

ซากดึกดำบรรพ์เรติโอลาเรียน อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ หลักฐานการนำไปสู่สภาพภูมิศาสตร์ของทะเลบรรพกาลเททิส

ธนภุต เตจ๊ะ^{1*} Qinglai Feng² และ ปัญญา จารุศิริ^{3,4}

¹สำนักงานทรัพยากรธรณี เขต 1 กรมทรัพยากรธรณี ²China University of Geosciences (Wuhan)

³MESA CE คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ⁴กรมทรัพยากรธรณี กรุงเทพมหานคร

*E-mail: tanaklit@dmr.mail.go.th

บทคัดย่อ

ชั้นหินตะกอนของเขตอินทนนท์ พื้นที่อำเภอยางชุมน้อย จังหวัดศรีสะเกษ ถูกสำรวจเพื่อการศึกษาซากดึกดำบรรพ์เรติโอลาเรียน โดยทำการลำดับชั้นหินตะกอน และแปลความหมายสภาพภูมิศาสตร์บรรพกาล จากการลำดับชั้นหิน ส่วนใหญ่เป็นหินตะกอนเนื้อซิลิกา ความหนาชั้นหินประมาณ 2-5 เซนติเมตร โดยลำดับประเภทหินตะกอนจากอายุเก่าแก่ไปอ่อน คือ หินดินดานสีดำ หินถ้ำภูเขาไฟเนื้อซิลิกา หินเชิร์ต และ หินดินดาน ผลการศึกษาจากตัวอย่างหินตะกอนเนื้อซิลิกาในพื้นที่ทั้งหมด 80 ตัวอย่าง พบว่า เรติโอลาเรียนมีรูปร่างสมบูรณ์ ส่วนใหญ่ปรากฏในหินเชิร์ต และหินถ้ำภูเขาไฟ จำนวน 43 สายพันธุ์ (species), 13 สกุล (genera), และ 9 วงศ์ (families) ของ 3 อันดับ (orders) ทำให้สามารถกำหนดอายุได้อย่างชัดเจน โดยจัดแบ่งเป็น 3 ช่วงอายุ ได้แก่ 1) ยุคติวเนียนตอนกลางถึงปลาย ได้แก่ *Trilonche minax*, *Trilonche elegans*, *Trilonche palimbola*, *Trilonche chiangdaoensis*, 2) ยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น ได้แก่ *Albaillella cartalla*, *Entactinia itsukatriensis*, *Pseudotormetus kamikoriensis*, และ 3) ยุคเพอร์เมียน *Pseudoalbaillella sakmarensis*, *Pseudoalbaillella rhombothoracata*, *Pseudoalbaillella simplex* และพบโคโนดอนท์ จำนวน 1 สายพันธุ์ คือ *Mesogondolella* sp. ผลการแปลความหมายของสภาพแวดล้อมบรรพกาลในพื้นที่การศึกษา ทำให้เชื่อว่าบริเวณขอบธรณีภาคไซบูมาสูด้านตะวันออกซึ่งเป็นทะเลบรรพกาลเททิส มีการสะสมตัวของตะกอนทะเลน้ำลึก (Pelagic) เป็นช่วงระยะเวลายาวนาน ตั้งแต่ยุคติวเนียนตอนกลางจนถึงเพอร์เมียน จากหลักฐานปรากฏหินถ้ำภูเขาไฟในยุคติวเนียนตอนกลาง บ่งชี้ถึงการปะทุของภูเขาไฟในทะเลเกิดการสะสมตะกอนภูเขาไฟร่วมกับซิลิกา และเรติโอลาเรียนบนพื้นสมุทร ต่อมายุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลาย เกิดการหายไปของเรติโอลาเรียนทั้งหมด โดยเหตุการณ์นี้สัมพันธ์กับการละลายตัวธารน้ำแข็งจากซีกโลกใต้ของแผ่นมหาทวีปคอนวานาไหลลงมหาสมุทร มีผลให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว เรติโอลาเรียนจึงไม่สามารถสะสมตัวได้ อีกทั้งในยุคเพอร์เมียนตอนปลาย (ต้นสมัยโลพินเกียน) พบโคโนดอนต์สะสมตัวร่วมกับเรติโอลาเรียน บ่งชี้ถึงสภาพแวดล้อมของขอบทวีปที่เป็นทะเลกึ่งท้องสมุทร (Hemipelagic environment) เป็นไปได้ว่ามีการยกตัวของแผ่นดินในช่วงเวลานั้นเกิดเป็นไหล่ทวีปซึ่งเป็นอิทธิพลจากการเคลื่อนที่เข้าหากันของแผ่นธรณีภาคไซบูมาสากับอินโดจีน

คำสำคัญ: เรติโอลาเรียน ทะเลเททิส เขตอินทนนท์ มหายุคพาลีโอโซอิก เชียงใหม่

1. บทนำ

ผลจากการเคลื่อนที่ออกจากกันของแผ่นอนุทวีปต่างๆจากมหาทวีปคอนวานา ในยุคติวเนียนถึงไทรแอสสิกตอนปลาย ทำให้เกิดทะเลบรรพกาลเททิส (Paleo-Tethys ocean) ซึ่งอยู่ระหว่างการเคลื่อนที่เข้าหากันของแผ่นธรณีภาคไซบูมาส (Sibumasu terrane) และแผ่นธรณีภาคอินโดจีน (Indochina terrane) โดยแผ่นธรณีภาคของไซบูมาสเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ประเทศเมียนมาร์, ภาคเหนือ และตะวันตกของประเทศไทย, คาบสมุทรมลายู-มาเลเซีย และบริเวณด้านตะวันตกของสาธารณรัฐประชาชนจีน (Metcalf, 2013) หลังจากกระบวนการ

เคลื่อนที่ของแผ่นธรณีภาคชนตัวกันจนทะเลบรรพกาลเทที่สปีดลง ยังคงปรากฏหลักฐานเป็นแนวตะเข็บแผ่นดิน (suture zone) บ่งชี้ถึงบริเวณที่เคยมีสภาพเป็นทะเลเทที่สบรรพกาล ประกอบด้วย แนวเขตฉางหนิง-มิ่งเหลียน (Changning-Menglian suture zone) และ แนวเขตอินทนนท์ (Inthanon zone) (Barr และ Macdonald, 1991) ด้วยเหตุนี้เองการศึกษาหลักฐานบริเวณแนวตะเข็บดังกล่าว สามารถอธิบายถึงวิวัฒนาการของการเกิดแผ่นดิน รวมถึงสภาพภูมิศาสตร์บรรพกาลในช่วงเวลานั้นได้ (รูปที่ 1)

การหาหลักฐานสนับสนุนการการแปลความหมายของวิวัฒนาการทะเลบรรพกาล สามารถศึกษาชุด หินภูเขาไฟใต้ทะเล (Oceanic island basalt) ซึ่งจัดเป็นส่วนหนึ่งของชุดหินที่แสดงลักษณะการลำดับชั้นหินของ เปลือกโลกมหาสมุทร ที่ปิดทับด้วยหินตะกอนทะเล เรียกว่า ชุดหินโอไฟโอไลต์ (Ophiolite) สำหรับพื้นที่แนวเขต อินทนนท์ของภาคเหนือ ประเทศไทย มีแนวเขตด้านตะวันตกโดยการใช้แนวรอยเลื่อนแม่ยม (Mae Yuam falt) และ ใช้แนวตะเข็บแผ่นดินเชียงใหม่-เชียงราย เป็นขอบเขตด้านตะวันออก และยังเป็นการแบ่งเขตด้านตะวันตกของแนว เขตภูเขาไฟสุโขทัย (Metcalf และคณะ, 2017)

สำหรับพื้นที่แนวเขตอินทนนท์ เป็นหลักฐานทางธรณีวิทยาที่บ่งชี้ถึงการเกิดทะเลบรรพกาลเทที่ สตอนใต้ครอบคลุมพื้นที่ ทิศตะวันตกเฉียงเหนือของจังหวัดเชียงใหม่ เช่น อำเภอเชียงดาว ไชยปราการ และพร้าว ตลอดจนถึงบริเวณตอนเหนือของจังหวัดแม่ฮ่องสอน เช่น อำเภอ ปาย แม่สะเรียง ส่วนแนวเขตฉางหนิง-มิ่งเหลียน เป็นตอนเหนือของทะเลบรรพกาลเทที่ส ครอบคลุมพื้นที่มณฑลยูนนานตอนใต้ สาธารณรัฐประชาชนจีน สะสมตัวใน ทะเลบรรพกาลเทที่สมิ ตั้งแต่ยุคดีโวเนียนตอนกลาง ถึง ไทรแอสสิกตอนปลาย (Sone และ Metcalf., 2008; Hara และคณะ, 2010; Metcalf, 2011) หรือในบางรายงานกล่าวถึงการสะสมตัวตั้งแต่ ยุคดีโวเนียนตอนต้น เป็นต้นมา (Feng และ Liu, 1993c; Metcalf และคณะ, 2013) โดยใช้ซากดึกดำบรรพ์ของเรดิโอลาเรียนเป็นดัชนีระบุช่วงอายุ ช่วงเวลาการสะสมตัวของตะกอนในทะเลได้ค่อนข้างแม่นยำ นอกจากนั้นยังสามารถนำไปใช้แปลความหมายถึง ภูมิศาสตร์บรรพกาล และเหตุการณ์ธรณีแปรสัณฐานบรรพกาลได้

การศึกษาทะเลบรรพกาลเทที่สในพื้นที่แนวเขตอินทนนท์ เริ่มต้น โดย Kobayashi และ Igo (1966) ทำการศึกษาแกรบโทไลต์ และแบรคิโอพอด ในหินดินดานสีดำ อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ ได้อายุในยุคออร์โด วิเซียนตอนกลาง ถึง ไชลูเรียนตอนต้น ต่อ Jaeger และคณะ (1968) ศึกษาแกรบโทไลต์ และโคโนดอนต์ ใน หินดินดานสีดำเช่นกัน ระบุอายุได้ยุคดีโวเนียนตอนต้นที่มีความสอดคล้องกับงานของ Randon และคณะ (2006) แต่ อย่างไรก็ดีตามในช่วงแรกของการหาอายุก็ยังไม่ได้ศึกษาเรดิโอลาเรียนในประเทศไทย ต่อมา Bunopas (1981) ศึกษา ลำดับชั้นของหินตะกอนเนื้อซิลิกา ประกอบด้วย หินเชิร์ต หินดินดาน หินดินดานสีดำ บริเวณทางหลวงหมายเลข 107 เชียงดาว-ฝาง ครอบคลุมพื้นที่งานที่กล่าวมาข้างต้น และให้ชื่อชุดหินบริเวณนี้ว่า “ฝางเชิร์ต”

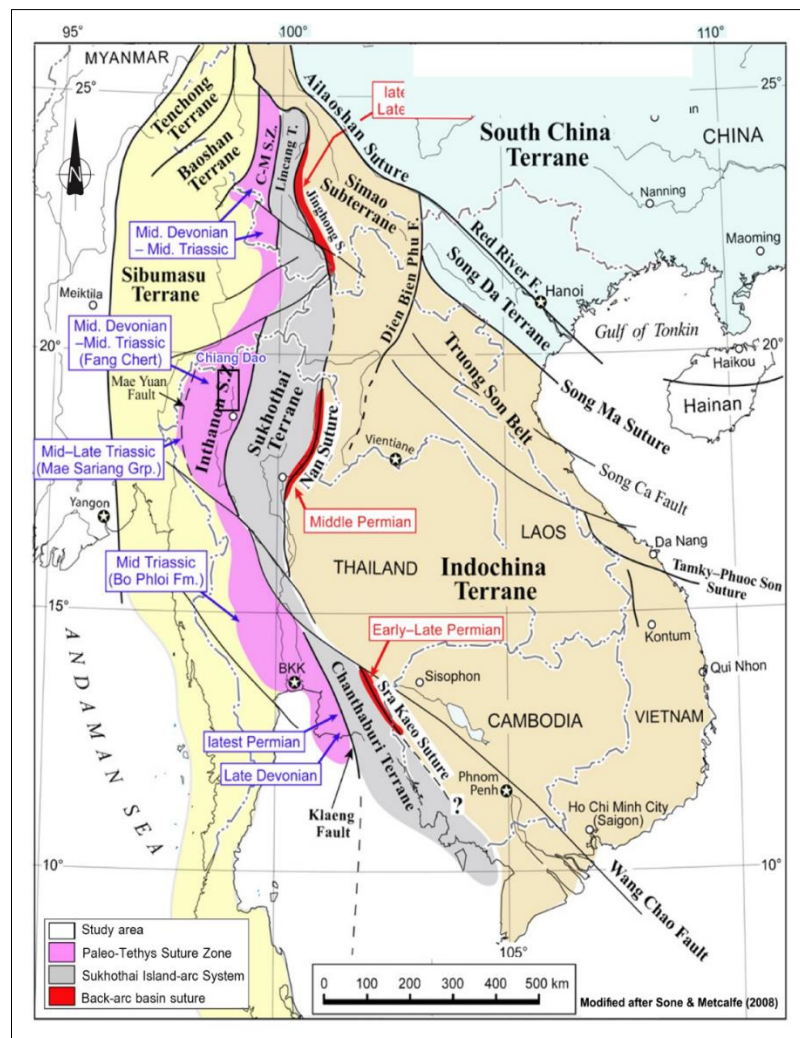
การศึกษาเรดิโอลาเรียนในประเทศไทยเริ่มต้นบุกเบิกโดย Caridroit และคณะ (1990) ศึกษาในชุด หินฝางเชิร์ต และบริเวณใกล้เคียง จากงานศึกษาของนักวิจัยต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ระบุอายุของทะเลบรรพกาลเทที่ส จากการศึกษารेดิโอลาเรียนในพื้นที่เชียงดาว ตั้งแต่ยุคดีโวเนียนตอนกลาง ถึงไทรแอสสิกตอนกลาง (Caridroit และ คณะ, 1990; Sashida และ Salyapongse, 2002; Wonganan และ Caridroit, 2005; Wonganan และคณะ, 2007; Saesaengseerung และคณะ, 2007) ด้วยอายุและลักษณะชุดหินในอำเภอเชียงดาว มีความใกล้เคียงกันกับอายุของ แนวเขตฉางหนิง-มิ่งเหลียน ทำให้พื้นที่นี้อำเภอเชียงดาวนี้เป็นกุญแจสำคัญสำหรับการอธิบายวิวัฒนาการของธรณี แปรสัณฐานและภูมิศาสตร์บรรพกาลของทะเลบรรพกาลเทที่ส

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าอายุของแนวเขตอินทนนท์ แบ่งออกเป็น 2 บริเวณ คือ 1) พื้นที่ ตอนกลางของทะเลบรรพกาลเทที่ส ได้แก่ อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ มีอายุเด่นในยุคดีโวเนียน ถึงเพอร์เมียน และ 2) บริเวณไหล่ทวีป หรือขอบทะเลบรรพกาลเทที่ส ได้แก่ อำเภอแม่สะเรียง ปาย จังหวัดแม่ฮ่องสอน มีอายุเด่น

ในยุค เพอร์เมียน ถึง ไทรแอสซิกตอนปลาย (Caridroit และคณะ, 1992; Shashida และคณะ, 2000; Saesaengseerung และคณะ, 2007; Sone และ Metcafe., 2008)

แต่อย่างไรก็ตาม Feng และ Liu (1993) ใช้ซากดึกดำบรรพ์เรติโอลาเรียน *Eoalbaillella lilaensis* ที่พบในกลุ่มหิน Lila formation ในมณฑลยูนนาน ซึ่งชุดหินนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับชุดหินฝางเซิร์ต อำเภอเชียงดาว ได้อายุยุคดีโวเนียนตอนต้นช่วงปลาย (late Early Devonian) เช่นกัน ต่อมา Wang และคณะ (2003) ได้เปลี่ยนอายุของ *Eoalbaillella lilaensis* ว่ามีอายุดีโวเนียนตอนกลาง ด้วยเหตุนี้เองช่วงเวลาการสะสมตัวช่วงแรกของทะเลบรรพกาลเทที่สงสัยไม่ชัดเจนว่าอยู่ในอายุดีโวเนียนช่วงต้นหรือกลาง

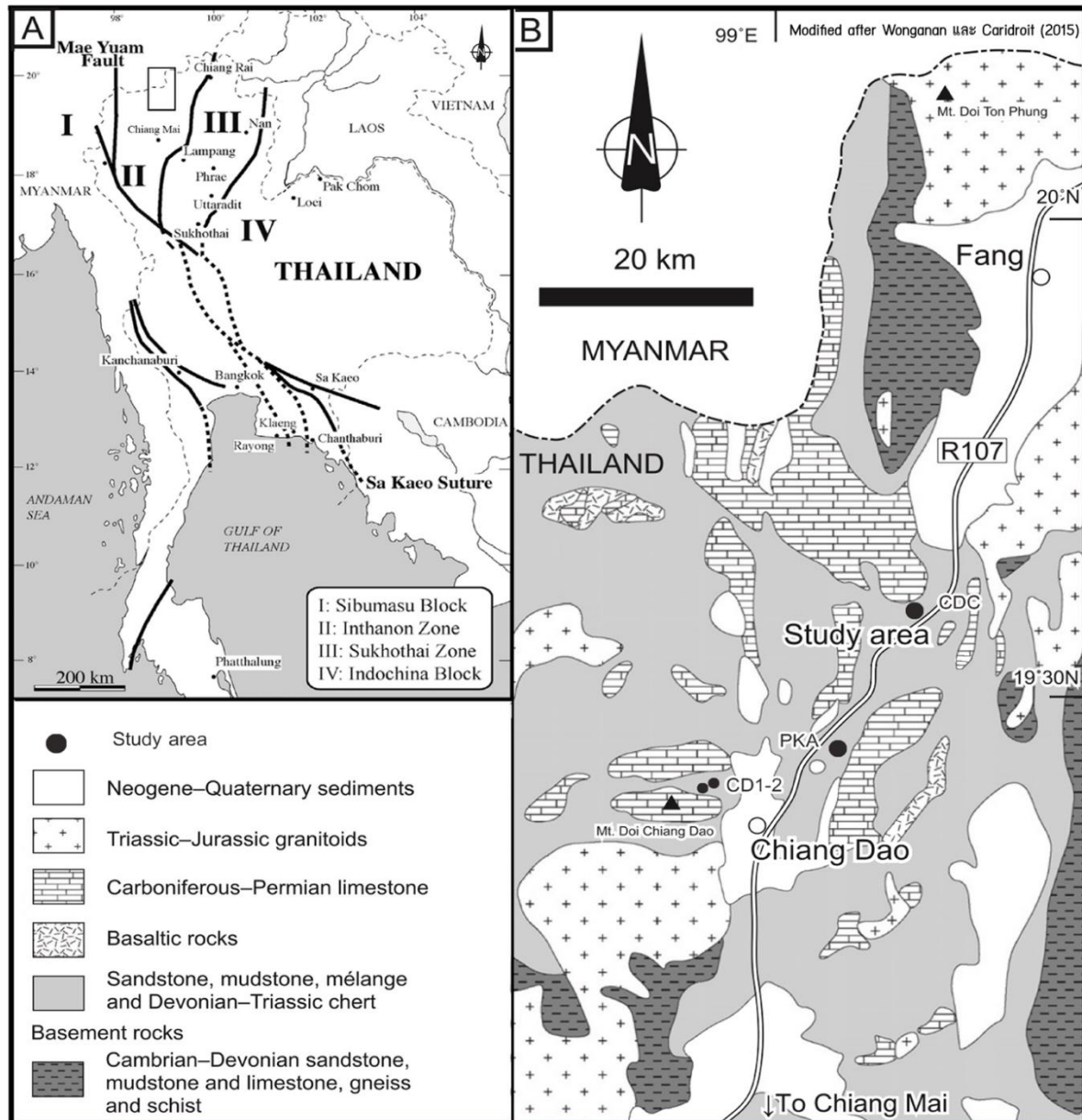
สำหรับการแปลความหมายสภาพแวดล้อมบรรพกาลจากการลำดับชั้นหิน และเทียบเคียงซากดึกดำบรรพ์ Kamata และคณะ, 2009 ได้มีการกำหนดให้บริเวณอำเภอเชียงดาว มีสภาพเป็นการสะสมตัวในน้ำทะเลลึก (pelagic) เพียงอย่างเดียว ส่วนอำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอนเป็นทะเลกึ่งท้องสมุทร (Hemi-pelagic) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาธรณีเคมีพื้นที่ฝางเซิร์ต ระบุสภาพแวดล้อมทะเลที่มีทั้งน้ำลึกท้องสมุทร และน้ำกึ่งท้องสมุทร (Hara และคณะ, 2010; Tassanapak และคณะ, 2011b)



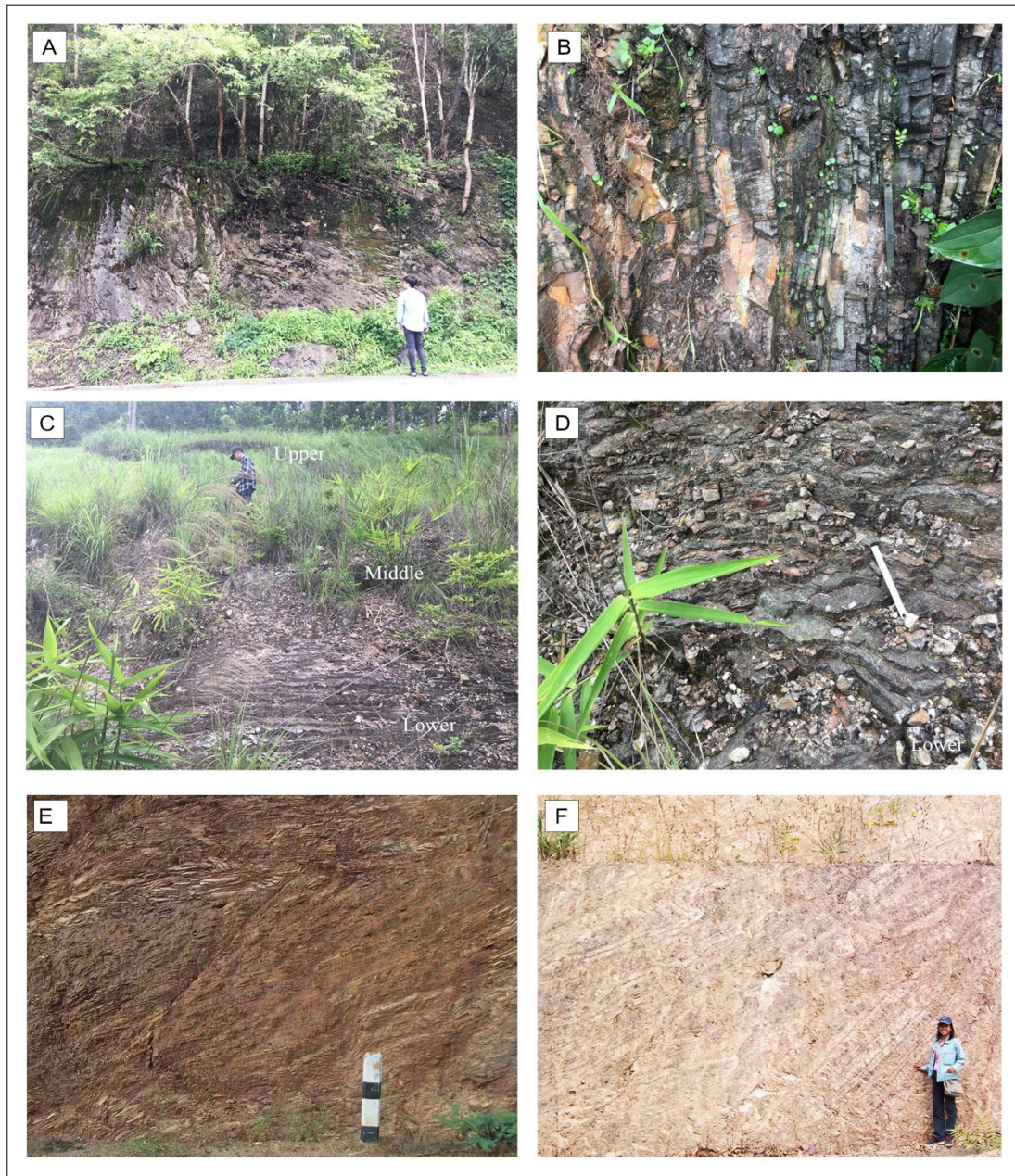
รูปที่ 1 แผนที่การจัดแบ่งธรณีแปรสัณฐานบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แสดงตำแหน่งของทะเลเทที่บรรพกาลในแนวเขตอินทนนท์ (Inthanon suture zone) และแสดงตำแหน่งพื้นที่ศึกษาในอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ (ดัดแปลงจาก Sone และ Metcafe 2008)

2. พื้นที่สำรวจ

อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 4 จุดศึกษา ได้แก่ จุดศึกษาฝางเชิร์ต (CDC), บ้านปิงโค้ง (PKA), จุดศึกษาตีนดอยเชียงดาวที่ 1 (CD1) และจุดศึกษาตีนดอยเชียงดาวที่ 2 (CD2)



รูปที่ 2 แผนที่แนวเขตธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย (A) และธรณีวิทยาอำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ และพื้นที่ใกล้เคียง แสดงจุดสำรวจศึกษาในครั้งนี้ (B) (ดัดแปลงจาก Wonganan และ Caridroit, 2005)



รูปที่ 3 จุดศึกษาพื้นที่ฝางเชิร์ต บนทางหลวงหมายเลข 107 กม. 600 ใช้ชื่อตำแหน่งนี้เป็น CDC แสดงชั้นหินดินดาน แทรกสลับหินเชิร์ต แสดงการคดโค้ง (A) และมีเนื้อหินปัจจุบันค่อนข้างผุ สีดำ น้ำตาล เหลือง เนื้อสดีสีเทา เทาเขียว (B), จุดศึกษาพื้นที่บ้านปิงโค้ง (PKA) บนทางหลวงหมายเลข 1150 กม. 2+100 ปรากฏชั้นหินเชิร์ต บริเวณส่วนล่าง และส่วนบน แต่ส่วนกลางมีการผุพังสูง (C-D), จุดศึกษาตอยเชียงดาว1 (CD1) ปรากฏการผุพังค่อนข้างสูง มีสีน้ำตาล และมีรอยเลื่อนตัดผ่านจำนวนมาก (E), จุดศึกษาตอยเชียงดาว2 (CD2) แสดงชั้นหินดินดานสีฝูสีเทาขาว และรอยเลื่อนตัดผ่าน (F) โดยทั้งรูปที่ E และ F อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกับตอยหลวงเชียงดาว



3. วิธีการดำเนินงาน

ตัวอย่างจากการศึกษาครั้งนี้ เพื่อทำการหาหลักฐานในการสนับสนุนธรณีประวัติในพื้นที่เชียงดาวจึงทำการเลือกจุดเก็บหินตะกอนเนื้อซิลิกา ประกอบด้วย หินเชิร์ต หินเชิร์ตเนื้อภูเขาไฟ และหินดินดาน ประมาณ 80 ตัวอย่าง ประกอบด้วย พื้นที่ศึกษาเดิม ได้แก่ ชุดหินผางเชิร์ต (CDC) จุดเก็บบ้านปิงโค้ง (PKA) และพื้นที่ที่ไม่ได้รับการสำรวจมาก่อน ได้แก่ พื้นที่จุดหินโพลีกลิตอยเชียงดาว 1 (CD1) และ ดอยเชียงดาว (CD2) ตัวอย่างหินดังกล่าวถูกนำไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์เพื่อตรวจสอบชนิดหิน และการประเมินปริมาณของเรดิโอลาเรียน ก่อนจะนำไปทำการแยกเรดิโอลาเรียนออกจากหินในกระบวนการต่อไป

กระบวนการแยกเรดิโอลาเรียนออกจากหินตะกอนเนื้อซิลิกา ทำโดยการทุบตัวอย่างให้เล็กลง (ประมาณ 2-3 ซม.) นำไปแช่กรด HF 3-5% ในบีกเกอร์พลาสติก ภายใต้ตู้ดูดควันพิษเพื่อทำการละลายซิลิกา ประมาณ 20-24 ชม. ในอุณหภูมิห้อง ล้างกรดด้วยน้ำสะอาดอย่างเบามือให้หลงเหลือแต่ตะกอนที่ถูกละลายแล้วทิ้งไว้ภายในบีกเกอร์ หลังจากนั้นทำการแช่กรดอีกครั้ง ทำซ้ำประมาณ 2 อาทิตย์ หรือมากกว่านั้นตามปริมาณตะกอนที่ได้ เมื่อทำการล้างในครั้งสุดท้ายให้ทำการนำไปอบในตู้อบ อุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส จนกระทั่งตัวอย่างแห้ง กระบวนการนี้ถูกคิดค้นโดย Pessagno และ Newport's (1972) จึงสามารถนำตัวอย่างไปทำการคัดเลือกภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และทำการถ่ายภาพด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น FEI QUANTA 200 ในการศึกษาได้ทำการใช้เครื่องมือศึกษาจากห้องปฏิบัติการของ the State Key Laboratory, China University of Geosciences (Wuhan) หลังจากนั้นทำการศึกษาเปรียบเทียบซากดึกดำบรรพ์ระบุสายพันธุ์ ช่วงเวลาอายุ ทำการแปลความหมาย และอภิปราย

4. สรุปผลการศึกษา และการอภิปราย

จากการศึกษาเรดิโอลาเรียนจำนวนมากใน 4 จุดเก็บตัวอย่าง พบว่ามีเรดิโอลาเรียนสภาพสมบูรณ์หลากหลายสายพันธุ์ ให้อายุหลายช่วงได้แก่ 1) ยุคติวเนียนตอนกลาง ถึง คาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น 2) ยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น และเพอร์เมียน (ตอนต้น ถึงตอนปลาย) โดยยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลายหายไป และไม่พบเรดิโอลาเรียนยุคไทรแอสสิกในพื้นที่ศึกษา

ผลการศึกษาประกอบด้วย เรดิโอลาเรียน จำนวน 43 สายพันธุ์ (species) 13 สกุล (genera) และ 9 วงศ์ (families) ของ 3 อันดับ (orders) เช่น *Albaillella cartalla*, *Albaillella furcata furcata*, *Pseudoalbaillella sakmarensis*, *Pseudoalbaillella rhombothoracata*, *Pseudoalbaillella simplex*, *Trilonche minax*, *Trilonche elegans*, *Trilonche palimbola*, *Trilonche vachardi*, *Latentifistula* sp. aff. *L. triporosa* ฯลฯ และ ไคโนดอนต์ จำนวน 1 สายพันธุ์ คือ *Mesogondolella* sp.

การศึกษานี้อยู่ในพื้นที่แนวเขตอินทนนท์ ซึ่งเป็นแนวเขตรอยต่อของทะเลบรรพกาลเทีส์ตอนใต้ที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย ส่วนแนวเขตฉางหนิง-เมิ่งเหลียน เป็นแนวเขตตอนเหนือของทะเลบรรพกาลเทีส์ โดยทั้ง 2 แนวเขต มีช่วงอายุตั้งแต่ติวเนียน ถึง ไทรแอสสิกตอนปลาย จากหลักฐานการศึกษาเรดิโอลาเรียนของแนวเขตฉางหนิง-เมิ่งเหลียน มีอายุแก่สุดในยุคติวเนียนตอนต้น (Feng และ Liu 1993c; Metcalfe, 2013) แต่ในแนวเขตอินทนนท์ อายุแก่สุดอยู่ในยุคติวเนียนตอนกลาง (Sashida และคณะ, 1993; Wongan และคณะ, 2005; Sone และ Metcalfe, 2008; Kamata, 2012; Sanjit และคณะ, 2013) แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นทะเลเดียวกัน ทั้ง 2 แนวเขตนี้ควรมีช่วงเวลาแก่สุดเหมือนกัน จากงานของ Hara และคณะ (2010) เสนอแบบจำลองวิวัฒนาการของชุดหินผางเชิร์ต เริ่มตั้งแต่ยุคติวเนียนตอนต้นมีสภาพแวดล้อมในยุคนี้ออกซิเจน (anoxic environment) ทำให้ไม่พบเรดิโอลาเรียนสะสม และให้มีเฉพาะหินดินดานสีดำที่พบเฉพาะซากดึกดำบรรพ์ของแกรปโตไลต์ แบรคิโอพอด และไคโนดอนต์ (Kobayashi และ Igo, 1966; Jaeger และคณะ, 1968) ปรากฏอยู่ในลำดับล่างสุดของชุดหิน

ผางเชิร์ต แต่อย่างไรก็ตามอายุดีโวเนียนตอนต้นของแนวเขตอินทนนท์ยังไม่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย ส่วนในแนวเขตฉางหนิง-เหมิงเหลียน พบหินดินดานสีดำที่คล้ายกับแนวเขตอินทนนท์เช่นกัน คือชุดหิน Lalei และพบเรดิโอลาเรียนชนิด *Eoalbaillella lilaensis* (Feng และ Liu, 1993) จากข้อมูลดังกล่าวเป็นไปได้ที่แนวเขตอินทนนท์จะพบเรดิโอลาเรียนอายุดีโวเนียนตอนต้นนี้เหมือนกัน แต่อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ทั้ง 2 แนวเขตมีอายุแก่สุดเหมือนกัน Wang และคณะ, (2003a) ทำการเปลี่ยนอายุของ *Eoalbaillella lilaensis* จากดีโวเนียนตอนต้น เป็นดีโวเนียนตอนกลาง ด้วยเหตุนี้เองการศึกษาอายุของทะเลบรรพกาลเททิสช่วงต้นยังคงไม่ชัดเจน

จากการศึกษาในครั้งนี้ประกอบด้วยการรวบรวมข้อมูลทางธรณีวิทยา งานบรรพชีวิน การศึกษาซิลารรณ และซากดึกดำบรรพ์ สามารถเรียงลำดับเหตุการณ์จากหลักฐานและการเปรียบเทียบจากเหตุการณ์ได้ดังนี้

1) สำหรับการศึกษาครั้งนี้ยังคงไม่พบเรดิโอลาเรียนยุคดีโวเนียนตอนต้น จึงยังคงยอมรับอายุเริ่มต้นของแนวเขตอินทนนท์เป็นดีโวเนียนตอนกลางเหมือนเดิม (Plate 1) และหากในอนาคตในแนวเขตอินทนนท์มีการพบเรดิโอลาเรียน *Eoalbaillella lilaensis* นี้ ช่วงเวลาทะเลเปิดจะได้เป็นที่ยอมรับในอายุดีโวเนียนตอนต้นมากขึ้น

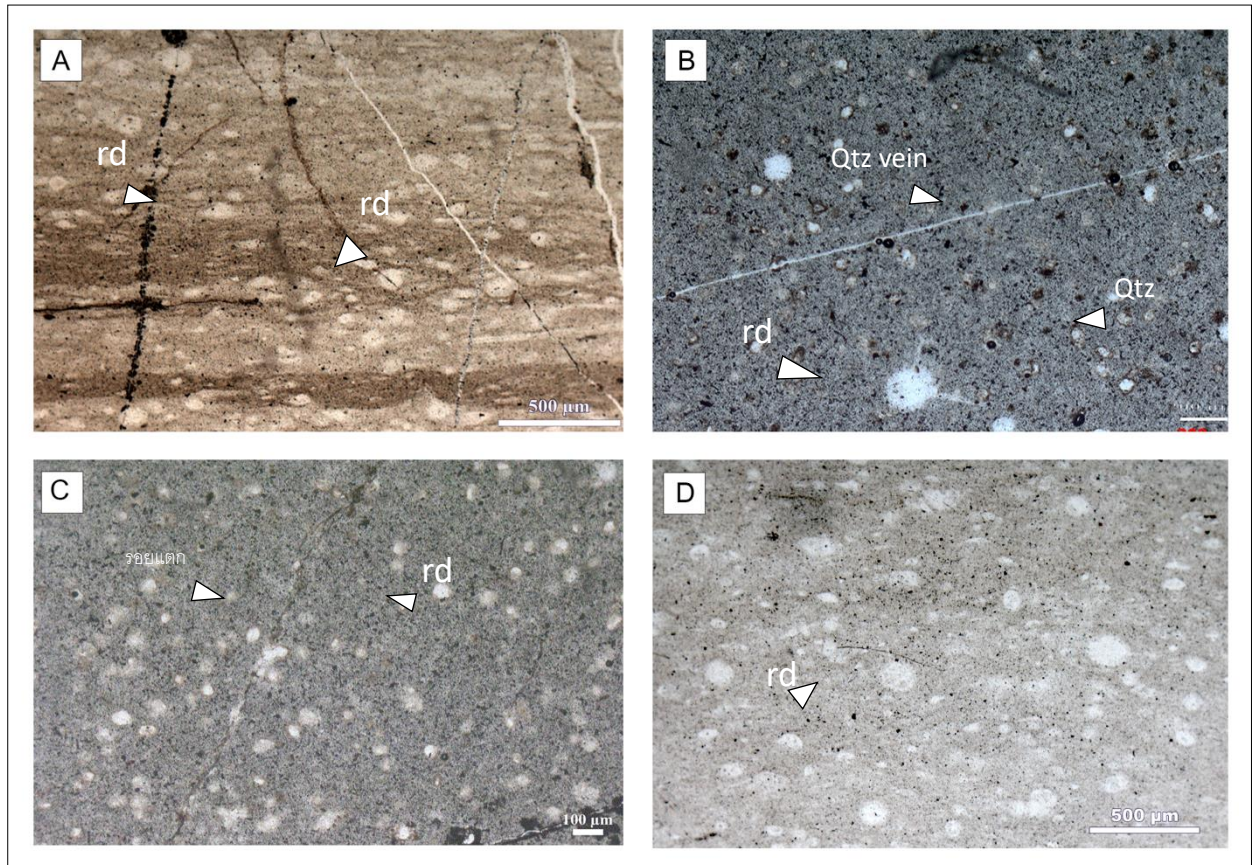
2) เหตุการณ์ภูเขาไฟประทุที่ถูกนำขึ้นมาเผยแพร่ในแนวเขตอินทนนท์จะปรากฏในยุคเพอร์เมียน ซึ่งพบหลักฐานหินภูเขาไฟชนิดบะซอลต์ชัดเจนในพื้นที่บ้านแกน้อย (Feng และคณะ, 2008) ทำให้ทราบถึงกระบวนการเกิดภูเขาไฟที่มีความรุนแรงในยุคเพอร์เมียน แต่สำหรับยุคดีโวเนียนยังไม่มีรายงานไหนกล่าวถึงเหตุการณ์นี้มาก่อน แม้ว่าจะมีหลักฐานการระบุชื่อหินเชิร์ตเนื้อถ้ำภูเขาไฟ (tuffaceous chert) ในชุดหินผางเชิร์ตก็ตาม (Wonganan และ Caridroit, 2005; Saesaengseerung และคณะ, 2007; Hara และคณะ, 2010) จากผลวิเคราะห์ทางธรณีเคมีในชุดหินผางเชิร์ต กล่าวถึงการสะสมตะกอนที่ได้รับอิทธิพลจากภูเขาไฟในทะเลน้ำลึกแบบท้องสมุทร (pelagic) และในขอบแผ่นดินทวีป (continental margin) (Hara และคณะ, 2010; Tassanapak และคณะ, 2011b; Tassanapak และคณะ, 2017) แสดงถึงหลักฐานสนับสนุนเหตุการณ์ภูเขาไฟในยุคดีโวเนียน คือ หินถ้ำภูเขาไฟ (รูปที่ 4) จึงมีความเป็นไปได้ที่ยุคดีโวเนียนตอนกลางมีภูเขาไฟขนาดเล็กประทุเกิดขึ้น ตามแนวการมุดตัวระหว่างแผ่นอนุทวีปไซบูมาสุและอินโดจีน แต่เหตุการณ์อาจไม่รุนแรงเท่ากับในยุคเพอร์เมียนที่พบหินบะซอลต์ปรากฏอย่างชัดเจน

3) อายุที่ได้จากการศึกษาซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนจากการทบทวนวรรณกรรม สามารถช่วยกำหนดขอบเขตของแนวเขตอินทนนท์ได้ โดยกระจายตัวตั้งแต่ทางตะวันตกสุดของไทย ตั้งแต่อำเภอปาย และอำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน มาจนถึงฝั่งตะวันออกในอำเภอเชียงดาว และอำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อทำการเปรียบเทียบอายุและบริเวณพื้นที่อื่นๆ พบว่าบริเวณใกล้รอยต่อขอบของแนวเขตอินทนนท์ฝั่งตะวันตก เริ่มตั้งแต่จังหวัดแม่ฮ่องสอน มาจนถึงอำเภอเชียงดาว (ฝั่งตะวันตก) ให้อายุตั้งแต่ยุคเพอร์เมียน ถึงยุคไทรแอสซิก (ยุคไทรแอสซิกเด่นมาก) และตอนกลางจนถึงตะวันออกของอำเภอเชียงดาว ให้อายุตั้งแต่ดีโวเนียนตอนกลางถึงไทรแอสซิกตอนต้น โดยเรดิโอลาเรียนยุคไทรแอสซิกพบน้อยมาก ส่วนด้านตะวันออกสุดของแนวเขตอินทนนท์ที่คาดว่าอยู่บริเวณอำเภอพร้าว พบเรดิโอลาเรียนตั้งแต่ยุคเพอร์เมียนตอนกลางถึงยุคไทรแอสซิกตอนกลาง (Saesaengseerung และคณะ, 2007) จึงสันนิษฐานว่าเป็นทะเลแรกเริ่มในช่วงการเปิดตัวกลางแอ่งทะเลบรรพกาลเททิส และสะสมตัวในทะเลลึก (pelagic) น่าจะอยู่ในตอนกลางของอำเภอเชียงดาว เนื่องจากพบเรดิโอลาเรียนที่ให้อายุเก่าแก่ที่สุด ในยุคดีโวเนียนตอนกลาง (e.g. Sashida และคณะ, 1998; 2000a; Kamata และคณะ, 2002; Wonganan และ Caridroit, 2006; Saesaengseerung และคณะ, 2007; Hara และคณะ, 2010) และยังสามารถอนุมานได้ว่า ด้านตะวันตกสุดของทะเลบรรพกาลเททิสน่าจะอยู่บริเวณจังหวัดแม่ฮ่องสอน ได้แก่ อำเภอปาย และแม่สะเรียง ด้านตะวันออกสุดน่าจะอยู่บริเวณอำเภอพร้าว ต่อเนื่องลงมาจนถึงอำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน สำหรับในยุคเพอร์เมียนตอนปลาย มีการพบซากดึกดำบรรพ์โคโนดอนต์ร่วม อาจเป็นไปได้ว่าแผ่นดินเริ่มมีการยกตัวขึ้นเนื่องจากแผ่นอนุทวีปเคลื่อนที่เข้าหากัน จึงทำให้มีสภาพแวดล้อมเป็นไหล่ทวีป หรือทะเลแบบ (hemi-pelagic)



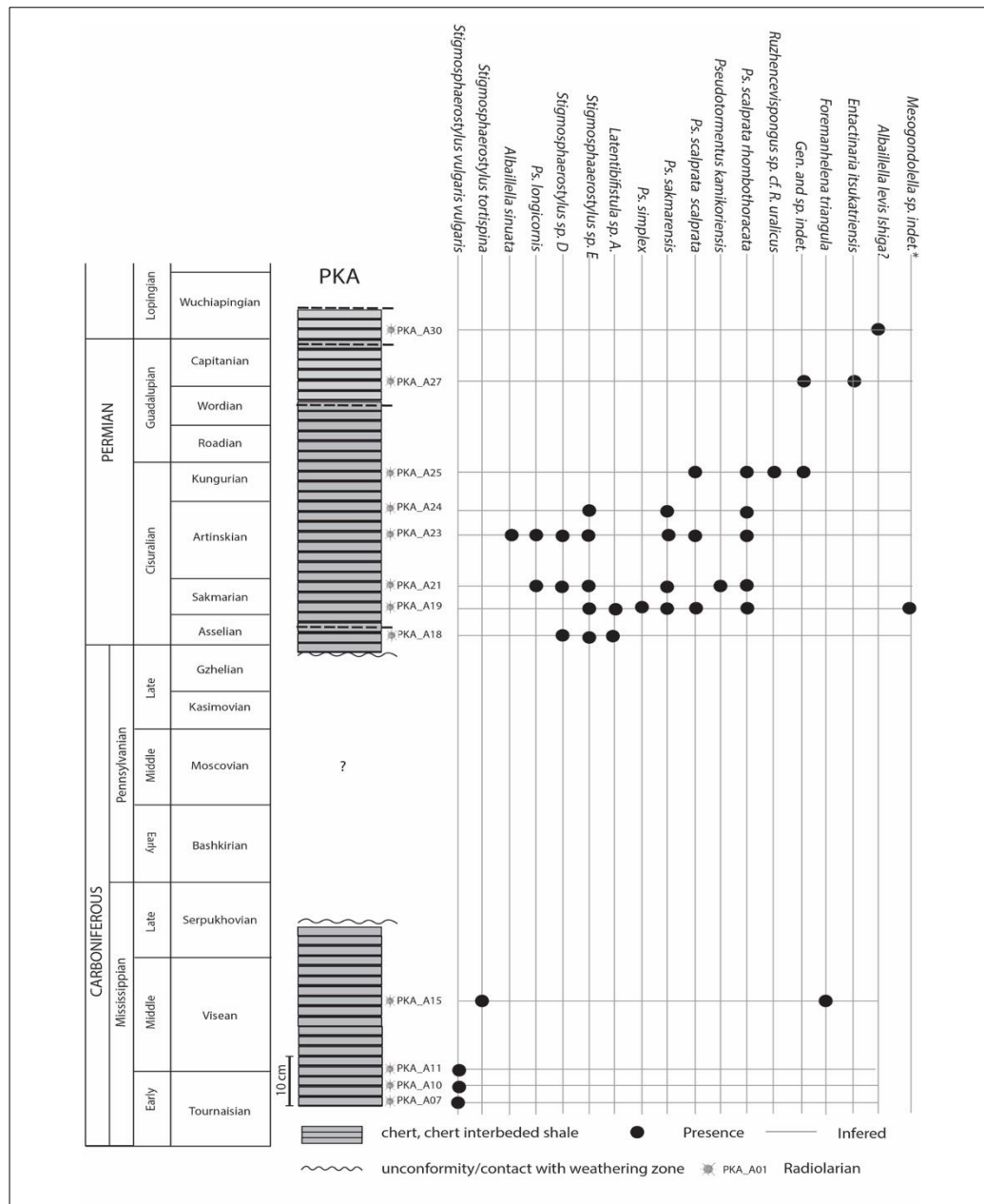
4) การหายไปของเรดิโอลาเรียนในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลาย ถึงเพอร์เมียนตอนต้น ในพื้นที่ศึกษา มีความสอดคล้องกับเหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศที่หนาวเย็น เป็นผลมาจากการละลายตัวของธารน้ำแข็งจากมหาทวีปคอนดัวนาลงสู่มหาสมุทร (Metcalfe, 2013) เป็นเหตุทำให้อุณหภูมิในทะเลบรรพกาลที่ลดลงอย่างรวดเร็ว จนทำให้เรดิโอลาเรียนที่ดำรงชีวิตอยู่ในน้ำอันหายไปในช่วงเวลาดังกล่าว ผลการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นหลักฐานในการสนับสนุนการเปลี่ยนแปลงภูมิศาสตร์ของทะเลบรรพกาลที่สี่ในช่วงเวลาดังกล่าวได้อย่างชัดเจน ดังเช่นจุดศึกษาบ้านปิงโค้ง (PKA) (รูปที่ 5) พบเรดิโอลาเรียนเฉพาะสมัย Mississippian และหายไปในสมัย Pennsylvanian แต่ปรากฏอีกครั้งในช่วงเพอร์เมียนตอนต้น นอกจากนี้จุดศึกษาที่ตอยเชียงดาว 1 และ 2 (CD1 และ CD 2) ซึ่งเป็นจุดศึกษาที่ใกล้เคียงกัน แต่ไม่ปรากฏเรดิโอลาเรียนของสมัย Pennsylvanian เช่นกัน

5) สภาพแวดล้อมของความลึกมีผลต่อการสะสมตัวของเรดิโอลาเรียนเช่นกัน จากจัดแบ่งชุดลักษณะหินเชิร์ตของ Kamata และคณะ (2009) แบ่งการสะสมตัวเป็น 2 รูปแบบ คือ ทะเลน้ำลึกแบบท้องสมุทร (Pelagic) และ ทะเลกึ่งท้องสมุทร (Hemi-pelagic) โดยจัดสภาพแวดล้อมการสะสมตะกอนในอำเภอเชียงดาว เป็นทะเลท้องสมุทรเพียงอย่างเดียว แต่จากหลักฐานทางธรณีเคมีที่ศึกษาบริเวณฝางเชิร์ต อำเภอเชียงดาว มีสภาพแวดล้อมบรรพกาลเป็นได้ทั้งทะเลน้ำลึกแบบท้องสมุทร และแบบกึ่งท้องสมุทร ได้แก่ บริเวณไหล่ทวีป (Hara และคณะ, 2010; Tassanapak และคณะ, 2011b) จากการศึกษาของข้าพเจ้าพบว่าชุดหินฝางเชิร์ตมีเนื้อหินที่ผุพัง และมีสายแร่ขนาดเล็กจำนวนมาก การศึกษาธรณีเคมีจึงอาจทำให้ค่าวิเคราะห์ธรณีเคมีมีความคลาดเคลื่อนได้สูง แต่ถึงอย่างไรตาม ผลการศึกษานี้ได้พบโคโนดอนต์ ซึ่งสะสมในทะเลน้ำตื้น หลักฐานชิ้นนี้พบในจุดศึกษาบ้านปิงโค้ง (PKA) ที่ไม่ห่างจากพื้นที่ฝางเชิร์ตมากนัก สามารถเป็นหลักฐานการสนับสนุน สภาพทะเลในช่วงนั้นได้ดีกว่าเป็นทะเลแบบกึ่งท้องสมุทร ดังนั้นจึงอนุมานได้ว่าพื้นที่เชียงดาวเป็นสะสมตัวในทะเลลึกเป็นบริเวณกว้างในช่วงยุคดีโวเนียน และทะเลยกตัวขึ้นเป็นทะเลกึ่งท้องสมุทรในยุคเพอร์เมียน (รูปที่ 6)

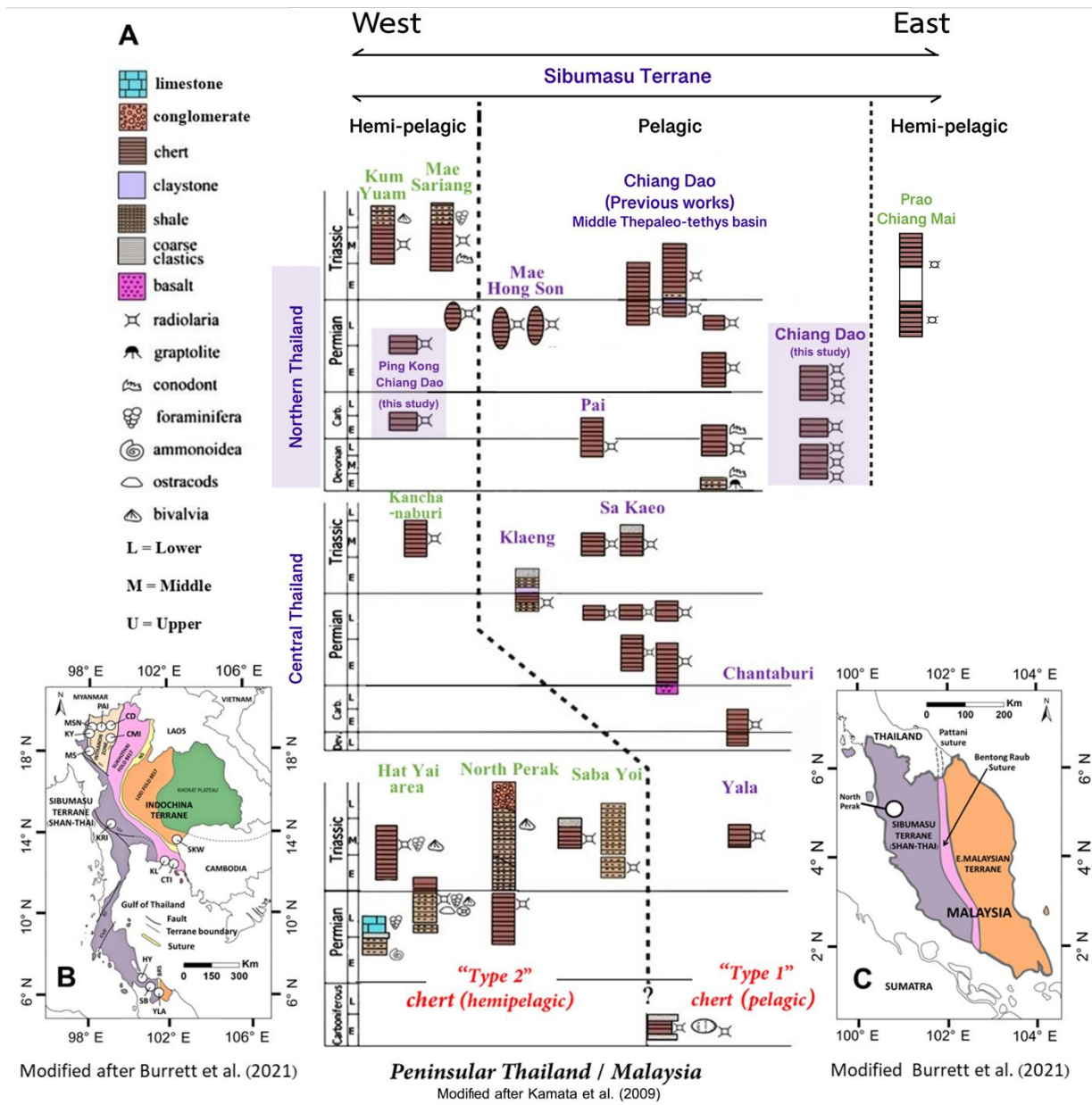


รูปที่ 4 แผ่นหินบางจากพื้นที่ฝางเชิร์ต (CDC-A01) แสดงรอยแตก สายแร่ และเรดิโอลาเรียนหนาแน่นในหินดินดานเนื้อซิลิกา (A), หินเชิร์ตเนื้อแก้วภูเขาไฟ พื้นที่ฝางเชิร์ต (CDC-A04 และ CDC-A05) ประกอบด้วยเม็ดแร่ควอร์ตขนาดเล็กกระจายในเนื้อหิน และมีเรดิโอลาเรียนไม่หนาแน่น (B และ C), หินเชิร์ต ของพื้นที่บ้านปิงโค้ง (PKA) ประกอบด้วยเรดิโอลาเรียนหนาแน่น (D)

จากการศึกษา และการอภิปรายสามารถสรุปได้ว่าหลักฐานการศึกษาเรดิโอลาเรียนสามารถใช้ระบุอายุช่วงเวลาที่เหมาะสมตัวตะกอนเนื้อซิลิกา และสามารถกำหนดลักษณะสภาพแวดล้อมทะเลบรรพกาลเทที่สในลักษณะที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายเหตุผลที่ไม่พบเรดิโอลาเรียนในช่วงคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลาย



รูปที่ 5 ลำดับชั้นหินของพื้นที่บ้านปิงโค้ง (PKA) แสดงช่วงอายุที่ได้จากการศึกษาเรดิโอไลเรียน ที่พบเฉพาะตอนต้นถึงตอนกลางของสมัย Mississippian ยุคคาร์บอนิเฟอรัส และช่วงต้นของยุคเพอร์เมียน โดยตอนกลางระหว่างสองช่วงอายุนี้หายไป



รูปที่ 6 การเทียบสัมพันธ์สภาพแวดล้อมบรรพกาลของพื้นที่ที่มีการศึกษาซากดึกดำบรรพ์เรดิโอแลเรียนในประเทศไทย กับการศึกษาที่พบว่าจุดศึกษาในผางเซิร์ต (CDC) และดอยเชียงดาว (CD1 และ CD2) จัดอยู่ในทะเลน้ำลึกแบบท้องสมุทร (Type 1 pelagic) ส่วนบ้านปิงโค้งมีสภาพแวดล้อมเป็นทะเลกึ่งท้องสมุทร เนื่องจากพบโคโนดอนต์ในพื้นที่ (Type 2 hemipelagic) (ดัดแปลงจาก Kamata และคณะ, 2009; Burrett และคณะ, 2021)

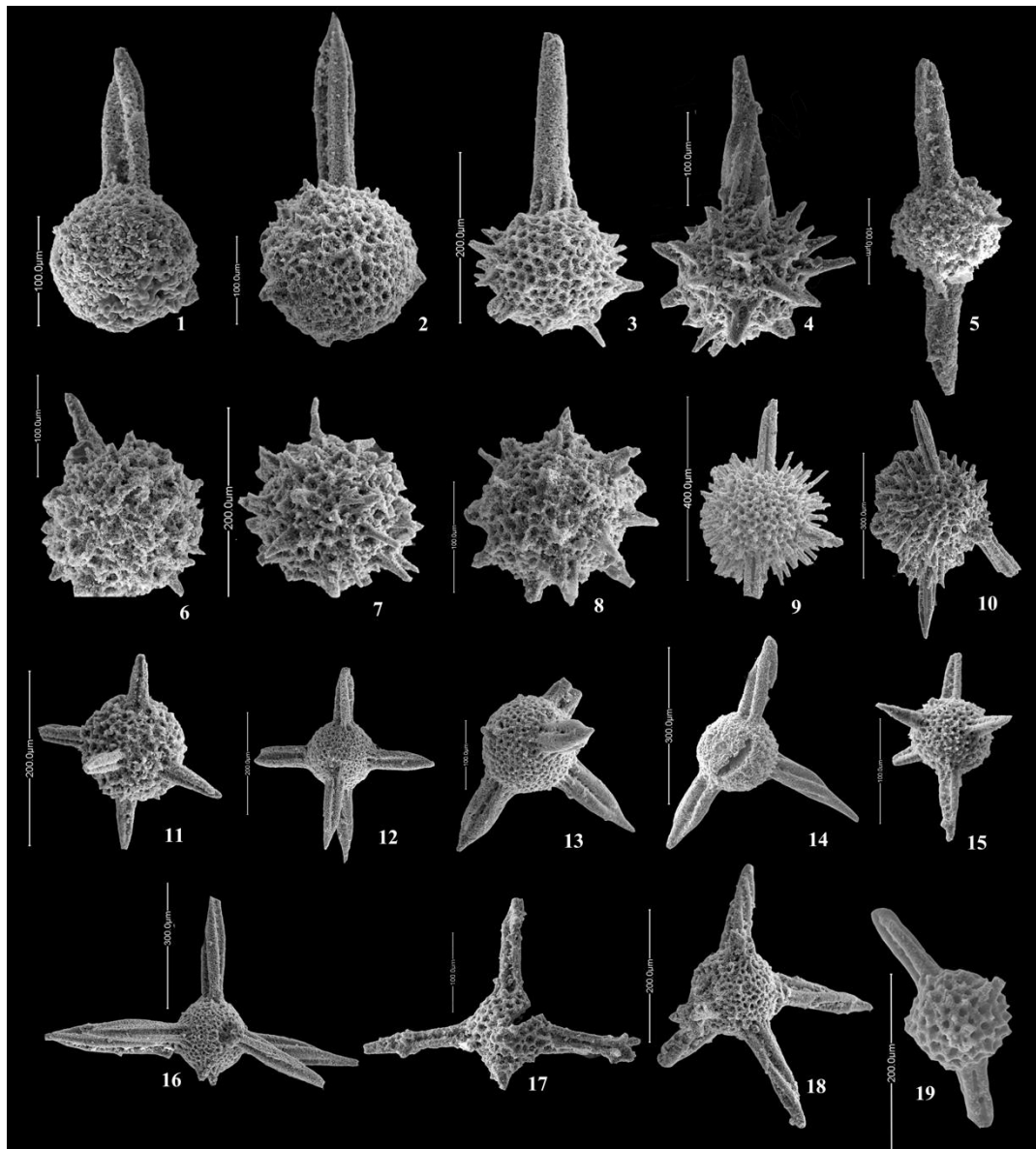


Plate 1 ซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนของจุดศึกษาฟางเชิร์ต (CDC) ยุคติวเนียนตอนกลาง ถึง คาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น (Givetian-Tournaisian): (1-2) *Trilonche palimbola* (Foreman), (3-4) *Spongentactinella corynacantha* Nazarov and Ormiston, (5) *Trilonche minax* (Hinde), (6-8) *Astroentactinia* sp. cf. *A. biaciculata* Nazarov, (9-10) *Trilonche echinate* (Hinde), (11) *Spongentactinia hexaculeata* (Won), (12, 15) *Trilonche elegans* (Hinde), (13) *Trilonche Chiangdaoensis* Wonganan and Caridroit, (14) *Triaenosphaera saithongae* sp., (16) *Palaeoscenidium cladophorum* Deflandre?, (17) *Stigmatosphaerostylus ornatus* (Hinde), (18) *Trilonche vachardi* Wonganan and Caridroit, (19) *Trilonche vetusta* (Hinde)

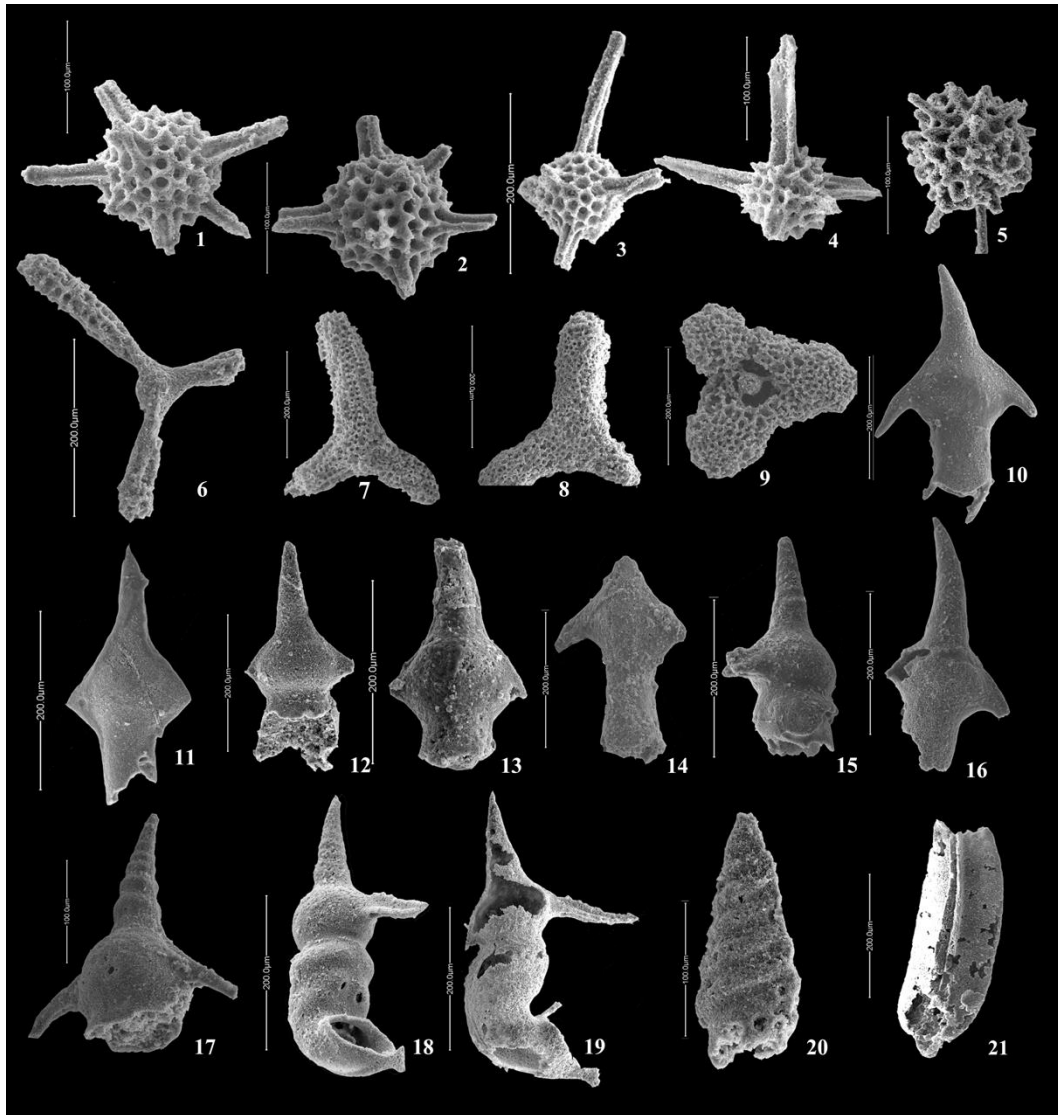


Plate 2 ซากดึกดำบรรพ์เรติโกลาเรียนของจุดศึกษาบ้านปิงโค้ง (PKA) ยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น (Tournaisian-Visean) และเพอร์เมียน (Asselian-Capitanian) : (1-3) *Stigmatosphaerostylus vulgaris vulgaris* (Won), (4) *Stigmatosphaerostylus tortispina* (Ormiston and Lane), (5) *Entactinia itsukatriensis* Sashida and Tonishi, (6) *Pseudotormetus kamikoriensis* De Wever and Caridroit, (7-8) *Latentibifistula* sp., (9) *Foremanhelenia triangula* De Wever and Caridroit, (10) *Pseudoalbaillella scalprata scalprata*, (11, 14, 16) *Pseudoalbaillella scalprata rhombothoracata* Ishiga and Imoto?, (12-13) *Pseudoalbaillella simplex* Ishiga and Imoto, (15, 17) *Pseudoalbaillella longicornis* Ishiga and Imoto, (18-19) *Pseudoalbaillella sakmarensis* (Kozur), (20) *Albaillella sinuata* Won, (21 Conodont) *Mesogondolella* sp. indet.

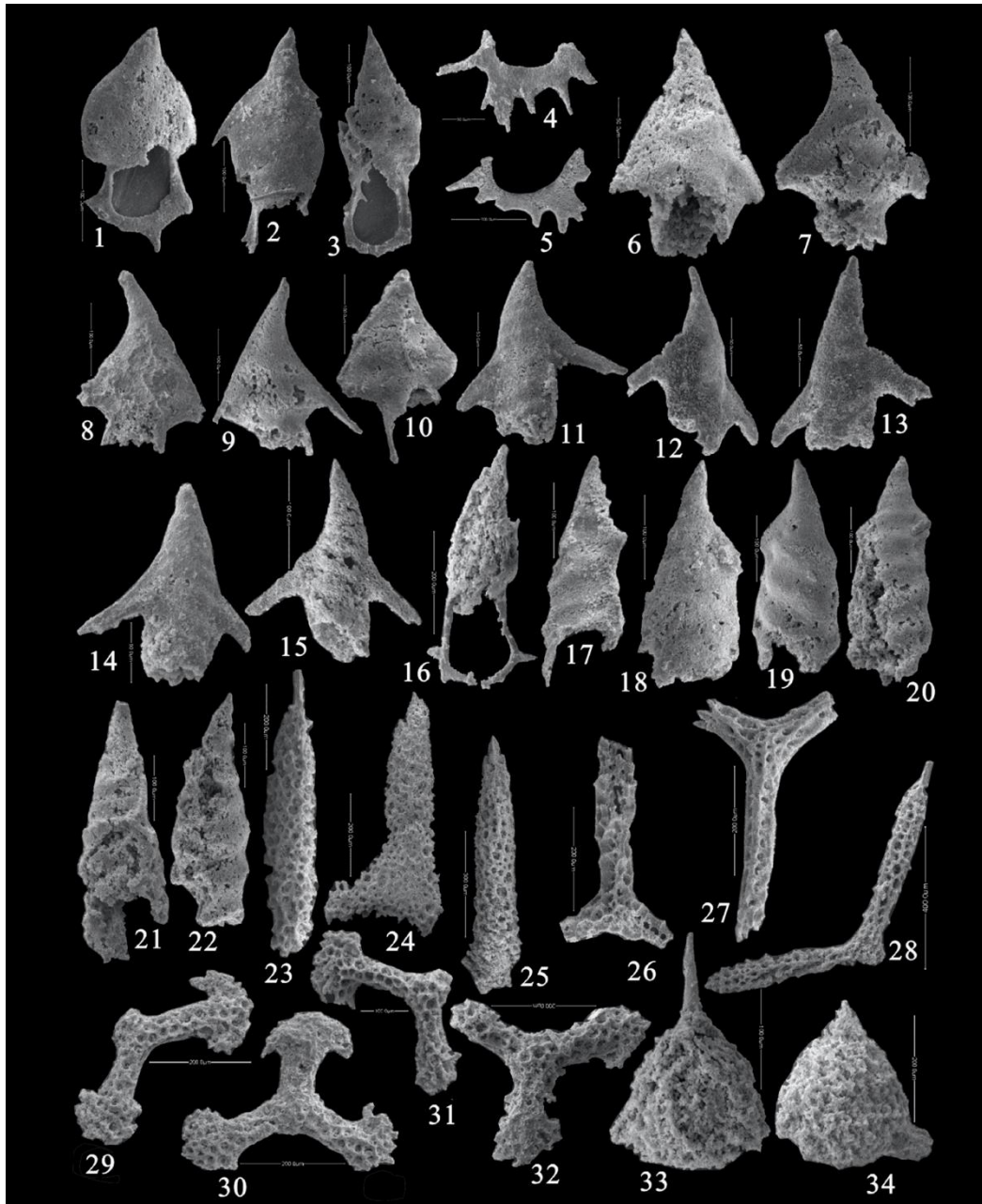


Plate 3 ซากดึกดำบรรพ์เรติโกราเรียนของจุดศึกษาดอยเชียงดาว 1 (CD1) ยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น (Tournaisian-Serpukhovian): (1-5) *Albaillella cartalla* Ormiston and Lane (Morphotype I), (6-10) *Albaillella furcata furcata* Won, (11-15) *Albaillella* sp. cf. *A. uncus* Won, (16-20) *Albaillella indensis* Won, (21-22) *Albaillella lannaensis* sp. nov., (23-25, 26-28) *Latentifistula impella* Ormiston and Lane, (29-32) *Latentifistula* sp. aff. *L. triporosa* Holdsworth and Murchey, (33-34) *Latentifistula concentrica* (Rüst)

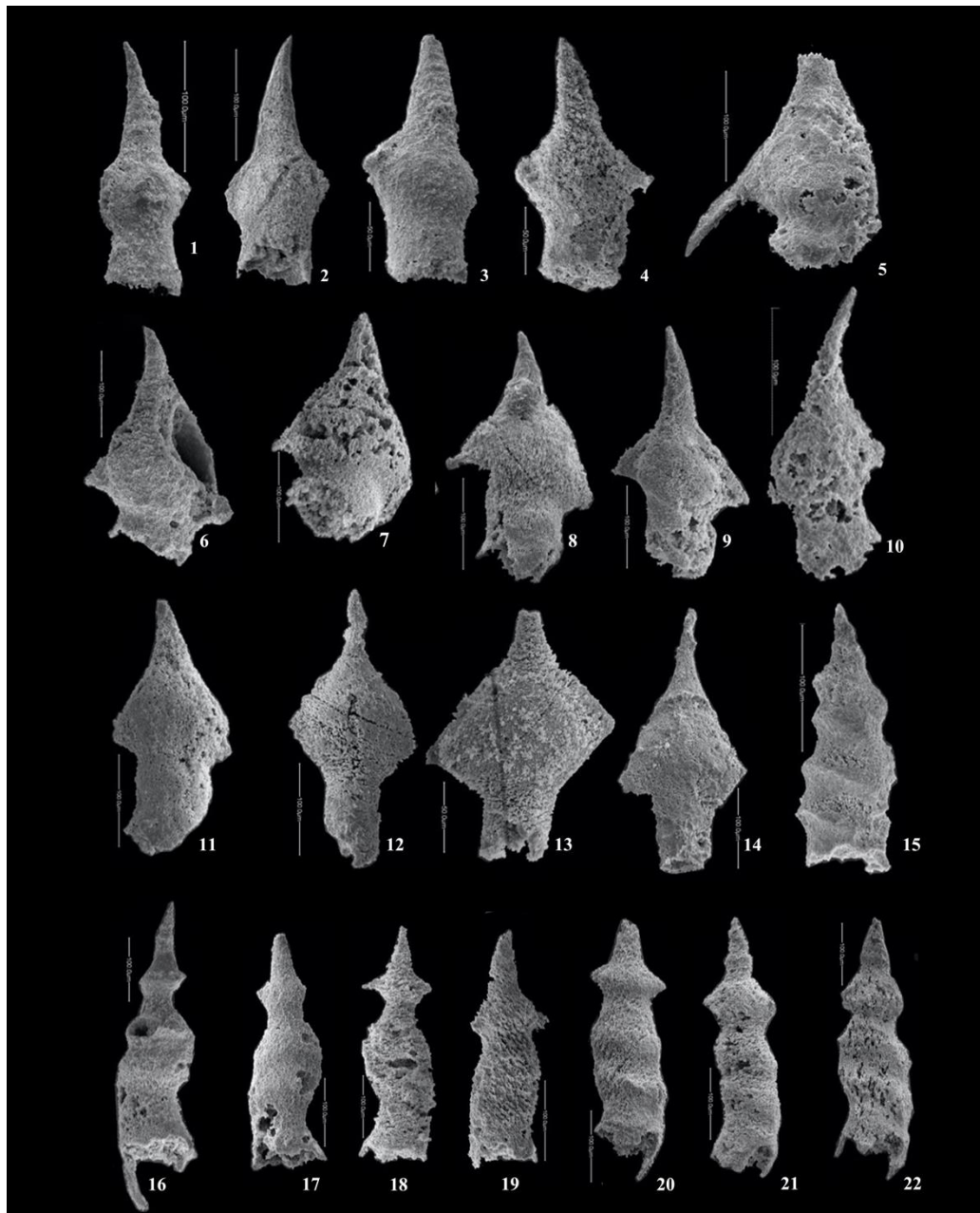


Plate 4 ซากดึกดำบรรพ์เรดิโอลาเรียนของจุดศึกษาตอยเซียงดาว 2 (CD2) ยุคคาร์บอนิเฟอร์รัสตอนปลาย (Gzhelian) และเพอร์เมียน (Asselian-Kungurian): (1-4) *Pseudoalbaillella simplex* Ishiga and Imoto, (5-7) *Pseudoalbaillella* sp. aff. *Ps. scalprata* Ishiga and Imoto, (8-11) *Pseudoalbaillella scalprata scalprata* (Holdsworth and Jones), (12-14) *Pseudoalbaillella scalprata rhombothoracata* Ishiga and Imoto, (15) *Pseudoalbaillella* spp.? (16-18) *Pseudoalbaillella longtanensis* Sheng and Wang, (19-22) *Pseudoalbaillella lomentaria* Ishiga, Kito and Imoto



5. คำขอบคุณ

การวิจัยฉบับนี้ข้าพเจ้าได้ทำขึ้น ณ China University of Geosciences (Wuhan) และยังไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน การวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์โดยได้รับการสนับสนุนโดยทุนการศึกษาจากรัฐบาลจีน (CSC) โดยมีที่ปรึกษาการทำวิจัยจากศาสตราจารย์ Qinglai Feng โอกาสการสนับสนุนการเขียนบทความลงวารสารฉบับนี้โดย

ดร.ปัญญา จารุศิริ นอกจากนั้นขอขอบคุณ นายชวลิต จันคันธา นางสาวจงกลณี ชันมณี Mr.Hu Jiabo Mr.Wang Youwei Ms.Chang Shan และ ดร.ดวงฤทัย แสงแสงสีรุ่ง ในการให้คำแนะนำขั้นตอนการออกพื้นที่เก็บสำรวจ และการวิจัยห้องปฏิบัติการ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้มีส่วนในการช่วยเหลือทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- Bunopas, S., (1981). Palaeogeographic history of western Thailand and adjacent parts of Southeast Asia-A plate tectonics interpretation. Geological Survey, 5, 810.
- Barr, S., Macdonald, A.S., (1991). Toward a late Palaeozoic-early Mesozoic tectonic model for Thailand. Journal of Thai Geosciences, 1, 11-22.
- Caridroit, M., 1990. First results of a palaeontological study of Northwest Thailand. CCOP Technical Secretariat. Bangkok
- Caridroit, M., Vachard, D., Fontaine, H., 1992: Datations par radiolaires (Carbonifere, Permien et Trias) en Thaïlande nord-occidentale. Mise en evidence de nappe de charriage et d'olistostromes. Compte Rendu Academie des Sciences Paris, 314, 515-520.
- Feng, Q. L., Liu, B. P., 1993. A new Early Devonian radiolarian genus from western Yunnan. Science in China Series B-Chemistry, Life Sciences and Earth Sciences, 36(2), 242-248.
- Feng, Q., Yang, W., Shen, S., Chonglakmani, C., Malila, K., 2008. The Permian seamount stratigraphic sequence in Chiang Mai, North Thailand and its tectogeographic significance. Science in China Series D: Earth Sciences, 51(12), 1768-1775.
- Hara, H., Kurihara, T., Kuroda, J., Adachi, Y., Kurita, H., Wakita, K., Hisada, K. I., Charusiri, P., Charoentitirat, T., Chaodumrong, P., 2010. Geological and geochemical aspects of a Devonian siliceous succession in northern Thailand: Implications for the opening of the Paleo-Tethys. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 297(2), 452-464.
- Jaeger, H., Nakinvodae, V., Nahakapong, V., Braun, E. V., Hess, A., Koch, K., Stein, V., 1968. Graptolites of the Lower Devonian from Thailand (preliminary result). Neues Jahrbuch fur Geologie und Paläontologie, Monatschrift, 12, 728-730.
- Jaeger, H., Stein, V., Wolfart, R., 1968. Fauna (Graptolithen, Brachiopoden) der unterdevonischen Schwarzschiefer Nord-Thailands. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen, 133 (2), 171-190.
- Kobayashi, T., Igo, H., 1966. On the occurrence of graptolite shales in North Thailand. Geology and Paleontology of Southeast Asia, 2, 1-8.
- Kamata, Y., Sashida, K., Ueno, K., Hisada, K-i., Nakornsri, N., Charusiri, P., 2002. Triassic radiolarian faunas from the Mae Sariang area, northern Thailand and their paleogeographic significance. Journal of Asian Earth Sciences, 20, 491-506.
- Kamata, Y., Ueno, K., Hara, H., Ichise, M., Charoentitirat, T., Charusiri, P., Sardud, A., Hisada, K. I., 2009. Classification of the Sibumasu and Paleo-Tethys tectonic division in Thailand using chert lithofacies. Island Arc, 18, 21-31.
- Kamata, Y., Maezawa, A., Hara, H., Ueno, K., Hisada, K. I., Sardud, A., Charoentitirat, T., Charusiri, P., 2012. Basaltic activity preserved in an Upper Permian radiolarian chert from the Paleo-Tethys in the Inthanon Zone, northern Thailand. Journal of Asian Earth Sciences, 61, 51-61.
- Metcalf, I., 2011. Tectonic framework and Phanerozoic evolution of Sundaland. Gondwana Research, 19 (1), 3-21.
- Metcalf, I., 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys. Journal of Asian Earth Sciences, 66, 1-33.
- Metcalf, I., Henderson, C., Wakita, K., 2017. Lower Permian conodonts from Palaeo-Tethys Ocean plate stratigraphy in the Chiang Mai-Chiang Rai suture zone, northern Thailand. Gondwana Research, 44, 54-66.

- Randon, C., Wonganan, N., Caridroit, M., Perret-Mirouse, M. F. Degardin, J. M., 2006. Upper Devonian-lower carboniferous conodonts from Chiang Dao cherts, northern Thailand. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 112 (2).
- Sashida, K., Igo, H., Hisafa, K.-I., Nakornsri, N., Ampornmaha, A., 1993. Occurrence of Paleozoic and Early Mesozoic radiolaria in Thailand (preliminary report). *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 8, 97-108.
- Sashida, K., Igo, H., Adachi, S., Ueno, K., Nakornsri, N., Sardud, A., 1998b. Late Paleozoic radiolarian faunas from northern and northeastern Thailand. *Science reports of the institute of geoscience, University of Tsukuba, section B*, 19, 1-17.
- Sashida, K., Igo, H., Adachi, S., Ueno, K., Kajawara, Y., Nakornsri, N., Sardud, A., 2000. Late Permian to Middle Triassic radiolarian faunas from northern Thailand. *The Paleontological Society*, 74 (5), 789-811.
- Sashida, K., Salyapongse, S., 2002a. Permian radiolarian faunas from Thailand and their paleogeographic significance. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20 (6), 691-701.
- Saesaengseerung, D., Sashida, K., Sardud, A., 2007. Devonian to Triassic radiolarian faunas from northern and northeastern Thailand. In *Proceedings of the International Conference on Geology of Thailand GEOTHAI*, 54-71. Bangkok
- Sone, M., Metcalfe, I., 2008. Parallel Tethyan sutures in mainland Southeast Asia: new insights for Palaeo-Tethys closure and implications for the Indosinian orogeny. *Comptes Rendus Geoscience*, 340 (2-3), 166-179.
- Sanjit, P., Wonganan, N., Thasod., 2013. Devonian radiolarian faunas in Pai Area, Mae Hong Son Province, Northern Thailand: Paleogeographic implication. *Editorial message*, 393.
- Thassanapak, H., Feng, Q.L., Grant-Mackie, J., Chonglakmani, C., Thanee, N., 2011b. Middle Triassic radiolarian faunas from Chiang Dao, Northern Thailand. *Palaeoworld*, 20, 179-202.
- Thassanapak, H., Udchachon, M., Burrett, C., Feng, Q.L., 2017. Geochemistry of radiolarian cherts from a Late Devonian continental margin basin, Loei fold belt, Indochina terrane. *Journal of Earth Science*, 28, 29-50.
- Wang, Y., Aitchison, J.C., Luo, H., 2003. Devonian radiolarian faunas from South China. *Micropaleontology*, 49 (2), 127-145.
- Wonganan, N., Caridroit, M., 2005. Middle and Upper Devonian radiolarian faunas from Chiang Dao area, Chiang Mai province, northern Thailand. *Micropaleontology*, 51 (1), 39-57.
- Wonganan, N., Caridroit, M., 2006. Middle to Upper Permian radiolarian faunas from chert blocks in Pai area, northwestern Thailand. *Eclogae geol*, 99, S133-S139.
- Wonganan, N., Randon, C., Caridroit, M., 2007. Mississippian (early Carboniferous) radiolarian biostratigraphy of northern Thailand (Chiang Dao area). *Geobios*, 40 (6), 875-888.