



รายงานผลการวิจัย  
ทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช

เรื่อง

สภาวะแวดล้อมการสะสมตัวของหินปูนยุคเพอร์เมียน  
บริเวณจังหวัดเลยและหนองบัวลำภู

โดย

ปัญญา จารุศิริ  
สันต์ อัสวพัชระ  
จักรพันธ์ สุทธิรัตน์  
สมบัติ อยู่เมือง  
วิโรจน์ ดาวฤกษ์

กรกฎาคม 2541

77  
พ. 12-27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช



รายงานผลการวิจัย

สภาวะแวดล้อมการสะสมตัวของหินปูนยุคเพอร์เมียน  
บริเวณจังหวัดเลยและหนองบัวลำภู

โดย

ปัญญา จารุศิริ  
สันต์ อัครพัชระ  
จักรพันธ์ สุทธิรัตน์  
สมบัติ อยู่เมือง  
วิโรจน์ ดาวฤกษ์

กรกฎาคม

2541



## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงลงได้เนื่องจากได้รับการสนับสนุนและการอนุเคราะห์จากบุคคลหลาย ๆ ฝ่าย โดยเฉพาะหัวหน้าภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รองศาสตราจารย์ ดร. ณรงค์ ธีระมงคล) ที่อนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการทั้งห้องตัดหินในการจัดทำแผ่นหินบางและห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อใช้เป็นสถานที่ปฏิบัติงานวิจัย ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ชันทปราบ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำและปรึกษาด้านธรณีวิทยาหินคาร์บอนेट ขอขอบคุณ คุณประเสริฐ เขียวพิมพ์ ที่ช่วยในการตรวจสอบตัวอย่างหินบางส่วนด้วย X-ray diffractometry (XRD)

ขอขอบคุณบรรดาเหล่านักวิทยาศาสตร์จากฝ่ายวิเคราะห์วิจัยแร่และหินและจากฝ่ายวิเคราะห์ทางฟิสิกส์ กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี ที่ช่วยตรวจวิเคราะห์ตัวอย่างหินทางฟิสิกส์และเคมีของตัวอย่างบางส่วน รวมทั้งอนุเคราะห์ให้ใช้อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการต่าง ๆ คุณ จรรยา อำนวยไทย ฝ่ายโบราณชีววิทยา กองธรณีวิทยา ที่ช่วยตรวจวิเคราะห์ซากดึกดำบรรพ์ ขอขอบคุณ ดร. ธนิศร์ วงศ์วานิช ฝ่ายสำรวจธรณีวิทยา กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี ที่ให้คำแนะนำปรึกษาด้านธรณีวิทยาหินคาร์บอนेट และสนับสนุนการศึกษาระดับปริญญาโทที่ภาควิชาธรณีวิทยาอีกหลาย ๆ ท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำด้านต่าง ๆ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศาสตราจารย์ Xu Xiaosong, ผู้เชี่ยวชาญทางด้านตะกอนวิทยา ศาสตราจารย์ Guitang Pan หัวหน้าฝ่ายธรณีวิทยา คณะนักธรณีวิทยาและนักธรณีเคมี จากสถาบันวิจัยธรณีวิทยาและทรัพยากรแร่เจิ้งตู มณฑลเสฉวน ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนจีน ที่ให้คำแนะนำ ตรวจสอบตัวอย่างหินทางไอโซโทปและแผ่นหินบางรวมทั้งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ตัวอย่างหินจากพื้นที่ศึกษา

ท้ายที่สุดนี้คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณมายังทุกท่านที่ได้มีส่วนช่วยตรวจสอบและอ่านแก้ไขรายงานตลอดจนให้ข้อเสนอแนะจนทำให้รายงานมีคุณค่าทางวิชาการมากขึ้นและขอขอบคุณ คุณวัฒนา คูศิริจัน ที่ช่วยจัดรูปเล่มรายงานจนแล้วเสร็จสมบูรณ์

ชื่อโครงการวิจัย: สภาวะแวดล้อมการสะสมตัวของหินปูนยูคเฟอร์เมียนบริเวณจังหวัดเลย และ  
หนองบัวลำภู

ชื่อผู้วิจัย: ปัญญา จารุศิริ, สันต์ อัสวพัชระ, จักรพันธ์ สุทธิรัตน์, สมบัติ อยู่เมือง และวิโรจน์ ดาวฤกษ์  
เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ: กรกฎาคม 2541

### บทคัดย่อ

เทือกเขาภูมิประเทศแบบคาร์สต์แนวเหนือ-ใต้ยูคเฟอร์เมียนด้านตะวันออกของจังหวัดเลย และตะวันตกของหนองบัวลำภู เป็นหินคาร์บอเนตหมวดหินน้ำมโหฬาร หลักฐานซากดึกดำบรรพ์ บ่งชี้ว่าหินตะกอนคาร์บอเนตเหล่านี้มีอายุตั้งแต่ตอนบนของช่วงปลายของยุคคาร์บอนิเฟอรัส(จีเลียน) ต่อเนื่องขึ้นมาถึงปลายตอนกลางของยูคเฟอร์เมียน(มูกาเมียน) ผลจากการศึกษาการลำดับชั้นหินซึ่งครอบคลุมพื้นที่ต้นแบบของหมวดหินน้ำมโหฬารทำให้ทราบค่าความหนาของหมวดหินประมาณ 500 เมตร จากลักษณะปรากฏหินทำให้สามารถแบ่งหมวดหินออกได้เป็นสามหมู่หินจากล่างขึ้นบน ของลำดับแท่งชั้นหินได้แก่ (1) หมู่หินถ้ำเสือหมอบซึ่งเป็นหินปูน หินดินดานและหินทราย (2) หมู่หินบ้านหนองหินที่ประกอบด้วยหินปูน เซิร์ตและโดโลไมต์เป็นหลักและ (3) หมู่หินภูเขาขาว โดยมากมักเป็นหินปูนและโดโลไมต์บ้างเช่นกัน ลำดับของแท่งชั้นหินแสดงถึงความต่อเนื่องของ หมวดหินน้ำมโหฬารที่วางเกยทับเหนือหมวดหินวังสะพุง แต่ขาดความต่อเนื่องอยู่ใต้ หมวดหินห้วยหินลาด อายุหินซึ่งกำหนดจากซากดึกดำบรรพ์ฟอแรมมินิเฟอร่าจำพวก *Pseudofusulina* sp., *Schagonella* sp., และ *Tetrataxis* sp., จัดอยู่ในอนุยุคจีเลียนของปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนบน ถึงอนุยุคยาทาเซียนของปลายยุคยูคเฟอร์เมียนตอนล่าง สภาวะแวดล้อมบรรพกาลแสดงถึงความ ต่อเนื่องของการสะสมตะกอนในทะเลตื้นตั้งแต่ปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนบนถึงตลอดช่วง ยุคยูคเฟอร์เมียนตอนต้น ลักษณะเนื้อหินคาร์บอเนตและซากดึกดำบรรพ์จำพวกแบรคิโอพอด ฟอแรมมินิเฟอร่าขนาดเล็ก พูซูลินิดและสาหร่ายที่อยู่ร่วมกันบ่งชี้ถึงการสะสมตัวในทะเลเปิดระดับ ตื้นที่ได้รับแสงสว่างใกล้ชิดชายฝั่งตั้งแต่บริเวณเขตอิทธิพลของคลื่นลงไปจนถึงบริเวณใต้แนวระดับ ของคลื่น ผลการศึกษาไอโซโทปคองที่พบว่าอัตราส่วนไอโซโทปของออกซิเจนมีค่าเฉลี่ยตั้งแต่ -7.51 ถึง -6.20 ‰ PDB และค่าเฉลี่ยอัตราส่วนไอโซโทปของคาร์บอนอยู่ในช่วงระหว่าง +2.51 ถึง +3.67 ‰ PDB ตามลำดับ ลักษณะนี้ย่อมยืนยันถึงตะกอนคาร์บอเนตของหมวดหินน้ำมโหฬารมีกำเนิด จากทะเลตื้น ในสภาวะแวดล้อมของการสะสมตัวในทะเลที่มีค่าความเป็นเกลือปกติ ซึ่งอาจมีการ ปนเปื้อนของน้ำจืดเข้ามาในระบบทำให้ค่าความเป็นเกลือของน้ำลดลงจนเป็นน้ำกร่อยในบางช่วง ค่าความเป็นเกลือของน้ำมีค่าในช่วงระหว่าง 18.44 ถึง 30.08 ‰ และมีอุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยสูงกว่า 45<sup>o</sup>ซ ซึ่งอาจแสดงถึงสภาพภูมิอากาศร้อนในช่วงระยะเวลาดังกล่าว ซึ่งการศึกษาทางไอโซโทปนี้ ให้ผลเหมือนกับที่ได้จากการศึกษาตะกอนวิทยาคาร์บอเนตและบรรพชีวินวิทยา



Project Title: The Depositional Environments of Permian Limestones at Changwat Loei and Nong  
Bua Lumphu

Name of the Investigators: Punya CHARUSIRI, San ASSAVAPATCHARA, Chakkapan  
SUTTIRAT, Veerote DAORERK and Sombat YUMUANG

Year: 1998

### Abstract

The N trending mountain with karstic topography in eastern Changwat Loei and western Nong Bua Lumphu is the Nam Maholan Carbonate Formation of the Permian age. This carbonate sedimentary sequence has been dated paleontologically as Late Carboniferous (Gzhelian) through Middle Permian (Murgabian). Lithostratigraphic study at the Phu Tham Maholan stratotype indicate the thickness of approximately 500 m for the Nam Maholan Formation. Based on lithofacies, three members are recognized in as ascending order: 1) the Tham Suea Mop Member including limestone and shale, 2) the Ban Nong Hin Member consisting mainly of limestone, chert and dolomite, and 3) the Phu Pha Khao Member comprising predominantly limestone with minority dolomite. Stratigraphically, the Nam Maholan Formation shows lateral-facies change with the underlying Wang Saphung Formation, but unconformably underlying the Huai Hin Lat Formation. Fusulinacean fossil *Pseudofusulina* sp., *Schagonella* sp., and *Tetrataxis* sp., indicate a Gzhelian of Late Carboniferous to Yahtashian of late Lower Permian. Palaeoenvironment is displayed by a continuous sequence of carbonate accumulation in shallow marine environment since Late Carboniferous to Early Permian. The carbonate lithology and associated fossils such as brachiopod, smaller foraminifera, fusulinacean, and algae point to sun-lit water of open sea, located from intertidal to subtidal regimes. Isotopic results clearly demonstrate that the average value of oxygen isotope ratios ranges from -7.51 to -6.20 ‰ PDB and average value of carbon isotope ratios ranges from +2.5 to +3.67 ‰ PDB. These indicate that the carbonate deposition occurred in shallow marine environment of normal salinity. The decline values may be a result corresponding to contamination of occasionally fresh-water influx. The salinity value is between 18.44 and 30.08 ‰ and displays the average water temperature more than 45 °C, probably suggesting warm climate condition during that time. The isotopic results fit very well with the information gathered from the carbonate sedimentology and palaeontology.

## สารบัญเรื่อง

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ii
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	iii
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	iv
สารบัญ	v
รายการตารางประกอบ	ix
รายการภาพประกอบ	x
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 คำนำ	
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
1.4 พื้นที่การวิจัย และการเข้าถึงพื้นที่	2
1.5 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่การวิจัย	2
1.5.1 ตำแหน่งที่ตั้งและการคมนาคม	2
1.5.2 ภูมิศาสตร์ทั่วไป	5
1.5.2.1 ภูมิอากาศ	2
1.5.2.2 ลักษณะทางน้ำ	5
1.5.2.3 ลักษณะภูมิประเทศ	7
1.5.3 ประชากร และอาชีพ	9
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 2 วิธีวิจัย	11
2.1 คำนำ	11
2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	11
2.2.1 การวิจัยเชิงเอกสารและรวบรวมเอกสารการสำรวจธรณีวิทยา	11
2.2.2 การแปลภาพถ่ายทางอากาศ และภาพจากดาวเทียม	11
2.2.3 ตรวจสอบการแปลภาพถ่ายและจัดทำร่างแผนที่ธรณีวิทยา	13
2.2.4 การศึกษาภาคสนามและเก็บตัวอย่างหิน	13
2.2.4.1 งานภาคสนาม	13

	หน้า
2.2.4.2 การเก็บตัวอย่างหิน	14
2.2.4.3 การเตรียมตัวอย่างหิน	14
2.2.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างหิน	17
2. 2. 5. 1 การศึกษาลักษณะทางสีลาวิทยา	17
2. 2. 5. 2 การตรวจวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี	18
2. 2. 5. 3 การวิเคราะห์ไอโซโทป	18
2.2.6 การประเมินผลการศึกษาและการประมวลผลข้อมูล	18
2.2.7 สรุปผลการศึกษา	18
2.3 สถานที่เก็บข้อมูล ทำการทดลอง และวิจัย	18
บทที่ 3 ธรณีวิทยาทั่วไป และหินคาร์บอนเนตของประเทศไทย	20
3.1 คำนำ	20
3.2 ธรณีวิทยาทั่วไปและธรณีวิทยาแปรสัณฐาน	21
3.3 หินคาร์บอนเนตของประเทศไทย	29
3.4 หินคาร์บอนเนตยุคออร์โดวิเซียน	30
3.4.1 กลุ่มหินทุ่งสง	30
3.4.2 หมวดหินท่ามะนาว	32
3.4.3 หินปูนฮอด	35
3.4.4 หินปูนสวนหมาก	35
3.4.5 หินปูนสี่ซัง	35
3.5 หินคาร์บอนเนตยุคเพอร์เมียน	35
3.5.1 กลุ่มหินราชบุรี	37
3.5.2 กลุ่มหินงาว	40
3.5.2.1 หมวดหินผาหวด	40
3.5.3 กลุ่มหินสระบุรี	40
3.6 หินคาร์บอนเนตยุคไทรแอสซิก-จูแรสซิก	43
3.6.1 กลุ่มหินลำปาง	43
3.6.1.1 หมวดหินผาก้าน	43
3.6.1.2 หมวดหินดอยล่อง	47

	หน้า
3.6.1.3 หมวดหินก้างปลา	47
3.6.2 หินปูนกะเมาะกะละ	48
3.7 หินยุคเพอร์เมียนในพื้นที่ศึกษา	50
3.7.1 หมวดหินน้ำม โทพาร์	50
3.7.2 หมวดหินอีเลิส	53
3.7.3 หมวดหินฟาเคือ	56
บทที่ 4 ลำดับชั้นหินคาร์บอนेटและลักษณะหิน	58
4.1 คำนำ	58
4.2 ธรณีวิทยาทั่วไป	58
4.3 การลำดับชั้น และลักษณะหิน	60
4.3.1 หมู่หินถ้ำเสือหมอบ	60
4.3.2 หมู่หินบ้านหนองหิน	66
4.3.3 หมู่หินภูผาขาว	70
4.4 อายุของหมวดหิน และหลักฐานซากดึกดำบรรพ์	74
บทที่ 5 ไอโซโทปของหินคาร์บอนेट	76
5.1 คำนำ	76
5.2 หลักการทั่วไป	77
5.3 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง	80
5.4 ผลการตรวจวิเคราะห์	82
5.5 การตีความผลการตรวจวิเคราะห์	83
5.5.1 กำเนิดของคาร์บอนेट	83
5.5.1.1 ออกซิเจนไอโซโทป	83
5.5.1.2 ออกซิเจนและคาร์บอนไอโซโทป	87
5.5.1.3 คาร์บอนไอโซโทป	93
5.5.2 ค่าความเป็นเกลือ	102
5.5.3 อุณหภูมิบรรพกาล	105

บทที่ 6 อภิปรายผล

หน้า

108

บทที่ 7 สรุป

115

เอกสารอ้างอิง

117

ภาคผนวก

129



สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขหมู่ ๗  
วท 15  
เลขทะเบียน 010179  
วันเดือนปี 27 ส.ค. 43

รายการตารางประกอบ

ตาราง	หน้า	
3.1	การจัดลำดับกลุ่มหิน และหมวดหินในพื้นที่จังหวัดเลย	26
3.2	การลำดับชั้นหินของประเทศไทย	27
3.3	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหมวดหินยุคเพอร์เมียน ในพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย	38
4.1	ผลวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของธาตุหลัก หมวดหินคาร์บอนเนตน้ำมโหฬาร ในพื้นที่ศึกษา จังหวัดเลย-หนองบัวลำภู	61
5.1	ค่าคาร์บอนและออกซิเจนไอโซโทปของตัวอย่างหินคาร์บอนเนต	84
5.2	ค่าคาร์บอนและออกซิเจนไอโซโทปของซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลินิด	85
5.3	ค่าคาร์บอนและออกซิเจนไอโซโทปของซากดึกดำบรรพ์แบรคิโอพอด	86
5.4	ค่าคาร์บอนและออกซิเจนไอโซโทปของแร่โดโลไมต์	86
5.5	ค่าเฉลี่ยระดับความเป็นเกลือที่คำนวณได้จากค่าไอโซโทปของหินคาร์บอนเนต ยุคเพอร์เมียน เลย-หนองบัวลำภู	104
5.6	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิบรรพกาลที่คำนวณได้จากค่าไอโซโทปของหินคาร์บอนเนต ยุคเพอร์เมียน เลย-หนองบัวลำภู	104
ก	ขั้นตอน การข้อมสีเพื่อจำแนกแร่คาร์บอนเนต ตามวิธีการของ Dickson (1965)	130
ข	การจำแนกชนิดหินคาร์บอนเนต โดย Dunham (1962) และ (Embry และ Klovan, 1971)	131
ค, ง	การจำแนกชนิดหินคาร์บอนเนต โดย Folk (1959, 1962)	132
จ	การจำแนกชนิดหินคาร์บอนเนต โดย Embry และ Klovan (1971)	133



รายการภาพประกอบ

รูป	หน้า	
1.1	เส้นทางคมนาคม และตำแหน่งพื้นที่ศึกษา	3
1.2	แผนที่จังหวัดเลย แสดงขอบเขตจังหวัด อำเภอ ตำบล และเส้นทางคมนาคม	4
1.3	ลักษณะรูปแบบ และการไหลของทางน้ำในพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียง	6
1.4	ลักษณะแผ่นดิน และความสูงต่ำของภูมิประเทศของจังหวัดเลยและใกล้เคียง	8
2.1	โครงสร้างและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	12
2.2	เครื่องตัดหินที่ใช้ตัดตัวอย่างหินในงานวิจัยเพื่อจัดทำแผ่นหินบาง	16
2.3	ตู้อบความร้อนสำหรับอบแผ่นหินบางที่ติดกาวกับกระจกใสลัดที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียสประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อเร่งให้กาวแข็งตัว และแผ่นหินติดกระจกได้เร็วขึ้น	16
2.4	กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 × 5, × 25, × 45, และ × 100 และจออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบแผ่นหินบาง	16
2.5	เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของหินคาร์บอนेट	16
3.1	แผนที่ประเทศไทย แสดงแผ่นฐานธรณีของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และรอยเลื่อนสำคัญ	22
3.2	แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย แสดงธรณีวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือของที่ราบสูงโคราช	24
3.3	การกระจายตัวของหินยุคออร์โดวิเซียนในประเทศไทย	31
3.4	แท่งลำดับชั้นหินของกลุ่มหินทุ่งสง และตำแหน่งซากดึกดำบรรพ์บริเวณเกาะตะรุเตา ภาคใต้ของประเทศไทย	33
3.5	แท่งลำดับชั้นหิน และลักษณะปรากฏหินคอนบนของหมวดหินท่ามะนาว บริเวณแนวตัดของถนนหมายเลข 3119 (ลาดหญ้า-เขื่อนศรีนครินทร์) ประมาณ กม. 26+700 และ กม. 27+500 ด้านตะวันออกของเขื่อนท่าทุ่งนา จังหวัดกาญจนบุรี	34
3.6	แผนที่ประเทศไทย แสดงการกระจายตัวของกลุ่มหินยุคเพอร์เมียน และ พื้นที่ทางภูมิศาสตร์	36
3.7	แท่งลำดับชั้นหินยุคเพอร์เมียน ของกลุ่มหินงาว บริเวณคอยผาหลวง บ้านแม่หวด อำเภองาว จังหวัดลำปาง	40

รูป	หน้า	
3.8	การกระจายตัวของหินสมุทร ยุคจูแรสซิกของประเทศไทย	44
3.9	แท่งลำดับชั้นหินแสดงหมวดหินของกลุ่มหินลำปาง	45
3.10	แท่งลำดับชั้นหิน แสดงหินปูนกะเมาะกะละ บริเวณกะเมาะกะละ และแม่สอด ยุคไทรแอสซิกตอนบน	49
3.11	แท่งลำดับชั้นหินหมวดหินน้ำมโหฬารบริเวณผาเดิน	52
3.12	ชั้นหินเชิร์ตสีเทาเขียว ขนาดชั้นบางสลับในชั้นหินปูน รองรับชั้นหินปูนผาสิ่งห้ขนาดชั้นหนา บริเวณหลักกม. 6 (วังสะพุง-นากลาง)	54
3.13	หมวดหินอิลีส แสดงหินเชิร์ตสีน้ำตาลดำขนาดชั้นบางมาก มีซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลนิกเทรคสลับด้วยหินดินดานสีเทาเขียว ขนาดชั้นบางมาก (เส้นทางเลข-ท่าลี่ ประมาณ กม. 5 +)	54
3.14	หินปูนสีเทาขาวขนาดชั้นบางมาก แทรกสลับด้วยหินทัฟฟ์สีเทาเขียว ขนาดชั้นใกล้เคียงกัน ทางทิศเหนือของจังหวัดเลยประมาณ 2 กม. ของหมวดหินอิลีส	54
3.15	หินดินดานและหินทรายแป้งสีเทาเขียว-สีน้ำตาลเหลือง ขนาดชั้นบาง เนื้อไมกาเขียวซึ่งแสดงให้เห็นได้ทั่วไปของหมวดหินผาคือ บริเวณเส้นทางเลข-เชียงคานไปตามแนวแม่น้ำโขงและน้ำเหืองไปทางตะวันตก	54
4.1	การแผ่กระจายของหินยุคเพอร์เมียน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง	59
4.2	แท่งลำดับชั้นหินของหมวดหินน้ำมโหฬารในพื้นที่ศึกษา	62
4.3	หินปูนสีเทาดำขนาดชั้นบาง มีหินเชิร์ตเป็นแนวบางและกะเปาะขนาดเล็ก ขนานไปกับแนวระนาบของชั้นหิน ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข 11 บริเวณถ้ำเสือหมอบ (ดูแผ่นหินบางรูป 4. 5)	64
4.4	ช่วงกลางของการลำดับชั้นหินของหมู่หินถ้ำเสือหมอบแสดงการลำดับชั้นหินปูนขนาดชั้นบางถึงบางมาก มีหินดินดานสีน้ำตาลแดงแทรกในระหว่างชั้น ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข 9, 10 บริเวณถ้ำเสือหมอบ (ดูแผ่นหินบางรูป 4. 6)	64
4.5	หินปูนชนิด Packstone / Biomicrite (หิน โผล่รูป 4. 3: ภาพถ่ายภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10X5 เท่า ประกอบด้วยสาหร่ายแตกหัก ฟอแรมมินิเฟอราขนาดเล็ก ไบร โอซัว และ Pellet ในเนื้อพื้นของ pseudo sparry calcite	64

รูป	หน้า
4.6 หินปูนบริเวณหินโผล่รูป 4. 4: ภาพถ่ายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 X 5 เท่า หิน Packstone / Biomicrite ประกอบด้วยซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลินิด สำหรับ เปลือกหอย และ Pellet	64
4.7 หินปูนสีเทาดำขนาดชั้นบางมาก เนื้อละเอียดวางตัวรองรับชั้นหินปูน สลับเชิร์ตของหมู่หินบ้านหนองหิน ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข 1 บริเวณถ้ำเสือหมอบ (แผ่นหินบางรูป 4. 9)	65
4.8 หินปูนสีเทาถึงเทาดำขนาดชั้นบางมากมีเศษซากบรรพ์ซีวินแบรติโอพอด และฟอสซิลินิด ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข 60 (ดูแผ่นหินบางรูป 4. 10)	65
4.9 Pelmicrite / Wackstone เนื้อละเอียด ตัวอย่างหมายเลข 1 (หิน โผล่รูป 4. 8) หมู่หินถ้ำเสือหมอบ ส่วนประกอบมากกว่าร้อยละ 20 เป็น Pellet ในเนื้อพื้น โคลนคาร์บอนเนต (lime mudstone / micrite) บางส่วนแสดง การขยายรูปร่าง (neomorphism) ไม่พบซากดึกดำบรรพ์	65
4.10 แผ่นหินบางเนื้อปูน grain supported ประกอบด้วยซากดึกดำบรรพ์ มากกว่า 2 ใน 3 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10 X 5 เท่า แสดงเศษอิชิโนเดิม ขนาดใหญ่ร่วมด้วยเศษของฟอรัมมินิเฟอราและเศษสาหร่ายในเนื้อพื้น โคลนคาร์บอนเนต (ตัวอย่างหมายเลข 60 หินผลรูป 4. 8)	65
4.11 หินโผล่ของหมู่หินถ้ำเสือหมอบ ชั้นหินปูนสีเทาดำขนาดชั้นบางถึงปานกลาง เนื้อละเอียดมีหินดินดานชั้นบางแทรกระหว่างชั้นและชั้นหินเอียงตัวลงไปรองรับ ลำดับของหินปูนที่มีเชิร์ตเป็นกะเปาะและชั้นแถบบางของหมู่หินบ้านหนองหิน ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข 84	67
4.12 โดโลไมต์สีดำขนาดชั้นบางแทรกสลับด้วยเชิร์ตขนาดชั้นบางมากแสดงลักษณะ แบบหนังช้างบนผิวหน้าผุของชั้นหิน ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข 47, 48 (ดูแผ่นหินบางรูป 4. 15)	67
4.13 โดโลไมต์สีเทาขาว ขนาดชั้นบางเนื้อละเอียดแสดงผิวหน้าผุแบบหนังช้าง ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข 53	67
4.14 โดโลไมต์สีเทาดำเนื้อละเอียดขนาดชั้นบางมีแนวแถบสีดำขนาดบางมาก ของเชิร์ตสีดำแทรกสลับ ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข 54 (ดูแผ่นหินบางรูป 4. 16)	67

รูป	หน้า
4.15 หมูหินถ้ำเสือหมอบ ตัวอย่างหมายเลข 48 (ดูรูป 4. 12) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10 X 5 เท่า ผลึกโคโลไมต์เนื้อละเอียด มีการแทนที่สมบูรณ์ (peruasive replacement) แสดง Xenomorphic-equigranular fabric ช่องว่างของรอยแตกมีการตกผลึกของเชิร์ต	69
4.16 ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 X 5 เท่า ตัวอย่างหมายเลข 54 (จากหิน โพล์รูป 4. 14) โคโลไมต์เนื้อละเอียด มีการแทนที่สมบูรณ์ มีโครงสร้างแบบ Xenomorphic fabric แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน้าผลึกแบบ Compromise boundary equigranular ผลวิเคราะห์ทางเคมี ประกอบด้วย MgO ร้อยละ 19. 9	69
4.17 หินปูนสีเทาตำแหน่งบางถึงชั้นหนา มีชั้นเชิร์ตขนาดชั้นบางมากเป็นแนวนาน กับแนวระนาบหน้าชั้นหิน ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข 2 (ดูแผ่นหินบางรูป 4. 21)	69
4.18 แนวแถบชั้นบางมากของเชิร์ตสีดำ ในระหว่างชั้นหินปูน ตำแหน่งตัวอย่างที่ 4 (ดูแผ่นหินบางรูป 4. 22)	69
4.19 ชั้นเชิร์ตสีดำขนาดชั้นบางมาก เป็นกะเปาะรูปเลนซ์ ต่อเนื่องเป็นแนวนาน กับแนวระนาบของชั้นหินปูน ตำแหน่งตัวอย่างที่ 5	71
4.20 หินปูนสีเทาตำแหน่งบางสลับชั้นเชิร์ตสีดำ หมูหินบ้านหนองหิน ค้านตะวันออกของภูถ้ำน้ำ	71
4.21 หินปูน Biopackstone / Biomicrite ประกอบด้วยซากดึกดำบรรพ์ของแบรคิโอพอด ตัวอย่างหมายเลข 2 ตำแหน่งหิน โพล์รูป 4. 17 หมูหินบ้านหนองหิน บริเวณถ้ำเสือหมอบ ภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 X 5 เท่า	71
4.22 ภาพภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10 X 5 เท่า หมูหินบ้านหนองหิน ตัวอย่างหินหมายเลข 4 (ดูรูป 4. 18) เป็น Biomicrite / Packstone เนื้อพื้นประสมของสปาร์ไรต์ (sparite calcite matrix) มีซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลชนิด แบรคิโอพอด และเศษสาหร่าย	71
4.23 หินกรวดมนสีเทาเขียว เนื้อประสานแน่น ประกอบด้วยก้อนกรวดของหินปูน หินภูเขาไฟ และเชิร์ต มีการัดขนาดเลว ของหมวดหินห้วยหินลาด วางตัวไม่ต่อเนื่องบนหินปูนหมูหินภูผาขาว ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข 59	73
4.24 หินปูนสีเทาตำแหน่งชั้นหนามาก ถึงแบบมวลเนื้อหินมีซากดึกดำบรรพ์ ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข 18 แผ่นหินบางรูป 4. 25	73

รูป		หน้า
4.25	ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10 X 5 เท่า หินปูนเนื้อผลึกหยาบ แร่แคลไซต์ มีผลึกเชิร์ตปรากฏให้เห็น หินโผล่รูป 4. 24 หมู่หินภูเขาขาว	73
4.26	โดโลไมต์สีขาว ขนวดชั้นหนา เนื้อผลึกน้ำตาลทราย ผิวหน้าผุ มีลักษณะหนังช้าง ตัวอย่างหมายเลข 46	73
5. 1ก.	แสดงหลอดทดลองและเครื่องตรวจวัดอุณหภูมิ และความดัน	81
5. 1ข	แสดงหลอดทดลองระบบปิดและถังใส่ก๊าซในโตรเจนเหลวที่ จะถูกปล่อย ให้ไหลผ่านระบบในการปรับอุณหภูมิในห้องทดลอง ไอโซโทป	81
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) และ $\delta^{18}\text{O}$ (SMOV) และ $\delta^{18}\text{C}$ แสดงคาร์บอนเนตจากสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ของ (Rollinson, 1990)	88
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) และ $\delta^{18}\text{C}$ (PDB) ของคาร์บอนเนตสมุทร และคาร์บอนเนตน้ำจืดแบบต่าง ๆ (Boggs, 1987)	88
5.4	ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) และ $\delta^{18}\text{C}$ (PDB) ของหินคาร์บอนเนต หมวดหินน้ำมโหฬาร แสดงทิศทางและการกระจายตัว	90
5.5	การกระจายตัวของค่าสัดส่วน ไอโซโทปของออกซิเจนและคาร์บอนที่วิเคราะห์ ได้จากหินคาร์บอนเนต หมวดหินน้ำมโหฬารในพื้นที่การศึกษา ด้านตะวันออก ของจังหวัดเลย	91
5. 6	ความสัมพันธ์ระหว่าง $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) และ $\delta^{18}\text{C}$ (PDB) ของหินคาร์บอนเนต หมวดหินน้ำมโหฬาร แสดงพัฒนาการ การแข็งตัวมีความสัมพันธ์ กับทิศทางต่าง ๆ จาก (Rollinson, 1993)	92
5.6	การแกว่งตัวของค่า $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) และ $\delta^{18}\text{C}$ (PDB) ที่วิเคราะห์ ได้จากตัวอย่างหินก่อนตามแท่งลำดับชั้นหิน	96
5.8	การแกว่งตัวของค่า $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) และ $\delta^{18}\text{C}$ (PDB) ที่วิเคราะห์ ได้จากซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลตามแท่งลำดับชั้นหิน	97
5.9	การแกว่งตัวของค่า $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) และ $\delta^{18}\text{C}$ (PDB) ที่วิเคราะห์ ได้จากซากดึกดำบรรพ์แบรคิโอพอดตามแท่งลำดับชั้นหิน	98
5.10	การแกว่งตัวของค่า $\delta^{18}\text{O}$ (PDB) และ $\delta^{18}\text{C}$ (PDB) ที่วิเคราะห์ ได้จากแร่โดโลไมต์ตามแท่งลำดับชั้นหิน	99

## บทที่ 1 บทนำ



### 1.1 คำนำ

รายงานวิจัยฉบับนี้ดำเนินการภายใต้เงินสนับสนุนทุนวิจัยรัชดาภิเษกสมโภชสาขาวิทยาศาสตร์กายภาพ ประจำปีงบประมาณ 2540 โดยคณาจารย์และกลุ่มนักวิจัยจากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภายใต้หัวข้อเรื่องสภาวะแวดล้อมการสะสมตัวของหินปูนยุคเพอร์เมียน ในบริเวณจังหวัดเลย และหนองบัวลำภู

### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อ

1. ศึกษาสภาวะแวดล้อมการสะสมตัวของหินปูนและตะกอนคาร์บอเนต โดยเน้นการศึกษาด้านออกซิเจนไอโซโทปเป็นหลัก
2. หาความสัมพันธ์ของชั้นคาร์บอเนต เพื่ออธิบายประวัติศาสตร์บรรพกาลเชิงวิวัฒนาการของพื้นที่
3. ศึกษาถึงความสัมพันธ์ของการกำเนิดกับคุณค่าเชิงเศรษฐกิจ
4. ใช้เป็นพื้นที่กรณีศึกษาในการเป็นตัวแทนเปรียบเทียบกับหินปูนยุคเดียวกันในพื้นที่ส่วนอื่นของประเทศไทย

### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการวิจัยอยู่ภายใต้ลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

1. การศึกษาสภาวะแวดล้อมทางธรณีวิทยาของบริเวณแหล่งหินที่ทำการศึกษาวิจัย อาศัยการแปลภาพถ่ายทางอากาศ และภาพจากดาวเทียมร่วมกับการสำรวจในภาคสนาม
2. การศึกษาลักษณะปรากฏของชั้นหินในสนาม ได้ทำแนวตัดขวางเพื่อวัดความหนาของชั้นหินคาร์บอเนต และทำการเก็บตัวอย่างหินเพื่อนำมาทำการตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ
3. ทำการเก็บตัวอย่างหินปูนตามแบบลำดับชั้นหิน เพื่อวิเคราะห์ค่าไอโซโทป
4. จัดทำแผนที่ธรณีวิทยาจำแนกประเภทหินปูนและหินคาร์บอเนตของพื้นที่วิจัยเฉพาะในส่วนที่อยู่ในบริเวณจังหวัดเลยแถบทิศตะวันออกสุดและจังหวัดหนองบัวลำภูแถบทิศตะวันตกสุด
5. การศึกษานี้ไม่เน้นหนักการตรวจสอบซากดึกดำบรรพ์ที่พบอย่างละเอียด แต่มีการนำมาประกอบการอภิปรายเพื่อหาสภาวะแวดล้อมการสะสมตัวจากข้อมูลที่มีผู้ทำไว้ก่อนแล้วและข้อกำหนดด้านอายุเพื่อการลำดับชั้นหิน



## 1.4 พื้นที่ทำการวิจัย

พื้นที่ศึกษาวิจัยครอบคลุมพื้นที่การแผ่กระจายตัวของหินคาร์บอนยุคเพอร์เมียน (อายุในช่วงระหว่างประมาณ 230-280 ล้านปี) ที่มีการกระจายตัวเป็นชั้นหินโคลล์ตามแนวด้านตะวันออกของจังหวัดเลย และบางส่วนด้านตะวันตกของจังหวัดหนองบัวลำภู ซึ่งครอบคลุมพื้นที่อำเภอต่างๆ ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอวังสะพุง อำเภอนาคู อำเภอภูกระดึง อำเภอผาขาว และอำเภอนากลาง (รูป 1.1 และ 1.2)

## 1.5 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่การวิจัย

### 1.5.1 ตำแหน่งที่ตั้ง และการคมนาคม (Location and Travel)

จังหวัดเลยเป็นจังหวัดหนึ่งทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยมีเนื้อที่ทั้งหมด 11, 424.6 ตารางกิโลเมตรทางทิศเหนือและทิศตะวันตกเฉียงเหนือติดกับประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว ทิศตะวันตกติดกับจังหวัดพิจิตรโลก ทิศตะวันออกเฉียงเหนือติดกับจังหวัดหนองคาย ทิศตะวันออกติดกับจังหวัดหนองบัวลำภู ทิศใต้ติดกับจังหวัดเพชรบูรณ์และทิศตะวันออกเฉียงใต้ติดกับจังหวัดขอนแก่น (รูป 1.2)

ระยะทางจากกรุงเทพมหานครตามทางหลวงแผ่นดินไปทางตะวันออกเฉียงเหนือ ถึงที่ตั้งตัวจังหวัดเป็นระยะทาง 558 กิโลเมตร มีการสัญจรที่สะดวกทุกฤดูกาลด้วยเส้นทางหลวงแผ่นดินจำนวนหลายสายหรือโดยสารการบินภายในประเทศจากกรุงเทพมหานครถึงจังหวัดขอนแก่น หรือจังหวัดอุดรธานี หรือจังหวัดพิจิตรโลก ก่อนเดินทางต่อด้วยรถยนต์ถึงจังหวัดเลย (รูป 1.1)

การคมนาคมระหว่างจังหวัดข้างเคียงและระหว่างอำเภอในเขตจังหวัดสะดวกตามเส้นทางหลวงจังหวัดและเส้นทางหลวงแผ่นดินจำนวนหลายเส้นทาง นอกจากนี้ยังประกอบด้วยเส้นทางระหว่างหมู่บ้านและอำเภอกระจายติดต่อกันได้อย่างทั่วถึง เมืองใหญ่ได้แก่ตัวอำเภอเมือง จังหวัดเลย มีโรงแรมที่พักมาตรฐาน โรงพยาบาล ธนาคารพาณิชย์ ที่ทำการไปรษณีย์และสถานีโทรคมนาคมซึ่งสามารถใช้บริการติดต่อสื่อสารทั้งภายในทั่วประเทศและระหว่างประเทศได้อย่างสะดวกรวดเร็ว

### 1.5.2 ภูมิศาสตร์ทั่วไป

#### 1.5.2.1 ลักษณะภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศเหมือนแบบของภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยทั่วไป เป็นแบบทุ่งหญ้าเขตร้อน (tropical savana) การแผ่กระจายตัวของฝนและอุณหภูมิขึ้นกับลมประจำที่พัดผ่าน 3 ประเภท คือ



รูป.1 เส้นทางคมนาคม และตำแหน่งพื้นที่ศึกษา ( จากแผนที่กรมทางหลวง  
ในประเทศไทย มาตรฐาน 1 : 1, 600, 000; กรมทางหลวง; 2539)



รูป 1.2 แผนที่จังหวัดเลย แสดงขอบเขตจังหวัด อำเภอ ตำบล และเส้นทางคมนาคม (สำนักงานสถิติแห่งชาติ สำนักงานนายกรัฐมนตรี, 2539. กรอบสี่เหลี่ยมแสดงพื้นที่ศึกษา)

1. ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดจากประเทศจีนนำลมหนาวเข้ามาในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้มีอุณหภูมิต่ำลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส โดยเฉพาะในบริเวณภูเขาสูง แต่อุณหภูมิต่ำสุดโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วงประมาณ 16 ถึง 17 องศาเซลเซียสและมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

2. ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พัดพาฝนจากมหาสมุทรอินเดียเข้ามาช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนตุลาคม ทำให้มีฝนตกและอากาศชุ่มชื้น ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอาจสูงมากกว่าร้อยละ 80

3. พายุดีเปรสชัน ซึ่งเคลื่อนตัวมาจากทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของอ่าวตังเกี๋ย มีความเร็วและทิศทางไม่แน่นอน ไม่มีความสม่ำเสมอ พายุมีอิทธิพลเด่นชัดในเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายนหรือบางที่ทำให้มีฝนตกต่อเนื่องไปจนถึงเดือนตุลาคมหรือบางที่ฝนตกติดต่อกันหลายวันจนเกิดน้ำท่วม

อากาศร้อนจัดและค่อนข้างแห้งแล้ง โดยเฉพาะในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (อุณหภูมิตั้งแต่อุณหภูมิประมาณเฉลี่ย 38 °ซ โดยเฉพาะบริเวณหุบเขา) แต่มีบางช่วงเวลาที่อากาศมีความชุ่มชื้นเนื่องจากได้รับอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ หรือลมพายุดีเปรสชันที่พัดผ่าน

### 1.5.2.2 ลักษณะทางน้ำ

ลักษณะรูปร่างและการไหลของทางน้ำในเขตพื้นที่จังหวัดเลย (รูป 1.3) ถูกบังคับด้วยระบบของโครงสร้างของพื้นที่ จากการไหลที่กลับทิศ มีลักษณะเป็นเส้นตรง และมีการหักงอไปมาของทางน้ำ การไหลของทางน้ำมีการไหลใน 3 ทิศทางจากแนวสันปันน้ำในเขตพื้นที่ภูเขาและเทือกเขาสูงทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ แบ่งแนวการไหลของทางน้ำส่วนใหญ่ลงไปทางทิศเหนือ บางส่วนลงไปทางทิศใต้ และบางส่วนลงไปทางทิศตะวันออกและตะวันออกเฉียงใต้

1. กลุ่มของทางน้ำที่ไหลลงไปทางทิศเหนือ เป็นแนวการไหลของทางน้ำที่อยู่ในพื้นที่ทางตอนเหนือ ตอนกลางและตะวันตก ทางน้ำทั้งหมดไหลลงสู่แม่น้ำโขงซึ่งมีช่วงการไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ทางน้ำสาขาสายใหญ่รองลงมาจากแม่น้ำโขง และเป็นสาขาของแม่น้ำโขง ได้แก่ น้ำเหือง และแม่น้ำเลย โดยแม่น้ำเลยไหลผ่านตอนกลางของจังหวัดเลยในทิศทางไหลขึ้นเหนือผ่านอำเภอวังสะพุง อำเภอเมืองก่อนลงสู่แม่น้ำโขง แม่น้ำเลยเป็นแม่น้ำสายยาวที่มีการโค้งตัวหรือกวัดแกว่ง (meandering) ก่อให้เกิดพื้นที่ราบบริเวณกว้างแต่ทางน้ำยังคงแสดงลักษณะหักงอไปมา โดยเฉพาะบริเวณต้นน้ำ



น้ำเหืองเป็นทางน้ำสายใหญ่ มีทิศทางการไหลไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือเชื่อมต่อกับแนวการไหลของแม่น้ำโขง ทางน้ำมีการกวัดแกว่งตัวในช่วงแคบ ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวของทางน้ำ น้ำเหืองกันตามแนวเขตแดนด้านตะวันตกเฉียงเหนือของจังหวัดเลย ทางน้ำในพื้นที่ด้านตะวันตกทั้งหมด ซึ่งไหลขึ้นทางทิศเหนือจึงเป็นสาขาของน้ำเหืองก่อนไหลลงสู่แม่น้ำโขงอีกต่อหนึ่ง แนวการไหลของทางน้ำสาขาของแม่น้ำเหืองไหลลงไปทางทิศเหนือและมีแนวเกือบขนานกันทั้งหมด บริเวณด้านตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอท่าลี่ ทางน้ำสาขาไหลออกจากบริเวณที่สูงของพื้นที่หินภูเขาไฟ มีทิศทางการกัดเซาะออกไปหาหินตะกอนที่มีความคงทนน้อยกว่าและมีทิศทางการไหลลงสู่ทางน้ำสาขาขนาดใหญ่กว่ารอบทิศทาง จึงมีรูปแบบการไหลของธารน้ำคล้ายรัศมี (radiating pattern) จากศูนย์กลางของสันปันน้ำลงสู่ทางน้ำสาขา

ทางน้ำที่มีแนวการไหลขนานกับแนวการไหลของแม่น้ำเลย เช่นน้ำพิงไหลผ่านอำเภอนาแห้ว และน้ำหมันไหลผ่านอำเภอด่านซ้าย (รูป 1.3) เป็นต้น ทางน้ำมีแนวทิศทางเกือบขนานกัน จัดเป็นทางน้ำแบบขนาน (parallel drainage pattern) และมีการหักงอเป็นช่วงระยะๆ แบบคันเบ็ด (barbet drainage pattern) ทางน้ำทั้งหมดมีการกัดเซาะทางลึกลึกกว่าด้านข้าง ไม่แสดงการโค้งตัว มีวิวัฒนาการปรับพื้นที่ราบเรียบ (peneplain) ตามแนวยาวของทางน้ำทั่วไป

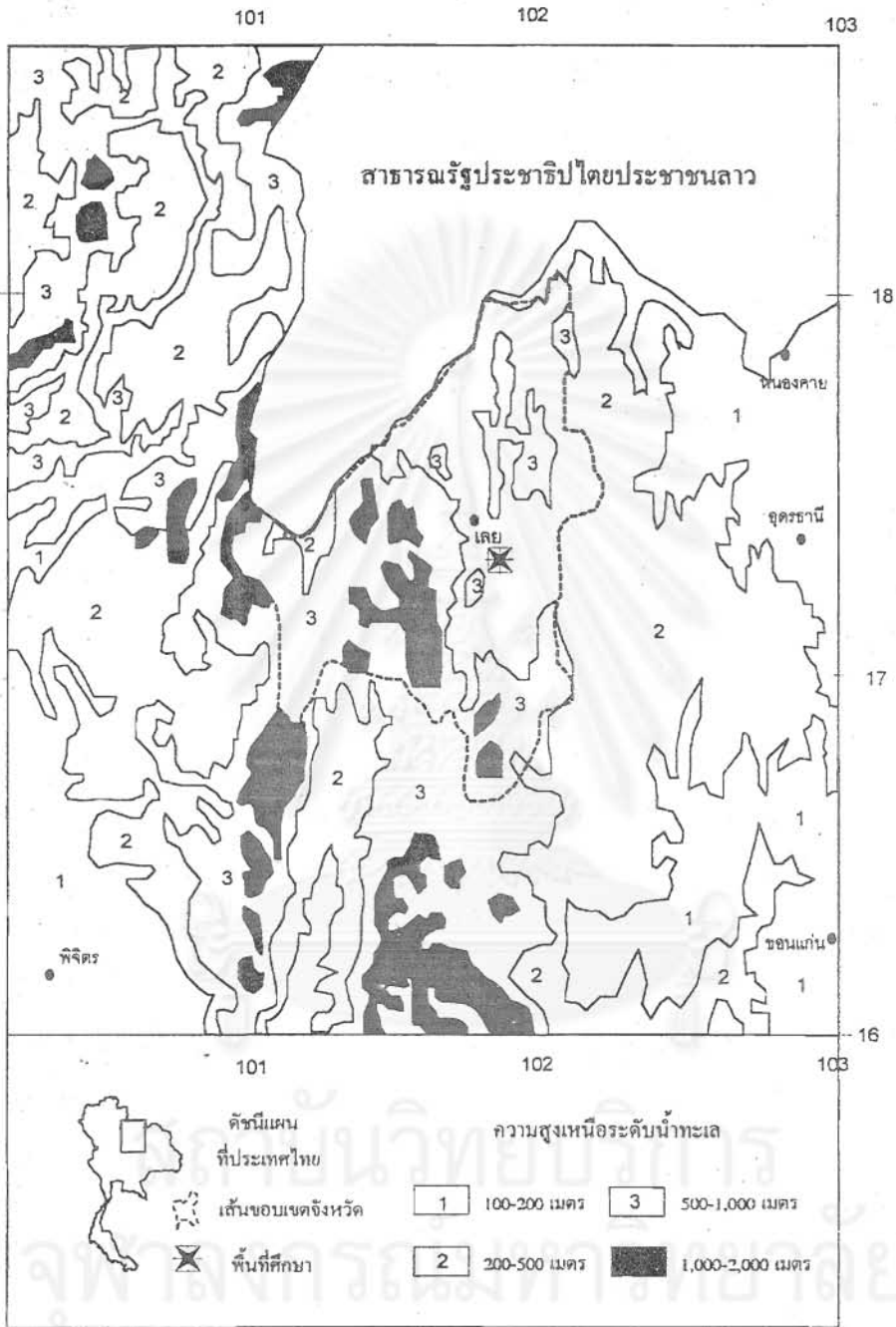
2. กลุ่มทางน้ำซึ่งมีแนวการไหลไปทางทิศใต้ อยู่ในบริเวณพื้นที่ด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของจังหวัดเลย โดยทางน้ำไหลจากพื้นที่ของภูเขาและเทือกเขาสูงลงไปทางทิศใต้ของกลุ่มแม่น้ำป่าสัก ทางน้ำยังคงเป็นเส้นตรงและหักงอเป็นระยะๆ ทางน้ำบริเวณพื้นที่ด้านตะวันออกเฉียงใต้ไหลลงสู่แม่น้ำพองและสาขาของแม่น้ำพอง การไหลลดโค้งไปตามแนวโครงสร้างของชั้นหิน บางช่วงเป็นเส้นตรงและยังคงหักงอเป็นระยะ ๆ มีการกัดเซาะทางลึกลึกกว่าด้านข้างเช่นกัน

### 1.5.2.3 ลักษณะภูมิประเทศ

พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นภูเขาใหญ่น้อยและเทือกเขาสูง โดยเฉพาะพื้นที่ทางด้านตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ พื้นที่ที่ถูกกัดกร่อนและแบนราบต่ำลงเป็นที่ราบลุ่มอันเนื่องมาจากอิทธิพลของกระแสน้ำและทางน้ำ ในที่นี้จำแนกลักษณะพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วนตามลักษณะและระดับความสูงต่ำของพื้นที่ (ดูรูป 1.4 ประกอบ) ได้แก่

1. พื้นที่ราบน้ำท่วมและที่ราบตามทางน้ำ (Floodplain and channel area) เป็นที่ราบแคบ ๆ ทางน้ำเห็นชัดเจนตามแนวทางน้ำใหญ่ เช่นแม่น้ำโขงรวมถึงที่ราบเนินตะพักที่ต่อเนื่องขยายตัวแผ่กว้าง





รูป 1.4 ลักษณะแผ่นดิน และความสูงต่ำของพื้นที่ จังหวัดเลย และใกล้เคียง

ออกไปทางตะวันออกในเขตจังหวัดหนองบัวลำภู พื้นที่ราบระดับประมาณตั้งแต่ 200 เมตรจากระดับน้ำทะเล ลงมาจนถึงแนวระดับของร่องน้ำที่ระดับประมาณ 100 เมตรจากระดับน้ำทะเล

2. พื้นที่ค่อนข้างราบ รวมถึงพื้นที่น้ำท่วมถึงและท่วมไม่ถึง (Flatplain area) เป็นพื้นที่ราบลุ่มจากการกัดเซาะ และโค้งตัวคดของทางน้ำ เช่นจากอิทธิพลของแม่น้ำโขงทางตอนเหนือ ลุ่มแม่น้ำขานทางตอนเหนือของอำเภอท่าลี่ ตามแนวลุ่มแม่น้ำเลยและพื้นที่ลุ่มคดตอนกลางและตะวันออกเฉียงใต้ เป็นต้น พื้นที่มีเนินลาด และที่ราบลุ่ม ระดับพื้นที่ความสูงประมาณ 200 ถึง ประมาณระดับ 500 เมตรจากระดับน้ำทะเล มีความแตกต่างของระดับความสูงพื้นที่น้อย (low relief) และเป็นพื้นที่ค่อนข้างราบ

3. ภูมิประเทศแบบเนินเขา และคลื่นลอนลาด (Hill and undulating area) เป็นพื้นที่ต่อเนื่องอยู่แนวขอบรอบๆ ในระดับต่ำลงมาของพื้นที่แบบภูเขาและเทือกเขาสูง พื้นที่บางส่วนยังคงเป็นภูเขาสลับกับพื้นที่เนินเขาและพื้นที่ลาดสลับสูงต่ำ ระดับความสูงของพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน (high relief) ความสูงต่ำของลอนลาดในระดับประมาณ 300 ถึง 400 เมตร หรือถึง ประมาณ 500 เมตรจากระดับน้ำทะเล ในบางบริเวณ

4. ภูมิประเทศแบบภูเขาและเทือกเขาสูง (Mountaineous area) เป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดเลย อยู่ทางด้านตะวันตก ตะวันตกเฉียงใต้และพื้นที่บางส่วนด้านตะวันออกเฉียงเหนือ มีลักษณะเป็นภูเขาสูงชันซ้อนต่อกันเป็นแนวยาว เป็นต้นกำเนิดของทางน้ำ และเป็นตัวแบ่งแนวของสันปันน้ำโดยเฉพาะทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของพื้นที่ซึ่งเป็นพื้นที่รับน้ำของน้ำเหือง พื้นที่รับน้ำของกลุ่มแม่น้ำป่าสักและพื้นที่รับน้ำของแม่น้ำพอง ความสูงของภูเขาจำนวนมากสูงกว่า ระดับ 1,000 เมตร และบางยอดสูงกว่าระดับ 1,500 เมตร เช่นภูหลวงทางด้านทิศใต้ของพื้นที่สูงถึง 1,571 เมตรจากระดับน้ำทะเล

#### 1.5.2.4 ประชากร และอาชีพ

ชุมชนในเมืองมีการประสมปนเปกันระหว่างชาวไทยภาคกลาง ชาวไทยพื้นเมืองและชาวลาว รวมทั้งชาวต่างประเทศต่างๆ ที่เดินทางไปมาเพื่อทำธุรกิจและท่องเที่ยว วิถีชีวิตส่วนใหญ่ยังคงเป็นแบบชนบทไทยโดยเฉพาะนอกตัวเมืองใหญ่ มีศาสนาพุทธเป็นศาสนาหลัก ภาษาที่ใช้ประกอบด้วยภาษาไทยภาคกลางและภาษาถิ่น ประชากรในตัวเมืองประกอบอาชีพค้าขาย ขายบริการและรับจ้างนอกตัวเมืองประชากรส่วนใหญ่ยังคงมีอาชีพทางเกษตรกรรมและอาชีพที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรกรรม

## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Related Literature)

การศึกษาที่เกี่ยวข้องทางด้านหินปูนและหินคาร์บอเนตที่มีการศึกษาในประเทศไทยส่วนมากหรือแทบทั้งหมดเป็นการศึกษาในระดับงานสำรวจเพื่อการจำแนกแหล่งหินปูนหรือหินคาร์บอเนตออกจากแหล่งหินอื่นๆ (zoning) ซึ่งส่วนมากมีวัตถุประสงค์เชิงพาณิชย์และประกอบการหากำไรทางธุรกิจเป็นหลัก

การศึกษาในระดับการวิจัยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาวิจัยทางซากดึกดำบรรพ์และทางโบราณชีววิทยา (fossils and palaeontology) เช่นการศึกษาวิจัยซากดึกดำบรรพ์ของหินปูนยุคเพอร์เมียนบริเวณจังหวัดสระบุรีโดย Titirananda (1976) หรือการวิจัยซากดึกดำบรรพ์โคโนดอนในหินปูนยุคไทรแอสซิกบริเวณพื้นที่จังหวัดพัทลุงและนครศรีธรรมราช โดย Amphornmaha (1995) และการวิจัยซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลนิคของหินปูนยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน ในพื้นที่จังหวัดเลย โดย Charoentitirat (1995) เป็นต้น

สำหรับการศึกษาทางด้านตะกอนวิทยาของหินปูน (carbonate sedimentology) โดยใช้หลักฐานการศึกษาทางศิลาวรรณา (petrography) มีการศึกษาในภาพกว้างของการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางส่วนประกอบของหินบริเวณขอบของที่ราบสูงโคราช โดย Wielchowsky และ Young (1985) หรือการศึกษาหินปูนยุคเพอร์เมียนบริเวณพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย โดย Chinoroje (1993) และที่สำคัญคือการศึกษาทางตะกอนวิทยาของหินคาร์บอเนตยุคไทรแอสซิกในเขตพื้นที่จังหวัดลำปาง โดย Chaodumrong (1992) ซึ่งทำให้เกิดแบบฉบับต่อการศึกษาตะกอนวิทยาในปัจจุบัน

การศึกษาไอโซโทปคงที่ของหินคาร์บอเนตของประเทศไทยเท่าที่มีรายงานการศึกษาวิจัยในหินยุคออร์โดวิเชียนของกลุ่มหินทุ่งสงบริเวณเกาะตะรุเตา จังหวัดสตูล โดย Wongwanich (1990)

## บทที่ 2 วิธีการวิจัย

### 2.1 คำนำ

ในบทนี้กล่าวถึงวิธีการวิจัยและขั้นตอนการดำเนินงาน เพื่อให้โครงการดำเนินไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้อย่างมีระบบกฎเกณฑ์ ประสิทธิภาพและสามารถตรวจสอบได้อย่างเป็นขั้นตอน โดยมีวิธีวิจัยและขั้นตอนการดำเนินการ (รูป 2.1) ดังนี้

### 2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

#### 2.2.1 การวิจัยเชิงเอกสาร และรวบรวมเอกสารว่าด้วยการสำรวจธรณีวิทยา

ขั้นตอนนี้เป็นการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องด้านธรณีวิทยาในภาพรวมทั้งหมด โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องและครอบคลุมพื้นที่ทำการวิจัยเพื่อสรุปภาพรวมและหาความสัมพันธ์เบื้องต้นทางการลำดับชั้นหินของกลุ่มหินคาร์บอนีตยุคเพอร์เมียนกับกลุ่มหินคาร์บอนีตยุคอื่นที่กระจายตัวอยู่ในประเทศไทย (ดูรายละเอียดในรายงานบทที่ 3)

#### 2.2.2 การแปลภาพถ่ายทางอากาศและภาพดาวเทียม

สำหรับในขั้นตอนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาสภาพธรณีวิทยาและโครงสร้างบริเวณกว้างโดยการนำเอาเทคนิคด้านโทรสัมผัส (remote-sensing) ด้วยการนำข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียมมาประยุกต์ในรายละเอียดให้เห็นภาพการกระจายตัวของหินและลักษณะทางโครงสร้างของหินในพื้นที่ศึกษาในภาพรวม ทั้งนี้เพื่อช่วยลดการทำงานและเวลาในการสำรวจรวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพของงานในขั้นรายละเอียดในภาคสนาม

ในการศึกษาหมวดหินคาร์บอนีตยุคเพอร์เมียนในพื้นที่จังหวัดเลย สามารถจำแนกและแสดงขอบเขตได้ด้วยความแตกต่างทางสัณฐานธรณีวิทยา (geomorphology) และลักษณะหิน (lithology) ที่มีลักษณะปรากฏทางกายภาพของพื้นผิวขรุขระ ภูเขาสูงที่แสดงหน้าผาชันและภูมิประเทศแบบคาร์สต์ (karst topography) ปรากฏให้เห็นบนภาพดาวเทียม ในขณะที่หินตะกอนเม็ด (clastic rocks) มักแสดงภูมิประเทศแบบที่ต่ำ (low relief)



รูป 2.1 โครงร่างและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

### 2.2.3 ตรวจสอบการแปลภาพถ่าย และจัดทำร่างแผนที่ธรณีวิทยา

โดยอาศัยข้อมูลธรณีวิทยาเดิมและข้อมูลจากผู้ที่ศึกษาไว้ก่อนทั้งจากภาคสนามร่วมกับข้อมูลจากการแปลภาพถ่ายเทียม เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์และตีความข้อมูลเบื้องต้นในช่วงเวลาดำเนินการช่วงแรกทั้งหมด มีการจัดทำแผนที่ต้นร่างแสดงการกระจายของกลุ่มหินและหน่วยหิน และโครงสร้างโดยใช้ข้อมูลจากการแปลภาพถ่ายร่วมกับข้อมูลจากการวิจัยเชิงเอกสารเพื่อใช้เป็นแผนที่ฐานในการสำรวจภาคสนาม

### 2.2.4 การศึกษาภาคสนาม และเก็บตัวอย่างหิน

#### 2.2.4.1 งานภาคสนาม

การศึกษาในภาคสนามมีการวางแผนก่อนการสำรวจ เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เพราะเป็นการเก็บหลักฐานข้อมูลซึ่งเป็นข้อเท็จจริง ได้แก่ข้อมูลทางธรณีวิทยาของการลำดับชั้นหิน โดยศึกษาหิน ฟิลด์ (outcrop) เพื่อเปรียบเทียบกับหินข้างเคียง โครงสร้างและลักษณะของหิน (fabric, structure and texture) การศึกษาในภาคสนามจำแนกได้ตามลำดับดังนี้

1. การกำหนดชื่อตามหลักหินวิทยา (lithology) และศิลาวิทยา (petrology) เช่นหินปูน หินปูนโดโลไมติก หรือโดโลไมต์ เป็นต้น โดยอาศัยลักษณะรูปร่างของหิน องค์ประกอบที่มองเห็น ได้ด้วยตาเปล่า หรือใช้แว่นขยาย อาจใช้กรดเกลือ และ/หรือน้ำยาเคมี เช่น arizalin red เข้าช่วย

2. สีของหิน ทั้งหินสดและหินที่ผุพัง โดยอาศัยการเปรียบเทียบกับสีมาตรฐาน เช่น rock color chart (Geological Society of America, 1951) หรือของ munsell soil color chart (Folk, 1969)

3. สังเกตลักษณะรอยแตกของหิน แยกแบบเรียบ (even) แยกแบบไม่เรียบ (uneven) แบบก้นหอย (conchoidal) แบบกึ่งก้นหอย (subconchoidal) แยกแบบเสี้ยนไม้ (splintery) แยกแบบผ่าเม็ดแร่ หรือเป็นแนวเรียบ (cleavage)

4. ศึกษาเนื้อหิน โดยใช้แว่นขยายขนาด 10 เท่า โดยพิจารณารายละเอียดของหินเช่น

-ลักษณะเนื้อหิน (matrix) เช่นขนาดของเม็ดแร่ เนื้อพื้นเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่

-ส่วนที่เป็นชั้นส่วนหรือ สเปิร์ไต์ว่ามีขนาดเท่ากันหรือไม่ เป็นตัวเชื่อมประสาน (cement)

หรือไม่



-ชนิดของเม็ดตะกอน (particle) ในหิน เช่น ซากดึกดำบรรพ์ เศษแตกหักของสิ่งมีชีวิต เม็ดกลมเล็ก (pellet) หรือเศษหิน (intraclast) เป็นต้น

-ขนาด รูปร่าง และความกลมมนของเม็ดตะกอน

-ปริมาณเนื้อพื้นเปรียบเทียบกับเม็ดตะกอน

-การเรียงตัวของเม็ดตะกอน การเรียงตัวตามชั้นหิน โครงสร้างเอียงเทก่อกันกรวด (Imbricate structure) และการเอียงตัวขนาดเม็ดตะกอน (grade bedding)

### 5. พิจารณาชั้นหิน และลักษณะเนื้อหิน ได้แก่

-การพิจารณาชั้นหินดูการวางตัวในแนวราบและแนวเฉียงระดับ ชั้นของการเปลี่ยนรูป และชั้นซากสิ่งมีชีวิต

-ลักษณะที่ปรากฏบนผิวหน้าของชั้นหิน เช่น รอยคลื่น รอยขจัด (scour mark) รอยพิมพ์ รูด หรือรอยแตกจากการหดตัว และร่องรอยของสิ่งมีชีวิต เป็นต้น

-ลักษณะที่ปรากฏบริเวณด้านล่างของชั้นหิน เช่น รอยกดทับ หรือร่องรอยสิ่งมีชีวิต เป็นต้น

-ลักษณะภายในชั้นหิน เช่น การเรียงแถบชั้นบางเป็นระเบียบ (lamination) และมีการเรียงเป็นวงจรสลับไปมาหรือไม่

-วัดความหนาชั้นหิน

-สังเกตการปรากฏของแร่โคโลไมต์

-หาความสัมพันธ์ระหว่างลำดับชั้นหินและลักษณะของชั้นหินเหล่านั้น

-พิจารณาตรวจสอบชนิดของซากดึกดำบรรพ์เบื้องต้น

### 2. 2. 4. 2 การเก็บตัวอย่างหิน

การเก็บตัวอย่างหินเพื่อนำมาวิเคราะห์ ขึ้นกับลักษณะทางธรณีวิทยาในแต่ละบริเวณ เช่น การโผล่ของหิน ชนิดหินและความหนาแน่นของชั้นหิน การเก็บตัวอย่างหินในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการเก็บตัวอย่างหินแบบตัวแทนชั้นหิน และคัดเลือกตัวอย่างหินสดเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ขนาดของตัวอย่างหินที่ได้ทำการเก็บมีขนาดโดยเฉลี่ยประมาณ 5 X 4, หรือ 5 X 5 หรือประมาณ 20 X 15 เซนติเมตร

### 2. 2. 4. 3 การเตรียมตัวอย่างหิน

นำตัวอย่างหินจากการเก็บตามวิธีการสนามจำนวนประมาณ 100 ตัวอย่างมาทำความสะอาดและจัดแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำมาตัดเป็นแผ่นหินบางเพื่อการตรวจสอบทาง

ศิวาวิทยา อีกส่วนหนึ่งนำไปดัดเป็นผงเพื่อการตรวจวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมี นอกจากนี้ได้ทำการคัดเลือกตัวอย่างอีกประมาณ 50 ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนชั้นหินสำหรับจัดเตรียมเพื่อวิเคราะห์ทางออกซิเจนไอโซโทปคงที่

#### การเตรียมตัวอย่างหินประกอบไปด้วย

1. การตัดหิน และทำแผ่นหินขัดมัน (polish-section and rock slabs) เป็นการทำให้ตัวอย่างมีขนาดพอเหมาะ และสามารถศึกษาด้วยตาเปล่าหรือกล้องส่องตาได้สะดวก โดยนำไปตัดโดยเครื่องตัดหิน ใช้ใบเรียวโลหะตัดให้ได้หน้าเรียบ และขนาดตามต้องการ (รูป 2. 2)

2. การเตรียมแผ่นหินบาง (thin-section) การเตรียมแผ่นหินบางของหินคาร์บอนเนตมีวิธีการดังต่อไปนี้

ตัดตัวอย่างเป็นชิ้นเล็กขนาดความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ความกว้าง และความยาวประมาณ 2.5 X 4 เซนติเมตร-

ขัดตัวอย่างที่ตัดให้มีผิวหน้าเรียบ โดยใช้ผงขัดซิลิกอนคาร์ไบด์ หรือผงพลอย แล้วนำมาติดกับกระจกสไลด์ โดยปรกติจะใช้ขนาด 1 X 3 นิ้ว แต่บางครั้งอาจใช้ขนาดพิเศษซึ่งมีขนาดใหญ่ได้ ใช้กาวอีพอกซี (epoxy) หรือ กาวคานาดา (canada balsm) นำเข้าตู้อบ (รูป 2. 3) ประมาณ 2-3 ชั่วโมงเพื่อให้กาวแข็งตัวเร็วขึ้น

นำแผ่นหินที่ติดกับกระจกไปขัดให้มีขนาดบางลง โดยปรกติมักใช้ผงขัดเบอร์ 220 (60 ไมครอน-micron) แล้วขัดซ้ำด้วยผงขัดเบอร์ 320 หรือ เบอร์ 3F (12 ไมครอน) จนแผ่นหินบางมีความหนาประมาณ 0.03 มม (30 ไมครอน) แต่การศึกษาแผ่นหินบางในหินคาร์บอนเนตมักทำหนากว่าหินชนิดอื่น ๆ ซึ่งอาจมีความหนาในช่วงระหว่าง 30-70 ไมครอน ทั้งนี้เนื่องจากสามารถศึกษาลักษณะเนื้อหิน และ โครงสร้างต่าง ๆ ได้ดี อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาหินคาร์บอนเนตเนื้อละเอียดความหนาของแผ่นหินบางอาจต้องบางกว่าปรกติ คือประมาณ 0.5 - 5.0 ไมครอน เนื่องจากต้องใช้กล้องกำลังขยายสูงมากกว่า 100 เท่าขึ้นไป การศึกษาแผ่นหินบางของหินคาร์บอนเนตมักไม่ปิดแผ่นสไลด์ด้วยกระจก (covered glass) เพราะอาจต้องย้อมตัวอย่าง (staining) หรือกัดตัวอย่างหินด้วยกรด (etching) เพื่อศึกษาเพิ่มเติม



รูป 2.2

เครื่องวัดอัตราการสลายตัวของสาร  
ในกรณีวัดแก๊สที่ผลิตขึ้น



รูป 2.3

ตู้อบความร้อนสำหรับอบแห้งสารที่ผลิตจาก  
ถังแก๊สออกซิเจน ที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศา  
เซลเซียส ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อเร่งให้สาร  
แห้งตัว ก่อนนำมารวมกับตัวละลายให้เร็วขึ้น



รูป 2.4

กัลลิกูเลทวอร์คสเตชัน ทำได้ขนาด 10 x 5, x25,  
x45, และ x100 ไมครอน และชุดอุปกรณ์  
ที่ใช้ตรวจสอบขนาดอนุภาค



รูป 2.5

Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)  
ที่ใช้ตรวจวัดระดับธาตุหนักในตัวอย่าง

## 2. 2. 5 การวิเคราะห์ตัวอย่างหิน

การวิเคราะห์ตัวอย่างหินประกอบไปด้วย

### 2. 2. 5. 1 การตรวจสอบเพื่อศึกษาลักษณะทางศิลาวิทยา

การตรวจสอบนี้เป็นการตรวจสอบด้วยวิธีการทางศิลาพรรณา (petrographic techniques) ต่าง ๆ เช่น การย้อมตัวอย่าง การกัดกรวด และการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ เป็นต้น

#### การย้อมสี (staining) ตัวอย่างหิน

เพื่อใช้แยกประเภทแร่ในตระกูลคาร์บอเนตให้สามารถจำแนกได้ง่ายขึ้น หรือเพื่อการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์สะดวกขึ้น จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องอาศัยปฏิกิริยาระหว่างแร่กับสารเคมีทำให้เกิดสีต่างกัน ซึ่งเป็นวิธีสะดวกในการแยกแยะระหว่างแร่โดโลไมต์ กับแร่แคลไซต์ เทคนิคการย้อมสีในการศึกษานี้ใช้ตามวิธีการของ Dickson (1965) ดังแสดงในภาคผนวก

#### การกัดกรวด (etching)

การกัดกรวดเป็นการกัดผิวหน้าของตัวอย่างด้วยกรดเกลือเจือจาง เนื่องจากแร่ต่างชนิดกันจะทนต่อการกัดกร่อนด้วยกรดไม่เท่ากัน ในที่นี้ แร่โดโลไมต์ คงทนต่อกรดเกลือได้ดีกว่า ดังนั้นบนผิวหน้าของการกัดกรวดจึงให้ภูมิประเทศของผิวหินสูงนูนขึ้น ในขณะที่แร่แคลไซต์กัดกร่อนได้ดีกว่าจึงแสดงในพื้นที่หลุมต่ำเนื่องมาจากการละลายหายไป

#### การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (microscope)

การศึกษารูปร่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เป็นวิธีการมาตรฐานทั่วไป เพื่อการจำแนกชนิดของหินคาร์บอเนต โดยการสังเกตลักษณะปรากฏต่าง ๆ (microfacies) แร่ประกอบหิน ส่วนประกอบของ grains เนื้อประสม และเนื้อประสาน ซึ่งจะทำได้รายละเอียดมากขึ้นกว่าการสังเกตด้วยตาเปล่า หรือแว่นขยาย

ในการศึกษานี้ใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย  $10 \times 5$ ,  $10 \times 25$ ,  $10 \times 40$ , และ  $10 \times 100$  เท่า (รูป 2.4) โดยในการศึกษารูปร่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์นี้ อ้างอิงการเรียกชื่อชนิดหินตาม Dunham (1962), Folk (1962), และ Embry และ Klovan (1971) (ดูภาคผนวก)

### 2. 2. 5. 2 การตรวจวิเคราะห์หินเพื่อหาส่วนประกอบทางเคมี

ในการศึกษานี้ได้ใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแม่นยำ ให้ค่าความถูกต้องสูงวิธีหนึ่ง (รูป 2. 5)

### 2. 2. 5. 3 การวิเคราะห์ตัวอย่างทางออกซิเจนไอโซโทป

เนื่องจากมีรายละเอียดมากจึงขอรวมนำไปแสดงในบทที่ 5

### 2. 2. 6 การประเมินผลการศึกษา และการประมวลผลข้อมูล

ข้อมูลทั้งหมดจากการสำรวจเอกสาร การแปลภาพถ่าย การสำรวจภาคสนาม และผลจากการวิเคราะห์ตัวอย่างจากห้องปฏิบัติการทั้งหมดจะถูกนำมาพิจารณาหาความสัมพันธ์ร่วมกันและประเมินผล

### 2. 2. 7 สรุปผลการศึกษาและจัดทำรายงาน

## 2.3 สถานที่เก็บข้อมูล ทำการทดลอง และวิจัย

การศึกษาทดลอง และทำการวิจัย และเก็บข้อมูล ประกอบไปด้วยสถานที่ต่าง ๆ เหล่านี้คือ

### 2.3. 1 พื้นที่สำรวจ ฯ และเก็บตัวอย่าง

โดยเฉพาะหมวดหินคาร์บอนเตยุคเพอร์เมียน ที่ปรากฏตามแนวด้านตะวันออกของจังหวัดเลยและบางส่วนด้านตะวันตกของจังหวัดหนองบัวลำภู

### 2.3.2 ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานที่วิจัยหลัก เนื่องจากมีความพร้อมทางด้านอุปกรณ์เครื่องมือ และมีห้องปฏิบัติการทางเคมี โดยอุปกรณ์ขาดแคลนบางส่วนจะได้ขอความร่วมมือจากหน่วยงานที่มีอุปกรณ์เฉพาะอย่างเหล่านั้น

### 2.3.3 ห้องปฏิบัติการ กองวิเคราะห์ กรมทรัพยากรธรณี

ในการวิเคราะห์ตัวอย่างหินเพื่อหาส่วนประกอบทางเคมี โดยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) เนื่องจากมีเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานที่มีความชำนาญ และมีเครื่องมือดังกล่าว

2.3.4 ห้องวิจัยสถาบันธรณีวิทยาและทรัพยากรแร่เฉิงตู (Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources) ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน เพื่อการศึกษาและวิเคราะห์ตัวอย่างทางออกซิเจนไอโซโทป ด้วยเครื่องมือ Mass Spectrometer ในการตรวจวัดค่าออกซิเจนและคาร์บอนไอโซโทปของตัวอย่างหินคาร์บอนเนตจากพื้นที่ศึกษาวิจัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

## ธรณีวิทยาทั่วไป และ หินคาร์บอเนตของประเทศไทย (General Geology and Carbonate Rocks of Thailand)

### 3.1 คำนำ

เพื่อให้การศึกษาดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและเกิดความเข้าใจในบริเวณกว้างระดับหนึ่ง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะแสดงรายละเอียดขั้นพื้นฐานของธรณีวิทยาทั่วไปและหินคาร์บอเนตในประเทศไทยเสียก่อน

หินตะกอนคาร์บอเนตมีกำเนิดและสะสมตัวในสภาวะแวดล้อมที่มีเงื่อนไขจำกัดด้วยกระบวนการทางเคมีและชีวเคมี จากกระบวนการทางกายภาพและจากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ในทะเลตื้นที่มีแสงสว่างส่องถึงในแถบเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนทั่วโลกเป็นส่วนใหญ่ (Tucker และคณะ 1994; Wilson, 1975; Flugel, 1982) จึงชี้ให้เห็นว่า องค์ประกอบซึ่งควบคุมกระบวนการสะสมตะกอนของคาร์บอเนตนั้น นอกเหนือจากภูมิอากาศและระดับความตื้นลึกของน้ำทะเลแล้ว การเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาและที่สำคัญคือธรณีแปรสัณฐาน (geo-tectonic) ยังคงเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการสะสมตัวของตะกอนคาร์บอเนต ตั้งแต่การเกิด และรูปแบบการสะสมตัวของตะกอนตั้งแต่ก่อนการแข็งตัวเป็นหินจนกระทั่งภายหลังการแข็งตัวเป็นหินแล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งยังเป็นปัจจัยที่กำหนดรูปแบบของการกระจายตัวของแหล่งและลักษณะปรากฏต่าง ๆ รวมถึงคุณภาพและความบริสุทธิ์ของหินเหล่านั้นด้วย

รายงานบทนี้จึงเป็นการบรรยายและรวบรวมลักษณะทั่วไปทางธรณีวิทยาของกลุ่มหินคาร์บอเนตของประเทศไทยและในพื้นที่ศึกษาวิจัย โดยบรรยายการลำดับชั้นหินคาร์บอเนตตามแบบมาตรฐานกำหนดทางธรณีวิทยา และอ้างอิงการเรียกชื่อของหน่วยหินคาร์บอเนตต่าง ๆ ตาม Lexicon of Stratigraphic Names of Thailand และ Commentary on the Geological Map of Thailand มาตรฐาน 1:2,500,000 (Department of Mineral Resources, 1992) และแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตรฐาน 1: 2,500,000 ซึ่งพิมพ์เผยแพร่โดยกรมทรัพยากรธรณี (Department of Mineral Resources, 1987) เป็นแบบฉบับในการศึกษาวิจัย



### 3.2 ธรณีวิทยาทั่วไป และธรณีวิทยาแปรสัณฐาน

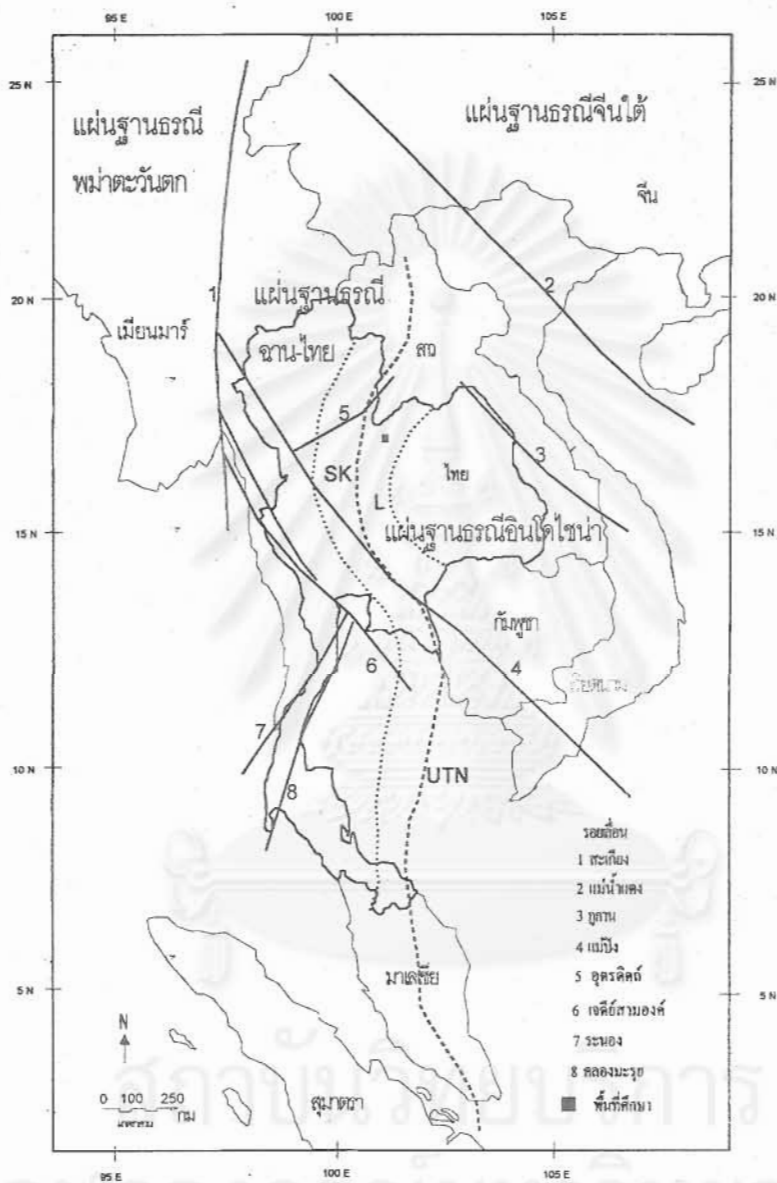
ตามแนวความคิด และสมมติฐานการแปรสัณฐานแบบผืนแผ่นดิน (plate tectonic modeling concept) ของภาคพื้นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เชื่อว่าประเทศไทยประกอบไปด้วย 2 แผ่นดินดึกดำบรรพ์ (ancient landmass) คือแผ่นฐานธรณีฉาน-ไทย (Shan-Thai terrane) ทางด้านตะวันตกกับแผ่นฐานธรณีอินโดไชน่า หรืออินโดจีน (Indochina terrane) ทางด้านตะวันออก (Bunopas, 1981; Bunopas และ Vella, 1983; Gatinsky และคณะ, 1978; และ Mitchell, 1981) ซึ่งเชื่อมต่อกันตามแนวรอยต่อของแผ่นดิน เรียกว่ารอยต่อธรณี อุตรดิตถ์-น่าน (Uttaradit-Nan Geo-suture) (Barr และ MacDonald, 1991) ซึ่งสามารถต่อได้เป็นแนวยาวจากทิศเหนือของประเทศไทยบริเวณจังหวัดน่าน-อุตรดิตถ์ ผ่านสู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือบริเวณจังหวัดนครราชสีมา ภาคตะวันออก บริเวณจังหวัดสระแก้วและจันทบุรี ลงสู่อ่าวไทย และต่อเนื่องลงไปถึงจังหวัดสุราษฎร์ธานี และผ่านเข้าสู่ประเทศมาเลเซีย (รูป 3.1) แต่บ้างก็เชื่อว่าระหว่างแผ่นฐานธรณีฉาน-ไทยและอินโดไชน่าจะมีแผ่นธรณีย่อย ๆ แทรกอยู่ด้วยก่อนเกิดการชนกันระหว่างแผ่นฐานใหญ่ทั้งสอง (ดู Charusiri และคณะ, 1997)

พื้นที่ทำการศึกษา อยู่ในแนวของกลุ่มหินคดโค้งเลย (Bunopas และ Vella, 1983) หรือเพชรบูรณ์ไซน (Barr และ Mac Donald, 1991) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งทางด้านตะวันตกของแผ่นฐานธรณีอินโดไชน่า บนส่วนของแผ่นฐานธรณีฉาน-ไทยตามแนวของตะเข็บบริเวณรอยต่อธรณีน่าน-อุตรดิตถ์ ในทิศทางประมาณเหนือ-ใต้ (รูป 3.1)

การเคลื่อนที่เข้าหากันของแผ่นฐานธรณีทั้งสองได้บีบอัดจนทำให้กลุ่มของหินตะกอนโค้งตัวมีแนวแกนไปในทิศทางประมาณเหนือ-ใต้ กลายเป็นแนวแถบหินคดโค้งเลย (Bunopas, 1981) และเกิดแนวรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ และรอยเลื่อนตามแนวระดับ (Sittithavorn, 1990) การเชื่อมต่อกันของแผ่นฐานธรณีได้กลายเป็นตัวบังคับโครงสร้างธรณีวิทยา อันได้แก่ แนวของการโค้งงอ (fold axis) แนวของรอยเลื่อน รวมทั้งขอบเขต และทิศทางการกระจายของหน่วยหินในพื้นที่เหล่านี้ให้ขนานไปกับแนวรอยต่อของแผ่นฐานธรณื่อดังกล่าว

ธรณีวิทยาแปรสัณฐาน (tectonic geology) ที่เกิดขึ้นช่วงหลัง เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของแผ่นทวีปอินเดียขึ้นไปทางเหนือชนกับแผ่นทวีปเอเชียประมาณ 40-45 ล้านปีมาแล้ว (Mid-Miocene) ซึ่งเชื่อว่าการชนกันของแผ่นดินทั้งสองในช่วงเวลาดังกล่าวมีผลต่อการขยายตัว





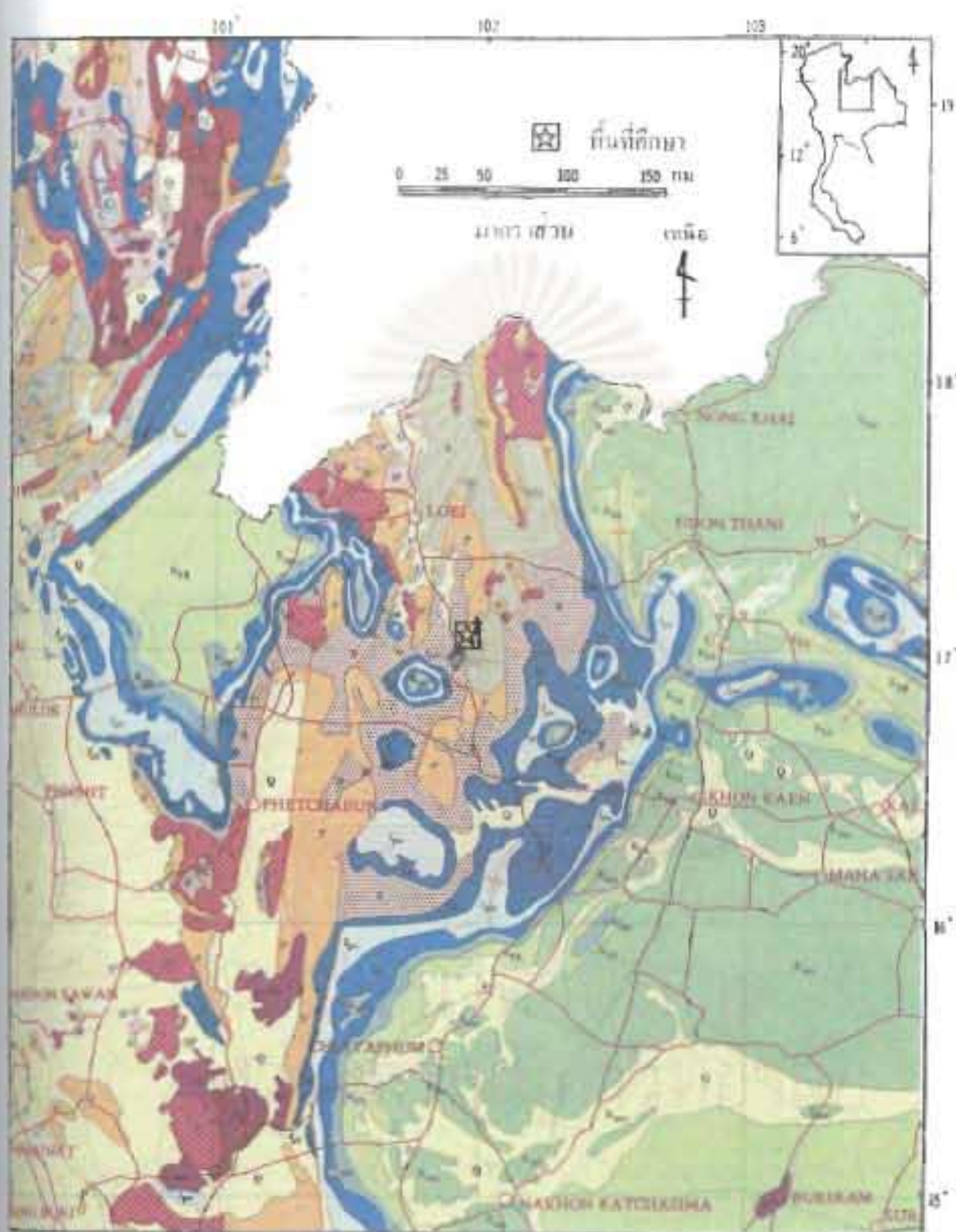
รูป 3.1 แผนที่ประเทศไทย แสดงแผ่นฐานธรณีของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และรอยเลื่อนสำคัญ, SK = แนวแถบคดโค้งสุโขทัย, L = แนวแถบคดโค้งเลย, UTN = รอยต่อธรณีอุตรดิตถ์-น่าน (ดัดแปลงจาก Bunopas, 1981; Polchan, 1988)

และขั้วตัวของเปลือกโลกในส่วนของประเทศไทย ทำให้เกิดรอยเลื่อนปรกติ และแนวโครงสร้างเหนือ-ใต้ เช่นรอยเลื่อนปรกติตามแนวแม่น้ำเลย เป็นต้น (Department of Mineral Resources, 1988)

พื้นที่ทั้งหมดของจังหวัดเลย มีการสะสมตัวของตะกอนคาร์บอนตบริเวณขอบทวีปที่ไม่มี การปรับตัวรุนแรง (passive continental margin) บนแผ่นฐานธรณีอินโดไชนา (Bunopas, 1981; Workman, 1975) แสดงถึงสภาพภูมิศาสตร์บรรพกาลในส่วนทะเลลดช่วงมหายุคพาลีโอโซอิก ซึ่งเป็นเหตุผลให้พื้นที่จังหวัดเลยมีหินที่สะสมแบบภาคพื้นสมุทรปรากฏให้เห็นได้ตั้งแต่ยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียนขึ้นมาจนกระทั่งถึงยุคเพอร์เมียน และเกิดการแผ่กระจายอย่างกว้างขวางทั้งทางตอนกลาง ตะวันออก และบางส่วนด้านทิศใต้ของพื้นที่ (รูป 3. 2) เป็นแนวยาวในทิศทางเหนือ-ใต้ โดย หินบางส่วนถูกแปรสภาพไปเป็นหินแปร

กลุ่มหินของมหายุคพาลีโอโซอิกตอนกลาง เป็นตะกอนทะเลลึกพวกอาจีไลต์ของ หมวดหินนาโม (Namo Formation) และหินเชิร์ตปากชม (ปริญญา พุทธาภิบาล, 2530 ; Bunopas, 1981; 1983; Department of Mineral Resources, 1988) โดยหมวดหินนาโม (Chonglakmani และคณะ 1979) เป็นหินฐานของพื้นที่ และกระจายตัวเป็นแนวแคบยาวทางตะวันออกของ อำเภอปากชม ส่วนมากเป็นหินแปรเกรดต่ำที่ประ กอบไปด้วย หินฟิลไลต์ หินคลอไรต์ซีสต์ ควอร์ตซ์ไซต์ และหินเมตาทัฟฟ์ ไม่มีรายงานการพบซากดึกดำบรรพ์ที่บ่งอายุได้แน่นอนแต่ใน หลายการศึกษากำหนดให้อยู่ในยุคไซลูเรียนหรือแก่กว่า (Bleackly และคณะ, 1963; Jacobson และ คณะ, 1969; Bunopas, 1981) ตามการลำดับชั้นหิน (stratigraphic correlation) ในการสำรวจภาค สนาม

หินที่มีซากดึกดำบรรพ์กลุ่มแรกและบ่งอายุได้แน่นอน ได้แก่หมวดหินปากชม (Pakchom Formation) ซึ่งได้มีการกำหนดออกเป็น 2 หมู่หิน (members) ตามลักษณะส่วนประกอบของหิน และบริเวณที่พบได้แก่หมู่หินดินดานบ้านหนอง (Ban Nong Shale Member) ด้านตะวันออกของ อำเภอปากชมยุคดีโวเนียน ซึ่งอาจรวมเอาส่วนบนสุดของไซลูเรียนไว้ด้วยกัน (Department of Mineral Resources, 1988) ส่วนอีกหมู่หินได้แก่หมู่หินเชิร์ตปากชม (Pakchom Chert Member) พบ เป็นแนวทางด้านตะวันตกของอำเภอปากชมมีซากดึกดำบรรพ์ของช่วงดีโวเนียนตอนกลางและถูก กำหนดให้อยู่ตอนบนของหมวดหินปากชม (Department of Mineral Resources, 1988) ดังแสดงใน ตาราง 3. 1 และ 3. 2



รูป 3.2 แผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย แสดงธรณีวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือของเขมบที่ราบสูงโคราช  
(จากแผนที่ธรณีวิทยา มาตรฐานส่วน 1:2,500,000 Department of Mineral Resources, 1987)

## คำอธิบายแผนที่

หน่วยหิน		ยุค
	ลุ่มหินจันทน์	สายพานหิน
	ลุ่มหินพระธาตุพนม	
	ลุ่มหินโขมจวน (กลุ่มหินโคราช)	สหัสวรรษ
	ลุ่มหินภูพาน	
	ลุ่มหินสารภี	
	ลุ่มหินพระวิหาร (กลุ่มหินโคราช)	ยุคชอง
	ลุ่มหินภูกระดึง	
	ลุ่มหินน้ำพองลุ่มหินสกล (กลุ่มหินโคราช)	โคราชยุคตอนบน
	ลุ่มหินสิริกิติ์	โคราชยุค
	ลุ่มหินนิรมาย	ลุ่มหิน-โคราชยุค
	ลุ่มหินระบือ และลุ่มหินสระบุรี	ลุ่มหิน
	ลุ่มหินเมษ	ลุ่มหินลุ่มหิน-ลุ่มหิน
	ลุ่มหินเมษ และลุ่มหินสระบุรี	ลุ่มหิน ลุ่มหิน
	ลุ่มหินสูงโขง และลุ่มหินปากซม	ลุ่มหิน-ลุ่มหิน
<b>หินอัคนี</b>		
	หินแอนดีส	หินลุ่มหิน
	หินบะซอลต์	โคราชยุค
	หินไดออไรต์	ลุ่มหิน-โคราชยุค
	หินแกรนิต	ลุ่มหินลุ่มหิน-โคราชยุค

← เขตหิน → แผนที่ธรณีวิทยา

คำอธิบายแผนที่ธรณีวิทยา รูป 3.2

(ดัดแปลงจากแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:2,500,000 Department of Mineral Resources, 1987)

ตาราง 3.1 การจัดลำดับกลุ่มหิน และหมวดหิน ในพื้นที่จังหวัดเลย  
(ดัดแปลงจาก Department of Mineral Resources, 1988)

ยุค	กลุ่มหิน/หมวดหิน	ลักษณะหิน
ซีโนโซอิก มีโซโซอิก	ไม่มีการเรียกชื่อ กลุ่มหินโคราช	ตะกอนควอเทอร์นารี และไฟลสโตซีน หินทราย, หินทรายแป้ง, หินกรวดมน, หินดินดาน
เพอร์เมียน	กลุ่มหินสระบุรี	หินปูน, หินดินดาน, หินทรายแป้ง, และ หินทัฟฟ์, จัดแบ่งเป็น 3 หมวดหิน คือ หมวดหินผาเตี้ย หมวดหินอีเล็ค และ หมวดหินน้ำมโหฬาร
คาร์บอนิเฟอรัส	หมวดหินวังสะพุง	หินดินดาน, หินปูน, หินทราย, หินทรายแป้ง และหินกรวดมน, จัดแบ่งเป็น 2 หมู่หิน คือ หมู่ หินวังสะพุง และหมู่หินหนองคอกบัว
ดีโวเนียน	หมวดหินปากชม	เชิร์ต, หินดินดาน, หินปูน, แบ่งออกเป็น 2 หมู่หิน คือหมู่หินเชิร์ตปากชม และ หมู่หินดินดานบ้านหนอง
ไซลูเรียน	หมวดหินนาโม	หินแปรเกรดต่ำ หินชีสต์ หินฟิลไลต์ หินตะกอนภูเขาไฟแปร



ตาราง 3. 2 การลำดับชั้นหินของประเทศไทย (จาก Department of Mineral Resources, 1992)

Region System	Western Highland	Northern Highland	Peninsula	Eastern Gulf	Central Plain	Phetchabun Ranges	Khorat Plateau
Quaternary	Mae Taeng F		-	-	Bangkok Clay	-	-
Tertiary	Mae Moh G		Krabi G	-	( Mae Moh G )		-
Cretaceous			Undiff.			Maharakham F Khok Krut F Phu Phan F	K h o r a t
Jurassic	Undiff. Sao Khua F Phu Kradung F	Phra Wihan F Phu Kradung	Undiff. Sao Khua F Phu Kradung	Phra Wihan F Phu Kradung F	Undiff. Sao Khua F Phu Kradung F	Sao Khua F Phra Wihan F Phu Kradung F	
Triassic	Mae Moei G		Undiff. L Kho- rat G	Lampang G ?		Huai Hin Lat-NamPhong	G
Permian		Ratburi G		Ratburi G ?	Saraburi G		
Carboniferous	Mae Hong	Son F	Phrae F DanLanHoi G	Kaeng Krachan F	Dan Lan	Hoi G ?	Wang Saphung F
Devonian	Thong Pha	Phum	Sukhothai	Sukhothai G			Pak Chom F
Silurian	G		G				
Ordovician	Thung Song G ?		Thung Song G	Thung Song G ?			
Cambrian	Tarutao G ?		Tarutao G	Tarutao G ?			
Pre-Cambrian	Lan Sang	Gneiss Complex	Lan Sang Gneiss Complex ?				

( Mae Mo Group ) = Concealed Group    ? = Uncertain    F = Formation    - = Not known    □ = No exposure  
 G = Group    Undiff = Undifferentiated

กลุ่มหินมหายุคพาลีโอโซอิกตอนบนเป็นหินตะกอนสะสมตัวในทะเลตื้น มีซากดึกดำบรรพ์จำนวนมาก การกระจายตัวของหินจำกัดอยู่ทางด้านตะวันตกของอำเภอปากชม ได้แก่หมวดหินวังสะพุง (Wang Saphung Formation) ซึ่งจำแนกออกเป็น 2 หมู่หิน คือ หมู่หินหนองคอกบัว (Nong Dog Bua Member) ประกอบด้วยหินทราย และหินดินดาน เป็นส่วนใหญ่ มีซากแบคทีเรียฟอสซิลของยูคาริโอตตอนล่างและตอนกลาง อีกหมู่หินหนึ่ง ได้แก่หมู่หินวังสะพุง (Wang Saphung Member) วางตัวบนหมู่หินหนองคอกบัว ประกอบด้วย หินดินดาน หินทรายแบ่งเป็นส่วนมาก มีหินปูนสลัป และมีหินกรวดมนทางตอนล่างของลำดับ มีรายงานการพบซากดึกดำบรรพ์ประเภทใบไม้ ไทรโลไบต์ และอื่น ๆ ของยูคาริโอต (อดุลย์ เจริญประวัติ และธนิศร์ วงศ์วานิช, 2519)

กลุ่มหินมหายุคพาลีโอโซอิกตอนบนสุดสะสมตัวในทะเลตื้นและอบอุ่น จึงพบการสะสม ตะกอนของพวกคาร์บอนเนตเป็นส่วนใหญ่ มีซากดึกดำบรรพ์จำนวนมาก ทั้งแบคทีเรียฟอสซิล ฟอสซิลสัตว์ สัตว์ร้าย และปะการังซึ่งบ่งชี้ถึงช่วงอายุตั้งแต่ตอนบนของยูคาริโอตต่อเนื่องขึ้นมาถึง ยูคาริโอตเมียนตอนกลาง กลุ่มหินกระจายตัวเป็นแนวด้านตะวันตกของอำเภอปากชม ทางตะวันตก และตะวันออกของตัวจังหวัดเลย ประกอบไปด้วย 3 หมวดหิน คือ หมวดหินน้ำมโหฬาร (Nam Maholan Formation) ซึ่งเป็นหินปูนส่วนใหญ่ หมวดหินอีเล็ค (E-Lert Formation) ประกอบด้วยหินดินดาน หินเชิร์ตและเลนซ์ขนาดใหญ่ของหินปูน และหมวดหินผาเตือ (Pha Dua Formation) ประกอบไปด้วยหินดินดาน หินทราย และเศษหินภูเขาไฟ มีซากดึกดำบรรพ์ของพืชโบราณอายุตอนกลางของยูคาริโอตเมียนส่วนบน (อดุลย์ เจริญประวัติ และธนิศร์ วงศ์วานิช, 2519)

ในช่วงปลายยุคไทรแอสซิกต่อจูแรสซิกตอนต้น ซึ่งเชื่อว่าการเคลื่อนตัวของแผ่นฐานธรณี ระหว่างฉาน-ไทยและอินโดจีนนำหุบดง ซึ่งหมายถึงกลุ่มแนวหินคดโค้งสุโขทัย และเลย (ดูรูป 3.1) ได้เชื่อมต่อกันแล้วตามแนวรอยต่อธรณีน่าน (Bunopas และ Vella, 1983) ซึ่งบางท่านเชื่อว่าแนวหิน คดโค้งสุโขทัยและเลย แท้จริงแล้วอาจเป็นแผ่นธรณีย่อย ๆ ที่พัฒนาขึ้นมาจากแผ่นเปลือกสมุทรของ ทะเลทีทิส (Tethys sea) เดิมก็ได้ (ดู Charusiri และคณะ, 1997) แผ่นดินมีการยกตัวขึ้นและมีการ สะสมตะกอนบกแบบภาคพื้นทวีปของกลุ่มหินโคราช (Khorat Group) เป็นชั้นหนาทาง ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และตะวันออกของพื้นที่จังหวัดเลย (รูป 3.2)

กลุ่มหินอัคนี กระจายตัวเป็นแห่งๆ ประกอบด้วยหินบะซอลต์เก่าและหินเซอร์เพนทีไนต์ (หรือหินนาคกระสวย) ยุคทีโวเนียน-คาร์บอนิเฟอรัส (Intasopa, 1994; Chairangsee และคณะ, 1990) กลุ่มหินอัคนีบาดาล (plutonic rocks) เกิดเป็นบริเวณแคบ ๆ กระจายอยู่ทั่วพื้นที่ ประกอบด้วยหินอัคนีแทรกซอน (intrusive rocks) จำพวกหินแกรนิต หินแกรโนไดโอไรต์ หินไดโอไรต์ และหินฮอร์นเบลนไคต์ยุคไทรแอสซิก (Charusiri, 1989) ส่วนหินภูเขาไฟที่พบมีทั้งการไหลแบบลาวา และการสะสมตะกอนของเถ้าภูเขาไฟ เช่น หินบะซอลต์ยุคคาร์บอนิเฟอรัส (Intasopa, 1994) หินแอนดีไซต์ หินเคไซต์ และ หินไรโอไลต์ยุคเพอร์โมไทรแอสซิก (Permo-Triassic) เป็นต้น (Bunopas, 1983)

การเคลื่อนตัวของแผ่นทวีปอินเดียขึ้นไปทางเหนือจนเชื่อมต่อกับแผ่นทวีปเอเชีย ในช่วงปลายของมหายุคซีโนโซอิก (Bunopas และ Vella, 1983) มีผลต่อการเกิดโครงสร้างในทิศทางเหนือ-ใต้ ซึ่งก่อให้เกิดโครงสร้างรอยเลื่อนต่าง ๆ ขนานกันในแนวทิศทางประมาณเหนือ-ใต้ของพื้นที่เลย และเกิดแอ่งรอยเลื่อน (fault block basins) รองรับตะกอนยุคต่อมา

ตะกอนมหายุคซีโนโซอิก พบเพียงตะกอนของยุคควอเทอร์นารี ตะกอนเหล่านี้เกิดจากการลดระดับลงของแผ่นดินเนื่องจากการยุบตัวทำลายมากกว่าการเพิ่มระดับของพื้นที่ ซึ่งตัวควบคุมที่สำคัญ คือการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะในช่วงต่อระหว่างอนุยุคหรือสมัยไพลสโตซีน และอนุยุคโฮโลซีน ซึ่งมีฝนน้อย และฤดูแล้งยาวนาน (สิน สินสกุล, 2530)

### 3.3 หินคาร์บอนเนตของประเทศไทย

ประเทศไทยมีพื้นที่ของหินคาร์บอนเนตซึ่งประกอบด้วยหินปูนและโคโลไมต์เป็นส่วนใหญ่ รวมกันประมาณ 27,193.9849 ตารางกิโลเมตรหรือประมาณร้อยละ 5.24 ของพื้นที่ทั่วประเทศ (ฝ่ายสำรวจธรณีวิทยา กองธรณีวิทยา, 2538) และในจำนวนของหินปูนที่กระจายตัวอยู่ทั่วประเทศไทยนั้น พบว่าเป็นหินคาร์บอนเนตยุคดึกดำบรรพ์ ตั้งแต่ยุคแคมเบรียน จนกระทั่งถึงยุคครีเตเชียส ทั้งนี้ไม่รวมถึงหินคาร์บอนเนตที่สะสมตัวในปัจจุบัน อย่างไรก็ตามเมื่อจัดกลุ่มหินคาร์บอนเนตเหล่านี้โดยใช้อายุเป็นเกณฑ์และกำหนดตามการจัดลำดับชั้นหินของประเทศไทย สามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม หรือสามยุคใหญ่ ๆ ได้แก่ กลุ่มหินคาร์บอนเนตยุคออร์โดวิเชียน กลุ่มหินคาร์บอนเนตยุคเพอร์เมียน และกลุ่มหินคาร์บอนเนตยุคไทรแอสซิก-จูแรสซิก ตามลำดับ



### 3.4 หินคาร์บอนเนตยุคออร์โดวิเชียน

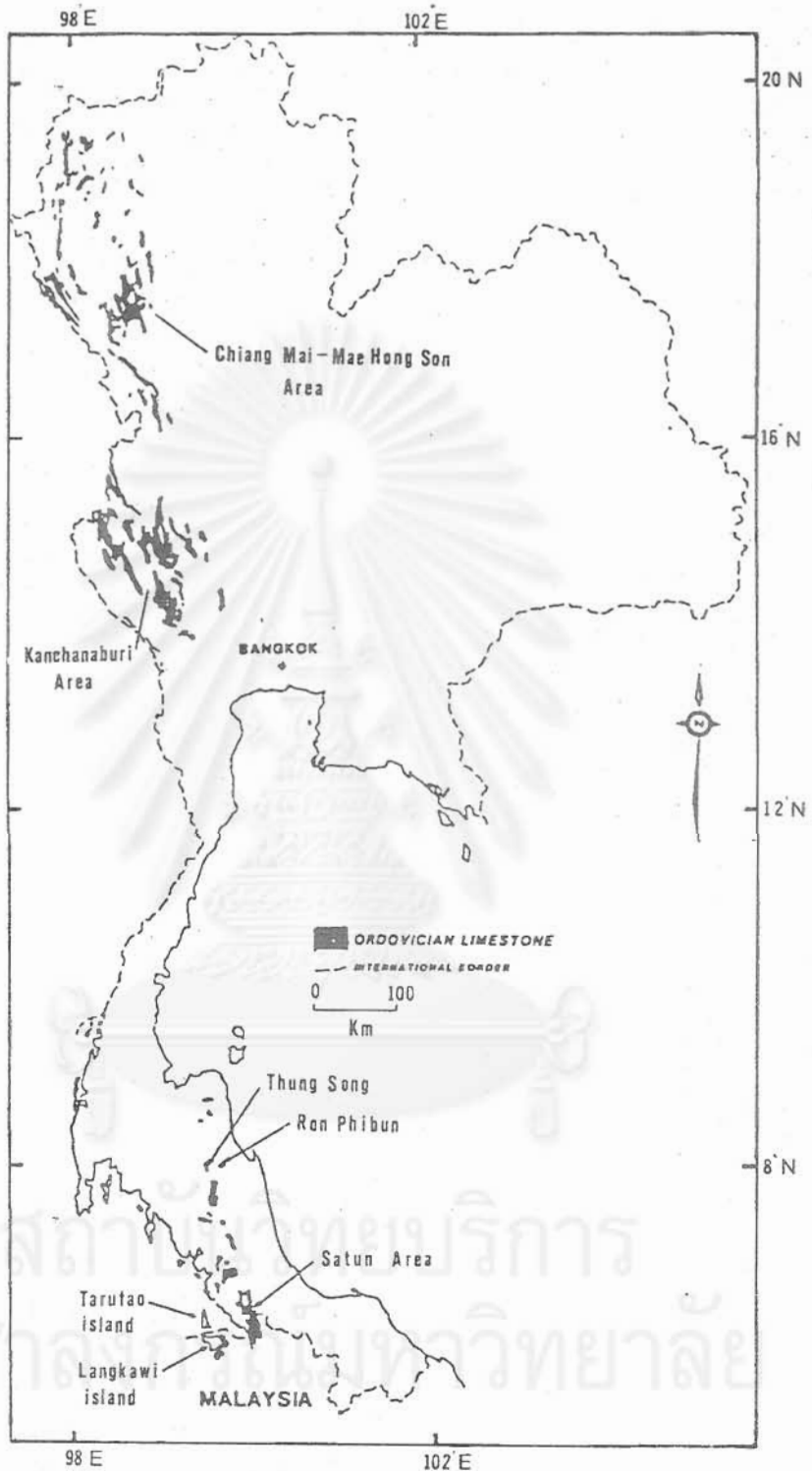
หินคาร์บอนเนตยุคออร์โดวิเชียน (Ordovician) มีการกระจายตัวด้านตะวันตก ตอนเหนือ บริเวณแหลมไทยและตะวันออกของประเทศ หินคาร์บอนเนตเหล่านี้มักปรากฏเป็นแนวเทือกเขาใหญ่ซับซ้อน ด้านตะวันตกของประเทศ (รูป 3. 3) ตั้งแต่ภูเขาสูงตอนเหนือ แนวเทือกเขา ด้านตะวันตก ส่วนทางแหลมไทยบริเวณภาคใต้ตอนล่างมักปรากฏให้เห็นตามแนวเทือกเขาและภูเขาบนที่ราบ

กลุ่มหินคาร์บอนเนตยุคออร์โดวิเชียนประกอบไปด้วยหินปูนเนื้อดินเป็นส่วนใหญ่ มีสีเทาดำ ถึงสีดำ ชั้นหินหนาปานกลาง ส่วนที่ไม่เป็นชั้นหินหนามักมีลักษณะของหินเนื้อปูนปนดินมี ชั้นหินดินดานขนาดชั้นบางมากเป็นแถบแทรกสลับ มีส่วนประกอบของโคโลไมต์สูงในบางช่วง หินบางส่วนถูกแปรสภาพกลายเป็นหินอ่อน กลุ่มหินเหล่านี้ถูกเรียกชื่อแตกต่างกันออกไปตามพื้นที่ และตามลักษณะของหินที่ปรากฏในพื้นที่นั้น ๆ

#### 3.4.1 กลุ่มหินทุ่งสง (Thung Song Group)

กลุ่มหินคาร์บอนเนตยุคออร์โดวิเชียนของประเทศไทยมักหมายถึงกลุ่มหินทุ่งสง (Javanaphet, 1969; Bunopas, 1981) เป็นสำคัญ กลุ่มหินนี้มีความหนาประมาณ 1,660 เมตร (Bunopas, 1992) และเป็นการลำดับชั้นของหินปูน โคลไมต์ และหินดินดานปนปูน ซึ่งจากการลำดับชั้นพบว่าหินกลุ่มนี้วางตัวอยู่บนกลุ่มหินตะกอนเนื้อมวลเม็ดปนปูนหรือแคลคาเรียสของ ยุคแคมเบรียนตอนบนอย่างต่อเนื่อง และต่อเนื่องอยู่ใต้หินดินดานแกรพโตลิติกสีดำ (black graptolitic shale) และหินเรดิโอราเรียนเชิร์ต (radiolarian chert) ซึ่งเป็นรอยต่อตอนบนของหินยุคออร์โดวิเชียนกับหินยุคไซลูเรียน (Wongwanich, 1990)

ในการศึกษาบริเวณเกาะตะรุเตาทางภาคใต้ของประเทศไทย พบว่าหินคาร์บอนเนตมักประกอบด้วยซากดึกดำบรรพ์จำพวกแกบโตไลต์ (gabtolite) เทนตาคิวไลต์ (tentaculite) นอติลอยด์ (nautiloid) ไครนอยด์ (crinoid) ไทรโลไบต์ (trilobite) และแบรคิโอพอด (brachiopod) อยู่ด้วย และจากการศึกษารายละเอียดของหินแสดงถึงการสะสมตัวตั้งแต่บริเวณลาดทะเลตื้น ไปถึงทะเลลึก (Wongwanich, 1990) ในลักษณะพื้นลาดเกือบนอนแบบเอียงสม่ำเสมอ (homoclinal ramp) ระหว่างช่วงการถูกล้ำเข้ามาของน้ำทะเลขึ้นจนถึงที่ลุ่มราบน้ำขึ้นถึง (tidal flat) เนื้อหินแสดงโครงสร้างสโตรมาโตไลต์ และเป็นหินพีคไต้น้ำที่สร้างขึ้นเป็นแห่ง (patch reef) บางส่วนมีคาร์บอนเนตน้ำลึก



รูป 3.3 การกระจายตัวของหินยุคออร์โดวิเซียนในประเทศไทย  
(ดัดแปลงจาก Wongwanich, 1990 ; Wongwanich และคณะ 1983)

ลักษณะเหล่านี้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่พื้นที่ตอนบนเหนือระดับน้ำขึ้นถึงสูงสุด (supratidal) หรือระหว่างระดับน้ำขึ้นถึง (intertidal) และได้ระดับการขึ้นถึงของน้ำทะเล (subtidal) จนกระทั่งถึงเขตบริเวณน้ำลึก (deep sea) ในเขตร้อนชื้น ระหว่างช่วงยุคน้ำแข็งบนเส้นแวงระดับสูงของแผ่นดินกอนด์วานา (Gondwana Land)

ซากดึกดำบรรพ์ประกอบไปด้วยสัตว์จำพวกไทรโลไบต์และซากดึกดำบรรพ์ของสัตว์ขนาดเล็กบ่งชี้ถึงการสะสมตัวในน้ำลึก ลักษณะของสโตรมาโตไลต์บ่งชี้ถึงการสะสมตัวในระดับความลึกประมาณ 175 ถึง 300 เมตร ที่อุณหภูมิประมาณ 15 องศาเซลเซียส (Wongwanich, 1990) กลุ่มหินคาร์บอนตของกลุ่มหินทุ่งสูงถูกแบ่งลำดับออกเป็น 6 หมวดหิน (Wongwanich และคณะ 1983, Wongwanich, 1990) ได้แก่ หมวดหินมะละกา หมวดหินตะโละแดง หมวดหินลางา หมวดหินปาหนัน หมวดหินแลทอง และหมวดหินรังนก (รูป 3. 4) จากล่างขึ้นบนของการลำดับชั้นหิน

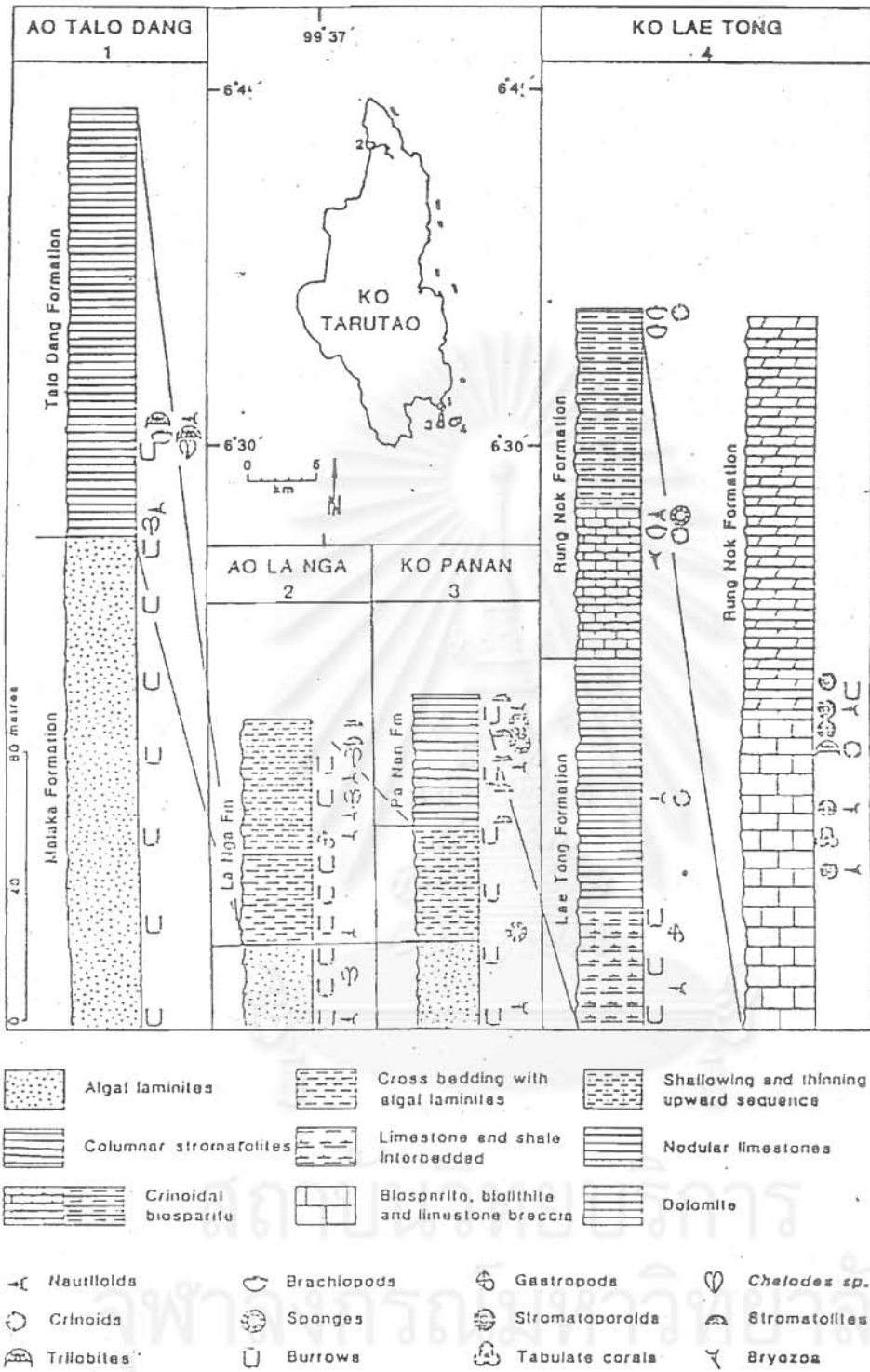
### 3. 4. 2 หมวดหินท่ามะนาว (Thamano Formation)

หมวดหินนี้เป็นหมวดหินคาร์บอนตยุคออร์โดวิเชียนทางภาคตะวันตกของประเทศ จัดอยู่ตอนบนของกลุ่มหินเจ้าแฉกร (Bunopas, 1981) ปรากฏเด่นชัดบริเวณจังหวัดกาญจนบุรี (รูป 3. 3) และได้มีการจัดแบ่งหมวดหินออกเป็น 3 ช่วงลำดับ คือ

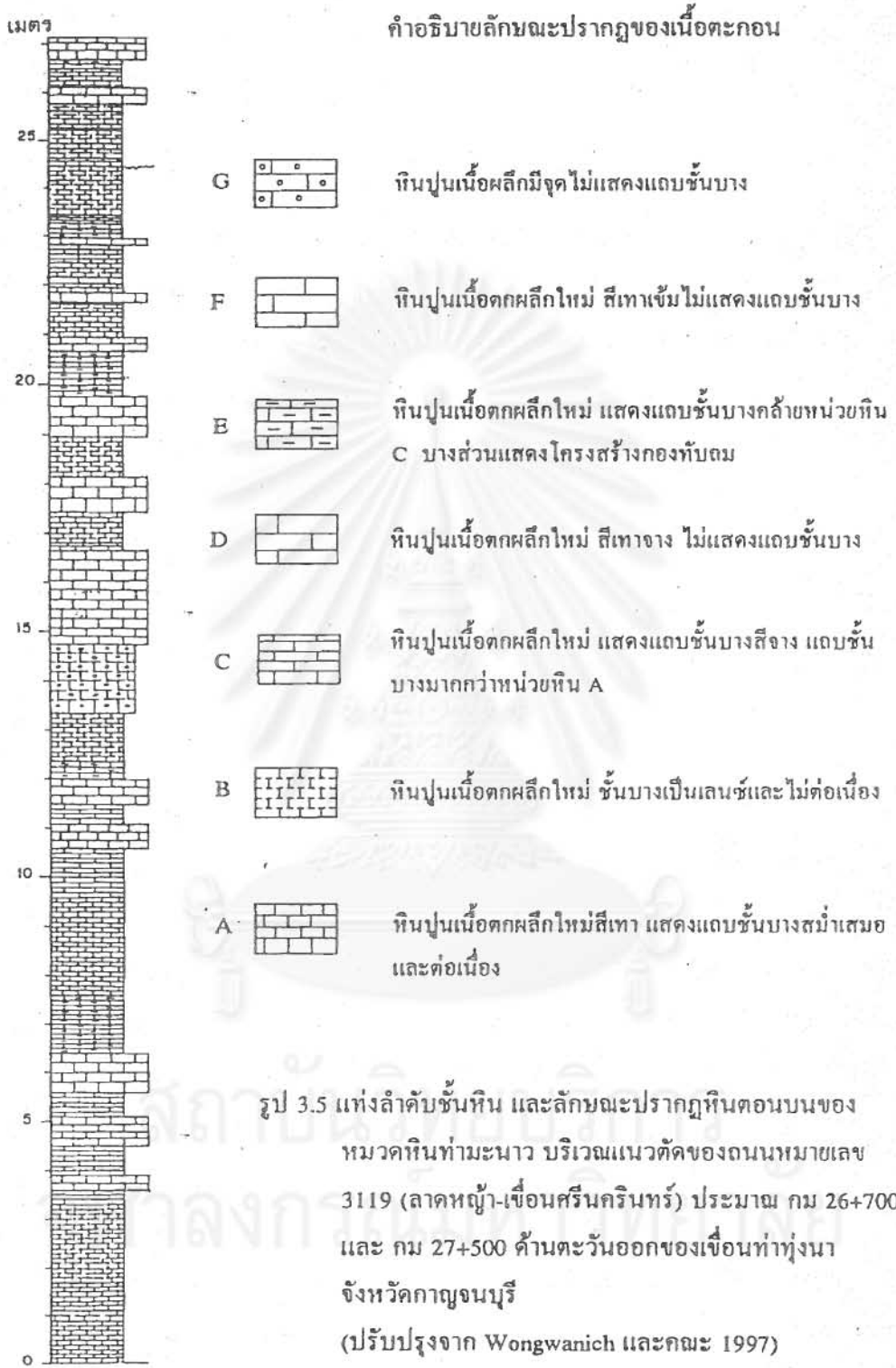
ช่วงล่างของหมวดหินหนาประมาณ 100 เมตร วางตัวต่อเนื่องบนหินควอร์ตซ์ไรต์ ของกลุ่มหินเจ้าแฉกร ประกอบด้วยหิน โคลนเนื้อแคลคาเรียส หินปูนไม่บริสุทธิ์ และหินทราย

ตอนกลางของลำดับชั้นหินแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง ช่วงล่างประมาณ 100 เมตร เป็นหินปูนชั้นหนา มีหินเชิร์ตเป็นเลนซ์ ช่วงบนอีกประมาณ 100 เมตร เป็นชั้นบางของหินปูนดกผลึกสีเทา สลับชั้นบางของหินทราย และหินฟิลไลต์

ช่วงบนสุดของหมวดหินเป็นหินปูนชั้นบางสีเทา น้ำตาลเทาและดำ วางตัวต่อเนื่องได้หินดินดานยุคไซลูเรียน ลักษณะและลำดับชั้นหินช่วงบนของหมวดหินท่ามะนาว ปรากฏให้เห็นตามแนวตัดถนนหมายเลข 3199 (ลาดหญ้า-เขื่อนศรีนครินทร์) ระหว่างกม. ที่ 26+700 ถึง กม. 27+500 ด้านตะวันออกของเขื่อนท่าทุ่งนา (รูป 3. 5)



รูป 3.4 แท่งลำดับชั้นหินของกลุ่มหินทุ่งสง และตำแหน่งซากดึกดำบรรพ์ บริเวณเกาะตะรุเตา ภาคใต้ของประเทศไทย (Wongwanich, 1990)



รูป 3.5 แท่งลำดับชั้นหิน และลักษณะปรากฏหินตอนบนของ  
 หมวดหินท่ามะนาว บริเวณแนวตัดของถนนหมายเลข  
 3119 (ลาดหญ้า-เขื่อนศรีนครินทร์) ประมาณ กม 26+700  
 และ กม 27+500 ด้านตะวันออกของเขื่อนท่าทุ่งนา  
 จังหวัดกาญจนบุรี  
 (ปรับปรุงจาก Wongwanich และคณะ 1997)

ซากดึกดำบรรพ์ที่พบทางพื้นที่ตะวันตกได้แก่นอติลอยด์จำพวก *Armenoceras* sp. และ *Cypricardinia* cf. *Prisca*

### 3. 4. 3 หินปูนฮอด (Hod Limestone)

หินปูนนี้เป็นกลุ่มหินที่มีการกระจายตัวตามพื้นที่ภูเขาสูงทางตอนเหนือของประเทศไทย บริเวณอำเภอฮอด จังหวัดเชียงใหม่ ประกอบด้วยหินปูนเนื้อดิน (argillaceous limestone) สลับด้วยชั้นบางของหินดินดานชนวน ช่วงบนของลำดับปรากฏเป็นชั้นมวลหินปูนหนา หินปูนฮอดมีความหนาทั้งหมดประมาณ 800 เมตร มีซากดึกดำบรรพ์ของโคโนดอน (conodont) ซีฟาโลพอด (cephalopod) และแบเรคิโอพอด (Bunopas, 1981)

### 3. 4. 4 หินปูนสวนหมาก (Suan Mark Limestone)

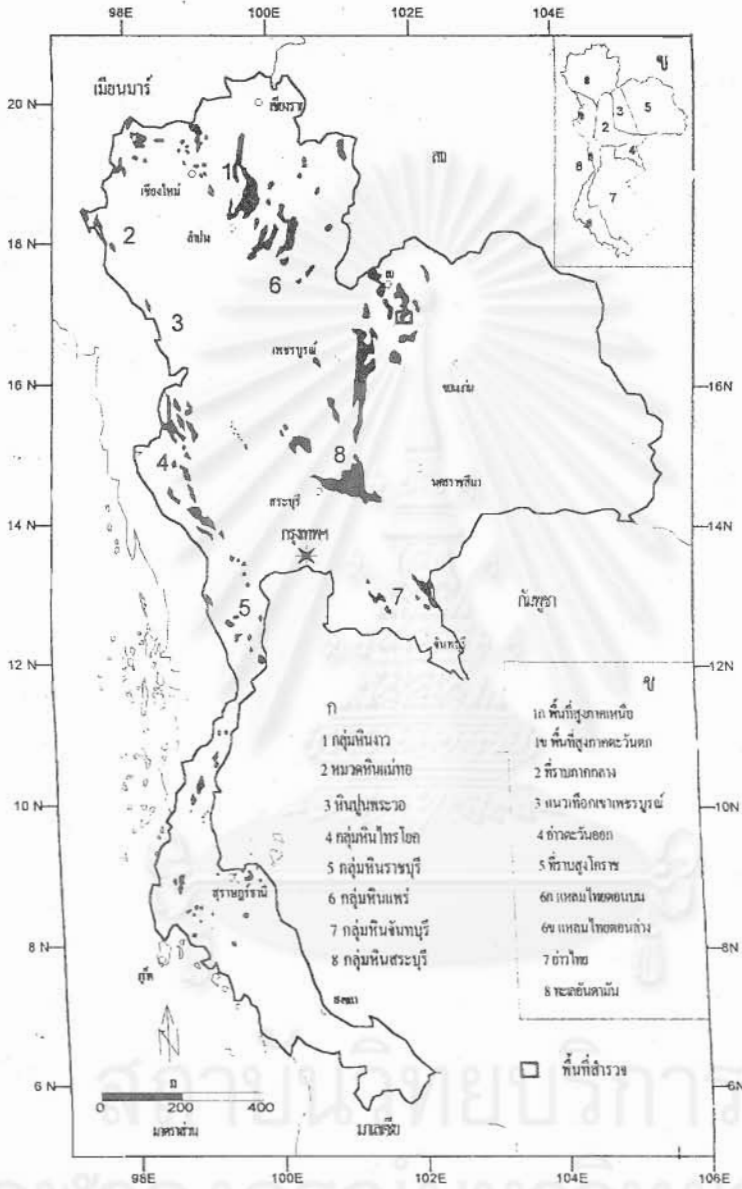
หินปูนยุคออร์โดวิเซียนชุดนี้พบทางภาคเหนือตอนล่าง จัดอยู่ในกลุ่มหินคลองวังเจ้า ตอนบน (Bunopas, 1981) ประกอบด้วยหินปูนเนื้อดินแทรกสลับด้วยชั้นบางของหินดินดานเนื้อชนวน มีความหนาประมาณ 800 เมตร

### 3. 4. 5 หินปูนสีซัง (Srichang Limestone)

หินปูนที่พบบนเกาะสีซัง เรียกรวม ๆ ว่าหินปูนสีซัง ซึ่งพบอยู่บนเกาะทางด้านตะวันออกของอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ทางฝั่งทะเลด้านตะวันออกของประเทศไทย ซึ่งเชื่อว่าเป็นหินของยุคออร์โดวิเซียน จากหลักฐานการพบซากดึกดำบรรพ์ของนอติลอยด์ (Nakinbodec และคณะ 1978) มีความหนาของหินทั้งหมดประมาณ 400 เมตร อย่างไรก็ตามจากการศึกษาทางลำดับชั้นหินและโครงสร้างหินทำให้ Tayakup และคณะ (1987) กำหนดให้อายุหินเปลี่ยนแปลงมาเป็นประมาณปลายมหายุคพาโลโซอิกตามหลักฐานซากดึกดำบรรพ์ที่พบบริเวณอำเภอศรีราชา

## 3. 5 หินคาร์บอนเนตยุคเพอร์เมียน

กลุ่มหินปูนยุคนี้เป็นกลุ่มหินคาร์บอนเนตที่มีการแผ่กระจายตัวกว้างขวางที่สุดของประเทศไทย โดยมีการกระจายตัวในเขตเทือกเขา ภูเขาสูงและปรากฏเป็นภูเขาโดดในพื้นที่ราบตั้งแต่ภาคเหนือ ภาคตะวันตกต่อเนื่องตลอดลงไปถึงแหลมไทย ในภาคกลางและภาคตะวันออก ปรากฏเป็นเทือกเขาสูงและภูเขาโดด ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยปรากฏให้เห็นตามแนวขอบของที่ราบสูงโคราช ตั้งแต่จังหวัดเลยลงมาจังหวัดเพชรบูรณ์ สระบุรี ด้านตะวันตกของจังหวัดนครราชสีมา ลงไปจนถึงจังหวัดปราจีนบุรี จันทบุรี และจังหวัดตราด (รูป 3. 6)



รูป 3.6 แผนที่ประเทศไทย แสดงการกระจายตัวของกลุ่มหินยุคเพอร์เมียน (ก) และพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ (ข) ข้อมูลจากแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1: 2, 500, 000 โดย Department of Mineral Resources, 1987; จำแนกพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ ตาม Lexicon of Stratigraphic names of Thailand, Department of Mineral Resources, 1992 )



กลุ่มหินยุคเพอร์เมียนถูกจัดให้เป็นกลุ่มหินราชบุรี (Javanaphet, 1969; Bunopas, 1981) ซึ่งหมายถึงหินยุคเพอร์เมียนทั้งหมดที่กระจายตัวทั่วประเทศ แต่ต่อมาได้หมายถึงเฉพาะกลุ่มหินปูนและหินตะกอนแบบมวลเม็ดที่กระจายตัวตั้งแต่ทางตอนเหนือ ด้านตะวันตก ตลอดลงไปตามแนวแหลมไทย ส่วนกลุ่มหินปูนและตะกอนแบบมวลเม็ดที่กระจายตัวในพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออก และตามแนวขอบของที่ราบสูงโคราชได้ถูกจัดออกมาให้เป็นกลุ่มหินสระบุรี (Bunopas, 1981; Hinthong และคณะ 1985; Department of Mineral Resources, 1992) (ตาราง 3. 2 และ 3. 3)

ในการจัดแบ่งกลุ่มหินตามสมมติฐานการแปรสัณฐานแบบผืนแผ่นดิน ได้กำหนดว่ากลุ่มหินราชบุรีเป็นกลุ่มหินที่มีการกระจายตัวจำกัดเฉพาะในแผ่นฐานธรณีฐาน-ไทย ในขณะที่กลุ่มหินสระบุรีเป็นกลุ่มหินที่มีการแผ่กระจายตัวจำกัดวงในแผ่นฐานธรณีอินโดจีนหรืออินโดจีน (Bunopas, 1981) เท่านั้น อย่างไรก็ตามชื่อหินยุคเพอร์เมียนได้ถูกเรียกชื่อเป็นหมวดหินต่าง ๆ กันในแต่ละภูมิภาคของประเทศ (แสดงการเปรียบเทียบในตาราง 3. 2 และ 3. 3)

ในที่นี้เป็นการกล่าวถึงกลุ่มหินตามการจัดลำดับชั้นหินของประเทศไทยใน Lexicon of Stratigraphic Names of Thailand (Department of Mineral Resources 1992)

### 3. 5. 1 กลุ่มหินราชบุรี (Ratburi Group)

กลุ่มหินราชบุรี (Javanaphet, 1969; Bunopas, 1992; Department of Mineral Resources, 1992) ใช้เรียกชื่อกลุ่มหินยุคเพอร์เมียนที่มีหินปูนหรือหินคาร์บอเนตเป็นลักษณะเด่นมีซากดึกดำบรรพ์เป็นจำนวนมาก ได้แก่ ฟุซูลินิด (fusulinid) ปะการัง (coral) ฟอรัมมินิเฟอรา (foraminifera) ไบรโอซัว (bryozoa) แบรคิโอพอด และหอยสองฝา (bivalves) กลุ่มหินมีการกระจายตัวในบริเวณแหลมไทยและภูเขาด้านตะวันตก (หมายเลข 5 ในรูป 3.6ก) ในหลายการศึกษากำหนดให้เป็นกลุ่มหินยุคเพอร์เมียนที่กระจายตัวตั้งแต่ใต้แนวรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ลงไป และหมายถึงหินยุคเพอร์เมียนที่กระจายตัวอยู่เฉพาะประเทศไทยในส่วนของแผ่นฐานธรณีฐาน-ไทย

การลำดับชั้นของกลุ่มหินราชบุรีมักแสดงลักษณะเด่นของชั้นหินคาร์บอเนตประเภทหินปูนและโคโลไมต์ตั้งแต่ชั้นบางถึงชั้นหนา จนกระทั่งถึงมวลเนื้อหิน มีหินดินดาน และหินทราย ชั้นบางแทรกสลับบ้างตลอดจนมีหินเชิร์ตเป็นกระเปาะในเนื้อหินปูน การวางตัวต่อเนื่องบนกลุ่มหินตะกอนเม็ดของกลุ่มหินแก่กระงานทางภาคใต้ของประเทศไทย (เลิศสิน รักษาสกุลวงศ์ และธนิศร์ วงศ์วานิช, 1993) และต่อเนื่องบนกลุ่มหินตะกอนเม็ดของกลุ่มหินแม่ทา

ตาราง 3.2 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของหมวดหินยุคเพอร์เมียนในพื้นที่ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

Age (Ma)		Brown และคณะ (1951)	Javanaphet (1969)	Charoenprawat และคณะ (1976-1979) Loei - Nong Bua Lumphu	Nakornsri (1977;1981) Nakorn Sawan - Lop Buri	Hinthong และคณะ (1981; 1985) Saraburi	Bunopas (1981;1983) Loei-Saraburi	Chonglakmani และคณะ (1979) Phetchabun- Chaiyaphum	Department of Mineral Resources (1992)							
P E R M I A N	245 UPPER	R A T B U R I  L I M E S T O N E	* R A T B U R I  G R O U P	* R A T B U R I  G R O U P	* R A T B U R I  G R O U P	* S A R A B U R I  G R O U P	* S A R A B U R I  G R O U P	* S A R A B U R I  G R O U P	* S A R A B U R I  G R O U P							
	258 MIDDLE									Pha Dua f	Tak Fa f	Sap Bon F	Khao Khad F Pang Asok F	Dan Sai shale	Nam Duk f	Sap Bon F
	268 LOWER									E-Lert f	Nam Maholan f	Nong Pong F	Khao Khwang F Phu Phe F	Saraburi limestone	Hua Na Kham f	Pha Nok Khao f
CARBONIFEROUS																

— Sharp Boundary

— Gradational Boundary

~ Unconformity

f, F formation

\* , F Formal name  
f informal name

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยุคคาร์บอนิเฟอรัสบริเวณตอนเหนือของประเทศ (พิศิษฎ์ สุขวัฒนานันท์ และสันต์ อัสวพัชระ, 1992) โดยช่วงล่างที่อยู่ติดกับชั้นหินดินดาน และชั้นหินทราย บางแห่งพบว่ามีส่วนประกอบของเนื้อโคลิโอมิติกและโคลิโอมิต ในช่วงกลางของลำดับเป็นชั้นหินปูน ส่วนช่วงบนจะพบโคลิโอมิต (Theeradilok, 1994) เป็นส่วนใหญ่ ในการศึกษาเทียบเคียงการลำดับชั้นหินยุคเพอร์เมียนทั่วประเทศ (Assavapatchara, 1998; Assavapatchara และคณะ, 1997) ได้จัดแบ่งการลำดับชั้นหินยุคเพอร์เมียนของประเทศไทยเป็น 3 ลำดับตามลักษณะส่วนประกอบหิน โดยหินคาร์บอนเนตยุคนี้มีความหนาทั้งหมดประมาณ 1,800 เมตรปรากฏอยู่ในช่วงกลางของการลำดับชั้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นชั้นหินปูนมีซากดึกดำบรรพ์ตั้งแต่ขนาดชั้นหนาถึงมวลเนื้อหิน ในขณะที่ตอนล่างของการลำดับชั้นซึ่งหนาประมาณ 1,000 เมตร เป็นช่วงของหินตะกอนเม็ดแสดงชั้นชัดเจนแทรกสลับด้วยชั้นหินคาร์บอนเนต หินเชิร์ตและหินภูเขาไฟ และทางตอนบนของช่วงชั้นคาร์บอนเนตดังกล่าวซึ่งหนาประมาณ 1,200 เมตร แสดงแถบชั้นบางของหินคาร์บอนเนตซึ่งสลับด้วยชั้นหินตะกอนเม็ดและเถ้าตะกอนภูเขาไฟ

ลักษณะของหินคาร์บอนเนตส่วนใหญ่ประกอบไปด้วยหินปูนสีเทาขาว ถึงสีเทาดำ ในการอ้างการเรียกชื่อหินปูนตามแบบของ Dunham (1962) ในการศึกษาเนื้อหินปูนในพื้นที่จังหวัด เชียงราย เชียงใหม่ กาญจนบุรี ราชบุรี เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี และพังงา พบว่าประกอบไปด้วยหิน limemudstone, wackstone, packstone จนถึง boundstone ทั้งที่มีซากดึกดำบรรพ์จำนวนมาก (fossiliferous) และไม่พบซากดึกดำบรรพ์ เนื้อหินบางแห่งมีลักษณะมวลเม็ดไข่ปลา (ooids) และหินโคลนแสดงแนวแถบชั้นบางจำพวกสาหร่าย (algal-lamination) ส่วนประกอบของโคลิโอมิตปรากฏให้เห็นทั่วไปตามแนวไกล์รอยเลื้อยและรอยแตก ทั้งนี้จากสาเหตุด้วยกระบวนการทางธรณีวิทยาของกระบวนการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกบริเวณที่มีแนวรอยการเคลื่อนตัว หรือในบริเวณที่มีแนวรอยเลื่อนขนาดใหญ่ (ดูรูป 3.1) จึงมักทำให้มีเนื้อของคาร์บอนเนตเป็นแร่โคลิโอมิตหรือคาร์บอนเนตที่มีค่าส่วนประกอบของแมกนีเซียมสูง เช่น ตามแนวรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ (กาญจนบุรี-ราชบุรี), แนวรอยเลื่อนระนอง-ชุมพร, แนวรอยเลื่อนระนอง-คลองमारูย (กระบี่-สุราษฎร์ธานี) เป็นต้น ส่วนบริเวณใกล้เคียงพื้นที่หินอัคนีแทรกดันขึ้นมา เช่นในบริเวณที่ใกล้หินแกรนิต หรือหินภูเขาไฟ หินคาร์บอนเนตเหล่านี้มักเกิดการแปรสภาพเป็นหินอ่อน เช่นพื้นที่ทางตะวันตกของจังหวัดนครราชสีมา เป็นต้น

อนึ่งสำหรับสภาวะแวดล้อมการสะสมตะกอนของกลุ่มหินราชบุรีนี้น่าจะมีกำเนิดในสภาพแวดล้อมที่ราบหรือลานทะเลตื้น (shelf platform) ตั้งแต่ส่วนของทะเลเปิดถึงบริเวณที่เป็น

ทะเลสาป มีการรุกเข้าและถดถอยของน้ำทะเลอยู่เสมอ จึงก่อให้เกิดหินปูนเป็นชั้นตั้งแต่ชั้นบาง ถึงชั้นหนามาก โดยมีชั้นดินดานและชั้นหินทรายแทรกสลับทางตอนล่าง จากลักษณะปรากฏในแผ่นหินบางแสดงถึงการสะสมตัวในสภาวะแวดล้อมการมีพลังงานสูง ถึงค่อนข้างสงบของ ลานทะเลเปิด (open-sea platform) แนวลาดเอียงคาร์บอเนต (carbonate slope) ลานจำกัดตัว (restricted platform) ในพื้นที่ระหว่างการขึ้นลงของระดับน้ำ (Harrison, 1994; Chinoroje, 1993)

การกำหนดอายุของกลุ่มหินคาร์บอเนตยุคเพอร์เมียน กำหนดได้ค่อนข้างชัดเจนจากการศึกษาซากดึกดำบรรพ์ของแบรคิโอพอดทางภาคใต้ของประเทศไทยแสดงถึงอายุคุนกูเรียน (Kungurian) (Waterhouse, 1981) ซึ่งเป็นช่วงกลางตอนต้นของยุคเพอร์เมียน (middle Early Permian) และมีความต่อเนื่องขึ้นไปถึงยุคไทรแอสซิกโดยการพบซากดึกดำบรรพ์ของโคโนดอนในหินปูนในพื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช (Ampornmaha, 1995).

### 3. 5. 2 กลุ่มหินงาว ( Ngao Group )

กลุ่มหินงาว (Piyasin, 1972; Bunopas, 1981) เป็นกลุ่มหินยุคเพอร์เมียนที่กระจายตัวในบริเวณจังหวัดลำปาง เชียงใหม่ แพร่ ประกอบไปด้วย 3 หมวดหินตามลำดับจากล่างขึ้นบน ได้แก่ หมวดหินกิวลม หมวดหินผาหวด และหมวดหินห้วยตาก ตามลำดับ โดยมีหมวดหินผาหวดเป็นหมวดหินคาร์บอเนตของกลุ่มหินงาว (รูป 3. 7)

#### 3. 5. 2. 1 หมวดหินผาหวด ( Pha Huat Formation)

หมวดหินผาหวดเป็นกลุ่มของหินปูนเนื้อตกผลึกใหม่ (recrystalline) หรือผลึกซ้ำซ้อน ขนาดชั้นบางถึงชั้นหนาถึงมวลหนา (massive) มีความหนาของหมวดหินทั้งหมดเฉลี่ยประมาณ 600 เมตร และมีซากดึกดำบรรพ์ของแบรคิโอพอด ไบรโอซัว ปะการัง (coral) ฟอสซิลินิคของยุคเพอร์เมียนตอนกลาง หมวดหินนี้แสดงการสะสมตัวในสภาวะแวดล้อมแบบไหล่ทวีป

### 3. 5. 3 กลุ่มหินสระบุรี (Saraburi Group)

กลุ่มหินสระบุรี (Bunopas, 1981; 1983; Hinthong, 1981; Hinthong และคณะ, 1985; Department of Mineral Resources, 1992) เป็นกลุ่มหินคาร์บอเนตที่ปรากฏตามแนวขอบของที่ราบสูงโคราชปัจจุบัน ที่มีแนวทอดยาวต่อเนื่องลงมาจากประเทศลาว ผ่านจังหวัดเลย จังหวัดหนองบัวลำภู จังหวัดเพชรบูรณ์ จังหวัดขอนแก่น จังหวัดนครราชสีมา จังหวัดสระบุรี และภาคตะวันออกเฉียง



รูป 3. 7 แท่งลำดับชั้นหินยุคเพอร์เมียน กลุ่มหินงาว บริเวณเคอຍพាหลวง

บ้านแม่หวด อำเภองาว จังหวัดลำปาง (ปรับปรุงจาก สงัด ปิยะศิลป์,

2515: เรียกชื่อกลุ่มหินตาม Bunopas, 1981)

ของประเทศไทย (รูป 4.1 และ 3.6) ในบริเวณของแนวหินคดโค้งเลย หรือแนวหินคดโค้งเพชรบูรณ์ และมีการกระจายตัวจำกัดเฉพาะบนส่วนของแผ่นฐานธรณีอินโดจีน

การเรียกชื่อกลุ่มหินเป็นการเรียกตาม Bunopas (1981) โดยหินประกอบด้วยการแทรกสลับของหินดินดาน หินทรายและหินปูน ขนาดตั้งแต่ชั้นบางถึงชั้นหนาและมวลหนา ตลอดจนมีซากดึกดำบรรพ์จำนวนมาก ได้แก่ ปะการัง ฟอสซิลินิค แอมโมไนต์ แบรคิโอพอด และปะการัง มีความหนาของกลุ่มหินทั้งหมดประมาณ 4,486 เมตร

ในการพิจารณาการลำดับชั้นหิน พบว่าหินเนื้อปูนขนาดตั้งแต่ชั้นบางถึงชั้นหนามักพบในช่วงล่างต่อเนื่องขึ้นมาถึงช่วงกลางของการลำดับชั้น ส่วนตอนบนกลายเป็นชั้นหินทรายและหินดินดาน กลุ่มหินสระบุรีในบริเวณจังหวัดสระบุรี ได้ถูกจัดแบ่งออกเป็น 6 หมวดหิน (Department of Mineral Resources, 1992; Hinthong, 1981; Hinthong และคณะ, 1985) ตามลำดับจากล่างขึ้นบน ได้แก่ หมวดหินภูเพ หมวดหินเขาขวาง หมวดหินหนองไผ่ หมวดหินปางอโศก หมวดหินเขาขาด และหมวดหินซับบอน (ตาราง 3. 3) โดยมีหินคาร์บอนเนตปรากฏให้เห็นใน 4 หมวดหิน ได้แก่ หมวดหินเขาขวาง หมวดหินภูเพ หมวดหินหนองไผ่ และหมวดหินเขาขาด อย่างไรก็ตาม ยังคงมีการเรียกชื่อเป็นหมวดหินอื่น ๆ อีก ในแต่ละบริเวณที่มีการปรากฏของหิน ได้แก่ หมวดหินเขาลวก หินปูนสระบุรี หินดินดานด่านซ้าย (Bunopas, 1981) หมวดหินดากฟ้า (Nakhornsri, 1976) หรือหมวดหินน้ำโพนาร หมวดหินอีเลิส หมวดหินผาเตือ (Charoenprawat และคณะ, 1976) หรือหมวดหินผานกเค้า หมวดหินน้ำคูก หมวดหินหัวนาคำ (Chonglakmani และคณะ, 1979) เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเทียบเคียงการลำดับชั้นหินเหล่านี้แสดงในตาราง 3.3

กลุ่มหินสระบุรีมีกำเนิดในสภาวะแวดล้อมหลากหลายรูปแบบ ตั้งแต่แอ่งที่ราบ ขอบแอ่ง ลานด้านนอก ลานด้านใน ลานชลาจำกัดและขอบทะเล ดังนั้นในการพิจารณาในเชิงพื้นที่ของหินเนื้อปูน จึงพบลักษณะปรากฏของหินเนื้อปูนทางด้านตะวันตกและหินทรายสลับเนื้อปูนทางตอนกลาง และเนื้อปูนสลับเนื้อทรายทางตะวันออกของแนวคดโค้งเพชรบูรณ์ (Wielchowsky และ Young, 1985) สภาวะแวดล้อมการสะสมตะกอนจึงเป็นส่วนนำดินทางด้านตะวันออก บริเวณจังหวัดเลย และมีความลึกของระดับน้ำมากขึ้นไปทางตะวันตกแถบจังหวัดเพชรบูรณ์ ในลักษณะภูมิสัณฐานการแผ่กว้างแบบขอบไหล่ทวีป (Dawson และคณะ, 1994)



### 3.6 หินคาร์บอนेटยุคไทรแอสซิก-จูแรสซิก (Triassic-Jurassic Carbonate Rocks)

กลุ่มหินยุคไทรแอสซิกแบบภาคพื้นสมุทร (Marine Triassic Rocks) มีการแผ่กระจายตัวในหลายพื้นที่ทางตอนเหนือด้านตะวันตกตลอดแนวต่อเนื่องลงไปจรดแหลมไทย และปรากฏเป็นภูเขาหินปูนให้เห็นทางภาคตะวันตกของประเทศ (รูป 3. 8) โดยมีชื่อเรียกกลุ่มหินเหล่านี้แตกต่างกันออกไปในแต่ละสถานที่ที่มีการปรากฏของกลุ่มหิน

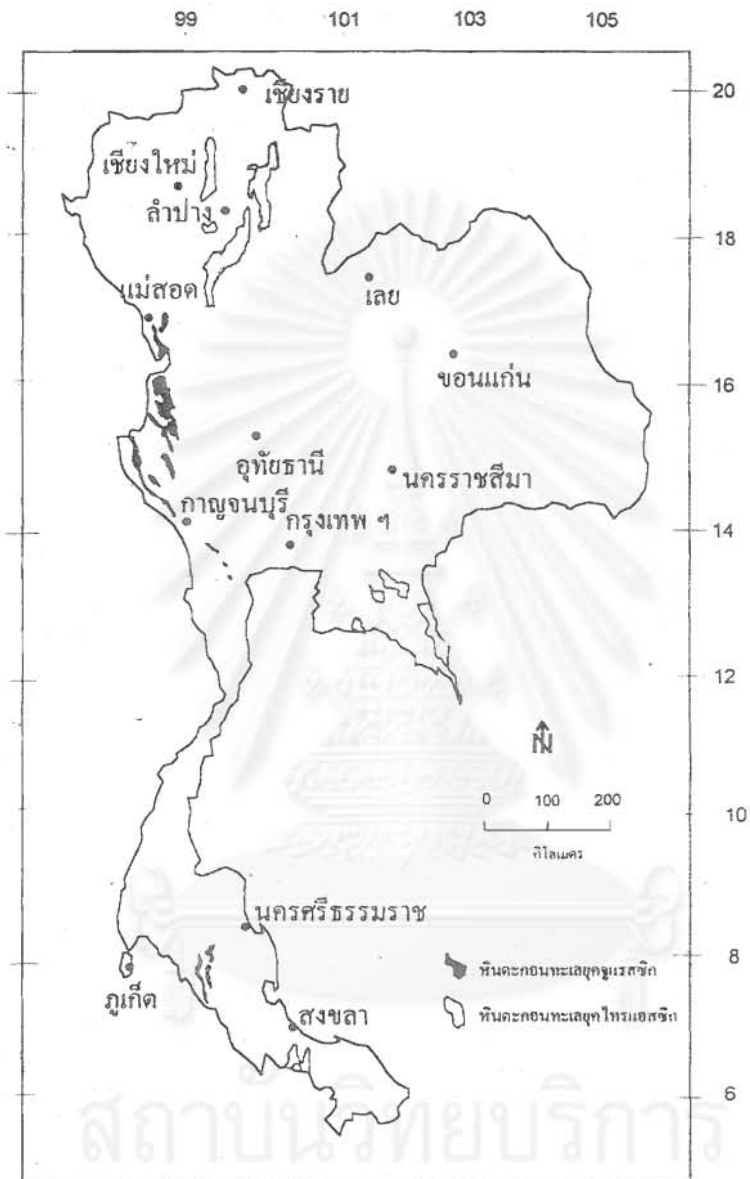
#### 3.6.1 กลุ่มหินลำปาง (Lampang Group)

กลุ่มหินลำปาง (Piyasin, 1971) พบแผ่กระจายตัวบริเวณพื้นที่ภาคเหนือ โดยเฉพาะบริเวณจังหวัดลำปาง แพร่ เชียงราย น่าน และสุโขทัย หินส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินดินดานสีเทาถึงสีเทาแกมเขียว หินทราย หินปูน และหินกรวดมน มีความหนามากกว่า 3,000 เมตร (ดู Charusiri และคณะ, 1993) กลุ่มหินมีการวางตัวแบบไม่ต่อเนื่องระดับ (disconformity) บนหินภูเขาไฟยุคเพอร์โมไทรแอสซิก หรือบนหินยุคเพอร์เมียน หรือบนหินที่มีอายุแก่กว่า การศึกษาในรายละเอียดบริเวณกลุ่มหินลำปางเดิมจัดแบ่งออกเป็น 5 หมวดหิน และการลำดับชั้นหินได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมโดย Chonglakmani (1987) ได้แก่ หมวดหินพระราชดู่ หมวดหินผาก้าน (หรือหมวดหินคอยช้างของ Chonglakmani, 1981) หมวดหินย่องหอย หมวดหินคอยลอง (หรือหมวดหินคอยช้าง ของ Piyasin, 1972) และหมวดหินผาแดง ตามลำดับจากล่างขึ้นบน ต่อมาได้มีการจัดแบ่งเพิ่มขึ้นอีก 2 หมวดหินโดย Chaodumrong (1992) ได้แก่ หมวดหินก้างปลาและหมวดหินวังจั่นซึ่งพบที่แอ่งย่อยแพร่ อย่างไรก็ตามหินคาร์บอนेटได้ปรากฏให้เห็นใน 3 หมวดหินคือ หมวดหินผาก้าน หมวดหินคอยลอง และหมวดหินก้างปลา ตามลำดับการวางชั้นหินจากล่างขึ้นบนดังนี้ (รูป 3.9)

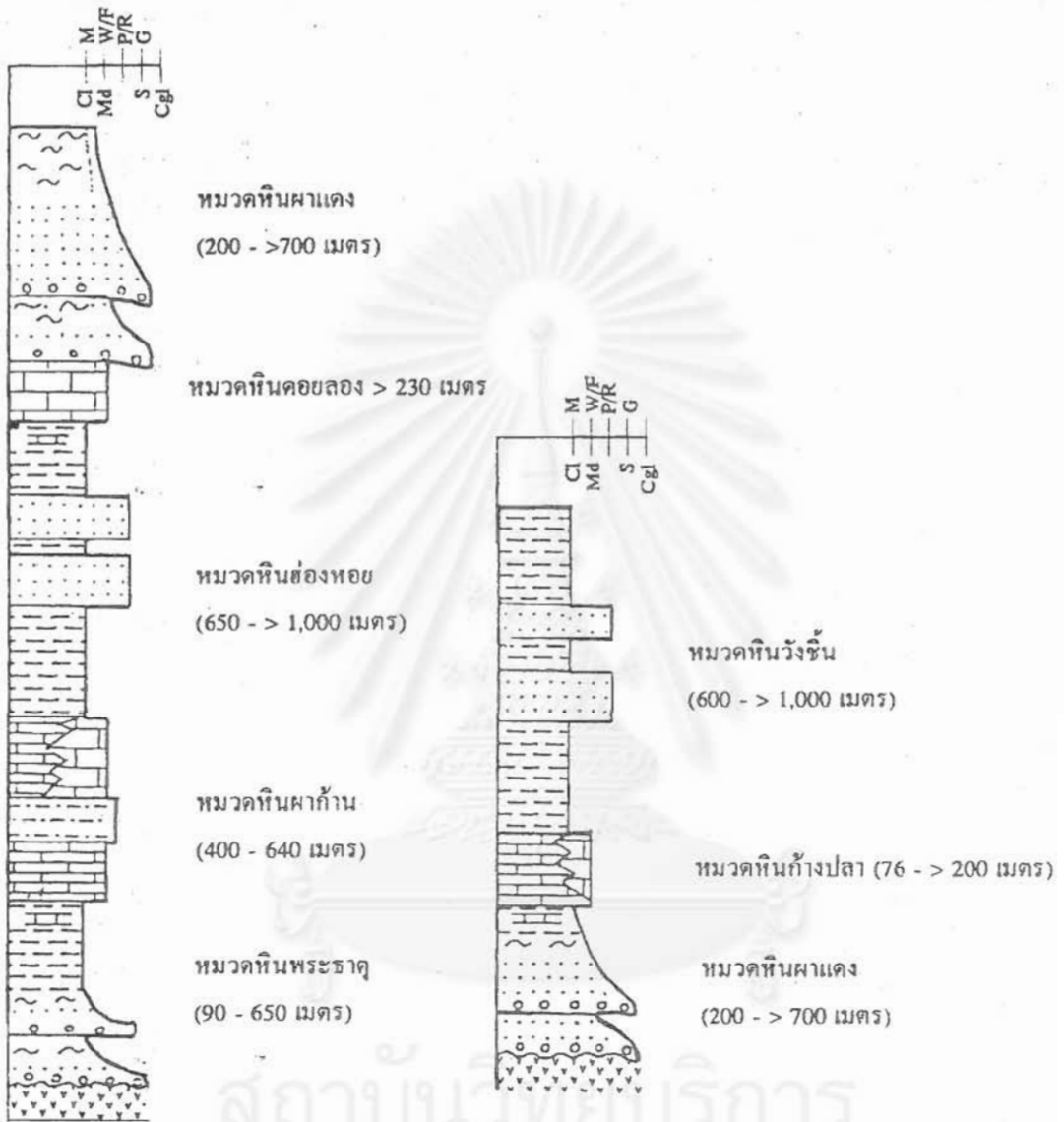
##### 3.6.1.1 หมวดหินผาก้าน (Pha Khan Formation)

หมวดหินผาก้าน (Piyasin, 1971) หรือคอยช้าง (Chonglakmani, 1981) มีความหนาประมาณ 250-600 เมตร ประกอบด้วยหินปูนเนื้อผลึกสีเทาดำ แบบมวลเนื้อหิน มีซากดึกดำบรรพ์จำพวกเศษของหอยสองฝาและแอมโมไนต์ ซึ่งเป็นหลักฐานบ่งบอกถึงอายุในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนต้น (Early Skytian-Anisian) มีสภาพแวดล้อมในการสะสมตะกอนในทะเลตื้นใกล้ชายฝั่งในแอ่งรูปร่างยาวรีของ Neritic Zone (Chonglakmani, 1987)

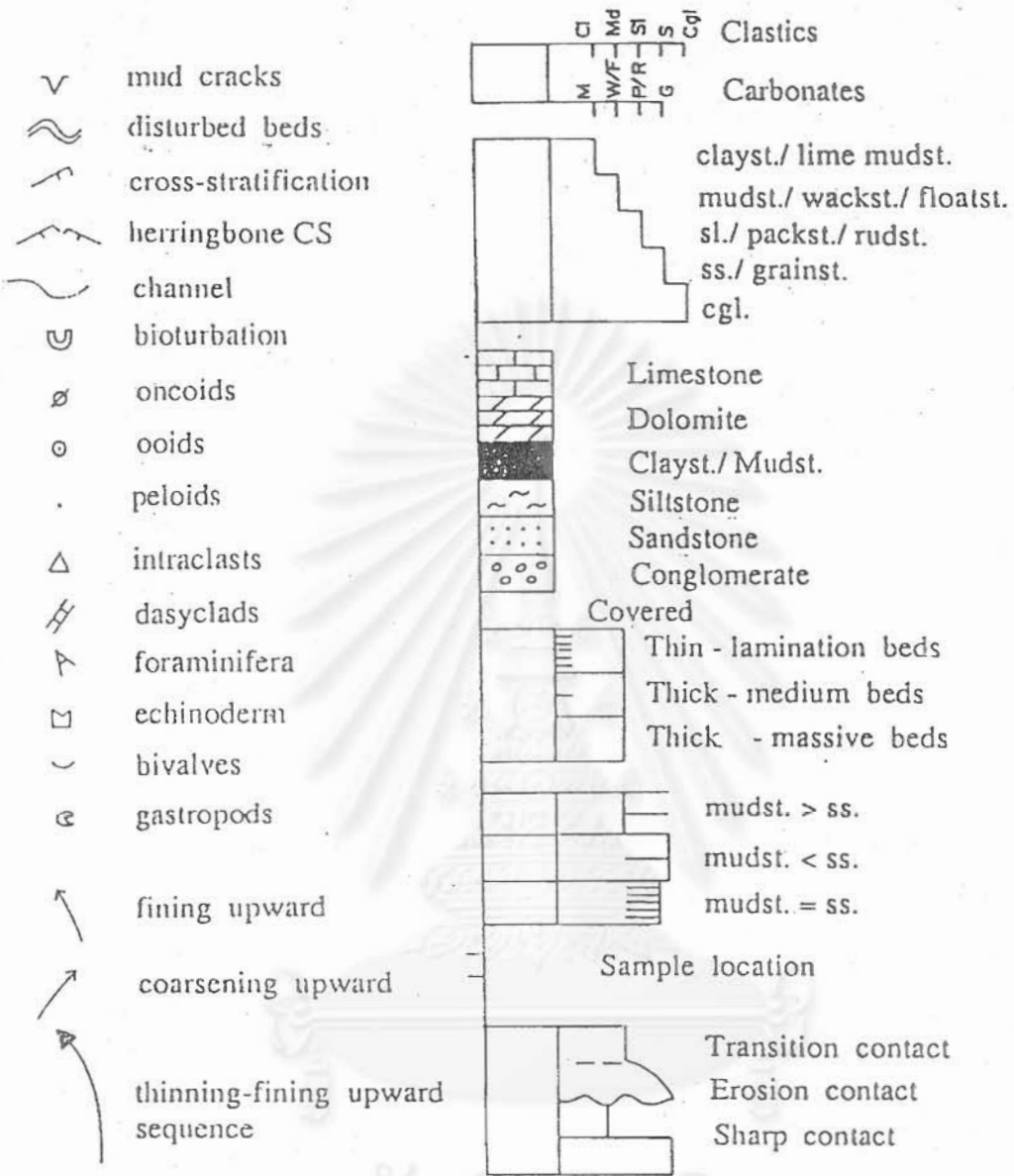




รูป 3.8 การกระจายตัวของหมีดะกอนทะเลยุคไทรแอสซิกและจูแรสซิกของประเทศไทย (ปรับปรุงจาก Chonglakmani และคณะ, 1985; Meesook, 1995; และ DMR, 1987)



รูป 3. 9 ก แท่งลำดับชั้นหินแสดงหมวดหินของกลุ่มหินลำปาง  
(ปรับปรุงจาก Chaodumrong, 1992)



รูป 3.9 ข สัญลักษณ์ทั่วไปที่ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับตะกอนวิทยา  
อธิบายสัญลักษณ์ รูป 3.9 ก (ดัดแปลงจาก Chaodumrong, 1992)

### 3. 6. 1. 2 หมวดหินคอยลอง (Doi Long Formation)

หมวดหินคอยลอง (Charusiri และคณะ, 1993; Chaodumrong, 1992; Chonglakmani, 1981) หรือคอยซ้าง (Piyasin, 1972) มีความหนาประมาณ 230-400 เมตร ประกอบด้วยหินปูนจำพวก Packstone, Grainstone ถึง Algal-Boundstone สีเทาถึงเทาอ่อนแบบมวลชั้นหินเป็นส่วนใหญ่ มีซากดึกดำบรรพ์ของหอยสองฝา ปะการัง ไครนอยด์ (crinoid) หอยวงซ้าง (gastropod) และหอยสองฝาไม่เท่ากัน (brachiopod) หินหมวดนี้มีการสะสมตัวในทะเลตื้นใกล้ชายฝั่ง (littoral) ถึงเขตน่านน้ำท้ายฝั่ง (neritic zone) และเป็นชานชาลาเกือบลาดแผ่กว้างที่มีการจมตัวลง (drowned ramp platform) หมวดหินนี้กำหนดอายุได้ในช่วงตอนกลางของส่วนล่างของยุคไทรแอสซิก (middle Lower Triassic) ในช่วงคาร์เนียนตอนกลาง (Middle Carnian) จากหลักฐานของซากดึกดำบรรพ์ *Trigonodus costratus* (Chaodumrong, 1992)

### 3. 6. 1. 3 หมวดหินก้างปลา (Khang Pla Formation)

หมวดหินก้างปลา (Chonglakmani และ Tiyan, 1985; Chaodumrong, 1992) เป็นหมวดหินที่ตั้งชื่อตามชื่อคอยก้างปลา ซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของอำเภอสอง จังหวัดแพร่ ประมาณ 10 กิโลเมตร หมวดหินประกอบด้วยหินปูนสีเทาขาว-เทาดำ ตั้งแต่ขนาดชั้นบางถึงมวลเนื้อหิน มีการแทรกสลับของชั้นเนื้อหินตะกอนเม็ดบ้าง ลักษณะเนื้อของหินปูนแสดงเนื้อเม็ดไข่ปลา (Ooids) ประกอบด้วยหินชนิด skeletal packstone, lime mudstone จนถึง peloidal packstone ความหนาของชั้นหินวัดได้ตั้งแต่ 38 ถึง 76 เมตร (Chaodumrong, 1994) และอาจมีความหนาได้ถึง 500 เมตร (Chonglakmani, 1981)

จากการลำดับชั้นหิน พบว่าหมวดหินก้างปลาวางตัวต่อเนื่องได้หมวดหินวังชันและวางตัวต่อเนื่องบนหมวดหินผาแดงแต่ไม่ต่อเนื่องเชิงมุม (angular unconformity) บนหินภูเขาไฟยุคเพอร์โมไทรแอสซิก อายุของหมวดหินอยู่ในช่วงคาร์เนียนตอนกลาง (Middle Carnian) ถึงนอร์เนียนล่าง (Lower Norian) ด้วยการบ่งชี้จากซากดึกดำบรรพ์ของ Carnian Halobia Comata, *Spiriferina* sp. และ Norian Conodont, *Epigondolella abneptis*

กลุ่มหินคาร์บอนेटยุคไทรแอสซิก มีการกระจายตัวต่อเนื่องลงไปถึงจังหวัดกาญจนบุรี และพบในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี ระยอง และชลบุรี และในพื้นที่ภาคใต้บริเวณอำเภอสะบ้าย้อย จังหวัดสงขลา กลุ่มหินนี้เมื่อปรากฏพบทางตะวันตกของจังหวัดตาก กลับถูกเรียกชื่อเป็นกลุ่มหินแม่เมยตอนล่าง (Lower Mae Moei Group) โดยมีหินปูนกะมะกะละ (Kamawkala Limestone) แผ่กระจายตัวในพื้นที่อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

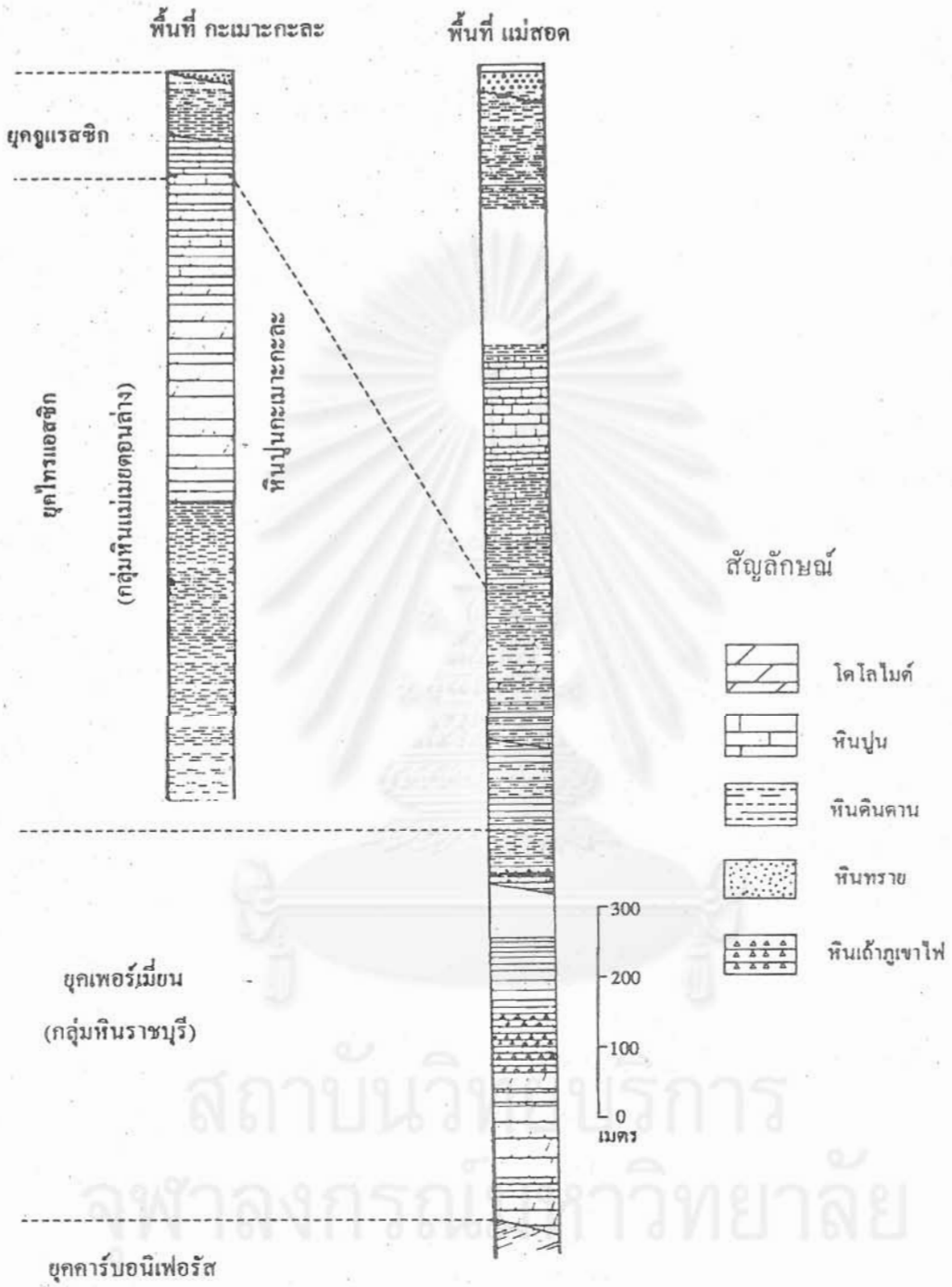
### 3. 6. 2 หินปูนกะมะกะละ (Kamawkala Limestone)

หินปูนกะมะกะละเป็นกลุ่มของหินคาร์บอนेटยุคไทรแอสซิก-จูแรสซิก (Meesook, 1994; Cother, 1924; Gregory, 1930) กระจายตัวเป็นแนวเทือกเขาตามแนวของแม่น้ำเมย ระหว่างชายแดนประเทศไทยและพม่า ชั้นหินดินแบบบริเวณแม่น้ำเมย ยาวประมาณ 60 กิโลเมตร ทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือของอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มีความหนาของหินคาร์บอนेटมากกว่า 1,100 เมตร (Braun และ Jordan, 1976; Meesook, 1994)

ชุดหินประกอบไปด้วยหินปูนสีเทา ถึงเทาดำ เนื้อคผลึกใหม่ และมีส่วนประกอบ เป็นโดโลไมต์ส่วนใหญ่ มีหินดินดาน และหินทรายแทรกสลับ โดยหินดินดานและหินทราย แทรกสลับชั้นกับหินปูนปรากฏให้เห็นในช่วงล่างของการลำดับชั้น และวางตัวต่อเนื่องบนหมวดหินแม่สะเรียง ( Chonglakmani, 1981; Braun และ Jordan, 1976) ขอบเขตบนของหินได้ถูกกำหนดให้สิ้นสุดบนชั้นหินมวลเนื้อปูนสีเทา ที่ถูกปิดทับด้วยลำดับที่ต่อเนื่องของชั้นหินดินดานและหินทรายของกลุ่มหินแม่เมย ยุคจูแรสซิกตอนบน (Braun และ Jordan, 1976) (รูป 3. 10)

การกำหนดอายุของหินคาร์บอนेटกะมะกะละ กำหนดได้จากซากดึกดำบรรพ์จำพวกหอยที่เรียก Halobia ในชั้นหินดินดานซึ่งบ่งชี้ถึงยุคไทรแอสซิกตอนบน (Meesook, 1994) และซากดึกดำบรรพ์ จำพวกหอยสองฝา แอมโมนอยต์ แบรคิโอพอด และสัตว์ขนาดเล็กไม่มีกระดูกสันหลังอื่น ๆ (Braun และ Jordan, 1976; Meesook, 1994) ซึ่งบ่งชี้ถึงอายุในช่วงนอเรียน (Norian) ถึงอารีเนียน (Aalenian)

สภาวะแวดล้อมการสะสมตัวของคาร์บอนेटเหล่านี้คาดคิดกันว่าเกิดในทะเลที่มีสภาพแวดล้อมที่ราบขานซาลาซึ่งมีกระแสขุ่นขึ้นและมักพบหินคาร์บอนेटยุคไทรแอสซิกมากกว่า หินคาร์บอนेटของยุคจูแรสซิก



รูป 3. 10 แท่งลำดับชั้นหินแสดงหินปูนกะแมะกะละบริเวณกะแมะกะละ และแม่สอด  
ยุคไทรแอสซิกตอนบน (ปรับปรุงจาก Braun และ Jordan, 1976)

### 3.7 หินยุคเพอร์เมียนในพื้นที่ศึกษา

กลุ่มหินเพอร์เมียนที่แผ่กระจายตัวในบริเวณเทือกเขาเพชรบูรณ์ ทางตะวันตกของที่ราบสูงโคราช และในบริเวณพื้นที่จังหวัดเลยได้ถูกจัดให้เป็นกลุ่มหินสระบุรี (Bunopas, 1981; 1983) อย่างไรก็ตาม กลุ่มหินยุคเพอร์เมียนดังกล่าวในจังหวัดเลย มีการลำดับชั้นที่ต่างไปจากการลำดับชั้นหินของกลุ่มหินสระบุรีดังกล่าวแล้ว โดยในการสำรวจเพื่อจัดทำแผนที่ธรณีวิทยาได้มีการจัดลำดับของหินยุคเพอร์เมียนในพื้นที่จังหวัดเลยออกเป็น 3 หมวดหิน (ดู Assavapatchara และคณะ, 1998) ด้วยเหตุนี้ทำให้ Assavapatchara และคณะ (1998) ได้ทำการแบ่งแยกกลุ่มหินคาร์บอนเนตในจังหวัดเลยออกเป็น อีกชุดต่างหาก เรียกกลุ่มหินเลย (Loei Group) ด้วยเหตุผลดังกล่าว มีการลำดับชั้นจากล่างขึ้นบนได้แก่ หมวดหินน้ำมโหฬาร หมวดหินอิเล็ค และหมวดหินผาเตือ ตามลำดับ (อตุลย์ เจริญประวัติ และธนิศร์ วงศ์วานิช, 2517-2519) Altermann (1989) ได้เรียกชื่อหินยุคเพอร์เมียนที่กระจายตัวตามแนวหินคดโค้งเพชรบูรณ์ และแนวหินคดโค้งเลยตามแผนที่ธรณีวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือมาตราส่วน 1: 500,000 (พิสุทธิ์ สุทัศน์ ณ อยุธยา และสมาน วีระบุรุษ, 2525) ซึ่งได้แบ่งหินออกเป็น 5 หมวดหิน จากลำดับล่างขึ้นบนได้แก่ หมวดหินภูถ้ำน้ำมโหฬาร หมวดหินหัวนาคำ หมวดหินผาเตือ หมวดหินน้ำดุก และหมวดหินสุดท้ายซึ่งไม่ได้มีการเรียกชื่อไว้ ต่อมา Wielchowsky และ Young (1985) ได้เรียกกลุ่มหินคาร์บอนเนตที่แผ่กระจายตัวในพื้นที่จังหวัดเลย เป็นผานกเค้าแพลตฟอรม์ เช่นเดียวกับการเรียกชื่อหินยุคเพอร์เมียนหมวดหินผานกเค้า ซึ่ง Chonglakmani และคณะ (1979) ได้กำหนดไว้ในแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน 1: 250, 000 แผ่นจังหวัดอุดรธานีและวังเวียง การเทียบเคียงหมวดหินต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียงได้แสดงในตาราง 3.3

ในการศึกษานี้กำหนดการเรียกชื่อหมวดหินตามผลการศึกษาเดิมที่มีการเรียกชื่อไว้แล้ว โดยอ้างอิงการเรียกชื่อหมวดหินตาม อตุลย์ เจริญประวัติ และ ธนิศร์ วงศ์วานิช (2519) และแผนที่ธรณีวิทยาประเทศไทย มาตราส่วน 1: 250, 000 แผ่นจังหวัดเลย (Charoenprawat และคณะ, 1976) ซึ่งเป็นชื่อที่กำหนดเรียกไว้ครั้งแรกในพื้นที่จังหวัดเลยและมีการเรียกชื่อเพื่ออ้างอิงใน Lexicon of Stratigraphic Names of Thailand (Department of Mineral Resources, 1992) โดยในที่นี้กล่าวถึงหินแต่ละหมวดหินตามลำดับจากล่างขึ้นบนดังนี้

#### 3.7.1 หมวดหินน้ำมโหฬาร (The Nam Maholan Formation)

หมวดหินน้ำมโหฬาร (Charoenprawat และคณะ, 1976) หรือภูถ้ำน้ำมโหฬาร (อตุลย์ เจริญประวัติ และ ธนิศร์ วงศ์วานิช, 2519) หรือหมวดหินถ้ำน้ำมโหฬาร (Department of Mineral

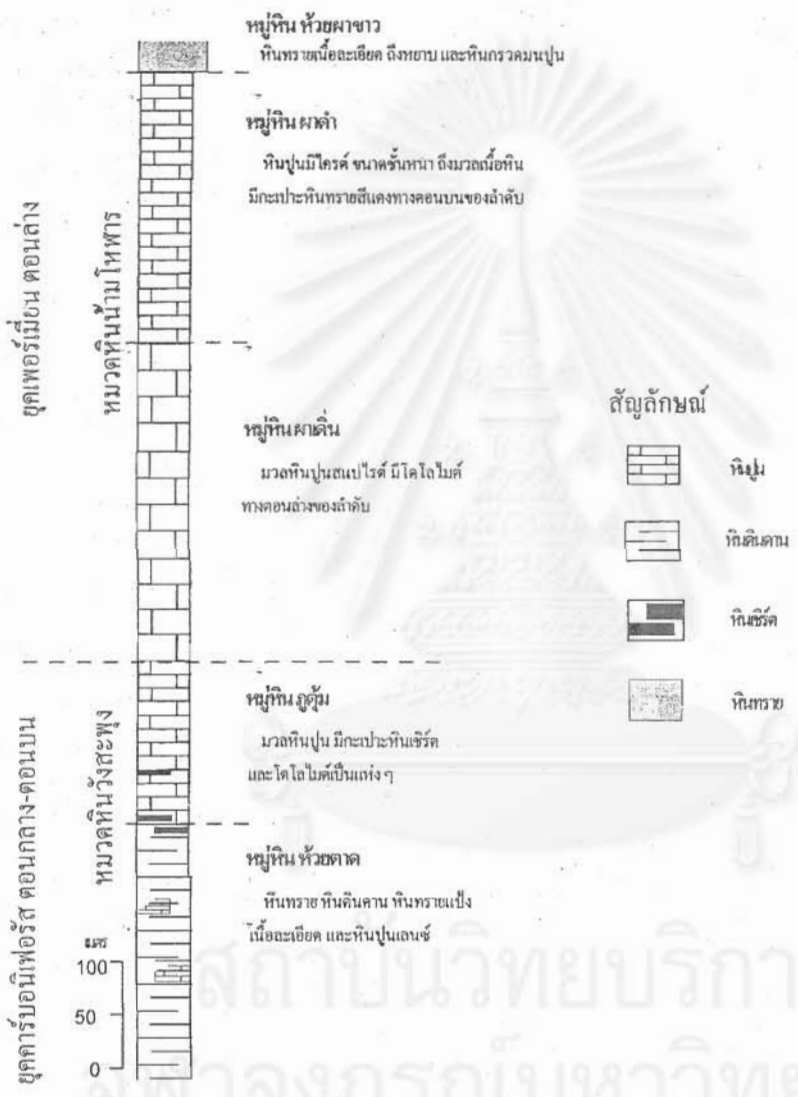


Resources, 1988) เป็นหมวดหินคาร์บอนีตยุคเพอร์เมียนตอนล่างซึ่งต่อเนื่องลงมาถึง ยุคคาร์บอนีเฟอรัสตอนบน ที่กระจายตัวในพื้นที่จังหวัดเลย โดยหินต้นแบบตั้งชื่อตามเทือกเขา หินปูนบริเวณภูถ้ำมโหฬารซึ่งวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ที่บ้านหนองหิน อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ซึ่งมีซากดึกดำบรรพ์ของยุคเพอร์เมียนตอนล่าง (อคุลย์ เจริญประวัติ และธนิศร์ วรวานิช, 2519; Ueno และคณะ, 1995)

หินหมวดนี้ประกอบด้วยหินปูนสีเทา เทาอ่อนถึงสีขาว ขนาดชั้นหนาถึงมวลชั้น ในบางบริเวณมีเนื้อตะกอนเม็ด (clastic texture) มีหินดินดานสีน้ำตาลและหินดินดานเนื้อปูน สีเทาแกมเขียว และหินทรายสีน้ำตาลแดงแทรกอยู่ด้านล่างของลำดับชั้นหิน นอกจากนี้มีหินเชิร์ต สีดำขนาดแถบชั้นบางแทรกสลับระหว่างชั้น และเป็นเลนซ์ในเนื้อหินปูนทางตอนกลางของลำดับ และมีหินปูนขนาดชั้นหนา ถึงมวลเนื้อหิน ไม่แสดงชั้นทางตอนบนของลำดับ เช่น บริเวณภูผาคำ และภูผาขาว เป็นต้น

การศึกษาในหลายบริเวณ เช่นบริเวณผาเค็ด เป็นหินปูน สลับหินเชิร์ต มีแบรคิโอพอด จำนวนมาก Homrareun (1995) ศึกษาการลำดับชั้นหินบริเวณนี้ ได้ทำการจำแนกความหนาของหิน คาร์บอนีตน้ำมโหฬาร ทั้งหมด 1, 100 เมตร ออกเป็น 3 หมวดหิน (รูป 3. 11) โดยความหนาช่วงล่าง 580 เมตร ประกอบไปด้วย มวลเนื้อหินปูนสีเทาอ่อน และโดโลไมต์ กำหนดไว้ให้เป็นหมู่หินผาเค็ด ซึ่งวางตัวต่อเนื่องบนมวลเนื้อหินปูน มีกระเปาะเชิร์ต และโดโลไมต์ โดยจัดไว้เป็นหมู่หินภูถ้ำมของหมวดหินวังสะพุง หมวดหินผาเค็ดวางตัวต่อเนื่องรองรับหมู่หินผาคำ ซึ่งประกอบไปด้วย ลำดับชั้นของหินปูนขนาดชั้นหนา สีเทาจางถึงเทาดำตลอดช่วงความหนา 500 เมตร หมวดหินผาขาว ซึ่งวางตัวอยู่ลำดับบนสุดมีความหนา 20 เมตร ประกอบไปด้วยหินตะกอน แบบมวลเม็ด สีแดงถึงม่วงแดง และหินกรวดมนปูน

การลำดับชั้นหินของหมวดหินน้ำมโหฬารตามเส้นทางวังสะพุง-อำเภอนากลาง พบว่า ขอบเขตล่างของหมวดหินวางตัวต่อเนื่องบนกลุ่มหินยุคคาร์บอนีเฟอรัส จากบริเวณห้วยหลวง ต่อเนื่องไปทางตะวันออกของอำเภอวังสะพุง บริเวณภูผาสิ่งห่มมวลเนื้อหินปูนสีขาว เทาขาว มีซากดึกดำบรรพ์ของแบรคิโอพอด วางตัวรองรับด้วยหินปูนขนาดชั้นบาง และมีหินเชิร์ต ขนาดชั้นบางแทรกสลับ (รูป 3.12) ซากดึกดำบรรพ์มักถูกแทนที่ด้วยสารเชื่อมประสาน ของซิลิกาออกไซด์ การเทียบเคียงการลำดับชั้นหิน จัดได้เป็นตอนล่างสุดของ



รูป 3. 11 แท่งลำดับชั้นหินหมวดหินน้ำมโหฬารบริเวณแผ่นดิน  
จังหวัดเลย (ปรับปรุงแก้ไขจาก Homrareun, 1995)

หมวดหินน้ำมโหฬาร และวางตัวต่อเนื่องบนหมวดหินวังสะพุง เทียบเคียงได้กับหมวดหินผานกเค้า (Chonglakmani และคณะ, 1979)

การกำหนดอายุของหมวดหินกำหนดได้โดยอาศัยหลักฐานจากซากดึกดำบรรพ์ที่พบจำนวนมาก เช่น ไครนอยด์ ฟอแรมมินิเฟอรา แบรคิโอพอด ฟูซูลินิด และสาหร่าย ซึ่งแสดงอายุตั้งแต่ยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนบน ถึงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง ( เช่น Ingavat, 1994; Bunopas, 1981; DMR, 1987, 1992; Yanagida, 1967, 1974; Ueno และคณะ, 1994; 1995; Ueno และ Igo, 1993; Ueno และ Sakagami, 1993; Charoentitirat, 1995; Igo, 1972; 1984; Igo และคณะ, 1993 เป็นต้น)

Altermann (1989) เชื่อว่าหมวดหินนี้มีการสะสมตะกอนในสิ่งแวดล้อมแบบ Strom Deposits (Ainere, 1982) ในบริเวณระหว่างการขึ้นถึงของน้ำ (intertidal) Wielchowsky และ Young (1985) ได้จัดให้เป็นการสะสมตะกอนเหนือระดับการขึ้นถึงของน้ำ (supratidal) ในทะเลสาป (lagoon) ช่วงต้นอายุแก้วควาจูเปียน ของยุคเพอร์เมียนตอนกลาง ขอบเขตของหินโผล่ด้านตะวันออกสุดให้เป็นการสะสมตะกอนไหล่ทวีปถึงแบบลาดทะเลสาป (shelf lagoon) ด้วยลักษณะเด่นที่ไม่ปรากฏชั้นหินขนาดบาง และชั้นหินกรวดมนที่แสดงถึงตะกอนในร่องน้ำท่วมถึง Pendexter (1980) เชื่อว่าเป็นหินปะการัง สาหร่าย (algal reef limestone) ยุคเพอร์เมียนตอนล่าง ส่วนบริเวณด้านตะวันตกของผาเค็มมีหินปูน oncolite แสดงถึงการสะสมตัวในบริเวณน้ำลึกน้อย

### 3. 7. 2 หมวดหินอีเล็ค (E-Lert Formation)

หมวดหินอีเล็ค (อคุลย์ เจริญประวัติ และธนิศร์วงศ์วานิช, 2519; Charoenprawat และคณะ, 1976) เรียกชื่อตามพื้นที่หินต้นแบบ คือห้วยอีเล็ค หรือห้วยชำปอด ซึ่งเป็นห้วยเล็ก ๆ ทางทิศตะวันตกของอำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย ปรินญา พุทธาภิบาล (2530) และ Department of Mineral Resources (1988) เรียกเป็นหมวดหินห้วยอีเล็ค แต่โดยทั่วไปมักเรียกเป็นหมวดหินอีเล็ค

หินหมวดนี้กระจายตัวคลุมพื้นที่ด้านตะวันตกเฉียงใต้ของจังหวัดเลย ตลอดแนวฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเลย เป็นแนวแคบยาวผ่านอำเภอเชียงคาน เห็นแนวชั้นหินได้ ตามเส้นทางเลย-ภูเรือ และตามเส้นทางเลย-ท่าลี่ ในช่วงที่ตัดผ่านแนวของชั้นหินหมวดนี้

หินส่วนใหญ่เป็นหินดินดานสีเทาดำ ขนาดชั้นบาง มีหินทรายเนื้อละเอียดแทรกสลับกับหินชีรต์สีน้ำตาลขนาดชั้นบาง (รูป 3. 13 ) และมีหินปูนสีเทา เทาอ่อน ถึงสีขาวเป็นเลนซ์ร่วมใน



รูป 3.12

ชั้นหินเซิร์ตสีเทาเขียว ขนาดชั้นบาง สลับ  
ชั้นหินปูน รองรับชั้นหินปูนผาสีถึงขนาดชั้นหนา  
บริเวณ หลัก กม. 6 (วังสะพุง-นากลาง)



รูป 3.13

หมวดหินอีเล็ค แสดงหินเซิร์ตสีน้ำตาลดำ  
ขนาดชั้นบางมาก มีซากดึกดำบรรพ์ฟูลูตินิต  
แทรกสลับด้วยหินดินดานสีเทาเขียว  
ขนาดชั้นบางมาก (เส้นทางลพ-ท่าลี่ ประมาณ กม. 5+)



รูป 3.14

หินปูนสีเทาขาวขนาดชั้นบางมาก แทรกสลับ  
ด้วยหินที่ฟอสเฟตเทาเขียวขนาดชั้นใกล้เคียงกัน  
ทางทิศเหนือของจังหวัดลพ ประมาณ 2 กม  
ของหมวดหินอีเล็ค



รูป 3.15

หินดินดาน และหินทรายแป้งสีเทาเขียว  
-สีน้ำตาลเหลือง ขนาดชั้นบาง  
เนื้อไมกาเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นได้ทั่วไป  
ของหมวดหินผาคือ บริเวณเส้นทาง  
เลข-เชียงคาน ไปตามแนวแม่น้ำโขงและ  
น้ำเหือง ไปทางด่านตะวันตก

หินดินดาน มีหินตะกอนภูเขาไฟ หินทัฟไฟสีเขียว และหินปูนทัฟไฟดึกปรากฏให้เห็นด้วย (รูป 3. 14) หินดินดานและหินเชิร์ต มักแสดงการโค้งงอตัวอย่างกว้าง มีบางส่วนแสดงการโค้งแบบชั้นหินตลบกลับ (overturned fold) มีระนาบเอียงเทจากแนวระดับประมาณ 35 องศาไปทาง ตะวันออกเฉียงใต้

การศึกษาชั้นหินของหมวดหินอีเลิศในหลายบริเวณ (อคุลย์ เจริญประวัติ และ ธนิศร์ วงศ์วานิช, 2519; Altermann, 1989) พบว่า ชั้นหินมีแนวการวางตัวในทิศทางเหนือ-ใต้ และมีมุมเอียงเทไปทางตะวันออกจากแนวระดับ 60-70 องศา มีรอยแตกเรียบตัดขวางแนวของชั้นหิน ในชั้นหินดินดาน หินทราย แป้ง และหินทรายเนื้อละเอียด มีแนวชั้นเฉียงระดับขนาดเล็ก มีริ้วคลื่นแผ่นบาง และกระเปาะรูปเลนซ์ ร่องรอยสิ่งมีชีวิตปรากฏให้เห็นน้อยมาก มีร่องรอยของ รูหนอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 มิลลิเมตร จนถึงขนาด 1 เซนติเมตรที่ถูกเติมเต็มช่องว่าง ด้วยแร่ไฟโรต์ เนื้อหินแสดงลักษณะรอยริ้วคลื่น มีทิศทางการไหลของกระแสน้ำโบราณไปทาง ทิศตะวันตก (Altermann, 1989)

การศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ของหินทรายและหินทรายแป้ง (Altermann, 1989) มีการ คัดขนาดดี รูปร่างเหลี่ยม ผลึกส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่ควอร์ตซประมาณร้อยละ 60-80 มี แร่เฟลสปาร์ร้อยละ 1 มีเศษหินมากกว่าร้อยละ 10 และแร่ไมก้าประมาณร้อยละ 3 เนื้อพื้น (matrix) ประมาณร้อยละ 20-60 ประกอบไปด้วยแร่เซอร์พิไซด์ เซิร์ตและฮีมาไทต์ แต่ในบางตัวอย่างพบว่ากว่า ร้อยละ 50 ของเนื้อพื้นประกอบด้วยแร่คลอไรต์แผ่นเล็กและรูปดาข่าย ในหินเนื้อโคลนมีแร่ไมก้ารูป ผลึกสมบูรณ์ ในบางตัวอย่างมีเศษของหินภูเขาไฟ และเศษของคาร์บอนเนตปรากฏให้เห็น

หินปูนมีขนาดตั้งแต่ชั้นบางถึงชั้นมวลหนามักเป็นชนิด intrabiomicrite และ intrabiosparite ตามการจำแนกของ Folk (1959, 1962) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยก้อนกรวดของ ไครนอยด์และฟอแรมมินิเฟอราซึ่งถูกแทนที่ด้วยแคลซิโดนี เนื้อพื้นมักถูกแทนที่ด้วยสารประกอบ จำพวก ซิลิกาและมีเศษหินภูเขาไฟปะปนในเนื้อหินปูน มีซากดึกดำบรรพ์จำนวนมากของไครนอยด์ เสต็ม ฟอแรมมินิเฟอรา โซลิตารีคอร์ริลและสาหร่าย ซากดึกดำบรรพ์ของฟูซูลินิด แร่โดโลไมต์ปรากฏ ให้เห็นได้บ้างและในบางตัวอย่างมีผลึกแร่รูปเข็มสมบูรณ์ของแร่โอพาไทต์ปรากฏให้เห็น

การลำดับชั้นหินเทียบเคียงได้กับตอนบนของหมวดหินผานกเค้า (Chonglakmani, และคณะ, 1979) และเทียบเคียงได้กับหินปูนน้ำโสม (Department of Mineral Resources, 1988)



หมวดหินอีเลิฟวางตัวรองรับ หมวดหินห้วยหินลาดทางด้านทิศใต้ของอำเภอวังสะพุงและวางตัวต่อเนื่องรองรับหมวดหินผาเตื่อทางทิศตะวันตกของจังหวัดเลยและมักถูกแทรกตัดด้วยหินภูเขาไฟและหินแกรนิตของยุคไทรแอสซิก (Charusiri, 1989)

การกำหนดอายุของหมวดหินกำหนดจากซากบรรพชีวินของฟอสซิลินิดและแอมโมนอยด์อายุตั้งแต่อาซีเลียนถึงคูเบอร์กันเดียน (ช่วงล่างของยุคเพอร์เมียนตอนล่างถึงช่วงกลางของยุคเพอร์เมียนตอนกลาง) และบางบริเวณบ่งถึงอายุอาซีเลียนถึงซัคมาเรียน ของยุคเพอร์เมียนตอนล่าง (อคุลย์ เจริญประวัตติ และธนีสร์ วงศ์วานิช, 2519) ซากดึกดำบรรพ์ที่พบจำพวกแอมโมนอยด์ *Agaticerous* sp. บ่งถึงช่วงอายุเพอร์เมียนตอนกลาง (Altermann, 1989; ปริญญา พุทธาภิบาล, 2530) แต่จากซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลินิด (ตรวจสอบโดย จรรยา จำนงค์ไทย, ฝ่ายโบราณชีววิทยา, กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี, 2540) ในหินเชิร์ต (รูป 3. 13 ) ทางตะวันตกของจังหวัดเลยซึ่งพบว่าส่วนใหญ่เป็นจำพวก *Pseudoschwagerina* sp. ซึ่งบ่งถึงยุคเพอร์เมียนตอนล่าง Ishibashi และคณะ (1996) กำหนดให้มีอายุในช่วงอาร์ซีเลียนถึงโบโรเรียน (ช่วงล่างต้นยุคเพอร์เมียนถึงต้นช่วงกลางยุคเพอร์เมียน

### 3.7.3 หมวดหินผาเตื่อ (Pha Dua Formation)

หมวดหินผาเตื่อ (อคุลย์ เจริญประวัตติ และธนีสร์ วงศ์วานิช, 2519; Charoenprawat และคณะ, 1976) ซึ่งเป็นหมวดหินยุคเพอร์เมียนตอนบน มีบริเวณหินต้นแบบที่หน้าผาที่ชื่อผาเตื่อ จังหวัดเลย (DMR, 1992) มีการกระจายตัวเป็นแนวยาวตามด้านตะวันตกของแม่น้ำเลย และสามารถเห็นแนวชั้นหินได้ตามเส้นทาง เลย-ท่าลี่ และเส้นทาง เลย-ภูเรือ

หมวดหินผาเตื่อประกอบด้วยการแทรกสลับกันของชั้นหินทราย หินทรายแป้ง และหินดินดาน ขนาดชั้นบาง สีเทาเขียว สีน้ำตาลถึงเทาแกมน้ำตาล (รูป 3. 15) มีแร่ไมก้าและซากดึกดำบรรพ์ของไม้ยืนต้น (อคุลย์ เจริญประวัตติ และธนีสร์ วงศ์วานิช, 2519) ส่วนบนของหน่วยหินประกอบด้วยแร่เฟลสปาร์เป็นจำนวนมาก และมักมีชั้นของหินถ้ำภูเขาไฟแทรกอยู่ด้วย (ปริญญา พุทธาภิบาล, 2530) ชั้นหินโดยทั่วไปมีความหนาตั้งแต่ 2 เซนติเมตร ถึงมากกว่า 50 เซนติเมตร ส่วนในหินทรายเนื้อละเอียดมีไมก้าปนอาจมีความหนาถึง 1 เมตร ชั้นหินทั่วไปมักแสดงแนวชั้นเฉียงระดับขนาดเล็ก และแนวแถบบางแบบขนาน สีหินหมักให้สีเหลืองถึงสีแดง ชั้นหินแสดงการคดโค้งไปมา ซึ่งอคุลย์ เจริญประวัตติ และธนีสร์ วงศ์วานิช (2519) กำหนดความหนาของหมวดหินนี้ไว้มากกว่า 1000 เมตร แต่ในการสำรวจนี้ประมาณได้มากกว่า 3,000 เมตร

การลำดับชั้นหินวางตัวบนหมวดหินอีเล็ค และรองรับหินอายุอ่อนกว่าของมหายุคมีโซโซอิกแบบรอยชั้นไม่ค่อเนื่อง และหมวดหินมักถูกแทรกตัดด้วยหินอัคนียุคอ่อน โดยเฉพาะหินแกรนิตยุคไทรแอสซิก หมวดหินผาเคือเทียบเคียงได้กับหมวดหินดินดานค่านซ้าย ซึ่งเป็นชื่อที่กำหนดไว้โดย Bunopas (1981)

สภาวะแวดล้อมของการสะสมตะกอน จากลักษณะตะกอนและซากดึกดำบรรพ์ที่สะสมตัวตามเส้นทางเลข-ค่านซ้าย และตามเส้นทางเลข-ท่าลี่ ได้มีการตีความว่าเป็นการสะสมตะกอนทะเลในพื้นที่ที่มีการขึ้นลงของระดับน้ำ (tidal environment) และมีการชะล้างในร่องน้ำแคบ และกัดเซาะไปตามร่องน้ำ จากการปรากฏที่ยังเหลืออยู่ของเศษหินมนใหญ่ แผ่นมีสโตไวต์ และแร่ของหินฮอร์นเบลนด์ซึ่งเป็นแร่ประกอบหินแปรและหินอัคนี จึงประมาณว่าหินหมวดนี้น่าจะมีต้นกำเนิดจากหินเดิมซึ่งเป็นหินอัคนีและหินแปรที่ถูกกัดเซาะและพัดพามาสะสมในระยะทางไม่ไกลจากแหล่ง ในบริเวณทะเลตื้นด้านตะวันออกและลี้กไปทางตะวันตกแบบลาดไหล่ทวีป (Altermann, 1989) ด้วยกระแสขุ่นขึ้น (turbidity current) และให้การสะสมตัวแบบตะกอนรูปพัดระดับต่ำ แสดงลักษณะ Bouma-T Sequence (Altermann, 1989) ไม่มีรายงานการพบตะกอนแบบก้นสมุทร (pelagic) อนึ่ง Wielchowsky และ Young (1985) เชื่อว่าเป็นการสะสมในน้ำตื้นหรือบริเวณของขอบทะเล ในช่วงอาซีเลียน ถึงกัวดาลูเปียนตอนปลาย

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 4

### ลำดับชั้นหินคาร์บอเนต และหินวิทยา

#### (Carbonate Stratigraphy and Lithology)

#### 4.1 คำนำ

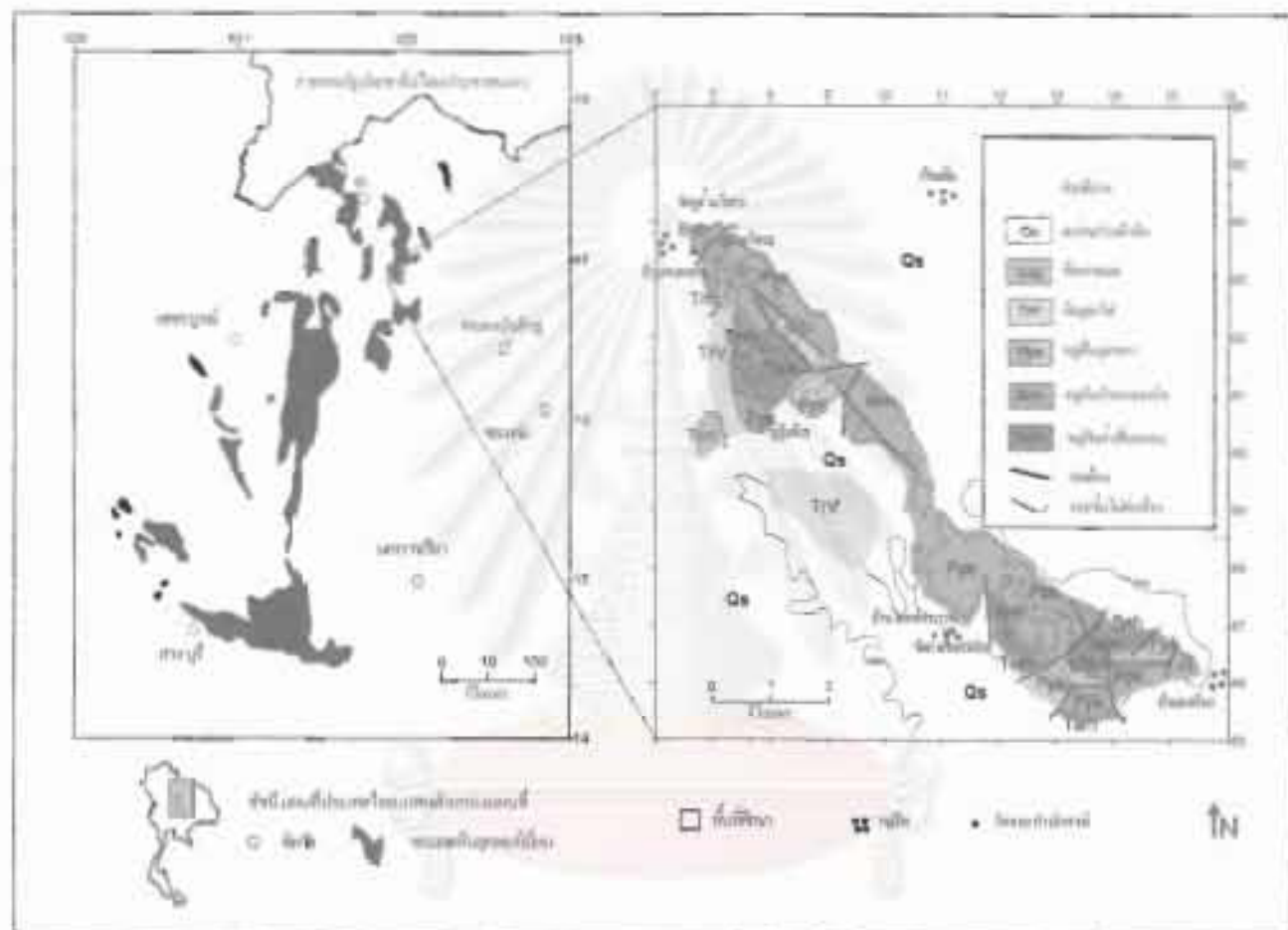
ในบทนี้เป็นการบรรยายถึงธรณีวิทยาของหินคาร์บอเนตในพื้นที่การศึกษา โดยอ้างอิงข้อมูลการสำรวจจากภาคสนามเป็นหลักประกอบกับผลการตรวจสอบแผ่นหินบางจากห้องปฏิบัติการซึ่งจำแนกและจัดแบ่งหมู่หินออกตามการลำดับชั้น ตามลักษณะปรากฏหินและองค์ประกอบจากหลักฐานซากดึกดำบรรพ์ที่ตรวจพบ

#### 4.2 ธรณีวิทยาทั่วไป

จังหวัดเลยและบางส่วนของจังหวัดหนองบัวลำภูมีการปรากฏหินคาร์บอเนตเป็นแนวยาว (รูปที่ 4.1) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณด้านตะวันออกของแม่น้ำเลย ในเขตอำเภอเมือง อำเภอนาดูน อำเภอวังสะพุง กิ่งอำเภอเอราวัณ อำเภอภูกระดึง อำเภอผาขาว และบางส่วนของกิ่งอำเภอวัง และอำเภอศรีบุญเรือง ซึ่งอยู่ทางตะวันตกสุดของจังหวัดหนองบัวลำภู นอกจากนี้ยังพบว่าหินคาร์บอเนตเป็นห่อมกระจายตัวแบบภูเขาโดดไม่สูงนักบนพื้นที่ราบในเขตอำเภอสวรรคภูหาและอำเภอนากลาง จังหวัดหนองบัวลำภูอีกหลายบริเวณ หินเหล่านี้มีอายุตั้งแต่ยุคดีโวเนียนถึงยุคเพอร์เมียน แต่จากการศึกษาจะสังเกตเห็นว่าถ้าหากพบเป็นเทือกเขาสูงมักเป็นหินคาร์บอเนตของยุคเพอร์เมียนตอนล่างของหมวดหินน้ำมโหฬารเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมักแสดงตัวแบบชั้นและบางส่วนแสดงตัวแบบพืดหิน (platform) หรือมวลชั้นหนา (massive) ของหินปูนปะการัง (Chairangsee และคณะ, 1990) ส่วนหินคาร์บอเนตยุคอื่น (เช่นหินคาร์บอเนตยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน) มักปรากฏเป็นชั้นบาง หรือเลนซ์แทรกสลับอยู่กับหินดินดานและหินทรายแป้งและหินทราย หรือเชิร์ต

#### 4.3 การลำดับชั้น และลักษณะหิน

การสำรวจทางธรณีวิทยาภาคสนามได้ศึกษาในรายละเอียดบริเวณเทือกเขาหินปูนทางตะวันออกของอำเภอวังสะพุง จังหวัดเลยที่ต่อเนื่องเข้าไปในเขตอำเภอผาขาว จังหวัดหนองบัวลำภู และอำเภอภูกระดึง จังหวัดเลย ครอบคลุมบริเวณหมวดหินต้นแบบของหมวดหินน้ำมโหฬาร (อดุลย์เจริญประวัตติ และธนีสร์ วงศ์วานิช, 2519) ซึ่งอยู่บริเวณถ้ำน้ำมโหฬาร บ้านหนองหิน อำเภอภูกระดึง จังหวัดเลยและพบว่ามีความหนาทั้งหมดของหมวดหินน้ำมโหฬารประมาณ 400 เมตร ถึงประมาณ



รูป 4.1 การแสดงอาณาเขตของพื้นที่ภาคอีสานตอนบนและภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ปรับปรุงจากแผนที่ธรณีวิทยาขนาดสเกล 1: 2,500,000 โดย Department of Mineral Resources, 1987) แสดงอาณาเขตของแอ่งหิน ในพื้นที่ศึกษาวิจัย

550 เมตร ซึ่งเมื่อเทียบความหนากับผู้ศึกษาเดิม (Department of Mineral Resources, 1992; Huamraruen, 1995) พบว่าหนาน้อยกว่าที่เคยทำได้ การวางตัวของชั้นหินอยู่ในแนวโดยเฉลี่ยส่วนใหญ่ในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ มีมุมเอียงเทประมาณ 30 ถึง 50 องศา โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 40 องศา ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศเหนือเป็นส่วนใหญ่

จากการศึกษาองค์ประกอบหินในรูปออกไซด์ของธาตุหลักพบว่าค่าส่วนประกอบของ CaO ประมาณเฉลี่ยร้อยละ 45.85 โดยน้ำหนัก และ MgO เฉลี่ยร้อยละ 6.74 โดยน้ำหนัก และประกอบด้วย FeO และ MnO และ  $Al_2O_3$  เฉลี่ยร้อยละ 0.30, 0.40 และ 0.23 โดยน้ำหนัก อนึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับผลวิเคราะห์เคมีได้แสดงในตาราง 4.1

ในการศึกษานี้สามารถจำแนกการลำดับชั้นหินตามลักษณะปรากฏหิน จากหมู่หินที่อยู่ล่างสุดไปหาหมู่หินที่วางตัวอยู่ด้านบนสุดได้ 3 ลำดับหมู่หิน (members) ดังนี้คือ (รูป 4.2)

#### 4. 3. 1 หมู่หินถ้ำเสือหมอบ (Tham Suee Mob Member)

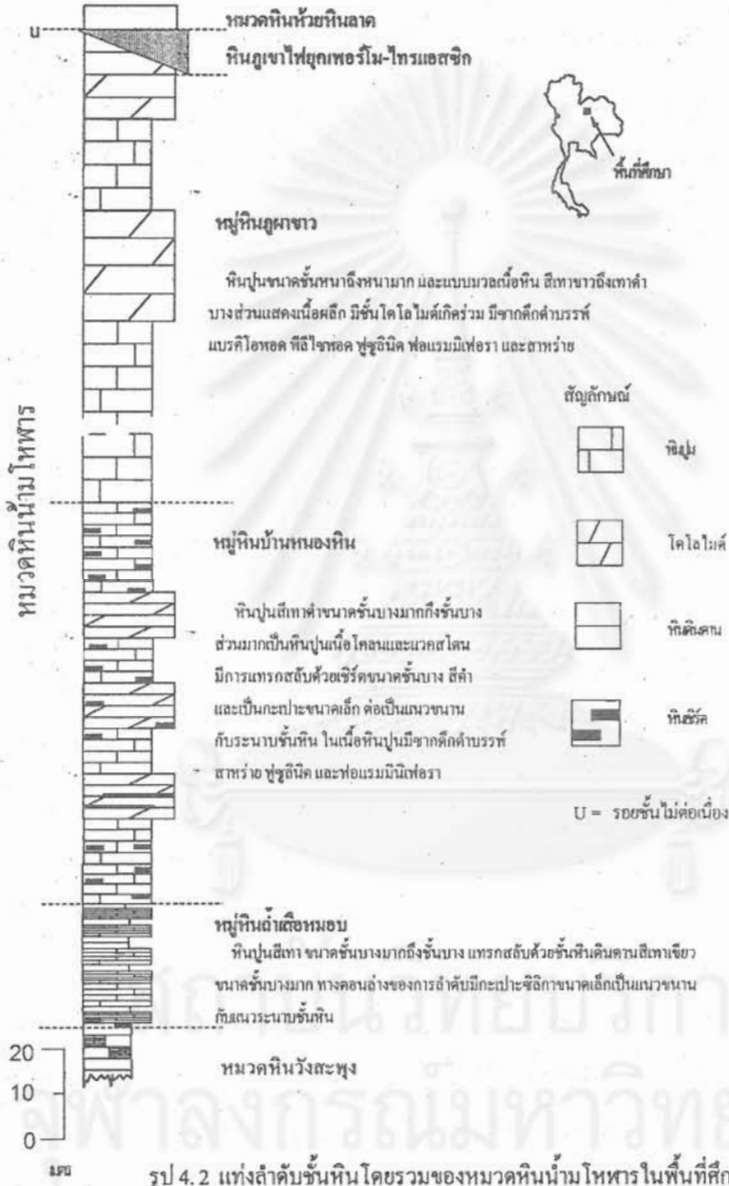
หมู่หินถ้ำเสือหมอบมีลำดับการวางตัวอยู่ล่างสุดของหมวดหินน้ำมโหฬาร การเรียกชื่อหมู่หินกำหนดจากบริเวณถ้ำเสือหมอบ บ้านโคกผักหวาน อำเภอผาขาว จังหวัดเลย ทางตะวันตกเฉียงใต้ของภูผาขาว ซึ่งลำดับชั้นหินเห็นได้ชัดเจนกว่าบริเวณอื่นๆ ในพื้นที่การศึกษา

ลำดับชั้นของหมู่หินปรากฏให้เห็นทางทางตะวันออกเฉียงของภูถ้ำน้ำ บริเวณถ้ำเสือหมอบทางตะวันตกเฉียงใต้ของภูผาขาว ทางใต้ของภูผาขาวและทางใต้ของบ้านดงน้อย การปรากฏของลำดับชั้นหินเห็นได้ตามเชิงเขาระดับล่างและภูเขาโคดเป็นแนวขอบพื้นที่ภูเขาด้านตะวันตกและตะวันออกเฉียงและต่อเนื่องลงไปในพื้นที่ภูมิประเทศแบบราบเรียบซึ่งถูกปกคลุมด้วยดินผุพัง (weathering soil)

จากการลำดับชั้นหินพบว่าหมู่หินวางตัวต่อเนื่องบนลำดับการแทรกสลับของหินดินดานและหินทรายขนาดชั้นบางสีเทาเขียวและเลนซ์ของหินปูนสีเทาคำของหมวดหินวังสะพุง ขอบเขตล่างกำหนดได้จากการปรากฏของชั้นหินปูนสีเทาคำชั้นบางมีซากดึกดำบรรพ์ ขอบเขตบนวางตัวต่อเนื่องได้หมู่หินบ้านหนองหิน โดยกำหนดจากลำดับชั้นหินเชิร์ตสีดำขนาดชั้นบางและกะเปาะเชิร์ตในเนื้อหินปูนสีเทาถึงสีดำเป็นแนวนานานกับระนาบแนวของชั้นหินปูน

ในพื้นที่ศึกษาวิจัย เลข-หนองบัวลำภู (หน่วยเป็น % โดยน้ำหนัก)

หมายเลขตัวอย่าง	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	LOI
1	52.91	1.16	1.42	0.17	0.005	0.056	0.021	0.16	0.01	43.22
4	54.17	0.53	1.84	0.12	0.004	0.037	0.016	0.12	0.01	42.96
6	54.68	0.81	0.22	0.09	0.006	0.009	0.011	0.19	0.01	43.85
8	51.13	4.03	0.17	0.08	0.005	0.003	0.009	0.02	0.01	44.29
11	52.57	0.99	3.27	0.22	0.005	0.012	0.014	0.05	0.01	42.44
13	53.72	1.47	0.44	0.08	0.002	0.002	0.007	0.05	0.01	43.67
14	54.48	0.66	1.44	0.09	0.002	0.003	0.006	0.02	0.01	43.13
17	33.37	18.73	0.15	0.15	0.004	0.003	0.007	0.03	0.01	46.71
18	53.07	2.53	0.07	0.06	0.006	0.003	0.005	0.01	0.01	42.29
20	53.44	1.54	1.15	0.12	0.01	0.033	0.013	0.12	0.01	43.58
22	49.35	6.65	9.38	0.21	0.004	0.095	0.03	0.56	0.01	39.7
23	53.99	2.2	0.38	0.12	0.007	0.005	0.006	0.02	0.01	43.78
27	44.14	9.85	0.12	0.16	0.007	0.003	0.012	0.04	0.02	45.28
30	52.93	2.52	0.01	0.05	0.003	0.003	0.007	0.01	0.01	44.11
31	54.51	0.96	0.06	0.06	0.005	0.006	0.005	0.02	0.01	43.88
33	53.97	1.43	0.33	0.04	0.007	0.006	0.004	0.02	0.02	43.78
36	54.45	0.6	0.67	0.22	0.011	0.011	0.024	0.16	0.01	43.31
38	52.54	2	1.01	0.15	0.005	0.005	0.013	0.04	0.01	43.39
39	44.98	7.1	2.73	0.52	0.039	0.039	0.064	0.23	0.02	43.34
42	29.73	16.14	4.1	0.92	0.168	0.168	0.034	1.51	0.02	43.41
44	54.53	0.94	0.08	0.05	0.006	0.01	0.003	0.02	0.01	43.62
46	30.22	21.27	0.19	0.44	0.01	0.018	0.017	0.09	0.03	46.74
48	33.28	18.34	0.42	0.68	0.016	0.038	0.029	0.24	0.05	46.06
49	34.21	18.44	0.03	0.33	0.009	0.003	0.012	0.26	0.02	46.78
50	52.26	2.13	0.22	0.38	0.004	0.012	0.006	0.18	0.01	43.22
52	35.03	17.29	0.55	0.1	0.008	0.07	0.015	0.02	0.02	45.78
54	32.56	19.9	0.6	0.33	0.011	0.018	0.01	0.04	0.12	46.27
56	52.57	0.8	3.87	0.42	0.013	0.096	0.02	0.51	0.04	41.58
58	32.49	19.68	0.15	0.51	0.012	0.013	0.013	0.03	0.02	46.29
60	54.68	0.61	1.41	0.2	0.008	0.053	0.007	0.13	0.01	43.13
62	34.17	18.18	0.48	0.32	0.01	0.026	0.011	0.14	0.02	45.88
64	53.28	0.71	2.12	0.31	0.008	0.19	0.02	0.66	0.05	42.43
65	52.43	0.41	3.7	0.41	0.02	0.2	0.04	0.9	0.48	41.56
66	32.34	18.9	1.51	0.67	0.009	0.02	0.02	0.26	0.04	45.59
69	55.23	0.47	0.13	0.1	0.002	0.001	0.002	0.03	0.01	43.76
71	52.3	2.68	0.3	0.08	0.004	0.002	0.004	0.03	0.01	43.9
72	54.12	1.14	0.38	0.11	0.005	0.006	0.006	0.05	0.01	43.65
75	36.17	1.04	30.57	1.29	0.01	0.25	0.03	1.64	0.06	28.95
76	33.98	17.83	1.31	0.36	0.01	0.06	0.02	0.37	0.07	45.91
87	27.11	0.49	48.56	1.34	0.007	0.1	0.02	0.52	0.04	21.47
90	32.96	18.99	0.42	0.29	0.006	0.01	0.02	0.04	0.06	46.6
ค่าเฉลี่ย	45.85	6.74	3.07	0.30	0.01	0.04	0.02	0.23	0.03	43.15
ค่าต่ำสุด	27.11	0.41	0.01	0.04	0.002	0.001	0.002	0.01	0.01	21.47
ค่าสูงสุด	55.23	21.27	48.56	1.34	0.168	0.25	0.064	1.64	0.48	46.78
ค่าเบี่ยงเบน	9.93	7.97	8.78	0.31	0.03	0.06	0.01	0.37	0.07	4.49



รูป 4.2 แท่งลำดับชั้นหิน โดยรวมของหวมหินน้ำม โหหารในพื้นที่ศึกษา  
( คัดแปลงจาก สันต์ อิศวพัชระ และ วีรชัย แพงแก้ว, 2540 )

ในบริเวณถ้ำเสือหมอบทางตะวันตกเฉียงใต้ของภูผาขาว หมูหินชุดนี้มีความหนาปรากฏให้เห็นตั้งแต่ประมาณ 5 เมตร จนถึงประมาณ 35 เมตร (เฉลี่ยความหนาประมาณ 25 เมตร) โดยช่วงล่างของการลำดับชั้นหินซึ่งมีความหนาตั้งแต่ประมาณ 5 เมตร โดยส่วนใหญ่พบว่าหนาประมาณ 15 เมตร เป็นหินปูนสีเทาดำขนาดชั้นบาง (30 เซนติเมตร) มีกะเปาะซิลิกา (3-5 เซนติเมตร) ปรากฏให้เห็น (รูป 4. 3) ช่วงกลางมีความหนาประมาณ 3 เมตรเป็นลำดับของหินปูนสีเทาอ่อนถึงเทาดำขนาดชั้นบางมาก (5-10 เซนติเมตร) แสดงเนื้อละเอียดและมีแถบของหินดินดานสีน้ำตาลแดงขนาดชั้นบางมาก (0.5 ถึง 2 เซนติเมตร) แทรกในระหว่างชั้นหินปูน (รูป 4. 4) ตอนบนสุดของการลำดับชั้นหินหนาประมาณ 5 เมตร เป็นการแทรกสลับของหินปูนสีเทาถึงเทาดำ ขนาดชั้นบางต่อเนื่องรองรับลำดับชั้นหินปูนและหินเชิร์ตของหมูหินบ้านหนองหิน โดยทั่วไปชั้นหินมีการเอียงเทไปในทิศเหนือ-ตะวันตกเฉียงเหนือด้วยมุมเอียงเทประมาณ 30-40 องศา

จากการศึกษาแผ่นหินบางของหินคาร์บอนेट (รูป 4. 5; 4. 6) ประกอบด้วยหิน packstone มีซากดึกดำบรรพ์แบรคิโอพอด (เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2-0.4 มม) ไครนอยด์ (ใหญ่สุดประมาณ 4 มม) ฟอแรมมินิเฟอรา ฟุซูลินิดและสาหร่าย เนื้อหินส่วนใหญ่เป็นเนื้อปูนละเอียดประสม (matrix-micrite) และเนื้อปูนประสาน (cement-spar) บางส่วน ตอนบนของลำดับเป็นหินปูนขนาดชั้นบางวางตัวรองรับใต้ชั้นหินเชิร์ตของหมูหินบ้านหนองหิน (รูป 4.7) มักเป็นหินปูนเนื้อละเอียด wackstone/pel-micrite แต่ไม่พบซากดึกดำบรรพ์ (รูป 4. 9) จากการศึกษาเนื้อหินปูนเหล่านี้มีส่วนประกอบของแคลเซียมออกไซด์สูงร้อยละ 52.57-52.91 มีค่าแมกนีเซียมออกไซด์ต่ำ ร้อยละ 0.99-1.16

ทางด้านทิศใต้ของภูผาขาว หินปูนสีเทาขาว ถึงเทาดำ มีขนาดชั้นบาง (รูป 4. 8) แทรกสลับด้วยชั้นของหินดินดานสีเทาเขียว ตลอดช่วงความหนาประมาณ 10 เมตร ในเนื้อหินปูนมีซากดึกดำบรรพ์ แบรคิโอพอดขนาด 3-4 ซม. ชั้นหินเอียงเทไปในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ด้วยมุมเอียงเทประมาณ 20-30 องศา ลงไปรองรับหินปูนเนื้อโคลนสีดำซึ่งสลับชั้นหินเชิร์ตขนาดบางมากทางตอนบนของลำดับชั้นหิน ขอบเขตล่างต่อเนื่องลงไปในพื้นที่ราบทางทิศใต้ ซึ่งมีชั้นของหินดินดาน และหินทรายสีเทาเขียวขนาดชั้นบางมีซากดึกดำบรรพ์แบรคิโอพอดและเลนซ์ของหินปูนปรากฏให้เห็น

การศึกษาแผ่นหินบางแสดงให้เห็นว่าเป็นหินเนื้อปูนชนิด packstone/biomicrite (รูป 4. 10) มีซากดึกดำบรรพ์ของหอยสองฝา แบรคิโอพอด อีชีโนเดอมาด้าและฟอแรมมินิเฟอรา





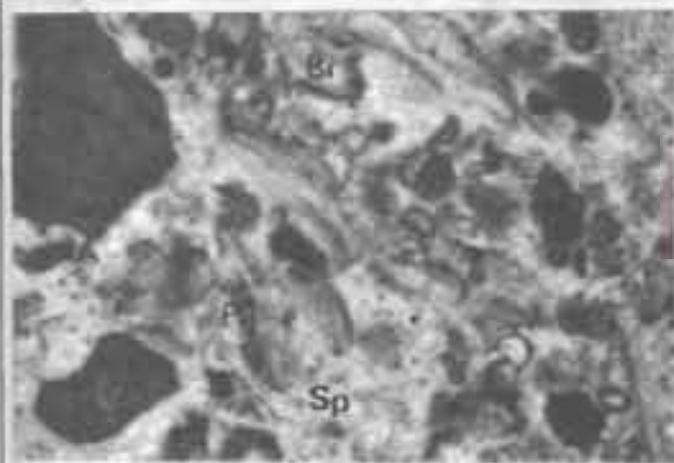
รูป 4.3

หินปูนสีเทาดำขนาดชิ้นบาง (30 เซนติเมตร)  
มีถิ่นเชิร์คซีเทาคำเป็นแนวเขตบางเขตของป่า  
ขนาดเล็ก ขนาน ไปกับแนวธารของหิน  
คำเหม็งสีตัวอย่างหมายเลข 11 บริเวณถ้ำเขือหมอน  
(แผนที่หินทรายรูป 4. 5)



รูป 4.4

ช่วงกลางของกมลาคำหินชั้นหินของหมู่หินถ้ำเขือหมอน  
แสดงการถล่มหินชั้นหินปูนขนาดชิ้นบาง สีเทาหมาก  
มีหินดินดานสีน้ำตาลแดงแทรกในระหว่างชั้น  
คำเหม็งสีตัวอย่างหมายเลข 9, 10 บริเวณถ้ำเขือหมอน  
(แผนที่หินทรายรูป 4. 6)



รูป 4.5

หินปูนชนิด Packstone/Biocrite (หิน โคนรูป)  
4. 3 : ภาพถ่ายไดค้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10  
X 5 ทำประกอบด้วยเศษสารร่วมผลึก (A)  
ฟองหินนิโคไลรพบนานเหล็ก (Fo) และ โบร โยซีว  
(Bi) และ Pellet (P) ในเนื้อหินของ pseudo-  
quartz calcite (Sp)



รูป 4.6

หินปูนบริเวณหิน โคนรูป 4. 4 : ภาพถ่ายไดค้อง  
จุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 X 5 ทำ หิน Packstone/  
Biocrite ประกอบด้วยเศษหินที่รวมตัวอยู่ชนิด  
(F) สารผลึกของสารร่วม (A) และ  
ผลึกแคลไซต์ (S)





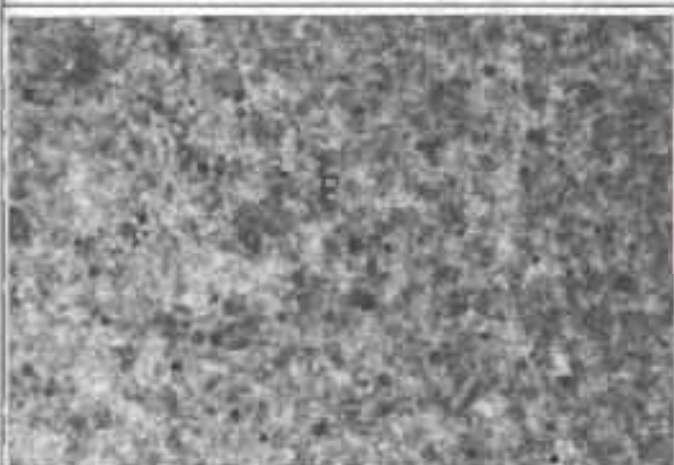
รูป 4.7

ดินปูนสีเทาจำนวนมากชั้นบางมาก มีเนื้อละเอียด  
วางตัวรองรับโครงสร้างชั้นดินปูนสีเทาชั้นหยาบของ  
หมู่ดินบ้านหนองหิน ลักษณะตัวอย่างหมายเลข 1  
บริเวณถ้ำสี่หมอบ (ดูแผ่นหินารรูป 4. 9)



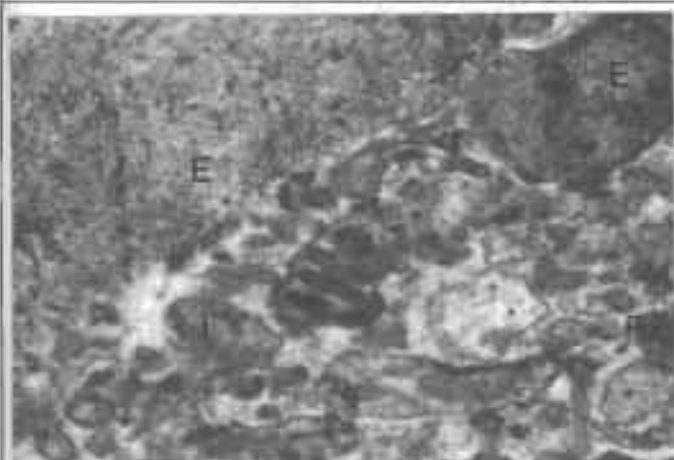
รูป 4.8

ดินปูนสีเทาถึงเทาจำนวนมาก มีถิ่น  
จากตึกด้วยบริเวณบริเวณที่โดยรอบอยู่ใกล้  
ลักษณะตัวอย่างหมายเลข 60  
ดูแผ่นหินารรูป 4. 10)



รูป 4.9

Pelmicite /Wackstone มีเนื้อละเอียด คืออย่างดิน  
หมายเลข 1 (ดูในโคลรูป 4. 7) หมู่ดินถ้ำสี่หมอบ  
ส่วนประกอบมากกว่าร้อยละ 20 เป็น Pellet (P)  
ในเนื้อพื้นโดยรอบคาร์บอนเนต (fine mudstone/  
micrite) บางส่วนแสดงการขาดรูป (incomplete) ไม่พบซากสัตว์ที่บดละเอียด



รูป 4. 10

แผ่นหินารวม เนื้อหินปูน grain supported  
ประกอบด้วยซากสัตว์ที่บดละเอียด มากกว่า 2 ไมครอน  
ได้แก่อัตถ์ของพวกสัตว์น้ำที่ตาย 10 X 5 ไมครอน  
ของเศษ กุ้งในดินขนาดใหญ่ (E) ว่างเล็ก  
ของพวกปลาน้ำจืด (E2) และพวกอื่น (E)  
ในเนื้อพื้นโดยรอบคาร์บอนเนต (ดูตัวอย่างใน  
หมายเลข 706, 715 ในรูป 4. 8)

จากผลวิเคราะห์ทางเคมีพบว่าส่วนประกอบของเนื้อหินมีแคลเซียมออกไซด์ประมาณ ร้อยละ 54.68 และค่าแมกนีเซียมออกไซด์ ร้อยละ 0.61

ทางตะวันออกของภูถ้ำน้ำ หินโผล่ให้เห็นความหนาประมาณ 20 เมตร เป็นลำดับชั้นของ หินปูนสีเทาจาง ขนาดชั้นบางถึงปานกลาง เนื้อหินหยาบ มีหินดินดานสีเทาเขียว ขนาดชั้นบางมาก แทรกในระหว่างชั้นของหินปูน (รูป 4. 11) ลำดับชั้นหินเอียงเทไปในทิศตะวันออกเฉียงเหนือด้วย มุมประมาณ 40-60 องศา ซึ่งลงไปรองรับหินปูนที่มีหินเชิร์ตขนาดชั้นบางและเป็นกะเปาะของ หมู่หินบ้านหนองหิน การสังเกตเนื้อหินภายใต้แผ่นหินบาง (ตัวอย่างหมายเลข 84) เป็น pack-grainstone มีเศษสิ่งมีชีวิต เช่นซากดึกดำบรรพ์ของ ไครนอยด์ และฟอแรมมินิเฟอราจำนวนมาก

ทางทิศใต้ของบ้านดงน้อย ชั้นหินปูนสีเทา แสดงการปรากฏเป็นชั้นหินชัดเจน โดยตอนล่างของลำดับชั้นหินบางมากประมาณ 10 เซนติเมตร มีหินดินดานสีเทาเขียว ขนาดชั้นบางมากแทรกสลับ ช่วงบนของลำดับหนามากกว่า 20 เมตร เป็นหินปูนชั้นบาง (40 เซนติเมตร) จนถึงชั้นหนามาก (มากกว่า 120 เซนติเมตร) มีซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลในเนื้อหินปูน จำนวนมาก โดยทั่วไปลักษณะเนื้อหินมีเนื้อละเอียด ถึงเนื้อหยาบ ชนิด mudstone, wackstone และ packstone มีซากดึกดำบรรพ์ของฟอแรมมินิเฟอราและฟอสซิลจำนวนมาก

#### 4. 3. 2 หมู่หินบ้านหนองหิน (Ban Nong Hin Member)

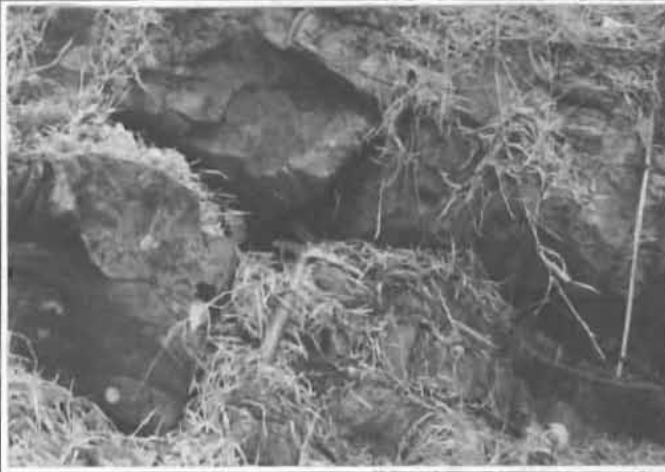
การกำหนดชื่อหมู่หินนี้อาศัยตามชื่อของบ้านหนองหิน ซึ่งได้กำหนดให้เป็นบริเวณที่ตั้ง ของหินต้นแบบของหมวดหินน้ำมโหฬารเป็นครั้งแรกโดย อุดลย์ เจริญประวัติและธนิศร์ วงศ์วานิช (2519) บริเวณภูถ้ำมโหฬาร บ้านหนองหิน อำเภอกุระดิง จังหวัดเลย

ลำดับชั้นหินปรากฏชัดบริเวณภูถ้ำมโหฬารและบริเวณถ้ำเสือหมอบทางทิศใต้ของภูผาขาว นอกจากนี้ยังปรากฏให้เห็นทางตะวันออกของภูถ้ำน้ำและทางตะวันตกเฉียงเหนือของบ้านดงน้อย มีความหนาของลำดับชั้นหินเฉลี่ยประมาณ 200-250 เมตร โดยประมาณความหนาได้ตั้งแต่ในช่วง 50 ถึงมากกว่า 300 เมตร โดยขอบเขตล่างของหมู่หินกำหนดได้จากการปรากฏของหินเชิร์ตขนาด ชั้นบางมากและกะเปาะของหินเชิร์ตสีดำ ในขณะที่ขอบเขตบนของหมู่หินสามารถกำหนดได้ จากการหมดไปของหินเชิร์ต (รูป 4.2)



รูป 4.11

หินโคลงของหมู่หินอำเภอมอบ ชั้นหินปูนสีเทาตา  
ขนาดชั้นบางถึงปานกลางเนื้อละเอียด มีหินดินดาน  
ชั้นบางแทรกกระหว่างชั้น และลำดับชั้นหินแข็งตัวลง  
ไปรองรับลำดับของหินปูนที่มีจีร์ดเป็นกะเปาะ  
และชั้นแถบบางของหมู่หินบ้านหนองหิน  
ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข 84



รูป 4.12

โคลงไม้ค้ำที่ตาขนาดชั้นบาง แทรกสลับด้วยจีร์ด  
ขนาดชั้นบางมากแสดงลักษณะแบบหนังช้าง  
บนผิวหน้าผาของชั้นหิน ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข  
47, 48 (แผ่นหินบางรูป 4. 15)



รูป 4.13

โคลงไม้ค้ำที่เทาขาว ขนาดชั้นบางเนื้อละเอียด  
แสดงผิวหน้าผาแบบหนังช้าง ตำแหน่งตัวอย่าง  
หมายเลข 53



รูป 4.14

โคลงไม้ค้ำที่เทาเข้มเนื้อละเอียด ขนาดชั้นบาง  
มีแนวแถบสีค้ำขนาดบางมากของจีร์ด  
สีค้ำแทรกสลับ ตำแหน่งตัวอย่างหมายเลข  
54 (แผ่นหินบางรูป 4. 16)

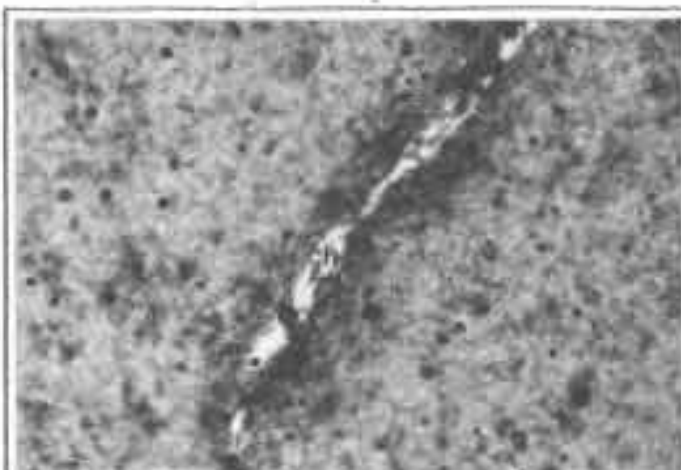


หินประกอบด้วยหินปูนสีเทาถึงสีดำ ขนาดชั้นบางมากถึงชั้นบาง มีหินเชิร์ตสีดำ ขนาดชั้นบางและกะเปาะเชิร์ตเป็นแนวนานกับระนาบแนวชั้นหิน หินปูนมีเนื้อละเอียดตั้งแต่เนื้อโคลนถึงทราย โดยบางส่วนเป็นเนื้อผลึกมีซากดึกดำบรรพ์ของสาหร่ายแสดงแนวแถบชั้นบางให้เห็น หินปูนบางส่วนโดยเฉพาะในบริเวณที่ใกล้กับบริเวณหินอัคนีมักมีส่วนประกอบเป็นโดโลไมต์และพบหินเชิร์ตสีดำชั้นบางแทรกสลับอยู่ระหว่างชั้นโดโลไมต์สีดำเนื้อละเอียด (รูป 4.12) โดโลไมต์แสดงลักษณะโครงสร้างแบบหนังช้างบนผิวหน้าชัดเจน ซึ่งเข้าใจว่าเกิดจากการผุพังเป็นแห่ง ๆ (รูป 4.13) และยังพบซากดึกดำบรรพ์ของฟอสซิลินิดและฟอแรมมินิเฟอราปรากฏให้เห็น จากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์เนื้อหินปูนสีดำขนาดชั้นบางที่สลับกับชั้นหินเชิร์ตขนาดบางมักเป็นหินเนื้อละเอียดชนิด mudstone และหลายบริเวณแสดงแนวแถบชั้นบางของสาหร่าย (algal-lamination) มีซากดึกดำบรรพ์ของฟอสซิลินิด และฟอแรมมินิเฟอราขนาดเล็กในเนื้อหิน ส่วนประกอบของเนื้อหินเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบจากหินปูนไปเป็นโดโลไมต์ (รูป 4.15 และ 4.16) และจากผลวิเคราะห์เคมีพบว่าในหลายบริเวณมีค่าของซิลิกาในเนื้อหินสูง (ตาราง 4.1)

ลำดับชั้นหินบริเวณภูถ้ำมโหฬาร ตลอดช่วงความหนาประมาณ 200 เมตร เป็นการลำดับชั้นขนาดบางถึงบางมาก ของหินปูนสีเทาถึงเทาดำ เนื้อโคลน มีแนวแถบขนาดบางของชั้นหินเชิร์ตและกะเปาะหินเชิร์ตสีดำ เป็นแนวนานไปกับแนวระนาบของชั้นหิน จากการศึกษาแผ่นหินบางพบว่า เป็นหินปูนเนื้อละเอียดชนิด wackstone และ packstone แสดงแถบชั้นบางของสาหร่าย (algal lamination) มีแร่ควอร์ตในเนื้อหิน จากการศึกษาวิเคราะห์ค่าออกไซด์ของธาตุหลักในหินพบว่าหินมีส่วนประกอบของแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 49.35 และมีค่าซิลิกาออกไซด์ร้อยละ 9.38

ทางทิศใต้ของภูถ้ำมโหฬาร พบการลำดับหมู่หินของชุดนี้วางตัวในทิศตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ด้วยมุมเอียงเทประมาณ 30-40 องศาไปรองรับได้หินปูนและโดโลไมต์ของหมู่หินภูผาขาว ซึ่งแสดงลำดับชั้นขนาดบางของหินโคลนโดโลไมต์สีดำสลับหินเชิร์ตสีดำชั้นบางๆ (ตำแหน่ง 47-48) (รูป 4.12) คล้ายคลึงกับลักษณะลำดับปรากฏบริเวณภูถ้ำน้ำ (ตำแหน่ง 54) (รูป 4.14)

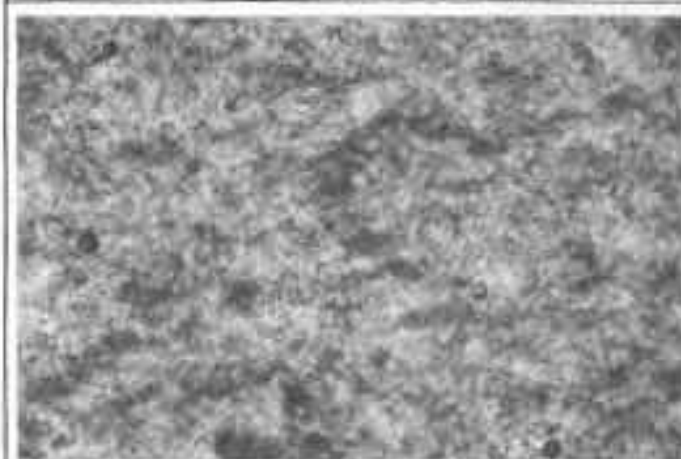
ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของภูผาขาว หมู่หินนี้มีความหนาประมาณ 50 เมตร แสดงการลำดับของชั้นหินปรากฏเป็นหินปูนสีเทาถึงเทาดำ ขนาดชั้นบาง แทรกสลับด้วยหินเชิร์ตสีดำชั้นบางมากและเป็นกะเปาะขนานกับระนาบชั้นหิน ขอบเขตต่างแสดงให้เห็นจากแนวของหินปูนสลับหินเชิร์ตที่วางตัวบนหินปูนสีเทาดำขนาดชั้นบาง ของหมู่หินที่รองรับด้านล่าง (รูป 4.7) และ



รูปที่ 4.15

พู่หินดำสีชมพูแบบ ตัวอย่างหมายเลข ๕๔  
(รูปที่ 4.12) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10  
10 X 5 เท่า ภูมิภาคโคโค ไมล์นี้จะมีลักษณะเนื้อหินมีการ  
แตกที่สมบูรณ์ (permeable equigranular)

แบบที่ Xenomorphic-equigranular fabric  
ซึ่งว่าพบการแตกมีการแตกที่ละเอียด (Ch)



รูปที่ 4.16

ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 10 X 5 เท่า  
ตัวอย่างหมายเลข 54 (หินในรูปที่ 4.14)

โคโค ไมล์นี้จะมีลักษณะเนื้อหินมีการแตกที่สมบูรณ์ มี  
โครงสร้างแบบ Xenomorphic fabric แบบที่

ความถี่พหุระนาบที่แตกที่ละเอียด

Compromised boundary equigranular

พบโครงสร้างแบบที่มี ประกอบด้วย MgO force 19.9



รูปที่ 4.17

หินปูนขาวที่บริเวณเชิงชั้นหิน) มีชั้นชัด

มีลักษณะชั้นบางบางเป็นลักษณะแบบที่พบ

ระนาบที่ชัดเกิน ตัวอย่างตัวอย่างที่ ๒ (หมายเลข 2

ยกเว้นหินในรูปที่ 4.21)



รูปที่ 4.18

แนวชั้นหินที่พบที่ขอบเขตที่ชัดที่ใน

ระหว่างชั้นของหินปูน ตัวอย่างตัวอย่างที่ ๒

(ยกเว้นหินในรูปที่ 4.22)

ขอบเขตตอนบนยังคงเป็นหินปูนสีเทาสลับชั้นหินเชิร์ตสีดำขนาดชั้นบาง (รูป 4. 17, 18, และ 19) ซึ่งรองรับได้หินปูนสีเทาขาวชั้นหนาของหมู่หินที่อยู่ด้านบน

ผลการศึกษาชนิดหินจากแผ่นหินบางประกอบด้วย wackstone, packstone และ grainstone โดยมีสาหร่าย และเศษสิ่งมีชีวิตปรากฏให้เห็นจำนวนมาก (รูป 4. 21 และ 4. 22) ทั้งไครนอยด์ ฟอแรมมินิเฟอรา ฟูซูลินิด และไบรโอซัว บางส่วนแสดงลักษณะแนวแถบชั้นบางของสาหร่าย จากการศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของหมู่หินทำให้ทราบว่าหินที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นหินเนื้อปูนทั้งหมด โดยมีค่าของแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 54.17 และค่าของแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 0.53

ทางทิศตะวันตกของบ้านคงน้อย หินเชิร์ตปรากฏให้เห็นในเนื้อหินปูนสีเทาอมม่วงแดง เนื้อละเอียด (ตัวอย่างหมายเลข 36) จำพวก wackstone มีซากดึกดำบรรพ์น้อยและมีขนาดของชั้นหินหนาขึ้น ในขณะที่เดียวกันมีเศษซากสิ่งมีชีวิตในเนื้อหินมากขึ้นทางตอนบนของลำดับ

พื้นที่ด้านตะวันออกของภูถ้ำน้ำ แสดงการลำดับชั้นของหินปูน โดยหมู่หินนี้ปรากฏเป็นชั้นบางเนื้อละเอียดถึงหยาบ มีหินเชิร์ตสีดำเป็นกะเปาะ (รูป 4. 20) วางตัวเอียงไปในทิศทางประมาณตะวันตกเฉียงใต้ ด้วยมุมเอียงเท 30-40 องศา บนชั้นของหินปูนสีเทาเนื้อละเอียดถึงหยาบของหมู่หินที่อยู่ด้านล่าง ประมาณความหนาได้มากกว่า 100 เมตร ก่อนกลายเป็นลำดับชั้นของหินปูนและโคลโลไมต์ชั้นบางถึงชั้นหนาที่วางตัวอยู่ด้านบนตามการลำดับชั้นหิน

#### 4. 3. 3 หมู่หินภูผาขาว (Phu Pha Khao Member)

หมู่หินภูผาขาวเรียกตามชื่อของภูผาขาว อยู่ทางตะวันตกของบ้านคงน้อย อำเภอผาขาว จังหวัดเลย กำหนดเป็นหมู่หินได้จากลักษณะปรากฏของหินที่แยกจากหมู่หินอื่นได้ชัดเจน เนื่องจากประกอบด้วยการลำดับของหินปูนสีเทาถึงสีขาว ตั้งแต่ขนาดชั้นบางจนถึงมวลเนื้อหินมีซากดึกดำบรรพ์ แบคทีโอพอด ฟอสซิลไซพอด ฟอแรมมินิเฟอรา ฟูซูลินิด และสาหร่าย ความหนาของหมู่หินประมาณได้มากกว่า 400 เมตร บริเวณภูถ้ำมโหฬาร ภูถ้ำข้าว และภูผาขาว

หมู่หินวางตัวอยู่บนสุดของลำดับชั้นของหมวดหินน้ำมโหฬาร (รูป 4.2) ขอบเขตล่างกำหนดจากการขาดหายไปของหินเชิร์ต และกลายเป็นลำดับการแทรกสลับของหินปูนสีเทาถึงสีขาวขนาดชั้นบางและหนา ขอบเขตบนปิดทับด้วยหินกรวดมนสีเทาเขียวเนื้อแน่น มีก้อนกรวดของหินปูนและหินภูเขาไฟ (รูป 4. 23) ของหมวดหินห้วยหินลาดยุคไทรแอสซิกตอนบน





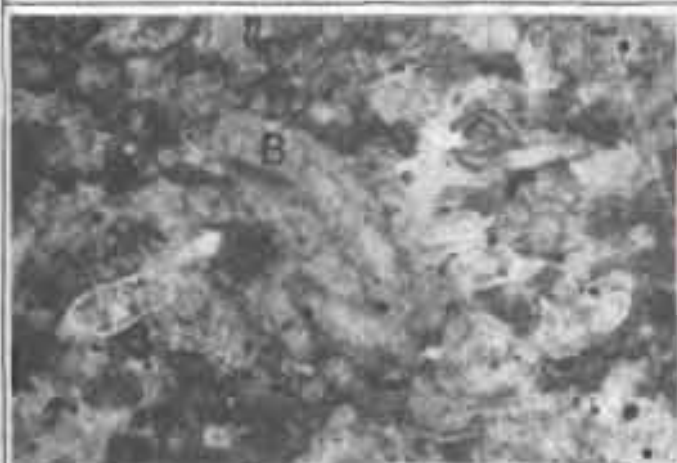
รูป 4.19

ชั้นชีรอสีดำพบที่ชั้นบางภาคชาดเป็น  
 หนึ่งรูปโปรโตซัว ต่อเนื่องเป็นแนวขนานกัน  
 แนวระนาบของชั้นหินปูน ด้านบนจึงตัวอย่าง  
 ที่ 5



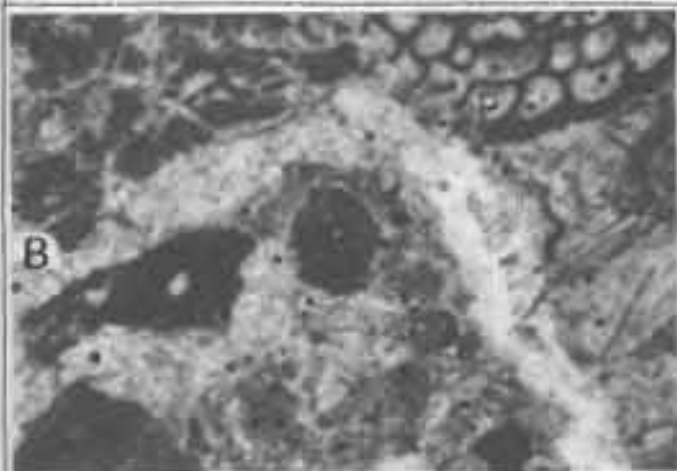
รูป 4.20

หินปูนขนาดที่บางกลีบชั้นชีรอสีดำ  
 พบที่ชั้นบนของหิน ด้านละ วันออกของ  
 ภูเขาไฟ



รูป 4.21

หินปูน Biopackstone / Biomicrite ประกอบด้วย  
 ตัวซากสัตว์ที่บรรพชีวิน ใหญ่ของแบคทีเรีย  
 (B) ตัวอวัยวะขนาด 2 มิลลิเมตรหิน โมล์  
 รูป 4.17 พบที่ชั้นบนของหิน บริเวณด้านเหนือของ  
 ภูเขาไฟที่ถ้ำของภูพระพนธ์ ตำบลงาย 10 X 5 (ก)



รูป 4.22

สายใยที่ถ้ำของภูพระพนธ์ ตำบลงาย 10 X 5 (ก)  
 พบที่ชั้นบนของหิน ตัวอวัยวะหินขนาด 4  
 (รูป 4.18) กิ่ง Biomicrite / Packstone  
 กิ่งหินประสมของสปาร์ไรท์ (sparry calcite  
 matrix) มีซากสัตว์ที่บรรพชีวิน (F)  
 แบคทีเรีย (B) และหิน (S)

บริเวณภูถ้ำโหวง ห่มหินภูเขาขาวปรากฏให้เห็นว่ามีความหนาของลำดับชั้นหินประมาณ 200 เมตร เป็นหินปูนสีเทา ถึงสีขาว ขนาดชั้นหนาถึงหนามาก (รูป 4. 24) ในเนื้อหินมี ซากดึกดำบรรพ์แบรคิโอพอด ฟอสซิลินิด และเศษสิ่งมีชีวิต เนื้อหินภายใต้แผ่นหินบาง ประกอบด้วย wackstone, packstone, grainstone, และ boundstone บางส่วนแสดงเนื้อผลึก (รูป 4. 25) จากการศึกษา ผลวิเคราะห์ทางเคมีของออกไซด์ธาตุหลัก พบว่าส่วนประกอบของเนื้อหิน มีค่าของ แคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 53.07-53.99 และมีค่าของแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 1.54-2.2 สำหรับ ส่วนประกอบของหินปูนโคโลมิติกทางช่วงล่างของการลำดับชั้นพบว่ามีส่วนประกอบของ แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 9.85

บริเวณทิศใต้ของภูถ้ำโหวง ปรากฏความหนาของห่มหินมากกว่า 300 เมตร โดยในช่วงล่างของลำดับ 70 เมตร เป็นโคโลไมต์ สีขาวถึงเทาดำ (รูป 4. 26) ขนาดชั้นบางถึงชั้นหนา แสดงลักษณะผิวหน้ากัดกร่อนแบบหนังช้างและมีส่วนของกรวดเหลี่ยม (breccia) ช่วงกลาง ของลำดับหนาประมาณ 130 เมตร เป็นการสลับชั้นของหินปูนสีขาว ถึงเทาขาว ขนาดชั้นหนาถึง หนามาก มีซากดึกดำบรรพ์ของแบรคิโอพอด ฟอรัมมินิเฟอร่า และฟอสซิลินิด ช่วงบนประมาณ 50 เมตร เป็นโคโลไมต์สีขาว โดยทั่วไปแสดงเนื้อละเอียด มักปรากฏเป็นชั้นหนาประมาณมากกว่า 50 เมตร ต่อเนื่องทางด้านบนตามการลำดับชั้นหิน กลายเป็นลำดับชั้นหินปูนสีขาว ถึงเทาดำ ขนาดชั้น บาง ถึงชั้นหนา เนื้อหยาบ มีซากดึกดำบรรพ์น้อย

จากการศึกษาเนื้อหินภายใต้แผ่นหินบาง พบว่าส่วนใหญ่หินห่มนี้ประกอบไปด้วย wackstone, packstone, และ grainstone เนื้อละเอียด ถึงเนื้อหยาบ มีซากดึกดำบรรพ์ จากการ วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของหินปูน พบว่ามีส่วนประกอบของแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 52.26-54.48 และมีค่าของแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 0.66-2.13 ส่วนโคโลไมต์ (รูป 4. 24) มีส่วน ประกอบของแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 17.29-21.27

ลำดับชั้นหินทางตะวันตกของภูเขาขาว บริเวณถ้ำเสือหมอบ ความหนาของห่มหินมากกว่า 100 เมตร เป็นหินปูนสีเทาและเทาขาว ขนาดชั้นหนา ถึงหนามาก ชนิด wackstone, packstone และ grainstone มีซากดึกดำบรรพ์ของ ฟอสซิลินิด และ สาหร่าย แผ่นหินบางแสดงลักษณะของ oolite และ oncolite จากการศึกษาองค์ประกอบหินทางเคมีพบว่าหินปูนห่มนี้มีส่วนประกอบทางเคมีของ หินปูน โดยเฉพาะมีค่าแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 51.13-54.68 แมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 0.81-4.03



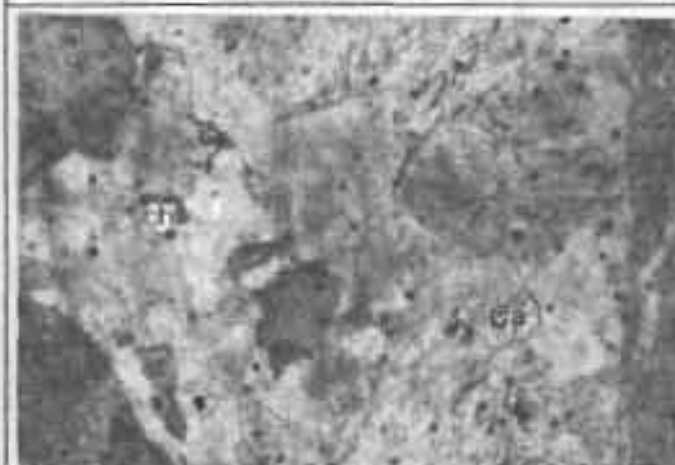
รูป 4.23

พื้นที่บริเวณบึงทรายขาว เมื่อประมาณ 6 ปี ประ  
กอบด้วยก้อนกรวดของหินปูน หินภูเขาไฟ  
และอิฐ (ขนาดประมาณ 3-5 ซม. โดยเฉลี่ย)  
มีการศึกษาแนวของถนนบริเวณหัวถนนถว  
างหัวส้มดี ไม่ค่อยมีถนนหินปูนปูพื้น  
ถนนยาว สันถนนกว้าง 6 เมตร หมายเลข 59



รูป 4.24

หินปูนขนาดชิ้นกลมขนาดสองแถวสี่แถว  
ของหินหัวส้มดี มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  
ตั้งแต่ 10 ซม. ถึง 1 เมตร  
ถนนหินปูนยาวรูป 4.25



รูป 4.25

ภาวได้เกิดร่องรอยความเสียหายขนาด 10 X 5 ซม.  
หินปูนเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกไซด์ (Ca)  
และอิฐ (Ch) ปรากฏให้เห็น  
หินโม่รูป 4.24 หินภูเขาไฟ



รูป 4.26

โคโลไมคีสี่ขาขนาดชิ้นกลม  
หน้าตักมีขนาดกว้าง 1 เมตร เป็นเนื้อสุ  
มีลักษณะหน้าจั่ว กว้างหน้าขนาด 46

แนวสำรวจด้านทิศใต้ของภูผาขาว ความหนาของลำดับชั้นหินมากกว่า 100 เมตร เป็นลำดับชั้นหินสีเทาขาว เหลืองอ่อน ของ โดโลไมต์และหินปูน ขนาดชั้นบางถึงหนา เนื้อละเอียดถึงหยาบ จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของออกไซด์ธาตุหลักพบว่าในเนื้อหินปูนมีแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 52.43-58.76 ส่วน โดโลไมต์ มีส่วนประกอบของแมกนีเซียมออกไซด์ร้อยละ 18.18-18.90

#### 4.4 อายุของหมวดหิน และหลักฐานซากดึกดำบรรพ์

##### (Age of the formation and fossil criteriers)

การสำรวจการลำดับชั้นหินภาคสนามในพื้นที่การศึกษาและบริเวณใกล้เคียงของพื้นที่จังหวัดเลย ไม่พบการขาดช่วงของการลำดับชั้นตามลักษณะหินของหมวดหินน้ำมโหฬารจากลำดับชั้นหินที่วางตัวอยู่ด้านล่าง อันได้แก่หมู่หินวังสะพุงของหมวดหินวังสะพุงซึ่งได้มีการกำหนดไว้เป็นหมู่หินของยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนบน (Bunopas, 1983; 1992; Department of Mineral Resources, 1988; 1992) แต่พบการวางตัวไม่ต่อเนื่อง (unconformity) ตามลำดับชั้นตอนบนได้ชั้นหินกรวดมนของหมวดหินห้วยหินลาดยุคไทรแอสซิกตอนบน โดยการวางชั้นของการลำดับชั้นหินดังกล่าวแสดงถึงการขาดหายไปของช่วงยุคเพอร์เมียนตอนบน และช่วงของยุคไทรแอสซิกตอนล่างในพื้นที่ส่วนนี้

ในการตรวจสอบและศึกษาซากดึกดำบรรพ์ ที่พบในกลุ่มหินคาร์บอนเนตของหมวดหินน้ำมโหฬารในส่วนที่ต่อเนื่องเข้าไปในแผนที่ระหว่างจังหวัดขอนแก่นและเพชรบูรณ์ มาตรการส่วน 1: 250,000 ประกอบไปด้วยซากดึกดำบรรพ์เป็นจำนวนมาก เท่าที่ตรวจพบในหินคาร์บอนเนตได้แก่ ไกรนอยด์ ฟอแรมมินิเฟอรา ฟูซูลินิด คอรัล แบรคิโอพอด สหรัย และแกสโตรพอด เป็นต้น

ในการกำหนดอายุของหิน ส่วนมากเป็นการกำหนดจากอายุของฟูซูลินิดและฟอแรมมินิเฟอราขนาดเล็ก รวมถึงซากดึกดำบรรพ์แบรคิโอพอด และสหรัย ที่วิเคราะห์อายุได้ตั้งแต่ยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนบนต่อเนื่องถึงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (Ueno และคณะ 1993; 1994; 1995; 1996; Charoentitirat, 1995; Igo, 1972; Yanagida, 1976; Kobayashi และ Hamada, 1979; Fontaine และคณะ 1994; 1995) จึงเป็นดัชนีหลักที่ใช้กำหนดอายุของหินคาร์บอนเนตหมวดหินน้ำมโหฬารได้ตั้งแต่ยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนบนถึงยุคเพอร์เมียนตอนกลางตั้งแต่ระยะจีเลียจนถึงคูเบอกานเดียน (Gzhelian - Kubergandian)

ซากดึกดำบรรพ์ในหินปูนบริเวณภูถ้ำมโหฬาร โดยเฉพาะซากดึกดำบรรพ์ของฟูซูลินิด และ ฟอแรมมินิเฟอราขนาดเล็ก *Schubertiella* sp. และ *Pseudofusulina* sp. แสดงอายุของหินปูนในช่วง เพอร์เมียนตอนล่าง (Sakmarian-Yahtashian) ในบริเวณเดียวกันนี้ ฟูซูลินิด *Paraschwagerina* sp. และฟอแรมมินิเฟอราขนาดเล็ก *Triticites* sp. ได้ถูกกำหนดไว้ในยุคเพอร์เมียนตอนล่างของ ช่วงระยะซัคมาเรียน (Yanagida, 1976) ซากดึกดำบรรพ์ฟอแรมมินิเฟอราขนาดเล็ก *Schagonella* sp. ได้ถูกกำหนดให้เป็นซากดึกดำบรรพ์ของคาร์บอนิเฟอรัสตอนบนในช่วงระยะจีเลียนตอนกลาง (Middle Gzhelian) (Ueno และคณะ 1995)

ถึงแม้ว่าหินคาร์บอนเนตหมวดหินน้ำมโหฬารจะมีช่วงอายุของหินตั้งแต่คาร์บอนิเฟอรัส ตอนบนถึงเพอร์เมียนตอนกลางตั้งแต่ระยะจีเลียนถึงจูเวอกานเดียน แต่อายุของหินคาร์บอนเนต บริเวณภูถ้ำมโหฬารในขอบเขตพื้นที่ศึกษา กำหนดอายุได้ตั้งแต่ช่วงระยะจีเลียนตอนกลางถึง ยัททาเซียน จากการประมวลและเทียบเคียงกับหินปูนหมวดอื่นเช่นหมวดหินวังสะพุงซึ่งพบว่า หมวดหินนี้อาจมีลักษณะปรากฏเปลี่ยนแปลงในแนวระดับ (lateral facies change) กับ หมวดหินวังสะพุงก็เป็นได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 5

### ออกซิเจนและคาร์บอนไอโซโทปของหินคาร์บอเนต (Oxygen and Carbon Isotope of Carbonate Rocks)

#### 5.1 คำนำ

การศึกษาไอโซโทปทางธรณีวิทยา ประกอบด้วยการศึกษาทางกัมมันตรังสี (radio active) และไอโซโทปคงที่ (stable isotope) ในการศึกษาทางกัมมันตรังสีนั้นเป็นการศึกษาธาตุอันเป็นผลจากการสลายตัวของสารต้นกำเนิด (parent material) ไปเป็นสารลูก (daughter) โดยทั่วไปนิยมศึกษาการจับธาตุกัมมันตรังสีเป็นคู่ เช่น Rb-Sr, Sm-Nb, U-Pb, Th-Pb, และ K-Ar เป็นต้น ผลการศึกษามักแสดงในรูปตัวเลขเทียบเคียงกับค่ามาตรฐาน ด้านวัตถุประสงค์หลักเพื่อหาอายุของแร่และกระบวนการของแหล่งสะสมตัวของแร่เหล่านั้น

การศึกษาไอโซโทปคงที่เป็นการศึกษาความเข้มของไอโซโทปธรรมชาติของธาตุเบา เช่น H, O, C, และ S จากความสามารถในการแตกตัว (fractionation) ที่ต่างกันระหว่างไอโซโทปของธาตุที่มีเลขอะตอมเดียวกัน เนื่องมาจากความแตกต่างของมวลสาร (mass difference) ในการศึกษาไอโซโทปคงที่ของหินคาร์บอเนตมักเป็นการจับคู่ธาตุระหว่างออกซิเจนและคาร์บอน โดยผลที่วิเคราะห์ได้เป็นค่าตัวเลขเทียบเคียงกับค่ามาตรฐานเฉลี่ยของมหาสมุทร (SMOW= Standard Mean Ocean Water) และค่า PDB (ค่าที่ได้จากซากดึกดำบรรพ์ชื่อ belemnite ในหินตะกอน Cretaceous Pee Dee Formation, South Carolina ประเทศสหรัฐอเมริกาที่ได้จากการย่อยละลายตัวอย่างในกรดฟอสฟอริกเข้มข้น) ซึ่งผลการศึกษาใช้เป็นประโยชน์ในการจำแนกกำเนิดของคาร์บอเนต โดยอาศัยการศึกษาถึงสมบัติของสารละลายดั้งเดิม และสามารถใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนที่ได้อย่างหนึ่งในการสร้างแบบจำลองเพื่อความเข้าใจมากขึ้นถึงวิวัฒนาการเชิงพลวัต (dynamic) ของแผ่นดินและทะเลครั้งโบราณกาล นอกจากนี้ยังมีการนำผลการศึกษาไปใช้ในหมู่ชีววิทยาและหมู่นักโบราณชีววิทยาในการสร้างทฤษฎีวิวัฒนาการเชิงนิเวศน์วิทยาและสิ่งแวดล้อมของสิ่งมีชีวิตบรรพกาลต่าง ๆ ด้วย

## 5.2 หลักการทั่วไป

การศึกษาไอโซโทปของธาตุออกซิเจนทางธรณีวิทยาเริ่มครั้งแรกโดย Urey (1947) ด้วยข้อสังเกตถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำ อุณหภูมิของน้ำ และปริมาณออกซิเจนที่เป็นองค์ประกอบของแคลเซียมคาร์บอเนตที่สะสมตัวในน้ำ โดยเชื่อว่าปริมาณของออกซิเจนดังกล่าวน่าจะเป็นตัวบ่งชี้อุณหภูมิ และคุณสมบัติของน้ำนั้นได้ แนวคิดนี้ได้รับการพัฒนาและมีการศึกษาถึงการแตกตัวของออกซิเจนจากส่วนประกอบในโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตพวกแคลคาเรียส โดย Epstein และคณะ (1953)

การศึกษาไอโซโทปในหินคาร์บอเนตเป็นการตรวจวัดปริมาณไอโซโทปของธาตุออกซิเจนควบคู่ไปกับการตรวจวัดปริมาณไอโซโทปของธาตุคาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการย่อยละลายของตัวอย่างคาร์บอเนตในกรดฟอสฟอริก (Friedmann และ O' Neil, 1977) การศึกษาการแตกตัวของออกซิเจนไอโซโทป และคาร์บอนไอโซโทปเป็นความสัมพันธ์กันในระบบของ แคลเซียมคาร์บอเนต-คาร์บอนไดออกไซด์-และน้ำ ( $\text{CaCO}_3\text{-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ )

### ออกซิเจน

ออกซิเจนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดบนเปลือกโลก (Rollinson, 1993) มีอยู่ประมาณร้อยละ 21 (Bowen, 1966) ซึ่งเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกับที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศ (atmosphere) ออกซิเจนเป็นองค์ประกอบสำคัญของน้ำ และเป็นตัวการหลักที่สำคัญในกระบวนการทางชีวเคมีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งต้องอาศัยน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตกลูโคสและออกซิเจนไว้ในเนื้อเยื่อพืช เพื่อแตกตัวเป็นพลังงานในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ และถ่ายเทเข้าสู่ตัวสัตว์ที่กินพืชนั้นเข้าไป สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ใช้สารแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของโครงร่างแข็ง และอยู่ในสถานะสมดุลกับน้ำในขณะที่สิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ (ในกรณีของคาร์บอเนตมักเป็นสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำโดยเฉพาะในทะเลเป็นส่วนใหญ่) ดังนั้นเมื่อถูกกลบฝังหรือจมลงสู่ก้นทะเลจนเกิดการทับถมกัน ออกซิเจนที่อยู่ในโครงร่างเหล่านี้ถือได้ว่ามีค่าคงที่แม้จะผ่านธรณีกาลเรื้อมาจนกระทั่งถึงปัจจุบัน ในการศึกษาโดย Bowen (1966) พบว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีนัยสำคัญหลังจุดทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ดังนั้นการตรวจวัดปริมาณของออกซิเจนไอโซโทปของหินคาร์บอเนตจากซากดึกดำบรรพ์ จึงเป็นตัวชี้บ่งได้ถึงสภาวะแวดล้อมในขณะที่สิ่งมีชีวิตนั้นอาศัยอยู่หรือบ่งถึงสภาพอากาศขณะที่มีการสะสมตะกอนของคาร์บอเนตนั้น ๆ (Bowen, 1966; Urey, 1947)



### แหล่งสะสมตัวของออกซิเจน

ออกซิเจนประกอบไปด้วย 6 ไอโซโทป ได้แก่ 14, 15, 16, 17, 18, และ 19 แต่มีเพียง ไอโซโทป 16, 17, และ 18 เท่านั้นที่เป็นไอโซโทปคงที่ ในธรรมชาติประกอบด้วยไอโซโทป 16 ใน ปริมาณถึงร้อยละ 99.673, ไอโซโทป 17 ปริมาณร้อยละ 0.0375 และไอโซโทป 18 ปริมาณร้อยละ 0.1995 (Rollinson, 1993) การระเหยเกิดได้มากในไอโซโทปเบาหรือในไอโซโทปที่มีเลขมวล น้อยกว่า เนื่องจากมีพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่อ่อนแอจึงแตกตัวได้ง่ายกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ไอโซโทปที่มีเลขมวลมากกว่า ไอโซโทป 16 ซึ่งมีเลขมวลน้อยที่สุดในบรรดา 3 ไอโซโทปคงที่จึง แตกตัวได้ง่ายที่สุด ดังนั้นในสภาวะสมดุลจึงมักมีปริมาณมากในสถานะไอ (vapour) ซึ่งเป็นน้ำใน อากาศ (meteoric water) ในขณะที่ปริมาณของไอโซโทปที่หนักกว่า (ซึ่งก็คือไอโซโทป 17 และ 18) แตกตัวได้ยากกว่า จึงเป็นตัวคงเหลือในแหล่งน้ำและสะสมตัวคงเหลือในแหล่งเป็นปริมาณมากขึ้น เมื่อเวลาผ่านไป ดังนั้นมหาสมุทรที่ผ่านการระเหยของน้ำสู่บรรยากาศเป็นระยะเวลายาวนานจึง กลายเป็นแหล่งสะสมตัวของออกซิเจนไอโซโทปหนัก โดยแหล่งน้ำจืดหรือแหล่งหล้าที่มีการ สะสมตัวของน้ำฟ้า (precipitation) และน้ำในบรรยากาศ (meteoric water) จึงเป็นแหล่งสะสมตัว ของออกซิเจนไอโซโทปเบา กล่าวได้ว่า น้ำจืดมีองค์ประกอบของออกซิเจนไอโซโทป 16 มากกว่า น้ำเค็มหรือน้ำมหาสมุทร ในทำนองเดียวกันแหล่งน้ำทะเลหรือมหาสมุทรก็มีค่าของออกซิเจน ไอโซโทป 18 (ออกซิเจนไอโซโทป 17 ในธรรมชาติมีน้อยมาก โดยทั่วไปการวัดค่าออกซิเจน ไอโซโทปหนักจึงเป็นการวัดค่าของออกซิเจนไอโซโทป 18) มากกว่าแหล่งน้ำจืด จึงเป็นเหตุให้ น้ำทะเลและน้ำจืดมีค่าสัดส่วนระหว่างออกซิเจนไอโซโทปที่แตกต่างกัน ดังนั้นออกซิเจนที่เป็น องค์ประกอบอยู่ในสสารที่ตกสะสมจากน้ำทั้งสองแหล่งก็ย่อมแสดงค่าความแตกต่างในปริมาณของ ออกซิเจนไอโซโทปดังกล่าวด้วย ในการวิเคราะห์ค่าออกซิเจนไอโซโทปของคาร์บอนเนตนิยม รายงานในรูปอัตราส่วนระหว่างไอโซโทป 18 ต่อ 16 (ซึ่งมักเขียนว่า  $\delta^{18}\text{O}$ ) โดยเปรียบเทียบกับค่า ของ PDB และ SMOW ที่มีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\delta^{18}\text{O}_{(\text{calcite SMOW})} = 1.03086 \delta^{18}\text{O}_{(\text{calcite PDB})} + 30.86$$

และ 
$$\delta^{18}\text{O}_{(\text{PDB})} = 0.97006 \delta^{18}\text{O}_{(\text{SMOW})} - 29.94$$

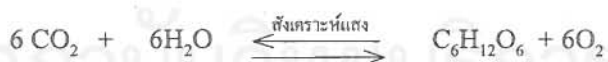
### คาร์บอน

คาร์บอนในธรรมชาติประกอบด้วย 2 ไอโซโทปคงที่ (stable isotope) คือไอโซโทป 12 ในปริมาณร้อยละ 98.89 และไอโซโทป 13 เพียงร้อยละ 1.11 (Rollinson, 1993; Faure, 1986) โดยปกติสามารถวิเคราะห์ได้จากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในรูปของค่าอัตราส่วนระหว่างไอโซโทป 13 ต่อไอโซโทป 12 (นิยมเขียนว่า  $\delta^{13}\text{C}$  เช่นเดียวกับของออกซิเจน) ของตัวอย่างเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเบลเลมไนต์ หรือ PDB

### แหล่งสะสมตัวของคาร์บอน

แหล่งสะสมตามปกติของคาร์บอนในธรรมชาติจำแนกออกเป็นสองแหล่ง คือแหล่งแบบออกซิไดซ์หรือแหล่งใช้ออกซิเจน (oxidized reservoir) เช่นคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ไบคาร์บอเนต ( $\text{HCO}_3^-$ ) และแร่คาร์บอเนตต่าง ๆ แหล่งแบบรีดิวซ์หรือแหล่งขาดออกซิเจน (reduced reservoir) เช่นสารประกอบอินทรีย์ ซากดึกดำบรรพ์ และธาตุคาร์บอนธรรมชาติ เป็นต้น คาร์บอนจากทั้งสองแหล่งมีการแลกเปลี่ยนไปมาเพื่อให้มีปริมาณคงที่และเป็นการรักษาปริมาณสมดุลของคาร์บอนในธรรมชาติไว้ กระบวนการที่กระทบต่อวงจรเหล่านี้เกี่ยวข้องกับ การแตกตัวของไอโซโทป

คาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศจัดเป็นแหล่งร่วมที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบอินทรีย์ของ  $\text{C}^{12}$  ที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงโดยทำปฏิกิริยากับไบคาร์บอเนต (จากน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์) ในรูปสารละลายดังสมการ



หรือถ้าเป็นกระบวนการที่มีก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) เข้ามาเกี่ยวข้องในระบบ เช่นจากกระบวนการความร้อนใต้โลก (geothermal) พบว่าก๊าซมีเทนนี้มีค่า  $\delta^{13}\text{C}$  ในระหว่าง -20 ถึง -30 ‰ ซึ่งถือว่าเป็นค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก๊าซมีเทนที่มีกำเนิดจากไฮโดรคาร์บอนในอินทรีย์สาร การแตกตัวของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ



### 5.3 การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ในการศึกษานี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างหินคาร์บอนเนตมาเพื่อวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็นเนื้อหิน (whole-rock analysis) ทั้งตัวอย่างของหินเนื้อปูนและหินโคลโลไมด์ ตัวอย่างจากซากดึกดำบรรพ์ ฟอสซิลินิคและแบรคิโอพอด โดยดำเนินการตามลำดับขั้นตอนดังนี้

#### 1. ขั้นเตรียมแผ่นหิน

ตัวอย่างของหินคาร์บอนเนตแบบก้อนที่เก็บแบบตัวแทนชั้นหินจากสนามและทำการเลือกสรรแล้ว ถูนำมาทำการตัดด้วยเครื่องตัดหิน (รูป 2. 2) ให้เป็นแผ่น ๆ (ขนาดความหนา 1 ซม) และทำการขัดผิวหน้าให้เรียบเพื่อให้ได้ตัวอย่างที่สามารถสังเกตลักษณะเนื้อหินและโครงสร้างหรือซากดึกดำบรรพ์ได้ด้วยตาเปล่าชัดเจนมากยิ่งขึ้น

#### 2. ขั้นตรวจแผ่นหิน

จากนั้นจึงทำการตรวจสอบแผ่นหินบางเบื้องต้นของตัวอย่างหิน เพื่อเลือกตัวอย่างที่พบซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลินิค และ / หรือแบรคิโอพอด / หรือตัวอย่างที่ไม่พบซากดึกดำบรรพ์แต่เป็นตัวแทนของชั้นหินในลำดับการวางชั้นหิน (ในกรณีทีวิเคราะห์จากตัวอย่างเนื้อหินรวม)

ตัวอย่างหินควรเป็นตัวอย่างที่สามารถสังเกตซากดึกดำบรรพ์ได้ชัดเจนจากผิวหน้าเรียบของตัวอย่างที่ขัดและซากดึกดำบรรพ์เช่น ฟอสซิลินิค หรือแบรคิโอพอด ควรมีขนาดใหญ่เพียงพอที่สามารถทำการสกัด ด้วยเครื่องมือจากตำแหน่งที่ต้องการได้

#### 3. ขั้นสกัดเนื้อหิน

ขั้นนี้เป็นการสกัดเอาเนื้อหินในบริเวณที่ต้องการวิเคราะห์ (โดยปกติมักใช้สกัดด้วยเครื่องมือกรอพื้นของทันตแพทย์) และบดตัวอย่างให้เป็นผงในครกอะเกตสำหรับบดตัวอย่าง (agate mortar) เพื่อป้องกันการปนเปื้อนและทำการคัดเลือกสิ่งเจือปนออกทิ้ง

#### 4. ขั้นเตรียมตัวอย่างและสกัดตัวอย่าง

ขั้นนี้เป็นการนำตัวอย่างที่บดเป็นผงแล้วประมาณ 0.2 กรัมมาทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก ร้อยละ 100 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสในหลอดทดลอง (รูป 5.1) ซึ่งจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำโดยก๊าซเหล่านี้จะถูกทำให้บริสุทธิ์ที่อุณหภูมิต่ำด้วยการจับกับน้ำ



รูป 5.1 ก.

แสดงหลอดทดลองและเครื่องตรวจวัด  
คุณภาพภูมิและควมดัน



รูป 5.1 ข.

แสดงหลอดทดลองของระบบปิด และถังใส่  
ก๊าซไนโตรเจนเหลวที่จะถูกปล่อยให้  
ไหลผ่านระบบในการปรับอุณหภูมิให้ได้ผล

รูป 5.1 ห้องทดลองไอโซโทป สถาบันชงฉวีวิทยา และแหล่งแนวเชิงดู มณฑลเสฉวน สาธารณรัฐประชาชนจีน แสดง  
หลอดทดลองที่เชื่อมต่อเนื่องกันในระบบปิด (5.1 ก, ข) เมื่อใส่สารตัวอย่าง ซึ่งได้แก่สารคาร์บอนด  
ที่พบเป็นผงแล้ว 0.2 กรัม เพื่อทำปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริกเข้มข้น ให้ได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ  
แก๊สซิแลน ซึ่งจะถูกรวบรวมไว้ที่หลอดดูดอากาศที่แยกไว้ในระดับต่าง ๆ ด้วยการควบคุม  
ความดัน และอุณหภูมิในระบบ โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเหลวให้ผ่านระบบ ในการปรับอุณหภูมิให้ได้ผล  
ก่อนการนำแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ที่ได้ ไปตรวจวัดค่าไอโซโทป ด้วยเครื่อง  
ตรวจวัดมวลสาร (mass spectrometer) ที่ 0.1)

ในแอลกอฮอล์เหลวที่อุณหภูมิ -90 องศาเซลเซียส และจับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในไนโตรเจนเหลวที่อุณหภูมิ -196 องศาเซลเซียส

#### 5. ขั้นตอนวิเคราะห์ตัวอย่าง

นำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ที่จับได้ไปตรวจวัดในเครื่องตรวจวัดมวลสาร (Mass Spectrometer) เพื่อตรวจวัดปริมาณของ คาร์บอนและออกซิเจนไอโซโทปต่อไป

#### 5.4 ผลการตรวจวิเคราะห์

การวิเคราะห์หาออกซิเจนและคาร์บอนไอโซโทปของตัวอย่างหินปูน ซากดึกดำบรรพ์ และตัวอย่างโคโลไมต์จากพื้นที่ศึกษา จำนวน 59 ตัวอย่าง ได้ดำเนินการวิเคราะห์โดยศาสตราจารย์หลิว (รูป 5.1ก) นักธรณีเคมีของห้องปฏิบัติการทางไอโซโทปของสถาบันธรณีวิทยาและทรัพยากรแร่เจียงตู (Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources) มณฑลเสฉวน ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน โดยใช้ค่ามาตรฐานของไอโซโทป 2 ค่า ของประเทศจีน ได้แก่ GBW 04405,  $\delta^{13}\text{C}$  0.57,  $\delta^{18}\text{O}$  -8.49 และ GBW 04406,  $\delta^{13}\text{C}$  -10.85,  $\delta^{18}\text{O}$  -12.40 ซึ่งค่าที่ใช้ในห้องทดลอง คือ 811#  $^{13}\text{C}$  -3.33,  $^{18}\text{O}$  -10.62 ผลการตรวจวิเคราะห์เทียบกับค่า PDB ได้แสดงในตาราง 5.1, 5.2, 5.3 และ 5.4

ผลการตรวจวัดค่า  $\delta^{18}\text{O}$  ของตัวอย่างหินคาร์บอนเนตทั้งหมด มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง -9.95 ถึง -1.02 ‰ PDB (เฉลี่ยประมาณ -7.27 ‰ PDB) โดยพบว่าในการตรวจวิเคราะห์แร่แคลไซต์จากตัวอย่างหินก้อน (whole rocks) มีค่า  $\delta^{18}\text{O}$  ในช่วงระหว่าง -9.95 ถึง -4.51 ‰ PDB (เฉลี่ย -7.5 ‰ PDB) (ตาราง 5. 1) ผลการตรวจวิเคราะห์แคลไซต์จากซากดึกดำบรรพ์ ฟอแรมมินิเฟอรา (ฟูลินิค) ได้ค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  อยู่ในช่วงระหว่าง -9.11 ถึง -5.80 ‰ PDB (เฉลี่ย -7.19 ‰ PDB) (ตาราง 5. 2) ผลการตรวจวิเคราะห์ซากดึกดำบรรพ์แบรคิโอพอดได้ค่า  $\delta^{18}\text{O}$  อยู่ในช่วงระหว่าง -8.86 ถึง -5.16 ‰ PDB (เฉลี่ย -7.25 ‰ PDB) (ตาราง 5. 3) และจากการตรวจวิเคราะห์แร่โคโลไมต์ มีค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  อยู่ในช่วงระหว่าง -8.41 ถึง -1.02 ‰ PDB (เฉลี่ย -6.20 ‰ PDB) (ตาราง 5. 4)

ค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  ในตัวอย่างหินที่ทำการตรวจวัด มีค่าในระหว่างช่วง -3.07 ถึง +5.71 ‰ PDB (เฉลี่ยประมาณ +3.15 ‰ PDB) มีค่าจากตัวอย่างหินก้อนระหว่าง -0.76 ถึง +5.19 ‰ PDB (เฉลี่ย +3.07 ‰ PDB) และมีค่าในระหว่าง -0.42 ถึง +5.71 ‰ PDB (เฉลี่ย +3.67 ‰ PDB) จากตัวอย่าง

ที่ตรวจวัดได้จากซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิล ในขณะที่ยังคงอยู่จากซากดึกดำบรรพ์แบรคิโอพอดให้ค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  อยู่ในช่วงระหว่าง -3.22 ถึง + 5.64 ‰ PDB (เฉลี่ย +3.37 ‰ PDB) ส่วนแร่โคโลไมต์ให้ค่าในช่วงระหว่าง +0.45 ถึง +4.16 ‰ PDB (เฉลี่ย +2.54 ‰ PDB) (ตาราง 5. 1; 5. 2, 5. 3 และ 5. 4)

## 5.5 การตีความผลการตรวจวิเคราะห์ (Data interpretation)

### 5.5.1 กำเนิดของคาร์บอเนต (Carbonate Origin)

ในการพิจารณาแหล่งกำเนิดของคาร์บอเนตนั้นมักมีการนำค่าของคาร์บอนและออกซิเจนไอโซโทป ที่วิเคราะห์ได้จากเปลือกของซากดึกดำบรรพ์ และหินปูนมาใช้ในการจำแนกระหว่างตะกอนคาร์บอเนตสมุทร (marine carbonate) และไม่ใช่ตะกอนสมุทร (non-marine carbonate) ออกจากกัน (Boggs, 1987) ในที่นี้เป็นการพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าไอโซโทปของออกซิเจนและไอโซโทปของคาร์บอนตามลำดับ

#### 5.5.1.1 ออกซิเจนไอโซโทป (Oxygen Isotope)

การศึกษาสภาวะแวดล้อมโดยการใช้คาร์บอนและออกซิเจนไอโซโทป มักอาศัยหลักการขั้นพื้นฐาน คือในน้ำจืด (fresh water) ให้ถือว่ามีองค์ประกอบของคาร์บอนและออกซิเจนไอโซโทปหนักปรากฏน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณที่มีอยู่ในน้ำของมหาสมุทร (marine water) ดังนั้นค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  และ  $\delta^{18}\text{O}$  ที่ตรวจวัดได้จากคาร์บอเนตน้ำจืด (fresh-water carbonate) จึงมีค่าน้อยกว่าที่ตรวจวัดได้จากคาร์บอเนตสมุทร ทั้งนี้เนื่องมาจาก  $\text{O}^{16}$  สามารถแตกตัวได้ดีกว่า  $\text{O}^{18}$  ในระหว่างการระเหยของน้ำเป็นเหตุให้ออกซิเจนหนัก ( $\text{O}^{18}$ ) คงเหลือในน้ำของมหาสมุทรมากขึ้นตามเวลาที่ผ่านไป ดังนั้นหินคาร์บอเนตที่ไม่ใช่กำเนิดสมุทรจึงมีค่าของ  $\text{O}^{18}$  น้อย ในการศึกษาโดยทั่วไปพบว่า การตรวจวัดค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  จากแร่แคลไซต์และโคโลไมต์ไม่ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกัน

การวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมด้วยวิธีการใช้ออกซิเจนไอโซโทปอาจเป็นสิ่งที่ซับซ้อนเนื่องด้วยมีตัวแปรจากสาเหตุหลายประการที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของออกซิเจนไอโซโทป เช่น อุณหภูมิของน้ำ กระบวนการเปลี่ยนแปลงภายหลังการสะสมตะกอน (diagenesis) และนอกจากนี้อัตราส่วนของออกซิเจนไอโซโทปได้รับผลกระทบโดยตรงจากกระบวนการตกผลึกใหม่และมักมีการแลกเปลี่ยนไอโซโทปกับน้ำฟ้าเสมอ (Boggs, 1987) โดยปกติมักมีความเป็นไปได้ที่หินคาร์บอเนตสมุทรที่เก่าแก่มาก ๆ จะมีค่า  $\delta^{18}\text{O}$  ใกล้เคียงกับ



ตาราง 5.1 ค่าไอโซโทป ของตัวอย่างหินคาร์บอนเตยุคเพอร์เมียน  
เลข-หนองบัวลำภู

หมายเลขตัวอย่าง	$^{13}\text{C}\text{‰}$	$^{18}\text{O}\text{‰}$	$^{18}\text{O}$ SMOW‰	Salinity ‰
1#	4.13	-7.38	23.25	22.66
2*	5.01	-6.87	23.78	23.49
8	4.52	-8.38	22.22	21.02
9#	5.19	-5.13	25.57	26.34
13	3.5	-8.36	22.24	21.05
15	1.36	-9.4	21.17	19.34
21*	4.68	-5.46	25.23	25.80
22	4.22	-7.8	22.82	21.97
28*	4.38	-7.34	23.29	22.72
33	4.99	-5.83	24.85	25.20
34	2.74	-8.13	22.48	21.43
36	1.6	-9.07	21.51	19.89
38	4.11	-6.69	23.96	23.79
52	2.91	-8.19	22.42	21.33
53	2.87	-4.51	26.21	27.36
65	-0.12	-9.29	21.28	19.52
72	3.08	-6.42	24.24	24.23
75	3.62	-7.62	23.00	22.26
78	-0.76	-8.2	22.41	21.31
82	0.27	-7.7	22.92	22.13
87	2.08	-9.95	20.60	18.44
ค่าเฉลี่ย	3.07	-7.51	23.12	22.44
ค่าสูงสุด	5.19	-4.51	26.21	27.36
ค่าต่ำสุด	-0.76	-9.95	20.60	18.44

1# หมู่หินถ้ำเสือหมอบ

1\* หมู่หินบ้านหนองหิน

I หมู่หินภูผาขาว

ตาราง 5.2 ค่าไอโซโทปของซาคคิกดำบรรพ์ฟูลินิด ยุคเพอร์เมียน  
เลข-หนองบัวลำภู

ตัวอย่างหมายเลข	$^{13}\text{C}$ ‰	$^{18}\text{O}$ ‰	$^{18}\text{OSMOW}$ ‰	Salinity ‰
4*	-0.42	-8.88	21.71	20.20
6	4.02	-8.07	22.54	21.52
7	4.47	-7.64	22.98	22.23
10#	4.99	-6.04	24.63	24.85
11#	3.81	-7.61	23.02	22.28
20	4.99	-4.84	25.87	26.82
23	5.71	-4.61	26.11	27.20
29	4.9	-7.85	22.77	21.89
50	2.86	-9.11	21.47	19.82
69	1.26	-8.05	22.56	21.56
70	2.63	-8.83	21.76	20.28
73	4.5	-7.74	22.88	22.07
83*	2.98	-6.52	24.14	24.07
84#	4.8	-5.8	24.14	24.07
85#	3.51	-7.33	23.30	22.74
98#	3.75	-6.12	24.55	24.72
ค่าเฉลี่ย	3.67	-7.19	23.40	22.89
ค่าสูงสุด	5.71	-4.61	26.11	27.20
ค่าต่ำสุด	-0.42	-9.11	21.47	19.82

1# หมูหินด้านสี่หมอบ

1\* หมูหินบ้านหนองหิน

1 หมูหินภูผาขาว

ตาราง 5.3 ค่าไอโซโทปของซาคคิกดำบรรพ์แบรคิโอพอด

ชุกเฟอร์เมียน เลข-หนองบัวลำภู

หมายเลขตัวอย่าง	<sup>13</sup> C ‰	<sup>18</sup> O ‰	<sup>18</sup> OSMOW ‰	Salinity ‰
12#	4.08	-5.68	25.00	25.51
20	4.27	-7.6	23.03	22.36
25	5.06	-6.05	24.62	24.90
31	4.31	-8.4	22.20	21.05
43	-3.22	-5.42	25.27	25.93
44	5.64	-5.34	25.36	26.07
51	3.46	-8.14	22.47	21.48
60#	5.63	-5.16	25.54	26.36
71	3.32	-8.73	21.86	20.51
80	3.44	-8.23	22.38	21.33
86	3.18	-6.87	23.78	23.56
91	4.32	-8.86	21.73	20.30
92	2.66	-8.82	21.77	20.36
ค่าเฉลี่ย	3.55	-7.18	23.46	23.05
ค่าสูงสุด	5.64	-5.16	25.54	26.36
ค่าต่ำสุด	-3.22	-8.86	21.73	20.30

ตาราง 5.4 ค่าไอโซโทปของโคโลไมต์ ชุกเฟอร์เมียน

เลข-หนองบัวลำภู

หมายเลขตัวอย่าง	<sup>13</sup> C ‰	<sup>18</sup> O ‰	<sup>18</sup> OSMOW ‰	Salinity ‰
17	3.52	-8.41	22.19	20.97
42	3.12	-1.02	29.81	33.08
46	0.45	-6.6	24.06	23.93
49	0.55	-8.27	22.33	21.2
52	2.91	-8.19	22.42	21.33
54*	2.99	-1.55	29.26	32.21
62	3.37	-6.83	23.82	23.56
76	1.78	-7.54	23.09	22.39
90	4.16	-7.43	23.2	22.57
ค่าเฉลี่ย	2.54	-6.20	24.46	24.58
ค่าสูงสุด	4.16	-1.02	29.81	33.08
ค่าต่ำสุด	0.45	-8.41	22.19	20.97

12# หมู่หินถ้ำเสือหมอบ

54\* หมู่หินบ้านหนองหิน

12 หมู่หินภูผาขาว

หินคาร์บอเนตน้ำจืดในเวลาเริ่มต้น และพบว่าค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  ลดลงเมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงเป็นตัวอย่างที่แสดงถึงความเป็นไปได้ที่อุณหภูมิมีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงนี้ด้วย

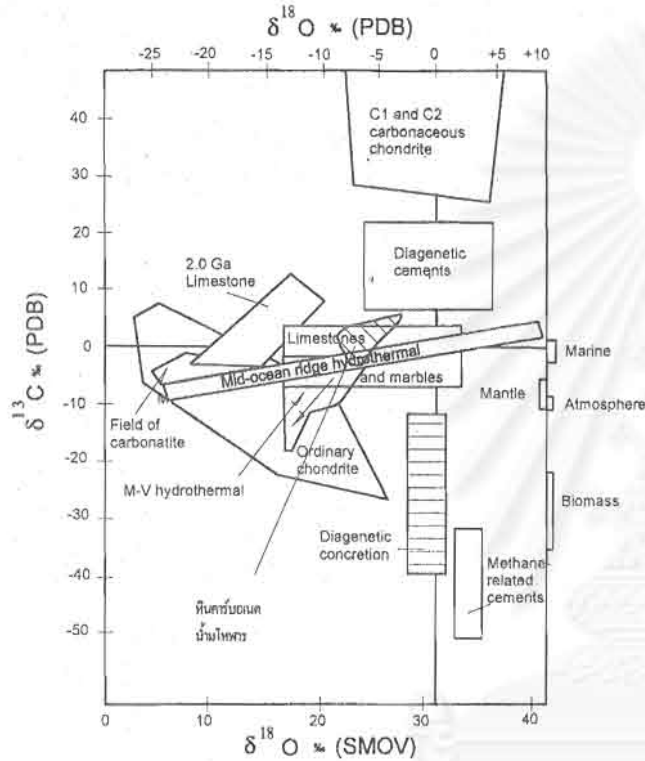
ค่า  $\delta^{18}\text{O}$  SMOW ของคาร์บอเนตสมุทรปรกติมีค่าเป็นบวก ในช่วงระหว่าง +20 ถึง +30 ‰ และค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  ดังกล่าวมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ด้วยเหตุนี้ Faure (1986) จึงได้รายงานถึงสาเหตุความเป็นไปได้สามประการหลักที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่าดังกล่าว ได้แก่

1. ไอโซโทปมีการปรับสภาวะสมดุลใหม่เมื่อเทียบกับน้ำ
2. เนื่องมาจากการลดลงของอุณหภูมิของน้ำในมหาสมุทรจากยุคอาร์เคียนมาสู่ยุคปัจจุบัน
3. การเพิ่มขึ้นในลำดับตามปรกติของ  $\delta^{18}\text{O}$  ของน้ำในมหาสมุทรตลอดระยะเวลาตั้งแต่มหายุคอาร์เคียนเป็นต้นมา

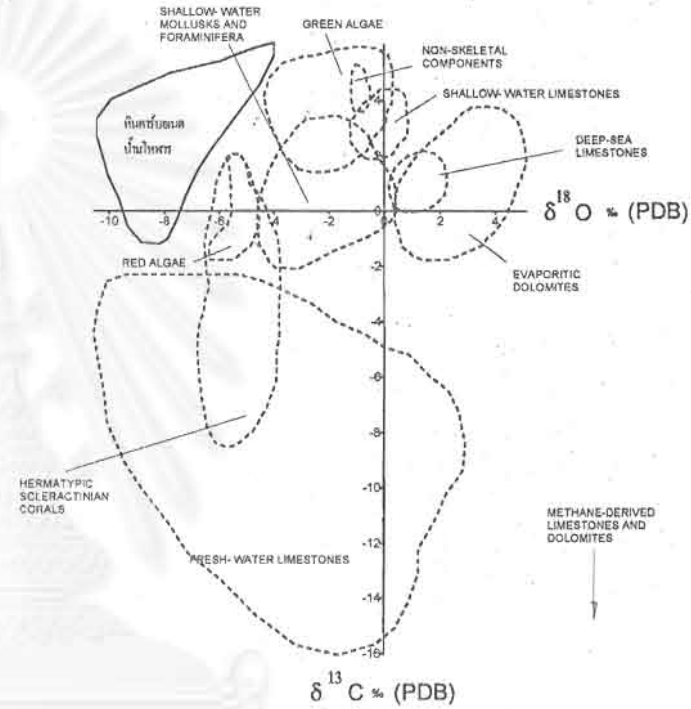
การพิจารณาค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  SMOW ของตัวอย่างหินคาร์บอเนตหมวดหินน้ำมโหฬารจากตัวอย่างหินที่ทำการศึกษพบว่าอยู่ในช่วงระหว่าง +20.60 ถึง +26.21 ‰ (มีค่าเฉลี่ย 24.46 ‰) โดยค่าที่ได้จากตัวอย่างหินก้อนอยู่ในช่วงระหว่าง +20.60 ถึง +26.21 ‰ (มีค่าเฉลี่ย 23.12 ‰) ค่าที่ได้จากตัวอย่างซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลนีดอยู่ในช่วงระหว่าง +21.47 ถึง +24.55 ‰ (มีค่าเฉลี่ย 23.40 ‰) ค่าที่ได้จากซากดึกดำบรรพ์แบรคิโอพอดอยู่ในช่วงระหว่าง +21.73 ถึง +25.54 ‰ (มีค่าเฉลี่ย 23.39 ‰) และค่าที่ได้จากตัวอย่างของโคโลไมต์อยู่ในช่วงระหว่าง +22.19 ถึง +29.81 ‰ (มีค่าเฉลี่ย 23.12 ‰) (ดูตาราง 5.1, 5.2, 5.3, และ 5.4 ประกอบ) ซึ่งแสดงให้เห็นค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  SMOW ทั้งหมดเป็นค่าที่อยู่ในช่วงของสภาวะแวดล้อมสมุทร (marine environment) ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์ครั้งนี้สอดคล้องกับหลักฐานจากภาคสนามและจากดึกดำบรรพ์

#### 5. 5. 1. 2 ออกซิเจน และคาร์บอนไอโซโทป (Oxygen and Carbon Isotope)

ในการเทียบเคียงค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  PDB,  $\delta^{18}\text{O}$  SMOW และ  $\delta^{13}\text{C}$  PDB เพื่อหาความสัมพันธ์ถึงแหล่งกำเนิด ซึ่งนำเสนอโดย Rollinson (1993) (รูป 5.2) แสดงถึงขอบเขตหินคาร์บอเนตหมวดหินน้ำมโหฬาร เป็นหินปูนที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมสมุทร ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าสารเชื่อมประสาน (cementing materials) เกิดขึ้นในกระบวนการเปลี่ยนแปลงภายหลัง



รูป 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\delta^{18}\text{O}$  กับ  $\delta^{13}\text{C}$  แสดงคาร์บอนเต จากสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ โดยคาร์บอนเตของหมวด หินน้ำโทหาร แสดงถึงความสัมพันธ์ในสภาวะแวดล้อม บริเวณของคาร์บอนเตสมุทร (ตารางจาก Rollinson, 1993)



รูป 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\delta^{18}\text{O}$  กับ  $\delta^{13}\text{C}$  ของคาร์บอนเตสมุทร และ คาร์บอนเตน้ำจืดแบบต่าง ๆ แสดงการกระจายตัวของคาร์บอนเต น้ำโทหาร ซึ่งส่วนใหญ่แสดงค่า  $\delta^{18}\text{O}$  เป็นค่าบวก (+) และ  $\delta^{13}\text{C}$  มีค่าเป็น (-) ในพื้นที่ส่วนของคาร์บอนเตน้ำจืด และบางส่วนมีค่า เข้าใกล้หินคาร์บอนเตน้ำจืด (ตารางจาก Boggs, 1987)

การสะสมตะกอน (diagenetic cement) และบางส่วนของสารเชื่อมประสานเป็นแร่แคลไซต์ซึ่งได้มาจากกระบวนการของน้ำร้อน (hydrothermal-calcite)

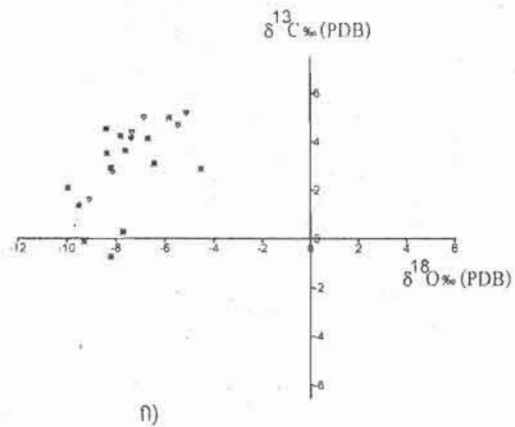
ทำนองเดียวกันในการเทียบเคียงความสัมพันธ์ซึ่งนำเสนอโดย Boggs (1987) รูป 5.3 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  และ  $\delta^{18}\text{O}$  ของคาร์บอนเนตน้ำจืดและคาร์บอนเนตสมุทรในรูปแบบต่าง ๆ โดยคาร์บอนเนตสมุทรสามารถจำแนกได้จากค่าบวกหรือค่าลบน้อย ๆ ของ  $\delta^{13}\text{C}$  ในขณะที่ค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  มีค่าเป็นลบต่ำจนมีค่าเป็นบวก ในขณะที่หินปูนหรือคาร์บอนเนตน้ำจืดมักให้ค่าของทั้ง  $\delta^{13}\text{C}$  และ  $\delta^{18}\text{O}$  เป็นค่าลบค่อนข้างมาก ผลการวิเคราะห์แสดงความสัมพันธ์ของ  $\delta^{13}\text{C}$  และ  $\delta^{18}\text{O}$  ของหินคาร์บอนเนตของหมวดหินน้ำมโหฬาร อยู่ในช่วงของคาร์บอนเนตสมุทร (marine carbonate)

ค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  และ  $\delta^{18}\text{O}$  จากตัวอย่างที่วิเคราะห์จำนวน 59 ตัวอย่าง มีแนวโน้มแสดงทิศทาง (trend) ที่มีค่าเป็นไปได้อันทั้งการเพิ่มขึ้นและลดลง (รูป 5.4 และ 5.5) เมื่ออธิบายตามรูปแบบที่นำเสนอโดย Rollinson (1993) รูป 5.6 แสดงถึงหินตะกอนคาร์บอนเนตหมวดหินน้ำมโหฬารเป็นตะกอนคาร์บอนเนตสมุทรที่แข็งตัวกลายเป็นหินและมีการเชื่อมประสานกำเนิดจากสมุทรปกติ (normal marine) ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\delta^{13}\text{C}$  และ  $\delta^{18}\text{O}$  ที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงถึงการสะสมตัวของคาร์บอนเนตจากน้ำทะเลตั้งต้น (original sea water) และมีสารเชื่อมประสานจากกำเนิดน้ำทะเลด้วยเช่นกัน

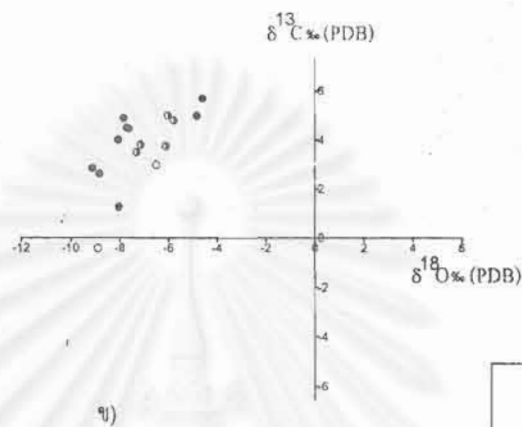
ค่า  $\delta^{13}\text{C}$  แสดงทิศทางที่มีแนวโน้มเข้าสู่ศูนย์ ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นของน้ำทะเล ถึงแม้ว่าค่าส่วนใหญ่แสดงแนวโน้มในทิศทางลดลง แต่มีบางช่วงที่ค่า  $\delta^{18}\text{O}$  ที่วิเคราะห์ได้มีทิศทางแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของไอโซโทปหนัก ซึ่งอาจอธิบายได้ว่าการมีค่าสูง (+) ของ  $\delta^{13}\text{C}$  อาจเป็นผลเนื่องมาจากคาร์บอนที่เหลืออยู่ภายหลังจากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ส่วนการเพิ่มเป็นลำดับน้อย ๆ ของ  $\delta^{18}\text{O}$  เนื่องมาจากการลดลงของไอโซโทปเบาจากการระเหยออกไปในรูปแบบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชด้วยเช่นกัน (Faure, 1986; Rollinson, 1993)

ค่า  $\delta^{13}\text{C}$  จากบางตัวอย่างของโคโลไมต์ที่วิเคราะห์ได้แสดงถึงค่าที่เป็นบวกของ  $\delta^{13}\text{C}$  ในขณะที่ค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  (มีค่าเป็นลบ) และมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ (รูป 5.4ค; ตาราง 5.4) โดยในการ

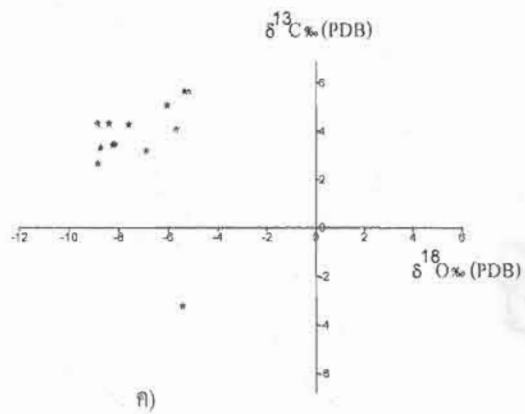




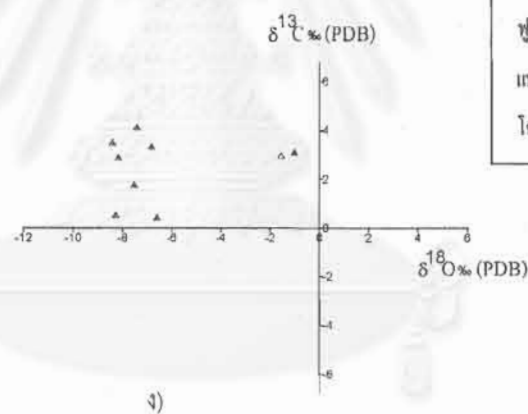
ก)



ข)



ค)



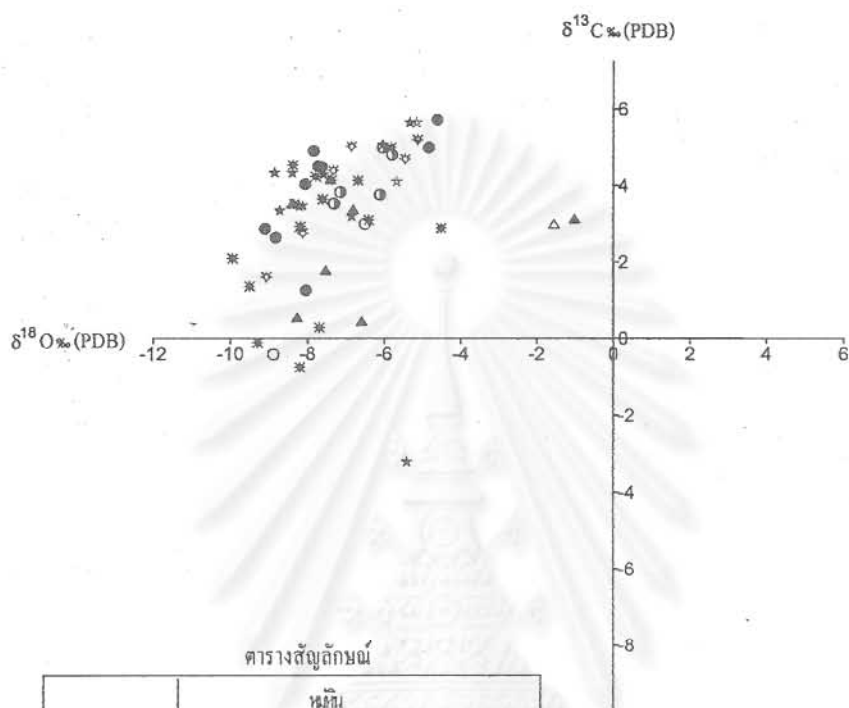
ง)

ตารางสัญลักษณ์

	หิน		
	ดำสีหมอย	บ้านหนองหิน	ภูผขาว
แคลไซต์	✱	✧	✱
ฟลูออไรต์	●	○	●
แบรคิโอพอด	☆		★
โคโลไมต์		△	▲

รูป 5.4 ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $\delta^{18}\text{O}$  และ  $\delta^{13}\text{C}$  ของหินคาร์บอเนตหมวดหินน้ำโพน

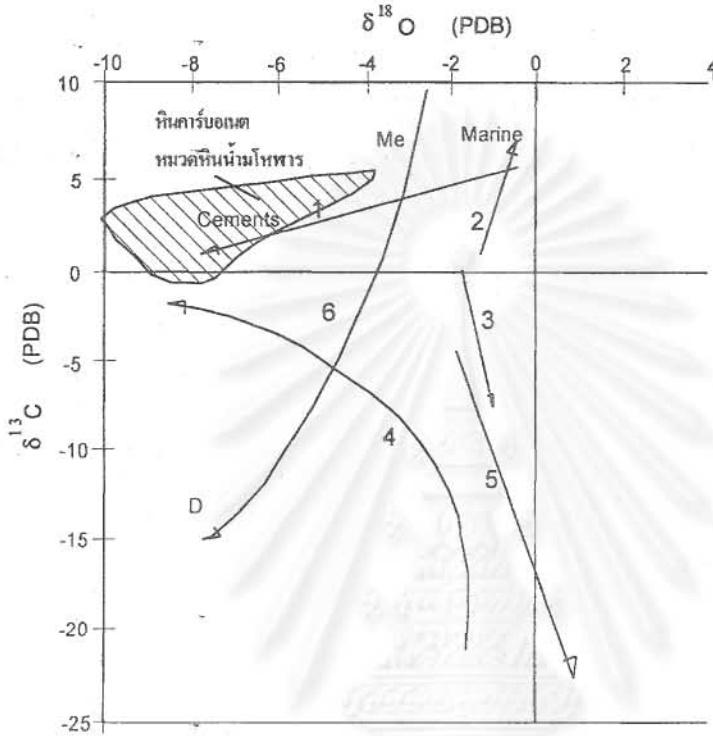
ก) หินคาร์บอเนต (แคลไซต์) ข) ฟลูออไรต์ ค) แบรคิโอพอด และ ง) โคโลไมต์



ตารางสัญลักษณ์

	หมู่บ้าน		
	ถ้ำเสือหมอบ	บ้านหนองหิน	ภูชะว
แคลไซต์	*	☆	*
ฟลูออไรต์	●	○	●
แบรคิโอพอด	☆		★
โคโลไซต์		△	▲

รูป 5.5 การกระจายตัวของค่าสัดส่วนไอโซโทปของออกซิเจนและคาร์บอน ที่วิเคราะห์ได้จากหินคาร์บอนตมวดหินน้ำไหลพารในพื้นที่การศึกษาด้านตะวันออกของจังหวัดเลย มีแนวโน้มทิศทางการกระจายตัวคล้ายคลึงกันทั้งจากตัวอย่างที่วิเคราะห์โดยใช้แร่แคลไซต์ของตัวอย่างหินก้อน จากซากดึกดำบรรพ์ฟลูออไรต์ ซากดึกดำบรรพ์แบรคิโอพอด และจากแร่โคโลไซต์



รูป 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\delta^{18}\text{O}$  กับ  $\delta^{13}\text{C}$  ของหินคาร์บอนเนตหมวดหินน้ำไหลพาหนะ ซึ่งพัฒนาการในระหว่างการแข็งตัวโดยมีความสัมพันธ์กับทิศทางหมายเลข 1) แสดงถึง หินปูนมีส่วนประสมระหว่างน้ำทะเลเริ่มต้นกับสารเชื่อมประสานในระหว่างการแข็งตัว, 2) แนวการแข็งตัวของหินปูนสมุทรยุคใหม่ที่มีค่าสัดส่วนของคาร์บอนไอโซโทปสูง ซึ่งเป็นค่าเหลือของคาร์บอนไอโซโทปหนักภายหลังจากกระบวนการสังเคราะห์แสง ในขณะที่มีการเพิ่มน้อยๆ ของค่าออกซิเจนไอโซโทป, 3) เป็นเส้นแสดงทิศทางระหว่างไอโซโทปเบาที่เกิดจากอินทรีย์สารซึ่งทำปฏิกิริยากับดินให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, 4) ทิศทางของการเปลี่ยนส่วนประกอบกรพอกมวลเป็นชั้น (calcareous concretion) ในเนื้อหินโคลน จากปฏิกิริยาของชั้นมีเทนกับน้ำในช่องว่าง, 5) สารเชื่อมประสานคาร์บอนเนตในเม็ดตะกอนที่รับคาร์บอนมาจากกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน และ, 6) แนวของการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบจากการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของสารเชื่อมประสานที่เกิดระยะหลังในหินโคลน ในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทน (Me) และกระบวนการสูญเสียคาร์บอน (D) ที่มีทิศทางการสูญเสียก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น (Rollinson, 1993)

เปรียบเทียบผลวิเคราะห์ที่ได้กับแบบจำลองเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อปริมาณไอโซโทปคงที่ (stable isotope) ของแร่แคลไซต์และโดโลไมต์ ค่าที่ได้แสดงถึงการลดลงของ  $\delta^{13}\text{C}$  และแสดงแนวโน้มในทิศทางการเพิ่มขึ้นของไอโซโทปเบาใน  $\delta^{18}\text{O}$  ซึ่งกรณีเช่นนี้ Rao (1993 และ 1997) อธิบายว่าสามารถเกิดได้ในสภาวะแวดล้อมการฝังตัว (burial environment) อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงภายหลังการสะสมตะกอน (diagenesis) ของสารอินทรีย์ (organic matter) เพราะมีการเพิ่มสูงขึ้นของอุณหภูมิ

### 5.5.1.3 คาร์บอนไอโซโทป (Carbon Isotope)

ค่าไอโซโทปของ  $\text{C}^{13}$  มีค่าต่ำในสภาวะแวดล้อมของน้ำจืด เนื่องมาจากการถ่ายเทลงไปในน้ำใต้ดินและจากน้ำไหล (water flow) ค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  ในหินคาร์บอนเนตมีการเปลี่ยนแปลงไปในการทำงานเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของค่า  $\delta^{18}\text{O}$  อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสภาพ (alteration) ภายหลังการสะสมตัว แต่โดยทั่วไปก็ยังใช้เป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงสภาวะแวดล้อมของการกำเนิด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนไอโซโทปในหินคาร์บอนเนตมีค่าน้อยมากทางธรณีภาค (Verzer และ Hoefs, 1976)

หนึ่งค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  ของคาร์บอนเนตสมุทร ตั้งแต่ยุคแคมเบรียนถึงยุคเทอร์เชียรี มีค่าเข้าใกล้ศูนย์บนมาตราส่วน PDB (Faure, 1986) และเมื่อเปรียบเทียบค่าผลการศึกษาที่ได้จากการทดลองโดย Kieth และ Weber (1964) จากตัวอย่างทั้งหมด 321 ตัวอย่าง ของคาร์บอนเนตที่มีกำเนิดแบบคาร์บอนเนตสมุทร (marine carbonate) พบว่ามีค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  อยู่ในช่วงระหว่าง  $+0.56 \pm 1.55$  ‰ PDB และจากตัวอย่างของคาร์บอนเนตน้ำจืด (fresh-water carbonate) จำนวน 183 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  อยู่ในช่วงระหว่าง  $-4.93 \pm 2.75$  ‰ PDB และการวิเคราะห์คาร์บอนไอโซโทปจากเปลือกหอยสมุทร (marine shell) ได้ค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  ในช่วง  $+4.2$  ถึง  $+1.7$  ‰ PDB และเปลือกหอย น้ำจืด มีค่า  $\delta^{13}\text{C}$  ในระหว่าง  $-0.6$  ถึง  $-15.2$  ‰ PDB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า  $\delta^{13}\text{C}$  ของคาร์บอนเนตสมุทรมีค่าสูงมากกว่า คาร์บอนเนตน้ำจืดในเชิงเปรียบเทียบได้อย่างชัดเจน

ในการตรวจวัดค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  จากตัวอย่างหินคาร์บอนเนตในพื้นที่ศึกษาแสดงค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  ในช่วงระหว่าง  $-0.67$  ถึง  $+5.90$  ‰ PDB ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่า  $\delta^{13}\text{C}$  จากการทดลองของ Kieth และ Weber (1964) ดังกล่าว หินคาร์บอนเนตของพื้นที่ศึกษาบ่งถึงการสะสมตัวในน้ำทะเล และจัดให้เป็นกำเนิดสมุทร (marine origin)

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินคาร์บอนเนตของหมวดหินน้ำมโหฬารแสดงให้เห็นค่า  $\delta^{13}\text{C}$  ก่อนข้างสูง (ค่า +) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าผลการศึกษาของ Kieth และ Weber (1964) แต่ค่าของคาร์บอนไอโซโทปที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างในพื้นที่ศึกษามีค่าการแกว่งตัวค่อนข้างกว้าง ทั้งนี้อาจเป็นการลดลงของไอโซโทปหนักเนื่องจากการปนเปื้อนของน้ำจืด (fresh-water contamination) เข้ามาในระบบการสะสมตะกอนคาร์บอนเนตสมุทรในขณะนั้นเป็นบางส่วนก็เป็นได้

ค่า  $\delta^{13}\text{C}$  ของหินคาร์บอนเนตในพื้นที่ศึกษามีค่าสูงกว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า  $\delta^{13}\text{C}$  จากตัวอย่างหินคาร์บอนเนตบริเวณชายฝั่งแถบอ่าวเม็กซิโกหรือกัฟโคสต์ (Gulf Coast) ของสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นหินปิดกั้นตอนบน (cap rock) ของโดมเกลือ ซึ่งมีค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  อยู่ในช่วงระหว่าง  $-36.2 \pm 6.2$  ‰ PDB และในการหาค่าจากแร่แคลไซต์จากสารอินทรีย์ในแหล่งสะสมของแร่ยูเรเนียมในหมวดหิน Wind River ใน Gas Hill มลรัฐไวโอมิ่ง (Wyoming) ของสหรัฐอเมริกา พบว่ามีค่าเฉลี่ยของ  $\delta^{13}\text{C}$  ในช่วง  $-22.5 \pm 4.0$  ‰ และผลวิเคราะห์หินปูน (bearing-limestone) จากเกาะซิซิลี (Sicily) ประเทศอิตาลีมีค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  ในระหว่าง  $-28.7 \pm 8.9$  ‰ แสดงให้เห็นถึงแคลเซียมคาร์บอนเนตที่กำเนิดมาจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มาจากแบคทีเรีย หรือกระบวนการปล่อยออกซิเจนในสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นผลให้มีค่าของ  $\text{C}^{12}$  สูงขึ้นในหินตะกอน (ในเชิงเปรียบเทียบจึงทำให้มีค่าของ  $\text{C}^{13}$  ในระบบลดต่ำลง) ส่วนในกรณีที่  $\text{C}^{13}$  มีค่าสูง เป็นผลเนื่องมาจากการสูญเสีย  $\text{C}^{12}$  ในรูปของมีเทน

ตัวอย่างโคโลไมต์ของมหายุคพรีแคมเบรียนตอนกลางจากหมวดหินโลมากุนดี (Lomagundi) ในประเทศโรดีเซียมีค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  เฉลี่ย  $+8.2 \pm 2.6$  ‰ PDB (Faure, 1986) ซึ่งมีค่าสูงกว่าในพื้นที่ศึกษาบริเวณด้านตะวันออกของจังหวัดเลย (ค่าเฉลี่ย  $+2.54$  ‰ PDB โดยได้มีการสรุปว่า การเพิ่มขึ้นของ  $\text{C}^{13}$  เป็นผลเนื่องมาจากการลดลงของ  $\text{C}^{12}$  ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นแอ่งปิด (closed basin) ดังนั้นในภาพรวมที่แสดงแนวโน้มของการลดลงของ  $\delta^{13}\text{C}$  หรือมีการลดลงของ  $\text{C}^{13}$  มีเหตุผลที่เป็นไปได้ คือการเพิ่มขึ้นของ  $\text{C}^{12}$  ในสภาวะแวดล้อมของแอ่งเปิด (open basin) หรือความเป็นไปได้อีกประการหนึ่งคือการลดระดับลงของน้ำทะเล (regression) หรือมีการยกตัวขึ้นของแผ่นดิน (uplift) ในขณะการสะสมตะกอนของคาร์บอนเนตในช่วงเวลาดังกล่าว

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า  $\delta^{13}\text{C}$  ที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างหินของพื้นที่การศึกษา พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับค่าที่วิเคราะห์ได้ จากหินคาร์บอนเนตยุคเพอร์เมียนตอนล่างถึงตอนกลางในพื้นที่บริเวณคิตากามิตอนใต้ (South Katakami) ในประเทศญี่ปุ่นและพื้นที่บริเวณไพรมอรี (Primory

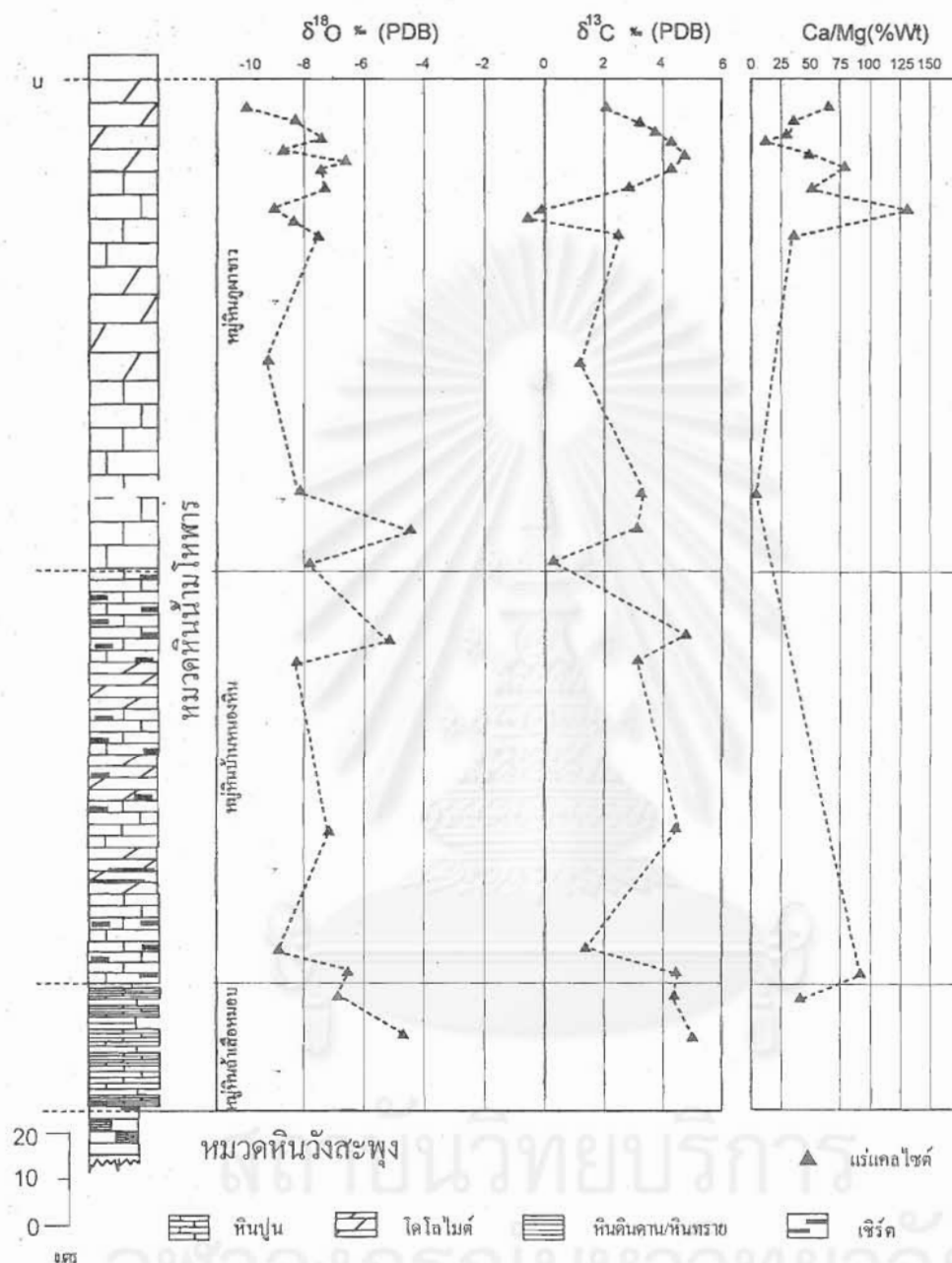
Region) ทางตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศรัสเซีย มีค่าสูงผิดปกติ (high anomaly) ของ  $\delta^{13}\text{C}$  (+ 3.5 ถึง + 4.7 ‰ PDB) โดย Zakharov และคณะ (1997) ได้ใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียม (Ca/Mg) ในเนื้อหิน เป็นตัวแบ่งขอบเขตของระยะอาร์คินสเกียนและช่วงคั้นโบโรเรียน (Artinskian- Early Bolorian) และมีค่าผิดปกติปรากฏให้เห็นจากตำแหน่งช่วงคั้น กลางและปลายของระยะมิเดียน (Midian) ซึ่งคาร์บอนเหล่านี้เป็นผลผลิตของสิ่งมีชีวิตที่สะสมตัวในสภาวะแวดล้อมแอ่งสมุทร (marine basin) ในช่วงเวลาดังกล่าว ด้วยเงื่อนไขการท่วมท้นขึ้นมาของน้ำทะเลในสภาพภูมิอากาศอบอุ่นชื้น (warm humid climate)

ในทำนองเดียวกันการศึกษาในที่นี้ ได้กำหนดตำแหน่งผลการวิเคราะห์ไอโซโทปคงที่ของหินคาร์บอนเนตหมวดหินน้ำไหมพوارในพื้นที่ศึกษาตามตำแหน่งของแท่งลำดับชั้นหิน เปรียบเทียบกับค่าอัตราส่วนของแคลเซียมต่อแมกนีเซียม ดังแสดงในรูป 5. 7, 5. 8, 5. 9, และ 5. 10 พบว่าทั้งหมดแสดงให้เห็นแนวทางการลดลงของสัดส่วนไอโซโทป และมีค่าผิดปกติที่เกิดขึ้นในลำดับชั้นหินบางช่วง (ดูรูปประกอบ)

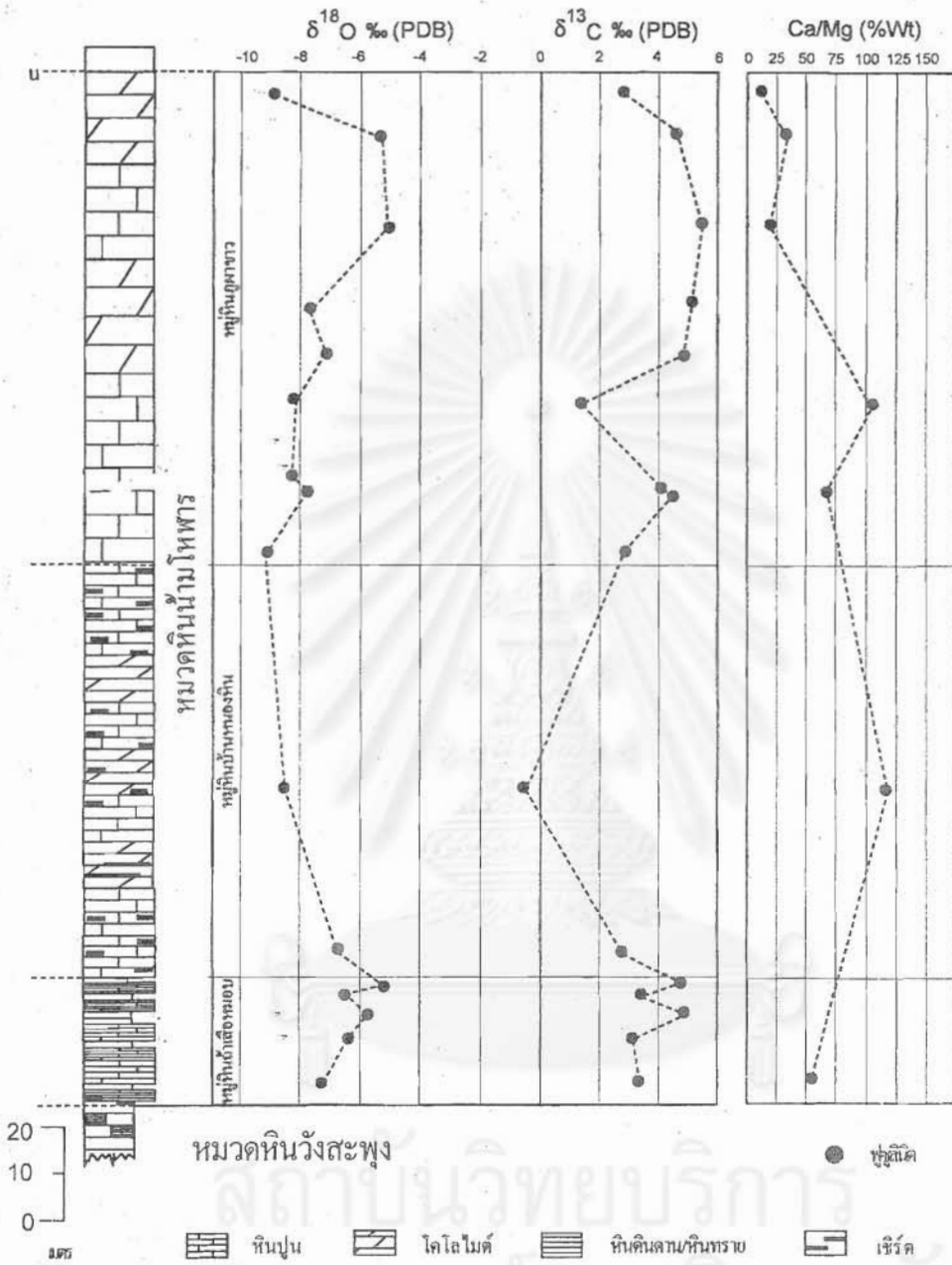
การพิจารณาเปรียบเทียบค่าไอโซโทปคงที่ของออกซิเจนและคาร์บอนที่วิเคราะห์ได้ในตำแหน่งของลำดับชั้นแท่งหินร่วมกับค่าอัตราส่วนของแคลเซียมต่อแมกนีเซียม ผลวิเคราะห์จากตัวอย่างหินก้อน (รูป 5.7) แสดงค่าไอโซโทปคงที่ของออกซิเจนที่มีทิศทางแนวโน้มลดลงไปทางตอนบนของแท่งลำดับชั้นหินของหมวดหินน้ำไหมพوار โดยในหมู่หินถ้าเสื้อหมอบซึ่งเป็นหมู่หินที่อยู่ล่างสุดมีผลการวิเคราะห์ค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  อยู่ในช่วงระหว่าง -7.38 ‰ ถึง -5.13 ‰ PDB มีค่าเฉลี่ยที่ -6.25 ‰ PDB แสดงทิศทางที่มีแนวโน้มลดค่าลงไปทางตอนบนของแท่งลำดับชั้นหินบริเวณตอนบนของหมู่หินถ้าเสื้อหมอบ มีค่าผิดปกติลดค่าแสดงให้เห็นบริเวณขอบเขตล่างของหมู่หินบ้านหนองหิน ซึ่งมีค่า  $\delta^{18}\text{O}$  ค่อนข้างคงที่และแสดงทิศทางการเพิ่มขึ้นไม่ชัดเจน โดยมีค่าระหว่าง -7.34 ถึง -6.87 ‰ PDB มีค่าเฉลี่ยที่ -7.01 ‰ PDB ค่าดังกล่าวมีการแกว่งตัวของค่าค่อนข้างสูง และลดค่าบริเวณขอบเขตบนของหมู่หิน ก่อนแสดงค่าเปรียบเทียบผิดปกติสูงอีกครั้งบริเวณตอนล่างของหมู่หินภูผาขาว ค่า  $\delta^{18}\text{O}$  ของหมู่หินภูผาขาวอยู่ในช่วงระหว่าง -9.95 ถึง -4.51 ‰ PDB เฉลี่ย -7.84 ‰ PDB ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำลงเป็นลำดับจากหมู่หินถ้าเสื้อหมอบและหมู่หินบ้านหนองหิน

ในการวิเคราะห์ค่า  $\delta^{13}\text{C}$  จากตัวอย่างหินก้อนแสดงความคล้ายคลึงกับค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  กล่าวคือ ค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  ของหมู่หินถ้าเสื้อหมอบมีค่าระหว่าง +4.13 ถึง +5.19 ‰ PDB เฉลี่ย +4.66 ‰ PDB มีทิศทางการลดลงไปทางตอนบนของหมู่หินเช่นเดียวกับค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  แต่ค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$

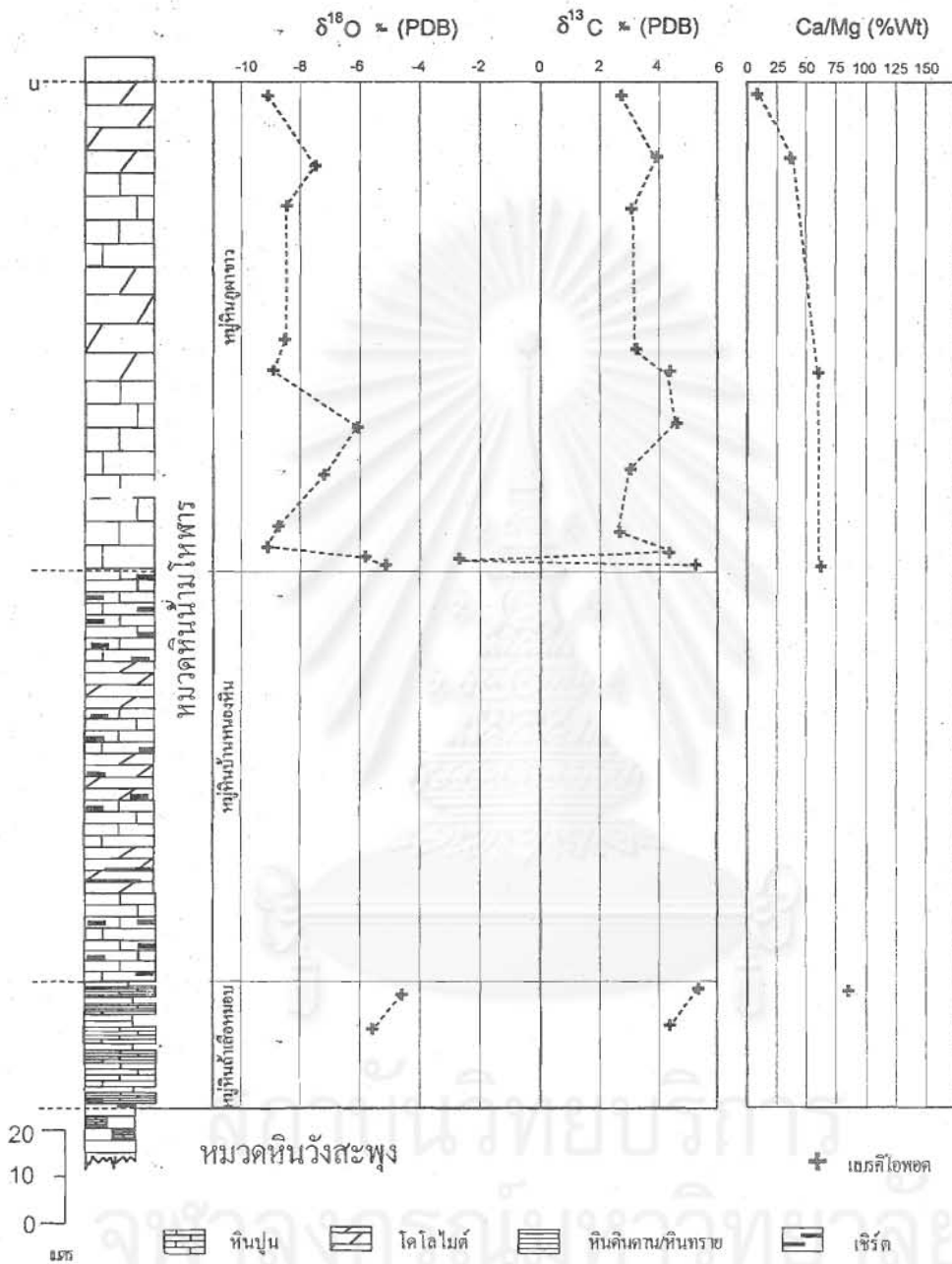




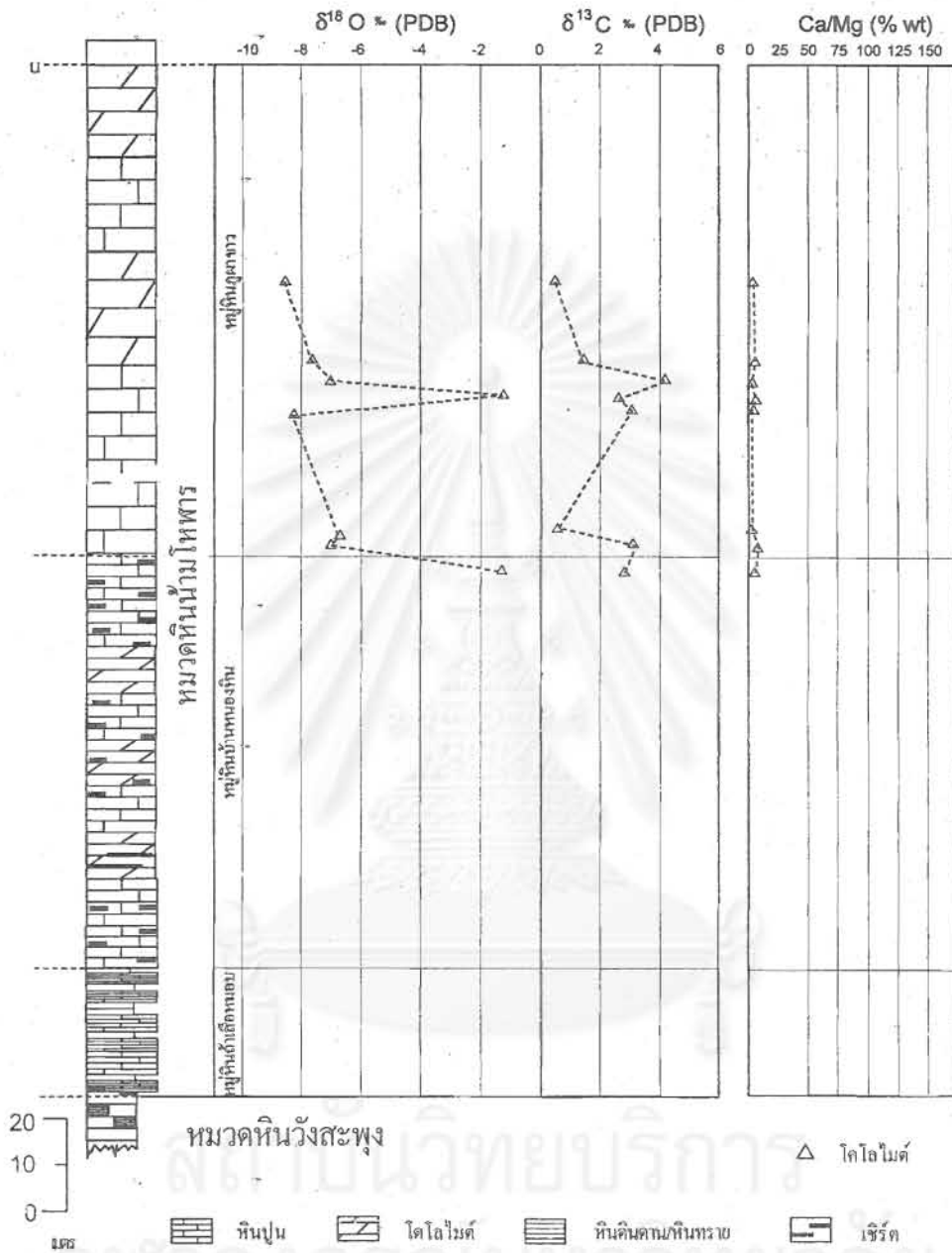
รูป 5.7 การแกว่งตัวของค่า  $\delta^{18}\text{O}$  และ  $\delta^{13}\text{C}$  ที่วิเคราะห์ได้จากตัวอย่างหินก้อนไปตามความลึก จำนวน 21 ตัวอย่าง แสดงค่าผิดปกติเกิดขึ้นในตอนบนของการลำดับชั้นหินของหมู่หินภูเขาขาว และค่าผิดปกติปรากฏบริเวณตอนล่างระหว่างรอยต่อของหมู่หินภูเขาขาวกับตอนบนของหมู่หินบ้านหนองหิน การเปลี่ยนแปลงค่ามีแนวโน้มสูงขึ้นจากตอนล่างหมู่หินบ้านหนองหินสู่ตอนบนหมู่หินถ้ำเสือหมอบ การเปรียบเทียบค่าสัดส่วนระหว่างแคลเซียมและแมกนีเซียมแสดงการแกว่งตัวและให้ค่าผิดปกติสูงทางตอนบนของลำดับหมู่หินภูเขาขาวเช่นเดียวกับค่าของ ไอโซโทป แต่ค่ามีแนวโน้มลดลงจากตอนล่างของหมู่หินบ้านหนองหินไปสู่หมู่หินถ้ำเสือหมอบ ภาพรวมแสดงการลดลงของค่าไอโซโทปไปทางตอนบนของแท่งลำดับชั้นหิน



รูป 5.8 จากลึกลับบรรพ์ฟอสซิลนิค จำนวน 16 ตัวอย่าง แสดงการแกว่งตัวของค่า  $\delta^{18}\text{O}$  และ  $\delta^{13}\text{C}$  โดยพบว่าตอนบนสุดของหมู่หินภูผาขาว มีค่าของไอโซโทปต่ำ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทางตอนล่างของแท่งลำดับทั้ง  $\delta^{18}\text{O}$  และ  $\delta^{13}\text{C}$  มีค่าต่ำโดยเฉพาะในหมู่หินบ้านหนองหิน และมีทิศทางเพิ่มขึ้นทางตอนล่างของลำดับ โดยค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  มีค่าสูงทางตอนบนของหมู่หินถ้ำเสือหมอบ ก่อนมีแนวโน้มในทิศทางลดลง แต่เมื่อพิจารณาตลอดแท่งลำดับชั้นหินถึงแม้ว่าจะมีการแกว่งตัวของค่าไอโซโทปเป็นบางช่วง แต่ค่าทั้งหมดค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงลำดับชั้นหิน ในการเทียบเคียงค่าอัตราส่วนของแคลเซียมต่อแมกนีเซียม ให้รูปแบบคล้ายคลึงค่าไอโซโทป โดยค่าดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงไปทางตอนบนของแท่งลำดับชั้นหิน



รูป 5.9 การแกว่งตัวของค่า  $\delta^{18}O$  และ  $\delta^{13}C$  ที่วิเคราะห์ได้จากซากดึกดำบรรพ์แบรคิโอพอด จำนวน 13 ตัวอย่าง ของหมวดหินน้ำโหฬาร ค่าของไอโซโทปทั้งคาร์บอน และออกซิเจน มีรูปแบบคล้ายคลึงกันมีค่าค่อนข้างคงที่  $\delta^{13}C$  แสดงค่าผิดปกติต่ำตอนล่างแท่งลำดับของหมู่หินภูผาขาว แต่ส่วนใหญ่ยังคงมีค่าคงที่ และมีแนวโน้มลดลงไปทางตอนบนของหมู่หินภูผาขาว อัตราส่วนของแคลเซียมต่อแมกนีเซียมมีแนวโน้มทิศทางการลดลงไปทางตอนบนของการลำดับชั้นหิน



รูป 5.10 ค่าการกระจายตัวตามแนวตั้งของ  $\delta^{18}\text{O}$  และ  $\delta^{13}\text{C}$  จากแร่โดโลไมต์ จำนวน 9 ตัวอย่างมีค่าลดลงไปทางตอนบนของลำดับชั้นหิน ค่าออกซิเจน และคาร์บอนไอโซโทปมีค่าผิดปกติเกิดขึ้นในระหว่างลำดับชั้นหินบริเวณตอนกลางของหมู่หินภูเขาขาว และแสดงค่าผิดปกติระหว่างรอยต่อด้านล่างของหมู่หินภูเขาขาวกับตอนบนของหมู่หินบ้านหนองหิน ในขณะที่อัตราส่วนระหว่างแคลเซียมต่อแมกนีเซียมมีค่าสม่ำเสมอ ไม่แสดงค่าผิดปกติตลอดช่วงการลำดับชั้นหิน

ดังกล่าวมีค่าคงที่ชั่วขณะก่อนมีค่าผิดปกติต่ำกว่าบริเวณขอบเขตล่างของหมู่หินบ้านหนองหิน ค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  มีค่าค่อนข้างคงที่ในหมู่หินบ้านหนองหิน มีค่าระหว่าง +4.38 ถึง +4.52 ‰ PDB เฉลี่ย +4.69 ‰ PDB ซึ่งสูงกว่าค่าเฉลี่ยในหมู่หินถ้ำเสือหมอบเล็กน้อย โดยมีค่าผิดปกติต่ำสุดแสดงให้เห็นอีกครั้งบริเวณขอบเขตล่างของหมู่หินภูผาขาว  $\delta^{18}\text{O}$  มีค่าสูงขึ้นและมีทิศทางลดลงก่อนมีค่าผิดปกติสูงทางตอนบนแล้วมีแนวโน้มลดลงไปทางขอบเขตบนสุดของหมู่หิน ค่า  $\delta^{13}\text{C}$  ของหมู่หินภูผาขาวอยู่ระหว่าง -7.06 ถึง +4.99 ‰ PDB เฉลี่ย +2.56 ‰ PDB ซึ่งเป็นค่าที่ลดลงและต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่วิเคราะห์ได้จากทั้งหมู่หินถ้ำเสือหมอบและหมู่หินบ้านหนองหินดังกล่าวแล้ว ค่าอัตราส่วนระหว่างแคลเซียมต่อแมกนีเซียมแสดงทิศทางเพิ่มขึ้นจากหมู่หินถ้ำเสือหมอบไปสู่หมู่หินบ้านหนองหินและหมู่หินภูผาขาวตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 45 ในหมู่หินถ้ำเสือหมอบ ค่าเฉลี่ยประมาณ 75 ในหมู่หินบ้านหนองหิน และเฉลี่ยประมาณ 90 ในหมู่หินภูผาขาว

ผลการวิเคราะห์ค่าไอโซโทปคงที่จากซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลินิดในหินคาร์บอนเนตหมวดหินน้ำโพนาร  $\delta^{18}\text{O}$  มีค่าค่อนข้างคงที่ ถึงแม้ว่าจะแสดงแนวโน้มในทิศทางลดลงไปทางตอนบนของลำดับแต่ไม่ชัดเจนมากนัก (รูป 5.8) ค่า  $\delta^{18}\text{O}$  ในหมู่หินถ้ำเสือหมอบอยู่ในช่วงระหว่าง -7.61 ถึง -5.8 ‰ PDB เฉลี่ย -6.58 ‰ PDB มีทิศทางเพิ่มขึ้นจากตอนล่างของแท่งลำดับ แต่มีค่าลดลงสู่ตอนล่างของหมู่หินบ้านหนองหินและมีทิศทางลดลงไปทางตอนกลางของแท่งลำดับก่อนเพิ่มขึ้นไปทางตอนบนเข้าสู่ขอบเขตตอนล่างของหมู่หินภูผาขาว ค่า  $\delta^{18}\text{O}$  ของหมู่หินบ้านหนองหินมีค่าตั้งแต่ -8.88 ถึง -6.52 ‰ PDB เฉลี่ย -7.7 ‰ PDB หมู่หินภูผาขาวแสดงการเพิ่มขึ้นลำดับน้อย ๆ ของค่า  $\delta^{18}\text{O}$  ไปทางตอนบนของแท่งลำดับชั้นหินและแสดงค่าผิดปกติสูงก่อนมีทิศทางลดลงไปทางตอนบนสุดของแท่งลำดับชั้นหิน  $\delta^{18}\text{O}$  ของหมู่หินภูผาขาว มีค่าในช่วงระหว่าง -9.11 ถึง -4.61 ‰ PDB มีค่าเฉลี่ย -7.41 ‰ PDB ในการเทียบเคียงค่า  $\delta^{13}\text{C}$  ที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากตัวอย่างชุดเดียวกันนี้ พบว่า  $\delta^{13}\text{C}$  มีรูปแบบการกระจายตัวในทำนองเดียวกันกับค่าของ  $\delta^{18}\text{O}$  กล่าวคือ ในหมู่หินถ้ำเสือหมอบแสดงค่าของ  $\delta^{13}\text{C}$  ตั้งแต่ +3.51 ถึง +4.99 ‰ PDB มีค่าเฉลี่ย ที่ +4.17 ‰ PDB และมีค่าลดต่ำในหมู่บ้านหนองหิน ซึ่งมีค่าระหว่าง -0.42 ถึง +2.98 ‰ PDB มีค่าเฉลี่ยที่ +1.28 ‰ PDB ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของหมู่หินบ้านหนองหิน และพบว่าค่า  $\delta^{18}\text{C}$  มีค่าสูงขึ้นในหมู่หินภูผาขาว มีค่าตั้งแต่ +1.26 ถึง +5.71 ‰ PDB มีค่าเฉลี่ย +3.92 ‰ PDB และแสดงค่าผิดปกติต่ำกว่าบริเวณตอนกลางของแท่งลำดับชั้นหิน ก่อนการเพิ่มขึ้นและมีทิศทางลดลงไปทางตอนบนสุดของแท่งลำดับชั้นหิน การเทียบเคียงกับค่าอัตราส่วนของแคลเซียมต่อแมกนีเซียม แสดงค่าต่ำ (ประมาณ 55) บริเวณตอนล่างของหมู่หินถ้ำเสือหมอบและ

มีทิศทางเพิ่มขึ้นทางตอนกลางของหมู่หินบ้านหนองหิน (ประมาณ 130 ) ก่อนแสดงทิศทางลดลง เมื่อเข้าสู่หมู่หินภูเขาขาวเฉลี่ยประมาณ 75 โดยพบว่าการแสดงค่าผิดปกติสูง (170) บริเวณช่วงล่างของหมู่หินภูเขาขาวแล้วจึงมีค่าลดลงจนถึง 25 ทางตอนบนของหมู่หินภูเขาขาว ค่าอัตราส่วนของแคลเซียมต่อแมกนีเซียมของหมวดหินน้ำมโหฬารแสดงทิศทางลดลงไปทางตอนบนของลำดับ ในขณะที่  $\delta^{18}\text{O}$  และ  $\delta^{13}\text{C}$  มีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอ คงที่หรือลดลงน้อย ๆ โดยแสดงให้เห็นความแตกต่างของค่าที่ปรากฏในแต่ละหมู่หิน

ผลการวิเคราะห์  $\delta^{18}\text{O}$  และ  $\delta^{13}\text{C}$  จากแบรคิโอพอดในหินคาร์บอนेट เป็นค่าที่วิเคราะห์ได้จากตำแหน่งตัวอย่างที่ปรากฏในหมู่หินภูเขาขาวเป็นส่วนใหญ่และบางส่วนทางตอนบนของหมู่หินถ้าเสือหมอบ (รูป 5.9) ผลวิเคราะห์ค่า  $\delta^{18}\text{O}$  ในหมู่หินคาร์บอนेटถ้าเสือหมอบแสดงค่า  $\delta^{18}\text{O}$  เพิ่มขึ้นไปทางตอนบนของหมู่หินตามแท่งลำดับชั้นหิน โดยมีค่าตั้งแต่ -5.68 ถึง -5.16 ‰ PDB เฉลี่ย -5.42 ‰ PDB ส่วนในหมู่หินภูเขาขาวแสดงค่าในระหว่าง -8.86 ถึง -5.34 ‰ PDB เฉลี่ยที่ -7.49 ‰ PDB ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่าค่าในหมู่หินถ้าเสือหมอบ และแสดงค่าผิดปกติต่ำบริเวณตอนล่างของหมู่หิน และมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอ จนกระทั่งมีแนวโน้มในทิศทางลดลงไปทางตอนบนสุดของหมู่หิน ค่า  $\delta^{18}\text{O}$  เหล่านี้สอดคล้องคล้ายคลึงกับรูปแบบของ  $\delta^{13}\text{C}$  โดย  $\delta^{13}\text{C}$  ที่วิเคราะห์ได้ในหมู่หินถ้าเสือหมอบมีค่าในระหว่าง +4.08 ถึง +5.63 ‰ PDB ค่าเฉลี่ย +4.85 ‰ PDB และมีค่าตั้งแต่ -3.22 ถึง +5.64 ‰ PDB เฉลี่ย +3.31 ‰ PDB ในหมู่หินภูเขาขาว ซึ่งน่าจะสามารบ่งได้ถึงทิศทางที่มีค่าลดลงตามแท่งลำดับชั้นหินจากลำดับล่างขึ้นไปด้านบน การเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนแคลเซียมต่อแมกนีเซียมมีทิศทางที่มีแนวโน้มลดลงจากลำดับล่างขึ้นบนตามแท่งลำดับชั้นหินเช่นกัน โดยมีค่าสูงประมาณ 90 ในหมู่หินถ้าเสือหมอบ และมีค่าต่ำประมาณ 10 ทางตอนบนของหมู่หินภูเขาขาว

ในการศึกษาไอโซโทปคงที่ในหินโคลไลไมต์ เป็นการศึกษาบริเวณตอนบนของหมู่หินบ้านหนองหินต่อเนื่องตามแท่งลำดับชั้นหินเข้าสู่หมู่หินภูเขาขาว (รูป 5.10) โดยพบว่า ทั้งค่า  $\delta^{18}\text{O}$  และ  $\delta^{13}\text{C}$  มีค่าต่ำบริเวณใกล้ขอบเขตบนของหมู่หินบ้านหนองหิน โดยมีค่า  $\delta^{18}\text{O}$  เฉลี่ย -1.55 ‰ PDB และมีค่า  $\delta^{13}\text{C}$  เฉลี่ย +2.99 ‰ PDB ค่าทั้งสองแสดงการลดต่ำอย่างทันทีบริเวณขอบเขตล่างของหมู่หินภูเขาขาว โดย  $\delta^{18}\text{O}$  มีทิศทางลดลงน้อย ๆ ไปทางด้านบนของลำดับแท่งหิน ในขณะที่ค่า  $\delta^{13}\text{C}$  มีทิศทางเพิ่มขึ้นก่อนแสดงการลดลงไปทางด้านบนของการลำดับเช่นเดียวกัน  $\delta^{18}\text{O}$  ในหมู่หินภูเขาขาวมีค่าระหว่าง -8.41 ถึง -1.02 ‰ PDB ค่าเฉลี่ย -6.78 ‰ PDB และมีค่า  $\delta^{13}\text{C}$



ในระหว่าง +0.45 ถึง +4.16 ‰ PDB เฉลี่ย +2.42 ‰ PDB ส่วนค่าอัตราส่วนของแคลเซียมต่อแมกนีเซียม แสดงอัตราส่วนคงที่ ในระหว่าง 0 ถึง 10 ตลอดแนวแท่งลำดับชั้นหิน

### 5. 5. 2 ค่าความเป็นเกลือ (Salinity)

การศึกษาสภาวะความเป็นเกลือของน้ำทะเลจากความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของไอโซโทปที่ระเหยและคงเหลือจากแหล่งสะสมเป็นที่นิยมค่อนข้างแพร่หลาย โดยสามารถตรวจวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของออกซิเจนไอโซโทปได้ ตามหลักการทั่วไปเบื้องต้นดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 5.2

$\delta^{18}\text{O}$  และค่า  $\delta\text{D}$  ของน้ำมหาสมุทรมีค่าในทิศทางเข้าใกล้ศูนย์ และมีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงจำกัดแคบ ๆ ซึ่งสามารถแสดงค่าความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (Faure, 1986)

$$\delta\text{D} = M\delta^{18}\text{O}$$

โดยค่า M เป็นค่าความชันเชิงเส้นที่มีค่าลดลง ตามการเพิ่มของอัตราส่วนของการระเหยและสะสมตัว มีค่าเฉพาะในแต่ละพื้นที่ โดย M มีค่า = 7.5 ในแปซิฟิกเหนือ มีค่า = 6.5 ในแอตแลนติกเหนือ และมีค่า = 6.0 ในทะเลแดง

การศึกษา  $\delta^{18}\text{O}$  เมื่อเปรียบเทียบกับค่าของความเป็นเกลือ แสดงความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยการเทียบเคียงกับการศึกษาบริเวณทะเลแดง โดย Epstein และ Mayeda (1953), Craig และ Gordon (1965) ซึ่งแสดงค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นได้ดังสมการ

$$\delta^{18}\text{O} = -21 + 0.61 S$$

S คือค่าความเป็นเกลือในหน่วยต่อพันส่วน (‰)

ในการคำนวณค่าความเป็นเกลือโดยอาศัยความสัมพันธ์ดังกล่าว พบว่าการวิเคราะห์ตัวอย่างหินคาร์บอนेटหมวดหินน้ำโพาพามีสภาวะการสะสมตะกอนมีค่าความเป็นเกลือของน้ำในช่วงระหว่าง 18.44 ถึง 33.08 ‰ ซึ่งในการเทียบเคียงกับค่า  $\delta\text{D}$  (มีค่าประมาณ -154.8 ‰ ในกรณีที่มีการปนเปื้อนด้วยน้ำจืด- Faure, 1986). เป็นการสะสมจากน้ำทะเลที่ไม่มี การปนเปื้อน

จากน้ำจืด แต่ค่าความเป็นเกลือดังกล่าว เมื่อเทียบเคียงกับค่าที่ได้จัดไว้โดย Flugel (1982) ซึ่งได้กำหนดค่าความเป็นเกลือของน้ำกร่อยอยู่ที่ระหว่าง 10 ‰ ถึง 20 ‰ และให้ค่าความเป็นเกลือของสมุทร (marine) ตั้งแต่ 20 ‰ ขึ้นไป โดยได้กำหนดสมุทรปกติ (normal marine) ไว้ที่ค่าความเป็นเกลือในระหว่าง 30 ‰-40 ‰ ค่าความเป็นเกลือของน้ำในการสะสมตัวของหมวดหินน้ำมโหฬารที่คำนวณได้จากค่าไอโซโทปมีค่าในช่วงระหว่าง 18.44 ถึง 33.08 ‰ จึงเป็นค่าที่อยู่ในช่วงของสภาวะแวดล้อมสมุทรและมีค่าของความเป็นเกลือต่ำลงมาอยู่ในบางช่วงของน้ำกร่อย (brackish water) ในขณะที่ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในช่วงสมุทรถึงสภาวะแวดล้อมสมุทรปกติ (normal marine environment) ในตาราง 5.5 แสดงค่าเฉลี่ยความเป็นเกลือของแต่ละหมู่หิน ซึ่งมีค่าค่อนข้างสม่ำเสมอใกล้เคียงกันและแสดงแนวโน้มของความเป็นเกลือลดลงไปทางด้านบนของลำดับชั้นหิน

ค่าความเป็นเกลือซึ่งคำนวณได้จากสมการของความสัมพันธ์ดังกล่าวแล้ว จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่างหินก้อน (ดูตาราง 5.1 และ 5.5 ประกอบ) พบว่าค่าความเป็นเกลืออยู่ในช่วงระหว่าง 18.44 ถึง 27.36 ‰ ค่าเฉลี่ย 22.44 ‰ โดยในหมู่หินถ้ำเสือหมอบ มีค่าความเป็นเกลือเฉลี่ย 22.4 ‰ หมู่หินบ้านหนองหินมีค่าความเป็นเกลือของน้ำระหว่าง 19.34 ถึง 25.80 ‰ มีค่าเฉลี่ย 22.55 ‰ และค่าความเป็นเกลือที่คำนวณได้จากค่าไอโซโทปของหมู่หินภูผาขาว อยู่ทีระหว่าง 18.44 ถึง 27.36 ‰ โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 22.07 ‰

ค่าความเป็นเกลือที่คำนวณได้จากผลการวิเคราะห์ค่าไอโซโทปของซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลในหินคาร์บอนेट (ดูตาราง 5.2 และ 5.5) มีค่าในช่วงระหว่าง 19.82 ถึง 27.20 ‰ มีค่าเฉลี่ย 22.89 ‰ โดยพบว่า ในหมู่หินถ้ำเสือหมอบมีค่าความเป็นเกลือในระหว่าง 22.28 ถึง 24.85 ‰ มีค่าเฉลี่ย 23.73 ‰ หมู่หินบ้านหนองหินมีค่าระหว่าง 20.20 ถึง 24.07 ‰ มีค่าเฉลี่ย 22.13 ‰ และค่าความเป็นเกลือของหมู่หินภูผาขาวมีค่าระหว่าง 19.82 ถึง 27.20 ‰ มีค่าเฉลี่ยที่ 22.59 ‰

ผลการวิเคราะห์ซากดึกดำบรรพ์แบคทีโอพอด (ดูตาราง 5.3 และ 5.5 ประกอบ) พบว่ามีค่าความเป็นเกลือในช่วงระหว่าง 20.30 ถึง 26.36 ‰ มีค่าเฉลี่ย 22.93 ‰ ในหมู่หินถ้ำเสือหมอบมีค่า 25.51 ถึง 26.36 ‰ มีค่าเฉลี่ย 25.93 ‰ ส่วนในหมู่หินภูผาขาวสามารถคำนวณค่าความเป็นเกลือจากค่าไอโซโทปได้ในช่วงระหว่าง 20.30 ถึง 26.07 ‰ มีค่าเฉลี่ย 22.53 ‰

การคำนวณค่าความเป็นเกลือจากผลวิเคราะห์ไอโซโทปของแร่โคโลไมต์ (ตาราง 5.4 และ 5.5) พบว่ามีค่าความเป็นเกลือในระหว่าง 20.97 ถึง 33.08 ‰ โดยมีค่าเฉลี่ย 24.58 ‰ ใน

ตาราง 5. 5 ค่าเฉลี่ยระดับความเป็นเกลือ ที่คำนวณได้จากค่าไอโซโทปของหินคาร์บอนเนต  
ยุคเพอร์เมียน เลข-หนองบัวลำภู

หมู่หิน	ค่าความเป็นเกลือต่อพันส่วน ( %o )				ค่าเฉลี่ย
	หินก้อน	ฟูซูลินิค	แบรคิโอพอด	โคโลไมต์	
ภูเขาขาว	22.07	22.59	22.53	23.62	22.7
บ้านหนองหิน	22.55	22.13		32.21	25.63
ถ้ำเสือหมอบ	22.4	23.73	25.93		24.02
				ค่าเฉลี่ย	24.12

ผลวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมด 59 ตัวอย่าง

ตาราง 5. 6 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิบรรพกาล ที่คำนวณได้จากค่าไอโซโทปของหิน  
คาร์บอนเนตยุคเพอร์เมียน เลข-หนองบัวลำภู

หมู่หิน	อุณหภูมิ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ( °C )				ค่าเฉลี่ย
	หินก้อน	ฟูซูลินิค	แบรคิโอพอด	โคโลไมต์	
ภูเขาขาว	57.44	55.49	55.36	52.05	55.08
บ้านหนองหิน	55.53	57.13		23.72	45.46
ถ้ำเสือหมอบ	48.42	50.23	49.44		49.36
				ค่าเฉลี่ย	49.96

ผลวิเคราะห์ตัวอย่างทั้งหมด 59 ตัวอย่าง

หมู่หินบ้านหนองหินมีค่าความเป็นเกลือ 32.21 ‰ ในขณะที่หมู่หินภูผาขาวมีค่าความเป็นเกลือของตัวกลางในระหว่าง 20.97 ถึง 33.08 ‰ และมีค่าเฉลี่ย 23.62 ‰ ตามลำดับ

### 5. 5. 3 อุณหภูมิบรรพกาล (Paleotemperature)

การศึกษาอุณหภูมิบรรพกาลของมหาสมุทรโบราณโดยวัดค่าการแตกตัวของออกซิเจนไอโซโทประหว่างแคลเซียมคาร์บอเนตกับน้ำนั้น มีการนำเสนอแนวความคิดโดย Urey และคณะ แห่งมหาวิทยาลัยชิคาโก สหรัฐอเมริกาในปี 1947 (Bowen, 1966) โดยแนวความคิดนี้ได้มีการพัฒนามาตามลำดับ และพบว่าการวิเคราะห์ออกซิเจนไอโซโทปจากคาร์บอเนตเพื่อหาอุณหภูมิบรรพกาลเป็นเทคนิคที่ใช้ได้ดีในการประยุกต์กับการศึกษาจากโครงร่างของสิ่งมีชีวิต (organism) (Bowen, 1966) ถึงแม้ว่าการศึกษาโดยทั่วไปมักเกี่ยวข้องกับคาร์บอเนตยุคใหม่ๆ หรือคาร์บอเนตที่มีอายุอยู่ในช่วงระยะ 10,000 ปี (Holocene) หรือคาร์บอเนตที่มีอายุในระหว่าง 1.6 ล้านปี (Pleistocene Carbonate) ที่มาจากสถานะแวดล้อมน้ำตื้น แต่การศึกษาในหินปูนดึกดำบรรพ์ก็ยังคงมีการศึกษาอยู่เช่นกัน โดยส่วนมากในแถบยุโรปและอเมริกา ส่วนในแถบเอเชียแปซิฟิกมีการศึกษาเช่นในประเทศจีนหรือในประเทศรัสเซีย (เช่น Zakharov และคณะ, 1997) หรือการศึกษาแถบทัสเมเนีย เช่นการศึกษาโดย Rao (1996, 1997) หรือการศึกษาหินยุคออร์โดวิเซียน (คาร์บอเนตอายุประมาณ 500 ล้านปี) ทางภาคใต้ของประเทศไทย โดยธนีสร์ วงศ์วานิช (1990) เป็นต้น

สมการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำและค่าอัตราส่วนของออกซิเจนไอโซโทปซึ่งมีการปรับปรุงโดย Craig (1965) ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการหาอุณหภูมิของมหาสมุทร จากอัตราส่วนของออกซิเจนไอโซโทป ที่ตรวจวิเคราะห์ได้จากซากสิ่งมีชีวิตของแคลเซียมคาร์บอเนตตามความสัมพันธ์แสดงในสมการ (Faure, 1986)

$$t^{\circ}\text{C} = 16.9 - 4.2 (\delta_c - \delta_w) + 0.13 (\delta_c - \delta_w)^2$$

$\delta_c$  คือ ค่าอัตราส่วนของออกซิเจนไอโซโทป 18 / 16 จากคาร์บอนไดออกไซด์ที่ตรวจวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องวัดมวลสาร (mass spectrometer) จากการย่อยละลายคาร์บอเนตในกรดฟอสฟอริก ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

$\delta_w$  คือ ค่าอัตราส่วนของออกซิเจนไอโซโทป 18/16 จากคาร์บอนไดออกไซด์ ที่กำหนดไว้ที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสซึ่งคาร์บอนเนตมีการสะสมตัวและสามารถตรวจวัดได้ จากเครื่องวัดมวลสาร ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ในการหาอุณหภูมิของน้ำโดยการกำหนดจากค่า  $\delta^{18}\text{O}$  ของคาร์บอนเนต ในการศึกษาในบริเวณ ทัสเมเนีย (Tasmania) นั้น Rao (1996) ใช้การเปรียบเทียบตามสมการของ Shackleton (1970) โดยมีการกำหนดใช้ค่าของ  $\delta_w = 0$  (ในน้ำปรกติ) และ  $\delta_w = -1$  (ในบริเวณที่มีการรบกวนจากกระแสการถ่ายเทย้อนกลับจากน้ำระดับลึก (upwelling water) โดยแสดงความสัมพันธ์ดังสมการ

$$t^{\circ}\text{C} = 16.9 - 4.39 (\delta_c - \delta_w) + 0.10 (\delta_c - \delta_w)^2$$

ผลวิเคราะห์ค่า  $\delta^{18}\text{O}$  ของตัวอย่างหินคาร์บอนเนตหมวดหินน้ำมโหฬาร (ดูตาราง 5.1 ถึง 5.4) เมื่อนำมาคำนวณหาค่าอุณหภูมิของน้ำได้ค่าอุณหภูมิตั้งแต่ 21.32 ถึง 71.56 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) ตามสมการของ Faure (1986) และได้ค่าอุณหภูมิของน้ำเฉลี่ยในช่วงระหว่าง 21.48 ถึง 70.48  $^{\circ}\text{C}$  เมื่อกำหนดด้วยการเทียบค่าตามสมการที่ศึกษาโดย Rao(1996) จากการคำนวณค่าอุณหภูมิของน้ำจากทั้งสองความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันประมาณ  $\pm 1.5$  องศาเซลเซียส โดยในการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทั้งหมด กล่าวได้ว่าหินคาร์บอนเนตในพื้นที่ศึกษาวิจัยมีค่าเฉลี่ยในช่วงของอุณหภูมิระหว่าง 45.46 ถึง 55.08 องศาเซลเซียส (ดูตาราง 5.6 ) โดยมีแนวโน้มของอุณหภูมิสูงขึ้นไปทางด้านบนของการลำดับชั้นหิน

การคำนวณหาค่าอุณหภูมิจากผลวิเคราะห์ไอโซโทปของตัวอย่างหินก้อน (ดูตาราง 5.1 และ 5.6 ประกอบ) แสดงค่าอุณหภูมิในระหว่าง 38.49 ถึง 71.56 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) เฉลี่ย 63.27  $^{\circ}\text{C}$  (หรือ 38.73 ถึง 71.56  $^{\circ}\text{C}$  เฉลี่ย 62.61  $^{\circ}\text{C}$ ) หมู่หินภูผาขาวมีค่าอุณหภูมิในระหว่าง 38.49 ถึง 71.56  $^{\circ}\text{C}$  เฉลี่ย 57.44  $^{\circ}\text{C}$  (หรือระหว่าง 38.73 ถึง 70.48  $^{\circ}\text{C}$  โดยมีค่าเฉลี่ย 57.04  $^{\circ}\text{C}$ ) หมู่หินบ้านหนองหินมีค่าอุณหภูมิที่คำนวณได้ในช่วงระหว่าง 43.71 ถึง 65.9  $^{\circ}\text{C}$  (หรือ 43.85 ถึง 64.94  $^{\circ}\text{C}$ ) โดยมีค่าเฉลี่ย 55.53  $^{\circ}\text{C}$  (55.25  $^{\circ}\text{C}$ ) และในหมู่หินถ้าเสือหมอบมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 41.87 ถึง 54.98  $^{\circ}\text{C}$  (หรือ 42.05 ถึง 54.74  $^{\circ}\text{C}$ ) เฉลี่ย 48.42  $^{\circ}\text{C}$  (48.39  $^{\circ}\text{C}$ )

การคำนวณอุณหภูมิจากผลวิเคราะห์ไอโซโทปของซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลในหินคาร์บอนเนต (ตาราง 5.2 และ 5.6) พบว่ามีค่าอุณหภูมิในช่วงระหว่าง 39.02 ถึง 65.95  $^{\circ}\text{C}$  (หรือ 39.26

ถึง  $65.19^{\circ}\text{ซ}$ ) โดยมีค่าเฉลี่ย  $55.96^{\circ}\text{ซ}$  ( $55.64^{\circ}\text{ซ}$ ) หมู่หินถ้ำเสือหอบค่านวณค่าอุณหภูมิได้ในช่วงระหว่าง  $45.63$  ถึง  $56.39^{\circ}\text{ซ}$  (หรือ  $45.73$  ถึง  $56.10^{\circ}\text{ซ}$ ) มีค่าเฉลี่ยที่  $50.23^{\circ}\text{ซ}$  ( $50.17^{\circ}\text{ซ}$ ) หมู่หินบ้านหนองหินมีค่าอุณหภูมิในช่วงระหว่าง  $49.81$  ถึง  $64.45^{\circ}\text{ซ}$  (หรือ  $49.77$  ถึง  $63.77^{\circ}\text{ซ}$ ) เฉลี่ย  $57.13^{\circ}\text{ซ}$  ( $56.77^{\circ}\text{ซ}$ ) และค่าอุณหภูมิของหมู่หินภูผาขาว ค่านวณได้ค่าในช่วงระหว่าง  $39.02$  ถึง  $65.95^{\circ}\text{ซ}$  (หรือ  $39.26$  ถึง  $65.19^{\circ}\text{ซ}$ ) มีค่าเฉลี่ย  $55.49^{\circ}\text{ซ}$  ( $55.18^{\circ}\text{ซ}$ )

การค่านวณอุณหภูมิจากค่าไอโซโทปที่วิเคราะห์ได้จากซากดึกดำบรรพ์แบรคิโอพอด (ดูตาราง 5.3 และ 5.6) พบว่ามีค่าอุณหภูมิในระหว่าง  $42.03$  ถึง  $64.32^{\circ}\text{ซ}$  (หรือ  $42.21$  ถึง  $63.65^{\circ}\text{ซ}$ ) ค่าเฉลี่ย  $54.50^{\circ}\text{ซ}$  ( $54.23^{\circ}\text{ซ}$ ) โดยในหมู่หินถ้ำเสือหอบมีค่าในระหว่าง  $42.03$  ถึง  $61.35^{\circ}\text{ซ}$  (หรือระหว่าง  $42.21$  ถึง  $60.83^{\circ}\text{ซ}$ ) มีค่าเฉลี่ย  $49.44^{\circ}\text{ซ}$  ( $49.36^{\circ}\text{ซ}$ ) ในหมู่หินภูผาขาวสามารถค่านวณอุณหภูมิได้ในช่วงระหว่าง  $43.04$  ถึง  $64.32^{\circ}\text{ซ}$  (หรือ  $43.19$  ถึง  $63.65^{\circ}\text{ซ}$ ) และมีค่าเฉลี่ย  $55.36^{\circ}\text{ซ}$  ( $55.07^{\circ}\text{ซ}$ )

การค่านวณอุณหภูมิของค่าไอโซโทปที่วิเคราะห์ได้จากโคโลไมต์ (ตาราง 5.4 และ 5.6) มีค่าในระหว่าง  $21.32$  ถึง  $61.42^{\circ}\text{ซ}$  เฉลี่ย  $58.35^{\circ}\text{ซ}$  (หรือ ระหว่าง  $21.48$  ถึง  $60.89^{\circ}\text{ซ}$  เฉลี่ย  $57.97^{\circ}\text{ซ}$ ) โดยค่าค่านวณจากหมู่หินบ้านหนองหินมีค่าระหว่าง  $23.72$  หรือ  $23.94^{\circ}\text{ซ}$  ในขณะที่การค่านวณค่าอุณหภูมิจากไอโซโทปของโคโลไมต์จากหมู่หินภูผาขาวได้ค่าในระหว่าง  $21.32$  ถึง  $61.42^{\circ}\text{ซ}$  (หรือ  $21.48$  ถึง  $60.89^{\circ}\text{ซ}$ ) โดยมีค่าเฉลี่ย  $52.05^{\circ}\text{ซ}$  (หรือ  $51.81^{\circ}\text{ซ}$ )

หมายเหตุ : ค่าอุณหภูมิเป็นค่าการค่านวณตามสมการของ Faure (1986) และค่าอุณหภูมิที่แสดงในวงเล็บเป็นค่าการค่านวณได้จากสมการของ Rao(1996).

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 6

### อภิปรายผล (Discussion)

การวิจัยถึงสภาวะแวดล้อมของการสะสมตะกอนของหินคาร์บอเนตในพื้นที่ศึกษา ด้านตะวันออกของจังหวัดเลยและหนองบัวลำภู ซึ่งเป็นพื้นที่ครอบคลุมด้วยชานชาลาคาร์บอเนต (carbonate platform) ของหมวดหินน้ำมโหฬารตามการกำหนดชื่อไว้ใน Lexicon of Stratigraphic Names of Thailand (Department of Mineral Resources, 1992) ในการสำรวจภาคสนาม สามารถจำแนกลักษณะปรากฏของหินคาร์บอเนตออกเป็น 3 หมู่หิน ได้แก่หมู่หินถ้ำเสือหมอบ หมู่หินบ้านหนองหิน และหมู่หินภูผาขาว ตามลำดับแท่งหินจากล่างขึ้นบน และพบว่าหมู่หินทางตอนล่างของหมวดหินน้ำมโหฬารหรือหมู่หินถ้ำเสือหมอบมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะตามแนวราบ (lateral facies change) และเกยซ้อน (overlap) กับหมวดหินวังสะพุงซึ่งเป็นตะกอนเม็ดส่วนใหญ่ และมีลำดับการวางตัวทางด้านล่างของหมู่หินถ้ำเสือหมอบอีกทีหนึ่ง จากลักษณะปรากฏของหิน ทำให้ทราบว่าส่วนประกอบตะกอนเม็ดเปลี่ยนแปลงไปเป็นตะกอนคาร์บอเนตซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนสภาวะแวดล้อมการสะสมตะกอนจากชายฝั่งไปสู่ทะเลได้

ลำดับของแท่งหินตามแนวดิ่งแสดงความสัมพันธ์ของการเพิ่มปริมาณและความหนาของคาร์บอเนตขึ้นไปทางตอนบนจนกระทั่งมีความหนามากที่สุดและเป็นหินคาร์บอเนตทั้งหมดอยู่ในหมู่หินภูผาขาวซึ่งเป็นหมู่หินตอนบนสุดของหมวดหินน้ำมโหฬาร (ดูรูป 4.2) ซึ่งถูกปิดทับด้วยหมวดหินห้วยหินลาดซึ่งเป็นหินกรวดมนที่ประกอบไปด้วยกรวดของหินปูนและหินภูเขาไฟเป็นส่วนใหญ่โดยมีความสัมพันธ์กันแบบรอยชั้นไม่ต่อเนื่อง ลักษณะเช่นนี้อาจบ่งบอกได้ถึง การเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมอย่างทันทีทันใด โดยการยกตัวของแผ่นดินจากการแทรกดันของหินภูเขาไฟ หรือการลดลงของระดับน้ำทะเลอย่างรวดเร็ว หรือเป็นผลร่วมกันทั้งสองอย่าง

ลักษณะปรากฏของคาร์บอเนตทั้งสามหมู่หินของหมวดหินคาร์บอเนตน้ำมโหฬารในพื้นที่ศึกษาแสดงถึงลักษณะการสะสมตัวต่อเนื่องในสภาวะแวดล้อมทะเลตื้นใกล้ฝั่งของบริเวณที่มี กระแสคลื่นหรือการขึ้นลงของระดับน้ำ (peritidal environment) ตั้งแต่เขตการขึ้นลงของระดับน้ำ (intertidal) และในพื้นที่ใต้ระดับการลดลงของน้ำต่ำสุด (subtidal) ทั้งนี้ยืนยันได้จากลักษณะปรากฏต่าง ๆ เช่นเม็ดแบบไขปลา (oolite) และแนวแถบชั้นบางสาหร่าย (algal stromatolite หรือ algal lamination) ซึ่งมีเม็ดแร่ควอร์ตซ์เล็ก ๆ ปะปนอยู่ในปริมาณไม่มากนักซึ่งบ่งได้ถึงอิทธิพลของคลื่น และใกล้แผ่นดินและน้ำทะเลตื้น เศษซากดึกดำบรรพ์ที่มีการแตกหักและอินทราคลาสต์ (intraclast)

แสดงลักษณะของการถูกพัดพาจากที่พลังงานสูงกว่ามาสะสมตัวในบริเวณพลังงาน ต่ำกว่าซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าไม่ไกลจากแหล่งเดิม ลักษณะปรากฏของอินทราคลาสต์และเศษซากดึกดำบรรพ์แตกหักเหล่านี้ปรากฏให้เห็นได้ในเนื้อหินของหมู่หินบ้านหนองหิน นอกจากนี้ยังมีลักษณะปรากฏทางตะกอนวิทยาภายใต้แผ่นหินบาง เช่นซากดึกดำบรรพ์แสดงตัวสมบูรณ์และลักษณะปรากฏเม็ดกลมเล็ก (peloids) ซึ่งบ่งชี้ได้ถึงการสะสมตะกอนคาร์บอนเนตแบบอยู่กับที่ในแหล่ง (autothous) และเม็ดกลมเล็กโดยทั่วไปแสดงถึงสภาวะแวดล้อมแบบลากูน (lagoon) โดยลักษณะเหล่านี้ปรากฏอยู่ในเนื้อหินทางตอนบนของหมู่หินถ้ำเสือหมอบ

การจัดลำดับชั้นตามลักษณะปรากฏตะกอนเหล่านี้แสดงได้ถึงลำดับชั้นหินคาร์บอนเนตที่มีการลดลงของระดับน้ำ (regression sequence) ตามลำดับจากปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัส (จีเลียน) ขึ้นมาถึงช่วงปลายของต้นยุคเพอร์เมียน (ยาทาเซีย) โดยอาศัยหลักฐานจากการลำดับชั้นหินตั้งแต่ยุคคิโวเนียนซึ่งพบหินเชิร์ต (Pak Chom Chert) ที่มีเรดิโอราเรีย ทำให้คิดว่าบางส่วนของหมวดหินดังกล่าวแสดงสภาพแวดล้อมการตกตะกอนแบบน้ำลึก (Bunopas, 1981; Bunopas และ Vella, 1983; Bunopas และ Vella, 1992; Chairangsee และคณะ 1990) ซึ่งต่อมาในช่วงคาร์บอนิเฟอรัสพบหินตะกอนเม็ดเนื้อละเอียดเป็นส่วนใหญ่ (หมวดหินวังสะพุง) ซึ่งแสดงลักษณะการตกตะกอนแบบน้ำตื้นข้างลึก และต่อมาในช่วงคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลายจากการศึกษารังสีพบว่าชั้นหินส่วนใหญ่เป็นการเรียงลำดับจากหินตะกอนเนื้อละเอียดสลับหินปูน (หมู่หินถ้ำเสือหมอบ) ไปเป็นหินปูนที่หินเชิร์ตปะปน (หมู่หินบ้านหนองหิน) และกลายเป็นหินคาร์บอนเนตส่วนใหญ่ (หมู่หินภูผาขาว) จึงแสดงถึงภาวะการสะสมตัวแบบน้ำตื้น ๆ ตื้นขึ้นตามลำดับ ช่วงเวลาดังกล่าวนี้กำหนดได้จากการตรวจวิเคราะห์ซากดึกดำบรรพ์ในหินคาร์บอนเนต โดยเฉพาะจากฟอสซิลินิด ฟอรามินิเฟอรา และ แบรคิโอพอด ทั้งจากการตรวจสอบเดิม (เช่น Ueno และคณะ 1995, Yanagida, 1967, Piyasin, 1981, Fontaine และคณะ 1995) และจากการตรวจสอบเพิ่มเติมในการศึกษานี้

ซากดึกดำบรรพ์และลักษณะหินทางตะกอนวิทยาสามารถใช้เป็นหลักฐานสนับสนุนเพิ่มเติมได้ดีกับการศึกษาทางไอโซโทป จากการอยู่ร่วมกันหลายชนิดของสิ่งมีชีวิตดึกดำบรรพ์ เช่น ปะการัง สาหร่าย หอยสองฝา แบรคิโอพอด ฟอรามินิเฟอรานขนาดเล็ก ฟอสซิลินิด ไครนอยด์ และ ฟอสซิลินิด เป็นต้น แสดงให้เห็นถึงระบบนิเวศน์วิทยาที่มีแหล่งอาหารที่สมบูรณ์ สิ่งมีชีวิตดึกดำบรรพ์ต่าง ๆ เหล่านี้ เช่น ปะการังและสาหร่ายที่อาศัยอยู่ร่วมกันแสดงถึงการมีกระบวนการในการสังเคราะห์แสงร่วมอยู่ในกระบวนการสะสมตัวและกำเนิดของคาร์บอนเนต ในเชิงพื้นที่จึงควรมีความเข้มแสงที่พอเพียงในกระบวนการดังกล่าว

โดยทั่วไปการศึกษาไอโซโทปของออกซิเจนและคาร์บอนในหินคาร์บอนेटใช้เพื่อเป็นตัวบ่งชี้ถึงสิ่งต่าง ๆ อันได้แก่ 1) ชนิดการกำเนิดของแร่คาร์บอนेट 2) อุณหภูมิของน้ำในการสะสมตัวของคาร์บอนेट และ 3) ค่าความเป็นเกลือของ ตัวกลางที่ให้การสะสมตะกอน ซึ่งสิ่งเหล่านี้ใช้เป็นสื่อเพื่อการวินิจฉัยข้อมูลต่างๆ เช่น ระดับความลึกและสภาวะแวดล้อมของแอ่งที่มีการสะสมตะกอน ภูมิอากาศในเวลาที่มีการสะสมตะกอน และสภาวะการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของไอโซโทปในหินคาร์บอนेटสามารถบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมและระบบนิเวศน์วิทยาที่ค่าบรรพ์ โดยเฉพาะอุณหภูมิของน้ำและบรรยากาศของโลกในช่วงระยะเวลาที่ค่าบรรพ์นั้น เนื่องด้วยส่วนประกอบของไอโซโทปในแร่ประกอบของหินแข็งที่สะสมตัวหรือมีกำเนิดมาจากสารละลายนั้นย่อมถือได้ว่าเป็นค่าไอโซโทปของตัวกลางหรือสารละลายอันนั้นในช่วงเวลานั้นด้วย

การเปลี่ยนแปลงที่ตรวจวัดได้จากส่วนต่างๆ ในเนื้อหินเช่นจากเม็ดแร่หรือตะกอนเคมี (allochem), เม็ดเศษหินแร่ (clast), สายแร่หรือสารเชื่อมประสาน หรือจากเปลือกของซากดึกดำบรรพ์ สามารถบ่งบอกถึงเหตุการณ์หรือสภาวะแวดล้อมภายหลังการสะสมตะกอนเหล่านั้น (diagenetic environment) โดยการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เหล่านี้จึงบันทึกอยู่ในเนื้อหินในรูปไอโซโทปที่สามารถตรวจวัดได้นั่นเอง

นอกจากนี้การศึกษาและการวิเคราะห์ค่าของออกซิเจนและคาร์บอนไอโซโทปตามแท่งการลำดับชั้นหิน (stratigraphic column) นั้นอาจมีประโยชน์ต่อความเป็นไปได้ในกรณีซึ่งพบว่าไม่สามารถใช้ซากดึกดำบรรพ์เป็นหลักฐานในการกำหนดอายุของหิน โดยที่ค่าไอโซโทปอาจแสดงค่าผิดปรกติออกมาในแต่ละช่วงและใช้เป็นค่าที่กำหนดอายุของหินด้วยการเปรียบเทียบหรือเทียบเคียงได้ ซึ่งเป็นไปได้ว่าอาจมีค่าจำกัดเฉพาะหรือมีรูปแบบเฉพาะตัวในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ

ถึงแม้ว่าการศึกษาส่วนประกอบของสัดส่วนไอโซโทปเพื่อศึกษาอุณหภูมิของตัวกลางจะยังมีข้อสงสัยในบรรดานักวิทยาศาสตร์และนักธรณีวิทยาบางคน เนื่องด้วยเชื่อว่าค่าที่ตรวจวัดได้ไม่ใช่ค่าจากสารตัวกลางต้นกำเนิดดั้งเดิมจริง ทั้งนี้เนื่องจากปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่มากระทำต่อหินภายหลังนั้นได้ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อหิน และแร่ประกอบหินในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการตกผลึกใหม่ (recrystallization) การเกิดรูปร่างใหม่จากแร่เดิม (neomorphism) รวมทั้งการแปรสภาพ (metamorphism) หรือการเปลี่ยนลักษณะ (deformation) หรือการเปลี่ยนสภาพ (alteration) ด้วยสาเหตุต่าง ๆ เช่น จากกระบวนการแปรสัณฐาน (tectonism) หรือผลกระทบ

ความร้อนใต้พิภพ (geothermal effect) ดังนั้นนักธรณีวิทยากลุ่มนี้ (เช่น Faure, 1972 และ Rollinson, 1993. เป็นต้น) จึงเชื่อว่าค่าไอโซโทปในหินที่ตรวจวัดได้อาจเป็นเพียงค่าที่บันทึกของเหตุการณ์ต่างๆ เหล่านั้น

การศึกษาไอโซโทปคงที่ของธาตุออกซิเจนและคาร์บอนในหินคาร์บอนเนตน้ำจืดและคาร์บอนเนตสมุทรมีการศึกษากันมานานกว่า 2 ทศวรรษ ถึงแม้ว่าการศึกษาส่วนใหญ่ เป็นการศึกษาในคาร์บอนเนตตั้งแต่อนุยุคโฮโลซีนถึงไพลสโตซีน (คือระยะเวลาประมาณหนึ่งหมื่นปี ถึงประมาณหนึ่งล้านหกแสนปี) หรือการศึกษาในตะกอนคาร์บอนเนตยุคปัจจุบัน แต่การศึกษาไอโซโทปของหินคาร์บอนเนตยุคดึกดำบรรพ์เองก็ยังคงมีรายงานอยู่อย่างแพร่หลายเช่นกัน ทั้งในยุโรป อเมริกา ออสเตรเลีย หรือการศึกษาในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก (เช่น Zakharov และคณะ 1997; RaO, 1995, 1996) หรือการศึกษาหินคาร์บอนเนตยุคออร์โดวิเซียน (หินคาร์บอนเนตอายุประมาณ 500 ล้านปี) บริเวณภาคใต้ของประเทศไทย โดย Wongwanich (1990) เป็นต้น

ผลวิเคราะห์ค่าไอโซโทปที่ตรวจวัดได้จากหินคาร์บอนเนตหมวดหินน้ำมโหฬารให้ค่าของคาร์บอน ไอโซโทปเป็นค่าบวกและค่าของออกซิเจนไอโซโทปเป็นค่าลบอยู่ในช่วงเดียวกับหินปูนยุคเดียวกันที่ได้มีการศึกษาในพื้นที่แถบคิตากามิตอนใต้ (South Katagami) ในประเทศญี่ปุ่นและพื้นที่ไพรมอรี (Primory) ในประเทศรัสเซีย โดย Zakharov และคณะ (1994) ได้สรุปถึงความเป็นไปได้ว่าค่าไอโซโทปได้รับผลกระทบความร้อน (thermal effect) อันเนื่องมาจากกระบวนการแปรสัณฐาน (tectonic) และแสดงค่าผิดปกติที่สามารถตรวจวัดได้บริเวณขอบเขตอายุของยุคหินตามแท่งลำดับทางแนวตั้งในยุคเพอร์เมียนตอนล่างด้วย โดยค่าผิดปกติสูง  $\delta^{13}\text{C}$  (อยู่ในช่วงระหว่าง +3.5 ถึง +4.7 ‰ PDB) เกิดขึ้นในบริเวณ อาร์ตินสเกียน (Artinskian) ถึงช่วงต้นโบโรเรียน (Early Bolorian) และบริเวณตอนต้น กลาง และปลายของระยะมิเดียน (Midian) และพบว่าอัตราส่วนระหว่าง Ca/Mg มีค่าแกว่งตัวสูงและต่ำ เนื่องจากเป็นผลผลิตของสิ่งมีชีวิต (biota) จำนวนมากที่อาศัยอยู่ในช่วงระยะเวลาดังกล่าว โดยมีการทำม่น้ำทะเล (transgression) และมีสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (warm humid climate)

ค่าไอโซโทปคงที่ ที่วิเคราะห์ได้จากหินคาร์บอนเนตหมวดหินน้ำมโหฬาร ซึ่งมีหลักฐานซากดึกดำบรรพ์บ่งชี้อายุได้ในช่วงตั้งแต่คาร์บอนิเฟอรัสตอนบนตั้งแต่ระยะจีเจียน (Ueno และคณะ 1995) จนถึงยุคเพอร์เมียนตอนกลางประมาณมูกาเปียน (Ueno และ Sakagami, 1993; Charoentitirat, 1995; Fontaine และคณะ 1994, 1995; Piyasin, 1981)

การวิเคราะห์ค่าไอโซโทปของพื้นที่ศึกษาในจังหวัดเลย-หนองบัวลำภู พบว่า  $\delta^{13}\text{C}$  มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง +2.51 ถึง +3.67 ‰ PDB และค่า  $\delta^{18}\text{O}$  อยู่ในช่วงระหว่าง -7.51 ถึง -6.20 ‰ PDB ซึ่งทั้ง  $\delta^{13}\text{C}$  และ  $\delta^{18}\text{O}$  มีแนวโน้มในทิศทางลดลงไปทางด้านบนของแท่งลำดับชั้นหิน จากยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนบนไปสู่ยุคเพอร์เมียนตอนกลางซึ่งแสดงถึงการลดลงของไอโซโทปหนัก หรือมีการเพิ่มขึ้นของไอโซโทปเบาในเชิงเปรียบเทียบ ด้วยสาเหตุที่มีความเป็นไปได้คือ 1) การมีน้ำจืดเข้ามาสู่ระบบมากขึ้นเนื่องมาจากปริมาณน้ำทะเลลดลงหรือการยกตัวขึ้นของแผ่นดิน 2) หรือมีสาเหตุความเป็นไปได้ของการลดลงของคาร์บอนไอโซโทปหนักเนื่องจากการลดจำนวนลงของสิ่งมีชีวิต (biota) ในระบบนิเวศน์ หรือ 3) มีการเพิ่มของก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) จากกระบวนการความร้อนใต้พิภพ (geothermal) (Rollinson, 1993) ที่เกี่ยวข้องมาจากกระบวนการแปรสัณฐาน (tectonics) ทำให้มีคาร์บอนไอโซโทปเบาในระบบสูงขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการลำดับชั้นหินของพื้นที่ศึกษา การเพิ่มขึ้นของไอโซโทปเบา (โดยเฉพาะคาร์บอน) ไม่น่าจะเกิดเนื่องจากการลดจำนวนลงของสิ่งมีชีวิต เพราะตอนช่วงบนของหมวดหินน้ำไหมพوار (คาร์บอนเนต) ยังคงพบซากดึกดำบรรพ์อยู่มาก ในที่นี้จึงคิดว่าแนวคิดในข้อ 2 และข้อ 3 เป็นไปได้มาก เนื่องจากตอนช่วงบนของหมวดหินน้ำไหมพوارพบซากใบไม้ (อคุลย์ เจริญประวัติ และธนิศร์ววานิช, 2519; Asama และคณะ 1968) ที่แสดงถึงภาวะการตกตะกอนใกล้ชายฝั่ง อีกทั้งการมุดตัวของแผ่นสมุทรตอนช่วงปลายยุคเพอร์เมียนต่อกับยุคไทรแอสซิกอาจยังผลให้เกิดการแปรสัณฐานทำให้ได้ปริมาณความร้อนใต้พื้นสมุทรสูงขึ้น

การศึกษาค่าไอโซโทปคงที่ของหินคาร์บอนเนตดึกดำบรรพ์หมวดหินน้ำไหมพوار ผลการตรวจวัดจากแร่แคลไซต์ของตัวอย่างหินก้อน จากซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลินิด แบรคิโอพอดและแรโดโลไมต์ ได้ค่าสัดส่วนของออกซิเจนไอโซโทปเป็นค่าลบมีค่าเฉลี่ยในระหว่าง -6.20 ถึง -7.51 ‰ PDB และได้ค่าสัดส่วนของคาร์บอนไอโซโทปเป็นค่าบวก มีค่าเฉลี่ยในระหว่าง +2.51 ถึง +3.67 ‰ PDB ซึ่งค่าดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าหินคาร์บอนเนตของหมวดหินน้ำไหมพوارเป็นคาร์บอนเนตสมุทร ที่มีกำเนิดในสภาวะแวดล้อมแบบสมุทร และสะสมตัวโดยมีสารเชื่อมประสานเริ่มต้น (original cementing) ตกผลึกมาจากน้ำทะเลปกติโดยตรง การปนเปื้อนเข้ามาของน้ำจืดในระบบเกิดขึ้นในบางช่วงและมีความเป็นไปได้ของการสะสมตัวในสภาวะแวดล้อมของทะเลเปิดที่บางส่วนมีการไหลเวียนของน้ำค่อนข้างจำกัดตัว (restricted circulation) หรือเป็นทะเลตื้นใกล้ฝั่งที่ไม่ถูกอิทธิพลการหมุนวนของกระแสน้ำย้อนกลับขึ้นมาจากระดับลึก (upwelling water)



ถึงแม้ว่าการแกว่งตัว (variation) ของค่าเฉลี่ยของไอโซโทปคงที่จะมีค่าต่ำ (ซึ่งถือว่าเป็นค่าปรกติในสภาวะแวดล้อมของทะเลเปิด (open sea) (Flugel, 1982)) แต่ในการเปรียบเทียบผลวิเคราะห์จากแต่ละตัวอย่าง มีบางส่วนที่แสดงให้เห็นการแกว่งตัวของค่าไอโซโทปในช่วงค่อนข้างกว้างจากบางค่าที่แสดงค่าผิดปกติต่ำ (negative anomaly) ซึ่งถ้าเป็นกรณีที่มีการแกว่งตัวของค่าไอโซโทปในช่วงกว้างเช่นนี้แสดงถึงการสะสมตัวของตะกอนในสภาวะแวดล้อมของแอ่งปิด (Faure, 1986) แต่จากผลการวิเคราะห์ค่าไอโซโทปจากตัวอย่างหินในการศึกษานี้ซึ่งแสดงการแกว่งตัวค่อนข้างต่ำโดยเฉลี่ยจึงบ่งชี้ถึงสภาวะแวดล้อมการสะสมตัวของคาร์บอนेटในแอ่งทะเลเปิดใกล้แผ่นดินที่สามารถให้การปนเปื้อนเข้ามาของน้ำจืดในระบบได้ รวมถึงความเป็นไปได้ของการเป็นหินโผล่ในช่วงที่เกิดการแข็งตัวของหินปูนแล้วในช่วงปลายมหายุคพาลีโอโซอิก เป็นบางช่วงเวลาสั้นๆ จึงก่อให้เกิดผิวหน้ากัดกร่อน (erosional surface) ในลำดับของชั้นหินได้

การคำนวณค่าความเป็นเกลือของตัวกลางจากข้อมูลไอโซโทปที่ตรวจวัดได้จากหินคาร์บอนेटน้ำมโหฬาร แสดงค่าเฉลี่ยความเป็นเกลือของน้ำทะเลในช่วงระหว่าง 22.27 ถึง 25.56 ‰ โดยแสดงค่าการแกว่งตัวของค่าที่คำนวณได้อยู่ในช่วงระหว่าง 18.44 ถึง 33.08 ‰ ซึ่งเป็นค่าของน้ำกร่อยถึงน้ำทะเลปรกติตามค่าซึ่งกำหนดโดย Flugel (1982) อาจเป็นด้วยสาเหตุ 1) เกิดการปนเปื้อนของน้ำเค็มเนื่องจากมีน้ำจืดเข้ามาในระบบในช่วงเวลาการสะสมตัวของคาร์บอนेटโดยเฉพาะในช่วงปลายของการลำดับชั้นหินซึ่งอาจเป็นเพราะบริเวณพื้นที่การสะสมตัวของคาร์บอนेटอยู่ใกล้ชายฝั่งที่สามารถให้น้ำจืดจากแหล่งธรรมชาติเข้ามาในระบบได้มากพอจนทำให้ค่าความเป็นเกลือของน้ำทะเลปรกติมีค่าลดลง หรืออาจเกิดจากพื้นที่บริเวณนี้มีการถดถอยของน้ำทะเล (regression) หรือมีการยกตัวของแผ่นดินสูงขึ้น และมีความเป็นไปได้มากหากมีการเติมน้ำจืดจากปริมาณของน้ำฟ้า (precipitation) เข้ามาในระบบของการสะสมตะกอนที่มีการหมุนเวียนและถ่ายเทของน้ำทะเลเบาบาง (quiet water) หรือค่าความเป็นเกลือของตัวกลางลดลงอาจมีสาเหตุมาจาก 2) มีอัตราการระเหยของน้ำต่ำเนื่องจากมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงซึ่งแสดงถึงภูมิอากาศแบบร้อนชื้น

ค่าความเป็นเกลือเหล่านี้ชี้ให้เห็นถึงสภาวะแวดล้อมทะเลตื้น ที่มีน้ำจืดเข้ามาปนเปื้อนในระบบจนลดค่าความเป็นเกลือของน้ำทะเลลงมาอยู่ในระดับของน้ำกร่อย ความเป็นเกลือของน้ำไม่ได้แสดงให้เห็นถึงสภาวะแห้งแล้งในช่วงระยะเวลาดังกล่าวตั้งแต่ปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัสขึ้นมาจนถึงปลายยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (ราว 258 ถึง 290 ล้านปี) ลำดับชั้นหินคาร์บอนेटของ



หมวดหินน้ำมโหฬารและค่าความเป็นเกลือของน้ำทะเลมีแนวโน้มลดลงไปทางด้านบนของการลำดับชั้นหิน

การคำนวณค่าอุณหภูมิจากค่าสัดส่วนออกซิเจนไอโซโทปได้ค่าอุณหภูมิของน้ำที่มีการสะสมตัวของคาร์บอเนตหมวดหินน้ำมโหฬารเฉลี่ยในช่วงระหว่าง 45.46 ถึง 55.08 °ซ และมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิไปทางตอนบนของการลำดับชั้นหินซึ่งอาจเป็นไปได้ที่ความสัมพันธ์กับระยะเวลาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของบรรยากาศโลกในช่วงระยะเวลาดังกล่าว บ่งชี้ถึงสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น (warm humid climate)

การพิจารณาในแง่ที่ตั้งและตำแหน่งของแอ่งทะเลในอดีตที่ทำให้การสะสมตัวของคาร์บอเนตหมวดหินน้ำมโหฬาร เปรียบเทียบกับพื้นที่การสะสมตัวของคาร์บอเนตปัจจุบัน ซึ่งกำลังมีการสะสมตัวได้ดีตามแนวปะการัง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณทะเลตื้นที่แสงส่องถึงของเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนทั่วโลก ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ในแนวแถบเส้นศูนย์สูตรระหว่างเส้นรุ้งที่ 30 องศาเหนือและใต้ (Wilson, 1975; Flugel, 1982; Rao, 1996) และด้วยเหตุผลการสนับสนุนจากผลการศึกษาไอโซโทปคองที่ ทำให้น่าเชื่อได้ว่าแอ่งสะสมตะกอนของคาร์บอเนตหมวดหินน้ำมโหฬารควรอยู่ที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับเส้นศูนย์สูตรบรรพกาล (paleo-equator) และไม่เกินแนวระดับของเส้นรุ้งที่ 30 องศา

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 7

## สรุป (Conclusion)

การสรุปผลการศึกษาหินคาร์บอนेटในพื้นที่ศึกษาด้านตะวันออกของจังหวัดเลยและ ตะวันตกของจังหวัดหนองบัวลำภู โดยอาศัยข้อมูลการตรวจวิเคราะห์ค่าไอโซโทปของ ธาตุออกซิเจนและคาร์บอนเป็นหลัก ร่วมกับการตรวจสอบลำดับชั้นหินทางธรณีวิทยา การตรวจสอบลักษณะหินและซากดึกดำบรรพ์ สรุปได้ดังนี้

1. หินคาร์บอนेटที่กระจายตัวด้านตะวันออกของจังหวัดเลยเป็นหินคาร์บอนेटดึกดำบรรพ์ หมวดหินน้ำมโหฬาร ซึ่งปรากฏเป็นแนวยาวในทิศทางประมาณเหนือ-ใต้ต่อเนื่องตลอดแนว ขอบของที่ราบสูงโคราชด้านตะวันตกปัจจุบัน โดยประกอบไปด้วยหินปูนเป็นส่วนใหญ่ หินส่วนน้อยเป็นโดโลไมต์ เซิร์ต และ หินดินดาน

2. หินคาร์บอนेटในพื้นที่ศึกษามีซากดึกดำบรรพ์จำนวนมาก เช่น ฟอสซิลินิด ฟอแรมมินิเฟอร่า แบรคิโอพอดและปะการัง ใช้เป็นหลักฐานบอกอายุของหินได้ตั้งแต่ปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึง ตอนปลายของยุคเพอร์เมียนตอนต้น (จีเลียนถึงยาทาเซียน)

3. การตรวจสอบการจำแนกหินคาร์บอนेटจากภาคสนามและแผ่นหินบางภายใต้ กล้องจุลทรรศน์พบว่าประกอบไปด้วยหินเนื้อละเอียดถึงเนื้อหยาบและเนื้อผลึกสีดำ เทาดำ ถึงสีขาว ประกอบไปด้วย มัดสโตน (mudstone) แวกสโตน (wackstone) และแพคสโตน (packstone) เป็น ส่วนใหญ่ โดยบางส่วนสามารถจำแนกออกเป็นเกรนสโตน (grainstone) และหินปูนเนื้อผลึก (crystalline limestone) ตามการจำแนกของ Dunham (1962) และสามารถจัดแบ่งได้เป็นเพลมมิโครต์ (pelmicrite) ไบโอมิโครต์ (biomicrite) และไบโอสแปไรต์ (biosparite) ตามการจำแนกของ Folk (1959; 1962) จากการวิเคราะห์พบว่าเมื่อพิจารณาพร้อมกับซากดึกดำบรรพ์ทำให้ทราบว่า หมวดหินน้ำมโหฬารมีลักษณะการสะสมตัวแบบตะกอนน้ำตื้นขึ้นเรื่อย ๆ

4. ไอโซโทปที่วิเคราะห์ได้  $\delta^{13}\text{C}$  มีค่าเฉลี่ยระหว่าง +2.57 ถึง +3.67 ‰ PDB และ  $\delta^{18}\text{O}$  มีค่า เฉลี่ยระหว่าง -7.51 ถึง -6.20 ‰ PDB โดยค่าความสัมพันธ์ของออกซิเจนและคาร์บอนไอโซโทป แสดงถึงโดโลไมต์ที่สะสมตัวภายหลังการสะสมตะกอนคาร์บอนेटและภายใต้แผ่นหินบางแสดง การแทนที่แร่แคลไซต์

5. ค่าไอโซโทปที่วิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นว่าหินคาร์บอนेटหมวดหินน้ำมโหฬารเป็นคาร์บอนेटสมุทรสะสมตัวในทะเลตื้นใกล้ชายฝั่งที่มีการไหลเวียนของกระแสน้ำโดยมีระบบนิเวศน์วิทยาบรรพกาลที่มีสารอาหารในน้ำสมบูรณ์ และมีแสงสว่าง

6. ค่าไอโซโทปแสดงทิศทางแนวโน้มลดลงไปทางด้านบนของการลำดับชั้นหินแสดงถึงความเป็นไปได้ของการลดระดับลงของน้ำทะเล หรือการยกตัวขึ้นของแผ่นดินในพื้นที่การสะสมตะกอนจากช่วงปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง

7. ค่าความเป็นเกลือของน้ำอยู่ในช่วงน้ำทะเลปรกติจนถึงน้ำกร่อยโดยมีค่าความเป็นเกลือเฉลี่ย 24.12 ‰ และมีแนวโน้มความเป็นเกลือของน้ำลดลงไปทางตอนบนของการลำดับชั้นหิน

8. อุณหภูมิของน้ำในการสะสมตัวของตะกอนคาร์บอนेटมีค่าเฉลี่ยมากกว่า  $45^{\circ}\text{C}$  และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปทางตอนบนของการลำดับชั้นหิน

9. พื้นที่ในส่วนด้านตะวันออกของจังหวัดเลยปัจจุบันที่ปรากฏแนวการกระจายตัวของหินคาร์บอนेटหมวดหินน้ำมโหฬาร เป็นแนวของทะเลเปิดระดับตื้นค่อนข้างสงบใกล้แนวชายฝั่งของแผ่นดินที่มีแสงสว่างส่องลงไปใต้น้ำ ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น ใกล้เส้นศูนย์สูตรไม่เกินแนวระดับของเส้นรุ้ง 30 องศาขึ้นไปทางเหนือในช่วงระยะเวลาราว 258 ถึง 290 ล้านปี

10. ส่วนประกอบทางเคมีของเนื้อหินคาร์บอนेटโดยทั่วไปมีค่าความบริสุทธิ์อยู่ในเกณฑ์การใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม เช่น ปูนซีเมนต์ ปูนขาว หรือเป็นหินบดย่อยในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง ลักษณะทางธรณีวิทยาแหล่งหินมีความบริสุทธิ์ของคาร์บอนेटสูงทางตอนบนของหมวดหิน (หมู่หินภูผาขาว) ส่วนทางตอนกลางและตอนล่าง หินคาร์บอนेटมีการแทรกสลับด้วยชั้นหินเชิร์ต (หมู่หินบ้านหนองหิน) และมีการแทรกสลับด้วยหินดินดาน และหินทรายทางตอนล่าง (หมู่หินถ้ำเสือหมอบ) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นหินบดย่อยได้ดี

## เอกสารอ้างอิง (References)

- Altermann, W. 1989. *Faciès Development in the Permian Phetchabun Basin Central Thailand*. Berlin: VWB-Verlag fur Wissenschaft und Bildung. 275 pp.
- Altermann, W. 1991. New Permo-Carboniferous Geochemical Data from Central Thailand: Implication for a Volcanic Arc Model. *Journal of Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 87: 191-210.
- Ampornmaha, A. 1995. Triassic Carbonate Rocks in the Phatthalung Area, Peninsular Thailand. *Journal of Southeast Asia Earth Science*, 11: 225-236.
- Aramprayoon, B. 1981. *Photolineament and Foldings Map of Thailand scale 1: 1,000,000*. Bangkok: Geological Survey Division, Department of Mineral Resources.
- Asama, K., Iwai, I., Veeraburus, M., and Hongnusunthi, A. 1968. Permian Plants from Loei Thailand. *Journal of Geology and Paleontology of Southeast Asian*, 4: 82-99.
- Assavapatchara, S. 1998. The Lithostratigraphy of Upper Palaeozoic Carbonate Rocks in the Southeastern Part of Changwat Loei. *Master's thesis*, Chulalongkorn University. 196 pp.
- Assavapatchara, S., Charusiri, P., and Khantaprab, C. 1997. The Permian Carbonate Rocks in Thailand. In P. Dheeradilok (eds.), *Proceedings of International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and South Pacific*, pp. 139. Bangkok: Thailand.
- Barr, S.M. , and MacDonal, A.S. 1991. Toward a Late Paleozoic-Early Mesozoic Tectonic Model for Thailand. *Journal of Thai Geosciences* , 1: 11-22.
- Bleakley, D., Stephens, E:A., Cratchley, C.R., Workman, D.R., Newman, D., Cogger, N., Sanevong, P., Thanvarachorn, P., Intrakhao, B., and Chaungpaisal, S.1965. *Regional Geology of the Loei-Chiengkarn Area of Thailand and Detailed Investigation of the Phu Khum Lead-Zinc Mineral Prospect*. London: Overseas Geological Survey. 67 pp.
- Boggs, S. 1987. *Principles of Sedimentology and Stratigraphy*. Ohio: Merrill Publishing, USA. pp. 322-324.
- Bowen, R. 1966. *Paleotemperature Analysis*. London: Elsevier Publishing. 265 pp.

- Braun, E.V., and Jordan, R. 1976. *The Stratigraphy and Paleontology of Mesozoic Sequence in the Mae Sot Area in Western Thailand*. Hannover: Geologisches Jahrbuch. 21: 5-15
- Bunopas, S. 1981. Paleogeographic History of Western Thailand and Adjacent Parts of Southeast Asia. A Plate Tectonics Interpretation. *Ph.D. dissertation*, Victoria University, New Zealand. 810 pp.
- Bunopas, S. 1983. Paleozoic Succession in Thailand. In P. Nutalaya (ed.), *Proceedings of Workshop on Stratigraphic Correlation between Thailand and Malaysia*, pp. 39-76. Hadd-Yai: IGCP.
- Bunopas, S. 1992. Regional Stratigraphic Correlation in Thailand. In C. Piancharoen (eds.), *Proceedings of National Conference on Geological Resources of Thailand: Potential for Future Development*, pp. 189-288. Bangkok: Department of Mineral Resources.
- Bunopas, S., and Fontaine, H. 1989. The Carboniferous and the Permian in Thailand: A complex Palaeogeography. *The forth International Symposium on Pre-Jurassic Geologic Evolution of Eastern Continental Margin of Asia*, pp. 65-76. Bangkok: IGCP 224.
- Bunopas, S., and Vella, P. 1983. Tectonic and Geologic Evolution of Thailand. In P. Nutalaya (ed.), *Proceedings of Workshop on Stratigraphic Correlation between Thailand and Malaysia*, pp. 307-322. Hadd Yai.
- Bunopas, S., and Vella, P. 1992. Geotectonics and Geologic Evolution of Thailand, In C. Piancharoen (eds.), *Proceedings of National Conference on Geological Resources of Thailand: Potential for Future Development*, pp. 209-288. Bangkok: Department of Mineral Resources.
- Chairangsee, C., Hinze, C., Machareonsap, S., Nakornsri, N., Silpalit, N., and Sinpooi-Anunt, S. 1990. *Geological Map of Thailand on 1:50,000 scale: Explanation for the Sheet Amphoe Pak Chom (5345 II), Ban Na Kha (5344I), Ban Huai Khop (5445III), and King Amphoe Nam Som (5444 IV)*. Geologisches Jahrbuch, 73: 3-55.
- Chaodumrong, P. 1992. Stratigraphy, Sedimentology, and Tectonic Setting of the Lampang Group, Centralnorth Thailand. *Ph. D. dissertation*, University of Tasmania, Australia. 23 pp.

- Charoenprawat, A., Wongwanich, T. and Tantiwanich, W., and Kitipariwat, K. 1976. *Geological Map of Thailand on 1:250,000 scale: Sheet Changwat Loei (ND 47-12)*. Bangkok: Geological Survey Division, Department of Mineral Resources.
- Charoentitirat, T. 1995. Fusulinid Fauna in Permo-Carboniferous Limestone of the Eastern Part of Changwat Loei. *Master's thesis*, Chulalongkorn University. 171 pp.
- Charusiri, P. 1989. Lithophile Metallogenetic Epochs of Thailand: A Geological and Geochronological Investigation. *Ph. D. dissertation*, Queen' s University, Canada. pp.340-345.
- Chinoroje, O. 1993. Petrographic Studies of Permian Carbonates in Southern Thailand. *Journal of Southeast Asia Earth Science*, 8: 161-171.
- Chinoroje, O. and Bhasavanija, K. 1988. Depositional Environments of Permian Carbonates at Pha Ngam Area, Amphoe Wang Saphung , Changwat Loei. In T. Siakul (ed.), *Proceedings of Annual Technical Meeting 1987. Department of Geological Science*, pp. 181-197. Chiangmai: Chiangmai University.
- Chonglakmani, C., and Fontaine, H. 1990. The Lam Narai-Phetchaboon Region: A Platform of Early Carboniferous to Late Permian Age. In P.Charusiri, S. Jarupongsakul, and V. Pisutha-Armond (eds.), *Proceedings of The Technical Conference on Development Geology for Thailand into the year 2,000*, pp.39-55. Bangkok: Department of Geology, Chulalongkorn University.
- Chonglakamani, C., Sattayarak, N., Kanchanapan, P., and Sarapirom, S. 1979. *Geological Map of Thailand on 1:250,000 scale: Sheet Udonthani - Wang Vieng(NE 48-9)*. Bangkok: Geological Survey Division, Department of Mineral Resources.
- Craig, H. 1965. The Measurement of Oxygen Isotope Palaeotemperatures. *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Palaeotemperatures*, Spoleto, Jul. 26-27, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Laboratorio di Geologia Nucleare, Pisa, 1-24.
- Craig, H., and Gordon, L. I. 1965. Deuterium and Oxygen-18 Variations in the Ocean and the Marine Atmosphere. *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Palaeotemperatures*, Spoleto, Jul. 26-27, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Laboratorio di Geologia Nucleare, Pisa, 1-24.



- Dawson, O. T., 1978. Depositional and Diagenetic facies of Permian Limestone from Saraburi, Central Thailand. In P. Nutalaya (ed.), *Proceedings of the Third Regional Conference on Geology and Minerals Resources of Southeast Asia*, pp. 47-60. Bangkok: GEOSEA III.
- Dawson, O., Baird, A., and Bosence, D. 1993. No Reef - Rimmed Margins to the Permian Carbonate Platforms of Thailand. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 8: 181-186.
- Dawson, O. and Racey, A. 1993. Fusuline - Calcareous Algal Biofacies of the Permian Ratburi Limestone, Saraburi, central Thailand. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 8: 49-65.
- Dawson, O., Racey, A., and Whittaker, J.E. 1994. Permian Foraminifera from Northeast and Peninsular Thailand. In P. Angsuwathana, T. Wongwanich, W. Tansathien, S. Wongsomsak, and J. Tulyatid (eds.), *Proceedings of International Symposium on Stratigraphic Correlation of Southeast Asia*, pp. 226-244. Bangkok: IGCP 306.
- Department of Mineral Resources. 1987. *Geological Map of Thailand on 1:2,500,000 scale*. Bangkok: Geological Survey Division.
- Department of Mineral Resources. 1988. *Geology of Loei Area*. Bangkok: Geological Compilation and Editing Section, Mineral Resources Development Project and Geological Research and Technology, Geological Survey Division. 30 pp.
- Department of Mineral Resources. 1992. *Commentary on the Geological Map of Thailand 1:2,500,000 scale*. Bangkok: 19 pp.
- Department of Mineral Resources. 1992. *Lexicon of Stratigraphic Names of Thailand*. Bangkok: 129 pp.
- Dickson, J.A.D. 1966. Carbonate Identification and Genesis as Revealed by Staining. *Journal of Sedimentary Petrology*, 36: 491-505.
- Dickson, J. A. D. 1965. A Modified Staining Technique for Carbonates in Thin Section. *Nature*, 250: 587.
- Dunham, R. J. 1962. Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. In W.E. Ham.(ed.), *Classification of Carbonate Rocks*, pp. 108-121. Tulsa-Oklahoma: The American Association Petroleum of Geologist.

- Epsteine, S., Buchsbaum, R., Lowensen, H. A., and Urey, H. C. 1953. Revised Carbonate-Water Isotope Temperature Scale. *Bulletin of Geological Society of America* 64: 1315-1326.
- Epsteine, S. and Mayeda, T. K. 1953. Variation of  $^{18}\text{O}$  Content of Water from Natural Sources. *Journal of Geochemistry Cosmochemistry* 4: 213-224.
- Faure, G. 1986. *Principles of Isotope Geology*. New York: John Wiley & Sons, pp. 429-552
- Flügel, E. 1982. *Microfacies Analysis of Limestone*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. 633 pp.
- Folk, R. L. 1962. Spectial Subdivision of Limestone Types. In W.E. Ham. (ed.), *Classification of Carbonate Rocks*, pp. 62-84. Tulsa-Oklahoma: The American Association of Petroleum Geologists.
- Fontaine, H. 1993b. *Carboniferous Coral from Northeast Thailand (Northeast of Loei)*. *Geologisches Jahrbuch*. 73: 81-89.
- Fontaine, H., Suteethorn, V., and Verchard, D. 1994. The Carboniferous Corals of Southeast Asia with New Discoveries in Laos and Thailand. In P. Angsuwathana, T. Wongwanich, W. Tansathien, S. Wongsomsak, and J. Tulyatid (eds.), *Proceedings of International Symposium on Stratigraphic Correlation of Southeast Asia*, pp.42. Bangkok: IGCP 306.
- Fontaine, H., Suteethorn, V., and Verchard, D. 1995. The Carboniferous of Northeast Thailand: A Review with New Data. *Journal of Southeast Asia Earth Science*, 12: 1-17.
- Fontaine, H., and Suteethorn, V. 1968 b. Discovery of widespread Bashkirian Limestone Northeastern of Loei, In T. Silakul (ed.), *Proceedings Anniversary Technical Meeting*, pp.199-206. Chiangmai: Department of Geological Science, Chiangmai University.
- Friedman, I. and O'Neil, J.R. 1977. *Data of Geochemistry: Compilation of Stable Isotope Fractionation Factors of Geochemical Interest*. U.S. Geological Survey Professional Paper. 12 p.
- Hamada, T. 1964. Two Carboniferous Brachiopods from Loei, Thailand. *Japan Journal Geology and Geography*, 35: 1
- Harrison, D. J. 1992. *Limestone: Industrial Minerals Laboratory Manual: Technical report WG/92/29*. Keyworth. Nottingham: British Geological Survey Minerals and Petrology Group. 45 pp.

- Harrison, D. J. 1995. *Petrographic Study of Carbonate Rocks from Surat Thani*. Under the rapid assessment of limestone resources project: Bangkok, British Geological Survey and Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, 19 pp. (unpublished)
- Helmcke, D., and Kraikhong, G. 1982. On the Geosynclinal and Orogenic Evolution of Central and Northeast Thailand. *Journal of Geological Society of Thailand*, 5: 52-74.
- Hinthong, C. 1981. *Geology and Mineral Resources of the Map Sheet Changwat Phra Nakhon Si Ayutthaya (ND 47-8)*. Bangkok: Geological Survey Division. 105 pp.
- Hinthong, C. 1985. *Upper Paleozoic System: The Central Plain and Lower Phetchabun Ranges*. Bangkok: Geological Survey Division. 42 pp.
- Hinthong, C., Chuaviroj, S., Kaewyana, W., Srisukh, S., Pholprasit, C., Pholachan, S. 1985. *Geological Map of Thailand on 1:250,000 scale: Sheet Changwat Phra Nakhon Si Ayutthaya (ND 47-8)*. Bangkok: Geological Survey Division.
- Homrareun, G. 1995. *Geophysical Study of Pha Doen Area, Amphoe Moang, Chaingwat Loei*. Bangkok: Department of Geology Chulalongkorn University. 102 pp.
- Igo, H., Ueno, K., and Sashida, K. 1993. Lower Permian Fusulinaceans from Ban Phia Changwat Loei Northeastern Thailand. *Proceedings Palaeontological Society Japan*, 169: 15-43.
- Ingavat, R., Toriyama, R., and Pitakpaivan, K. 1980. Fusulinid Zonation and Faunal Characteristics of the Ratburi Limestone in Thailand and its equivalents in Malaysia. *Geological Paleontology of Southeast Asia*, 2: 43-62.
- Ingavat-Helmcke, R. 1983. Review on Fossils of Thailand. In T. Thanasutitak (ed.), *International Symposium on Biostratigraphy of Mainland Southeast Asia, Facies and Paleontology*, Chiangmai: Department of Geological Science, Chiangmai University.
- Ingavat, R. 1984. On the Correlation of Permian Foraminiferal Faunas on the Western, Central and Eastern Provinces of Thailand. *Mem. Soc. geol. France* 147:93-100.
- Ingavat-Helmcke, R. 1993. Contribution to the Permian Fusulinacean Faunas of Peninsular Thailand. *Journal of Southeast Asia Earth Science*, 8: 67-75.

- Ingavat-Helmcke, R. 1994. Paleozoic Paleontological Evidence of Thailand. In P. Angsuwathana, T. Wongwanich, W. Tansathien, S. Wongsomsak, and J. Tulyatid (eds.), *Proceedings of International Symposium on Stratigraphic Correlation of Southeast Asia*, pp. 43-54. IGCP 306.
- Intasopa, Boonsue, Suporn. 1993. Petrology and Geochronology of the Volcanic Rocks of the Central Thailand Volcanic Belt. *Ph. D. dissertation*, University of New Brunswick. pp. 12-48.
- Ishibashi, T., Fujikawa, M., and Nakornsri, N. 1996. Permian Ammonoids from the Loei Area, Northeast Thailand. *Earth and Planetary sciences, Memorial Faculty of Science, Kyoshu University, Japan*, D, XXIX (2): 175-169.
- Jacobson, H.S., Pierson, C.T., Danusawad, T., Japakasetr, T., Inthuputi, B., Sirira tanamongkol, C., Prarassrnkul, S., and Pholhan, N. 1969. *Mineral Investigations in Northern Thailand*. Professional paper 618. Washington D.C.: Geological Survey, United States Government Printing office. 96 pp.
- Javanaphet, J. C. 1969. *Geological Map of Thailand on 1: 1,000,000 scale*. Bangkok: Geological Survey Division, Department of Mineral Resources.
- Kamera, K., and Toriyama, R. 1968. Fusulinsean Fossils from Thailand Part III - Malaya: New Generic Designation for Neoschwagerinids the Group of Cancellina Pamirica Levon. *Geological Paleontology of Southeast Asia*, 5: 31-46.
- Keith, M. L. and Weber, N. 1964. Isotopic Composition and Environmental Classification of Selected Limestones and Fossil. *Journal of Geochemistry Cosmochemistry* 28:1754-1786.
- Meesook, A. 1994. Marine Jurassic Stratigraphic and Bivalve Paleontology of Thailand. *Ph.D. dissertation*, University of Auckland, 244 pp.
- Nakornsri, N. 1977. *Geological Map of Thailand on 1:250,000 scale: Sheet Amphoe Ban Mi*. Bangkok: Geological Survey Division, Department of Mineral Resources.
- Nakornsri, N. 1981. *Geology and Mineral Resources of Map Sheet Amphoe Ban Mi*. Bangkok: Geological Survey Division, Department of Mineral Resources. 35 pp.

- Panjasawatwong, Y., Chantaramee, P., Limtrakun, P., and Pirarai, A. 1997. Geochemistry and Tectonic Setting of eruption of Central Loei Volcanics in Pak Chom Area, Loei, Northeast Thailand. In P. Dheeradilok (eds.), *Proceedings of International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and South Pacific*, pp. 287-302. Bangkok: Thailand.
- Pendexter, C. 1980. *Permian Carbonate Facies of North Central Thailand*. Khorat: Esso Explorating and Production Khorat International Company. 35 pp.
- Pitakpaivan, K. 1965. *The fusulinacean fossils of Thailand: Part I: Fusulinines of the Rat Buri Limestone of Thailand*: Memorial Faculty of Science, Kyushu University 17: 1-6.
- Piyasin, S. 1972. *Geological Map of Thailand on 1: 250,000 scale: sheet Changwat Lamphang (NE 47-7)*. Bangkok: Geological Survey Division. 98 pp.
- Piyasin, S. 1981. Reef Limestone of Lower Permian at Ban Na Charoen, Northeastern Thailand. *Journal of Geological Society of Thailand*, 4: 13-22.
- Piyasin, S. 1985 Problem of Stratigraphic Classification and Environments of Khorat Group. In P. Thanvarachorn, S. Hokjaroen, and W. Yanungme (eds.), *Conference on Geology and Mineral Resources Development of Northeastern Thailand*, pp. 85 - 97. Khon Kaen: Department of Geotechnology, Khon Kaen University.
- Rao, P. C. 1996. *Modern Carbonates: Tropical Temperature Polar*. Tasmania: Printing Authority of Tasmania, Australia. 206 pp.
- Rao, P. C. 1997. *Sedimentary Textures, Cold, Cool, Warm, Hot : An Introduction to the Interpretation of Depositional, Diagenetic and Hydrothermal Temperatures*. Tasmania: University of Tasmania, Australia. 128 pp.
- Rollinson, R. H. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluating, Presentation, Interpretation*. New York: Longman. 352 pp.
- Sashida, K., Igo, H., Hisada, K., Ichiro, Nakornsri, N., and Amphornmaha, A. 1993. Occurrence of Paleozoic and Early Mesozoic Radiolaria in Thailand (preliminary report). *Journal of Southeast Asia Earth Science*, 8: 97-108.

- Sashida, K., Igo, H., Adachi, S., Ueno, K., Nakornsri, N., and Amphornmaha, A. 1994. The Permian/Triassic Boundary in Bedded Chert Sequence in Northern Thailand. In P. Angsuwathana, T.Wongwanich, W. Tansathien, S. Wongsomsak, and J.Tulyatid (eds.), *Proceedings of International Symposium on Stratigraphic Correlation of Southeast Asia*, pp. 130. Bangkok IGCP 306.
- Shackleton, N. J. 1970. Stable Isotope Study of the Paleoenvironment of the Neolithic Site of Nikomedeia, Greece. *Nature*, 277:943-944.
- Shi, G.R., and Archbold, N. W. 1995. Permian Brachiopod Faunal Sequence of the Shan-Thai Terrane: Biostratigraphy, Paleobiogeographical affinities and Plate tectonic/Paleoclimatic Implication. *Journal of Southeast Asia Earth Sciences*, 11: 177-187.
- Thanomsap, S. 1990. Structural Development on the Khorat Plateau and Its Western Adjacent Area. In P.Charusiri, S. Jarupongsakul, and V. Pisutha-Arnond (eds.), *Proceedings of The Technical Conference on Development Geology for Thailand into the year 2,000*, pp.29-38. Bangkok: Department of Geology, Chulalongkorn University.
- Titirananda, O. 1976. Aspects of Stratigraphy and Paleontology of the Permian Ratburi Limestone in the Khao Phlong Phrab Area, Saraburi, Central Thailand. *Ph. D. dissertation*. University of London. 157 pp.
- Toriyama, R., Hamada, T., Igo, H., Ingavat, R., Kanmera, K., Kobayashi, T., Koike, T., Ozawa, T., Pitakpaivan, K., Piyasin, S., Sakagami, S., Yanagida, J. and Ee, H.Y. 1975. The Carboniferous and Permian Systems in Thailand and Malaysia. *Geology and Palaeontology of Southeast Asia*, 15: 39-76.
- Toriyama, R., Kanmera, K., Kaewbaidhoam, S. and Hongnusunthi, A. 1974. Biostratigraphic Zonation of the Ratburi Limestone in the Khao Phlong Phrab area, Saraburi, Central Thailand. *Geology and Palaeontology of Southeast Asia*, 14: 25-48.
- Toriyama, R., Pitakpaivan, K. and Ingavat, R. 1978. The Paleogeographic Characteristic of Fusuline Faunas of the Rat Buri Group in Thailand and Its Equivalent in Malaysia; In P., Nutalaya (ed.), *Proceedings of the third GEOSEA*, pp. 107-111. Bangkok:
- Tucker, M.E., Wright, P.V., and Dickinson, J.A.D. 1994. *Carbonate Sedimentology*. London: Blackwell Scientific Publications. 482 pp.



- Ueno, K., and Igo, H. 1993. Upper Carboniferous Foraminifers from, Ban Na Din Dam, Changwat Loei, Northeastern Thailand. *Proceeding of Palaeontology Society Japan*, 171: 213-228.
- Ueno, K., Nagai, K., Nakornsri, N., and Sugiyama, T. 1994. Middle Carboniferous Foraminifers from Ban Sup, Changwat Loei, Northeastern Thailand. *Geoscience Japan*, 15:15-45.
- Ueno, K., Nagai, K., Nakornsri, N., and Sugiyama, T. 1994. Recent Advance on Fusulinacean Biostratigraphy in the Loei - Wang Saphung area, Northeast Thailand. In P. Angsuwathana, T. Wongwanich, W. Tansathien, S. Wongsomsak, and J. Tulyatid (eds.), *Proceedings of International Symposium on Stratigraphic Correlation of Southeast Asia*, pp. 28. Bangkok: IGCP 306.
- Ueno, K., Nagai, K., Nakornsri, N., and Sugiyama, T. 1995. Upper Carboniferous Foraminifers from Phu Tham Maholan Southeast of Wang Saphung Changwat Loei, Northeast Thailand. *Geoscience Japan*, 16: 29-37.
- Ueno, K., and Sakayama, S. 1993. Middle Permian Foraminifers from Ban Nam Suai Tha Sa-At, Changwat Loei, Northeast Thailand. *Proceedings of Palaeontological Society Japan*, 172: 172-291.
- Urey, H. C. 1947. The Thermodynamic Properties of Isotopic Substance. *Journal of Chemical Society* 562-581.
- Urey, H. C., Lowenstam, H. A., Epstein, S., and McKinny, C. R. 1951. Measurement of Paleotemperatures of the Upper Cretaceous of England, Denmark, and the Southeastern United States. *Geological Society of Amsterdam Bulletin*, 62: 399-416.
- Veizer, J. and Hoefs, J. 1976. The nature of  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  and  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  secular trends in sedimentary carbonate rocks. *Journal of Geochemistry Cosmochemistry* 40: 1387-1396.
- Wielchowsky, C. C. and Young, J. D. 1985. Regional Facies Variation in Permian of the Phetchabun Fold and Thrust Belt, Thailand. In P. Thanvarachorn, S. Hokjaroen, and W. Yanungme (eds.), *Conference on Geology and Mineral Resources Development of Northeastern Thailand*, pp. 41-45. Khon Kaen: Department of Geotechnology, Khon Kaen University.
- Wilson, L. J. 1975. *Carbonate Facies in Geologic History*. Heidenberg-Berlin: Springer-Verlag. 471 pp.

- Winkel, R., Ingavat, R. and Helmcke, D. 1983. Facies and Stratigraphy of the Lower -lower Middle Permian Strata of the Petchabun Fold - Belt in Central Thailand, In P., Nutalaya (ed.), *Workshop on Stratigraphic Correlation of Thailand and Malaysia*, pp.291-306. Hadd Yai. IGCP.
- Wongwanich, T. 1990. Lithostratigraphy, Sedimentology, and Diagenesis of the Ordovician Carbonates, Southern Thailand. *Ph. D. dissertation*, University of Tasmania, Australia. 215 pp.
- Wongwanich, T., Wyatt, D., Stait, B., and Burrett, C. 1983. The Ordovician System in Southern Thailand and Northern Malaysia. In P. Nutalaya (ed.), *Stratigraphic Correlation of Thailand, and Malaysia*. Bangkok: *Geological Society of Thailand*. 1: 77-95.
- Workman, D. R. 1975. Tectonic Evolution of Indochina. *Journal of Paleontology*, 50: 269
- Yanagida, J. 1974. Middle Carboniferous Brachiopods from Loei, Northeastern Thailand. *Geology and Palaeontology Southeast Asia*, 14: 7-24.
- Yanagida, J. 1975. Upper Carboniferous Brachiopods from Wang Saphung, Northern Thailand. *Geology and Palaeontology Southeast Asia*, 16:1-32.
- Yanagida, J. 1967. Paleobiogeographical Consideration on the Late Carboniferous and Early Permian Brachiopods of Central North Thailand. *Geology and Palaeontology Southeast Asia*. 17:173-187.
- Zakharov, Y. D., Ukhaneva, N. G., Kiseleva, A. V., kotlyar, G. V., Nikitina, A. P., Tazawa, J., Gvozdev, V. I., Ignatyev, A. V., and Chzbadzhi, A. K. 1997. Geochemical Signals as Guidance for Definition of Middle-Upper Permian Boundary in South Kitakami (Japan) and Primorye region (Russia). In P. Dheeradilok (eds.), *Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and South Pacific*, pp. 88-120. Bangkok.
- ปริญญญา พุทธาภิบาล 2530. ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ AEM จังหวัดเลยและศักยภาพทางแร่. *การประชุมทางวิชาการกรมทรัพยากรธรณี ครั้งที่ 4*, หน้า 39-67. กรุงเทพมหานคร : กรมทรัพยากรธรณี.
- ฝ่ายประมวลผล และจัดพิมพ์ โครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี และ กลุ่มงานวิชาการ กองธรณีวิทยา 2531. *ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่จังหวัดเลย*. กรุงเทพมหานคร: โครงการพัฒนาทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี.

- พิศิษฐ์ สุขวัฒนานันท์ และ สันต์ อัสวพัชระ 2535. *ธรณีวิทยาระวางอำเภอสันทราย และ ระวางจังหวัดลำพูน*. กรุงเทพมหานคร: กองธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี. 80 หน้า.
- พิศิษฐ์ ธีรดิถก 2538. *ทรัพยากรหินปูนของประเทศไทย. รายงานการประชุมกรมทรัพยากรธรณี ปี 2538. เรื่องความก้าวหน้าและวิสัยทัศน์ของการพัฒนาทรัพยากรธรณี*, หน้า 63-86. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี.
- เลิศสิน รักษาสกุลวงศ์ และ ธนิศร์ วงศ์วานิช 2536. *การลำดับชั้นหินของกลุ่มหินแก่งกระจาน ในบริเวณคาบสมุทร และภาคตะวันตกของประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: ฝ่ายวิจัยธรณีวิทยา, กองธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี. 66 หน้า.
- สันต์ อัสวพัชระ และ วีรชัย แพงแก้ว 2540. *ธรณีวิทยาเบื้องต้น และการลำดับชั้นหินของ หมวดหินน้ำมโหฬาร จังหวัดเลย. การประชุมเสนอผลงานทางวิชาการกองธรณีวิทยา ประจำปี 2540*, หน้า 133-139. กรุงเทพมหานคร: กรมทรัพยากรธรณี
- สัจด์ ปิยะศิลป์ 2515. *ธรณีวิทยาระวางจังหวัดลำปาง (NE47-7)*. กรุงเทพมหานคร: กองธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี. 61 หน้า.
- สุรพล ถนอมทรัพย์ 2530. *ธรณีวิทยาแปรสัณฐานบริเวณจังหวัดเลย. การประชุมทางวิชาการ กรมทรัพยากรธรณี ครั้งที่ 4*, หน้า 39-67. กรุงเทพมหานคร : กรมทรัพยากรธรณี.
- อดุลย์ เจริญประวัตติ และ ธนิศร์ วงศ์วานิช 2517-2519. *ธรณีวิทยาเบื้องต้นแผ่นจังหวัดเลย (ND 47-12)*. กรุงเทพฯ: กองธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี. 61 หน้า.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก ขั้นตอน การกัดกรดและการย้อมสี เพื่อจำแนกแร่คาร์บอเนต ตามวิธีการของ Dickson (1965)

A.R.S. = Alizarin Red, P.F. = Potassium Ferricyanide

Procedure		Time	Carbonate	Result
Stage I	Etching 1 - 5 % HCL	10-15 sec	Calcite Ferroan calcite	Considerable etch
			Dolomite Ferroan dolomite	Negligible etch
Stage II	0.2 g A.R.S. per 100 c.c. 1-5 % HCL  2.0 g P.F. per 100 c.c. 1-5 % HCL  Mixed in ratio A.R.S. : P.F. = 3 : 2	30-45 sec	Calcite	Very pale pink-red depending on optical orientation
			Ferroan calcite	Very pale pink-red Pale blue-dark blue Two superimposed glye Mauve-purple-royal blue
			Dolomite	No colour
			Ferroan dolomite	Pale-deep turquoise depending on ferroan content
Stage III	Staining 0.2 g A.R.S. per 100 c.c. 1-5 % HCL	10-15 sec	Calcite Ferroan calcite	Very pale pink-red
			Dolomite Ferroan dolomite	No colour



ตาราง ข การจำแนกชนิดหินคาร์บอเนต โดย Dunham (1962); Embry and Klovan (1971).

ALLOCHTHONOUS LIMESTONE						AUTOCHTHONOUS LIMESTONE				
Less than 10 % > 2 mm components				Greater than 10% > 2 mm components						
Contains lime mud (< 0.03 mm)			Lack mud			Matrix supported	Component supported	Organisms which act as baffles	Organisms which encrust and bind	Organism which build a rigid framework
Mud supported		Grain supported								
< 10 % Grains (< 2 mm)	> 10 % grains (< 2mm)									
Mudstone	Wackstone	Packstone	Grainstone	Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone		








ตาราง ค การจำแนกชนิดหินคาร์บอเนต โดย Folk (1959, 1962)

volumetric allochem composition		> 10% allochems		< 10% allochems		Undisturbed reef and bioherm rocks
		Sparry calcite > Micrite	Micrite > Sparry calcite	1-10% allochems	< 1% allochems	
< 25% Intraclasts < 25% Ooids Volume ratio, bioclasts: peloids	> 25% Intraclasts	INTRASPARITE	INTRAMICRITE	Most abundant allochems MICRITE, or if sparry patches present DISMICRITE	Intraclasts INTRA-CLAST-BEARING MICRITE	BIOLITHITE
	> 25% Ooids	OOSPARITE	OOMICRITE		Ooids OOID-BEARING MICRITE	
	3:1	BIOSPARITE	BIOMICRITE		Bioclasts FOSSILIFEROUS MICRITE	
	3:1 to 1:3	BIOPELSPARITE	BIOPELMICRITE		Peloids PELOID-BEARING MICRITE	
	1:3	PELSPARITE	PELMICRITE			

ตาราง ง

Percent allochems	Over 2/3 lime mud matrix				Subequal spar and lime mud	Over 2/3 spar cement		
	0-1%	1-10%	10-50%	Over 50%		Sorting poor	Sorting good	Rounded and abraded
Representative rock terms	Micrite and dismicrite	Fossiliferous micrite	Sparse biomicrite	Packed biomicrite	Poorly washed biosparite	Unsorted biosparite	Sorted biosparite	Rounded biosparite
	Micrite	Sparry calcite cement						

ตาราง จ การจำแนกชนิดหินคาร์บอเนต โดย Embry และ Klovan (1971)

Allochthonous		Autochthonous		
Original components not organically bound during deposition		Original components organically bound during deposition		
>10% grains >2mm				
Matrix supported	Supported by >2mm component	By organisms which act as baffles	By organisms which encrust and bind	By organisms which build a rigid framework
Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone
				

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

