

รหัสโครงการ SUT7-719-57-24-61



รายงานการวิจัย

การวิเคราะห์ศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียม
ของหินคาร์บอเนตยุคเพอร์เมียนด้านตะวันตกของแอ่งโคราช
(The Analysis of Reservoir Potential in Permian Carbonates
of Western Khorat Basin)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่ผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การวิเคราะห์ศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียม
ของหินคาร์บอนเตยุคเพอร์เมียนด้านตะวันตกของแอ่งโคราช
(The Analysis of Reservoir Potential in Permian Carbonates
of Western Khorat Basin)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัมพรรค วรรณโกมล

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี

สำนักวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

ดร.จงพันธ์ จงลักษณ์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557-2558

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่ผู้เดียว

สิงหาคม 2561

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2557-2558 และได้รับความช่วยเหลือจากเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีธรณี สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการธรณีวิทยา มหาวิทยาลัยอุษัณ สาธารณรัฐประชาชนจีน เป็นอย่างดี ซึ่งผู้วิจัยต้องขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้วิจัย

สิงหาคม 2561



บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้คือ 1) เพื่อศึกษาการลำดับชั้นหินและลักษณะทางธรณีวิทยาปิโตรเลียมของแอ่งเพอร์เมียนในบริเวณเทือกเขาด้านตะวันตกของที่ราบสูงโคราช และ 2) เพื่อวิเคราะห์ชุดลักษณะปรากฏ สิ่งแวดล้อมในการตกตะกอนและการเปลี่ยนแปลงหลังการสะสมตัวของหินเพอร์เมียนที่อาจเหมาะสมกับการเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียม พื้นที่ที่ทำการศึกษา 6 พื้นที่ ได้แก่ 1) พื้นที่ฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก 2) พื้นที่บริเวณวัดสุคโต 3) พื้นที่บริเวณฟาร์มโคนม ไทย-เดนมาร์ก 4) พื้นที่บริเวณวัดซับตะเคียน 5) บ่อขุดดินลูกรังที่บ้านหนองผักเสี้ยน และ 6) พื้นที่บริเวณบ้านหนองโป่งหมวดหินในพื้นที่ศึกษาประกอบด้วย หมวดหินซับบอน เขาขาด ปางอโคก หนองโป่ง และเขาขวาง ของกลุ่มหินสระบุรี วิธีการศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยการศึกษาทางด้านธรณีวิทยา ธรณีเคมี ศิลาวิทยาและศิลาวรรณนา และการประเมินศักยภาพในการเป็นหินแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมจากค่าความพรุนและค่าความซึมผ่าน ผลการศึกษาการลำดับชั้นหินและหน่วยหินต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษาบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่สะสมตะกอนจากสภาพแวดล้อมที่เป็นขอบลานทวีป (Platform margin) ทางตอนเหนือ ไปจนถึงสภาพแวดล้อมที่เป็นแอ่งทะเลลึก (Marine basin) ทางตอนใต้ ผลการศึกษาทางธรณีเคมีจากตัวอย่างหินเชิร์ตในพื้นที่สุคโตบ่งบอกถึงการสะสมตัวในบริเวณที่เป็นขอบทวีป ผลการเทียบเคียงอายุจากเรดิโอโลราเรียแสดงให้เห็นว่าหมวดหินเขาขาดในพื้นที่ศึกษานั้นมีอายุอยู่ในช่วงเพอร์เมียนตอนต้นถึงตอนกลาง ผลการตรวจวัดค่าความพรุนและค่าความซึมผ่านของตัวอย่างหินคาร์บอนเตอายุเพอร์เมียนที่เก็บมาจากพื้นที่ศึกษาทั้ง 6 แห่ง นั้นแสดงค่าความพรุนและค่าความซึมผ่านที่ต่ำมาก ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่าหินคาร์บอนเตอายุเพอร์เมียนที่พบในบริเวณพื้นที่ศึกษานั้นไม่มีความเหมาะสมในการเป็นหินแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมที่ดีเมื่อพิจารณาเพียงจากแค่ค่าความพรุนและค่าความซึมผ่าน

ABSTRACT

This research was studied the Permian limestone found in the western rim area of the Khorat Plateau. The objectives of this research are 1) to study stratigraphy and petroleum geology characters of the Permian basin in the vicinity area of the western mountain range of the Khorat Plateau and 2) to analyze the facies, depositional environment and diagenesis of the Permian rocks which may suitable for being the petroleum reservoir. The 6 studied areas are 1) the opposite area of the Mauk Lek sport village, 2) Sukhato Temple area, 3) Thai-Denmark Daily Farm area, 4) Sab Ta Kien Temple area, 5) Laterite digging area at Ban Nong Phaksen, and 6) Ban Nong Pong area. Rock formations in the studied areas comprise Sab Bon, Khao Khad, Pang Asok, Nong Pong, and Khao Kwang Formation of the Saraburi Group. The study methodology used in this research comprised geology, geochemistry, lithology and petrography, and petroleum reservoir potential assessment from porosity and permeability. The study results from stratigraphy and rock units in the studied areas indicated the depositional environment of platform margin from the northern part to marine basin in the southern part. The geochemical study results of chert samples from Sukhato Temple area indicated that it deposited in the continental margin area. The radiolarian correlation results presented the age of the Khao Khad Formation in the studied area that is in Early to Middle Permian period. Results from porosity and permeability measurement of Permian carbonate rock samples collected from the 6 studied areas showed very low porosity and permeability. Therefore, it can be concluded that Permian carbonate rocks found in the study areas are not suitable for being the good reservoir rock when considering only on their porosity and permeability.

สารบัญ

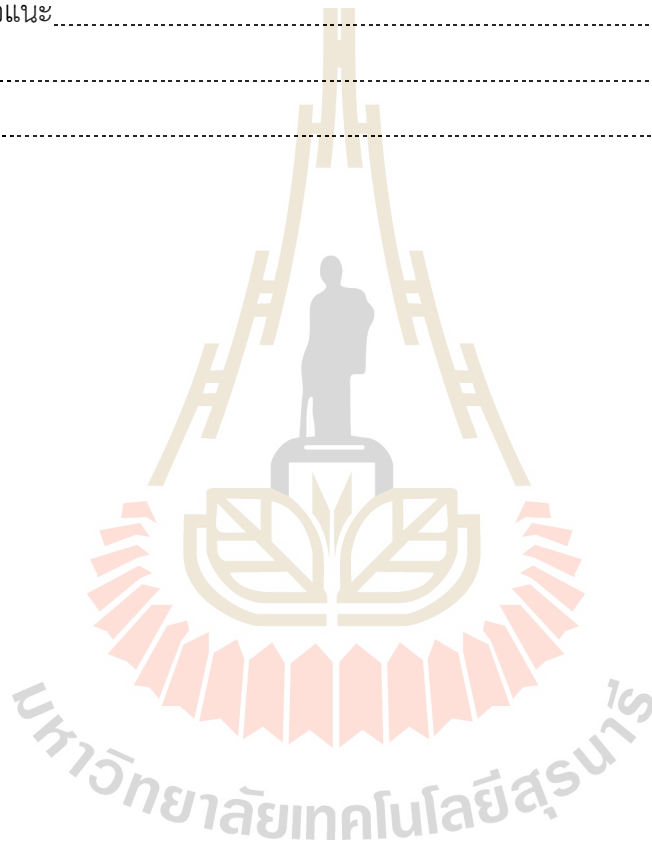
	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	3
1.5.1 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	3
1.5.2 หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์.....	4
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม	
2.1 หินตะกอนยุคเพอร์เมียนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.....	5
2.2 หินกักเก็บปิโตรเลียม.....	11
2.2.1 หินกักเก็บปิโตรเลียมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย.....	11
2.2.2 หินกักเก็บปิโตรเลียมอายุเพอร์เมียน (Permian reservoir rocks).....	11
2.2.3 หินปิดกั้น (Seal rocks).....	12
2.3 การเกิดโดโลไมต์.....	12
2.3.1 การวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร.....	13
2.3.2 รูปแบบการเกิดโดโลไมต์.....	14
2.3.3 แบบจำลองการเกิดโดโลไมต์.....	14
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	16
3.2 พื้นที่ศึกษา.....	18
3.3 การศึกษาสิลาวรรณนา.....	25
3.3.1 ขั้นตอนการทำแผ่นหินบาง.....	26
3.3.2 การวิเคราะห์แผ่นหินบางด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การศึกษาธรณีเคมี.....	28
3.5 การศึกษา Radiolarians และ Sponges.....	28
3.6 การวัดค่าความพรุนและค่าความซึมผ่านของตัวอย่างหินคาร์บอนेट.....	29
3.6.1 การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง.....	29
3.6.1.1 การเก็บตัวอย่าง.....	29
3.6.1.2 การเตรียมตัวอย่าง.....	29
3.6.2 การวัดค่าความพรุนของหินตัวอย่าง.....	29
3.6.3 การวัดค่าความซึมผ่านของหินตัวอย่าง.....	33
บทที่ 4 ผลการศึกษา	
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลธรณีวิทยาและการจำแนกกลุ่มหินสระบุรี.....	35
ในพื้นที่ศึกษา	
4.1.1 หมวดหินเขาขวาง (Khao Kwang Formation).....	35
4.1.2 หมวดหินเขาแผงม้า (Khao Phaeng Ma Formation).....	37
4.1.3 หมวดหินซับบอน (Sap Bon Formation).....	38
4.1.4 หมวดหินหนองโป่ง (Nong Pong Formation).....	39
4.1.5 หมวดหินปางอโศก (Pang Asok Formation).....	39
4.1.6 หมวดหินน้ำดุก (Nam Duk Formation).....	40
4.1.7 หมวดหินน้ำหนาว (Nam Nao Formation).....	41
4.2 ผลการศึกษาธรณีเคมี.....	42
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุหลักและธาตุร่องรอย.....	42
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุหายาก.....	46
4.3 ผลการวิเคราะห์ทางศิลวิทยาและศิลาวรรณนา.....	48
4.3.1 พื้นที่ศึกษาบริเวณฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก.....	48
4.3.2 พื้นที่ศึกษาบริเวณวัดสุคโต.....	51
4.3.3 พื้นที่ศึกษาบริเวณภายในฟาร์มโคนม ไทย-เดนมาร์ก.....	56
4.3.4 พื้นที่ศึกษาบริเวณวัดซับบตะเคียน.....	58
4.3.5 พื้นที่ศึกษาบริเวณบ่อขุด บ้านหนองผักเสี้ยน.....	61
4.3.6 พื้นที่ศึกษาบริเวณบ้านหนองโป่ง.....	64
4.4 การศึกษาอายุของชั้นหินจากซากบรรพชีวิน.....	68

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 ผลการวัดค่าความพรุนและค่าความซึมผ่านของตัวอย่างหินคาร์บอนต.....	69
4.5.1 ผลการวัดค่าความพรุน.....	69
4.5.2 ผลการวัดค่าความซึมผ่าน.....	71
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 ธรณีวิทยาในบริเวณพื้นที่ศึกษา.....	73
5.2 ศักยภาพในการเป็นหินกักเก็บปิโตรเลียมของหินคาร์บอนตในพื้นที่ศึกษา...	76
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	76
บรรณานุกรม.....	78
ประวัติผู้วิจัย.....	83



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การจำแนกหินยุคเพอร์เมียนตามแผนที่ธรณีวิทยาระวาง.....	6
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา	
ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์ธาตุหลักจากตัวอย่างหินเซิร์ตในพื้นที่สุคโต.....	43
ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาวิเคราะห์ธาตุร่องรอยจากตัวอย่างหินเซิร์ตในพื้นที่สุคโต.....	44
ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาวิเคราะห์ธาตุหายากจากตัวอย่างหินเซิร์ตในพื้นที่สุคโต.....	47
ตารางที่ 4.4 ค่าความพรุนของตัวอย่างหินคาร์บอนेटที่ศึกษา.....	69
ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของค่าความพรุนและค่าความหนาแน่นทั้งหมดของหินตัวอย่าง.....	70
ในแต่ละพื้นที่ศึกษา	
ตารางที่ 4.6 ค่าความซึมผ่านของตัวอย่างหินคาร์บอนेटที่ศึกษา.....	71



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพแสดงภูมิศาสตร์บรรพกาลในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้น.....	9
รูปที่ 2.2 ภาพแสดงภูมิศาสตร์บรรพกาลในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง.....	10
รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของไอโซโทปเสถียรออกซิเจน 18 กับอุณหภูมิ.....	13
รูปที่ 2.4 แบบจำลองการเกิดโดโลไมต์โดยทั่วไป.....	15
รูปที่ 3.1 แผนที่ภูมิประเทศบริเวณศึกษาที่ 1. ฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก..... อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี	20
รูปที่ 3.2 แผนที่ภูมิประเทศบริเวณศึกษาที่ 2. พื้นที่บริเวณวัดสุคโต อำเภอมวกเหล็ก..... จังหวัดสระบุรี	21
รูปที่ 3.3 แผนที่ภูมิประเทศบริเวณศึกษาที่ 3. พื้นที่ภายในฟาร์มโคนมไทย-เดนมาร์ก..... อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี	22
รูปที่ 3.4 แผนที่ภูมิประเทศบริเวณศึกษาที่ 4. วัดซับตะเคียน อำเภอมวกเหล็ก..... จังหวัดสระบุรี	23
รูปที่ 3.5 แผนที่ภูมิประเทศบริเวณศึกษาที่ 5. บ่อขุด อำเภอปากช่อง..... จังหวัดนครราชสีมา	24
รูปที่ 3.6 แผนที่ภูมิประเทศบริเวณศึกษาที่ 6. บ้านหนองโป่ง อำเภอปากช่อง..... จังหวัดนครราชสีมา	25
รูปที่ 3.7 Folk classification.....	27
รูปที่ 3.8 Dunham classification.....	27
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างแท่งหินตัวอย่างทรงกระบอก.....	30
รูปที่ 3.10 เครื่องวัดค่าความพรุน (Porosimeter).....	31
รูปที่ 3.11 เครื่องวัดค่าความซึมผ่านแบบ Hydrostatic pressure cell.....	33
รูปที่ 4.1 แผนภาพการวิเคราะห์ธาตุหลักจากตัวอย่างหินเชิร์ตในพื้นที่สุคโต.....	45
รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของ Ce-anomalies (NASC-normalized)..... จากตัวอย่างหินเชิร์ตในพื้นที่สุคโต	48
รูปที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 1A ในพื้นที่ศึกษาฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก	49
รูปที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2A ในพื้นที่ศึกษาฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก	50
รูปที่ 4.5 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 3A ในพื้นที่ศึกษาฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก	51
รูปที่ 4.6 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 1B ในพื้นที่ศึกษาวัดสุคโต.....	52
รูปที่ 4.7 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2B ในพื้นที่ศึกษาวัดสุคโต.....	53

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 3B ในพื้นที่ศึกษาวัดสุคโต.....	54
รูปที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 4B ในพื้นที่ศึกษาวัดสุคโต.....	55
รูปที่ 4.10 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 5B ในพื้นที่ศึกษาวัดสุคโต.....	55
รูปที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 1C ในพื้นที่ศึกษาภายในฟาร์มโคนม ไทย-เดนมาร์ก	57
รูปที่ 4.12 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2C ในพื้นที่ศึกษาภายในฟาร์มโคนม ไทย-เดนมาร์ก	57
รูปที่ 4.13 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 3C ในพื้นที่ศึกษาภายในฟาร์มโคนม ไทย-เดนมาร์ก	58
รูปที่ 4.14 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 1D ในพื้นที่ศึกษาวัดซัดตะเคียน.....	59
รูปที่ 4.15 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2D ในพื้นที่ศึกษาวัดซัดตะเคียน.....	60
รูปที่ 4.16 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 3D ในพื้นที่ศึกษาวัดซัดตะเคียน.....	61
รูปที่ 4.17 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 1E ในพื้นที่ศึกษาบ่อขุด บ้านหนองผักเสี้ยน.....	62
รูปที่ 4.18 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2E ในพื้นที่ศึกษาบ่อขุด บ้านหนองผักเสี้ยน.....	62
รูปที่ 4.19 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2E ในพื้นที่ศึกษาบ่อขุด บ้านหนองผักเสี้ยน.....	63
รูปที่ 4.20 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2E ในพื้นที่ศึกษาบ่อขุด บ้านหนองผักเสี้ยน.....	63
รูปที่ 4.21 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 1F ในพื้นที่ศึกษาบ้านหนองโป่ง.....	64
รูปที่ 4.22 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2F ในพื้นที่ศึกษาบ้านหนองโป่ง.....	65
รูปที่ 4.23 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 3F ในพื้นที่ศึกษาบ้านหนองโป่ง.....	66
รูปที่ 4.24 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 4F ในพื้นที่ศึกษาบ้านหนองโป่ง.....	67
รูปที่ 4.25 แสดงเพลงก์ตอนเรดิโอลาเรีย และชวากทะเล จากตัวอย่างหินเชิร์ต.....	68
ในพื้นที่สุคโต	
รูปที่ 5.1 แสดงหน่วยหินในพื้นที่ศึกษาที่สัมพันธ์กับกลุ่มหินสระบุรี และตำแหน่ง.....	75
ของจุดเก็บตัวอย่างหินคาร์บอนเตอายุเพอร์เมียน	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย

แผนการเพิ่มศักยภาพการผลิตปิโตรเลียมของกระทรวงพลังงานในปัจจุบันมีการเปิดให้สัมปทานสำรวจและขุดเจาะปิโตรเลียมมากขึ้น ทั้งนี้ปัจจุบันมีแหล่งปิโตรเลียมทั้งสิ้น 69 แหล่ง คือ แหล่งน้ำมัน 36 แหล่ง แบ่งเป็นแหล่งบนบก 17 แหล่ง และในทะเลลึก 19 แหล่ง ส่วนแหล่งก๊าซธรรมชาติมีทั้งสิ้น 33 แหล่ง แบ่งเป็นบนบก 3 แหล่ง ส่วนในทะเลลึกมากถึง 30 แหล่ง หรือแหล่งผลิตปิโตรเลียมส่วนใหญ่ถึงร้อยละ 94 เป็นแหล่งในทะเล โดยคาดว่าจะมีแปลงปิโตรเลียมที่คาดว่าจะมีศักยภาพเหลืออยู่ทั่วประเทศประมาณ 30 แปลง สำหรับพื้นที่ที่ยังมีศักยภาพ คือ พื้นที่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จากการประเมินทางธรณีวิทยาพบว่าน่าจะมีปริมาณก๊าซธรรมชาติถึง 5-10 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุตหรือคิดเป็น 1 ใน 3 ของปริมาณในอ่าวไทยที่มีปริมาณสำรองที่พบแล้ว 30 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต ทั้งนี้ประเทศไทยต้องเร่งจัดหาก๊าซธรรมชาติเพิ่มขึ้น เพราะขณะนี้ปริมาณก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยเหลืออยู่เพียง 23-24 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต มีการนำขึ้นมาใช้ปีละ 1 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต ทำให้อีกไม่เกิน 30 ปีข้างหน้าก๊าซธรรมชาติจะหมดจากอ่าวไทย

จากการสำรวจที่ผ่านมาพบว่าชั้นหินที่มีศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมที่ดีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยคือชั้นหินยุคเพอร์เมียนซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินปูน และมีหินดินดานยุคเพอร์เมียนและไทรแอสสิกเป็นหินต้นกำเนิดซึ่งมีการกระจายตัวอยู่ตามขอบของที่ราบสูงโคราช โดยทั่วไปชั้นหินที่จะสามารถเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมได้นั้นต้องมีค่าความพรุนและค่าความซึมผ่านที่มากพอ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นหินชนิดหินตะกอน เช่น หินทราย หินคาร์บอนेट (หินปูนหรือหินโดโลไมต์) หินโดโลไมต์นั้นมักจะเป็นหินกักเก็บปิโตรเลียมที่ดีเนื่องจากการแทนที่ธาตุแคลเซียมด้วยธาตุแมกนีเซียมนั้นจะทำให้เกิดช่องว่างเพิ่มขึ้นในเนื้อหินประมาณร้อยละ 13 ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรสภาพไปเป็นโดโลไมต์ (Dolomitization) ของหินปูน (Weyl, 1960) ดังนั้นถ้าในหินปูน (Limestone) ใดมีการเกิดกระบวนการแปรสภาพไปเป็นโดโลไมต์ขึ้นก็มีโอกาสที่จะเกิดช่องว่างภายในเนื้อหินมากขึ้นและมีโอกาสในการเป็นหินกักเก็บปิโตรเลียมที่ดีได้

ดังนั้นการศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะทางธรณีวิทยา ลักษณะการตกตะกอนสิ่งแวดล้อมของการตกตะกอนและการเปลี่ยนแปลงหลังการสะสมตัวของหินคาร์บอนेटยุคเพอร์เมียนจะมีส่วนช่วยในการสำรวจและกำหนดขอบเขตของหินกักเก็บและค้นพบแหล่งก๊าซธรรมชาติในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยได้เพิ่มขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการลำดับชั้นหิน ลักษณะทางธรณีวิทยาปิโตรเลียม ของแอ่งเพอร์เมียนในบริเวณเทือกเขาด้านตะวันตกของที่ราบสูงโคราช

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ลักษณะปรากฏ สิ่งแวดล้อมในการตกตะกอนและการเปลี่ยนแปลงหลังการสะสมตัวของหินเพอร์เมียนที่เหมาะสมกับการเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาแอ่งสะสมตะกอนยุคเพอร์เมียนบริเวณเทือกเขาด้านตะวันตกของที่ราบสูงโคราชโดยใช้ข้อมูลที่ได้ตีพิมพ์และเผยแพร่ไว้แล้ว ได้แก่ ข้อมูลการสำรวจภาคสนาม ข้อมูลการวิเคราะห์ผลจากห้องปฏิบัติการ ข้อมูลคลื่นไหวสะเทือนใน 2 มิติ ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจและข้อมูลธรณีเคมี โดยจะมีการศึกษาและสำรวจในภาคสนามและในห้องปฏิบัติการ ซึ่งในการวิจัยได้แบ่งการดำเนินการเป็น 2 ส่วน คือ

1. การศึกษาภาคสนามของหินปูนและหินโดโลไมต์ยุคเพอร์เมียนเพื่อทำการศึกษานิตหิน การลำดับชั้นหิน การจำแนกสิ่งแวดลอมในแอ่งสะสมตะกอน พร้อมกันนี้จะทำการเก็บตัวอย่างหินในภาคสนามเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการต่อไป

2. การศึกษาในห้องปฏิบัติการเพื่อนำตัวอย่างหินที่เก็บจากการปฏิบัติงานภาคสนามมาวิเคราะห์ทางธรณีเคมี ได้แก่ การวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร ธาตุหลัก ธาตุร่องรอย ธาตุหายาก การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน การวิเคราะห์ทางศิลาวรรณนาจากแผ่นหินบาง รวมไปถึงการตรวจวัดค่าความพรุนและค่าความซึมผ่านของตัวอย่างหิน

1.4 ขั้นตอนดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ค้นคว้า ศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รวบรวมข้อมูลธรณีวิทยา ธรณีวิทยาปิโตรเลียม ธรณีเคมีและข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องจากผลงานที่มีการตีพิมพ์เผยแพร่ และข้อมูลที่เปิดเผยได้จากหน่วยงานราชการได้แก่ กรมทรัพยากรธรณี และกรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษา ศึกษาวารสาร รายงาน และสิ่งตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจธรณีวิทยาภาคสนามและธรณีฟิสิกส์ การพิจารณาถึงลักษณะทางธรณีวิทยาและวิทยาตะกอนของพื้นที่สำรวจ โดยจะนำมาศึกษาและค้นคว้าหาข้อสรุป เพื่อให้สามารถประมวลผลและวิเคราะห์ผลเบื้องต้นในการวางแผนแนวและจุดสำหรับการสำรวจและเก็บตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 2 เก็บข้อมูลในภาคสนาม

เก็บข้อมูลตัวอย่างหินปูน หินโคลไมต์ยุคเพอร์เมียน ในบริเวณฝั่งตะวันตกของแอ่งโคราชซึ่งอยู่ในเขต อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา เพื่อการศึกษาธรณีวิทยา ธรณีวิทยาเคมี และศิลาวรรณนาในห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนที่ 3 การปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างหินที่ถูกคัดเลือกจะนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการต่อไปนี้

1. การศึกษาศิลาวรรณนา (Petrographic study)
2. การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope : SEM)
3. การศึกษาธรณีเคมี ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาธาตุหลัก ธาตุรองรอย และธาตุหายาก
4. การวัดค่าความพรุนและความซึมผ่านของตัวอย่างหินคาร์บอนेट

ขั้นตอนที่ 4 การรวบรวมและประมวลผลข้อมูล

นำข้อมูลที่ศึกษาไว้แล้ว ผลการปฏิบัติงานในภาคสนามและผลการศึกษาและตรวจวัดที่ได้จากห้องปฏิบัติการมาประมวลเพื่อแสดงลำดับชั้นหิน ตลอดจนหาความสัมพันธ์ของลำดับชั้นหินในแต่ละตำแหน่ง และอธิบายความเชื่อมโยงของลักษณะปรากฏของชั้นหินต่าง ๆ และศึกษาศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมของหินคาร์บอนेटที่ศึกษา

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลและเขียนรายงาน

ผลการศึกษาทั้งหมดจะนำมาสรุปและนำเสนอในรายงานฉบับสมบูรณ์ เพื่อส่งมอบเมื่อเสร็จสิ้นโครงการวิจัย

สถานที่เก็บข้อมูล

บริเวณที่มีหินโพลีในอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา และอำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

สถานที่ทำการทดลอง

- ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา
- ห้องปฏิบัติการทางธรณีวิทยา ณ China University of Geosciences เมืองวุฮั่น สาธารณรัฐประชาชนจีน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับและหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.5.1 ประโยชน์ที่ได้รับ

ประโยชน์ที่ได้รับจากผลการวิจัยที่เสนอมานี้มีหลายด้าน ซึ่งสามารถสรุปเป็นหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

ด้านเทคโนโลยีการสำรวจทางธรณีวิทยาปิโตรเลียม

เนื่องจากเทคโนโลยีการสำรวจทางธรณีวิทยาปิโตรเลียมนี้ เป็นการสำรวจหาค่าศักยภาพของการเป็นหินและแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นเป้าหมายสำคัญในการหาแหล่งปิโตรเลียมใหม่บนบกนอกเหนือจากการสำรวจหาแหล่งปิโตรเลียมในทะเล นับเป็นการเพิ่มโอกาสให้ประเทศในการค้นพบแหล่งปิโตรเลียมใหม่ๆ และเพิ่มการแข่งขันด้านเศรษฐกิจของประเทศกับประเทศอื่น ๆ

ด้านเศรษฐศาสตร์

เมื่อทำการรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์และประเมินผลการศึกษาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว แหล่งปิโตรเลียมบนบกจะถือว่าเป็นแหล่งทรัพยากรที่สำคัญให้กับประเทศไทยในอนาคตและจะส่งผลให้มีแหล่งปิโตรเลียมสำรองของประเทศสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งช่วยลดอัตราการนำเข้าจากต่างประเทศ ลดการพึ่งพาจากต่างประเทศและเพิ่มเสถียรภาพด้านพลังงานให้กับประเทศ

ด้านการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ของประเทศ

องค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยด้วยการนำธรณีเคมีมาช่วยในการวิเคราะห์องค์ประกอบของหินมีความสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาความรู้ด้านธรณีวิทยาของประเทศไทยอีกทางหนึ่ง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการพัฒนาองค์ความรู้ด้านธรณีวิทยาปิโตรเลียมเพื่อการเสาะหาแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมในหินปูนและหินโดโลไมต์ที่พบบนบกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคอื่น ๆ นอกเหนือไปจากแหล่งปิโตรเลียมในปัจจุบันที่มีอยู่ในทะเล หากนำองค์ความรู้ที่ได้ไปพัฒนาจะสามารถเพิ่มแหล่งปิโตรเลียมสำรองของประเทศไทย ซึ่งเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญต่อการจัดการและวางแผนการพัฒนาประเทศให้มีการพัฒนาที่ยั่งยืนต่อไป

1.5.2 หน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

ผลจากการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งสามารถแยกออกมาอธิบายได้ดังนี้

หน่วยงานของรัฐ ประกอบไปด้วยหน่วยงานที่ทำงานเกี่ยวข้องกับทางด้านธรณีวิทยา ธรณีวิทยาปิโตรเลียม ธรณีภัยพิบัติ หน่วยงานเหล่านี้ อาทิ เช่น องค์การบริหารส่วนท้องถิ่น สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรมทรัพยากรธรณี กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ เป็นต้น

หน่วยงานทางภาคเอกชน ประกอบด้วยผู้ประกอบการสำรวจและผลิตปิโตรเลียมในประเทศไทย

สถาบันการศึกษาที่เปิดสอนทางด้านธรณีวิทยา ธรณีวิทยาปิโตรเลียม และวิศวกรรมธรณี ทั้งนี้สถาบันการศึกษาเหล่านี้ สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้ไปศึกษาต่อ และใช้ประโยชน์ในการศึกษาและวิจัยในระดับการศึกษาชั้นสูงต่อไป

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม

2.1 หินตะกอนยุคเพอร์เมียนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

หินตะกอนยุคเพอร์เมียน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินปูนพบแพร่กระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย และรู้จักกันในชื่อดั้งเดิมว่าหินปูนราชบุรี (Ratburi Limestone) (Brown *et al.*, 1951) ผลการศึกษาในภายหลังจึงได้พบว่า หินยุคเพอร์เมียนมิใช่เป็นหินปูนทั้งหมด แต่ยังมีหินตะกอนเนื้อประสมและหินภูเขาไฟปะปนอยู่ด้วย จึงได้ใช้ชื่อเป็นกลุ่มหินราชบุรี (Ratburi Group) (Javanaphet, 1969) หินยุคเพอร์เมียนมีซากดึกดำบรรพ์มากโดยเฉพาะจำพวก ฟิวซูลินิด (Fusulinid) บราคิโอพอด (Brachiopod) และ ปะการัง (Coral) ซึ่งใช้เป็นรากฐานในการกำหนดอายุชั้นหินที่แน่นอน Bunopas (1981) ได้กำหนดให้ใช้ชื่อกลุ่มหินราชบุรี (Ratburi Group) เฉพาะหินปูนยุคเพอร์เมียนในบริเวณภาคตะวันตกและภาคใต้ เนื่องจากมีลักษณะหินและลำดับชั้นหินที่แตกต่างกับพื้นที่อื่น ๆ และได้ตั้งชื่อกลุ่มหินสระบุรี (Saraburi Group) แทนหินยุคเพอร์เมียนในบริเวณเทือกเขาด้านตะวันตกของที่ราบสูงโคราชตามแนวคดโค้งเลย (Loei Fold Belt) ในเขตภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือปัจจุบันเป็นที่ยอมรับกันว่ากลุ่มหินราชบุรีมีกลุ่มซากบรรพชีวินที่แตกต่างจากที่พบในกลุ่มหินสระบุรี ซากบรรพชีวินของกลุ่มหินราชบุรีเป็นพวกที่อยู่ในเขต Peri-Gondwana ส่วนของกลุ่มหินสระบุรีอยู่ในเขต Tethyan กลุ่มหินสระบุรีประกอบด้วยหินปูนและหินตะกอนเนื้อประสม โดยพบแพร่กระจายอยู่ตามบริเวณที่ราบเจ้าพระยาตอนล่าง ตั้งแต่บริเวณจังหวัดอุทัยธานี นครสวรรค์ ลงมาถึงบริเวณจังหวัดสระบุรีและตามแนวขอบด้านตะวันตกของที่ราบสูงโคราช ตั้งแต่บริเวณจังหวัดเลยต่อเนื่องลงมาถึงบริเวณจังหวัดสระบุรี

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นที่ราบสูงมีพื้นที่ประมาณ 200,000 ตารางกิโลเมตร ได้มีการสำรวจและขุดเจาะเพื่อค้นหาแหล่งปิโตรเลียมมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2514 จนถึงปัจจุบัน มีการค้นพบและพัฒนาก๊าซธรรมชาติขึ้นมาใช้ได้เฉพาะในแหล่งที่เกิดในหินปูนยุคเพอร์เมียน ความล้มเหลวในการเจาะสำรวจที่ผ่านมาส่วนใหญ่เกิดจากการไม่สามารถเจาะพบหินปูนซึ่งเป็นหินกักเก็บก๊าซธรรมชาติหลักในบริเวณนี้ได้ (Booth, 1998) การเข้าใจถึงสภาพภูมิศาสตร์บรรพกาลของยุคเพอร์เมียนจะสามารถช่วยกำหนดบริเวณเจาะสำรวจเพื่อหาหินปูนโดยเฉพาะหินฟีดปะการังโบราณ (Reef) ได้แน่นอนขึ้น และนั่นคือโอกาสที่จะค้นพบแหล่งก๊าซธรรมชาติในหินปูนแบบแหล่งน้ำพองได้มากขึ้นในอนาคต

บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือพบหินยุคเพอร์เมียนโผล่อยู่ทั่วไปตามขอบตะวันตกของที่ราบสูงโคราช จากด้านเหนือจังหวัดเลยติดแม่น้ำโขง แผลงได้ผ่านจังหวัดขอนแก่น เพชรบูรณ์ ลพบุรี จนถึงสระบุรี และบริเวณตะวันตกของจังหวัดนครราชสีมา หินยุคเพอร์เมียนประกอบด้วยหินหลายจำพวก เช่น หินตะกอน (หินปูน หินทรายเกรย์แวก หินทรายเฟลสปาติก หินดินดานกึ่งชนวน และหินดินดาน)

และหินภูเขาไฟ (ไรโอไลต์ แอนดีไซต์ ทัฟฟ์ และแอ็กโกลเมอเรต) เป็นต้น (Sudasna and Veeraburus, 1979 ; Hinthong *et al.*, 1981)

แต่เดิมนักธรณีวิทยามีความเห็นพ้องกันว่าหินยุคเพอร์เมียนในประเทศไทยและประเทศข้างเคียง ประกอบด้วยหินปูนซึ่งสะสมตัวในทะเลน้ำตื้นเป็นส่วนใหญ่ (Brown *et al.*, 1951; Gobbett, 1967; Dawson, 1978) หินปูนอายุเพอร์เมียนในบางบริเวณมีการสะสมตัวต่อเนื่องหนามากกว่า 1,000 เมตร (Borax and Stewart, 1966; Tittirananda, 1976) Dawson (1978) ได้รายงานว่าหินปูนอายุเพอร์เมียนบริเวณจังหวัดสระบุรีมีการสะสมในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ที่หลากหลายของเขตทะเลน้ำตื้น จาก fore reef ถึง back reef, shoal, bioherm, lagoonal, intertidal flat bottom, beach, supratidal และ swamp เป็นต้น

ต่อมาได้มีการสำรวจรายละเอียดลำดับชั้นหินและวิทยาการตะกอนของหินยุคเพอร์เมียนจากงานสำรวจเพื่อจัดทำแผนธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:250,000 ของกรมทรัพยากรธรณี งานสำรวจปิโตรเลียม และงานศึกษาวิจัยของสถาบันศึกษาต่าง ๆ (Borax and Stewart, 1966; Sudasna and Pitakpaivan, 1976; Dawson 1978; Chonglakmani and Sattayarak, 1978; Hinthong *et al.*, 1981; Helmcke and Kraikhong, 1982; Chonglakmani and Sattayarak, 1984; Charoenpravat *et al.*, 1984; Wielchowsky and Young, 1985; Altermann, 1989) ชั้นหินยุคเพอร์เมียนที่พบไล่ตามแนวบริเวณขอบด้านตะวันตกของที่ราบสูงโคราชตอนล่างมีลำดับชั้นหินตามตารางที่ปรากฏในแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1:250,000 ระบุว่าจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (Sudasna and Pitakpaivan, 1976; Hinthong *et al.*, 1981) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจำแนกหินยุคเพอร์เมียนตามแผนที่ธรณีวิทยาของจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

(คัดลอกจาก Sudasna and Pitakpaivan, 1976 ; Hinthong *et al.*, 1981).

Age	Rock Units
Late Permian	Sap Bon Formation
	Khao Khad Formation
Early to Middle Permian	Pang Asok Formation
Early Permian	Nong Pong Formation
	Khao Khwang Formation
	Phu Phe Formation

Chonglakmani and Sattayarak (1978) ได้รายงานการค้นพบหินยุค Lower-Middle Permian ที่สะสมตัวในน้ำลึก (Geosynclinal facies) ซึ่งเกิดในทะเลลึกเป็นครั้งแรกที่บริเวณอำเภอลำลูกกระพือ จังหวัดเพชรบูรณ์ตามแนวคดโค้งเพชรบูรณ์ (Phetchabun Fold Belt) และเรียกหินชุดนี้ว่า

หมวดหินน้ำดุก (Nam Duk Formation) ที่แตกต่างจากหินอายุเดียวกันทางด้านตะวันออกที่มีหินปูนมากกว่า (Pha Nok Khao Formation และ Hua Na Kham Formation) ซึ่งเกิดในทะเลน้ำตื้น (Shelf facies) และภายหลังได้มีการศึกษาเพิ่มเติมโดย Helmcke and Kraikhong (1982), Helmcke and Lindenberg (1983) และ Wielchowsky and Young (1985) ได้ยืนยันข้อเท็จจริงนี้ ทั้งนี้ Helmcke and Kraikhong (1982) ยังได้จำแนกหินหมวดหินน้ำดุกตามลักษณะทางวิทยาการตะกอนออกเป็นตะกอน Pelagic (Lower-Middle Permian) ตะกอนฟลิช (Flysch) และตะกอนโมลาสส์ (Molasse) (Upper-Middle Permian) ทำให้สามารถกำหนดช่วงระยะเวลาของการเกิดเทือกเขา (Orogenic event) ของประเทศไทยและประเทศข้างเคียงได้ว่าอยู่ในช่วงยุคเพอร์เมียน

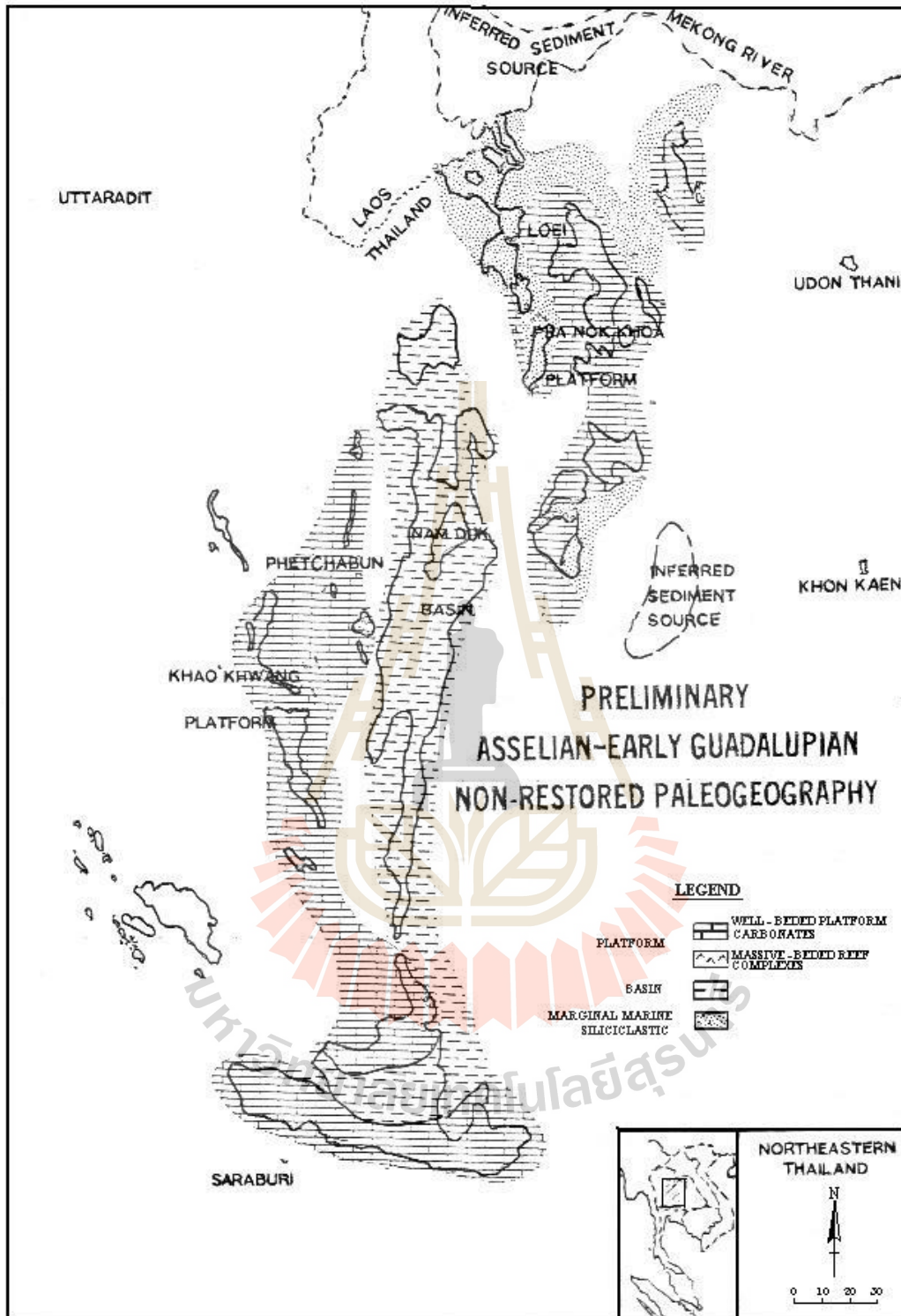
Hinthong *et al.* (1981) ได้จำแนกหินอายุเพอร์เมียนบริเวณจังหวัดสระบุรีและพื้นที่ข้างเคียงออกเป็น 6 หมวดหิน เรียงลำดับจากล่างขึ้นบนดังนี้ หมวดหินภูเพ (Phu Phe Formation) หมวดหินเขาขวาง (Khao Khwang Formation) หมวดหินหนองโป่ง (Nong Pong Formation) หมวดหินปางอโศก (Pang Asok Formation) หมวดหินเขาขาด (Khao Khad Formation) และหมวดหินซับบอน (Sap Bon Formation) ตามลำดับ

Wielchowsky and Young (1985) ได้รายงานการศึกษาชุดลักษณะ (Facies) ของกลุ่มหินสระบุรีบริเวณขอบตะวันตกของที่ราบสูงโคราช พบว่าหินพวกคาร์บอนีตมีการสะสมตัวในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ 6 ชนิด ได้แก่ Basin plain, Basin margin, Outer platform, Platform interior, Restricted platform และ Marginal marine ส่วนพวกหินตะกอนเนื้อประสมนั้นมีการสะสมตัวในสภาวะแวดล้อมที่เป็น Deep, Shallow และ Marginal marine นอกจากนี้ยังได้แบ่งเขตภูมิศาสตร์บรรพกาลบริเวณนี้ในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้นถึงตอนกลาง (Early-Middle Permian) ออกเป็นเขต carbonate platform ด้านตะวันตก (Khao Khwang Platform) เขตส่วนกลางที่เป็น Siliciclastic-carbonate basin (Nam Duk Basin) และเขต Carbonate-siliciclastic platform ด้านตะวันออก (Pha Nok Khao Platform) เขตดังกล่าวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ เริ่มจากด้านเหนือติดแม่น้ำโขงบริเวณอำเภอท่าลี่จังหวัดเลย แผ่ลงใต้ถึงบริเวณจังหวัดสระบุรี (รูปที่ 2.1 และ 2.2)

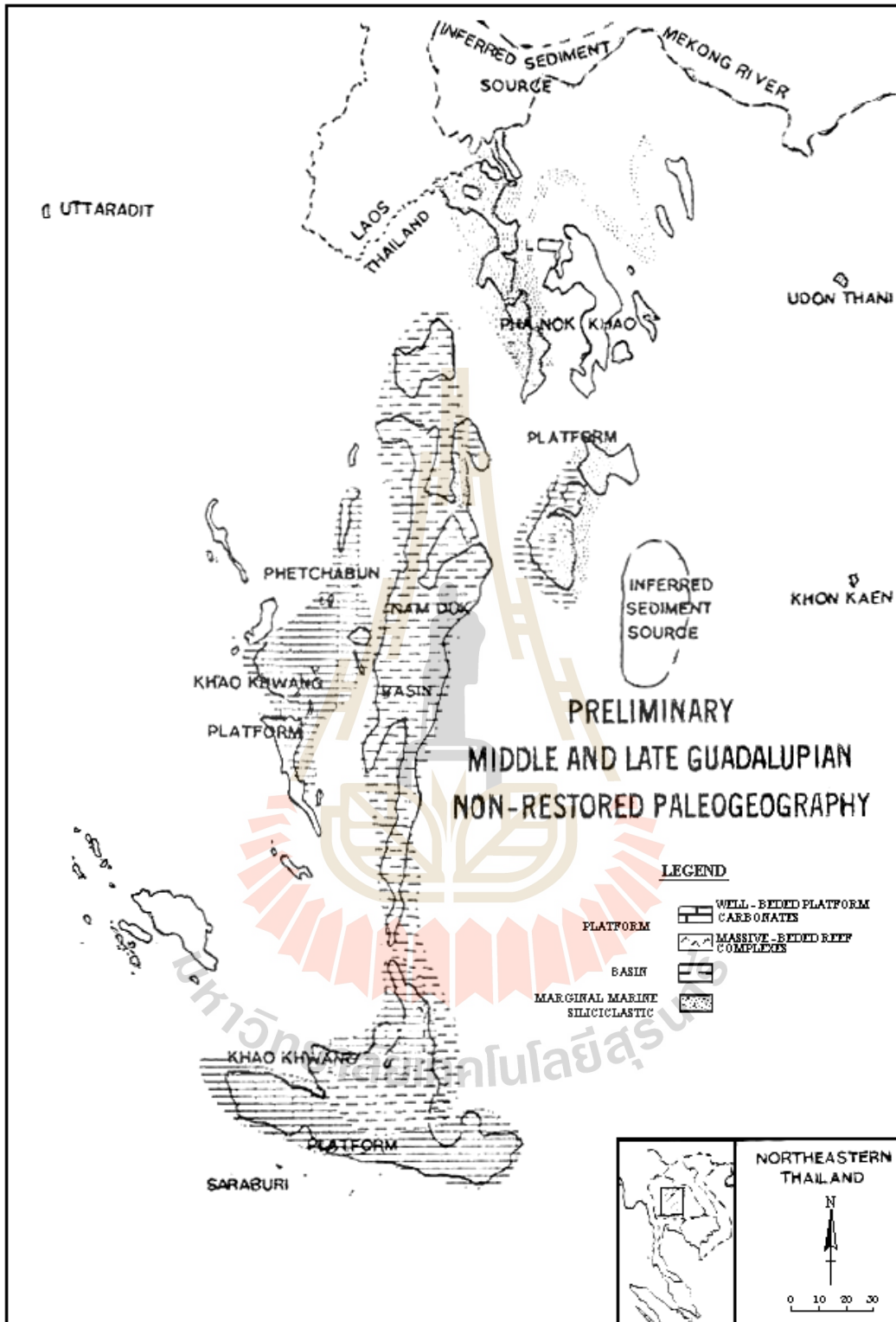
Chonglakmani (2005) จำแนกกลุ่มหินสระบุรีออกเป็น 8 ชุดลักษณะของหิน (lithofacies) ซึ่งสะสมตัวในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ จากทะเลน้ำตื้นหรือไหล่ทวีป (Shelf) จนถึงทะเลน้ำลึก (Basin lithofacies) ที่สะสมตัวในเขตทะเลน้ำตื้นได้แก่ Thin-to-thick-bedded limestone and dolomite; Boundstone and dolomite และ Sandstone, shale and limestone ส่วนที่สะสมตัวตามลาดทวีป (Slope) และเขตทะเลน้ำลึก (Basin) ได้แก่ Crinoidal limestone, Micritic limestone and shale; Limestone conglomerate and Breccia; Greywacke and shale; Shale, Chert and shale with limestone block และ Allodapic limestone, Shale and chert โดยแบ่งกลุ่มหินสระบุรีออกเป็น 5 หมวดหิน ตามชุดลักษณะและการลำดับชั้นหิน หินในบริเวณ Platform ต่อกับ Slope ประกอบด้วย 3 หมวดหินเรียงจากล่างขึ้นบนได้แก่ หมวดหินเขาขวาง (Khao

Khwang Formation) หมวดหินเขาแผงม้า (Khao Phaeng Ma Formation) และหมวดหินซั้บบอน (Sap Bon Formation) หมวดหินเขาแผงม้าประกอบด้วยหินปูนชั้นบางถึงชั้นหนา แทรกสลับด้วย หินดินดาน หินเชิร์ตชั้นบาง ๆ และหินปูนกรวดมน หินปูนมักแสดงรอยชั้นขวาง (Hummocky) เนื้อ หินมักไม่มีการคัดขนาดอันเป็นลักษณะของ Debris flow deposit ส่วนบริเวณ Basin ประกอบด้วย หมวดหินหนองโป่ง (Nong Pong Formation) และหมวดหินปางอโศก (Pang Asok Formation) ที่ วางตัวอยู่ด้านบน ส่วนบริเวณกลาง Fold and thrust belt กลุ่มหินสระบุรีประกอบด้วยส่วนล่างที่เป็น หมวดหินน้ำดุก (Nam Duk Formation) และส่วนบนที่เป็นหมวดหินน้ำหนาว (Nam Nao Formation)

บริเวณจังหวัดสระบุรีซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแนวคดโค้งเพชรบูรณ์ (Petchabun Fold Belt) เป็น พื้นที่ที่มีโครงสร้างธรณีวิทยาที่สลับซับซ้อน สภาพการแผ่กระจายของหินบางแห่งจึงมิได้เกิดจากการ สะสมตัวของหินในบริเวณนั้น มีหลักฐานทางลำดับชั้นหิน โบราณชีววิทยา วิทยาการตะกอนและ โครงสร้างธรณีวิทยา บ่งว่าเทือกเขาหินปูนที่สะสมตัวในทะเลน้ำตื้นหลายแหล่งมิได้เกิดอยู่กับที่แต่เกิด จากการเคลื่อนไถลมาจากที่อื่นในภายหลัง (Allochthonous) ดังนั้น Khao Khwang Platform ที่อยู่ ด้านตะวันตกของแอ่งน้ำดุกปัจจุบันเดิมเป็น Platform เดียวกันกับ Pha Nok Khao Platform ที่อยู่ ด้านตะวันออกของแอ่งน้ำดุก ผลการศึกษาและวิเคราะห์ชุดลักษณะของหิน (lithofacies) ของกลุ่ม หินสระบุรีและสภาพภูมิศาสตร์บรรพกาลในยุคเพอร์เมียนสนับสนุนความคิดที่ว่ารอยตะเข้บนาน - อูตรดิตต์ (Nan-Uttaradit Suture) เกิดจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกในยุคเพอร์เมียนตอนกลางถึง ตอนปลายซึ่งเป็นช่วงเวลาหลักของการเกิดเป็นเทือกเขา (Main orogenic movement) ในประเทศ ไทยและแผ่นดินของทวีปเอเชียอาคเนย์



รูปที่ 2.1 ภาพแสดงภูมิศาสตร์บรรพกาลในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้น (คัดลอกจาก Wielchowsky and Young, 1985)



รูปที่ 2.2 ภาพแสดงภูมิศาสตร์บรรพกาลในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (คัดลอกจาก Wielchowsky and Young, 1985)

2.2 หินกักเก็บปิโตรเลียม

แหล่งกักเก็บปิโตรเลียม (Petroleum reservoir) เป็นบริเวณที่มีการสะสมตัวของไฮโดรคาร์บอนภายในเนื้อหินที่มีรูพรุนที่อยู่ใต้ผิวดิน ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดตามธรรมชาติจะถูกกักเก็บและปิดกั้นไว้โดยหินที่มีค่าความซึมผ่านต่ำ ๆ ที่วางตัวปิดทับอยู่ด้านบนของชั้นหินกักเก็บปิโตรเลียม ชั้นหินที่จะสามารถเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมได้นั้นต้องมีค่าความพรุนและค่าความซึมผ่านที่มากพอ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นหินชนิดหินตะกอน เช่น หินทราย หินคาร์บอเนต (หินปูนหรือหินโดโลไมต์) หินโดโลไมต์นั้นมักจะเป็นหินกักเก็บปิโตรเลียมที่ดีเนื่องจากการแทนที่ธาตุแคลเซียมด้วยธาตุแมกนีเซียมนั้นจะทำให้เกิดช่องว่างเพิ่มขึ้นในเนื้อหินประมาณร้อยละ 13 ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการแปรสภาพไปเป็นโดโลไมต์ (Dolomitization) ของหินปูน (Weyl, 1960) ดังนั้นถ้าในหินปูน (Limestone) ใดมีการเกิดกระบวนการแปรสภาพไปเป็นโดโลไมต์ (Dolomite) ขึ้นก็มีโอกาสที่จะเกิดช่องว่างภายในเนื้อหินมากขึ้นและมีโอกาสในการเป็นหินกักเก็บปิโตรเลียมที่ดีได้

2.2.1 หินกักเก็บปิโตรเลียมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

จากข้อมูลการวิเคราะห์แท่งหินตัวอย่าง (Core samples) ข้อมูลเศษหินจากหลุมเจาะ (Well cutting) และข้อมูลจากการหยั่งธรณีหลุมเจาะ (Wireline logging) ระบุได้ว่าหินกักเก็บปิโตรเลียมในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประกอบด้วยหินในอายุเพอร์เมียน ไตรแอสซิก และหินอายุก่อนไตรแอสซิก (Chonglakmani *et al.*, 1999)

2.2.2 หินกักเก็บปิโตรเลียมอายุเพอร์เมียน (Permian reservoir rocks)

Chonglakmani *et al.* (1999) ได้ทำการศึกษาและพบว่าจากข้อมูลการสำรวจที่หาได้ ระบุได้ว่าหินกักเก็บปิโตรเลียมอายุเพอร์เมียนนั้นเป็นหินกักเก็บที่มีความสำคัญมากกว่าหินกักเก็บประเภทอื่นในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และถูกจัดเป็นเป้าหมายในการสำรวจในลำดับแรก แต่อย่างไรก็ตามหินทรายในดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำของหินตะกอนเนื้อประสมอายุเพอร์เมียนตอนบน (Deltaic sandstone of the Upper Permian clastic) หินทรายในทางน้ำที่ไหลลงทะเลสาบอายุไตรแอสซิกก่อนชุดหินโคราช (Fluvio-lacustrine sandstones of the Triassic Pre-Khorat) และหินฐานที่มีรอยแตกอายุก่อนวาริสกัน (Pre Variscan basement) ก็ถูกจัดว่าเป็นหินที่ศักยภาพในการเป็นหินกักเก็บปิโตรเลียมได้เช่นกัน

จากหลักฐานต่าง ๆ พบว่าคุณลักษณะและคุณสมบัติของหินคาร์บอเนตกักเก็บปิโตรเลียมอายุเพอร์เมียนนั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1. หินคาร์บอเนตเหล่านี้มีการตกสะสมตัวในแนวเทือกเขาหินปูนที่แยกตัวจากกัน (Isolated carbonate platform) ลักษณะปรากฏของหินคาร์บอเนตเหล่านี้เมื่อศึกษาจากแท่งหินตัวอย่างพบว่าส่วนใหญ่เป็นแบบเนื้อแพคสโตนและเกรนสโตนที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนของซากบรรพชีวิน (Fossiliferous packstone/grainstone) ในขณะที่เนื้อแบบแวกสโตน (Wackestone) และแบบเนื้อโคลน (Mudstone) พบได้น้อย

2. หินคาร์บอนเนตเหล่านี้มักมีค่าความพรุน (Porosity) และค่าความซึมผ่าน (Permeability) ค่อนข้างต่ำ โดยทั่วไปค่าความพรุนจะพบอยู่ที่ระหว่างร้อยละ 0 – 18 และมีค่าพรุนเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 4 เท่านั้น

3. หินคาร์บอนเนตเหล่านี้ถูกฝังอยู่ในระดับลึก มีการเกิดกระบวนการหลายครั้งร่วมกับการกัดเซาะในระดับลึก

4. ค่าความพรุนสูงในเนื้อหินจะพบได้ในหินที่มีเนื้อโคลนผสมอยู่มากเช่นในหินเนื้อโคลนและหินเนื้อแควสโตน ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าความพรุนสูงกว่าที่พบในหินเนื้อแพคสโตน เกรนสโตน และบาวด์สโตน (Boundstone) และยังพบว่าหินโดโลไมต์นั้นโดยทั่วไปจะมีค่าความพรุนสูงกว่าหินปูน (Kozar *et al.*, 1992)

5. ค่าความซึมผ่านของหินคาร์บอนเนตเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของรอยแตกขนาดเล็ก (Microfractures) ในเนื้อหิน เช่นที่พบในว่าการไหลของก๊าซในแหล่งก๊าซน้ำพองนั้นก็เป็นการไหลไปตามรอยแตกขนาดเล็กเหล่านี้นั่นเอง

2.2.3 หินปิดกั้น (Seal rocks)

โดยทั่วไปโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่เหมาะสมในการปิดกั้นปิโตรเลียมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยได้แก่

- รอยชั้นไม่ต่อเนื่องเชิงมุม (Angular unconformity) ระหว่างกลุ่มหินราชบุรี (Ratburi Group) และหมวดหินห้วยหินลาด (Huai Hin Lat Formation) และ
- โครงสร้างรูปประทุนคว่ำ (Anticlinal structures) ที่เกิดขึ้นในยุคเทอร์เชียรี

นอกจากนี้ยังมีชุดหินที่อยู่ในส่วนล่างของกลุ่มหินโคราช (The Lower Khorat Group) เช่นหินในหมวดหินน้ำพอง (Nam Phong Formation) และหมวดหินภูกระดึง (Phu Kradung Formation) ที่เป็นพวกหินเศษชั้นส่วนหินภูเขาไฟ หินทรายและหินกรวดมน ที่มีการอัดตัวกันแน่นและถูกเชื่อมประสานกันค่อนข้างดีทำให้มีค่าความซึมผ่านค่อนข้างต่ำ หินเหล่านี้ก็สามารถเป็นหินปิดกั้นปิโตรเลียมที่ดีของหินกักเก็บปิโตรเลียมของหินคาร์บอนเนตอายุเพอร์เมียนได้ (Chonglakmani *et al.*, 1999)

2.3 การเกิดโดโลไมต์

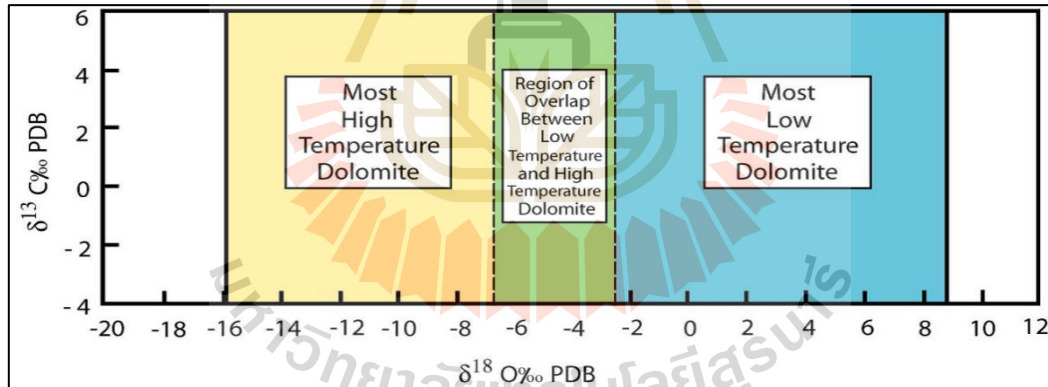
การเกิดหินโดโลไมต์ (Dolomitization) คือการที่แมกนีเซียมไอออนเข้าแทนที่แคลเซียมไอออนในแคลไซต์หรือแคลเซียมคาร์บอนเนต การศึกษาต้นกำเนิดของโดโลไมต์มีมากกว่า 200 ปีแล้วแต่ในปัจจุบันยังไม่สามารถสรุปได้แน่ชัด ส่วนหนึ่งเป็นเพราะการศึกษาข้อมูลทางสิลาบรรณและธรณีเคมีทั่วไปสามารถตีความได้หลายรูปแบบ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 ได้มีผลการศึกษาเกี่ยวกับบทบาทของซัลเฟตที่มีผลต่อการยับยั้งและเป็นตัวเร่งให้เกิดโดโลไมต์ในขณะเดียวกันขึ้นอยู่กับสัดส่วนของสารละลายซัลเฟตในสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ อัตราส่วนของน้ำและเนื้อหินหรือรูปแบบทางอุทกธรณีวิทยามีผลต่อการก่อตัวของโดโลไมต์ได้เช่นเดียวกัน เช่น หินโคลนคาร์บอนเนตหรือหินปูนสามารถเกิดเป็นโดโล

ไม้ได้จะต้องมีการเพิ่มปริมาณของแมกนีเซียมในน้ำทะเล มีการแทนที่เข้าไปในเนื้อหินที่เป็นแคลเซียม ซัลเฟตและเกิดการทับถมต่อเนื่อง ซึ่งพบได้มากในสภาพแวดล้อมที่เป็นหินปูนน้ำตื้น การไหลเข้ามาของ น้ำที่ทำให้แคลเซียมคาร์บอเนตเจือจางลงและมีแมกนีเซียมเข้ามาแทนที่ นอกจากนี้ยังมีขบวนการที่ทำให้โดโลไมต์ที่อยู่ระดับลึกมีค่าความพรุนสูงกว่าหินปูนได้ เช่น การแทนที่ของโมเลกุล การสลายตัวของ แคลเซียมคาร์บอเนต การละลายของแร่โดโลไมต์ตามช่องว่างต่าง ๆ เป็นต้น (Weyl, 1960)

2.3.1 การวิเคราะห์ไอโซโทปเสถียร

วิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการวิเคราะห์ขบวนการเกิดโดโลไมต์คือการตีความ ของไอโซโทปเสถียรคาร์บอน (C) และออกซิเจน (O) ไอโซโทปสตรอนเทียม (Sr) ร่องรอยของธาตุ (Trace elements) และของเหลว ตัวแปรเหล่านี้สามารถใช้ในการกำหนดทิศทางการไหลของของเหลว รวมไปถึงอธิบายสภาวะแวดล้อมในระหว่างการเกิดโดโลไมต์ได้

ปริมาณไอโซโทปเสถียรระหว่างออกซิเจน 18 และออกซิเจน 16 สามารถใช้อธิบายอุณหภูมิ ระหว่างการตกผลึกของตะกอนและเกิดการเชื่อมประสานตัวเป็นหินของคาร์บอเนต (รูปที่ 2.3) และบ่ง บอกสภาวะที่ตกผลึกอยู่ในบริเวณที่เป็นน้ำทะเล น้ำจืด หรือน้ำทะเลที่เข้มข้นได้ โดยออกซิเจน 18 จะ หนักกว่าออกซิเจน 16 ซึ่งระเหยได้ง่ายทำให้ในน้ำทะเลจะพบปริมาณออกซิเจน 18 มากกว่าในน้ำจืด เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของไอโซโทปเสถียรออกซิเจน 18 กับอุณหภูมิ (คัดลอกจาก Allen and Wiggins, 1993)

ปริมาณไอโซโทปเสถียรระหว่างคาร์บอน 13 และคาร์บอน 12 สามารถใช้อธิบายช่วงเวลาที่มี การเข้ามาของน้ำจืด ซึ่งเมื่อพืชในทะเลเกิดขบวนการสังเคราะห์แสงจะมีการดูดกลืนคาร์บอน 12 เข้าไป ทำให้ในน้ำทะเลมีปริมาณคาร์บอน 13 ค่อนข้างสูง หรือเมื่อยิ่งใกล้กับผิวน้ำหรือรอยต่อเนื่องต่าง ๆ ที่ สัมผัสกับอากาศจะมีโอกาสพบปริมาณคาร์บอน 13 มากกว่าคาร์บอน 12

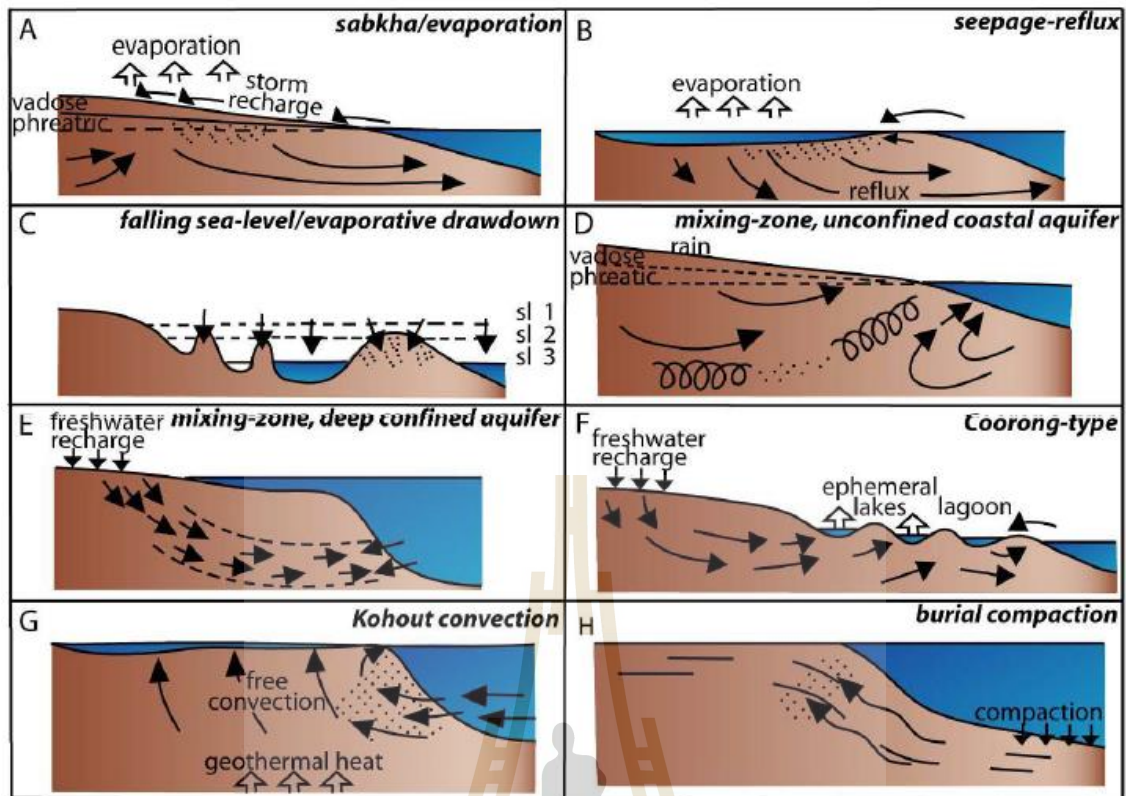
2.3.2 รูปแบบการเกิดโดโลไมต์

ขบวนการเกิดโดโลไมต์สามารถเกิดได้หลายรูปแบบ เช่น เกิดเมื่อมีปริมาณของแมกนีเซียมไอออนและแคลเซียมคาร์บอเนตไอออนที่เหมาะสม มักพบในทะเลและเกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่างตกทับถม เกิดเมื่อมีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องโดยสารละลายร้อนจะไหลมาตามรอยเลื่อนที่เกิดขึ้นและพาแร่ธาตุมาด้วย เกิดเมื่อมีการไหลเข้ามาของสารละลายที่เหมาะสม เกิดเมื่อหินปูนยังไม่แข็งตัวดีพอและมีการเข้ามาของแมกนีเซียมไอออน เป็นต้น

2.3.3 แบบจำลองการเกิดโดโลไมต์

แบบจำลองของการเกิดโดโลไมต์โดยทั่วไปมี 5 แบบจำลอง (รูปที่ 2.4) ได้แก่

- แบบจำลองการระเหยหรือแบบจำลองการอิมมัตว์ มักพบบริเวณ Supratidal flat หินที่พบจะพบเป็นชั้นค่อนข้างหนาและมีบริเวณกว้าง (รูป A และ B)
- แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเล เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างบนบกซึ่งค่อนข้างอบอุ่นกับน้ำทะเลซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า แมกนีเซียมไอออนจึงเกิดการสะสมในตะกอน (รูป C)
- แบบจำลองเขตผสม พบตามเขตที่มีการผสมกันระหว่างน้ำจืดและน้ำทะเล (รูป D E และ F)
- แบบจำลองสารละลายน้ำร้อน มักพบได้ยาก เกิดจากสารละลายน้ำร้อนไหลมาตามรอยเลื่อนที่เกิดขึ้นและนำสารละลายขึ้นมาด้วย (รูป G)
- แบบจำลองการทับถม เมื่อมีการทับถมแมกนีเซียมไอออนและน้ำจะถูกบีบอัดให้ออกจากช่องว่างในส่วนที่ลึก แต่ไม่สามารถออกไปได้จึงเกิดการตกตะกอนในระดับที่ต่ำกว่า (รูป H)



รูปที่ 2.4 แบบจำลองการเกิดโดโลไมต์โดยทั่วไป (คัดลอกจาก Machel, 2004)

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ค้นคว้า ศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รวบรวมข้อมูลธรณีวิทยา ธรณีวิทยาปิโตรเลียม ธรณีเคมีและข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องจากผลงานที่มีการตีพิมพ์เผยแพร่ และข้อมูลที่เปิดเผยได้จากหน่วยงานราชการได้แก่ กรมทรัพยากรธรณี และกรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษา ศึกษาวารสาร รายงาน และสิ่งตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจธรณีวิทยาภาคสนามและธรณีฟิสิกส์ การพิจารณาถึงลักษณะทางธรณีวิทยาและวิทยาตะกอนของพื้นที่สำรวจ โดยจะนำมาศึกษาและค้นคว้าหาข้อสรุป เพื่อให้สามารถประมวลผลและวิเคราะห์ผลเบื้องต้นในการวางแผนแนวและจุดสำหรับการสำรวจและเก็บตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 2 เก็บข้อมูลในภาคสนาม

เก็บข้อมูลตัวอย่างหินปูน หินโดโลไมต์ยุคเพอร์เมียน ในบริเวณฝั่งตะวันตกของแอ่งโคราชซึ่ง อยู่ในเขต อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา เพื่อการศึกษาธรณีวิทยา ธรณีวิทยาเคมี และซิลิการรณาในห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนที่ 3 การปฏิบัติงานในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างหินที่ถูกคัดเลือกจะนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีการต่อไปนี้

1. การศึกษาซิลิการรณา (Petrographic study) ดำเนินการโดยนำตัวอย่างหินปูนและหินโดโลไมต์จากพื้นที่ศึกษามาทำเป็นแผ่นหินบางเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของแร่ด้วยกล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจสอบชนิดหิน การเปลี่ยนแปลงของเม็ดแร่แคลไซต์ การแทนที่ของแร่โดโลไมต์ การกัดกร่อนของแคลไซต์ การเปลี่ยนสภาพเป็นโดโลไมต์ และการเชื่อมประสานของเม็ดแร่ รวมทั้งซากบรรพชีวินขนาดเล็กต่าง ๆ โดยในขั้นตอนนี้ การตัดหินและทำแผ่นหินบางได้ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ส่วนการเตรียมตัวอย่างและการศึกษาซิลิการรณาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ได้ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope : SEM) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ลำแสงอิเล็กตรอนฉายหรือส่องกราดไปบนผิวของตัวอย่างที่ต้องการตรวจสอบเพื่อให้ได้ข้อมูลของลักษณะพื้นผิวปรากฏเป็นภาพขยายที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าในลักษณะ 3 มิติ เพื่อศึกษาซากบรรพชีวินขนาดเล็กจำพวก Radiolarians และ Sponges ที่พบ

ในชั้นหินเชิร์ต เพื่อนำไปใช้ในการตรวจสอบอายุของชั้นหินที่ทำการศึกษา ขั้นตอนนี้ได้ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการทางธรณีวิทยา ของ China University of Geosciences ที่เมืองวูฮั่น สาธารณรัฐประชาชนจีน

3. การศึกษาธรณีเคมี ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาธาตุหลัก ธาตุรองรอย และธาตุหายาก ได้ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการทางธรณีวิทยา ของ China University of Geosciences ที่เมืองวูฮั่น สาธารณรัฐประชาชนจีน

4. การวัดค่าความพรุนและความซึมผ่านของตัวอย่างหินคาร์บอนเนต

ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- การเก็บตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง
ทำการเก็บตัวอย่างของหินคาร์บอนเนตจากบริเวณพื้นที่ศึกษาที่ได้เลือกไว้เพื่อนำมาทำการวัดค่าความพรุน (Porosity) และค่าความซึมผ่าน (Permeability)
- การวัดค่าความพรุน
นำตัวอย่างหินคาร์บอนเนตที่เก็บมาจากภาคสนามมาเตรียมตัวอย่างเพื่อเข้าเครื่องวัดค่าความพรุน (Porosimeter) ทำการคำนวณค่าความพรุนและบันทึกค่าความพรุนที่คำนวณได้
- การวัดค่าความซึมผ่านของหิน
นำตัวอย่างหินคาร์บอนเนตที่เก็บมาจากภาคสนามมาเตรียมตัวอย่างเพื่อเข้าเครื่องวัดค่าความซึมผ่านโดยใช้เครื่องวัดแบบ Hydrostatic pressure cell ทำการคำนวณค่าความซึมผ่านได้และบันทึกค่าความซึมผ่านที่คำนวณได้

โดยในขั้นตอนการตรวจวัดค่าความพรุนและค่าความซึมผ่านนี้ได้ดำเนินการที่ห้องปฏิบัติการคุณสมบัติหินและของไหล สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขั้นตอนที่ 4 การรวบรวมและประมวลผลข้อมูล

นำข้อมูลที่ศึกษาไว้แล้ว ผลการปฏิบัติงานในภาคสนามและผลการศึกษาและตรวจวัดที่ได้จากห้องปฏิบัติการมาประมวลเพื่อแสดงลำดับชั้นหิน ตลอดจนหาความสัมพันธ์ของลำดับชั้นหินในแต่ละตำแหน่ง และอธิบายความเชื่อมโยงของลักษณะปรากฏของชั้นหินต่าง ๆ และศึกษาศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมของหินคาร์บอนเนตที่ศึกษา

ขั้นตอนที่ 5 สรุปผลและเขียนรายงาน

ผลการศึกษาทั้งหมดจะนำมาสรุปและนำเสนอในรายงานฉบับสมบูรณ์ เพื่อส่งมอบเมื่อเสร็จสิ้นโครงการวิจัย

สถานที่เก็บข้อมูล

บริเวณที่มีหินโผล่ของหินคาร์บอนเนตอายุเพอร์เมียน ในอำเภอบางบาล จังหวัดนครราชสีมา และอำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี

3.2 พื้นที่ศึกษา

งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาหินปูนยุคเพอร์เมียนบริเวณขอบทางฝั่งตะวันตกของที่ราบสูงโคราช โดยแบ่งพื้นที่การศึกษาออกเป็น 6 พื้นที่คือ 1. ฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก 2. พื้นที่บริเวณวัดสุคโต 3. พื้นที่ภายในฟาร์มโคนมไทย-เดนมาร์ก 4. วัดซัดตะเคียน 5. บ่อขุด บริเวณบ้านหนองผักเสี้ยน และ 6. บ้านหนองโป่ง โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. พื้นที่ศึกษาบริเวณฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก

อยู่บริเวณข้างทางหลวงหมายเลข 2 กิโลเมตรที่ 133-142 (ถนนมิตรภาพ) อำเภอ มวกเหล็ก จ.สระบุรี ตามแผนที่ภูมิประเทศระวาง 5238III อำเภอ มวกเหล็ก (รูปที่ 3.1) ประกอบด้วย หินปูนชั้นบางถึงหนา สีเทาถึงเทาดำ แสดงชั้นเฉียงระดับ (Cross-bedding) และชั้นเรียงขนาด (Graded-bedding) พบเศษชิ้นของก้อนหินปูนขนาดใหญ่ และพบชั้นบาง ๆ ของหินดินดานสีน้ำตาล เหลืองแทรกชั้นอยู่

2. พื้นที่ศึกษาบริเวณวัดสุคโต

บริเวณที่ทำการศึกษายู่ระหว่างเนินเขาของวัดสุคโต อำเภอ มวกเหล็ก จ.สระบุรี ห่างจาก ริมถนนมิตรภาพฝั่งขาเข้าจังหวัดนครราชสีมาประมาณ 150 เมตร ตามแผนที่ภูมิประเทศระวาง 5238III อำเภอ มวกเหล็ก (รูปที่ 3.2) ประกอบด้วยหินปูนชั้นบาง สีเทาถึงดำ แทรกด้วยชั้นบางของหินดินดานสี น้ำตาลดำ และหินเชิร์ตสีดำ หินเชิร์ตสีแดงที่ปรากฏ Radiolarian สามารถพบได้เป็นบางบริเวณ รวมถึง หินโดโลไมต์สีเทาอ่อนเป็นชั้นหนาที่แสดงลักษณะผิวหนึ่งข้าง ทางตอนเหนือพบหินทรายแทรกสลับกับ ชั้นหินปูน

3. พื้นที่ศึกษาบริเวณภายในฟาร์มโคนมไทย-เดนมาร์ก

บริเวณที่ทำการศึกษาอยู่ในภายในฟาร์มโคนมไทย-เดนมาร์ก อำเภอ มวกเหล็ก จังหวัด สระบุรี และเนินเขาด้านหลังพื้นที่ฟาร์ม ตามแผนที่ภูมิประเทศระวาง 5238III อำเภอ มวกเหล็ก (รูปที่ 3.3) ทางด้านตะวันตกประกอบด้วยชุดหินปูนแทรกสลับกับหินเชิร์ตและหินดินดานชั้นบาง ๆ รวมถึงชั้น ของเศษชิ้นของก้อนหินปูนขนาดใหญ่แทรกกับหินดินดาน

4. พื้นที่ศึกษาบริเวณวัดซัดตะเคียน

อยู่บริเวณภายในวัดซัดตะเคียน ต.ซัดสนุ่น อำเภอ มวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี บนถนน หมายเลข 2243 ตามแผนที่ภูมิประเทศระวาง 5238I บ้านซัดม่วง (รูปที่ 3.4) ประกอบด้วยหินปูนชั้น หนาแทรกด้วยกระเปาะและชั้นบางของหินเชิร์ตสีดำ พบซากบรรพชีวินของหอยจำพวกแกสโตรพอด (Gastropods) และแบรคิโอพอด (Brachiopods) บางบริเวณพบเป็นชุดหินของชั้นหินดินดานแทรก สลับกับหินปูน หินเชิร์ต หินทรายแป้งและหินทราย

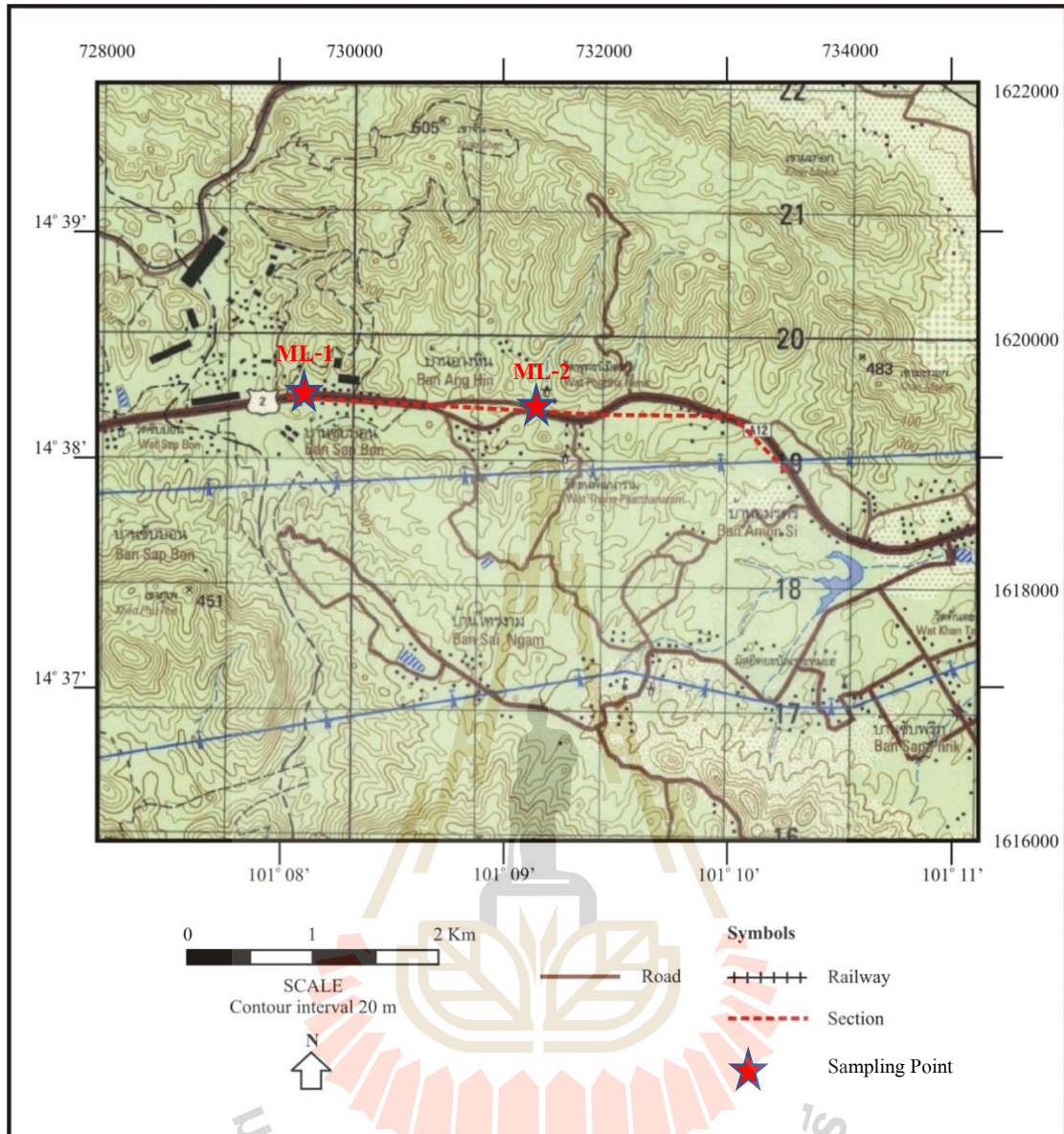
5. พื้นที่ศึกษาบริเวณบ่อขุด บริเวณบ้านหนองผักเสี้ยน

เป็นพื้นที่ของบ่อขุดดินเพื่อการค้า บริเวณบ้านหนองผักเสี้ยน อำเภอปากช่อง จังหวัด นครราชสีมา บนถนนหมายเลข 2243 ตามแผนที่ภูมิประเทศระวาง 5238I บ้านซัดม่วง (รูปที่ 3.5)

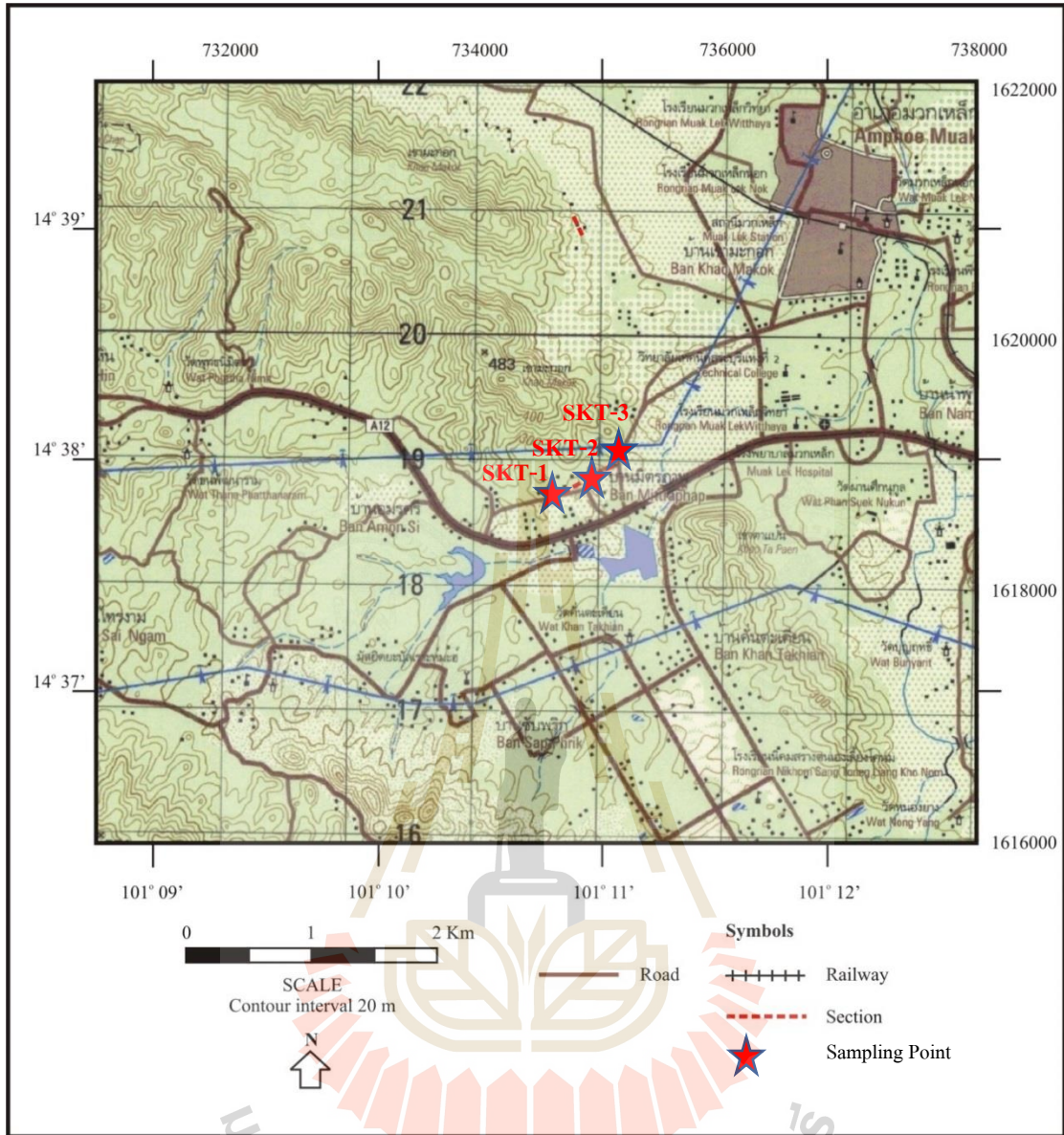
แสดงลักษณะของชุดหินปูนสีเทา เทาดำแทรกสลับกับหินโคลน หินทรายแป้ง หินดินดานและหินทราย หินปูนแสดงลักษณะเนื้อประสมด้วยตะกอนหลายขนาด รวมถึงพบซากบรรพชีวินหลายชนิด

6. พื้นที่ศึกษาบริเวณบ้านหนองโป่ง

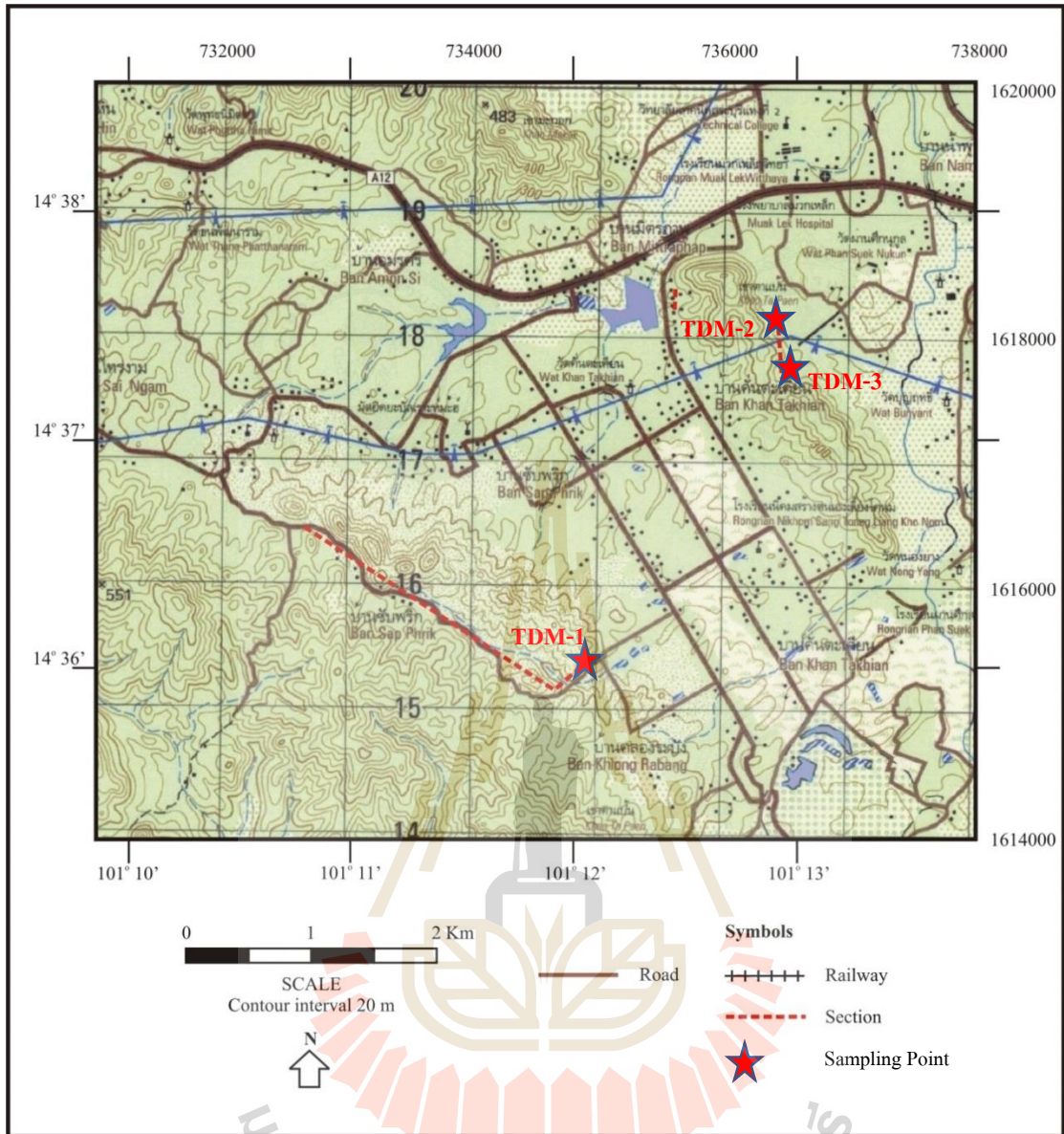
อยู่ภายในบ้านหนองโป่ง ต.ลำพญากลาง อําเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี บนถนน หมายเลข 2224 กิโลเมตรที่ 36-38 และต่อเนื่องไปจนถึงวัดถ้ำดาวเขาแก้ว ตามแผนที่ภูมิประเทศระวาง 52381 บ้านซับม่วง (รูปที่ 3.6) ประกอบด้วยหินปูนชั้นบางถึงหนา สีเทาดำ และหินปูนกึ่งโดโลไมต์ พบ กระเปาะของหินเชิร์ต เศษหินโดโลไมต์ หินปูนเนื้อดินและหินดินดาน แทรกสลับชั้น ในตอนกลางของ พื้นที่ศึกษาจะพบหินปูนเนื้อหยาบ ร่วมกับซากบรรพชีวินหลายชนิด เช่น ชิ้นส่วนของไครนอยด์ (Crinoid stems) ฟิวซูลินิด (Fusulinids) เปลือกหอยต่าง ๆ (Shells) และเศษชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่ไม่สามารถระบุชนิดได้ (Unidentified fragments) ปะการัง และบริเวณริมถนนหมายเลข 2224 จะแสดง ชุดหินของหินปูนชั้นบางสลับกับหินดินดานสีดํา หินทรายแป้งและหินทราย



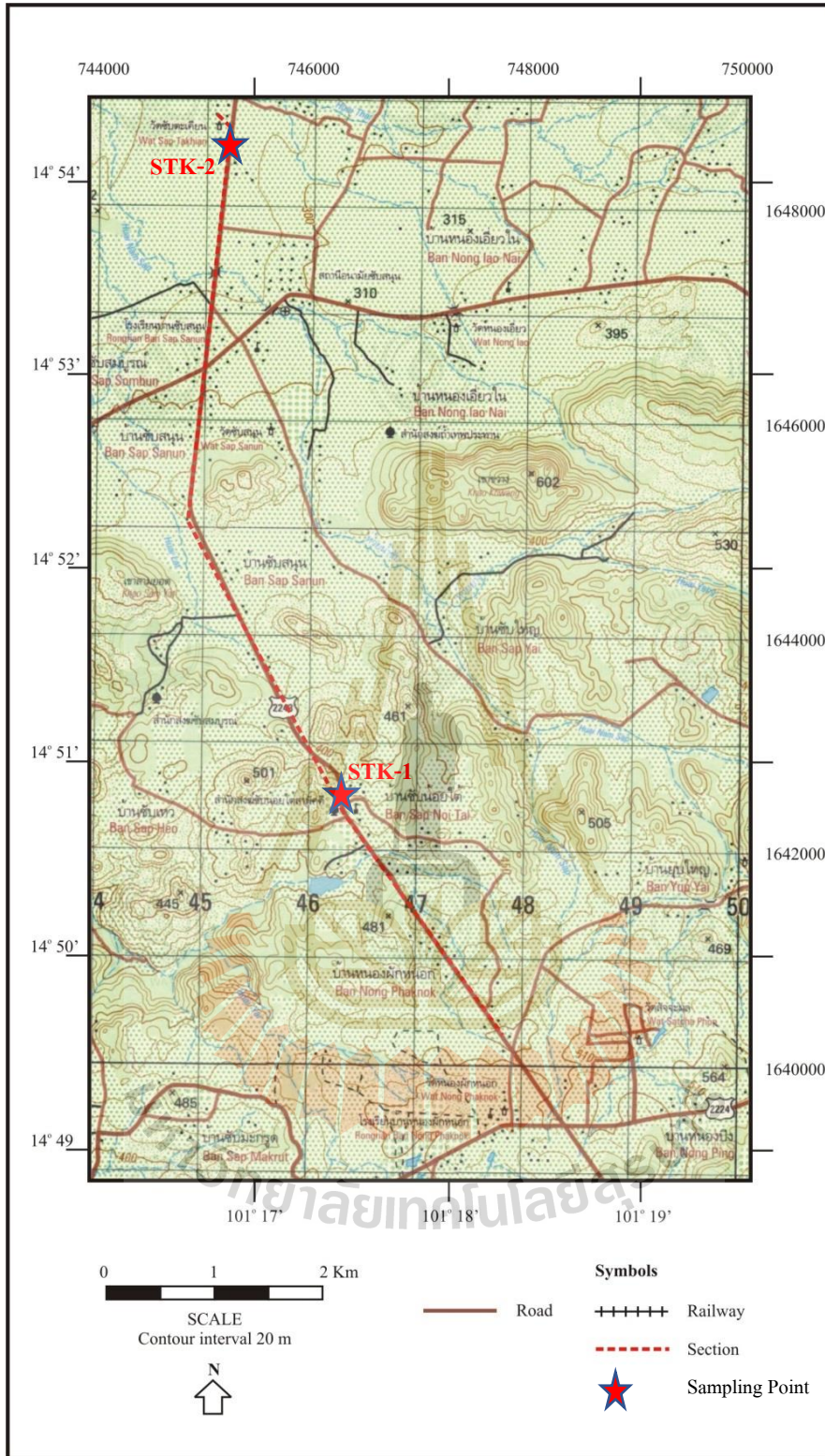
รูปที่ 3.1 แผนที่ภูมิประเทศบริเวณศึกษาที่ 1 ฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี (คัดลอกและดัดแปลงจาก กรมแผนที่ทหาร, 2549)



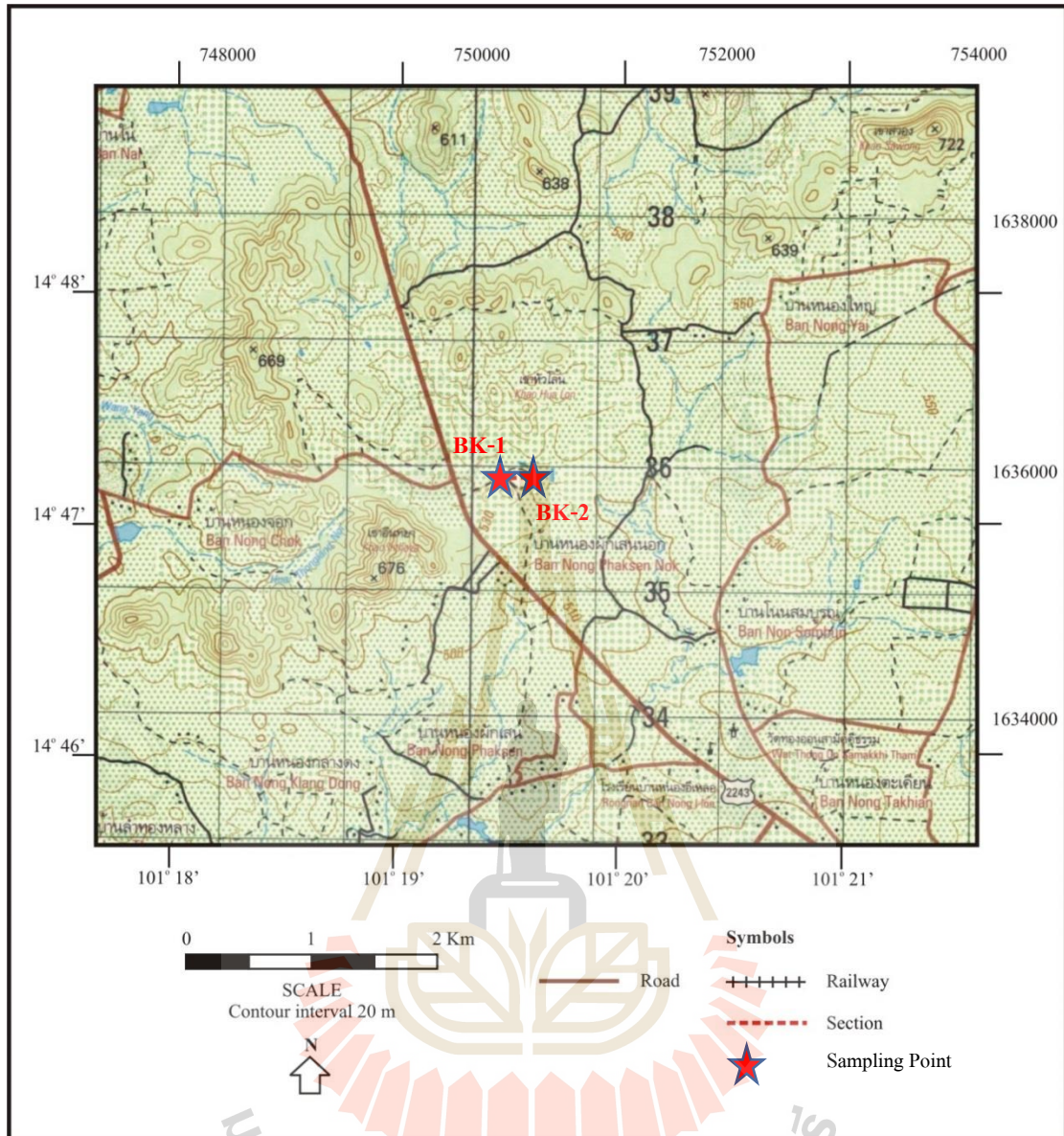
รูปที่ 3.2 แผนที่ภูมิประเทศบริเวณศึกษาที่ 2 พื้นที่บริเวณวัดสุคโต อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี (คัดลอกและดัดแปลงจาก กรมแผนที่ทหาร, 2549)



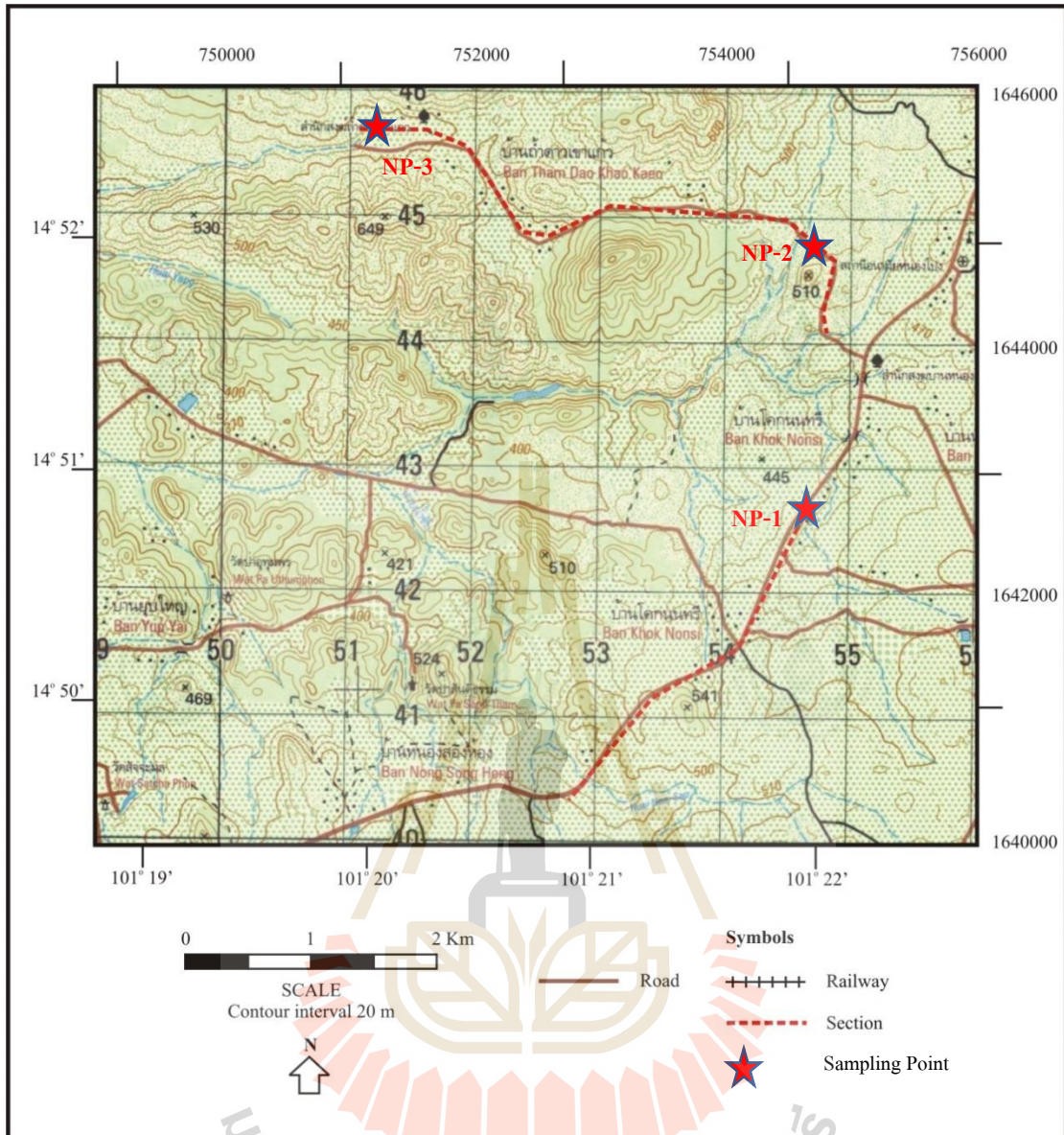
รูปที่ 3.3 แผนที่ภูมิประเทศบริเวณศึกษาที่ 3 พื้นที่ภายในฟาร์มโคนมไทย-เดนมาร์ก อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี (คัดลอกและดัดแปลงจาก กรมแผนที่ทหาร, 2549)



รูปที่ 3.4 แผนที่ภูมิประเทศบริเวณศึกษาที่ 4 วัดซับตะเคียน อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี (คัดลอกและดัดแปลงจาก กรมแผนที่ทหาร, 2549)



รูปที่ 3.5 แผนที่ภูมิประเทศบริเวณศึกษาที่ 5 บ่อขุด อำเภอบางซ่ง จังหวัดนครราชสีมา (คัดลอกและดัดแปลงจาก กรมแผนที่ทหาร, 2549)



รูปที่ 3.6 แผนที่ภูมิประเทศบริเวณศึกษาที่ 6 บ้านหนองโป่ง อำเภอบางซ่ง จังหวัดนครราชสีมา (คัดลอกและดัดแปลงจาก กรมแผนที่ทหาร, 2549)

3.3 การศึกษาซิลาร์รณนา

การศึกษาทางซิลาร์รณนากระทำโดยดำเนินการคัดเลือกตัวอย่างหินปูน หินทรายและหินโดโลไมต์ที่เก็บจากพื้นที่ศึกษาทั้ง 6 พื้นที่ เพื่อนำไปทำเป็นแผ่นหินบาง (Thin section) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาแผ่นหินบางจำนวน 300 แผ่น จากตัวอย่างหิน 200 ก้อน ในกระบวนการจัดทำแผ่นหินบางได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในการจัดทำแผ่นหินบางมีคุณภาพเพียงพอสำหรับนำมาใช้ในงานวิจัย

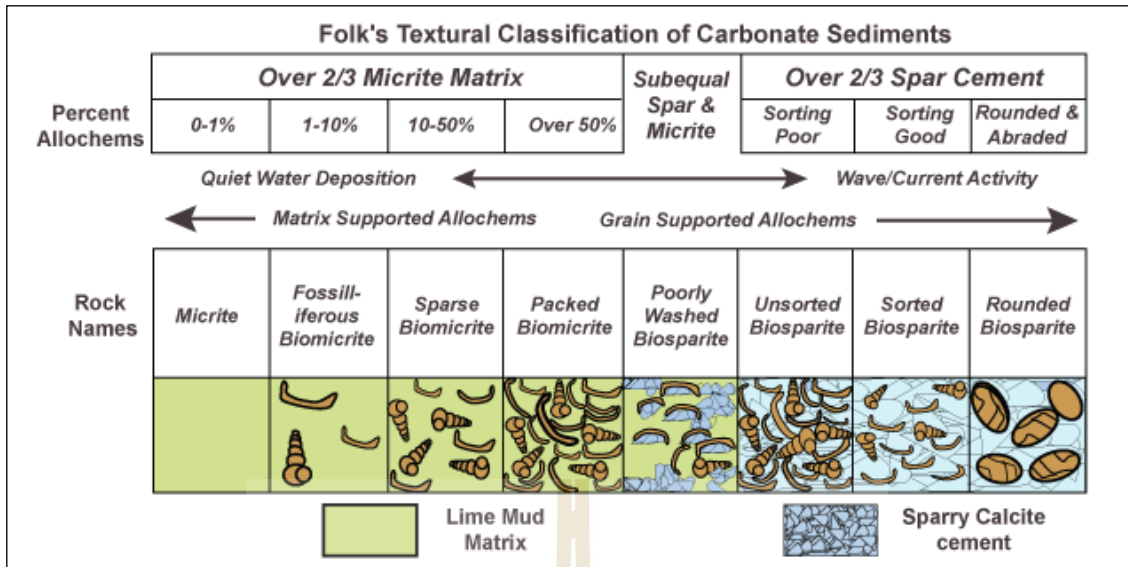
3.3.1 ขั้นตอนการทำแผ่นหินบาง

กระบวนการจัดทำแผ่นหินบางสามารถอธิบายตามขั้นตอนได้ดังนี้

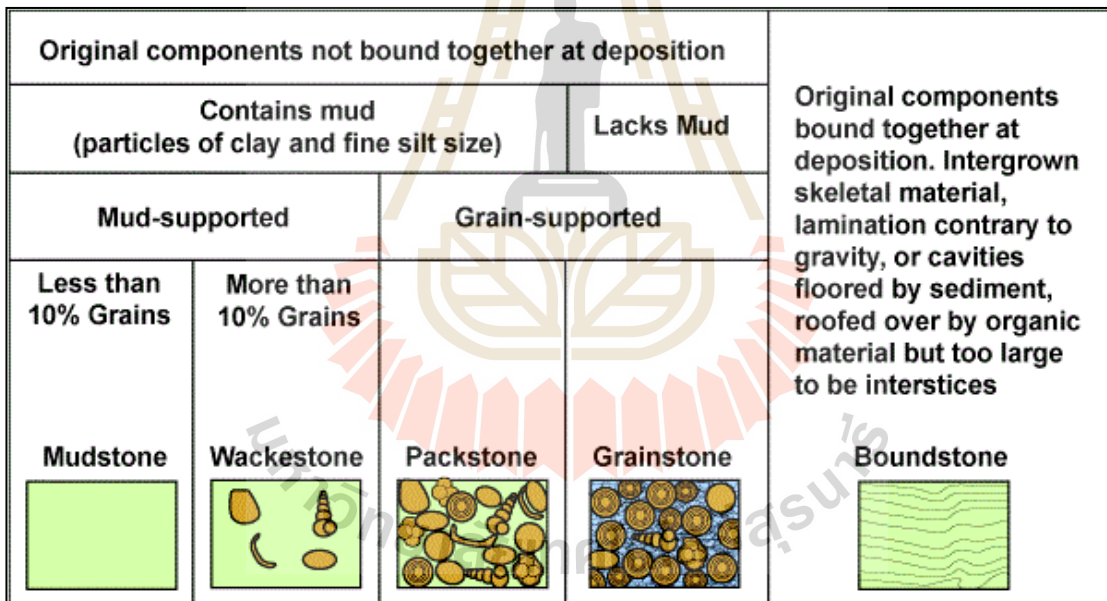
1. ตัดตัวอย่างหินที่ต้องการให้มีลักษณะสี่เหลี่ยมขนาดเล็กพอที่จะติดกับแผ่นกระจกได้
2. ขัดตัวอย่างหินที่ตัดไว้แล้วด้วยผงขัดแบบหยาบ จนกระทั่งตัวอย่างมีผิวที่เรียบ และขัดเพิ่มเติมด้วยผงขัดที่ละเอียดยิ่งขึ้นจนได้ผิวตัวอย่างที่ละเอียดที่สุด
3. ล้างตัวอย่างที่ขัดด้วยผงขัดให้ละเอียด ทำให้ตัวอย่างแห้ง
4. เตรียมแผ่นกระจกสำหรับทำสไลด์ โดยการวางกระจกบนแผ่นร้อนแต่เปิดให้ไฟอุ่นๆ จากนั้นค่อยๆ หยดกาวที่ใช้สำหรับติดหินตัวอย่างลงบนกระจกโดยต้องระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ
5. ค่อยๆ ติดหินตัวอย่างหน้าที่ขัดละเอียดแล้วลงบนแผ่นกระจกอย่างระมัดระวัง อย่าให้เกิดฟองอากาศเด็ดขาด หากมีฟองอากาศเกิดขึ้นให้นำแผ่นกระจกวางบนแผ่นร้อน และค่อยๆ กดไล่ให้ฟองอากาศหายไป
6. เมื่อตัวอย่างหินติดกับกระจกดีแล้ว ให้ทำการขัดอีกด้านด้วยผงขัดละเอียดไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งหินตัวอย่างบางที่สุดเท่าที่จะบางได้ ทดสอบได้โดยการส่องกับกล้องจุลทรรศน์ว่าตัวอย่างบางพอหรือยัง
7. เมื่อตัวอย่างบางพอที่จะใช้ได้แล้ว ให้ทำการปิดทับด้วยกระจกแบบบางอีกด้านเพื่อป้องกันการหลุดออกของเม็ดแร่
8. การเก็บตัวอย่างแผ่นหินบางที่ทำเสร็จแล้วควรระวังอย่าให้ถูกแสงแดดเพราะอาจทำให้กาวที่ยึดหินเกิดการหดสภาพได้

3.3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างแผ่นหินบางด้วยกล้องจุลทรรศน์

ตัวอย่างแผ่นหินบางที่ทำสำเร็จแล้วจะนำมาวิเคราะห์ลักษณะและชนิดของเม็ดแร่และหินด้วยกล้องจุลทรรศน์ ในห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีธรณี อาคารศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 7 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยทำการจำแนกลักษณะของหินปูนตามหลักการของ Folk (1959, 1962) และ Dunham (1962) (รูปที่ 3.7 และ 3.8)



รูปที่ 3.7 Folk classification (คัดลอกและดัดแปลงจาก Folk, 1959)



รูปที่ 3.8 Dunham classification (คัดลอกจาก Dunham, 1962)

3.4 การศึกษาธรณีเคมี

การวิเคราะห์ธรณีเคมีของธาตุหายากและธาตุหลักได้รับการยอมรับว่ามีประโยชน์อย่างยิ่งในการตีความสภาพแวดล้อมการสะสมตะกอนของชั้นหิน ผลการวิเคราะห์นั้นสามารถนำไปประยุกต์เพื่อศึกษาวิวัฒนาการของแอ่งสะสมตะกอนและธรณีแปรสัณฐาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีความซับซ้อนทางด้านธรณีวิทยาโครงสร้าง เช่น แนวตะเข็บธรณีหรือเขตการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลก ธาตุหายากเป็นที่ทราบกันว่าจะไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือการเปลี่ยนแปลงของธาตุระหว่างกระบวนการก่อตัวของเปลือกโลกหรือชั้นหิน ความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบของธาตุหายากในชั้นหินเกิดขึ้นจากปัจจัยระยะทางของการสะสมตะกอนระหว่างทวีปกับเพื่อเขาแยกกลางมหาสมุทร ดังนั้นความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ระหว่างสภาพแวดล้อมการสะสมตะกอนดังกล่าวจึงสามารถวิเคราะห์ได้ โดยเมื่อธาตุหายากก่อนออกจากชั้นหินกำเนิดบริเวณทวีปและถูกเคลื่อนย้ายโดยแม่น้ำลงไปสะสมตัวในแอ่งทะเล ในพื้นที่ทะเลตื้นหรือแม่น้ำ พบว่าสัดส่วนของธาตุหายากหนักและธาตุหายากเบายังคงไม่เกิดการแยกส่วน แต่จะเกิดการแยกส่วนและค่าผิดปกติถ้าเกิดการเคลื่อนย้ายไปสะสมในเขตทะเลค่อนข้างลึกและไกลชายฝั่งออกไป ดังจะเห็นได้ว่าในธาตุหลักนั้นองค์ประกอบของธาตุอลูมิเนียม ไททานเนียมและโพแทสเซียมส่วนใหญ่จะมีแหล่งกำเนิดจากทวีป แต่ธาตุเหล็กมีแหล่งกำเนิดหลักจากบริเวณเพื่อเขาแยกกลางสมุทร ซึ่งสอดคล้องกับกระบวนการเนื่องจากน้ำร้อน ดังนั้นผลการวิเคราะห์ธาตุหลักเหล่านี้จึงสามารถนำมาตีความสภาพแวดล้อมการสะสมตะกอนและต้นกำเนิดของหินได้

โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้นำตัวอย่างหินเซิร์ตจากพื้นที่วัดสุคโตมาศึกษาลักษณะการสะสมตะกอน โดยได้รับการอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือ Inductively Coupled Plasma-mass Spectrometry (ICP-MS) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุหายากและธาตุร่องรอย และเครื่องมือ X-ray Fluorescence (XRF) เพื่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุหลัก ที่ห้องปฏิบัติการทางธรณีเคมี ของ China University of Geosciences เมืองวูฮั่น สาธารณรัฐประชาชนจีน

3.5 การศึกษา Radiolarians และ Sponges

เพื่อให้ทราบอายุอ้างอิงของชั้นหินทำการศึกษาที่แน่นอนและนำไปเทียบเคียงกับวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง งานวิจัยครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ได้แก่ เรดิโอลาเรีย (Radiolarians) และ ฟองน้ำทะเล (Sponges) ที่พบในชั้นหินเซิร์ต โดยการนำตัวอย่างหินไปละลายด้วยกรดซัลฟิวริกเป็นเวลา 2 สัปดาห์ จนเนื้อหินที่เป็นซิลิกาละลายจนหมด จากนั้นจึงนำตะกอนที่หลงเหลืออยู่มาคัดกรองเพื่อเลือก Radiolarians และ Sponges จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่คัดเลือกแล้วไปถ่ายภาพด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope : SEM) และจำแนกชนิดของ Radiolarians และ Sponges ที่พบเพื่อกำหนดอายุของชั้นหินในพื้นที่ศึกษา

3.6 การวัดค่าความพรุนและความซึมผ่านของตัวอย่างหินคาร์บอนेट

3.6.1 การเก็บหินตัวอย่างและการเตรียมตัวอย่าง

3.6.1.1 การเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างหินคาร์บอนेटจากบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 6 แห่ง ดังมีรายละเอียดและจำนวนตัวอย่างที่เก็บในแต่ละพื้นที่ศึกษาดังนี้

1. บริเวณพื้นที่ฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬาหมวกเหล็ก จำนวน 2 ตัวอย่าง
(ชื่อตัวอย่าง ML-1 และ ML-2)
2. บริเวณพื้นที่วัดสุคติ จำนวน 3 ตัวอย่าง
(ชื่อตัวอย่าง SKT-1 SKT-2 และ SKT-3)
3. บริเวณพื้นที่ฟาร์มโคนม ไทย-เดนมาร์ก จำนวน 3 ตัวอย่าง
(ชื่อตัวอย่าง TDM-1 TDM-2 และ TDM-3)
4. บริเวณพื้นที่วัดซ่งตะเคียน จำนวน 2 ตัวอย่าง
(ชื่อตัวอย่าง STK-1 และ STK-2)
5. บริเวณพื้นที่บ่อขุด บ.หนองผักเสี้ยน จำนวน 2 ตัวอย่าง
(ชื่อตัวอย่าง BK-1 และ BK-2)
6. บริเวณพื้นที่บ้านหนองโป่ง จำนวน 3 ตัวอย่าง
(ชื่อตัวอย่าง NP-1 NP-2 และ NP-3)

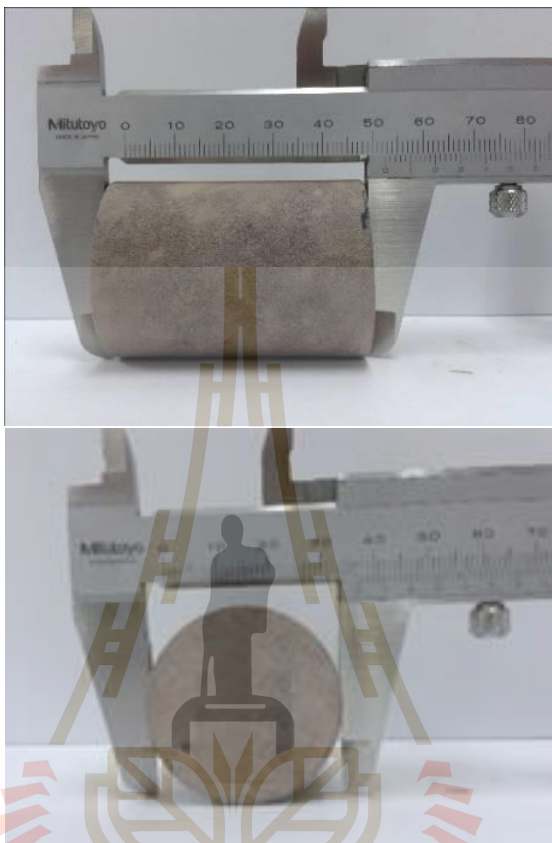
3.6.1.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างหินที่เก็บมาจากภาคสนามจากบริเวณพื้นที่ศึกษามาทำความสะอาดและตัดโดยใช้เครื่องเจาะตัวอย่างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5 นิ้ว และมีความยาวประมาณ 2 นิ้ว ดังแสดงในรูป 3.9

3.6.2 การวัดค่าความพรุนของหินตัวอย่าง

ความพรุน (Porosity) หมายถึง ปริมาณช่องว่างทั้งหมดที่อยู่ภายในหิน โดยช่องว่างทั้งหมดที่เกิดขึ้นในหินแต่ชนิดจะขึ้นอยู่กับ การทับถม การจัดเรียงตัว สะสมตัวของตะกอนของหินชนิดนั้น ๆ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า “การคัดขนาดของตะกอน” ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าความพรุนของชั้นหิน หินที่มีการคัดขนาดของเม็ดตะกอนที่ดีก็จะทำให้มีความพรุนดี (มีความพรุนมาก) หินที่มีการคัดขนาดของเม็ดตะกอนที่ไม่ดีก็จะส่งผลทำให้มีความพรุนไม่ดี (ความพรุนน้อย) ตามแต่ละชนิดหิน อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อความพรุนก็คือ การเชื่อมประสานระหว่างเม็ดตะกอนโดยการเชื่อมประสานนั้นอาจจะขึ้นอยู่กับแร่ธาตุที่ละลายมาแทรกสะสมตัวในชั้น หรือตะกอนที่มีขนาดเล็กมาก ๆ เข้ามาแทรกระหว่างเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ จึงส่งผลทำให้ค่าความพรุนของหินชนิดนั้น ๆ มีค่าความพรุนลดลง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดความพรุนของหินคาร์บอนेटตัวอย่าง จำนวนทั้งสิ้นรวม 15 ตัวอย่าง

โดยใช้เครื่องวัดความพรุน (Porosimeter) ณ ห้องปฏิบัติการคุณสมบัติของหินและของไหล สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างแท่งหินตัวอย่างทรงกระบอก ขนาดประมาณ 1.5 x 2.0 นิ้ว



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดค่าความพรุน (Porosimeter)

วิธีการวัดความพรุน

1. นำตัวอย่างหินคาร์บอนที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างโดยการเจาะทำเป็นแท่งหินตัวอย่างมาทำการอบให้แห้งและวัดค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง (cm) ค่าความยาว (cm) และทำการชั่งน้ำหนัก (g)
2. ทำการคำนวณค่าปริมาตรทั้งหมด (Bulk volume, cm^3) ของแท่งหินตัวอย่างทรงกระบอกจากสมการ

$$\text{ปริมาตรทั้งหมด (ทรงกระบอก)} = \pi(d/2)^2 \times h \quad (3.1)$$

- เมื่อ
- d = ความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างหินทรงกระบอก (cm)
- h = ความยาวของตัวอย่างหินทรงกระบอก (cm)

3. คำนวณค่าความหนาแน่นทั้งหมด (Bulk density, g/cm^3) จากสมการ 3.2

$$\text{ค่าความหนาแน่นทั้งหมด} = \frac{\text{น้ำหนักของแท่งหินตัวอย่าง (g)}}{\text{ปริมาตรทั้งหมดของแท่งหินตัวอย่าง (cm}^3\text{)}} \quad (3.2)$$

4. นำแท่งเหล็กอ้างอิง (Billet) หมายเลข 1 2 3 และ 4 ที่มีปริมาตรเท่ากับ 10.18 10.20 20.39 และ 40.74 cm³ ตามลำดับ ใส่เข้าไปในกระบอกบรรจุตัวอย่าง (Sample chamber)
5. ทำการเปิดแก๊สฮีเลียมอัดเข้าไปภายในกระบอกอ้างอิง (Reference chamber) ให้มีค่าความดันเท่ากับ 100 psig บันทึกค่าเป็น P_{of}
6. ทำการปล่อยก๊าซฮีเลียมจากกระบอกอ้างอิงเข้าสู่กระบอกบรรจุตัวอย่าง (Sample chamber) ที่มีแท่งเหล็กอ้างอิง (Billet) หมายเลข 1 2 3 และ 4 บรรจุอยู่ บันทึกค่าความดันภายในกระบอกบรรจุตัวอย่างเป็น P_f
7. นำแท่งเหล็กอ้างอิงหมายเลข 1 ออกจากกระบอกบรรจุตัวอย่าง ปิดฝากระบอกบรรจุตัวอย่าง แล้วทำการปล่อยก๊าซฮีเลียมอัดเข้าไปในกระบอกอ้างอิงใหม่อีกครั้ง ให้มีค่าความดันเท่ากับ 100 psig บันทึกค่าเป็น P_{ob}
8. ทำการปล่อยก๊าซฮีเลียมจากกระบอกอ้างอิงเข้าสู่กระบอกบรรจุตัวอย่าง (Sample chamber) ที่มีแท่งเหล็กอ้างอิง (Billet) หมายเลข 2 3 และ 4 อยู่ บันทึก ค่าความดันภายในกระบอกบรรจุตัวอย่างเป็น P_b
9. คำนวณปริมาตรอ้างอิง (Reference volume หรือ RV, cm³) จากสมการที่ 3.3

$$RV = V_{bil_1} / ((P_{ob}/P_b) - (P_{of}/P_f)) \quad (3.3)$$

เมื่อ V_{bil_1} = ปริมาตรของแท่งเหล็กอ้างอิงหมายเลข 1
กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10.18 cm³

10. นำแท่งเหล็กอ้างอิงหมายเลข 1 3 และ 4 ออกจากกระบอกบรรจุตัวอย่าง เหลือไว้เพียงแท่งเหล็กอ้างอิงหมายเลข 2 ทำให้เกิดเป็นช่องว่างภายในกระบอกใส่ตัวอย่างหินทดสอบขึ้นเท่ากับ 71.33 cm³ บันทึกค่านี้เป็น V_{bil_2 (Left out)}
11. นำแท่งหินตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่เข้าไปในกระบอกใส่ตัวอย่าง จากนั้นทำการเปิดแก๊สฮีเลียมอัดเข้าไปภายในกระบอกอ้างอิง (Reference chamber) ให้มีค่าความดันเท่ากับ 100 psig บันทึกค่าเป็น P_{os}
12. ทำการปล่อยก๊าซฮีเลียมจากกระบอกอ้างอิงเข้าสู่กระบอกบรรจุตัวอย่างที่มีแท่งเหล็กอ้างอิงหมายเลข 2 อยู่ บันทึกค่าความดันภายในกระบอกบรรจุตัวอย่างเป็น P_s
13. คำนวณปริมาตรของเนื้อหิน (Grain volume, cm³) ได้จากสมการ 3.4

$$\text{ปริมาตรของเนื้อหิน} = V_{bil_2 (Left out)} + ((P_{of}/P_f) \times RV) - ((P_{os}/P_s) \times RV) \quad (3.4)$$

14. คำนวณค่าความพรุน (Porosity) ตามสมการที่ 3.5

ปริมาตรช่องว่าง (cm^3) = ปริมาตรของแท่งหินตัวอย่างทั้งหมด (cm^3) - ปริมาตรของเนื้อหิน (cm^3)

$$\text{ร้อยละของความพรุนของหิน} = \frac{\text{ปริมาตรช่องว่าง (cm}^3\text{)}}{\text{ปริมาตรของแท่งหินตัวอย่างทั้งหมด (cm}^3\text{)}} \times 100 \quad (3.5)$$

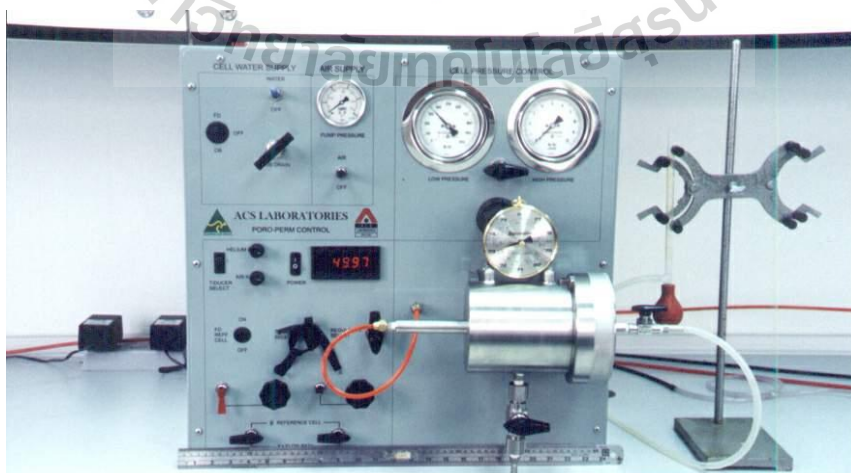
15. คำนวณค่าความหนาแน่นของเนื้อหิน (Grain density, g/cm^3) ได้จาก

$$\text{ความหนาแน่นของเนื้อหิน} = \frac{\text{น้ำหนักของแท่งหินตัวอย่าง(g)}}{\text{ปริมาตรของเนื้อหิน(cm}^3\text{)}} \quad (3.6)$$

3.6.3 การวัดค่าความซึมผ่านของหินตัวอย่าง

ความซึมผ่านของหิน (Rock permeability) หมายถึง ความสามารถของชั้นหินที่ยอมให้ของไหลที่สะสมตัวอยู่ในชั้นหินไหลผ่านไปได้ภายใต้ความกดดันของชั้นหิน หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ ช่องว่างที่เชื่อมต่อกันภายในชั้นหิน ค่าความซึมผ่านได้ของชั้นหินจะบ่งบอกถึงความสามารถที่จะทำให้อ่างหินที่อยู่ในชั้นหินไหลผ่านไปได้มากหรือน้อย ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับขนาด การจัดเรียงตัวของเม็ดตะกอนที่มาสะสมตัว และรอยแตกภายในที่เกิดขึ้นในชั้นหิน

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้ทำการวัดค่าความซึมผ่านของตัวอย่างหินคาร์บอนेटโดยใช้เครื่องวัดค่าความซึมผ่าน (Permeability meter) แบบ Hydrostatic pressure cell (รูปที่ 3.11) ที่ห้องปฏิบัติการคุณสมบัติของหินและของไหล สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดค่าความซึมผ่านแบบ Hydrostatic pressure cell

วิธีการวัดค่าความซึมผ่าน

1. นำแท่งหินตัวอย่างใส่ไปในกระบอกบรรจุแท่งตัวอย่างหินแล้วนำเข้า Hydrostatic pressure cell
2. เปิดน้ำให้เข้าไปภายใน Hydrostatic pressure cell ให้เต็ม
3. เปิดให้ก๊าซไนโตรเจนไหลผ่านเข้าไปในกระบอกที่มีหินตัวอย่างอยู่และบันทึกค่าเป็นค่าความดันต้นทาง (P_1)
4. ทำการวัดค่าปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนที่ไหลออกอีกด้านหนึ่งของ Hydrostatic pressure cell และวัดค่าความดันปลายทาง (P_2)
5. คำนวณค่าความซึมผ่านจากสมการ 3.7

$$k = \frac{2000(BP)\mu qL}{(P_1^2 - P_2^2)A} \quad (3.7)$$

เมื่อ

k = ค่าความซึมผ่าน (md)

BP = ความดันบรรยากาศ (atm)

μ = ความหนืดของแก๊สไนโตรเจน (cp)

q = อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน (cm^3/sec)

L = ความยาวของแท่งหินตัวอย่าง (cm)

P_1 = ความดันต้นทาง (atm)

P_2 = ความดันปลายทาง (atm)

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งหินตัวอย่าง (cm^2)

ทั้งนี้ค่าความหนืด (Viscosity, μ) ของก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ในการทดสอบ ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 0.0174 cp

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 1) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลธรณีวิทยาและการจำแนกกลุ่มหินสระบุรีในบริเวณพื้นที่ศึกษา 2) ผลการศึกษาธรณีเคมี 3) ผลการวิเคราะห์ทางศิลาวรรณา 4) ผลการศึกษาอายุของชั้นหินจากซากดึกดำบรรพ์ และ 5) ผลการวัดค่าความพรุนและค่าความซึมผ่านของตัวอย่างหินคาร์บอนเนตที่เก็บจากบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลธรณีวิทยาและการจำแนกกลุ่มหินสระบุรีในบริเวณพื้นที่ศึกษา

กลุ่มหินสระบุรี บริเวณจังหวัดสระบุรีและอำเภอปากช่องสามารถแบ่งได้เป็น 5 หมวดหิน และบริเวณจังหวัดเพชรบูรณ์พบหมวดหินที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน 2 หมวดหิน โดยมีรายละเอียดดังนี้

บริเวณ Platform ประกอบด้วย 3 หมวดหิน เรียงจากล่างขึ้นบนดังนี้ หมวดหินเขาขวาง (Khao Khwang Formation) หมวดหินเขาแผงม้า (Khao Phaeng Ma Formation) และหมวดหินซัปบอน (Sap Bon Formation)

บริเวณลาดทวีป (Slope) ถึงแอ่งทะเลลึก (Basin) ประกอบด้วย 2 หมวดหินเรียงจากล่างขึ้นบนดังนี้ หมวดหินหนองโป่ง (Nong Pong Formation) และหมวดหินปางอโศก (Pang Asok Formation)

สำหรับบริเวณแนวเทือกเขาคดโค้งเพชรบูรณ์ (Phetchabun Fold Belt) หินยุคเพอร์เมียน บริเวณ อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ประกอบด้วยตะกอนที่แตกต่างกับที่พบในจังหวัดสระบุรี ซึ่ง Chonglakmani and Sattayarak (1978) เรียกชื่อหน่วยหินนี้ว่าหมวดหินน้ำดุก (Nam Duk Formation) มีลักษณะปรากฏเป็นหินที่สะสมตัวในน้ำลึก (geosynclinal facies) ซึ่งต่อมา Helmcke and Lindenber (1983) สามารถแยกหน่วยหินนี้ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ Pre-flysch, Flysch และ Molasse sequences ซึ่งบ่งถึงการเกิดเทือกเขา (Orogeny) ในยุคนี้ของประเทศไทยและทวีปเอเชียอาคเนย์โดยรวม

4.1.1 หมวดหินเขาขวาง (Khao Khwang Formation)

ความสัมพันธ์กับหน่วยหินอื่น หมวดหินเขาขวางได้มีการใช้ชื่อเรียกอื่น ๆ เช่น บางส่วนของหมวดหินเขาขาด (Khao Khad Formation) และหมวดหินภูเพ (Phu Phe Formation)

ชั้นหินแบบฉบับ Hinthong *et al.* (1981) ได้กำหนดชั้นหินแบบฉบับของหมวดหินเขาขวางไว้ที่เทือกเขาขวาง จังหวัดสระบุรี

การแพร่กระจายและความหนา หมวดหินเขาขวางแพร่กระจายอยู่ทั่วไปบริเวณเทือกเขาด้านตะวันตกของแอ่งโคราชในเขตจังหวัดนครราชสีมาและสระบุรี และขยายตัวคลุมพื้นที่จังหวัดลพบุรีและจังหวัดเพชรบูรณ์ทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือและด้านเหนือ หินปูนเพอร์เมียนที่พบแพร่กระจายอยู่ใน

จังหวัดเลยที่เทียบเคียงกับหมวดหินเขาขวางนี้ หมวดหินนี้มีความหนาไม่สม่ำเสมอ โดยทั่วไปมีความหนาไม่ต่ำกว่า 500 เมตร

ลักษณะหินและลำดับชั้นหิน ลักษณะหินโดยทั่วไปประกอบด้วยหินปูนสีเทาถึงเทาดำ เนื้อละเอียด ช่วงล่างและช่วงกลางมักมีเนื้อปูนโดโลไมต์จนถึงเป็นหินโดโลไมต์ ช่วงบนมีหินปูนกรวดมนแทรก ความหนาของชั้นมีขนาดปานกลางถึงชั้นหนาและจนถึงลักษณะเป็นปื้น (Massive) โดยปกติหินปูนมักมีหินเชิร์ตแทรกเป็นกระเปาะ (Nodule) หรือเป็นชั้นขนานกับชั้นหิน ส่วนในบริเวณพื้นที่ศึกษาไม่พบว่าหมวดหินเขาขวางวางตัวอยู่บนหินหมวดใด แต่พบว่าวางตัวอยู่ใต้หมวดหินห้วยหินลาด (Huai Hin Lat Formation) แบบมีรอยผิดวิสัย (Unconformity)

อายุและซากบรรพชีวิน ซากบรรพชีวินที่พบในหมวดหินเขาขวาง โดยเฉพาะ Fusulinids สามารถกำหนดอายุหินได้ว่า มีอายุจากเพอร์เมียนตอนล่าง (ล่างสุด Asselian) จนถึงเพอร์เมียนตอนกลาง (ส่วนล่างของ Capitanian) อย่างไรก็ตามบางบริเวณมีหลักฐานทางซากบรรพชีวินว่าส่วนล่างของหมวดหินเขาขวางมีอายุแก่ถึง Carboniferous ตอนบน (Altermann, 1989)

หินปูนของหมวดหินเขาขวางที่มีอายุ Asselian พบที่เขาสมโขชน์ (Wielchowsky and Young, 1985; Altermann, 1991) ประกอบด้วยซากบรรพชีวินดังนี้ *Triticites cf. samaricus*, *Bradyina vana*, *Paleotextutavia sp.*, *Tetrataxis sp.*, *Deckerlla sp.*, *Paradagmarita sp.*, *Tubiphytes sp.* และ algal fragments ซากบรรพชีวินกลุ่มนี้จัดอยู่ใน *Triticites ozawai-Paraschwagerina yanagidai zone* มีอายุ Asselian หินปูนอายุ Asselian พบอยู่ทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น จังหวัดเพชรบูรณ์ (เขาชนไก่, บ้านโตก) เลย (ถ้ำน้ำโหวง, บ้านน้ำหล่ม, ผาเดิน) และอุดรธานี (Ingavat, 1984) โดยเฉพาะที่เขาชนไก่และบ้านโตกจะพบ fusulinids ชนิด *Pseudoschwagerina sphaerica* (Rauser and Schten), *Quasifusulina tenuissima* (Schellwien), *Rugososchwagerina sp.* และ *Pseudofusulina sp.* นอกจากนี้ยังพบ foraminifera จำพวกอื่น ๆ ด้วย

Hinthong *et al.* (1981) รายงานการพบซากบรรพชีวินในหมวดหินเขาขวางบริเวณจังหวัดสระบุรี ได้แก่ fusulinids, brachiopod, trilobite, bivalve, bryozoan, crinoid stem และ algae fusulinids ที่พบมีอายุแก่สุดในช่วง Sakmarian ได้แก่ *Pseudoschwagerina (Zellia) turbida* Kahler, *Paraschwagerina sp.*, *Chalaroschwagerina* or *Paraschwagerina sp.* หินปูนอายุ Sakmarian พบแพร่หลายทั่วไปในภาคตะวันออกเฉียงเหนือสะสมต่อเนื่องขึ้นมาจากหินปูนอายุ Asselian เช่นที่จังหวัดขอนแก่น (ผาดอกจิก) เลย อุดรธานี และชัยภูมิ (Ingavat, 1981) โดยเฉพาะที่ผาดอกจิกพบ fusulinids 16 ชนิด รวมถึงชนิด *Triticites pseudosimplex* Chen, *T. cf. arctica* (Schellwien), *Pseudofusulina exigua* (Schellwien), *Chusenella cervicalis* (Lee) ซึ่งบ่งถึงอายุ Sakmarian

ส่วนที่โปร่งพราบ ส่วนล่างของหินปูนหมวดเขาขวาง จาก *Misellina otai - M. cf. termieri zone* ถึง *Maklaya saraburiensis zone* นั้น Toriyama *et al.* (1974) กำหนดอายุไว้ใน Artinskian

(Kungurian) ในบริเวณจังหวัดเลย ที่ ห้วยซำปอด (Pitakpaivan, 1965) รายงานการพบ *Parafusulina loeyensis* Pitakpaivan, *P. parva* Pitakpaivan, *P. methikuli* และได้กำหนดอายุไว้ใน Yahtashian (หรือ Artinskian) เมื่อเทียบกับหินอายุอื่น หินปูนอายุ Artinskian พบไม่แพร่หลายนักเนื่องจากเป็นช่วงน้ำทะเลถดถอยตรงตาม relative coastal onlap curve ของ Vail *et al.* (1977)

Toriyama *et al.* (1974) ได้จัดตั้งชั้นหินอ้างอิงพื้นที่เขาโป่งปราบและเขาขาว บริเวณเขาพระพุทธรบาท จังหวัดสระบุรี ประกอบด้วย fusulinids 8 zones มีอายุจาก Kungurian ตอนล่าง ถึง Wordian ตอนบน ตามการเปรียบเทียบอายุ fusulinids ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน fusulinid zones มีลำดับจาก *Misellina otai* – *M. cf. haydeni* Zone ที่อยู่กลาง จนถึง *Neoschwagerina haydeni* zone ที่อยู่บนสุด

หินปูนหมวดหินเขาขวางอายุอ่อนสุดที่พบได้แก่หินปูนเขาขาว ที่มี fusulinids ชนิด *Colania douvillei* และ *Verbeekina verbeeki* (Ingavat *et al.*, 1980) มีอายุ Lower Capitanian บริเวณเขาสมโภชน์ Altermann (1989) ได้รายงานการพบหินยุค Lower Capitanian และ Upper Capitanian โดยหินยุค Lower Capitanian นั้นประกอบด้วยซากบรรพชีวิน *Colania douvillei*, *Sumatrana annae*, *Verbeekina verbeeki*, *Chusenella* sp., *Kamurana* sp., *Climacammina* sp. และ *Calcitosnalla* sp. ส่วนหินอายุ Upper Capitanian ประกอบด้วยซากบรรพชีวิน *Lepidolina multiseptata*, *Verbeekina verbeeki*, *Chusenella* sp., *Cribrogenerina* sp., *Paleotextularia* sp., *Deckerella* sp. และ *Climacammina* sp.

4.1.2 หมวดหินเขาแฝงม้า (Khao Phaeng Ma Formation)

ความสัมพันธ์กับหน่วยหินอื่น หมวดหินเขาแฝงม้าได้จัดตั้งขึ้นใหม่จากชื่อเขาแฝงม้า อำเภอแมกเหล็ก จังหวัดสระบุรี เป็นบริเวณที่มีหินหมวดนี้โผล่ให้เห็นได้ดี วางตัวอย่างต่อเนื่องขึ้นมาจากหมวดหินเขาขวาง และวางตัวอย่างใต้หมวดหินซับบอน Hinthong *et al.* (1981) ได้ตั้งชื่อ หมวดหินเขาขาด (Khao Khad Formation) โดยมีชั้นหินแบบฉบับอยู่ที่เขาขาด ซึ่งมีทางหลวงสายสระบุรี-หล่มสักตัดผ่านเทือกเขาเขียวในจังหวัดสระบุรี ประกอบด้วยหินปูนเป็นส่วนมาก มักมีชั้นหินเชิร์ต หินดินดาน และหินทรายแทรก

ชั้นหินแบบฉบับ อยู่ที่เขาแฝงม้า อำเภอแมกเหล็ก จังหวัดสระบุรี ปรากฏในแผนที่ระวาง 5238III

การแพร่กระจายและความหนา หมวดหินเขาแฝงม้าพบแพร่กระจายอยู่ทั่วไปบริเวณจังหวัดสระบุรี ลพบุรี และนครราชสีมา บริเวณอำเภอทับกวาง จังหวัดสระบุรี หินหมวดนี้มีความหนาทั้งสิ้น 1,200 เมตร

ลักษณะหินและลำดับชั้นหิน หมวดหินเขาแฝงม้าประกอบด้วยหินปูนเป็นส่วนมาก มีสีขาวเทาจนถึงเทาดำ ลักษณะเป็นชั้นบางถึงชั้นหนา มีชั้นหินดินดานและชั้นหินเชิร์ตชั้นบาง ๆ แทรก หินปูนมี

ลักษณะเด่นที่โดดเด่นที่แตกต่างจากหินปูนหมวดหินเขาขวางคือมีลักษณะเป็นชั้นดี มักแสดง Hummocky cross-bedding และ Graded bedding บ่งถึงการสะสมตัวโดยมีพายุเป็นตัวกระทำ หินปูนที่พบบ่อยมีลักษณะคัดขนาดไม่ดี ซึ่งเป็นคุณลักษณะที่สำคัญของ Debris flow deposit ส่วน Limestone conglomerate ก็เป็นชนิด Paraconglomerate ที่ไม่มีการคัดขนาด ในหินดินดานบางแห่งพบ blocks ของหินปูนอยู่ด้วย หินกรวดมนดังกล่าวจัดเป็น Slump deposit ซึ่งเกิดในช่วง Slope ของแอ่งเซิร์ตที่พบเป็นชั้นบาง ๆ มีสีชมพูจนถึงเทา บางแห่งพบซากบรรพชีวิน Radiolarian อยู่มาก

อายุและซากบรรพชีวิน หมวดหินเขาแผงม้าเทียบเคียงได้กับ Upper Limestone ของ Borax and Stewart (1966) ที่ประกอบด้วยหินปูนเป็นชั้น (Fragment) สี Light grey ถึง Tan มีชั้นหินปูนกรวดมนแทรก จากซากบรรพชีวิน Fusulinids ที่พบมีอายุจาก Artinskian ถึง Lower Wordian

4.1.3 หมวดหินซัปบอน (Sap Bon formation)

ความสัมพันธ์กับหน่วยหินอื่น Hinthong *et al.* (1981) ตั้งชื่อหน่วยหินนี้ตามชื่อบ้านซัปบอน อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี เป็นหมวดหินหนึ่งของหินเพอร์เมียน ประกอบด้วยหินดินดาน สลับกับ หินทรายแป้งและหินทราย วางตัวอยู่บนหมวดหินเขาขาด แบบ Transitional contact และวางตัวอยู่ใต้หินภูเขาไฟและหินอัคนีระดับลึก พบว่ามีการวางตัวแบบต่อเนื่องบนหมวดหินเขาแผงม้า ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของหมวดหินเขาขาดของ Hinthong *et al.* (1981)

ชั้นหินแบบฉบับ Hinthong *et al.* (1981) ได้ตั้งชั้นหินแบบฉบับของหมวดหินซัปบอน ที่บ้านซัปบอน ข้างถนนมิตรภาพ ประมาณหลักกิโลเมตรที่ 134 นอกจากนี้ยังรวมชั้นหินที่บ้านโสกลึกและบ้านห้วยซัปได้ ประกอบเป็นชั้นหินแบบฉบับด้วย

การแพร่กระจายและความหนา หมวดหินซัปบอนแพร่กระจายในแนวประมาณตะวันออก-ตะวันตก จากอำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ถึงตอนใต้ของอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา มีความยาวมากกว่า 50 กิโลเมตร ความกว้างโดยเฉลี่ยประมาณ 5 กิโลเมตร หมวดหินนี้มีความหนาทั้งหมด 1,000 เมตร

ลักษณะหินและลำดับชั้นหิน หมวดหินซัปบอนส่วนใหญ่ประกอบด้วย หินดินดาน สลับกับหินทรายแป้งและหินทราย สีนํ้าตาลอ่อนหรือสีเทาแกมนํ้าตาล หลายแห่งมีชั้นหินปูนสีเทาถึงสีเทาดำชั้นบางถึงชั้นหนาแทรกและพบชั้นหินเซิร์ตแทรกสลับอยู่บ้าง

อายุและซากบรรพชีวิน หมวดหินซัปบอน มีหินตะกอนเนื้อประสมมาก จึงพบซากบรรพชีวินไม่มากนัก ในหินดินดานพบ *Agathiceras* sp. และอาจพบ fusulinids ในหินปูนบ้าง เช่น *Yabeina* sp., *Neoschwagerina* cf. *magaritae*, *Minojapanella* sp., *Yabeina* sp., *Minojapanella* sp. และ *Colania* cf. *douvillei* Ozawa (Borax and Stewart, 1966; Hinthong *et al.*, 1981) มีอายุจาก Upper Wordian ถึง Lower Capitanian

4.1.4 หมวดหินหนองโป่ง (Nong Pong Formation)

ความสัมพันธ์กับหน่วยหินอื่น Hinthong *et al.* (1981) ให้ชื่อหมวดหินนี้ตามชื่อท้องถิ่นที่บ้านหนองโป่ง ในเขตพื้นที่อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ความสัมพันธ์ของหมวดหินหนองโป่งกับหน่วยหินชั้นล่างยังไม่เป็นที่ทราบชัด รอยสัมผัสของหมวดหินหนองโป่งกับหมวดหินเขาขวางเกิดจากรอยเลื่อน ดังนั้นตามลำดับที่แท้จริง หมวดหินหนองโป่งจึงมีได้วางตัวอยู่บนหมวดหินเขาขวาง ตามรายงานของ Hinthong *et al.* (1981) หมวดหินหนองโป่งวางตัวอยู่ใต้หมวดหินปางอโศกแบบต่อเนื่อง

ชั้นหินแบบฉบับ Hinthong *et al.* (1981) ให้ชั้นหินบริเวณหนองโป่ง ในเขตอำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ปรากฏในแผนที่ระวาง 5238I

การแพร่กระจายและความหนา หมวดหินหนองโป่งมีการแพร่กระจายที่กว้างมาก วางตัวในแนวประมาณตะวันออก-ตะวันตก ยาวไม่ต่ำกว่า 30 กิโลเมตร และกว้างถึง 15 กิโลเมตร อยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ ของอำเภอปากช่อง มีความหนาทั้งสิ้นมากกว่า 600 เมตร

ลักษณะหินและลำดับชั้นหิน ประกอบด้วยหินปูนสลับกับหินดินดาน หินปูนมีลักษณะเด่น คือ มีสีเทาถึงเทาดำ ลักษณะเป็นชั้นแถบบางๆ (Banded or laminated) เนื้อหินแสดง Graded-bedding บ่งถึงการสะสมตัวโดย turbidity current บางแห่งมีหินเชิร์ตชั้นบางๆ แทรกสลับ

อายุและซากบรรพชีวิน หมวดหินหนองโป่ง พบ fusulinids ในชั้นหินปูนหลายบริเวณ มีอายุจาก Artinskian ถึง Kazanian (หรือ Wordian) ช่วงล่างพบ *Thailandina buravasi* และ *Pseudodoliolina* sp., *Neofusulina* sp. ช่วงบนพบ *Verbeekina* sp., *Cancellina* sp., *Pseudodoliolina* sp., *Neofusulinella* sp. และ *Pseudofusulina* cf. *japonica* นอกจากนี้ในหินดินดานยังพบ *Agathiceras* sp. อีกด้วย

4.1.5 หมวดหินปางอโศก (Pang Asok Formation)

ความสัมพันธ์กับหน่วยหินอื่น หมวดหินปางอโศกตั้งโดย Hinthong *et al.* (1981) ตามชื่อหมู่บ้านปางอโศก อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา วางตัวต่อเนื่องหมวดหินหนองโป่ง รอยสัมผัสด้านบนกับหน่วยหินอื่นเป็นแบบรอยเลื่อน

ชั้นหินแบบฉบับ Hinthong *et al.* (1981) ได้กำหนดชั้นหินหลายจุดบริเวณ อำเภอมหกเหล็ก เป็นชั้นหินแบบฉบับ ได้แก่ จุดเหนือบ้านไร่กลางดง อำเภอมหกเหล็ก จังหวัดสระบุรี บริเวณทิศเหนือของทางหลวงสายมิตรภาพใกล้สถานีรถไฟปางอโศก และบริเวณเขابันไถม้า ตรงข้ามวัดวชิราลงกรณ์วาราราม

การแพร่กระจายและความหนา หมวดหินปางอโศกพบแพร่กระจายอยู่ทั่วไป บริเวณตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภอปากช่อง และอยู่ต่อจากหมวดหินหนองโป่งลงมาทางใต้ วางตัวประมาณตะวันออก-ตะวันตก

ลักษณะหินและลำดับชั้นหิน หมวดหินปางอโศกส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินดินดาน สีน้ำตาลจนถึงสีเทา และมักถูกแปรสภาพเป็นหินดินดานกึ่งชนวน (Slaty shale) หินดินดานบางบริเวณมักมีชั้นหินทรายเกรย์แวก (Greywacke) แทรก บางบริเวณมีหินปูนหรือหินปูนกรวดมน ลักษณะเป็นเลนส์แทรกบ้างเล็กน้อย หินปูนหรือหินปูนกรวดมนนี้เกิดจากการเลื่อนไถล (Slump) มาจากไหล่ทวีป (Shelf) และลาดทวีป (Slope) ลงสู่แอ่งทะเลลึก (Marine basin)

อายุและซากบรรพชีวิน หมวดหินปางอโศกมักไม่พบซากบรรพชีวิน การกำหนดอายุจึงอาศัยความสัมพันธ์ของชั้นหินที่วางตัวอยู่บนหมวดหินหนองโป่ง จึงกำหนดให้มีอายุ Wordian

4.1.6 หมวดหินน้ำดุก (Nam Duk Formation)

ความสัมพันธ์กับหน่วยหินอื่น หมวดหินน้ำดุกถูกขึ้นตั้งโดย Chonglakmani and Sattayarak (1978) ตามชื่อห้วยน้ำดุก ในเขตอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ยังไม่พบความสัมพันธ์กับหน่วยหินที่อยู่ข้างล่าง แต่วางตัวอยู่ใต้หมวดหินน้ำหนาว (Nam Nao Formation) แบบมีรอยเลื่อนคั่น สำหรับหมวดหินน้ำหนาวตั้งโดย Altermann (1989) โดยรอยแยกชั้นหินที่มีลักษณะเป็นโมลาส (Molasses) ออกจากหมวดหินน้ำดุก

ชั้นหินแบบฉบับ หมวดหินน้ำดุกมีชั้นหินแบบฉบับอยู่ที่เส้นทางหลวง สายหล่มสัก-ชุมแพ ระหว่างกิโลเมตรที่ 16- 21.5

การแพร่กระจายและความหนา หมวดหินน้ำดุกพบแพร่กระจายไปทางเหนือและใต้จากบริเวณชั้นหินแบบฉบับ ที่อำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ทิศเหนือแผ่ไปถึงริมแม่น้ำโขง ที่อำเภอท่าลี่ จังหวัดเลย เข้าสู่ประเทศลาว หมวดหินน้ำดุกทางด้านใต้มีความสลับซับซ้อนและยังมีข้อมูลไม่ชัดเจนนัก พบเป็นส่วนล่างของหมวดหินปางอโศก ประกอบด้วยหินดินดาน มีหินทรายเกรย์แวก (Greywacke) แทรกบาง ๆ ซึ่งอาจเทียบเคียงได้กับหมวดหินน้ำดุก หมวดหินน้ำดุกมีความหนาไม่น้อยกว่า 2,000 เมตร

ลักษณะหินและลำดับชั้นหิน หมวดหินน้ำดุกแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนล่าง (Pelagic facies) และส่วนบน (Flysch facies) หินทั้งสองส่วนถูกรบกวนด้วยรอยคดโค้งและรอยเลื่อนจำนวนมากทำให้จัดลำดับและวัดความหนาที่ถูกต้องได้ยาก หินส่วนล่างประกอบด้วย Shale, Tuffite, Chert และ Allodapic limestone ซึ่งแสดงลักษณะของตะกอนที่เกิดจาก Turbidity current หินส่วนบนประกอบด้วยหินตะกอนเนื้อประสม ได้แก่ หินทรายเกรย์แวกที่สลับกับชั้นหินดินดานสีเทา หินทรายเกรย์แวกก็แสดง Graded-bedding และ Convolute bedding ด้านล่างชั้นหินทรายมีร่องรอยของ Turbidity current

อายุและซากดึกบรรพชีวิน พบซากบรรพชีวินเฉพาะส่วนล่างที่เป็นหินปูน Allodapic ของหมวดหินน้ำดุก (Chonglakmani and Sattayarak, 1976; Altermann, 1989) ประกอบด้วย Fusulinids, Foraminifera, Algae, Bryozoa Fusulinid อายุแก่ที่สุดที่พบได้แก่ *Pseudoschwagerina* sp. และ

Boultonia sp. อายุ Asselian และอายุอ่อนสุดได้แก่ *Pseudodoliolina* sp., *Parafusulina gigantea* Deprat, *Sumatrina* sp., *Yangchienia* sp. และ *Neoschwagerina* sp. อายุ Wordian โดย Flysch facies ของหมวดหินน้ำคูกนั้นแม้จะไม่พบซากบรรพชีวินแต่จากลำดับชั้นหินก็สามารถกำหนดอายุได้เป็น Wordian เนื่องจากหมวดหินน้ำคูกที่วางตัวอยู่บนมีอายุจาก Wordian ถึง Capitanian อายุของหมวดหินน้ำคูกที่ยืนยันจากซากบรรพชีวิน Fusulinids อยู่ในช่วง Asselian ถึง Wordian อย่างไรก็ตามส่วนล่างสุดของหมวดหินน้ำคูกที่เป็น Shale และ Tuffite อาจมีอายุแก่ถึงช่วง Carboniferous

4.1.7 หมวดหินน้ำหนาว (Nam Nao Formation)

ความสัมพันธ์กับหน่วยหินอื่น หมวดหินน้ำหนาวตั้งโดย Altermann (1989) ตามชื่ออุทยานแห่งชาติน้ำหนาว อำเภอภูหลวง จังหวัดเพชรบูรณ์ หมวดหินน้ำหนาวแยกจากหมวดหินน้ำคูกที่อยู่ล่างโดยรอยเลื่อน และมีหมวดหน่วยหินลาด (Huai Hin Lat Formation) วางตัวอยู่ด้านบน โดยมี Angular unconformity คั่น

ชั้นหินแบบฉบับ อยู่ที่เส้นทางหลวงสายหล่มสัก-ชุมแพ หลักกิโลเมตรที่ 34.095 - 42.180

การแพร่กระจายและความหนา หมวดหินน้ำหนาวแพร่กระจายจากบริเวณชั้นหินแบบฉบับขึ้นไปทางเหนือและใต้ ด้านเหนือจรดแม่น้ำโขงทางตะวันตกของอำเภอเชียงคาน จังหวัดเลย สามารถเทียบเคียงได้กับหมวดหินซับบอน หมวดหินน้ำหนาวมีความหนาทั้งสิ้น 1,000 เมตร

ลักษณะหินและลำดับชั้น Altermann (1989) ได้แบ่งแยกหมวดหินน้ำหนาวออกเป็น 2 ส่วน ส่วนล่างประกอบด้วยหินทรายแกรนิตและหินดินดานสีเทา ส่วนกลางประกอบด้วยหินทราย แกรนิต แวกที่สลับกับหินดินดานและหินปูน ส่วนบนประกอบด้วยหินดินดานและหินทราย จากลักษณะหินและวิทยาการตะกอนของหมวดหินน้ำหนาวแสดงว่าสภาวะแวดล้อมการสะสมตัวของตะกอนเริ่มจากทะเลน้ำลึก และตื้นเขินเป็นทะเลน้ำตื้น จนถึงสภาพที่เป็นทะเลสาบบนแผ่นดิน

อายุและซากดึกบรรพชีวิน หมวดหินน้ำหนาวพบซากบรรพชีวินจำนวนมากในหินปูนของส่วนกลาง หน่วยหินนี้มีอายุจาก Upper Wordian ถึง Lower Capitanian (Altermann, 1983; Altermann, 1989) หินปูนอายุ Upper Wordian ประกอบด้วยซากบรรพชีวิน *Pseudodoliolina pseudolepida* Deprat, *Chusenella* cf. *compaeta* (White), *Reichelina* sp., *Verbeekina* cf. *verbeeki*, *Sumatrina* sp., *Schwagerina* sp., *Turbirritina* sp., *Tetrataxis* sp., and *Ungdarella* sp. ส่วนหินปูนอายุ Lower Capitanian ที่อ่อนกว่า ประกอบด้วย *Verbeekina verbeeki* (Geinitz) *Codonofusiella* sp., *Rouserella* sp., *Khalerina* sp., *Pseudoliolina* sp. cf. *pseudolepida* Deprat, *Chusenella* sp., *Sumatrina* sp., *Ozawainella* sp., *Parafusulina* sp., *Cribrogenerina* sp., *Pachyphloia* sp., *Tetrataxis* sp., *Climacammina* sp., *Bigenerina* sp., *Tubiphytes* sp. และ *Ungdarella* sp.

4.2 ผลการศึกษารณีเคมี

การวิเคราะห์ทางธรณีเคมี ได้จากการนำหินเซิร์ตจากพื้นที่บริเวณวัดสุคโตไปทำการวิเคราะห์ธาตุหลัก (Major Element) ธาตุร่องรอย (Trace Element) และธาตุหายาก (Rare Earth Elements, REE)

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุหลักและธาตุร่องรอย

ผลการวิเคราะห์ธาตุหลักและธาตุร่องรอยจากตัวอย่างหินเซิร์ตในพื้นที่บริเวณวัดสุคโตแสดงดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่ามีค่าปริมาณ SiO_2 ระหว่าง 68.11-94.86% (ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 89.05%) ปริมาณ Al_2O_3 มีค่าอยู่ระหว่าง 1.50-3.09% (ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.01%) ปริมาณ TiO_2 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.14% (ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.08%) ปริมาณ Fe_2O_3 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.32-2.06% (ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.73%) โดยเมื่ออ้างอิงจาก Adachi *et al.* (1986) หากอัตราส่วนของ $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ มีค่าเท่ากับ 0.01 แสดงว่าหินหรือตะกอนมีแหล่งกำเนิดแบบสายน้ำร้อน (Hydrothermal origin) และหากมีค่าเท่ากับ 0.06 แสดงว่ามีแหล่งกำเนิดแบบชีวภาพ (Biological origin) ซึ่งตัวอย่างเซิร์ตที่ได้จากพื้นที่ศึกษามีค่าอัตราส่วน $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ อยู่ระหว่าง 0.67-0.82 (ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.73) แสดงถึงสภาพแวดล้อมในการตกตะกอนจะไม่ได้รับอิทธิพลจากสายน้ำร้อนและสอดคล้องกับการลงตำแหน่งในแผนภาพ Al-Fe-Mn (รูปที่ 4.1ก) อัตราส่วน $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.87 และอัตราส่วนของ $\text{SiO}_2/(\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.95-0.97 โดยอัตราส่วน MnO/TiO_2 บ่งชี้ว่าหินเซิร์ตมีการเกิดในบริเวณที่เป็นมหาสมุทรลึก (deep ocean) และค่า TiO_2 บ่งชี้ว่าเป็นการตกทับถมของตะกอนจากพื้นทวีป (Terrigenous) ในขณะที่อัตราส่วน $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.60-0.82 (ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.76) บ่งว่าหินเซิร์ตเกิดในบริเวณขอบทวีป (Continental margin) สอดคล้องกับแผนภาพระหว่าง $(100 \times \text{Fe}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2$ กับ $(100 \times \text{Al}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2$ ดังแสดงในรูปที่ 4.1ข แผนภาพระหว่าง $\text{Fe}_2\text{O}_3/(100-\text{SiO}_2)$ กับ $\text{Al}_2\text{O}_3/(100-\text{SiO}_2)$ ดังแสดงในรูปที่ 4.1ค และแผนภาพระหว่าง $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ กับ $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ ดังแสดงในรูปที่ 4.1ง ระบุว่าเมื่อวิเคราะห์จากปริมาณซิลิกาแล้วหินเซิร์ตในพื้นที่ศึกษามีการตกทับถมมาจากสิ่งมีชีวิต

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุร่องรอยนั้นได้ทำการวิเคราะห์จากตัวอย่างหินเซิร์ตในพื้นที่บริเวณวัดสุคโต พบว่ามีอัตราส่วนระหว่าง Sc/Th มีค่าประมาณ 2.70-4.98 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.67) บ่งได้ว่าการตกตะกอนในบริเวณขอบทวีป และอัตราส่วนของ Sr/Ba มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-1.01 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.04) บ่งว่ามีการตกตะกอนในบริเวณมหาสมุทรตั้งแต่พื้นที่ตื้นจนถึงพื้นที่ลึก (Shallow to deep ocean)

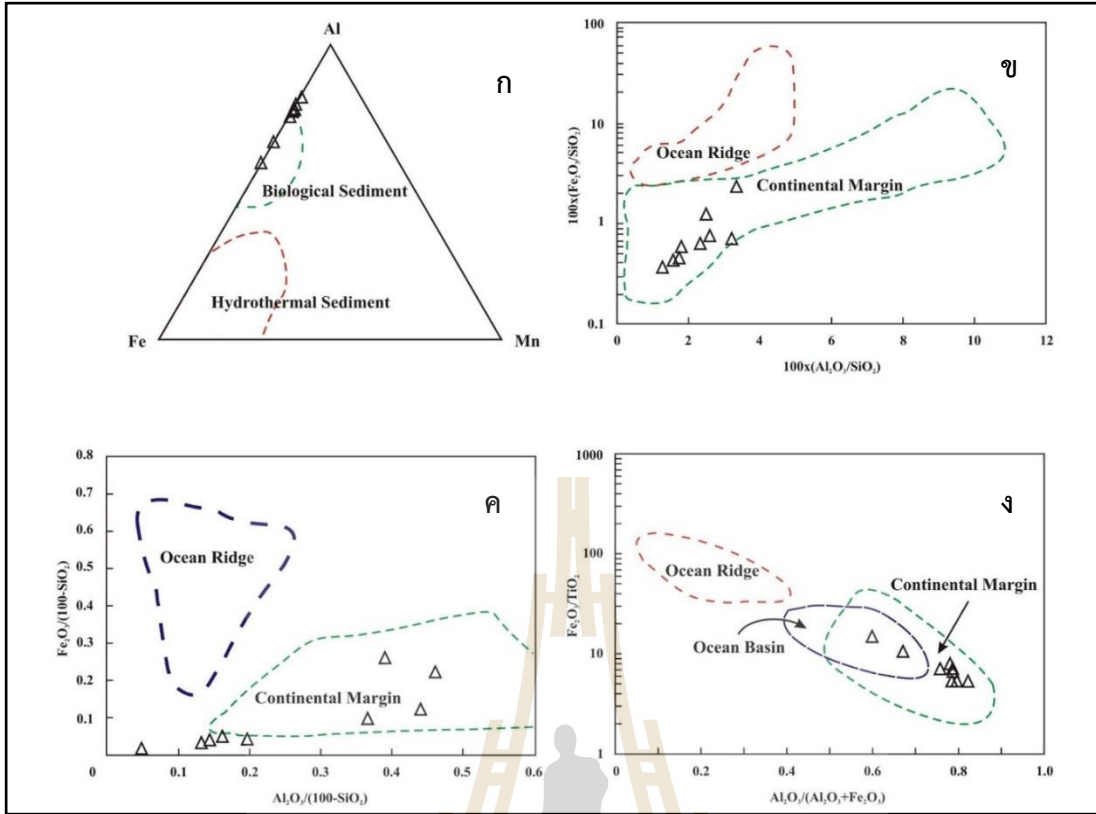
ตารางที่ 4.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์ธาตุหลักจากตัวอย่างหินเซิร์ตในพื้นที่สุคโต (weight percent)

	NP-1	NP-2	NP-3	NP-4	NP-5	NP-6	NP-7	NP-8	NP-9	MEAN	STDEV
SiO ₂	94.39	68.11	85.97	94.86	92.07	95.89	91.77	89.94	88.44	89.05	8.48
TiO ₂	0.09	0.06	0.11	0.11	0.14	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.03
Al ₂ O ₃	2.46	1.58	2.77	2.37	3.09	1.50	1.19	1.64	1.54	2.01	0.67
Fe ₂ O ₃	0.69	0.43	0.59	1.15	2.06	0.40	0.32	0.52	0.39	0.73	0.56
MnO	0.00	0.03	0.01	UD	UD	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	0.40	0.33	0.28	0.35	0.46	0.29	0.21	0.55	0.27	0.35	0.11
CaO	0.17	15.56	4.49	0.11	0.08	0.43	3.21	3.50	4.68	3.58	4.89
Na ₂ O	0.05	UD	0.03	0.04	0.06	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.01
K ₂ O	0.18	0.29	0.26	0.68	0.84	0.33	0.18	0.31	0.38	0.38	0.23
P ₂ O ₅	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
Al ₂ O ₃ /	0.78	0.79	0.82	0.67	0.60	0.79	0.79	0.76	0.80	0.76	0.07
(Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃)											
SiO ₂ /(SiO ₂ +	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.01
Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃)											
Al ₂ O ₃ /(Al ₂ O ₃ +	0.78	0.78	0.82	0.67	0.60	0.79	0.78	0.76	0.79	0.75	0.07
Fe ₂ O ₃ +MnO)											
MnO/TiO ₂	0.05	0.51	0.09	0.00	0.00	0.16	0.17	0.14	0.14	0.14	0.15
Fe ₂ O ₃ /TiO ₂	7.91	7.20	5.36	10.73	15.07	6.63	5.34	7.21	5.40	7.87	3.19
100x	0.73	0.62	0.69	1.21	2.24	0.42	0.35	0.57	0.44	0.81	0.59
(Fe ₂ O ₃ /SiO ₂)											
100x	2.61	2.32	3.22	2.49	3.36	1.56	1.30	1.82	1.74	2.27	0.72
(Al ₂ O ₃ /SiO ₂)											
Fe ₂ O ₃ /	0.12	0.01	0.04	0.22	0.26	0.10	0.04	0.05	0.03	0.10	0.09
(100-SiO ₂)											

UD: under detect limited

ตารางที่ 4.2 ผลการศึกษาวิเคราะห์ธาตุร่องรอยจากตัวอย่างหินเชิร์ตในพื้นที่สุคโต (ppm)

	NP-1	NP-2	NP-3	NP-4	NP-5	NP-6	NP-7	NP-8	NP-9	MEAN	STDEV
Ba	52.40	102.36	92.88	88.36	109.12	92.45	184.40	93.30	118.25	103.72	35.31
Sr	2.94	100.23	93.95	5.77	7.75	14.75	54.62	45.69	48.37	41.56	37.17
Sc	3.50	3.48	4.49	4.49	5.57	2.75	2.43	2.17	2.46	3.48	1.16
V	19.33	14.24	16.59	32.50	47.51	18.39	10.25	13.50	12.60	20.55	11.99
Cr	14.53	7.98	9.79	34.42	29.00	17.23	12.00	13.93	20.34	17.69	8.86
Co	42.61	45.04	54.51	103.29	62.70	240.20	192.30	156.00	175.70	119.15	73.76
Ni	9.14	7.14	4.29	8.88	10.80	175.40	99.90	92.84	96.96	56.15	61.99
Cu	18.79	11.22	15.45	12.74	17.66	15.54	11.28	15.58	12.33	14.51	2.75
Zn	16.98	11.54	17.08	11.43	17.93	19.83	16.61	24.23	17.48	17.01	3.91
Rb	8.33	12.45	9.56	25.20	31.48	11.49	5.22	9.01	9.97	13.63	8.72
Y	11.04	19.23	8.37	4.61	6.26	20.10	4.99	3.22	5.40	9.25	6.34
Zr	19.54	13.33	48.63	25.67	33.43	18.70	13.80	19.70	19.20	23.55	11.20
Nb	0.97	1.02	2.26	1.44	2.07	0.34	0.31	0.78	0.89	1.12	0.69
Mo	1.14	0.45	0.14	0.23	0.32	0.57	0.56	0.37	0.44	0.47	0.29
Sn	0.42	0.21	0.61	0.46	0.71	0.89	0.59	0.63	0.66	0.58	0.19
Cs	0.23	0.33	0.31	0.87	1.10	0.21	0.16	0.28	0.37	0.43	0.33
Hf	0.52	0.36	1.19	0.00	0.83	0.78	0.48	0.52	0.51	0.58	0.33
Ta	0.26	0.14	0.23	0.29	0.41	0.34	0.32	0.72	0.76	0.39	0.21
Pb	3.99	3.39	3.52	3.13	4.47	3.60	3.68	4.90	4.23	3.88	0.57
Th	1.29	0.84	1.13	1.33	1.84	0.57	0.49	0.44	0.61	0.95	0.48
U	0.40	0.44	0.37	0.51	0.56	0.29	0.25	0.26	0.28	0.37	0.11
U/Th	0.31	0.52	0.33	0.38	0.30	0.51	0.51	0.59	0.46	0.39	0.24
Sc/Th	2.70	4.14	3.99	3.37	3.03	4.80	4.98	4.92	4.01	3.67	2.43
Sr/Ba	0.06	0.98	1.01	0.07	0.07	0.16	0.30	0.49	0.41	0.40	1.05



รูปที่ 4.1 แผนภาพการวิเคราะห์ธาตุหลักจากตัวอย่างหินเซิร์ตในพื้นที่สุคโต
(ก คัดลอกจาก Adachi *et al.*, 1986; ข ค และ ง คัดลอกจาก Murray, 1994)

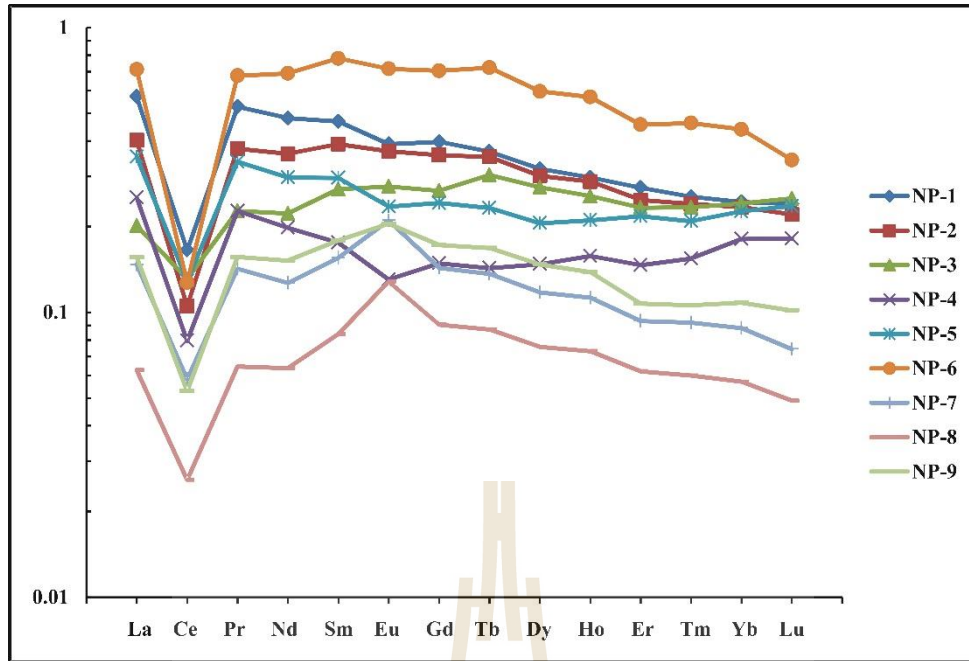
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุหายาก

การวิเคราะห์ธาตุหายากเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาวะแวดล้อมและการก่อตัวใหม่ (Diagenesis) เพราะธาตุหายากในธรรมชาติจะไม่ค่อยได้รับผลกระทบหรือมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจากการตกทับถมและก่อตัวใหม่เหมือนกับธาตุหลักและธาตุร่องรอย การวิเคราะห์ปริมาณธาตุหายากจากตัวอย่างหินเชิร์ตในพื้นที่บริเวณวัดสุคติ มีค่าประมาณ 10.9×10^{-6} ซึ่งบ่งว่าเกิดการตกทับถมในบริเวณเทือกเขากลางสมุทร (Mid ocean ridge) โดยค่านี้จะมีค่ามากขึ้นหากเข้าใกล้บริเวณขอบทวีป หินเชิร์ตมีปริมาณธาตุหายากรวม (ΣREE) ประมาณ 39.99 ppm ซึ่งค่อนข้างต่ำกว่ามาตรฐาน NASC (North American Shale Composite) ดังแสดงในตารางที่ 4.3

การวิเคราะห์สภาพแวดล้อมการตกตะกอนจะพิจารณาจาก Ce-anomalies ซึ่งจะมีค่าอยู่ในระดับต่ำ ($Ce/Ce^* \sim 0.29$) ถ้าเกิดขึ้นในบริเวณรอยแยกเทือกเขากลางสมุทร (Spreading ridge) และจะมีค่าเพิ่มขึ้นบริเวณพื้นมหาสมุทร ($Ce/Ce^* \sim 0.55$) และจะมีค่ามากในบริเวณที่เป็นขอบทวีป ($Ce/Ce^* \sim 0.90-1.30$) โดยหินเชิร์ตจากพื้นที่ศึกษามีค่า Ce/Ce^* แปรผันค่อนข้างมากอยู่ระหว่าง 0.19-0.61 เมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่าง La_n/Ce_n (Murray *et al.*, 1991) ตัวอย่างจากพื้นที่ศึกษามีค่าอยู่ระหว่าง 1.0-3.5 โดยเมื่อ $La_n/Ce_n \sim 1.0$ จะแสดงถึงเกิดการตกทับถมในบริเวณขอบทวีป $La_n/Ce_n \sim 1.0-3.5$ แสดงว่าเกิดขึ้นบริเวณพื้นมหาสมุทร และหาก $La_n/Ce_n \sim 3.5$ แสดงว่าเกิดขึ้นบริเวณรอยแยกเทือกเขากลางสมุทร และความสัมพันธ์ระหว่าง LREE (Light Rare Earth Element) และ HREE (High Rare Earth Element) พบว่าอัตราส่วนของ La_n/Yb_n มีค่าประมาณ 0.84-2.34 (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.56) แสดงถึงการตกทับถมของตะกอนจากพื้นทวีป (Udchachon *et al.*, 2011) จากรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของ Ce-anomalies จะระบุว่าตัวอย่างจากพื้นที่ศึกษามีการตกตะกอนในสภาพแวดล้อมแบบพื้นทวีป

ตารางที่ 4.3 ผลการศึกษาวิเคราะห์ธาตุหายากจากตัวอย่างหินเชิร์ตในพื้นที่สุคโต (ppm)

	NASC	NP-1	NP-2	NP-3	NP-4	NP-5	NP-6	NP-7	NP-8	NP-9	MEAN	STDEV
La	32.00	18.30	25.00	6.44	8.10	11.25	22.81	4.71	2.01	5.00	11.51	8.46
Ce	73.00	12.05	10.36	9.56	5.79	9.42	9.29	4.25	1.88	3.86	7.39	3.50
Pr	7.90	4.16	5.62	1.79	1.79	2.67	5.35	1.12	0.51	1.24	2.69	1.90
Nd	33.00	15.86	22.88	7.34	6.53	9.81	22.77	4.19	2.10	5.01	10.72	7.90
Sm	5.70	2.67	4.28	1.54	1.00	1.69	4.44	0.89	0.48	1.02	2.00	1.48
Eu	1.24	0.48	0.88	0.34	0.16	0.29	0.89	0.26	0.16	0.25	0.41	0.28
Gd	5.20	2.06	3.66	1.39	0.77	1.26	3.66	0.75	0.47	0.90	1.66	1.23
Tb	0.85	0.31	0.57	0.26	0.12	0.20	0.61	0.12	0.07	0.14	0.27	0.20
Dy	5.20	1.66	2.92	1.43	0.77	1.07	3.10	0.61	0.39	0.77	1.41	0.99
Ho	1.04	0.31	0.55	0.27	0.16	0.22	0.59	0.12	0.08	0.14	0.27	0.19
Er	3.40	0.93	1.50	0.79	0.50	0.74	1.55	0.32	0.21	0.36	0.77	0.49
Tm	0.50	0.13	0.20	0.12	0.08	0.10	0.23	0.05	0.03	0.05	0.11	0.07
Yb	3.10	0.76	1.17	0.75	0.56	0.70	1.36	0.27	0.18	0.34	0.68	0.40
Lu	0.48	0.12	0.17	0.12	0.09	0.11	0.16	0.04	0.02	0.05	0.10	0.05
REE	172.61	59.79	79.77	32.13	26.42	39.54	76.83	17.67	8.59	19.13	39.99	27.13
Ce/Ce*		0.30	0.19	0.61	0.33	0.37	0.18	0.40	0.41	0.34	0.35	0.13
Eu/Eu*		0.91	0.96	1.03	0.81	0.88	0.97	1.41	1.47	1.17	1.07	0.24
La _r /Yb _n		2.34	2.06	0.84	1.40	1.56	1.62	1.67	1.10	1.44	1.56	0.46
La _r /Ce _n		3.46	5.53	1.54	3.19	2.72	5.60	2.53	2.43	2.95	3.33	1.38



รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของ Ce-anomalies (NASC-normalized) จากตัวอย่างหิน เซิร์ตในพื้นที่สุคโต

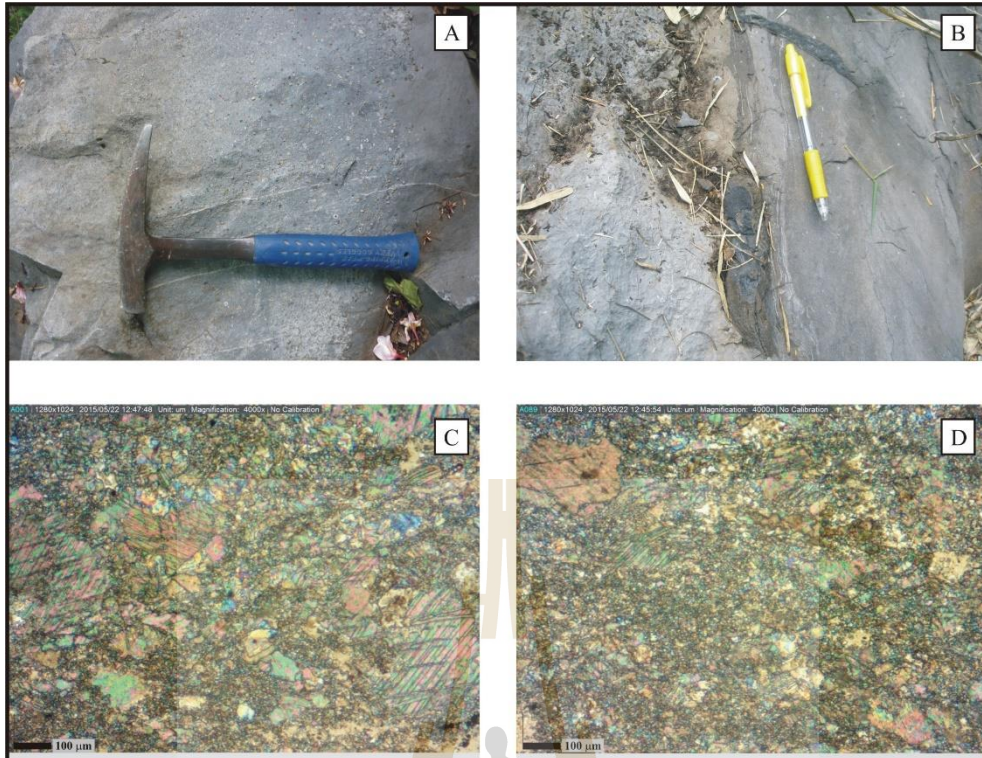
4.3 ผลการวิเคราะห์ทางศิลาวิทยาและศิลาวรรณนา

การวิเคราะห์ทางศิลาวรรณนาดำเนินการโดยทำการศึกษาแผ่นหินบางจากตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาเพื่อศึกษาส่วนประกอบและลักษณะการจับตัวของเม็ดแร่ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และนำไปเปรียบเทียบกับการศึกษาตัวอย่างหินในพื้นที่ภาคสนาม การจำแนกชนิดหินจะอ้างอิงจาก Carozzi (1989), Dunham (1962), Folk (1959, 1962) และ Flugel (2004) โดยมีผลการศึกษาในแต่ละพื้นที่ดังต่อไปนี้

4.3.1 พื้นที่ศึกษาบริเวณฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก

ในพื้นที่ศึกษาพบลักษณะของหินปูนสีเทาถึงเทาดำ แสดงการวางชั้นแบบเรียงขนาดและชั้นเฉียงระดับ หินดินดานสีน้ำตาลถึงน้ำตาลดำและก้อนหินปูนขนาดใหญ่ (Olistostrome) สามารถพบได้โดยทั่วไป ในก้อนของหินปูนพบเศษ มีซากบรรพชีวินกระจัดกระจายอยู่ สามารถแบ่งชั้นหินจากลักษณะการตกตะกอนได้เป็น 3 หน่วย คือ หน่วยหิน 1A 2A และ 3A

หน่วยหิน 1A พบบริเวณหน้าบริษัท ทีพีไอ โพลีน จำกัด (มหาชน) อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี (พิกัดที่ UTM 47P 729477/1619492N) เป็นหินปูนเนื้อทราย (Calcarenite) ชั้นบางสีเทาดำ แทรกสลับกับหินดินดานเนื้อซิลิกาสีน้ำตาลดำ ในหินดินดานพบการเรียงชั้นขนานและมีหินเซิร์ตสีดำแทรกชั้นอยู่ (รูปที่ 4.3 A และ B)



รูปที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 1A ในพื้นที่ศึกษาฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)

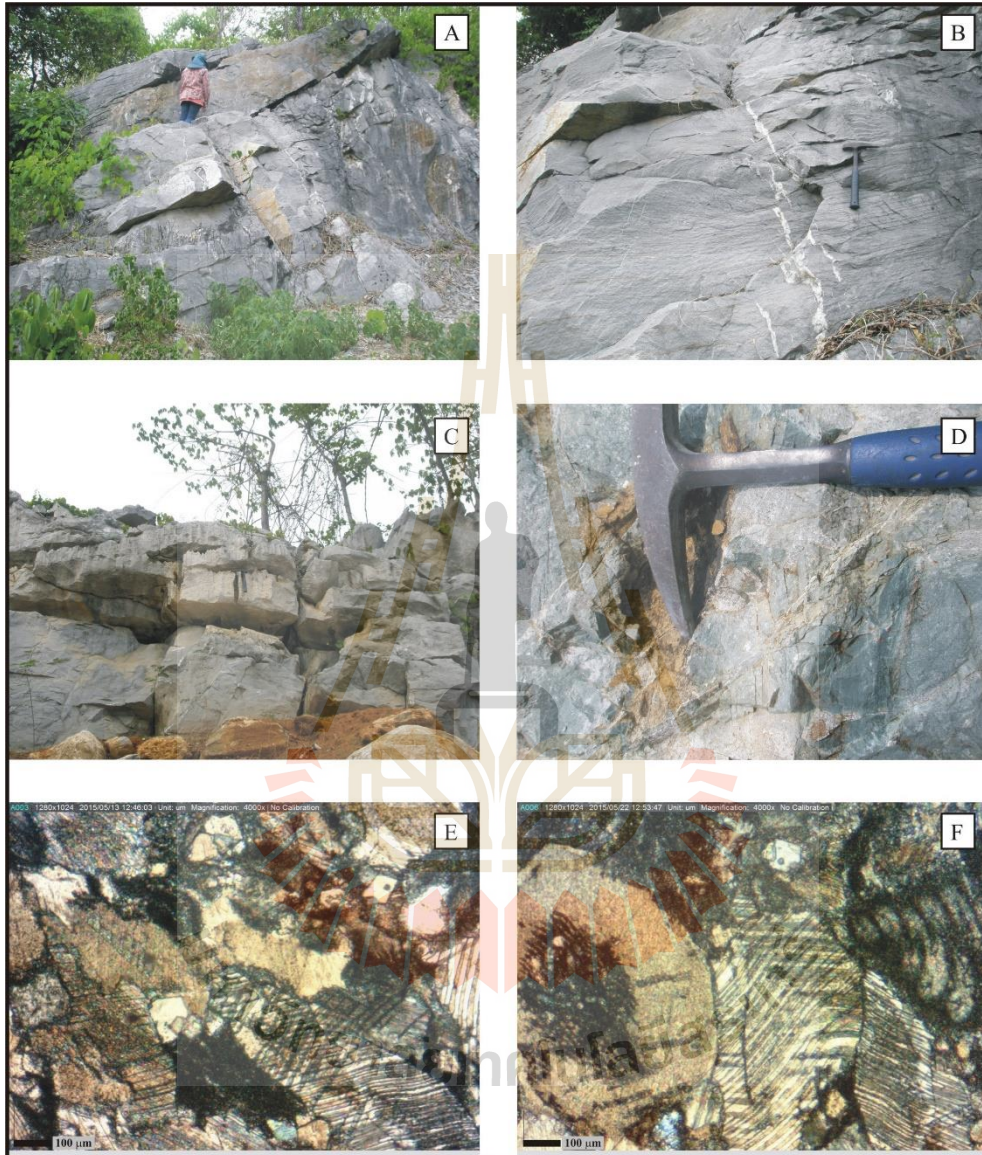
การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอสปาร์ไรต์ (Biosparite) ที่มีการคัดขนาดไม่ดี เนื้อพื้นเป็นไบโอคลาสติคขนาดเล็ก ประกอบด้วย ฟิวซูลินิด (Fusulinid) ไครนอยด์ (Crinoid) และแบรคิโอพอด (Brachiopod) (รูปที่ 4.3 C และ D)

หน่วยหิน 2A อยู่ในวัดพุทธนิมิต อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี (พิกัดที่ UTM 47P 731538E/1619419N) เป็นหินปูนเนื้อทรายถึงหินปูนเนื้อหยาบ (Calcirudite) แสดงลักษณะการเรียงขนาด บริเวณผิวสามารถมองเห็นเศษของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กได้ (รูปที่ 4.4 A B C และ D)

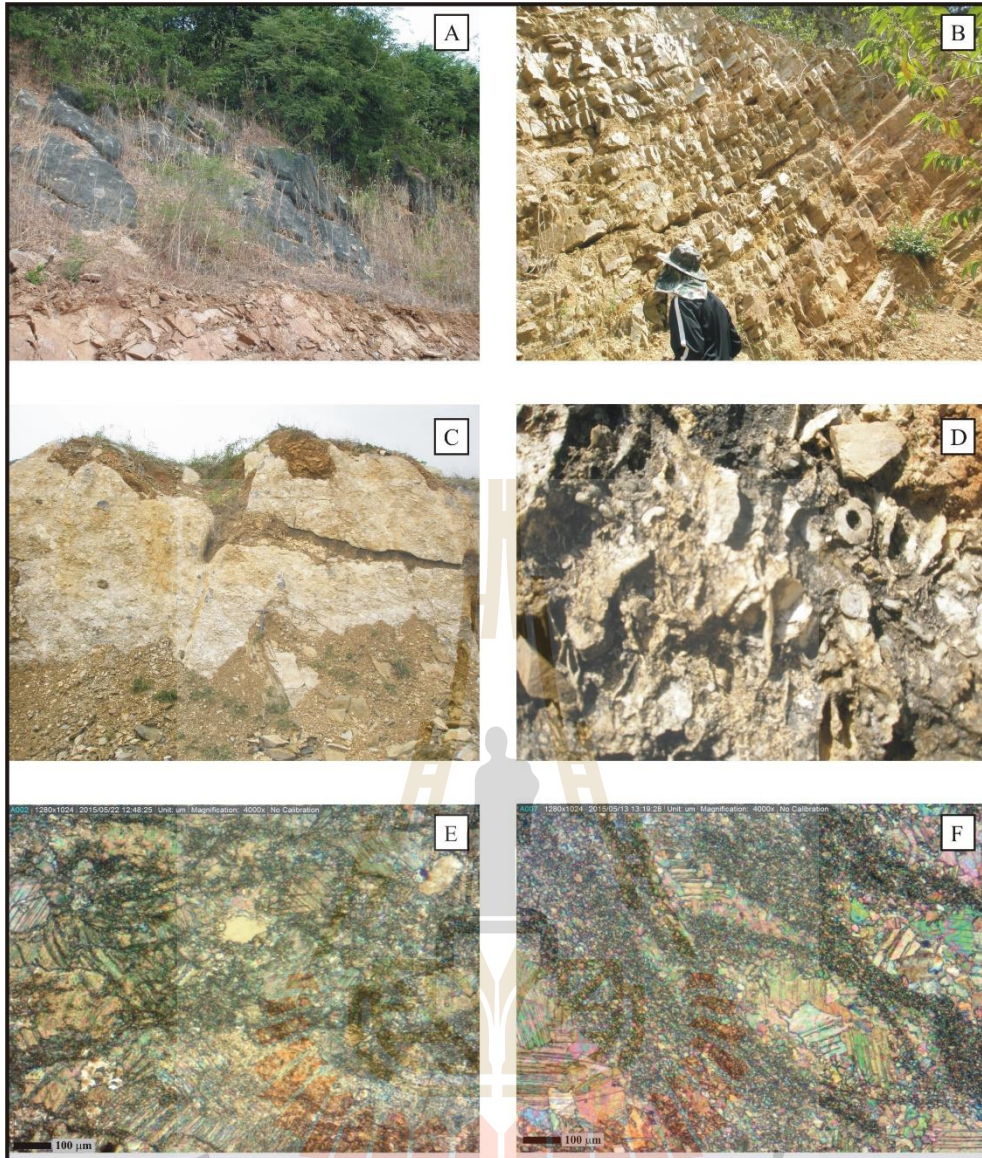
การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอสปาร์ไรต์ที่มีการคละขนาด มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อหินเป็นผลึกขนาดเม็ดทราย เนื้อหินเป็นไบโอคลาสติคขนาดเล็กของฟิวซูลินิด ไครนอยด์ ปะการัง (Coral) แบรคิโอพอด (รูปที่ 4.4 E และ F)

หน่วยหิน 3A อยู่ฝั่งตรงข้ามของศูนย์ฝึกกีฬาแห่งชาติมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี (พิกัดที่ UTM 47P 733599E/1618930N) เป็นลักษณะของหินปูนเนื้อทรายแป้ง (Calcisitite) ถึงหินปูนเนื้อทราย พบก้อนหินปูนแทรกสลับกับชั้นของหินดินดาน (Olistostrome) กระจายอยู่ทั่วบริเวณ ในเนื้อของหินปูนสามารถมองเห็นเศษชิ้นของไครนอยด์ ปะการัง และเปลือกหอยต่าง ๆ (Shell fragments) (รูปที่ 4.5 A B C และ D)

การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอไมคริต (Biomicrite) และหินไบโอสปาไรต์ มีเนื้อพื้นเป็นแร่คาร์บอเนตและมีเศษโครงร่างของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด เช่น ไครนอยด์ ปะการัง แบรคิโอพอด และเปลือกหอยต่าง ๆ ที่ไม่สามารถระบุได้ (รูปที่ 4.5 E และ F)



รูปที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2A ในพื้นที่ศึกษาฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก (A ถึง D) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (E และ F)



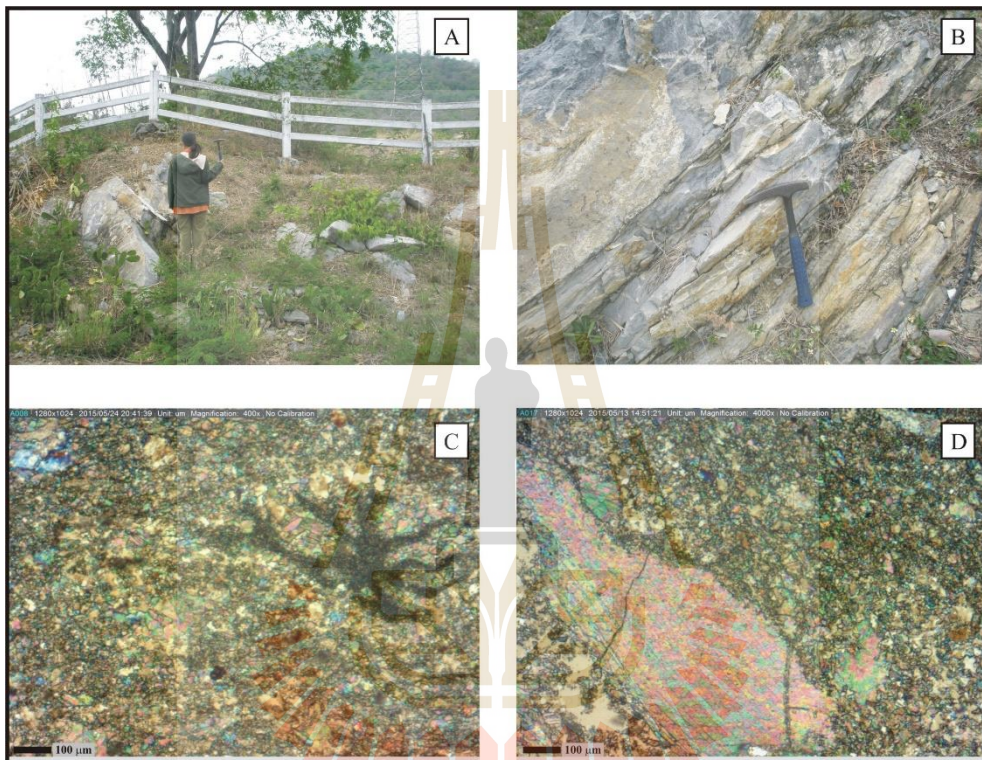
รูปที่ 4.5 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 3A ในพื้นที่ศึกษาฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก (A ถึง D) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (E และ F)

4.3.2 พื้นที่ศึกษาบริเวณวัดสุคโต

ในพื้นที่ศึกษาพบลักษณะของหินปูนสีเทาถึงเทาดำ แสดงชั้นบาง ๆ และชั้นขนานแทรกสลับกับหินดินดานสีเทาดำและแถบชั้นของหินเชิร์ตสีดำและแดง ในหินเชิร์ตสีแดงจะสามารถพบซากของแพลงก์ตอนเรดิโอลาเรีย (radiolarian) หินปูนกึ่งโดโลไมต์พบเป็นชั้นค่อนข้างหนา และทางตอนเหนือของพื้นที่จะแสดงชั้นของหินปูนชั้นบางแทรกสลับกับหินทราย ในพื้นที่นี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 หน่วยหิน คือ หน่วยหิน 1B 2B 3B 4B และ 5B

หน่วยหิน 1B อยู่บริเวณเนินเขาเล็ก ๆ หน้าทางเข้าของมาสิแคมป์รีสอร์ท อำเภอแมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี (พิกัดที่ UTM 47P 734614E/1618696N) เป็นหินปูนเนื้อทรายถึงหินปูนเนื้อหยาบ ขนาดละเอียด มีสีเทาถึงเทาดำ แทรกชั้นด้วยกระเปาะหินเชิร์ตสีดำ (รูปที่ 4.6 A และ B)

การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอมิคริตและไบโอสปาร์ต มีเนื้อพื้นเป็น วัตถุประสานแคลไซต์ใส (Sparry calcite) มีเศษโครงร่างของสิ่งมีชีวิต เช่น ฟิวซิลินิด และเปลือกหอย ต่าง ๆ ที่มีขนาดเล็ก (รูปที่ 4.6 C และ D)



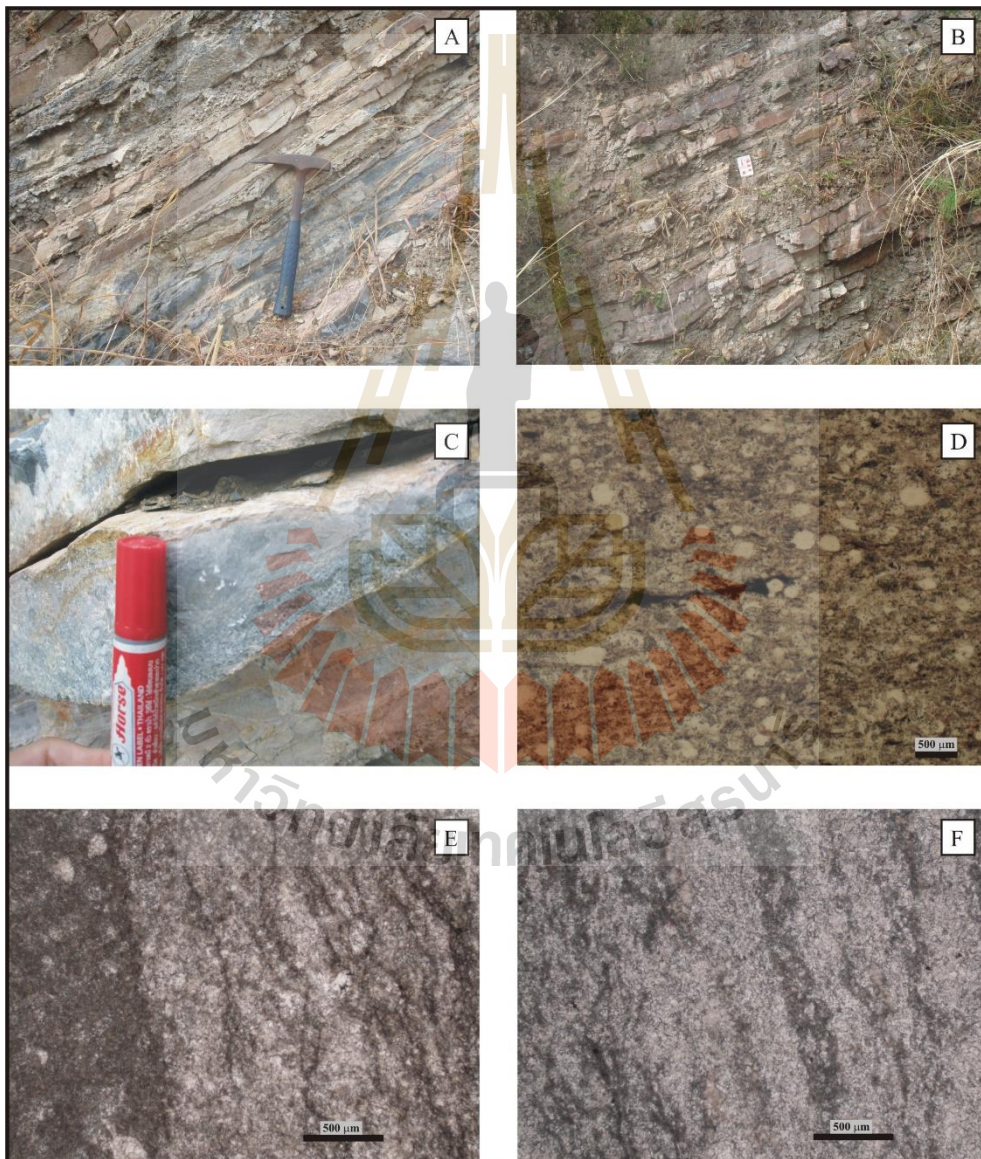
รูปที่ 4.6 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 1B ในพื้นที่ศึกษาวัดสุคโต (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)

หน่วยหิน 2B พบบริเวณเนินเขาข้างวัดสุคโต (พิกัดที่ UTM 47P 734945E/1618823N) เป็นหินปูนชั้นบางแสดงการเรียงชั้นของหินปูนเนื้อทรายสีเทา แทรกสลับกับหินดินดานและหินเชิร์ตสีดำ และแดง ในชั้นบาง ๆ ของหินเชิร์ตสีแดงจะพบชิ้นส่วนของเรดิโอลาเรีย (รูปที่ 4.7 A B และ C)

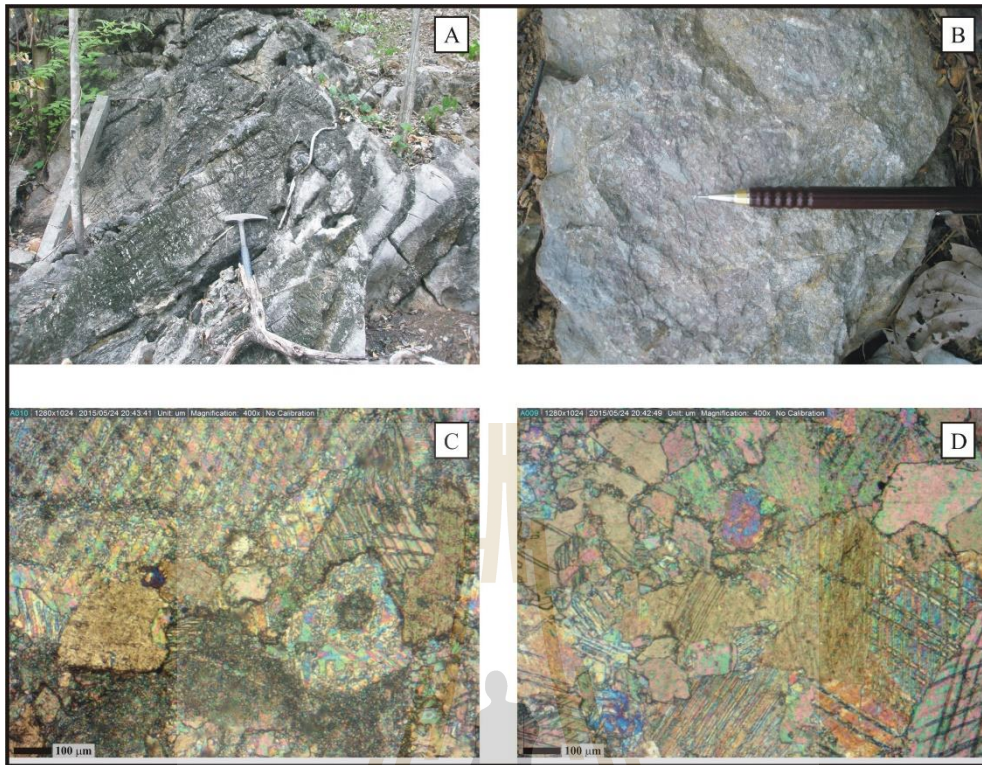
การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอมิคริต ในโครงร่างของสิ่งมีชีวิตจะมีการแทนที่ด้วยแร่แคลไซด์ ในหินเชิร์ตพบเป็นร่องรอยของเรดิโอลาเรีย และขากแก้ว (Sponge spicule) (รูปที่ 4.7 D E และ F)

หน่วยหิน 3B อยู่ติดกับหน่วยหิน 2B พบเป็นชั้นค่อนข้างหนาของหินปูนเนื้อโดโลไมต์ ในเนื้อหินบางบริเวณยังสามารถพบเศษชิ้นของสิ่งมีชีวิตบนเนื้อหินได้บ้าง โดยหินปูนเนื้อโดโลไมต์จะเห็นลักษณะได้ชัดเจนจากพื้นผิวภายนอกที่มีลักษณะผิวหนังข้างขรุขระ (รูปที่ 4.8 A และ B)

การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าส่วนใหญ่เป็นหินไบโอสปาร์ต ประกอบด้วยเศษชิ้นของไครนอยด์ ปะการัง ฟิวซิลินิด และเศษชิ้นที่ระบุไม่ได้ (Unidentified fragments) ในช่องว่างของเศษชิ้นจะมีแคลไซต์ใสเป็นวัตถุประสาน บางส่วนได้แสดงลักษณะของหินปูนเนื้อโดโลไมต์ โดยมีอัตราส่วนของแคลไซต์ต่อโดโลไมต์ร้อยละประมาณ 60 ต่อ 40 (รูปที่ 4.8 C และ D)



รูปที่ 4.7 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2B ในพื้นที่ศึกษาวัดสุคโต (A B และ C) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (D E และ F)



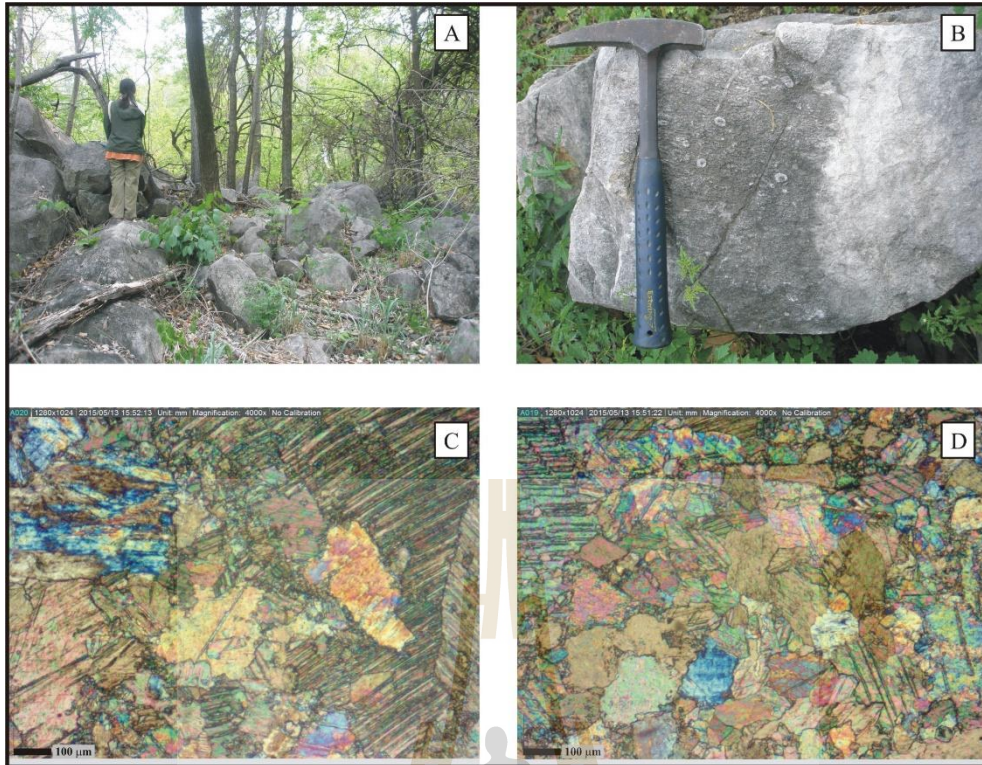
รูปที่ 4.8 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 3B ในพื้นที่ศึกษาวัดสุคอโต (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)

หน่วยหิน 4B อยู่ภายในวัดสุคอโต (พิกัดที่ UTM 47P 735037E/1619059N) เป็นหินปูนเนื้อทรายถึงหินปูนเนื้อหยาบ บริเวณผิวนอกของหินสามารถมองเห็นเศษชิ้นของฟิวซิลินิด ปะการัง แบรคิโอพอด และเปลือกหอยต่าง ๆ ได้ชัดเจน (รูปที่ 4.9 A และ B)

การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไปโอสปาร์ต ที่มีตะกอนเศษชิ้นมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ โครงสร้างจะถูกแทนที่ด้วยแคลไซต์ใส (รูปที่ 4.9 C และ D)

หน่วยหิน 5B พบบริเวณเขามะกอก (พิกัดที่ UTM 47P 734830E/1620960N) เป็นหินโผล่อยู่สองข้างถนนระหว่างยอดเขามะกอก เป็นลำดับชั้นของหินปูนเนื้อทรายแทรกสลับด้วยหินดินดาน หินทรายแป้ง และหินทราย (รูปที่ 4.10 A และ B)

การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินอารีไนต์ (Arenite) ประกอบด้วย เม็ดแร่เฟลด์สปาร์ ควอร์ต ไมกา และแคลไซต์ (รูปที่ 4.10 C และ D)



รูปที่ 4.9 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 4B ในพื้นที่ศึกษาวัดสุคติ (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)



รูปที่ 4.10 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 5B ในพื้นที่ศึกษาวัดสุคติ (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)

4.3.3 พื้นที่ศึกษาบริเวณภายในฟาร์มโคนม ไทย-เดนมาร์ก

พื้นที่ศึกษาอยู่ในบริเวณองค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (อ.ส.ค.) อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี และบริเวณใกล้เคียง แสดงลำดับชั้นของหินปูนชั้นบาง หินเชิร์ตและหินดินดาน มักพบก้อนหินปูนร่วมกับหินดินดานชั้นบาง ๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 หน่วยหิน คือ หน่วยหิน 1C 2C และ 3C

หน่วยหิน 1C บริเวณทิศตะวันตกของเขาคาแป้น (พิกัดที่ UTM 47P 734945E/1615339N) เป็นหินปูนเนื้อทรายชั้นค่อนข้างหนาแทรกสลับกับหินดินดานชั้นบาง ๆ บริเวณผิวนอกของเนื้อหินสามารถพบโครงร่างของสิ่งมีชีวิตพวกฟิวซิลินิด ปะการัง และเศษชิ้นอื่น ๆ ได้ (รูปที่ 4.11 A และ B)

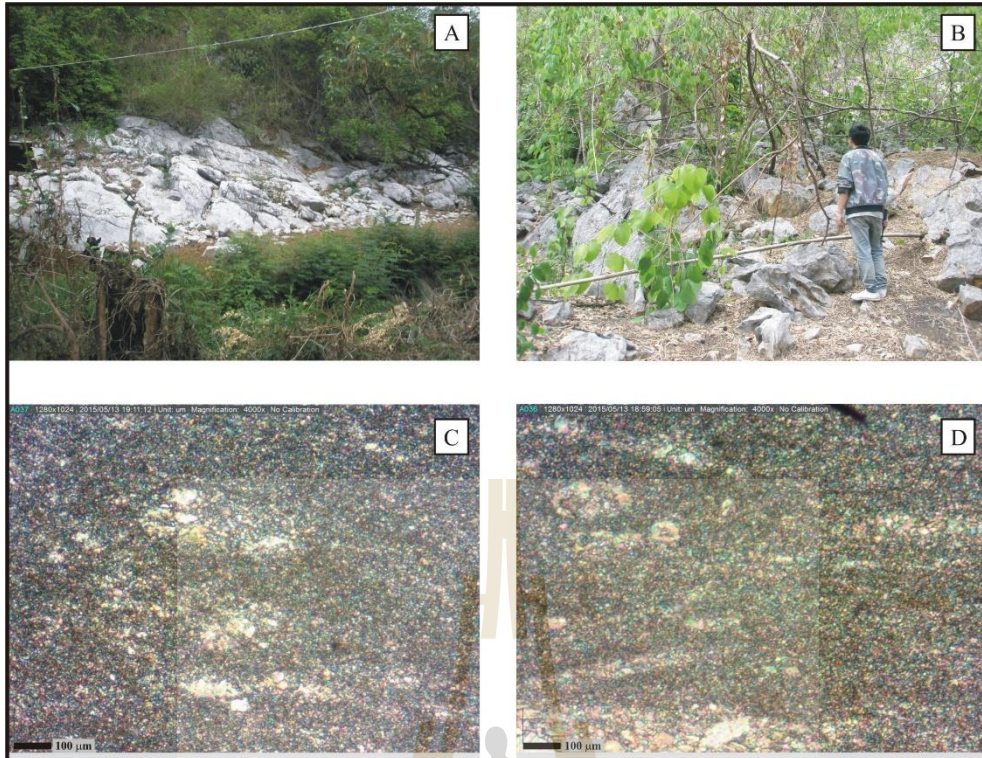
การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอสพาไรต์และหินไบโอไมโครต์ตะกอนแน่น (Packed biomicrite) มีแคลไซต์ใสเป็นวัตถุประสานระหว่างเม็ดตะกอนและแทนที่อยู่ภายในโครงร่างของสิ่งมีชีวิต (รูปที่ 4.11 C และ D)

หน่วยหิน 2C อยู่บริเวณเทือกเขาคาแป้นภายในพื้นที่ขององค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (พิกัดที่ UTM 47P 736404E/1618096N) เป็นชั้นของหินปูนเนื้อแป้ง (Calcilutite) ถึงหินปูนเนื้อหยาบขนาดละเอียด แทรกชั้นด้วยหินปูนเนื้อโดโลไมต์ (รูปที่ 4.12 A และ B)

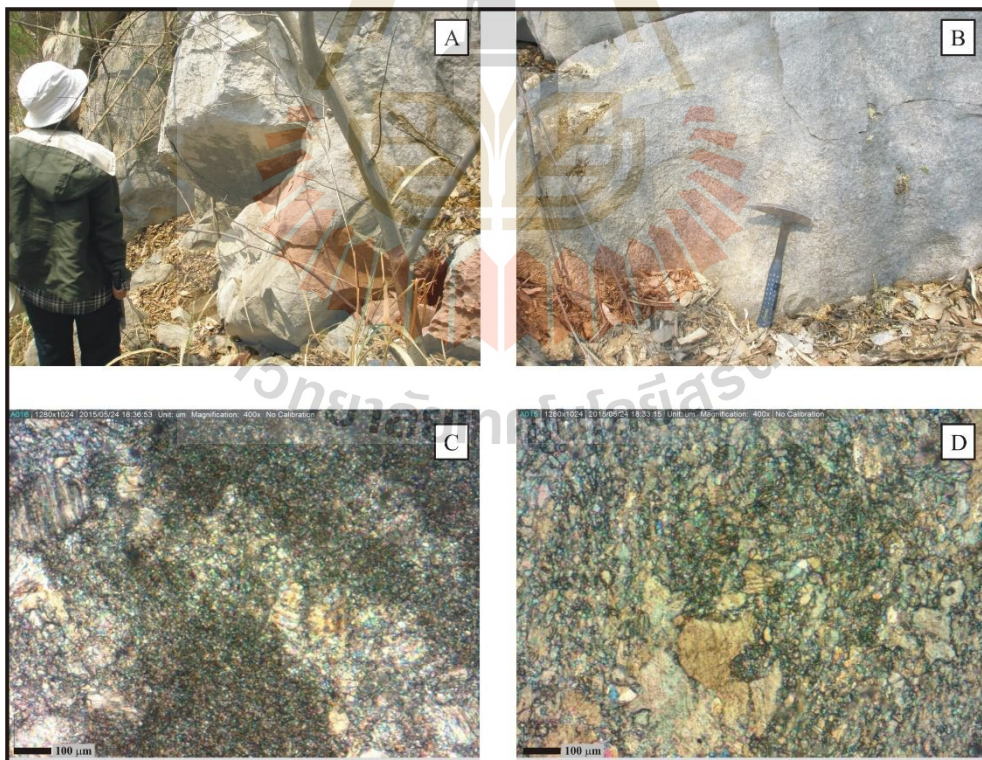
การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอสพาไรต์ที่มีแคลไซต์ใสเป็นวัตถุประสานประกอบด้วยเศษชิ้นของฟิวซิลินิด แบรคิโอพอด และเปลือกหอยต่างๆ สำหรับหินปูนเนื้อโดโลไมต์ จะมีอัตราส่วนแคลไซต์ต่อโดโลไมต์ประมาณร้อยละ 65 ต่อ 35 (รูปที่ 4.12 C และ D)

หน่วยหิน 3C อยู่บริเวณบ่อฝงกลบขยะ ภายในพื้นที่ขององค์การส่งเสริมกิจการโคนมแห่งประเทศไทย (พิกัดที่ UTM 47P 736574E/1617844N) ประกอบด้วยหินปูนเนื้อทรายถึงหินปูนเนื้อหยาบสีเหลืองเทา สามารถมองเห็นโครงร่างและเศษชิ้นของสิ่งมีชีวิตบนผิวนอกของหินได้ รวมถึงพบการแทรกสลับของหินดินดานและหินเชิร์ตในบางบริเวณ ก้อนหินปูนขนาดใหญ่ (Olistostrome) และหินดินดานสามารถพบได้โดยทั่วไป (รูปที่ 4.13 A และ B)

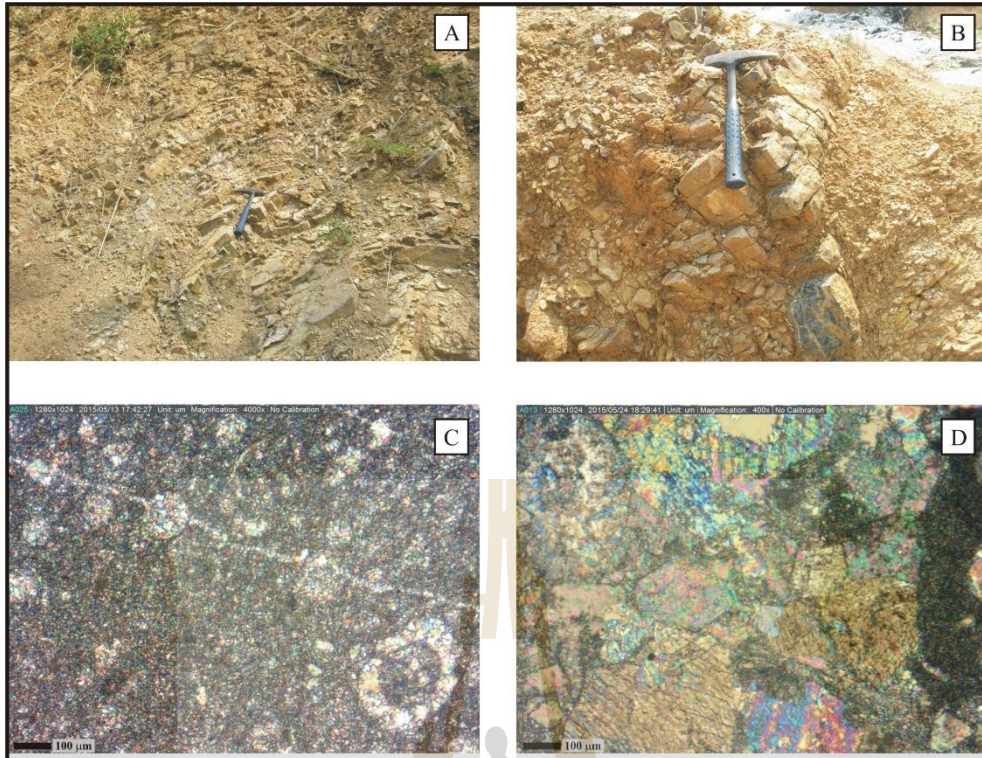
การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอไมโครต์และหินไบโอสพาไรต์ ภายในโพรงของโครงร่างสิ่งมีชีวิตจะมีการแทนที่โดยแคลไซต์ใส พบเศษชิ้นของฟิวซิลินิด ไครนอยด์ ปะการังโดยมีแคลไซต์เป็นวัตถุเชื่อมประสาน (รูปที่ 4.13 C และ D)



รูปที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 1C ในพื้นที่ศึกษาภายในฟาร์มโคนม ไทย-เดนมาร์ก (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)



รูปที่ 4.12 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2C ในพื้นที่ศึกษาภายในฟาร์มโคนม ไทย-เดนมาร์ก (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)



รูปที่ 4.13 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 3C ในพื้นที่ศึกษาภายในฟาร์มโคนม ไทย-เดนมาร์ก (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)

4.3.4 พื้นที่ศึกษาบริเวณวัดซัดตะเคียน

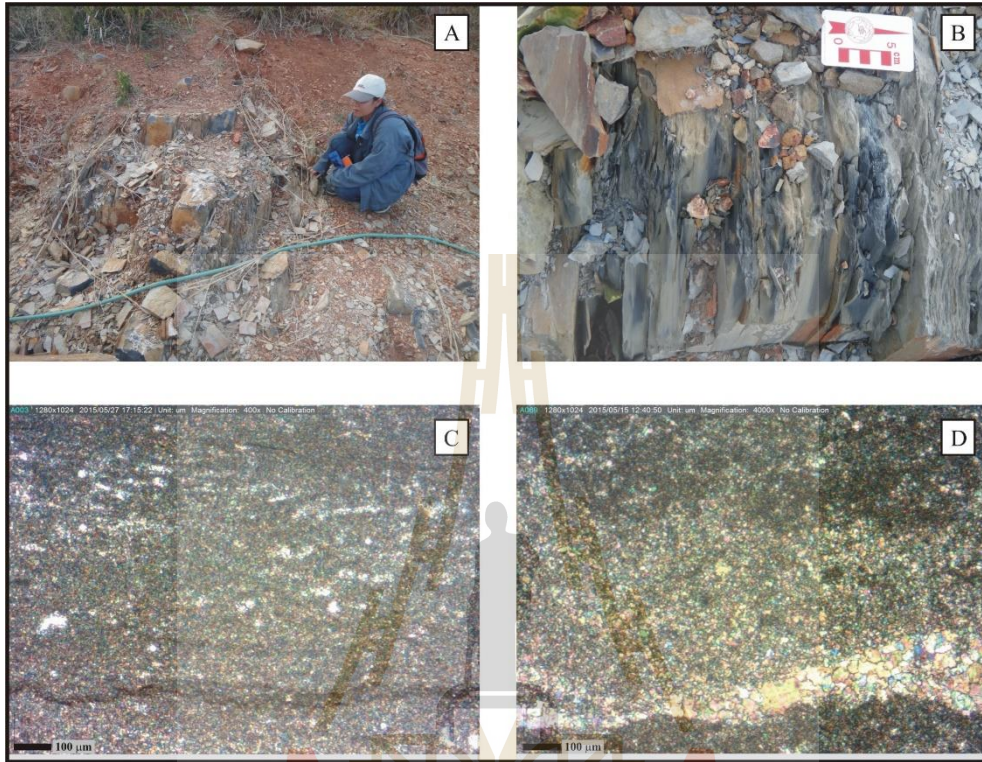
พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณวัดซัดตะเคียน อำเภอมากเหล็ก จังหวัดสระบุรี เป็นหินปูนสีเทา แสดงลักษณะเป็นชั้นบาง ๆ แทรกสลับด้วยชั้นบางและกระเปาะของหินเชิร์ตสีดำ ในหินปูนเนื้อแน่นพบชิ้นส่วนของแกสโตรพอดและแบรคิโอพอด ขนาดใหญ่ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 หน่วย คือ หน่วยหิน 1D 2D และ 3D

หน่วยหิน 1D บริเวณวัดซัดน้อยใต้สามัคคี (พิกัดที่ UTM 47P 746215E/1642467N) เป็นหินปูนเนื้อทรายชั้นบาง สีเทาดำและค่อยๆ เปลี่ยนเป็นหินทรายแป้ง หินทรายปนทรายแป้งและหินทราย อัตราส่วนระหว่างหินคาร์บอนเนตและหินเม็ดตะกอนอยู่ที่ประมาณ 1:4 หินดินดานในบริเวณนี้มีสีน้ำตาลพบร่วมกับก้อนหินปูนขนาดใหญ่ (รูปที่ 4.14 A และ B)

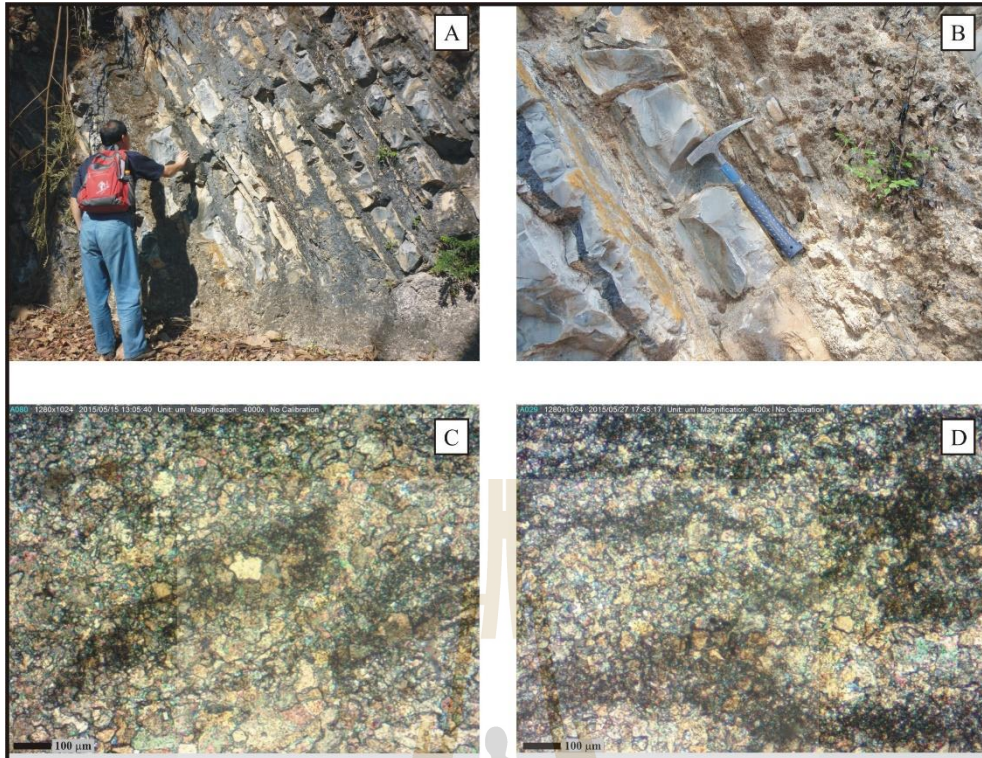
การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอมิคริต์และหินไบโอสปาไรต์ เนื้อพื้นของหินไบโอมิคริต์เป็นโคลนคาร์บอนเนตที่พบเศษชิ้นของฟิวซิลินิดและไครนอยด์ขนาดเล็ก (รูปที่ 4.14 C และ D)

หน่วยหิน 2D อยู่บริเวณวัดซัดตะเคียน (พิกัดที่ UTM 47P 745186E/1648645N) เป็นหินปูนเนื้อทรายแทรกสลับกับหินเชิร์ตชั้นบาง ๆ สีดำและหินดินดาน (รูปที่ 4.15 A และ B)

การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไปโอสปาร์ต ที่มีแคลไซต์เป็นวัตถุเชื่อมประสาน เศษชิ้นเป็นพวกพิวซูลินิต เปลือกหอยต่าง ๆ และเศษชิ้นระบุชนิดไม่ได้ โดยมีแคลไซต์ใส แทนที่อยู่ภายในช่องว่าง (รูปที่ 4.15 C และ D)



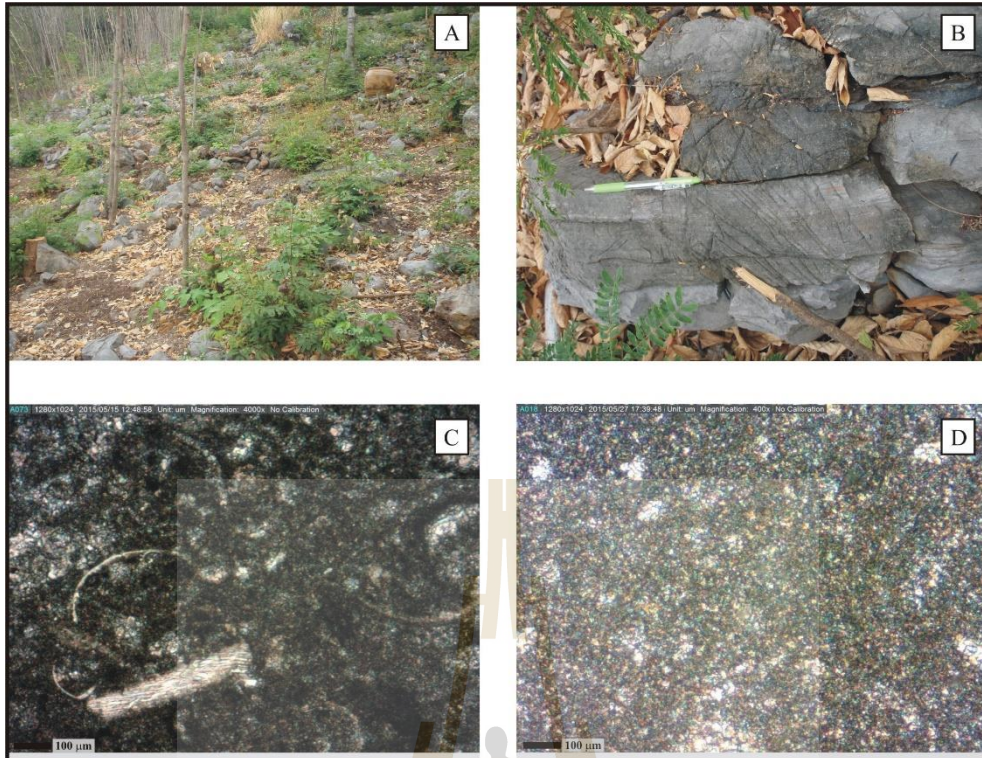
รูปที่ 4.14 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 1D ในพื้นที่ศึกษาวัดซั้บตะเคียน (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)



รูปที่ 4.15 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2D ในพื้นที่ศึกษาวัดชั้บตะเคียน (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)

หน่วยหิน 3D อยู่บริเวณเนินเขาด้านหลังของวัดชั้บตะเคียน (พิกัดที่ UTM 47P 745155E/1648660N) เป็นหินปูนเนื้อทรายสีเทา มีกระเปาะของหินเชิร์ตแทรกอยู่บ้าง บริเวณผิวของเนื้อหินสามารถมองเห็นโครงร่างของสิ่งมีชีวิตได้ชัดเจน เช่น ฟิวซิลินิต ปะการัง ไครนอยด์ แบรคิโอพอด และเปลือกหอยต่าง ๆ (รูปที่ 4.16 A และ B)

การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอมิคริต์และหินไบโอสปาไรต์ ที่มีแคลไซต์ใส แทนที่ในช่องว่างของโครงร่างสิ่งมีชีวิต (รูปที่ 4.16 C และ D)



รูปที่ 4.16 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 3D ในพื้นที่ศึกษาวัดซัดตะเคียน (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)

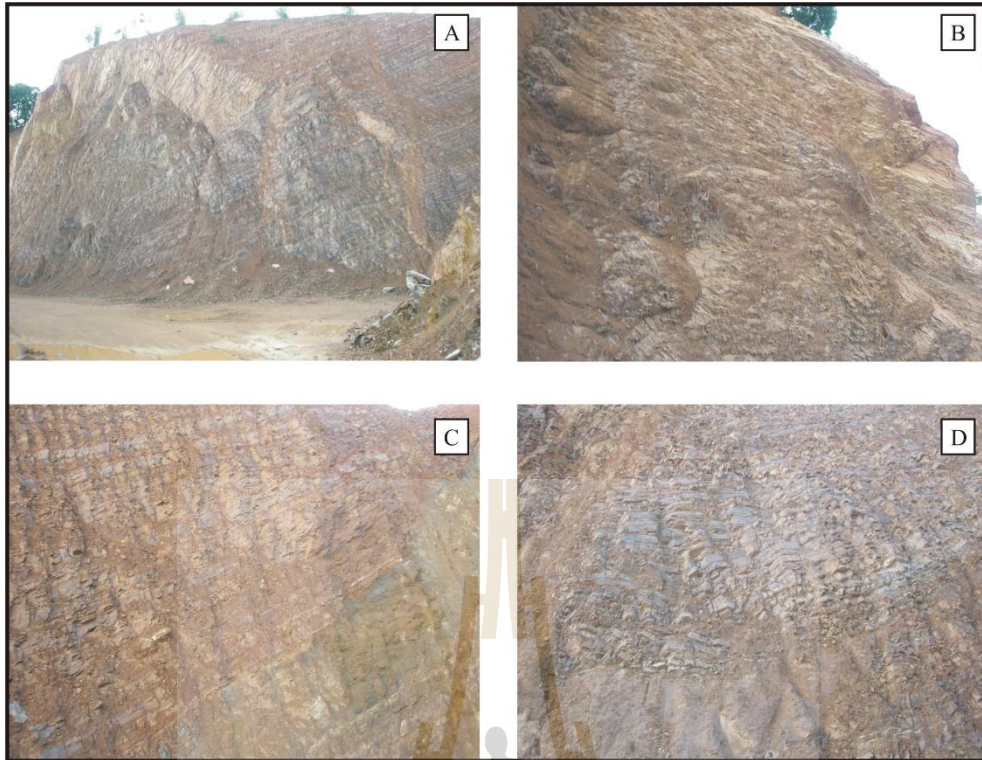
4.3.5 พื้นที่ศึกษาบริเวณบ่อขุด บ้านหนองผักเสี้ยน

พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณบ่อขุดส่วนบุคคล บ้านหนองผักเสี้ยน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา (พิกัดที่ UTM 47P 750350E/1635930N) เป็นชุดของหินปูนสีเทาแทรกสลับกับหินโคลน หินดินดาน หินทรายแป้งและหินทราย หินปูนในพื้นที่นี้จะแสดงลักษณะเนื้อประสมของโครงสร้างสิ่งมีชีวิตหลายชนิด แบ่งออกได้เป็น 2 หน่วย คือ หน่วยหิน 1E และ 2E

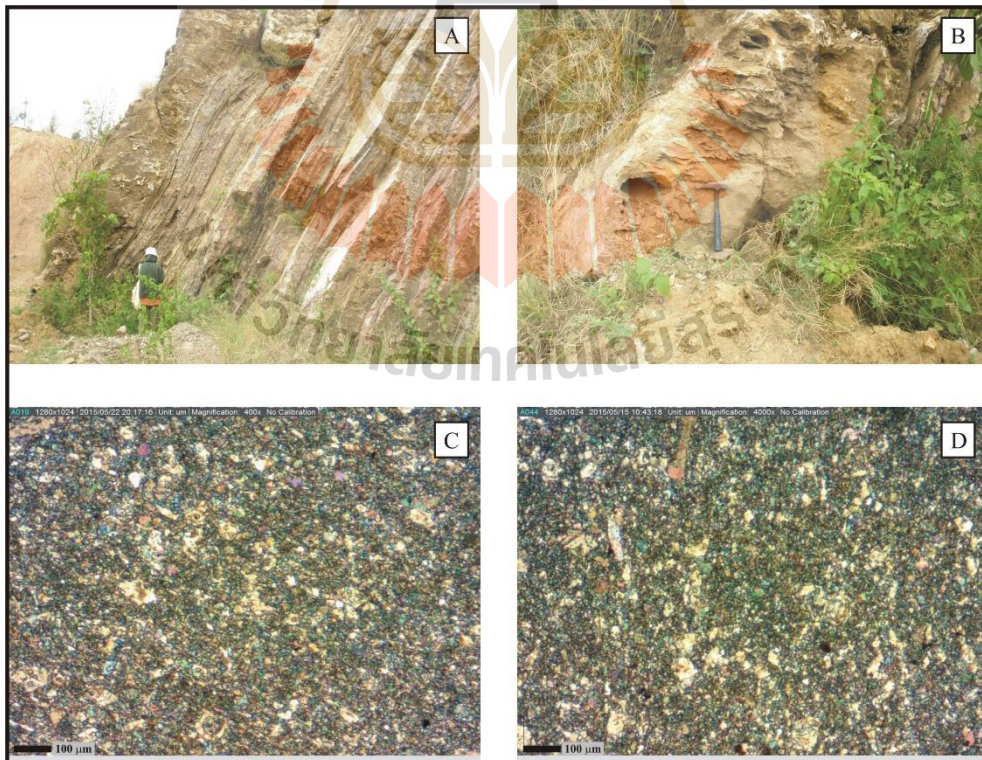
หน่วยหิน 1E เป็นการลำดับชั้นของหินปูนเนื้อทรายชั้นบาง สีเทาดำที่ค่อยๆ มีการเปลี่ยนเป็นหินเนื้อตะกอนของหินเชิร์ต หินดินดาน หินทรายแป้งและหินทราย (รูปที่ 4.17 A B C และ D)

หน่วยหิน 2E เป็นหินปูนที่มีเนื้อหินหลายขนาดตั้งแต่หินปูนเนื้อแป้งไปจนถึงหินปูนเนื้อหยาบแตกต่างกันตามบริเวณที่พบ และพบแทรกชั้นร่วมกับหินดินดาน หินทรายแป้ง และหินทราย ในหินปูนเนื้อทรายจนถึงหินปูนเนื้อหยาบ บริเวณพื้นผิวจะสามารถมองเห็นโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตได้ (รูปที่ 4.18 ถึงรูปที่ 4.20)

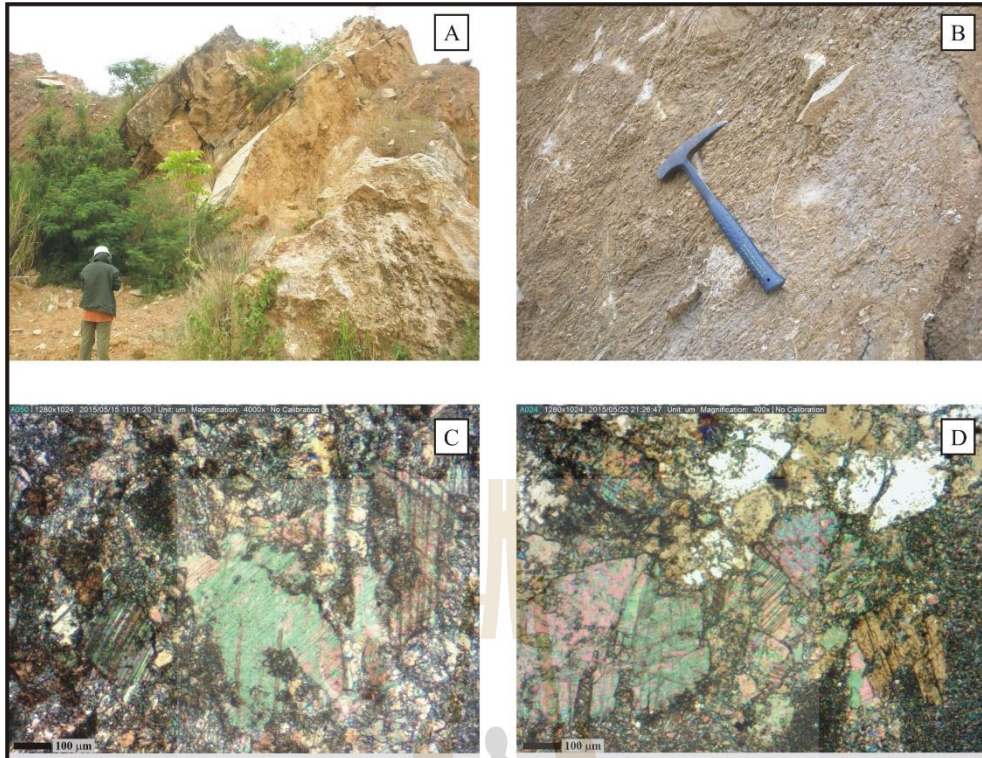
การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอมิคริตตะกอนแน่น หินไบโอมิคริต และหินไบโอสปาร์ต ในโครงสร้างของฟิวซิลินิต เปลือกหอยต่างๆ ปะการัง และ ไบโอสฟิว จะมีแคลไซต์ใส่แทนที่ในช่องว่างเป็นเป็นวัตถุเชื่อมประสาน



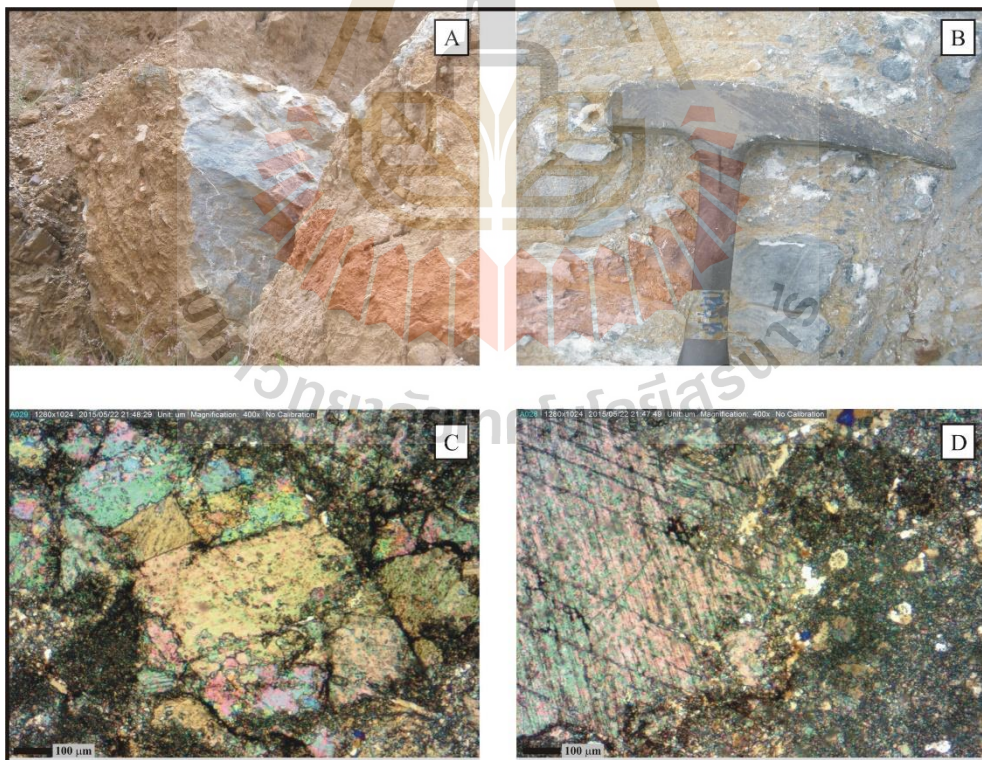
รูปที่ 4.17 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 1E ในพื้นที่ศึกษาบ่อขุด บ้านหนองผักเสี้ยน



รูปที่ 4.18 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2E ในพื้นที่ศึกษาบ่อขุด บ้านหนองผักเสี้ยน (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)



รูปที่ 4.19 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2E ในพื้นที่ศึกษาบ่อขุด บ้านหนองผักเสี้ยน (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D) (ต่อ)



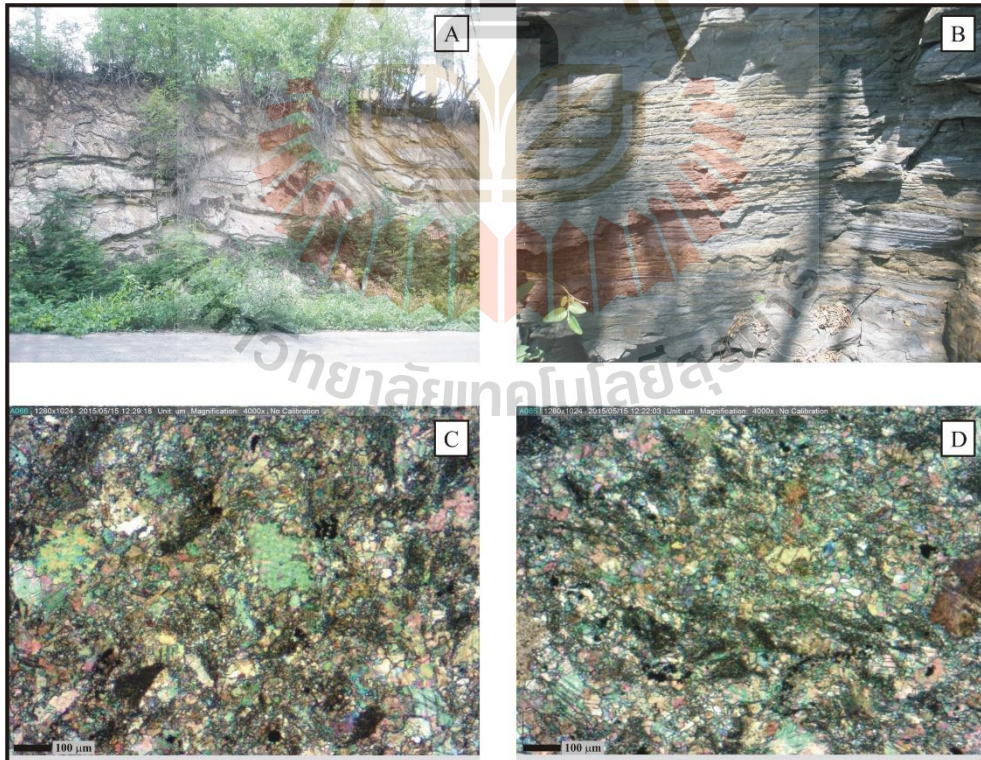
รูปที่ 4.20 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2E ในพื้นที่ศึกษาบ่อขุด บ้านหนองผักเสี้ยน (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D) (ต่อ)

4.3.6 พื้นที่ศึกษาบริเวณบ้านหนองโป่ง

พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณบ้านหนองโป่ง อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี ประกอบด้วย หินปูนสีเทาถึงเทาดำ แทรกสลับกับหินปูนเนื้อโคลโลไมต์ โดยสามารถพบกระเปาะของหินเชิร์ต หินโคลโลไมต์แทรกอยู่ในชั้นของหินปูนเนื้อแน่น ตอนกลางของพื้นที่เป็นชั้นของหินปูนที่ประกอบด้วยเศษชิ้นของ ไครนอยด์ ฟิวซิลินิต และเศษเปลือกหอยต่างๆ คละขนาดปะปนกันอยู่ เป็นชั้นค่อนข้างหนา และตามเส้นทางที่ถนนหมายเลข 2224 ตัดผ่านจะแสดงลำดับชั้นของหินปูนชั้นบาง ๆ แทรกสลับกับหินดินดาน หินทรายแป้งและหินทรายสีน้ำตาล โดยในพื้นที่นี้สามารถแบ่งหน่วยหินได้เป็น 4 หน่วย คือ หน่วยหิน 1F 2F 3F และ 4F

หน่วยหิน 1F เป็นชุดหินโคล่บริเวณ 2 ข้างถนนหมายเลข 2224 กิโลเมตรที่ 36-38 (พิกัดที่ UTM 47P 754684E/1642761N) แสดงการลำดับชั้นหินของหินปูนเนื้อทรายสีเทาดำ แสดงการวางชั้นบาง ๆ และค่อยๆ เปลี่ยนไปสู่หินเนื้อประสมของหินโคลน หินดินดาน หินทรายแป้ง และหินทราย โดยมีอัตราส่วนระหว่างหินคาร์บอนेटต่อหินเนื้อประสมประมาณ 1:4 (รูปที่ 4.21 A และ B)

การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอสปาร์ต และหินไบโอมิคริต์ โดยยังสามารถพบโครงร่างของไครนอยด์ ฟิวซิลินิต ปะการังและชิ้นส่วนที่ระบุไม่ได้ที่แทนที่และเชื่อมประสานกันด้วยแคลไซต์ใส (รูปที่ 4.21 C และ D)



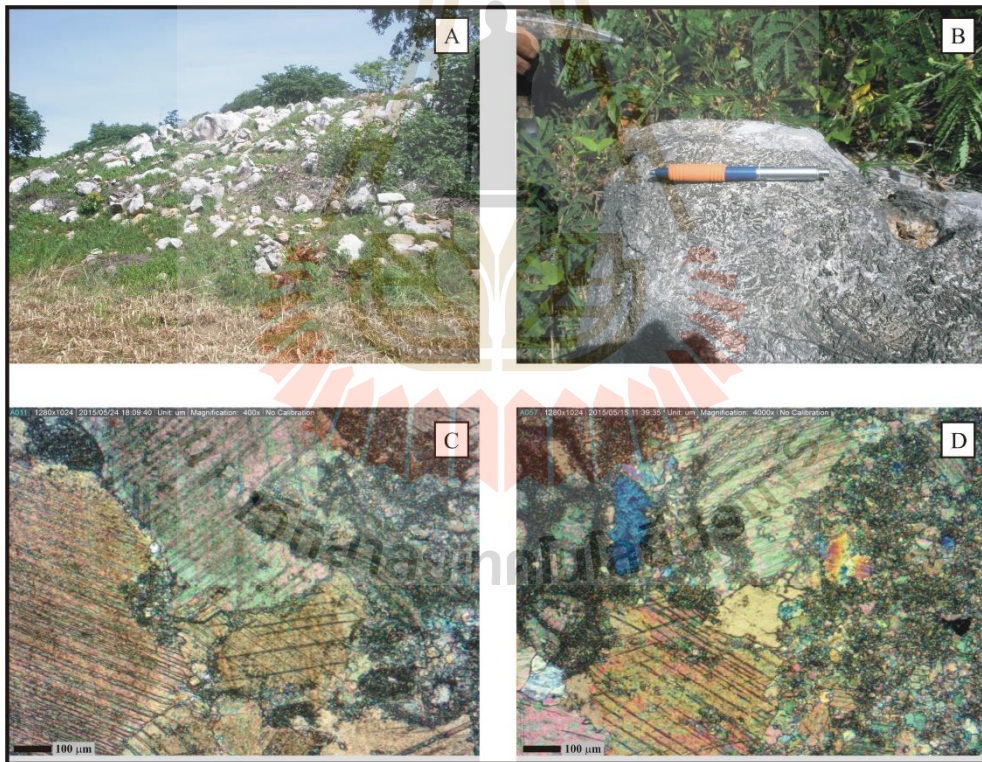
รูปที่ 4.21 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 1F ในพื้นที่ศึกษาบ้านหนองโป่ง (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)

หน่วยหิน 2F พบบริเวณเนินเขาในพื้นที่ส่วนบุคคล (พิกัดที่ UTM 47P 754710E/1644763N) เป็นหินปูนเนื้อทรายถึงหินปูนเนื้อหยาบ บริเวณผิวนอกของหินสามารถมองเห็นเศษชิ้นของไครนอยด์ ฟอสซิลินิดและเปลือกหอยต่างๆ ได้ (รูปที่ 4.22 A และ B)

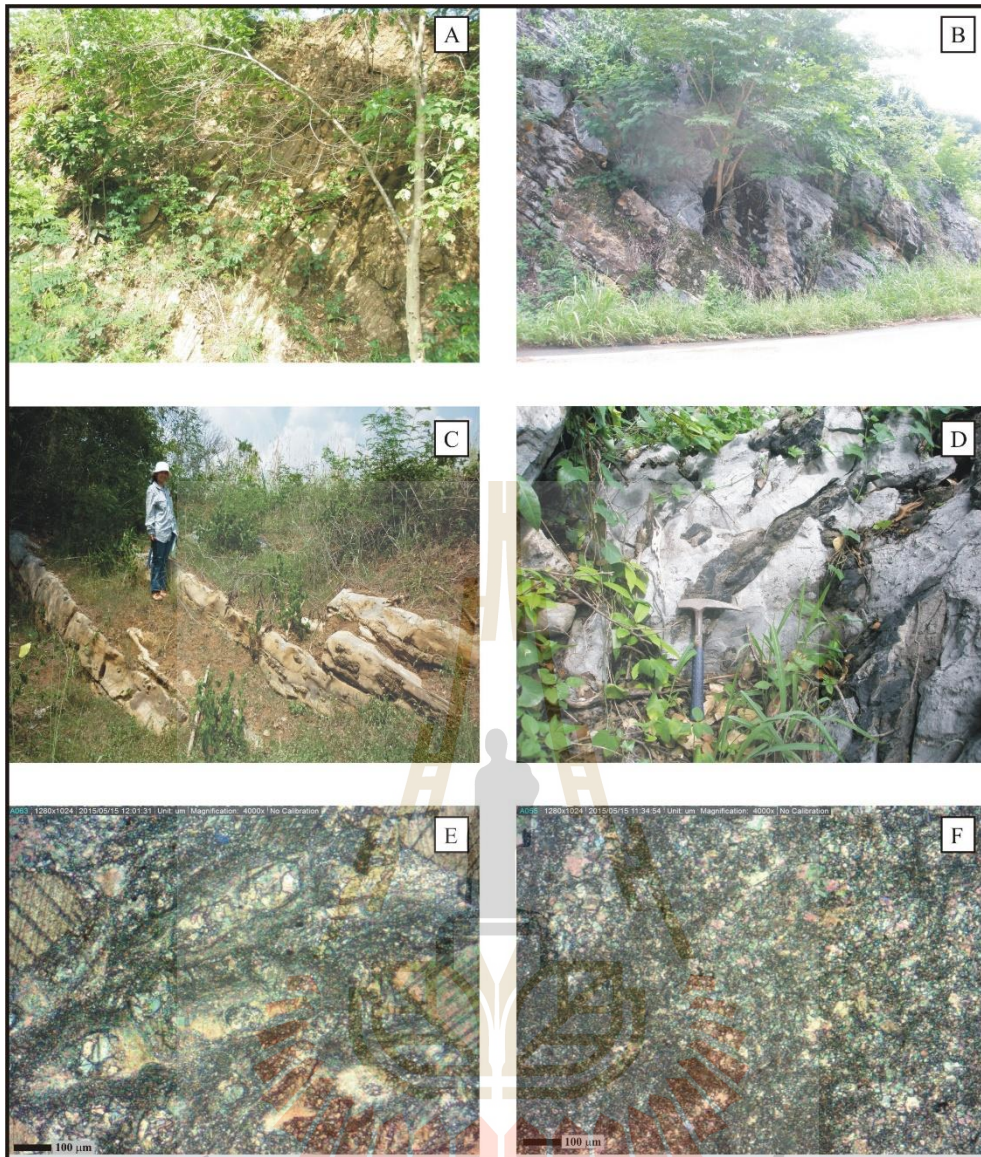
การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอสไปราไรต์ หินไบโอสปารูไดต์ และหินไบโอสไปราไรต์ มีโครงสร้างของไครนอยด์และเปลือกหอยต่างๆ คละขนาดกันอยู่ภายในเนื้อหิน โดยมีแคลไซต์เป็นวัสดุเชื่อมประสาน (รูปที่ 4.22 C และ D)

หน่วยหิน 3F อยู่บริเวณเนินเขาภายในหมู่บ้านหนองโป่ง (พิกัดที่ UTM 47P 754310E/1645078N และ 754605E/1644924N) พบชั้นของหินดินดาน หินทรายแป้งและหินทรายแทรกสลับกับหินปูนเนื้อแป้งและหินปูนเนื้อทรายสีเทาดำ พบกระเปาะและชั้นบาง ๆ ของหินเชิร์ตสีดำแทรกขนานตามชั้นของหินปูน (รูปที่ 4.23 A ถึง D)

การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอไมโครต์เนื้อแน่น มีแคลไซต์ใสแทนที่อยู่ในช่องว่างของโครงสร้างสิ่งมีชีวิต (รูปที่ 4.23 E และ F)



รูปที่ 4.22 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 2F ในพื้นที่ศึกษาบ้านหนองโป่ง (A และ B) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (C และ D)

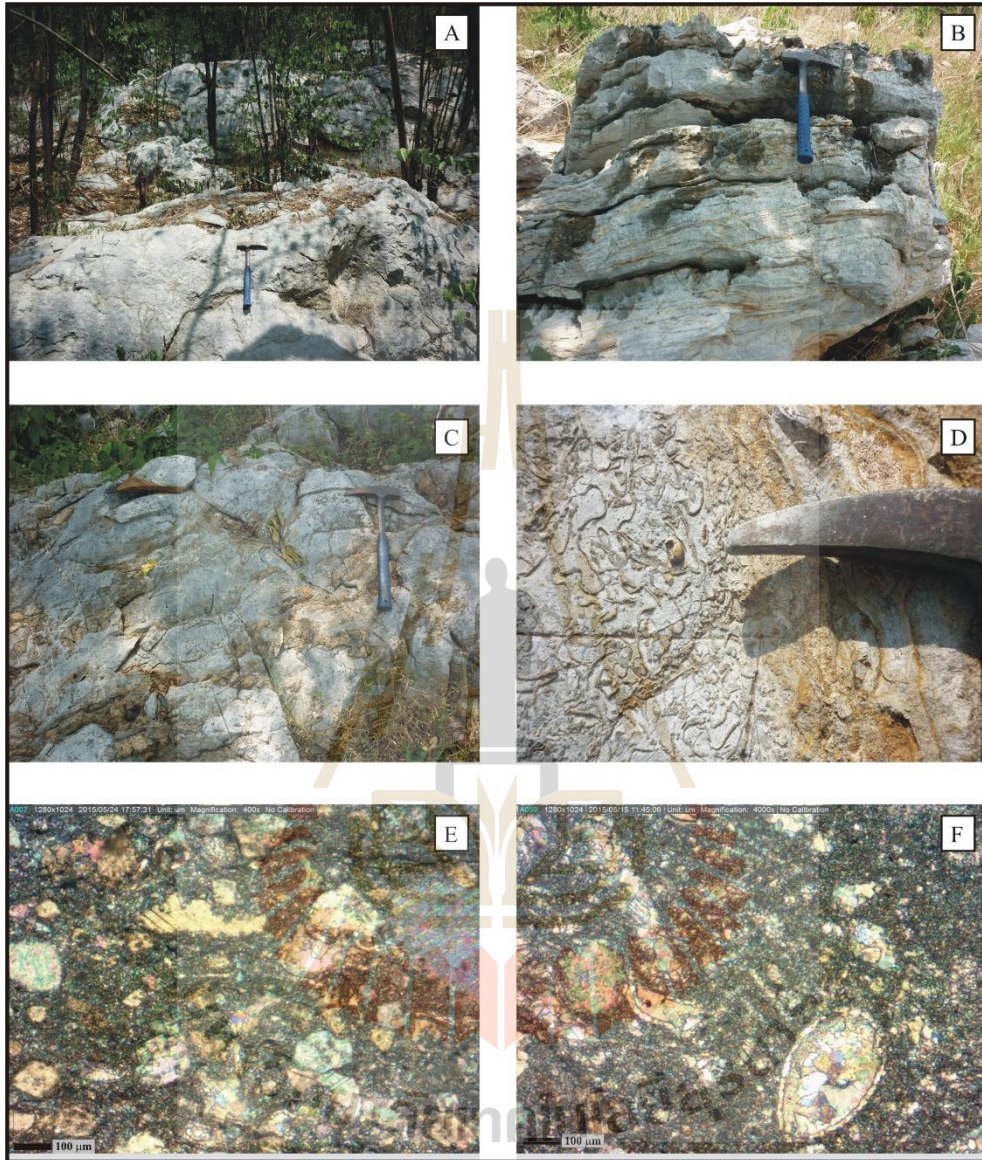


รูปที่ 4.23 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 3F ในพื้นที่ศึกษาบ้านหนองโป่ง (A ถึง D) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (E และ F)

หน่วยหิน 4F อยู่ภายในบริเวณวัดถ้ำดาวเขาแก้ว (พิกัดที่ UTM 47P 751131E/1645784N) เป็นหินปูนเนื้อทรายถึงหินปูนเนื้อหยาบแทรกสลับกับหินปูนเนื้อโดโลไมต์ซึ่งบริเวณผิวภายนอกมีพื้นผิวขรุขระ มีกระเปาะของเชิร์ตสีดำและหินโดโลไมต์แทรกอยู่ในชั้นของหินปูน พบร่องรอยของรูหนอนและโครงร่างของสิ่งมีชีวิตต่างๆ บนผิวนอกของหิน (รูปที่ 4.24 A ถึง D)

การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่าเป็นหินไบโอมิคริตเนื้อแน่นและหินไบโอสปาร์ต มีโครงร่างของไครนอยด์ ฟิวซิลินิด และเศษชิ้นที่ไม่สามารถระบุได้เชื่อมประสานกันด้วยแคลไซต์และ

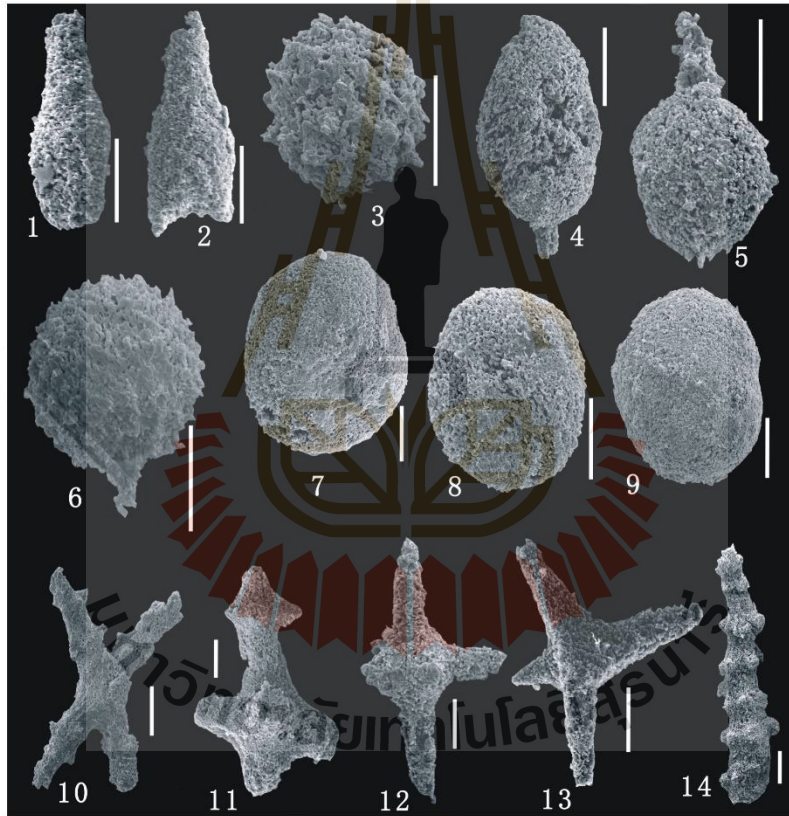
แทนที่ในช่องว่าง บางตัวอย่างพบว่าวัตถุเชื่อมประสานเป็นทั้งแคลไซต์และโดโลไมต์ (รูปที่ 4.24 E และ F)



รูปที่ 4.24 แสดงภาพถ่ายหน่วยหิน 4F ในพื้นที่ศึกษาบ้านหนองโป่ง (A ถึง D) และภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (E และ F)

4.4 การศึกษาอายุของชั้นหินจากซากบรรพชีวิน

จากการทบทวนวรรณกรรมวิจัยเกี่ยวกับหินปูนยุคเพอร์เมียนบริเวณขอบทางฝั่งตะวันตกของที่ราบสูงโคราช โดย Hingthong (1981) และ Chonglakmani (2005) ระบุว่าหินปูนในพื้นที่ อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี มีอายุอยู่ในช่วง Early to early Late Permian เมื่อวิเคราะห์ด้วยอายุของฟิวซูลินิด (Fusulinid) งานวิจัยในครั้งนี้นำตัวอย่างของเรดิโอลาเรีย (Radiolarian) และขวากทะเล (sponge spicule) พบว่าประกอบด้วย *Follicucullus porrectus* Rudenko, *Cocicynta?* sp., *Archaeospongoprunum?* sp. และอื่น ๆ ซึ่งมีอายุอยู่ในช่วง Late Middle Permian (รูปที่ 4.25) โดย *Follicucullus porrectus* Rudenko สามารถพบได้ทั่วไปในช่วง Late Guadalupian (Jasin, 1997; Sashida and Salyapong, 2002; Wonganan and Caridroit, 2006; Kawai and Takeuchi, 2001; Suzuki *et al.*, 2005)



รูปที่ 4.25 แสดงแพลงก์ตอนเรดิโอลาเรีย (1 ถึง 9) และขวากทะเล (10 ถึง 14) จากตัวอย่างหินชีิร์ตในพื้นที่สุคโต (Scale bar = 100 μ m)

- | | | | |
|-------|--|-----|-------------------------|
| 1-2 | : <i>Follicucullus porrectus</i> Rudenko | 3 | : <i>Cocicynta?</i> sp. |
| 4 | : <i>Archaeospongoprunum?</i> sp. | 5-9 | : radiolarians |
| 10-12 | : <i>Orthohexactines</i> sp. | 13 | : <i>Calthrops</i> sp. |
| 14 | : <i>Acanthostyles</i> sp. | | |

4.5 ผลการวัดค่าความพรุนและค่าความซึมผ่านของตัวอย่างหินคาร์บอนेट

4.5.1 ผลการวัดค่าความพรุน

จากการทดลองวัดค่าความพรุนของตัวอย่างแท่งหินคาร์บอนेटที่เก็บมาจากบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 6 บริเวณ รวมทั้งสิ้น 15 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบวัดค่าความพรุนและค่าความหนาแน่นทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ค่าความพรุนของตัวอย่างหินคาร์บอนेटที่ศึกษา

Sample	Diameter (cm)	Length (cm)	Weight (g)	Grain Vol. (cm ³)	Bulk Vol. (cm ³)	Pore Vol. (cm ³)	Grain Density (g/cm ³)	Bulk Density (g/cm ³)	Porosity (Percent)
ML-1	3.85	5.32	163.96	61.24	61.90	0.66	2.68	2.65	1.07
ML-2	3.85	5.19	166.60	59.69	60.37	0.67	2.79	2.76	1.11
SKT-1	3.85	5.11	161.96	58.82	59.46	0.64	2.75	2.72	1.08
SKT-2	3.85	5.23	164.15	60.34	60.85	0.52	2.72	2.70	0.85
SKT-3	3.85	5.28	164.25	60.92	61.44	0.52	2.70	2.67	0.84
TDM-1	3.85	5.21	159.85	59.54	60.62	1.08	2.68	2.64	1.79
TDM-2	3.85	5.11	159.95	58.80	59.50	0.70	2.72	2.69	1.18
TDM-3	3.85	5.28	165.54	60.86	61.39	0.53	2.72	2.70	0.86
STK-1	3.85	5.31	164.42	61.13	61.79	0.65	2.69	2.66	1.06
STK-2	3.85	5.18	166.16	59.52	60.27	0.75	2.71	2.67	1.25
BK-1	3.85	5.13	164.85	59.02	59.69	0.67	2.79	2.76	1.12
BK-2	3.85	5.01	162.80	57.82	58.29	0.48	2.82	2.79	0.82
NP-1	3.85	5.29	161.85	60.86	61.44	0.58	2.66	2.63	0.94
NP-2	3.85	5.31	162.15	61.19	61.79	0.60	2.65	2.62	0.97
NP-3	3.85	5.30	164.11	61.11	61.67	0.56	2.69	2.66	0.90

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของค่าความพรุนและค่าความหนาแน่นทั้งหมดของหินตัวอย่างในแต่ละพื้นที่ศึกษา

ตัวอย่าง	ค่าความพรุน (ร้อยละ)	ค่าความหนาแน่นทั้งหมด (Bulk density) (g/cm ³)
ML	1.09	2.71
SKT	0.92	2.70
TDM	1.28	2.68
STK	1.16	2.67
BK	0.97	2.78
NP	0.94	2.64
ค่าเฉลี่ย	1.06	2.69

จากการวัดค่าความพรุนของตัวอย่างหินทั้งหมดสามารถสรุปผลค่าเฉลี่ยของค่าความพรุนและค่าความหนาแน่นทั้งหมดของหินตัวอย่างในแต่ละพื้นที่ศึกษาได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และพบว่า

1. หินคาร์บอนेटบริเวณฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬา ต. มวกเหล็ก มีค่าความพรุนเฉลี่ยร้อยละ 1.09 และมีค่าความหนาแน่นทั้งหมด (Bulk density) เฉลี่ย 2.71 g/cm³
2. หินคาร์บอนेटบริเวณพื้นที่ศึกษาวัดสุคติ มีค่าความพรุนเฉลี่ยร้อยละ 0.92 และมีค่าความหนาแน่นทั้งหมด เฉลี่ย 2.70 g/cm³
3. หินคาร์บอนेटบริเวณพื้นที่ศึกษาด้านหลังฟาร์มโคนม ไทย-เดนมาร์ค มีค่าความพรุนเฉลี่ยร้อยละ 1.28 และมีค่าความหนาแน่นทั้งหมด เฉลี่ย 2.68 g/cm³
4. หินคาร์บอนेटบริเวณพื้นที่ศึกษาวัดซัดตะเคียน มีค่าความพรุนเฉลี่ยร้อยละ 1.16 และมีค่าความหนาแน่นทั้งหมด เฉลี่ย 2.67 g/cm³
5. หินคาร์บอนेटบริเวณพื้นที่ศึกษาบ่อขุด บ้านหนองผักเสี้ยน มีค่าความพรุนเฉลี่ยร้อยละ 0.97 และมีค่าความหนาแน่นทั้งหมด เฉลี่ย 2.67 g/cm³
6. หินคาร์บอนेटบริเวณพื้นที่ศึกษาบ้านหนองโป่ง มีค่าความพรุนเฉลี่ยร้อยละ 0.94 และมีค่าความหนาแน่นทั้งหมด เฉลี่ย 2.64 g/cm³
7. ค่าความพรุนเฉลี่ยของหินคาร์บอนेटในบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้งหมดอยู่ที่ร้อยละ 0.94 ในขณะที่มีค่าความหนาแน่นทั้งหมด เฉลี่ย 2.69 g/cm³

จากผลการวัดค่าความพรุนของหินคาร์บอนेटตัวอย่างจากทั้ง 6 พื้นที่ศึกษาพบว่า ค่าความพรุนของหินคาร์บอนेटตัวอย่างเหล่านี้มีค่าความพรุนอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 0.82 – 1.79 โดยหิน

คาร์บอนेटตัวอย่างจากบริเวณพื้นที่ศึกษาบริเวณฟาร์มโคนมไทย-เดนมาร์กนี้มีค่าความพรุนเฉลี่ยสูงที่สุดเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น ๆ ในขณะที่หินคาร์บอนेटตัวอย่างจากบริเวณพื้นที่ศึกษาบ่อขุด บ้านหนองผักเสี้ยนมีค่าความหนาแน่นทั้งหมด (Bulk density) เฉลี่ยสูงที่สุด (2.78 g/cm^3)

3.5.2 ผลการวัดค่าความซึมผ่าน

จากการทดลองวัดค่าความซึมผ่าน (Permeability) ของตัวอย่างแท่งหินคาร์บอนेटที่เก็บมาจากบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 6 บริเวณ รวมทั้งสิ้น 15 ตัวอย่าง โดยเครื่องมือวัดค่าความซึมผ่านได้ผลการทดสอบวัดค่าความซึมผ่านดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าความซึมผ่านของตัวอย่างหินคาร์บอนेटที่ศึกษา

Sample	Diameter (cm)	Length (cm)	Cross-sectional Area (cm^2)	Permeability (md)
ML-1	3.85	5.32	11.64	0.008
ML-2	3.85	5.19	11.64	0.015
SKT-1	3.85	5.11	11.64	0.11
SKT-2	3.85	5.23	11.64	N/A
SKT-3	3.85	5.28	11.64	N/A
TDM-1	3.85	5.21	11.64	0.021
TDM-2	3.85	5.11	11.64	0.016
TDM-3	3.85	5.28	11.64	N/A
STK-1	3.85	5.31	11.64	0.012
STK-2	3.85	5.18	11.64	0.011
BK-1	3.85	5.13	11.64	0.009
BK-2	3.85	5.01	11.64	N/A
NP-1	3.85	5.29	11.64	N/A
NP-2	3.85	5.31	11.64	N/A
NP-3	3.85	5.30	11.64	N/A

จากการวัดค่าความซึมผ่านของตัวอย่างหินทั้งหมดพบว่า ค่าความซึมผ่านที่ตรวจวัดได้ของแต่ละตัวอย่างมีค่าน้อยมากและบางตัวอย่างไม่สามารถตรวจวัดได้ โดยในส่วนของตัวอย่างที่สามารถ

ตรวจวัดได้นั้นจะมีค่าความพรุนอยู่ระหว่าง 0.008 – 0.021 md โดยตัวอย่างหมายเลข TDM-1 ของบริเวณพื้นที่ศึกษานั้นมีค่าความซึมผ่านที่ตรวจวัดได้มากที่สุดที่ 0.021 md ในขณะที่หินคาร์บอนตตัวอย่างในบริเวณพื้นที่บ้านหนองโป่งนั้นไม่สามารถตรวจวัดค่าความซึมผ่านได้เลย

จากการที่ค่าความซึมผ่านที่ตรวจวัดได้นั้นมีค่าน้อยมากหรือตรวจวัดไม่ได้อาจเป็นผลอันเนื่องมาจากหินคาร์บอนตอายุเพอร์เมียนที่นำมาทดสอบวัดค่าเหล่านี้มีเนื้อที่แน่น ไม่มีรอยแตกหรือช่องว่างระหว่างเนื้อหินจึงทำให้ก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ทดสอบไม่สามารถไหลผ่านเนื้อหินเหล่านี้ได้



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

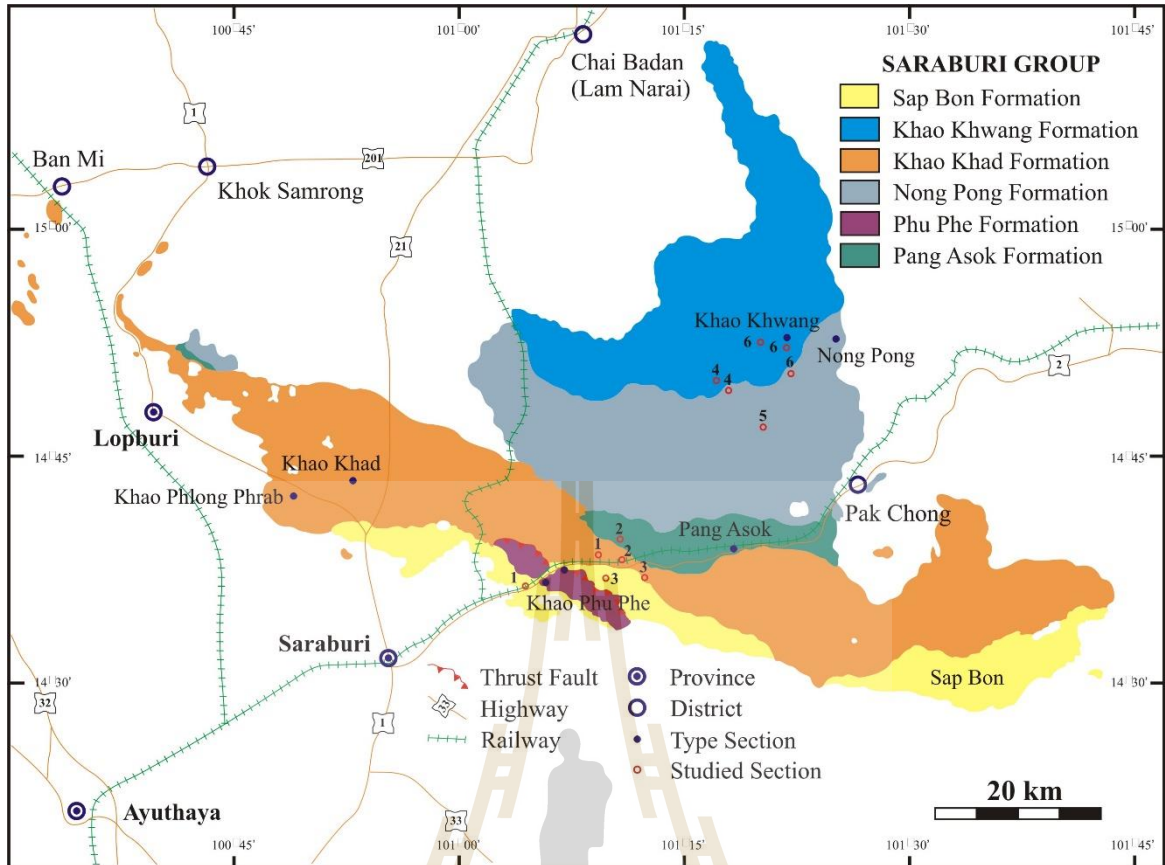
งานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาหินปูนยุคเพอร์เมียนบริเวณขอบทางฝั่งตะวันตกของที่ราบสูงโคราช โดยแบ่งพื้นที่การศึกษาออกเป็น 6 พื้นที่คือ 1. ฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก อ.มวกเหล็ก จ. สระบุรี 2. พื้นที่บริเวณวัดสุคโต อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี 3. พื้นที่ภายในฟาร์มโมคอนมไทย-เดนมาร์ก อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี 4. วัดซับตะเคียน อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี 5. บ่อขุด บริเวณบ้านหนองผักเสี้ยน อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา และ 6. บ้านหนองโป่ง อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี ซึ่งครอบคลุมหมวดหินซับบอน เขาขาด ปางอโศก หนองโป่ง และเขาขวาง ของกลุ่มหินสระบุรี โดยแบ่งเป็นการศึกษาทางด้านธรณีวิทยา ธรณีเคมี ศีลาวิทยา และศักยภาพในการเป็นหินแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมจากค่าความพรุนและค่าความซึมผ่าน ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 ธรณีวิทยาในบริเวณพื้นที่ศึกษา

จากลำดับชั้นหินและหน่วยหินต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษาแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมที่สะสมตะกอนจากสภาพแวดล้อมที่เป็นขอบลานทวีป (Platform margin) ทางตอนเหนือ ไปจนถึงสภาพแวดล้อมที่เป็นแอ่งทะเล (Marine basin) ทางตอนใต้ (DMR, 1985) ดังแสดงในรูปที่ 5.1 โดยสามารถอธิบายสภาพแวดล้อมที่สัมพันธ์กับหมวดหินได้ดังนี้

- ในบริเวณลานทวีป จะเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำซึ่งเทียบได้กับหมวดหินเขาขวาง เป็นลักษณะของหินปูนเนื้อแป้ง หินปูนเนื้อทราย และหินปูนเนื้อหยาบ มีสีเทาถึงเทาดำ พบร่วมกับหินปูนเนื้อโดโลไมต์ และอาจมีกระเปาะหินเชิร์ตและหินโดโลไมต์แทรกอยู่ในชั้นหินปูน โดยหินปูนเนื้อแป้งจะเป็นตัวบ่งบอกว่าสิ่งแวดล้อมขณะที่เกิดการสะสมตัวมีพลังงานต่ำ ร่องรอยของรูหนอนในเนื้อหินจะพบในเขตที่มีน้ำขึ้นน้ำลง (Intertidal zone) ของทะเลปิดระดับตื้น (Shallow restricted marine) (Flügel, 2004) ช่วงการเปลี่ยนแปลงระหว่างลานทวีปกับแอ่งทะเล จะจำแนกจากลักษณะของหินปูนเนื้อทรายแป้ง หินปูนเนื้อทรายและหินปูนเนื้อหยาบสีเทา เนื้อหินสามารถมองเห็นโครงร่างของสิ่งมีชีวิตได้ชัดเจนบนผิวนอก เศษชิ้นต่างๆ มักจะคละขนาดและพบร่วมกับการวางชั้นแบบเรียงขนาด ซึ่งบ่งบอกถึงสภาพแวดล้อมที่มีกระแสคลื่นไหล (Turbidity current)
- หมวดหินหนองโป่ง ประกอบด้วย ลำดับชั้นของหินปูนเนื้อทรายแป้งและหินปูนเนื้อทรายที่แสดงการเรียงชั้นบาง ๆ และค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นหินเนื้อตะกอนได้แก่ หินโคลน หินดินดาน หินทรายแป้ง และหินทราย แสดงการวางชั้นแบบเรียงขนาดในหินปูน หินดินดานมีชั้นค่อนข้าง

- บางบ่งบอกถึงสภาพแวดล้อมแบบพลังงานต่ำในขณะที่มีการสะสมตัว และการที่ค่อยๆ เปลี่ยนจากหินคาร์บอเนตเป็นหินเนื้อตะกอนแสดงถึงระดับน้ำที่ลึกมากขึ้น
- สำหรับหมวดหินเขาขาด ประกอบไปด้วยหินปูนเนื้อแป้ง หินปูนเนื้อทรายแป้ง หินปูนเนื้อทราย และหินปูนเนื้อหยาบ พบร่วมกับหินดินดานชั้นบาง และอาจพบแถบชั้นหรือกระเปาะของหินเชิร์ตรวมด้วย ในเนื้อของหินปูนจะพบโครงร่างของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กขนาด รวมถึงพบเป็นก้อนหินปูนขนาดใหญ่ โดย Abbate *et al.* (1970) ให้นิยามว่า เกิดจากสถานะที่มีการไหลของมวลหินปูนจากบนฝั่งและหล่นลงมาในชั้นตะกอนที่ยังไม่แข็งตัวในทะเล ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการพบก้อนหินปูนขนาดใหญ่วางตัวอยู่บนชั้นบางๆ ของหินดินดานในหลายๆ พื้นที่ จากลักษณะเช่นนี้เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมการตกตะกอนของ Selly (2000) จะสามารถสรุปลักษณะของหมวดหินเขาขาดได้ดังนี้
 1. หมวดหินเขาขาด พบอยู่ใกล้กับหมวดหินปางอโศก และหมวดหินซับบอน ซึ่งมีลักษณะการเกิดในทะเลลึก แต่ไม่แสดงโครงสร้างความไม่ต่อเนื่อง
 2. หมวดหินเขาขาด แสดงลักษณะการพบโครงร่างของสิ่งมีชีวิต แบบขนาดเล็กขนาดปะปนกัน ซึ่งเป็นลักษณะของการสะสมตัวในบริเวณลาดทวีป (Slope deposit)
 3. รูปร่างทางเรขาคณิตของหมวดหินเขาขาดมักจะมีลักษณะคล้ายๆ รูปลิ่มที่มีการแผ่กระจายค่อนข้างจำกัด แต่การสะสมตัวบริเวณลานทวีปมักจะมีรูปร่างแผ่กว้างมากกว่า
 4. ผลการศึกษาทางธรณีเคมีจากตัวอย่างหินเชิร์ตในพื้นที่สุโขตสอดคล้องกับการเกิดในทะเลแต่ไม่ได้ลึกมากจนถึงแอ่งมหาสมุทร ซึ่งน่าจะเกิดบริเวณที่เป็นขอบทวีป
 5. การศึกษาการเทียบเคียงอายุจากแฟลงก์ตอนเรดิโอลาเรียพบว่าอายุของหมวดหินเขาขาดในพื้นที่มีอายุอยู่ในช่วงเพอร์เมียนตอนต้นถึงตอนกลาง (Early to Middle Permian)
 - จากการศึกษาทางด้านสิลาวิทยาพบว่าหินปูนเนื้อโดโลไมต์หรือหินโดโลไมต์พบในพื้นที่วัดสุโขต (หน่วยหิน 3B) พื้นที่ภายในฟาร์มโคนมไทย-เดนมาร์ก (หน่วยหิน 2C) และบ้านหนองโป่ง (หน่วยหิน 4F) ลักษณะของหินที่พบจะแสดงลักษณะผิวหนึ่งข้าง ค่อนข้างขรุขระบริเวณพื้นผิว ซึ่งแตกต่างจากหินปูนปกติ แต่จากการศึกษาพบว่าจะแสดงการเป็นหินโดโลไมต์เฉพาะแต่บริเวณพื้นผิวด้านบนเท่านั้น ซึ่งเมื่อได้ทำการกะเทาะก้อนตัวอย่างให้แตกออก เนื้อหินภายในยังแสดงคุณลักษณะของหินปูนที่มีความเป็นเนื้อเดียว ไม่มีรูพรุน



รูปที่ 5.1 แสดงหน่วยหินในพื้นที่ศึกษาที่สัมพันธ์กับกลุ่มหินสระบุรี และตำแหน่งของจุดเก็บตัวอย่าง หินคาร์บอนเตอายุเพอร์เมียน (คัดลอกและดัดแปลงจาก DMR, 1985)

หมายเลข 1 คือตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่บริเวณฝั่งตรงข้ามบ้านพักนักกีฬามวกเหล็ก อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี (หน่วยหิน 1A, 2A และ 3A)

หมายเลข 2 คือตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่บริเวณวัดสุคโต อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี (หน่วยหิน 1B, 2B, 3B, 4B และ 5B)

หมายเลข 3 คือตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่ภายในฟาร์มโคนมไทย-เดนมาร์ก อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี (หน่วยหิน 1C, 2C และ 3C)

หมายเลข 4 คือตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างในบริเวณพื้นที่วัดชั้ตะเคียน อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี (หน่วยหิน 1D, 2D, 3D และ 4D)

หมายเลข 5 คือตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างในบริเวณบ่อขุด บริเวณบ้านหนองผักเสี้ยน อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (หน่วยหิน 1E และ 2E)

หมายเลข 6 คือตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างในบริเวณบ้านหนองโป่ง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา (หน่วยหิน 1F, 2F, 3F และ 4F)

5.2 ศักยภาพในการเป็นหินกักเก็บปิโตรเลียมของหินคาร์บอเนตในพื้นที่ศึกษา

จากการทดลองวัดค่าความพรุนของตัวอย่างแท่งหินคาร์บอเนตที่เก็บมาจากบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 6 บริเวณ รวมทั้งสิ้น 15 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบวัดค่าความพรุน (Porosity) และค่าความหนาแน่นทั้งหมด (Bulk density) พบว่าค่าความพรุนของหินคาร์บอเนตตัวอย่างเหล่านี้มีค่าความพรุนอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 0.82 – 1.79 โดยหินคาร์บอเนตตัวอย่างจากบริเวณพื้นที่ศึกษาบริเวณฟาร์มโคนมไทย-เดนมาร์ก อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี นั้นมีค่าความพรุนเฉลี่ยสูงที่สุดเมื่อเทียบกับบริเวณอื่น ๆ ในขณะที่หินคาร์บอเนตตัวอย่างจากบริเวณพื้นที่ศึกษาบ่อขุด บ้านหนองผักเสี้ยน อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา นั้นมีค่าความหนาแน่นทั้งหมด (Bulk density) เฉลี่ยสูงที่สุด (2.78 g/cm^3)

จากการทดลองวัดค่าความซึมผ่าน (Permeability) ของตัวอย่างแท่งหินคาร์บอเนตที่เก็บมาจากบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้ง 6 บริเวณ รวมทั้งสิ้น 15 ตัวอย่าง โดยเครื่องมือวัดค่าความซึมผ่าน พบว่าค่าความซึมผ่านที่ตรวจวัดได้ของแต่ละตัวอย่างมีค่าน้อยมากและบางตัวอย่างไม่สามารถตรวจวัดได้ โดยในส่วนของตัวอย่างที่สามารถตรวจวัดได้นั้นจะมีค่าความพรุนอยู่ระหว่าง 0.008 – 0.021 md โดยตัวอย่างหมายเลข TDM-1 ของบริเวณพื้นที่ศึกษาในบริเวณฟาร์มโคนม ไทย-เดนมาร์ก อ.มวกเหล็ก จ.สระบุรี นั้นมีค่าความซึมผ่านที่ตรวจวัดได้มากที่สุดที่ 0.021 md ในขณะที่หินคาร์บอเนตตัวอย่างในบริเวณพื้นที่บ้านหนองโป่ง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา นั้นไม่สามารถตรวจวัดค่าความซึมผ่านได้เลย

จากการที่ค่าความซึมผ่านที่ตรวจวัดได้นั้นมีค่าน้อยมากหรือตรวจวัดไม่ได้นั้นอาจเป็นผลอันเนื่องมาจากหินคาร์บอเนตอายุเพอร์เมียนที่นำมาทดสอบวัดค่าเหล่านี้มีเนื้อที่แน่น ไม่มีรอยแตกหรือช่องว่างระหว่างเนื้อหินจึงทำให้ก๊าซไนโตรเจนที่ใช้ทดสอบไม่สามารถไหลผ่านเนื้อหินเหล่านี้ได้

ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากค่าของความพรุนและค่าความซึมผ่านของตัวอย่างหินคาร์บอเนตยุคเพอร์เมียนด้านตะวันตกของแอ่งโคราชที่ตรวจวัดได้น้อยมากนี้เพียงอย่างเดียวจึงสรุปได้ว่าหินคาร์บอเนตยุคเพอร์เมียนด้านตะวันตกของแอ่งโคราชนี้ไม่มีศักยภาพในการเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมที่ดีที่สุดได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. จุดเก็บตัวอย่างในการศึกษาครั้งนี้มีเพียง 6 บริเวณ ซึ่งอาจไม่เพียงพอต่อการใช้เป็นตัวอย่างของหินคาร์บอเนตยุคเพอร์เมียนด้านตะวันตกของแอ่งโคราชได้ดinkin การศึกษาในครั้งต่อไปหรือในอนาคตอาจทำการเพิ่มจำนวนจุดเก็บตัวอย่างฯ ให้ครอบคลุมด้านตะวันตกของแอ่งโคราชมากขึ้น รวมทั้งเพิ่มจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาและทดสอบเพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่มีนัยทางสถิติหรือทางธรณีวิทยาที่มากขึ้นด้วย

2. ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ตัวอย่างหินคาร์บอเนตอายุเพอร์เมียนด้านตะวันตกของแอ่งโคราชเฉพาะที่สามารถเก็บได้จากพื้นผิว ดังนั้นผลการวัดค่าความพรุนและค่าความซึมผ่านจะมีความแตกต่างจากหินคาร์บอเนตอายุเพอร์เมียนที่อยู่ในระดับลึก ถ้าจะมีการศึกษาเรื่องนี้ต่อไปในอนาคตควรจะใช้

ตัวอย่างหินคาร์บอนเตอายุเพอร์เมียนที่อยู่ในระดับลึกซึ่งอาจจะได้จากแท่งหินตัวอย่างที่ได้จากหลุมขุดเจาะสำรวจปิโตรเลียมในบริเวณพื้นที่ศึกษาหรือพื้นที่ใกล้เคียงและนำค่าที่ได้มาศึกษาหาความสัมพันธ์กับค่าความพรุนและค่าความซึมผ่านที่ได้จากการศึกษาจากตัวอย่างหินที่เก็บได้ที่ผิวดินนี้

3. การศึกษาครั้งนี้ไม่ได้มุ่งเน้นการศึกษาถึงการเกิดช่องว่างภายในเนื้อหินอันเกิดจากกระบวนการเกิดโดโลไมต์แทนที่แคลไซต์และการแตกขนาดเล็ก ๆ (Microfracture) ภายในเนื้อหิน ซึ่งอาจเป็นผลทำให้มีช่องว่างเพิ่มขึ้นในเนื้อหินได้ ดังนั้นในการศึกษาต่อไปในอนาคตอาจจะพิจารณาทำการศึกษาในส่วนนี้เพิ่มเติม



บรรณานุกรม

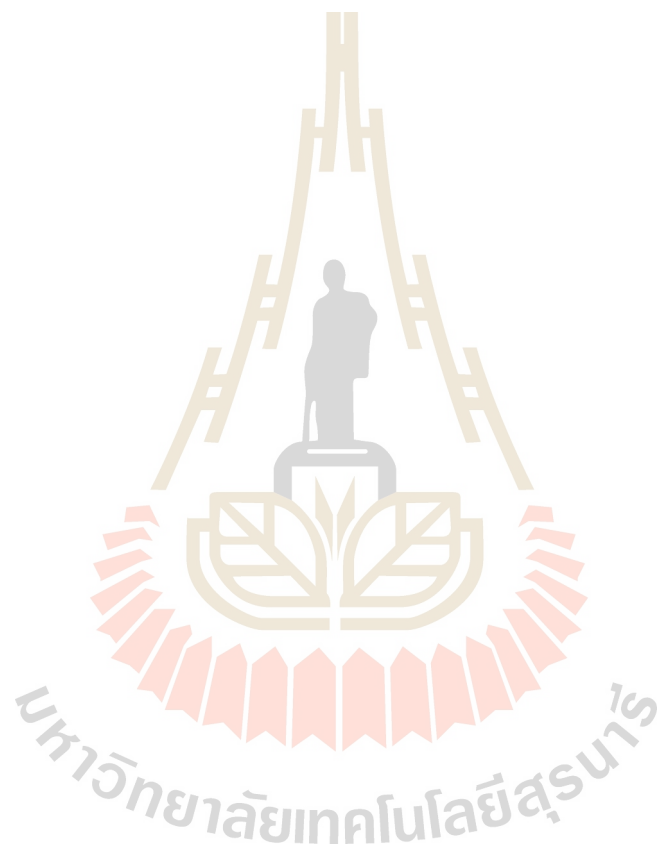
- Adachi, M., Yamamoto, K. and Sugisaki, R. (1986). Hydrothermal Chert and Associated Chert from the Northern Pacific, Their Geological Significance as Indication of Ocean Ridge Activity. Sedimentary Geology. 47: p. 125-148.
- Allen, J.R. and Wiggins, W.D. (1993). Dolomite reservoirs: Geochemical Techniques for evaluating origin and distribution. AAPG. Tulsa: 129 p.
- Altermann, W. (1983). Sedimentology of the Permian Molasse-type strata along the Lom Sak Chum Phae highway (Petchabun Province). In: Thanasutipitak, T. (edit.): Proc. Ann. Technical Meeting 1982, Chiang Mai, Thailand: p. 53-63.
- Altermann, W. (1989). Facies Development in the Permian Petchabun Basin, Central Thailand. Verlag Fur Wissenschaft und Bildung. 10Pl: Berlin: 235 p.
- Booth, J.E. (1998). The Khorat Plateau of NE Thailand-Exploration History and Hydrocarbon Potential. In Proceedings of the SEAPEX Exploration Conference. Singapore: p. 169-203.
- Borax, E. and Steward, R.D. (1966). Notes on the Paleozoic Stratigraphy of Northeastern Thailand. United Nations, Economic Commission for Asia and the Far East Meeting, Bangkok.
- Brown, G.F., Buravas, S., Charaljavanaphet, J., Jalichandra, N., Johnson, W.D., Sresthaputra, V. and Talor, Jr. G.C. (1951). Geological Reconnaissance of The Mineral Deposits of Thailand. U.S. Geological Bulletin. 984: p. 1-183.
- Bunopas, S. (1981). Paleogeographic History of Western Thailand and Adjacent parts South-East Asia-A Plate Tectonics Interpretation. Ph.D. Thesis. Victoria University of Wellington.
- Charoenpravat, A. and Wongwanich, T. (1976). Preliminary geology of Changwat Loei (ND47-12). Bangkok: Geological Survey Division, Department of Mineral Resources: 61 p.
- Charoenpravat, A., Wongwanich, T., Tantiwanich, W. and Kitipariwat, K. (1984). Geological Map of Thailand on 1:250,000 scale: Sheet Changwat Loei (NE47-12). Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Thailand.
- Chonglakmani, C. (2005). Paleogeography of the Permian System in the Saraburi-Nakhon Ratchasima area (in Thai). Suranaree University of Technology, Thailand.

- Chonglakmani, C. and Sattayarak, N. (1978). Stratigraphy of the Huai Hin Lat Formation (Upper Triassic) in northeastern Thailand. In Proceedings of The third Regional Conference on Geology and Mineral Resources on Southeast Asia, Bangkok: p. 739-762.
- Chonglakmani, C. and Sattayalak, N. (1984). Geological Map of Thailand on 1:250,000 scale: Sheet Changwat Phetchabun (NE47-16). Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Thailand.
- Dawson, O.T. (1978). Depositional and diagenetic fabrics of Permian limestone from Saraburi, Central Thailand. -In: NUTALAYA, P. (edit.): -Proc. GEOSEA III, Bangkok, 1978: p. 47-60.
- Dawson, O. and Racey, A. (1993). Fusuline-calcareous algal biofacies of the Permian ratburi Limestone, Saraburi, central Thailand. Journal of Southeastern Asian Earth Sciences. 8: p. 49-65.
- Dunham, R J. (1962). Classification of Carbonate Rocks According to Depositional Texture. In: Ham, W.E. (ed.). Classification of Carbonate Rocks. AAPG Memoir. 1: p. 108-121.
- Embry, A.F. and Klovan, J.E. (1971). A late Devonian reef tract on northeastern Banks Island. N.W.T. Bulletin of Canadian Petroleum Geology. 19: p. 730- 781.
- Folk, R.L. (1959). Practical classification of limestones. American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 43: p. 1-38.
- Folk, R.L. (1962). Spectral subdivision of limestone types. In Ham, W.E. (ed.). Classification of Carbonate Rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1: p. 1-279
- Gobbett, D. J. (1967). Paleozoogeography of Verbeekinae (Permian Foraminifera): C.G. Adama and D.V. Ager (Eds.). Syst. Ass. Publ. No.7; Aspects of Tethyan Biogeography, p. 77-91.
- Helmcke, D. and Kraikhong, G. (1982). On the geosynclinal and orogenic evolution of Central and NE Thailand. Journal of Geological Society of Thailand, v.5, p. 52-74.
- Helmcke, D and Lindenberg, H.G. (1983). New data on the Indosinian Orogeny from Central Thailand. Geologische Rundschau. 72: p. 317-328.

- Hinthong, C., Chuaviroj, S., Kaewyana, V., srisukh, s. and Pholprasit, C. (1981). Geology and Mineral Resources of the Map Sheet Changwat Phranakhon Sri Ayuthaya (ND.47-8). Geological survey Report no.4, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand (in Thai).
- Hinthong, C. (1981). Geology and Mineral Resources of Changwat Phra Nakhon Si Ayutthaya (ND47-48), Scale 1:250,000 (in Thai with English summary). Department of Mineral Resources, Geological Survey Report, No.4: p. 1-105.
- Ingavat, R., Toriyama, R. and Pitakpaivan, K. (1980). Fusuline zonation and faunal characteristics of the Ratburi Limestone in Thailand and its equivalents in Malaysia. Geol. Palaeont. Southeast Asia, vol. 21: p. 43-62.
- Ingavat, R., (1981). Report on fossil identification of Mae Moh basin: Geological Survey Division, Department of Mineral Resources. (Unpublished).
- Ingavat, R. (1984). On the correlation of the foraminiferal faunas of western, central and eastern provinces of Thailand. Mem. Soc.Geol.Frances N.S. 147: p. 93-100.
- Jasin, B. (1997). Permo-Triassic radiolaria from the Semanggol Formation, northwest Peninsular Malaysia. Journal of Asian Earth Sciences. 15(1): p. 43-53.
- Javanaphet, J.C. (1969). Geological Map of Thailand, 1:1,000,000. Dept. Min. Res., Bangkok, 1 Sheet.
- Kawai, M. and Takeuchi, M. (2001). Permian radiolarians from the Omi area in the Hida-gaien Tectonic Zone, central Japan. News of Osaka Micropaleontologists. Special Volume, 12: p. 23-32.
- Machel, H.G. (2004). Concepts and models of dolomitization: A critical reappraisal. Geological Society, London, Special Publications 235: p. 7-63.
- Murray, R.W. (1994). Chemical Criteria to Identify the Depositional Environment of Chert: General Principles and Applications. Sedimentary Geology. 90: p. 213-232.
- Pitakpaivan, K. (1965). Fusulinacean fossils from Thailand, Part 1: Fusulines of the Ratburi limestone of Thailand. Faculty of Science, Kyushi University, Memoir, Series D, Geology, v.17: p. 1-69.
- Sashida, K. and Salyapong, S. (2002). Permian Radiolarian Faunas from Thailand and Their Paleogeographic Significance. Journal of Asian Earth Sciences. 20: p. 691-701.

- Sudasna, P. and Pitakpaivan, K. (1976). Geological Map of Thailand on 1:250,000 scale: Sheet Changwat Phra Nakhon Si Ayuthaya (ND47-8). Geological Survey Division, Department of Mineral Resources. Bangkok, Thailand.
- Sudasna and Veeraburus, M. (1979). Geological Map of Northeastern Thailand, 1:50,000. Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Bangkok, (unpublished).
- Suzuki, N., Kojima, S., Kano, H., Yamakita, S., Misaki, A., Ehiro, M., Otoh, S., Kurihara, T. and Aoyama, M. (2005). Permian radiolarian faunas from chert in the Khabarovsk complex, Far East Russian and the age of each lithologic unit of the Khabarovsk complex. Journal of Paleontology. 79(4): p. 687-701.
- Tittirananda, O. (1976). Aspects of Stratigraphy and Palaeontology of the Permian Rat Buri Limestone of Saraburi, Central Thailand. Ph.D. dissertation, Bedford College, University of London.
- Toriyama, R., Kanmera, K., Khaewbaidhoon, S. and Hongnusunthi, A. (1974). Biostratigraphic zonation of the Ratburi limestone in the Khao Phlong Pheab area, Saraburi, central Thailand, Geology and Paleontology of Southeast Asia, v.14: p. 25-48.
- Udchachon, M., Thassanapak, H., Feng, Q. and Chonglakmani, C. (2011). Geochemical Constraints on The Depositional Environment of Upper Devonian Radiolarian Cherts from Loei, Northeastern Thailand. Frontiers of Earth Sciences. 5(2): p. 178-190.
- Vail, P.R., Mitchum, R.M. jr, Todd, R.G., Widmier, J.M., Thomson, S. III, Sangree, J.B., Bubb, J.N., Hatlelid, W.G., (1977). Seismic stratigraphy of global changes of sea-level. In Payton, C.E. (ed), Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration. Am. Assoc. Pet. Geol. Mem. 26: p. 49-211.
- Wielchowsky, C.C. and Young, J.D. (1985). Regional Facies Variations in Permian Rocks of the Phetchabun Fold and Thrust Belt, Thailand. In Thanvarachorn, P., Hokjaroen, S. and Youngme, W. (eds.). Proceedings of the Geology and Mineral Resource Development of Northeastern Thailand, Khon Kaen University, Thailand: p. 41-55.

- Wonganan, N. and Caridroit, M. (2006). Middle to Upper Permian radiolarian faunas from chert blocks in Pai area, northwestern Thailand. Eclogae Geologicae Helvetiae. 99: p. 133-139.
- Weyl P. K. (1960). Porosity through dolomitization: Conservation of mass requirements. Journal of Sedimentary Research, March 1, vol. 30 no. 1: p. 85-90.



ประวัติผู้วิจัย

นายอัมพรรค วรรณโกมล เกิดเมื่อวันที่ 30 กันยายน 2515 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษา
ชั้นปริญญาตรีสาขาธรณีวิทยา จากภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ชั้น
ปริญญาโทสาขาวิศวกรรมปิโตรเลียม จากภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย และชั้นปริญญาเอก สาขาธรณีวิทยา จากภาควิชาธรณีวิทยา มหาวิทยาลัย Free
University ประเทศสหพันธ์รัฐเยอรมัน ปัจจุบันเป็นอาจารย์และเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ในสาขาวิชา
วิศวกรรมปิโตรเลียม ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา

