยบอกสภาพแวดล้อมในอดีตของพื้นที่ได้ ในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์มวลที่หายไปจากการเผา เพื่อให้ทราบสัดส่วนของสารประกอบอินทรีย์ และสารประกอบคาร์บอนेट ซึ่งสามารถช่วยตีความสภาพพื้นที่ในอดีตและความหนาแน่นของพืชพรรณในพื้นที่ได้ และทำการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง XRF เพื่อดูสัดส่วนธาตุองค์ประกอบในตะกอน จะช่วยในการบ่งชี้สภาพแวดล้อมการตกสะสมตัวของตะกอนพื้นที่บริเวณนั้นได้

1.2 วัตถุประสงค์

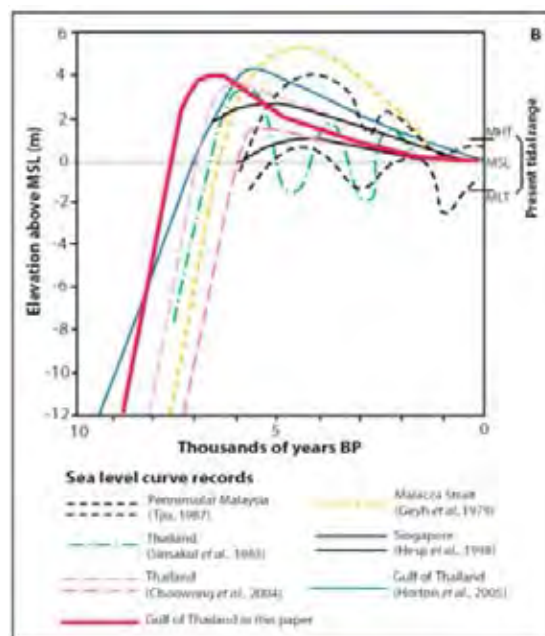
เพื่อวิเคราะห์การลำดับชั้นตะกอนควอเตอร์นารี จากอำเภออุทอง จังหวัดสุพรรณบุรี และบอกสภาพแวดล้อมในอดีต ที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลและขอบเขตทะเลโบราณ

1.3 พื้นที่ศึกษา

อำเภออุทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ตั้งอยู่ทางตะวันตกของที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลการรุกเข้ามาสูงสุดของน้ำทะเลในสมัย Holocene เมื่อประมาณ 6,000-8,000 ปีที่แล้วดังภาพแสดงแนวชายฝั่งในช่วงตอนกลางสมัยโฮโลซีนขณะที่น้ำทะเลขึ้นสูง (Tanabe et al., 2003)



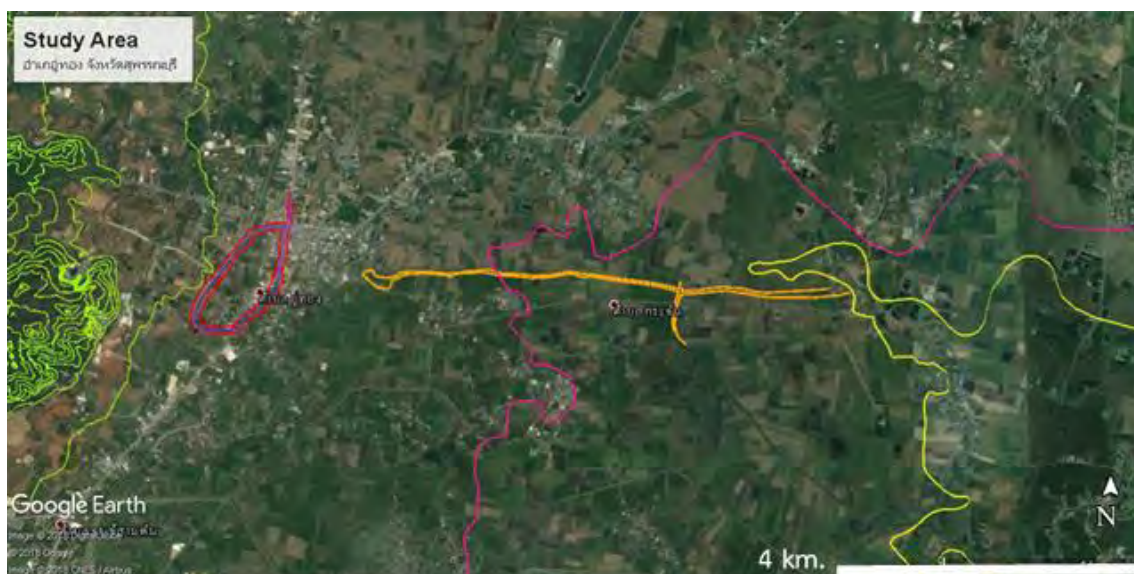
รูปที่ 1.1 ภาพแสดงแนวชายฝั่งในช่วงตอนกลางสมัยโฮโลซีนขณะที่น้ำทะเลขึ้นสูง (Tanabe et al., 2003) ซึ่งระดับน้ำทะเลในช่วงที่เพิ่มขึ้นสูงสุดในสมัยโฮโลซีนนั้นขึ้นสูงมากกว่าปัจจุบันถึง 4 เมตร ดังกราฟที่แสดงระดับน้ำทะเลในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้



รูปที่ 1.2 กราฟแสดงระดับน้ำทะเลในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Nimnate et al., 2015)

โดยระดับน้ำทะเลที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงนี้ มีขอบเขตรุกล้ำเข้าไปจนถึงจังหวัดอ่างทอง จากการเปรียบเทียบความสูงดังกล่าวกับความสูงของพื้นที่ราบลุ่มภาคกลาง (Choowong et al., 2003)

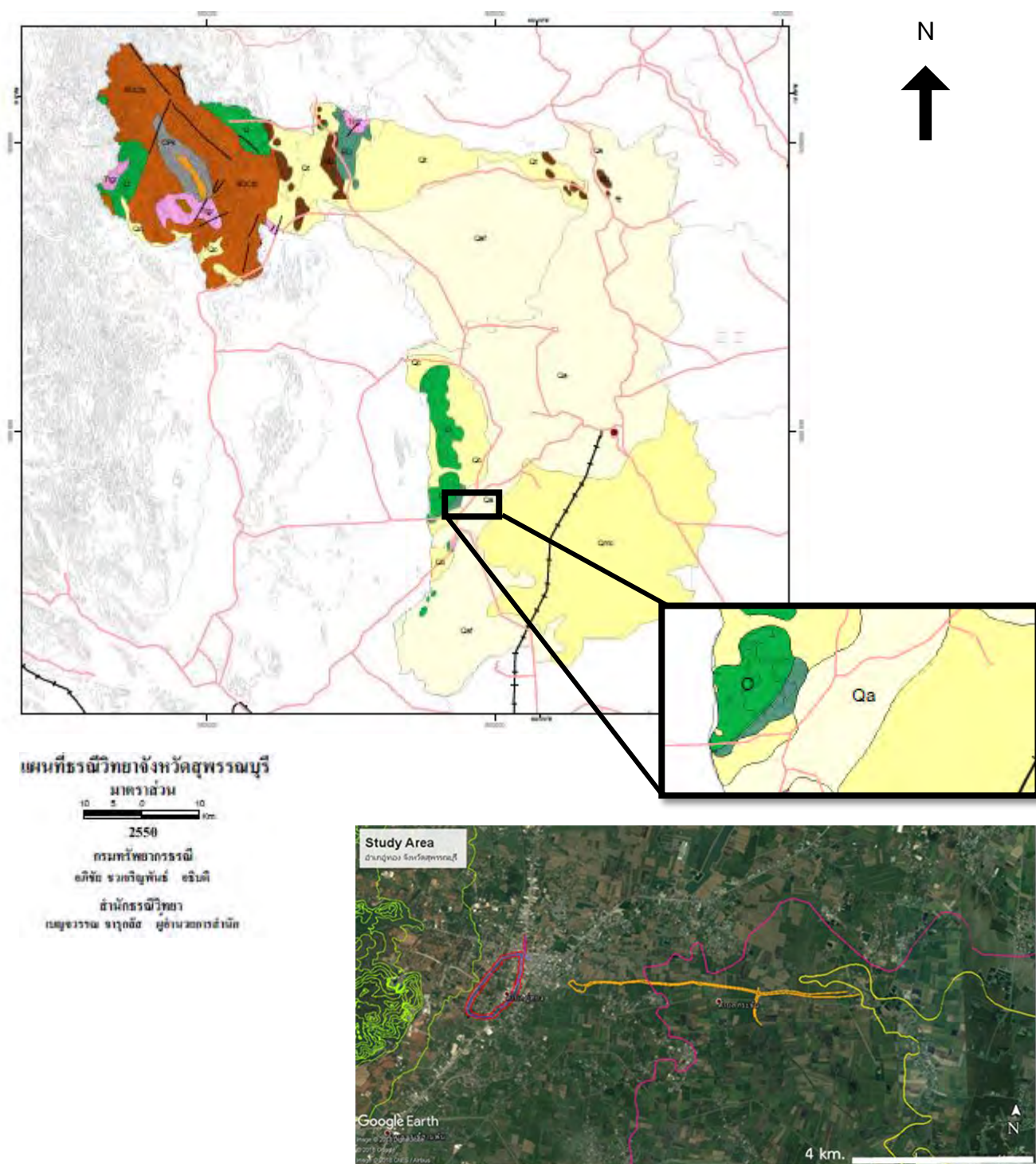
พื้นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ตั้งอยู่ในอำเภออุ้มทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ทางตะวันออกของเมืองโบราณอุ้มทอง



รูปที่ 1.3 ภาพพื้นที่ศึกษา

โดยจากการแปลภาพถ่ายทางอากาศโดยคุณกฤษณพล วิชชุพันธ์ และ ผศ.ชวลิต ขาวเขียว พบโครงสร้างเส้นตรงที่คาดว่าเป็นแนวคลองขุดเก่าที่น่าจะเชื่อมออกสู่ทะเล หรือเส้นทางที่สามารถออกสู่ทะเลได้ ทำให้พื้นที่บริเวณคลองขุดนี้เป็พื้นที่ศึกษาที่มีดาววางหลุมเจาะตามแนวคลองเพื่อเก็บข้อมูลตะกอน ซึ่งการศึกษาสภาพแวดล้อมในอดีตของพื้นที่บริเวณนี้จึงเป็นประโยชน์ไม่ใช่แค่ทางธรณีวิทยา แต่ยังมีประโยชน์ทางด้านโบราณคดีอีกด้วย

1.4 ข้อมูลทางธรณีวิทยาของพื้นที่



รูปที่ 1.4 แผนที่ธรณีวิทยาของจังหวัดสุพรรณบุรีและบริเวณพื้นที่ศึกษา

จากแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดสุพรรณบุรีของกรมทรัพยากรธรณี พบว่าในพื้นที่ที่มีข้อมูลหินและตะกอนยุคควอเทอร์นารีดังนี้

ภูเขาทางด้านตะวันตกของพื้นที่ จากข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณีระบุให้เป็น



หินปูนเนื้อดินและหินปูนสีเทาและสีชมพู หินปูนเนื้อโดโลไมต์ และหินอ่อน แทรกสลับด้วย หินดินดานเนื้อปูนผสม หินดินดานปนทราย มีซากดึกดำบรรพ์หอยวงช้าง แบริโอพอดและ ไทรโลไบต์



หินอ่อน หินควอร์ตไซต์ ไมก้าชีสต์

ที่ราบทางด้านตะวันออกของพื้นที่ จากข้อมูลแผนที่ธรณีวิทยาของกรมทรัพยากรธรณีระบุให้เป็น



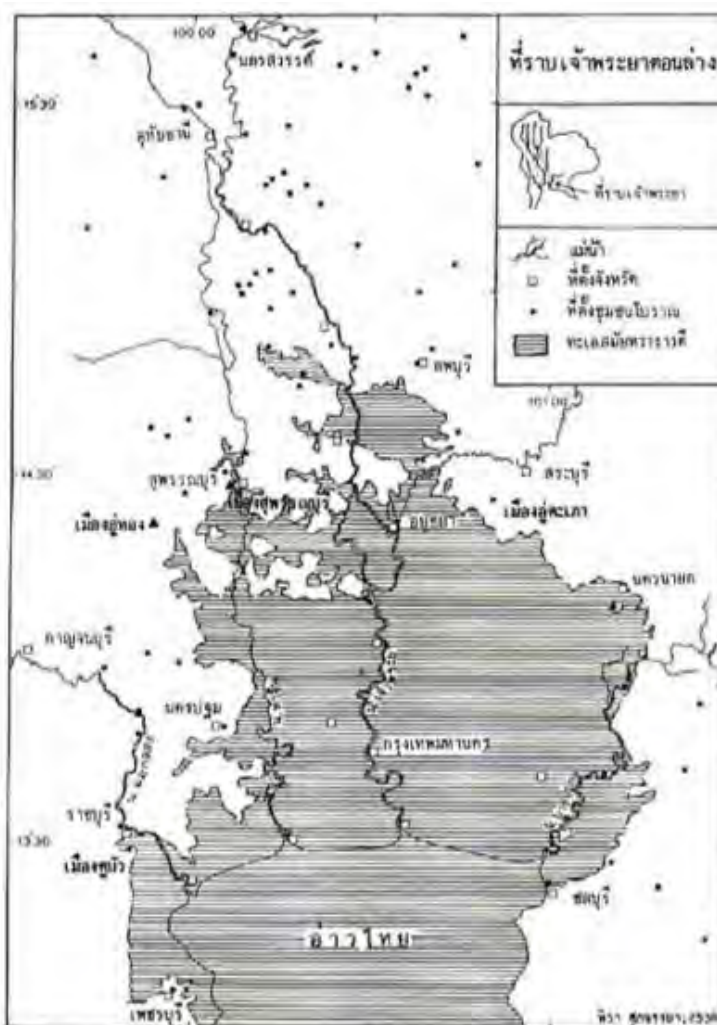
ตะกอนธารน้ำพา กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียวสะสมตัวตามร่องน้ำ คันดินแม่น้ำ และแอ่งน้ำท่วมถึง



ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลของน้ำขึ้น น้ำลง ดินเหนียว ทรายแป้ง และทรายละเอียด ของที่ราบลุ่มน้ำขึ้นถึง ที่ลุ่มขึ้นแฉะ และที่ลุ่มน้ำขังป่าชายเลนและชะวากทะเล

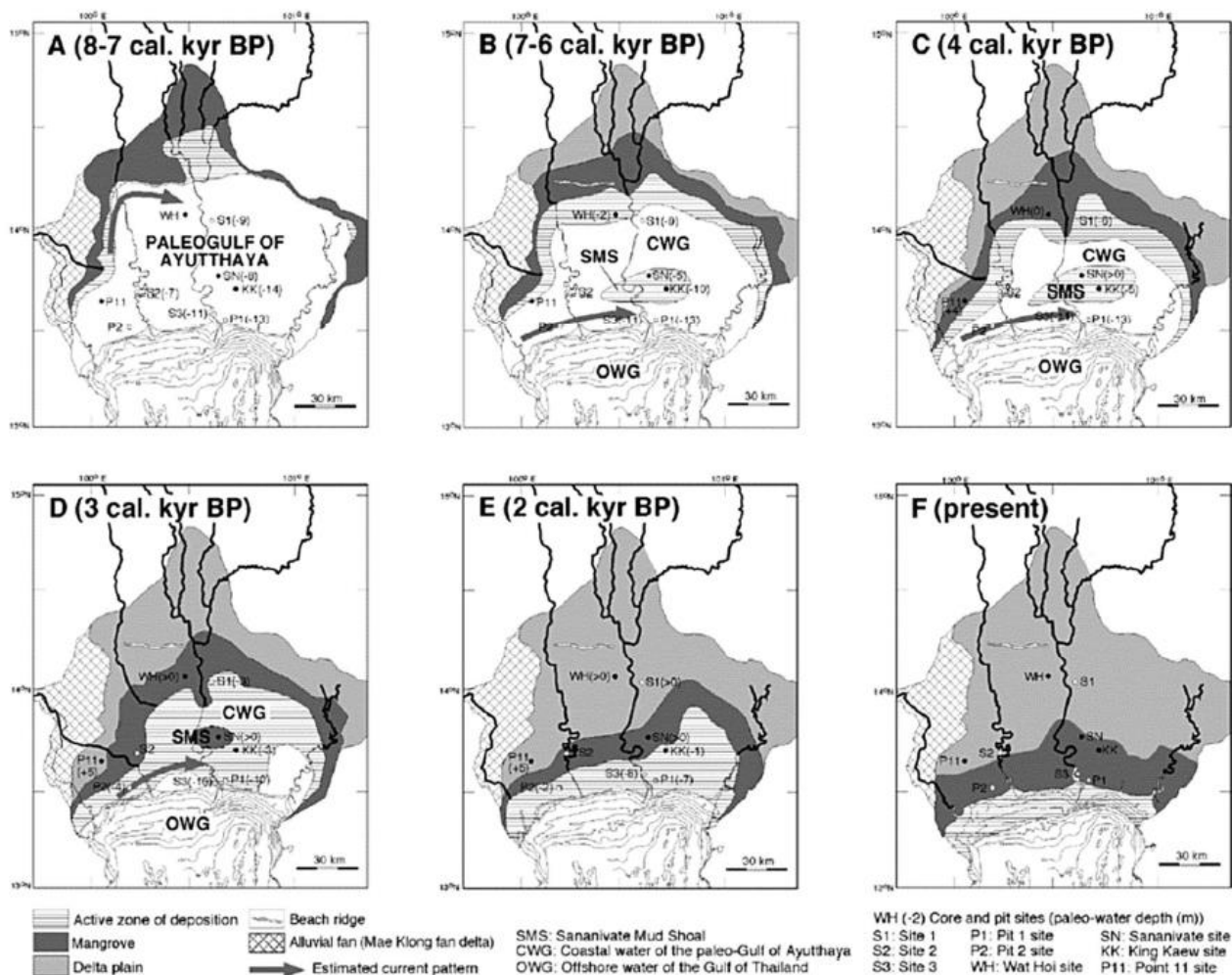
1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากรายงานโครงการวิจัยชุมชนโบราณจากภาพถ่ายทางอากาศ โดย ทิวา ศุภจรรยา และ ผ่อง ศรีวนาสิน ในปี พ.ศ.2525 ได้ศึกษาภูมิศาสตร์บรรพกาลโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศโดยตำแหน่งที่ตั้งเมืองโบราณในที่ราบลุ่มภาคกลางน่าจะมีความสัมพันธ์กับขอบเขตทะเลโบราณดังแสดงในรูป



รูปที่ 1.5 ภาพแสดงตำแหน่งที่ตั้งเมืองโบราณที่แสดงความสัมพันธ์กับแนวชายฝั่งทะเลในอดีต (ผ่องศรี วนาสิน และ ทิวา ศุภจรรยา, 2525)

ต่อมา Tanabe และคณะ ได้ทำการศึกษาในปี ค.ศ.2003 ได้ศึกษาบริเวณที่ราบลุ่มภาคกลางโดยศึกษาความลึกของตะกอนดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok clay) โดยรวมชั้นดินผุพัง (weather clay) และ ชั้นดินไม่แข็งตัว (soft clay) เข้าด้วยกัน โดยได้ทำแบบจำลองการถอยร่นของน้ำทะเล สภาพแวดล้อมในอดีต และขอบเขตทะเลโบราณ เป็นช่วงเวลาต่างๆตั้งแต่ 8,000 ปีที่แล้วเป็นต้นมา จากภาพจะเห็นได้ว่ามีบางช่วงที่น้ำทะเลรุกเข้าไปถึงทางทิศเหนือของอยุธยา



รูปที่ 1.4 ภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลตั้งแต่ 8,000 ปีก่อนจนถึงปัจจุบันแสดงผลทุก 1,000 ปี (Tanabe et.al. 2003)

จากนั้นในปี พ.ศ.2557 ดร.จงใจ หุดางกูร ได้ศึกษาภูมิศาสตร์พืชพรรณในพื้นที่ราบลุ่มภาคกลางตอนล่าง โดยใช้ข้อมูลด้านธรณีสัณฐาน (Geomorphology) , การศึกษาเรณูวิทยา (Palynology) และข้อมูลด้านค่าอายุเรดิโอคาร์บอนตามปีปฏิทิน (Calibrate Radiocarbon Ages) มาประกอบกัน เพื่อหาพัฒนาการของภูมิศาสตร์พืชพรรณในที่ราบลุ่มภาคกลาง โดยเน้นที่การศึกษา และรวบรวมงานศึกษาเดิมเกี่ยวกับ พืชโกงกาง ในชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ ที่สามารถบ่งบอกการเข้ามามีอิทธิพลของน้ำทะเลในพื้นที่นั้นๆได้ แต่ก็มีการศึกษาพืชชนิดอื่นด้วยเช่นกัน จากนั้นได้กำหนดแนวชายฝั่งทะเลตามพัฒนาการของภูมิศาสตร์พืชพรรณเป็น 5 ระยะ ดังนี้คือ

ระยะที่ 1: ช่วงที่น้ำทะเลรุกเข้ามาสูงสุดในสมัย Holocene เมื่อประมาณ 8,000-7,000 ปีมาแล้วตามปีปฏิทิน พื้นที่บริเวณที่ลุ่มบางกอกมีสภาพเป็นทะเลตื้น ลึกประมาณ 3-10 เมตร มีแนวป่าชายเลนครอบคลุมพื้นที่ของจังหวัดสุพรรณบุรี อ่างทอง พระนครศรีอยุธยา นครนายก และปราจีนบุรี

ระยะที่ 2: ช่วงการถดถอยของน้ำทะเลสมัยโฮโลซีน เมื่อประมาณ 7,000-5,000 ปีมาแล้วตามปีปฏิทิน ซึ่งการถดถอยลงของน้ำทะเลนี้ทำให้แนวชายฝั่งทะเลเคลื่อนลงไปทางทิศใต้ โดยไปอยู่ในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี และมีบึงน้ำจืดขนาดใหญ่เกิดขึ้นแทน

ระยะที่ 3: เป็นระยะที่แนวชายฝั่งทะเลยังคงเคลื่อนตัวลงทิศใต้ มาอยู่ในพื้นที่ จ.นนทบุรี และเขตตะวันออกของกรุงเทพมหานคร เมื่อประมาณ 5,000-3,000 ปีมาแล้วตามปีปฏิทิน จากหลักฐานทางโบราณคดี คือ แหล่งโบราณคดีโคกพนมดี จังหวัดชลบุรี ซึ่งตั้งอยู่ตอนปลายสุดด้านตะวันออกของที่ลุ่มบางกอก สามารถบ่งบอกได้ว่าพื้นที่บริเวณดังกล่าว น่าจะเป็นที่ราบน้ำท่วมตามฤดูกาลที่อยู่ไม่ห่างจากแนวป่าชายเลนมากนัก ไม่ใช่ป่าชายเลนอีกแล้ว

ระยะที่ 4: แนวชายฝั่งทะเลเคลื่อนตัวลงมาอยู่ในพื้นที่ตอนเหนือของกรุงเทพมหานคร 3,000-2,000 ปีมาแล้วตามปีปฏิทิน และจากแหล่งโบราณคดีบึงไผ่ดำ จังหวัดฉะเชิงเทรา, แหล่งโบราณคดีโคกพลับ จังหวัดราชบุรี และแหล่งโบราณคดีบ้านหนองสองห้อง จังหวัดสมุทรสาคร สามารถบ่งบอกได้ว่าพื้นที่ดังกล่าวไม่ได้เป็นแนวป่าชายเลนอีกต่อไป แต่ได้เปลี่ยนเป็นโคกเนินบนที่ราบน้ำท่วมตามฤดูกาลที่ตั้งอยู่ไม่ห่างจากแนวป่าชายเลน

ระยะที่ 5: แนวชายฝั่งทะเลเคลื่อนตัวลงมาอยู่ในพื้นที่ อำเภอบ้านแพ้ว และ อำเภอกะทู้แบน จังหวัดสมุทรสาคร ต่อเนื่องไปยังพื้นที่ตอนใต้ของกรุงเทพมหานครและตอนเหนือของ จ. สมุทรปราการ เมื่อประมาณ 2,000-1,000 ปีมาแล้วตามปีปฏิทิน (ราวพุทธศตวรรษที่ 7-15) ดังนั้น พื้นที่จากขอบของที่ลุ่มบางกอกจนถึงแนวป่าชายเลน จึงมีสภาพนิเวศแบบที่ราบน้ำท่วมตามฤดูกาลที่กว้างใหญ่มาก มีการตั้งเมืองสมัยทวารวดีบนเขตที่ตอนนอกที่ลุ่มบางกอก ที่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางราว 4 เมตร ซึ่งสอดคล้องไปกับขอบเขตการรุกเข้าสู่ที่สุดของน้ำทะเล

ในปี พ.ศ.2557 อีกเช่นกันจากรายงานผลการดำเนินงานโครงการวิจัยซากดึกดำบรรพ์ในชั้นตะกอนบริเวณแอ่งเจ้าพระยาตอนล่าง พื้นที่อำเภอรูทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ของ ศ.ดร. เหนียวสุภาพ และคณะ ได้ทำการสำรวจธรณีวิทยา ธรณีฟิสิกส์ การสำรวจด้านโบราณคดีและชุมชนโบราณรวมถึงการหาอายุจากซากดึกดำบรรพ์ที่พบ รายงานการศึกษาอายุและการลำดับชั้นดินในพื้นที่แบ่งดินที่พบออกเป็น 4 ชั้น ได้แก่

ชั้นที่ 1 ดินชั้นบน เป็น Alluvial deposit เป็นดินเหนียวปนทราย หนา 1-2 เมตร มีอายุ 0-300 ปี

ชั้นที่ 2 ดินที่เกิดจากการสะสมตัวแบบ Tidal deposit เป็นดินเหนียว มีสีเทา แทรกสลับชั้นพีช หนา 1-15 เมตร อายุ 5,000 – 8,000ปี

ชั้นที่ 3 ดินทะเล (marine clay) เป็นสีเทา มีความอ่อนถึงเหลว อายุ 5,000-8,000 ปี พบเฉพาะทางตอนใต้ของพื้นที่ศึกษา

ชั้นที่ 4 ตะกอนยุค Pleistocene ที่สะสมตัวบนบก เป็นดินทรายสีน้ำตาลเหลือง ด้านบนเป็นดินเหนียวที่มีความแข็ง (stiff clay) อายุ 10,000-12,000 ปี

และผลจากการศึกษาเรณูวิทยาพบว่าทางตอนเหนือของพื้นที่เป็นการสะสมตัวของตะกอนบนบก ภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และทางตอนใต้เป็นชะวากทะเลที่ยื่นเข้าหาเมืองอุทงในแนวตะวันตก-ตะวันออก แต่แนวนี้มีอายุกว่า 8,000 ปีมาแล้ว จากงานวิจัยนี้และงานวิจัยของ ตรงใจ หุตางกูร ให้ข้อสรุปที่เหมือนกันว่าแนวชายฝั่งทะเลที่แม่จะอยู่ใกล้กับเมืองอุทงโบราณ เป็นแนวชายฝั่งที่มีอายุมากและเก่าแก่กว่าเมืองอุทง รวมถึงการตั้งชุมชนโบราณอยู่มากเช่นกัน เพราะในช่วงเวลานั้นแนวชายฝั่งทะเลได้ถอยร่นมาจนอยู่บริเวณกรุงเทพมหานคร หรือเกือบจะใกล้เคียงกับตำแหน่งปัจจุบันแล้ว

บทที่ 2

วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 การเลือกพื้นที่ศึกษา การแปลภาพถ่ายทางอากาศและการวางแผนตำแหน่งหลุมเจาะ

ได้รับข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ แผนที่ผังหลุมเจาะ จาก “โครงการวิจัยภูมิฐานฐานชายฝั่งทะเลโบราณ เมืองท่า เส้นทางการค้า และความเชื่อมโยงกับการตั้งถิ่นฐานแรกเริ่มในประเทศไทยในบริบทของภูมิอารยธรรมสุวรรณภูมิ”

2.2 การลำดับชั้นตะกอนตามความลึก

หลังจากรับตัวอย่างตะกอนมาจากโครงการวิจัยดังกล่าวแล้ว ได้นำแท่งตะกอนมาเรียงลำดับตามลำดับความลึก และทำการลำดับชั้นตะกอนโดยจำแนกจากความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพของตะกอน ทั้งขนาดของเม็ดตะกอน และ อ้างอิงสีจากสมุดคู่มือเทียบสีระบบมัลเซลล์ (Munsell books of color) และนำข้อมูลทั้งหมดไปทำลำดับชั้นตะกอน (Stratigraphic column) ในโปรแกรม SedLog

** ทั้งนี้เนื่องจากตะกอนที่ได้รับมามีการหดตัวและขาดหายไปบางช่วง การทำการทดลองและการลำดับชั้นตะกอนทั้งหมดจะใช้ตำแหน่งความลึกเป็นช่วง ไม่สามารถบอกรายละเอียดความลึกที่แท้จริงได้



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการเรียงลำดับตะกอนตามลำดับความลึกของหลุมเจาะที่ 2 โดยเรียงตามทิศทางลูกศร

2.3 การวิเคราะห์ทางเคมี

2.3.1 การวิเคราะห์ห้มวลที่หายไปจากการเผา หรือ Loss On Ignition (LOI)

การเลือกตัวอย่าง

ตัวอย่างที่นำมาใช้ศึกษาได้จากหลุมเจาะ 3 หลุมเจาะ โดยมีชื่อและตำแหน่งดังรูป โดยผู้จัดทำได้เลือกตัวอย่างทุกๆ 10 เซนติเมตรมาวิเคราะห์ สำหรับหลุมเจาะที่ 2 และ ในหลุมเจาะที่ 3 และ หลุมเจาะที่ 4 ผู้จัดทำพิจารณาความห่างที่มากขึ้นเป็นตัวแทนของความลึกหรือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพให้เห็น

การเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์

เลือกตัวอย่างทุกๆ 10 เซนติเมตรและ ตัดออกมาให้มีความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้ไปชั่ง โดยใช้ตัวอย่างน้ำหนักประมาณ 1.5 กรัม โดยจะทำครั้งละ 15 ตัวอย่าง นำตัวอย่างที่ชั่งแล้วทำการอบด้วยเครื่องอบ ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ข้ามคืน เพื่อกำจัดน้ำในตัวอย่างตะกอน เมื่ออบเพื่อกำจัดน้ำเสร็จแล้วนำตัวอย่างหลังการอบมาชั่งน้ำหนัก โดยเตรียมถ้วยทนความร้อน (crucible) แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่าเอาไว้ก่อนแล้วนำตะกอนที่ชั่งแล้วหลังจากการอบเพื่อกำจัดน้ำใส่ถ้วยทนความร้อน (crucible)



รูปที่ 2.2 การชั่งน้ำหนักตัวอย่าง

จากนั้นนำตัวอย่างเข้าเผาด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง (furnace) ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง (Heiri et al., 2001) แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 2.3 การนำตัวอย่างเข้าไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง

สามารถคำนวณ %Organic Matter ในตะกอนได้จากสูตร

$$LOI_{550} = ((DW_{105} - DW_{550}) / DW_{105}) * 100$$

DW_{105} = น้ำหนักตะกอนหลังอบด้วยอุณหภูมิ 105 °C

DW_{550} = น้ำหนักตะกอนหลังเผาด้วยอุณหภูมิ 550 °C

โดยค่าที่ได้ออกมาต้องนำมาหารด้วย 2 ($LOI_{550}/2$) จะได้ค่า % Organic Matter ในตัวอย่าง (Dean 1974, Heiri et al. 2001)

ต่อมานำตัวอย่างไปเผาต่อด้วยเตาเผาอุณหภูมิสูง (furnace) ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Heiri et al., 2001) แล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง โดยขั้นตอนนี้ทำให้สามารถคำนวณ % Carbonate content ในตะกอนได้จากสูตร

$$LOI_{950} = ((DW_{550} - DW_{950}) / DW_{105}) * 100$$

DW_{950} = น้ำหนักตะกอนหลังเผาด้วยอุณหภูมิ 950 °C

โดยค่าที่ได้ออกมาต้องนำมาคูณด้วยด้วย 1.36 จะได้ค่า % Carbonate content ในตัวอย่าง (Heiri et al., 2001)

ทำซ้ำตามขั้นตอนไปจนครบทั้งหมด

2.3.2 การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในรูปแบบออกไซด์โดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF)

การเลือกตัวอย่าง

เลือกตัวอย่างจากบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ เช่น สี หรือลักษณะเนื้อตะกอนที่แตกต่างกันในแท่งตะกอนเดียวกัน แต่มีความคล้ายกันกับแท่งตะกอนอื่น เพื่อให้เป็นประโยชน์ในการหาความสัมพันธ์ของตะกอนแต่ละชุด โดยเลือกได้หลุมเจาะละ 3 บริเวณคือ บริเวณที่มีตะกอนสีเทาเข้มเกือบดำ ช่วงบน ตะกอนสีอมน้ำตาลช่วงกลาง และตะกอนสีเทาช่วงล่าง โดยจุดที่เลือกมีดังนี้

หลุมเจาะที่ 2 (Borehole2) เลือกที่ความลึก 1.5-2.0 เมตร , 3.5-4.0 เมตร, 5.0-5.5 เมตร

หลุมเจาะที่ 3 (Borehole3) เลือกที่ความลึก 2.0-2.5 เมตร , 4.0-4.5 เมตร, 5.0-5.5 เมตร

หลุมเจาะที่ 4 (Borehole4) เลือกที่ความลึก 1.5-2.0 เมตร , 2.5-3.0 เมตร, 4.0-4.5 เมตร

การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้ในการทำ XRF ต้องใช้อย่างน้อย 8 กรัม ผู้จัดทำเตรียมตัวอย่างก่อนอบเพื่อกำจัดน้ำ 16-22 กรัม จากนั้น นำตัวอย่างที่ต้องการไปอบไล่ไอน้ำด้วยอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ช้ามคืน และนำตัวอย่างไปเผาด้วยอุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 4 ชั่วโมงเพื่อกำจัดสารประกอบอินทรีย์ (organic matter) จากนั้น นำตัวอย่างมาบดให้เป็นผงละเอียดเพื่อเตรียมอัดตัวอย่าง



รูปที่ 2.4 การบดตัวอย่างสำหรับอัดเพื่อทำ XRF โดยใช้ครก

หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่บดจนละเอียดมาชั่ง โดยใช้ตัวอย่าง 8 กรัม ผสมกับ แวกซ์ 1 กรัม และนำไปอัดโดยใช้เครื่องอัดตัวอย่างดังรูป เมื่ออัดเสร็จเรียบร้อยแล้วจะได้ตัวอย่างที่พร้อมสำหรับการวิเคราะห์ในลำดับถัดไป



รูปที่ 2.5 การอัดตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF



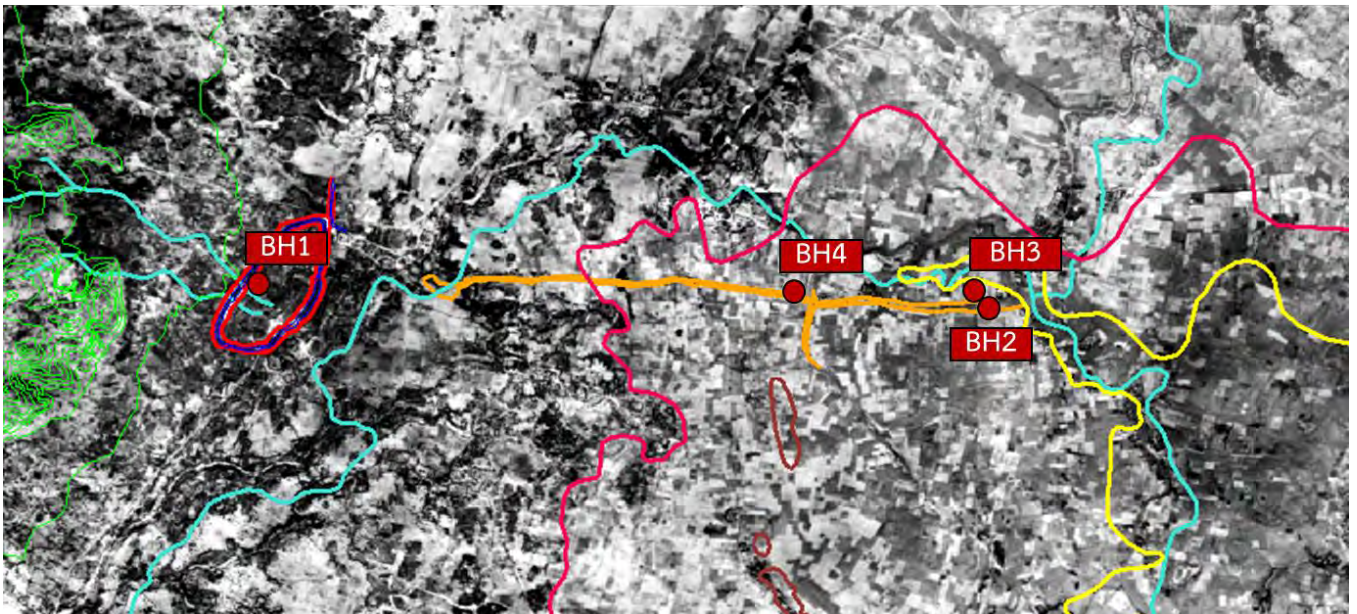
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างที่อัดเสร็จเรียบร้อยแล้วพร้อมวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF

บทที่ 3

ผลการศึกษา







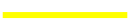

3.1 ผลการศึกษาภาพถ่ายทางอากาศและการวางหลุมเจาะ

แปลจากภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:50000 โดย คุณกฤษณพล วิชชุพันธ์ และ ผศ.ชวลิต ขาวเขียว โดยทำการแปลจากภาพถ่ายทางอากาศความละเอียดสูง ลากเส้นจากลักษณะปรากฏและการเปลี่ยนความสูงหรือความลาดชันของพื้นที่ และวางแผนหลุมเจาะ เลือกให้ครอบคลุมการหาสภาพแวดล้อมในอดีตของบริเวณนี้



รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายทางอากาศของพื้นที่ศึกษา

คำอธิบายสัญลักษณ์

	เมืองโบราณอุทุมพร		แนวคลองขุดโบราณ
	แนวคลองขุดโบราณ		แม่น้ำ และทางน้ำ
	แนวชายฝั่งทะเลในอดีต1 (Paleo shoreline1)		เส้นชั้นความสูง 20 เมตร
	แนวชายฝั่งทะเลในอดีต2 (Paleo shoreline 2)		คูน้ำ

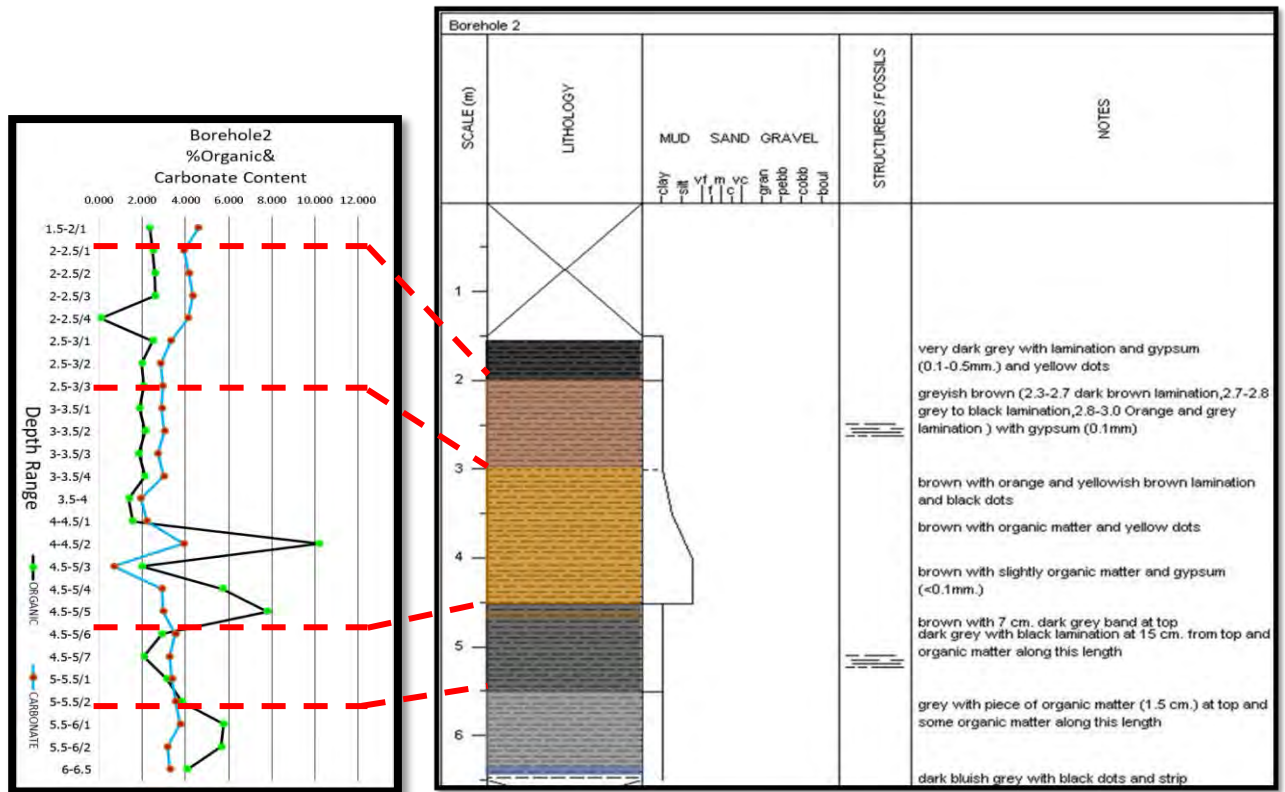
3.2 ผลการลำดับชั้นตะกอนและลำดับความลึกโดยลักษณะทางกายภาพและผลการวิเคราะห์ทางเคมี

3.2.1 ผลการลำดับชั้นตะกอนและผลการวิเคราะห์มวลที่หายไปจากการเผา (Loss On Ignition)

เป็นผลของหลุมเจาะที่ 2 (Borehole 2), หลุมเจาะที่ 3 (Borehole 3), หลุมเจาะที่ 4 (Borehole 4) ตามลำดับ การลำดับชั้นตะกอนแบ่งตามลักษณะทางกายภาพ เช่น สี ขนาดตะกอน และโครงสร้างที่ปรากฏ สำหรับการทำการวิเคราะห์มวลที่หายไปจากการเผา (Loss On Ignition) ผู้จัดทำได้เลือกทำตัวอย่างทุก 10 เซนติเมตร ในตัวอย่างจากหลุมเจาะที่ 2 ส่วนในหลุมเจาะที่ 3 และ 4 เลือกทำทุก 10 เซนติเมตร แต่หากบริเวณใดมีลักษณะทางกายภาพเหมือนกันเป็นระยะยาวๆ ผู้จัดทำจะทำการเลือกตัวอย่างที่เป็นตัวแทนโดยไม่ได้ทำทุกๆ 10 เซนติเมตรแบบหลุมเจาะที่ 2 ทั้งนี้จำนวนตัวอย่างอาจไม่ได้มากเท่ากับความยาวของแท่งตะกอน เพราะแท่งตะกอนที่ได้รับมาในแต่ละช่วงความลึกสั้นกว่าระยะจริง บางอันเกิดจากการที่โครงการวิจัยหลักได้แบ่งไปทำการทดลองอื่นก่อนส่งมอบมา

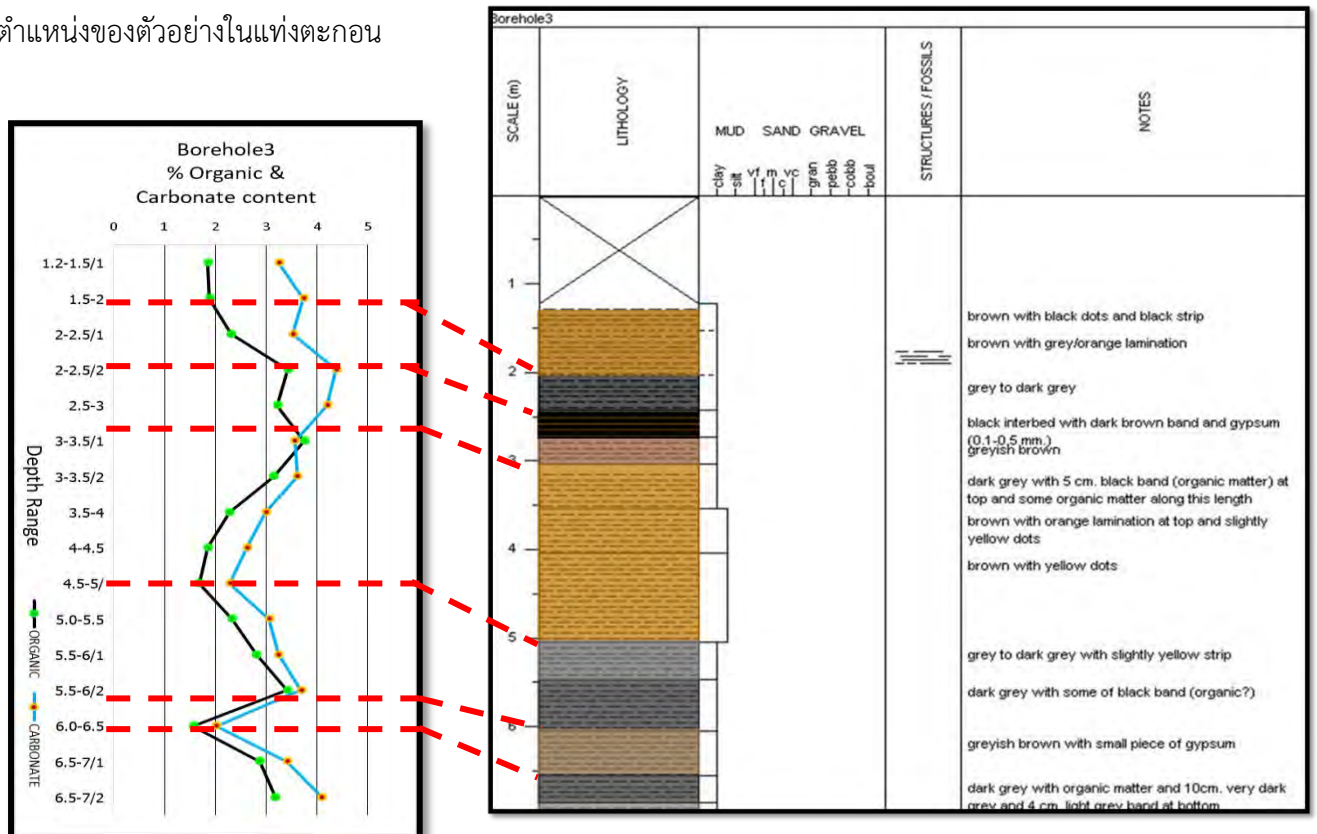
การวิเคราะห์มวลที่หายไปจากการเผา ปริมาณเปอร์เซ็นต์ที่ได้อาจไม่ใช่ค่าที่ถูกต้องสมบูรณ์ เนื่องจากขณะเผา ในแต่ละช่วงอุณหภูมิมีการสูญเสียมวลของธาตุหรือแร่อื่นไปด้วย อย่างที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส มวลที่หายไปก็ไม่ใช่คาร์บอนในสารอินทรีย์ (Organic carbon) เพียงอย่างเดียว แต่มีสิ่งอื่นที่ส่งผลกับน้ำหนักของตะกอนหายไปด้วย เช่น clay mineral สูญเสียน้ำในโครงสร้างไปตั้งแต่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่านั้น ส่งผลต่อน้ำหนักของตะกอน และ คาร์บอนในสารอนินทรีย์ (Inorganic carbon) เช่น ไฮเดรไรต์(siderite), แมกนีไซต์ (Magnesite), โรโดโครไซต์ (Rhodochrosite) ก็เริ่มหายไปตั้งแต่อุณหภูมิ 425-520 องศาเซลเซียส (Heiri et al., 2001) ทำให้การเผาที่ 950 องศาเซลเซียสแล้วเกิดมวลที่หายไปขึ้นอาจไม่ใช่ปริมาณทั้งหมดของคาร์บอนที่มีในตัวอย่างตะกอน นอกจากนี้ผล LOI อาจเกิดความผิดพลาดได้จากแรยิปซัม (Gypsum), แร่ในกลุ่มซัลไฟด์ (sulphide minerals) และธาตุโลหะในกลุ่มออกไซด์ไฮดรอกไซด์ (metallic oxihydroxides) จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) หรือการสูญเสียน้ำ (dehydration) (Brauer et al. 2000; Rosenet al. 2002; Ralska-Jasiewiczowa et al. 2003). LOI จึงไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุด แต่เป็นวิธีที่ราคาไม่แพงและรวดเร็ว จึงยังมีการใช้จนถึงปัจจุบัน

หลุมเจาะที่ 2 (Borehole 2) ทั้งหมด 26 ตัวอย่าง ผล LOI แกนนอนแสดงปริมาณเป็นเปอร์เซ็นต์ และ แกนตั้งแสดงตำแหน่งของตัวอย่างในแท่งตะกอน



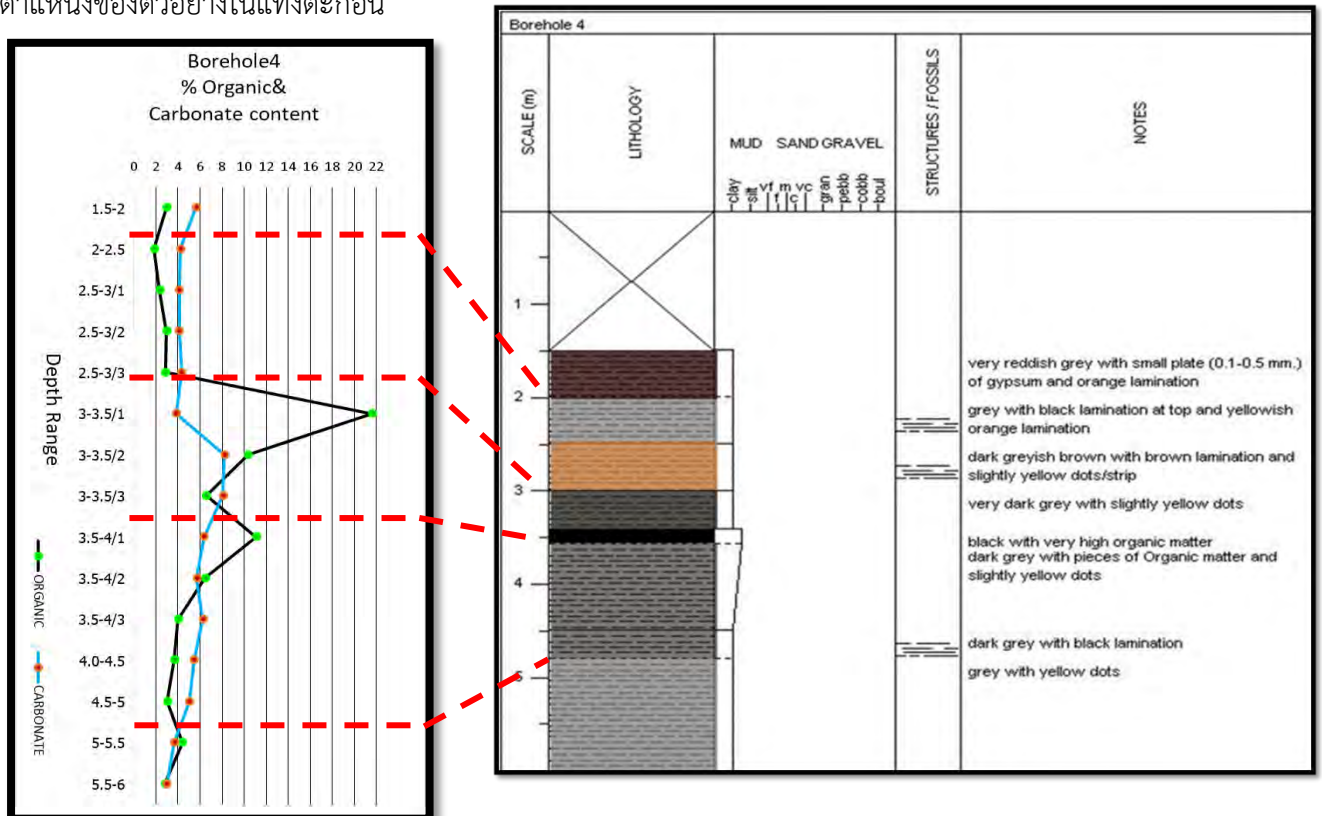
รูปที่ 3.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลจากการทำ LOI กับลำดับชั้นตะกอน ในหลุมเจาะที่ 2

หลุมเจาะที่ 3 (Borehole 3) 16 ตัวอย่าง ผล LOI แกนนอนแสดงปริมาณเป็นเปอร์เซ็นต์ และแกนตั้งแสดงตำแหน่งของตัวอย่างในแท่งตะกอน



รูปที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลจากการทำ LOI กับลำดับชั้นตะกอน ในหลุมเจาะที่ 3

หลุมเจาะที่ 4 (Borehole 4) 16 ตัวอย่าง ผล LOI แกนนอนแสดงปริมาณเป็นเปอร์เซ็นต์ และแกนตั้งแสดงตำแหน่งของตัวอย่างในแท่งตะกอน



รูปที่ 3.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลจากการทำ LOI กับลำดับชั้นตะกอน ในหลุมเจาะที่ 4

จากผลการวิเคราะห์มวลที่หายไปจากการเผาจะเห็นว่าในบริเวณที่มีลักษณะทางกายภาพต่างกัน จะมีการเปลี่ยนแปลงของค่า % Organic Content และ % Carbonate Content โดยค่าของสารประกอบอินทรีย์ (Organic content) ช่วยบอกความหนาแน่นพืชพรรณที่สะสมตัวในอดีต และค่าสารประกอบคาร์บอเนต (Carbonate content) ช่วยบอกถึงการเข้ามามีอิทธิพลของคาร์บอเนตในพื้นที่อาจมีความเกี่ยวข้องกับน้ำทะเลที่เข้ามาในพื้นที่ได้

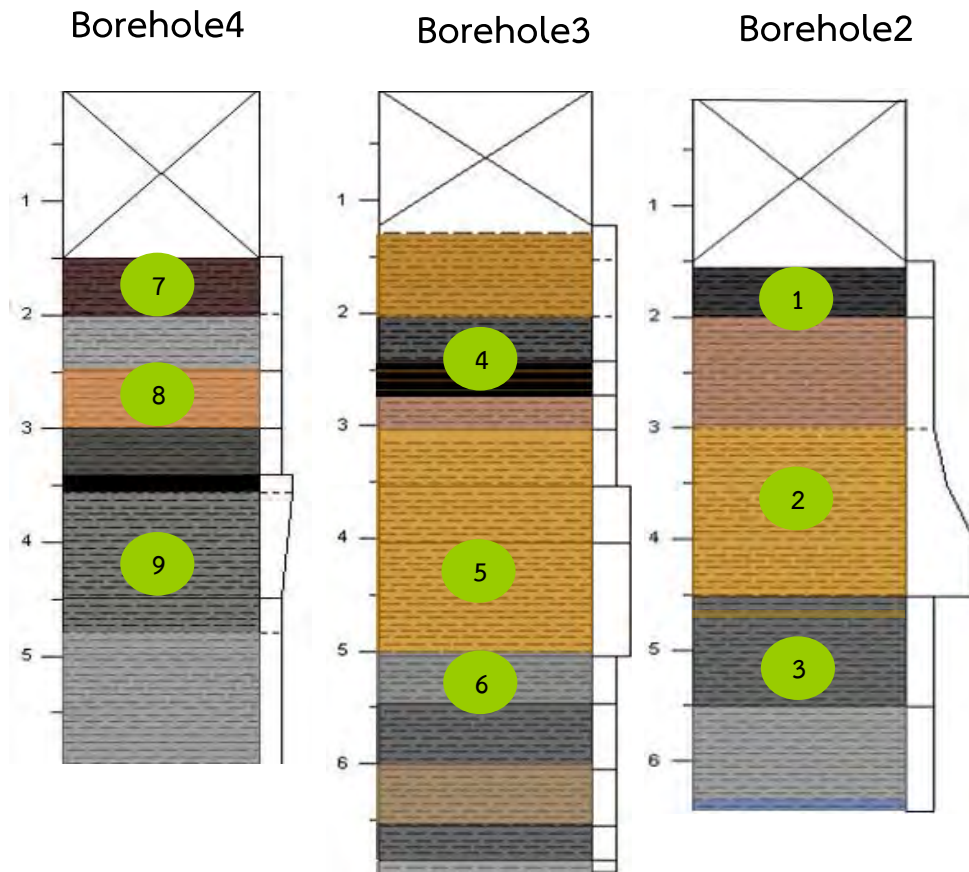
3.2.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุประกอบในรูปแบบออกไซด์โดยใช้เครื่อง XRF (X-Ray Fluorescence)

ผลของตัวอย่าง 9 ตัว มีตำแหน่งและลำดับดังนี้

หลุมเจาะที่ 2 (Borehole2) : 1.) 1.5-2.0 เมตร , 2.) 3.5-4.0 เมตร, 3.) 5.0-5.5 เมตร

หลุมเจาะที่ 3 (Borehole3) : 4.) 2.0-2.5 เมตร , 5.) 4.0-4.5 เมตร, 6.) 5.0-5.5 เมตร

หลุมเจาะที่ 4 (Borehole4) : 7.) 1.5-2.0 เมตร , 8.) 2.5-3.0 เมตร, 9.) 4.0-4.5 เมตร



รูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งตัวอย่างที่นำไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF

ตารางที่ 3.1 แสดงผล XRF ของตัวอย่างที่ 1, 4 และ 7 ที่เป็นตะกอนเนื้อละเอียดสีเทาเข้มถึงดำ

ลำดับ	ตำแหน่ง	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
1	BH2/1.5-2	58.349	24.341	6.534	2.248	1.456	1.095	1.025	1.017	0.318		3.106
2	BH2/3.5-4.0	65.890	17.004	8.153	2.353	0.176	1.033	0.420	1.028	0.460	0.126	1.550
3	BH2/5.0-5.5	58.207	24.789	6.914	3.184	0.153	1.186	0.552	1.131	0.331		2.924
4	BH3/2.0-2.5	52.959	22.155	3.945	2.464	7.950	0.998	4.680	0.917	0.327		3.043
5	BH3/4.0-4.5	63.434	19.161	8.926	2.559	0.311	1.172	0.315	1.154	0.468	0.133	1.989
6	BH3/5.5-5.5	62.532	20.213	6.974	2.825	0.927	1.182	0.874	1.218	0.474		2.353
7	BH4/1.5-2	52.922	23.030	5.653	2.152	6.199	0.779	4.129	0.924	0.141		3.500
8	BH4/2.5-3.0	63.048	21.725	6.435	2.444	0.324	0.765	0.503	1.204	0.230		2.814
9	BH4/4.0-4.5	57.291	24.072	6.150	3.165	1.529	1.288	0.667	1.125	0.336		3.637

ธาตุที่เด่นชัดในชั้นนี้คือ CaO และ SO₃ ที่เด่นกว่าชั้นอื่นอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 3.2 แสดงผล XRF ของตัวอย่างที่ 2, 5 และ 8 จากชั้นตะกอนสีน้ำตาลในช่วงกลางของแท่งตะกอน

ลำดับ	ตำแหน่ง	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
1	BH2/1.5-2	58.349	24.341	6.534	2.248	1.456	1.095	1.025	1.017	0.318		3.106
2	BH2/3.5-4.0	65.890	17.004	8.153	2.353	0.176	1.033	0.420	1.028	0.460	0.126	1.550
3	BH2/5.0-5.5	58.207	24.789	6.914	3.184	0.153	1.186	0.552	1.131	0.331		2.924
4	BH3/2.0-2.5	52.959	22.155	3.945	2.464	7.950	0.998	4.680	0.917	0.327		3.043
5	BH3/4.0-4.5	63.434	19.161	8.926	2.559	0.311	1.172	0.315	1.154	0.468	0.133	1.989
6	BH3/5.5-5.5	62.532	20.213	6.974	2.825	0.927	1.182	0.874	1.218	0.474		2.353
7	BH4/1.5-2	52.922	23.030	5.653	2.152	6.199	0.779	4.129	0.924	0.141		3.500
8	BH4/2.5-3.0	63.048	21.725	6.435	2.444	0.324	0.765	0.503	1.204	0.230		2.814
9	BH4/4.0-4.5	57.291	24.072	6.150	3.165	1.529	1.288	0.667	1.125	0.336		3.637

ธาตุที่เด่นชัดในชั้นนี้คือ Fe₂O₃ ที่เด่นกว่าชั้นอื่น

ตารางที่ 3.3 แสดงผล XRF ของตัวอย่างที่ 3, 6 และ 9 จากชั้นตะกอนสีเทาในช่วงล่างของแท่งตะกอน

ลำดับ	ตำแหน่ง	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
1	BH2/1.5-2	58.349	24.341	6.534	2.248	1.456	1.095	1.025	1.017	0.318		3.106
2	BH2/3.5-4.0	65.890	17.004	8.153	2.353	0.176	1.033	0.420	1.028	0.460	0.126	1.550
3	BH2/5.0-5.5	58.207	24.789	6.914	3.184	0.153	1.186	0.552	1.131	0.331		2.924
4	BH3/2.0-2.5	52.959	22.155	3.945	2.464	7.950	0.998	4.680	0.917	0.327		3.043
5	BH3/4.0-4.5	63.434	19.161	8.926	2.559	0.311	1.172	0.315	1.154	0.468	0.133	1.989
6	BH3/5.5-5.5	62.532	20.213	6.974	2.825	0.927	1.182	0.874	1.218	0.474		2.353
7	BH4/1.5-2	52.922	23.030	5.653	2.152	6.199	0.779	4.129	0.924	0.141		3.500
8	BH4/2.5-3.0	63.048	21.725	6.435	2.444	0.324	0.765	0.503	1.204	0.230		2.814
9	BH4/4.0-4.5	57.291	24.072	6.150	3.165	1.529	1.288	0.667	1.125	0.336		3.637

ธาตุในชั้นนี้ที่เพิ่มขึ้นกว่าชั้นอื่นคือ MgO และ K₂O

โดยนำเอาข้อมูลในแต่ละช่วงความลึกไปทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้วิธีการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) มีวิธีการใช้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะใช้สัญลักษณ์ r แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง โดยการบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์ จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ มีค่าตั้งแต่ -1 หรือ 1 โดยหากค่าเข้าใกล้ 1 กับ -1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับสูงแต่หากมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยหรือไม่มีเลย สำหรับโดยทั่วไปการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อาจใช้เกณฑ์ดังนี้ (Hinkle D. E., 1998)

ค่า r ระดับของความสัมพันธ์

- 0.90 - 1.00 มีความสัมพันธ์กันสูงมาก
- 0.70 - 0.90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง
- 0.50 - 0.70 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง
- 0.30 - 0.50 มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ
- 0.00 - 0.30 มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

เครื่องหมาย +,- หน้าตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จะบอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์โดยที่หาก

เครื่องหมาย + หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง อีกตัวสูงด้วย)

เครื่องหมาย - หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูงส่วนอีกตัวจะต่ำ)

3.3 ผลการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

แสดงผลของตัวอย่างแต่ละชุด โดยใช้สีเข้ามาช่วยให้จำแนกข้อมูลได้ชัดเจน โดยสีน้ำเงิน แสดงค่าที่เป็นบวก บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน และสีแดงแสดงค่าที่เป็นลบ บอกความสัมพันธ์ที่ตรงข้ามกัน โดยสียิ่งเข้มยิ่งมีความสัมพันธ์กันมาก

ตารางที่ 3.4 แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวอย่างลำดับที่ 1,4,7 จาก 3 หลุมเจาะ ในชั้นตะกอนสีเทาเข้มจนถึงดำ ส่วนบนของแท่งตะกอน

Pearson's r	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O
SiO ₂	-	0.915	0.757	-0.212	-0.964	0.741	-0.989	0.998	0.467
Al ₂ O ₃	0.915	-	0.956	-0.587	-0.989	0.408	-0.964	0.939	0.072
Fe ₂ O ₃	0.757	0.956	-	-0.799	-0.904	0.123	-0.844	0.798	-0.223
K ₂ O	-0.212	-0.587	-0.799	-	0.464	0.499	0.352	-0.274	0.765
SO ₃	-0.964	-0.989	-0.904	0.464	-	-0.536	0.992	-0.979	-0.215
MgO	0.741	0.408	0.123	0.499	-0.536	-	-0.636	0.697	0.940
CaO	-0.989	-0.964	-0.844	0.352	0.992	-0.636	-	-0.997	-0.334
TiO ₂	0.998	0.939	0.798	-0.274	-0.979	0.697	-0.997	-	0.410
Na ₂ O	0.467	0.072	-0.223	0.765	-0.215	0.940	-0.334	0.410	-

ตารางที่ 3.5 แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวอย่างลำดับที่ 2,5,8 จาก 3 หลุมเจาะ ในชั้นตะกอนสีน้ำตาล ส่วนกลางของแท่งตะกอน

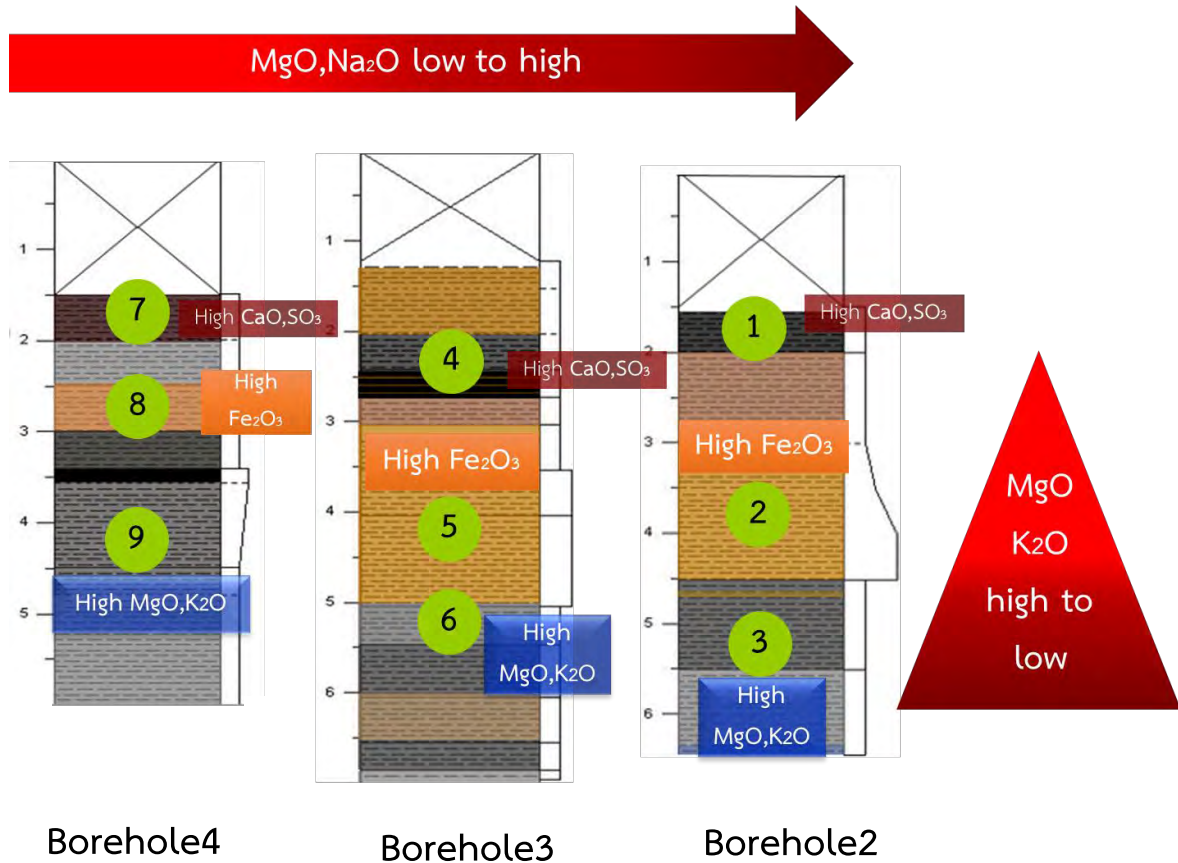
Pearson's r	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	CaO	SO ₃
SiO ₂	-	-0.901	0.334	-0.756	0.301	-0.988	0.581	-0.056	-0.999
Al ₂ O ₃	-0.901	-	-0.710	0.397	-0.684	0.957	-0.876	0.483	0.880
Fe ₂ O ₃	0.334	-0.710	-	0.365	0.999	-0.474	0.961	-0.960	-0.290
K ₂ O	-0.756	0.397	0.365	-	0.397	0.647	0.094	-0.612	0.785
MgO	0.301	-0.684	0.999	0.397	-	-0.443	0.951	-0.969	-0.257
TiO ₂	-0.988	0.957	-0.474	0.647	-0.443	-	-0.699	0.208	0.980
Na ₂ O	0.581	-0.876	0.961	0.094	0.951	-0.699	-	-0.845	-0.543
CaO	-0.056	0.483	-0.960	-0.612	-0.969	0.208	-0.845	-	0.010
SO ₃	-0.999	0.880	-0.290	0.785	-0.257	0.980	-0.543	0.010	-

ตารางที่ 3.6 แสดงสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวอย่างลำดับที่ 3,6,9 จาก 3 หลุมเจาะ ในชั้นตะกอนสีเทาส่วนล่าง ของแท่งตะกอน

Pearson's r	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	CaO	Na ₂ O	SO ₃
SiO ₂	-	-0.952	0.684	-0.978	-0.660	0.994	0.865	0.981	-0.092
Al ₂ O ₃	-0.952	-	-0.428	0.995	0.399	-0.979	-0.977	-0.994	-0.217
Fe ₂ O ₃	0.684	-0.428	-	-0.517	-0.999	0.603	0.226	0.528	-0.789
K ₂ O	-0.978	0.995	-0.517	-	0.489	-0.995	-0.951	-1.000	-0.117
MgO	-0.660	0.399	-0.999	0.489	-	-0.576	-0.195	-0.500	0.809
TiO ₂	0.994	-0.979	0.603	-0.995	-0.576	-	0.914	0.996	0.014
CaO	0.865	-0.977	0.226	-0.951	-0.195	0.914	-	0.947	0.419
Na ₂ O	0.981	-0.994	0.528	-1.000	-0.500	0.996	0.947	-	0.104
SO ₃	-0.092	-0.217	-0.789	-0.117	0.809	0.014	0.419	0.104	-

3.4 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงธาตุองค์ประกอบในรูปแบบออกไซด์จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง 9 ตัวอย่างจาก 3 หลุมเจาะ หลุมเจาะละ 3 ตัวอย่าง ได้ผลออกมาเป็นแนวโน้มโดยสรุปดังนี้



รูปที่ 3.6 แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของธาตุประกอบในรูปแบบออกไซด์ในแท่งตะกอน

ผล XRF อาจไม่ได้แสดงค่าที่แตกต่างกันอย่างเด่นชัด แต่ยังเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอยู่บ้าง เมื่อนำมาใช้ประกอบกับหลักฐานอื่นๆ และข้อมูลทางธรณีวิทยา ของนายพันธกานต์ พรมยะ ที่ใช้ข้อมูลจากแท่งตะกอนเดียวกันในการทำวิจัย จึงสามารถนำมาใช้ตีความสภาพแวดล้อมในอดีตของพื้นที่บริเวณนี้ได้

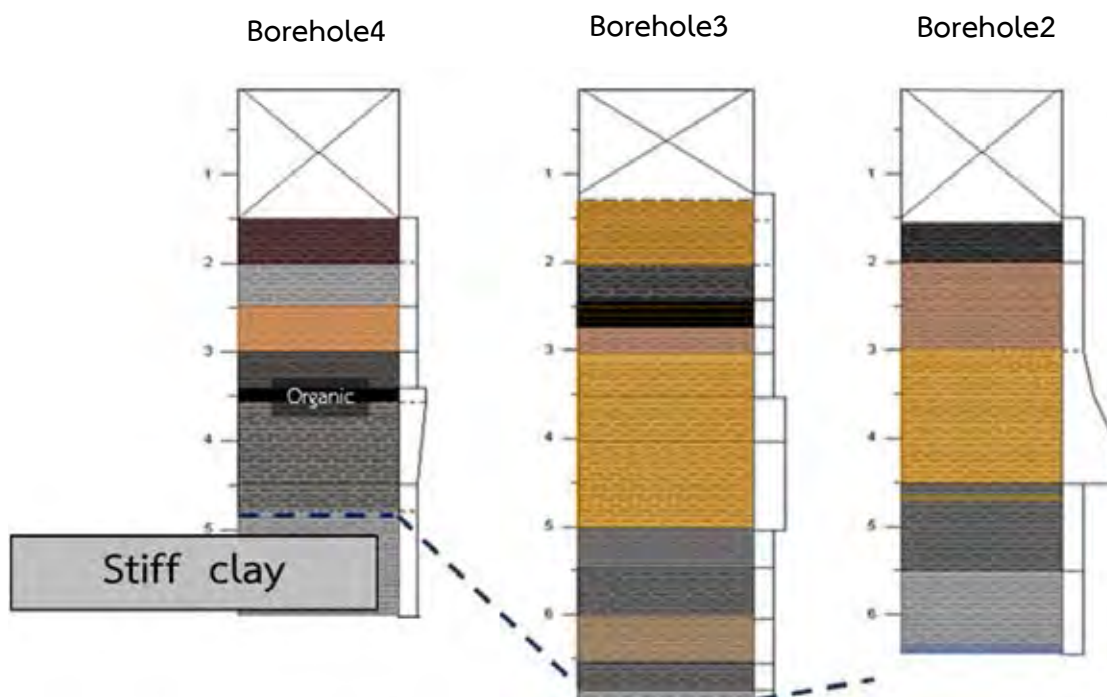
บทที่ 4

อภิปรายผล (Discussion)

จากการนำเอาผลการลำดับชั้นตะกอน ผลจากการวิเคราะห์มวลที่หายไปจากการเผา และการวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง XRF แบ่งตะกอนออกได้เป็น 4 ช่วง ตามการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในอดีต ดังนี้

ช่วงที่ 1 – การสะสมตัวบนบก

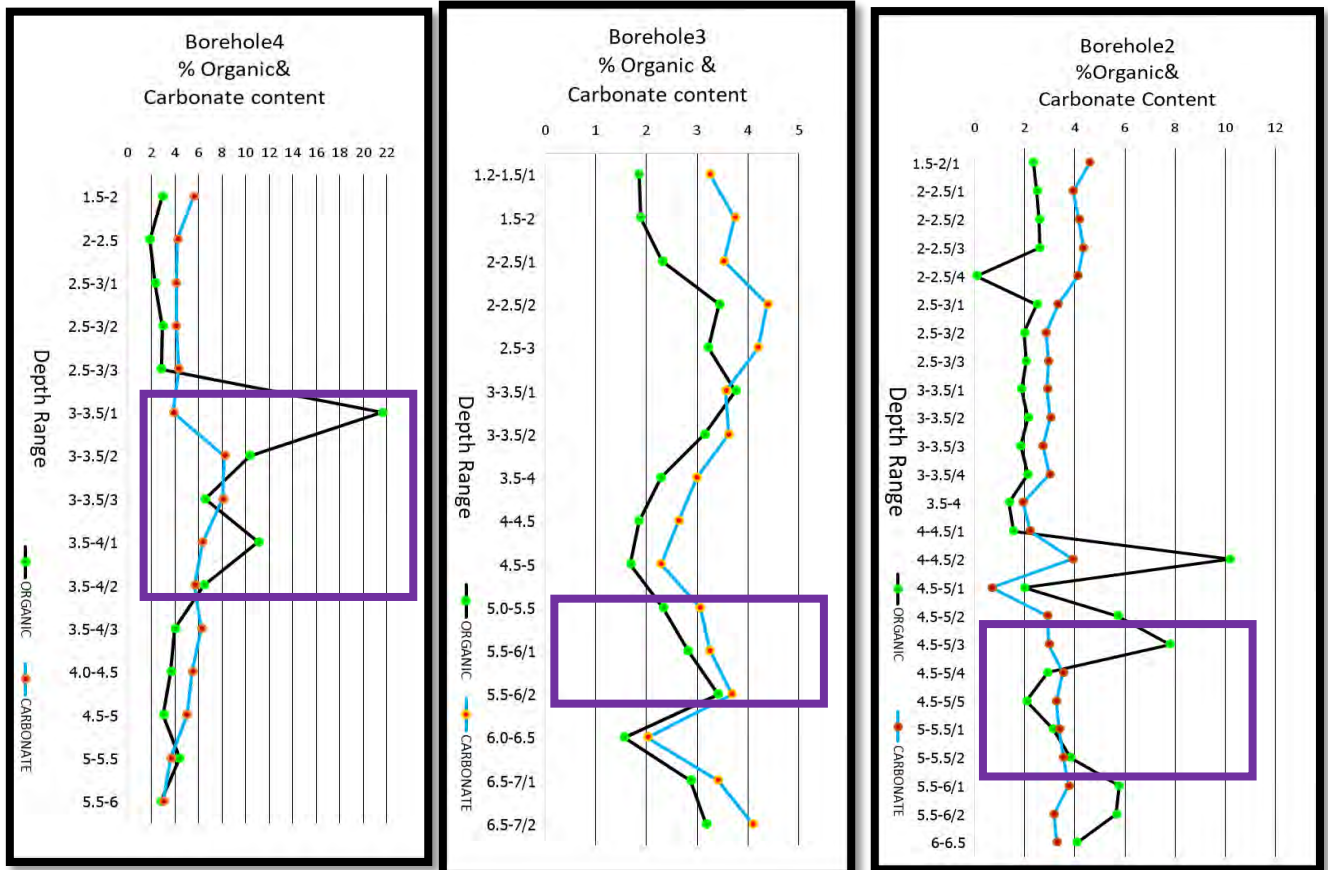
จากลักษณะปรากฏของตะกอนสีเทา แข็ง ในหลุมเจาะที่ 4 ทำให้เทียบเคียงลักษณะได้กับชั้นตะกอนดินเหนียวแข็ง (stiff clay) ซึ่งเมื่อเทียบเคียงหาสภาพแวดล้อมในอดีตจากการเทียบคุณสมบัติของ stiff clay จึงให้สภาพแวดล้อมเป็นแบบบก หรือการสะสมตัวบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง (subaerial condition /floodplain deposit) (Sinsakul,1998)



รูปที่ 4.1 แสดงการเทียบสัมพันธ์ในชั้นตะกอนดินเหนียวแข็ง (Stiff clay)

ช่วงที่ 2 – น้ำทะเลเข้ามามีอิทธิพลกับพื้นที่

ตะกอนสีเทาเนื้อละเอียด อาจเรียกว่าเป็น ชั้นตะกอนดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok clay) มีค่าคาร์บอเนต (Carbonate content) มากกว่าชั้นด้านบนและด้านล่าง แสดงถึงการเข้ามามีอิทธิพลของน้ำทะเลในบริเวณนี้



รูปที่ 4.2 แสดงผล LOI ในช่วงที่ 2 ของการเปลี่ยนแปลง

ประกอบด้วยค่า MgO และ K₂O ที่มีค่าสูงกว่าชั้นอื่นและมีค่าใกล้เคียงกันทั้งสามหลุมเจาะ โดยแมกนีเซียม (Mg) , โพแทสเซียม (K) , โซเดียม (Na) และแคลเซียม (Ca) เป็นธาตุสำคัญในน้ำทะเล (De Vos W. et. al., 2006) น่าจะเป็นผลจากการที่น้ำทะเลเพิ่มระดับขึ้นและเข้ามามีอิทธิพลในพื้นที่นี้ทำให้เกิดการสะสมตะกอนชั้นนี้ขึ้น สำหรับ CaO นอกจากชั้นบนสุดที่พบเกลือ CaSO₄ แล้วในชั้นนี้ก็ยังมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน เช่นเดียวกับค่า Na₂O ที่ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก

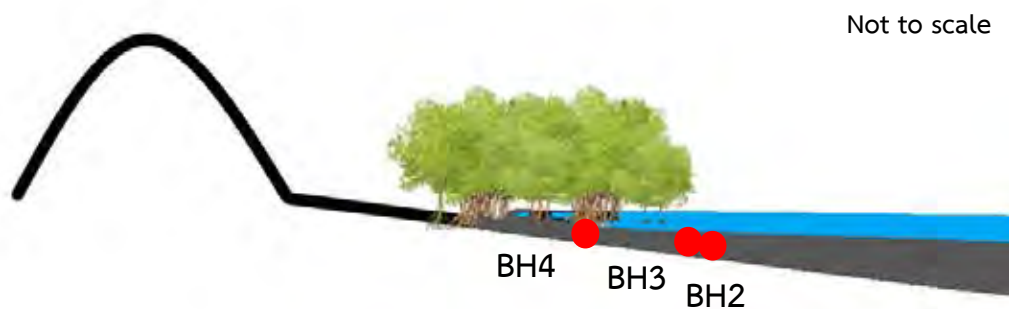
ลำดับ	ตำแหน่ง	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
1	BH2/1.5-2	58.349	24.341	6.534	2.248	1.456	1.095	1.025	1.017	0.318		3.106
2	BH2/3.5-4.0	65.890	17.004	8.153	2.353	0.176	1.033	0.420	1.028	0.460	0.126	1.550
3	BH2/5.0-5.5	58.207	24.789	6.914	3.184	0.153	1.186	0.552	1.131	0.331		2.924
4	BH3/2.0-2.5	52.959	22.155	3.945	2.464	7.950	0.998	4.680	0.917	0.327		3.043
5	BH3/4.0-4.5	63.434	19.161	8.926	2.559	0.311	1.172	0.315	1.154	0.468	0.133	1.989
6	BH3/5.5-5.5	62.532	20.213	6.974	2.825	0.927	1.182	0.874	1.218	0.474		2.353
7	BH4/1.5-2	52.922	23.030	5.653	2.152	6.199	0.779	4.129	0.924	0.141		3.500
8	BH4/2.5-3.0	63.048	21.725	6.435	2.444	0.324	0.765	0.503	1.204	0.230		2.814
9	BH4/4.0-4.5	57.291	24.072	6.150	3.165	1.529	1.288	0.667	1.125	0.336		3.637

จากตารางแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะเห็นได้ว่า CaO กับ Na₂O มีความสัมพันธ์ที่ตรงข้ามกับ MgO และ K₂O แต่ก็ไม่ได้มีความสัมพันธ์กันมากนัก อาจเป็นเพราะการเตรียมตัวอย่างที่มีการเผา 550 องศาเซลเซียสเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ (Organic matter) ซึ่งอาจมีผลกับปริมาณธาตุบางตัวที่หายไปจากการเผาไหม้ หรืออาจเป็นเพราะการหาความสัมพันธ์ที่มีตัวอย่างเพียง 3 ตัวอย่างทำให้ความสัมพันธ์ของธาตุต่างๆอาจไม่แน่ชัดนัก

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) จากตัวอย่างลำดับที่ 3,6,9

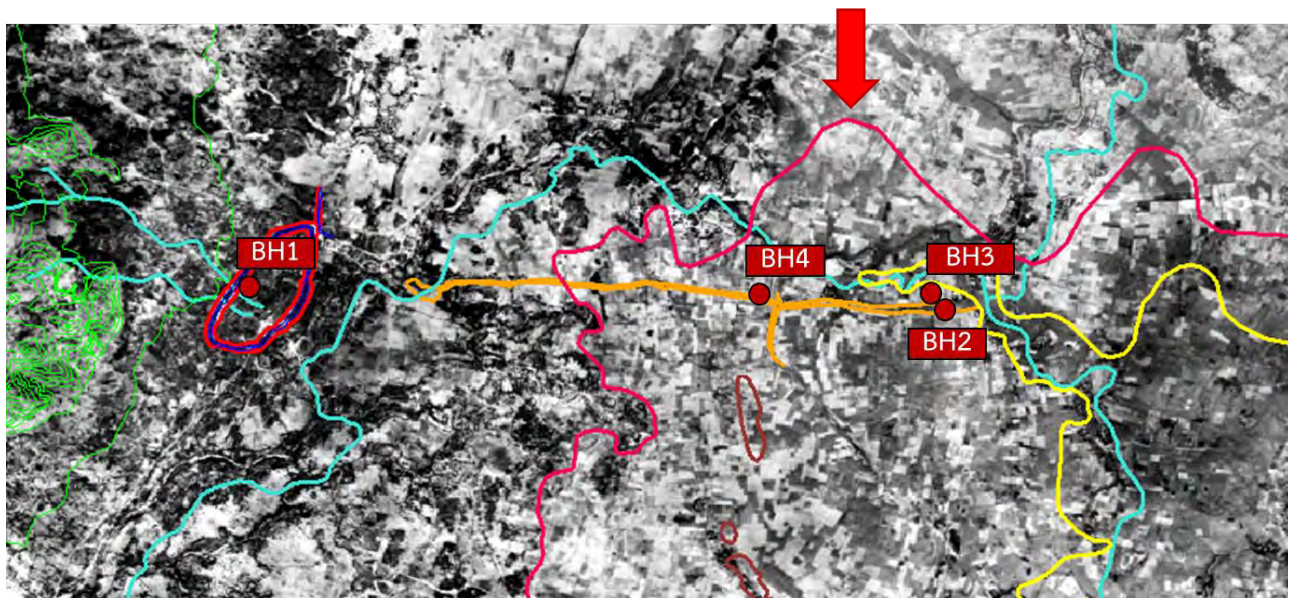
Pearson's r	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	CaO	Na ₂ O	SO ₃
SiO ₂	-	-0.952	0.684	-0.978	-0.660	0.994	0.865	0.981	-0.092
Al ₂ O ₃	-0.952	-	-0.428	0.995	0.399	-0.979	-0.977	-0.994	-0.217
Fe ₂ O ₃	0.684	-0.428	-	-0.517	-0.999	0.603	0.226	0.528	-0.789
K ₂ O	-0.978	0.995	-0.517	-	0.489	-0.995	-0.951	-1.000	-0.117
MgO	-0.660	0.399	-0.999	0.489	-	-0.576	-0.195	-0.500	0.809
TiO ₂	0.994	-0.979	0.603	-0.995	-0.576	-	0.914	0.996	0.014
CaO	0.865	-0.977	0.226	-0.951	-0.195	0.914	-	0.947	0.419
Na ₂ O	0.981	-0.994	0.528	-1.000	-0.500	0.996	0.947	-	0.104
SO ₃	-0.092	-0.217	-0.789	-0.117	0.809	0.014	0.419	0.104	-

สำหรับค่า Organic content ที่มากในหลุมเจาะที่ 4 มีการสะสมตัวเป็นชั้นบางๆ ในขณะที่อีก 2 หลุมเจาะไม่ได้มีการสะสมตัวของอินทรีย์วัตถุเป็นชั้น น่าจะเป็นเพราะหลุมเจาะที่ 4 อยู่ใกล้แผ่นดินมากกว่าทำให้มีพืชพรรณขึ้นและสะสมตัวเป็นชั้นบริเวณนั้นได้ ในขณะที่หลุม 2 และ 3 อาจได้จากการพัดพามาสะสม จำลองสภาพแวดล้อมได้ดังภาพ

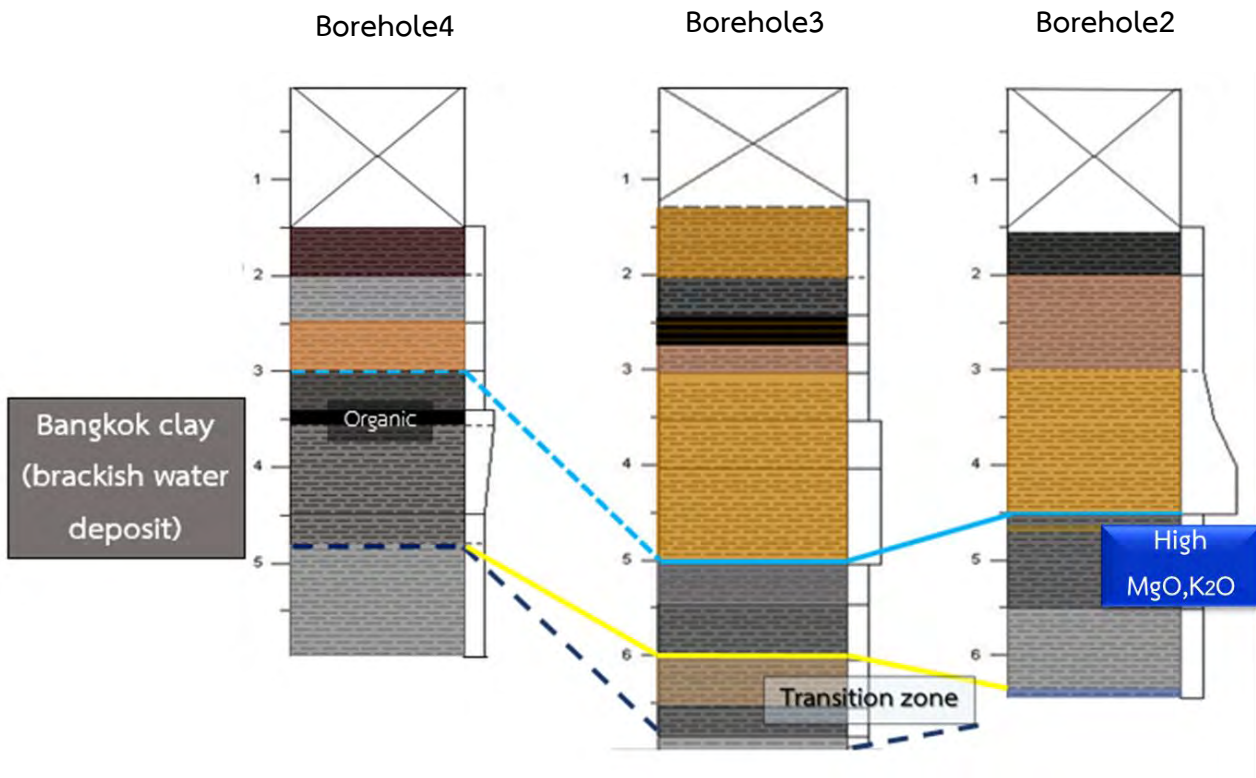


รูปที่ 4.3 ภาพจำลองสภาพแวดล้อมของพื้นที่ในช่วงที่ 2 ของการเปลี่ยนแปลง

สำหรับการปรากฏของตะกอนชั้นนี้พบทั้ง 3 หลุมเจาะ และสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ได้ดังนี้ และอาจเทียบเคียงได้กับแนวชายฝั่งทะเลในอดีตเส้นสีชมพูที่แสดงเอาไว้ในภาพถ่ายทางอากาศ



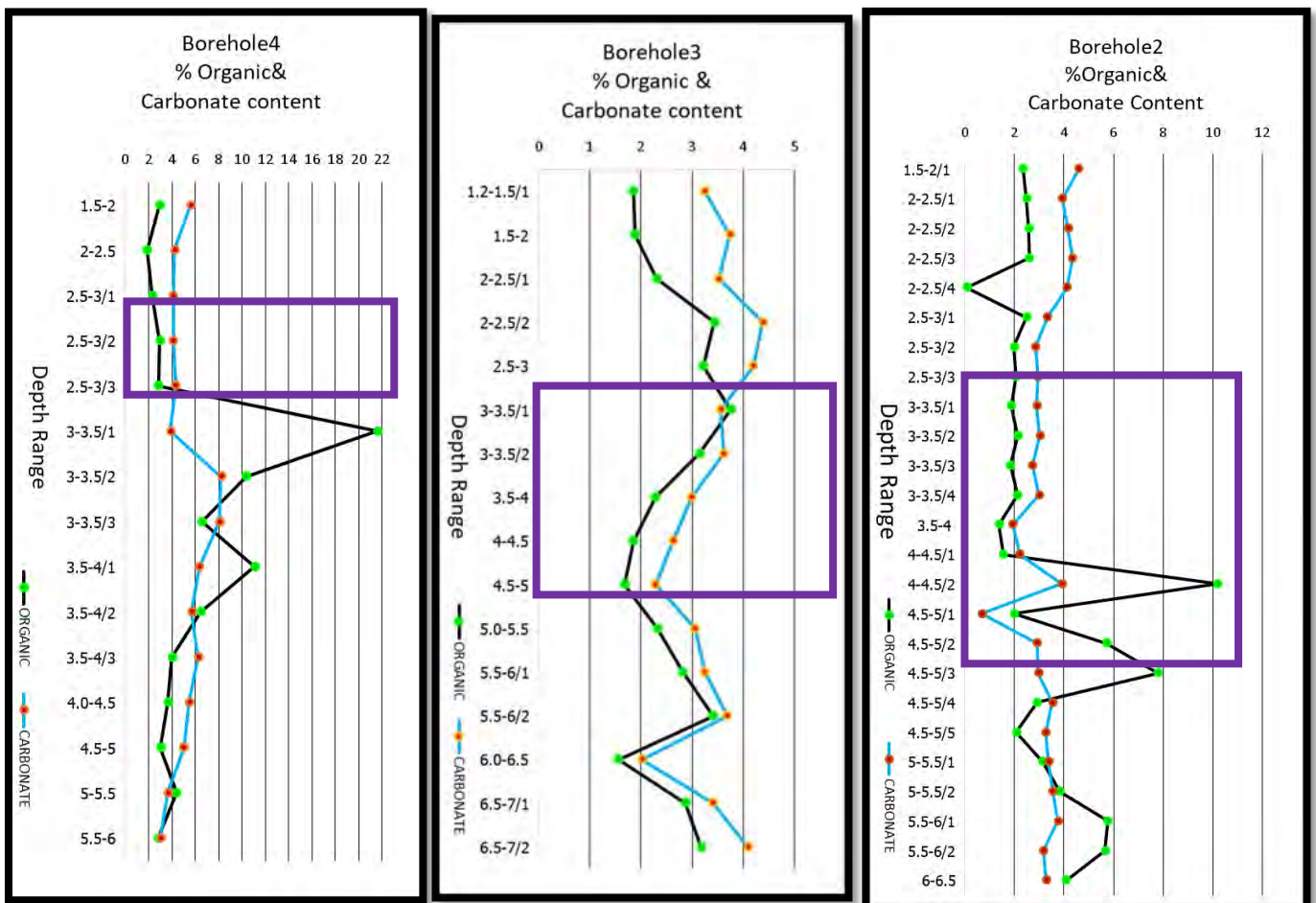
และช่วงดังกล่าวนี้ปรากฏในหลุมเจาะทั้งสามหลุมตามตำแหน่งดังภาพ ซึ่งความหนาของชั้นนี้ในหลุมเจาะที่อยู่ทางทิศตะวันออกไกลออกไปอย่างหลุมเจาะที่ 2 และ 3 มีความหนามากกว่าหลุมเจาะที่ 4 สอดคล้องกับแนวชายฝั่งทะเลที่แปลได้จากภาพถ่ายทางอากาศ



รูปที่ 4.4 แสดงการเทียบสัมพันธ์ในชั้นตะกอนสีเทาหรือชั้นดินเหนียวกรุงเทพ(Bangkok clay) ในช่วงที่ 2 ของการเปลี่ยนแปลง

ช่วงที่ 3 – น้ำทะเลระดับลง เปลี่ยนแปลงสู่บริเวณที่ได้รับผลกระทบจากน้ำขึ้น-น้ำลง (Tidal Zone)

ตะกอนสีน้ำตาล มีการเปลี่ยนแปลงขนาดตะกอนในหลุมเจาะที่ 2 และ 3 เป็นดินเหนียวขนาดทรายแป้ง (silty clay) ค่าคาร์บอเนต (Carbonate content) ที่ลดลงแสดงถึงการมีอิทธิพลน้อยลงของน้ำทะเลบริเวณนี้ ปริมาณสารอินทรีย์ (Organic matter) ลดลง ไม่พบการสะสมตัวเป็นชั้น ในบริเวณหลุมเจาะที่ 2 มีช่วงที่มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ก็ไม่พบการสะสมตัวเป็นชั้นน่าจะเกิดการพัดพามาสะสมตัวมากกว่า สอดคล้องกับขนาดตะกอนที่หยาบขึ้น ผลจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRF พบว่า Fe_2O_3 มีปริมาณมากในชั้นนี้ เค้นชัดกว่าชั้นอื่นๆ น่าจะเป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) จึงตีความสภาพพื้นที่เป็นบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้น น้ำลง ในช่วงที่มีการเปลี่ยนระดับน้ำนี้ทำให้ตะกอนบริเวณนี้มีโอกาสเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ได้ สำหรับค่า SiO_2 ปรับสูงขึ้นนั้นน่าจะเป็นอิทธิพลจากตะกอนทางบกพัดพามาสะสมในพื้นที่มากขึ้น



รูปที่ 4.5 แสดงผล LOI ในช่วงที่ 3 ของการเปลี่ยนแปลง

ทั้งนี้ปริมาณธาตุที่เป็นธาตุสำคัญในน้ำทะเลอย่าง MgO, K₂O, CaO ก็มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แต่ไม่ได้เห็นเด่นชัดมาก เป็นเพราะถึงแม้ว่าทะเลจะลดระดับลงไปแต่ก็ยังมียุทธิพลกับบริเวณนี้อยู่ โดยในหลุมเจาะที่ 2 และ 3 จะมีปริมาณธาตุ MgO และ Na₂O มากกว่าบ่อที่ 4 สอดคล้องกับสมมติฐานที่เส้นแนวชายฝั่งถอยร่นไปทางทิศตะวันออกของพื้นที่ อย่างไรก็ตาม ค่า Fe₂O₃ ของชั้นนี้อาจเกิดจากการเปลี่ยนระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ได้ด้วย เพราะตอนไปเจาะเก็บตัวอย่างหลุมเจาะที่ 2 ในช่วงความลึกประมาณ 3.5-4.5 เมตร มีน้ำออกมาขณะเจาะเก็บตัวอย่าง

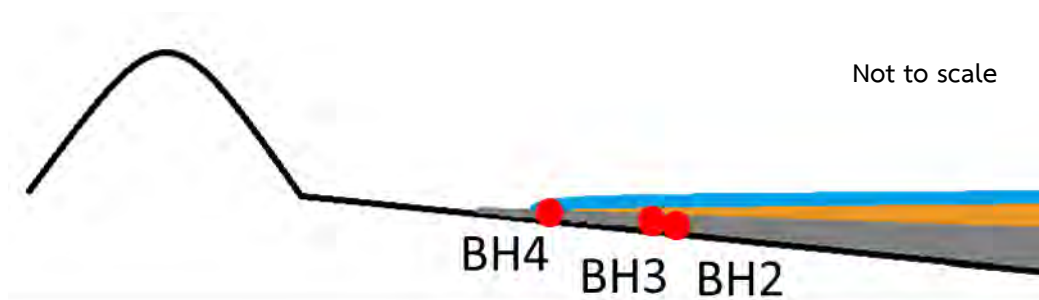
ลำดับ	ตำแหน่ง	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
1	BH2/1.5-2	58.349	24.341	6.534	2.248	1.456	1.095	1.025	1.017	0.318		3.106
2	BH2/3.5-4.0	65.890	17.004	8.153	2.353	0.176	1.033	0.420	1.028	0.460	0.126	1.550
3	BH2/5.0-5.5	58.207	24.789	6.914	3.184	0.153	1.186	0.552	1.131	0.331		2.924
4	BH3/2.0-2.5	52.959	22.155	3.945	2.464	7.950	0.998	4.680	0.917	0.327		3.043
5	BH3/4.0-4.5	63.434	19.161	8.926	2.559	0.311	1.172	0.315	1.154	0.468	0.133	1.989
6	BH3/5.5-5.5	62.532	20.213	6.974	2.825	0.927	1.182	0.874	1.218	0.474		2.353
7	BH4/1.5-2	52.922	23.030	5.653	2.152	6.199	0.779	4.129	0.924	0.141		3.500
8	BH4/2.5-3.0	63.048	21.725	6.435	2.444	0.324	0.765	0.503	1.204	0.230		2.814
9	BH4/4.0-4.5	57.291	24.072	6.150	3.165	1.529	1.288	0.667	1.125	0.336		3.637

สำหรับความสัมพันธ์ของธาตุชุดนี้ MgO, Na₂O และ Fe₂O₃ มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน ถ้าพิจารณาดูจะพบว่ามีค่ามากไปทางตะวันออก (หลุมเจาะที่ 2 และ 3) สัมพันธ์กับทิศทางเข้าสู่ทะเลและความสัมพันธ์ของธาตุกลุ่มนี้แทบจะไม่เกี่ยวข้องกับ K₂O และสัมพันธ์ตรงข้ามกับ CaO ตรงนี้อาจเป็นผลจากการเตรียมตัวอย่าง หรือแร่ในตะกอนที่เราไม่อาจทราบได้ รวมถึงชุดข้อมูลเพียง 3 ชุดอาจบ่งบอกความสัมพันธ์ได้ไม่ชัดเจน

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) จากตัวอย่างลำดับที่ 3,6,9

Pearson's r	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	TiO ₂	Na ₂ O	CaO	SO ₃
SiO ₂	-	-0.901	0.334	-0.756	0.301	-0.988	0.581	-0.056	-0.999
Al ₂ O ₃	-0.901	-	-0.710	0.397	-0.684	0.957	-0.876	0.483	0.880
Fe ₂ O ₃	0.334	-0.710	-	0.365	0.999	-0.474	0.961	-0.960	-0.290
K ₂ O	-0.756	0.397	0.365	-	0.397	0.647	0.094	-0.612	0.785
MgO	0.301	-0.684	0.999	0.397	-	-0.443	0.951	-0.969	-0.257
TiO ₂	-0.988	0.957	-0.474	0.647	-0.443	-	-0.699	0.208	0.980
Na ₂ O	0.581	-0.876	0.961	0.094	0.951	-0.699	-	-0.845	-0.543
CaO	-0.056	0.483	-0.960	-0.612	-0.969	0.208	-0.845	-	0.010
SO ₃	-0.999	0.880	-0.290	0.785	-0.257	0.980	-0.543	0.010	-

สภาพแวดล้อมการสะสมตัวของพื้นที่บริเวณนี้จำลองได้ออกมาดังภาพ

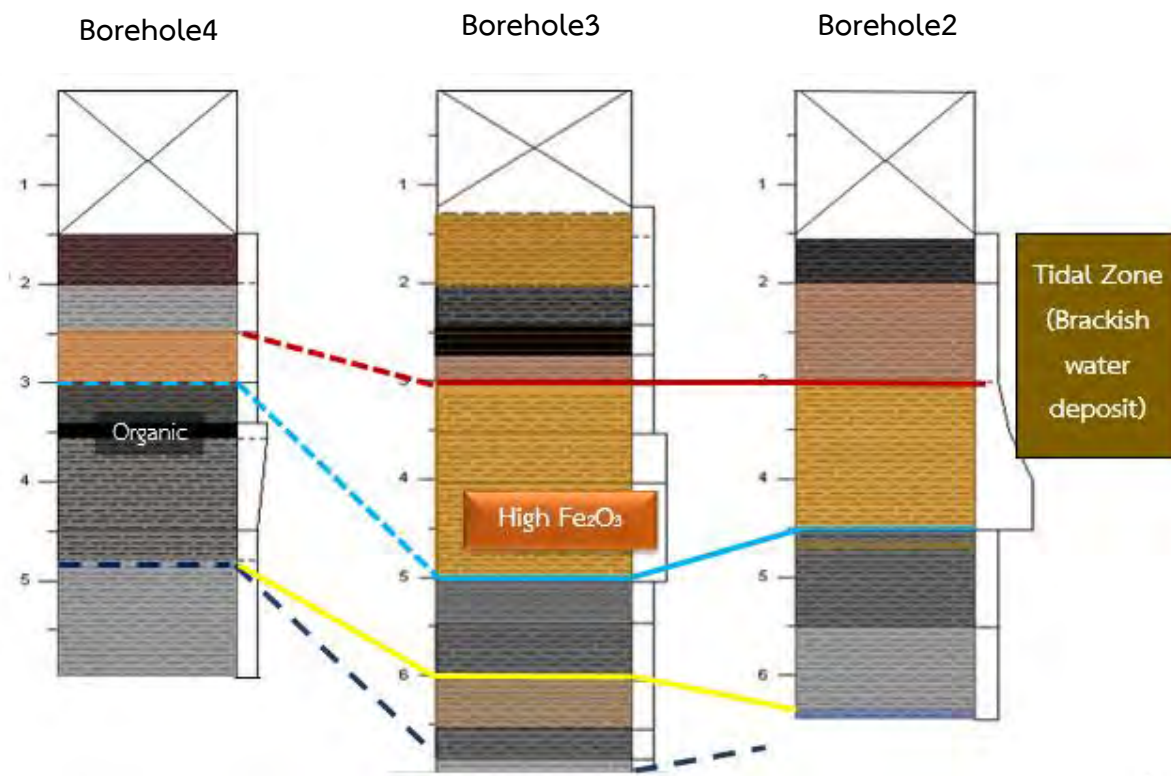


รูปที่ 4.6 ภาพจำลองสภาพแวดล้อมของพื้นที่ในช่วงที่ 3 ของการเปลี่ยนแปลง

การสะสมตัวของตะกอนในชั้นนี้น่าจะเป็นช่วงระหว่างแนวขอบเขตทะเลโบราณ (Paleo shoreline) เส้นสีชมพูและเส้นสีเหลือง



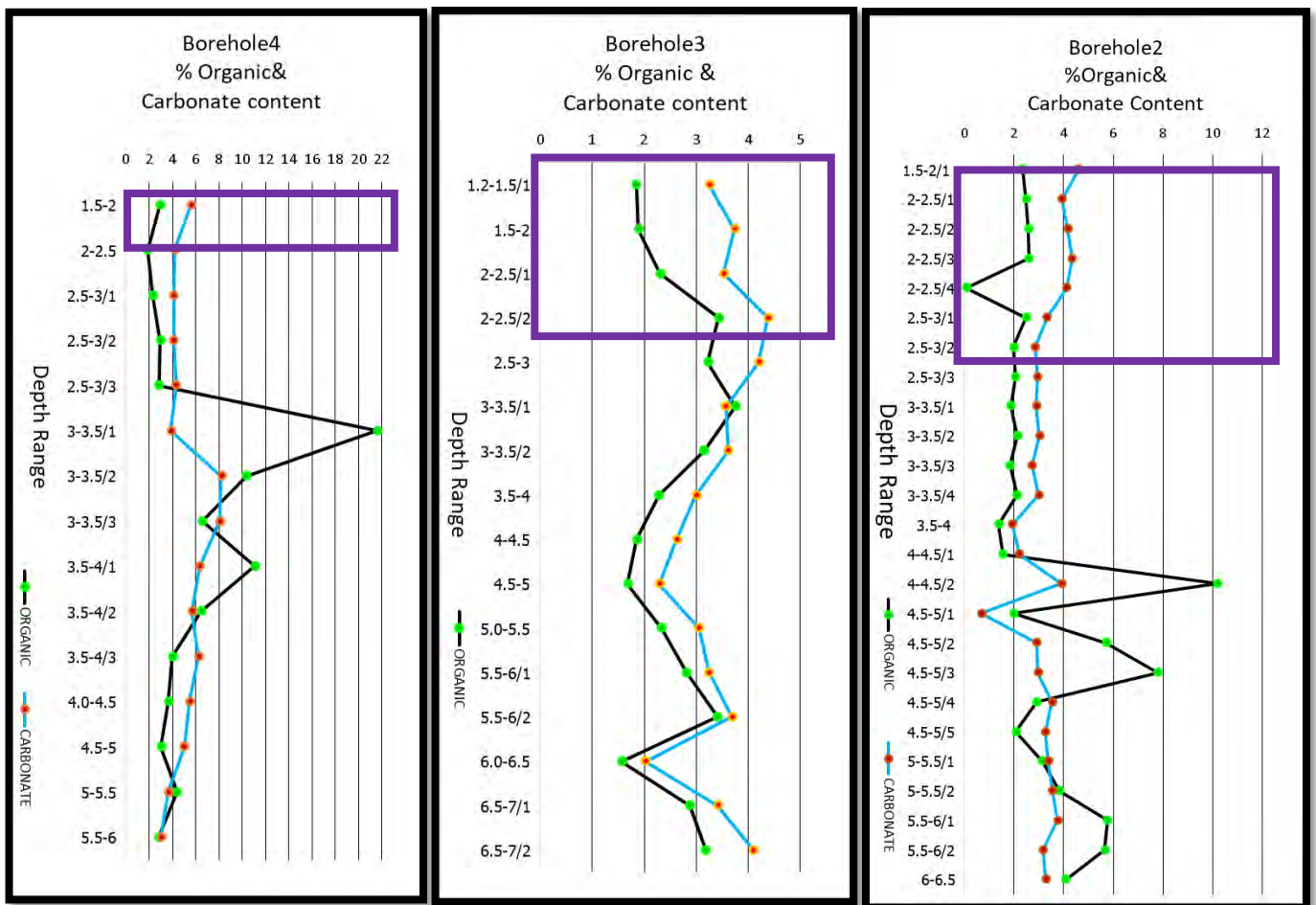
การปรากฏของตะกอนชั้นนี้ทั้ง 3 หลุมเจาะเป็นดังภาพ แต่ในหลุมเจาะที่ 4 มีลักษณะปรากฏที่ไม่เหมือนกับอีกสองหลุมเจาะ น่าจะเป็นเพราะอยู่ห่างออกไปจึงไม่ได้รับอิทธิพลเดียวกันที่ทำให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนช่วงนี้ ความหนาของตะกอนชั้นนี้น้อยลงไปทางตะวันตก



รูปที่ 4.7 แสดงการเทียบสัมพันธ์ในชั้นตะกอนสีน้ำตาลในช่วงที่ 3 ของการเปลี่ยนแปลง

ช่วงที่ 4 – น้ำทะเลระดับไปจนพื้นที่กลับกลายเป็นการสะสมตัวบนบกอีกครั้ง

ตะกอนสีเทาเข้มจนถึงดำ ค่าคาร์บอเนต (Carbonate content) มากกว่าชั้นก่อนหน้า จากสมมติฐานที่น้ำทะเลถอยร่นออกไปจนพ้นจากบริเวณ คาดว่าค่าคาร์บอเนต (Carbonate content) ที่เพิ่มขึ้นเกิดจากตะกอนจากทางบกเข้ามามีอิทธิพลมากขึ้น และทางตะวันตกของพื้นที่ก็มีภูเขาหินปูนอยู่ ทำให้อาจได้ตะกอนที่พัดพามาจากทางตะวันตกมาสะสมตัวในพื้นที่ทำให้ค่าปรับเพิ่มสูงขึ้น ค่าสารประกอบอินทรีย์ (Organic matter) เพิ่มขึ้นเช่นกันในบริเวณนี้ น่าจะเพราะสภาพแวดล้อมที่เริ่มกลับมาเป็นบกกอีกครั้งทำให้มีพืชพรรณขึ้นได้มากขึ้นหรือถูกพัดพามาสะสมตัวมากขึ้นเพราะไม่ได้เจอการสะสมตัวที่เป็นชั้นชัดเจน



รูปที่ 4.8 แสดงผล LOI ในช่วงที่ 4 ของการเปลี่ยนแปลง

นอกจากนี้ยังพบเกลือของ CaSO_4 สอดคล้องกับผลจากการวิเคราะห์ทางเคมีโดยเครื่อง XRF ที่ชั้นนี้เด่นที่ CaO กับ SO_3 ซึ่ง CaSO_4 เกิดจากการตกตะกอนของแร่ที่ระเหยจากน้ำเค็ม (evaporite deposit) อาจแสดงถึงการถอยร่นของน้ำทะเลจนพื้นจากบริเวณนี้ไป แต่น้ำทะเลอาจหลงเหลือในบางพื้นที่ทำให้เกิดการตกผลึกเป็น CaSO_4 ได้ ปริมาณ $\text{MgO}, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}$ ซึ่ง Mg, Na, K เป็นธาตุสำคัญในน้ำทะเล ก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปทางตะวันออก สอดคล้องกับแนวชายฝั่งทะเลที่กำหนดไว้

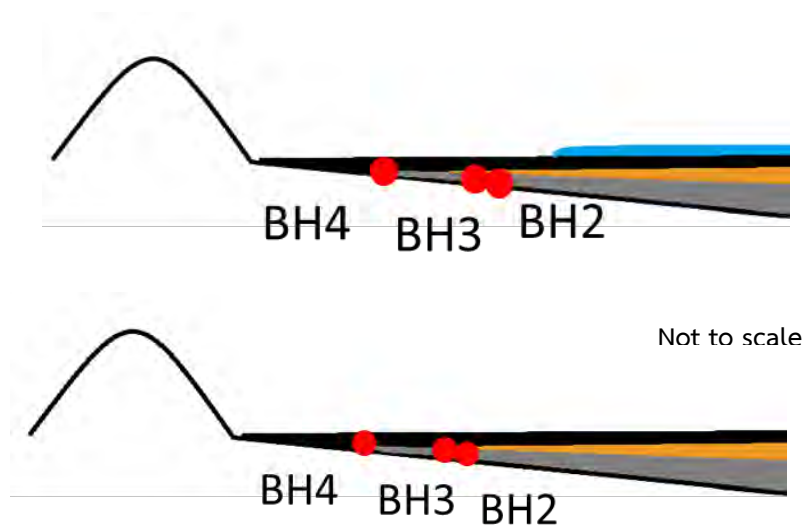
ลำดับ	ตำแหน่ง	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
1	BH2/1.5-2	58.349	24.341	6.534	2.248	1.456	1.095	1.025	1.017	0.318		3.106
2	BH2/3.5-4.0	65.890	17.004	8.153	2.353	0.176	1.033	0.420	1.028	0.460	0.126	1.550
3	BH2/5.0-5.5	58.207	24.789	6.914	3.184	0.153	1.186	0.552	1.131	0.331		2.924
4	BH3/2.0-2.5	52.959	22.155	3.945	2.464	7.950	0.998	4.680	0.917	0.327		3.043
5	BH3/4.0-4.5	63.434	19.161	8.926	2.559	0.311	1.172	0.315	1.154	0.468	0.133	1.989
6	BH3/5.5-5.5	62.532	20.213	6.974	2.825	0.927	1.182	0.874	1.218	0.474		2.353
7	BH4/1.5-2	52.922	23.030	5.653	2.152	6.199	0.779	4.129	0.924	0.141		3.500
8	BH4/2.5-3.0	63.048	21.725	6.435	2.444	0.324	0.765	0.503	1.204	0.230		2.814
9	BH4/4.0-4.5	57.291	24.072	6.150	3.165	1.529	1.288	0.667	1.125	0.336		3.637

ความสัมพันธ์ของธาตุทั้งสามคือ $\text{MgO}, \text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}$ เป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่ไม่ได้เป็นไปในทางเดียวกันกับค่า CaO และ SO_3 อาจขึ้นกับสภาพพื้นที่หรือภูมิภาคที่ส่งผลถึงปริมาณของธาตุสองตัวนี้ที่เกี่ยวข้องกับการตกสะสมตัวของ CaSO_4 อาจมีปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละจุด

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) จากตัวอย่างลำดับที่ 1, 4, 7

Pearson's r	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	MgO	CaO	TiO ₂	Na ₂ O
SiO ₂	-	0.915	0.757	-0.212	-0.964	0.741	-0.989	0.998	0.467
Al ₂ O ₃	0.915	-	0.956	-0.587	-0.989	0.408	-0.964	0.939	0.072
Fe ₂ O ₃	0.757	0.956	-	-0.799	-0.904	0.123	-0.844	0.798	-0.223
K ₂ O	-0.212	-0.587	-0.799	-	0.464	0.499	0.352	-0.274	0.765
SO ₃	-0.964	-0.989	-0.904	0.464	-	-0.536	0.992	-0.979	-0.215
MgO	0.741	0.408	0.123	0.499	-0.536	-	-0.636	0.697	0.940
CaO	-0.989	-0.964	-0.844	0.352	0.992	-0.636	-	-0.997	-0.334
TiO ₂	0.998	0.939	0.798	-0.274	-0.979	0.697	-0.997	-	0.410
Na ₂ O	0.467	0.072	-0.223	0.765	-0.215	0.940	-0.334	0.410	-

จำลองสภาพแวดล้อมบริเวณนี้ ได้ดังภาพ

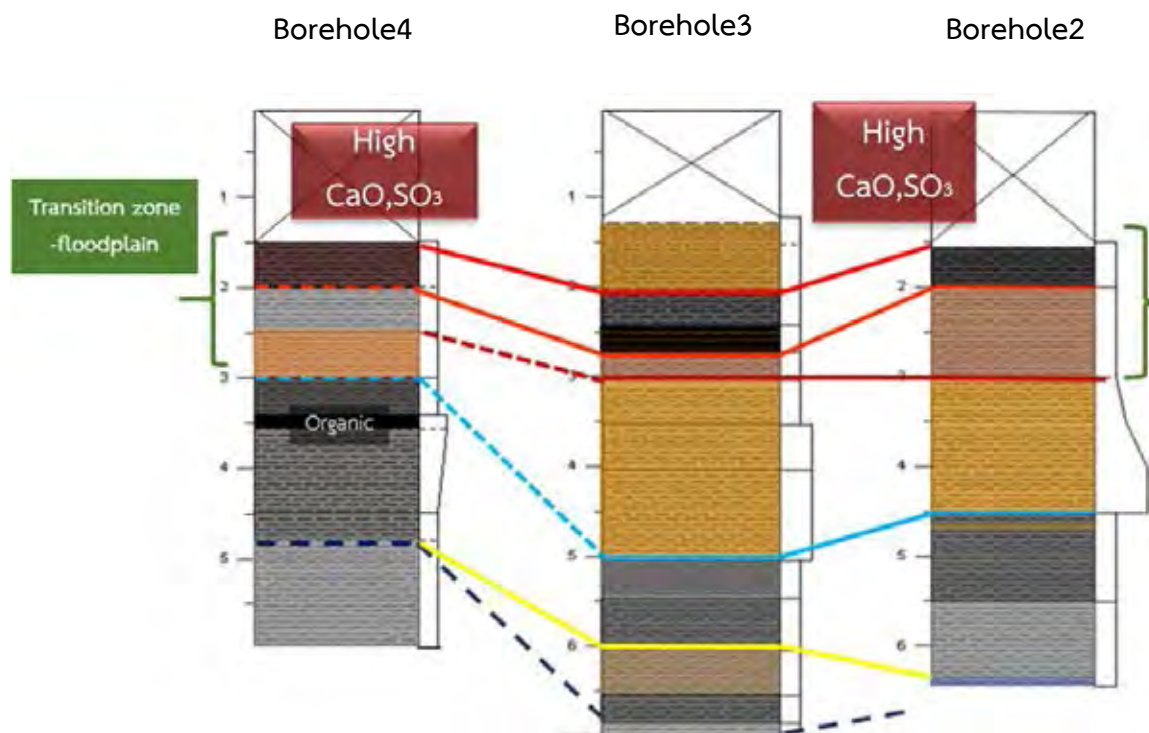


รูปที่ 4.9 ภาพจำลองสภาพแวดล้อมของพื้นที่ในช่วงที่ 4 ของการเปลี่ยนแปลง

การสะสมตัวในช่วงนี้น่าจะสอดคล้องกับแนวชายฝั่งทะเลในเส้นสีเหลืองซึ่งน่าจะเป็นช่วงที่มีการขุดคลองมาสู่บริเวณนี้ และจากหลักฐานทางธรณีวิทยา ก็ระบุว่าพื้นที่นี้มีสภาพแวดล้อมการสะสมตัวบนบก เป็นที่ราบน้ำท่วมถึง (Floodplain) อีกครั้ง

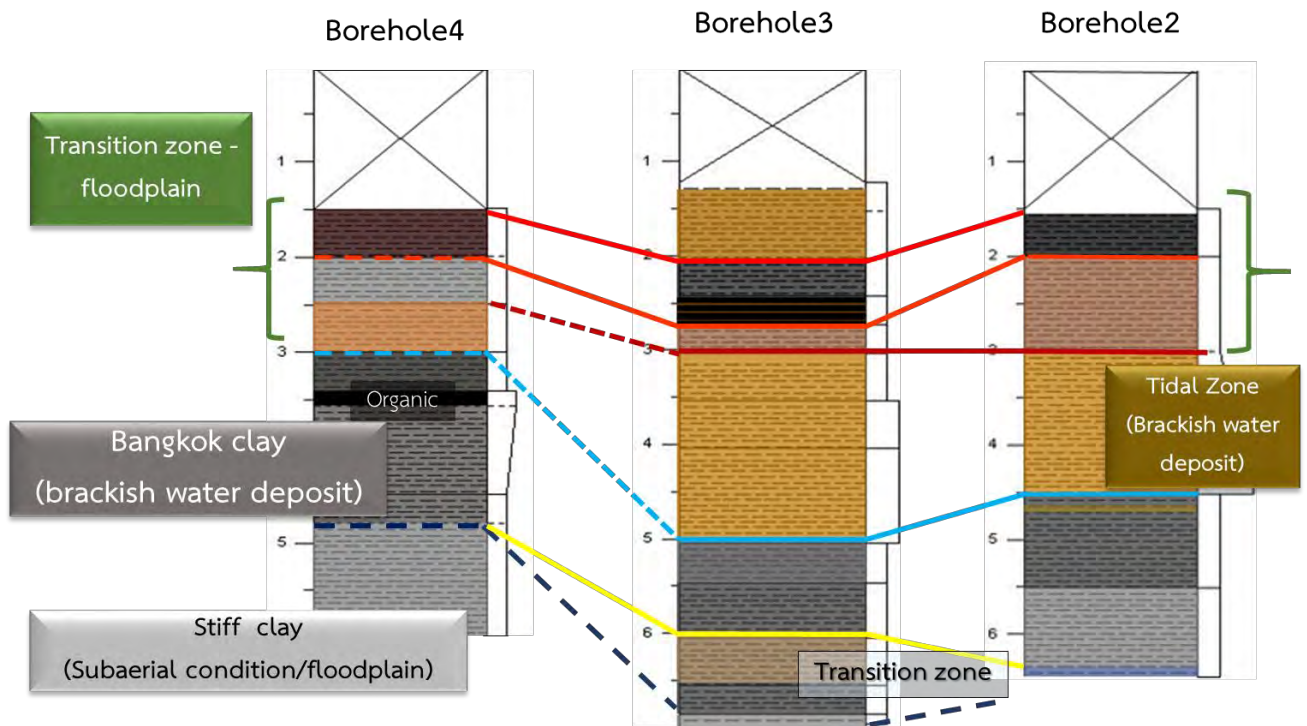


การปรากฏของตะกอนชั้นนี้ในสามหลุมเจาะเป็นดังภาพ โดยเนื่องจากตะกอนชั้นนี้จะเป็นตะกอนปัจจุบันที่ปิดทับไว้ ซึ่งมีข้อมูลในหลุมเจาะที่ 3 ในหลุมเจาะที่ 2 และ 4 ตะกอนช่วงนี้ไม่ได้ถูกส่งมอบมาด้วย



รูปที่ 4.10 แสดงการเทียบสัมพันธ์ในชั้นตะกอนสีเทาเข้มถึงดำในช่วงที่ 4 ของการเปลี่ยนแปลง

จากข้อมูลทั้ง 4 ช่วงและการอภิปรายผลในแต่ละช่วงในข้างต้นสามารถแสดงความสัมพันธ์ของทั้ง 3 หลุมเจาะได้ดังนี้



รูปที่ 4.11 แสดงการเทียบสัมพันธ์ชั้นตะกอนในหลุมเจาะที่ 2,3 และ 4

ชั้นตะกอนดินเหนียวแข็ง (stiff clay) ปรากฏในหลุมเจาะที่ 4 ไม่ปรากฏลักษณะเดียวกันในหลุมเจาะที่ 2 และ 3 ต่อมาชั้นตะกอนดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok clay) มีความหนาแน่นน้อยลงไปทางตะวันตก (หลุมเจาะที่ 4) และมีชั้นของสารอินทรีย์ (Organic matter) ในบริเวณนั้น ถัดขึ้นมาเป็นชั้นตะกอนสีน้ำตาลหนาประมาณ 1.5- 2 เมตรทางตะวันออก (หลุมเจาะที่ 2 และ 3) และบางลงจนไม่ปรากฏลักษณะที่เหมือนกันในหลุมเจาะที่ 4 พบเพียงตะกอนสีน้ำตาลอมเทาในหลุมนี้เท่านั้น ซึ่งการหนาของชั้นน้อยลงไปทางทิศตะวันตก สอดคล้องกับสมมติฐานและแนวชายฝั่งทะเลที่ได้จากการแปลภาพถ่ายทางอากาศซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกของพื้นที่ ชั้นบนสุดของหลุมเจาะที่ 2 และ 4 และชั้นสีดำในหลุมเจาะที่ 3 มีความหนาใกล้เคียงกันประมาณ 50 เซนติเมตร และทั้งหมดถูกปิดทับด้วยตะกอนปัจจุบันที่มีข้อมูลแค้ในหลุมเจาะที่ 3 ส่วนอีกสองหลุมเจาะ ตัวอย่างไม่ได้ถูกส่งมอบมา

บทที่ 5

สรุปผล (Conclusion)

จากข้อมูลลำดับชั้นตะกอน การวิเคราะห์ทางเคมีด้วยการวิเคราะห์มวลที่หายไปจากการเผา และการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในรูปแบบออกไซด์ในตะกอน สามารถนำสมบัติตะกอนมาใช้บอกสภาพแวดล้อมในอดีตของบริเวณนี้ได้ 4 ช่วง โดยช่วงแรกคือ ตะกอนชุดล่างสุดเป็นการสะสมตัวแบบบก จากการเทียบเคียงคุณสมบัติเป็นชั้นตะกอนดินเหนียวแข็ง (stiff clay) จากนั้นมีการเพิ่มระดับของน้ำทะเลรุกเข้ามาในพื้นที่ ทำให้ตะกอนในช่วงที่สองสะสมตัว โดยเป็นตะกอนดินเหนียวสีเทาไม่แข็งมาก มีค่าอินทรีย์วัตถุไม่สูงมากและมีค่าคาร์บอนเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับการมีธาตุที่บ่งบอกการเข้ามามีอิทธิพลของน้ำเค็มในตะกอนบริเวณนี้สูงกว่าช่วงอื่น หรืออาจเรียกตะกอนชั้นนี้ว่าชั้นตะกอนดินเหนียวกรุงเทพ (Bangkok clay) ช่วงที่สาม เป็นตะกอนสีน้ำตาล มีค่าออกไซด์ของเหล็กมากกว่าบริเวณอื่น รวมถึงขนาดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นช่วงที่น้ำทะเลน่าจะเริ่มถอยร่นลงไปแต่ยังอยู่ในบริเวณที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง (tidal zone) สอดคล้องกับการเกิดออกซิเดชันค่อนข้างมากจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ รวมถึงค่าคาร์บอนที่ลดลงซึ่งบอกการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมในพื้นที่ ทั้งนี้ค่าออกไซด์ของเหล็กที่เพิ่มขึ้นอาจเกิดจากน้ำใต้ดินในบริเวณนี้ด้วย ในช่วงที่สี่เป็นตะกอนสีเทาเข้มถึงดำพบเกล็ดของแคลเซียมซัลเฟตมากกว่าชั้นอื่น เป็นผลจากการตกตะกอนของแร่ที่ระเหยจากน้ำเค็ม (evaporite) และ เป็นผลผลิตจากการผุพังของหินปูนซึ่งมีที่มาจากภูเขาหินปูนทางตะวันตกของพื้นที่ทำให้ค่าคาร์บอนในตะกอนชั้นนี้เพิ่มมากขึ้นกว่าชั้นก่อนหน้า กล่าวโดยสรุป ลำดับชั้นการสะสมตัวของตะกอนบ่งชี้ว่าพื้นที่นี้มีการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมของการสะสมตัวจากตะกอนบกไปเป็นตะกอนน้ำกร่อยและตะกอนทะเลโดยมีชั้นดินปัจจุบันปิดทับตามลำดับ

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

- ข้อมูลการหาอายุจากโครงการวิจัยหลักได้รับมาไม่ทันกำหนดส่งโครงการวิจัยนี้ ทำให้โครงการวิจัยนี้ยังขาดข้อมูลในส่วนของอายุอยู่
- ตัวอย่างตะกอนที่จะนำมาทำการวิเคราะห์ทางเคมี ควรมีการเก็บตัวอย่างที่ดีกว่านี้ทั้งสถานที่และอุณหภูมิรวมถึงวิธีเก็บ ซึ่งตัวอย่างตะกอนที่นำมาทำการทดลองนี้ไม่ได้ถูกเก็บมาเพื่อทำการวิเคราะห์ทางเคมีตั้งแต่ต้น ทำให้ผลทางเคมีอาจมีความคลาดเคลื่อนจากการเก็บรักษาตัวอย่างนี้
- เพื่อผลการศึกษาที่ดีมากขึ้นอาจทำการวิเคราะห์แร่ในตัวอย่างตะกอนโดยใช้เครื่อง XRD (X-Ray Diffraction) หาแร่องค์ประกอบในตัวอย่างตะกอนซึ่งจากงานวิจัยของ colin ในปี ค.ศ. 2010 เรื่อง "Impact of the East Asian monsoon rainfall changes on the erosion of the Mekong River basin over the past 25,000 yr" ได้ใช้ชนิดของ clay minerals บ่งบอกการผุพังทางกายภาพ (physical weathering) หรือทางเคมี (chemical weathering) ซึ่งมีการนำไปเปรียบเทียบกับบริเวณที่มีการตกสะสมตัวต่างๆ อาจช่วยหาความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมในอดีตในพื้นที่ได้ดีขึ้น
- การวิเคราะห์ทางเคมีด้วยเครื่อง XRF ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างเพื่อให้เห็นความแตกต่างและหาความสัมพันธ์ได้ดีกว่านี้ แต่ด้วยปัญหาทางงบประมาณที่จำกัด และผู้จัดทำต้องส่งตัวอย่างไปทำที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทำให้ทำได้จำกัดเพียง 9 ตัวอย่างเท่านั้น
- การวิเคราะห์มวลที่หายไปจากการเผาควรทำตัวอย่างละ 3 ตัว เพื่อป้องกันความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นกับผลการทดลอง จะได้ใช้น้ำหนักเฉลี่ยเพื่อลดความผิดพลาดให้น้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- ผ่องศรี วนาสิน และ ทิวา ศุภจรรยา. (2524). รายงานผลการวิจัยทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช เรื่องเมืองโบราณบริเวณชายฝั่งทะเลเดิมของที่ราบภาคกลางประเทศไทย: การศึกษา ตำแหน่งที่ตั้งและภูมิศาสตร์สัมพันธ์. งานวิจัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ลำดับที่ 1. กรุงเทพฯ : โครงการเผยแพร่ผลงานวิจัย ฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คเชนทร์ เทนีย์วสุภาพ, มัชฌิมา สุรินทร์โต๊ะ, สุภาวดี นกเสวก, วชิระ อังคจันทร์, ธวัชชัย คงพิริยะโกคิน.(2557). รายงานผลการดำเนินงานโครงการวิจัยซากดึกดำบรรพ์ในชั้น ตะกอนบริเวณแอ่งเจ้าพระยาตอนล่าง พื้นที่อำเภออุทุมพร จังหวัดสุพรรณบุรี. สำนักงานทรัพยากรธรณี เขต 3 (ปทุมธานี).
- ตรงใจ หุตางกูร. (2557).การตีความใหม่เรื่องขอบเขตแนวชายฝั่งทะเลโบราณสมัยทวารวดีบนที่ราบ ภาคกลางตอนล่าง.วารสารดำรงวิชาการ คณะโบราณคดี มหาวิทยาลัยศิลปากร. 16(2) : 12-40.
- Oliver Heiri, André F. Lotter & Gerry Lemcke., 1999. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology* 25: 101–110, 2001.
- Tanabe, S., Saito, Y., Sato, Y., Suzuki, Y., Sinsakul, S., Tiyaipairach, S., Chaimanee,N., 2003.Stratigraphy and Holocene evolution of the mud-dominated Chao Phraya delta,Thailand.*Quaternary Science Reviews* 22, 789–807.
- Sinsakul, S.,1998. Late Quaternary geology of the Lower Central Plain, Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences* 18 (2000) 415-426
- De Vos W., Tarvainen T., Salminen R., Reeder S., De Vivo B.,Demetriades A., Pirc S., Batista M.J., Marsina K., Ottesen R.-T., O'Connor P.J., Bidovec M., Lima A., Siewers U., Smith B., Taylor H, Shaw R., Salpeteur I., Gregorauskiene V., Halamic J., Slaninka I., Lax K., Gravesen P., Birke M., Breward N., Ander E.L., Jordan G., Duris M., Klein P., Locutura J., Bel-lan A., Pasiieczna A., Lis J., Mazreku A., Gilucis A., Heitzmann P., Klaver G., Petersell V. 2006. *Geochemical Atlas of Europe. Part 2 - Interpretation of Geochemical Maps, Additional Tables, Figures, Maps, and Related Publications.*

