



รายงานการวิจัย

การศึกษาสภาพแวดล้อมบรรพกาลของชั้นหินปูน-bituminous และหินดินดานสีดำ

ยุคเพอร์เมียน บริเวณเขาลูกไกลน จังหวัดนครสวรรค์

Paleoenvironment of the Permian bituminous limestones and

black shales at Khao Luk Klon, Nakhon Sawan province

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การศึกษาสภาพแวดล้อมบรรพกาลของชั้นหินปูน-bituminous และหินดินดานสีดำ

ยุคเพอร์เมียน บริเวณเขาลูกโกลน จังหวัดนครสวรรค์

Paleoenvironment of the Permian bituminous limestones and
black shales at Khao Luk Klon, Nakhon Sawan province

ผู้วิจัย

อาจารย์ ดร.อานิสงส์ จิตนารินทร์

สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ.2555

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

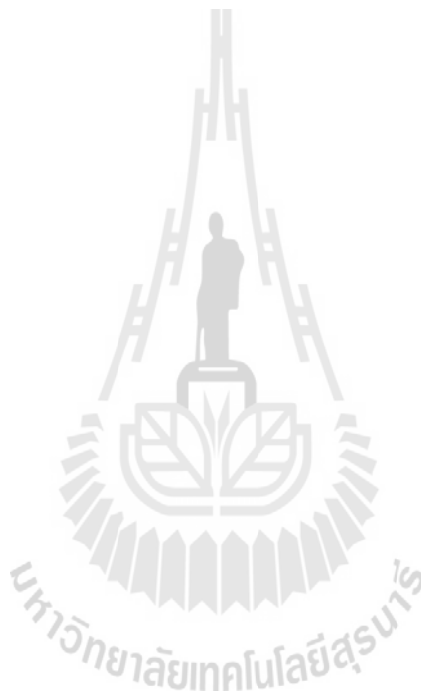
ตุลาคม 2558

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 ซึ่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์อุปถัมภ์การทดสอบและเครื่องมือ วิทยาศาสตร์ ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้วิจัย

ตุลาคม 2558



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพแวดล้อมของการสะสมตัวของชั้นหินปูนและหินดินดานสีด้ายยุคเพอร์เมียนตอนกลาง บริเวณเขาลูกโกลน อำเภอตากลี จังหวัดนครสวรรค์ โดยวิเคราะห์จากกลุ่มซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดซึ่งแยกออกมาจากหินปูน โดยออสตราคอดระดับเหนือวงศ์ Bairdioidea ระดับวงศ์ Pachydomellidae และ Cytherideidae บ่งชี้สภาพแวดล้อมบริเวณต่ำกว่าระดับน้ำขึ้นน้ำลง ในเขตทะเลเปิด บนไหล่ทวีป ห่างจากชายฝั่งและมีพื้นตะกอนอ่อนนุ่ม ลักษณะเนื้อหินปูนซึ่งเป็น mudstone-wackestone ตามการจำแนกของ Dunham (1962) และ biomicrite ถึง packed biomicrite ตามการจำแนกของ Folk (1959; 1962) จัดอยู่ในชุดลักษณะ SMF8 (wackestones and floatstones with whole fossils and well preserved infauna and epifauna) ซึ่งสะสมตัวอยู่ใน Standard Facies Zone (FZ) 7 (Flügel, 2004) บางช่วงของการสะสมตัว ระดับน้ำทะเลเปลี่ยนเป็นตื้นขึ้น และมีปริมาณตะกอนจากฝั่งมากขึ้น มีการปรากฏของออสตราคอดระดับเหนือวงศ์ Kirkbyoidea Kloedenelloidea และ Hollinoidea ซึ่งพบใน sub-unit A และ sub-unit C ของหน่วยหินปูนสลับหินดินดาน (Unit Lst/Sh)

หินปูนตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์เคมีไม่เหมาะสมเป็นหินต้นกำเนิดปิโตรเลียม เนื่องจากมีคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในปริมาณน้อย ส่วนใหญ่เป็น kerogen type II I และ IV (ร้อยละ 85 10 และ 5 ตามลำดับ) บ่งบอกถึงต้นกำเนิดเป็นพืชชั้นสูงจากแผ่นดินเป็นส่วนใหญ่ บางส่วนจากสาหร่ายและแพลงตอนในน้ำจืดและทะเล หินดินดานสีดำที่นำไปวิเคราะห์เคมีมีศักยภาพเป็นหินต้นกำเนิดปิโตรเลียมระดับปานกลาง มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด 2.18% ของน้ำหนัก มีศักยภาพในการให้ปิโตรเลียม 0.14 mg/gm rock ค่า Hydrogen Index (HI) เท่ากับ 4 และ Oxygen Index (OI) เท่ากับ 23 อุณหภูมิสูงสุดในการให้สารปิโตรเลียม ที่ 350°C มีชนิดของ kerogen เป็น type II I และ IV (ร้อยละ 72 20 และ 8 ตามลำดับ) บ่งบอกต้นกำเนิดเป็นพืชชั้นสูงจากแผ่นดินเป็นส่วนใหญ่ บางส่วนจากสาหร่ายและแพลงตอนในน้ำจืดและน้ำทะเล และพบร่องรอยของสปอร์ของพืช สามารถให้น้ำมัน โดยมีค่า Percentage of light reflected in oil (Ro) เท่ากับ 1.66 บ่งชี้ว่ามีความพร้อมระดับสูงในการให้ปิโตรเลียม

Abstract

The objective of this study is to interpret environment of deposition of the Middle Permian limestone and black shale at Khao Luk Klon section, Nakhon Sawan province by analyzing ostracod assemblage which were disaggregated from the limestone. The ostracod assemblage dominated by members of Superfamily Bairdioidea and Families Pachydomellidae and Cytherideidae suggests subtidal, open marine environment, on the continental shelf, slightly offshore, and on the soft carbonate substrate. The mudstone to wackestone (Dunham, 1962) also called biomicrite to packed biomicrite (Folk, 1959; 1962) were classified to Standard Microfacies (SMF) 8 which were deposited in Standard Facies Zone (FZ) 7 (Flügel, 2004). Within the Limestone intercalated with Shale Unit (Lst/Sh Unit), the sub-units A and C show the shallower environment with more detritus sediments. The ostracod assemblage is dominated by members of Superfamilies Kirkbyoidea, Kloedenelloidea and Hollinoidea.

The geochemical results of the limestone sample show that the rock contain low volume of total organic carbon (TOC), thus; it is not suitable for petroleum source rock. The kerogen types belong to type II, I and IV (85, 10 and 5 percentage, respectively) which indicate origin of mostly terrestrial plants and less marine-fresh water algae and planktons. In contrast, the black shale has moderate potential for petroleum source rock. The total organic carbon is 2.18 weight percent, potentially yields petroleum at 0.14 mg/gm rock, Hydrogen Index (HI) is 4, Oxygen Index (OI) is 23, the temperature of maximum (S_2) is 350°C. Kerogen types belong to type II, I and IV (72, 20 and 8, respectively) which indicate origin of mostly terrestrial plants and less marine-fresh water algae and planktons, trace of spores is also detected. The source rock is likely to produce oil, the percentage of light reflected in oil (R_o) is 1.66, suggest high maturity condition.

สารบัญ

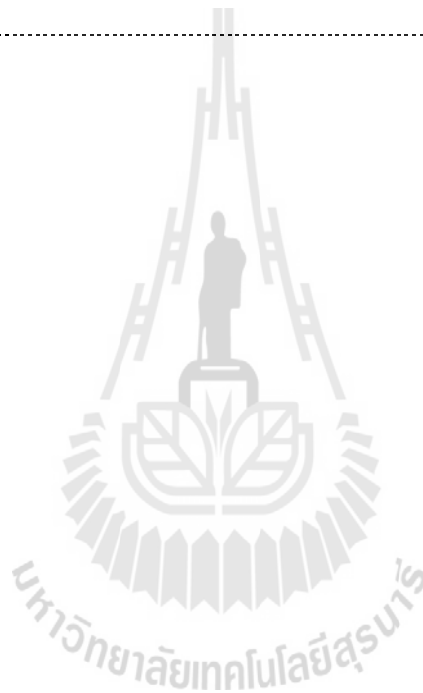
	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ.....	ข
Abstract.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	1
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย	
2.1 การทบทวนวรรณกรรมวิจัย.....	4
2.1.1 หินปูนยุคเพอร์เมียนในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย.....	4
2.1.2 เพอร์เมียนออสตราคอดและสภาพแวดล้อมบรรพกาลยุคเพอร์เมียน.....	9
2.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	13
2.2.1 พื้นที่ศึกษาและการเข้าถึงพื้นที่.....	13
2.2.2 ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา.....	14
2.2.3 การเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่างหิน.....	17
2.2.4 การเตรียมตัวอย่างออสตราคอด.....	18
2.3 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล.....	19
2.3.1 การจำแนกออสตราคอด.....	19
2.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะสภาพแวดล้อมโดยใช้กลุ่มออสตราคอด.....	19
2.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อหิน.....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบธรณีเคมีปิโตรเลียม.....	22
บทที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
3.1 การจำแนกออสตราคอด.....	26
3.2 การวิเคราะห์ลักษณะสภาพแวดล้อมโดยใช้กลุ่มออสตราคอด.....	30
3.3 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อหิน.....	33
3.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบธรณีเคมีปิโตรเลียม.....	35
3.4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC) ด้วยเครื่อง Rock-Eval pyrolysis.....	35
3.4.2 การหาชนิดของเคอโรเจน (kerogen type).....	35
3.4.3 การวิเคราะห์ค่า Vitrinite Reflectance).....	36
บทที่ 4 สรุปผลการศึกษา	
4.1 สภาพแวดล้อมบรรพกาลบริเวณเขาลูกโกลน จังหวัดนครสวรรค์.....	37
4.2 ศักยภาพในการเป็นหินต้นกำเนิด ชนิดของสารอินทรีย์ ระดับความพร้อมในการให้ปิโตรเลียมของหินปูนบิโทมินัส และหินดินดานสีดำ บริเวณเขาลูกโกลน อำเภอดงเจริญ จังหวัดนครสวรรค์.....	38
4.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต.....	38
บรรณานุกรม	40
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	ก-1
ภาคผนวก ข.....	ข-1
ประวัตินักวิจัย	47

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การจำแนกกลุ่มออสตราคอดที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้.....	20
2.2	เกณฑ์การประเมินหินต้นกำเนิดปิโตรเลียม.....	24
2.3	ชนิดของเคอโรเจน.....	24
2.4	Vitrinite reflectance และระดับความพร้อมในการให้ปิโตรเลียม.....	25
3.1	ความหลากหลายของออสตราคอดจากหน้าตัดหินที่ศึกษาในระดับเหนือวงค์ และ/ หรือระดับวงค์.....	31



สารบัญรูปร่าง

รูปที่	หน้า
2.1 การแบ่งขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐานและสภาพภูมิศาสตร์บรรพกาลยุคเพอร์เมียน ของประเทศไทย.....	6
2.2 การแบ่งเขตสิ่งมีชีวิต (พืชและสัตว์) ในมหายุคพาลีโอโซอิกและมีโซโซอิก และ ความคล้ายคลึงของพืชและสัตว์เทียบกับเวลาทางธรณีกาลในเขตเอเชียตะวันออกเฉียง.....	7
2.3 อวัยวะภายในและลักษณะเปลือกหุ้มของออสตราคอด.....	10
2.4 แผนที่ธรณีวิทยาแสดงตำแหน่งหน้าตัดหินเขาลูกโกลน อำเภอตากถ้ำ จังหวัดนครสวรรค์ (รูปดาว) และการกระจายตัวของหินบริเวณพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียง.....	13
2.5 แผนที่ภูมิประเทศแสดงลักษณะภูมิประเทศของหน้าตัดหินเขาลูกโกลนและ บริเวณใกล้เคียง.....	14
2.6 หน้าตัดหินเขาลูกโกลน.....	16
2.7 แท่งลำดับชั้นหินบริเวณหน้าตัดหินเขาลูกโกลน.....	16
2.8 วิธีฮือทอะซีโตไลซิส.....	18
2.9 การจำแนกหินปูนที่มีซากดึกดำบรรพ์ตามรูปแบบของ Dunham (1962) และ Folk (1959, 1962).....	23
3.1 ความหลากหลายของออสตราคอดในระดับเหนือวงศ์ และ/หรือระดับวงศ์ จากหน้าตัดหินที่ศึกษา.....	31
3.2 ตัวอย่างหินปูนเนื้อดินของหน่วยหิน Lst/Sh.....	33
3.3 ภาพถ่ายแผ่นหินบางจากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิ่ง.....	34
3.4 Rimmed carbonate platform: การจำแนก standard facies zone.....	35

บทที่ 1

บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

หินปูนและหินดินดานยุคเพอร์เมียน ของกลุ่มหินสระบุรี (Saraburi Group) ซึ่งมีศักยภาพเป็นหิน กักเก็บและหินต้นกำเนิดปิโตรเลียมในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ส่วนใหญ่วางตัวอยู่ใต้ ชั้นหินตะกอนของกลุ่มหินโคราช (Khorat Group) และบางส่วนโผล่ให้เห็นบริเวณขอบด้านตะวันตกของที่ราบสูงโคราช รวมถึงบริเวณภาคกลางของประเทศ ข้อมูลธรณีวิทยาของระบบปิโตรเลียมในภูมิภาคนี้ส่วนใหญ่ได้มาจากการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ การหยั่งธรณีและการแปลความหมาย โดยมักเน้นไปที่หินกักเก็บ และโครงสร้างหินกักเก็บ แต่ยังไม่ได้นับด้านการศึกษาหินต้นกำเนิดปิโตรเลียม ในขณะที่การศึกษาหินต้นกำเนิดปิโตรเลียมบนพื้นผิวมีน้อยเนื่องจากมีโอกาสพบชั้นหินโผล่ได้ไม่มากนัก อย่างไรก็ตาม จากการสำรวจภาคสนามบริเวณอำเภอตากลี จังหวัดนครสวรรค์ พบว่ามีหินโผล่ของหินยุคเพอร์เมียนที่แสดงชุดแทรกสลับของหินปูนบิทูมินัสและหินดินดานสีดำที่อุดมไปด้วยอินทรีย์สาร ซึ่งเป็นลักษณะเหมาะสมที่จะเป็นหินต้นกำเนิดปิโตรเลียม โผล่ให้เห็นอย่างชัดเจน การวิจัยในครั้งนี้จะทำการศึกษาลักษณะเนื้อหินและการลำดับชั้นหิน และศึกษาสภาพแวดล้อมของการสะสมตัวของชั้นหินบริเวณหน้าตัดหินดังกล่าว โดยวิเคราะห์จากกลุ่มซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอด (อาร์โทรพอดขนาดเล็ก) ที่แยกออกมาได้จากหินปูน ซึ่งจะช่วยให้เข้าใจถึงสภาพแวดล้อมการสะสมตัวของตะกอนที่มีปริมาณสารอินทรีย์มากในช่วงเวลานั้น ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้จะสามารถใช้ในการเทียบสัมพันธ์กับชั้นหินยุคเพอร์เมียนของระบบปิโตรเลียมที่วางตัวอยู่ใต้กลุ่มหินโคราชในภูมิภาคนี้ได้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาสภาพแวดล้อมของการสะสมตัวของชั้นหินปูนบิทูมินัสและหินดินดานสีดำ บริเวณเขาลูกโกลน อำเภอตากลี จังหวัดนครสวรรค์ โดยวิเคราะห์จากกลุ่มซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดซึ่งแยกออกมาจากหินปูน

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ทำการศึกษาลักษณะเนื้อหินและการลำดับชั้นหิน บริเวณเขาลูกโกลน อำเภอตากลี จังหวัดนครสวรรค์

2. เก็บตัวอย่างหินปูนเพื่อนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ

3. แยกซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอด ออกจากตัวอย่างหินปูนด้วยสารเคมี และใช้กลุ่มซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ สภาพแวดล้อมของการตกสะสมตะกอนของชั้นหินที่ศึกษา

4. วิธีการดำเนินการวิจัยและสถานที่ทำการทดลองและเก็บข้อมูล

งานวิจัยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอนดังนี้

4.1 การค้นคว้าและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประกอบด้วยการศึกษาและค้นคว้าวารสารวิชาการ รายงานการสำรวจและสิ่งตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยจัดแบ่งออกเป็น 3 ประเด็น คือ 1) ธรณีวิทยาของพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ การจัดแบ่งหมวดหิน การลำดับชั้นหิน โครงสร้างทางธรณีวิทยาและซากบรรพชีวินที่พบในพื้นที่ 2) การลำดับชั้นหินและตะกอนวิทยาของหินคาร์บอนेट 3) การศึกษาออสตราคอดยุคเพอร์เมียน การกระจายตัว การค้นพบ การจำแนกและความสัมพันธ์ของซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดกับสภาพแวดล้อมบรรพกาลโดยทุกประเด็นจะนำมาศึกษาหาข้อสรุปเพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัย และรวบรวมเป็นบรรณานุกรม

4.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลในภาคสนาม

การสำรวจพื้นที่ศึกษาและเก็บข้อมูลภาคสนาม ได้ดำเนินการบริเวณหน้าตัดหินบริเวณเขาลูกโกลน ซึ่งตั้งอยู่ด้านทิศตะวันออกของอำเภอตากลี จังหวัดนครสวรรค์ (รายละเอียดในบทที่ 2) เพื่อเก็บข้อมูลชนิดหิน ลักษณะทางตะกอนวิทยา โครงสร้างทางธรณีวิทยา การลำดับชั้นหิน และเก็บตัวอย่างหินปูนสำหรับสกัดแยกซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอด

4.3 การศึกษาในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างหินที่เก็บมาจากการสำรวจขั้นต้นจะนำมาศึกษาในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

1. ศึกษาลักษณะเนื้อหินและองค์ประกอบ โดยบันทึกลักษณะหิน เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ชุดลักษณะ และเพื่อหาความสัมพันธ์ของชุดลักษณะกับกลุ่มซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอด

2. แยกซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดออกจากหินตัวอย่างหินปูน ด้วยเทคนิคฮ็อทอะซิโตไลซิส (Hot Acetolysis) (Lethier and Crasquin-Soleau, 1988; Crasquin-Soleau et al., 2005) รายละเอียดอยู่ในบทที่ 2

3. เศษหินตัวอย่างที่ได้จากการแยกด้วยกรดอะซิติก จะถูกคัดแยกภายใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (stereomicroscope) และใช้เข็มหยิบซากบรรพชีวินออกมาเก็บไว้ เพื่อนำไปเตรียมถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยขั้นตอนที่ 1-3 ทำในห้องปฏิบัติการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4. ตัวอย่างหินปูนและหินดินดานถูกส่งไปวิเคราะห์เคมี ในห้องปฏิบัติการ Core Laboratories ประเทศอินโดนีเซีย

4.4 การวิเคราะห์ผล

ภาพถ่ายออสตราคอดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะถูกนำมาใช้ในการจำแนกชนิดเพื่อวิเคราะห์กลุ่มซากดึกดำบรรพ์และความหลากหลายของออสตราคอด จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลได้ 2 ส่วน คือ

1) สภาพนิเวศวิทยาบรรพกาลของหน้าตัดหินที่ศึกษาวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบความหลากหลายของออสตราคอดในระดับ Families/Superfamilies (Melnyk and Maddocks, 1988; Peterson and Kaesler, 1980; Costanzo and Kaesler, 1987; Crasquin et al., 2010)

2) สภาพแวดล้อมบรรพกาลของหน้าตัดหินที่ศึกษา โดยเปรียบเทียบสภาพนิเวศโบราณจากการวิเคราะห์กลุ่มออสตราคอดลักษณะทางตะกอนวิทยาและผลการวิเคราะห์เคมี

4.5 การสรุปผลและเขียนรายงาน

แนวคิด ขั้นตอนโดยละเอียด การวิเคราะห์ผลที่ได้จากการศึกษาทั้งหมด และข้อสรุปจะนำเสนอโดยละเอียดในรายงานฉบับสมบูรณ์ เพื่อที่จะส่งมอบเมื่อเสร็จโครงการ

5. ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

ผลจากการวิจัยจะเป็นข้อมูลด้านธรณีวิทยาและธรณีวิทยาประยุกต์ ซึ่งเป็นข้อมูลใหม่ที่จะเติมเต็มทั้งในส่วนของธรณีวิทยาและจุลบรรพชีวินวิทยาของประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้เข้าใจลักษณะหิน การลำดับชั้นหินและสภาพแวดล้อมของการสะสมตัว ของหินที่อาจเป็นหินต้นกำเนิดปิโตรเลียมยุคเพอร์เมียนในภูมิภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งอาจใช้เทียบเคียงกับระบบปิโตรเลียมในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้ ข้อมูลซากบรรพชีวินออสตราคอดซึ่งพบในชั้นหินที่ศึกษาสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการเทียบสัมพันธ์ ซึ่งใช้ได้ทั้งกับหินโผล่และตัวอย่างหินจากหลุมเจาะสำรวจ

บทที่ 2

วิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาสภาพแวดล้อมบรรพกาลของชั้นหินปูนบิทุมินัสและหินดินดานสีดำยุคเพอร์เมียน บริเวณเขาลูกโกลน จังหวัดนครสวรรค์ มีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 1) การทบทวนวรรณกรรมวิจัย 2) การสำรวจภาคสนามเพื่อเก็บข้อมูลธรณีวิทยาและตัวอย่างหิน 3) การเตรียมตัวอย่างออสตราคอด 4) การจำแนกออสตราคอดและวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของการสะสมตัว 5) การสรุปผลการศึกษา ซึ่งรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนได้นำเสนอไว้ในบทนี้

2.1 การทบทวนวรรณกรรมวิจัย

งานวิจัยนี้จะต้องอาศัยองค์ความรู้ด้านธรณีวิทยาของประเทศไทย โดยเฉพาะหินยุคเพอร์เมียนที่โผล่บริเวณพื้นที่ศึกษาและพื้นที่ใกล้เคียง ความรู้ด้านบรรพชีวินวิทยายุคเพอร์เมียน โดยเฉพาะสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังกลุ่มออสตราคอด และการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมบรรพกาล ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลจากบทความทางวิชาการ หนังสือและเอกสารเผยแพร่ที่เกี่ยวข้องกับประเด็นที่กล่าวข้างต้น และสรุปได้ดังนี้

2.1.1 หินปูนยุคเพอร์เมียนในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย

ในประเทศไทยมีหินตะกอนยุคเพอร์เมียนโผล่ให้เห็นเกือบทุกภาคของประเทศ แต่ยกเว้นบนที่ราบสูงโคราช (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) โดยส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นหินคาร์บอเนต (carbonate rocks) ได้แก่หินปูนและหินปูนโดโลไมต์ บางส่วนเป็นหินตะกอนเนื้อเม็ดที่มี (siliciclastic rocks) และหินตะกอนภูเขาไฟ (volcanic-clastic rocks) ทั้งนี้หินปูนมักโผล่เป็นภูเขาสูง แสดงลักษณะภูมิประเทศแบบคาสต์ (karst) ในทางกลับกัน บนที่ราบสูงโคราช (Khorat Plateau) หินยุคเพอร์เมียนถูกปิดทับโดยกลุ่มโคราช ซึ่งเป็นหินตะกอนอายุอ่อนกว่าและมีความหนาถึงประมาณ 4,000 เมตร ข้อมูลของหินยุคเพอร์เมียนบนที่ราบสูงโคราชได้มาจากการสำรวจแหล่งปิโตรเลียมด้วยวิธีต่างๆ อาทิ การสำรวจโดยใช้คลื่นไหวสะเทือน การหยั่งธรณี และการเจาะสำรวจลงไปในพื้นที่ซึ่งพบว่าหินยุคเพอร์เมียนที่อยู่ด้านล่างมีศักยภาพเป็นแหล่งกักเก็บปิโตรเลียมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (Chantong, 2007)

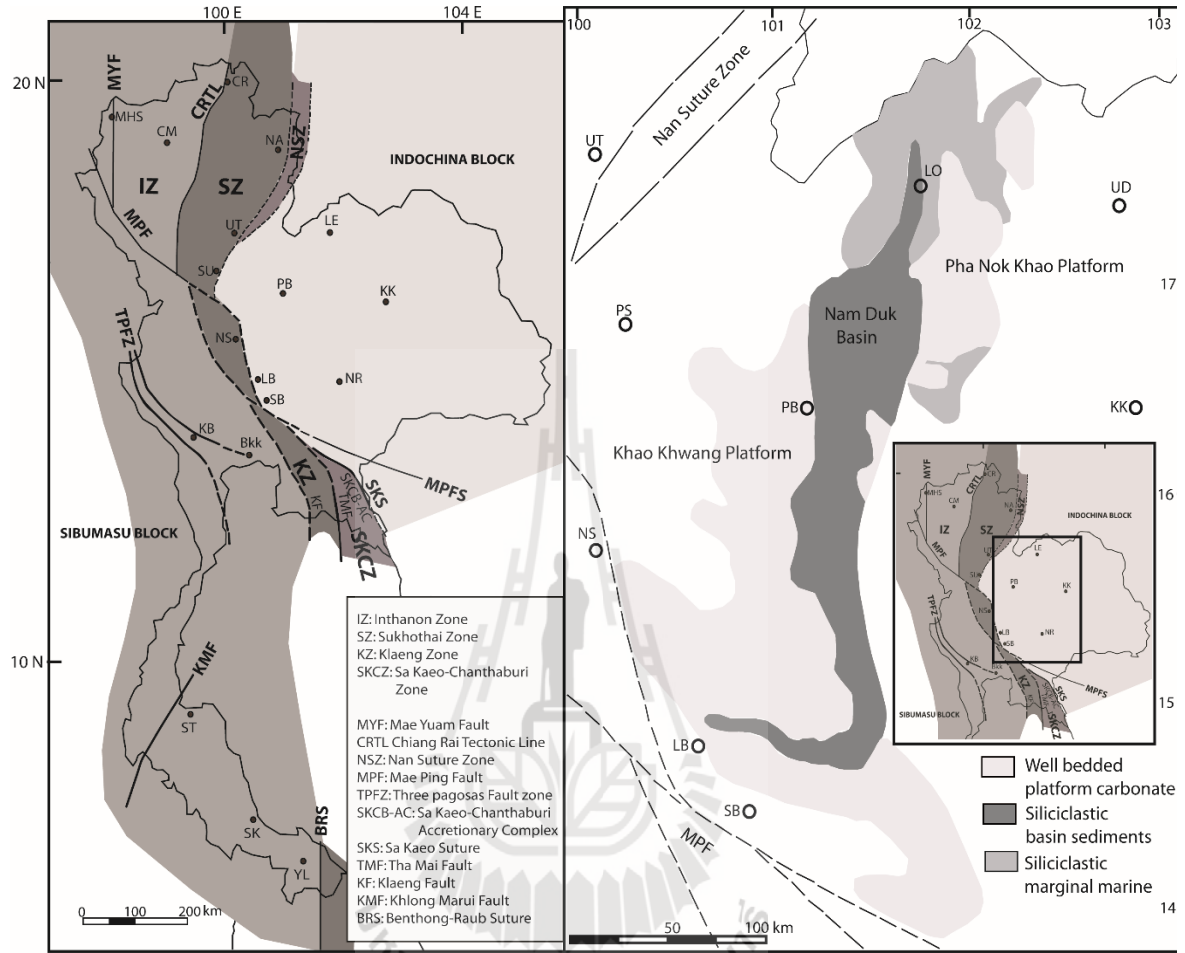
หินยุคเพอร์เมียนในประเทศไทยถูกสำรวจเป็นครั้งแรกบริเวณภาคตะวันตกของประเทศ และถูกตั้งชื่อเป็นครั้งแรกว่ากลุ่มหินราชบุรี (Ratburi Group) (Javanaphet, 1969) ซึ่งพบว่า

ประกอบด้วยชั้นหินปูนหนา เรียกว่าหินปูนราชบุรี ในสมัยนั้นจึงนิยมเรียกหินปูนยุคเพอร์เมียนที่พบในพื้นที่อื่นๆ ของประเทศว่าหินปูนราชบุรีด้วยเช่นกัน แต่ต่อมาเมื่อมีการสำรวจธรณีวิทยาเพิ่มขึ้นในหลายพื้นที่ทั่วประเทศ (Chareonprawat and Wongwanich, 1976; Nakornsri 1977; 1981; Chonglakmani and Sattayalak 1979; Bunopas, 1981; 1992; Hinthong, 1981; Hinthong *et al.*, 1985) พบว่าหินปูนยุคเพอร์เมียนในแต่ละภูมิภาคมีลักษณะหินและการลำดับชั้นหินแตกต่างกัน จึงมีการจัดแบ่งออกเป็นอีกหลายหมวดหินและกลุ่มหิน (DMR, 1992; กรมทรัพยากรธรณี, 2550)

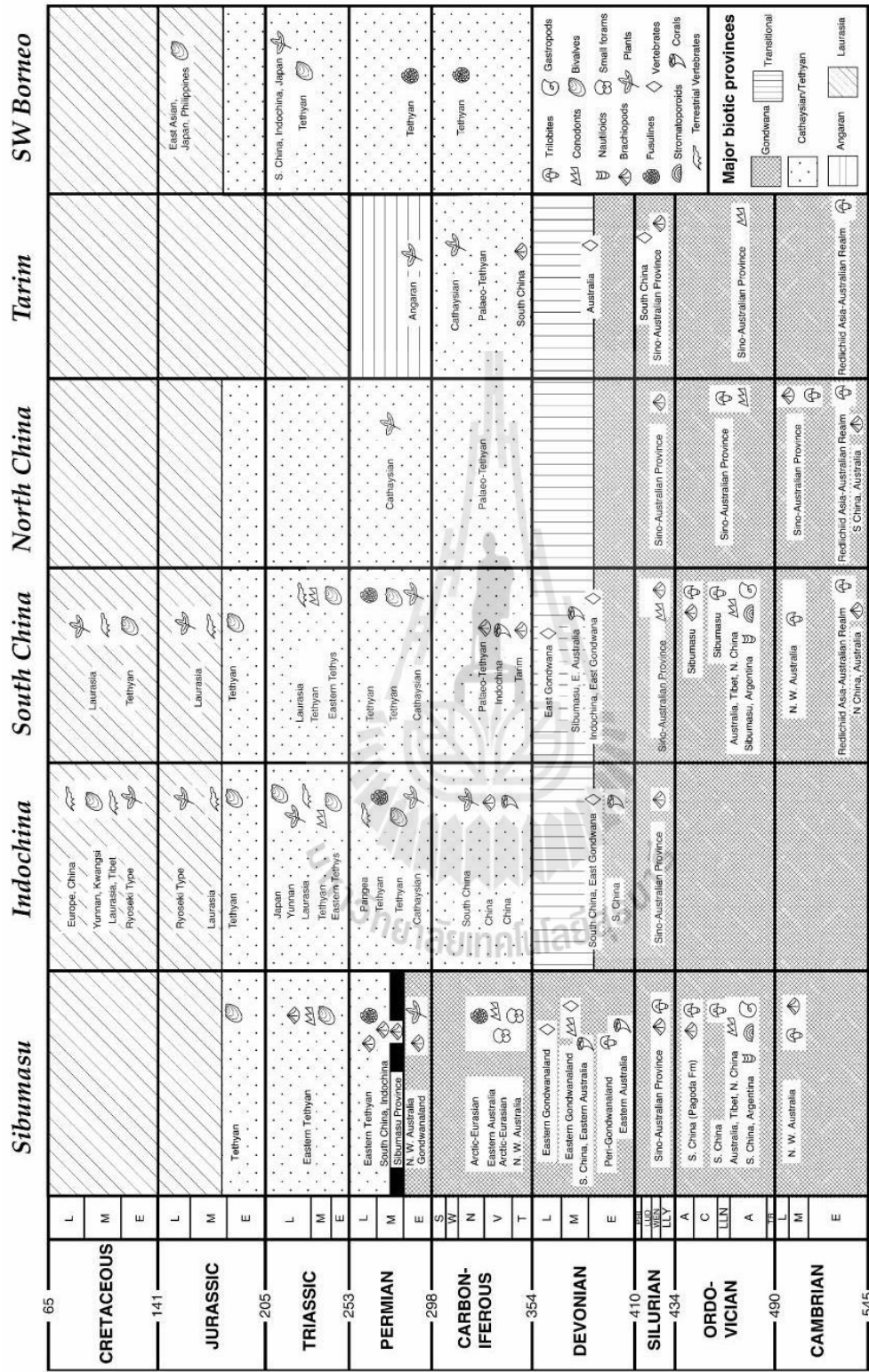
Ueno and Charoentitirat (2011) วิเคราะห์ลักษณะและการลำดับชั้นหินช่วงปลายมหายุคพาลีโอโซอิก (Late Paleozoic) ของประเทศไทย และแบ่งขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐาน (Geotectonic Units) ออกเป็นสามหน่วย จากตะวันตกไปตะวันออก ได้แก่ Sibumasu Block, Sukhothai Zone และ Indochina Block (รูปที่ 2.1) โดยหินยุคคาร์บอนิเฟอรัสและเพอร์เมียนของขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐานจะมีลักษณะหิน การลำดับชั้นหิน ซากดึกดำบรรพ์ สภาพแวดล้อมของการสะสมตัวและสภาพภูมิศาสตร์บรรพกาลที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มลักษณะตะกอน (five tectono-sedimentary domains) ได้แก่ Sibumasu, Paleotethyan, Sukhothai Arc, Nan Back-arc Basin และ Indochina domains ทั้งนี้ หินยุคเพอร์เมียนที่ไพล์บริเวณภาคกลางและขอบด้านตะวันตกของที่ราบสูงโคราชจัดอยู่ในกลุ่ม Indochina domain โดยหินในกลุ่มนี้ประกอบด้วยหินปูน หินดินดานและหินทราย ที่สะสมตัวในทะเล ภายใต้สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ และมีความเห็นตรงกับผลการศึกษาของ Wielchowsky and Young (1985) ซึ่งแบ่งสภาพภูมิศาสตร์บรรพกาลในช่วงยุคเพอร์เมียนตอนต้นและตอนกลางของพื้นที่นี้ออกเป็นสามส่วน คือ ลานเขาขวาง (Khao khwang Platform) ทางด้านตะวันตก ครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่จังหวัดสระบุรี ลพบุรี นครสวรรค์และเพชรบูรณ์ หินส่วนใหญ่ที่พบเป็นหินปูนที่แสดงชั้นถึงชั้นหนามาก หินดินดานและหินทรายและลานผานกเค้า (Pha Nok Khao Platform) ทางด้านตะวันออก ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดเลย ขอนแก่นและเพชรบูรณ์ หินที่พบเป็นหินปูนที่แสดงชั้นถึงชั้นหนามาก หินดินดานและหินทรายที่บ่งบอกถึงการสะสมตัวในเขตทะเลตื้นและพื้นที่บริเวณรอยต่อระหว่างชายฝั่งและทะเล (siliciclastic marginal marine) โดยมีแอ่งน้ำดุก (Nam Duk Basin) ซึ่งพบหินดินดาน หินทราย หินปูนชั้นบาง ที่แสดงลักษณะการสะสมตัวในน้ำลึกกว่า (siliciclastic basin sediment) คั่นอยู่ตรงกลางระหว่างลานทั้งสอง ซึ่งครอบคลุมพื้นที่จังหวัดเลย เพชรบูรณ์ ลพบุรีและสระบุรี (รูปที่ 2.1)

ลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของหินปูนใน Indochina domain คือ ในเนื้อหินปูนพบว่ามีซากดึกดำบรรพ์จำนวนมากและหลากหลายชนิดกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับหินในยุคเดียวกันที่พบทางตะวันตกของประเทศ (หินปูนราชบุรี) และกลุ่มซากดึกดำบรรพ์ที่พบมีความคล้ายคลึงกับซากดึกดำบรรพ์ที่

พบทางตอนใต้ของประเทศจีนและที่พบในทะเลที่สโบริราณ กล่าวคือ กลุ่มสิ่งมีชีวิตที่พบนับจัดเป็นกลุ่ม South China fauna และ Tethyan fauna ตามการศึกษาของ Metcalfe (2002; 2011) (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.1 การแบ่งขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐานและสภาพภูมิศาสตร์บรรพกาลยุคเพอร์เมียนของประเทศไทย [ซ้าย แสดงการแบ่งขอบเขตธรณีวิทยาแปรสัณฐาน (Geotectonic Units) ออกเป็นสามหน่วย จากตะวันตกไปตะวันออก ได้แก่ Sibumasu Block, Sukhothai Zone และ Indochina Block-ขวาแสดงสภาพภูมิศาสตร์บรรพกาลยุคเพอร์เมียนตอนต้นถึงตอนกลางบริเวณภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดย CR-เชียงราย, MHS-แม่ฮ่องสอน, CM-เชียงใหม่, NA-น่าน, UT-อุตรดิตถ์, SU-สุโขทัย, LE-เลย, PB- เพชรบูรณ์, KK-ขอนแก่น, NS-นครสวรรค์, LB-ลพบุรี, SB-สระบุรี, NR-นครราชสีมา, KB-กาญจนบุรี, Bkk-กรุงเทพ, ST-สุราษฎร์ธานี, SK-สงขลา, YL-ยะลา] (ดัดแปลงจาก Wielchowsky and Young, 1985 และ Ueno and Chareontitirat, 2011)



รูปที่ 2.2 การแบ่งเขตสิ่งมีชีวิต (พืชและสัตว์) ในมหาสมุทรแปซิฟิกและสัตว์ที่เทียบกับเวลาทางธรณีภาคในเขตเอเชียตะวันออก (Metcalf, 2002)

สำหรับพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย Nakornsri (1976, 1981) ได้ทำการสำรวจธรณีวิทยา ดังปรากฏในแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 250,000 ระบุว่า ND47-4 บ้านหมี่ และได้ตั้งชื่อหินยุคเพอร์เมียนที่โพลีให้เห็นในเขตจังหวัดนครสวรรค์และเพชรบูรณ์ว่าหมวดหินตากฟ้า (Tak Fa formation) ซึ่งมีลักษณะคือเป็น หินปูนแสดงชั้นดีและมีหินทรายและหินดินดานบางส่วน ทั้งนี้ หมวดหินตากฟ้าสามารถเทียบสัมพันธ์ทางลักษณะหินได้กับหมวดหินเขาขวาง (Khao Khwang formation) ที่โพลีในจังหวัดสระบุรี (Hinthong, 1981)

นอกจากนี้ยังมีการค้นพบซากดึกดำบรรพ์หลายชนิดจากหินปูนหมวดหินตากฟ้า ได้แก่ ฟอสซิลชนิด ปะการัง โคนดอนต์ แบรคิโอพอด ไบรโอซัว สาหร่ายและออสตราคอด (อาทิ Dawson and Racey, 1993; Fontaine *et al.*, 2005; Metclafe and Sone, 2008; Chitnarin *et al.*, 2008; 2011; 2012; Sone *et al.*, 2009; Udchachon *et al.*, 2014) โดยอายุของหมวดหินตากฟ้าซึ่งเทียบจากซากฟอสซิลชนิดบ่งบอกปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัส (late Gzhelian) ถึงตอนกลางของยุคเพอร์เมียน (late Murgabian or early Midian) (Dawson and Racey, 1993; Fontaine *et al.*, 2005; Sone *et al.*, 2009; Ueno and Chareontitirat, 2011) อย่างไรก็ตามกรมทรัพยากรธรณีได้กำหนดอายุหมวดหินตากฟ้าเป็นช่วงปลายยุคเพอร์เมียนตอนต้น ระหว่าง Artinskian to Kungurian (DMR, 2013)

สันต์ อัครพัชระ (พ.ศ.2546) ทำการสำรวจธรณีวิทยาพื้นที่ระหว่างอำเภอตากฟ้า (5039 I) ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดนครสวรรค์ พบว่ามีหินยุคเพอร์เมียนปรากฏเป็นภูเขาสูงส่วนใหญ่เป็นหินคาร์บอนेटที่แสดงลักษณะภูมิประเทศแบบคาสต์ หินเหล่านี้จัดอยู่ในหมวดหินตากฟ้า ประกอบไปด้วยหินปูน หินอ่อน หินปูนโดโลมิติกและหินโดโลไมต์ มีชั้นหินดินดานและหินทรายแปงแทรกสลับในชั้นหินปูน โดยหินปูนและโดโลไมต์ส่วนใหญ่มีกระเปาะหินเชิร์ตฝังอยู่ทั่วไป มีการวางตัวจากด้านล่างขึ้นด้านบน ดังนี้

- หน่วยหินโดโลไมต์ ประกอบด้วย หินโดโลไมต์ หินปูนเนื้อโดโลมิติก ชั้นบางถึงชั้นหนา มีกระเปาะหินเชิร์ต พบซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลชนิด

- หน่วยหินปูนสีเทาเข้มถึงสีดำ แสดงชั้นปานกลางถึงชั้นหนา มีหินปูนเนื้อดิน และหินดินดานแถบชั้นบางแทรกสลับบ้าง มีหินเชิร์ตน้อย พบซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลชนิด แบรคิโอพอด ไบรโอซัว ปะการัง ฟองน้ำ ไคร์นอยด์และสาหร่าย

- หน่วยหินปูนและหินอ่อน สีเทาดำ เทาเข้ม ถึงเทาอ่อน แสดงชั้นหนา มีกระเปาะหินเชิร์ต ซากดึกดำบรรพ์ประกอบด้วยฟอสซิลชนิดและฟอแรมขนาดเล็ก

- หน่วยหินอ่อน สีเทาอ่อนถึงสีขาว แสดงชั้นหนาถึงหนามาก และมีกระเปาะหินเชิร์ต ซากดึกดำบรรพ์ที่พบในหินปูนแสดงถึงการสะสมตัวในทะเล โดยบ่งบอกอายุระหว่างปลายยุคเพอร์เมียนตอนต้นถึงปลายยุคเพอร์เมียนตอนกลาง (Artinskian-Murgabian)

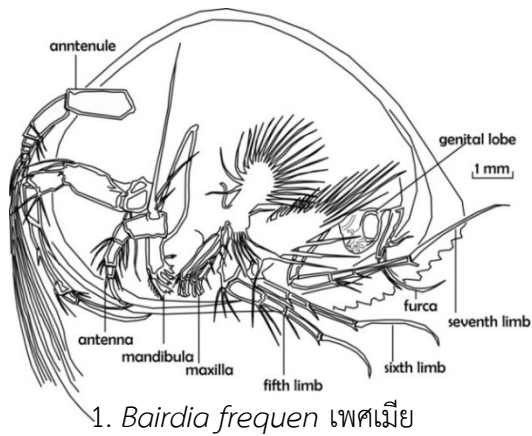
2.2.2 เพอร์เมียนออสตราคอดและสภาพแวดล้อมบรรพกาลยุคเพอร์เมียน

1) ชีวิตวิทยาออสตราคอด

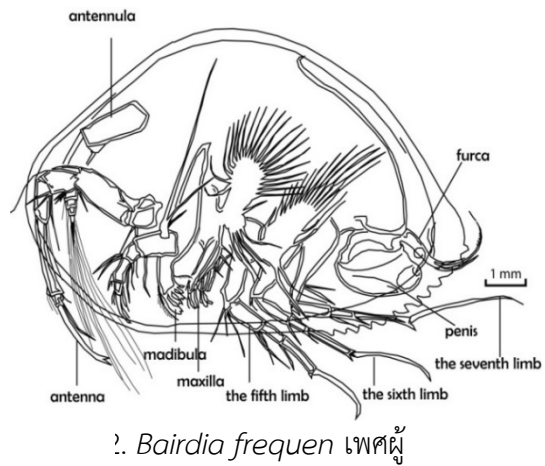
ออสตราคอด (ostracod) เป็นสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีกระดูกสันหลังในไฟลัมอาร์โทรพอด (Arthropoda) มีลักษณะเด่นคือ ส่วนหัวและส่วนลำตัวเชื่อมติดกัน ห่อหุ้มด้วยเปลือกสองฝาเรียกว่าคาราเพซ (carapace) ซึ่งมักเป็นสารประกอบแคลเซียมคาร์บอเนต ไคตินหรือผลึกเกลือแคลเซียม คาราเพซเชื่อมต่อกันด้วยบานพับ (hinge) บริเวณส่วนหลังของออสตราคอด มีรยางค์ 5-7 คู่ ลักษณะเป็นข้อปล้องเชื่อมต่อกัน รยางค์สำหรับกินอาหารเรียกว่าแมกซิลลา (maxilla) มีปากเรียกว่าแมนดิเบิล (mandible) ส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในน้ำ มีขนาดประมาณ 0.15-2.0 มิลลิเมตร ออสตราคอดมีระบบทางเดินอาหารสมบูรณ์ หายใจผ่านผิวหนัง บางชนิดมีเหงือก มีระบบสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศ (รูปที่ 2.3) มีการพบหลักฐานว่าออสตราคอดอาศัยอยู่บนโลกตั้งแต่ยุคออร์โดวิเซียน (Ordovician) จนถึงปัจจุบัน โดยออสตราคอดจัดว่ามีวิวัฒนาการน้อยเช่นเดียวกับสิ่งมีชีวิตที่ไม่มีกระดูกสันหลังชนิดอื่น อย่างไรก็ตามลักษณะคาราเพซของออสตราคอดในแต่ละมหายุคมีความแตกต่างกัน ตามวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตและการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมบนผิวโลก ทำให้สามารถจำแนกกลุ่มและชนิดของออสตราคอดโบราณได้ การจำแนกซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดอาศัยลักษณะของคาราเพซเป็นหลัก ซึ่งต่างจากการจำแนกออสตราคอดยุคปัจจุบัน ซึ่งอาศัยลักษณะอวัยวะภายใน

2) ออสตราคอดยุคเพอร์เมียน

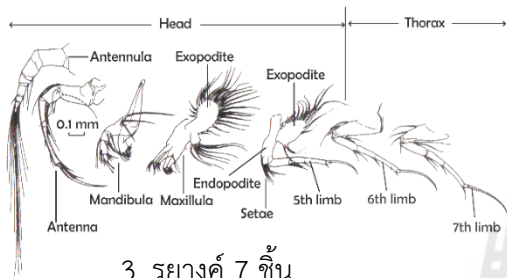
จนถึงปัจจุบันมีผู้ศึกษาชีววิทยาและวิวัฒนาการของออสตราคอดไว้จำนวนมาก อาทิ Moore (1961), Pokorný (1978), Lethiers (1981) และ Horne *et al.* (2002) มีออสตราคอดมากกว่า 20,000 ชนิด ทั้งที่ยังมีชีวิตอยู่และที่เป็นซากบรรพ์ขี้นแล้วถูกค้นพบและจำแนก สำหรับออสตราคอดยุคเพอร์เมียนมีการค้นพบจากหลายพื้นที่ของโลก อาทิ อเมริกาเหนือ (Becker, 1989; 1990; Kellet, 1933; 1934; 1935; 1943; Hamilton, 1942; Sohn, 1954; 1961; Crasquin-Soleau and Orchard, 1994) ยุโรป (Kozur, 1985a; 1985b; 1991a; 1991b; Sohn and Kornicker, 1998; Crasquin-Soleau and Baud, 1998) รัสเซีย (Belousova, 1965; Gramm, 1997) ตะวันออกกลาง (Gerry *et al.*, 1987; Pribyl and Pek, 1987; Lethiers *et al.*, 1989; Crasquin-Soleau *et al.*, 1999; Crasquin-Soleau, 2003) ออสเตรเลีย (Crespin, 1945) เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Bless, 1987; Chitnarin *et al.*, 2008; 2012) ญี่ปุ่น (Ishizaki, 1964; Kunihiro, 1967) จีน (Becker and Wang, 1992; Chen, 1958; Chen and Bao, 1986; Chen and Shi, 1982; Hou, 1954; Aihau *et al.*, 2008) โดยเฉพาะออสตราคอดที่พบในหินยุคเพอร์เมียนตอนปลายต่อเนื่องกับยุคไทรแอสซิกตอนต้น ได้ถูกค้นพบจากหลายพื้นที่และศึกษาอย่างละเอียด เนื่องจากออสตราคอดเป็นหนึ่งในสิ่งมีชีวิตที่ข้ามผ่านวิกฤตการณ์การสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ช่วงปลายมหายุคพาลีโอโซอิก-มีโซโซอิก (Permian-Triassic extinction) ซึ่งนอกจากการจำแนกแล้ว ยังให้หลักฐานอื่นๆ เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ต่างๆ บนโลกในช่วงเวลาที่ยากลำบาก (อาทิ Crasquin-Soleau and Kershaw, 2005; Crasquin-soleau *et al.*, 2005)



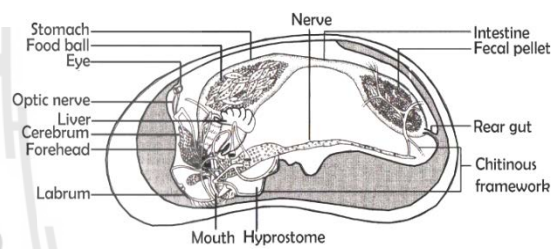
1. *Bairdia frequens* เพศเมีย



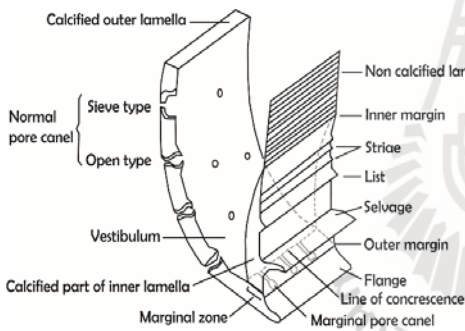
2. *Bairdia frequens* เพศผู้



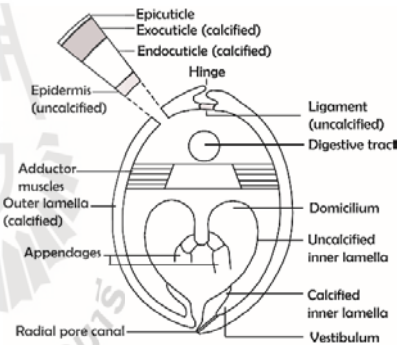
3. ulyangค้ 7 ช้



4. ระบบปราสาทและทางเดินอาหาร



5. สัณฐานของเปลือก



6. ภาพตัดขวางคาราเพชขณะปิด

รูปที่ 2.3 อวัยวะภายในและลักษณะเปลือกหุ้มของออสตราคอด [1,2-สัณฐานของออสตราคอดยุคปัจจุบัน (*Bairdia frequens* G. W. Müller) เมื่อเอาเปลือกซ้ายออก ความยาวของเปลือก 0.9 มม.: (1-เพศเมีย, 2-เพศผู้); 3-ulyangค้ของออสตราคอด ทำหน้าที่แตกต่างกัน; 4-อวัยวะภายใน ระบบประสาทและทางเดินอาหารของออสตราคอด เมื่อเอาเปลือกซ้ายออก; 5-ภาพตัดขวางแสดงลักษณะของเปลือกออสตราคอดบริเวณขอบของฝาซึ่งแสดงร่องสำหรับเกี่ยวยึดสองฝาขณะปิดฝา (Podocopida); 6-ภาพจำลองการตัดขวางตัวออสตราคอดขณะคาราเพชปิด ฝาซ้ายและขวายึดติดกันทางด้านบนด้วยเอ็น (ligament) บริเวณบานพับ (hinge) ส่วนกลางของลำตัวยึดติดกันด้วย adductor muscles และส่วนล่างมีการล๊อคเปลือกทั้งสองไว้บนร่อง] (ดัดแปลงจาก Moore, 1961 และ Armstrong and Brasier, 2004)

ออสตราคอดยุคเพอร์เมียนที่ถูกค้นพบแล้ว ถูกจำแนกอยู่ใน 2 ชั้นคลาส คือ Subclass Podocopa และ Subclass Myodocopa ใน 3 อันดับ (Order) ได้แก่ Palaeocopida, Podocopida และ Myocopida โดยการค้นพบที่ผ่านมาส่วนใหญ่เป็นออสตราคอดที่เคยอาศัยอยู่ในทะเลบรรพกาล ในสภาพแวดล้อมตั้งแต่แนวชายฝั่งทะเล ลากูล (lagoon) ที่ลาดในเขตทะเลตื้น เขตทะเลเปิด และบริเวณเขตนํ้าลึกที่มีอุณหภูมิต่ำ (psychrospheric environment)

3) การแปลความหมายสภาพภูมิศาสตร์บรรพกาลจากกลุ่มออสตราคอด

การศึกษาออสตราคอดที่มีชีวิตอยู่พบว่าส่วนใหญ่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีน้ำ ทั้งในแหล่งน้ำจืด เช่น หนอง บึง แม่น้ำ พื้นที่ชุ่มน้ำหรือพื้นที่น้ำขังทั้งแบบชั่วคราวและถาวร แอ่งสะสมพืด ในแหล่งน้ำกร่อย เช่น ปากแม่น้ำ ทะเลสาบน้ำกร่อย และในน้ำทะเลตั้งแต่หน้าดินชายฝั่งจนถึงเขตนํ้าลึกใต้พื้นท้องสมุทร (Dole-Olivier *et al.*, 2000; Pieri *et al.*, 2006; Bassetti *et al.*, 2003) ส่วนมากจะอาศัยอยู่บนพื้นตะกอน โดยจะคืบคลานหาอาหาร และสามารถว่ายน้ำได้ในระยะใกล้ๆ เมื่อตายลงจึงมักถูกเก็บรักษาในตะกอนและกลายเป็นซากดึกดำบรรพ์ได้ง่าย ออสตราคอดบางชนิดสามารถว่ายน้ำได้ บางชนิดอาศัยอยู่ตามรากพืชลอยน้ำ และจำนวนไม่มากเป็นแพลงตอน ซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดจึงถูกใช้ในการศึกษาสภาพแวดล้อม โดยเป็นดัชนีบ่งชี้สภาพของแอ่งสะสมตะกอนได้

ออสตราคอดที่อาศัยบนโลกในปัจจุบัน ถูกแบ่งออกตามความเข้มข้นของสารละลายของแหล่งที่อยู่อาศัยออกเป็นสี่กลุ่ม (4 biofacies) ได้แก่ 1) ออสตราคอดน้ำจืด (freshwater ostracods) อาศัยในน้ำที่มีค่าความเค็ม (salinity) น้อยกว่า 2.0‰ 2) ออสตราคอดน้ำกร่อย (brackish ostracods) มีจำนวนประชากรหนาแน่นที่ค่าความเค็ม 10‰ 3) ออสตราคอดกลุ่มที่อาศัยในน้ำที่มีค่าความเค็มต่ำ ประมาณ 0.2-2.0‰ (oligohaline) และออสตราคอดกลุ่มที่ชอบความเค็มปานกลาง คือระหว่าง 2.0-17‰ (mesohaline) และ 4) ออสตราคอดที่อาศัยอยู่ในทะเล (marine ostracods) ซึ่งมีค่าความเค็มสูงกว่า 17‰ นอกจากนี้ออสตราคอดน้ำกร่อยบางชนิด สามารถทนสภาพที่มีความเค็มจัดในทะเลสาป (hypersaline lagoon) คือทนค่าความเค็มสูงกว่า 17‰

ออสตราคอดน้ำเค็มซึ่งอาศัยอยู่ในทะเลมีความหลากหลายทางชีวภาพมากที่สุด การกระจายตัวขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อมทั้งทางกายภาพและชีวภาพ โดยปัจจัยทางกายภาพของแหล่งที่อยู่อาศัยจะเป็นปัจจัยหลักควบคุมลักษณะปรากฏบนเปลือกของออสตราคอด เช่น รูปแบบการดำเนินชีวิต ทำให้รยางค์มีการพัฒนาเพื่อช่วยอำนวยความสะดวกด้านต่าง ๆ รูปร่างและความหนาของเปลือกของออสตราคอดจะสอดคล้องกับสภาพที่อยู่อาศัย ชนิดที่ว่ายน้ำได้มักมีรูปร่างเกือบกลมมนมีเปลือกบางพวกที่คลานอยู่กับพื้นจะมีเปลือกหนาและมีการประดับตกแต่งของเปลือกมาก มีส่วนท้องแบน พวกที่อยู่ในตะกอนเนื้อละเอียดมักมีตัวเรียวกเปลือกเรียวก ส่วนท้องอาจกว้างเพื่อเป็นฐานเมื่อวางตัวบนตะกอนที่อ่อนนุ่ม พวกที่อยู่ในตะกอนเนื้อหยาบเปลือกจะหนาและมีโครงร่างแบบตาข่ายหรือมีหนาม พวกที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเม็ดตะกอนหยาบเปลือกจะสั้นและหนา ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะปรากฏของออสตราคอดได้แก่

- ความลึก มีอิทธิพลทางอ้อมต่อออสตราคอด เนื่องจากความลึกควบคุมแสง อาหาร และอุณหภูมิ ทั้งนี้ ออสตราคอดสามารถปรับตัวอยู่ได้ในทุกระดับความลึก

- ชนิดตะกอนพื้นท้องทะเลและความสมดุลของตะกอน ออสตราคอดเปลือกเรียบจะพบในตะกอนเนื้อละเอียด ออสตราคอดเปลือกหยาบหรือมีการประดับตกแต่งมากขึ้นจะพบในตะกอนเนื้อหยาบกว่าหรือเนื้อปูนมากกว่า

- ซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดมักสัมพันธ์กับหินดินดานและหินทรายเนื้อปูน โดยเฉพาะหินดินดานที่แทรกอยู่ในชั้นปูน หรือในตะกอนที่จะกลายเป็นหินปูนและหินดินดานเนื้อปูน แต่จะพบน้อยมากในหินปูนและหินดินดานเนื้อซิลิกา หินดินดานสีดำ หินโคลนเนื้อละเอียด เกลือหิน และทรายที่มีการคัดขนาด

- ออสตราคอดสามารถปรับตัวกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพความเป็นกรดต่าง (pH) และปริมาณออกซิเจน

- ความสมบูรณ์ของพืชมีส่วนในการควบคุมปริมาณออสตราคอด เนื่องจากพืชเป็นแหล่งอาหารโดยตรงและเป็นแหล่งอาหารของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นด้วย

- ปริมาณแร่ธาตุโพแทสเซียมและไนโตรเจน เป็นปัจจัยในการควบคุมปริมาณประชากรออสตราคอด เช่น ในเขตที่มีกระแสน้ำพัดเอาสารอาหารจากพื้นท้องทะเลขึ้นมาจะมีประชากรหนาแน่น

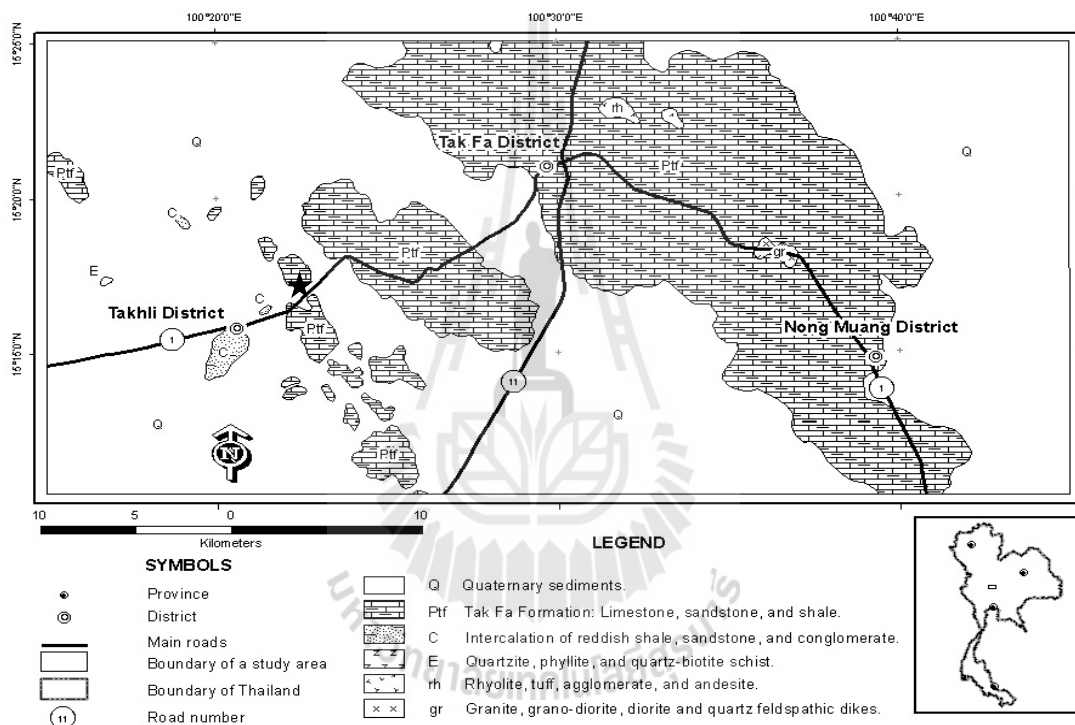
- ออสตราคอดมักพบร่วมกับสิ่งมีชีวิตหลายชนิด อาทิ กลุ่มแบคทีเรียพอด ไทรโลไบต์ ไบรโอซัว กลุ่มมอลลัสก์ ฟอรัมมินิเฟอรา แต่ก็ไม่พบร่วมกับแคลคาเรียสฟอรัมและโคโนดอนต์

ซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดจึงมีความสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม และถูกใช้ในการศึกษาวิวัฒนาการและสภาพแวดล้อมโบราณอย่างกว้างขวางโดยเฉพาะอย่างยิ่งออสตราคอดมหายุคพาลีโอโซอิกตอนปลาย (ยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน) ถูกศึกษาทางสถิติเปรียบเทียบกับลักษณะทางตะกอนวิทยา ซึ่งพบว่ากลุ่มออสตราคอดในระดับตระกูล (family) และเหนือตระกูล (Superfamily) มีความจำเพาะกับสภาพแวดล้อม ซึ่งสามารถใช้เป็นหลักในการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมบรรพกาลของหินตะกอนได้ (อาทิ Whatley, 1988; Melnyk and Maddocks, 1988a; 1988b; Peterson and Kaesler, 1980; Costanzo and Kaesler, 1987; Crasquin-Soleau *et al.*, 1999; Crasquin-Soleau and Kershaw, 2005; Crasquin-Soleau *et al.*, 2005)

2.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.2.1 พื้นที่ศึกษาและการเข้าถึงพื้นที่

หน้าตัดหินที่ศึกษา ตั้งอยู่ทางด้านทิศใต้ของเขาลูกโกลน ในเขตอำเภอตากาลี จังหวัดนครสวรรค์ ห่างจากตัวเมืองตากาลีไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือประมาณ 3 กิโลเมตร (รูปที่ 2.4) ซึ่งปรากฏอยู่ทางตอนใต้ของแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1: 50,000 ระวัง 5039 I (อำเภอตากาลี) ลำดับชุด L7017 พิมพ์ครั้งที่ 2-RTSD ของกรมแผนที่ทหาร พ.ศ. 2535 มีตำแหน่งอ้างอิงพิกัดประมาณ 478902 (รูปที่ 2.5) โดยในรายงานฉบับนี้ให้ชื่อเรียกว่าหน้าตัดหินเขาลูกโกลนลักษณะภูมิประเทศเป็นภูเขาหินปูนสูงชันมาจากที่ราบโดยรอบ ทั้งนี้ที่ราบมีระดับความสูง



รูปที่ 2.4 แผนที่ธรณีวิทยาแสดงตำแหน่งหน้าตัดหินเขาลูกโกลน อำเภอตากาลี จังหวัดนครสวรรค์ (รูปดาว) และการกระจายตัวของหินบริเวณพื้นที่ศึกษาและใกล้เคียง



รูปที่ 2.5 แผนที่ภูมิประเทศแสดงลักษณะภูมิประเทศของหน้าตัดหินเขาลูกโกลนและบริเวณใกล้เคียง (ดัดแปลงจากกรมแผนที่ทหาร, พ.ศ.2535)

เฉลี่ยประมาณ 30 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง จุดสูงสุดของภูเขาหินปูนสูง 258 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง มีลักษณะเป็นเหมือนหินร้าง เปิดเผยให้เห็นชั้นหินได้อย่างชัดเจน

การเข้าถึงหน้าตัดหินเขาลูกโกลนซึ่งตั้งอยู่ไม่ไกลจากเมืองตากลี สามารถทำได้โดยรถยนต์ ซึ่งจากตัวเมืองตากลีให้เดินทางไปทางทิศตะวันออก (มุ่งหน้าอำเภอตากฟ้า) ประมาณ 4 กิโลเมตร จะมีทางแยกซ้ายมือจากทางหลวงหมายเลข 1 (พหลโยธิน) เป็นทางลูกรังประมาณ 500 เมตร

2.2.2 ธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา

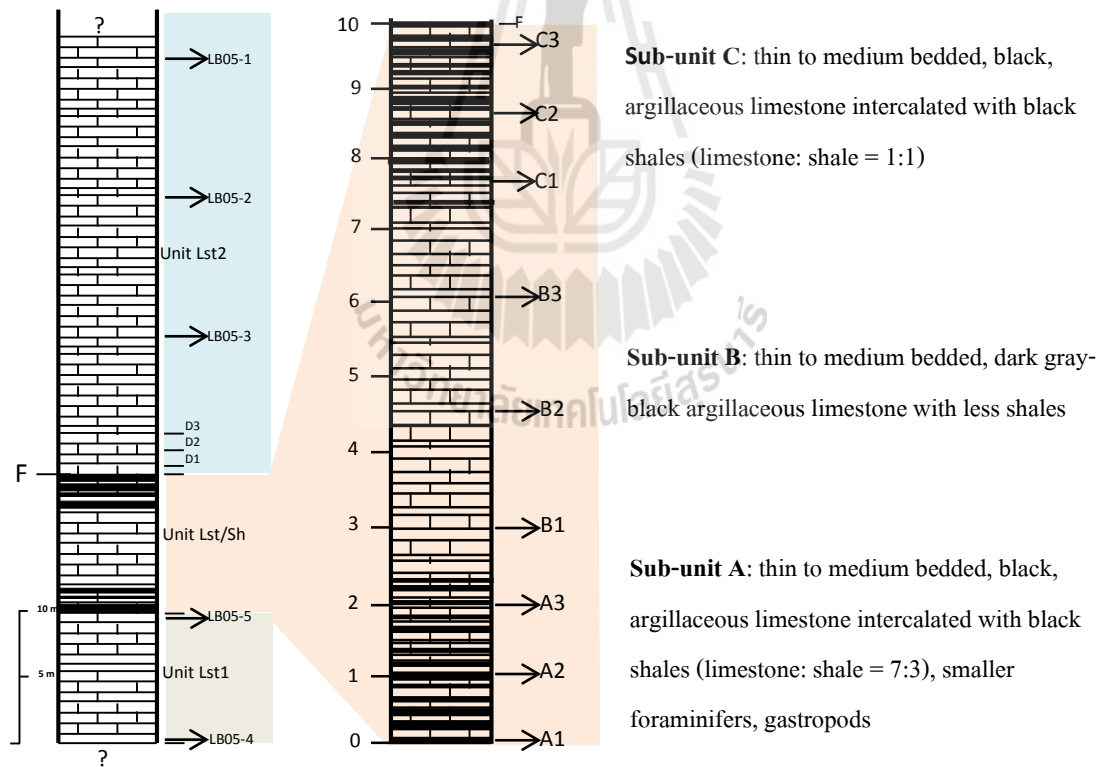
หน้าตัดหินเขาลูกโกลนวางตัวอยู่บนหินยุคเพอร์เมียนของหมวดหินตากฟ้า (Nakornsri (1976; 1981) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 หินโผล่มีลักษณะเป็นหน้าผาเกิดจากการทำเหมือง เผยให้เห็นการแทรกสลับของ หินปูนชั้นบางถึงหนาปานกลางกับหินดินดานสีดำ บริเวณหน้าตัดหินมีความยาวทั้งหมดประมาณ 100 เมตรส่วนใหญ่เป็นหินปูนชั้นบางถึงหนาปานกลาง วางตัวทำมุมเอียงประมาณ 20-25 องศา ไปทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีโครงสร้างรอยเลื่อนย้อน (reverse fault) ซึ่งสังเกตได้จากรอยชั้นไม่

ต่อเนื่องระหว่างหน่วยหิน สามารถแบ่งหน่วยหินออกเป็น 3 หน่วยหิน วางตัวจากด้านบนลงล่าง ดังนี้ (รูปที่ 2.6 และ 2.7)

- หน่วยหินปูนชั้นบาง (Unit Lst2) ประกอบด้วยชั้นหินปูนสีเทา แสดงชั้นหนาประมาณ 10-20 เซนติเมตรเนื้อละเอียด (micritic limestone) หน่วยหินนี้วางตัวอยู่ด้านบนของแนวรอยเลื่อนย้อนขอบเขตด้านล่าง กำหนดโดยแนวชั้นไม่ต่อเนื่องของรอยเลื่อนย้อน ขอบเขตด้านบนของหน่วยหินนี้คือหินโผล่ด้านตะวันตกสุดของหน้าตัดหินนี้ โดยมีความหนาของหน่วยหินมากกว่า 40 เมตร
- หน่วยหินปูนสลับหินดินดานสีดำ (Unit Lst/Sh) ประกอบด้วยหินปูนสีเทาเข้มถึงสีดำ แสดงชั้นหนาประมาณ 20-40 เซนติเมตร สลับกับชั้นหินดินดานสีดำ มองเห็นเป็นแนวหนาประมาณ 10-50 เซนติเมตร ชั้นหินดินดานสีดำนี้มีการฟุ้งมาก ไม่สามารถมองเห็นลักษณะของชั้นหินที่ชัดเจน หินดินดานมีเนื้อดินที่ยุ่ยและแตกร่วน เมื่อเอามือจับจะมีสีดำติดมือ มีคราบซิลิเฟอส์ปรากฏอยู่ทั่วไป ลักษณะคล้ายถ่านหิน หน่วยหินนี้กำหนดขอบเขตด้านบนจากรอยชั้นไม่ต่อเนื่องตามแนวรอยเลื่อนย้อนขอบเขตด้านล่างกำหนดจากการโผล่ของหน่วยหินทางด้านทิศตะวันออกของหน้าตัดหินนี้ ด้านล่างลงไปหน่วยหินนี้ถูกบีบอัดแสดงโครงสร้างโค้งงอ (folding) และความไม่ต่อเนื่องกับหน่วยหินด้านล่างอย่างชัดเจน ความหนารวมของหน่วยหินนี้ประมาณ 10 เมตร สามารถแบ่งออกเป็น 4 หน่วยย่อย เรียงลำดับจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ดังนี้ (รูปที่ 2.7)
 - Sub-unit A วางตัวอยู่ด้านล่างสุด ประกอบด้วยหินปูนสลับกับหินดินดาน ในอัตราส่วน 7:1 หินปูนพบซากดึกดำบรรพ์หอยแกลส ไตรพอดและฟอรัมขนาดเล็กมีความหนาประมาณ 2 เมตร



รูปที่ 2.6 หน้าตัดหินเขาสูกโกลน



รูปที่ 2.7 แหล่งลำดับชั้นหินบริเวณหน้าตัดหินเขาสูกโกลน

- Sub-unit B วางตัวอยู่ด้านบน Sub-unit A เป็นชั้นหินปูนสีเทาเข้ม มีชั้นหินดินดานบางๆ อยู่เล็กน้อย มีความหนารวมประมาณประมาณ 6 เมตร
- Sub-unit C วางตัวถัดจาก sub-unit B ขึ้นมา มีชั้นหินดินดานมากขึ้น อัตราส่วนระหว่างชั้นหินปูนและหินดินดานประมาณ 1:1 มีความหนาประมาณ 2 เมตร
- หน่วยหินปูนชั้นบาง (Unit Lst2) วางตัวอยู่ด้านล่างของ Unit Lst/Sh สังเกตได้จากการหายไปของหินดินดานสีดำ โดยปรากฏทางทิศตะวันออกของหน้าตัดหินด้านล่างของโครงสร้างโค้งงอ มีลักษณะเป็นหินปูนสีเทาชั้นหนาประมาณ 10-20 เซนติเมตร ความหนาของหน่วยหินนี้ไม่สามารถกำหนดได้

บริเวณหน้าตัดหินเขาลูกโกลนพบว่ามีโครงสร้างรอยเลื่อนย้อนและโครงสร้างโค้งงอ ทั้งนี้โครงสร้างรอยเลื่อนย้อนทำให้ไม่สามารถทราบความสัมพันธ์ที่แท้จริงของหน่วยหิน Unit Lst2 และ Unit Lst/Sh นอกจากนี้ยังมีการแทรกตัดของหินอัคนีชนิดแอนดีไซต์ สีเขียวเทา ตามแนวรอยแตกในทิศทางเกือบตั้งฉากกับการวางตัวของชั้นหิน โดยคาดว่าแอนดีไซต์โคคนี้ แทรกตัวขึ้นมาเป็นไดค (dike) คาดว่ามวลหลักอยู่ด้านล่างของ Unit Lst1 และมีไดคขนาดเล็ก บาง แทรกขึ้นไปใน Unit Lst/Sh และ Unit Lst2 ด้วย

หน้าตัดหินเขาลูกโกลนสามารถเทียบได้กับหน่วยหินปูน (Limestone Unit) ของสันต์อัสวพัชระ (2544) ซึ่งประกอบด้วยหินปูนสีเทาเข้มถึงสีดำ หินปูนเนื้อปนดิน สลับกับหินดินดานแสดงริ้วขนาน มีกระเปาะหินเชิร์ต อายุประมาณเพอร์เมียนตอนกลาง (Wordian)

2.2.3 การเก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่างหิน

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้เก็บตัวอย่างหินปูนและหินดินดานจากแต่ละหน่วยหิน โดยพิจารณาจากเนื้อหินเป็นหลัก ดังต่อไปนี้ (รูปที่ 2-7)

- Unit Lst1: ตัวอย่างหมายเลข LB05-4, LB05-5
- Unit Lst/Sh: ตัวอย่างหมายเลข LB05-A1, LB05-A2, LB05-A3, LB05-B1, LB05-B2, LB05-B3, LB05-C1, LB05-C2, LB05-C3, LB05-TK1, LB05-TK2
- Unit Lst2: ตัวอย่างหมายเลข LB05-1, LB05-2, LB05-3, LB05-D1, LB05-D2, LB05-D3

โดยตัวอย่างหินปูนและหินดินดาน (LB05-TK1, LB05-TK2) ซึ่งเก็บจาก Sub-unit C เป็นตัวอย่างที่ถูกส่งไปวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาความเหมาะสมของหินในการเป็นหินต้นกำเนิดปิโตรเลียม หินปูนตัวอย่าง LB05-A1 LB05-C2 และ LB05-C3 ถูกเตรียมเป็นแผ่นหินบาง (rock thin

section) เพื่อใช้ศึกษาทางสัณฐานวิทยา และหินปูนทั้งหมดถูกย่อยให้มีขนาดเล็กประมาณเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร สำหรับการละลายซากบรรพชีวินออสตราคอด

2.2.4 การเตรียมตัวอย่างออสตราคอด

ซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดถูกแยกออกจากหินตัวอย่างหินปูน ด้วยวิธีฮ็อทอะซิโตไลซิส (Hot Acetolysis) ซึ่งคิดค้นโดย Lethier and Crasquin-Soleau (1988) และ Crasquin-Soleau *et al.* (2005) มีขั้นตอนดังนี้

- 1) เตรียมตัวอย่างหินประมาณ 0.5 กิโลกรัม หุบด้วยค้อนให้หินมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตรใส่ในขวดแก้ว
- 2) ออบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ความชื้น เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 3) เติมกรดอะซิติกเข้มข้น 98% จนท่วมหินตัวอย่าง ปิดฝาด้วยกระดาษฟลอย แล้วอุ่นไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนกว่าจะมีตะกอนเกิดขึ้นที่ก้นขวดประมาณ 1-2 เซนติเมตร (รูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 วิธีฮ็อทอะซิโตไลซิส

4) กรองกรดอะซิติกด้วยกระดาษกรอง ล้างตัวอย่างหินผ่านตะแกรงขนาด 1, 0.5 และ 0.1 มม. ตัวอย่างหินที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 0.5 และ 0.1 มม. จะนำไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อน ส่วนหินที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มม. จะนำไปแยกด้วยกรดอีกครั้งตามข้อ 2)

5) เศษหินตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว จะนำมาศึกษาใต้กล้องจุลทรรศน์สเตอริโอ (stereomicroscope) และใช้เข็มหยิบซากบรรพชีวินออกมาเก็บไว้ เพื่อนำไปเตรียมถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

2.3 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

2.3.1 การจำแนกออสตราคอด

การจำแนกซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดจะอาศัยลักษณะภายนอกของเปลือก (carapace) เป็นหลัก โดยลักษณะ อาทิ รูปร่างของเปลือกหุ้ม (shape) ตำแหน่งและลักษณะของการซ้อนทับของเปลือกทั้งสองข้าง (overlapping) ลักษณะของเปลือกเพศเมียและเพศผู้ (dimorphism) การประดับตกแต่งบนเปลือกด้านนอกและบริเวณขอบด้านล่าง สำหรับซากบรรพ์วิโนออสตราคอดที่มีอายุอ่อนกว่ามหายุคพาลีโอโซอิก อาจมีลักษณะด้านในของเปลือก เช่น ร่องรอยจุดตรึงของกล้ามเนื้อยึดฝาทั้งสองข้าง (muscle scars) รูปแบบของบานพับเปลือกหุ้ม (hinge) ซึ่งสามารถใช้เป็นเกณฑ์ในการจำแนกได้เป็นอย่างดี ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การจำแนกตามแบบของ Moore (1961) Lethiers (1981) และ Horne *et al.* (2002) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

2.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะสภาพแวดล้อมโดยใช้กลุ่มออสตราคอด

ออสตราคอดเป็นกลุ่มซากดึกดำบรรพ์ขนาดเล็กที่ใช้ในการแปลความหมายสภาพแวดล้อมโบราณได้เป็นอย่างดี การแปลความหมายทำได้โดยวิเคราะห์กลุ่มออสตราคอดในระดับเหนือวงศ์ และ/หรือ ระดับวงศ์ (Superfamily และ/หรือ Family) เนื่องจากสิ่งมีชีวิตในระดับ Superfamily และ/หรือ Family เดียวกันมักอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน ทั้งนี้ Melnyk and Maddocks (1988) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของตะกอนและสภาพแวดล้อมของการสะสมตัวของหินกับกลุ่มออสตราคอดยุคคาร์บอนิเฟอรัสและเพอร์เมียนจากอเมริกาเหนือ และสร้างแบบจำลองสำหรับออสตราคอดที่อาศัยบริเวณชายฝั่งทะเลตื้นและไหล่ทวีป (shallow shoreline to continental shelf) สรุปได้ดังนี้

ออสตราคอดใน Superfamily Hollinacea พบได้ทั่วไป โดยความหลากหลายของสปีชีส์จะเพิ่มขึ้นเมื่อห่างออกไปจากฝั่ง สปีชีส์ที่มีขนาดใหญ่และมีส่วนล่างของคาราเพซมีการประดับตกแต่งมาก มักพบร่วมกับการสะสมตัวของตะกอนที่มาจากแผ่นดินบ่งชี้ถึงแนวชายฝั่งโบราณ สปีชีส์ที่มีขนาดเล็กและคาราเพซบางมักพบในตะกอนที่สะสมตัวในที่ลึกกว่า

ออสตราคอดใน Superfamily Bairdioidea มีความหลากหลายมาก พบได้ทั่วไป ตั้งแต่ทะเลตื้นถึงลึก ลักษณะสำคัญที่ต้องพิจารณาคือความหนาของคาราเพซ

- สมาชิกของ *Acratia* พบได้ทั่วไปซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเป็นกลุ่มที่ว่ายน้ำได้
- สมาชิกของ *Bairdia* มีความหลากหลายมากเมื่อห่างจากชายฝั่งและมีปริมาณตะกอนจากฝั่งน้อย
- *Bairdiacypris* มักอาศัยอยู่ใกล้ชายฝั่ง
- *Cryptobairdia* และ *Orthobairdia* มีความหลากหลายมากเมื่อห่างจากชายฝั่ง และพบสัมพันธ์กับตะกอนคาร์บอนเนตเนื้อละเอียด

- *Rectobairdia* และ *Bairdiocypris* เป็นกลุ่มที่สามารถปรับตัวได้ดีที่สุด
- *Microcheilinella* และ *Silenites* อาศัยอยู่ห่างชายฝั่ง
- ออสมตราคอดใน Family Cytherideidae โดยเฉพาะ *Basslerella* มักพบห่างจากชายฝั่ง

ออสมตราคอดใน Superfamily Kloedenelloidea พบสัมพันธ์กับตะกอนจากฝั่งที่มีปริมาณมาก โดยเฉพาะสปีชีส์ที่มีร่อง (sulcus) และผิวของคาราเพซเรียบ มักพบในเขตน้ำตื้นใกล้ชายฝั่ง อาทิ *Giesina* ยกเว้น *Oliganisus*, *Knoxina*, *Glyptopleura* ที่ชอบอาศัยอยู่ในที่ลึกกว่าเล็กน้อย

สำหรับ Family Cavellinidae สมาชิกในพันธุ์ *Cavellina* สามารถปรับตัวกับสภาพแวดล้อมได้ดี สปีชีส์ที่มีขนาดใหญ่ คาราเพซหนา มักอาศัยบริเวณใกล้ชายฝั่ง ส่วนสปีชีส์ที่มีขนาดเล็กจะอาศัยในที่ลึกกว่านอกชายฝั่ง ตัวอย่างเช่น *Sulcella sulcate* เป็นสปีชีส์ที่พบได้ทั่วไป ส่วน *Cavellina pricei* เป็นดัชนีของสภาพแวดล้อมแบบน้ำลึก ห่างจากชายฝั่ง

ตารางที่ 2.1 การจำแนกกลุ่มออสมตราคอดที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้

Phylum Arthropoda
Subphylum Crustacea
Class Ostracoda
Subclass Podocopa
Order Archaeocopida (Cam.-Ord.)
Order Leperditicopida (Cam., Ord.-Dev.)
Order Palaeocopida (Ord.-Trias., Tert.)
Suborder Beyrichiocopina
Superfamilies Beyrichioidea, Tetradelloidea, Eurychilinoidea, Aparchitoidea, Primitiopsoidea
Suborder Binodicopina
Superfamilies Bollioidea, Aechmioidea, Drepanelloidea, Nodelloidea, Limbatuloidea
Suborder Kirkbyocopina
Superfamilies Kirkbyoidea, Puncioidea
Suborder Kloedenellocopina

ออสตราคอดใน Superfamily Kirkbyoidea สามารถใช้เป็นตัวชี้ของสภาพแวดล้อมได้ดี

- Family Amphissitidae และ Scrobiculnidae พบเฉพาะบริเวณห่างไกลชายฝั่ง ยกเว้น *Kegelites dattanensis*, *Amphissites carinodus*, *A. girtyi* เป็นตัวชี้ใกล้ชายฝั่ง
- สมาชิกใน Family Kirkbyidae ที่คาราเพซมีการประดับตกแต่งมากอาศัยอยู่ในที่ลึก มุดตัวในตะกอนที่อ่อนนุ่ม อาทิ *Coronakirkyia* และ *Kelletina*

ออสตราคอดใน Superfamily Oepilelloidea โดยเฉพาะ *Cyathus* อาศัยห่างจากชายฝั่ง ส่วน *Polycope* ในกลุ่ม Cladocopina พบกระจายตัวในหลายสภาพแวดล้อม เนื่องจากเป็นกลุ่มที่สามารถว่ายน้ำได้

การวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มออสตราคอดทำได้โดยหาร้อยละของกลุ่มออสตราคอดในระดับ Superfamily หรือ Family ที่พบแต่ละตัวอย่าง แต่หากพบว่ามีออสตราคอดที่เป็นตัวชี้ของสภาพแวดล้อมจะต้องพิจารณาก่อน

2.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อหิน

หินปูนตัวอย่างจะถูกนำมาศึกษาลักษณะเนื้อหิน โดยศึกษาจากตัวอย่างหินขนาดเท่ามือ (hand specimen) และแผ่นหินบาง (rock thin section) เพื่อใช้ในการจำแนกชนิดหินปูนและใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของการสะสมตัวของหินปูนการจำแนกหินปูนใช้รูปแบบของ Folk (1959; 1962) และ Dunham (1961) ซึ่งใช้ลักษณะของเนื้อพื้น (lime mud matrix และ sparry calcite) และปริมาณของเม็ดตะกอน (allochem) เป็นเกณฑ์ในการจำแนกดังแสดงในรูปที่ 2.9

2.3.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบธรณีเคมีปิโตรเลียม




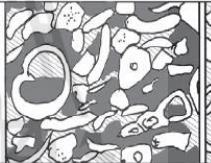


ตัวอย่างหินปูนและหินดินดานสีดำจากหน้าตัดหินที่ทำการศึกษา ถูกส่งไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางธรณีเคมีปิโตรเลียม เพื่อประเมินศักยภาพในการเป็นหินต้นกำเนิด ชนิดของสารอินทรีย์ระดับความพร้อมในการให้ปิโตรเลียม รวมทั้งสภาพแวดล้อมของการตกสะสมตัวในอดีต ทั้งนี้ หินต้นกำเนิดปิโตรเลียม (source rock) หมายถึง หินตะกอนขนาดละเอียด ที่มีอินทรีย์สารและสามารถให้ปิโตรเลียมได้เมื่ออยู่ภายใต้ความร้อนและความดันที่เหมาะสม ศักยภาพในการก่อเกิดปิโตรเลียมจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับองค์ประกอบที่เป็นอินทรีย์สารและการพัฒนาเนื่องจากความร้อนและความดัน

ในการวิเคราะห์ธรณีเคมีปิโตรเลียมของตัวอย่างหินในครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการแปลความหมายสภาพแวดล้อมของการสะสมตัวของหินปูนและหินดินดาน

ร่วมกับการแปลความหมายจากซากบรรพชีวินอสตราคอด จึงเลือกตัวอย่างหินปูนและหินดินดานอย่างละหนึ่งตัวอย่าง เพื่อทำการวิเคราะห์ ดังนี้

- 1) การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC) ด้วยเครื่อง Rock-Eval pyrolysis
- 2) การหาชนิดของเคอโรเจน (kerogen type) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์
- 3) การวิเคราะห์ค่า Vitrinite Reflectance

โดยคุณภาพของหินต้นกำเนิดปิโตรเลียมสามารถจำแนกได้โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังแสดงในตารางที่ 2.2-2.4

Dunham (1962)					
Groundmass: Fine carbonate matrix			+ spar	sparry cement	
Matrix-supported		Grain-supported			
Grains: < 10%	> 10%				
MUDSTONE	WACKSTONE	PACKSTONE		GRAINSTONE	
					Bioconstruction
					BOUNDSTONE
					
Folk (1959, 1962)					
Allochems:					
< 1%	1-10%	10-50%	> 50%		
fossiliferous	sparse	packed	poorly washed		
MICRITE	BIOMICRITE		BIOSPARITE		BIOLITHITE
Terrigenous					
Matrix-supported			Grain-supported		
Sand: < 10%	10-25%	> 25%			
sandy		WACKE	SUBWACKE	ARENITE	
MUDSTONE		SANDSTONE			

รูปที่ 2.9 การจำแนกหินปูนที่มีซากดึกดำบรรพ์ตามรูปแบบของ Dunham (1962) และ Folk (1959, 1962) (Flügel, 2004)

ตารางที่ 2.2 เกณฑ์การประเมินหินต้นกำเนิดปิโตรเลียม (ดัดแปลงจาก Rojas *et al.*, 2011)

Source rock quality	TOC%	Pyrolysis S ₂ , mg hydrocarbon/ g rock	EOM weight, %	Hydrocarbon, ppm
none	<0.5	<2	<0.05	<200
poor	0.5-1.0	2-3	0.05-0.1	200-500
fair	1-2	3-5	0.1-0.2	500-800
good	2-5	5-10	>0.2	>1,200
very good	>5	>10		
Product type		Hydrogen index	Stage	T _{max}
Gas		50-200	Type I Kerogen	445°C
Gas and oil		200-300	Type II Kerogen	435°C
oil		>300	Type III Kerogen	440°C
			Onset of gas	460°C

ตารางที่ 2.3 ชนิดของเคอโรเจน (ดัดแปลงจาก Rojas *et al.*, 2011)

Kerogen type	Source material	General environment of deposition
I	Mainly algae	Lacustrine setting
II	Mainly plankton, some contributed from algae	Marine setting
III	Mainly higher plants	Terrestrial setting
IV	Reworked, oxidized material	Varied setting

ตารางที่ 2.4 Vitrinite reflectance และระดับความพร้อมในการให้ปิโตรเลียม (ดัดแปลงจาก Rojas *et al.*, 2011)

Percentage of light reflected in oil, R_o	Thermal maturity
$R_o > 1.5$	High maturation value (presence of dry gas)
$1.1 < R_o < 1.5$	Intermediate maturation value (gas with a tendency toward oil generation)
$0.8 < R_o < 1.1$	Lower range of intermediate maturation value (wet gas)
$0.6 < R_o < 0.8$	Low maturation value (oil)
$R_o < 0.6$	Immature kerogen



บทที่ 3

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้ทำการวิเคราะห์ประกอบด้วยการจำแนกออสตราคอด การวิเคราะห์ลักษณะสภาพแวดล้อมโดยใช้กลุ่มออสตราคอด การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อหิน และการวิเคราะห์ผลการทดสอบธรณีเคมีปิโตรเลียม

3.1 การจำแนกออสตราคอด

การศึกษาค้นคว้าพบว่าหินปูนจำนวน 17 ตัวอย่างจากหน้าตัดหินเขาลูกโกลน เมื่อผ่านกระบวนการแยกซากดึกดำบรรพ์ด้วยวิธีไฮโดรอะซิโตนไฮดรอกไซด์ สามารถแยกออสตราคอดได้มากกว่า 600 ตัวอย่าง และหลังจากถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด สามารถศึกษาลักษณะภายนอกของคาราเพซของออสตราคอด และจำแนกได้ 99 สปีชีส์ อยู่ใน 3 อันดับ (Order) 8 Superfamilies และ 11 Families ซึ่งมีการจัดระบบตามลำดับชั้นดังนี้ (ภาคผนวก ก)

Phylum Arthropoda von Siebold, 1848

Subphylum Crustacea Brünnich, 1772

Class Ostracoda Latreille, 1802

Order Palaeocopida Henningsmoen, 1953

Suborder Beyrichiocopina Scott, 1961

Superfamily Oepilelloidea Jaanusson, 1957

Family Aparchitidae Jones, 1901

Genus *Cyathus* Roth & Skinner, 1930

Cyathus caperata (Guan, 1978) ก-15

Cyathus elliptica Shi, 1987 ก-15

Superfamily Kirkbyoidea Ulrich & Bassler, 1906

Family Kirkbyidae Ulrich & Bassler, 1906

Genus *Kirkbya* Jones, 1859

Kirkbya sp.1 ก-17

Kirkbya sp.2 ก-17

Genus *Knightina* Kellett, 1933

Knightina sp.1 ก-18

Knightina sp.2 ก-18

<i>Knightina</i> sp.3	ก-18
Genus <i>Reviya</i> Sohn, 1961	
<i>Reviya subsompongensis</i>	
Chitnarin, 2008	ก-18
Family Amphissitidae Knight, 1928	
Genus <i>Polytylites</i> Cooper, 1941	
<i>Polytylites</i> sp.1	ก-18
Suborder Kloedenellocopina Scott, 1961	
Superfamily Kloedenelloidea Ulrich & Bassler, 1908	
Family Knoxitidae Egorov, 1950	
Genus <i>Knoxiella</i> Egorov, 1950	
<i>Knoxiella</i> sp.1	ก-19
Genus <i>Sargentina</i> Coryell & Johnson, 1939	
<i>Sargentina chantarameei</i>	
Chitnarin, 2012	ก-19
Genus <i>Eukloedenella</i> Ulrich & Bassler, 1923	
<i>Eukloedenella</i> sp.1	ก-15
<i>Eukloedenella</i> sp.2	ก-16
<i>Eukloedenella</i> sp.3	ก-16
<i>Eukloedenella</i> sp.4	ก-16
Genus <i>Geisina</i> Johnson, 1936	
<i>Geisina</i> sp.	ก-16
Genus <i>Geffenina</i> Coryell & Sohn, 1938	
<i>Geffenina posterodorsospina</i>	
Chitnarin, 2012	ก-16
Superfamily Paraparchitoidea Scott, 1959	
Family Paraparchitidae Scott, 1959	
Genus <i>Paraparchites</i> Ulrich & Bassler, 1906	
<i>Paraparchites chenshii</i>	
Crasquin, 2010	ก-20
Genus <i>Shemonaella</i> Sohn, 1971	
<i>Shemonaella</i> sp.	ก-21

Genus *Samarella* Polenova, 1952

Samarella sonei Chitnarin, 2012 n-20

Samarella viscusforma

Chitnarin, 2012 n-20

Samarella sp.1 n-21

Samarella sp.2 n-21

Superfamily Hollinoidea Swartz, 1936

Family Hollinellidae Bless & Jordan, 1971

Genus *Hollinella* Coryell, 1928

Hollinella (Hollinella)

herrickana (Girty, 1909) n-17

Hollinella sp.1 n-17

Superfamily unknown

Family Coelonellidae Sohn, 1971

Genus *Microcoelonella* Coryell & Sohn, 1938

Microcoelonella takfaensis

Chitnarin, 2012 n-19

Microcoelonella takliensis

Chitnarin, 2012 n-19

Microcoelonella? sp. n-20

Order Podocopida Sars, 1866

Superfamily Bairdioidea Sars, 1865

Genus *Bairdia* McCoy, 1844

Bairdia sp.1-3 n-1

Bairdia sp.4-8 n-2

Bairdia sp.9-13 n-3

Bairdia sp.14-17 n-4

Bairdia sp.18-21 n-5

Bairdia sp.22-26 n-6

Bairdia sp.27-31 n-7

Bairdia sp.32-36 n-8

Bairdia sp.37-38 n-9

Genus <i>Petasobairdia</i> Chen, 1982	
<i>Petasobairdia</i> sp.1	ก-10
<i>Petasobairdia</i> sp.2	ก-10
Genus <i>Bairdiacypris</i> Bradfield, 1935	
<i>Bairdiacypris</i> sp.1	ก-9
<i>Bairdiacypris</i> sp.2	ก-9
<i>Bairdiacypris</i> sp.3	ก-9
Genus <i>Fabalitypris</i> Cooper, 1946	
<i>Fabalitypris</i> sp.1	ก-15
Genus <i>Silenites</i> Coryell & Booth, 1933	
<i>Silenites</i> sp.1	ก-12
Genus <i>Acratia</i> Delo, 1930	
<i>Acratia</i> sp.1	ก-1
<i>Acratia</i> sp.2	ก-1
Genus <i>Baschkirina</i> Rozdestvenskaja, 1959	
<i>Baschkirina</i> sp.1	ก-12
Genus <i>Acratinella</i> Schneider, 1956	
<i>Acratinella</i> sp.1	ก-12
Family Pachydomellidae Berdan & Sohn, 1961	
Genus <i>Microcheilinella</i> Geis, 1933	
<i>Microcheilinella</i> sp.1-2	ก-12
<i>Microcheilinella</i> sp.3-7	ก-13
<i>Microcheilinella</i> sp.8-9	ก-14
Family Cytherideidae Sars, 1925	
Genus <i>Basslerella</i> Kellett, 1935	
<i>Basslerella</i> sp.1-3	ก-14
Unknown family	
Bairdioidea indet. sp.1-3	ก-10
Bairdioidea indet. sp.4-8	ก-11
Suborder Platycopina Sars, 1866	
Superfamily Cavellinoidea Egorov, 1950	
Family Cavellinidae Egorov, 1950	

Genus *Cavellina* Coryell, 1928*Cavellina* sp.1

ก-15

Order Myodocopida Sars, 1866

Suborder Cladocopina Sars, 1866

Family Polycopidae Sars, 1866

Genus *Polycope* Sars, 1866*Polycope* sp.1

ก-21

ออสตราคอดที่พบมากที่สุดอยู่ใน Superfamily Bairdioidea โดยมีพันธุ์ (genus) *Bairdia* เป็นพันธุ์ที่พบมากที่สุด ถึง 38 สปีชีส์

3.2 การวิเคราะห์ลักษณะสภาพแวดล้อมโดยใช้กลุ่มออสตราคอด

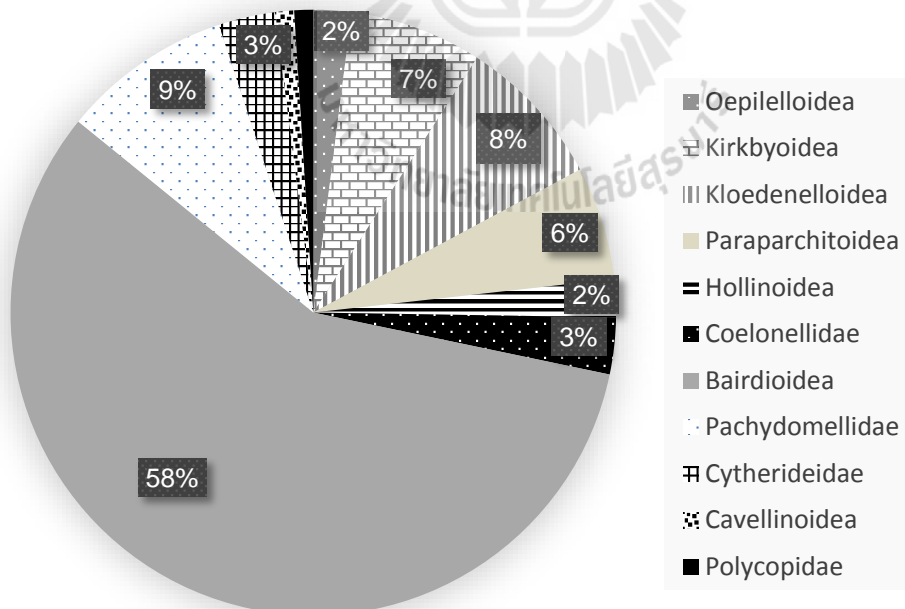
ออสตราคอดเป็นกลุ่มชาติกำเนิดำบรรพ์ขนาดเล็กที่ใช้ในการแปลความหมายสภาพแวดล้อมโบราณได้เป็นอย่างดี โดยการแปลความหมายสภาพแวดล้อมของการสะสมตะกอนจะพิจารณาจากกลุ่มออสตราคอดในระดับ Superfamily และ/หรือ Family เนื่องจากกลุ่มออสตราคอดในระดับ Superfamily และ/หรือ Family เดียวกันมักอาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน การพิจารณาจะดูจากความหลากหลาย (diversity) ของออสตราคอด ซึ่งทำโดยนับจำนวนสปีชีส์ของออสตราคอดในระดับ Superfamily และ/หรือ Family จากนั้นคำนวณหาร้อยละของแต่ละ Superfamily และ/หรือ Family เพื่อวิเคราะห์สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มออสตราคอด

ในการศึกษาครั้งนี้ แบ่งกลุ่มออสตราคอดในระดับ Superfamily และ/หรือ Family จำนวน 10 กลุ่ม ได้แก่ Oepilelloidea (2 สปีชีส์), Kirkbyoidea (7 สปีชีส์), Kloedenelloidea (8 สปีชีส์), Paraparchitoidea (6 สปีชีส์), Hollinoidea (2 สปีชีส์), Coelonellidae (3 สปีชีส์), Bairdioidea (57 สปีชีส์), Pachydomellidae (9 สปีชีส์), Cytherideidae (3 สปีชีส์), Cavellinoidea (1 สปีชีส์), และ Polycopidae (1 สปีชีส์) ความหลากหลายของแต่ละกลุ่มแสดงในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1

ออสตราคอดที่แยกได้จากหินปูนในการศึกษาครั้งนี้มีลักษณะเป็นคาราเพซสมบูรณ์ ไม่พบว่ามีการแตกหัก หรือแยกส่วนเฉพาะเปลือกซ้ายหรือเปลือกขวา แสดงให้เห็นว่าการสะสมตัวเกิดขึ้นภายในแอ่งตะกอน ออสตราคอดไม่ได้ถูกพัดพามาจากที่อื่น (Oertel, 1971) ประกอบกับออสตราคอดที่พบมีตั้งแต่ขนาดเล็กกว่า 0.5 มม ถึงขนาดใหญ่กว่า 1 มม ซึ่งความหลากหลายของขนาดที่พบ ชี้ให้เห็นว่าเปลือกของออสตราคอดไม่ได้ถูกกัดขนาดด้วยกลไกการไหลของน้ำทะเลและคลื่น กลุ่มออสตราคอดที่พบนี้สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการแปลความหมายสภาพแวดล้อมของการสะสมตะกอนในครั้งนี้ได้ (รูปที่ 3.2)

ตารางที่ 3.1 ความหลากหลายของออสตราคอดจากหน้าตัดหินที่ศึกษาในระดับเหนือวงศ์ และ/หรือระดับวงศ์

ระดับเหนือวงศ์/วงศ์	จำนวนสปีชีส์	ร้อยละ
Oepilelloidea	2	2
Kirkbyoidea	7	7
Kloedenelloidea	8	8
Paraparchitoidea	6	6
Hollinoidea	2	2
Coelonellidae	3	3
Bairdioidea	57	58
Pachydomellidae	9	9
Cytherideidae	3	3
Cavellinoidea	1	1
Polycopidae	1	1
รวม	99	100



รูปที่ 3.1 ความหลากหลายของออสตราคอดในระดับ Superfamily และ/หรือ Family จากหน้าตัดหินที่ศึกษา

ออสตราคอดที่ศึกษาสามารถแบ่งออกเป็นสามกลุ่ม (Lethiers 1982; Melnyk and Maddocks 1988; Crasquin *et al.*, 2010) ได้แก่

- กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่อาศัยในเขตทะเลด้านใน ที่มีการแปรผันสภาพแวดล้อม อาทิ ความเค็มของน้ำทะเล และปริมาณตะกอนจากฝั่ง (internal zone of the carbonate platform with variations of paleoenvironment conditions) ประกอบด้วย Kirkbyoidea, Kloedenelloidea และ Hollinoidea
- กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่อาศัยในทะเลส่วนกลาง มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มเป็นช่วงกว้าง (median zone of the carbonate platform with euryhaline environments in shallow to very shallow water) ประกอบด้วย Paraparchitoidea, Cytherideidae, Cavellinoidea
- กลุ่มที่ 3 กลุ่มที่พบในทะเลเปิด มีค่าความเค็มปกติ (external zone of open carbonate environments with normal salinity) ได้แก่ Bairdioidea (รวมทั้ง Pachydomellidae)

ออสตราคอดที่พบมากที่สุดอยู่ในกลุ่มที่ 3 ได้แก่ Superfamily Bairdioidea (58%) และ Family Pachydomellidae (9%) รวมคิดเป็น 67% ของจำนวนสปีชีส์ทั้งหมด

- พันธุ์ *Bairdia* สามารถพบได้ในเขตทะเลตื้นถึงทะเลเปิด ออสตราคอดจากหน้าตัดเขาลูกโกลนมีคาราเพชหนา รูปร่างค่อนข้างกลม ซึ่งเป็นลักษณะของสปีชีส์ที่อาศัยบนไหล่ทวีป คาราเพชไม่เรียวยแหลม ไม่มีหนามหรือส่วนที่ยื่นยาวออกมา ซึ่งเป็นลักษณะของสปีชีส์ที่อาศัยบริเวณทะเลลึก

- นอกจากนี้ ยังพบพันธุ์ *Acartia*, และ *Silenites* ซึ่งเป็นกลุ่มที่อาศัยห่างจากชายฝั่ง

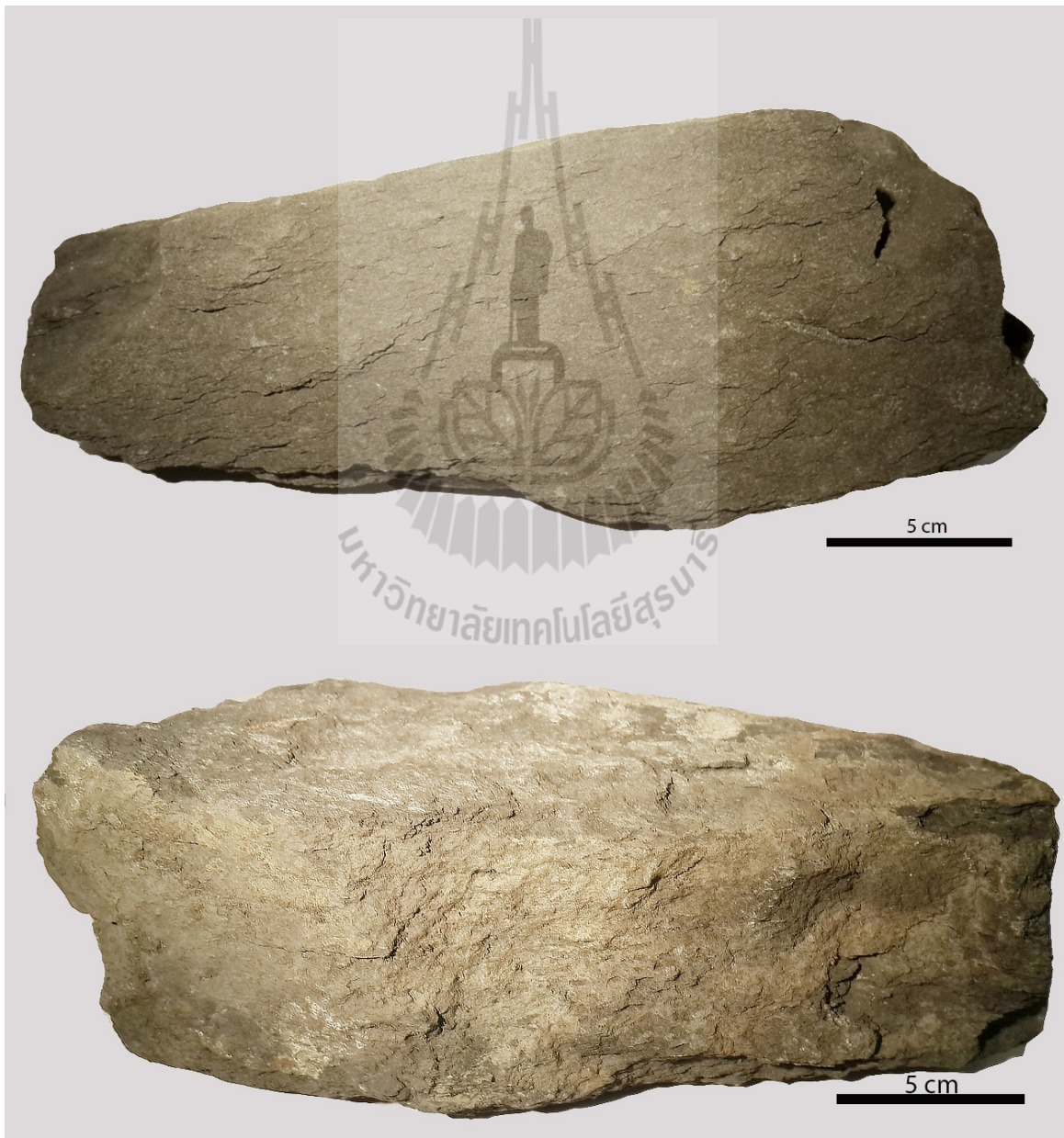
- พันธุ์ *Microcheilinella* (Pachydomellidae) และ *Basslerella* (Cytherideidae) พบมากบริเวณห่างจากชายฝั่ง

ออสตราคอดกลุ่มที่ 1 คิดเป็นร้อยละ 17 ของจำนวนสปีชีส์ทั้งหมด โดยพบออสตราคอดกลุ่มนี้มากและหลากหลายใน sub-unit A และ sub-unit C ของหน่วยหินปูนสลับหินดินดาน (Unit Lst/Sh) ดังแสดงในภาพที่ 2-7 ซึ่งประกอบด้วย *Hollinella*, *Kirkbya*, *Sargentina*, *Geffenina*, *Basslerella* ที่มีคาราเพชขนาดใหญ่ และ *Microcoelenella* ส่วนออสตราคอดกลุ่มที่ 2 คิดเป็นร้อยละ 10 ของจำนวนสปีชีส์ทั้งหมด

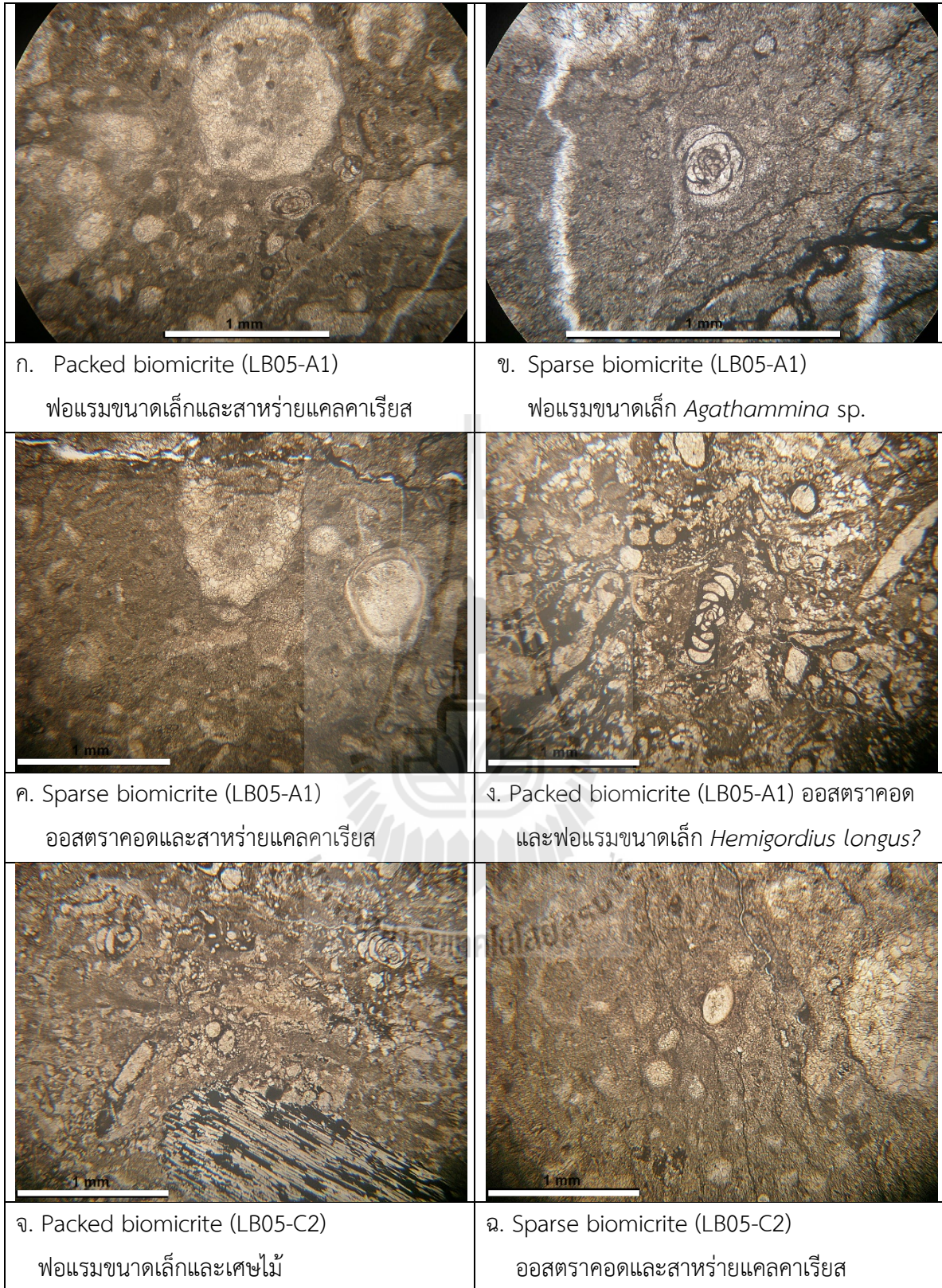
สภาพนิเวศของออสตราคอดกลุ่มที่ 3 จึงสะท้อนสภาพแวดล้อมของหน้าตัดหินเขาลูกโกลนในการศึกษาครั้งนี้ และสภาพแวดล้อมนี้จึงเหมาะสมสำหรับออสตราคอดใน Superfamily Oepilelloidea (*Cyathus*) และ Coelonellidae (*Microcoelenella*) ด้วยเช่นกัน

3.3 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อหิน

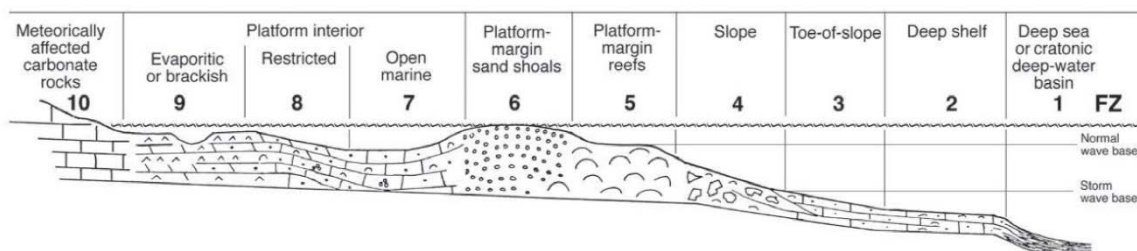
หินปูนที่ศึกษานำมาจาก 3 หน่วยหิน คือ Lst1 Lst2 และ Lst/Sh ทั้งหมดจำแนกเป็น mudstone ถึง wackestone (Dunham, 1962) มีสีเทาเข้ม ถึงเทาดำ เนื้อแน่น หินปูนจากหน่วยหิน Lst/Sh มีเนื้อดิน (argillaceous limestone) ลักษณะหินตัวอย่างแสดงในรูปที่ 3.2 เมื่อนำไปตัดทำแผ่นหินบางและตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิง (รูปที่ 3.3) สามารถจำแนกเป็น sparse biomicrite ถึง packed biomicrite (Folk, 1959; 1962) และจัดอยู่ใน Standard Microfacies Type: SMF8 wackestones and floatstones with whole fossils and well preserved infauna and epifauna (Flügel, 2004) ซึ่งเป็นชุดลักษณะที่เกิดได้ใน Standard Facies Zone (FZ) 7 และ 2 (รูปที่ 3.4)



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างหินปูนเนื้อดินของหน่วยหิน Lst/Sh



รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายแผ่นหินบางจากกล้องจุลทรรศน์โพลาไรซิง (สเกลบาร์=1 มม)



รูปที่ 3.4 Rimmed carbonate platform: การจำแนก standard facies zone (Flügel, 2004)

ซากดึกดำบรรพ์ฟอแรมขนาดเล็กที่พบในหินตัวอย่างหมายเลข LB05-A1 และ LB05-C2 มีความคล้ายคลึงกับฟอแรมขนาดเล็กที่พบในหินปูนยุคเพอร์เมียนตอนต้น (late Asselian-early Sakmarian) ในประเทศออสเตรีย-อิตาลี Vachard and Krainer (2001) นอกจากนี้ยังพบชิ้นส่วนที่มีลักษณะคล้ายเศษไม้ในหินตัวอย่างอีกด้วย (ดูรูปที่ 3.3 จ)

3.4 การวิเคราะห์ผลการทดสอบธรณีเคมีปิโตรเลียม

ตัวอย่างหินปูน (LB05-TK1) และหินดินดานสีดำ (LB05-TK2) ถูกส่งไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางธรณีเคมีปิโตรเลียม เพื่อประเมินศักยภาพในการเป็นหินต้นกำเนิด ชนิดของสารอินทรีย์ ระดับความพร้อมในการให้ปิโตรเลียม รวมทั้งสภาพแวดล้อมของการตกสะสมตัวในอดีต ผลการวิเคราะห์โดยห้องปฏิบัติการ Core Laboratories ประเทศอินโดนีเซีย มีดังนี้ (ภาคผนวก ข)

3.4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC) ด้วยเครื่อง Rock-Eval pyrolysis

- ตัวอย่าง LB05-TK01 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด 0.86% ของน้ำหนัก มีศักยภาพในการให้ปิโตรเลียม 0.06 mg/gm rock ค่า Hydrogen Index (HI) เท่ากับ 2 และ Oxygen Index (OI) เท่ากับ 50 อุณหภูมิสูงสุดในการให้สารปิโตรเลียม ที่ 376°C ซึ่งจัดว่าไม่ใช่หินต้นกำเนิด

- ตัวอย่าง LB05-TK02 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด 2.18% ของน้ำหนัก มีศักยภาพในการให้ปิโตรเลียม 0.14 mg/gm rock ค่า Hydrogen Index (HI) เท่ากับ 4 และ Oxygen Index (OI) เท่ากับ 23 อุณหภูมิสูงสุดในการให้สารปิโตรเลียม ที่ 350°C จัดว่ามีศักยภาพเป็นหินต้นกำเนิดระดับปานกลาง

3.4.2 การหาชนิดของเคอโรเจน (kerogen type) พบว่า

- ตัวอย่าง LB05-TK01 มีชนิดของ kerogen type II, I, IV ในสัดส่วนร้อยละ 85 10 และ 5 ตามลำดับ บ่งบอกถึงต้นกำเนิดเป็นพีชั้นสูงจากแผ่นดินเป็นส่วนใหญ่ บางส่วนจากสาหร่ายและแพลงตอนในน้ำจืดและทะเล มีค่า Ro (Percentage of light reflected in oil) เท่ากับ 1.50

- ตัวอย่าง LB05-TK02 มีชนิดของ kerogen type II, I, IV ในสัดส่วนร้อยละ 72 20 และ 8 ตามลำดับ บ่งบอกถึงต้นกำเนิดเป็นพีชชั้นสูงจากแผ่นดินเป็นส่วนใหญ่ บางส่วนจากสาหร่ายและแพลงตอนในน้ำจืดและทะเล และพบร่องรอยของสปอร์ของพีช บ่งบอกว่าสามารถให้น้ำมันได้ มีค่า Ro (Percentage of light reflected in oil) เท่ากับ 1.66 บ่งชี้ว่ามีความพร้อมระดับสูงในการให้ปิโตรเลียม

3.4.3 การวิเคราะห์ค่า Vitrinite Reflectance พบว่า

- ตัวอย่าง LB05-TK01 มีค่า Ro (Percentage of light reflected in oil) เท่ากับ 1.50
- ตัวอย่าง LB05-TK02 มีค่า Ro (Percentage of light reflected in oil) เท่ากับ 1.66 บ่งชี้ว่ามีความพร้อมระดับสูงในการให้ปิโตรเลียม



บทที่ 4

สรุปผลการศึกษา

การวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอด ร่วมกับลักษณะเนื้อหินและธรณีเคมีปิโตรเลียมของตัวอย่างหินจากหน้าตัดหินเขาลูกโกลนอำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ ทำให้สามารถสรุปสภาพแวดล้อมของการสะสมตัวของหินปูนบิโหมินัสและหินดินดานสีดำได้ดังนี้

4.1 สภาพแวดล้อมบรรพกาลบริเวณเขาลูกโกลน จังหวัดนครสวรรค์

กลุ่มซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดในระดับเหนือวงศ์และ/หรือระดับวงศ์ (Superfamily และ/หรือ Family) บ่งชี้สภาพแวดล้อมที่ต่ำกว่าระดับน้ำขึ้นน้ำลง (subtidal) ในเขตทะเลเปิด (open marine) อยู่บนไหล่ทวีป (continental shelf) มีพื้นตะกอนอ่อนนุ่ม ห่างจากชายฝั่ง โดยมีสภาพแวดล้อมของการสะสมตัวเหมาะสมกับออสตราคอดซึ่งเป็นสมาชิกกลุ่ม Bairdioidea Pachydomellidae และ Cytherideidae ลักษณะเนื้อหินปูนซึ่งเป็น mudstone-wackestone ตามการจำแนกของ Dunham (1962) และ biomicrite ถึง packed biomicrite ตามการจำแนกของ Folk (1959; 1962) จัดอยู่ในชุดลักษณะ SMF8 (wackestones and floatstones with whole fossils and well preserved infauna and epifauna) ซึ่งมีการสะสมตัวอยู่ใน Standard Facies Zone (FZ) 7 (Flügel, 2004) เนื่องจากกลุ่มออสตราคอดที่พบเป็นกลุ่มที่อาศัยอยู่ในเขตน้ำตื้น ต่ำกว่าระดับน้ำขึ้นน้ำลง

นอกจากนี้ยังพบว่าบางช่วงของการสะสมตัว สภาพแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงโดยน้ำตื้นขึ้นและมีปริมาณตะกอนจากชายฝั่ง (detritus sediment) เข้ามาในแอ่งมากขึ้น สามารถอธิบายได้โดยการปรากฏของออสตราคอดกลุ่มที่ชอบอาศัยในบริเวณสภาพแวดล้อมในทะเลตื้น อาทิ Kirkbyoidea (*Kirkbya*) Kloedenelloidea (*Sargentina*, *Geffenina*) และ Hollinoidea (*Hollinella*) ซึ่งพบมากในตัวอย่างที่ LB05-A1 ถึง LB05-A3 (sub-unit A) และ ตัวอย่างที่ LB05-C1 ถึง LB05-C3 (sub-unit C) ของหน่วยหินปูนสลัหินดินดาน (Unit Lst/Sh) หินปูนมีเนื้อปนดิน (argillaceous) ตัวอย่างภาพถ่ายหินปูนจากกล้องจุลทรรศน์ (รูปที่ 3.3 จ) พบลักษณะคล้ายเศษไม้ซึ่งอาจเป็นเศษตะกอนที่มาจากบนฝั่ง

ในการศึกษาครั้งนี้พบซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดที่มีคาราเพซสมบูรณ์แต่ไม่ได้หมายถึงการสะสมตัวในสภาพแวดล้อมที่ถูกปิดกั้น (restricted environment) ตามที่เคยถูกแปลความหมายไว้ (Flügel, 2004) ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยสนับสนุนแนวคิดเรื่องการสะสมตัวอยู่กับที่หรือไม่ไกลจากบริเวณที่อยู่อาศัย โดยไม่ผ่านกระบวนการพัดพามาจากที่อื่น (Oertel, 1971) เนื่องจากออสตราคอดมีขนาดเล็กมาก และใช้ชีวิตส่วนใหญ่อาศัยอยู่บนพื้นตะกอน จึงสามารถถูกเก็บรักษาไว้ในตะกอนนั้นได้ดี

จึงสรุปได้ว่า กลุ่มซากดึกดำบรรพ์ออสตราคอดที่แยกได้จากหินปูนจากหน้าตัดศึกษา สามารถใช้ในการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของการสะสมตัวของหินปูนได้ โดยพบว่าการสะสมตัวของตะกอนเกิดในสภาพแวดล้อมที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำขึ้นน้ำลง ในเขตทะเลเปิด บนไหล่ทวีปมีพื้นตะกอนอ่อนนุ่ม ห่างจากชายฝั่ง และมีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำทะเลขึ้นลงในบางช่วง ซึ่งจะพบชั้นหินดินดานสีดำแทรกสลับกับชั้นหินปูน หินปูนที่ศึกษามีสีเทาเข้ม เนื้อปนดิน (argillaceous) มีคาร์บอนอินทรีย์เป็นองค์ประกอบในปริมาณน้อย ไม่เหมาะสมเป็นต้นกำเนิดปิโตรเลียม ส่วนหินดินดานมีคาร์บอนอินทรีย์เป็นองค์ประกอบในปริมาณมาก มีศักยภาพในการเป็นหินต้นกำเนิดปิโตรเลียมหากอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม

4.2 ศักยภาพในการเป็นหินต้นกำเนิด ชนิดของสารอินทรีย์ ระดับความพร้อมในการให้ปิโตรเลียมของหินปูนบิทมินัส และหินดินดานสีดำ บริเวณเขาลูกโกลน อำเภอตากลี จังหวัดนครสวรรค์

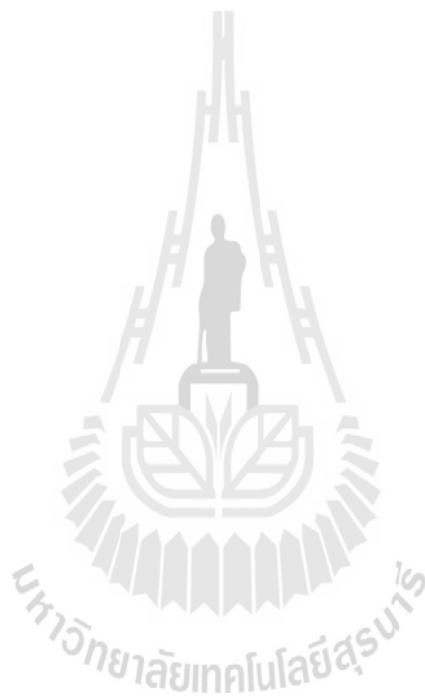
หินปูนตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์คุณสมบัติไม่เหมาะสมเป็นหินต้นกำเนิดปิโตรเลียม เนื่องจากมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด 0.86% ของน้ำหนัก มีศักยภาพในการให้ปิโตรเลียม 0.06 mg/gm rock มีค่า Hydrogen Index (HI) เท่ากับ 2 และ Oxygen Index (OI) เท่ากับ 50 อุณหภูมิสูงสุดในการให้สารปิโตรเลียม ที่ 376°C ส่วนใหญ่เป็น kerogen type II (ร้อยละ 85) type I (ร้อยละ 10) และ type IV (ร้อยละ 5) บ่งบอกถึงต้นกำเนิดเป็นพืชชั้นสูงจากแผ่นดินเป็นส่วนใหญ่ บางส่วนจากสาหร่ายและแพลงตอนในน้ำจืดและทะเล มีค่า Percentage of light reflected in oil (Ro) เท่ากับ 1.50

หินดินดานสีดำที่นำไปวิเคราะห์มีศักยภาพเป็นหินต้นกำเนิดปิโตรเลียมระดับปานกลาง โดยมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด 2.18% ของน้ำหนัก มีศักยภาพในการให้ปิโตรเลียม 0.14 mg/gm rock ค่า Hydrogen Index (HI) เท่ากับ 4 และ Oxygen Index (OI) เท่ากับ 23 อุณหภูมิสูงสุดในการให้สารปิโตรเลียม ที่ 350°C มีชนิดของ kerogen เป็น type II (ร้อยละ 72) type I (ร้อยละ 20) และ type IV (ร้อยละ 8) บ่งบอกต้นกำเนิดเป็นพืชชั้นสูงจากแผ่นดินเป็นส่วนใหญ่ บางส่วนจากสาหร่ายและแพลงตอนในน้ำจืดและน้ำทะเล และพบร่องรอยของสปอร์ของพืช สามารถให้น้ำมัน โดยมีค่า Percentage of light reflected in oil (Ro) เท่ากับ 1.66 บ่งชี้ว่ามีความพร้อมระดับสูงในการให้ปิโตรเลียม

4.3 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

การวิจัยในอนาคตอาจทำการศึกษาเกี่ยวกับการกระจายตัวของหินยุคเพอร์เมียนที่สะสมตัวในทะเลที่มีลักษณะเนื้อหินคล้ายกับหน้าตัดเขาลูกโกลน ทั้งบนพื้นดินและใต้ดิน เนื่องจากมีศักยภาพในการเป็นหินต้นกำเนิดปิโตรเลียม หรืออาจศึกษาสภาพแวดล้อมของการสะสมตัวของหินต้นกำเนิดแหล่ง

อื่น แล้วทำการเทียบสัมพันธ์กับหน้าตัดหินเขาลูกโกลน เพื่อเข้าใจสภาพแวดล้อมของทะเลในยุคเพอร์เมียนตอนต้นถึงตอนกลาง ซึ่งเป็นด้านตะวันตกของแผ่นทวีปอินโดไชน่า



บรรณานุกรม

- จงพันธ์ จงลักษณะณี (2548). ภูมิศาสตร์บรรพกาลของหินยุคเพอร์เมียนบริเวณจังหวัดสระบุรี-นครราชสีมา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี: นครราชสีมา
- สันต์ อัครพัชระ. (2546). ธรณีวิทยาระวางอำเภอตากลิ (50391). กรมทรัพยากรธรณี: กรุงเทพมหานคร
- Armstrong, W. and Brasier, M. (2005). Microfossils. Second edition. Blackwell Pub, Malden.
- Bassetti, M. A., Miculan, P., and Lucchi, F. R. (2003). Ostracod faunas and brackish-water environments of the late Messinian Sapigno section (northern Apennines, Italy). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 198: 335-352.
- Becker, G. and Wang, S. (1992). Kirbyacea and Bairdiacea (ostracoda) from the Palaeozoic of China. Palaeontographica Abt.A. 224, 1-54.
- Belousova, Z. D. (1965). Phylum Arthropoda, Class Crustacea, Subclass Ostracoda. In Evolution and succession of organisms at the Paleozoic-Mesozoic boundary. Akademic Nauk SSSR, Trudy Paleontology Institute, 108: 254-265. (in Russian).
- Bless, M. J. M. (1987). Lower Permian Ostracodes from Timor (Indonesia). Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, 9C (1): 1-13.
- Bunopas, S. (1981). Paleogeographic history of the western Thailand and adjacent parts of Southeast Asia: a plate tectonics interpretation. Ph.D. Thesis: Geology Department, Victoria University: Wellington
- Bunopas, S. (1992). Regional stratigraphic correlation in Thailand, In Piencharoen C. (ed). Proceedings of the National Conference on Geologic Resources of Thailand: Potential for future development (pp. 189-288). Department of Mineral Resources: Bangkok
- Chantong, W. (2007). Carbonate reservoir in the Khorat Plateau. In Proceedings of DMF Technical Forum 2007 (pp. 55-76). Department of Mineral Fuels: Bangkok (in Thai)
- Charoenprawat, A. and Wongwanich, T. (1976). Preliminary geology of Changwat Loei, Map Sheet (ND 47-12). Geological Survey Division. Department of Mineral Resources: Bangkok
- Chen, T. C. (1958). Permian ostracods from the Chihhsia limestone of Lungtan, Nanking. Acta Palaeontologica Sinica, 6(2): 215-257. (in Chinese)

- Chen, D. and Bao, H. (1986). Lower Permian ostracodes from the Chihsia Formation of Jurong and Longtan, Jiangsu province. ACTA Micropalaeontologica Sinica 3(2): 107-132.
- Chen, D. and Shi, C. (1982). Latest Permian ostracoda from Nantong, Jiangsu and from Miannyang, Hubei. Bulletin of Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academic Sinica. 4: 105-152.
- Chitnarin, A., Crasquin, S., Charoentitirat, C., Tepnarong, P. Thanee, N. (2012). Ostracods (Crustacea) of the Early-Middle Permian from Central Thailand (Indochina block). Part I Order Palaeocopida. Geodiversitas, 34 (4): 801-835.
- Chitnarin, A., Crasquin, S., Chonglakmani, C., Broutin, J., Grote, P.J. and Thanee, N. (2008). Middle Permian ostracods from Tak Fa Limestone, Phetchabun Province, Central Thailand. Geobios. 41: 341-353.
- Chitnarin, A., Crasquin, S., Tepnarong, P. and Thanee, N. (2011). Early Permian ostracods from the Tham Nam Maoholan section, Loei Province, northeastern Thailand: the paleoecological insight. In R. Hanta (ed.). Abstract book of the World Conference on Paleontology and Stratigraphy (WCPS2011). p. 60.
- Chonglakmani, C. and Sattayalak, N. (1979). Geological map of Thailand on 1: 250,000 scale: sheet Changwat Phetchabun (NE47-16). Department of Mineral Resources: Bangkok
- Costanzo, G. V. and Kaesler, R. L. (1987). Changes in Permian marine ostracode faunas during regression, Florena shale, Northeastern Kansas. Journal of Paleontology. 61(6): 1204-1215.
- Crasquin, S., Sudar, M. N., Jovanovic, D., and Kolar-Jurkovek, T. (2010). Upper Permian ostracodes assemblage from the Jadar Block (Vardar Zone, NW Serbia). Annales Géologiques de la Péninsule Balkanique. 71: 23-35.
- Crasquin-Soleau, C. and Kershaw, S. (2005). Ostracod fauna from the Permian-Triassic boundary interval of South China (Huaying Mountains, eastern Sichuan Province): palaeoenvironmental significance. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 217: 131-141.
- Crasquin-Soleau, S., Broutin, J., Roger, J., Platel, J., AlHashimi, H., Angiolini, L., Baud, A., Bucher, H. and Marcoux, J. (1999). First Permian ostracode fauna from the Arabian Plate (Khuff Formation, Sultanate of Oman). Micropaleontology. 45: 163-183.

- Crasquin-Soleau, S., Vaslet, D. and Le Nindre, Y. M. (2005). Ostracods from Permian-Triassic boundary in Saudi Arabia (Khuff Formation). Palaeontology. 48: 853-868.
- Dawson, O. and Racey, A. (1993). Fusuline-calcareous algal biofacies of the Permian Ratburi Limestone, Saraburi, Central Thailand. Journal of Southeast Asian Earth Sciences. 8: 49-65.
- Department of Mineral Fuels. (2007). Petrofocus: Petroleum Provinces of Thailand (Online). Available URL: http://www2.dmf.go.th/petro_focus/files/info3.pdf
- Department of Mineral Resources. (1992). Lexicon of Stratigraphic Names of Thailand. Department of Mineral Resources: Bangkok (in Thai)
- Department of Mineral Resources. (2013). Lexicon of Stratigraphic Names of Thailand. Department of Mineral Resources: Bangkok (in Thai)
- Dole-Olivier, M. J., Galassi, D. M. P., Marmonier, P., and Creuze des Chatelliers, M. (2000). The biology and ecology of lotic microcrustaceans. Freshwater Biology. 44: 63-91.
- Dunham, R.J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. Classification of carbonate rocks: American Association of Petroleum Geologists Memoir. p. 108-121.
- Flügel, E. (2004). Microfacies of carbonate rocks. Springer-Verlag: New York
- Folk, R. L. (1959). Practical petrographical classification of limestones. American Association of Petroleum Geologist Bulletin. 43: 1-38.
- Folk, R. L. (1962). Spectral subdivision of limestone types. Classification of carbonate Rocks-A Symposium: American Association of Petroleum Geologists Memoir. 1: 62-84.
- Geis, H. L. (1932). Some ostracodes from the Salem limestone, Mississippian of Indiana. Ibid. 6(2): 149-188, pls.23-26.
- Gerry, E., Honingstein, A., Derin, B. and Flexer, A. (1987). Late Permian ostracodes of Israel: Taxonomy, distribution and paleogeographical implications. Senckbergiana Lethaea 68(1/4): 197-223.
- Gramm, M. (1997). Ostracodes of the Chandalaz horizon (Upper Permian) of South Primorye. In A. Baud, I. Popova, J.M. Dickins, S. Lucas, and Y. Zakharov (eds.). Biostratigraphy, tectonic, and ore deposits of Primorye (Far East Russia). Memoires de Geologie (Lausanne). 30: 61-71.

- Guan, S., Sun, Q., Jiang, Y., Li, L., Zhao, B., Zhang, X., Yang, R. & Feng, B. (1978). Subclass Ostracoda. Paleontological Atlas of Central and South China. Geological Publishing House: Beijing. 115-325 (in Chinese)
- Henningsmoen, G. (1953). Classification of Paleozoic straight hinged Ostracoda. Norsk. Geol. Tidsskr. 31: 185-288.
- Heward, A. P., Chuenbunchom, S., Mäkel, G., Marsland, D. and Spring, L. (2000). Nang Nuan oil field, B6/27, Gulf of Thailand: karst reservoirs of meteoric or deep-burial origin. Petroleum Geoscience. 6: 15-27.
- Hinthong, C. (1985). Upper Paleozoic system: the central plain and lower Phetchabun ranges. Geological Survey Division: Bangkok
- Hinthong, C. (1981). Geology and mineral resources of the Map Sheet ChangwatPhraNakhon Si Ayutthaya (ND 47-8). Department of Mineral Resources: Bangkok
- Horne, J. C., Ferm, J. C., Caraccio, F. T. and Baganz, B. P. (1978). Depositional models in coal exploration and mining planning in Appalachian region. The American Association of Petroleum Geologists Bulletin. 62(12): 2379-2411.
- Hou, Y.T. (1954). Some Lower Permian ostracods from Western Hupeh. Acta Palaeontologica Sinica. 2 (2): 227-266. (in Chinese)
- Ishizaki, K. (1964). Middle Permian ostracodes from the Iwaizaki Limestone, Northeast Japan. Science Report of the Tohoku University, Sendai, 2. 36(1): 139-160.
- Javanaphet, J.C. (1969). Geological map of Thailand 1:1,000,000. Department of Mineral Resources: Bangkok.
- Kellett, B. (1933). Ostracodes of the Upper Pennsylvanian and the Lower Permian strata of Kansas: I. The Aparchitidae, Berichiidae, Glyptopleuridae, Kloedenellidae, Kiekbyidae, and Youngiellidae. Journal of Paleontology. 7(1): 59-108.
- Kellett, B. (1934). Ostracodes of the Upper Permian and the Lower Permian of Kansa: II. Genus Bairdia. Journal of Paleontology. 8(2): 120-138.
- Kellett, B. (1935). Ostracodes of the Upper Pennsylvanian and the Permian Strata of Kansa: III. Bairdiidae (concluded), Cytherellidae, Cypridinidae, Entomoconchidae, Cytheridae, and Cypridae. Journal of Paleontology. 9(2): 132-166.
- Kozar, M. G., Crandall, G. F. and Hall, S. E. (1992). Integrated structural and stratigraphic study of the Khorat basin, Rat Buri Limestone (Permian), Thailand, In C.

- Piancharoen (ed.). Proceedings of national conference on geologic resources of Thailand: potential for future development (pp. 692-736). Department of Mineral Resources: Bangkok
- Lethiers, F. (1981). Ostracodes du Dévonien terminal de l'ouest du Canada: Systématique, Biostratigraphie et Paléoécologie. Geobios, Mémoire spécial. 5: 1-234.
- Lethiers, F. (1982). Les ostracodes du Dévonien supérieur (Nord de la France, Belgique, Ouest du Canada). Unpublished. Thèse d'état: 1-489.
- Lethiers, F. and Crasquin, S. (1988). Comment extraire des microfossiles à tests calcitiques de roches calcaires dures. Revue de Micropaléontologie. 31:56-61.
- Melnyk, D. and Maddocks, R. (1988a). Ostracode biostratigraphy of the Permian-Carboniferous of central and north-central Texas, part I: Paleoenvironmental framework. Micropaleontology. 34(1): 1-20.
- Melnyk, D. and Maddocks, R. (1988b). Ostracode biostratigraphy of the Permian-Carboniferous of central and north-central Texas, part II: ostracode zonation. Micropaleontology. 34(1): 21-40.
- Metcalfe, I. (2002). Permian tectonic framework and paleogeography of SE Asia. Journal of Asian Earth Science. 20, 551-566.
- Metcalfe, I. and Sone, M. 2008. Biostratigraphy and palaeobiogeography of Lower Permian (lower Kungurian) conodonts from the Tak Fa Formation (Saraburi Limestone), Thailand. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 257: 139-151.
- Moore, R. C. (1961). Treatise of Invertebrate paleontology, part Q, Arthropoda 3. Geological Society of America. University of Kansas Press. Lawrence: Q1-Q442.
- Nakhornsri, N. (1977). Geological Map of Thailand on 1:250,000 scale: Sheet Amphoe Ban Mi (ND 47-4). Department of Mineral Resource: Bangkok.
- Nakhornsri, N. (1981). Geology and mineral resources of map sheet Amphoe Ban Mi. Department of Mineral Resources: Bangkok.
- Oertli, H. J. (1971). The aspect of Ostracode fauna-a possible new tool on petroleum sedimentology. In Oertli, H. J. (ed.). Paléoécologie des Ostracodes, Bull. Centre. Rech. Pau, SNPA, pp. 137-151.
- Peterson, R. M. and Kaesler, R. L. (1980). Distribution and diversity of ostracode assemblages from the Hamlin Shale and the Americus Limestones (Permian,

- Wolfcampian) in northeastern Kansas. The University of Kansas Paleontological contributions. 100: 1-26.
- Pieri, V., Marten, K., Naselli-Flores, L. Marrone, F., and Rossetti, G. (2006). Distribution of Recent ostracodes in inland waters of Sicily (Southern Italy). Journal of Limnology. 65(1): 1-8.
- Pokorny, V. (1978). Ostracodes. In B. U. Haq and A. Boersma (eds.). Introduction to marine micropaleontology. Elsevier: New York.
- Polenova, E.N. 1952. Ostracods from the Upper Givetian of the Russian platform. VNIGRI 60: 65-156. (in Russian)
- Pribyl, A. and Pek, I. (1987). New ostracodes from the Lower Permian of Bolovia. Geographica-Geologica XXVI. 8, 65-90.
- Rojas, K. M. K., Niemann, M., Palmowski, D., Peters, K. and Stankiewicz, A. (2011). Basic petroleum geochemistry for source rock evaluation. Oilfield Review. 23(2): 1-12.
- Shi, C. G. and Chen, D. Q. (1987). The Changhsingian ostracodes from Meishan Changxing, Zhejiang. Stratigraphy and Palaeontology of Systemic Boundaries in China: Permian and Triassic Boundary 5: 23-80 (in Chinese with English abstract).
- Sohn, I. G. (1954). Ostracodes from the Permian of the Glass Mountains, Texas. United States Geological Survey Professional Paper (264-A): 1-24.
- Sohn, I. G. (1960). Paleozoic species of Bairdia and related genera. United States Geological Survey Professional Paper (330-A): 1-105.
- Sohn, I. G. (1961). Aechminella, Amphissites, Kirkbyella and related genera. United States Geological Survey Professional Paper (330-B): 107-160.
- Sohn, I. G. 1971. New Late Mississippian Ostracode genera and species from Northern Alaska. A review of the Paraparchitacea. United States Geological Survey Professional Paper (711A): 1-24.
- Sone, M., Chonglakmani, C., and Chitnarin, A. (2009). Middle Permian Producidine brachiopods from central Thailand (the Indochina Terrane) with paleobiogeographic implications. Journal of Paleontology, 83(5), 804-810.
- Udchachon, M., Burrett, C., Thassanapak, H., Chonglakmani, C., Campbell, H., and Feng, Q. 2014. Depositional setting and paleoenvironment of an alatoconchid-bearing Middle Permian carbonate ramp sequence in the Indochina Terrane. Journal of Asian Earth Sciences. 87: 37-55.

- Ueno, K. and Charoentitirat, T. 2011. Carboniferous and Permian. In M. F. Ridd, A. J. Barber, M. J. Crow (eds.) *The Geology of Thailand*. The Geological Society London. p. 71-136.
- Ulrich and Bassler, R. S. 1906. New American Palaeozoic ostracoda. Notes and descriptions of the Upper Carboniferous genera and species. U.S. National Museum Paper 30: 149-164.
- Vachard, D. and Krainer, K. (2001). Smaller foraminifers, characteristic algae and pseudo-algae of the latest Carboniferous/Early Permian Rattendorf Group, Carnic Alps (Austria/Italy). Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia. 107(2): 169-195.
- Whatley, R. C. (1988). Ostracoda and palaeogeography. In P. De Decker, J. P. Colin, and J.P. Peypoquet (eds.). Ostracoda in the Earth Science (pp. 103-115). Elsevier: Amsterdam
- Wielchowsky, C. and Young, J. (1985). Regional facies variation in Permian of the Phetchabun fold and thrust belt, Thailand. In P. Thanuvarachon, S. Hokjaroen and W. Yanungme (eds.). *Proceeding of the Conference on Geology and Mineral Resources Development of Northeastern Thailand* (pp. 41-55). Department of Geotechnology. KhonKaen University: KhonKaen

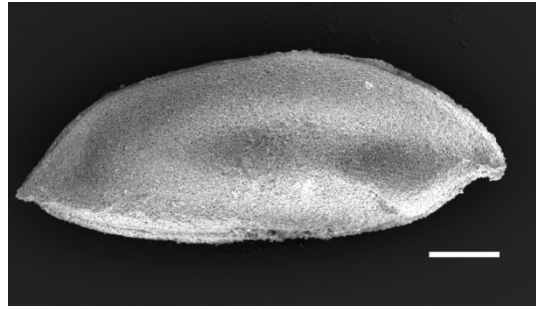
ภาคผนวก ก

การจำแนกออสตราคอดยุคเพอร์เมียนจากหน้าตัดหินเขาลูกโกลน

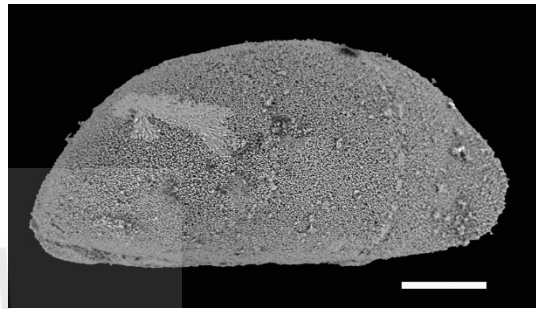
สเกลบาร์มีขนาด 0.1 มม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

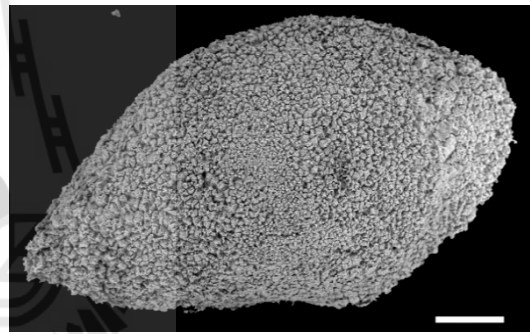
Acratia sp.1



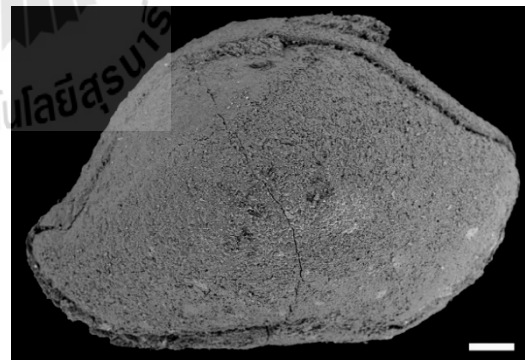
Acratia sp.2



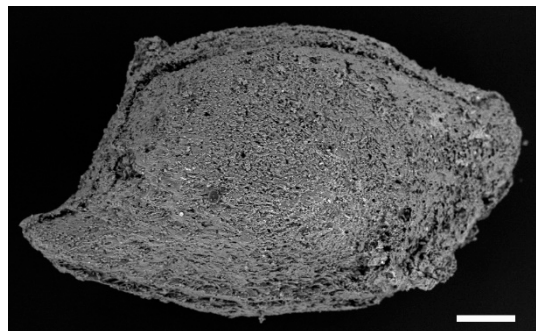
Bairdia sp.1



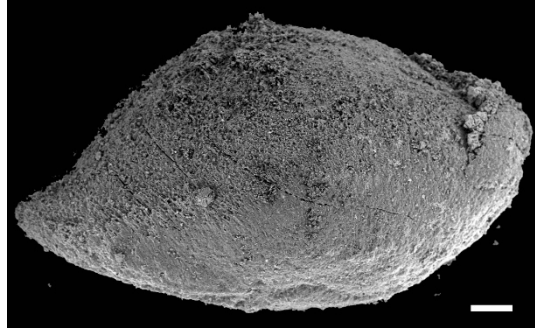
Bairdia sp. 2



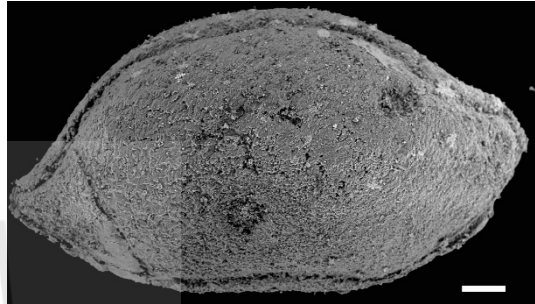
Bairdia sp.3



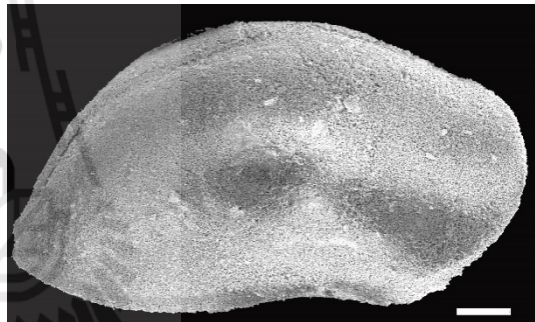
Bairdia sp.4



Bairdia sp.5



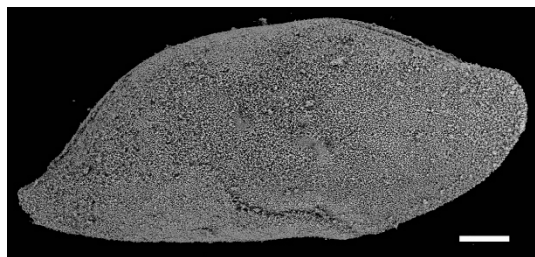
*Bairdiasp.*6



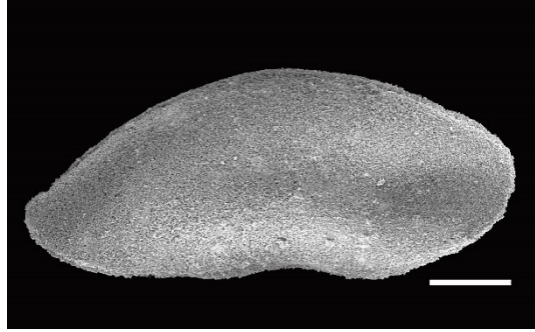
*Bairdiasp.*7



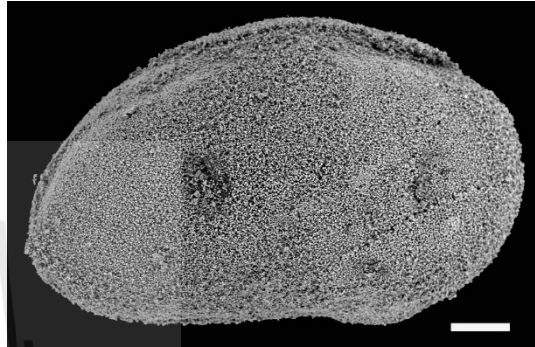
*Bairdiasp.*8



Bairdiasp.9



Bairdiasp.10



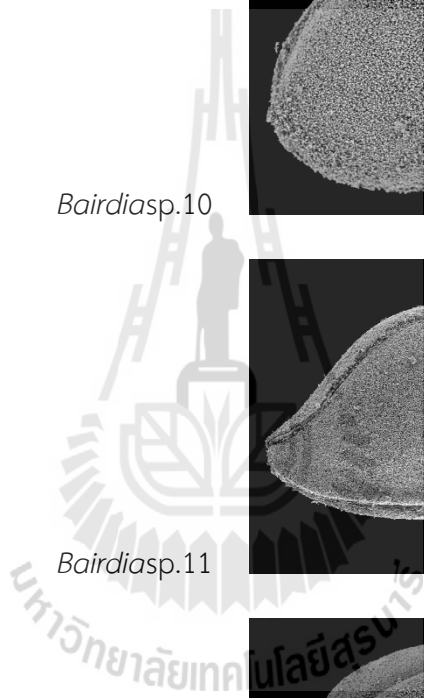
Bairdiasp.11



Bairdiasp.12



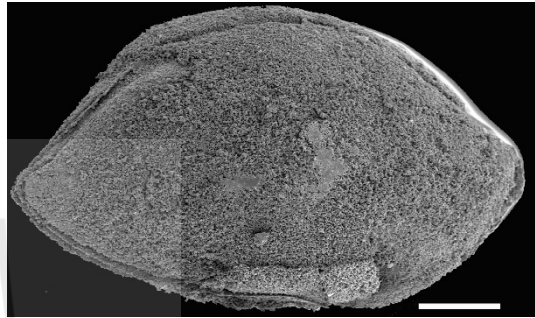
Bairdiasp.13



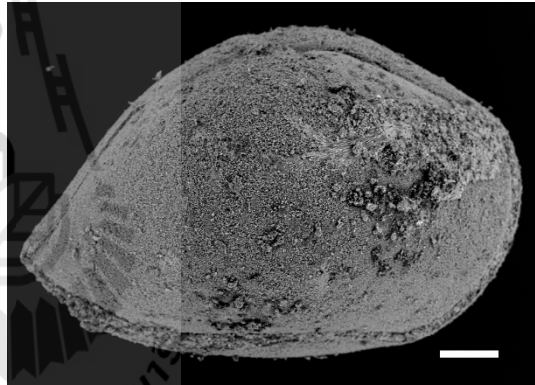
*Bairdiasp.*14



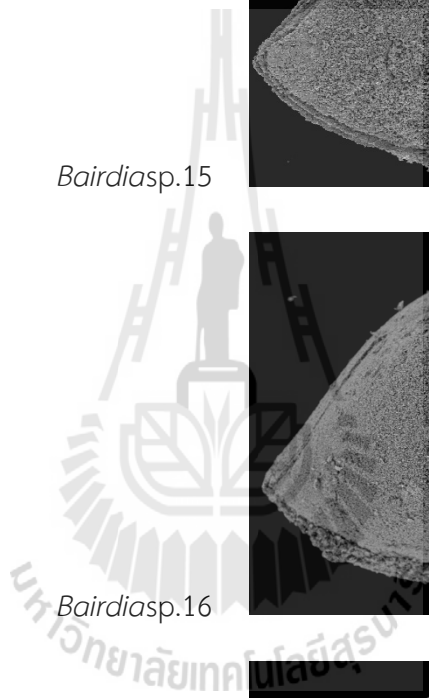
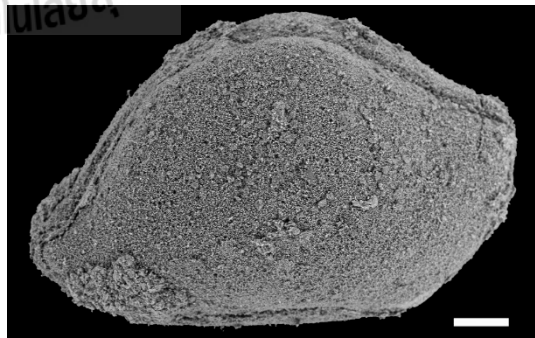
*Bairdiasp.*15



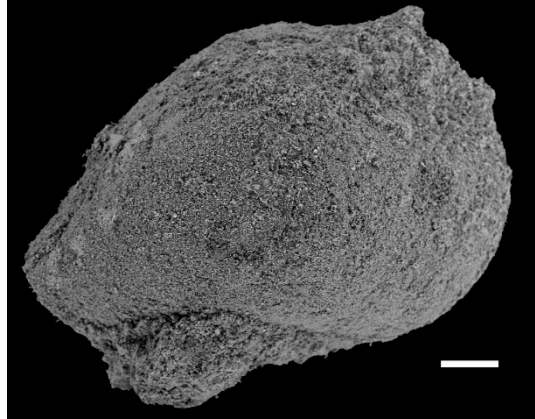
*Bairdiasp.*16



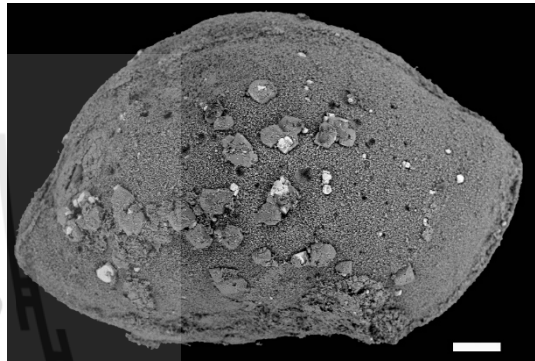
*Bairdiasp.*17



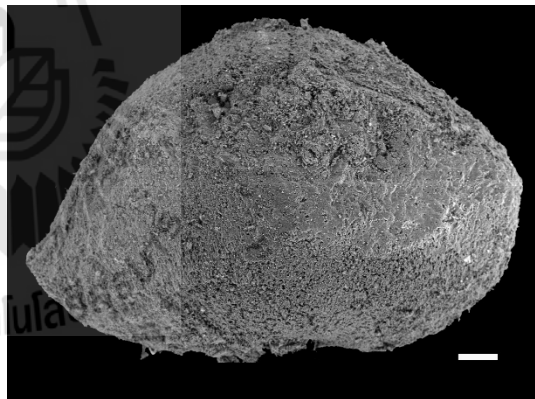
*Bairdiasp.*18



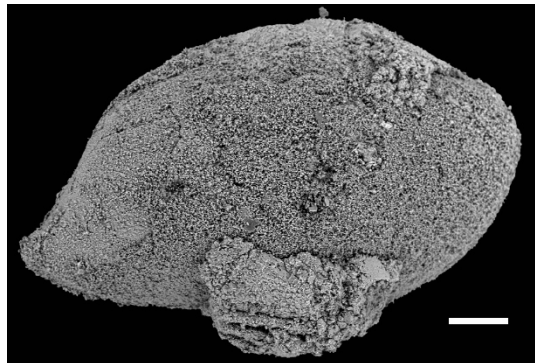
*Bairdiasp.*19



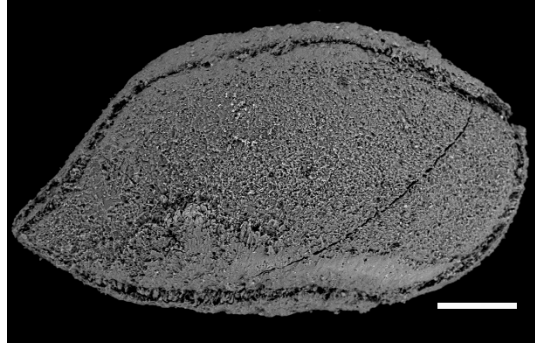
*Bairdiasp.*20



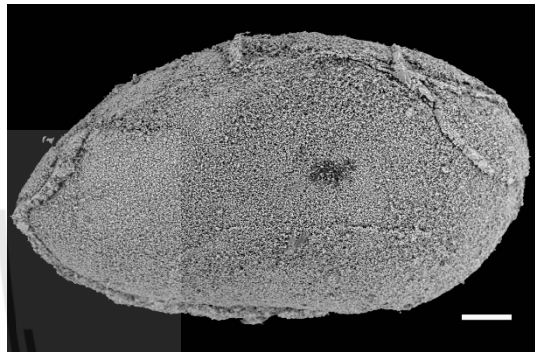
*Bairdiasp.*21



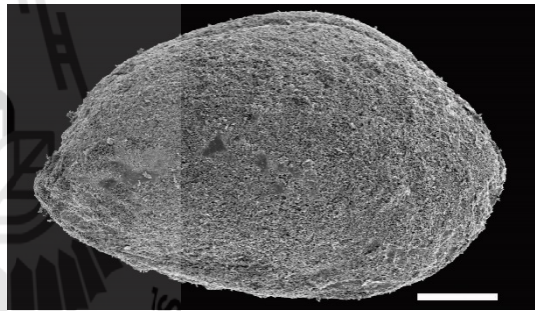
*Bairdiasp.*22



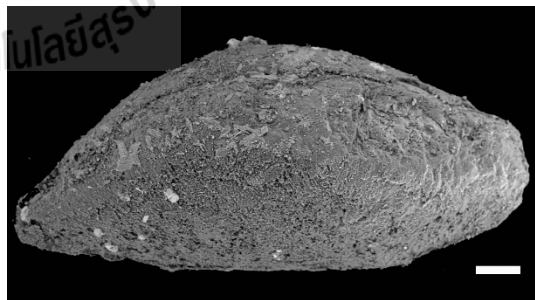
*Bairdiasp.*23



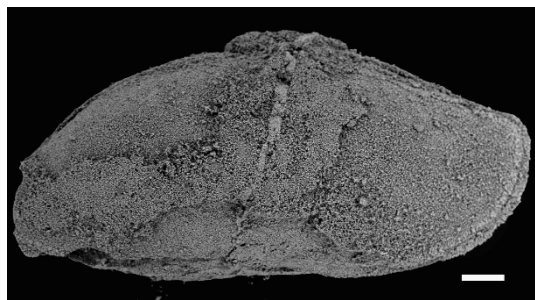
*Bairdiasp.*24



*Bairdiasp.*25



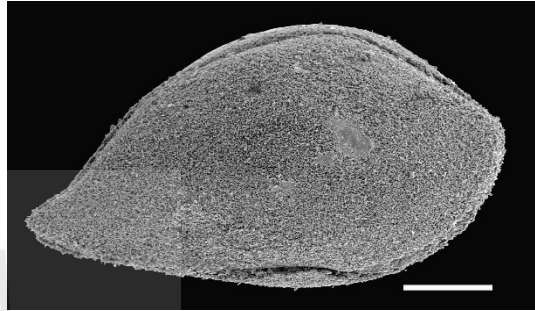
*Bairdiasp.*26



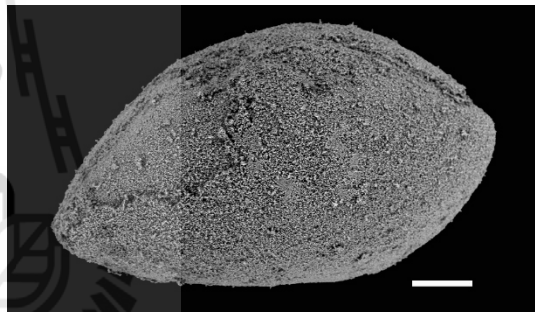
*Bairdiasp.*27



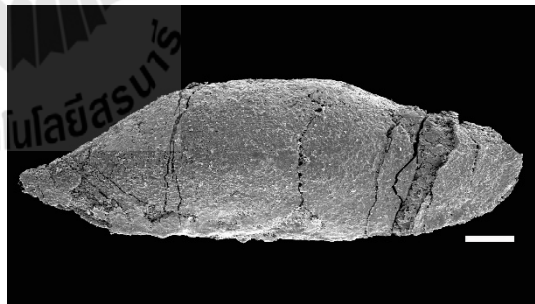
*Bairdiasp.*28



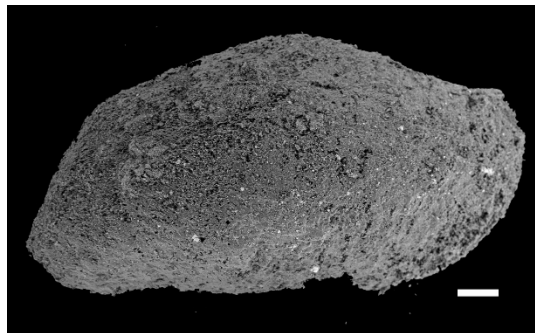
*Bairdiasp.*29



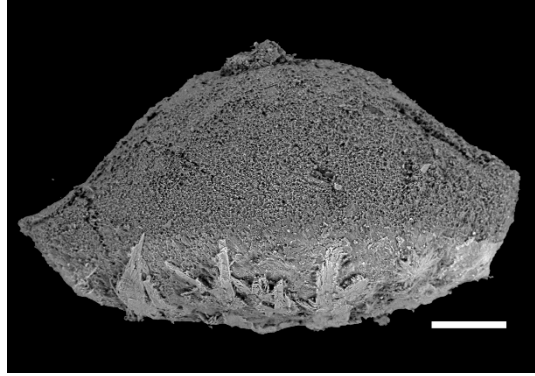
*Bairdiasp.*30



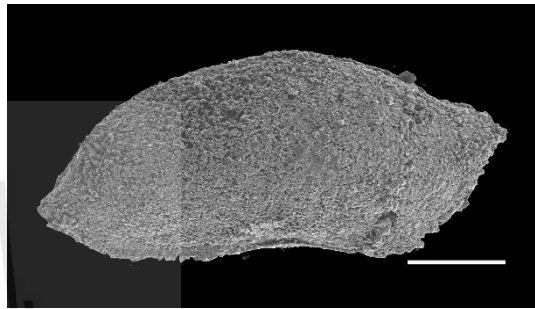
*Bairdiasp.*31



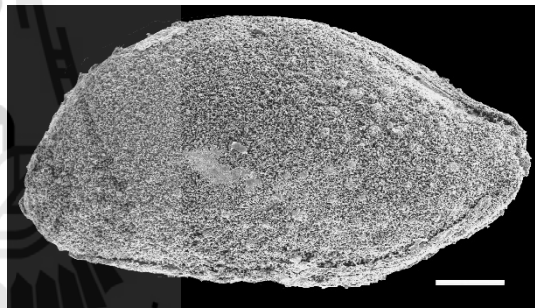
*Bairdiasp.*32



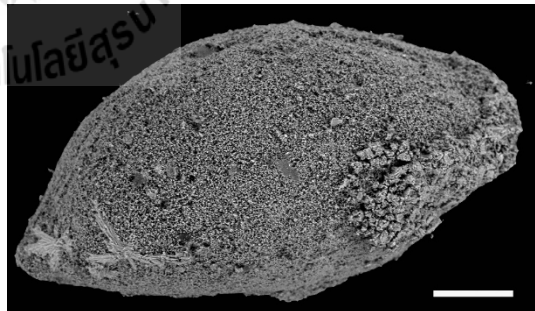
*Bairdiasp.*33



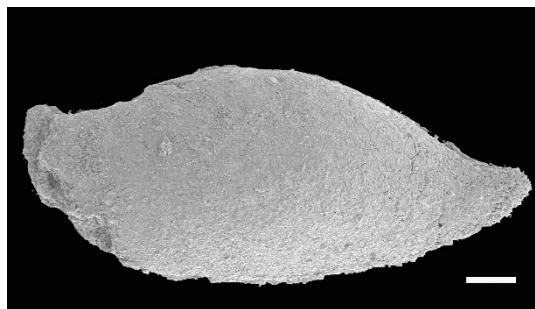
*Bairdiasp.*34



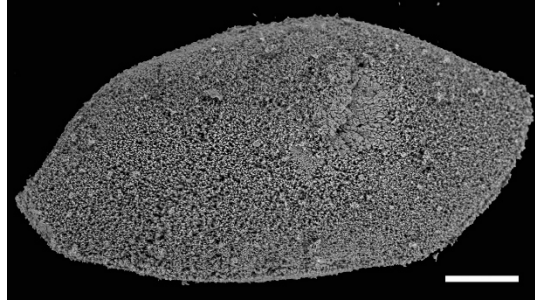
*Bairdiasp.*35



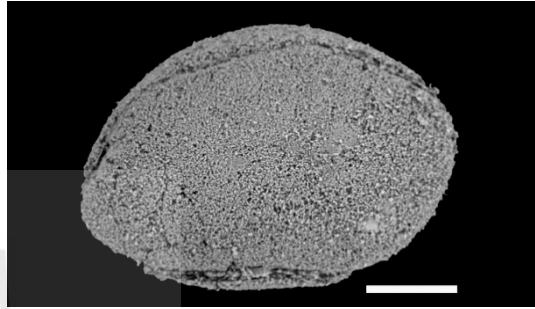
*Bairdiasp.*36



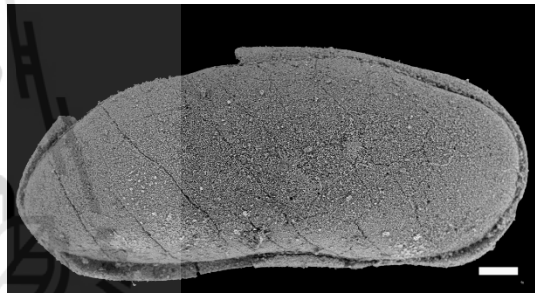
Bairdiasp.37



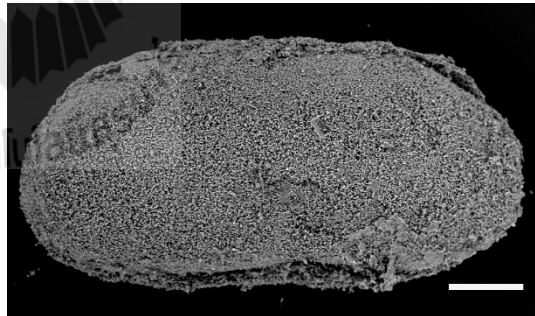
Bairdiasp.38



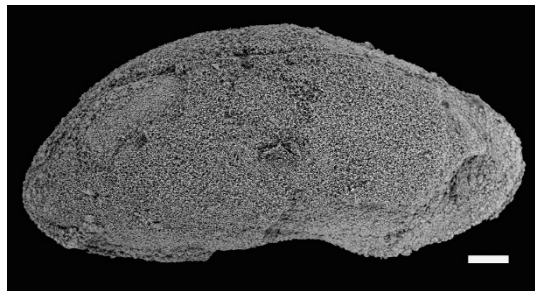
Bairdiacyprissp.1



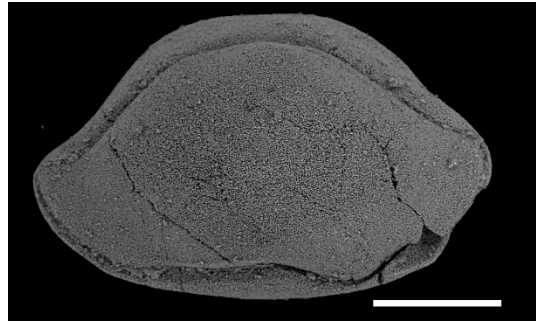
Bairdiacyprissp.2



Bairdiacyprissp.3



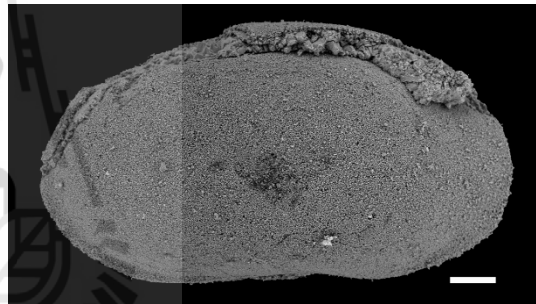
Petasobairdiasp.1



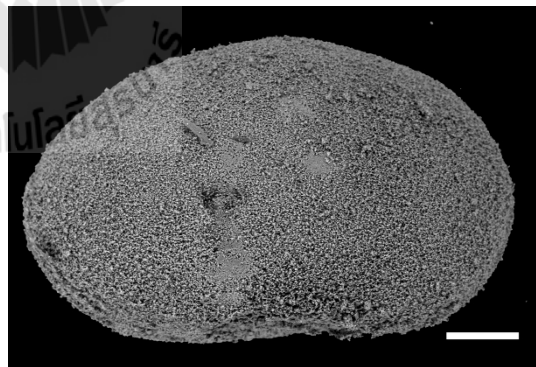
Petasobairdiasp.2



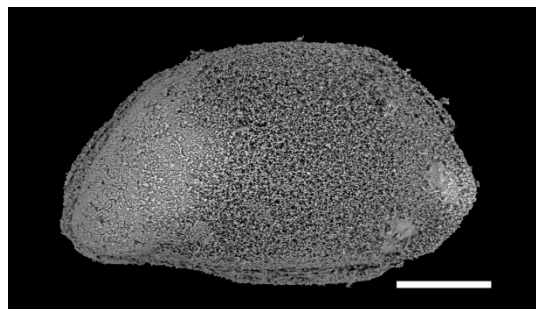
Bairdioideaindet. sp.1



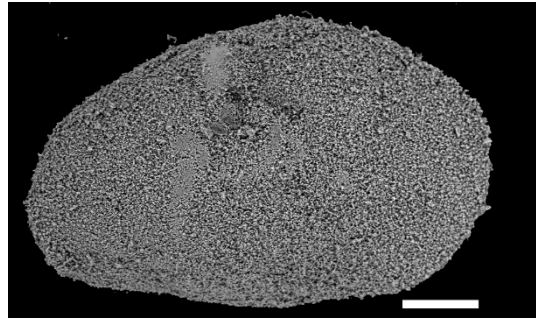
Bairdioideaindet sp.2



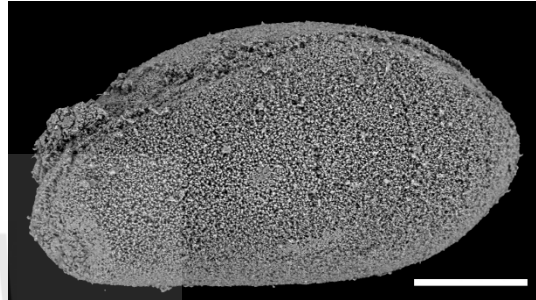
Bairdioideaindet sp.3



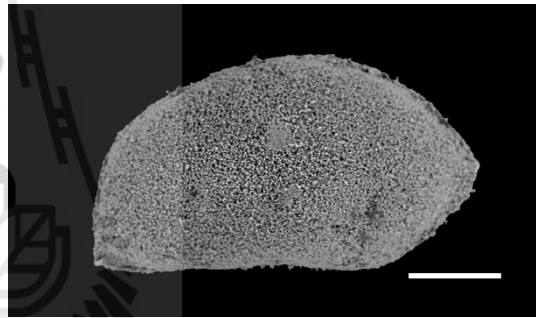
Bairdioideaindet sp.4



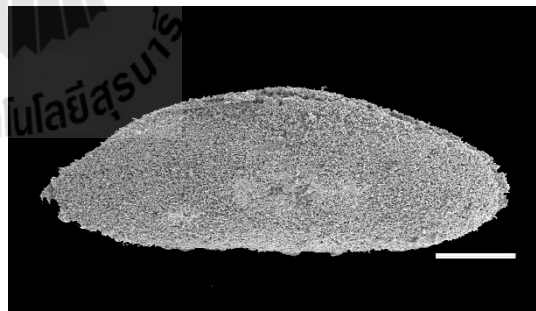
Bairdioideaindet sp.5



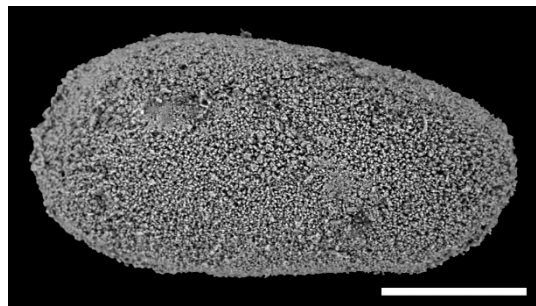
Bairdioideaindet sp.6



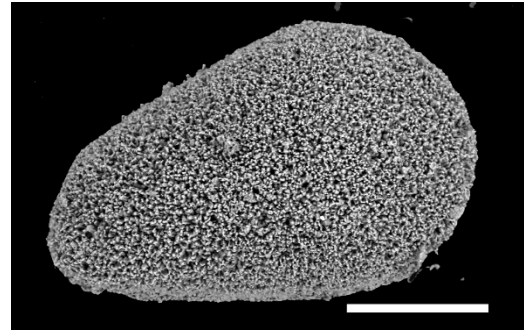
Bairdioideaindet sp.7



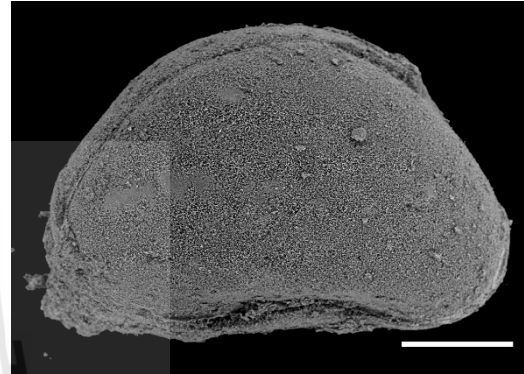
Bairdioideaindet sp.8



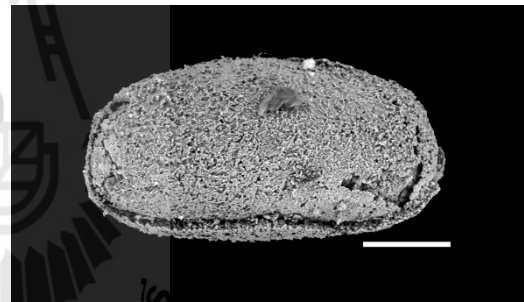
Bashkirinasp.1



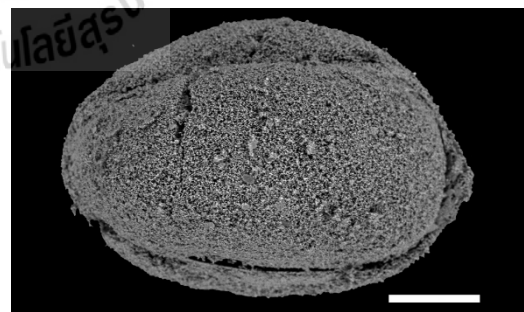
Silenitessp.1



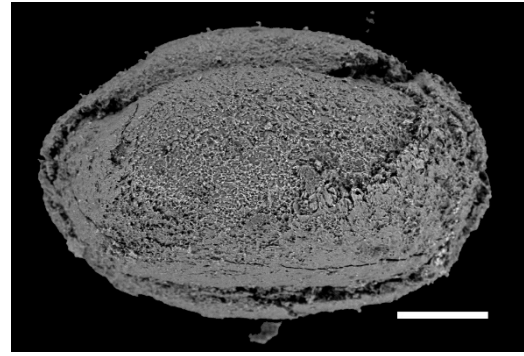
Acratinella sp.1



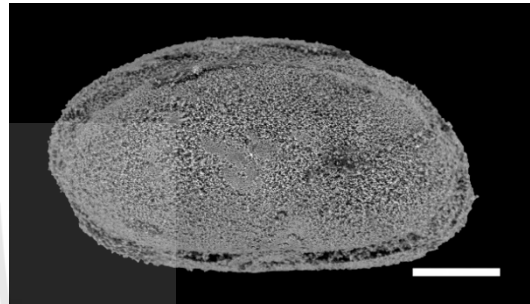
Microchilinellasp.1



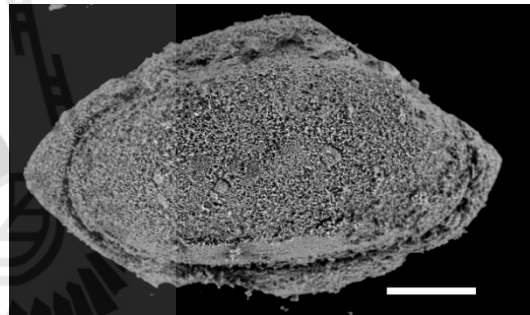
Microchilinellasp.2



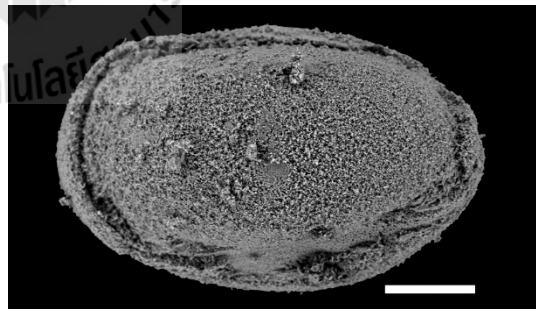
Microchilinellasp.3



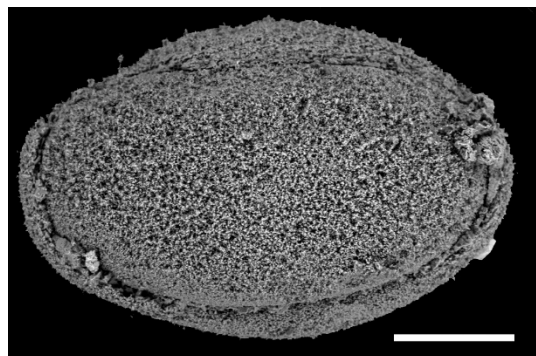
Microchilinellasp.4



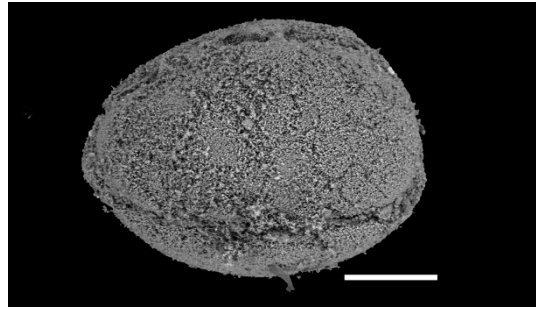
Microchilinellasp.5



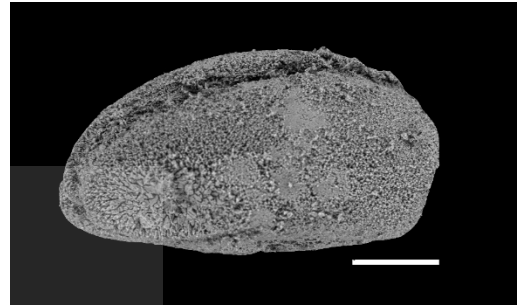
Microchilinellasp.6



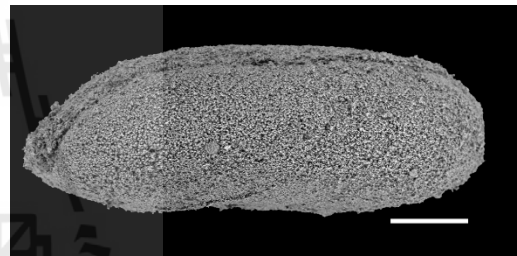
Microchilinellasp.7



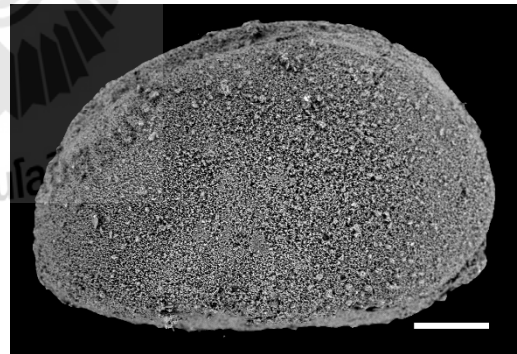
Microchilinellasp.8



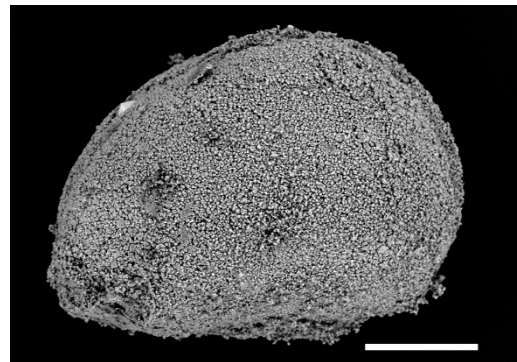
Microchilinellasp.9



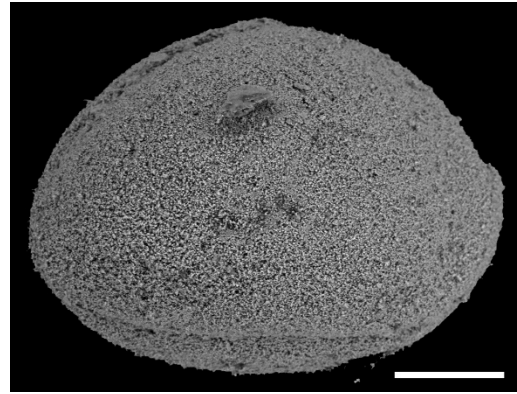
Basslerellasp.1



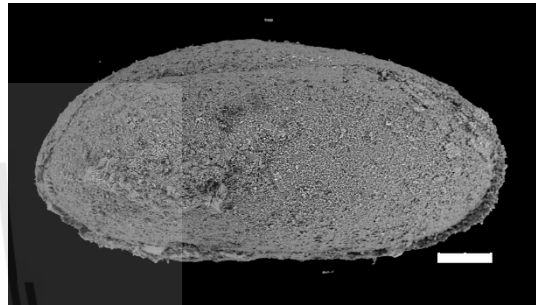
Basslerellasp.2



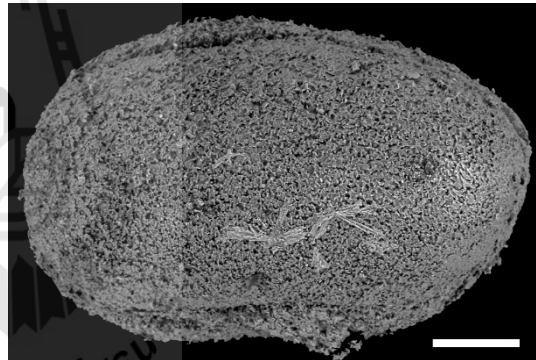
Basslerellasp.3



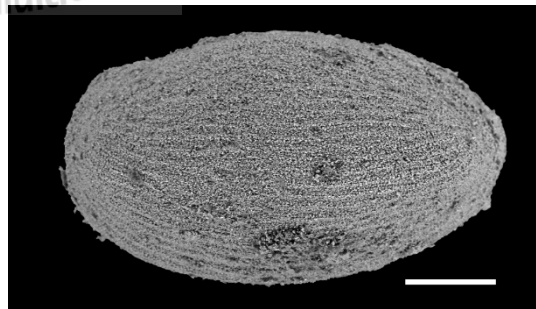
Fabalityprissp.1



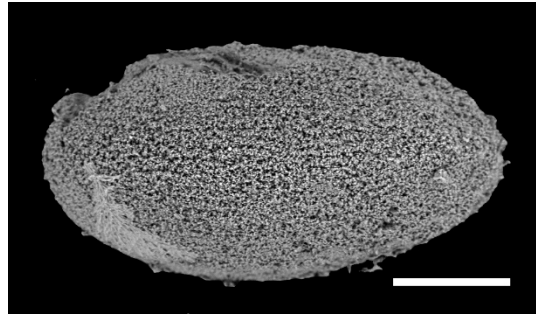
Cavellina sp.1



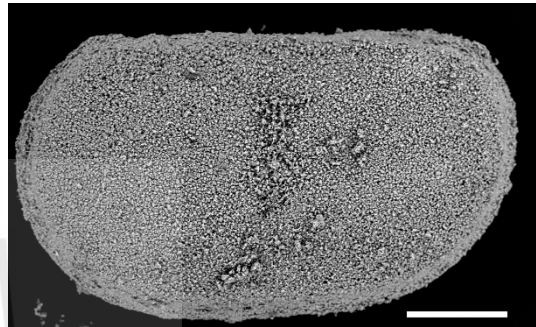
Cyathuscaperata (Guan, 1978)



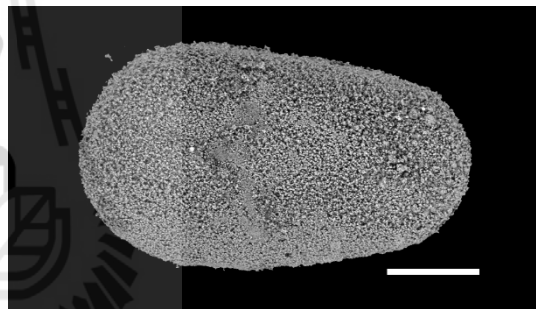
Cyathuselliptica Shi, 1987



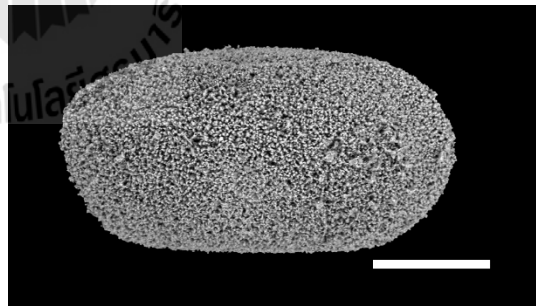
Eukloedenella sp.1



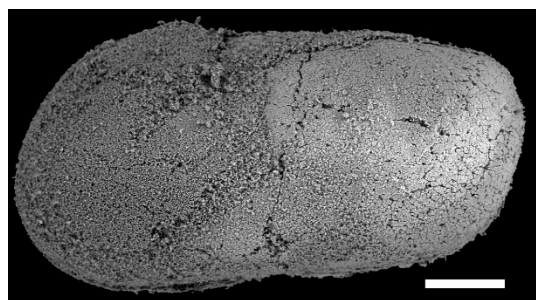
Eukloedenella sp.2



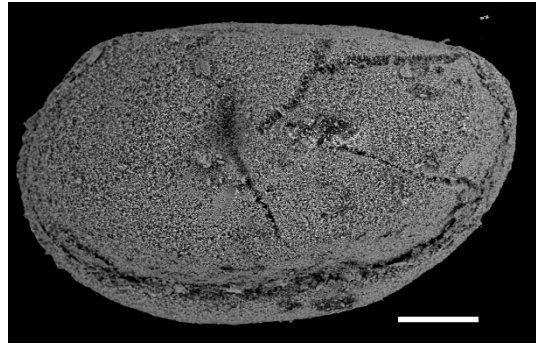
Eukloedenella sp.3



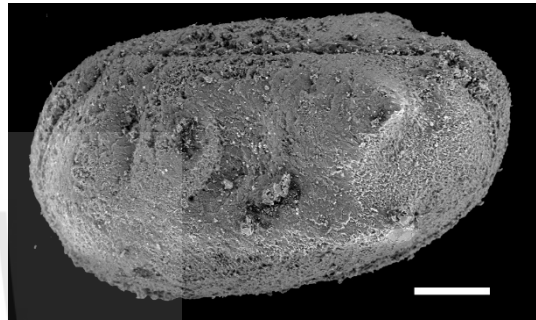
Eukloedenella sp.4



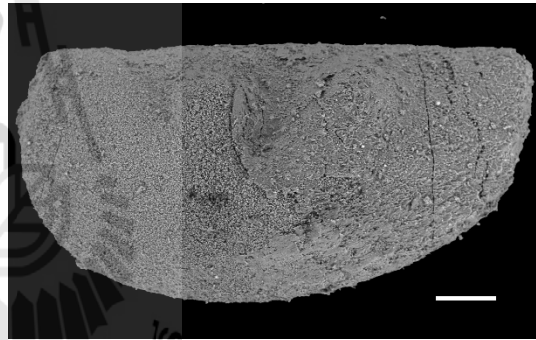
Geffenina posterodorsospina Chitnarin, 2012



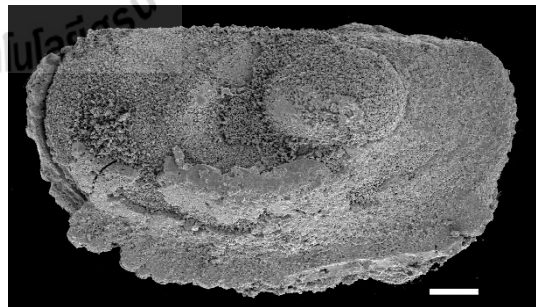
Geisina sp. (Chitnarin et al., 2012)



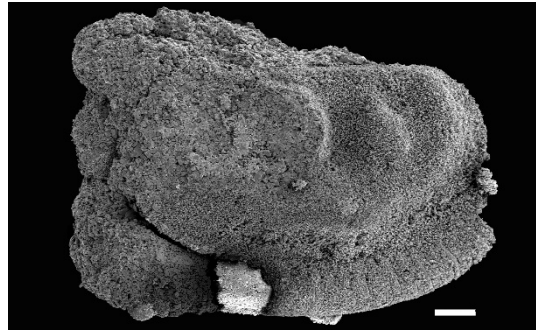
Hollinella sp.1



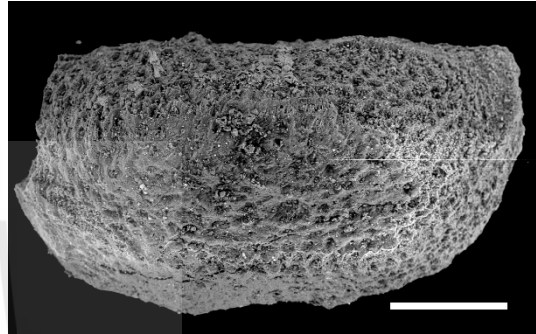
Hollinella (*Hollinella*) *herrickana* (Girty, 1909)



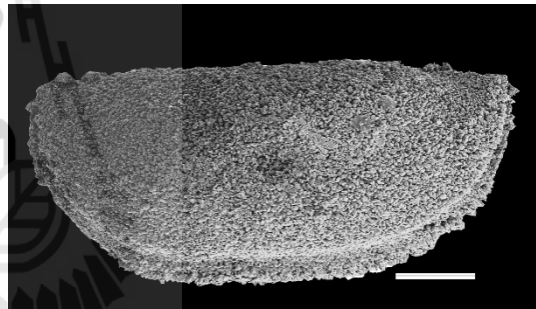
Hollinella(Hollinella) herrickana(Girty, 1909)



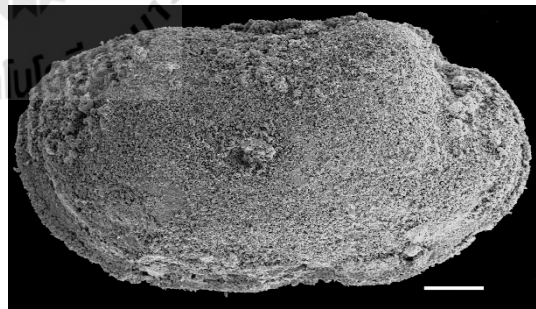
Kirkbya sp.1



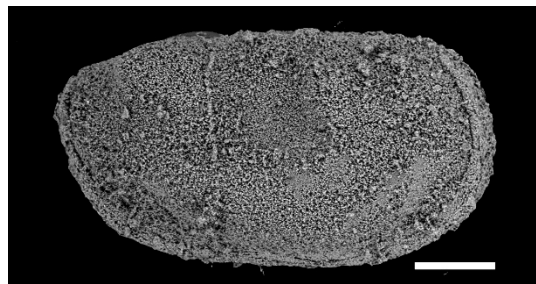
Kirkbya sp.2



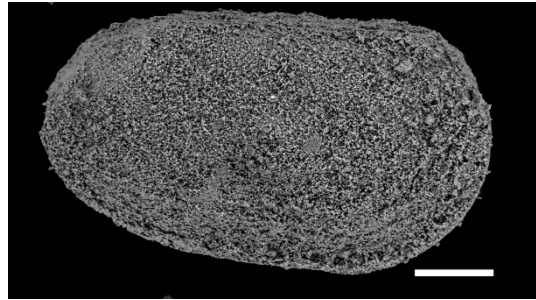
Knightina sp.1



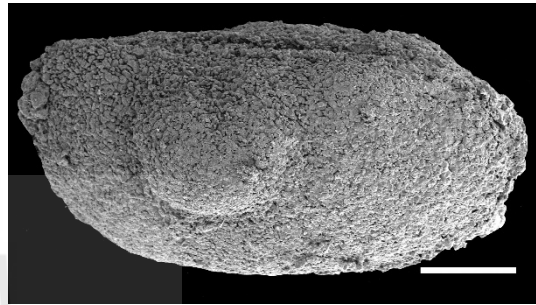
Knightina sp.2



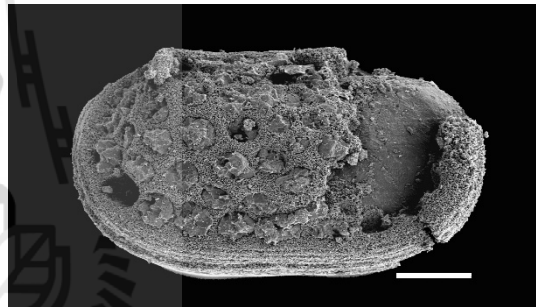
Knightina sp.3



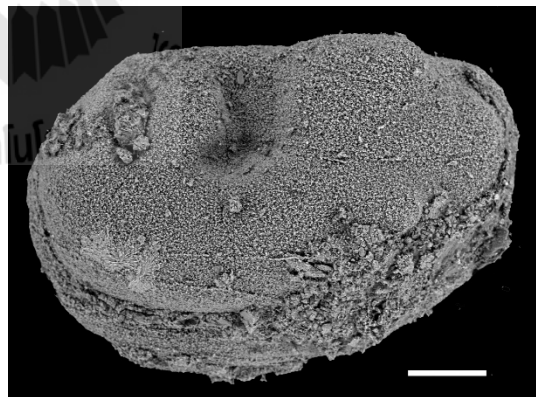
Polytylite sp.1



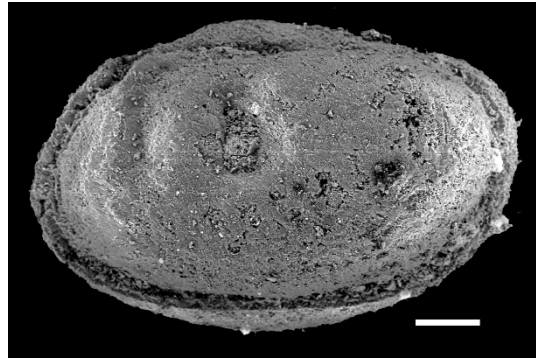
Reviyasompongensis Chitnarin, 2008



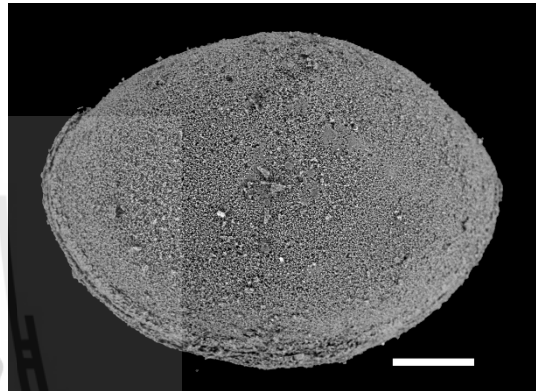
Knoxiella sp.1



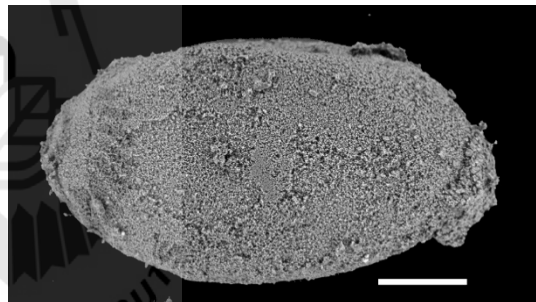
Sargentinachatarameei Chitnarin, 2012



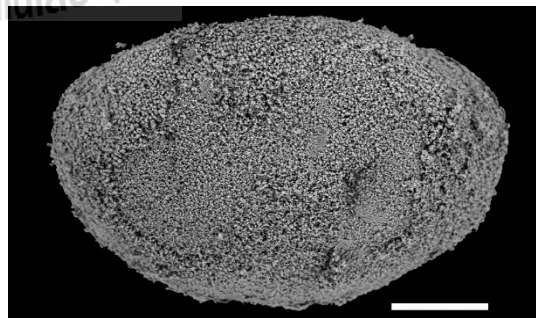
Microceolenellatakfaensis Chitnarin, 2012



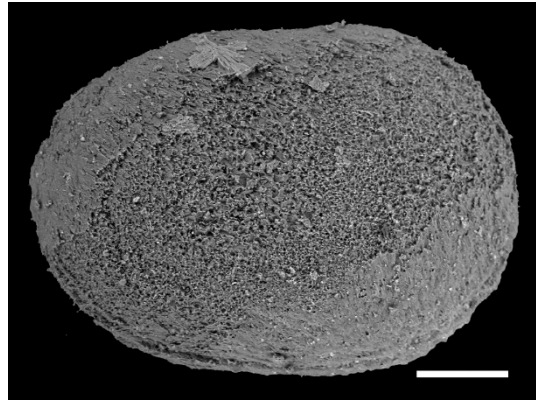
Microceolenellatakliensis Chitnarin, 2012



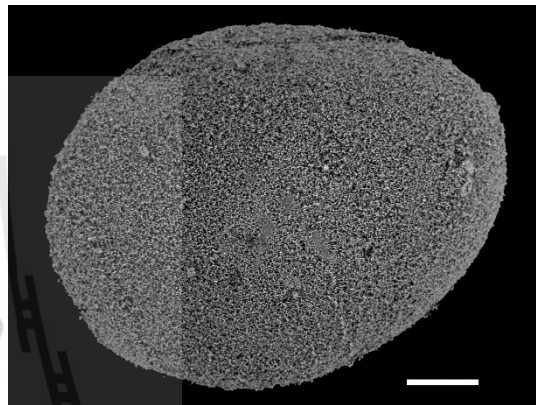
Microceolenellasp.



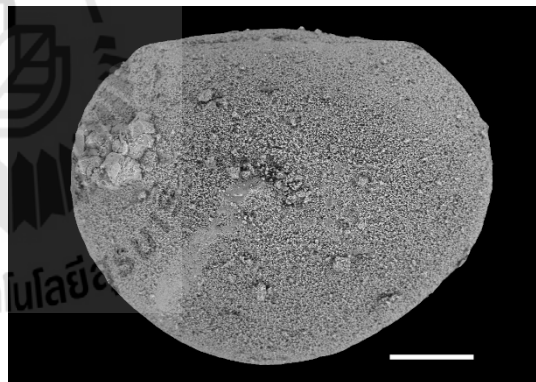
Paraparchiteschenshii Crasquin, 2010



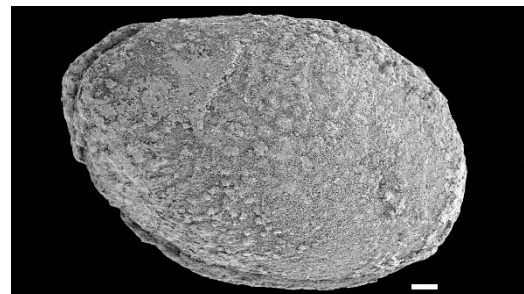
Samarellasonei Chitnarin, 2012



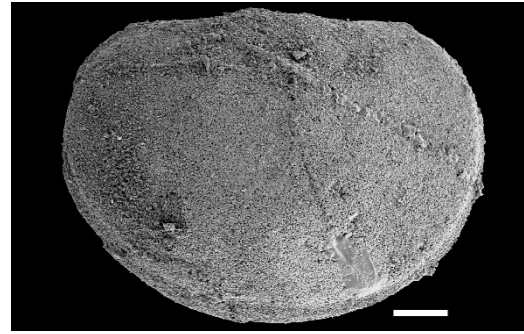
Samarellaviscusforma Chitnarin, 2012



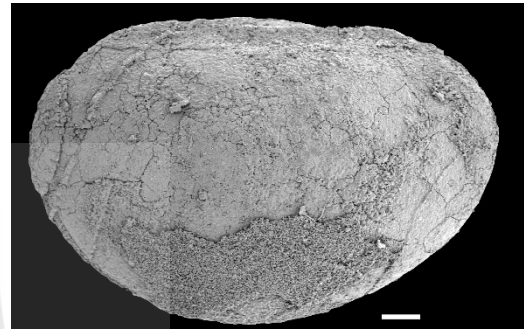
Samarellasp. 1



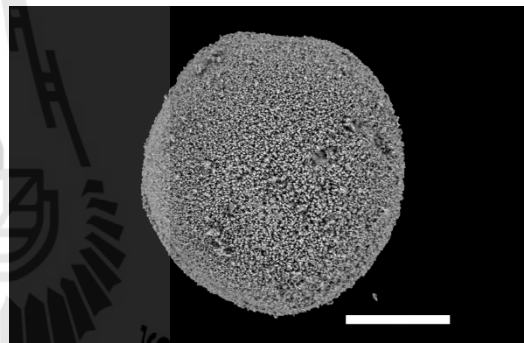
Samarellasp.2



Shemonaellasp.



Polycope sp.1



Fusulinidae sp.



Fusulinidae sp.

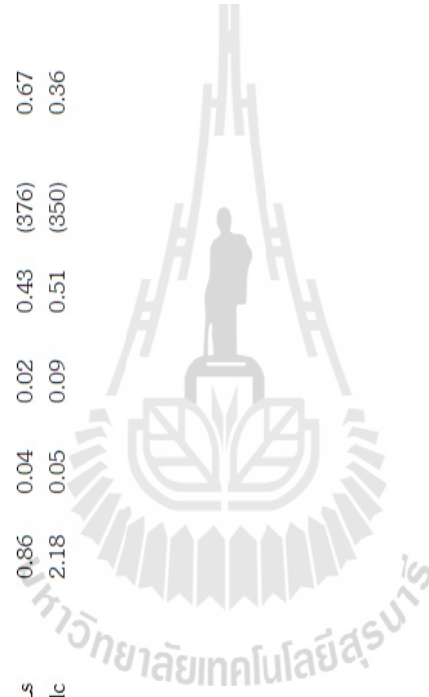




Company : Suranaree University of Technology (Thailand)
 Sample Type : Outcrops
 File No. : Geochem-13155

TABLE
 ROCK-EVAL PYROLYSIS AND TOC CONTENT *

Sample ID	Lithology	TOC (wt.%)			Tmax (°C)	Oil Production Index (OPI)	Potential Yield (S ₁ +S ₂)	Hydrogen Index	Oxygen Index	
		S ₁	S ₂	S ₃						
13 TK 01	med dk gy Ls	0.86	0.04	0.02	0.43	(376)	0.67	0.06	2	50
13 TK 02	dk gy Sh calc	2.18	0.05	0.09	0.51	(350)	0.36	0.14	4	23



S₁ = Free Hydrocarbons
 Oil Production Index = Transformation Ratio = S₁/(S₁+S₂)
 * Pyrolysis by Rock Eval 6; TOC content by Leco Analyzer

S₂ = Pyrolysable Hydrocarbons
 Tmax = Temperature of Maximum S₂
 Hydrogen Index = (S₂/TOC) x 100

S₃ = Organic CO₂
 Oxygen Index = (S₃/TOC) x 100
 () = unreliable Tmax due to value S₂ doublet peak

Company : Suranaree University of Technology (Thailand)
 Sample Type : Outcrops
 File No. : Geochem-13155

TABLE
VITRINITE REFLECTANCE RESULTS

Sample ID	Plug Type	Mean Ro (%)	No. of Readings	Minimum Reflectance (%)	Maximum Reflectance (%)	SD
13 TK 01	WR	1.50	4	1.30	1.72	0.158
13 TK 02	WR	1.66	5	1.39	1.82	0.162



WR : Whole Rock

SD = Standard Deviation

ประวัตินักวิจัย

นางสาวอานิสงส์ จิตนารินทร์ เกิดเมื่อวันที่ 11 กรกฎาคม พ.ศ.2521 ที่จังหวัดเชียงใหม่ จบการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ธรณีวิทยา) จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปี พ.ศ.2542 เริ่มต้นทำงานในตำแหน่งนักวิชาการสิ่งแวดล้อม (เหมืองแร่) และตำแหน่งนักวิจัยระหว่าง พ.ศ. 2542-2545 จากนั้นจึงศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา และสำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ชีววิทยาสิ่งแวดล้อม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปี พ.ศ. 2548 ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (ชีววิทยาสิ่งแวดล้อม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปี พ.ศ. 2553 และ DOCTEUR de l'Université Paris VI (GEOSCIENCES ET RESSOURCES NATURELLES) จาก University Pierre & Marie CURIE ประเทศฝรั่งเศส ในปี พ.ศ. 2553 เช่นกัน ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมธรณี สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี มีความสนใจด้านตะกอนวิทยา บรรพชีวินวิทยาและการลำดับชั้นหิน