

ออกซิเจนไอโซโทปของแบรคิโอพอด ยุคเพอร์เมียน จังหวัดเพชรบูรณ์:
การประยุกต์ใช้ทางด้านภูมิอากาศบรรพกาล

ลภาน เตชะภิญญาวัฒน์

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2557

Oxygen Isotope of Permian Brachiopods in Changwat Phetchabun:
Paleoclimatic implication

Lapone Techapinyawat

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 2014

วันที่ส่ง

____/____/____

วันที่อนุมัติ

____/____/____

ลงชื่อ _____

(_____)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

หัวข้องานวิจัย	ออกซิเจนไอโซโทปของแบรคิโอพอดยุคเพอร์เมียน จังหวัดเพชรบูรณ์: การประยุกต์ใช้ทางด้านภูมิอากาศบรรพกาล
นิสิตผู้ทำการวิจัย	นายลภณ เตชะภิญญาวัฒน์
ภาควิชา	ธรณีวิทยา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐาสินี เจริญจิตร์รัตน์
ปีการศึกษา	2557

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ สามารถถูกบันทึกไว้ในซากดึกดำบรรพ์ในทะเล เช่นแท่งน้ำแข็ง ปะการัง แบรคิโอพอด โดยการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วน ^{18}O และ ^{16}O มีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศ ณ เวลานั้นๆ ซึ่งโครงการนี้ได้ทำการศึกษาผ่านตัวอย่างแบรคิโอพอด จากบริเวณพื้นที่ศึกษา 2 บริเวณได้แก่บริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ และบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรีโดยตัวอย่างของแบรคิโอพอดในโครงการนี้ได้นำมาศึกษาลำดับชั้นหิน วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค (microstructure) และการคงอยู่ของแร่เดิมของแบรคิโอพอดภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM), X-ray diffraction เพื่อศึกษาแร่องค์ประกอบของแบรคิโอพอด และ Isotope ratio MS เพื่อศึกษาคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทปและนำมาเปรียบเทียบค่าไอโซโทปจากการศึกษากับไอโซโทปจากลำดับชั้นหินของมหายุคพาลีโอโซอิก

จากการศึกษาลำดับชั้นหินและซิลิการรณนาของทั้งสองบริเวณมีสภาพแวดล้อมการสะสมตัวในทะเลน้ำตื้นโดยตัวอย่างของแบรคิโอพอดที่นำมาศึกษาในครั้งนี้มีการคงสภาพของแร่เดิมปานกลางถึงดีเนื่องจากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนั้นแสดงให้เห็นผลึกที่ละลายไปบางส่วน และโพรงที่เกิดจากการละลายบางส่วน แต่อย่างไรก็ตามตัวอย่างนี้สามารถนำมาศึกษาคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทปได้ โดยค่าเฉลี่ยคาร์บอนไอโซโทปบริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุและเขาคอก อยู่ที่ 1.78 ‰ VPDB และ 2.78 ‰ VPDB ตามลำดับ และออกซิเจนไอโซโทปของบริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุและเขาคอก อยู่ที่ -4.98 ‰ VPDB และ -4.76 ‰ VPDB ตามลำดับ โดยมีสภาพภูมิอากาศในเขตร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิบรรพกาลบริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ และเขาคอกเฉลี่ยอยู่ที่ 39 และ 35.5 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: แบรคิโอพอด เพอร์เมียน สภาพภูมิอากาศบรรพกาล ออกซิเจนไอโซโทป ไอโซโทปเสถียร

Project title OXYGEN ISOTOPE OF PERMIAN BRACHIOPODS IN CHANGWAT
PHETCHABUN: PALEOCLIMATIC IMPLICATION

Researcher Lapone Techapinyawat

Department Geology

Advisor Assistant Professor Dr. Thasinee Charoentitirat

Academic year 2014

ABSTRACT

Typically, the ratio $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$ were recorded in marine fossils. Such as ice core, corals brachiopods. Changing the value of ^{18}O and ^{16}O ratios relate with the climate at that time. This project was conducted through brachiopod samples. Two outcrops of study areas include the Phu Phra that Priest's Camp site, Amphoe Chon Daen, Changwat Phetchabun and Khao Khok, Amphoe Nong Muang, Changwat Lopburi. The samples of brachiopod and lithostratigraphy study in this project have been taken. Analysis of the microstructure and the existence of primary minerals of brachiopod under the scanning electron microscope (SEM), X-ray diffraction to study the mineral compositions of brachiopods and Isotope ratio MS have been examined in order to study carbon isotopes and oxygen isotopes and to compared with previous studied of the isotope stratigraphy during the Paleozoic.

The lithostratigraphy of these area shows shallow marine depositional environment. Brachiopod samples were medium to well preserved and their microstructures under SEM show some crystals melt and microdissolution vugs. However, these samples can be studied carbon and oxygen isotopes. The average carbon isotope in Phu Phra that Priest's Camp site and Khao Khok are 1.78 ‰VPDB and 2.78 ‰VPDB respectively and oxygen isotopes in Phu Phra that Priest's Camp site and Khao Khok are -4.98 ‰VPDB and -4.76 ‰VPDB respectively. The climate is tropical. Paleotemperature in Phu Phra that Priest's Camp site and Khao Khok are 35.5 and 34 degree celcius.

Key words: Brachiopod, Permian, Paleoclimate, Oxygen isotope, Stable isotope

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐาสินีเย์ เจริญฐิติรัตน์ ที่ให้ความรู้ คำปรึกษา โอกาสที่ได้ศึกษาความรู้จากประเทศญี่ปุ่น ตลอดจนการดูแลช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดช่วงระยะเวลาในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ Professor Iryu Yasufumi และ Asst. Prof Takayanagi Hideko จาก Tohoku Univeristy เมืองเซนได ประเทศญี่ปุ่น ที่ให้ความรู้ สอนเทคนิคการใช้อุปกรณ์เครื่องมือในการวิจัยต่างๆ คอยดูแลช่วยเหลือให้คำปรึกษาในการทำงานวิจัย รวมถึงที่อยู่และการกินตลอดระยะเวลาในการทำวิจัยที่ประเทศญี่ปุ่น

ขอขอบคุณ Dr. Hidetoshi Hara จาก National Institute of Advanced Industrial Science and Technology ประเทศญี่ปุ่นในการออกภาคสนามเพื่อเก็บตัวอย่างแบรคิโอพอดในประเทศไทย และคอยดูแลช่วยเหลือในการทำวิจัยตลอดระยะเวลาที่อยู่ประเทศญี่ปุ่น

ขอขอบคุณ Professor Masatoshi Sone จาก University of Malaya ที่ช่วยคัดแยกสายพันธุ์แบรคิโอพอดให้

ขอขอบคุณนายศุภชัย นิลดำ และนายวัชรพล สียงนอก เพื่อนและน้องแฉะเรีย ที่ช่วยเก็บตัวอย่างแบรคิโอพอด และ Mamoru Takizawa, Hiroshi Fujioka, Chihaya Watanabe, Alyssa Fukudome เพื่อนๆจาก Tohoku University ที่ช่วยให้คำปรึกษา ประสานงาน สอนวิธีใช้เครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ง
ABSTRACT	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.3 วัตถุประสงค์	4
1.4 ขอบเขตการศึกษา	4
1.5 พื้นที่ศึกษา	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
1.7 ระเบียบวิธีวิจัย	8
1.8 แผนภาพแสดงขั้นตอนการศึกษา	9
1.9 ตารางเวลาแผนการทำงาน	10
1.10 การเตรียมตัวอย่าง	11
บทที่ 2 ผลการศึกษาและการแปลความหมายข้อมูล	16
2.1 ตัวอย่างแบรคิโอพอดจากจุดศึกษา	16
2.2 ผลการศึกษาแร่องค์ประกอบของแบรคิโอพอด	24
2.3 ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคภายใต้	26
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	
2.4 ผลการศึกษาคาร์บอนไอโซโทป ($\delta^{13}\text{C}$) และออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$)	36
2.5 ผลการศึกษาอุณหภูมิบรรพกาล	46

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 อภิปรายและสรุปผลการศึกษา	48
3.1 อภิปรายผลการศึกษา	48
3.1.1 สภาพแวดล้อมการสะสมตัวของแบรคิโอพอด	48
3.1.2 คาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทปของแบรคิโอพอด	48
3.1.3 สภาพภูมิอากาศบรรพกาล	49
3.2 สรุปผลการศึกษา	50

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1.1 แสดงแผนการปฏิบัติงาน	10
ตาราง 2.1 ชนิดของแบรคิโอพอดบริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์	16
ตาราง 2.2 แสดงตัวอย่างแบรคิโอพอด จากจุดศึกษาที่ 2 บริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี	22
ตาราง 2.3 ค่าคาร์บอนไอโซโทป และออกซิเจนไอโซโทปของพื้นที่ศึกษาทั้งสองบริเวณ และอุณหภูมิบรรพกาล	47

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 องค์ประกอบของออกซิเจนไอโซโทปในมหาสมุทรไอโซโทปิกของ แบรคิโอพอดและโคโนดอนต์ (สมมติ $\delta^{18}\text{O}$ น้ำทะเลมีค่าเท่ากับ -1‰ (VSMOW) (Veizer et al., 1999)	3
รูปที่ 1.2 แผนที่แสดงพื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณสำนักสงฆ์พระธาตุ อำเภอนนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ (สัญลักษณ์ดาว) (Nostra Map)	5
รูปที่ 1.3 ลักษณะของหินโผล่บริเวณสำนักสงฆ์พระธาตุ อำเภอนนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์	6
รูปที่ 1.43 ลักษณะของหินโผล่บริเวณเขาคอก อำเภอนนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์	6
รูปที่ 1.5 แผนที่แสดงพื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณ เขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี (สัญลักษณ์ดาว) (Nostra Map)	7
รูปที่ 1.6 เครื่องวิเคราะห์ x-ray diffraction (XRD) PHILIPS X'Pert	12
รูปที่ 1.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	13
รูปที่ 1.8 เครื่องเคลือบผิวตัวอย่างด้วยทองคำ	13
รูปที่ 1.9 ปากกาสว่านเก็บตัวอย่างโดยจะมีหัวเจาะเพชรบริเวณด้านปลายปากกา	14
รูปที่ 1.10 วิธีการเก็บตัวอย่าง	14
รูปที่ 1.11 ลักษณะการเก็บตัวอย่างตามลำดับ growth line	14
รูปที่ 1.12 เครื่อง carbonate device และ isotope ratio MS	15
รูปที่ 2.1 ลำดับชั้นหินของจุดศึกษาสำนักสงฆ์พระธาตุ อำเภอนนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์	17
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแบรคิโอพอด สัญลักษณ์กำกับตัวอย่าง PPT-1 สายพันธุ์ <i>Acosarina</i> sp.	18
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแบรคิโอพอด สัญลักษณ์กำกับตัวอย่าง PPT-2 สายพันธุ์ <i>Composita</i> sp.	19
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแบรคิโอพอด สัญลักษณ์กำกับตัวอย่าง PPT-3 สายพันธุ์ <i>Orthothena phetchabunensis</i>	19
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแบรคิโอพอด สัญลักษณ์กำกับตัวอย่าง PPT-4 สายพันธุ์ <i>Linoproductus</i> sp. A	20

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแบรคิโอพอด สัตว์ลักษณะนี้กำกับตัวอย่าง PPT-5 สายพันธุ์ <i>Hustedia</i> sp.	20
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างแบรคิโอพอด สัตว์ลักษณะนี้กำกับตัวอย่าง PPT-6 สายพันธุ์ <i>Paraplicatifera thaica</i>	21
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างแบรคิโอพอด สัตว์ลักษณะนี้กำกับตัวอย่าง PPT-7 สายพันธุ์ <i>Linoproductus</i> sp. B	21
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างแบรคิโอพอด สัตว์ลักษณะนี้กำกับตัวอย่าง PPT-8 สายพันธุ์ <i>Tyloplecta yangtzeensis</i>	22
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างแบรคิโอพอด สัตว์ลักษณะนี้กำกับตัวอย่าง LOP-1 สายพันธุ์ <i>Liraplecta</i> sp.	23
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างแบรคิโอพอด สัตว์ลักษณะนี้กำกับตัวอย่าง LOP-2 สายพันธุ์ <i>Liraplecta</i> sp.	23
รูปที่ 2.12 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างบริเวณ สำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ (PPT) แสดงให้เห็นว่ามุมที่ 29.5 องศา มีค่า count สูงกว่าปกติซึ่งสรุปได้ว่าเป็นแร่แคลไซต์	24
รูปที่ 2.13 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี (LOP-1) แสดงให้เห็นว่ามุมที่ 29.5 องศา มีค่า count สูงกว่าปกติซึ่งสรุปได้ว่าเป็นแร่แคลไซต์	25
รูปที่ 2.14 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี (LOP-2) แสดงให้เห็นว่ามุมที่ 29.5 องศา มีค่า count สูงกว่าปกติซึ่งสรุปได้ว่าเป็นแร่แคลไซต์	25
รูปที่ 2.15 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด PPT ด้าน transverse section กำลังขยาย 100 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน เส้นสีเหลืองแสดงเปลือกหอย และผลึกแร่เรียงตัวเป็นลักษณะเส้นใย โดย A คือเปลือกหอย และ B คือเนื้อหิน	26

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.16 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด PPT ด้าน transverse section กำลังขยาย 470 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ เรียงตัวเป็นลักษณะเส้นใย ตัวอย่างลูกศร	27
รูปที่ 2.17 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด PPT ด้าน transverse section กำลังขยาย 1,600 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ ที่ชัดเจน ตัวอย่างลูกศร	28
รูปที่ 2.18 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด PPT ด้าน transverse section กำลังขยาย 2,700 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ ที่ชัดเจน ตัวอย่างลูกศร	28
รูปที่ 2.19 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด PPT ด้าน transverse section กำลังขยาย 800 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ ที่ชัดเจน ตัวอย่างลูกศร	29
รูปที่ 2.20 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด PPT ด้าน transverse section กำลังขยาย 2,500 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ ที่ชัดเจนตัวอย่างลูกศร	29
รูปที่ 2.21 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-1 ด้าน longitudinal section กำลังขยาย 50 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ ที่ชัดเจน เส้นสีเหลืองแสดงเปลือกหอย และผลึกแร่เรียงตัวเป็นลักษณะเส้นใย	30
รูปที่ 2.22 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-1 ด้าน longitudinal section กำลังขยาย 50 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอด ที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน	31

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.23 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-1 ด้าน longitudinal section กำลังขยาย 2,500 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอด ที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน และแสดง microdissolution vug (บริเวณลูกศร) ทั่วทั้งบริเวณ	32
รูปที่ 2.24 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-1 ด้าน longitudinal section กำลังขยาย 50 เท่าแสดงให้เห็นผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน	32
รูปที่ 2.25 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-2 ด้าน transverse section กำลังขยาย 70 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอด ที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน	33
รูปที่ 2.26 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-2 ด้าน transverse section กำลังขยาย 900 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอด ที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน	34
รูปที่ 2.27 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-2 ด้าน transverse section กำลังขยาย 60 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอด ที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน	35
รูปที่ 2.28 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-2 ด้าน transverse section กำลังขยาย 4,000 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอด ที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน	35
รูปที่ 2.29 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง PPT	36
รูปที่ 2.30 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง PPT ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง	36
รูปที่ 2.31 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง PPT-B	37
รูปที่ 2.32 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง PPT-B ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง	37
รูปที่ 2.33 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง PPT-C	38
รูปที่ 2.34 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง PPT-C ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง	38

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.35 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-1	39
รูปที่ 2.36 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-1 ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง	39
รูปที่ 2.37 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2	40
รูปที่ 2.38 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2 ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง	40
รูปที่ 2.39 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-B	41
รูปที่ 2.40 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-B ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง	41
รูปที่ 2.41 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-C	42
รูปที่ 2.42 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-C ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง	42
รูปที่ 2.43 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-D	43
รูปที่ 2.44 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-D ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง	43
รูปที่ 2.45 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-E	44
รูปที่ 2.46 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-E ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง	44
รูปที่ 2.47 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่างบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี	45
รูปที่ 2.48 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่างบริเวณสำนักสงฆ์พระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์	45
รูปที่ 2.49 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่างบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี และสำนักสงฆ์พระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์	46

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งสภาพภูมิประเทศบรรพกาล ยุคเพอร์เมียนตอนต้น (ซ้าย) และเพอร์เมียนตอนปลาย (ขวา) โดยสัญลักษณ์ I คือ แผ่นทวีปอินโดจีน (Indochina terrane) และ S คือ Sibumasu terrane (Metcalf, 2006)	49
---	----

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

จากข้อมูลวิชาการของหินปูนยุคเพอร์เมียนในประเทศไทยมีการตีพิมพ์อย่างแพร่หลายทั้งในประเทศ และต่างประเทศ อาทิ สภาพแวดล้อมการสะสมตัว (Thambunya et al., 2007) การศึกษาทางด้านออกซิเจนไอโซโทปในหินปูน ในประเทศไทยยังไม่แพร่หลาย ซึ่งออกซิเจนไอโซโทปนี้เองเป็นข้อมูลที่สำคัญที่สามารถบอกสภาพภูมิอากาศของโลก ณ ขณะนั้นได้

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ถูกบันทึกไว้ในซากดึกดำบรรพ์ในทะเล เช่นแท่งน้ำแข็ง ปะการัง แบรคิโอพอด โดยการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วน ^{18}O และ ^{16}O มีความสัมพันธ์กับสภาพภูมิอากาศ ณ เวลานั้นๆ ซึ่งแบรคิโอพอดนี้เป็นซากดึกดำบรรพ์ที่ดีในการศึกษาไอโซโทปในบรรพการเนื่องด้วยพบให้เห็นตั้งแต่ยุคแคมเบรียน จนถึงปัจจุบัน และยังมียอดประกอบของแมกนีเซียมในแคลไซต์ต่ำ (Popp et al., 1986a) ที่เป็นสาเหตุให้ธาตุต่างๆในแบรคิโอพอดเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการฟูก่อนและแทนที่ได้ยาก โดยตัวอย่างของ แบรคิโอพอดในโครงการนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างจากบริเวณสำนักสงฆ์พระธาตุ อำเภอนนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ และเขาคอก อำเภอนนเมือง จังหวัดลพบุรี ได้นำมาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค และการคงอยู่ของแร่เดิมของแบรคิโอพอดภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด, X-ray diffraction เพื่อศึกษาองค์ประกอบของแบรคิโอพอด และ Isotope ratio MS เพื่อศึกษาคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทปและนำมาเปรียบเทียบค่าไอโซโทปจากการศึกษากับไอโซโทปจากลำดับชั้นหินของมหายุคพาลีโอโซอิก

1.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไอโซโทปเสถียรของคาร์บอน ($\delta^{13}\text{C}$) และไอโซโทปเสถียรของออกซิเจน ($\delta^{18}\text{O}$) ในสิ่งมีชีวิตจำพวกคาร์บอนเนตนั้นมีศักยภาพที่เป็นเครื่องมือวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศบรรพกาลได้ ในช่วงต้นทศวรรษ ค.ศ. 1960 เริ่มมีการศึกษาแบรคิโอพอดยุคปัจจุบันพบว่าออกซิเจนไอโซโทปมีค่าสมดุลกับออกซิเจนไอโซโทปของน้ำทะเลบริเวณนั้น (Lowenstam, 1961) หลังจากนั้นเริ่มมีการศึกษาออกซิเจนไอโซโทปของแบรคิโอพอดบรรพกาล และมีการหาแนวโน้มของ $\delta^{13}\text{C}$ และ $\delta^{18}\text{O}$ เพื่อมาศึกษาปัจจัยของสภาพแวดล้อมบรรพกาล (e.g. Popp et al., 1986; Railsback et al., 1990; Grossman et al., 1991; Brenchley et al., 1994; Marshall et al., 1997; Bruckschen et al., 1999; Mii et al., 1999; Veizer et al., 1999; Mii et al., 2001; Shields et al., 2002; Korte et al., 2005; Yamamoto et al., 2010)

ตัวอย่างของแบรคิโอพอดนั้นเชื่อว่าเหมาะสมสำหรับการศึกษาเนื่องจากประกอบด้วยแร่ปฐมภูมิ (องค์ประกอบแร่เดิมตั้งแต่แบรคิโอพอดมีชีวิตอยู่) และมีโครงสร้างจุลภาคมากมายซึ่งส่งผลให้เกิดการแปรสภาพของแร่ได้น้อย (Compston, 1960; Brand and Veizer, 1980) และสามารถเห็นได้อย่างแพร่หลายในหินตะกอนที่มีสภาพแวดล้อมการสะสมตัวในทะเล ในมหาสมุทรพาลีโอโซอิกอีกด้วย

อย่างไรก็ตามการใช้แบรคิโอพอดเพื่อศึกษาไอโซโทปเสถียรของคาร์บอนและออกซิเจนยังมีการถกเถียงอยู่ในปัจจุบัน (Carpenter and Lohman, 1995; Buening and Spero, 1996; Marshall et al., 1996) เนื่องจากพบว่าความแตกต่างของสายพันธุ์ของแบรคิโอพอดในต่างบริเวณ

จากการศึกษาออกซิเจนไอโซโทป (รูปที่ 1.1) จากแบรคิโอพอดในมหาสมุทรพาลีโอโซอิกโดย Jan Veizer และคณะในปี ค.ศ. 1999 ทราบว่าค่า $\delta^{18}\text{O}$ ของยุคแคมเบรียนถึงออร์โดวิเชียียนอยู่ตั้งแต่ -10 ถึง -4 ‰ สำหรับยุคไซลูเรียนถึงดีโวเนียนอยู่ตั้งแต่ -8 ถึง -2 ‰ สำหรับคาร์บอนิเฟอรัสถึงเพอร์เมียนตั้งแต่ -7 ถึง 0 ‰ จึงสรุปได้ว่าแนวโน้มของ $\delta^{18}\text{O}$ นั้นลดลงเมื่อมีอายุทางธรณีมากขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงแนวโน้มของ $\delta^{18}\text{O}$ เมื่อมีอายุมากขึ้นสันนิษฐานว่า 1) มีอุณหภูมิสูงขึ้น (e.g., Knauth and Epstein, 1976; Knauth, 2005) 2) น้ำทะเลมีปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ ต่ำ (Perry, 1967; Veizer and Hoefs, 1976; Veizer et al., 1999; Jaffres et al., 2007) และ 3) มีกระบวนการแปรสภาพของแร่เดิมอันเนื่องมาจากการน้ำฝน เนื่องจากมีอายุมากกว่าย่อมมีเวลาในการทำปฏิกิริยาที่มากกว่าด้วย (e.g., Degens and Epstein, 1962; Joachimski et al., 2004)

ดังนั้นเป็นการลดผลกระทบจากกระบวนการเปลี่ยนแปลง (diagenesis) ของแบรคิโอพอด นักวิจัยหลายคนสนใจที่จะศึกษาตัวอย่างแบรคิโอพอดที่มีความหนา และวิธีการเก็บตัวอย่างที่ดีที่สุดของแบรคิโอพอด (e.g., Grossman et al., 1991, 1993; Wenzel and Joachimski, 1996; Mii et al., 1999, 2001; Samtleben et al., 2001; Joachimski et al., 2004)

1. การเตรียมการ โดยทำการคัดเลือกตัวอย่างแบรคิโอพอดจากภาคสนาม โดยคัดเลือกแบรคิโอพอดที่มีคุณภาพที่ดีที่สุดซึ่งไม่ผุกร่อนได้ง่าย

2. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กระบวนการนี้มีขึ้นเพื่อศึกษาการคงอยู่ของแร่เดิมของแบรคิโอพอด เนื่องจากการศึกษาไอโซโทปในครั้งนี้จำเป็นต้องศึกษาแร่ปฐมภูมิ ที่เกิดจากการที่สิ่งมีชีวิตหรือตัวแบรคิโอพอดนั่นเองดูดซับมาสร้างเปลือกซึ่งเป็น โดยทำการตัดตัวอย่างแบรคิโอพอดไปตามแกนที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด (Ontogenic series) แล้วมาศึกษาลักษณะและรูปร่างของผลึกภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

3. เมื่อพบว่าตัวอย่างไม่ผ่านกระบวนการแปรสภาพแล้ว จึงเข้าสู่กระบวนการศึกษาคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทป โดยเก็บตัวอย่างตามแนว ontogenic series เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของไอโซโทปนั่นเอง จากรายงานการวิจัยของ Tagayanaki et al. (2013) ได้ทำการเก็บตัวอย่างโดยมีระยะห่างตั้งแต่ 0.2 มิลลิเมตร ไปจนถึง 1 มิลลิเมตร

1.3 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาภูมิอากาศบรรพกาลยุคเพอร์เมียน วิเคราะห์จากคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทป จากหลักฐานของแบรคิโอพอด บริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ จังหวัดเพชรบูรณ์ และบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี เพื่อนำมาอธิบายข้อมูลทางธรณีวิทยาและเปรียบเทียบค่าไอโซโทปกับลำดับชั้นหินไอโซโทปมหายุคพาลีโอโซอิก

1.4 ขอบเขตการศึกษา

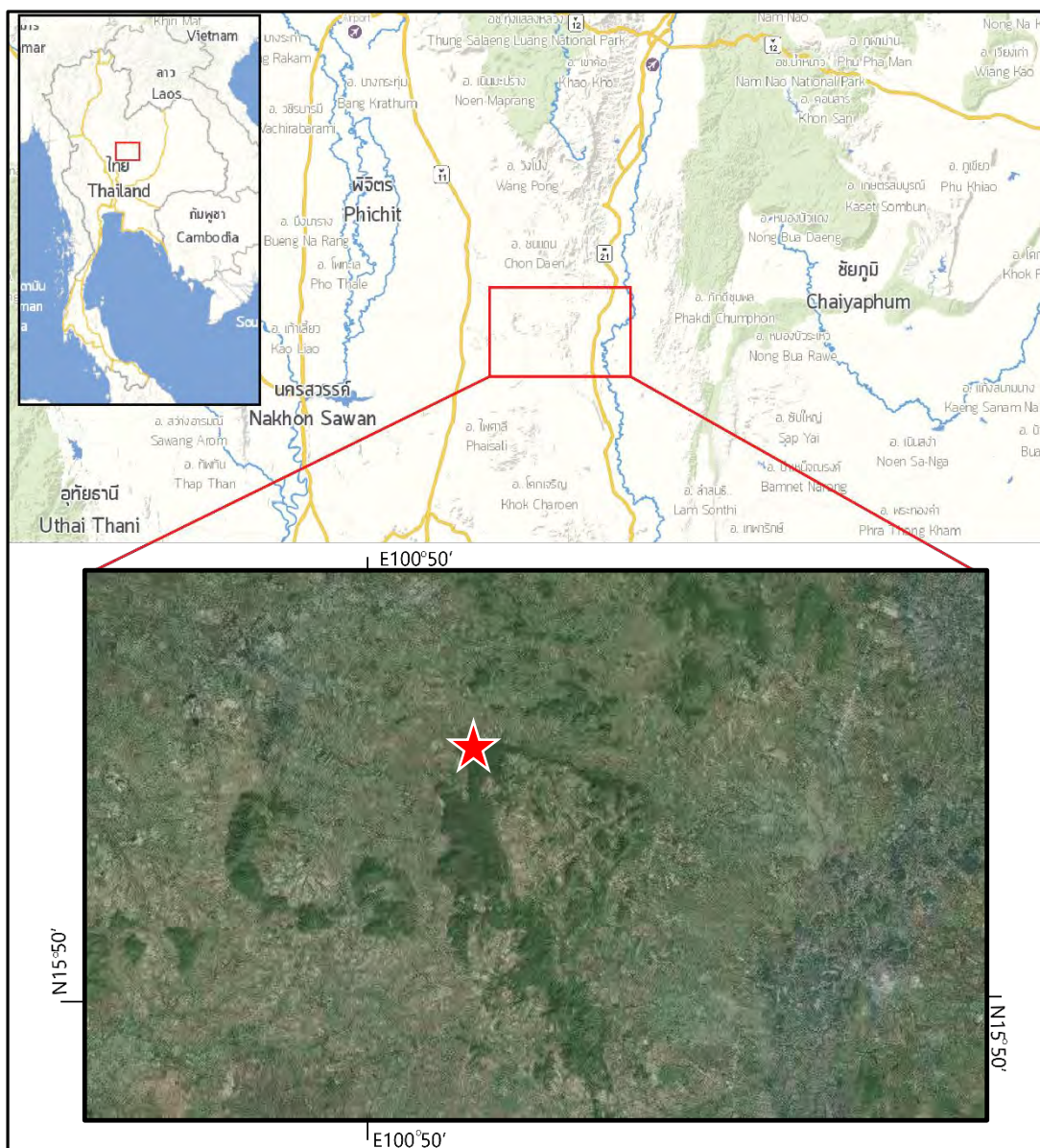
การศึกษาโครงการนี้จะศึกษาเฉพาะตัวอย่างแบรคิโอพอดที่เก็บได้จากหินโผล่บริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ และจากหินโผล่บริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี ซึ่งทำการศึกษาแร่องค์ประกอบของแบรคิโอพอด ศึกษาโครงสร้างจุลภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิเคราะห์คาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทปจากเครื่องมือ carbonate device และ isotope ratio mass spectrometer

1.5 พื้นที่ศึกษา

ตัวอย่างแบรคิโอพอดที่นำมาศึกษานั้น ได้ทำการเก็บสำรวจจาก 3 บริเวณด้วยกัน ได้แก่

1.5.1 บริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์

ลักษณะของหินโผล่บริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ มีลักษณะเป็นหินปูน แทรกสลับกับหินดินดาน สามารถพบซากดึกดำบรรพ์จำพวกแบรคิโอพอด และไบรโอซัว อยู่ในตำแหน่งพิกัด $15^{\circ}57'50.241''$ เหนือ $100^{\circ}52'54.170''$ ตะวันออก



รูปที่ 1.2 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ (สัญลักษณ์ดาว) (Nostra Map, 2012)



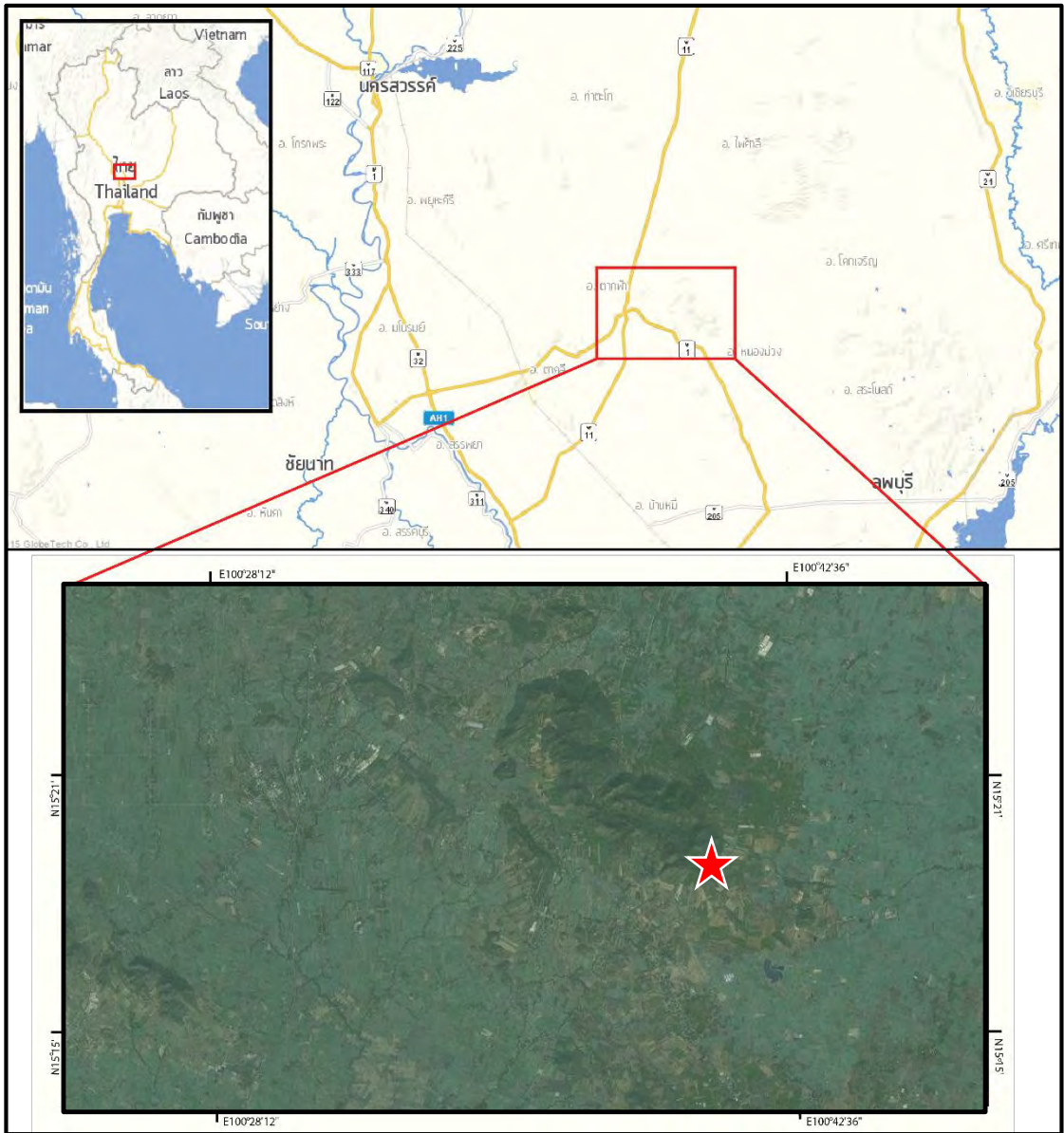
รูปที่ 1.3 ลักษณะของหินเผล่บริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์

1.5.2 บริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี

ลักษณะของหินเผล่บริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี มีลักษณะเป็นหินปูนแทรกสลับกับหินดินดาน สามารถพบซากดึกดำบรรพ์จำพวกแบรคิโอพอดและไบรโอซัว อยู่ในตำแหน่งพิกัด $15^{\circ}18'55.550''$ เหนือ $100^{\circ}38'33.858''$ ตะวันออก



รูปที่ 1.4 ลักษณะของหินเผล่บริเวณเขาคอก อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์



รูปที่ 1.5 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณ เขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี (สัญลักษณ์ดาว) (Nostra Map, 2012)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ข้อมูลคาร์บอนไอโซโทป และออกซิเจนไอโซโทปของแบรคิโอพอด บริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ และบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี และภูมิภาคศบรพกาลยุคเพอร์เมียน เพื่อนำไปใช้ในการอธิบายธรณีประวัติของพื้นที่

นอกจากนี้ได้ประสบการณ์การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ของตัวนิสิตเอง ได้แก่ การใช้ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และ การใช้เครื่องมือวิเคราะห์ธรณีเคมีและไอโซโทป

1.7 ระเบียบวิธีวิจัย

ก. การเตรียมการ

1. ศึกษาเอกสารและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เลือกพื้นที่ศึกษา กำหนดจุดประสงค์และขอบเขตการศึกษา
3. ศึกษาวิธีการเก็บข้อมูลภาคสนามและจัดเตรียมอุปกรณ์สำหรับออกภาคสนาม

ข. การเก็บข้อมูลภาคสนาม

4. การเก็บข้อมูลภาคสนาม
 - 4.1 เก็บข้อมูลธรณีวิทยา
 - 4.2 เก็บตัวอย่างแบรคิโอพอดและฟอสซิลอื่นๆในพื้นที่
 - 4.3 เก็บตัวอย่างหิน

ค. การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

5. ประมวลผลข้อมูลที่ได้จากภาคสนาม
 - 5.1 ศึกษาแร่องค์ประกอบของแบรคิโอพอดโดย x-ray diffraction
 - 5.2 ศึกษาลักษณะโครงสร้างและการรักษาสภาพของแบรคิโอพอดภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
 - 5.3 ศึกษาคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทปโดยเครื่อง carbonate device และ isotope ratio MS

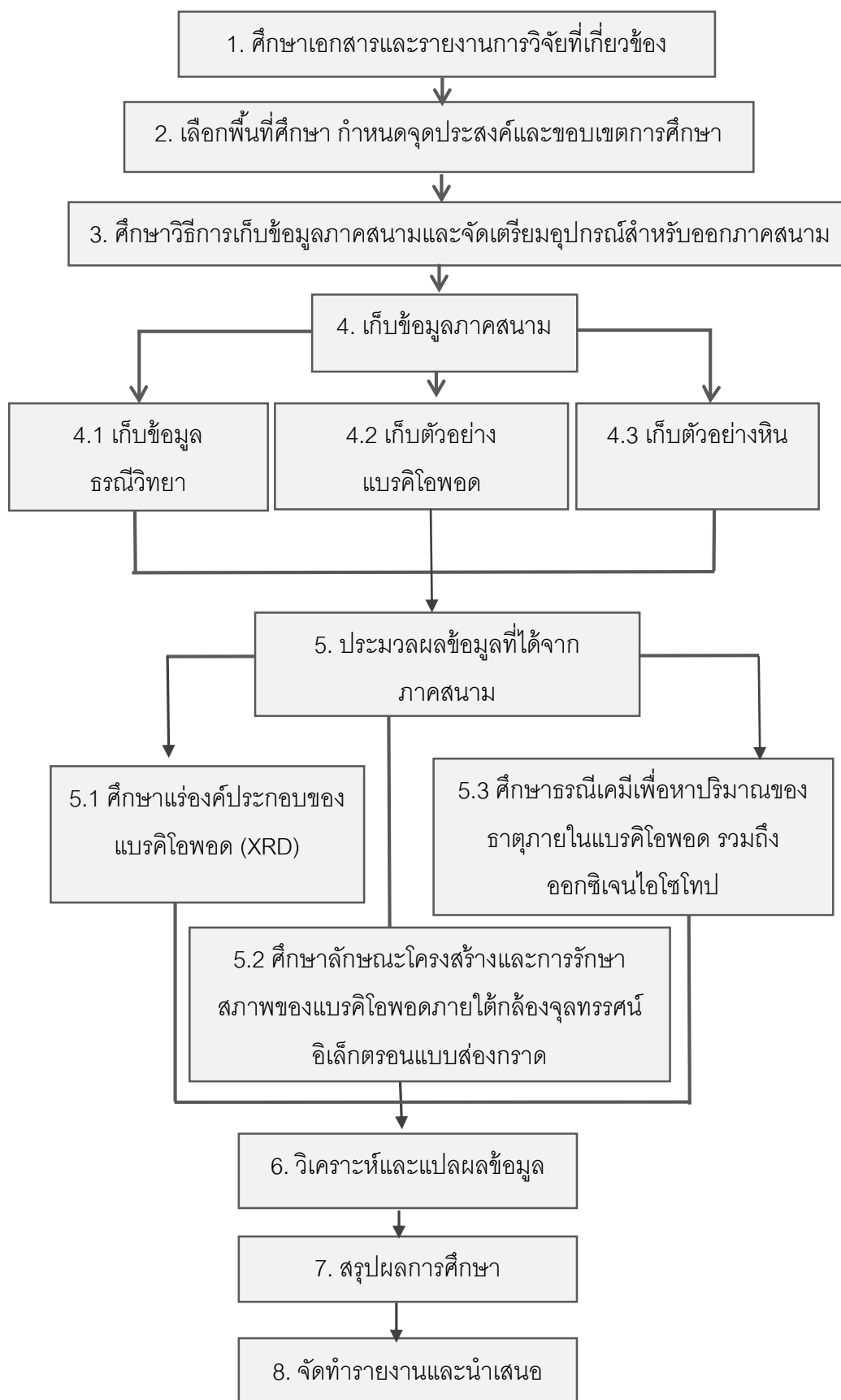
ง. การวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล

6. วิเคราะห์และแปลผลข้อมูล

จ. สรุปผลการศึกษาและนำเสนอ

7. สรุปผลการศึกษา
8. จัดทำรายงานและนำเสนอในรูปแบบสัมมนา

1.8 แผนภาพแสดงขั้นตอนการศึกษา



1.10 การเตรียมตัวอย่าง

จากการเก็บตัวอย่างหินและแบรคิโอพอดทั้ง 2 จุดศึกษา เพื่อนำมาเตรียมตัวอย่างเพื่อการศึกษาคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทป โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดังนี้

1. การเตรียมตัวอย่างแบรคิโอพอดเพื่อศึกษาคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทป

การศึกษาไอโซโทปนั้นมีหลายขั้นตอนด้วยกัน โดยสำหรับการศึกษาไอโซโทปในครั้งนี้มีการเตรียมตัวอย่างดังนี้

1.1 นำตัวอย่างแบรคิโอพอดที่ติดอยู่ในหินออกจากหิน โดยใช้เครื่องตัดหินเพื่อให้หินมีขนาดเล็กลง และใช้ pneumatic pen ซึ่งเป็นปากกาลมแรงดันสูงซึ่งสามารถทำให้หินที่ติดอยู่รอบข้างแบรคิโอพอดหลุดออก

1.2 คัดแยกสายพันธุ์แบรคิโอพอดออกเป็นกลุ่ม โดยศึกษาผ่านลักษณะและรูปร่างที่เป็นเอกลักษณ์ของสายพันธุ์นั้น

1.3 คัดแยกแบรคิโอพอดที่สามารถนำมาศึกษาไอโซโทปได้ โดยตัวอย่างนั้นจะต้องมีขนาดความหนาของเปลือกหอยที่หนาและไม่มีการผูกธรอน หรือแทนที่ด้วยกระบวนการต่างๆ

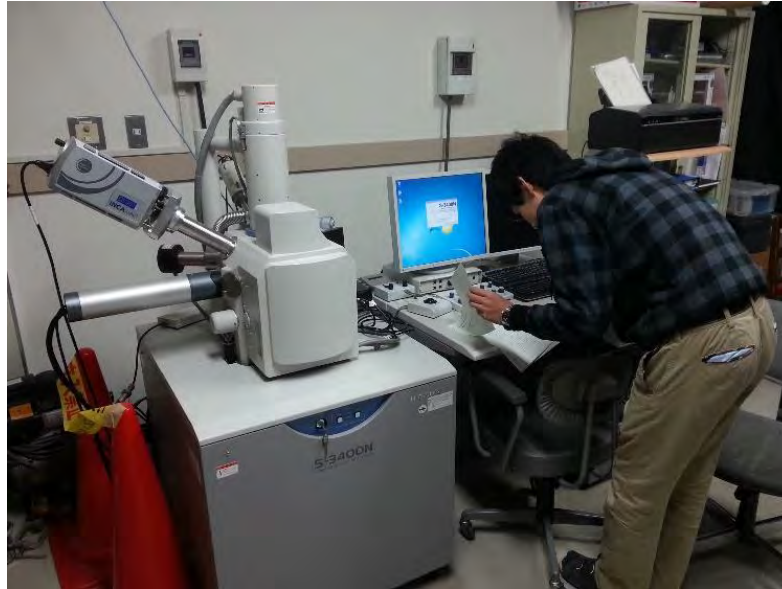
1.4 นำแบรคิโอพอดที่ได้นั้นแบ่งเป็น 2 ส่วน โดยใช้เครื่องตัดหินที่มีใบมีดขนาดเล็กแบ่งกลางตามแนว Ontogenic series) โดยฝาหอยส่วนแรกจะนำไปศึกษาแร่องค์ประกอบของแบรคิโอพอดผ่าน X-ray diffraction (รูปที่ 1.6) และศึกษาโครงสร้างจุลภาคของแบรคิโอพอดภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และอีกส่วนหนึ่งจะนำมาศึกษาคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทป

1.5 การศึกษาแร่องค์ประกอบโดย X-ray diffraction การเตรียมตัวอย่าง XRD นี้ทำได้โดยการเก็บตัวอย่างขนาดเล็ก ในบริเวณเปลือกชั้นที่สอง (secondary layer) แล้วนำมาวิเคราะห์ผ่าน XRD



รูปที่ 1.6 เครื่องวิเคราะห์ x-ray diffraction PHILIPS X'Pert

1.6 การศึกษาโครงสร้างจุลภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (รูปที่ 1.7) สำหรับการเตรียมตัวอย่างนี้ทำได้โดยนำตัวอย่างมาตัดตามแนว Ontogenic series และแนวตั้งฉากกับ Ontogenic series หลังจากนั้นนำมาขัดให้เรียบโดยใช้ผงขัดขนาด #800 และ #2000 ตามลำดับ บนกระจกขัดเพื่อให้หินเรียบเนียน หลังจากนั้นนำตัวอย่างเคลือบทองคำ (Au) (รูปที่ 1.8) ก่อนที่จะนำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



รูปที่ 1.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



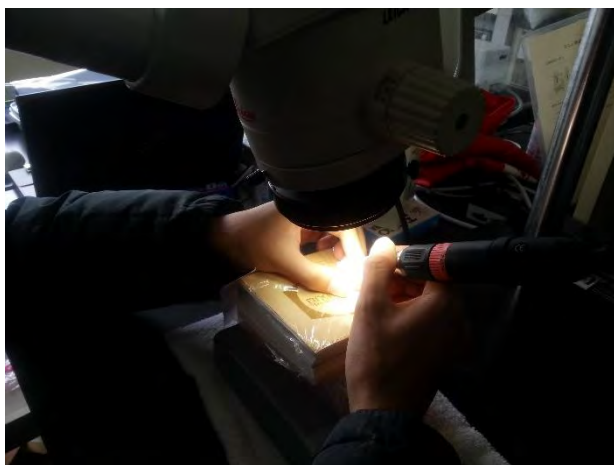
รูปที่ 1.8 เครื่องเคลือบผิวตัวอย่างด้วยทองคำ

1.7 การศึกษาคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทป การศึกษาคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทป เริ่มด้วยเก็บตัวอย่างขนาดเล็กจากแบรคิโอพอด โดยทำการตัดตัวอย่างแบรคิโอพอดตามแกนที่มีอัตราการเจริญเติบโตสูงที่สุด นั้นทำการเก็บตัวอย่างตั้งแต่บริเวณ posterior ไปจนถึง anterior (รูปที่ 1.11) โดยใช้หัวเจาะขนาดเล็ก (รูปที่ 1.9) ในการเก็บตัวอย่าง (รูปที่ 1.10) ตัวอย่างที่ได้มาจะเป็นในรูปแบบผง เมื่อได้ตัวอย่างจากจุดที่สนใจแล้วจะทำการเก็บตัวอย่างเข้าสู่หลอดทดลองขนาดเล็ก เมื่อเตรียมตัวอย่างเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะเข้าสู่กระบวนการหาค่าไอโซโทป โดยนำตัวอย่างในหลอดทดลองเรานั้นเข้าเครื่อง carbonate device ซึ่งเป็นเครื่องที่เปลี่ยนตัวอย่างของเราคือ

คาร์บอนเนต (CaCO_3) ที่อยู่ในลักษณะผง เป็นตัวอย่างในรูปแบบของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เมื่อตัวอย่างเราอยู่ในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์นั้นแล้ว ตัวอย่างจะถูกส่งไปยังเครื่อง isotope ratio MS เพื่อได้มาซึ่งค่าคาร์บอนไอโซโทป และ ออกซิเจนไอโซโทป



รูปที่ 1.9 ปากกาสว่านเก็บตัวอย่างโดยจะมีหัวเจาะเพชรบริเวณด้านปลายปากกา



รูปที่ 1.10 วิธีการเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 1.11 ลักษณะการเก็บตัวอย่างตามลำดับ growth line



รูปที่ 1.12 เครื่อง carbonate device และ isotope ratio MS

บทที่ 2

ผลการศึกษาและการแปลความหมายข้อมูล

2.1 ตัวอย่างแบรคิโอพอดจากจุดศึกษา

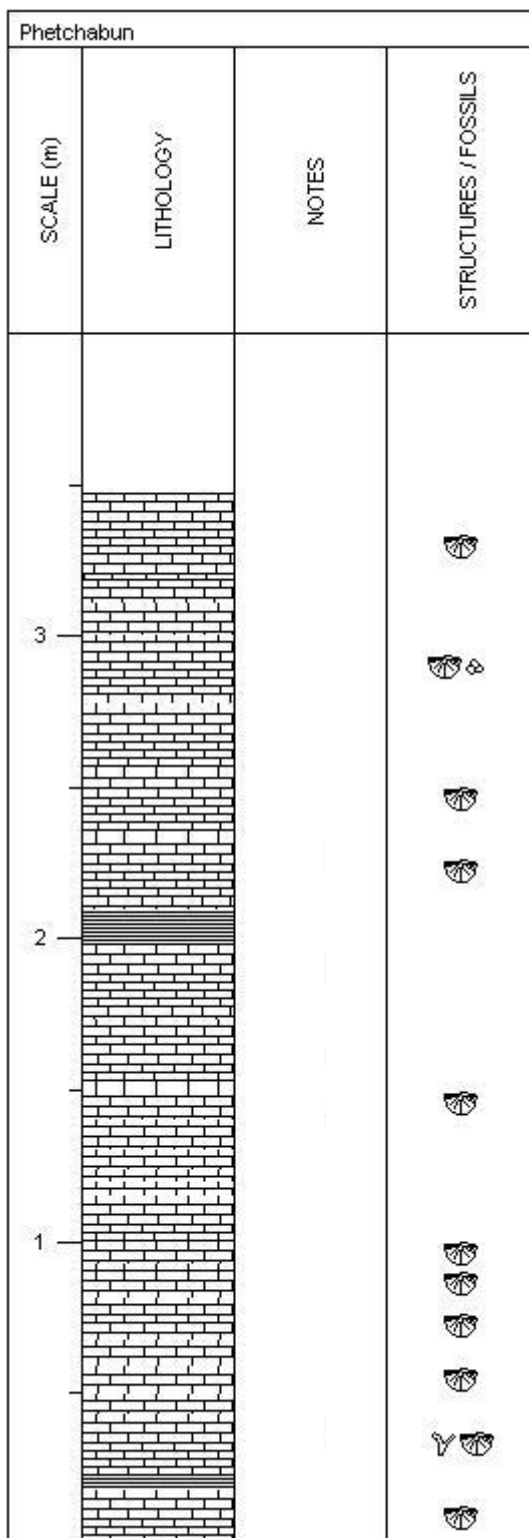
จากการออกสำรวจภาคสนามในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาทั้งหมด 2 จุดศึกษาโดยเก็บตัวอย่างจากบริเวณ

2.1.1 บริเวณสำนักสงฆ์พระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์

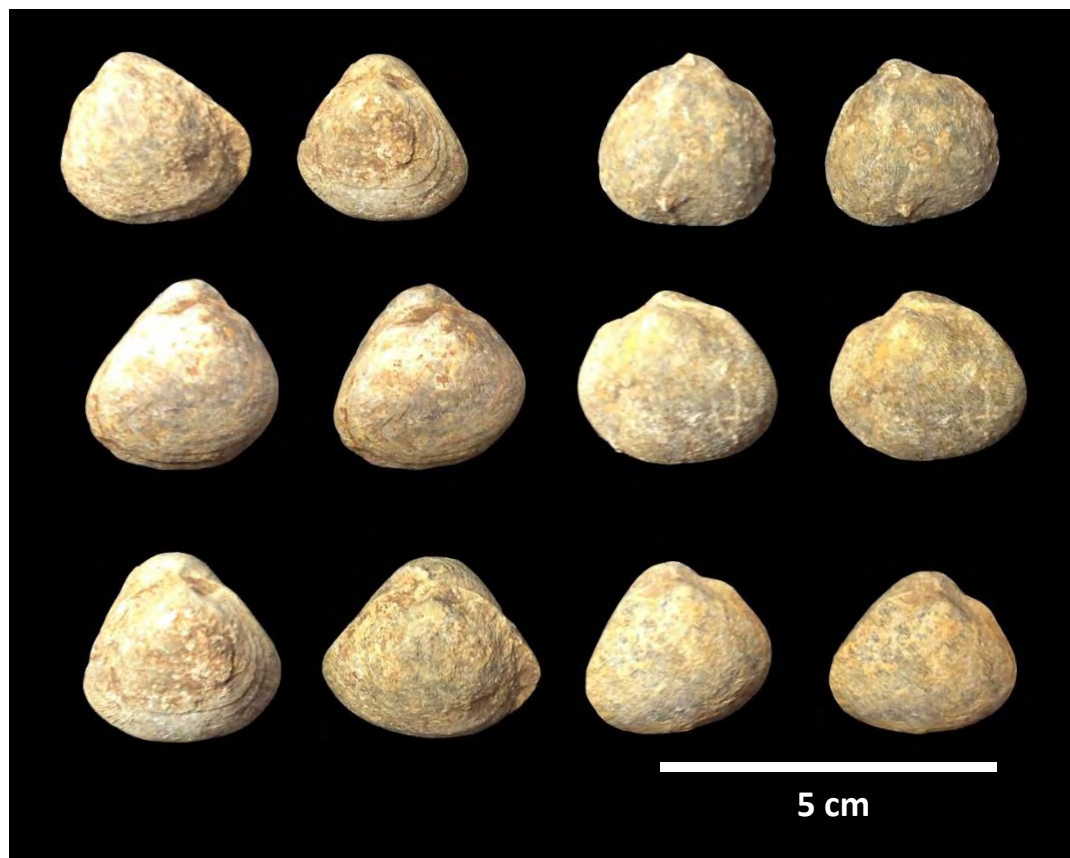
สายพันธุ์แบรคิโอพอดบริเวณสำนักสงฆ์พระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ ประกอบด้วย 8 สายพันธุ์ ดังตารางที่ 2.1 ได้แก่ *Acosarina* sp., *Composita* sp., *Orthothena phetchabunensis*, *Linoproductus* sp. A, *Linoproductus* sp. B, *Hustedia* sp., *Tyloplecta yangtzeensis* จากลักษณะลำดับชั้นหินของจุดศึกษาประกอบด้วยหินปูน แทรกสลับกับหินดินดาน ดังรูป 2.1

ตาราง 2.1 ชนิดของแบรคิโอพอดบริเวณสำนักสงฆ์พระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์

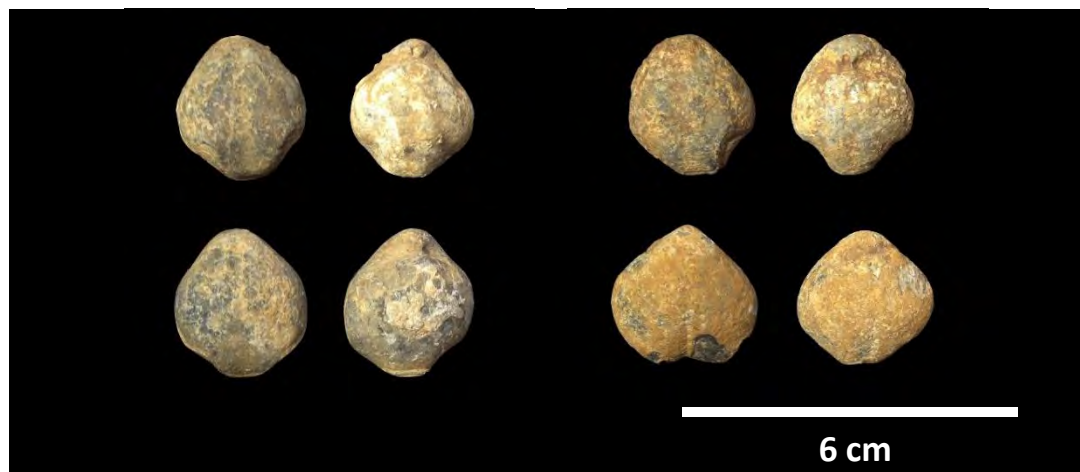
กลุ่ม	ชนิด	สัญลักษณ์กำกับตัวอย่างหิน
1	<i>Acosarina</i> sp.	PPT-1A, PPT-1B, PPT-1C, PPT-1D, PPT-1E, PPT-1F
2	<i>Composita</i> sp.	PPT-2A, PPT-2B, PPT-2C, PPT-2D
3	<i>Orthothena phetchabunensis</i>	PPT-3A, PPT-3B, PPT-3C
4	<i>Linoproductus</i> sp. A	PPT-4A
5	<i>Hustedia</i> sp.	PPT-5A, PPT-5B, PPT-5C
6	<i>Paraplicatifera thaica</i>	PPT-6
7	<i>Linoproductus</i> sp. B	PPT-7A, PPT-7B, PPT-7C, PPT-7D, PPT-7E, PPT-7F
8	<i>Tyloplecta yangtzeensis</i>	PPT-8



รูปที่ 2.1 ลำดับชั้นหินของจุดศึกษาสำนักสงฆ์พระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแบริคิโอพอด หมายเลข PPT-1 สายพันธุ์ *Acosarina* sp.



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแบริคิโอพอด หมายเลข PPT-2 สายพันธุ์ *Composita* sp.



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแบริคิโอพอด หมายเลข PPT-3 สายพันธุ์ *Orthothenina phetchabunensis*



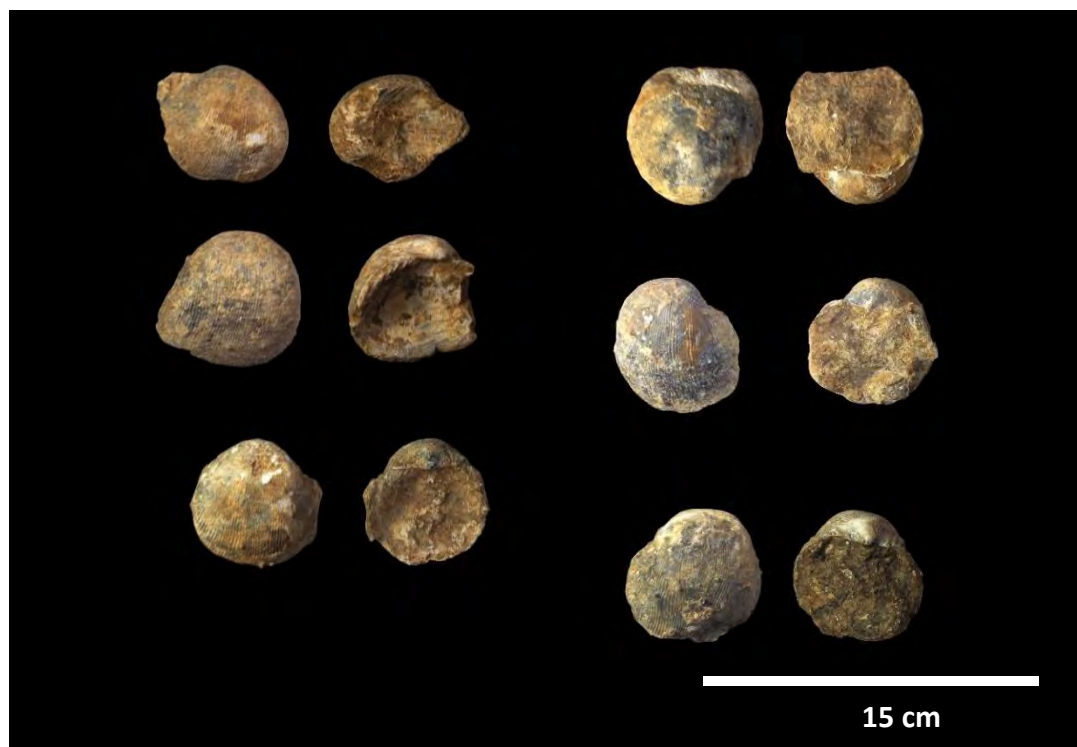
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแบรคิโอพอด หมายเลข PPT-4 สายพันธุ์ *Linoproductus* sp. A



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแบรคิโอพอด หมายเลข PPT-5 สายพันธุ์ *Hustedia* sp.



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างแบริคิโอพอด หมายเลข PPT-7 สายพันธุ์ *Paraplicatifera thaica*



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างแบริคิโอพอด หมายเลข PPT-7 สายพันธุ์ *Linoproductus sp. B*



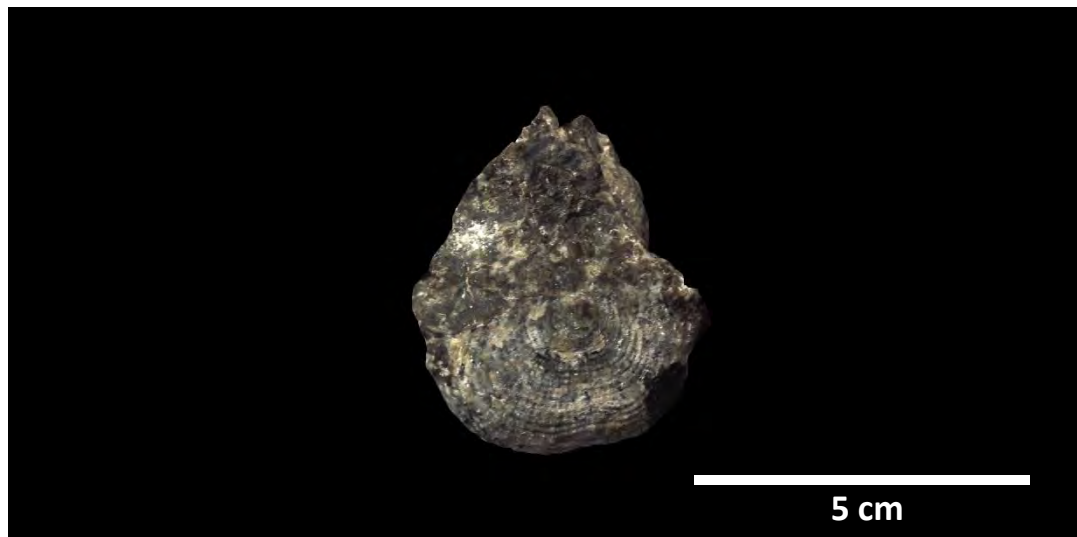
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างแบรคิโอพอด หมายเลข PPT-8 สายพันธุ์ *Tyloplecta yangtzeensis*

2.1.2 บริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี

สายพันธุ์แบรคิโอพอดบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี ประกอบด้วย 1 สายพันธุ์ ดังตารางที่ 2.2 ได้แก่ *Liraplecta* sp.

ตาราง 2.2 แสดงตัวอย่างแบรคิโอพอด จากจุดศึกษาที่ 2 บริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี

กลุ่ม	ชนิด	สัญลักษณ์กำกับตัวอย่างหิน
1	<i>Liraplecta</i> sp.	LOP-1
2	<i>Liraplecta</i> sp.	LOP-2



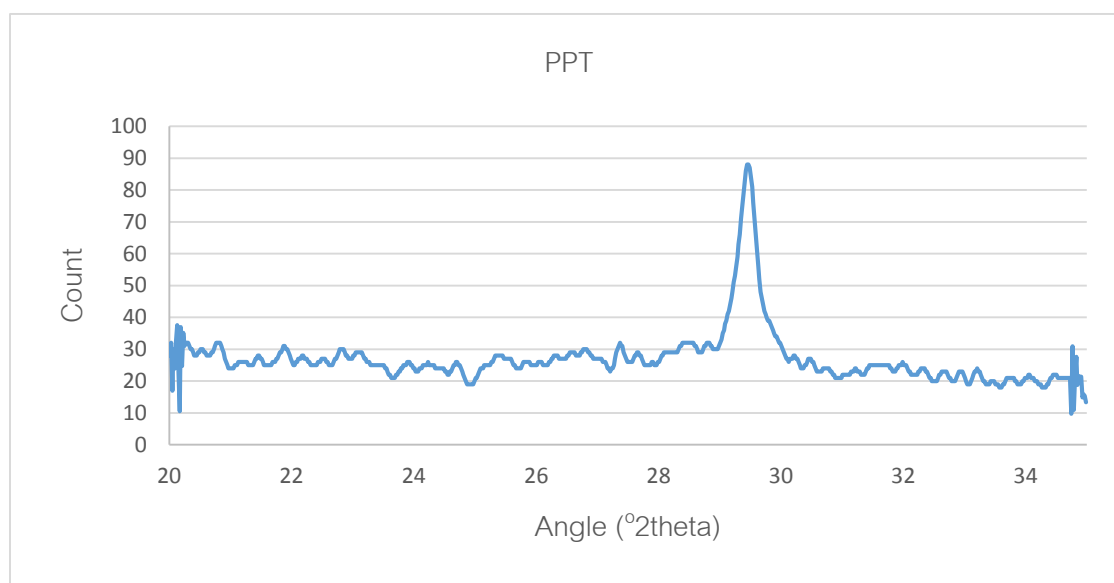
รูปที่ 2.10 ตัวอย่างแบรคิโอพอด หมายเลข LOP-1 สายพันธุ์ *Liraplecta* sp.



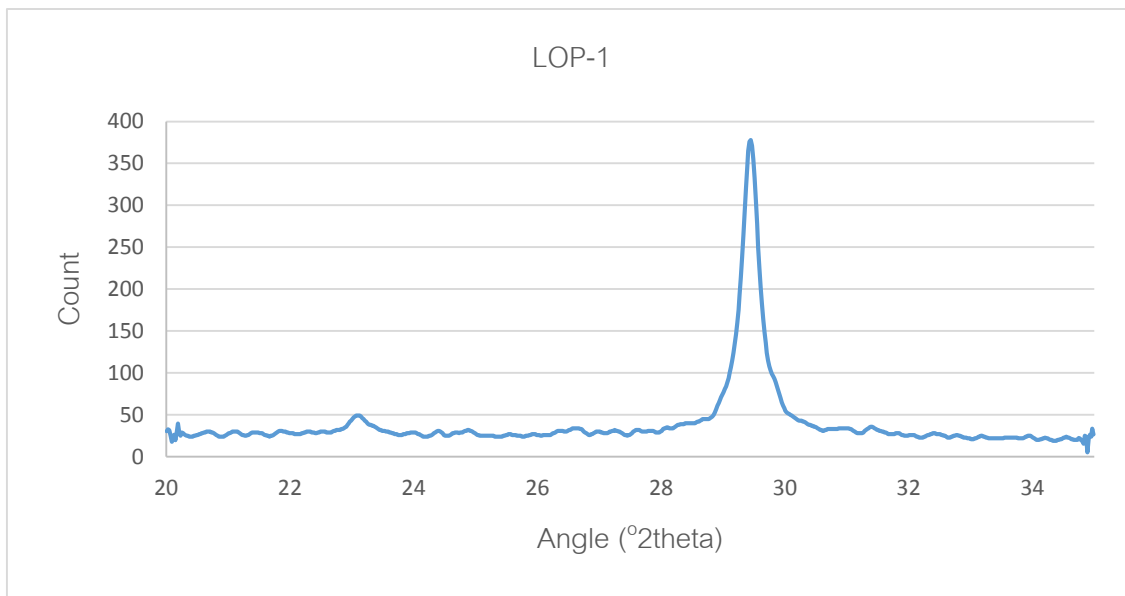
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างแบรคิโอพอด หมายเลข LOP-2 สายพันธุ์ *Liraplecta* sp.

2.2 ผลการศึกษาแร่องค์ประกอบของแบรคิโอพอด

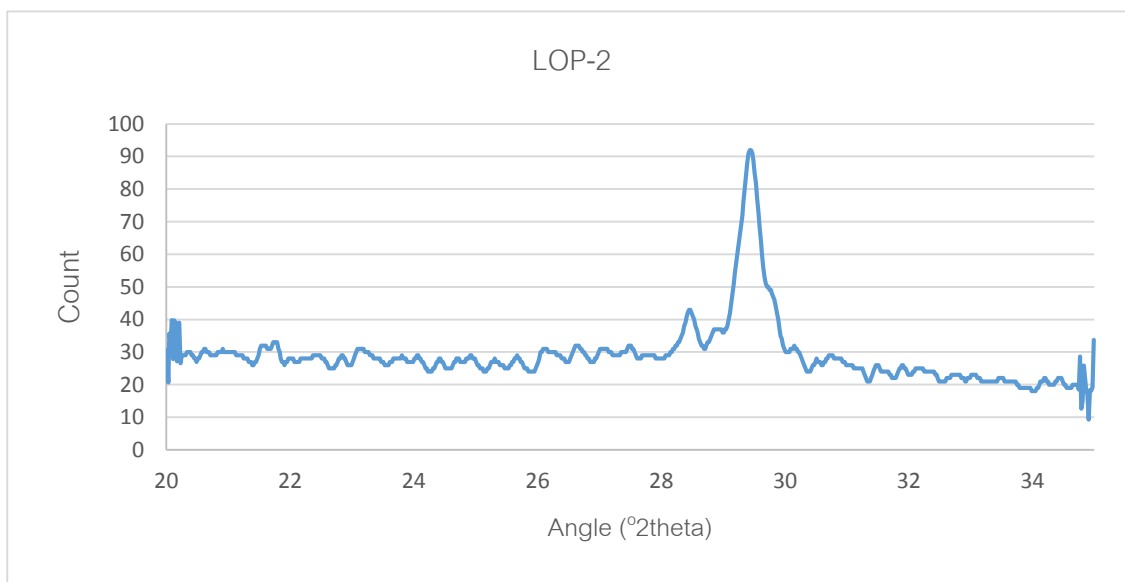
การศึกษาแร่องค์ประกอบของแบรคิโอพอดเพื่อหาแร่แคลไซต์ ด้วยเครื่อง XRD (X-ray diffraction spectrometer) เพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ว่าแบรคิโอพอดที่ทำการศึกษา นั้น แร่องค์ประกอบควรจะเป็นแร่แคลไซต์ ไม่ใช่แร่อื่นที่เกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงตามเวลาทางธรณี (รูปที่ 2.12 ถึง 2.14) ซึ่งได้ผลดังนี้



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างบริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ (PPT) แสดงให้เห็นว่ามุมที่ 29.5 องศา มีค่า count สูงกว่าปกติซึ่งสรุปได้ว่าเป็นแร่แคลไซต์



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี (LOP-1) แสดงให้เห็นว่ามุมที่ 29.5 องศา มีค่า count สูงกว่าปกติซึ่งสรุปได้ว่าเป็นแร่แคลไซต์



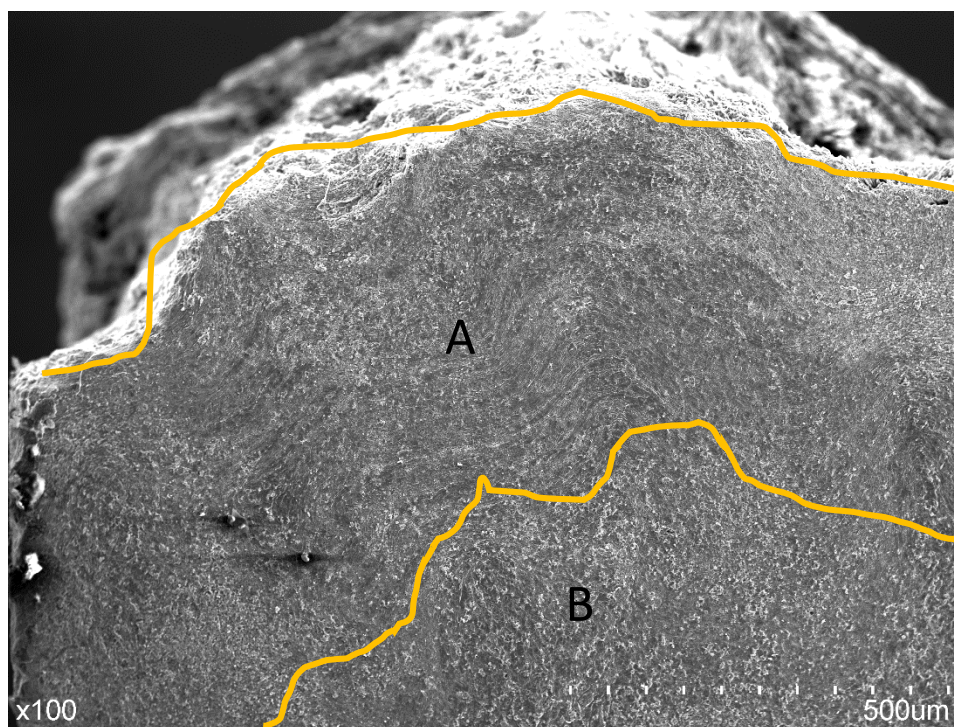
รูปที่ 2.14 กราฟแสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี (LOP-2) แสดงให้เห็นว่ามุมที่ 29.5 องศา มีค่า count สูงกว่าปกติซึ่งสรุปได้ว่าเป็นแร่แคลไซต์

2.3 ผลการศึกษาโครงสร้างจุลภาคภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

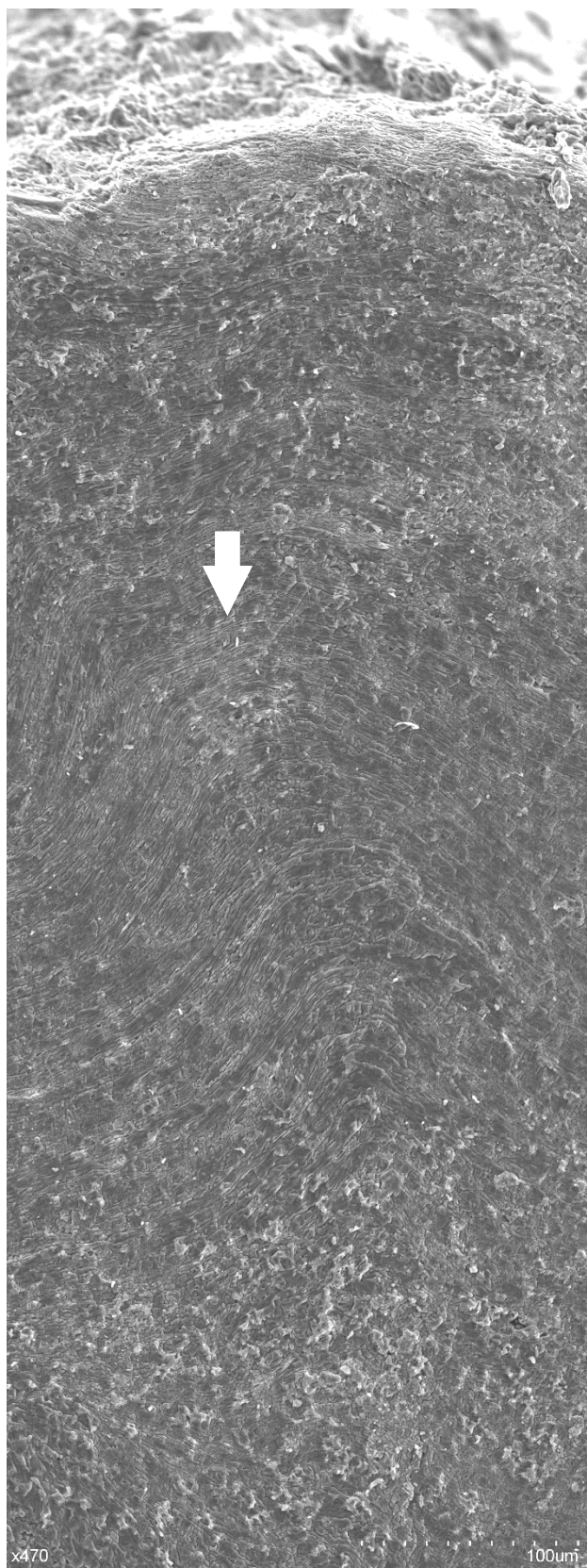
การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของแบรคิโอพอดนี้มีเพื่อศึกษาการคงอยู่ของแร่เดิม ในขณะที่แบรคิโอพอดนำออกซิเจนมาสร้างเปลือก เพื่อเป็นการยืนยันว่าตัวอย่างที่นำมาศึกษานั้นไม่ได้ผ่านกระบวนการแปรสภาพ

2.3.1 บริเวณพื้นที่สำนักสงฆ์ภูพระธาตุ จังหวัดเพชรบูรณ์ (PPT)

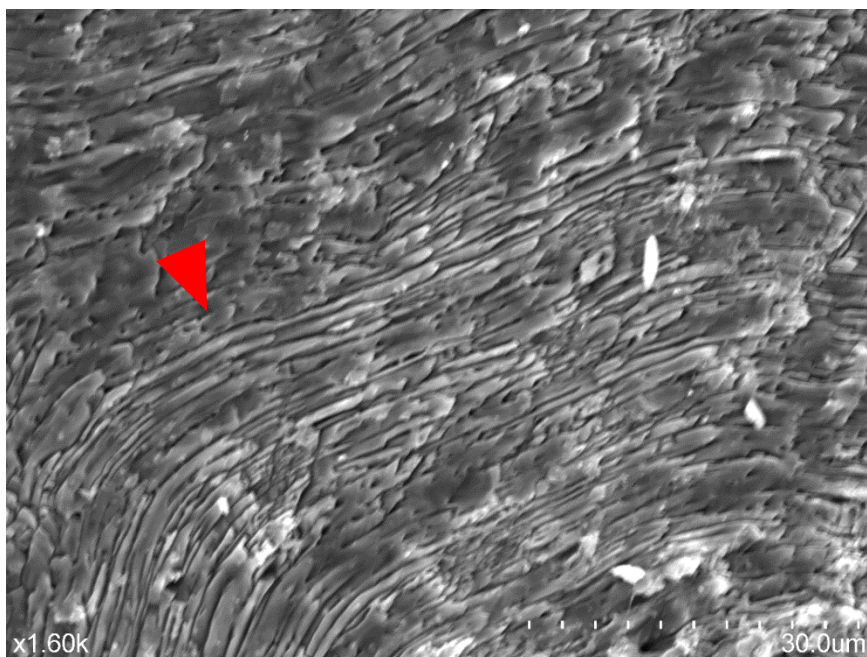
ตัวอย่างแบรคิโอพอดบริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ จังหวัดเพชรบูรณ์ จากตัวอย่างที่ PPT แสดงให้เห็นโครงสร้างจุลภาคของแบรคิโอพอด จากการสังเกตทราบได้ว่าตัวอย่างนี้มีการคงสภาพของผลึกแร่ให้เห็นอย่างชัดเจน มีรูวลึ้นของผลึกแคลไซต์ขนานไปตามลักษณะของเปลือก ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใย (fibrous) อย่างไรก็ตามสามารถสังเกตเห็น microdissolution vug ในบางบริเวณ เมื่อทำการศึกษาในกำลังขยายสูง ทำให้ทราบได้ว่าร่องค้ำประกอบของตัวอย่างนี้ไม่ได้ถูกแปรสภาพไปเป็นแร่อื่น หรือมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก



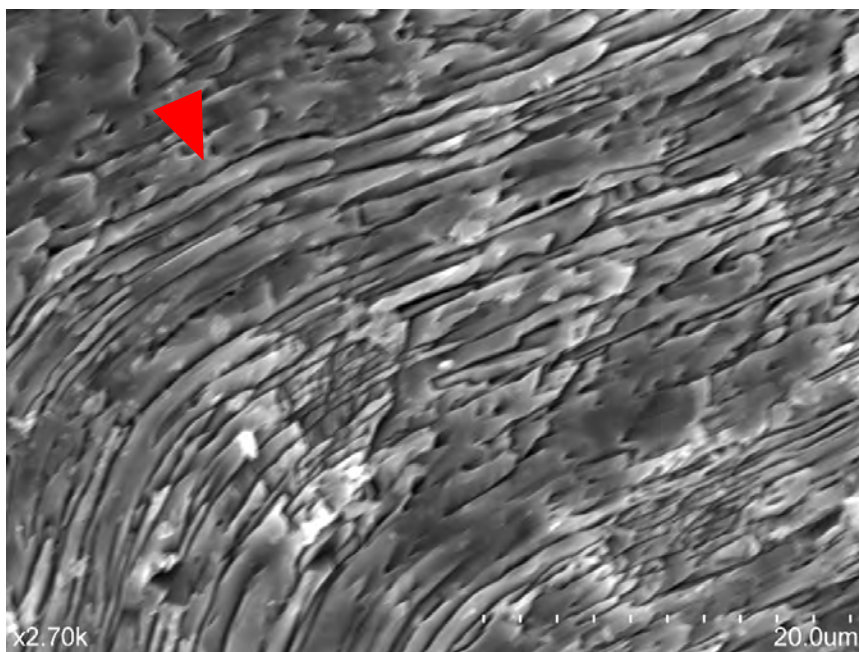
รูปที่ 2.15 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด PPT ด้าน transverse section กำลังขยาย 100 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน เส้นสีเหลืองแสดงเปลือกหอย และผลึกแร่เรียงตัวเป็นลักษณะเส้นใย โดย A คือเปลือกหอย และ B คือเนื้อหิน



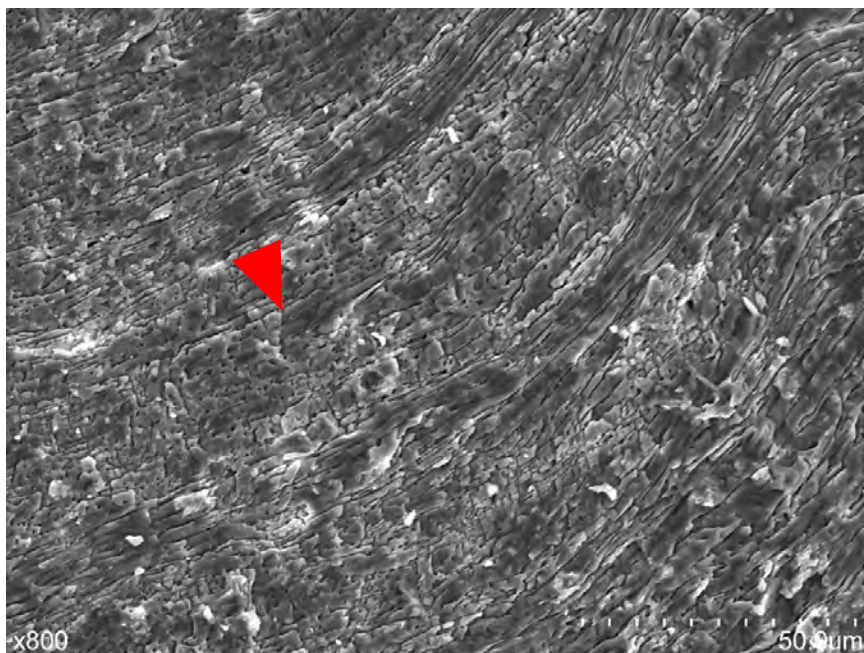
รูปที่ 2.16 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด PPT ด้าน transverse section กำลังขยาย 470 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์เรียงตัวเป็นลักษณะเส้นใย ตัวอย่างถูกศร



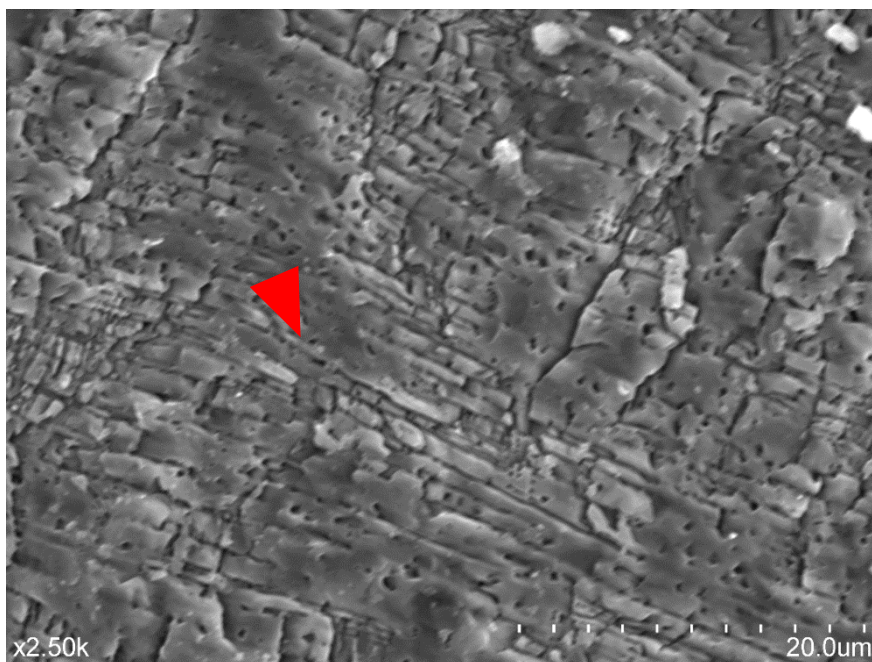
รูปที่ 2.17 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด PPT ด้าน transverse section กำลังขยาย 1,600 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน ตัวอย่างสุกคร



รูปที่ 2.18 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด PPT ด้าน transverse section กำลังขยาย 2,700 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน ตัวอย่างสุกคร



รูปที่ 2.19 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด PPT ด้าน transverse section กำลังขยาย 800 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน ตัวอย่างลูกศร



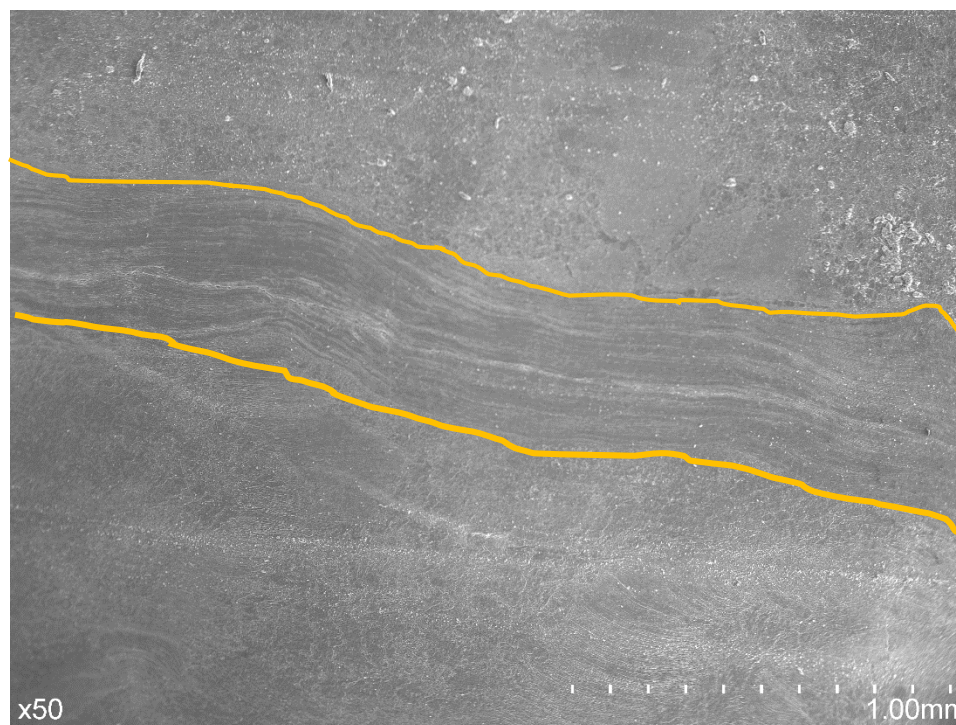
รูปที่ 2.20 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด PPT ด้าน transverse section กำลังขยาย 2,500 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจนตัวอย่างลูกศร

2.3.2 บริเวณพื้นที่เขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี (LOP)

พื้นที่บริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี ได้ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคภายใต้เครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งกราด จำนวน 2 ตัวอย่างด้วยกันได้แก่ LOP-1 และ LOP-2

2.3.2.1 ตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-1

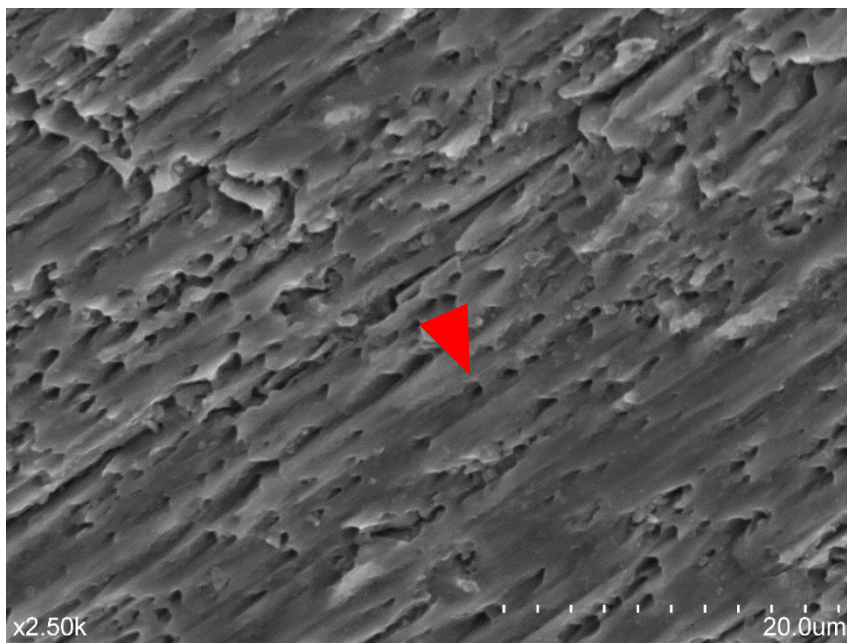
ตัวอย่างแบรคิโอพอดบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี จากตัวอย่างที่ LOP-1 แสดงให้เห็นโครงสร้างจุลภาค (microstructure) ของแบรคิโอพอด จากการสังเกตทราบได้ว่าตัวอย่างนี้มีการคงสภาพของผลึกแร่ให้เห็นอย่างชัดเจน มีรูคลื่นของผลึกแคลไซต์ขนานไปตามลักษณะของเปลือก ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้น (fibrous) อย่างไรก็ตามสามารถสังเกตเห็น microdissolution vug และเห็นการละลายบางส่วนซึ่งแสดงให้เห็นเป็นลักษณะชั้นๆ แทรกสลับกับชั้นที่ไม่ได้ถูกแปรสภาพในบางบริเวณ เมื่อทำการศึกษาในกำลังขยายสูง ทำให้ทราบได้ว่าแร่องค์ประกอบของตัวอย่างนี้ถูกแปรสภาพไปบางส่วน



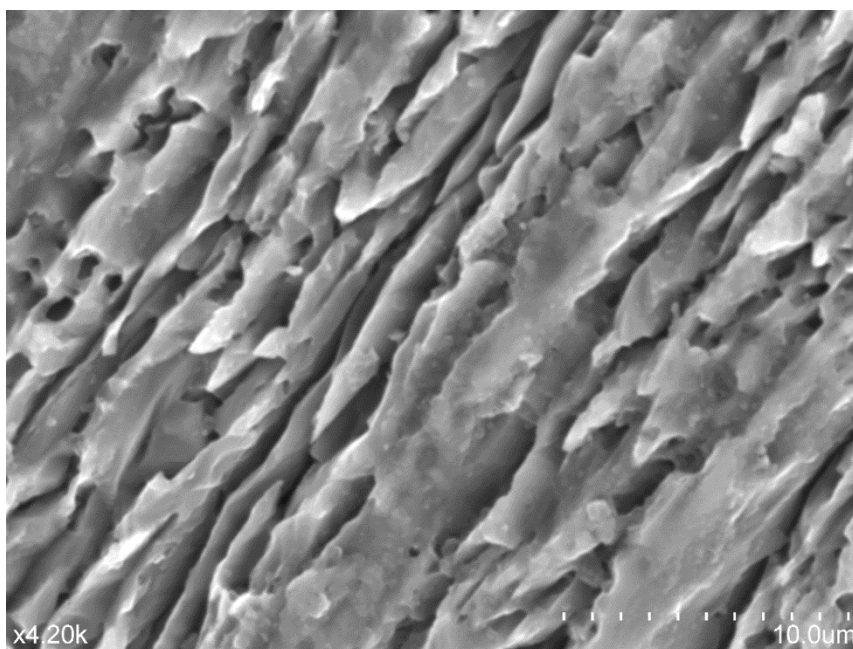
รูปที่ 2.21 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-1 ด้าน longitudinal section กำลังขยาย 50 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน เส้นสีเหลืองแสดงเปลือกหอย และผลึกแร่เรียงตัวเป็นลักษณะเส้นใย



รูปที่ 2.22 ภาพตัวอย่าง
แบคทีเรียพอด LOP-1 ด้าน
longitudial section กำลังขยาย
50 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือก
ของแบคทีเรียพอดที่แสดงผลึก
แคลไซต์ที่ชัดเจน



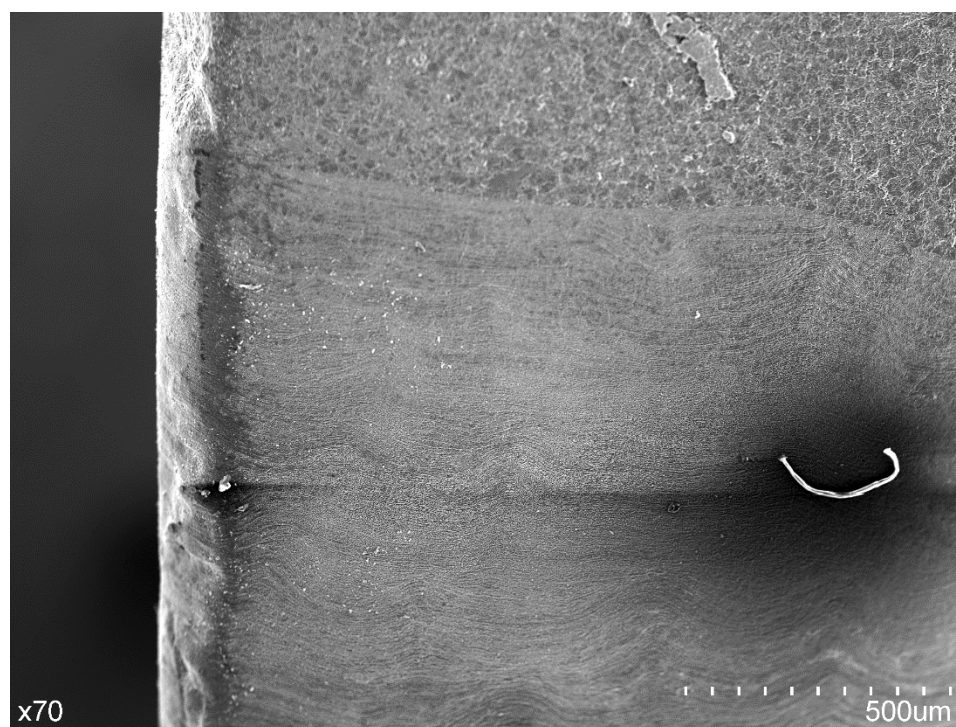
รูปที่ 2.23 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-1 ด้าน longitudinal section กำลังขยาย 2,500 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน และแสดง microdissolution vug (บริเวณลูกศร) ทั่วทั้งบริเวณ



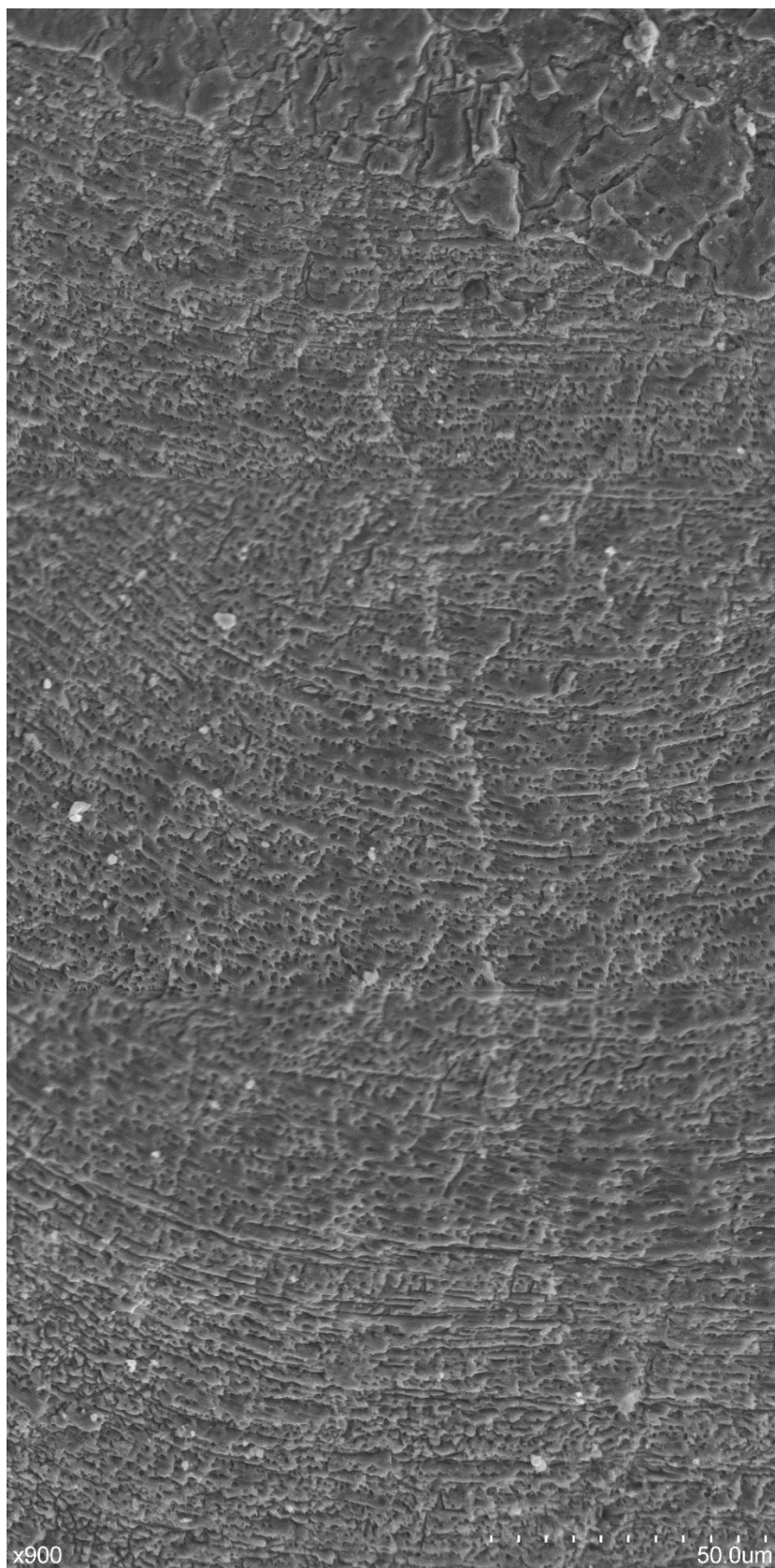
รูปที่ 2.24 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-1 ด้าน longitudinal section กำลังขยาย 50 เท่าแสดงให้เห็นผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน

2.3.2.2 ตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-2

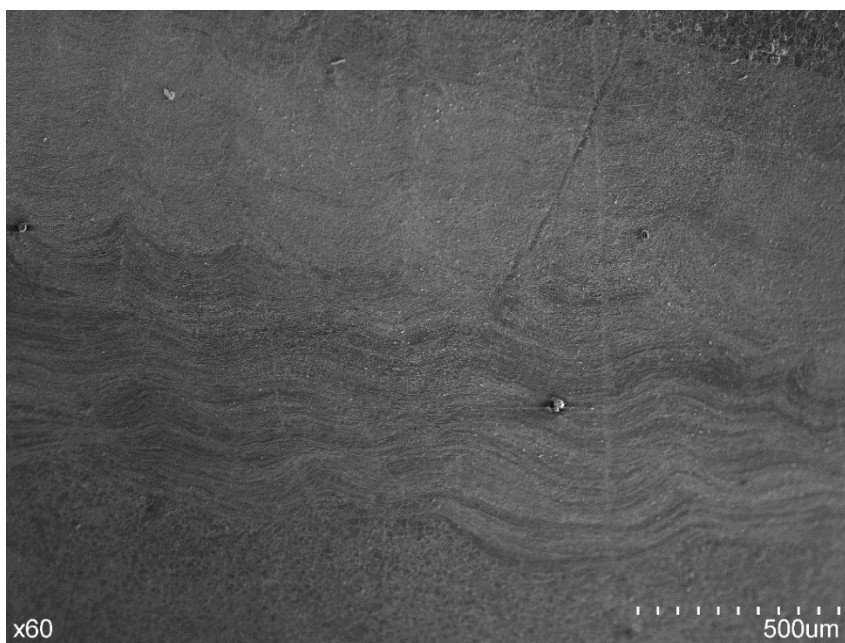
ตัวอย่างแบรคิโอพอดบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี จากตัวอย่างที่ LOP-2 จากรูปที่ 2.25-28 แสดงให้เห็นโครงสร้างจุลภาค (microstructure) ของแบรคิโอพอด จากการสังเกตทราบได้ว่าตัวอย่างนี้มีการคงสภาพของผลึกแร่ให้เห็นอย่างชัดเจน มีรูคลื่นของผลึกแคลไซต์ขนานไปตามลักษณะของเปลือก ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้น (fibrous) อย่างไรก็ตามสามารถสังเกตเห็น microdissolution vug และเห็นการละลายบางส่วนซึ่งแสดงให้เห็นเป็นลักษณะชั้นๆ แทรกสลับกับชั้นที่ไม่ได้ถูกแปรสภาพในบางบริเวณ เมื่อทำการศึกษาในกำลังขยายสูง ทำให้ทราบได้ว่าแอ่งคัพระกอบของตัวอย่างนี้ถูกแปรสภาพไปบางส่วน



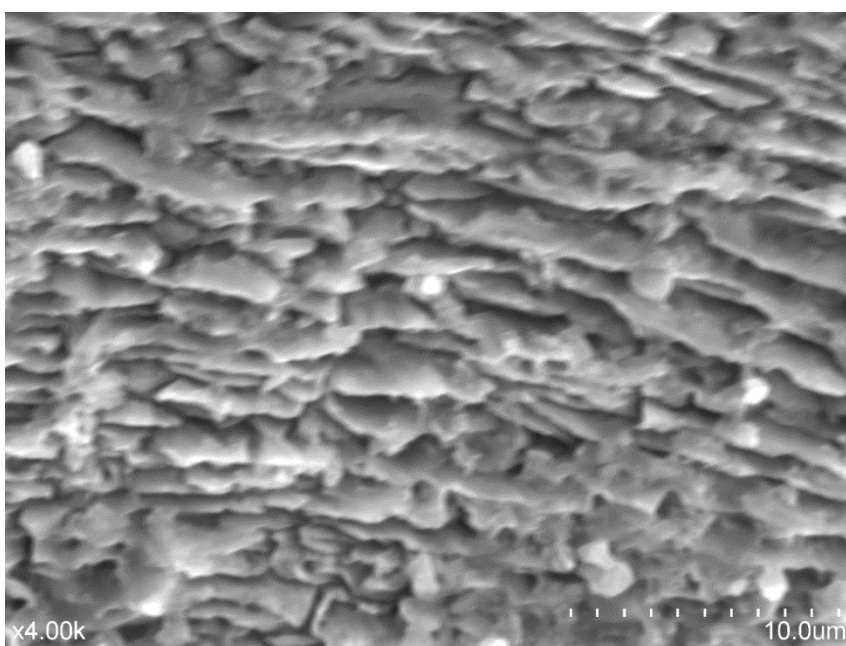
รูปที่ 2.25 ภาพตัวอย่างแบรคิโอพอด LOP-2 ด้าน transverse section กำลังขยาย 70 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน



รูปที่ 2.26 ภาพตัวอย่าง
แบรคิโอพอด LOP-2
ด้าน transverse
section กำลังขยาย 900
เท่าแสดงให้เห็นชั้น
เปลือกของแบรคิโอพอด
ที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่
ชัดเจน



รูปที่ 2.27 ภาพตัวอย่างแบเรคิโอพอด LOP-2 ด้าน transverse section กำลังขยาย 60 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบเรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน



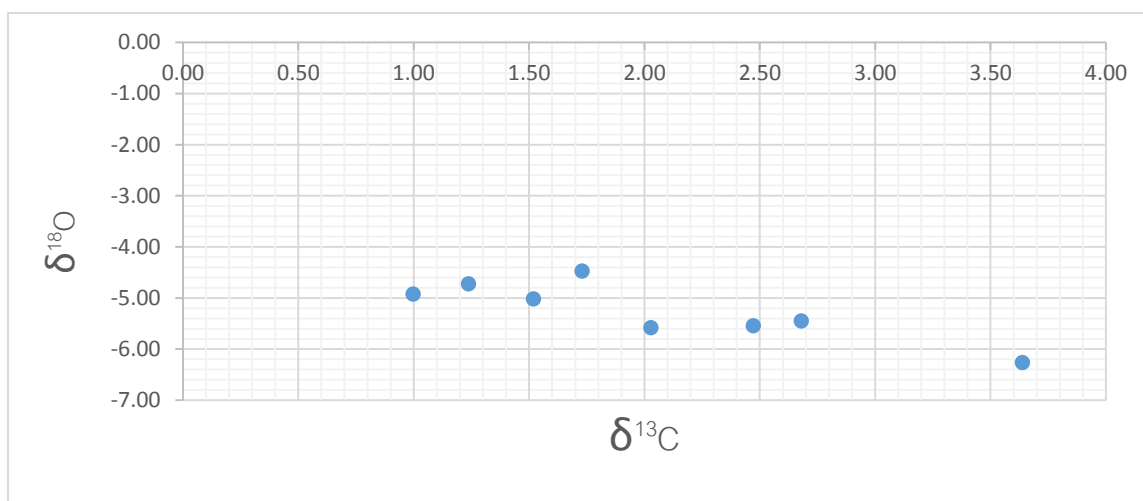
รูปที่ 2.28 ภาพตัวอย่างแบเรคิโอพอด LOP-2 ด้าน transverse section กำลังขยาย 4,000 เท่าแสดงให้เห็นชั้นเปลือกของแบเรคิโอพอดที่แสดงผลึกแคลไซต์ที่ชัดเจน

2.4 ผลการศึกษาคาร์บอนไอโซโทป ($\delta^{13}\text{C}$) และออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$)

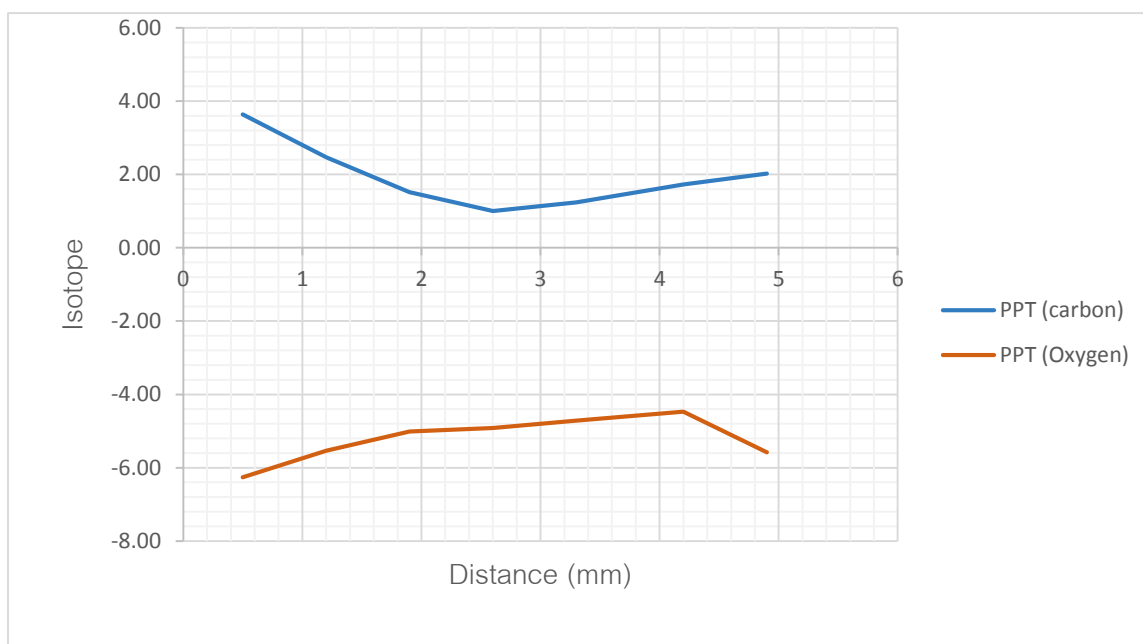
2.4.1 ผลการศึกษาคาร์บอนไอโซโทป ($\delta^{13}\text{C}$) และออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) บริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์

2.4.1.1 ตัวอย่าง PPT

คาร์บอนไอโซโทป ($\delta^{13}\text{C}$) ของตัวอย่างมีค่าตั้งแต่ 1.00 ‰ VPDB ถึง 3.64 ‰ VPDB และออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) มีค่าตั้งแต่ -6.26 ‰ VPDB ถึง -4.47 ‰ VPDB



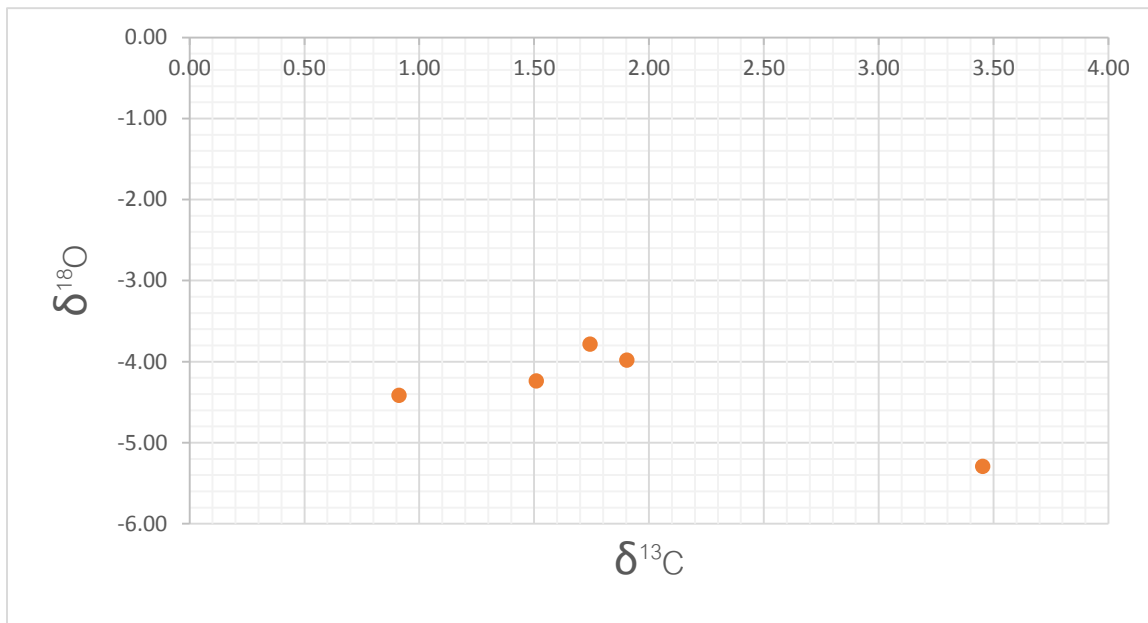
รูปที่ 2.29 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง PPT



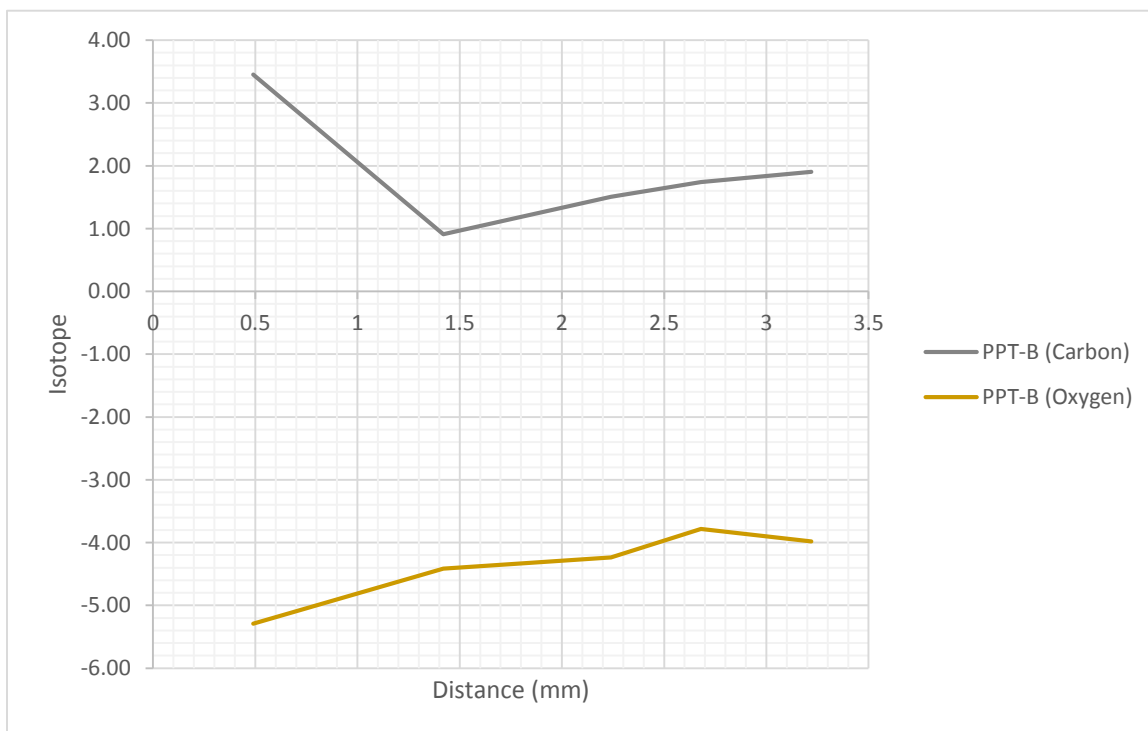
รูปที่ 2.30 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง PPT ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง

2.4.1.2 ตัวอย่าง PPT-B

คาร์บอนไอโซโทป ($\delta^{13}\text{C}$) ของตัวอย่างมีค่าตั้งแต่ 0.91 ‰ VPDB ถึง 3.643.45 ‰ VPDB และออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) มีค่าตั้งแต่ -5.29 ‰ VPDB ถึง -3.78 ‰ VPDB



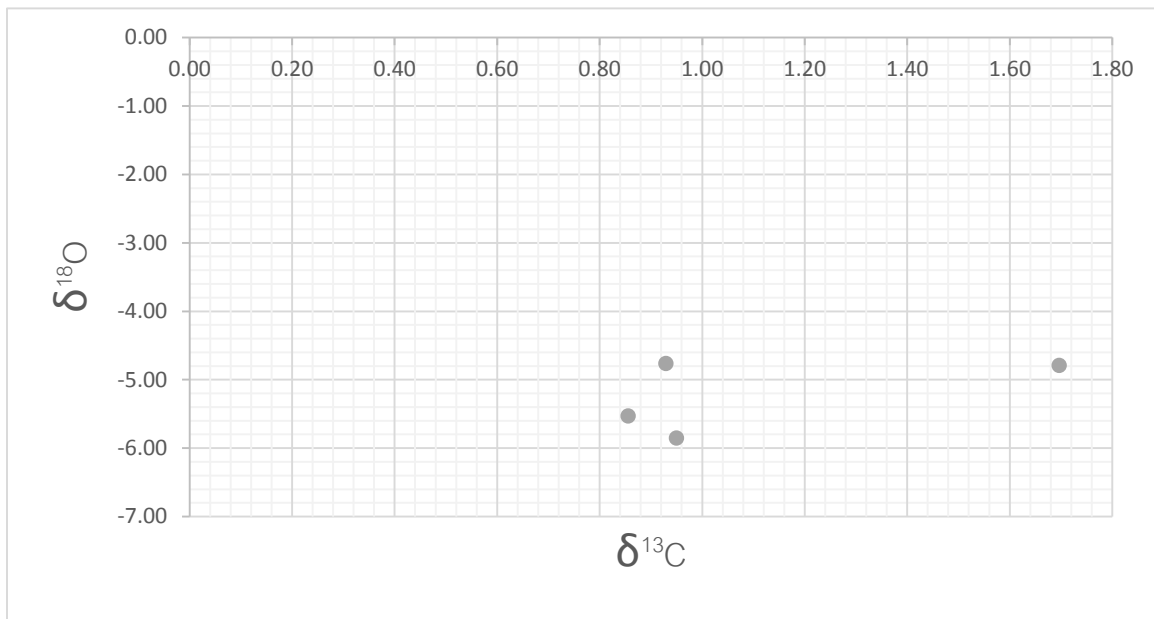
รูปที่ 2.31 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง PPT-B



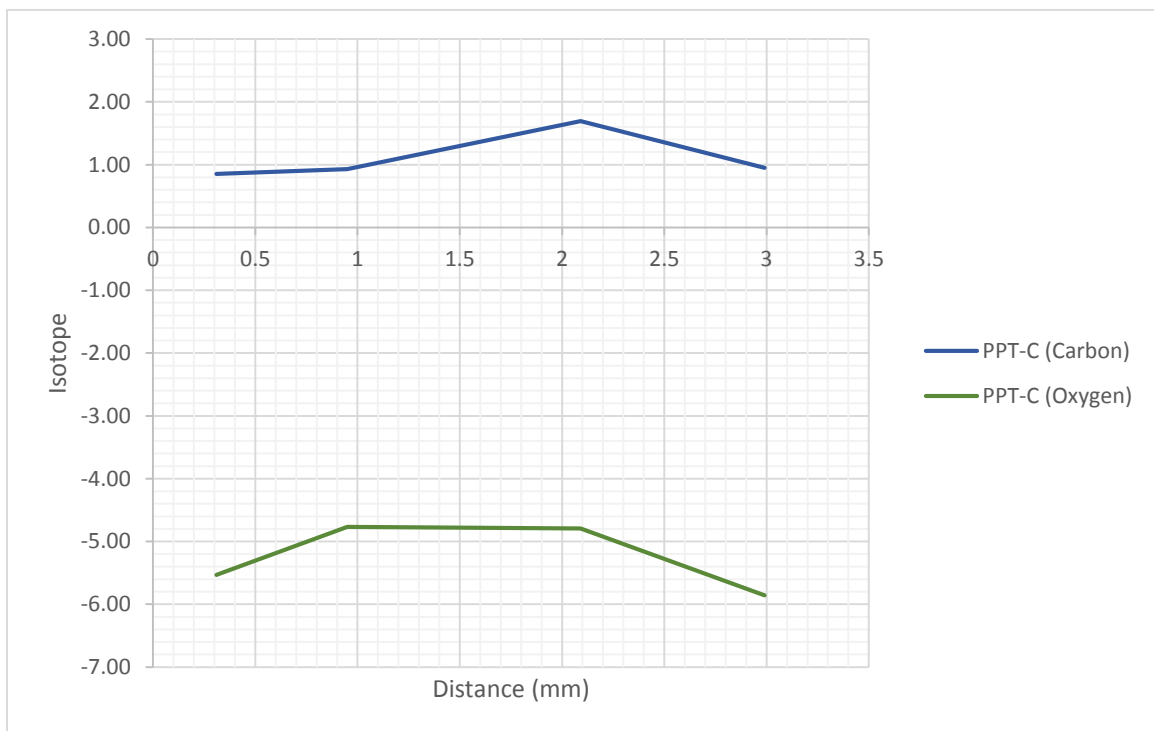
รูปที่ 2.32 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง PPT-B ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง

2.4.1.3 ตัวอย่าง PPT-C

คาร์บอนไอโซโทป ($\delta^{13}\text{C}$) ของตัวอย่างมีค่าตั้งแต่ 0.86 ‰ VPDB ถึง 1.70 ‰ VPDB และ ออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) มีค่าตั้งแต่ -5.86 ‰ VPDB ถึง -4.77 ‰ VPDB



รูปที่ 2.33 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง PPT-C

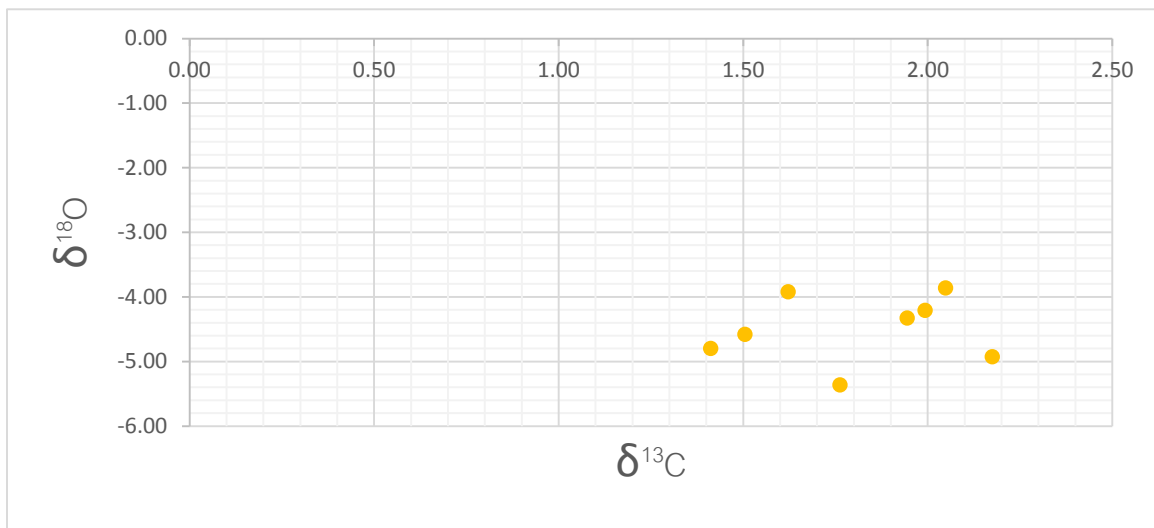


รูปที่ 2.34 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง PPT-C ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง

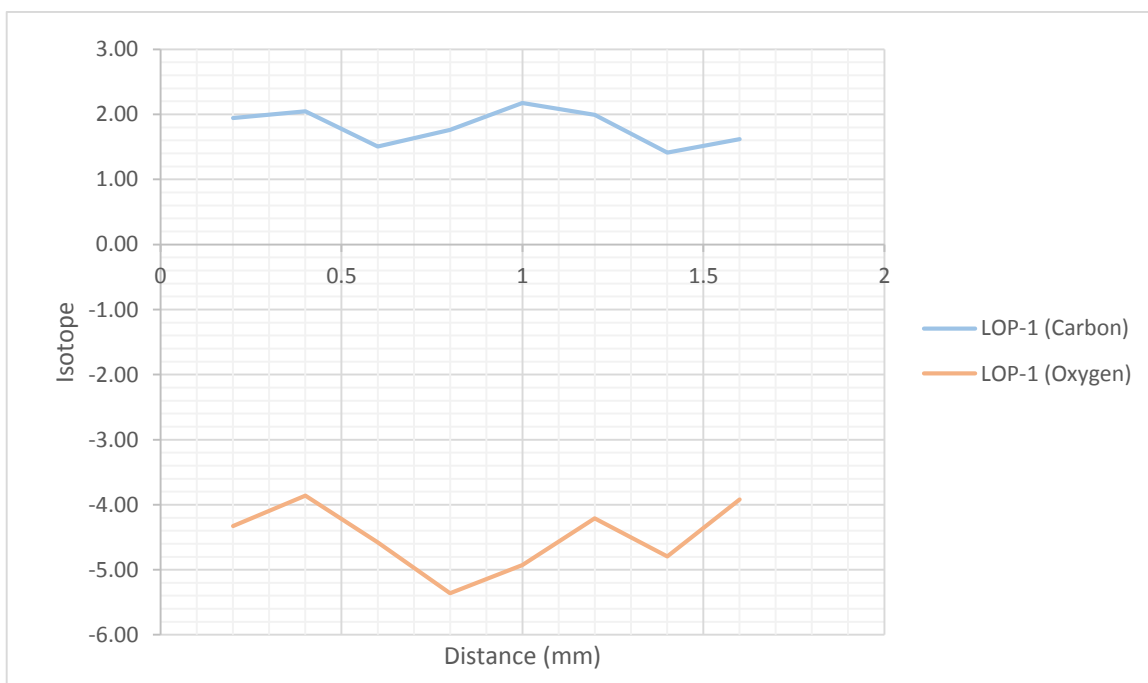
2.4.2 ผลการศึกษาคาร์บอนไอโซโทป ($\delta^{13}\text{C}$) และออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) บริเวณเขาคอก อำเภอนางรอง จังหวัดลพบุรี

2.4.2.1 ตัวอย่าง LOP-1

คาร์บอนไอโซโทป ($\delta^{13}\text{C}$) ของตัวอย่างมีค่าตั้งแต่ 1.41‰ VPDB ถึง 2.17 ‰ VPDB และออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) มีค่าตั้งแต่ -5.36‰ VPDB ถึง -3.86‰ VPDB



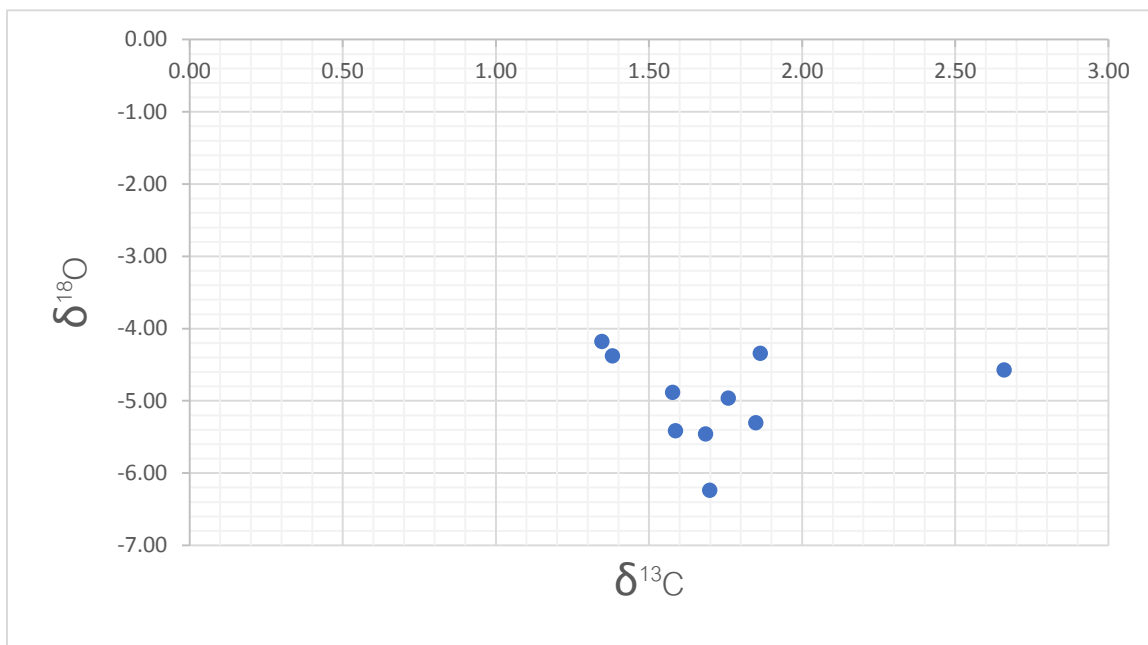
รูปที่ 2.35 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-1



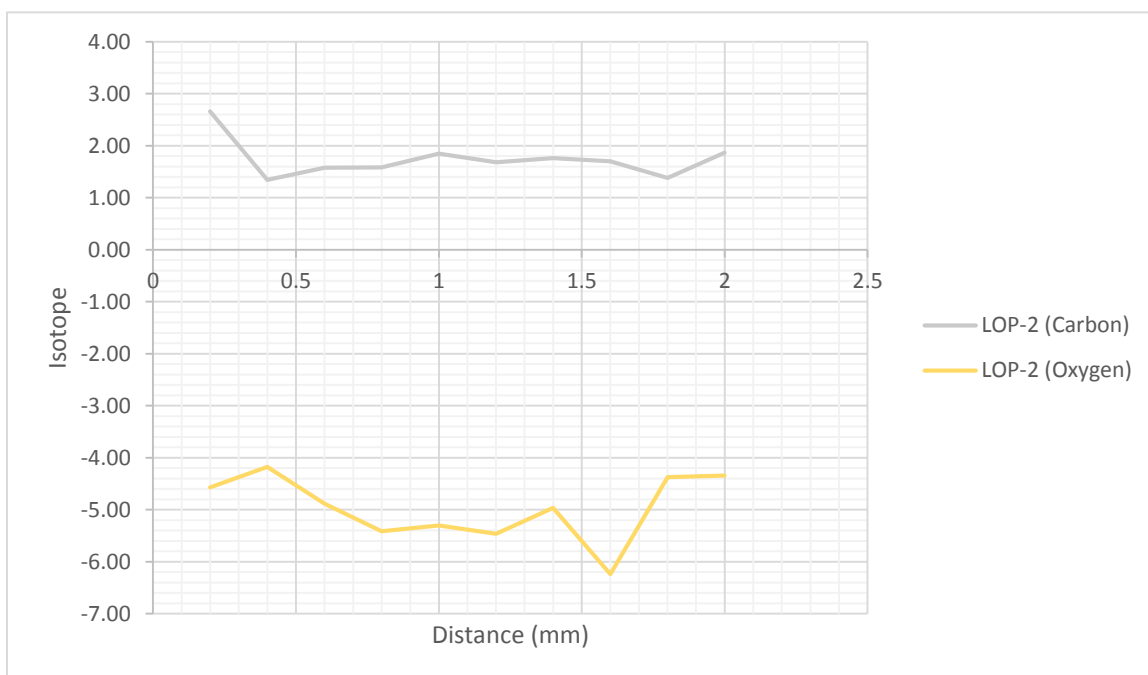
รูปที่ 2.36 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-1 ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง

2.4.2.2 ตัวอย่าง LOP-2

คาร์บอนไอโซโทป ($\delta^{13}\text{C}$) ของตัวอย่างมีค่าตั้งแต่ 1.35‰ VPDB ถึง 2.66 ‰ VPDB และ ออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) มีค่าตั้งแต่ -6.24‰ VPDB ถึง -4.18‰ VPDB



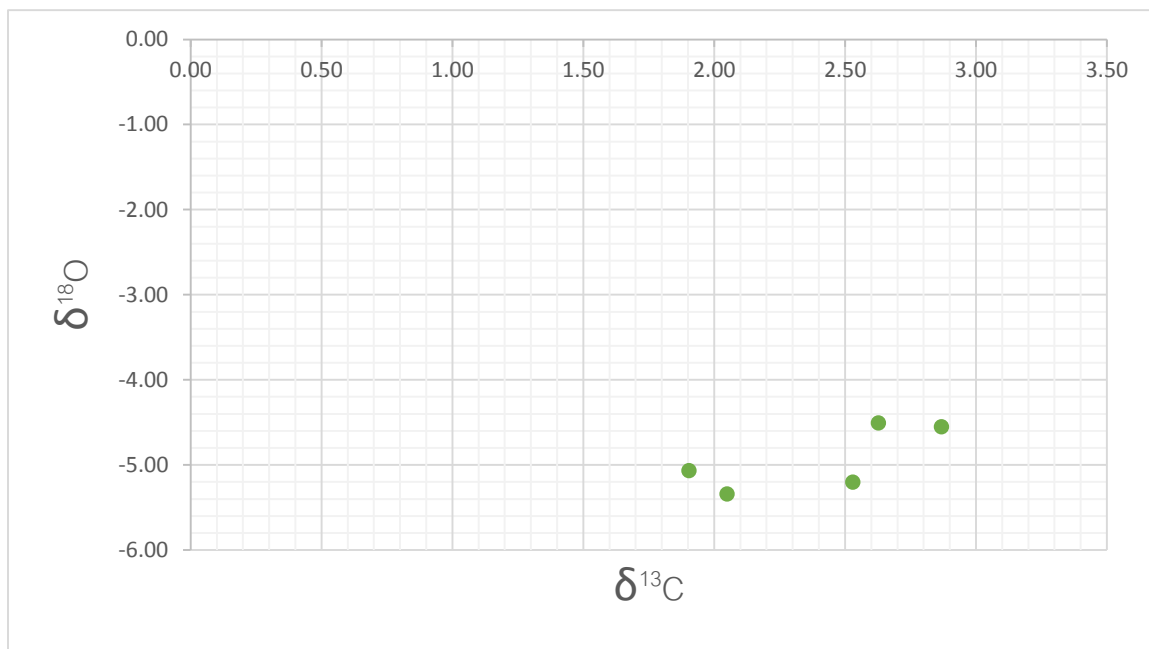
รูปที่ 2.37 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2



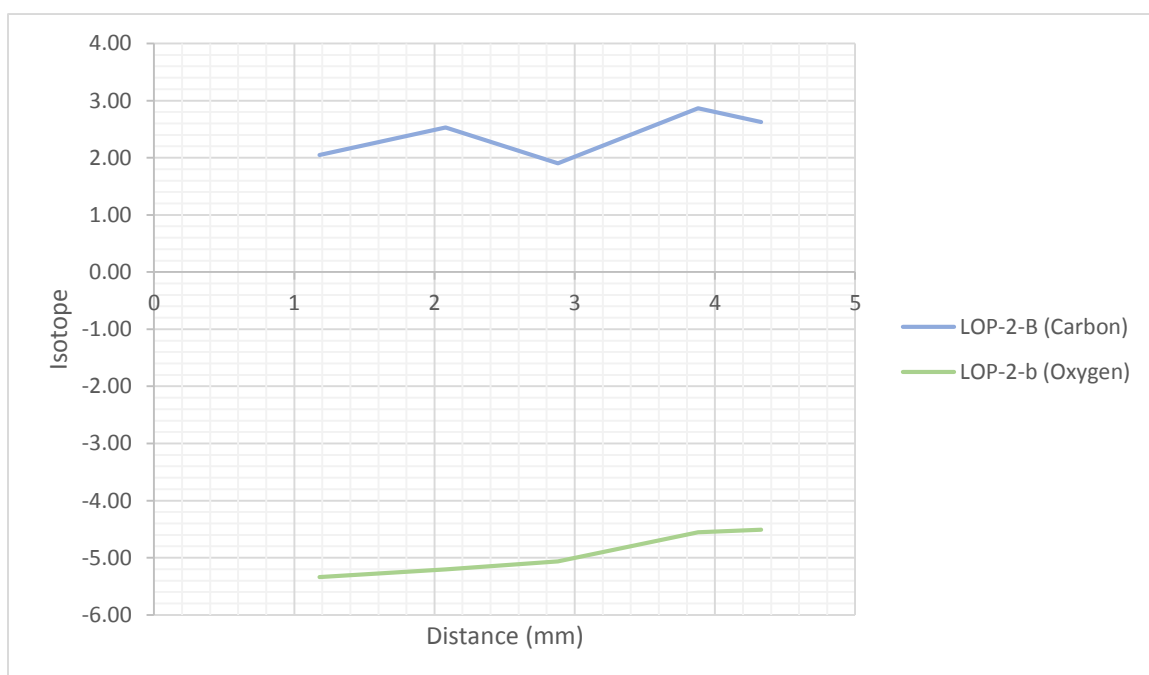
รูปที่ 2.38 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2 ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง

2.4.2.3 ตัวอย่าง LOP-2-B

คาร์บอนไอโซโทป ($\delta^{13}\text{C}$) ของตัวอย่างมีค่าตั้งแต่ 1.90‰ VPDB ถึง 2.87 ‰ VPDB และ ออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) มีค่าตั้งแต่ -5.34‰ VPDB ถึง -4.51‰ VPDB



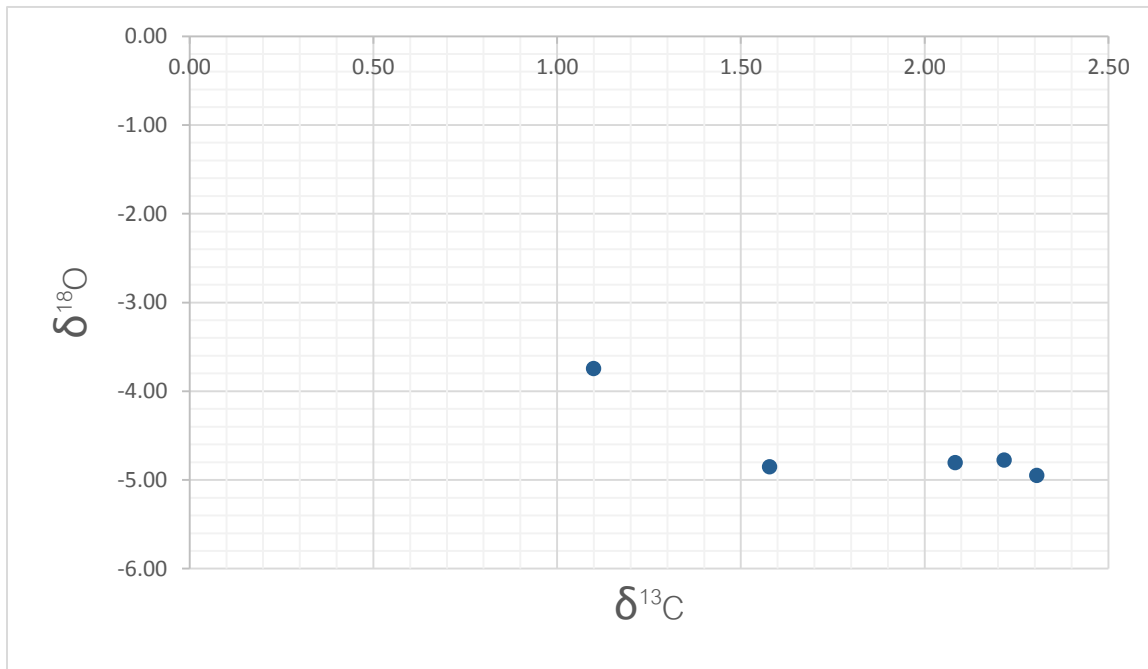
รูปที่ 2.39 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-B



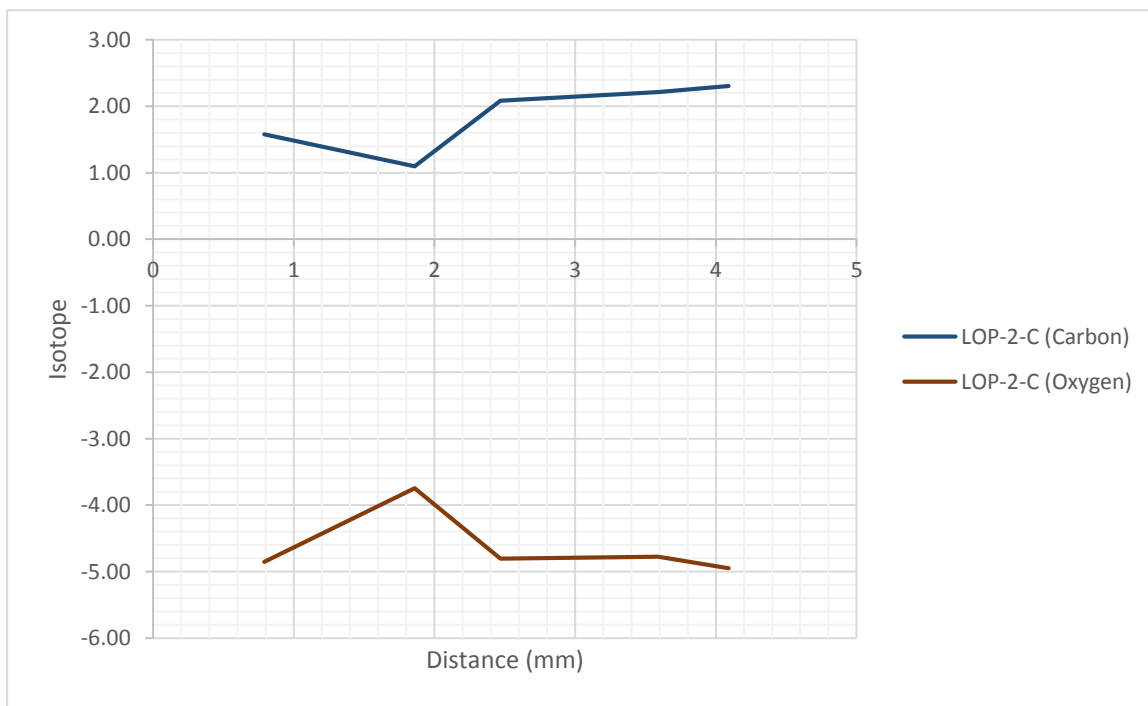
รูปที่ 2.40 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-B ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง

2.4.2.4 ตัวอย่าง LOP-2-C

คาร์บอนไอโซโทป ($\delta^{13}\text{C}$) ของตัวอย่างมีค่าตั้งแต่ 1.10‰ VPDB ถึง 2.30 ‰ VPDB และ ออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) มีค่าตั้งแต่ -4.95‰ VPDB ถึง -3.75‰ VPDB



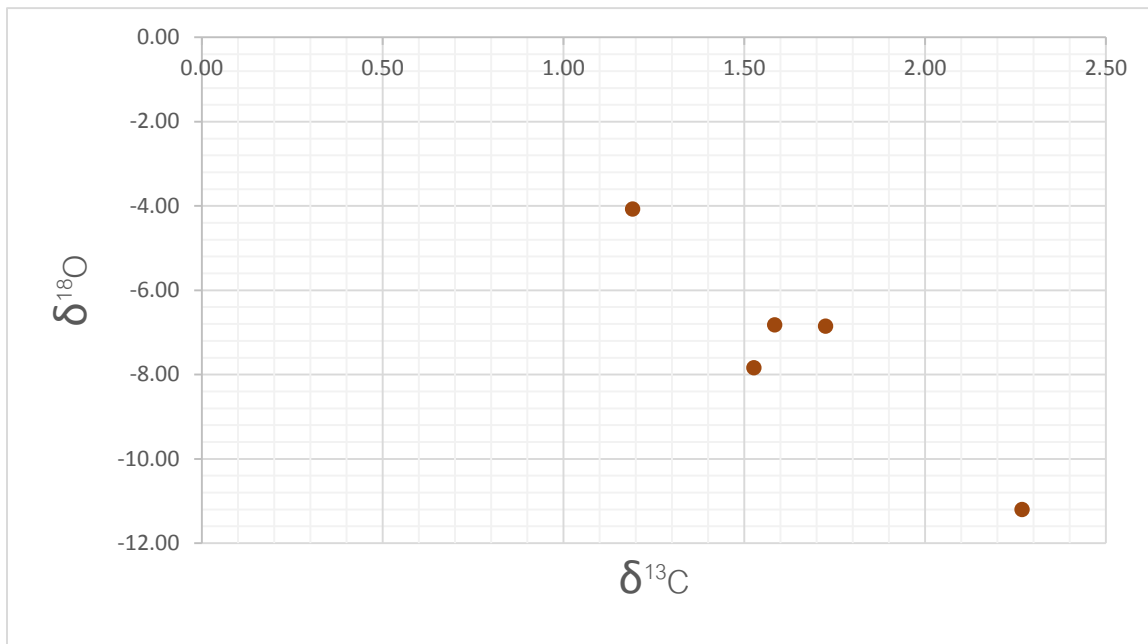
รูปที่ 2.41 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-C



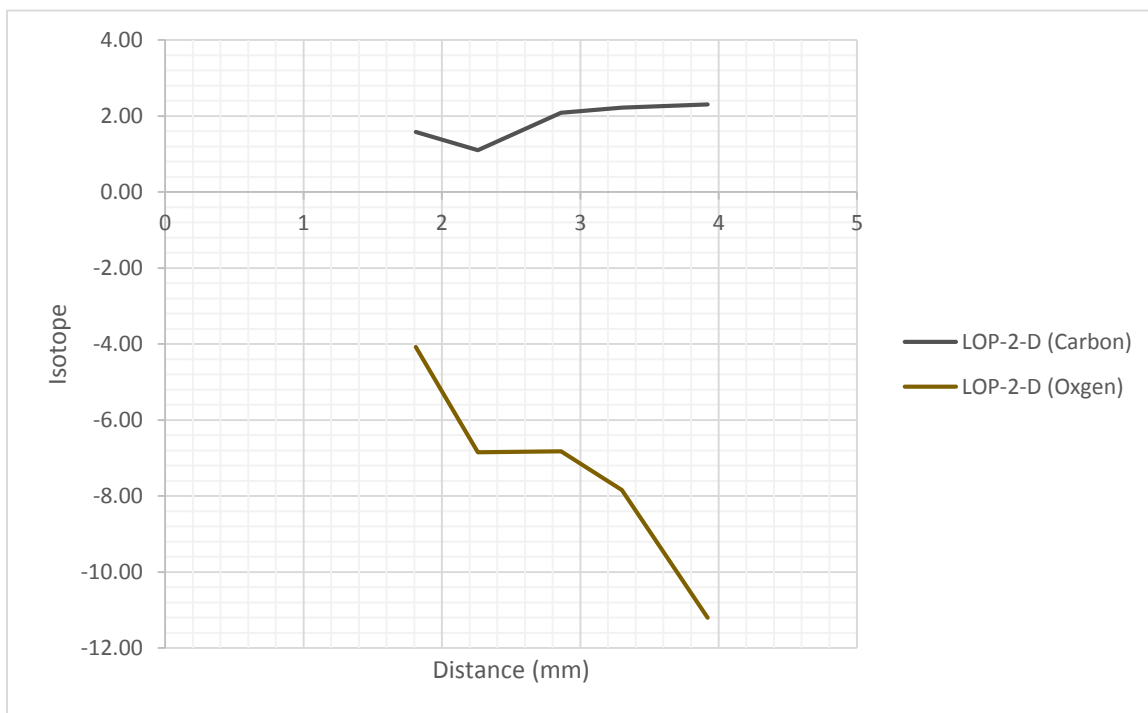
รูปที่ 2.42 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-C ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง

2.4.2.5 ตัวอย่าง LOP-2-D

คาร์บอนไอโซโทป ($\delta^{13}\text{C}$) ของตัวอย่างมีค่าตั้งแต่ 1.53‰ VPDB ถึง 2.30 ‰ VPDB และ ออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) มีค่าตั้งแต่ -4.95‰ VPDB ถึง -3.75‰ VPDB



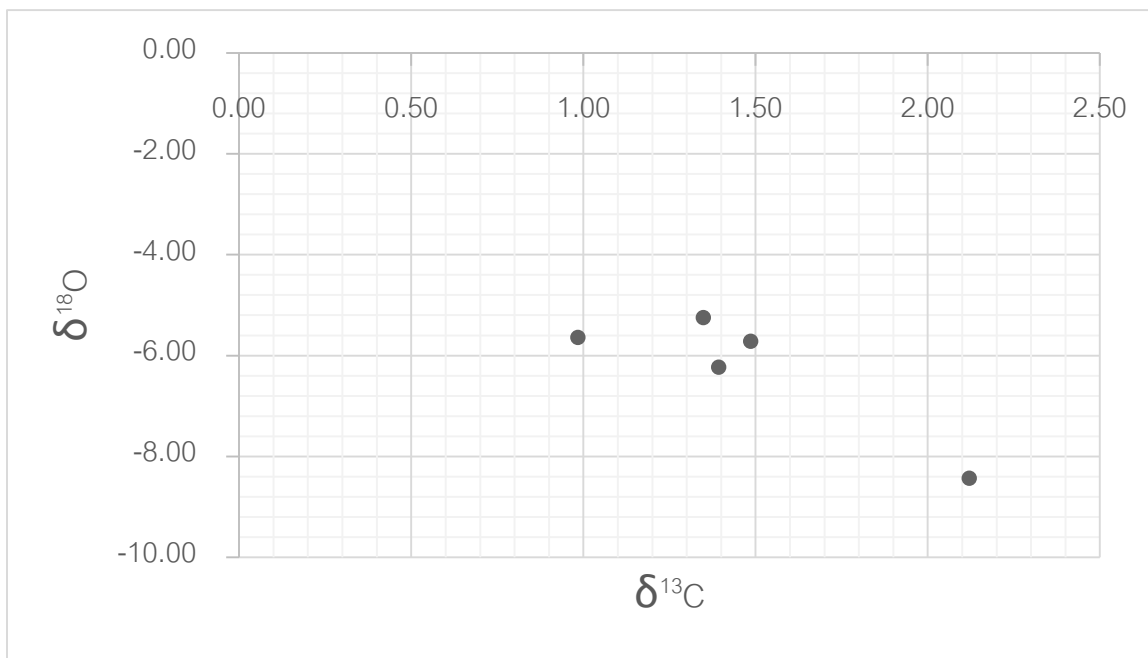
รูปที่ 2.43 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-D



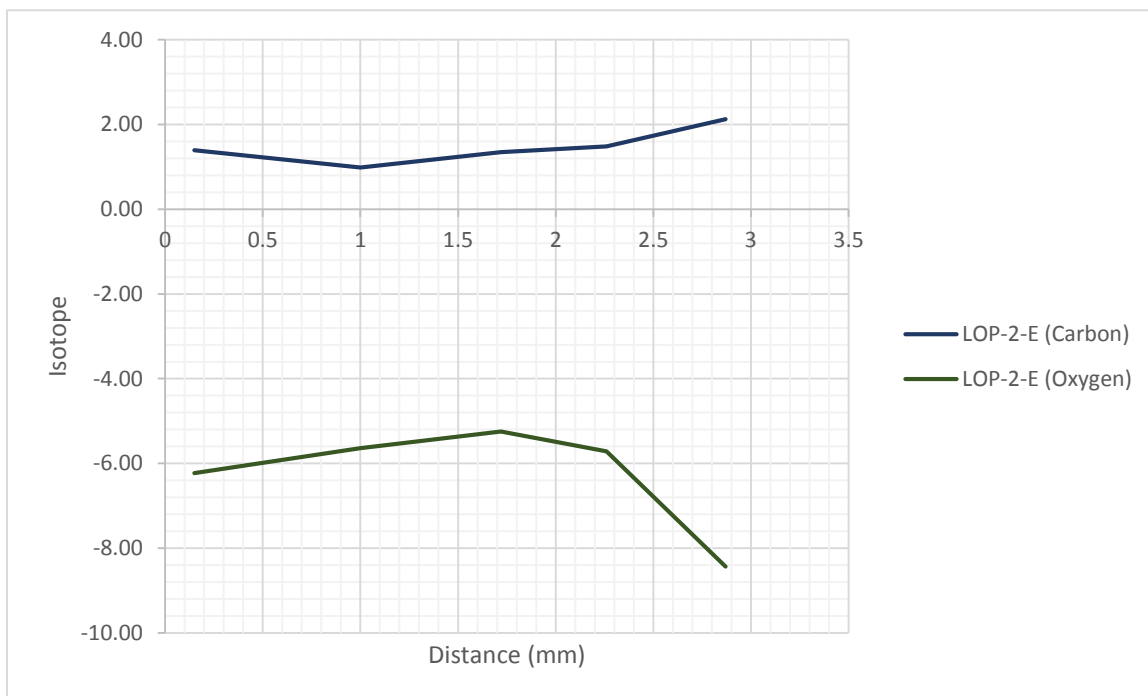
รูปที่ 2.44 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-Dตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง

2.4.2.6 ตัวอย่าง LOP-2-E

คาร์บอนไอโซโทป ($\delta^{13}\text{C}$) ของตัวอย่างมีค่าตั้งแต่ 0.98‰ VPDB ถึง 2.12 ‰ VPDB และ ออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) มีค่าตั้งแต่ -6.23‰ VPDB ถึง -5.25‰ VPDB

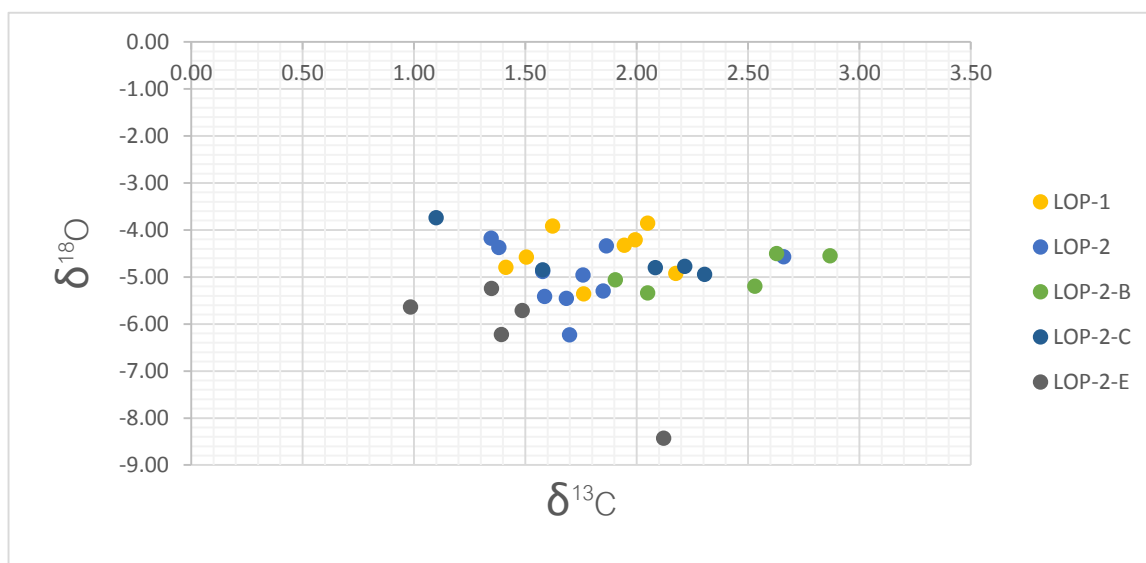


รูปที่ 2.45 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-E



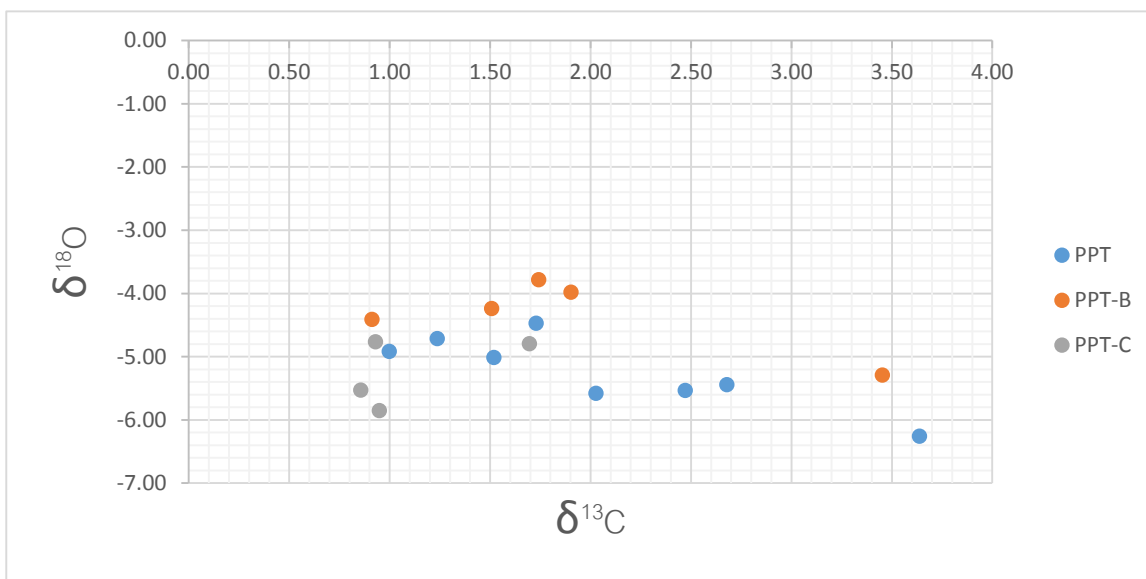
รูปที่ 2.46 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่าง LOP-2-E ตามระยะทางการเก็บตัวอย่าง

เมื่อนำค่าคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทปจากจุดศึกษาบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี มาแสดงรวมกัน แสดงดังรูป



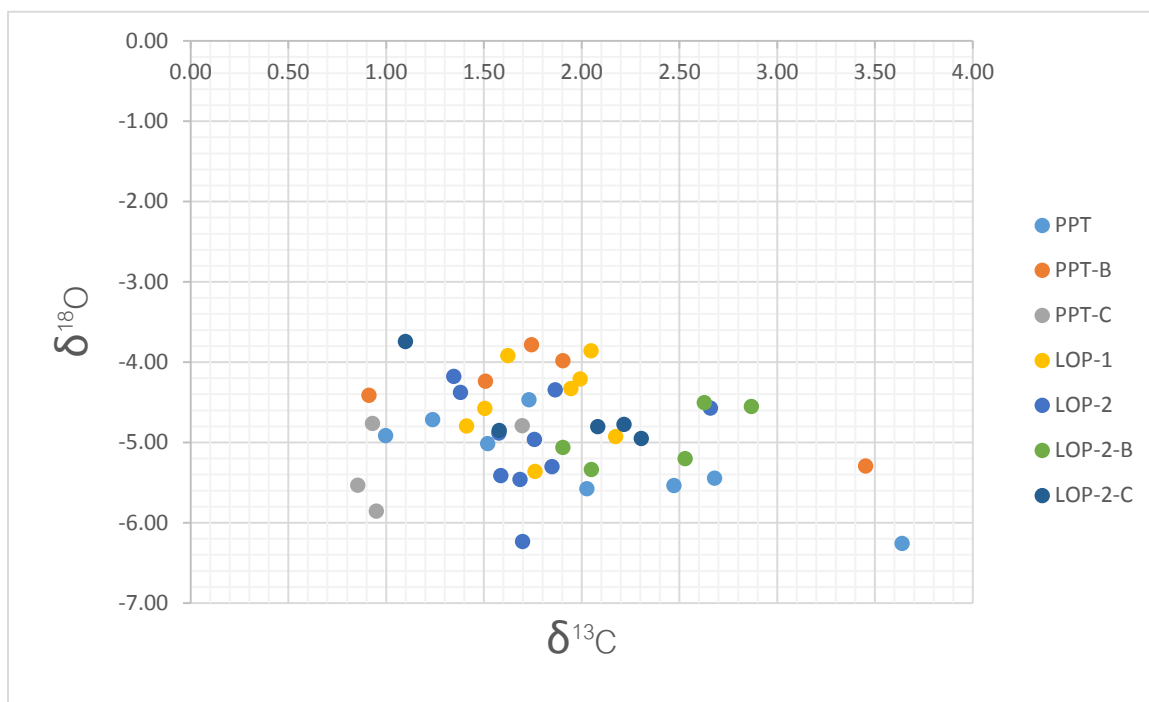
รูปที่ 2.47 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่างบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี

เมื่อนำค่าคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทปจากจุดศึกษาบริเวณสำนักสงฆ์พระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์มาแสดงรวมกัน แสดงดังรูป



รูปที่ 2.48 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่างบริเวณสำนักสงฆ์พระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์

และเมื่อนำค่าคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทปจากจุดศึกษาบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรีและ สำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์แสดงรวมกัน แสดงดังรูป



รูปที่ 2.49 กราฟแสดงปริมาณ $\delta^{18}\text{O}$ และ $\delta^{13}\text{C}$ ของตัวอย่างบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี และสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์

2.5 ผลการศึกษาอุณหภูมิบรรพกาล

การศึกษาอุณหภูมิบรรพกาลสามารถวิเคราะห์จากออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) จากผลึกแคลไซต์ของสิ่งมีชีวิต (biogenic calcite) และออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) ของน้ำทะเลขณะนั้น

Epstein et al. (1953) ได้ทำการศึกษาระหว่างอุณหภูมิและออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) จากผลึกแคลไซต์ของสิ่งมีชีวิต (biogenic calcite) และออกซิเจนไอโซโทป ($\delta^{18}\text{O}$) ของน้ำทะเลขณะนั้น คือ

$$T (^{\circ}\text{C}) = 16.5 - 4.3(\delta^{18}\text{O}_{\text{CaCO}_3} - \delta^{18}\text{O}_{\text{w-AMW}}) + 0.14(\delta^{18}\text{O}_{\text{CaCO}_3} - \delta^{18}\text{O}_{\text{w-AMW}})^2$$

โดย $\delta^{18}\text{O}_{\text{CaCO}_3}$ มีค่าเท่ากับ $\delta^{18}\text{O}$ ของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ปรับเทียบกับ Vienna Pee Dee Belemnite (VPDB) และ $\delta^{18}\text{O}_{\text{w-AMW}}$ มีค่าเท่ากับ $\delta^{18}\text{O}$ ของน้ำทะเลบริเวณนั้น กรณีนี้กำหนดให้ $\delta^{18}\text{O}_{\text{w-AMW}}$ มีค่าเท่ากับ -1 ‰ (VSMOW) ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่สภาพแวดล้อมนี้ต้องไม่เป็นสภาพแวดล้อมแบบธารน้ำแข็ง โดยมีผลการศึกษาดังนี้

ตาราง 2.3 ค่าคาร์บอนไอโซโทป และออกซิเจนไอโซโทปของพื้นที่ศึกษาทั้งสองบริเวณ และอุณหภูมิบรรพกาล

LOCATION	$\delta^{13}\text{C}$ min (‰ VPDB)	$\delta^{13}\text{C}$ max (‰ VPDB)	$\delta^{13}\text{C}$ mean (‰ VPDB)	$\delta^{18}\text{O}$ min (‰ VPDB)	$\delta^{18}\text{O}$ max (‰ VPDB)	$\delta^{18}\text{O}$ mean (‰ VPDB)
LOPBURI	0.98	2.87	1.81	-5.72	-3.75	-4.76
Paleotemperater (°C)				39.5	29	34
PHETCHABUN	0.86	3.64	1.78	-6.26	-3.78	-4.98
Paleotemperater (°C)				42	29	35.5

บทที่ 3

อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

3.1 อภิปรายผลการศึกษา

จากการศึกษาออกซิเจนไอโซโทป จากตัวอย่างแบรคิโอพอด จุดศึกษาสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอนนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ และเขาคอก อำเภอนนงม่วง จังหวัดลพบุรี ได้ผ่านกระบวนการศึกษาลำดับชั้นหิน ศิลาวรรณนา แร่องค์ประกอบ การคงสภาพของแร่เดิม และการหาออกซิเจนไอโซโทป สามารถนำมาอภิปรายดังนี้

3.1.1 สภาพแวดล้อมการสะสมตัวของแบรคิโอพอด

จากลักษณะหินและลำดับชั้นหินจุดศึกษาบริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอนนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ และบริเวณเขาคอก อำเภอนนงม่วง จังหวัดลพบุรี สภาพแวดล้อมการสะสมตัวแบบทะเลน้ำตื้น เนื่องจากพบหินปูนแทรกสลับกับหินดินดาน และพบซากดึกดำบรรพ์จำพวกแบรคิโอพอด และไบรโอซัวแพร่กระจายทั่วบริเวณ

3.1.2 คาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทปของแบรคิโอพอด

3.1.2.1 คาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทปของแบรคิโอพอดบริเวณ สำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอนนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์

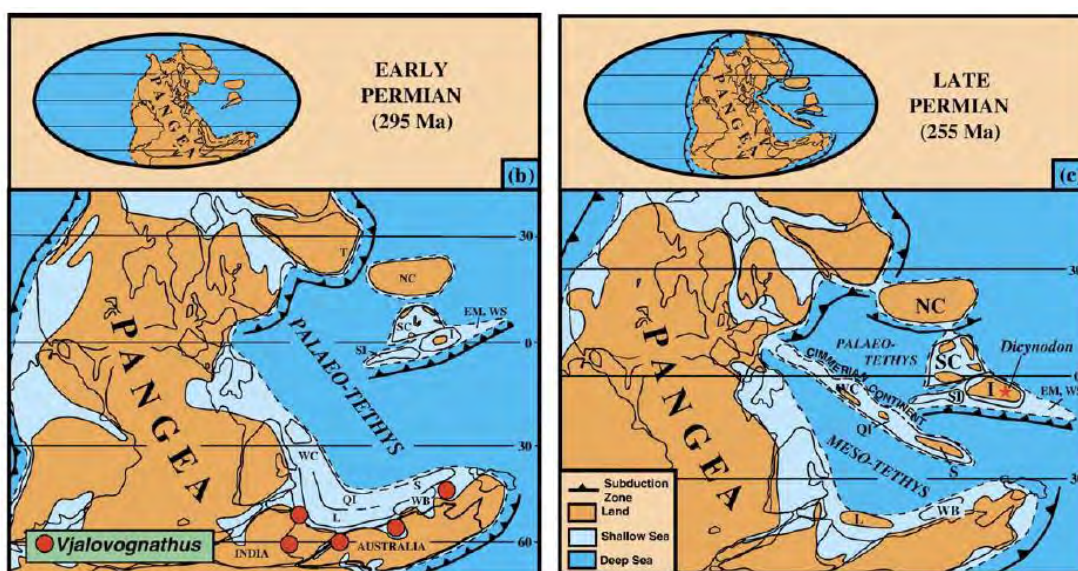
จากทั้งหมด 3 ตัวอย่างคือ PPT, PPT-B และ PPT-C ค่า $\delta^{13}\text{C}$ ต่ำสุด 0.86‰ VPDB และสูงสุดที่ 3.64 ‰ VPDB โดยมีค่าเฉลี่ย (mean) ที่ 1.78 ‰ VPDB และ $\delta^{18}\text{O}$ ต่ำสุด -6.26‰ VPDB สูงสุดที่ -3.78‰ VPDB โดยมีค่าเฉลี่ยที่ -4.98‰ VPDB

3.1.2.2 คาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทปของแบรคิโอพอดบริเวณเขาคอก อำเภอนนงม่วง จังหวัดลพบุรี

จากทั้งหมด 4 ตัวอย่างคือ LOP-1, LOP-2, LOP-2-B และ LOP-2-C ค่า $\delta^{13}\text{C}$ ต่ำสุด 0.98‰ VPDB และสูงสุดที่ 2.78 ‰ VPDB โดยมีค่าเฉลี่ย (mean) ที่ 1.81 ‰ VPDB และ $\delta^{18}\text{O}$ ต่ำสุด -5.72‰ VPDB สูงสุดที่ -3.75‰ VPDB โดยมีค่าเฉลี่ยที่ -4.76‰ VPDB

3.1.3 สภาพภูมิอากาศบรรพกาล

จุดศึกษาสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ และเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรีสังเกตเห็นได้ว่าคาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทปนั้นมีความใกล้เคียงกัน สภาพภูมิอากาศของทั้งสองบริเวณไม่แตกต่างกันมาก โดยอ้างอิงจากลักษณะของซิลิคาร์รอนนา คาร์บอนไอโซโทปและออกซิเจนไอโซโทป เมื่อทำการศึกษาอุณหภูมิบรรพกาลจากสมการของ Epstein et al. (1953) อุณหภูมิของบริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ และเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.5 องศาเซลเซียสและ 34 องศาเซลเซียสตามลำดับ เมื่อสังเกตจากตำแหน่งสภาพภูมิประเทศบรรพกาลจากรูปที่ 3.1 แล้ว จะสังเกตเห็นได้ว่าบริเวณพื้นที่ศึกษาซึ่งอยู่ในแผ่นทวีปอินโดจีนนั้นมีตำแหน่งใกล้เคียงกับเส้นศูนย์สูตร จึงสามารถสรุปได้ว่าบริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ มีอุณหภูมิบรรพกาลเฉลี่ย 35.5 องศาเซลเซียส และบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี มีอุณหภูมิบรรพกาลเฉลี่ย 34 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.1 แสดงตำแหน่งสภาพภูมิประเทศบรรพกาล ยุคเพอร์เมียนตอนต้น (ซ้าย) และเพอร์เมียนตอนปลาย (ขวา) โดยสัญลักษณ์ I คือ แผ่นทวีปอินโดจีน (Indochina terrane) และ S คือ Sibumasu terrane (Metcalf, 2006)

3.2 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาลำดับชั้นหิน คาร์บอนไอโซโทป และออกซิเจนไอโซโทปของแบรคิโอพอด บริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ และบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี มีสภาพแวดล้อมการสะสมตัวแบบทะเลน้ำตื้น และมีสภาพภูมิอากาศแบบเขตร้อน โดยบริเวณสำนักสงฆ์ภูพระธาตุ อำเภอชนแดน จังหวัดเพชรบูรณ์ มีอุณหภูมิบรรพกาลเฉลี่ย 35.5 องศาเซลเซียส และบริเวณเขาคอก อำเภอหนองม่วง จังหวัดลพบุรี มีอุณหภูมิบรรพกาลเฉลี่ย 34 องศาเซลเซียส ซึ่งสัมพันธ์กับตำแหน่งสภาพภูมิประเทศบรรพกาล

เอกสารอ้างอิง (references)

- Brenchley, P.J., Marshall, J.D., Carden, G.A.F., Robertson, D.B.R., Long, D.G.F., Meidla, T., Hints, L., Anderson, T.F., 1994. Bathymetric and isotopic evidence for a short-lived Late Ordovician glaciation in a greenhouse period. *Geology* 22 (4), 295e298.
- Bruckschen, P., Oesmann, S., Veizer, J., 1999. Isotope stratigraphy of the European Carboniferous: Proxy signals for ocean chemistry, climate and tectonics. *Chemical Geology* 161 (1e3), 127e163.
- Carpenter, S. J. and Lohmann, K. C. (1995) $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values from modern brachiopod shells. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59, 3749–3764.
- Compston, W., 1960. The carbon isotopic composition of certain marine invertebrates and coals from the Australian Permian. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 18, 1e22.
- Degens, E.T., Epstein, S., 1962. Relationship between O18/O16 ratios in coexisting carbonates, cherts. and diatomites. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists* 46, 534e542.
- Grossman, E. L., Zhang, C. and Yancey, T. E. (1991) Stable isotope stratigraphy of brachiopods from Pennsylvanian shales in Texas. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 103, 953–965.
- Jaffres, J.B.D., Shields, G.A., and Wallmann, K., 2007, The oxygen isotope evolution of sea water: A critical review of a long-standing controversy and an improved geological water cycle model for the past 3.4 billion years: *Earth-Science Reviews*, v. 83, p. 83–122, doi: 10.1016/j.earscirev .2007.04.002.
- Joachimski, M.M., van Geldern, R., Breisig, S., Buggisch, W., Day, J., 2004. Oxygen isotope evolution of biogenic calcite and apatite during the Middle and Late Devonian. *International Journal of Earth Sciences* 93 (4), 542e553.

- Knauth, L.P., Epstein, S., 1976. Hydrogen and oxygen isotope ratios in nodular and bedded cherts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 40 (9), 1095e1108.
- Knauth, L.P., 2005. Temperature and salinity history of the Precambrian ocean: Implications for the course of microbial evolution. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 219 (1e2), 53e69.
- Korte, C., Jones, P.J., Brand, U., Mertmann, D., Veizer, J., 2008. Oxygen isotope values from high-latitudes: Clues for Permian sea-surface temperature gradients and Late Palaeozoic deglaciation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 269 (1e2), 1e16.
- Lowenstam, H. A. (1961) Mineralogy, O¹⁸/O¹⁶ ratios, and strontium and magnesium contents of recent and fossil brachiopods and their bearing on the history of the oceans. *J. Geol.* 69, 241–260.
- Marshall, J.D., Brenchley, P.J., Mason, P., Wolff, G.A., Astini, R.A., Hints, L., Meidla, T., 1997. Global carbon isotopic events associated with mass extinction and glaciation in the late Ordovician. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 132 (1e4), 195e210.
- Mii, H.S., Grossman, E.L., Yancey, T.E., 1999. Carboniferous isotope stratigraphies of North America: Implications for Carboniferous paleoceanography and Mississippian glaciation. *Geological Society of America Bulletin* 111 (7), 960e973.
- Mii, H.S., Grossman, E.L., Yancey, T.E., Chuvashov, B., Egorov, A., 2001. Isotopic records of brachiopod shells from the Russian Platform e evidence for the onset of mid-Carboniferous glaciation. *Chemical Geology* 175 (1e2), 133e147.
- Perry, E.C., 1967. Oxygen isotope chemistry of ancient cherts. *Earth and Planetary Science Letters* 3, 62e66.

- Popp, B.N., Anderson, T.F., Sandberg, P.A., 1986a. Brachiopods as indicators of original isotopic compositions in some Paleozoic limestones. Geological Society of America Bulletin 97, pp.1262–1269
- Railsback, L. B., Anderson, T. F., Ackedy, S. D. and Cisne, J.L. (1989) Paleoceanographic modeling of temperature-salinity profiles from stable isotopic data. Paleoceanography 4, 585–591.
- Samtleben, C., Munnecke, A., Bickert, T., Pařtzold, J., 2001. Shell succession, assemblage and species dependent effects on the C/O-isotopic composition of brachiopods e examples from the Silurian of Gotland. Chemical Geology 175 (1e2), 61e107.
- Shields, G., Veizer, J., 2002. Precambrian marine carbonate isotope database: version 1.1. Geochemistry, Geophysics, Geosystems 3 (6) doi: 10.1029/2001GC000266.
- Takayanagi, H., Asami, R., Abe, O., Miyajima, T., Kitagawa, H., Sasaki, K., Iryu, Y., 2013. Intraspecific variations in carbon-isotope and oxygen-isotope compositions of a brachiopod *Basiliola lucida* collected off Okinawa-jima, southwestern Japan. Geochimica et Cosmochimica Acta 115, pp.115-136
- Thambunya, S., Pisutha-Arnond, V., Khantaprab, C., 2007. Depositional Environments of Permian Rocks of the Khao Khad Formation in Central Thailand. ScienceAsia 33, pp.371-381
- Veizer, J., Hoefs, J., 1976. The nature of O^{18}/O^{16} and C^{13}/C^{12} secular trends in sedimentary carbonate rocks. Geochimica et Cosmochimica Acta 40, 1387e1395.
- Veizer, J., Fritz, P., Jones, B., 1986. Geochemistry of brachiopods e oxygen and carbon isotopic records of Paleozoic oceans. Geochimica et Cosmochimica Acta 50 (8), 1679e1696.
- Veizer, J., Ala, D., Azmy, K., Bruckschen, P., Buhl, D., Bruhn, F., Carden, G.A.F., Diener, A., Ebneith, S., Godderis, Y., Jasper, T., Korte, C., Pawellek, F., Podlaha,

O.G., Strauss, H., 1999. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ evolution of Phanerozoic seawater. *Chemical Geology* 161 (1e3), 59e88.

Yamamoto, K., Asami, R. and Iryu, Y. (2010a) Carbon and oxygen isotopic compositions of modern brachiopod shells from a warm-temperate shelf environment, Sagami Bay, central Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 291, 348–359.

Yamamoto, K., Asami, R. and Iryu, Y. (2010b) Within-shell variations in carbon and oxygen isotope compositions of two modern brachiopods from a subtropical shelf environment off Amami-o-shima, southwestern Japan. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 11, Q10009, doi:10.1029/2010GC003190.