

วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย: การประมวลและการวิเคราะห์แนวโน้ม

ปัญญา จารุศิริ
เชิรพันธุ์ อำไพวรรณ
Ken-ichiro Hisada
กิตติ ขาววิเศษ
สุวิทย์ โคสุวรรณ
วิโรจน์ คาวฤกษ์

คัดจากวารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T) ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม – เมษายน 2545

วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T),

ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 (2545/2002)

ปัญญา จารุศิริ

งานวิจัย

และวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย:

การประมวลการวิเคราะห์แนวโน้ม

ปัญญา จารุศิริ^{1*} เชียร์พันธุ์ อำไพพรรณ¹ Ken-ichiro Hisada²

กิตติ ขาววิเศษ³ สุวิทย์ โสสุวรรณ³ และ วิโรจน์ ดาวฤกษ์¹

ประเทศไทยประกอบไปด้วย จุลทวีปหลัก 2 จุลทวีป ได้แก่ ฉาน-ไทย และอินโดจีน โดยทั้ง 2 จุลทวีปได้เคลื่อนที่เข้ามาเชื่อมติดกันในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนปลาย วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของทั้ง 2 จุลทวีป สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน โดยพิจารณาจากการลำดับชั้นหินทางธรณีแปรสัณฐานและธรณีกาลวิทยา ได้แก่ ขั้นแปรสัณฐานบรรพกาล, ขั้นแปรสัณฐานโบราณ, ขั้นแปรสัณฐานมัชฌิมกาล และขั้นแปรสัณฐานนวกาล

ในขั้นแปรสัณฐานบรรพกาล ทั้งจุลทวีปฉาน-ไทยและอินโดจีนยังคงอยู่แยกกัน โดยฉาน-ไทยและอินโดจีนเป็นส่วนของหินฐานธรณี ซึ่งประกอบด้วยหินแปรชั้นสูงของมหาทวีปกอนด์วานาและมหาทวีปแพน-คาเซีย อายุของหินแปรเหล่านี้ ได้วินิจฉัยให้อยู่ในมหายุคพรีแคมเบียน ในขั้นแปรสัณฐานโบราณ เริ่มต้นด้วยการเกิดการรูก้าของน้ำทะเลจากมหาสมุทรทีทิสโบราณ ขึ้นมาท่วมทั้งบนจุลทวีปฉาน-ไทยและอินโดจีนตั้งแต่ยุคแคมเบียนจนถึงยุคเพอร์เมียน ต่อมาในช่วงกลางมหายุคพาเลโอโซอิกมีการเกิดการมุดตัวของแผ่นเปลือกสมุทร โดยในการศึกษานี้ได้มีการเสนอแผ่นธรณีแปรสัณฐานขึ้นใหม่ 2 แผ่นแทรกอยู่ระหว่างจุลทวีปฉาน-ไทยและอินโดจีน มีชื่อเรียกว่าแผ่นนครไท ซึ่งเป็นพื้นมหาสมุทรทีทิสโบราณ อยู่ทางด้านตะวันออก และแผ่นลำปาง-เชียงราย ซึ่งเป็นหมู่เกาะรูปโค้งและแผ่นมหาสมุทรอยู่ทางด้านตะวันตก จุลทวีปฉาน-ไทยเคลื่อนตัวออกจากทวีปแม่อย่างรวดเร็วยุบบริเวณที่มีละติจูดต่ำกว่า โดยอาศัยข้อมูลจากหินไดอะไมกไทต์ ที่แสดงถึงสภาพการสะสมตัวในทะเลจากธารน้ำแข็ง ในช่วงยุคเพอร์โม-คาร์บอนิเฟอรัส ถัดมาในช่วงตอนปลายยุคเพอร์เมียน สภาพอากาศอบอุ่นขึ้นซึ่งดูได้จากลักษณะลานคาร์บอนเนตที่พบบริเวณขอบทวีปและแผ่นมหาสมุทรเททิส สำหรับเหตุการณ์ที่สำคัญในขั้นแปรสัณฐานมัชฌิมกาล ได้แก่ การเกิดการชนกันของทุกจุลทวีป, การหายไปของมหาสมุทรทีทิสโบราณกาล เกิดรอยเลื่อนแนวระดับในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-

¹ ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กทม. 10330

* e-mail cpunya@chula.ac.th

² Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan 305-8571

³ กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี กรุงเทพฯ 10400

ตะวันตกเฉียงใต้และตะวันตกเฉียงเหนือ- ตะวันออกเฉียงใต้ และการเกิดการแทรกคั่นของหินแกรนิตแนว ตะวันออก ซึ่งเป็นหินแกรนิตอัคนีให้แหล่งแร่ทองคำ-เหล็ก-ตะกั่ว-สังกะสี-ทอง และแนวกลาง ซึ่งส่วนใหญ่ เป็นหินแกรนิตตะกอนให้แหล่งแร่ดีบุก- ทังสแต- นีโอเบียม- แทนทาลัม- แร่หายาก ค วามสัมพันธ์ทางด้าน แม่เหล็กบรรพกาลแสดงให้เห็นว่าจุลทวีปฉาน- ไทยอยู่ใกล้กับอินโดจีนมากบริเวณละติจูดต่ำทางด้านซีกโลก เหนือในช่วงตอนปลาย ๆ ของมหายุคพาเลโอโซอิก ทุกจุลทวีปเคลื่อนที่มาถึงบริเวณละติจูดกลาง ๆ ของซีก โลกเหนือและหยุดอยู่กับที่ในช่วงปลายยุคไทรแอสซิกถึงดี นยุคจูแรสซิก การเกิดรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำของจุล ทวีปฉาน-ไทยขึ้นไปทับบนผืนแผ่นลำปาง-เชียงราย, ตะวันออกของแผ่นลำปาง-เชียงรายทับบนแผ่นนครไทย , และตะวันออกของแผ่นนครไทยทับแผ่นอินโดจีน ซึ่งทำให้เริ่มมีการเคลื่อนที่ของมหาสมุทรที่ทิสัมชฌิมกาล เข้ามาจากทางตะวันตก โดยกา รเกิดรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำนี้ทำให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนแผ่นดินในช่วง อายุจูแรสซิก-ครีเตเชียสบนแผ่นลำปาง-เชียงราย แผ่นนครไทย และทางตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ของจุล ทวีปอินโดจีนตามลำดับ ขึ้นแปรสัณฐานมัชฌิมกาลจบลงพร้อม ๆ กับการสิ้นสุดของการรูก้าของน้ำทะเล จากมหาสมุทรที่ทิสัมชฌิมกาล เนื่องจากการชนกันของจุลทวีปฉาน- ไทยและจุลทวีปพม่าตะวันตก และเป็น ผลทำให้เกิดหินแกรนิตแนวตะวันตก (ทั้งแบบแกรนิตตะกอนและแกรนิตอัคนีที่มีแร่ต่าง ๆ มาก) ต่อจากนั้น จึงเกิดการชนกันของทวีปอินเดียและเอเชียในสมัยอีโอซีนเป็นจุดเริ่มต้นของขึ้น ขึ้นแปร สัณฐานนวกาล ทำให้ เกิดการยกตัวบริเวณกว้างของแอ่งโคราชและแอ่งสะสมตะกอนใกล้เคียง และเกิดชั้นหินโค้งรูปประทุนภูพาน และชั้นหินโค้งรูปประทุนหงายลูกฟูกนครไท เหตุการณ์ที่สำคัญในขั้นนี้คือการเกิดรอยเลื่อนแนวระดับเกิด การเคลื่อนที่กลับทิศ และการปะทุของหินบะซอลต์ที่ได้ มาจากการหลอมละลายของเนื้อโลกมีอัญมณีอยู่ด้วย การระเบิดของภูเขาไฟในช่วงมหายุคซีโนโซอิกนี้อาจเป็นผลมาจากการยกตัวบริเวณกว้าง (อันเป็นผล มาจากกระแสร้อนจากเนื้อโลก), การเกิดการรัศกร้อนอย่างรุนแรง และการเกิดการสะสมตัวแบบลานแร่ใหญ่ น้อยของดีบุก ทอง และอัญมณีอีกด้วย

คำสำคัญ การแปรสัณฐาน ยุคไทรแอสซิก ฉาน- ไทย แผ่นอินโดจีน จุลทวีป แผ่นลำปาง- เชียงราย แผ่นนครไทย

Geotectonic Evolution of Thailand: Compilation and New Synthesis

Punya Charusiri^{4*}, Tianpan Ampaiwan¹, Ken-ichiro Hisada⁵

Kitti Khaowiset⁶, Suwith Kosuwan³ and Veerote Daorerk¹

Thailand comprises two major tectonic terranes, the Shan-Thai and Indochina, which were amalgamated in the Late Triassic. Four main tectonic stages are recognized herein on tectonostratigraphic and geochronological grounds, viz. Archaeotectonic, Paleotectonic, Mesotectonic, and Neotectonic.

In the Archaeotectonic stage, the Shan-Thai and Indochina micro continents constituted detached, probably Precambrian, high-grade metamorphic, cratonic fragments of the Gondwana and Pan-Cathasia supercontinents, respectively. The paleotectonic stage commenced with a major marine transgression (Paleotethys) over both Shan-Thai and Indochina extending from the Cambrian to the Permian. Following oceanic subduction during the Middle Paleozoic, two newly proposed, smaller tectonic blocks intervened between Shan-Thai and Indochina, namely the paleotethyan “Nakhon Thai” ocean floor to the east and the “Lampang-Chiang Rai” volcanic arc to the west. Rapid drifting of Shan-Thai to lower latitudes from its parent landmass is recorded by Permo-Carboniferous, glaciomarine diamictites. A transition to warmer environment recorded for Shan-Thai and all terranes were close to the paleo-equator, as shown by carbonate platform facies along the continental margin during the Late Permian. Flysch- and arc-type sedimentation took place during Triassic over almost all terranes. The advent of the Mesotectonic stage is marked by the collision of all terranes, termination of Paleotethys, development of the major NE- and NW-trending strike-slip faults, and the emplacement of the voluminous Eastern (I-type granitoids with Cu-Fe-Pb- Zn-Au deposits) and Central (S-type dominated, Sn-W-Nb-Ta-REE deposits) Granite Belts. Paleomagnetic relationships demonstrate that Shan-Thai was very close to Indochina at a low latitude in the northern hemisphere during the very Late Paleozoic. All terranes attained the mid-latitudes of the northern

⁴ Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.

* e-mail cpunya@hotmail.com

⁵ Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan.

⁶ Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Rama VI Rd., Bangkok 10400

hemisphere and came to a halt during very Late Triassic- to Early Jurassic-times. Thrusting of Shan-Thai over Lampang-Chiang Rai, eastern Lampang-Chiang Rai over Nakhon Thai, eastern Nakhon Thai block over western Indochina in eastern Thailand, and partly Shan-Thai over Indochina, triggering the Mesotethyan incursion to the west, may have generated Jurassic-Cretaceous, continental sedimentation over much of Lampang-Chang Rai, Nakhon Thai, western and southwestern Indochina, respectively. The end of the Mesotectonic stage (Early Tertiary) is marked by the termination of Mesotethyan transgression in the Shan-Thai/Western Burma collision, causing the generation of the Western (richly-mineralized S- and I-tupe) Granite Belt. The collision of India with Asia during the Early Eocene marked the beginning of the Neuvotectonic stage, which in turn caused the regional uplift of the Mesozoic Khorat and affiliated basins and the generation of the Phuphan Anticline and Nakhon Thai Synclinorium. The Neuvotectonic stage is marked by reverse motion on the major strike-slip faults and the occurrence of Middle to Late Miocene, mantle-derived gembearing basalts. This Late Cenozoic eruption may have been linked to the late regional uplift and vigorous denudation, generating the major, Sn-, Au-, and gemplacer deposits of the country.

บทนำ

ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา การศึกษาธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากตั้งแต่^(50,16) ได้อธิบายเกี่ยวกับธรณีประวัติของประเทศไทยด้วยหลักฐานที่ชัดเจนและการใช้แบบจำลอง อย่างไรก็ตามการแปลความหมายทั่ว ๆ ไปในเรื่องธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้มีการเสนอออกมาอย่างมากมาย^(61,84,85,110,5,50,12,100) ในเวลาต่อมาได้มีผู้ได้ทำการแปลความหมายออกมาด้วยหลักฐานที่มากขึ้น ได้แก่^(85,107,8,9,103,104,29,24,81,82) ในปัจจุบันเป็นที่ขมก้นกันทั่วไปตามแบบจำลองของ Bunopas^(16,17,19,21,22) ว่าประเทศไทยประกอบด้วยจุลทวีป 2 จุลทวีป ได้แก่ ฉาน-ไทย (Shan-Thai) (พอเทียบได้กับ Sibumasu ในการศึกษาของ Metcalfe^(78,79)) และอินโดจีน (Indochina) โดยที่ทั้งสองจุลทวีปเชื่อมติดกันเนื่องจากการชนกันในช่วงหลังมหายุคพาลีโอโซอิก (Paleozoic) จุลทวีปฉาน-ไทยซึ่งได้แก่ บริเวณตะวันตกของประเทศไทย, บริเวณคาบสมุทร, ทางตะวันออกของประเทศไทย, ตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศไทย, ตะวันตกเฉียงใต้ของญูนนาน⁽¹²⁰⁾ ตะวันตกของคาบสมุทรมาเลย์ และตะวันออกของเกาะสุมาตรา⁽⁸¹⁾ ส่วนจุลทวีปอินโดจีนอันได้แก่ทางตอนเหนือของประเทศไทย, ประเทศกัมพูชา, พื้นที่ส่วนมากของประเทศลาว,⁽¹¹⁴⁾ ประเทศเวียดนามและพื้นที่ทางตะวันออกของประเทศมาเลเซีย ทั้งสองจุลทวีป ได้เข้ามารวมกันโดยมีตะเข็บธรณีน่าน (Nam Suture หรือ Nan River Suture)⁽¹¹⁾ คั่นอยู่ระหว่างกลาง และเป็นที่เชื่อกันว่าทั้ง 2 จุลทวีปเป็นส่วนหนึ่งของมหาทวีปกอนด์วานา (Gondwana) (ดู⁽²¹⁾) แต่จากข้อมูลใหม่ด้านแม่เหล็กบรรพกาล

(paleomagnetism), การกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตตามลักษณะภูมิศาสตร์ (biogeographic) และลำดับชั้นหิน (81,119,35,120) ในส่วนของจุลทวีปอินโดจีนแสดงให้เห็นว่าแตกต่างจากในส่วนของมหาทวีปกอนด์วานา แต่พบว่า คล้ายกับแผ่นธรณีแปรสัณฐานจีนตอนเหนือ (North China) และจีนตอนใต้ (South China) โดยทั้งสองแผ่นนี้อยู่ทางตอนใต้ของประเทศจีน (81,59,60) และอาจอยู่ติดกับทวีปออสเตรเลียทางด้านเหนือ (121,7) ดังนั้นทางคณะผู้ศึกษา จึงได้จัดแผ่นธรณีแปรสัณฐานทั้งหมดที่กล่าวข้างต้นอยู่ รวมกับทางตอนเหนือของออสเตรเลีย และรวมเรียกว่า มหาทวีปแพน-คาร์เธเซีย (Pan-Cathasia)⁽¹²⁰⁾

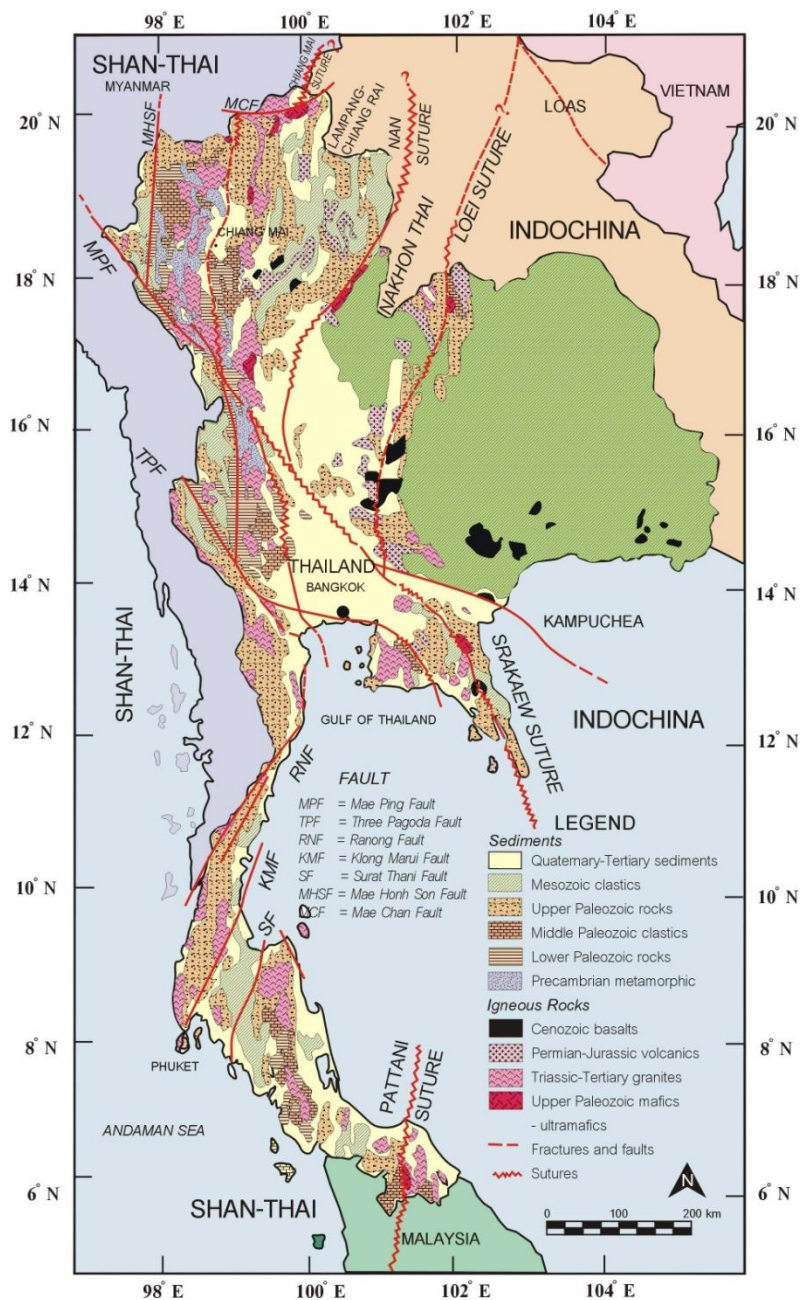
วัตถุประสงค์ของรายงานฉบับนี้คือ เพื่อลำดับข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับประวัติธรณีแปรสัณฐานของ ประเทศไทยโดยใช้ผลการศึกษาที่ประมวลและวิเคราะห์มาเป็นอย่างดี และเพื่อนำเสนอแบบจำลองเหตุการณ์ ทางด้านธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย

ลักษณะหลักทางธรณีวิทยาและลักษณะย่อยทางธรณีแปรสัณฐานประเทศไทย

ประเทศไทย (รูป 1) สามารถแบ่งตามลักษณะภูมิประเทศและ โครงสร้างได้เป็น 3 ส่วนหลักได้แก่ ที่ราบสูงโคราช ซึ่งอยู่ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และเป็ นส่วนของจุลทวีปอินโดจีน ที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาซึ่งเป็นส่วนของจุลทวีปฉาน- ไทย และบริเวณที่มีการคดโค้งในแนวเหนือ- ใต้ทางตอนเหนือ , ทางตะวันตกและทางตอนกลางของ ประเทศอันเป็นส่วนของจุลทวีปฉาน- ไทย ลักษณะโครงสร้างสุดท้ายของ ฉาน-ไทยที่รู้จักกันในนาม ธรณีแอ่นตัวพม่า- มาเลย์ (Burmese-Malayan Geosyncline) ในการศึกษาของ^(67,68,15,14) มีความแตกต่างอย่างมากกับชุดหินตะกอนโมลาส (mollase sequence) ในมหายุคมีโซโซ (Mesozoic) ที่พบทางด้านตะวันออกเฉียงของจุลทวีปอินโดจีน ในประเทศไทยระบบรอยเลื่อนแนวระดับ (strike-slip fault) 2 ระบบด้วยกันได้แก่ ระบบในทิศตะวันตกเฉียงเหนือซึ่งประกอบด้วยรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ (Three-Pagoda fault) และ รอยเลื่อนแม่ปิง (Mae Ping fault) อีกระบบหนึ่งได้แก่ ระบบในทิศตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งประกอบด้วยรอยเลื่อนคลองมะรุย (Khleng Marui fault) และรอยเลื่อนระนอง (Ranong fault) (รูป1) จากการศึกษาของ Bunopas^(16,17) เชื่อว่าความรุนแรงและอายุของแนวรอยเลื่อนเหล่านี้ยังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากยังมีบางส่วนที่ไม่โผล่ออกมาให้เห็น ซึ่งได้แก่บริเวณอ่าวไทยและที่ราบภาคกลางนั่นเอง

ในการศึกษานี้ได้จัดแบ่งวิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทยออกเป็น 4 ชั้น ได้แก่ ชั้นแปรสัณฐานบรรพกาล, ชั้นแปรสัณฐานโบราณกาล, ชั้นแปรสัณฐานมัชฌิมกาลและชั้นแปรสัณฐานนวกาล

วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย : การประมวลและการวิเคราะห์แนวใหม่



รูปที่ 1 แผนที่ธรณีวิทยาประเทศอย่างง่าย แสดงการกระจายตัวของหินในมหายุคต่างๆ ทั้งหินตะกอน (แปร) และหินอัคนี และแผ่นเปลือกโลกที่สำคัญ ตลอดจนตะเข็บธรณีและแนวรอยเลื่อนหลักๆ ที่สำคัญของไทย

• **ขั้นแปรสัณฐานบรรพกาล (archaeotectonic Stage) (A ในรูป 2)**

ในอดีตตั้งแต่ปี ค.ศ. 1981 มีผู้เรียกชื่อจุลทวีปฉาน-ไทย (Shan-Thai microcontinent) และจุลทวีปอินโดจีน (Indochina microcontinent) ซึ่งเชื่อว่าอยู่นอกฝั่งแอ่งตะกอนแคนนิ่งแถบตะวันออกเฉียงเหนือของออสเตรเลีย ในกอนด์วานาตะวันออก (16,17,21,18) เนื่องจากข้อมูลด้านลำดับชั้นหินมหายุคพาลีโอโซอิกตอนต้นจากทั้งสองจุลทวีป รวมทั้งแผ่นธรณีสัณฐานใกล้เคียง ๆ ทำให้มีผู้รวมเรียกว่าทวีปซิมเมอร์เรียน (80) และย้ายจุลทวีปทั้งสองไปและต่ำลงไปทางใต้ พร้อมทั้งเรียกใหม่ว่าสิบูมาสซูเทอร์เรน (Sibumasu Terrane) และอินโดไชนาเทอร์เรน (Indochina Terrane) ซึ่งสิบูมาสซูยังมีถิ่นกำเนิดอยู่ทางตะวันตกเฉียงเหนือของออสเตรเลีย และเป็นส่วนของมหาทวีปกอนด์วานา (Gondwanaland) ในขณะที่จุลทวีปอินโดจีนและแผ่นใกล้เคียง ได้แก่ แผ่นจินตอนใต้, จินตอนเหนือ, มณฑลคิตะคามิและคุโรเซกาวา (Kitakami – Kurosegawa) ของเกาะฮอนชู (ญี่ปุ่น) รวมเรียกว่าทวีปแพน-คาเธเซีย (Pan-Cathaysia)⁽¹²⁰⁾ ซึ่งครั้งหนึ่งเคยติดต่อกับบริเวณตอนเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปออสเตรเลีย

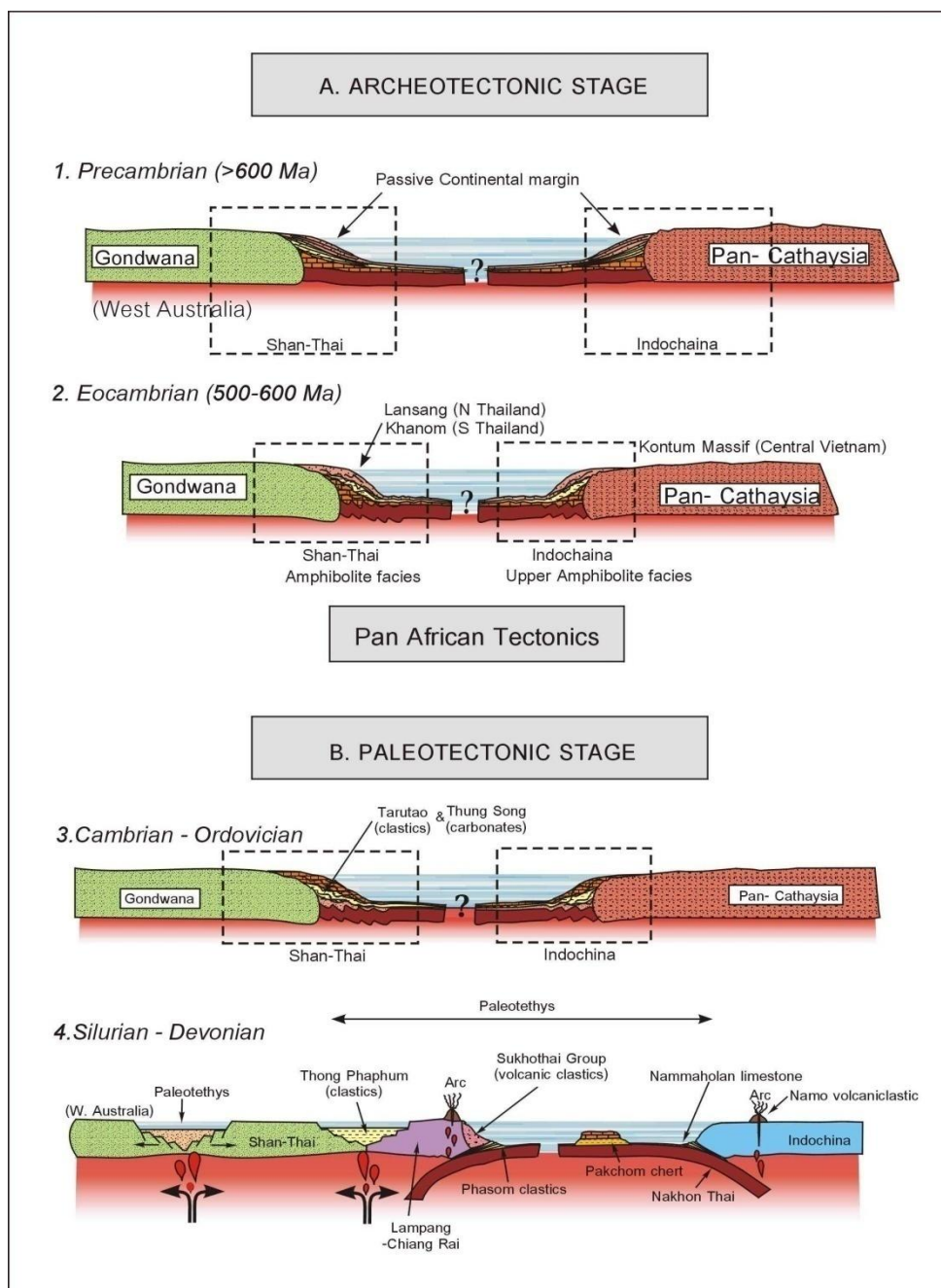
ทั้งจุลทวีปฉาน-ไทยและอินโดจีนเคยเป็นส่วนหนึ่งของมหาทวีปกอนด์วานาที่แยกออกจากกัน (รูป 2A & 4A) และมีหินฐาน (basement) ที่ประกอบด้วยหินแปรชั้นสูง อายุอยู่ในช่วงมหายุคพรีแคมเบรียน ถึงอีโอแคมเบรียน (Eocambrian) ในจุลทวีปฉาน-ไทย หินเหล่านี้พบเป็นรูปทรงโดมที่มีลักษณะการกระจายตัวตั้งแต่ทางตอนเหนือถึงตอนใต้ หินที่พบได้แก่ หินไนส์ (para- & ortho- gneiss), หินอ่อน, หินแคลซิลิเกต, หินชีสต์ และหินควอร์ตไซต์ (dynamo-thermal metamorphism) อยู่ในชุดแร่หินแปร แอมฟิโบไลต์ (amphibolite) จสถึงกรีนชีสต์ตอนบน (upper green schist facies) สำหรับจุลทวีปอินโดจีนไม่มีการศึกษาใดที่พบว่ามียุคพรีแคมเบรียนอยู่ในประเทศไทย แต่พบหินเหล่านี้ชัดเจน ในประเทศเวียดนาม คือที่ Khontum sassif และบริเวณแม่น้ำแดง (Red River) (รูป 1) ลักษณะหินที่พบคล้ายกับในจุลทวีปฉาน-ไทย แต่มีระดับของการแปรสภาพที่สูงกว่ามาก (ชุดแร่หินแปรแอมฟิโบไลต์ตอนบนจนถึงแกรนูไลต์) มีการกำหนดอายุโดยใช้ไอโซโทปได้ 2,300 ล้านปี ซึ่งอยู่ในมหายุคโปรเทอโรโซอิก (Proterozoic)^(62,63) สำหรับหินอายุพรีแคมเบรียนในจุลทวีปฉาน-ไทยมีลักษณะคล้ายกับ Cordilleran-type complex ของทวีปอเมริกาเหนือที่ศึกษาโดย Coney⁽³⁹⁾ และแบ่งแยกจากบริเวณที่มีระดับการแปรสภาพต่ำกว่าหรือไม่ถูกแปรสภาพได้จากแนวรอยเลื่อนทางคณะผู้ศึกษา ได้ทำการแปลความหมายว่า กลุ่มหินแปรซับซ้อนยุคพรีแคมเบรียน (Precambrian metamorphic complex) ในประเทศไทย อาจเกิดเป็นส่วนประกอบทางตอนใต้จุลทวีปฉาน-ไทยเนื่องจากการเปลี่ยนลักษณะบริเวณกว้าง การหดตัว (crustal telescoping) และการยกตัวเป็นทรงโดม (domal uplift)

จากข้อมูลใหม่ทางด้านธรณีวิทยา (geochronology) จากทางตะวันตกของประเทศไทย^(1,2) ได้แสดงให้เห็นว่าหินเหล่านี้มีอายุสะสมตัวน้อยกว่า 600 ล้านปี นอกจากนี้ข้อมูลการหาอายุด้วยวิธี U-Pb จากแร่เซอร์คอนในหินแกรนิตจากบริเวณทางตอนเหนือและทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยซึ่งศึกษาโดย Hardolf

และคณะ (1996, ติดต่อบุคคล) แสดงผลการทดลองจากการหาอายุว่าหินแกรนิตเหล่านี้โดยมากมีความสัมพันธ์กับหินไนส์และหินไมโลไนต์ที่เกิดขึ้นในช่วงยุคไทรแอสซิก ซึ่งมาจาก หินเดิมอายุพรีแคมเบียนในชั้นหินฐาน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอายุของหินพรีแคมเบียนในประเทศไทยมากมาย เช่น การศึกษาหาอายุของแร่ฮอร์นเบลนด์ (และแร่กาลีบดา-biotite) ด้วยวิธี $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}^{(70)}$ หรือการศึกษาหาอายุการสะสมตัวของหินพาราไนส์ ด้วยวิธี Rb-Sr จากหินทั้งก้อน (83,55) จากการศึกษาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าอายุของหินแปรในจุลทวีปฉาน-ไทยเหล่านี้อยู่ในช่วงมหายุค พรีแคมเบียน และอายุการเกิดการแปรสภาพครั้งแรกน่าจะประมาณยุคอีโอแคมเบียน (Eocambrian) หรือไซเนียน (Sinian) หลังจากการเกิดการแปรสภาพบริเวณกว้าง หินเหล่านี้จึงถูกยกตัวขึ้นมาเนื่องจากการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกและเกิดการผุพังต่อไปสะสมตัวเป็นหินตะกอนหนาในช่วงกลางและช่วงบนของหินอายุแคมเบียน (Cambrian) ซึ่งน่าจะตรงกับช่วงที่เกิดธรณีแปรสัณฐานของแพน-แอฟริกา (Pan-Africa)⁽⁵¹⁾ และเป็นการจบลงของขั้นแปรสัณฐานบรรพกาล

• ขั้นแปรสัณฐานโบราณ (Paleotectonic Stage)

ในขั้นนี้ (B ในรูป 2) เริ่มต้นด้วยการเกิดการรูก้ำของน้ำทะเลจากมหาสมุทรที่ทิศโบราณกาลเข้ามาบนทั้งจุลทวีปฉาน-ไทยและอินโดจีน ทำให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนมหายุคพาลีโอโซอิกมากมาย สำหรับหินมหายุคพาลีโอโซอิกตอนล่าง (Lower Paleozoic) ในประเทศไทยส่วนใหญ่วางตัวไม่ต่อเนื่องกับหินแปรอายุพรีแคมเบียน และมีการกระจายตัวจำกัดอยู่เพียงแก่จุลทวีปฉาน-ไทยเท่านั้น โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม



รูปที่ 2 แบบจำลองการแปรสัณฐานแผ่นเปลือกโลกในช่วงสมัยต่าง ๆ

- A. ขึ้นแปรสัณฐานบรรพการ (Precambrian – Eocambrian)
- B. ขึ้นแปรสัณฐานโบราณ (Cambrian – Triassic)
- C. ขึ้นแปรสัณฐานมหัณมิภค (Triassic – Cretaceous) และ
- D. ขึ้นแปรสัณฐานนวกค (Tertiary – Quaternary)

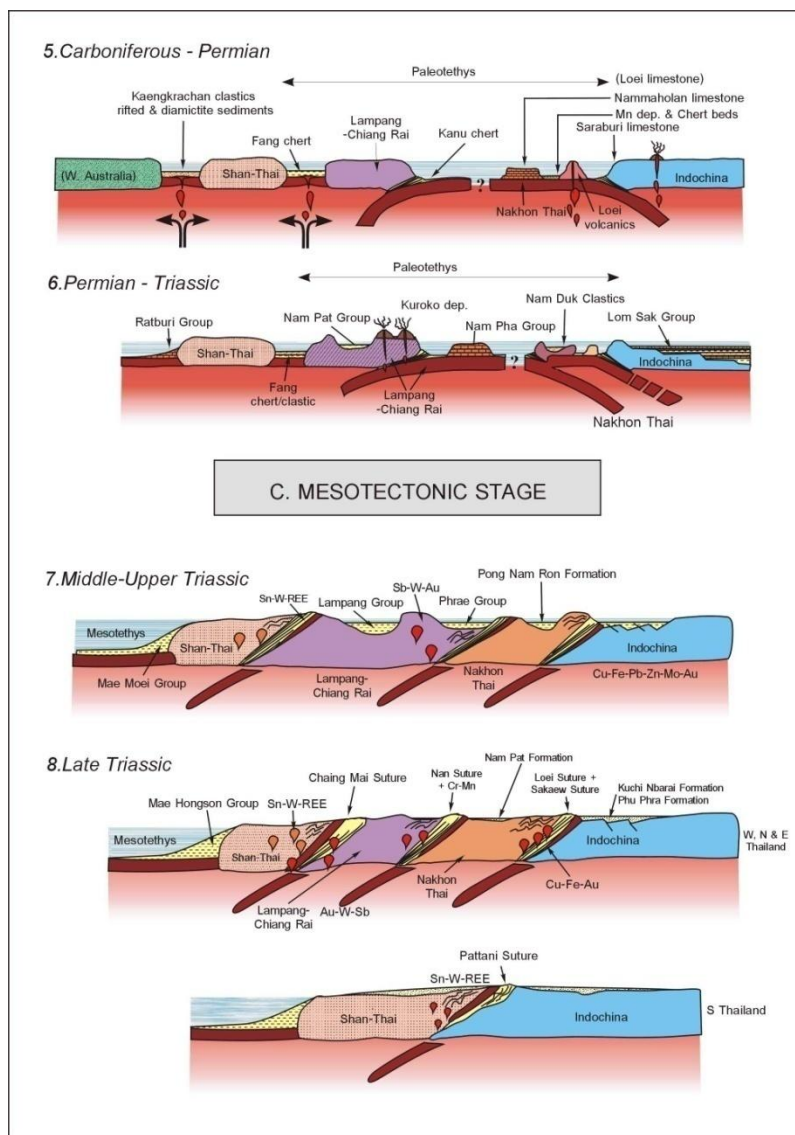


Fig. 5.2

รูปที่ 2.1

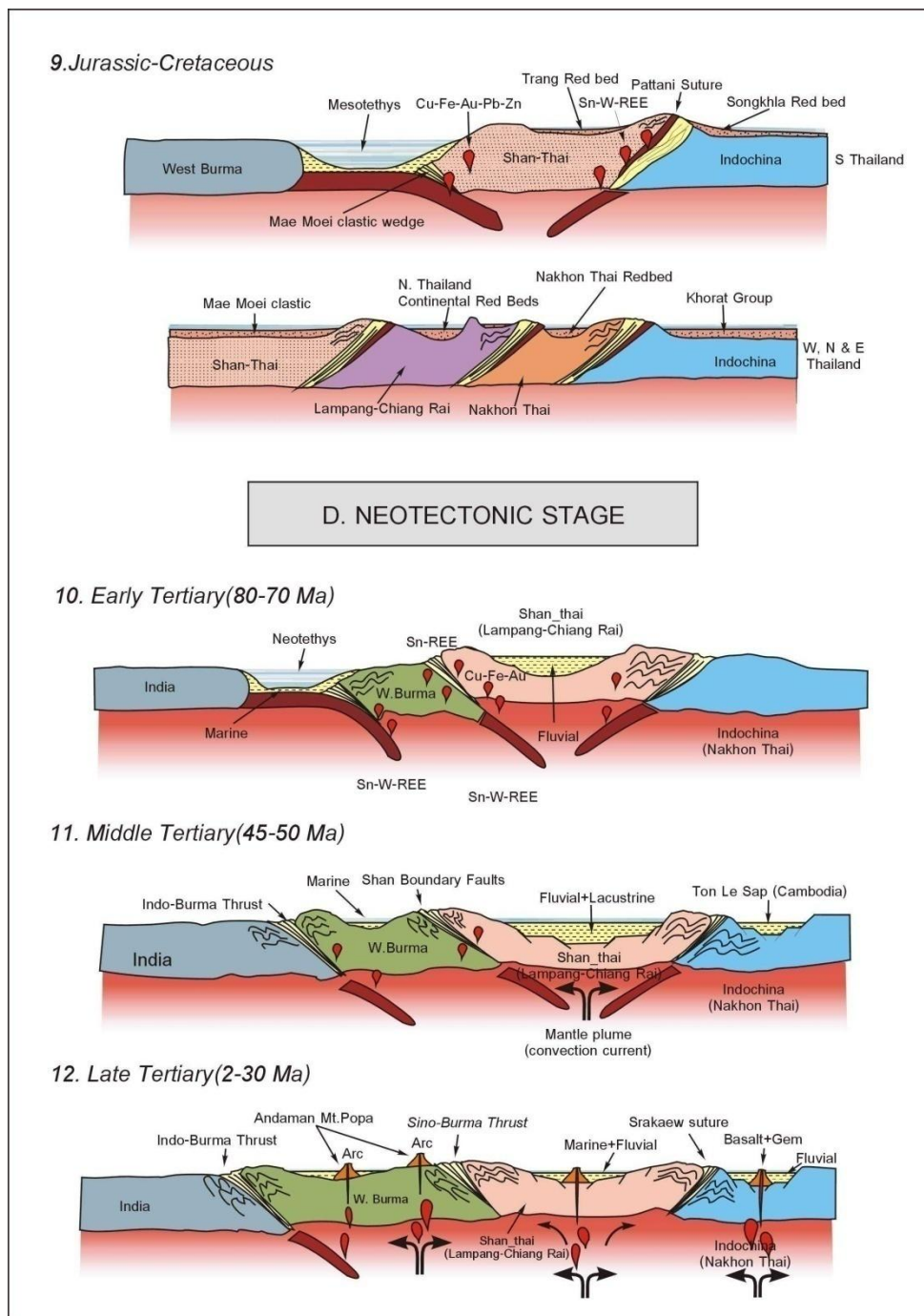


Fig. 5.3

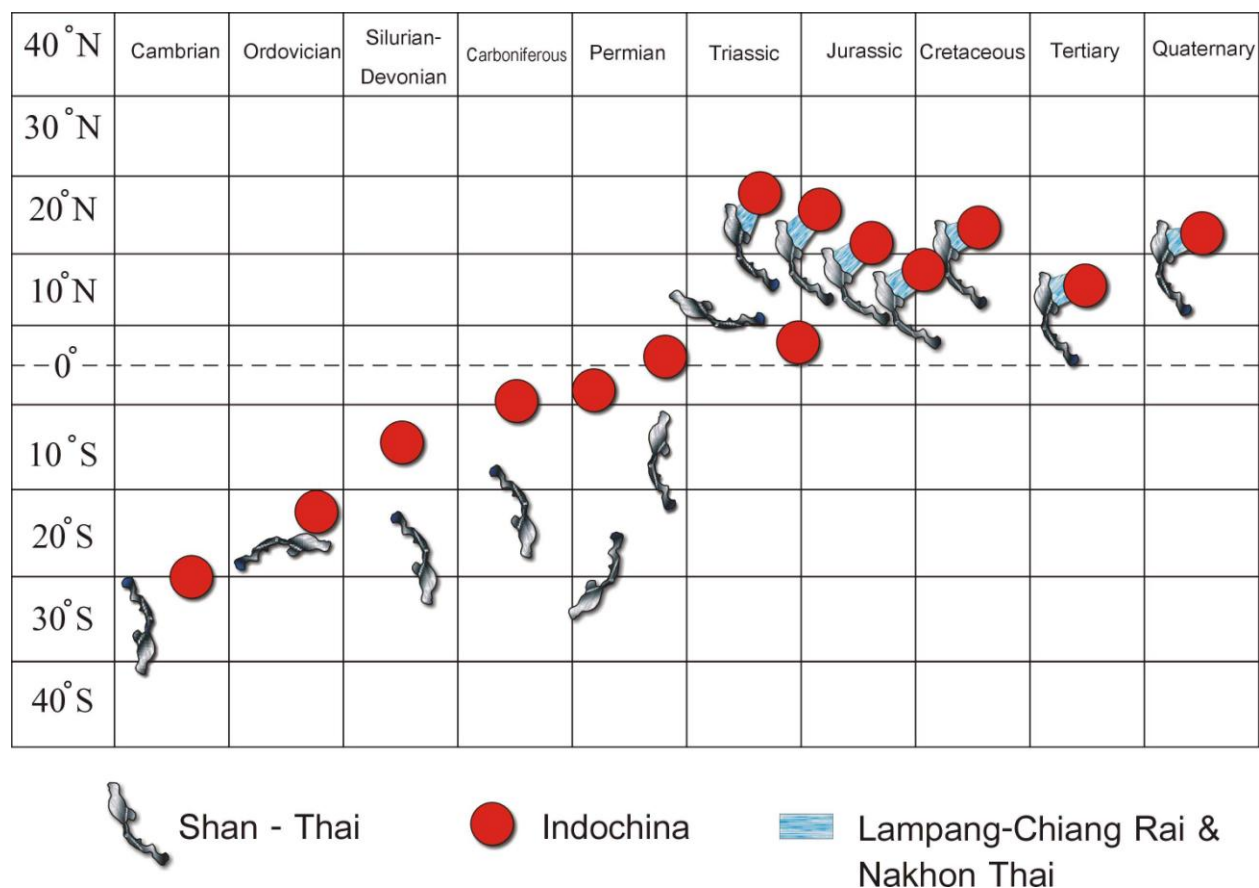
รูปที่ 2.2

ได้แก่ ส่วนล่างที่เป็นหินประเภทตะกอนเนื้อผสมซิลิกา (siliciclastic) ในกลุ่มหินตะรุเตา (Tarutao Group) มีอายุแคมเบรียน และสวบนซึ่งประกอบไปด้วยหินคาร์บอนेटของกลุ่มหินทุ่งสง (Thung Song Group) อายุออร์โดวิเซียน โดยกลุ่มหินตะรุเตาซึ่งเป็นกลุ่มหินที่มีอายุมากที่สุดที่พบในจุลทวีปฉาน-ไทย (แคมเบรียนตอนกลางจนถึงออร์โดวิเซียนตอนบน) และพบในจุลทวีปฉาน-ไทยเท่านั้น ประกอบไปด้วยหินทรายสลับหินดินดานที่มีซากดึกดำบรรพ์ของไทรโลไบต์อายุแคมเบรียน ตอนต้นจำนวนมาก⁽¹⁰⁵⁾ ในบางบริเวณอาจพบชุดตะกอน (tempisite sequence) ในส่วนล่างและอาจมีหินปูนชั้นบาง ๆ แทรกเข้ามาในส่วนบน หินกลุ่มนี้แสดงให้เห็นถึงลักษณะการสะสมตัวบริเวณไหล่ทวีปในเขตน้ำตื้นที่ได้รับอิทธิพลจากพายุ⁽³⁾ ส่วนกลุ่มหินทุ่งสงโดยมากประกอบด้วยหินคาร์บอนेटชนิดต่าง ๆ ที่มีอายุออร์โดวิเซียนตอนล่างถึงช่วงปลายของยุคออร์โดวิเซียนตอนกลาง (-) (Lower-Late Middle (-) Ordovician) โดยพบซากดึกดำบรรพ์นาอูทิลอยด์ (nautiloid)⁽¹⁰⁶⁾ หินตะกอนเหล่านี้แสดงให้เห็นถึงลักษณะการสะสมตัวในเขตน้ำตื้นจนถึงบริเวณลานคาร์บอนेट⁽¹¹⁸⁾ ความหนาของชั้นหินทั้งหมดในช่วงพาลีโอโซอิกตอนล่างที่เกาะตะรุเตาประมาณไม่เกิน 1,600 เมตร⁽¹⁷⁾ หินในมหายุคพาลีโอโซอิกทางตะวันตกของจุลทวีปบางส่วนได้รับผลจากกระบวนการแปรสภาพไพศาลกลายเป็นหิน ควอร์ตไซต์, หินฟิลไลต์, หินซิสต์และหินอ่อน

จากข้อมูลทางด้านแม่เหล็กบรรพกาล^(16,77,120) ด้านลักษณะภูมิประเทศโบราณ (paleogeographic)^(34,23,24,80) ได้แสดงให้เห็นว่าในช่วงตอนต้นของมหายุคพาลีโอโซอิก (พรีแคมเบรียน จนถึงออร์โดวิเซียน) จุลทวีปฉาน-ไทยและอินโดจีนมีการหมุนทวนเข็มนาฬิกากระหว่างเส้นศูนย์สูตรบรรพกาล (paleoequator) และเส้นละติจูดบรรพกาล (paleolatitude) ต่าง ๆ ทางซีกโลกใต้ (รูป 3) ซึ่งหากเทียบกับในปัจจุบันแล้วมีทิศการวางตัวต่างกัน 18°⁽¹⁶⁾

ในตอนช่วงกลางของ มหายุคพาลีโอโซอิกโดยเฉพาะทางด้านตะวันตกของจุลทวีปฉาน-ไทยมีการสะสมตะกอนของกลุ่มหินทองผาภูมิ (Thongphaphum Group) และกลุ่มหินแม่เมย (Mac Moei Group)^(16,17) ประกอบด้วยหินดินดานสีดำนีแกรบโตไลต์ และหินเชิร์ต (chert) ซึ่งในบางบริเวณมีการแทรกสลับของหินทราย หินทรายแป้ง และหินปูนก้อนกลม (nodular limestone)⁽⁴⁶⁾ และมีตะกอนภูเขาไฟเล็กน้อย สำหรับทางด้านตะวันออกของจุลทวีปฉาน-ไทยมีการสะสมตัวของกลุ่มหินดอนชัย (Don Chai Group)⁽⁹²⁾ ซึ่งประกอบด้วยชั้นหินหนาของหินถ้ำภูเขาไฟ หินดินดานและหินเชิร์ต โดยในบางบริเวณมีการถูกแปรสภาพกลายเป็นหินซิสต์และแคลซิลิเกต ที่มีกลุ่มแร่อยู่ในชุดแร่หินแปรกรีนซิสต์⁽²⁹⁾ โดยจัดเป็นกลุ่มหินซับซ้อนเด่นมะตูม (Den Matum Complex) ที่จังหวัดตาก และกลุ่มหินซับซ้อนแม่ก่อ (Mae Koe Complex) ที่จังหวัดเชียงราย พะเยา รูป 2B-4) โดยแปลความหมายในการศึกษานี้ว่าเป็นลักษณะของหินที่สะสมตัวอยู่ บริเวณที่มีการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกซึ่งได้มีการตั้งชื่อว่าแผ่นลำปาง-เชียงราย (Lampang-Chiang Rai Plate) โดยการมุดตัวไปยังทิศตะวันตก

วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย : การประมวลและการวิเคราะห์แนวโน้ม



รูปที่ 3 ตำแหน่งที่ตั้งในอดีตทางภูมิศาสตร์ของแผ่นเปลือกโลกสำคัญ ๆ ของไทยในช่วงยุคต่าง ๆ โดยอาศัย หลักฐานทางสภาวะแม่เหล็กบรรพกาล

ที่มา : แผ่นฉานไทย - Bunopas (1981), Bunopas & Vella (1983), แผ่นอินโดจีน

- Maranate & Vella (1986), แผ่นลำปาง-เชียงราย & แผ่นนครไท – Xu และคณะ (1997), Li & Zhung (1997)

ในบริเวณจังหวัดเลย และจังหวัดอุดรธานีซึ่งอยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย หินที่เกิดขึ้นในยุคไซลูเรียนถึงดีโวเนียน ประกอบด้วยหินแปรชั้นต่ำ ซึ่งอยู่ในชุดแร่หินแปรกรีนชีส ประกอบไปด้วย หินควอร์ตไซต์ หินฟิลาइट หินชีสต์ หินถ้ำภูเขาไฟแปร (metatuff) หินแคลซิลิเกต และหินควอร์ตไซต์ที่มีแร่ไมกา โดยแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่กลุ่มตะกอนที่มีการสะสมตัวบริเวณพื้นมหาสมุทรที่ทิศโบราณกาลและกลุ่มที่มีการสะสม (volcanic arc) โดยหินที่กล่าวมานี้แสดงให้เห็นถึงลักษณะทางด้านตะวันออกสุดของมหาสมุทรที่ทิศโบราณกาล ซึ่งเป็นแผ่นเปลือกโลกอีกแผ่นหนึ่งชื่อวานครไท (Nakhon Thai Plate) โดยในยุคดีโวเนียนแถบจังหวัดเลยมีการสะสมตัวของหินปูนที่มีซากปะการังและหินเชิร์ตที่มีเรดิโอแลเรีย (radiolarian) ซึ่งแสดงให้เห็นการสะสมตัวของหินร่วมกันระหว่างหินปูนและหินตะกอนน้ำลึกบริเวณพื้นมหาสมุทรของแผ่นนครไท ทั้งแผ่นลำปาง-เชียงรายและนครไทย สามารถพบเห็นได้ อย่างชัดเจนในบริเวณภาคเหนือของไทย ซึ่งปัจจุบันเราไม่มีข้อมูลเพียงพอในการเทียบสัมพันธ์กับบริเวณทางใต้ของไทยเนื่องจากการเกิดที่ราบภาคกลางและรอยเลื่อนแนวตะวันตกเฉียงเหนือ อย่างไรก็ตาม Charusiri and Galong⁽³²⁾ ได้ใช้ข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศชี้ให้เห็นว่า แผ่นทั้งสองนี้มีการแผ่ขยายไปทางใต้โดยอ้อมไปทางภาคตะวันออกเฉียงใต้ของไทยแถบระยอง-จันทบุรี

นอกจากนี้ยังพบหลักฐานของการเกิดการแยกตัวของแผ่นเปลือกโลก ซึ่งได้แก่ หินแอมไฟโบไลต์ หินภูเขาไฟแปร (metavolcanic rocks)⁽⁵⁴⁾ และหินแคลซิลิเกตไนส์⁽²⁹⁾ ที่เขตอำเภอเวียงป่าเป้า และจังหวัดเชียงราย-พะเยา ซึ่งสามารถตีความได้ว่าเป็นชุดหิน โอไฟโอไลต์ (ophiolite sequence) ที่ไม่สมบูรณ์ของพื้นมหาสมุทรของแผ่นลำปาง-เชียงราย

จุลทวีปฉาน-ไทยมีการเปลี่ยนการหมุนจากทวนเข็มนาฬิกาเป็นตามเข็มนาฬิกาในช่วงปลายยุคออร์โดวิเซียน จนถึงช่วงต้นยุคไซลูเรียน⁽¹⁶⁾ ซึ่งมีความเป็นไปได้และสอดคล้องกับการแยกตัวของจุลทวีปฉาน-ไทยออกจากทวีปออสเตรเลียตะวันตก (Western Australia) ในขณะเดียวกันจุลทวีปอินโดจีนก็เกิดการเปลี่ยนทิศการหมุนอีกด้วย รูป 2.1-4 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนสภาพเดิมจากขอบทวีปสติดย์ (passive continental margin) ในตอนต้นของมหายุคพาลีโอ-โซอิก ไปเป็นขอบทวีปจลน์ (active continental margin) โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากลักษณะทางตะกอนวิทยาของจุลทวีปฉาน-ไทยและแผ่นลำปาง-เชียงราย โดยบ่งชี้ว่าจุลทวีปฉาน-ไทยแยกออกจากมหาทวีปกอนด์วานาในช่วงต้นยุคไซลูเรียน อย่างไรก็ตามผู้วิจัย ยังพิจารณาต่อไปว่าจุลทวีปฉาน-ไทยอาจเคลื่อนตัวห่างออกไปจากมหาทวีปกอนด์วานาและจุลทวีปอินโดจีนหลังจากตอนกลางของมหายุคพาลีโอโซอิก

หินอายุพาลีโอโซอิกตอนปลายที่มีการสะสมตัวทางด้านใต้และตะวันตกของจุลทวีปฉาน-ไทย ประกอบด้วยหินนิรสถาน (diamictites) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มหินแดงกระจาน (Kaeng Krachan Group)⁽²¹⁾ มีความหนาประมาณ 2,000-3,000 เมตร ประกอบด้วย หินโคลนมีกรวด, หินทรายมีกรวด, หินทรายปนกรวดกลม และ หินดินดานที่มีซากดึกดำบรรพ์พวกไบโอซัว, แบรคิโอพอด, หอยกาบคู่, แกสโตรพอด, ไทรโลไบต์, ปะการัง

และใบไม้ ซึ่งแสดงให้เห็นถึง การสะสมตัวบริเวณขอบทวีปสติดของจุลท ีปฉาน-ไทย ด้วยกระแสน้ำพุ่งขึ้นที่ เกิดสัมพันธ์กับการแยกตัวของเปลือกโลก อีกทั้งเป็นการสะสมตัวในน้ำเย็นโดยอาศัยข้อมูลด้านไอโซโทปจาก หอยแครงอิโพอค (115, 116) และกรวดหลากชนิดหลายขนาด (28) ในหินโคลนซึ่งแสดงลักษณะของหินทิ้ง (dropstone) ที่ติดมากับก้อนน้ำแข็งลอยน้ำ (71) จนทำให้เราระบุได้ว่าเกิดในขณะทีจุลท ีปฉาน-ไทยเกิดการ แยกตัวและเคลื่อนออกจากด้านตะวันออกของมหาทวีปกอนคว้านาใกล้เขตหนาวจัด นอกจากนี้ข้อ มูลทางด้าน แม่เหล็กบรรพกาล (รูป 3) ทำให้เราระบุได้ว่า จุลท ีปฉาน-ไทยตั้งอยู่บริเวณซีกโลกใต้ โดยที่ทางดานตะวันตกมี การสะสมตัวของกลุ่มหินแม่ฮ่องสอน (Mae Hong Son Group) ซึ่งประกอบด้วยหินทรายสีแดง หินดินดาน หิน เจริต และไม้พบว่ามีตะกอนจากภูเขาไฟด้วย ส่วนทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือมีการสะสมตัวของกลุ่มหินทองผา ภูมิ (Thong Pha Phum Group) ซึ่งเป็นหินคาร์บอนเตอายุคาร์บอนิเฟอรัส ซึ่งแสดงลักษณะการสะสมตัวบริเวณ ทะเลเปิดที่ค่อนข้างลึกและอาจเกี่ยวข้องกับตะกอนพื้นมหาสมุทร

บนแผ่นลำปาง-เชียงรายมีการสะสมตัวของกลุ่มหินดานลานหอย (Dan Lan Hoi Group) ที่มีความหนา ประมาณ 3,000 เมตร และประกอบไปด้วยหินตะกอนภูเขาไฟชั้นหนา แสดงให้เห็นว่ามีการมุดตัวของแผ่น เปลือกโลกเกิดขึ้นไม่ไกลจากจุลท ีปฉาน-ไทย สำหรับบริเวณแผ่นนครไทยหินในมหายุคพาลีโอโซอิกตอนบน ที่พบได้แก่ หมวดหินแพร์ (Phrae Formation) ที่ประกอบด้วยหินกรวดภูเขาไฟ หินทรายสกปรก (greywacke) หินกรวด หินอาจิลไลต์ (argillite) และหินปูนซึ่งแสดงให้เห็นลักษณะการสะสมตัวของตะกอนแบบร่องทะเลลึก หน้าแนวภูเขาไฟ (arc-trench facies) (19) ทางด้านตะวันออกของแผ่นนครไทยมีการสะสมตัวของตะกอนที่แทรก ด้วยหินปูนรูปเลนส์และหินกรวดหนาประมาณ 800 เมตร ซึ่งสามารถพบซากพืช ถ่านหินและแร่ยิปซัมร่วมด้วย แสดงให้เห็นถึงการสะสมตัวในบริเวณใกล้ชายฝั่งจนถึงเขตนํ้าตื้น ข้อมูลทางด้านแม่เหล็กบรรพกาล (73) (รูป 3) ที่ได้จากด้านตะวันตกสุดของจุลท ีปฉานอินโดจีน บ่งชี้ว่าแผ่นอินโดจีนตั้งอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตรบรรพกาล สำหรับ ทางด้านตะวันออกของจังหวัดจันทบุรีมีการสะสมตัวของกลุ่มหินจันทบุรี (Chantaburi Group) (17) ซึ่ง ประกอบด้วยตะกอนที่สะสมตัวบริเวณไหล่ทวีปจนถึงบริเวณนํ้าลึก โดยมีการกระจายตัวทางตอนใต้ของแผ่น นครไทย นอกจากนี้ยังมีหินหินบะซอลต์เขียว (spilitic basalt) พื้นมหาสมุทร (65) บริเวณจังหวัดเลยที่เกิดร่วมกับการสะสมตัวของแหล่งแร่แมงกานีสและ แร่แบไรต์ โดยทั้งหมดนี้คาดว่าเป็นส่วนที่เหลืออยู่ของพื้นมหาสมุทร ที่ทิศโบราณกาลด้านตะวันออกสุดในจุลท ีปฉานไทย

หินคาร์บอนเตยุคเพอร์เมียนสามารถพบได้ทั้ทั้งประเทศ สำหรับจุลท ีปฉาน-ไทยหินคาร์บอนเต เหล่านี้ถูกจัดอยู่ในกลุ่มหินราชบุรี (Ratburi Group) มีอายุในช่วง ตอนกลางยุคเพอร์เมียนถึงตอนต้นยุคไทร แอสซิก (66, 43) และมีการสะสมตัวบริเวณไหล่ทวีปช่วงนํ้าตื้นซึ่งเป็นขอบทวีปสติด (36, 43) ในแผ่นลำปาง-เชียงราย หินคาร์บอนเตยุคเพอร์เมียนจัดอยู่ในกลุ่มหินงาว (Ngao Group) (16) ลักษณะหินและซากดึกดำบรรพ์มีความ คล้ายคลึงกับกลุ่มหินราชบุรี และแสดงถึงลักษณะสภาพแวดล้อมเดียวกัน ทางด้านตะวันตก ของแผ่นนครไทย

เช่น ที่แพร่และน่านพบหินคาร์บอนยุคเพอร์เมียนเป็นชั้นบาง ๆ อยู่ร่วมกับหินตะกอนน้ำลึกและหินบะซอลต์ โดยจัดเป็นส่วนล่างของกลุ่มหินแพร่ (Phrae Group)⁽²⁰⁾ ทางด้านตะวันออกและตะวันออกเฉียงใต้ของ แผ่นนครไทยก็พบลำดับหินที่คล้ายกับทางด้านตะวันตก แต่ไม่ปรากฏหินบะซอลต์ สำหรับบนจุลทวีปอินโดจีน หินคาร์บอนนี้มีอายุระหว่างตอนปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงตอนกลางยุคเพอร์เมียน และประกอบด้วย หินคาร์บอนตอขบไหล่ทวีป⁽⁴⁴⁾ หินคาร์บอนตอปกพูน (build-up) กับหินตะกอนน้ำลึก⁽⁴⁸⁾ ในบริเวณจังหวัดสระบุรี และหินคาร์บอนตอปกพูนที่สะสมตัวในทะเลตื้นและภูมิอากาศร้อนชื้น⁽⁶⁾ จากข้อมูลจากคลื่นความสั่น สะเทือนที่ศึกษาโดย⁽⁸⁷⁾ พบว่าหินคาร์บอนยุคเพอร์เมียนนี้วางตัวไม่ต่อเนื่องกับหินในกลุ่มหินโคราช (Khorat Group) ในมหายุคมีโซโซอิก ลักษณะ ของซากดึกดำบรรพ์ เช่น คดข้าวสาร (fusulinids)⁽⁴⁴⁾ หอยกาบคู่แบรคคิ-โอพอด^(115,116) และพืชต่าง ๆ แสดงให้เห็นว่าจุลทวีปฉาน- ไทยและอินโดจีนอยู่ห่างกันในช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงตอนต้นยุคเพอร์เมียน โดยอาจมีแผ่นมหาสมุทรที่ทิศโบราณกลางกั้นระหว่างกลาง จุลทวีปอินโดจีนและ แผ่นนครไทยอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรบรรพกาล ส่วนจุลทวีปฉาน- ไทยและแผ่นลำปาง- เชียงรายอยู่บริเวณละติจูดตอนกลาง ๆ ของซีกโลกใต้

การศึกษาทางแม่เหล็กบรรพกาลมีส่วนช่วยสนับสนุนอย่างมากว่า แผ่นทวีปทั้งสี่ได้เคลื่อนที่เข้ามาใกล้ซึ่งกันและกันในช่วงเพอร์เมียนตอนปลาย^(73,16) อีกทั้งยังสอดคล้องกับข้อมูลกลุ่มบรรพชีวินที่มีความใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคดข้าวสาร⁽¹¹²⁾ และปะการัง⁽⁴⁹⁾

ในช่วงยุคเพอร์โมไทรแอสซิก (Permo-Triassic) จุลทวีปทั้งหมดเข้ามาอยู่ใกล้กันมากเนื่องจากการหมุนตามเข็มนาฬิกาอย่างต่อเนื่องของจุลทวีปฉาน-ไทยโดยในช่วงเวลานี้จุลทวีปอินโดจีนยังอยู่ติดกับแผ่นจีนตอนใต้ การศึกษาทางด้านแม่เหล็กบรรพกาลและวากบรรพชีวินทำให้ทราบว่าจุลทวีปต่าง ๆ อยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรบรรพกาลแล้ว และมหาสมุทรที่ทิศโบราณกาลก็แคบลงจนบางส่วนเกิดเป็นทะเลลึก เช่น หมวดหินน้ำดุก (Nam Duk Formation) แถบจังหวัดเลย-เพชรบูรณ์ และต่อมาจึงเกิดหินภูเขาไฟชนิดแคลอัลคาไลด์ (calc-alkaline) ตั้งแต่หินแอนดิไซต์จนถึงหินไรโอไลต์-ไรโอเดไลต์และหินตะกอนภูเขาไฟ วัฏตอนปลายมหายุคพาลีโอโซอิกบนแผ่นลำปาง- เชียงรายและนครไทยซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำขึ้นทางดานตะวันออกและโครงสร้างคดโค้ง (structural vergence) ของชั้นหินในมหายุคพาลีโอโซอิกช่วงตอนบนในบริเวณจังหวัด เชียงใหม่และเชียงราย การเกิดหินดินดานและเชิร์ตที่มีเรดิโอลาเรีย และชั้นหินปูนวางตัวบนหินบะซอลต์บริเวณจังหวัดเชียงใหม่และเชียงราย⁽²⁵⁾ ทำให้ทราบว่าแผ่นนครไทยมีการมุดตัวจากทางทิศตะวันตกไปทิศตะวันออกลงไปได้แผ่นลำปาง-เชียงรายและอินโดจีนมุดตัวในทิศตรงลงไปข้างใต้แผ่นนครไทย

ต่อมาในมหาสมุทรที่ทิศโบราณซึ่งอยู่ระหว่างจุลทวีปฉาน- ไทยกับแผ่นลำปาง-เชียงราย และจุลทวีปอินโดจีนกับแผ่นนครไทยได้หายไปเนื่องจากเกิดการมุดตัว การชนกัน และการยกตัวนี้ อันเป็นผลทำให้เกิดตะเข็บธรณีเชียงใหม่ (Chiang Mai Suture) และตะเข็บธรณีเลย (Loei Suture) ขึ้น จากการหาอายุหินแกรนิตโดยวิธี

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}^{(31)}$ ทำให้สามารถระบุได้ว่ามหาสมุทรที่ทิสโบรานยังคงปรากฏอยู่จนถึงตอนต้นยุคจูแรสซิก และถูกปิดลงอย่างสมบูรณ์ใน ตอนปลายยุคไทรแอสซิก และเกิดเป็นตะเข็บธรณีน่าน- อูตรดิตถ์ (Nan-uttaradit suture) ในช่วงยุคไทรแอสซิกตอนปลาย⁽⁹⁰⁾ แต่อย่างไรก็ตามจากรายงานที่ผ่านมามีพบว่าการเกิดตะเข็บธรณีหรือการปิดของมหาสมุทรที่ทิสโบรานกาลไม่ตรงกัน เช่น บางท่านก็ว่าเกิดในยุคดีโวเนียน-คาร์บอนิเฟอรัส^(53,4) ยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนกลางถึงตอนปลาย⁽¹¹⁷⁾ ยุคเพอร์เมียนตอนกลาง^(57,58) ยุคเพอร์เมียนตอนปลายจนถึงไทรแอสซิกตอนต้น^(110,40,102,56,93) ยุคไทรแอสซิกตอนต้น⁽⁸²⁾ ยุคไทรแอสซิกตอนกลางถึงตอนปลาย^(18,17,50,5,52,29,31,34,90) และยุคครีเตเชียส^(9,107)

• **ขั้นแปรสัณฐานมัชฌิมกาล (Mesotectonic Stage (C ในรูป 2)**

การชนกันหลายครั้งของจุลทวีปในช่วงตอนปลายของยุคไทรแอสซิกทำให้มหาสมุทรที่ทิสโบรานกาลหายไป เพราะหลายแห่งปกคลุมด้วยตะกอนหนาตั้งแต่ยุคไทรแอสซิก (C ในรูป 2) และส่วนที่เป็นทะเลบางส่วนได้ถูกยกตัวขึ้นจนกลายเป็นแผ่นดินในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ในช่วงมีโซโซอิกตอนต้นด้านตะวันตกของจุลทวีปอินโดจีนเกิดการจมตัวลงไปเป็นผลทำให้เกิดผืนหนึ่งค่อย ๆ ยกตัวขึ้นมา

ระหว่างช่วงยุคไทรแอสซิก (Triassic) ถึงยุคจูแรสซิก (Jurassic) จุลทวีปอินโดจีนยังคงมีการสะสมตัวของหินตะกอนและหินคาร์บอนีฟอเนตต่อเนื่องมาจากในช่วงปลายยุคเพอร์เมียนทางด้านตะวันตก (กาญจนบุรี-แม่สะเรียง) และทางใต้ (พังงา-สงขลา) ของจุลทวีปอินโดจีนมีการสะสมตัวของกลุ่มหินแม่เมย (Mae Moei Group)⁽¹³⁾ ซึ่งเป็นการสะสมตัวของตะกอนบริเวณไหล่ทวีปจนถึงทะเลเปิด (เช่น หินดินดานและหินเชิร์ต) ที่ไม่มีตะกอนจากภูเขาไฟเข้ามาเกี่ยวข้อง

ในขณะเดียวกันทางด้านตะวันตกของแผ่นลำปาง- เชียงรายมีการสะสมตัวของตะกอนน้ำตื้นในแอ่งตะกอนหลังแนวโค้ง (back-arc basin) ซึ่งเป็นตะกอนภูเขาไฟและคาร์บอนีฟอเนตของกลุ่มหินลำปาง (Lampang Group)⁽³⁴⁾ ส่วนทางด้านตะวันออกมีการสะสมตัวของตะกอนน้ำลึกของกลุ่มหินแพร์ (Phrae Group)⁽²⁷⁾ และกลุ่มหินตาก (Tak Group)⁽¹⁵⁾ ซึ่งสะสมตัวในแอ่งตะกอนหน้าแนวโค้ง fore-arc basin สำหรับแผ่นนครไทมีการสะสมตัวของหมวดหินน้ำปัด (Nam Pat Formation) ซึ่งประกอบด้วยหินเชิร์ตที่มีเรดิโอไลต์รวมทั้ง หินตะกอนน้ำลึกอื่น ๆ และตะกอน ภูเขาไฟ ในขณะเดียวกันแผ่นนครไทบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทย (จันทบุรีและตราด) มีการสะสมตัวของตะกอนน้ำลึกซึ่งจัดอยู่ในหมวดหินโป่งน้ำร้อน (Pong Nam Ro Formation) ในช่วงตอนกลางถึงตอนปลายยุคไทรแอสซิก สภาพแวดล้อมของการสะสมตัวของตะกอนบนแผ่นนครไทมีการเปลี่ยนจากน้ำลึก (หมวดหินน้ำปัด) ไปเป็นน้ำตื้นและน้ำกร่อยหรือน้ำจืด (หมวดหินน้ำพะและหมวดหินหล่มสัก)⁽¹⁶⁾ ตามลำดับ โดยทั้งสองหมวดหินนี้เกี่ยวข้องกับหินภูเขาไฟคัลแอลคาไลด์ (calc-alkaline) ด้วย โดยทั้งสองหมวดหินนั้นเกิดการสะสมตัวในช่วงตอนกลางถึงตอนปลายยุคไทรแอสซิกซึ่งอาจเป็นผลจากการมุดตัวเนื่องจากการเคลื่อนที่เข้าหากันของแผ่นเปลือกโลก ทางด้านตะวันตกของจุลทวีปอินโดจีนมีการสำรวจโดยใช้คลื่นความ

สันตะเทือน⁽⁸⁸⁾ พบว่ามีการสะสมตัวของตะกอนทะเลสาบประมาณ 1,000 เมตร ซึ่งพบซากดึกดำบรรพ์ของหอย *Euesthesia* sp.⁽⁷⁶⁾ โดยจัดอยู่ในหมวดหินภูพระ (Phu Phra formation) หรือหมวดหินกุนินารายณ์ (Kuchinarai formation)^(102,97) โดยตะกอนเหล่านี้สะสมตัวอยู่ในแอ่งตะกอน half-graben basin ในช่วงตอนปลายยุคไทรแอสซิกซึ่งเชื่อว่าเกิดหลังจากการชนกันระหว่างแผ่นนครไท และแผ่นจูทวี่ปอินโดจีน

หลังจากการชนกันของแผ่นทั้งหลาย ส่วนของทวีปที่ยกตัวขึ้นมาถูกกัดกร่อนและทำให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนจากแผ่นดินเป็นปริมาณมาก จูทวี่ปอินโดจีนอยู่ติดกับแผ่นจีนตอนใต้กลายเป็นศูนย์กลางการสะสมตัวของตะกอน โดยตะกอนส่วนใหญ่ได้มาจากหินอายุก่อนไทรแอสซิก (Pre-Triassic) ของ Mega – Red River (- Aiao) Suture (รวมถึง Song Da & Song Ma Sutures) ในประเทศเวียดนามด้วย⁽¹⁰⁾ ที่ถูกยกตัวขึ้นและเคลื่อน (nappe & thrust) ไปทางทิศตะวันตก นอกจากนี้ตะกอนอีกส่วนหนึ่งได้จากหินแปรในบริเวณตะเข็บธรณีสันที่ถูกยกตัวขึ้น ในเวลาเดียวกันนี้จูทวี่ปอินโดจีนได้รับตะกอนแผ่นดินจากตะเข็บธรณีสันส่วนที่ยกตัวขึ้น ส่วนจูทวี่ปล่าปาง- เชียงรายได้รับตะกอนมาจากบริเวณยกตัวของตะเข็บธรณีสันเชียงใหม่ โดยเฉพาะทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้ของประเทศไทย ส่วนทางใต้ของไทยได้รับตะกอนแผ่นดินจากหินก่อนไทรแอสซิกในบริเวณตะเข็บธรณีสัน เบนตง-รวบ (Bentong-Raub suture) จากข้อมูลทางดามแม่เหล็กบรรพกาลทำให้สามารถระบุได้ว่าจูทวี่ปต่าง ๆ ที่เชื่อมกันอยู่บริเวณ 30 องศาในซีกโลกเหนือ แต่ยังคงหมุนตามเข็มนาฬิกาอย่างช้า ๆ (ดูรูป 3 และ 4)

ต่อมาจึงเกิดการแทรกคั่นของหินอัคนีทั่วทั้งประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามแนวตะเข็บธรณีสันที่กล่าวข้างต้น โดยเกิดหินอัคนีเป็นผลมาจากการมุดตัวของแผ่นมหาสมุทรทำให้เกิดแกรนิตอัคนีทำให้เกิดแหล่งแร่ขนาดเล็ก ๆ ในยุคจูแรสซิกและครีเตเชียส (Cretaceous) และบางแห่งเกิดการหลอมละลายบางส่วนจากหินตะกอนจนเกิดหินแกรนิตตะกอน ที่ให้แหล่งแร่ดีบุก- ทังสแตน-และแร่หายากขนาดใหญ่ไม่น้อยมากมายในจูทวี่ปฉาน-ไทยโดยเฉพาะทางทิศใต้ของประเทศ

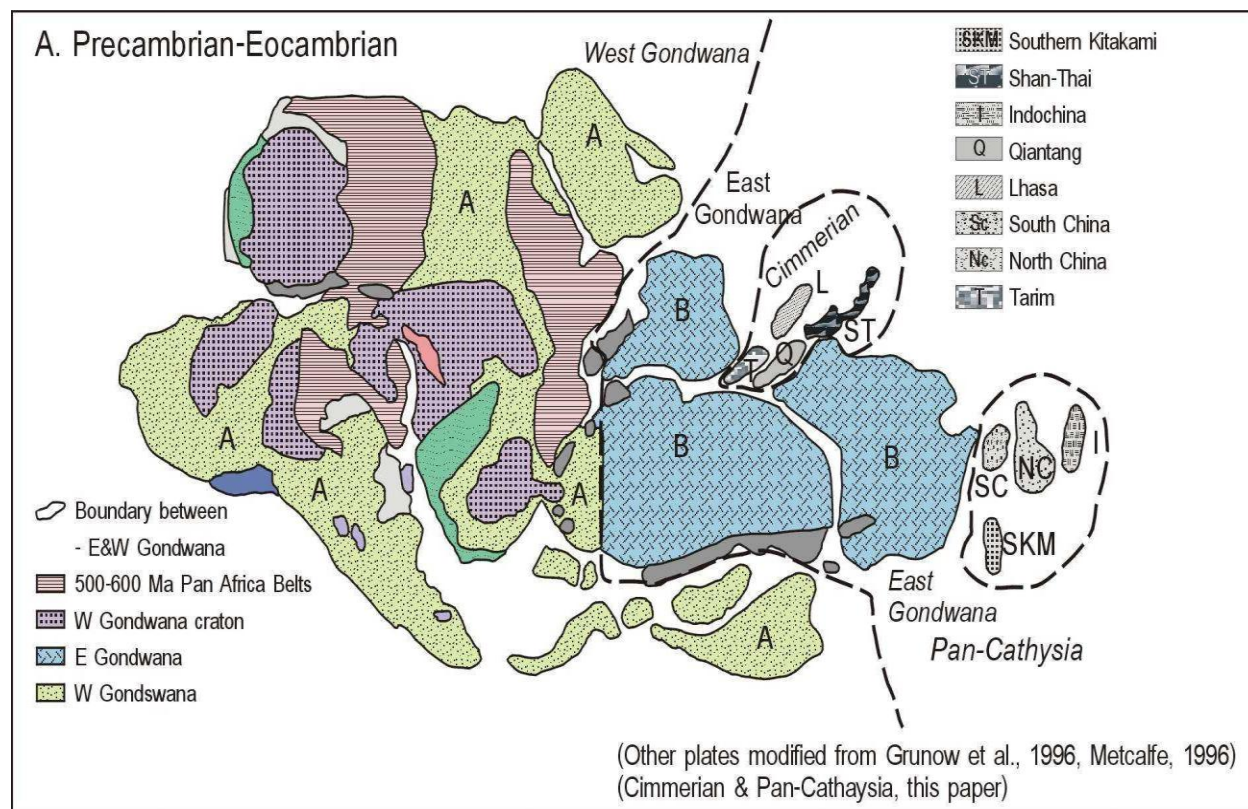
ทางด้านตะวันออกของประเทศไทยมีการสะสมตัวของตะกอนแผ่นดินสีแดง (molasse) โดยเรียกว่า Khorat Super Group ซึ่งเป็นตะกอนบกอันเป็นผลจากการสะสมตัวโดยการกระทำแม่น้ำซึ่งแบ่งย่อยได้เป็น 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มหินโคราชส่วนล่าง (Lower Khorat Group), กลุ่มหินโคราชส่วนกลาง (Middle Khorat Group) และ กลุ่มหินโคราชส่วนบน (Upper Khorat Group) หินในกลุ่มหินโคราชส่วนล่างประกอบด้วยหมวดหินน้ำพอง (Nam Phong Formation) ซึ่งสะสมตัวในยุคจูแรสซิก โดยมากประกอบไปด้วยหินทราย รอยเป่งสีแดงและหินทรายหนาประมาณ 1,500 เมตร และปิดท้ายด้วยชั้นหินทรายสีชมพูถึงแดงสลับกับหินดินดาน และอาจพบหินกรวด , เศษไม้และหินปูนที่สะสมตัวในทะเลสาบด้วย หินในกลุ่มหินโคราชส่วนกลางมีการสะสมตัวระหว่างยุคจูแรสซิกถึงยุคครีเตเชียส และประกอบด้วยหมวดหินพระวิหาร (Phra Wihan Formation) ซึ่งเป็นหินทรายสีขาวถึงชมพู มีการคั่นขนาดดีเป็นส่วนบนของขอบตึกผาโคราช (Khorat plateau escarpment) และเขายอดราบ (mesa-

top) บนที่ราบสูงโคราช มีความหนาประมาณ 250 เมตร นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยหมวดหินเสาขัว (Sao Khua Formation) ซึ่งเป็นชั้นหินทรายสีแดงสลับกับหินดินดาน และมีการค้นพบซากไดโนเสาร์ในส่วนบนของหมวดหินความหนาเฉลี่ยประมาณ 500 เมตร ส่วนหินกลุ่มโคราชส่วนบนประกอบไปด้วย หมวดหินภูพาน (Phu Phan Formation) ซึ่งเป็นหินทรายที่มีการคัดขนาดดีสีขาวถึงชมพูและหินทรายปนกรวด หนาประมาณ 500 เมตร และปิดทับด้วยหมวดหินโคกกรวด (Khon Kruat Formation) และหมวดหินภูทอก (Phu Thok Formation) ซึ่งเป็นชั้นหินทรายแป้งสีแดงและหินทรายสีขาวและแดง ที่เกิดทั้งจากน้ำและลม หนาประมาณ 700 เมตร ส่วนที่อายุน้อยที่สุดหรืออย่างน้อยก็ใกล้เคียงกับหมวดหินภูทอกมากที่สุดได้แก่ หมวดหิน มหาสารคาม (Mahasarakham Formation) ที่สะสมในสภาพแวดล้อมแบบทะเลทรายจนถึงบริเวณลาดแห้งแล้งติดทะเล (subkha) ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นของหินเกลือระเหย (evaporate) และเกลือโปแตชที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ โดยแทรกสลับด้วยหินตะกอนสีแดง

จากการศึกษาทางด้านแม่เหล็กบรรพกาล ทำให้สามารถสรุปได้ว่าแผ่นดินในช่วงตอนกลางถึงตอนปลายยุคครีเตเชียสอยู่บริเวณ 20° ในซีกโลกเหนือ⁽⁶⁴⁾ และทวีปพม่าตะวันตก (Western Burma) อยู่ใกล้กับจุดทวีปฉาน-ไทยมาก ซึ่งแผ่นเปลือกสมุทรของจุดทวีปฉาน-ไทยอาจเกิดการมุดตัวลงไป ทำให้เกิดการแทรกดันของหินแกรนิตทั้งชนิด I อัครีและตะกอน และเกิดแหล่งแร่มากมายในช่วงตอนปลายของยุคครีเตเชียสจนถึงต้นยุคเทอร์เชียรี⁽⁷²⁾ จุดทวีปทั้งสองนี้ได้เข้ามาเชื่อมติดกัน^(29,85) ทำให้เกิดเป็นแนวตะเข็บธรณีตามแนวรอยเลื่อนสะเกียง (Sagaing Fault suture) ซึ่งวางตัวอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ และทำให้มหาสมุทรที่ที่สมัชฌิมกาลหายไป ดังนั้นชั้นแปรสัณฐานมัชฌิมกาลจบลงด้วยการเกิดตะเข็บธรณี (suture) ของทวีปพม่าตะวันตกและการหยุดสะสมตัวของหินเกลือระเหย

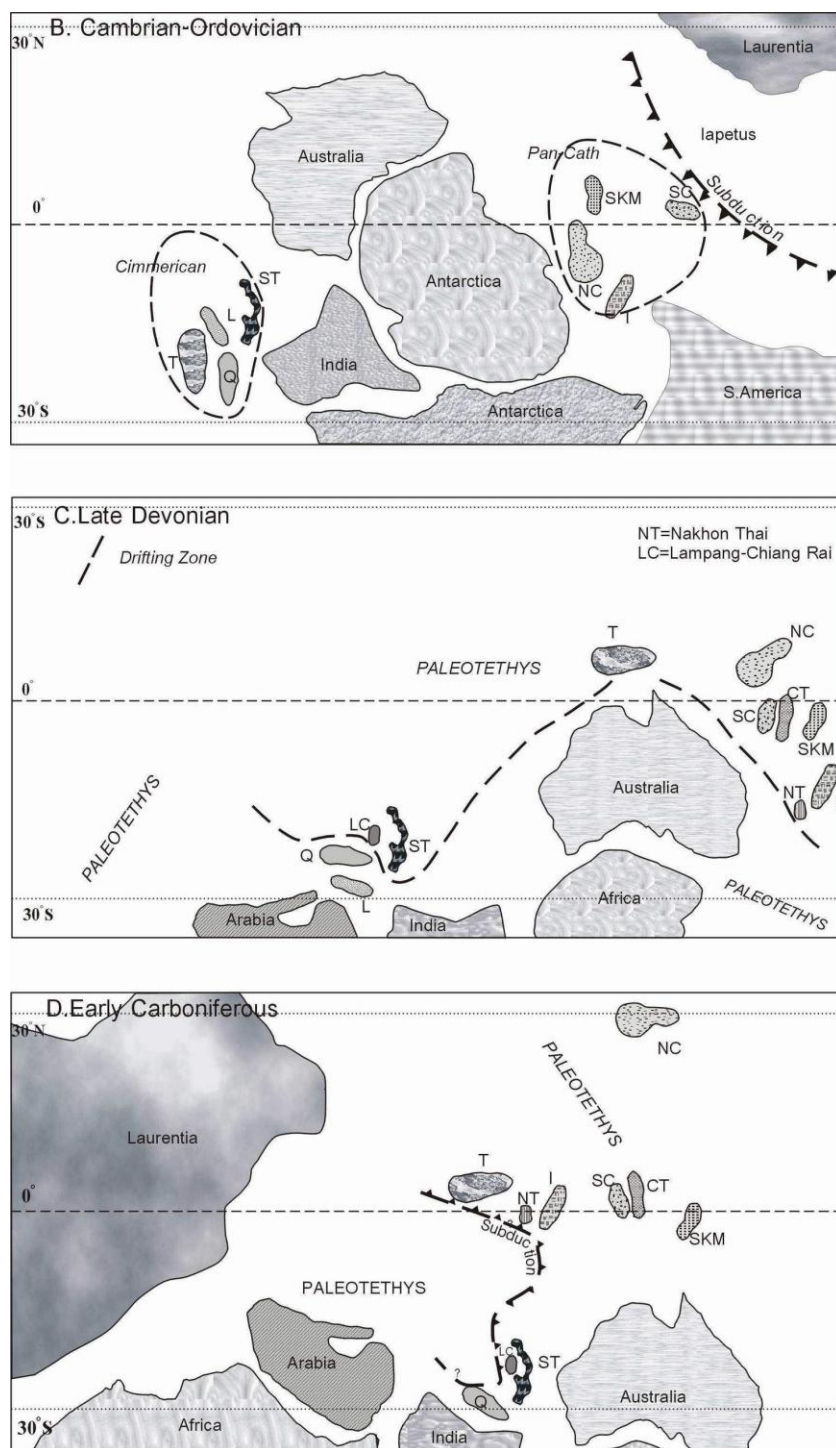
• **ขั้นแปรสัณฐานนวกาล (Neotectonic Stage (D) ในรูป 2)**

จุดทวีปที่เชื่อมติดกันเป็นแผ่นดินของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ได้เริ่มเปลี่ยนตำแหน่งประมาณตอนกลางสมัยอีโอซีน (Eocene) เมื่อทวีปอินเดียมุดตัวลงไปใต้ทวีปเอเชียทางทิศเหนือหรือตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งทำให้มหาสมุทรที่ที่สนวกาล (Neotethys) หายไป เนื่องจากการเปลี่ยนทิศการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกจากทางทิศตะวันออกเฉียง-ตะวันตกในขั้นแปรสัณฐานมัชฌิมกาล (Mesotectonic) ไปเป็นทิศเหนือ-ใต้ ในขั้นแปรสัณฐานนวกาลนี้ การเคลื่อนที่เข้าชนของทวีปอินเดียไม่ได้เป็นการหยุดการกระตุ้นการเคลื่อนที่ของแนวรอยเลื่อน^(30,31) แต่เป็นการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศตรงกันข้ามกัน (รูป 5) นั่นคือ แนวรอยเลื่อนแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้เกิดการเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา ส่วนแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้เคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา



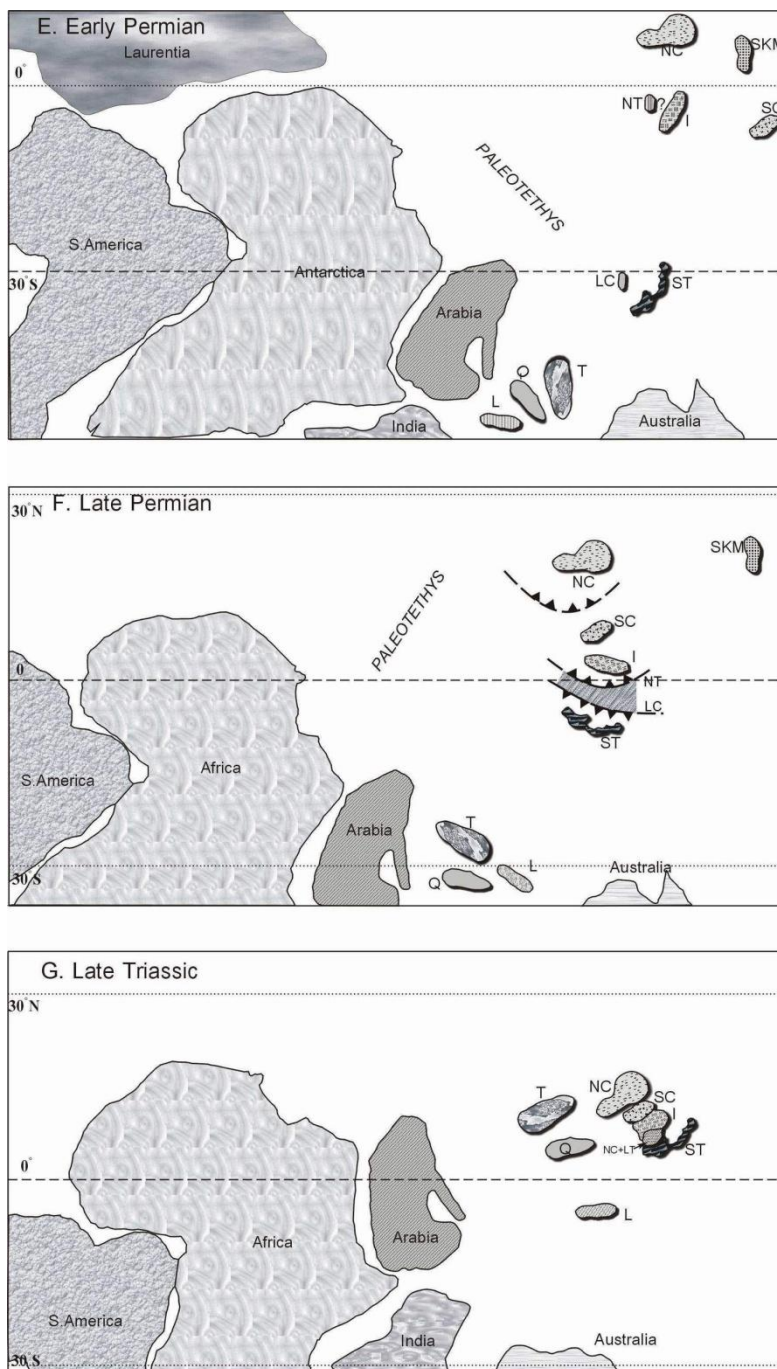
รูปที่ 4 การกระจายตัวทางภูมิศาสตร์บรรพกาลของแผ่นทวีปจาน-ไทย อินโดจีน ลำปาง-เชียงราย และนครไทย เมื่อเทียบกับแผ่นมหาทวีปต่าง ๆ ตั้งแต่ A. 프리แคมเบียน-อีโอแคมเบียน B. ยุคแคมเบียน-ออร์โดวิเซียน C. ปลายยุคดิโวเนียน D. ต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัส E. ต้นยุคเพอร์เมียน F. ปลายยุคเพอร์เมียน G. ปลายยุคไตรแอสซิก H. ปลายยุคจูแรสซิก I. ต้นยุคครีเทเชียส J. ต้นยุคเทอร์เชียรี

วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย : การประมวลและการวิเคราะห์แนวโน้ม



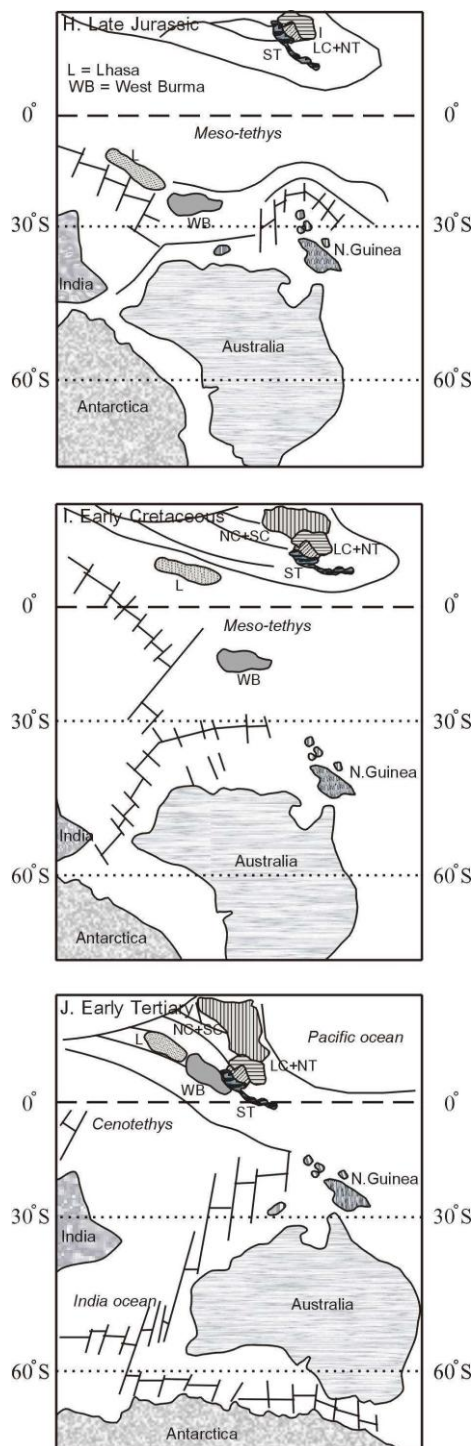
รูปที่ 4.1

วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย : การประมวลและการวิเคราะห์แนวโน้ม

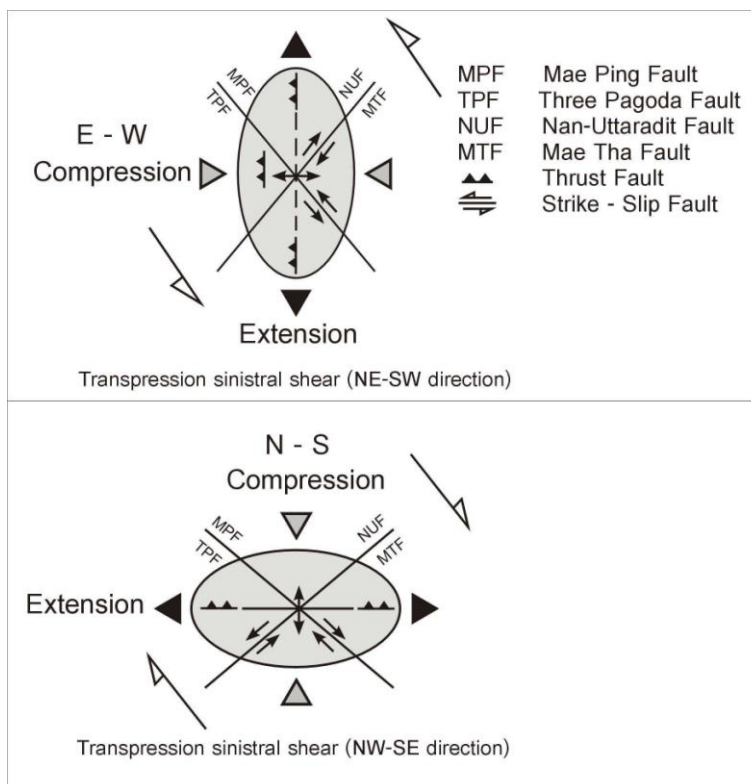


รูปที่ 4.2

วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย : การประมวลและการวิเคราะห์แนวใหม่



รูปที่ 4.3



รูปที่ 5 วงรีความเครียด (Strain ellipsoid) แสดงทิศทางของแรงดึงและแรงอัดในทิศต่าง ๆ รวมทั้งทิศทางของแรงเฉือน ซึ่งก่อให้เกิดการวางตัวของรอยเลื่อนหลัก
(รูปบน) เหตุการณ์ชนกันระหว่างแผ่นมหาทวีปอินเดียกับเอเชีย เมื่อก่อน 40 ล้านปีมาแล้ว
(รูปล่าง) เหตุการณ์ชนกันระหว่างแผ่นมหาทวีปอินเดียกับเอเชีย เมื่อหลัง 40 ล้านปีมาแล้ว

การหมุนของแผ่นจีนตอนใต้แบบทวนเข็มนาฬิกา และการเกิดการแทรกดันของหินอัคนีบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ระหว่างแนวรอยเลื่อนแม่น้ำแดง (Red-River Fault) แนวรอยเลื่อนแม่ปิง (Mae Ping Fault) และแนวรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ (Three Pagodas Fault) เชื่อว่าทำให้เริ่มเกิดแอ่งตะกอนชนิดถูกดึง (pull-apart basin) เนื่องจากแรงดึงซึ่งเกิดในบริเวณภาคใต้ก่อนภาคเหนือ

เพื่อเป็นการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก จึงเกิดการแทรกดันของหินอัคนีบาดาลตั้งแต่กลางสมัยอีโอซีน ซึ่งประกอบด้วยหินแกรนิตและเพกมาไทต์ ซึ่งให้แหล่งแร่มากมายจำพวก ดีบุก-ทังสแตน-ลิเทียม-แทนทาลัม-นีโอเบียม-โพแทสเซียม หรือทังสแตน-แมงกานีส-แอนติโมนี-ทอง-โซเดียม ซึ่งอยู่บริเวณแนวรอยเลื่อนยูคเตอร์เซียรี⁽³¹⁾ และเกิดการยกตัวเป็นบริเวณกว้าง ในช่วง 40-35 ล้านปี ประมาณในช่วงปลายสมัยอีโอซีน โดยระบุจากการหาอายุโดยวิธี fission track^(98,99) และวิธี $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ^(29,31) ยิ่งกว่านั้นการเกิดที่ราบสูงโคราชพร้อมกับแนวการยกตัวภูพาน (Phu Phan Uplift)⁽⁸⁷⁾ ก็เกิดในช่วงเวลานี้เช่นกัน

เพื่อเป็นการตอบสนองต่อการยกตัว จึงเกิดการยุบตัวลงไปในส่วนอื่น ๆ ซึ่งทำให้เกิดอ่าวไทย, ที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา, ทะเลอันดามัน และทะเลจีนใต้⁽³⁷⁾ นอกจากนี้การเกิดการสะสมตัวของหินยุคเทอร์เชียรีที่มีอายุมากที่สุดในแอ่งกระบี่ (Krabi Basin) บริเวณใกล้แนวชายฝั่ง⁽⁴⁷⁾ แอ่งมาเลย์อายุโอลิโกซีนตอนล่าง และชั้นหินอายุโอลิโกซีนตอนบนบริเวณภาคเหนือ⁽⁷⁵⁾ และลาว⁽¹¹⁴⁾ จึงกล่าวได้ว่าเกิดแรงดึงออก (extension) บริเวณทางใต้ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ก่อนทางเหนือ และมีแนวรอยเลื่อนในแนวเหนือ-ใต้ซึ่งอาจเกิดในช่วงโอลิโกซีนถึงไมโอซีน การดันตัว (extrusion tectonics) ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ไปในทิศตะวันออกเฉียงใต้จนทำให้เกิดการรูก้ำของน้ำทะเลเหล่านี้ล้วนเป็นผลมาจากแรงดึงในแนวตะวันออก-ตะวันตกและทำให้เกิดอ่าวไทยเปิดแรงดึงนี้เกี่ยวข้องกับความร้อนพวยพุ่งจากชั้นเนื้อโลก (mantle-plume) ที่ก่อให้เกิดการแยกตัวออกของแผ่นเปลือกโลก (crustal rifting)

ในช่วงปลายสมัยโอลิโกซีน (Oligocene) มีการสะสมตัวของตะกอนแม่น้ำและทะเลสาบในอ่าวไทย^(94,95,74) บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา^(86,91) และทางตอนเหนือของประเทศไทย⁽²⁶⁾ อีกทั้งมีการสะสมตัวของตะกอนปากแม่น้ำและชายฝั่งในทะเลอันดามัน⁽⁸⁹⁾ การสะสมตัวของตะกอนที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นการสะสมตัวในแอ่งยุบปากเดียว (half-graben) ที่วางตัวในทิศเหนือ-ใต้และวางตัวอย่างไม่ต่อเนื่องบนหินตะกอนอายุตอนต้นถึงตอนกลางสมัยไมโอซีน (Miocene) สำหรับในช่วงกลางสมัยไมโอซีนเกิดรอยเลื่อนเหลื่อมขวาง (transcurrent fault) ในทะเลอันดามันและเป็นผลทำให้เกิดการยกตัวเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งพบเป็นแนวความไม่ต่อเนื่องอายุตอนกลางของปลายสมัยไมโอซีน (Mid-Miocene Unconformity หรือที่เรียก MMU) ในช่วงเวลาหลังจากปลายสมัยไมโอซีน แอ่งสะสมตะกอนส่วนใหญ่เกิดการจมตัวลงและได้ รับตะกอนจากทะเลมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอ่าวไทย ในเวลาถัดมาตะกอนยุคเทอร์เชียรีทั้งหมดในอ่าวไทยถูกปิดทับด้วยตะกอนทะเลอายุปลายสมัยไมโอซีนจนถึงตะกอนยุคปัจจุบันของกลุ่มหินเจ้าพระยา⁽⁹⁷⁾

การสะสมตัวของตะกอนในทะเลอันดามันในสมัยไมโอซีนอาจพบการสะสมตัวของปิโตรเลียมได้ ชั้นหินที่พบเป็นชั้นหินตะกอนทะเลและหินคาร์บอนेटชั้นหนาทางตอนล่าง และประกอบด้วยหินดินดานทะเลลึกเป็นส่วนปิดกั้นทางตอนกลางและทางตอนบนของลำดับหิน บริเวณทางภาคเหนือของประเทศไทย ซึ่งหลายบริเวณเกิดการยกตัวเหนือระดับน้ำทะเลมีการสะสมตัวของตะกอนน้ำจืดและตะกอนแผ่นดินในแอ่งสะสมตะกอนที่ถูกล้อมรอบด้วยแนวรอยเลื่อน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นตะกอนทะเลสาบและตะกอนในที่ลุ่มน้ำขัง (swamp)⁽⁴⁸⁾ และพบร่วมกับ Limnic facies ซึ่งประกอบไปด้วยหินน้ำมัน, ดินเบาและหินปูนน้ำจืด

การเกิดสันเกาะกระ (Ko Kra ridge) ทางตะวันออกเฉียงเหนือของอ่าวไทย แสดงให้เห็นถึงการเกิดการแทรกดันตัวขึ้นมาเป็นสัน โดยหินอัคนีและหินบะซอลต์ได้ขยายไปทางเหนือตามแนวระหว่างที่ราบเจ้าพระยาและขอบทางตะวันตกของที่ราบสูงโคราช หินอัคนีและหินบะซอลต์เหล่านี้ได้ถูกนำไปหาอายุด้วยวิธี $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ได้ช่วงอายุ 9-24 ล้านปี (ไมโอซีนตอนต้นถึงตอนปลาย)⁽³⁴⁾ และคาดว่าเป็นผลมาจากการเกิดการแยกตัวของทวีป

และบางส่วนมีความสัมพันธ์กับอัญมณีด้วย⁽¹⁰⁹⁾ ซึ่งสามารถพบได้เช่นเดียวกันในประเทศเวียดนามและกัมพูชา ในช่วงสุดท้ายของขั้นแปรสัณฐานนวกาล หรือประมาณปลายสมัยไพลโอซีน จนถึงกลางสมัยไพลสโตซีน มีการเกิดหินบะซอลต์ที่ได้จากเนื้อโลกและให้อัญมณี (1-2 บ้านปี)(33) ซึ่งเชื่อว่าการแทรกดันตัวของหินบะซอลต์นี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอายุหินซึ่งทำให้ได้หินอายุน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ทั้งนี้ไม่เฉพาะอายุของหินแปร ซับซ้อนยุคพรีแคมเบรียน (Precambrian Metamorphic Complex)^(70,55) เท่านั้น แต่ยังส่งผลกระทบต่อหินที่วางตัวปิดทับอยู่ด้วย⁽²⁾

ในช่วง 0.7 ล้านปีก่อนปัจจุบัน ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยได้รับการกระแทกจากอุลคมณี (tektite)⁽²²⁾ ซึ่งสอดคล้องกับการกลับทิศของขั้วแม่เหล็กโลก และอาจจะเกิดในช่วงเวลาเดียวกับการเกิดการยกตัวและผุกร่อนจนเกิดเป็นลานแร่ดิบบุก ทอง และอัญมณีได้

กิจกรรมการแปรสัณฐานนวกกรรมยังคงปรากฏอยู่ในปัจจุบัน โดยอาศัยหลักฐานจากน้ำพุร้อน บริเวณที่มีการไหลของความร้อนสูง หรือแผ่นดินไหวในปัจจุบัน

การอธิบายประวัติทางธรณีวิทยาของการแตก การเคลื่อนที่ และการชนกันของแผ่นเปลือกโลกในประเทศไทยและภูมิภาคนี้ต้องการข้อมูลอายุที่แน่นอนของการเกิดของตะเข็บธรณีในบริเวณนี้ ถึงแม้ว่าจะมีข้อมูลทางธรณีกาลของมวลหินอัคนีที่เกิดขณะชนและหลังชนกันของแผ่นทวีปจาก Charusiri และคณะ, Putthapiban, Dawson and Swainbank^(31,99,42) แต่ยังขาดข้อมูลอายุอื่น ๆ ที่สำคัญต่อการแปรความหมายธรณีแปรสัณฐาน ซึ่งประกอบด้วย อายุการถูกดันตัวขึ้นมาของลำดับชั้นโอไฟโอไลต์และอายุของแนวภูเขาไฟรูปโค้ง นอกจากนี้ยังต้องการข้อมูลอีกหลายด้าน ได้แก่ การบรรจบกันของการเคลื่อนที่ของขั้วโลก วงโคจรของการเคลื่อนที่ของขั้วโลก การลำดับชั้นหินตะกอนวิทยา และธรณีวิทยาโครงสร้าง อย่างไรก็ตามเราได้แสดงลักษณะที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของแผ่นเปลือกโลกลักษณะและสภาพทางภูมิศาสตร์บรรพกาลของแผ่นฉาน-ไทยที่สำคัญของไทยโดยอาศัยข้อมูลทางสนามแม่เหล็กบรรพกาลไว้ในรูปที่ 3

บทสรุป

วิวัฒนาการธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทย สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้น ได้แก่ ขั้นแปรสัณฐานบรรพกาล, ขั้นแปรสัณฐานโบราณกาล, ขั้นแปรสัณฐานมัชฌิมกาล และขั้นแปรสัณฐานนวกาล จนทำให้ประเทศไทยประกอบด้วยแผ่นธรณีแปรสัณฐาน 4 แผ่น ได้แก่ จุลทวีปฉาน-ไทย ลำปาง-เชียงราย นครไท และอินโดจีน มีตำแหน่งที่ตั้งในอดีตไม่ได้อยู่ ณ ตำแหน่งปัจจุบันที่ปรากฏ และทั้งหมดอาจมาจากมหาทวีปกอนด์วานา

ในขั้นแปรสัณฐานบรรพกาลระหว่างช่วงมหายุคพรีแคมเบรียนถึงมหายุคพาเลโอโซอิกตอนต้น จุลทวีปทั้งสี่มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับซีกตะวันตกเฉียงเหนือของทวีปออสเตรเลีย ในขณะที่จุลทวีปอินโดจีนอา

อยู่ติดกับแผ่นจีนตอนใต้ แผ่นจีนตอนเหนือ แผ่นคิตากามิและคุโรชิกาวา อาจมีตำแหน่งที่ตั้ง ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งซึ่งใกล้กับทางคั่นเหนือ หรือตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปออสเตรเลีย ในช่วงต้นของตอนกลางมหายุคพาเลโอโซอิกเกิดการแตกของจุลทวีปฉาน- ไทยและอินโดจีน ซึ่งทำให้เกิดการเปิดออกของมหาสมุทรที่ทิศโบราณกาลและเกิดแผ่นลำปาง- เชียงรายและนครไท่ซิ่น ซึ่งเป็นผลอันหนึ่งของการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกที่มีความสัมพันธ์กับการเกิดภูเขาไฟ และเป็นเครื่องหมายที่แสดงถึงขั้นแปรสัณฐานโบราณ

ในช่วงสุดท้ายของมหายุคพาเลโอโซอิกถึงช่วงต้นของมหา ยุคมีโซโซอิก แผ่นธรณีแปรสัณฐานทั้งหมดได้เคลื่อนไปทางเหนือ ซึ่งเป็นอีกทาง คานหนึ่งของเส้นศูนย์สูตรบรรพการ และเกิดการชนซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดการปิดและสิ้นสุดลงของมหาสมุทรที่ทิศโบราณกาลและหยุดการเคลื่อนที่ไปทางเหนือ แต่มีการหมุนของแผ่นธรณีแปรสัณฐานตามเข็มนาฬิกา และเริ่มมีการเปิดออกของมหาสมุทรที่ทิศตะวันตกของทางคั่นตะวันตกสุดของประเทศไทย และเกิดแนวหินแกรนิตอัคินี และประเภทแกรนิตตะกอนซึ่งมีปริมาณอะลูมิเนียมสูงที่ให้แหล่งแร่มากร่วมกับหินเหล่านี้ปกคลุมเป็นบริเวณกว้างของประเทศ การชนกันของแผ่นธรณีแปรสัณฐานครั้งนี้เป็นเหตุที่ทำให้เกิดระบบรอยเลื่อนหลักในแนวตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงเหนือในประเทศไทย ด้วยการโผล่ของทวีปเป็นบริเวณกว้าง การยกตัวและการสึกกร่อนอย่างรุนแรงนี้เอง อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสะสมตัวของตะกอนแผ่นดินสีแดงในช่วงสุดท้ายของมหายุคมีโซโซอิกโดยเฉพาะในจุลทวีปอินโดจีน นครไท่ และลำปาง- เชียงราย อย่างไรก็ตามทางคั่นตะวันตกของฉาน- ไทยยังคงท่วมด้วยน้ำทะเลจากมหาสมุทรที่ทิศตะวันตกจนกระทั่งช่วงสุดท้ายของมหายุคมีโซโซอิก

การชนกันของแผ่นธรณีแปรสัณฐานพม่าตะวันตกกับฉาน- ไทยประมาณปลายยุคครีเตเชียสถึงต้นยุคเทอร์เชียรีเป็นเหตุทำให้เกิดหินแกรนิตชนิดอัคินีและตะกอนรวมถึงการเกิดแหล่งแร่ร่วมอยู่ด้วย และเกิดการปิดลงของมหาสมุทรที่ทิศตะวันตก ปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้เป็นเครื่องหมายที่แสดงถึงการสิ้นสุดลงของขั้นแปรสัณฐานมหัศจรรย์ ถึงแม้ว่าในเวลาต่อมาเกิดการเกิดของมหาสมุทรที่ทิศตะวันตกขึ้น แต่ ก็ไม่มีสิ่งใดที่เกี่ยวข้องกับธรณีวิทยาในประเทศไทยมากเท่าใดนัก

อย่างไรก็ตาม การชนกันของทวีปอินเดียและเอเชีย ทำให้เกิดการขาดหายไปของมหาสมุทรที่ทิศตะวันตกโดยเกิดการแปรสัณฐานทวีปเลื่อนดัน (continental extrusion tectonics) อันเป็นเครื่องหมายที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงรูปแบบธรณีวิทยาแปรสัณฐานของประเทศไทย และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

หลังจากนั้นจึงเกิดการเคลื่อนที่ของรอยเลื่อนอีกครั้งหนึ่งโดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ที่ตรงกันข้ามกับที่เคยเกิดการเคลื่อนมาแล้ว (รูป 5) การแตกออกจากกันของทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการพัฒนของแอ่งตะกอนแยกตัว (pull-apart basin) ทางตอนเหนือของประเทศไทย การเปิดออกของอ่าวไทยทะเลจีนใต้ และทะเลอันดามัน จุดสำคัญที่สุดของขั้นแปรสัณฐานนวกาลแสดงให้เห็นการเกิดหินบะซอลต์ที่ให้

พลอยซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากเนื้อโลก แต่สิ่งที่แสดงให้เห็น ว่าปัจจุบันยังคงอยู่ในชั้นของแปรสัณฐานนวกาล ได้แก่ การเกิดน้ำพุร้อน บริเวณที่มีการไหลเวียนของหย่อมความร้อนสูง และการเกิดแผ่นดินไหว

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้เสร็จสิ้นลงได้ด้วยความช่วยเหลือทางด้านวิชาการจาก ศาสตราจารย์ A. H. Clark และ D. Archibald แห่งมหาวิทยาลัยควีนส์ (ประเทศแคนาดา) และขอขอบคุณ ดร.สังัด พันธุ์โอภาส (กรมทรัพยากรธรณี) ในการอ่านและวิจารณ์ฉบับ การศึกษาวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สกว. , สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติและกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนึ่ง คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ วิทยา ละมุล, อารีพล จารุศิริ และสมจิตร ห้อยเหม ที่ช่วยเหลือในการพิมพ์ต้นฉบับและสุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ บุญศิริ จารุศิริ, สนิษดา ศรีสวาท และวนิดา มีชำนาญ ที่ช่วยให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นด้วยดีในที่สุด

เอกสารอ้างอิง

1. Ahrendt, H., Chonglakmani, C., Hansen, B. T. and Helmke, D. 1993. Geochronological cross section through northern Thailand. *Journal of southeast Asian Earth Sciences*, 8: 207-217.
2. Ahrendt, H., Bent H. and Wemmer, K. 1994. Tertiary nappe and thrust tectonics in Western Thailand deduced from U/Pb, Rb/Sr and K/Ar age determination. In: *Proceedings of the AAPG 1994 International Conference and Exhibition, Southeast Asian basins: oil and gas for the 21st Century*, Kuala Lumpur, official program, abstract, 31.
3. Akerman, 1986. *The geology of the Lower Paleozoic Tarutao Formation*. Unpublished B.Sc. Hon. Thesis, University of Tasmania, Australia.
4. Alterman, w. 1991. *New Permo-Carboniferous geochemical data from central Thailand implication for volcanic arc model*. Verlag for Wissenschaft and Bildung.
5. Asnachinda, P. 1978. Tin mineralization in the Burmese-Malayan Peninsula-a plate tectonic. In: Nutalaya, P. (editor), *Proceedings of the Third Regional conference on Geology and Mineral Resources of Southeast Asia*, Bangkok, Thailand, 193-199.
6. Assavapatchara, S., Charusiri, P. and Khantaprab, C. 1997. The Permian carbonate rocks in Thailand. In: Dheeradilok, P. et al. (eds.) *Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of SE Asia and the South Pacific*, Department of Mineral Resources, Bangkok, (19-24 August 1997). (abstract), 139.

7. Atchison, J. C. 1993. Allochthonous Silurian volcanoclastic rocks of the Kurosegawa terrane; Long dispersed early Gondwana fragments. In: *The third International symposium of IGCP 321 Gondwana dispersion and Asian accretion*. Abstracts of Papers, 15-17.
8. Audley-Charles, M.G. 1983. Reconstruction of eastern Gondwana. *Nature*, 3.6: 48-50.
9. Audley-Charles, M.G. 1988. Evolution of the southern margin of Tethys (north Australian region) from early Permian to late Cretaceous. In: Audley-Charles, M.G. and Hallam, M.G. (eds), *Gondwana and Tethys, Geological society, Special Publication number, 37*: 79-100.
10. Bach, L.D. and Ngo. G.T. 1995. Phanerozoic ophiolites in Vietnam In: *Proceedings of the IGCP symposium on Geology of SE Asia*, Hanoi, Vietnam, 212-221.
11. Barr, S. M. and Macdonald, A. S. 1987. Nan River suture zone, northern Thailand *geology*, 15: 907-910.
12. Beckinsale, R. D., Suensilpong, S. Nakhapadungrat, S. and Walsh, J. N. 1979. Geochronology and geochemistry of granite magmatism in Thailand in relation to a plate tectonic model. *Journal of the Geological Society of London*, 136: 529-540.
13. Braun, von E. and Jordan, R. 1976. The stratigraphy and paleontology of the Mesozoic sequence in the Mae Sot area in Western Thailand. *Geologische Jahrbuch*, Hannover, Beiheft, 21: 5-51.
14. Buam, F., Von Braun, E., Hahn, L., Hess, A., Koch, K. E., Kruse, G., Quarch, H. and Siebenhuner, M. 1970. On the Geology of northern Thailand. *Geologische Jahrbuch*, Hannover, Beiheft, 102: 23.
15. Bunopas, S. 1976. On the stratigraphic successions in Thailand-a preliminary summary. *Journal of the Geological Society of Thailand*, 2(1-2): 31-53.
16. Bunopas, S., 1981. *Paleogeographic history of western Thailand and adjacent parts of South-East Asia. A plate tectonics interpretation*. Ph.D. Thesis, Victoria University of Wellington, New Zealand.
17. Bunopas, S. 1982. *Paleogeographic history of Western Thailand and adjacent Southeast Asia-a plate tectonics interpretation*. Geological Survey paper, 5, Department of Mineral Resources, Thailand.
18. Bunopas, S. 1983. Palaeozoic succession in Thailand. In: Nutalaya, P. (editor), *Proceedings of the Workshop on stratigraphic correlation of Thailand and Malaysia*, Haad Yai, Thailand, (8-10 September 1983), Technical Paper, 1: 39-76.
19. Bunopas, S. and Vella, P. 1983. Tectonic and geologic evolution of Thailand. In: Nutalaya, P. (editor), *Proceedings of the Workshop on Stratigraphic correlation of Thailand and Malaysia, Haad Yai, Thailand*, (8-10 September 1983), Technical Paper, 1: 307-323.

20. Bunopas, S. 1991. The pre-late Triassic collision and stratigraphic belts of Shan-Thai and Indochina microcontinents in Thailand. *Proceedings of the First International Symp. Of the IGCP Project 321. Gondwana: Dispersal and Accretion of Asia*, Kunming, China, (25-30 November 1991), 18.
21. Bunopas, S. 1992. Regional stratigraphic correlation in Thailand. In: Piancharoen, C. (editor-in-chief), *Proceedings of the National Conference on Geology and Mineral Resources of Thailand: Potential for future Development*, department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand, (17-24 November, 1992), 2: 2-24.
22. Bunopas, S., Khositantont, S., Wasson, J.T., Vella, P., Hada, S. and burrett, C. 1997. The Early quaternary geologic global disaster and the last mass extinction in the Australian tektites field in NE Thailand and Indochina. In *Proceedings of the International Conference on stratigraphy and Tectonic Evolution of SE Asia and the South Pacific (GEOTHAI)* (extended abstract), 2.
23. Burrett, C.F. and Stait, B.A. 1985. Southeast Asia as apart of an Ordovician Gondwanaland – a palaeobiogeographic test of the tectonic hypothesis. *Earth Planet. Sci. Letters*, 75: 184-190.
24. Burrett, C. 1990. Early-Middle Palaeozoic biogeography of Asian terranes derived from Gondwanaland. In: W. S. and Scotese, C. R., (eds.), *Palaeozoic Palaeogeography and Biogeography*, Geological Society Memoir, 12: 163-174.
25. Caridroit, M. 1993. *Permian radiolarian from NW Thailand*. In: Thanasuthipitak, T. (ed.) *Proceedings of the International Symposium on Biostratigraphy of Mainland SE Asia : Facies and Paleontology (GIOSEA)*, Chiang Mai University, Chang Mai (31 Jan – 5 Feb, 1993), 1: 83-96.
26. Chaodumrong, P., Ukakimapan, Y., Snansieng, S., Janmaha, S., Pradidtan S. and Sae- Leow, N. 1983. A review of the Tertiary sedimentary rocks of Thailand. In: *Proceedings of the Workshop on Stratigraphic Correlation of Thailand and Malaysia*, Geological Society of Thailand, Haad Yai, Thailand, (8-10 September, 1983), 159-187.
27. Chaodumrong, P. and Rao, P. 1992. Depositional Environments of Triassic carbonates, Lumpang Group, Central North Thailand. In: *Proceedings of the National Conference on Geologic resources of Thailand: Potential for Future Development*, Department of Mineral Resources, Bangkok, 355-367.
28. Charusiri, P. 1980. *Igneous complexes and tin Mineralization in Phuket Island, with Special Reference to Chao Fa and Tor Soong Mines*. An unpublished M.Sc. Thesis, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand.

29. Charusiri, P. 1989. *Lithophile Metallogenic Epochs of Thailand: A Geological and Geochronological Investigation*. An unpublished Ph.D. thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada.
30. Charusiri, P., Pongsapitch, W., Daorerk, V. and Charusiri, B. 1992. Anatomy of Chanthaburi granitoids: Geochronology, petrochemistry, tectonics, and associated mineralization. In: Piancharoen, C. (editor-in-chief), *Proceedings of the National Conference on Geology and Mineral Resources of Thailand: Potential for Future Development*, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand, (17-24 November 1992), 283-392.
31. Charusiri, P., Clark, A. H., Farrar, A.H., Farrar, E., Archibald, D. and Charusiri, B. 1993. Granite Belts in Thailand : evidence from the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological and geological syntheses. *Journal of SE Asian Earth Science*, 8(1-4) : 127-136.
32. Charusiri, P. and Galong, V. 1995. SEDBA and related computer programmes in the geological studies of Ban Thasi area, Lampang, northern Thailand. *Sed Facies and Paleogeography*, 15(2): 91-99.
33. Charusiri, P., Pongsapich, W., and Sutthirat, C. 1996. *Petrochemistry of Probable-Gem Bearing Basalts in Sop Prab-Kokha, Changwat Lampang*. A Research Report submitted to Chulalongkorn University, Bangkok, 172.
34. Charusiri, P., Kosuwan, S. and Imsamut, S. 1997. Tectonic Evolution of Thailand : From Bunopas (1981)'s to a new scenario. In: Dheeradilok, P. et al. (eds), *Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of SE Asia and the South Pacific*, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand, (19-24 August 1997), p. 414-420.
35. Chen, B. and Xie, G. 1994. Evolution of the Tethys in Yunnan and Tibet. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 9: 349-354.
36. Chinoroje, O. 1993. Petrographic studies of Permian carbonates in Southern Thailand. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 8(1-4) : 161-171.
37. Chung, S., Lee, T.Y., Lo, C.H., Wang, P. L., Chen, C.Y. Yem, N. T., Hoa, T. T., and Wu, G. Intraplate extension prior of continental extrusion along the Ailao shan – Red River shear zone. *Geology*, 25(4): 311-314.
38. Chutakosikanon, V., Hisada, K., Ueno, K., and Charusiri, P., 1997. New suture and terrance deduced from detrital chromian spinel in sandstones of the Nam Duk Formation, north-central Thailand. In: Dheeradilok, P. et al. (eds.), *Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic*

- Evolution of SE Asia and the South Pacific* Department of Mineral Resources, Bangkok, (19-24 August 1997), 368.
39. Coney, P. J. 1980. *Cordilleran metamorphic core complexes : an overview*. In Crittenden, M. D., G.H. (eds.) *Cordilleran Metamorphic Core Complexs*, Geological Society of America Memoir, 153: 7-40.
 40. Cooper et al., 1989. The structural evolution of Triassic intermontane basins in Northeast Thailand. In: thanasuthipitak, t. and Ounchanum, P., (editors), *Proceedings of the International symposium on Intermontane Basins: Geology and Resources*, Deartment of Geological Sciences, Chiang Mai University, Chiang Mai, 231-242.
 41. Crawford, A. J. and Punjisawatwong, Y. 1996. Ophilites, oceanic crust, and the Nan Sutruie in NE Thailand. In: *Proceedings of the International symposium on Lithoshere Dynamic of East Asian-Geology, Energy, and Mineral Resources of the Indochina Region*, Taipei (Program and extended Abstract), 84-89.
 42. Darbyshire, D. P. f. and Swainbank, I.G. 1988. Geochronology of a selection of Granites from Burma. *NERC Isotope Geology Centre Report*, p. 88/6.
 43. Dawson, O. and Racey, A. 1991. Fusulinacalcareous algal palaeoecology of the Permian Ratburi Limestone from central Thailand. In: *Seventh Regional Conference on Geology and Mineral Resources of Southeast Asia*, Abstract Volume, Bangkok, Thailand, 37.
 44. Dawson, O. racey, A. and Whittaker, J.e. 1994. Permian foraminifera from northeast and peninsular Thailand. In: Angsuwathana, P. et al. (eds.), *Proceedings of the International Symposium on stratigraphic correlation of SE Asia*, department of Mineral Resources, Bangkok, (15-20 November 1994), 323-332.
 45. Dheeradilok, P. 1975. Precambrian rocks of Thailand in general. *Department of Geological Sciences, Chiang Mai University, special Publication*, 1(2): 3-4.
 46. Dheeladilok, P., wongwanich, T., Tansathien, W. and Chaodumrong P. 1992. An introduction to geology of Thailand. In: C. Piancharoen (editor-in-chief), Department of Mineral Resourus, Bangkok, Thailand, 614-652.
 47. Ducroeq, s., Chaimanee, Y., Suteethron, V. and Jacger, J. J. 1993. Mammalian fanna and the ages of the continental Tertiary basins of Thailand in Angsuwathana, P. et al. (eds.), *Proceedings of the International Symposium on Stratigraphic Correlation of SE Asia*. Department of Mineral Resources Bangkok, (15-20 November 1994), 333.

48. Evans, P.R. and Jitapunkul, s. 1992. Geology of the Mae Moh Basin. In: Charusiri, P., Pisutha-Armond, V. and Jarupongsakul, s. (eds.), *Proceedings of the conference on Development Geology for Thailand into the Year 2000*, Chulalongkorn University. Bangkok, (13-14 December 1990), 353-376.
49. Fontaine, H. salyaponges, S., Suteethorn, V., Tansuwan, V. and Vachard, D. 1996. Recent biostratigraphic discoveries in Thailand : a preliminary report. *CCOP Newsletter*, 21(2) : 115.
50. Gatinsky, Y. G., Mischina, A. V., Vinogradov, I.V. and Kovaoev, A. a. 1978. The main metallogenic belts of southeast Asia as the result of different geodynamic conditions and interference. In Nutalaya, P. (editor), *Proceedings of the Third Regional conference on geology and Mineral Resources of southeast Asia*, Bangkok, Thailand, 3-318.
51. Grunow, A., Hanson, R. and Wilson, T. 1996. Were aspects of Pan-African deformation linked to lapetus opening. *Geology.*, 24(12): 1063-1066.
52. Hada, S. 1990. Geology of the Nan-Chanthaburi Suture zone : (I) stratigraphy and geologic structure. In: charusiri, P., Pisutha-Armond, V. and Jarupongsakul, S. (eds.), *Proceedings of the Technical conference on Developments Geology for Thailand into the Year 2000*, department of Geology, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 13-14 December 1990.
53. Hahn, L., Koch, K. E. and Wittekindt, H. 1986. Outline of the geology and the mineralpotential of Thailand. *Geologische Jahrbuch Hannover*, 59: 3-49.
54. Hansawek, R. 1983. *Petrochemical Features of Granites Associated with Tin-tungsten Mineralization at Mae Chedi Mine, Wiang Pa Pao, Chiang Rai*. Unpublished M.Sc. Thesis, Department of Geology, Chulalongkorn University, Bangkok, 102.
55. Hansen, B. T., Ahrendt, H., Lumjuan, A., Micken, A. and Wemmer, K. 1994. Do the high grade metamorphic rocks in Thailand represent the basement for the Paleozoic strata. In: angsuwathana, P., wongwanich, T., Tansathlan, w., wongsomsak, s. & Tulyatid, J. (eds.), *Proceedings of the International symposium on Stratigraphic Correlation of Southeast Asia*. Department Mineral Resources, Bangkok, Thailand, (15-20 November), 55.
56. Hayashi, M. 1989. The hydrocarbon potential and tectonics of Indochina. *Geological Society of Malaysia Bulletin*, 25: 65-78.
57. Helmc, D. and Lindinberg, H.G. 1983. New data on “Indosinia” orogeny from central Thailand. *Geologische Rundschau*, B, 72(1): 317-328.

58. Helmcke, D. 1985. The Permo-triassic “Paleotethys” in mainland Southeast-Asia and adjacent parts of China. *Geologische Rundschau*, 74(2): 215-228.
59. Hisada, K., Arai, S. and Negoro, A. 1994. Devonian serpentinite protrusion confirmed by detrital chromian spinels in outer zone of SW Japan. In: Angsuwathana, P., wongwanich, T., Tansathian, W., Wongsomsak, s. & Tulyatid, J. (eds.), *Proceedings of the International Symposium on Stratigraphic Correlation of Southeast Asia*. Department Mineral Resources Bangkok, Thailand, p. 76-80.
60. Hisada, K., Arai, S. and Miyamoto, T. 1996. Detrital chromian spinels and Gondwana marginal subduction zone. In: *Proceedings of the Geologic Development of the Asian-Pacific Region with Implications in the Evolution of Gondwanaland*, IGCP National Committee of Japan, (July 1996), p. 35-42.
61. Hutchison, C.S. 1973. Tectonic Evolution of Sundaland: a Phanerozoic synthesis. *Geological Society of Malaysia Bulletin*, 6: 61-86.
62. Hutchison, C. S. 1989a. The Palaeo-tethyan realm and Indosinian orogenic system of Southeast Asia. In: Sengor, A. M. C. (eds.), *tectonic evolution of the Tethyan Region*. Kluwer Academic Publishers, p. 585-643.
63. Hutchison, C. S. 1989b. *geological evolution of South-East Asia*. Clarendon Press, Oxford.
64. Imsamut, S. 1996. *Magnetostratigraphy of the Phu Thok Formation at Phu Thak and Phu Wua Areas, Changwat Nong Khai*. An unpublished M.Sc. Thesis, Department of Geology, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 306 pp.
65. Intasopa, S. and Dun, T. 1993. Petrology and Sr-Nd isotopic systems of the basalts and rhyotites, Loei, Thailand. *Journal of Southeast Asian Earth Science*, 9: 167-180.
66. Javanaphet, J. C. 1969. *Geological Map of Thailand, scale 1 : 1,000,000* : royal Thai Department of Mineral Resources, Bangkok. (with explanatory notes).
67. Kobayashi, T. 1964. Geology and Paleontology of Thailand. 1966-1962. *Geology and Paleontology of Southeast Asia*, 1: 1-15.
68. Kobayashi, t. 1973. The early stage of Burmese-Malayan geosynclines. *Geological Society of Malaysia bulletin*, 6” 119-129.
69. Kosuwan, S., Charusiri, P., Lumjuan, A. and Takashima. 1998. Active tectonics of the Mae Chan Fault, Northern Thailand. In: *Proceedings of the International Congress on GEOSEA (abstract)*.

70. Laccassin, R., Maluski, H., Leloup, P.H., Taponnier, P., Hinthong, C., Siribkakdi, K., Chuaviroj, S. Nd Charoenpravat, A. 1997. Tertiary diachronic extrusion and deformation of western Indochina : Structural and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ evidence from NW Thailand. *Journal of Geophysical Research*, 102 : 85, 10,013-10,037.
71. Lee, C.P. 1983. Stratigraphy of the Tarutao and achingchang formations. In: *Proceedings on the Workshop on Stratigraphic Correlation of Thailand and Malaysia*. Geological Society of Thailand, Haad Yai, Thailand, (8-10 September, 1983), 20-38.
72. Leloup, P.H., Lacassin, R., Bergman, S., Arnaud, N., Replumaz, A. and Taponhier, P. 1999. Deformation and cooling diachronism along the Sagaing Fault and Shan Escarpment, *Journal of Geology, Series B*, (abstract). 113(4): 62.
73. Li, Q. and Zhuang, Z. 1997. *Preliminary paleomagnetic research in the Three-River area*. The Excursion Guide book to Southern Yunan, Chengdu Geology and Mineral Resources, Sichuan, ROC, : 11 (unpublished).
74. Lockhart, B. E. Chinorog, O. Enomoto, C.B. and Hollomon, G. A. 1997. Early Tertiary depositional in the southern Pattani Trough, Gulf of Thailand. In: Dheeradilok, P. (et. In chief.), *Proceedings of the International Conference o Stratigraphu and Tectonic Evolution of SE Asia and the South Pacific*, Department of Mineral Resources, Bangkok, (19-24 August 1977), 476-489.
75. makel, G., Ainsworth, B., Chuenbunchom, S., Harvey, M., Kaewla-lad, S. and von der Pal, R. 1997. The Sirikit oil field – improved structural interpretation and reservoir architecture and its impact on future field development. In: *Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of Southeast Asia and the South Pacific* (Geothi'97), Bangkok, 541-542.
76. Maneechai, K. 1994. *Lithostratigraphy othe Lower Khorat and the Saraburi Groups in the Pak Chong – Si Khiu Area, Changwat Nakhon Ratchasima*. An Unpublished Senior – Project Report, Department of Geology, Chulalongkorn University, Bangkok, 99.
77. Maranate, S. and Vella, P. 1986. Paleomagnetism of the Khorat Group, Mesozoic, Northeast Thailand. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1: 23-31.
78. Metcalfe, I. 1984. Stratigraphy, palaeontology and palaeogeography of the Carboniferous of Southeast Asia. *Mimoires de la Societe eologique de France*, 147: 107-118.

79. Metcalfe, I. 1988. *Origin and assembly of Southeast Asian continental terrans*. In: Audley-Charles, M. G. & Hallam, A. (eds.), *Gondwana and Tethys*. Geological Society, London, Special Publication, 37 : 101-108.
80. Metcalfe, I. 1995. Gondwanan Dispersion and Asian accretion. In: *Proceedings of the IGCP symposium of Geology of SE Asia*, (Hanoi, 1995), 223-266.
81. Metcalfe, I. 1996. Pre-Cretaceous evolution of SE Asia terranes. In: Hall, r. & Blundell, D. (eds.), *Tectonic Evolution of Southeast Asia*, Geological Society Special Publication, 106: 97-122.
82. Metcalfe, I. 1997. The Paleo-Tethys and Paleozoic-Mesozoic Tectonic evolution of SE Asia. In: Dheeradilok, P. et al. (eds.), *Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of SE Asia and the South Pacific*, Department of Mineral Resources, Bangkok, (19-24 August 1997), 414-420.
83. Micklein, A., Ahrendt, H., Hansen, B., Lumjuan, A. and Wemmer, K. 1995. New age information on the history of the basement rocks of Thailand. In: Wannakao, L, (ed. In chief), *Proceedings of the International Conference on Geology, Geotechnology, and Mineral Resources of Indochina*, Khon Khaen University, Khon Khaen, Thailand, (22-25 November 1995). 23 (abstract).
84. Mitchell, A.H.G. 1977. Tectonic setting for emplacement of Southeast Asia tin granitoids. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 9: 123-140.
85. Mitchell, A.H.G. 1981. Phanerozoic plateboundaries in mainland SE Asia, the Himalaya and Tibet. *Journal of the Geological Society of London*, 138: 109-122.
86. Moore, G.F., Curry, J.R., Moore, D.G. and Korig, D.E. 1980. Variation in geologic structure along the Sunda fore-arc, northeastern Indian Ocean. In: Hayes, E. (ed.), *The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands*, Geophysical Monograph 23, Geophysical Union, Washington, 145-160.
87. Mouret, C., Heggemann, H., Gouadain, J. and Krisadasima, S., 1993. Geologic history of the siliciclastic Mesozoic strata of the Khorat Group in the Phu Phan Range area, NE Thailand. In: Thanasuthipitak, T. (ed.), *Proceedings of the International symposium on biostratigraphy of Mainland SE Asia : Facies and Paleontology (BIOSEA)*. Chiang Mai University, Chang Mai, V. I, (31 Jan – 5 Feb, 1993), 23-49.
88. Mouret, C. 1994. Geological history of NE Thailand since of Carboniferous relationship with Indochina and Carboniferous to Early Cenozoic evolution model. In: Angsuwathana, P. et al. (eds.), *Proceedings of*

- the International Symposium on Stratigraphic Correlation of SE Asia*, Department of Mineral Resources, Bangkok, (15-20 November 1994), 132-158
89. Noibunchong, C. and Ausirisak, S. 1997. Stratigraphy and petroleum system of the Thai Andaman Sea, Block W8/38 and W9/38. In: Dheeradilok, P. *et al.* (eds.), *Proceeding of the International Conference on Stratigraphy and Tectonic Evolution of SE Asia and the South Pacific*, Department of Mineral Resources, Bangkok, (19-24 august, 1987), 535-536 (abstract).
 90. Panjasawatwong, Y. 1991. *Petrology, geochemistr and tectonic implications of the igneous rocks in the Nam Suture, Thailand, and an empirical study of the effects of Ca/Na, Al/Si and H₂O on plaioclasemelt equilibria at 5-10 kb pressure*. Unpublished PhD Thesis, University of Tasmania, 239 pp.
 91. Pisutha-Arnond, s., Ukkakimapan, J., Klan-Ngern, S., Pisutha-Arnond, v. and Taiyaqupt, M. 1997. Predicting oil and water interval in U-thong field using thermal extractionpyrolysis gas chromatography. In: dhrreadilok, P. (ed. In chef) *Proceedings of the International conference on stratigraphy and Tectonic Evolution of SE Asia and the South Pacific*, Department of Mineral Resources, Bangkok, (19-24 August 1997), 543-559.
 92. Piyasin, S. 1972. Geology of the Lampang Sheet NE 47-7. *Report of Investigation No. 14, department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand*, p. 98 (in Thai with English abstract).
 93. Piyasin, S. 1991. Tectonic events and radiometric dating of the basement rocks of Phisanulok Basin. *Journal of Southeast Asian Earth Science*, 1(1) : 41-48.
 94. Polachan, S. and Sattayarak, N. 1989. Strike-slip tectonic and the development of Tertiary basins of Thailand. In: Thanasuthipitak, T. and Ounchanum, P. (eds.), *Proceedings of the International symposium on Intermontane Basin*, Department of Geology Science, Chaing Mai University, Chiang Mai, 243-253.
 95. Polachan, s., Pradidtan, S., Tongtao, C., Janmaha, S., Intrarawijitr, K. and Sangsuwan, C. 1991. Development of Cenozoic basins in Thailand. *Arine and Petroleum Geology*, 57 : 1-69.
 96. Pongsapich, w. Pisutha-arnond, V. and Charusiri, P. 1983. Reviews of felsic plutonic rocks in Thailand. In: *Proceedings of the Workshop on Stratigraphic correlation of Thailand and Malaysia, Haadyai, Thailand*, (September, 1983), 213-232.
 97. Pradidtan, S., Singhasence, C. and Charusirisaward, r. 1992. Stratigraphy of Tertiary basins in the Gulf of Thailand. In: Charusiri, P. Pisutha-Arnond, V. and Jarupongsakul, S. (eds.), *Proceedings of the*

- Conference on Development Geology for Thailand into the Year 2000*, Department of Geology, Chulalongkorn University, Bangkok, (13-14 December 1990), 408-429.
98. Putthapiban, P. 1984. *Geochemistry, Geochronology and Tin Mineralization of Phuket Granites, Phuket, Thailand*. An Unpublished Ph.D. thesis, La Trobe University, Victoria, Australia, 414.
 99. Putthapiban, P. 1992. The Cretaceous-Tertiary granite magmatism in the west coast of peninsular Thailand and the Mergui Archipelago of Myanmar. In: Piancharoen, C. (ed. In chief), *Proceedings of the National Conference on Geologic Resources of Thailand: Potentials for Future Development, Department of Mineral resources, Bangkok*, (17-24 November 1992), 75-86.
 100. Ridd, M. F. 1980. Possible Paleozoic drift of SE Asia and Triassic collision with China: *Journal of the Geological Society of London*, 137 : 635-640.
 101. Saito, Y. 1992. *Reading geologic history of Japanese Islands*. Iwanami-shoten. Tokyo, (in Japanese with English abstract).
 102. Sattayarak, N., Srigulwong, S. and Pum-Im, S. 1989. Petroleum potential of the Triassic Pre-Khorat intermontane basins in northeastern Thailand. In: Thanasuthipitak, T. and Ounchanum, P. (eds.), *Proceedings of the International symposium on Intermontane Basins : Geology and Resources*, Department of Geological Sciences, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand, 43-58.
 103. Sengor, A.M.C. 1984. The cimmeride Orogenic System and the Tectonics of Eurasia. *Geological Society of America*, Special Paper, 82, 95.
 104. Sengor, A. M. C., Altiner, D., Cin, A., Ustaomer, T. and Hsu, K. J. 1988. *Origin and assembly of the Tethys orogenic collage at the expense of Gondwana Land*. In: Audley-Charles, M. G. & Hallam, A. (eds.), *Gondwana and Tethys*. Geological Society, London, special Publication, 37: 119-181.
 105. Shergold, J., Burrett, C. F., Akerman, T. and Stait, B. 1988. Late Cambrian trilobites from Tarutao island, Thailand. *New Mexico Bureau of Mineral Resources Memoir*, 44: 303-320.
 106. Srisakulrat, N. 1995. *Geological study of the Thi Wong area, Amphoe Thung song, Changwat Nakhon Sri thammarat*. An unpublished B.Sc. senior project, Department of Geology, chulalongkorn university, Bangkok, 125.
 107. Stauffer, P.H. 1983. Unravelling the mosaic of Paleozoic crustal blocks in SE Asia. *Geologische Rundschau*, 72: 1061-1080.

108. Stokes, R. B., Lovatt. Smith, L. and Soumphouphakdy, K. 1997. *Timing of the Shan-Thai-Indochina collision : new evidence from the Paklay Foldbelt of the Lao PDR*. In: R. Hall and D. J. Blundell (eds.), *Tectonic Evolution of southeast Asia*, Geological society Special Publication, 106: 225-232.
109. Sutthirat, C., Charusiri, P., Farrar, E. and Clark, A. H. 1994. New $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology and Characteristics of some Cenozoic basalts in Thailand. In: Angsuwattana, P. (ed. In chief), *Proceedings of the International symposium on Stratigraphic Correlation of SE Asia*, Department of Mineral Resources, Bangkok, (15-20 November 1994), 306-321.
110. Tanasuthipitak, t. 1978. Geology of Uttaradit area and its implications on tectonic history of Thailand. In: Nutalaya, P., (editor), *Proceedings of the Third Regional Conference on Geology and Mineral Resources of Southeast Asia*, Bangkok, Thailand, 187-179.
111. Tulayatid, J. 1991. *$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronological Study of Deformed Meta-granitoid Rocks Adjacent to the Hua Hin-Pranburi Fault System, Peninsular Thailand*. An unpublished M.Sc. Thesis, Queen's University, Kingston, Ont., Canada, 169.
112. Ueno, K., Sukiyama, T., and Nagai, K. 1996. Discovery of Permian foraminifers of the Phattalung area, southern peninsular Thailand. In: Noda, H. and Sashida, K. (eds.), *Professor Hisayashi Igo Commemorative Volume on Geology and Paleontology of Japan and SEA sia*, Tsukuba University, Japan, 201-216.
113. Utha-Arooon, C. 1993. Continental origin of the Mahasarakham evaporates, northeastern Thailand. *Journal of Southeast Asian Earth Science*, 8: 1-4, 193-203.
114. Vilaihong, M., Phommakaysone, K. and senebouttalath, C. 1997. The main features of the geological structure in the territory of Laos. In: dheeradilok, P. (ed. In chief), *Proceedings of the International Conference on Stratigraphy and tectonic Evolution of Southeast Asia and the South Pacific*, Department of Mineral Resources, Bangkok, (19-24 August 1997), 776-779.
115. Waterhouse, J.B. 1982a. An Early Permian cool-water fauna from pebbly mudstones in south Thailand. *Geol. Mag.*, 119: 337-354.
116. Waterhouse, J.B. 1982b. New Carboniferous brachiopod genera from Huai Bun Nak northeast Thailand. *Paleont. Seitsch.*, 56: 39-52.
117. Wolfart, R. 1987. Geology of Amphoe Sop Prap (sheet 1:50,000 No 4844-1) and Amphoe Wang Chin (sheet 1:50,000 No 4944-4), Thailand. *Geologische Jahrbuch*, 65: 3-52.

118. Wongwanich, T. and Raksasakulwong, L. 1991. *Litostratigraphy and sedimentology of Ordovician carbonates, southern Thailand*. In: Seventh Regional Conference on Geology and Mineral Resources of Southeast Asia, Abstract Volume, Bangkok, Thailand, 17.
119. Wu, G. 1993. Late Paleozoic tectonic framework and Paleotethyan evolution in Western Yunnan. *Scientia Geologica sinica*, 2 : 129-149.
120. Xu, X., Xu, Q., Pan, G. and Liu, G. 1997. *Paleogeography of the south China continent and its contrast with the Pangaea*. An excursion Guide Book in Southern Yunan prepared for the Tectonic Group of Department of Geology, (Chulalongkorn University) Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Sichuan, Republic of China (January 1997), (unpublished), 20.
121. Yoshikura, S., Hada, S. and Isozaki, Y. 1990. Kurosegawa terrane. In: Ichikawa, K., Misutani, S. Hara, I. Hada, S. & Yao, A. (eds.), *Pre-Cretaceous Terranes in Japan*, IGCP Project, 224 Publication, Osaka, 185-201.

รับต้นฉบับวันที่ 21 พฤศจิกายน 2544

ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 10 มกราคม 2545