บทที่ 3
โครงร่างทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้
(TECTONIC FRAMEWORK OF SOUTHEAST ASIA)

สภาพทางภูมิศาสตร์และธรณีวิทยาที่ปรากฏในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่า ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตั้งอยู่บนแผ่นฐานธรณี (tectonic Plates) ท่ามกลางแผ่นฐานธรณีใหญ่ที่มาบรรจบกัน 3 แผ่นฐาน ได้แก่ แผ่นฐานธรณีอินเดีย (Indian Plate) แผ่นฐานธรณีแปซิฟิก (Pacific Plate) และแผ่นฐานธรณียูเรเชีย (Urasia Plate) โดยมีหลักฐานต่าง ๆ เช่นทางธรณีฟิสิกส์ ที่บ่งชี้ว่าแผ่นฐานธรณีแปซิฟิกยังคงเคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ แผ่นฐานธรณียูเรเชียกำลังเคลื่อนตัวไปทางตะวันออกเฉียงใต้ และแผ่นฐานธรณีอินเดียยังคงเคลื่อนตัวขึ้นไปทางทิศเหนือ โดยการเกิดธรณีแปรสัณฐานในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีแนวโครงสร้างใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 3.1

3.1 สถานภาพทางธรณีแปรสัณฐาน (Tectonic setting)

สถานภาพทางธรณีแปรสัณฐานของเอเชียอาคเนย์นอกจากการประกอบไปด้วยแผ่นฐานธรณีแล้ว ยังประกอบไปด้วยองค์ประกอบอื่นอีก อันได้แก่ พื้นที่แอ่งรองรับการสะสมตัวของตะกอน (geosyncline) และแหล่งกำเนิดให้ตะกอนไปสะสมตัว ในช่วงเวลานั้น ๆ เรียกว่า แผ่นดินโบราณ (ancient landmass) โดยมีขอบแผ่นฐานธรณี (plate boundary หรือ plate margin) อยู่ด้วยกันทั้ง 2 แบบ คือ แบบการทำลาย (destructive plate boundary) และแบบการอนุรักษ์ (conservative plate boundary) โดยแบบแรกจะแสดงเขตบินิออฟฟ์ (benioff zone) และร่องลึกก้นสมุทร (trench) อยู่ทางด้านทิศใต้และตะวันตกเฉียงใต้ ได้แก่ แนวร่องลึกก้นสมุทรชวา (Java trench) ซึ่งยาวไปทางทิศเหนือผ่านแนวเกาะอันดามัน-นิโคบาร์ (Andaman-Nicobar island arc) ขึ้นไปจนถึงเทือกเขาอินโด-พม่า (Indo-Burma range) หรือผารอยเลื่อนฉาน (Shan scarp) ทางด้านตะวันตกของประเทศพม่า (รูปที่ 3.2) โดยบริเวณเทือกเขาดังกล่าวมีแนวของโอฟิโอไลต์ (ophiolite) ยุคเทอร์เชียรี่อยู่ด้วย (Michell และ Mckerrow, 1975) และทางด้านตะวันออกมีแนวร่องลึกฟิลิปปินส์ (Phillipine trench) เป็นแนวยาวเหนือ-ใต้ จากเกาะไต้หวันผ่านหมู่เกาะฟิลิปปินส์ ลงไปจนถึงหมู่เกาะโมกุลละ ซึ่งเป็นบริเวณที่แผ่นฐานธรณีแปซิฟิกบรรจบกับแผ่นฐานธรณีอินเดีย สำหรับขอบเขตแบบการอนุรักษ์นั้นปรากฏให้เห็นตามแนวรอยเลื่อนแม่น้ำแดง (Red river fault) ซึ่งเป็นแนวรอยเลื่อนระดับไปทางซ้ายที่วางตัวในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ผ่านภาคเหนือประเทศลาว เวียดนาม ลงสู่ทะเลจีนบริเวณอ่าวตั่งเกี๋ย (รูปที่ 3.2)

3.2 มณฑลการแปรสัณฐานแบบผืนแผ่น (Tectonic province)

ขอบเขตการแปรสัณฐานแบบผืนแผ่นในบริเวณส่วนที่เป็นแผ่นดินหลักของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (tectonic main lands of southeast Asia) โดยทั่วไปมีการจัดแบ่งออกเป็น 4 ขอบเขต (tectonic provinces) (รูปที่ 3.2)

3.2.1 ขอบเขตของแผ่นฐานธรณีจีนใต้ (South China Plate) เป็นพื้นที่บริเวณตอนใต้ของประเทศจีนและส่วนของเวียตนามด้านตะวันออกเฉียงเหนือ กำหนดแบ่งแนวขอบเขตกับแผ่นฐานธรณีอินโด-ไชน่าทางด้านใต้ตามแนวขอบเขตของรอยเลื่อนแม่น้ำแดง

3.2.2 แผ่นฐานธรณีอินโด-ไชน่า (Indo-Shina Plate) ติดกับแผ่นฐานธรณีจีนใต้ จากแนวแม่น้ำแดงลงมาทางทิศใต้ประกอบไปด้วยส่วนของประเทศเวียตนาม ลาว กัมพูชา และแนวด้านตะวันออกของประเทศไทย ซึ่งรวมเอาส่วนด้านตะวันออกของประเทศมาเลเซีย หรือแผ่นฐานธรณีมาเลเซียตะวันออกเข้าไว้ด้วย (รูปที่ 3.2) ขอบของแผ่นฐานธรณีฉาน-ไทยตามแนวด้านตะวันตกเป็นแนวยาวไปตามขอบเขตของรอยต่อธรณีน่าน-อุตรดิต์-สระแก้ว และเบนตง-รวบ (Nan-Uttaradit-Srakaew and Bentong-Roub geosuture)

3.2.3 แผ่นฐานธรณีฉาน-ไทย (Shan-Thai) หรือไซบูมาสุ (SIBUMASU) ถูกกำหนดอยู่ในระหว่างแผ่นฐานธรณีพม่าตะวันตกตามแนวรอยเลื่อนซาเกียง (Sagaing fault) หรือขอบเขตฉาน (Shan boundary) (รูปที่ 3.2) กับแผ่นฐานธรณีอินโด-ไชน่าทางด้านตะวันออก ตามแนวรอยต่อธรณีน่าน-อุตรดิตถ์-สระแก้วและเบนตง-รวบ ซึ่งเป็นแนวแบ่งขอบเขตดังกล่าวแล้ว โดยพื้นที่ส่วนของแผ่นฐานธรณีฉาน-ไทยประกอบไปด้วยประเทศพม่าด้านตะวันออก ประเทศไทยด้านตะวันตก ตอนกลางและยาวตลอดแนวของแหลมไทย รวมถึงประเทศมาเลเซียด้านตะวันตก

3.2.4 แผ่นฐานธรณีพม่าตะวันตก (South Burma Plate) พื้นที่กำหนดจากแนวรอยเลื่อนซาเกียงด้านตะวันตก ซึ่งเป็นรอยเลื่อนเหลื่อมข้าง (strike-slip fault) ยาวในแนวเหนือ-ใต้ขนานไปกับแนวของแม่น้ำสาละวิน คลุมพื้นที่ส่วนของประเทศพม่าด้านตะวันตกทั้งหมด จากรายงานของ Bunopas และ Vella (1981) ได้กำหนดพื้นที่ในส่วนระหว่างแผ่นฐานธรณีฉานไทย หรือไซบูมาสุ และแผ่นฐานธรณีอินโดไชน่าออกเป็นอีก 2 บริเวณ ได้แก่

3.2.4.1 *แนวหินคดโค้งสุโขทัย* (Sukothai fold belt) เป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งของแนวชั้นหินคดโค้งที่อยู่ระหว่างแผ่นฐานธรณีฉานไทย กับแผ่นฐานธรณีอินโดไชน่า (รูปที่ 3.3) วางตัวในแนวยาวเหนือ-ใต้ พื้นที่ด้านตะวันออกถึงแนวหินโอฟิโอไลต์ น่าน-อุตรดิตถ์-เบนตง-รวบ คลุมพื้นที่ภาคเหนือด้านตะวันออกของประเทศไทย และภาคตะวันตกของประเทศมาเลเซีย ซึ่งจัดเป็นส่วนบนแผ่นฐานธรณีฉาน-ไทย (Bunopas และ Vella ,1978)

3.2.4.2 *แนวหินคดโค้งเลย* (Loei fold belt) เป็นส่วนทางด้านตะวันออกขนานไปกับแนวหินคดโค้งสุโขทัยจากแนวของหินโอฟิโอไลต์ไปทางตะวันออกต่อเนื่องขึ้นไปทางเหนือในส่วนของประเทศลาว และประเทศเวียตนามทางตอนเหนือ รวมส่วนของประเทศไทยตลอดแนวด้าน

ตะวันออก และพื้นที่บางส่วนของภาคตะวันออกของประเทศมาเลเซีย (รูปที่ 3.3) เป็นส่วนประกอบที่อยู่บนแผ่นฐานธรณีอินโด-ไชน่า (Bunopas และ Vella, 1978)

3.3 วิวัฒนาการของการแปรสัณฐาน (Tectonic evolution)

ข้อมูลการศึกษาเกี่ยวกับแม่เหล็กบรรพกาลทั้งในประเทศไทย ประเทศมาเลเซียและการศึกษาในประเทศจีน ได้ใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนทฤษฎีการแปรสัณฐานทางธรณีวิทยาของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ว่าประกอบไปด้วยส่วนของแผ่นดินหลายส่วนที่เคลื่อนตัวจากบริเวณอื่นมาอยู่ร่วมกัน และข้อมูลทางการศึกษาซากดึกดำบรรพ์ในหลาย ๆ การศึกษา รวมถึงความคล้ายคลึงกันทางการลำดับชั้นหิน ล้วนเป็นข้อมูลสนับสนุน ที่ทำให้มีความเชื่อไปในทางที่ว่าแผ่นทวีปทั้งสองอันได้แก่แผ่นฐานธรณีฉานไทยหรือไซบูมาสุ กับแผ่นฐานธรณีอินโดไชน่า มีจุดกำเนิด และแตกแยกมาจากแผ่นดินเดียวกัน คือบริเวณขอบแผ่นดินกอนด์วานาทางซีกโลกใต้ ถึงแม้ว่าจะยังคงมีความขัดแย้งกันอยู่ในเรื่องตำแหน่งของแผ่นฐานธรณีไซบูมาสุที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินของทวีปออสเตรเลีย และเรื่องระยะเวลาของการแยกตัวก็ตาม

โดยตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ปัจจุบันของแผ่นดินหลักในภูมิภาคส่วนนี้ เชื่อว่าเกิดจากการปะทะกันระหว่างแผ่นฐานธรณีไซบูมาสุหรือฉานไทยทางด้านตะวันตกกับแผ่นฐานธรณีอินโดไชน่าทางด้านตะวันออก (รูปที่ 3.2 และ 3.3) ซึ่งกลุ่มการศึกษาส่วนใหญ่เชื่อว่าการปะทะกันเกิดขึ้นในช่วงเวลาปลายยุคไทรแอสซิก เช่น Bunopas และ Vella (1978) Gatinsky และคณะ (1978) Asnachinda (1978) Macdonald และ Barr (1978) Bunopas (1981) Mitchell และ Garson (1981) Chonglakmani (1981) Sengor (1984) Hutchison (1989) เป็นต้น

Metcalfe (1988) กล่าวว่า อินโดไชน่าเป็นแผ่นทวีปถาวรมีหินฐานมหายุคพรีแคม เบรี่ยน ซึ่งโดยปรกติถูกปิดทับด้านบนอยู่ด้วยตะกอนสมุทรตื้นของมหายุคพาลีโอโซอิก และตะกอนภาคพื้นทวีปของมหายุคมีโสโซอิก และเชื่อว่าเคลื่อนตัวหลุดออกมาจากขอบด้านตะวันตกเฉียงเหนือของแผ่นทวีปออสเตรเลียซึ่งติดอยู่ทางด้านตะวันออกของแผ่นดินกอนด์วานา (Audley-Charles, 1983, 1988) สำหรับไซบูมาสุนั้นเป็นแผ่นทวีปรูปยาวรี มีหินฐานมหายุคพรีแคมเบรี่ยน และเคลื่อนตัวหลุดมาจากด้านตะวันตกเฉียงเหนือของแผ่นทวีปออสเตรเลียเช่นเดียวกัน โดย Metcalfe (1991) เชื่อว่าแผ่นฐานธรณีอินโดไชน่านั้นได้แยกตัวมาจากด้านตะวันออกเฉียงเหนือของแผ่นทวีปออสเตรเลียในระหว่างยุคไซลูเรี่ยนหรือดีโวเนี่ยน และเคลื่อนตัวขึ้นมาในยุคคาร์บอนิเฟอรัส โดยในเวลานั้นแผ่นฐานธรณีไซบูมาสุ ยังคงติดอยู่กับแผ่นออสเตรเลีย ซึ่งยังอยู่ทางตะวันออกของแผ่นดินกอนด์วานาจนกระทั่งในปลายยุคเพอร์เมี่ยนจึงแยกตัวออกมาเป็นรูปยาวรี จนมาเชื่อมต่อเป็นแผ่นดินเดียวกันระหว่างแผ่นฐานธรณีทั้งสองในช่วงต้นยุคไทรแอสซิก

Mouret (1994) สนับสนุนความเชื่อว่า การชนกันของแผ่นฐานธรณีฉานไทยกับแผ่นฐานธรณีอินโดไชน่า เริ่มเมื่อตอนกลางยุคไทรแอสซิก สืบเนื่องให้มีการหมุนตัวตามเข็มนาฬิกาในเวลาต่อมา โดย

การแปรเปลี่ยนมีความรุนแรงมากกว่าในครั้งแรกจากทางขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ และแผ่ขยายตัวออกไป ก่อให้เกิดการเลื่อนย้อนของแนวเทือกภูพาน และการขยับตัวของรอยเลื่อนต่างๆ ของยุคคาร์บอนิเฟอรัสเกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่ง การสะสม ตะกอน mollasse ได้สิ้นสุดลงเมื่อ 65 ล้านปี (Ma) สัมพันธ์กับเวลาช่วงต้นของการชนกันของแผ่นดินหิมาลัยทางด้านตะวันตกของประเทศพม่า และในการอัดตัวของแผ่นดินยุคซีโนโซอิกได้ก่อให้เกิดการโค้งงออย่างกว้าง ๆ ของกลุ่มหินโคราชขึ้นด้วย

ในส่วนของอินโดไชน่า Mouret (1994) ได้แปลความและอธิบายวิวัฒนาการของการแปรสัณฐาน(รูปที่ 3.4) จากข้อมูลการศึกษาของ subsurface data ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยร่วมกับข้อมูลธรณีวิทยาของจีนตอนใต้และธรณีวิทยาของประเทศเวียตนามว่า แผ่นฐานธรณีอินโดไชน่านั้นมีการชนกันกับแผ่นดิน Song Da หรือแผ่นดิน Cathaysia ในแอ่งรับตะกอน Truong Son ตั้งแต่ก่อนยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนกลาง มีการเลื่อนเหลื่อมข้างแนวยืนในทิศทางตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีผลให้เกิด half และ graben ต่อเนื่องตามมาในยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนกลางหรือตอนบน ในยุคเพอร์เมี่ยนตอนกลาง แผ่นฐานธรณีฉานไทยเกิดชนกันกับแผ่น Yangze ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ที่เรียกว่า Song Da ขึ้นไปอยู่ทางตอนเหนือของเวียตนาม และในยุคของเพอร์เมี่ยนตอนบน ถึงยุคไทรแอสซิกตอนล่างการฉีกเลื่อนเหลื่อมข้างแนวยืน (wrenching) ของแผ่นดินไปทางขวา ก่อให้เกิดการเปิดออก และการโค้งตัวของแอ่ง นอกจากนี้มีการเลื่อนขนานไปทางซ้ายเล็ก ๆ ด้วย ดูได้จากรูปร่างของแอ่ง Hoang Son เมื่อแอ่ง Song Da เปิดออกเต็มที่แล้ว มีความเป็นไปได้ว่ามีการแทรกดันของเปลือกแผ่นผืนสมุทร (oceanic crust) และทางด้านตะวันตกมีการมุดตัวสัมพันธ์กับหินแกรนิตชนิด ไอ.

Bunopas และ Vella (1983, 1992) จัดแบ่งวิวัฒนาการทางการแปรสัณฐานของประเทศไทย และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ตามช่วงเวลาของการแปรสัณฐาน ลักษณะปรากฏของหิน โครงสร้าง และเหตุการณ์แปรสัณฐาน ได้แก่ Archeotectonics, Paleotectonics, Mesotectonics, และ Neotectonics (รูปที่ 3.5)

3.3.1 อาร์คีโอเทคโทนิค (Archeotectonics)

เป็นวิวัฒนาการในระยะเริ่มแรก โดยแผ่นฐานธรณีฉานไทย และอินโดไชน่า ยังคงเป็นส่วนที่ติดอยู่กับแผ่นดินกอนด์วานา ทางด้านตะวันตกเฉียงเหนือของออสเตรเลียทางตะวันออกของแผ่นดินกอนด์วานา ใน Southern hemisphere ตลอดช่วงมหายุคพรีแคมเบรี่ยน ถึงมหายุคพาลีโอโซอิกตอนล่าง

3.3.2 พาลีโอเทคโทนิค (Paleotectonics)

Bunopas และ Vella (1992) แบ่งวิวัฒนาการ ระหว่างแผ่นฐานธรณีฉานไทย และแผ่นฐานธรณีอินโดไชน่าใน Paleotectonicsเป็น 3 ช่วงวิวัฒนาการ ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาของมหายุคพาลีโอโซอิกตอนกลางถึงต้นยุคไทรแอสซิก

ช่วงแรก เป็นการแยกตัวของแผ่นฐานธรณีออกมาจากแผ่นดินกอนด์วานา ในช่วงยุคไซลูเรี่ยน ซึ่งอาจต่อเนื่องขึ้นมาถึงช่วงต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัส และเริ่มมีการสร้างแอ่งสะสมตะกอนบริเวณขอบของแผ่นฐานธรณี โดย Bunopas และ Vella (1983) เชื่อว่าแผ่นของฐานธรณีฉานไทยหรือไซบูมาสุนั้นติดอยู่กับแนวด้านตะวันตกของ ออสเตรเลีย จนกระทั่งช่วงต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัสจึงเริ่มมีการแยกตัวออกมาจากแผ่นดินแม่

จากการจำแนกรายละเอียดพบว่าบริเวณประเทศไทยและมาเลเซียรวมถึงเวียตนามนั้นพบว่าเคยเป็นทะเล ซึ่งบริเวณมาเลเซียคาดว่าจะเป็นน้ำลึกส่วนที่เวียตนามจะเป็นลักษณะน้ำตื้น ตอนปลายยุค Ordovician นั้นประเทศไทยจะเป็นช่วงที่น้ำทะเลลดต่ำลงมากซึ่ง Bunopas (1992) เชื่อว่าเวลานั้นทะเลบางส่วนอยู่ที่ทวีป Australia และมีการแยกตัวของฉานไทยออกจาก Australian plate จึงทำให้เกิดภูเขาไฟระเบิดจำนวนมาก

ในช่วง Silurian-Devonian Indochina plate เกิด pair benioff zone ทำให้ได้สุโขทัยแกรนิตขึ้น และยังเกิด continental rift และมีการ subduction เกิดขึ้น ส่วนที่พม่านั้นยังเป็นทะเลอยู่ซึ่งทางตอนใต้จะตื้นกว่าทางตอนเหนือ

ในช่วง Devonian นั้น Shanthai และ Indochina แยกตัวออกจาก Mother continental

ช่วงที่สอง เป็นเวลาที่แผ่นฐานธรณีฉานไทย มีการเคลื่อนตัวไกลออกมาจากแผ่นดินเดิม แต่ยังคงมีตำแหน่งใน southern latitude ในทะเลโบราณ ในช่วงเวลาของยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนล่างต่อยุคเพอร์เมี่ยนตอนบน

บริเวณประเทศไทยและมาเลเซียรวมถึงเวียตนามนั้นพบว่าเคยเป็นทะเล ซึ่งบริเวณมาเลเซียคาดว่าจะเป็นน้ำลึกส่วนที่เวียดนามจะเป็นลักษณะน้ำตื้น ตอนปลายยุค Ordovician นั้นประเทศไทยจะเป็นช่วงที่น้ำทะเลลดต่ำลงมากซึ่ง Bunopas (1992) เชื่อว่าเวลานั้นทะเลบางส่วนอยู่ที่ทวีป Australia และมีการแยกตัวของฉานไทยออกจาก Australian plate จึงทำให้เกิดภูเขาไฟระเบิดจำนวนมาก

ในช่วง Silurian-Devonian Indochina plate เกิด pair benioff zone ทำให้ได้สุโขทัยแกรนิตขึ้น และยังเกิด continental rift และมีการ subduction เกิดขึ้น ส่วนที่พม่านั้นยังเป็นทะเลอยู่ซึ่งทางตอนใต้จะตื้นกว่าทางตอนเหนือ

ในช่วง Devonian นั้น Shanthai และ Indochina แยกตัวออกจาก Mother continental และ

ช่วงสุดท้าย แผ่นฐานธรณีเคลื่อนตัวในทะเลโบราณ ที่มีวิวัฒนาการของการแปรสัณฐานของแผ่นฐานธรณีฉานไทยจาก low southern latitude ผ่านเส้นศูนย์สูตร ขึ้นไปในบริเวณของ low northern latitude อย่างรวดเร็ว จนชนกับแผ่นฐานธรณีอินโดไชน่า ซึ่งเคลื่อนตัวมาอยู่ในตำแหน่งดังกล่าวก่อนหน้านี้แล้วตั้งแต่ต้นยุคเพอร์เมี่ยน โดยข้อมูลของแม่เหล็กบรรพกาล บ่งชี้ว่าการเคลื่อนตัวของแผ่นฐานธรณีฉานไทย จาก low southern hemisphere ขึ้นไปในตำแหน่งของ low northern hemisphere มีการหมุนตัวของแผ่นดินเป็นมุมเกือบ 180 องศา ในแนวระนาบ ตั้งแต่ช่วงต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงช่วงต้นยุคไทรแอสซิก (รูปที่ 3.5-3.8)

จากการวิเคราะห์ต่อแสดงให้เห็นว่า ยุค Carboniferous ในช่วงเวลานี้แผ่นทวีปต่างๆแยกออกจากกันอย่างชัดเจนและมีการเคลื่อนที่ด้วยอัตราการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว

ยุค Permian เป็นช่วงที่น้ำทะเลขึ้นสูงมาก Shanthai และ Indochina หยุดการ subduction คาดว่ามีการหยุดพักของการ Subduction ชั่วคราวเน่องจากพบว่าหลายบริเวณเกิด shelf carbonate platform และที่ Ton Le Sap lake ในกัมพูชาก็เป็นหินชุดเดียวกับ Saraburi group ในประเทศไทย ในช่วง late Permian เกิดการ subduction volcanic relate ที่บริเวณตะวันตกของ Indochina ตั้งแต่บริเวณจังหวัดเลย เพชรบูรณ์ สระแก้ว ของประเทศไทย ซึ่งหินที่พบเป็น calc alkali flow และยังพบ basalt และ andesite รวมถึง rhyolite ด้วย ส่วนทางตะวันออกของ Indochina นั้นยังคงเป็นทะเลน้ำลึกและอุณหภูมิค่อนข้างต่ำ

3.3.3 มีโสเทคโทนิค (Mesotectonics)

Shanthai plate ชน Indochina plate ตั้งแต่ late Triassic ถึง early Jurassic โดยที่ Indochina เป็นตัวที่มุดลงไปในแนวตะวันตกของการมุดตัวของแผ่นทวีปมีผลทำให้ Shanthai ยกตัวขึ้นมาทำให้สามารถพบกับชุด Ophiolite ได้ และแต่เดิม Indochina เป็นทะเลปิดมาก่อนซึ่งจะได้รับตะกอนจาก Continental shelf มีผลทำให้ได้หินชุด red bed ในปัจจุบัน

จากแนวความคิดของ Charusiri, 1997 เชื่อว่า ในช่วงที่ Indochina กำลังเคลื่อนที่มาชน Shanthai จะมีแผ่นธรณีอีก 2 แผ่น ที่กำลังวิ่งชนกันอยู่คือ แผ่นธรณีนครไทย และ แผ่นธรณีลำปาง- เชียงราย โดยที่แผ่น Indochina นั้นไปชนและเกิดการมุดตัวลงไปในแผ่นนครไทยตรงบริเวณแนวการมุดตัวนั้นเกิดเป็น Loei Suture ขึ้น จากนั้น Indochina ก็ดันเอา นครไทยไปชนกับแผ่นธรณี ลำปาง-เชียงรายซึ่งลำปาง-เชียงรายก็ยังมีการ มุดตัวอยู่ทั้งสองฝั่ง คือทางด้าน นครไทยและ Shanthai ซึ่งบริเวณแนวที่ นครไทยชนกับลำปาง-เชียงราย เรียกบริเวณนี้ว่า Nan-Uttradit Suture จากนั้น Indochina ก็ดันต่อไปอีกมีผลทำให้ แผ่นธรณี ลำปาง - เชียงราย มุดตัวลงไปใน Shanthai ซึ่งบริเวณนี้เรียกว่า Chiang Mai Suture จากนั้น Indochina ก็ดันเอาอนุทวีปทั้งหมด มุดตัวลงไปใน Shanthai ทำให้เกิดการผลิกย้อนขึ้น

ในระหว่างช่วงยุคไทรแอสซิกตอนกลางรอยต่อของแผ่นฐานธรณีฉานไทย และอินโดไชน่าเชื่อมเป็นรอยต่อเดียวกัน และเคลื่อนเข้าไปใกล้กับแผ่นดินจีนใต้ การชนกันของแผ่นทวีปกับแผ่นทวีประหว่างฉานไทย และอินโดไชน่า ทำให้เป็นจุดเริ่มต้นของการก่อเทือกเขาอินโดไชเนี่ยน (Indosinian orogeny) โดยแผ่นฐานธรณีอินโดไชน่ามีแนวของการเลื่อนย้อนมุดตัวลงไปใต้แผ่นฐานธรณีฉานไทย

ในช่วงของมหายุคพาลีโอโซอิก ภายหลังการชนกันของแผ่นฐานธรณีทั้งสองแล้ว มีการก่อเทือกเขาเป็นแนวยาวตามรอยต่อของแผ่นดินดังกล่าว โดยเฉพาะบริเวณขอบแผ่นดินของแผ่นฐานธรณีฉานไทย ที่มีการเลื่อนย้อนขึ้นไปด้านบนในขณะนั้นมีการแทรกดันของหินแกรนิตเข้าไปในหินตะกอนที่ปิดทับอยู่ และจะกลายเป็นหินไรโอไรต์ถ้าการแทรกดันนั้นโผล่พ้นผิวแผ่นฐานธรณีขึ้นมา ส่วนบริเวณที่ยกตัวสูงเป็นภูเขาก็มีการกัดกร่อนให้ตะกอนสะสมของแผ่นดิน (mollasse) เป็นตะกอนแดง

แทบทั้งหมด ซึ่งสะสมเป็นแนวทั้งสองด้านของแนวรอยต่อแผ่นดินดังกล่าวโดยเฉพาะมีการสะสมบนแผ่นฐานธรณีอินโดไชน่าอย่างกว้างขวาง

3.3.4 นีโอเทคโทนิค (Neotectonics)

เป็นกระบวนการแยกตัวของแผ่นดินในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และการเปิดออกของอ่าวไทย ซึ่งเชื่อว่าเป็นผลมาจากการดึงตัวของพื้นที่ในช่วงยุคครีเทเชียสถึงยุคเทอร์เชียรี่ เป็นเหตุการณ์ที่กำหนดให้เป็นจุดต่อของการแปรสัณฐานใหม่ (Neotectonics) ซึ่งมีการยกตัวของแผ่นดินอย่างรวดเร็ว มีการก่อเทือกเขาและมีการสะสมตะกอนในแอ่งยุคควอเทอร์นารี่

ในมหายุคซีโนโซอิก เชื่อว่าการเกิดของแอ่งเทอร์เชียรี่ในประเทศไทย เกิดขึ้นเนื่องมาจากการทรุดตัวของรอยเลื่อนตามแนวระดับ ในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ และในแนวเหนือ-ใต้ ที่มีการหมุนตัวไปตามแนวเข็มนาฬิกาบนแผ่นเปลือกทวีป (crust block) โดยมีการเกิดของแนวหินอัคนีประเภท แกรนิตชนิดเอส และชนิดไอ และแนวของหินภูเขาไฟเป็นหลักฐานที่สนับสนุนแนวความคิดนี้

การกำเนิดเป็นรูปร่างของอ่าวไทยนั้นมาจากการแยกตัวของ sea-floor spreading ในระหว่างปลายยุค ครีเทเชียส หรือซีโนโซอิก (Bunopas และ Vella, 1983) บนแผ่นดินมีการแยกตัวตั้งแต่ตอนเหนือของกรุงเทพ แสดงโดยลักษณะของกราเบน (graben) และการกดตัว (depression) ของเจ้าพระยาเป็นแนวแคบยาวไปทางทิศเหนือของจังหวัดสุโขทัย

ยุคซีโนโซอิก พื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีเหตุการณ์ทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานที่สำคัญๆ อยู่ 3 เหตุการณ์ ดังนี้

1) การชนกันของแผ่นธรณีอินเดียกับยูเรเซีย
2) การหมุนตัวในอดีตของแผ่นธรณีที่ทะเลฟิลิปปินส์ และ
3) แผ่นออสเตรเลียกำลังเคลื่อนที่เข้าชนฝั่งตะวันออกของอินโดนีเซีย

โดยรูปแบบการชนกันของแผ่นธรณีอินเดียกับยูเรเซียในสมัยอีโอซีน (Eocene) แสดงโดยการพวยพุ่งของลาวาตามแนวรอยเลื่อนตามแนวระดับ หรือความหนาของเปลือกโลก และการเคลื่อนที่ของทวีปจากแนวความคิดทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานในปัจจุบันของเอเชียกลาง แสดงให้เห็นว่ามีการหมุนตัวและมีการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อนตามแนวระดับและมีการแทนที่ของเปลือกทวีปทางด้านตะวันออก การเคลื่อนที่ของธรณีแปรสัณฐานในช่วงยุคไมโอซีน (Miocene) ตอนต้นจนถึงตอนกลางนั้น มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับบริเวณการชนกันและการพวยพุ่งจากชั้นเนื้อโลก (mantle-plume) ที่ก่อให้เกิดการแยกตัวของแผ่นเปลือกโลก (drustal rifting)

ในประเทศไทยมีช่วงการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาแปรสัณฐานที่สำคัญในมหายุคมีโซโซอิกตอนปลายที่เกิดขึ้นพร้อมกันและมีความสัมพันธ์กันกับการชนกันระหว่างคาบสมุทรอินเดียกับทวีปเอเชีย ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2545) นั่นคือรอย

เลื่อนในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้เกิดการคลื่นที่ทวนเข็มนาฬิกา ส่วนรอยเลื่อนตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้เคลื่อนตัวในทิศตามเข็มนาฬิกา และเกิดการแทรกดันของหินอัคนีบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ระหว่างแนวรอยเลื่อนแม่น้ำแดง แนวรอยเลื่อนเม่ปิง และแนวรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ เชื่อว่าทำให้เริ่มเกิดแอ่งตะกอนชนิดถูกดึง (pull-apart basin) เกิดการสะสมตัวของหินยุคเทอร์เชียรี เกิดการยุบตัวซึ่งทำให้เกิดการเปิดของอ่าวไทย, ทะเลจีนใต้ เป็นต้น เนื่องจากแรงดึงออกในแนวตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งเกี่ยวข้องกับความร้อนที่พวยพุงจากชั้นเนื้อโลก พร้อมกันนี้เกิดการยกตัวอย่างกว้างขวางในปลายสมัยอีโอซีน

กระบวนการธรณีแปรสัณฐานก่อให้เกิดลักษณะต่างๆในโลกอย่างมากมาย เช่น การเกิดเทือกเขาและแอ่งสะสมตะกอน กิจกรรมของภูเขาไฟ การคดโค้ง รอยเลื่อนต่างๆ รวมถึงการเกิดแผ่นดินไหว ซึ่งสาเหตุของการเกิดแผ่นดินไหวสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ 1) แผ่นดินไหวที่เกิดจากมนุษย์ และ 2) แผ่นดินไหวที่เกิดจากธรรมชาติ ซึ่งแผ่นดินไหวจากธรรมชาติมีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับธรณีวิทยาแปรสัณฐานยุคใหม่ ทฤษฎีกลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบันมีอยู่ 2 ทฤษฎี คือ

1) ทฤษฎีว่าด้วยการขยายของเปลือกโลก (Dilation source theory) เชื่อว่าแผ่นดินไหวเกิดจากการที่เปลือกโลกเกิดการโค้งงออย่างฉับพลัน และเมื่อวัตถุขาดออกจากกันจึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแผ่นดินไหว

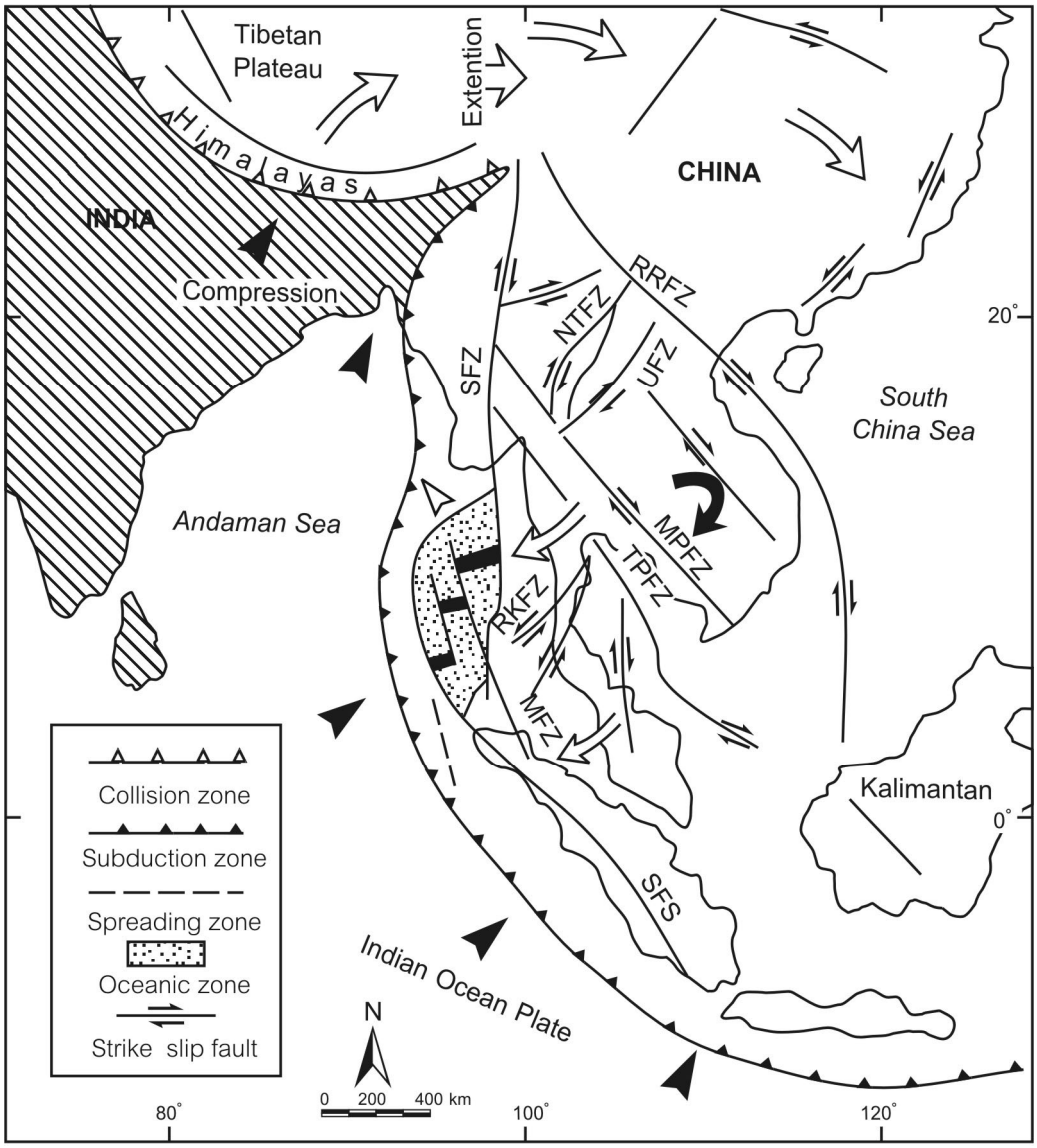
2) ทฤษฎีว่าด้วยการคืนตัวของวัตถุ (Elastic rebound theory) เชื่อว่าแผ่นดินไหวเกิดจากการสั่นสะเทือนอันเป็นผลมาจากการเคลื่อนตัวของรอยเลื่อน (Fault) เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ถึงจุดหนึ่งวัตถุจะขาดออกจากกันและเสียรูปเดิม ทฤษฎีนี้สนับสนุนแนวคิดที่เชื่อว่าแผ่นดินไหวมีกลไกการกำเนิดเกี่ยวข้องโดยตรงและใกล้ชิดกับแนวรอยเลื่อนต่างๆ ที่เกิดขึ้นอันเป็นผลจากการแปรสัณฐานของเปลือกโลก โดยเฉพาะรอยเลื่อนมีพลัง (Active fault) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกะบวนการธรณีแปรสัณฐานยุคใหม่

ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2543 สรุปโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีความสัมพันธ์กับแผ่นดินไหวบนทวีปในพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากข้อมูลภาพดาวเทียมและข้อมูลธรณีวิทยาอ้างอิงออกเป็นกลุ่มรอยเลื่อนใหญ่ๆ จำนวน 7 รอยเลื่อน ซึ่งจากโครงสร้างแนวเส้นของรอยเลื่อนที่ปรากฏบนภาพดาวเทียมพบว่า กลุ่มรอยเลื่อนมีทิศทางการวางตัว 3 แนวได้แก่ แนวเหนือ-ใต้, แนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ กลุ่มรอยเลื่อนมีดังนี้ (รูปที่ 3.9-3.10)

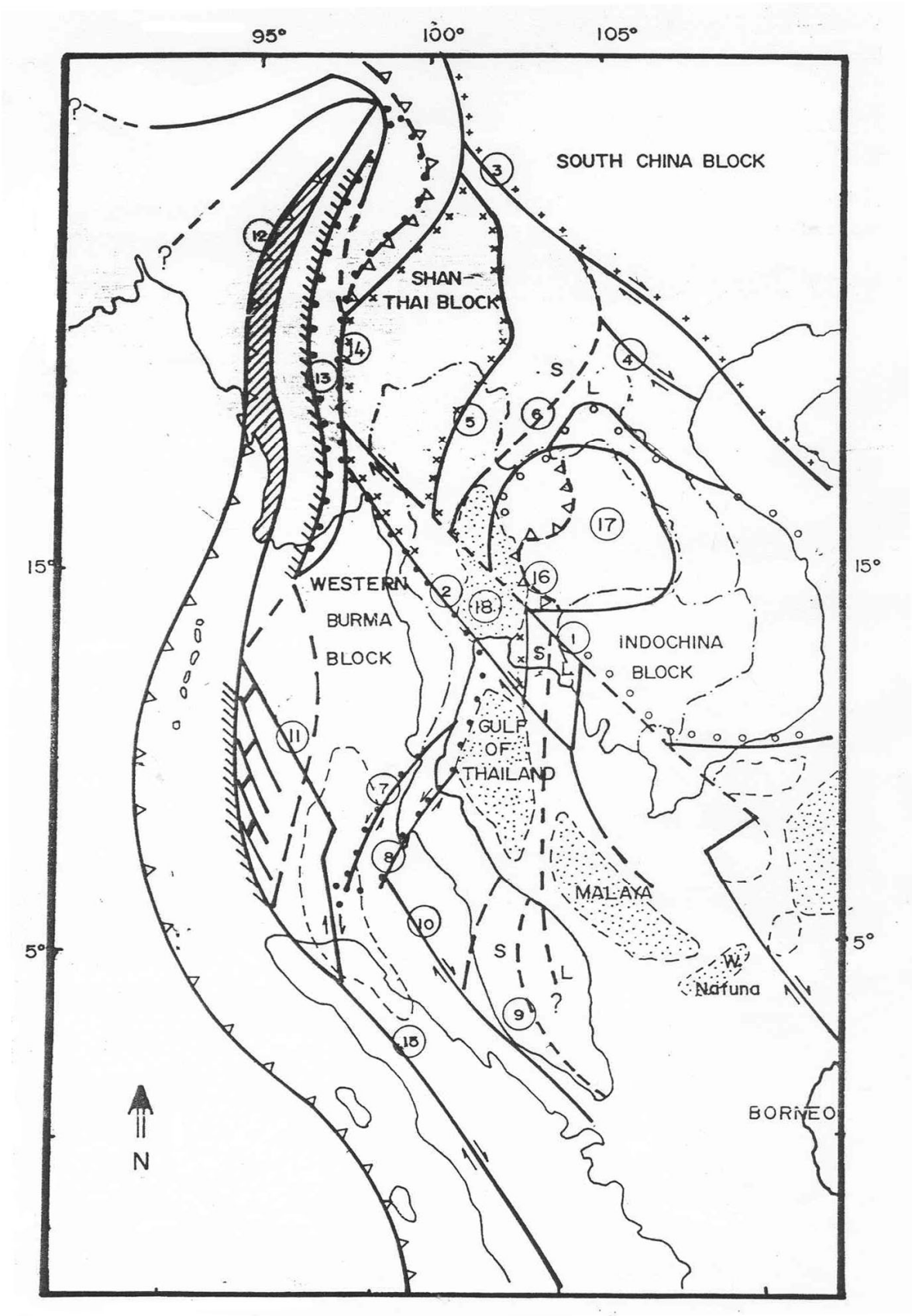
1) กลุ่มรอยเลื่อนเทือกเขาอินโด-พม่า (Indo-Burman Ranges Fault Zone) เป็นรอยเลื่อนย้อนกลับทิศตะวันออกของเทือเขาซึ่งเป็นแนวยาวในทิศเหนือ-ใต้ จนถึงลุ่มน้ำอิระวดีฝั่งตะวันตก และจากข้อมูลแปรแผ่นดินไหวสามารถสรุปแน่นอนได้ว่ากลุ่มรอยเลื่อนนี้เป็นรอยเลื่อนมีพลัง

2) กลุ่มรอยเลื่อนสะเกียง-ปานหลวง-ตวงกุย (Sagaing-Panlaung-Tuanggui Fault Zone) เป็นรอยระนาบขวาเข้าครอบลุมพื้นที่ตั้งแต่ฝั่งตะวันออกของแม่น้ำอิระวดีซึ่งครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของที่ราบลุ่มมภาคกลางของพม่าจนถึงฝั้งตะวันตกของแม่น้ำสะโตง จากข้อมูลแผ่นดินไหวพบว่ามีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มาก (>7 ริกเตอร์) อย่างน้อย 4 ครั้ง
3) กลุ่มรอยเลื่อนนานติง-เปาซาน-เชียงราย (Nanting-Paosan-Chaing Rai Fault Zone) มีการวางตัวในแนวเกือบตะวันออก-ตะวันตก จากข้อมูลแผ่นดินไหวคาดว่าน่าจะเป็นแนวรอยเลื่อนมีพลังอยู่ กลุ่มรอยเลื่อนนี้มีความสำคัญมากที่สุดกลุ่มหนึ่งตามทฤษฎีธรณีวิทยาแปรสัณฐาน ซึ่งพบว่าแนวรอยเลื่อนบริเวณนี้เป็นจุดอ่อนตัวที่สุดของแผ่นทวีปเดิม ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวเป็นไปได้มาก
4) กลุ่มรอยเลื่อนแม่น้ำแดง-มา-ดา (Red-Ma-Da Fault Zone) วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ จากข้อมูลแผ่นดินไหวบริเวณกลุ่มรอยเลื่อนนี้พบว่ามีความรุนแรงในส่วนของรอยเลื่อนในเขตมณฑลยูนานมากกว่าบริเวณเวียดนามตอนเหนือ ในแง่ของธรณีวิทยาแปรสัณฐานกลุ่มรอยเลื่อนนี้เป็นรอยต่อหรือตะเข็บโลกที่เกิดจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน กับแผ่นจีนใต้ ในยุคไทรแอสซิกตอนปลาย ทำให้น่าจะเป็นบริเวณที่มีความอ่อนตัวของเปลือกโลกอย่างมาก มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวได้ง่ายเมื่อเกิดการหมุนตัวของแผ่นเปลือกโลกเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จากการดันตัวของแผ่นทวีปอินเดีย
5) กลุ่มรอยเลื่อนแม่สะเรียง-แม่ปิง-ด่านเจดีย์สามองค์(Mae Sariang-Mae Ping-Three Pagoda Fault Zone) วางตัวทางด้านตะวันตกของประเทศไทย โดยกลุ่มรอยเลื่อนแม่ฮ่องสอนวางตัวในแนวเกือบเหนือ-ใต้ ทอดตัวลงมาต่อเข้ากับกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิง-เจดีย์สามองค์ ซึ่งวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ จากข้อมูลแผ่นดินไหวพบว่ามีขนาดเล็กและเกิดเป็นกระจุกในเขตประเทศพม่ามากกว่าที่เกิดในประเทศไทย ในแง่ของอายุรอยเลื่อนจัดว่าเป็นรอยเลื่อนมีพลัง สอดคล้องกับหลักฐานทางธรณีวิทยาแปรสัณฐาน
6) กลุ่มรอยเลื่อนเดียนเบียนฟู-หลวงพระบาง-แพร่-เถิน-อุตรดิถต์ (Dien Bien Phu-Luang Prabang-Phrae-Thoen-Uttradit Fault Zone) วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ จากข้อมูลแผ่นดินไหวพบว่ามักจะเกิดแผ่นดินไหวขนาดเล็ก (3-4 ริกเตอร์) บ่อยครั้ง ทางด้านของธรณีวิทยาแปรสัณฐาน กลุ่มรอยเลื่อนนี้เป็นรอยตะเข็บโลก จากการชนกันของแผ่นจุลทวีปฉาน-ไทยและจุลทวีปอินโดจีน ทำให้เป็นบริเวณที่มีความหยุ่นและอ่อนตัวมากมีโอกาสในการเกิดแผ่นดินไหวมา สอดคล้องกับการหาอายุรอยเลื่อนซึ่งใหม่มาก
7) กลุ่มรอยเลื่อนแม่ทา-แม่ริม (Mae Tha-Mae Rim Fault Zone) กลุ่มรอยเลื่อนนี้มีลักษณะคล้ายกับกลุ่มรอยเลื่อนเปาซาน-เชียงราย คือมีลักษณะโค้งรูปตัว S จากข้อมูลแผ่นดินไหว

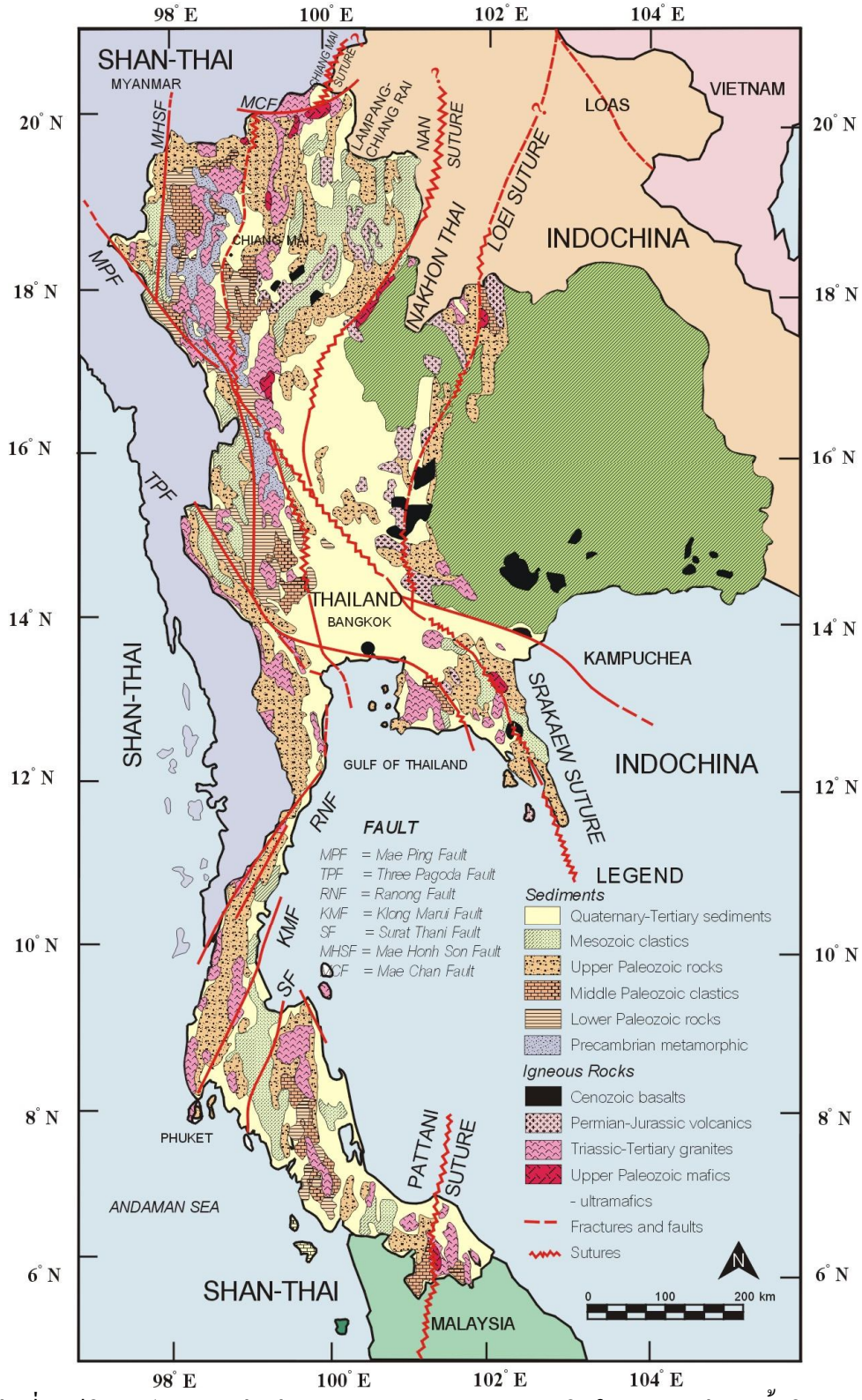
พบว่าส่วนใหญ่มีขนาดประมาณ 3-4 ริกเตอร์ จากการหาอายุรอยเลื่อน (ชัยยันต์ หินทอง, 2538, ส่วนตัว) น่าจะยังคงมีพลังอยู่



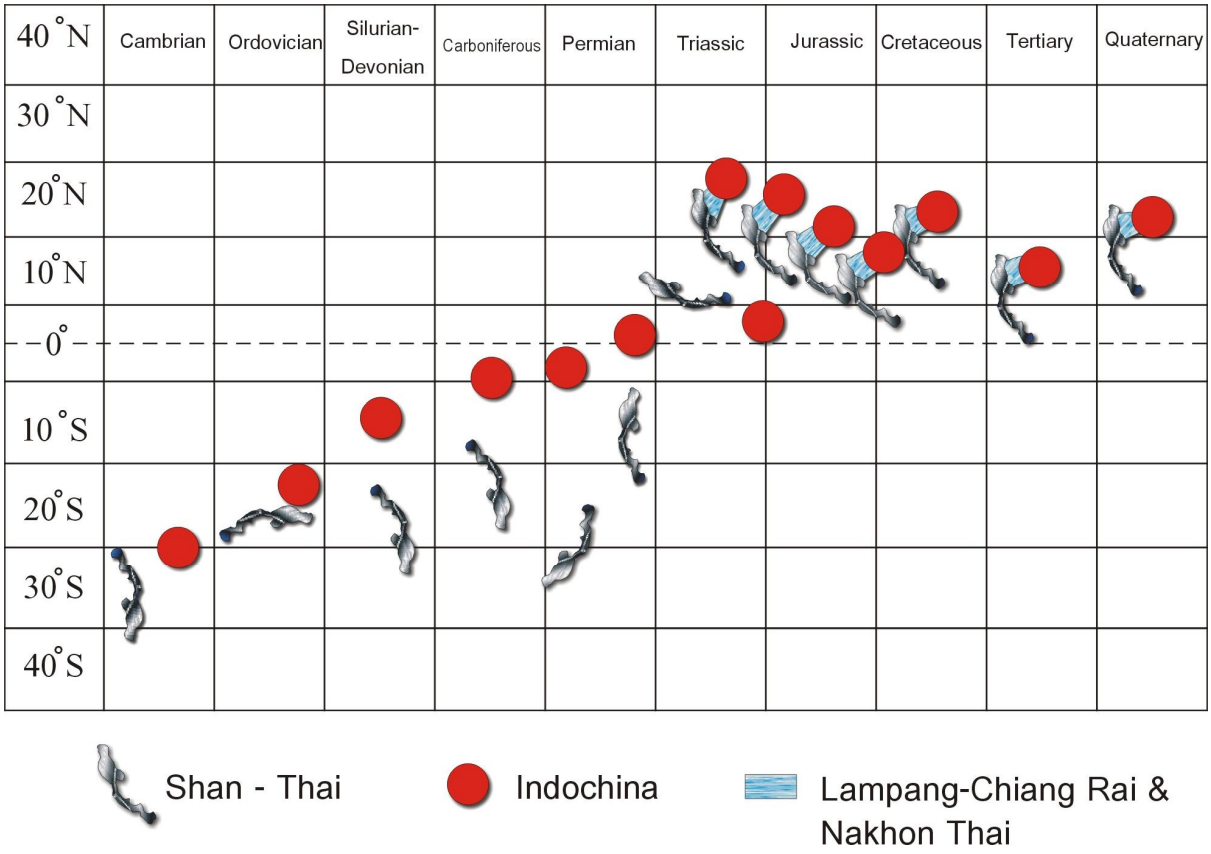
รูป 3.1 โครงร่างการแปรสัณฐานแผ่นเปลือกโลก (Tectonic frame work of plates) ของผืนแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้อันเป็นส่วนหนึ่งของดินแดนซุนดา (Sundaland) ของเอเชีย (ลูกศรขนาดใหญ่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ ลูกศรขนาดเล็กแสดงรอยเลื่อน หลังจากที่ทวีปอินเดียเข้ามาชนทวีปเอเชีย) (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2543)



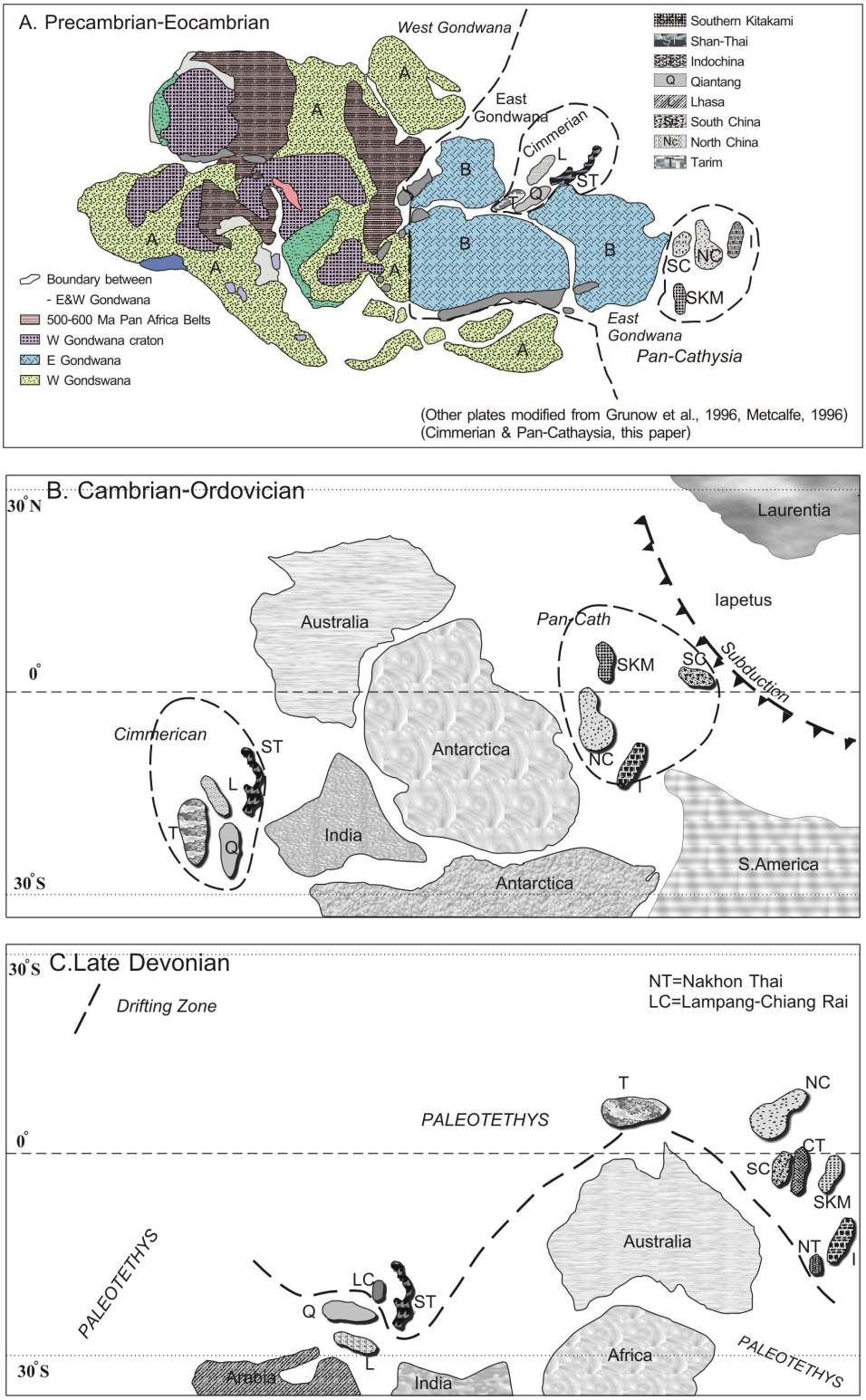
รูป 3.2 แผ่นเปลือกโลกที่ประกอบขึ้นมาเป็นประเทศไทย และรอยเลื่อนใหญ่ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Charusiri และคณะ, 1995)



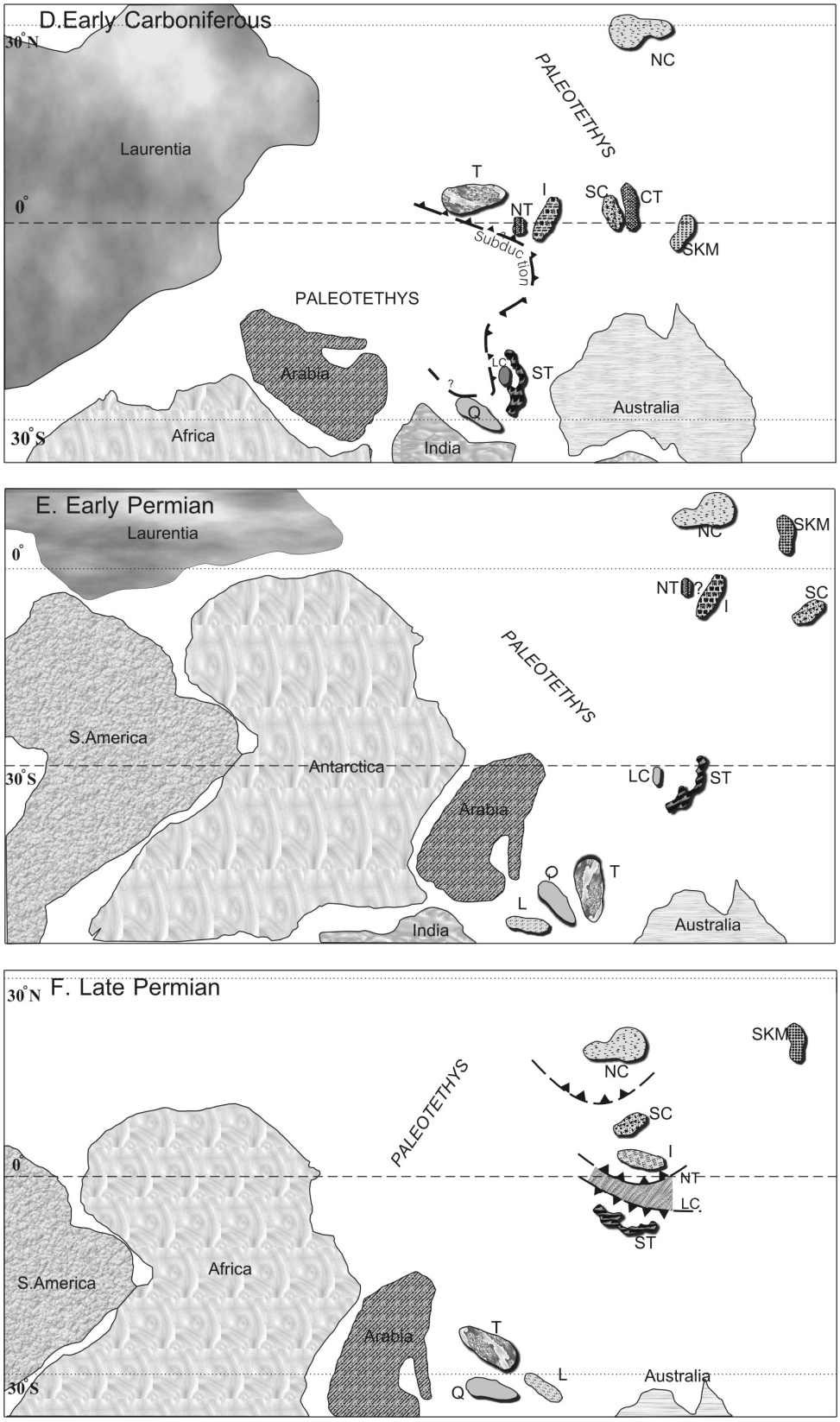
รูป 3.3 แผ่นที่ธรณีวิทยาประเทศอย่างง่าย แสดงการกระจายตัวของหินในมหายุคต่างๆ ทั้งหินตะกอน (แปร) และหินอัคนี และแผ่นเปลือกโลกที่สำคัญ ตลอดจนตะเข็บธรณีและแนวรอยเลื่อนหลักๆ ที่สำคัญของไทย (Charusiri และคณะ, 2002)



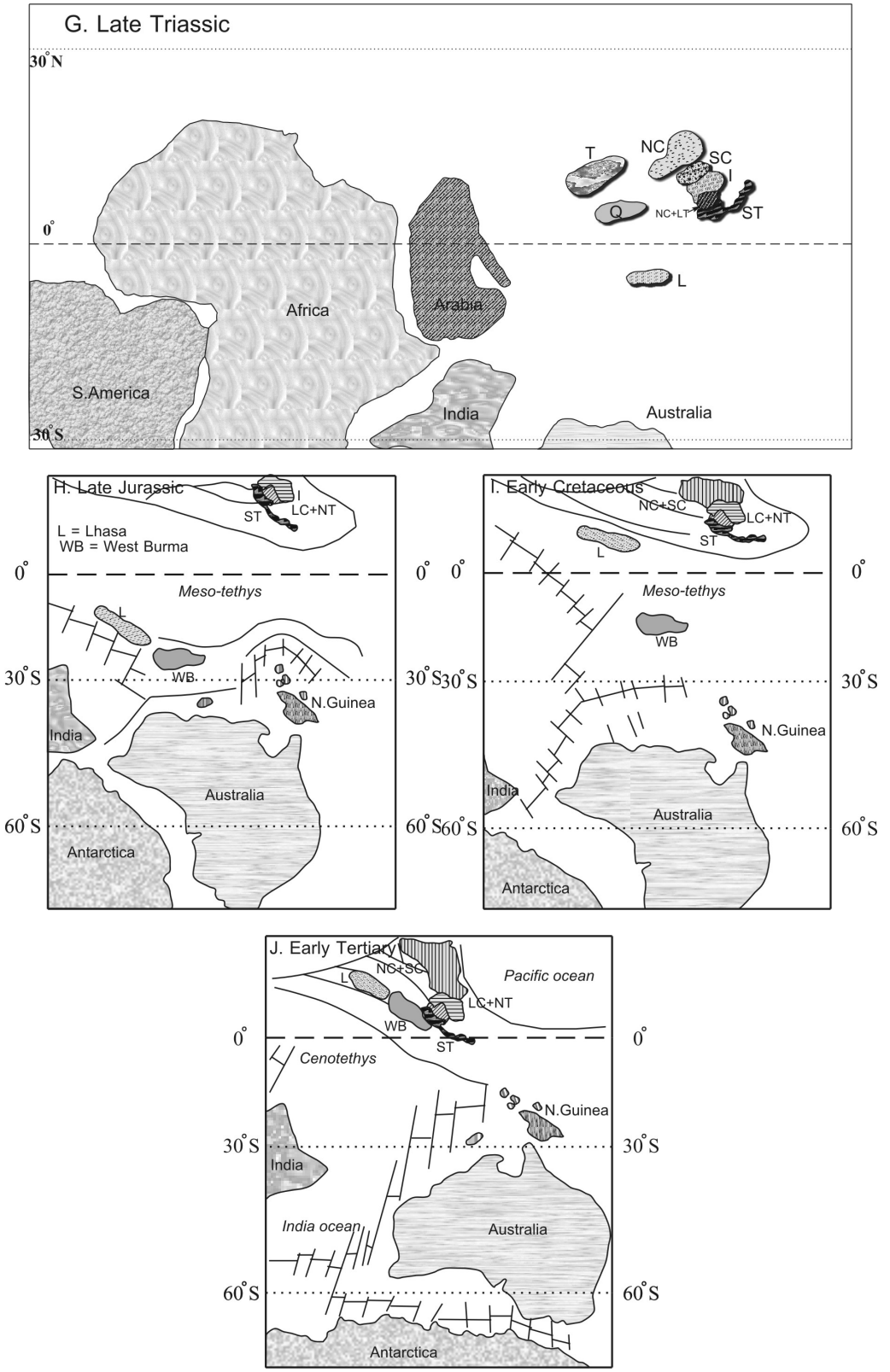
รูป 3.4 ตำแน่งที่ตั้งในอดีตทางภูมิศาสตร์ของแผ่นเปลือกโลกสำคัญๆของไทยในช่วงยุคต่างๆ โดยอาศัยหลักฐานทางสภาวะแม่เหล็กบรรพกาล (ที่มา : แผ่นฉานไทย Bunopas (1981), Bunopas & Vella (1983) แผ่นอินโดจีน Maranate & Vella (1986), Imsamut (1996), แผ่นลำปาง-เชียงรายและแผ่นนครไทย Xu และคณะ (1997), Li & Zhung (1997)) (ปัญญา จารุศิริและคณะ,2545)



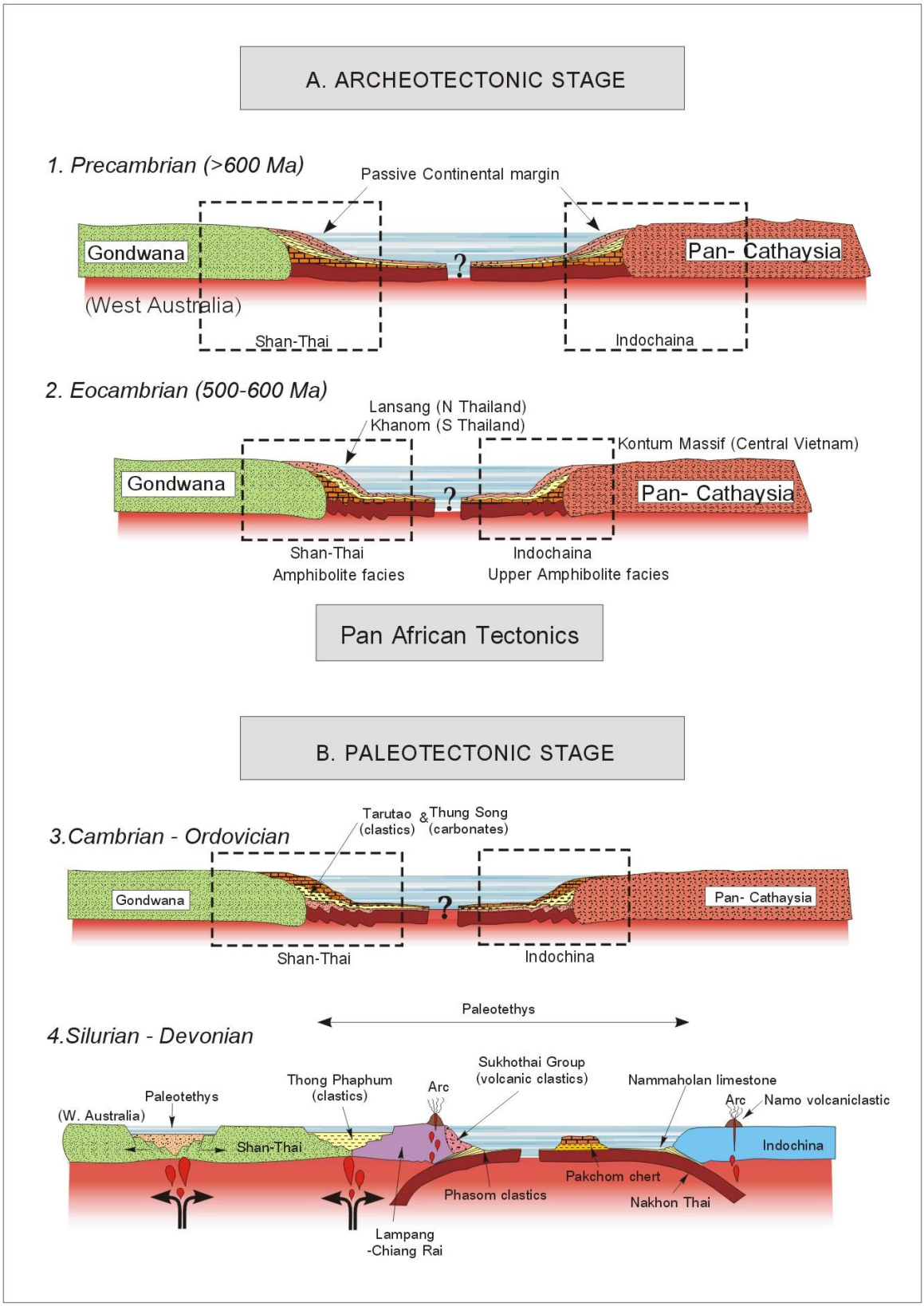
รูปที่ 3.5 การกระจายตัวทางภูมิศาสตร์บรรพกาลของแผ่นดินทวีปฉาน-ไทย อินโดจีน ลำปาง-เชียงราย และนครไทย เมื่อเทียบกับแผ่นมหาทวีปต่างๆ ตั้งแต่ A. แคมเบรียน-อีโอแคมเบรียน B. ยุคแคมเบรียน ออร์โดวิเชียน C. ปลายยุคดิโวเนียน D. ต้นยุคคาร์บอนิฟอรัส E. ต้นยุคเพอร์เมียน F. ปลายยุคเพอร์-เมียน G. ปลายยุคไตรแอสซิค H. ปลายยุคจูแรสซิค I. ต้นยุคครีเตเชียส J. ต้นยุคเทอร์เชียรี (Charusiri และคณะ, 2002)



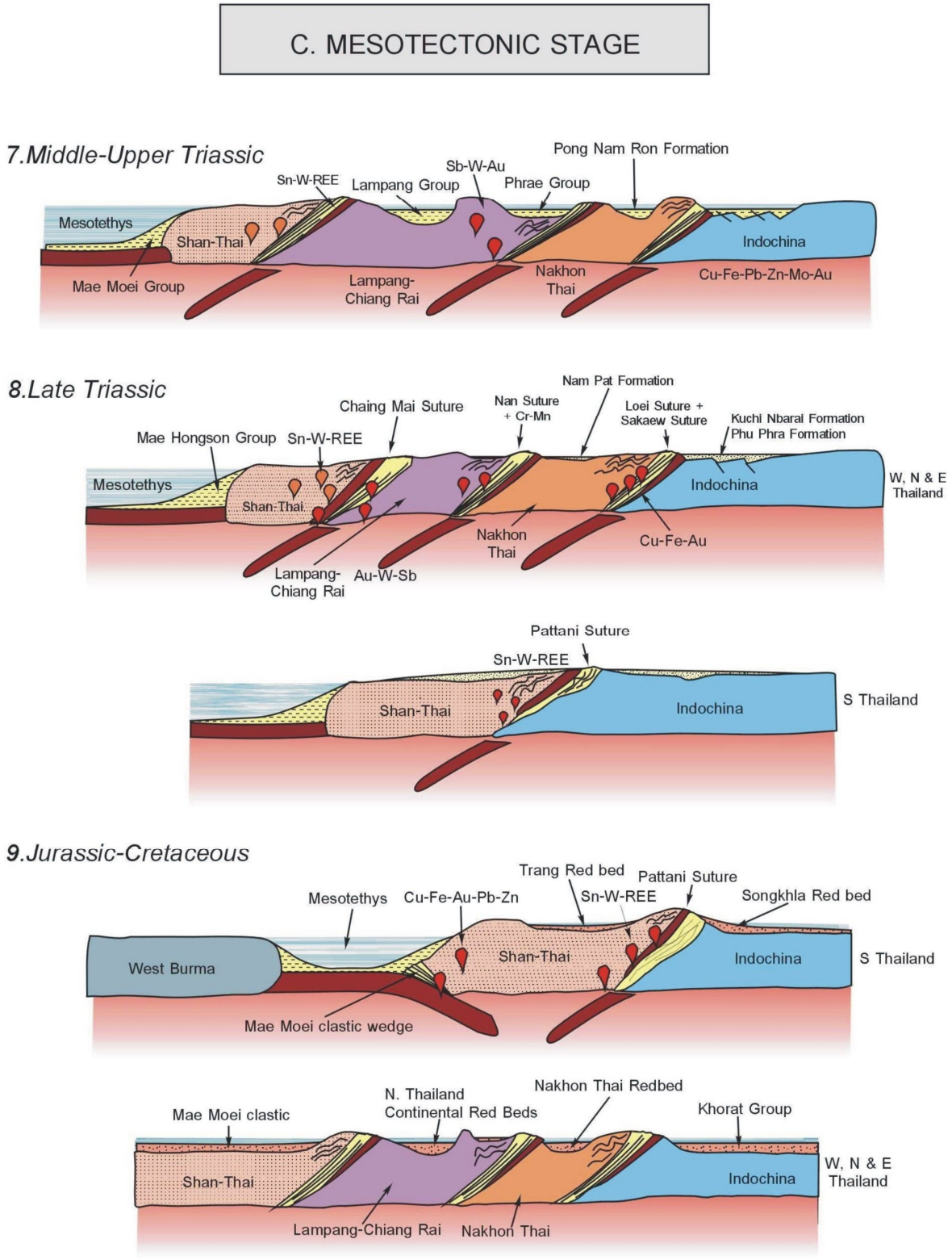
รูปที่ 3.5 การกระจายตัวทางภูมิศาสตร์บรรพกาลของแผ่นดินทวีปฉาน-ไทย อินโดจีน ลำปาง-เชียงราย และนครไทย เมื่อเทียบกับแผ่นมหาทวีปต่างๆ (ต่อ)



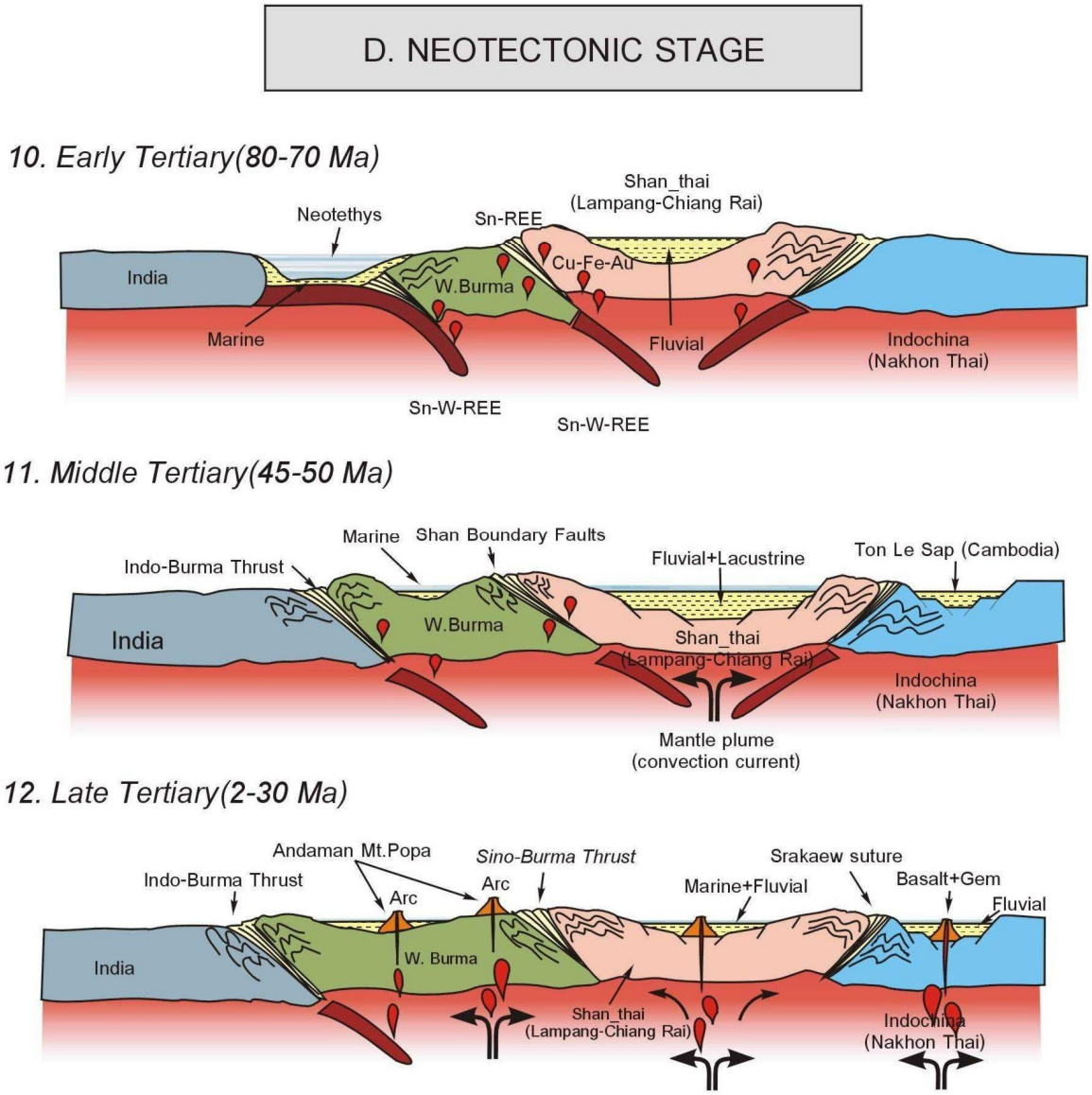
รูปที่ 3.5 การกระจายตัวทางภูมิศาสตร์บรรพกาลของแผ่นดินทวีปฉาน-ไทย อินโดจีน ลำปาง-เชียงราย และนครไทย เมื่อเทียบกับแผ่นมหาทวีปต่างๆ (ต่อ)



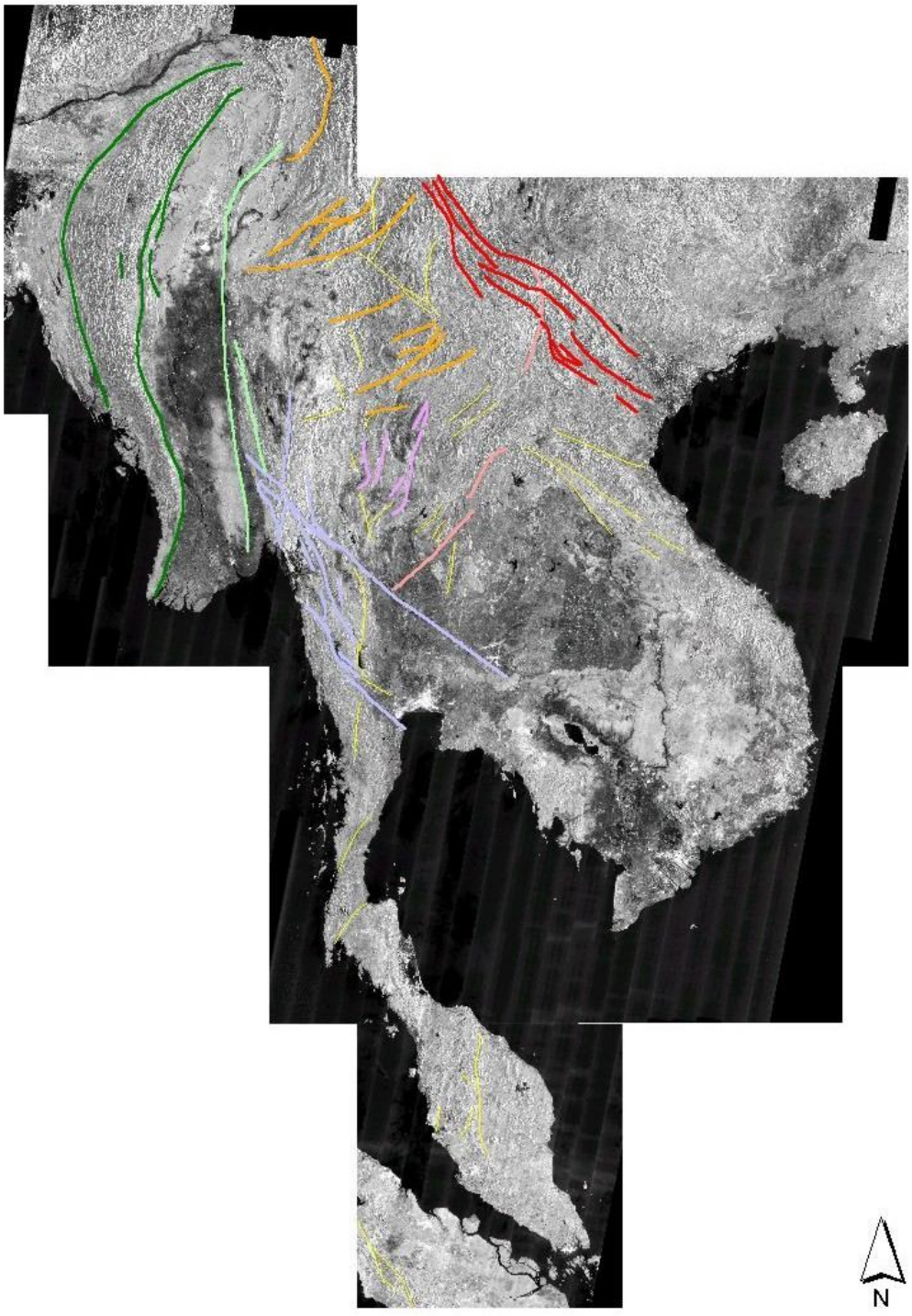
รูป 3.6 แบบจำลองการแปรสัณฐานแผ่นเปลือกโลกในช่วงสมัย A. และ B (Precambrian-Devonian) (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2545)



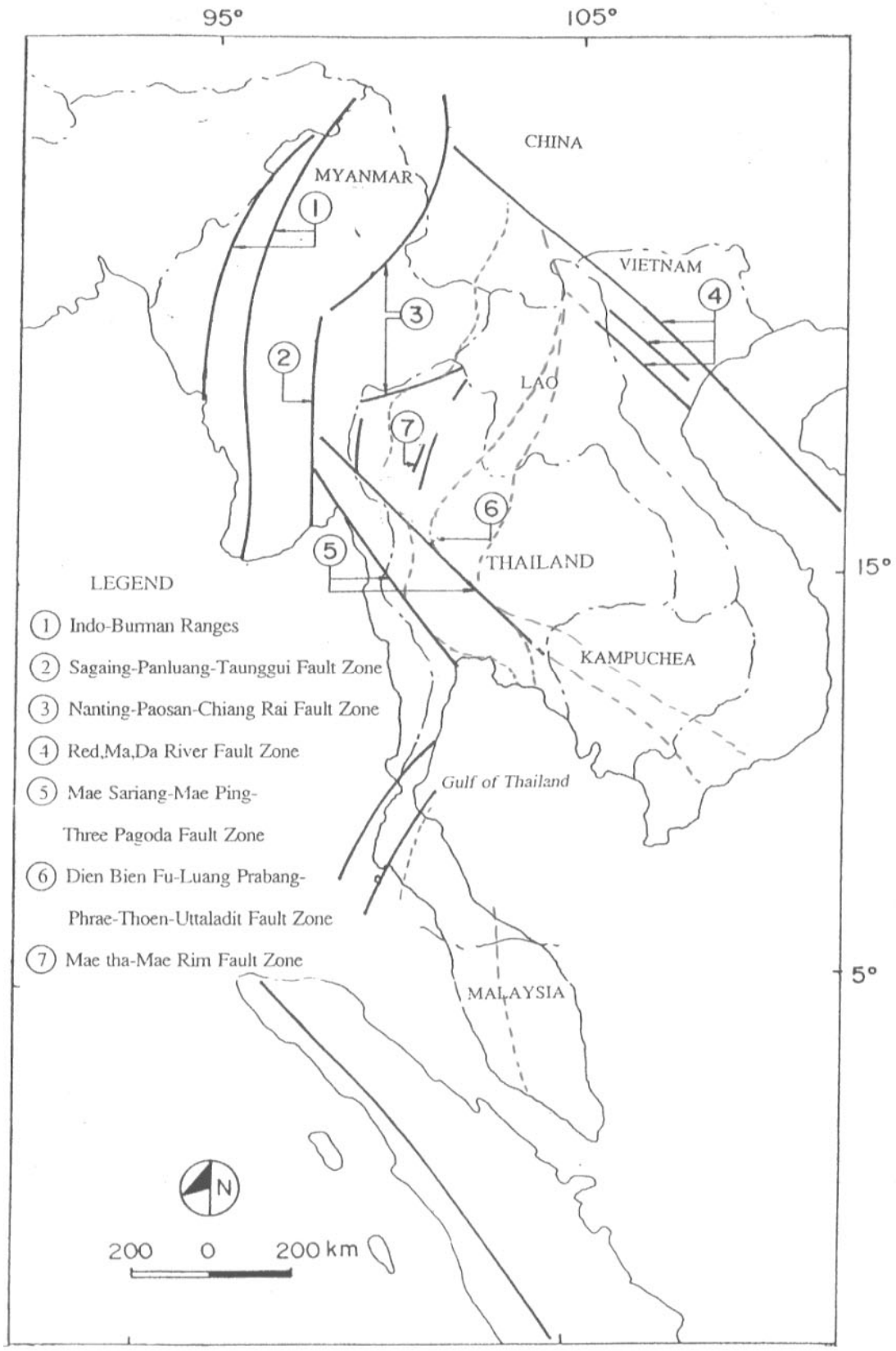
รูป 3.7 แบบจำลองการแปรสัณฐานแผ่นเปลือกโลกในช่วงสมัย C. ขั้นมัชฌิมกาล (Triassic-Cretaceous) (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2545)



รูป 3,8 แบบจำลองการแปรสัณฐานแผ่นเปลือกโลกในช่วงสมัย D. ขั้นนวกาล (Tertiary-Quaternary) (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2545)



รูปที่ 3.9 ภาพจากดาวเทียม JERS-1 SAR และกลุ่มรอยเลื่อนมีพลังสำคัญบริเวณพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้



รูปที่ 3.10 กลุ่มรอยเลื่อนสำคัญบนพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ที่ได้ข้อมูลภาพจากดาวเทียม (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2543)

3.4 ธรณีแปรสัณฐานและโครงสร้างขนาดใหญ่ของตอนใต้ของมณฑล ยูนาน ประเทศจีน

ธรณีแปรสัณฐานและโครงสร้างขนาดใหญ่ (Tectonice and Major Structures)

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่ทำการศึกษานับตั้งแต่ธรณีวิทยาในสนาม ธรณีเคมี ธรณีโครงสร้าง ศิลาวิทยา การจัดลำดับชั้นหิน/ซากดึกดำบรรพ์ ทำให้พอประมวลและจัดแบ่งลักษณะธรณีแปรสัณฐานของบริเวณที่ศึกษาได้เป็นหลายหน่วย จัดแสดงใน **รูป 3.4.1** โดยแบ่งกลุ่มใหญ่ออกเป็น 4 หน่วยแปรสัณฐาน (tectonic unit หรือ block) คือตะวันออกสุดเรียก 1) จุลทวีปแยงซี (Yangtze micro-continent หรือ block) ถัดมาทางตะวันตกเรียก 2) จุลทวีปซิเหมา (ซามโด) (Simao-Qamdo microconti-nent) 3) จุลทวีปเบาซาน (Baoshan microcontinent) และทางตะวันตกสุดเรียก 4) จุลทวีปเทินจง (Tengchong microcontinent) ในที่นี้คือ ส่วนที่เรียกรอยเลื่อนดันขึ้นเกาลีโกงชาน (Gaoli Gongchan Thrust)

ในแต่หน่วยแปรสัณฐานพอแยกรายละเอียดได้ ดังแสดงในหัวข้อข้างล่าง

2.5.1 จุลทวีปแยงซี

จุลทวีปนี้สามารถเรียกได้หลายชื่อในอดีตใช้คำว่าผืนราบแยงซี (Yangtze platfome) หรือต่อมาเรียกฐานทวีปแยงซี (Yangtze massif) และเรียกจุลทวีปแยงซีในปัจจุบัน ประกอบด้วยหินยุคเก่าแก่ที่สุด (Prepaleozoic) จนถึงอ่อนที่สุด (Cenozoic)

ในที่นี้ได้แบ่งจุลทวีปแยกซีออกเป็น 3 ส่วน ด้วยกัน (ดู**รูป 3.4.1**) คือ 1) แนวเลื่อนดันขึ้นเขาอ้ายลาว (Ailaochsn Overthrust Belt) 2) มวลเลื่อนจินผิง (Jinping Gliding Mass) และ 3) รอยต่อธรณีจินชาเจียง-อ้ายลาวซาน (Jinshajiang-Ailao Shan Suture)

ฐานหิน (basement) ที่แก่ที่สุดโผล่ให้เห็นในบริเวณเทือกเขาอ้ายลาว-เดียนชาง (Ailaoshan Diancang shan) เนื่องจากถูกดันเลื่อนขึ้น (thrustion) ไปบนกลุ่มหินตะกอนมหายุคเมโซโซอิก ของแอ่งซิเหมา-ลานปิง (Simao-Lanping Depression) จนทำให้เกิดแนวเลื่อนดันขึ้นเขาอ้ายลาว-เดียนชาง ซึ่งทำให้เกิดร้อยเลื่อนดันขึ้นเป็นชุด ๆ (Yl ใน**รูป 3.4.1**) แถบบริเวณโมเจียง-หยวนเจียง (Mojiang-Yuanjiang) ซึ่งบริเวณนี้มีแหล่งทองมากมาย ฐานหินเขาอ้ายลาวนี้มีอายุพรีแคมเบรียน ได้แก่ มิกมาไทต์ไนส์ (migmatite gneiss), แกรนูไลต์ (granulite), แอมพิโบไลต์ (amphibolite) ชีสต์และหินอ่อน เนื่องจากอิทธิพลของการเลื่อนตัวแบบนี้ทำให้หินเกิดการเปลี่ยนลักษณะแบบโค้งงอ (ductile deformation) และเกิดไมโลไนต์ (mylonite) ชนิดต่าง ๆ มากมาย ในช่วงต่อมาจึงเกิดการลำดับชั้นหินในมหายุคถัดมาแบบไม่ต่อเนื่อง แสดงว่าเกิดกระบวนการยกตัว (uplift) ของเปลือกโลกนั้น จนกระทั่งเกิดการสะสมของตะกอนเม็ด (clastic) และตะกอนเคมี (คาร์บอเนต) ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมแบบสงบนิ่งและน้ำตื้น ขณะเดียวกันก็อาจมีบางแห่งในบางยุค (เช่น ออร์วิเนียน-ไซลูเรียน) ที่เกิดตะกอน

น้ำได้จึงให้หินตะกอนจำพวกหินดินดานมีแกรบโตไลต์ (graptolite shale) และหินทรายสลับ ในตอนช่วงไซลูเรียนตอนปลายเกิดการยกตัวครั้งใหญ่อีกครั้งหลังวจากเกิดสะสมตัวในแอ่งแผ่นดิน (foreland basin) แล้วคต่อมาจึงมีการสะสมตัวของหินคาร์บอเนตยุคคาร์บอนิเฟอรัสเรื่อยมาจนไทรแดสสิก ในช่วงปลายยุคเพอร์เมียนตอนต้น (Late Early Permian) เกิดการปะทุของภูเขาไฟในจุลทวีปแยงซีตอนใต้ ซึ่งอาจปะทุก่อนภูเขาไฟบาหยานห่า (Bauam Har) ที่มีอายุประมาณไทรแอสสิก และเดิมเป็นขอบทวีปศักย์ (passive continental margin) ในทางตอนเหนือและตะวันออกของจุลทวีปแยงซี ต่อมาในช่วงยุคไทรแอสสิกจึงเกิดการสะสมตัวในทะเลตื้นจนเกิดตะกอนทั้งเม็ด และเคมี(คาร์บอเนต) แต่ก็มีบางแห่งอาจเปลี่ยนไปเป็นการสะสมตัวบนบกได้ เนื่องจากพบตะกอนปนถ่านในสมัยปลายยุคไทรแอสสิก ต่อมาจึงเกิดการยกตัวขึ้นอีกสมัยยุคจูแรสสิก เกิดการสะสมตัวของตะกอนบก (non-marine doposit) จนถึงยุคเทอร์เชียรีเกิดการสะสมตัวเฉพาะแอ่งภายใน (Intrabasin) เท่านั้น

ส่วนมวลเลื่อนจินผิง (Y2 ใน**รูป 3.4.1**) ซึ่งแทรกอยู่ระหว่างรอยเลื่อนเขาอ้ายลาว และรอยเลื่อนอบิโด (Abedo Fault) คล้ายสามเหลี่ยมมุมแหลมชี้ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มวลเลื่อนนี้ประกอบด้วยหินที่แก่ที่สุด คือ ยุคออร์โดวิเชียน และมีการสะสมตัวเรื่อยมาจนถึงยุคเพอร์-เมียน ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับ แอ่งยานหยวน-ลิเจียง (Yanyuan-Lijiang depxnian) แถบเมืองตาลีและทางทิศตะวันตกของเมืองคุนหมิง ทำให้เชื่อว่าทั้งมวลเลื่อน จินผิงและแอ่งยานหยวน-ลีเจียว น่าจะเคยติดต่อบนแผ่นเปลือกเดียวกันมาก่อน และน่าจะเป็นส่วนที่เดิมติดต่อกับ ฐานทวีปแยงซี ต่อมาได้แยกตัวออกจากฐานทวีปแยงซีด้วยรอยเลื่อนเขาอ้ายลาวซึ่งเป็นรอยเลื่อนเหลื่อมซ้ายเขา และในที่สุดทั้งมวลเลื่อนตัวจินผิงและแอ่งยานหยวน-ลิเจียง จึงขาดออกจากกันด้วยอิทธิพลของการเลื่อนดันขึ้น (overthrust) ของฐานทวีปแยงซี อีกทั้งยังทำให้แก่นฐานหินแปรเขาอ้ายลาว (Ailao shan metamorphic core complex) ถูกดันตัวขึ้นและโผล่ให้เห็นเป็นแนวเทือกเขาใหญ่ในที่สุด และถ้าเป็นแบบนั้นจริงจากการวิเคราะห์เชิงแผนที่ทำให้เชื่อว่าอิทธิพลการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนทำให้เกิดการเลื่อนตัวไปทางซ้าย (left lateral movement) ที่มีความยาวถึง 500 ± 200 กิโลเมตร และการเลื่อนตัวขนาดยาวมากนี้น่าจะเกิดตอนช่วงยุคไทรแอสสิก เป็นที่น่าสังเกตว่ามวลเลื่อนจินผิงไม่มีชุดหินต้นยุคไทรแอสสิกอยู่ในมวลและจะมีเฉพาะหินในช่วงกลางถึงปลายยุคไทรแอสสิกเท่านั้น โดยเฉพาะทางตะวันตกเฉียงใต้ 0เหมือนที่พบแถบต้าลี่-เซียนหยุน จึงคาดกันว่าช่วงยุคไทรแอสสิกตอนต้น มวลเลื่อนจินผิงคงเกิดการยกตัวขึ้นนอกจากนี้บริเวณแถบเทือกเขาอ้ายลาว และแอ่งซิเหมา-ลานปิง ไม่พบหินยุคไทรแอสสิกตอนต้นเช่นเดียวกัน พบแต่หินช่วงกลางถึงปลายยุคไทรแอสสิกที่เกิดสะสมตัวแบบไม่ต่อเนื่องกับหินมหายุคพาลิโอโซอิกตอนปลายซึ่งเป็นหินแปรอ่อน ๆ จึงมีความเป็นไปได้ที่เมื่อฐานทวีปแยกซีเลื่อนตัวไปทางทิศ

ตะวันตก ตอนช่วงต่อยุคเพอร์เมียน ถึงไทรแอสสิกแล้ว ทำให้ฐานทวีปมุดตัวแบบเฉียง (oblique subductions) เกิดรอยเลื่อนเขาอ้ายลาวในที่สุด

รอยต่อธรณีเขาอ้ายลาว-จินชาเจียง (Y3 ใน**รูป 3.4.1**) ประกอบด้วยกลุ่มหินดันเลื่อนขึ้น (mélange) อันเป็นผลมาจากการชนกันของสองจุลทวีป ในที่นี้คือฐานทวีปแยงซี กับแผ่น (หรือแอ่ง) ซิเหมา กลุ่มหินดังกล่าวจัดเป็นมวลก้อนหินยักษ์หรือเศษหินยักษ์ (exotic block) ที่ประกอบด้วยหินอัคนีสีเข้มและเข้มจัดตั้งแต่หินอัคนีบาดาล (เช่น แกบโบร) จนถึงหินภูเขาไฟ (หินบะซอลต์) และหินคาร์บอเนต หินชนวน หินเชิรต์ จุดที่สำคัญคือ แถบเขาอ้ายลาว เพราะก้อนหินยักษ์ ประกอบด้วยหินหลายจำพวกอายุตั้งแต่ดิโวเนียนจนถึงเพอร์เมียน และเนื้อ (matrix) ของกลุ่มหินดันเลื่อนขึ้นนี้มีอายุตั้งแต่คาร์บอนิเฟอรัส จนถึงไทรแอสสิก ซึ่งเป็นพวกตะกอนน้ำลึก (flysch) ได้แก่หินทราย-หินดินดาน, หินเชิร์ต และหินภูเขาไฟสีเข้มจนถึงสีจาง จากการศึกษาพบว่าก้อนหินปูน (ปนดิน) มีซากโคโนดอนต์ ชื่อ Ancyrodella ioides (Xu และคณะ, 1986) มีอายุปลายยุคดีโวเนียน และในก้อนเชิร์ตขนาดใหญ่พบราดิโอลาเรียน ทำให้กำหนดอายุว่าเป็นยุคเพอร์เมียนได้ ส่วนหินบะซอลต์ที่พบกำหนดอายุให้เป็นช่วงต่อของยุคเพอร์เมียนและคาร์บอนิเฟอรัส และจากข้อมูลธรณีเคมีพบว่า มี K_2O & TiO_2 อยู่ปานกลาง และ REE มีอัตราส่วน chrondnite-normalized แบบราบทำให้เชื่อว่าน่าจะเป็นบะซอลต์ที่มาจากสันสมุทร (ORB-type) ที่มีปริมาณธาตุโดยเฉลี่ยสูงกว่าของสันสมุทรทั่วไปจึงทำให้ไปคล้ายกับบะซอลต์กลางทวีป (continerntal flood basalt) หรือบะซอลต์เกาะ (Oceanici island basalt) มากกว่า อย่างไรก็ตามคงเป็นบะซอลต์ที่กำเนิดมาจากเนื้อโลก (mantle-derived) อยู่ดี ทำให้มีความใกล้ชิดกับหินอัคนีสีเข้ม และเข้มจัด จนจัดให้เป็นหินสกุลโอพิโอไลต์ได้

แม้ว่าการแปรสัณฐานจะรุนแรงและทำให้เกิดการคดโค้ง การดันเลื่อนขึ้นมุมต่ำ (nappe) และการเลื่อนตัวตามแนวระนาบแบบโค้งงอ (ductile lateral shear) แต่การเกิดระดับการแปรสภาพกลับไม่รุนแรง ทำให้ได้เพียงกลุ่มแร่หินแปรขั้นกรีนชีสต์ ซึ่งแสดงถึงการแปรสภาพที่อุณหภูมิสูงแต่ความดันปานกลาง ภาพรวม ๆ ของการแปรสัณฐานอันเนื่องจากการกระทำของแผ่นทวีปแยงซีและซิเหมา การหมุนของแผ่น + แยงซี แต่เดิมหมุนแบบทวนเข็มส่วนในปัจจุบันหมุนแบบตามเข็มนาฬิกา

2.5.2 จุลทวีปวิเหมา (-ชามโค)

จุลทวีปนี้อยู่ระหว่างรอยต่อธรณีวิทยาเขาอ้ายลาว-จินชาเจียง และรอยต่อธรณีลานชางเจียง (**รูป 3.4.1**) ในการวิเคราะห์นี้เรากำหนดให้จุลทวีปซิเหมาประกอบด้วย 3 หน่วยแปรสัณฐานย่อย (subtectonic unites) คือ 1) แนวภูเขาไฟจินหง-ซะดอย (Jinghong-Zadoi Volcanic Arc) 2) แอ่งซิ

เหมา-ไหวซาน (Simao-Weishan Depression) และ 3) แนวภูเขาไฟลูซาน (-ไหวซิ) (Luchun-Weixi Volcanic Arc)

แนวภูเขาไฟลูชุน (S1 ใน**รูป 3.4.1**) ซึ่งอยู่ทางฝั่งตะวันออกสุดของทวีปซิเหมา จัดว่าเป็นส่วนทางใต้สุดของแนวภูเขาไฟจอมดา –ไหวซิ-ลูชุน (Jomda3Weixi3Luchun) อายุประมาณเพอร์เมียน ซึ่งเป็นแนวยาวอยู่ในแนวเกือบตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ และทางเหนือถูกขนาบด้วยแนวรอยเลื่อนทั้งหมด ส่วนทางใต้วางตัวทางด้านตะวันตกสุดของรอยเลื่อนเขาอ้ายลาว แนวภูเขาไฟประกอบด้วย 3 กลุ่ม ด้วยกัน คือ 1) แนวโค้งหลัก (major-arc) 2) แนวโค้งชนกัน (collision arc) และแนวโค้งเฉื่อย (delayed arc) จากการศึกษาธรณีเคมีโดยใช้ไดอะแกรม ATK (**รูป 3.4.2**) ของกลุ่มแนวโค้งหลัก พบว่าหินส่วนใหญ่เป็นแบบเกาะรูปโค้ง (island arc) และ แนวบรรพตรังสรรค์ (orogenic-type) จากข้อมูลธาตุหายากพบว่ามีส่วนที่เทียบได้กับแบบเกาะโค้งโดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตเหล็ก เช่น Al2O3 และ K2O +Na2O เพิ่มขึ้นจากตะวันออกไปตะวันตก แสดงว่าแผ่นสมุทรมุดตัวไปทางตะวันตก (ดูรูป 2.25) อย่างไรก็ตามกลุ่มแนวโค้งหลักไม่พบในบริเวณที่ศึกษา กลุ่มที่สองคือกลุ่มแนวโค้งชนกัน ซึ่งพบในบริเวณลูชุนที่ศึกษา ส่วนใหญ่เป็นหินไรโอไลต์เนื้อดอก (rhyolite porphyry) มีปริมาณ SiO2 และ K2O สูง (73.4% และ 5.2% ตามลำดับ) ซึ่งใกล้เคียงกับหินไรโอไลต์ชนกันของอเมริกาตะวันตก กลุ่มสุดท้าย คือ พวกแนวโค้งเฉื่อย ซึ่งพบบ้างที่ลูชุน ซึ่งเป็นพวกตะกอนภูเขาไฟสลับกับหินละลายสีเข้มปานกลาง (intermediate type) แต่มีมีธาตุโพแทสเซียมค่อนข้างสูงกว่าปกติ ข้อมูลธรณีเคมีของธาตุหายากแสดงว่าหินภูเขาไฟเป็นพวกระหว่างปะทุกลางทวีป (continental intraplate) และแบบเกาะโค้ง แต่กว่าจะปะทุคงกินเวลานานเข้ามาถึงปลายยุคไทรแอสสิก

แอ่งซิเหมา-ไหวซาน (S2 ใน**รูป 3.4.1**) นี้เป็นหน่วยแปรสัณฐานที่อยู่กลางระหว่างแนวภูเขาไฟลูชุน (ทางตะวันออก) กับแนวภูเขาไฟจินหง-ซะคอย (ทางตะวันตก) แอ่งนี้เกิดขึ้นมาบนฐานทวีปที่สงบนิ่งมีอายุประมาณปลายมหายุคพาลิโอโซอิก แอ่งซิเหมานี้เป็นส่วนหนึ่งของแอ่งใหญ่ที่เรียกแอ่งซิเหมา-ชามโค ซึ่งเข้าใจว่าเคยเป็นแอ่งเดียวกันมาก่อน แอ่งชามโคเป็นแอ่งทางเหนืออาจเกิดมาก่อนเพราะหินตะกอนอายุเก่าที่สุดคือ ตะกอนยุคออร์โดวิเชียน-ไซลูเรียน ส่วนแอ่งทางใต้คือ แอ่งซิเหมา(ที่เราศึกษา) เกิดทีหลัง เพราะหินที่แก่ที่สุดอายุไซลูเรียน-ดิโวเนียน ทางจีนให้ข้อมูลว่า แอ่งเหนือสมัยต้นพาลิโอโซอิกเป็นหินน้ำลึก (turbidite) จนมาตอนปลายพาลิโอโซอิก (ดิโอเนียน-เพอร์เมียน) ได้เปลี่ยนเป็นตะกอนบกสลับกับตะกอนทะเลตื้น(ตะกอนเม็ดสลับกับตะกอนเคมีและมีหินภูเขาไฟแทรกด้วย) หลักฐานทางบรรพชีวินกำหนดว่าตะกอนสมัยเพอร์เมียนและคาร์บอนิเฟอรัสเป็นพวกน้ำอุ่นปนน้ำเย็น แต่น้ำอุ่นพบมากกว่า ปลายยุคเพอร์เมียนมีถ่านในชั้นตะกอนเม็ดด้วยและเป็นพวกคาเทเชีย (Cathaysia) หินอายุต้นยุคไทรแอสสิกเป็นหินตะกอนเม็ดและหินภูเขาไฟสีจางสลับกับหินปูน สมัยยุค

ไทรแอสสิกตอนบนจนถึงยุคครีเตเชียสลักษณะตะกอนเปลี่ยนไปเป็นตะกอนบกสีแดงซึ่งอาจมีตะกอนทะเลสลับบ้างแต่น้อย ส่วนในสมัยยุคเทอร์เชียรี่เป็นตะกอนบกหมด แต่อาจมีหินภูเขาไฟสีเข้มปานกลางบ้างและมียิบซั่มและถ่านหินปน ซึ่งลักษณะที่กล่าวมาคล้ายที่พบในแอ่งซิเหมา คือ ในตอนยุคไซลูเรียน-ดิโวเนียน เป็นตะกอนทะเลลึกมีซากแกรบโตไลต์ปบในหินดินดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน เป็นพวกตะกอนน้ำตื้นเม็ดใหญ่ และมีหินปูนและถ่านปน ซึ่งหนารวมกัน 1 กิโลเมตร (เช่น ที่พบแถบโมเจียง) และตะกอนหนาขึ้นเรื่อย ๆ ทางทิศตะวันตกและมีตะกอนภูเขาไฟด้วย ส่วนในยุคไทรแอสสิกถึงเทอร์เชียรี่การสะสมตะกอนคล้ายกับของแอ่งชามโค หินอัคนีแทรกซอนในแอ่งชามโค แถบ (เมืองกอนโจ) เป็นตระกูลยานชาเนียนและหิมาลัย ดังนั้นเราจึงสรุปว่าอาจมีความสัมพันธ์กับรอยเลื่อนเหลื่อมขวาจึงทำให้เกิดลักษณะเช่นนี้ได้

ในสมัยมหายุคเมโซเซอิกเป็นช่วงการเปลี่ยนลักษณะของแอ่งทวีปส่วนหน้า (foreland basin) อันเกิดจากการถูกอัดเข้าทั้งสองข้างของแอ่งทั้งทางตะวันตกและตะวันออก ผลก็คือเกิดแอ่งหลังแนวโค้ง (back arc basin) จนเกิดการอัดเลื่อนขึ้นของเทือกเขาอ้ายลาว แต่เมื่อถึงกลางแอ่งการโค้งโก่งงอลดลง ส่วนการแปรสภาพหินไม่รุนแรงนัก คือ ไม่เกินขั้นกรีนชีสต์

อาจเป็นได้ว่าด้วยอิทธิพลการชนของแผ่นทวีปอินเดียที่ทั้งดันเลื่อนขึ้นและผลักอัดดัน และการหยุดเลื่อนของแผ่นแยงซีสมัยอินโดไซเนียนทำให้แอ่งที่เคยใหญ่กลับแคบลง และทำให้พวกแบ่งแยกออกเป็น 2 แอ่งย่อยคือ แอ่งชามโคทางเหนือ และแอ่งซิเหมาทางใต้ แนวรอยเลื่อนคู่ขวาง (conjugate fault zone) จึงเกิดขึ้นทำให้เกิดแอ่งย่อยเล็ก ๆ เช่น ทางตอนเหนือด้านตะวันตกแถบเมืองหนางเค็ง (Nangquen) เป็นแบบแอ่งถูกดึงเหลื่อมซ้าย (left-lateral pull-apart basin) ส่วนทางตะวันออกเช่นแถบเมืองกองโจ (Gonjo) เป็นแอ่งถูกดึงเหลื่อมขวา (right-lateral pull-apart basin) สำหรับทางใต้ เช่น แถบเมืองไหวชาน (Weishan) เป็นแอ่งถูกดึงเหลื่อมซ้าย และแถบเมืองลานปิง-เหม็งลา- ยูลอง แสดงรูปร่างลักษณะของแอ่งย่อยซิเหมา-ลานปิง และแอ่งย่อยชามโคตอนจบอิทธิพลของแรงอัดดันที่ทำให้เกิดรอยเลื่อนคู่ขวาง

ส่วนสุดท้ายทางตะวันตกของจุลทวีปซิเหมา (-ชามโค) คือ แนวภูเขาไฟจินหง-ซะดอย ซึ่งส่วนใหญ่พบอยู่ทางแถบจินหง และต่อเลยขึ้นไปทางตอนเหนือ เช่น แถงเมืองซะดอย (Zadoi) และเมืองโตบะ (Toba) ในมณฑลเสฉวน จากข้อมูลธรณีเคมีของคณาจารย์จีน จำแนกได้เป็นหินภูเขาไฟจำพวกหินบะซอลต์ถึงไรโอไรต์ ซึ่งอาจแทรกสลับกับหินปูนมาร์ล หินตะกอนเม็ดขนาดต่าง ๆ พอสมัยยุคไทรแอสสิกตอนกลางและปลายก็มีลักษณะหินคล้ายกันเพียงแต่ไม่มีหินปูนและมาร์ล ส่วนตอนต้นยุคไทรแอสสิกไม่มีตะกอนสะสมตัว (ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของชั้นหินแทน) พอสมัยจูแรสสิก-ครีเตเชียสจึงมีการสะสมตัวของหินตะกอนแดงบกปนทะเล แต่สมัยต้นยุคจูแรสสิกก็ขาดหายไปอีก

จากผลเคมีที่ปริมาณ K_2O เพิ่มขึ้นจากตะวันตกไปยังตะวันออก แสดงว่าแผ่นเปลือกสมุทรน่าจะมีการมุดตัวจากทิศตะวันตกไปตะวันออก (east-dipping oceanic plate)

ทางด้านตะวันตกของจุลทวีปซิเหมา ประกอบด้วยหินและโครงสร้างหินที่ยุ่งยากซับซ้อนมาก เริ่มต้นตั้งแต่ช่วงกลางโปรติโรโซอิกจนถึงพาลิโอโซอิกตอนกลาง เป็นชุดหินลานช้าง ซึ่งเป็นหินแปรผลจากข้อมูลศิลาเคมีของจีน บ่งชี้ว่าหินเดิมเป็นพวกหินภูเขาไฟชนิดแนวโค้ง ซึ่งอาจเกิดจากแผ่นเปลือกสมุทรมุดตัวไปทางตะวันตก (ถึงตะวันตกเฉียงใต้หรือใต้) ต่อมาสมัยพาลิโอโซอิกตอนปลายการมุดตัวของแผ่นเปลือกสมุทรกลับมาเป็นไปทางตะวันออก ผลก็คือทำให้เกิดแอ่งหลังแนวโค้ง (back-arc basin) และเกิดมหาสมุทรลานชางเจียงบรรพกาลขึ้นในปลายมหายุคพาลิโอโซอิก ซึ่งอาจเรียกมหาสมุทรชานหนิง-เหม็งเลียงก็ได้ มหาสมุทรบรรพกาลนี้มุดตัวไปทางตะวันออก (หรือทางเหนือสำหรับบริเวณนอกพื้นที่ศึกษาไปทางเหนือ (เช่น บริเวณเฮงดวนชาน, Xu และคณะ, 1996) ในตอนช่วงต่อระหว่างยุคเพอร์เมียนกับยุคไทรแอสสิก และในที่สุดจึงเกิดการชนกันและอัดตัวระหว่างแนวภูเขาไฟโค้ง กับแผ่นทวีปเกิดเป็นแนวแกรนิตขนาดใหญ่ทางตะวันออกเมืองล้านช้าง คือ แนวแกรนิตหลิงคาง นอกจากนั้นแถบตอนเหนือขึ้นไปเช่นแนวแกรนิตคองคาซานและ ยูซินก็เกิดจากอิทธิพลดังกล่าวด้วย คณาจารย์จีนบางท่านเรียกว่าแนวโค้งล้านช้าง –ยิตาง (Lancang-Guitang Paleoarc) ศิลาเคมีบ่งบอกชัดว่ามวลหินอัคนีเหล่านี้น่าจะประกอบด้วยหินแกรนิตแบบเอส (S-type granite) และหินแกรนิตแบบไอ (I-type) ระหว่างแนวโค้งจินหง-ซาดอย กับแนวโค้งลานช้าง-ยิตาง ในปัจจุบันเราไม่สามารถมองเห็นรอยต่อธรณีได้เนื่องจากถูกปิดทับด้วยรอยเลื่อนดันขึ้น (thrust) และแผ่นเลื่อนขึ้น (nappe) ยกเว้นทางตอนเหนือนอกพื้นที่ศึกษา (แถบเมืองรีวอก-Riwoque) ที่อาจมีหินบะซอลต์สันสมุทรได้ และจัดให้เป็นรอยต่อธรณีนัยสำคัญ (cryptic geosuture) ของบริเวณแถบนี้ได้แสดงถึงรูปแบบการพัฒนาการแปรสัณฐานของแผ่นหรือจุลทวีปซิเหมา-ชามโด

2.5.3 จุลทวีปเบาซาน

ในส่วนของทวีปเบาซาน (ดู**รูป 3.4.1**) สามารถจัดกลุ่มแบ่งหน่วยแปรสัณฐานออกได้เป็น 5 หน่วยย่อยด้วยกัน คือ 1) รอยต่อธรณีชานหมิง-เหม้งเลียง (Changhing-Menglian Suture) 2) ขอบสกิดชเจ็งมา (-ริวอก) (Gengma-Riwoge Passive Miarging) 3) แอ่งหน้าแผ่นดินหมู่ช้าง (Muchang Foreland) 4) แนวยกตัวเบาซาน (Baoshan Uplift) และ 5) แอ่งเม็งเจีย (-ลิวกู) (Mengjia-Liuku Depression)

รอยต่อชานหนิง-เหม้งเลียงติดกับแอ่งซิเหมาทางตะวันออกและติดกับขอบสกิดเจ็งมา ทางตะวันตก (B1 **รูป 3.4.1**) หลายคนเชื่อว่ารอยต่อธรณีนี้เป็นส่วนใต้ของรอยต่อธรณีลานชางเจียง ซึ่ง

ประกอบด้วยหินหลากหลายชนิด นับตั้งแต่กลุ่มหินสกุลโอฟีโอไลต์ (หินอัคนีสีเข้มจนถึงหินบะซอลต์) หินบะซอลต์สันสมุทร นอกจากนั้นยังมีหินเชิร์ตยุคดิโวเนียนตอนปลายจนถึงต้นเพอร์เนียน ยังไม่ทราบแน่ชัดว่ารอยต่อธรณีนี้ต่อเรื่อยขึ้นไปทางเหนือแล้วบรรจบกับรอยต่อใด นักธรณีบางท่านเชื่อว่าเข้าไปยังรอยต่อหนูเจียง (Nujiang suture) บ้างก็เชื่อว่าไปต่อกับรอยต่อจินชาเจียง (Jinshajiang suture) แต่จากการวิเคราะห์ในช่วงต้น ทำให้พวกเราเชื่อว่ารอยต่อจินชาเจียงยาวต่อจากเมืองบาดัง (Batang) -ดิรง (Derong) แล้วลงใต้ไปต่อกับรอยต่อเขาอ้ายลาว มากกว่าที่จะไปต่อกับรอยต่อชานหนิง-เหม็งเลียง ขณะเดียวกับรอยต่อหนูเจียง (Nujiang) อาจต่อลงทางใต้ไปยังเขาซานไต แถบเมืองลูซิ (Luxi) แล้วต่อเลยลงไปยังรอยต่อมัณฑะเลย์ -ย่างกุ้งในพม่า (Xu และคณะ, 1996) และจากการวิเคราะห์ข้อมูลการแปรสัณฐานของเรา ทำให้เชื่อว่ารอยต่อชานหนิง-เหม็งเลียงน่าจะต่อเหนือขึ้นไปในบริเวณยิงพาน (Yingpan) ของเมืองลานปิง (Langping) และต่อเลยไปยังเมืองโสกัง (Zogang) มากกว่าจะไปเชื่อมกับรอยต่อจินชาเจียง

ขอบสถิตย์เจ็งมา (-ริวอก) วางตัวอยู่ระหว่างรอยต่อชานหนิง-เหม็งเลียงกับแอ่งหน้าแผ่นดินหมู่ช้าง (ดู B2 ใน**รูป 3.4.1**, ซึ่งต่อลงไปทางใต้ก็คือแนวรอยเลื่อนคีจี-นานติง (Kejie-Nangding Fault) อาจจัดได้ว่าขอบสถิตย์นี้อยู่ทางด้านตะวันตกสุดของมหาสมุทรลานช้างเจียง ซึ่งมีอายุระหว่างยุคพรีแคมเบรียนถึงเพอร์เมียน หินยุคเก่าแก่ที่สุดที่โผล่ที่พวกยุคไซเนียนถึงพาลิโอโซอิกตอนต้นเป็นตะกอนเม็ดแปรขั้นต่ำสลับกับหินปูนและหินภูเขาไฟ ซึ่งอาจเป็นตะกอนในขอบสถิตย์หรือในแอ่งหลังแนวภูเขาไฟ ส่วนหินมหายุคพาลิโอโซอิกตอนบนเป็นตะกอนน้ำตื้นและหินเชิร์ตสลับกับหินปูน และหินตะกอนภูเขาไฟในขอบสถิตย์ต่อด้วยหินมหายุคเมโซโซอิกจำพวกหินปูนและตะกอนเม็ดทะเล และตะกอนบกซึ่งอาจมีหินภูเขาไฟปนบ้างจัดให้เป็นตะกอนในแอ่งหน้าแนวภูเขาไฟ

ส่วนถัดมาที่อยู่ระหว่างขอบสถิตย์เจ็งมาและแผ่นทวีปเห็งจเรียกรวมกันว่า ฐานทวีปเบาซาน ซึ่งอยู่ระหว่างรอยเลื่อนหนูเจียง (Nujiang Fault) หรือรอยต่อธรณีหนูเจียง กับรอยเลื่อนคีจี-นานติง ซึ่งอายุหิน (ที่โผล่) มีตั้งแต่ยุคพรีแคมเบรียนจนถึงเทอร์เชียรี่ ซึ่งในยุคซีเนียนถึงกลางยุคแคมเบรียนจัดให้เป็นตะกอนน้ำลึก (flysch-type) แถบแนวยุบตัวเหม็งเจีย (-หลิวกู) (Mengia-Liuku Depression, B5 **รูป 3.4.1**) แต่พอมาปลายยุคแคมเบรียนจนถึงเพอร์เมียนเป็นตะกอนน้ำตื้นในบริเวณแถบแนวยกตัวเบาซาน (Baoshan Uplift) (B4 ใน**รูป 3.4.1**) ทางจีน (Xu และคณะ, 1996) พบว่าในยุคดิโวเนียน น้ำทะเลคงจะลึกไปทางทะวันออกแสดงว่าแหล่งให้ตะกอน (provenance) น่าจะอยู่ทางทิศตะวันตก ในช่วงยุคปลายคาร์บอนิเฟอรัส (ในบริเวณแถบ B4 และ B5 ใน**รูป 3.4.1**) พบตะกอนไร้ที่มา (diamictite) ซึ่งสัมพันธ์กับธารน้ำแข็ง ทำให้เชื่อว่าอาจมาจากอภิมหาทวีปกอนวานา (Gondwana superconti-nent)

ได้ ส่วนในตอนช่วงมหายุคเมโซโซอิกตอนปลายพบตะกอนบกสีแดง ซึ่งอยู่ในบริเวณโซนแคบ ๆ ที่เรียกแอ่งหน้าแผ่นดินชุ่ยใน-หมู่ช้าง

2.5.4 จุลทวีปเทนจง

จุลทวีปหรือแผ่นเปลือกโลกขนาดเล็ก (minor lithospheric plate) นี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ 1) แนวโค้งหลักเทงจง-โบมี (Tengchong-Bomi arc belt) และ 2) แก่นหินแปรซับซ้อนซูเดียน (-เซียซายู) (Sudian-Xiazayu metamorphic Core complex) ซึ่งทั้งสองจัดอยู่ในส่วนที่เรียกแนวดันเลื่อนขึ้นบาซอย-เกาหลิง (Baxoi-Gaolingshan Thrust Belt)

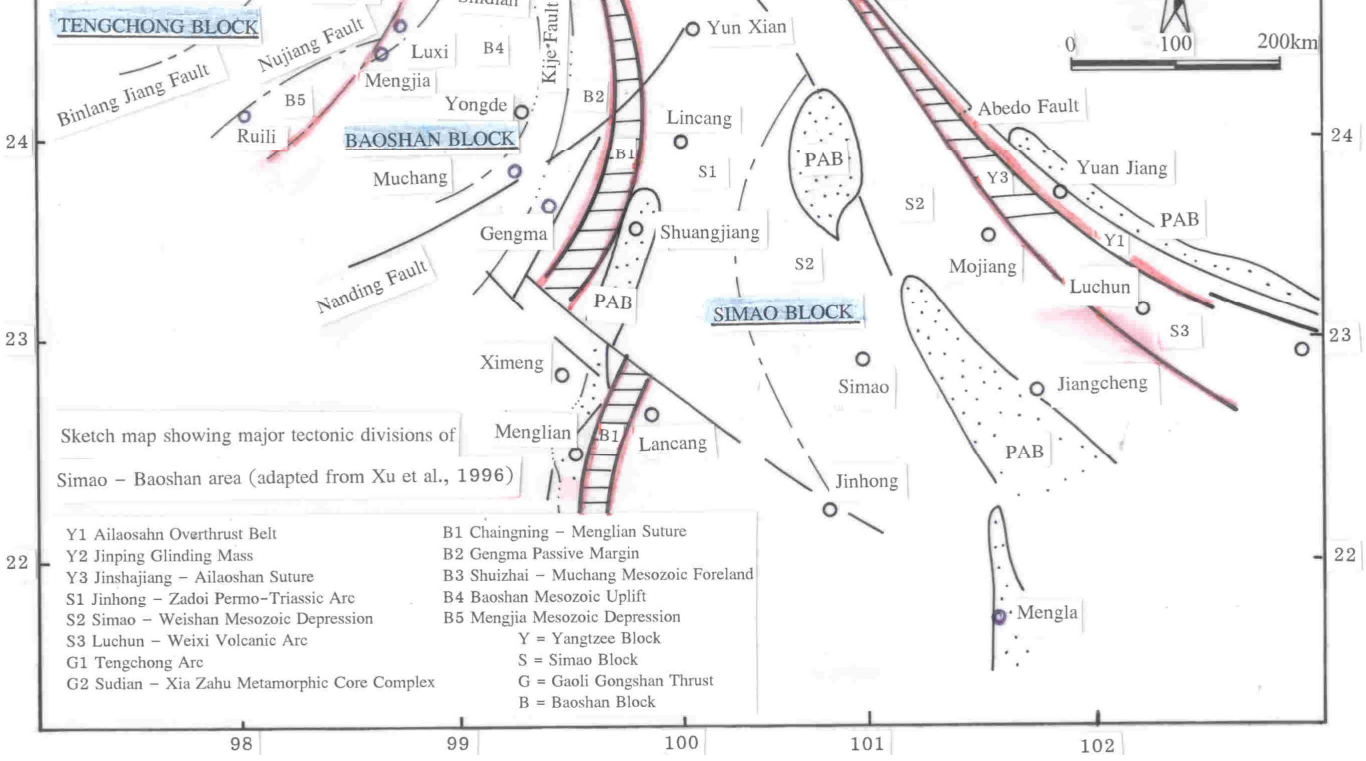
แนวโน้มหลักเทงจง (G1 ใน**รูป 3.4.1**) ถูกขนาบด้วยรอยเลื่อน 2 แนว คือรอยเลื่อนหนูเจียงทางทิศตะวันออกในพื้นที่ศึกษาและทางเหนือในพื้นตอนเหนือของเมืองโบมิ และรอยเลื่อนบินลางเจียง (-เสียซายู) (Binyangjiang-Xiazayu Fault) ซึ่งทำให้แยกออกจากแก่นหินแปรซับซ้อนซูเดียนได้ หินที่โผล่มีตั้งแต่ยุคพรีแคมเบรียนจนถึงเทอร์เชียรี่ หินยุคพรีแคมเบรียน (เช่น ชุดเกาหลิงกองชาน) ประกอบด้วยหินไนล์ หินชีสต์ หินอ่อน และหินมิกมาไทต์/ไมโลไนต์ ซึ่งอนุมานว่าหินเดิมน่าจะเป็นหินโคลนสลับกับหินภูเขาไฟและหินปูน นอกจากนั้นยังพบหินปูนได้ในยุคออร์โดวิเชียนตอนปลายอีกด้วย ส่วนยุคออร์โดวิเชียนตอนกลางและยุคไซลูเรียนการสะสมตัวขาดหายไป ช่วงยุคดิโวเนียนและเพอร์เมียนยังคงเป็นลักษณะเดิมคือตะกอนเม็ดสลับตะกอนเคมีและหินภูเขาไป ซึ่งช่วงล่างของยุคดิโวเนียนเป็นตะกอนบกที่วางตัวไม่ต่อเนื่องกับชั้นหินออร์โอวิเชียน ในยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียนเป็นหินตะกอนไร้ที่มาเหมือนอย่างของแผ่นทวีปเบาซาน จนถึงยุคเพอร์เมียน แต่ช่วงแรกของคาร์บอนิเฟอรัสเป็นตะกอนน้ำลึก ซึ่งแสดงถึงการยกตัวแล้วตามด้วยการจมตัวของขอบสถิต ส่วนในช่วงเทอร์เชียรี่-ควอเตอร์นารี เป็นตะกอนทรายแม่น้ำและทะเลสาบ มีถ่านหินและตะกอน ภูเขาไฟบ้าง ในบริเวณทิศตะวันออกสุดของแนวโค้งหลักเทนจงนี้ หรือติดกับรอยเลื่อนหนูเจียง โดยเฉพาะแถบเดงเชน (Denggen) ฝั่งตะวันตกเป็นกลุ่มหินดันเลื่อนขึ้น (melanges) ซึ่งเป็นตะกอนน้ำลึกอายุปลายไทรแอสสิกจนถึงกลางจูแรสสิกที่มีมวลก้อนหินยักษ์ของพวกหินอัคนีสีเข้ม หินปูน หินเชิร์ต และหินโคลน และหินตระกูลโอพิโอไลต์นี้เป็นพวก Mg-type (Pan Guitang และคณะ, 1983) หินบะซอลต์ที่พบบริเวณแถบเมืองเดงเชนแสดงผลธรณีเคมีที่จัดได้ว่าเป็นหินกำเนิดจากสันสมุทร อย่างไรก็ตามแนบรอยต่อหนูเจียงหรือรอยเลื่อนนี้ไม่ปรากฏชัดนักในบริเวณแถบตอนเหนือ เช่น แถบเมืองคาวารง (Cawarong) แต่จะปรากฏชัดเฉพาะในพื้นที่ศึกษา คือแถบเขาซานไตทางใต้ของเมืองลูซิ เพราะพบหินอัคนีสีเข้มจัดแทรกตัวเข้ามาในหินตะกอนน้ำลึกยุคไทรแอสสิก-จูแรสสิกดังกล่าวตอนต้น

ส่วนที่สองอยู่ทางตะวันตกสุดของพื้นที่ศึกษา ที่เรียกแก่นหินแปรซับซ้อนซูเคียน (-เซียซายู) (G2 ใน**รูป 3.4.1**) ซึ่งถูกบังคับด้วยแนวรอยเลื่อนบินกลางเจียง ประกอบด้วยหินแปร (ไนส์, ชีส และ

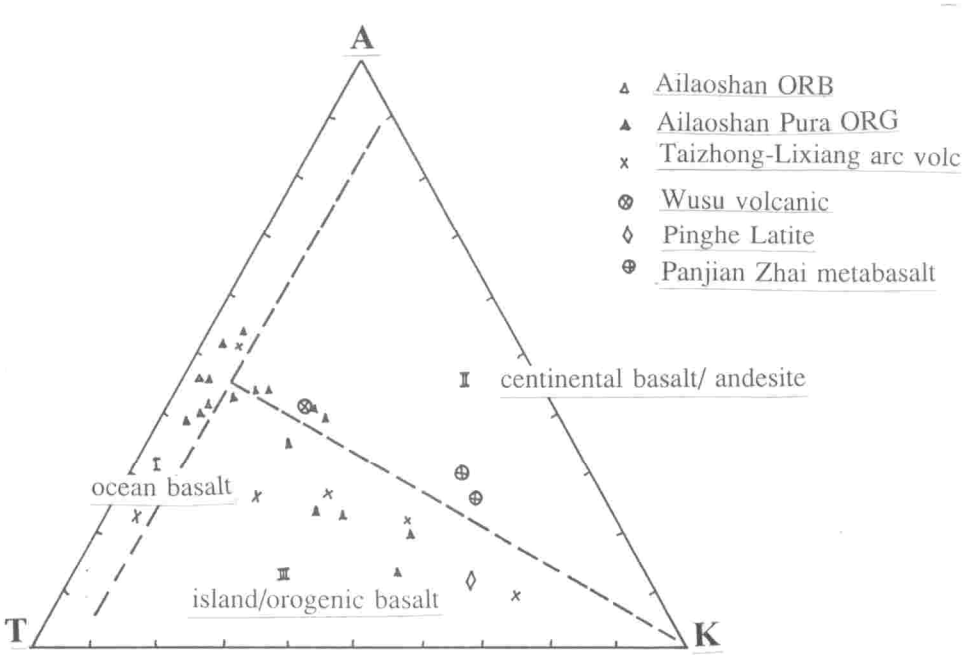
หินอ่อน) ที่ถูกบดอัด (mylonized) และแปรหลอม (migmatized) และหินแกรนิตช่วงอายุหิมาลัย จากการหาอายุด้วยวิธี Rb-Sr ได้อายุประมาณ 954±198 ล้านปีจากหินไนส์แปรหลอม (migmatized gneiss) บริเวณแถบหยิงเจียง (Yingjiang) ทางตะวันตกเฉียงใต้ของเมืองเทงจงใกล้พรมแดนพม่า

ทางจีนได้ศึกษาหินอัคนีแทรกซอนแถบเลียงฮี-ซายูไว้มาก (ดู Xu และคณะ, 1996) พบว่าส่วนใหญ่เป็นหินจำพวกไดโอไรต์ แสดงว่าอาจเกิดจากอิทธิพลของการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกลงไปได้อีกแผ่น ในส่วนของหินอัคนีแทรกซ้อนทางตะวันตกเมืองโบมิไปเหมือนกับหินไดโอไรต์เมืองกังดิสในทิเบตแม้ทั้งสองจะมีความคล้ายกันในแง่ศิลาพรรณนา และเกิดในช่วงยานชาน-หิมาลัย แต่จากข้อมูลศิลาเคมีทำให้ทราบว่าหินอัคนีสีจางแถบกังดิสส่วนใหญ่เป็นแกรนิตแบบไอมากกว่าแกรนิตแบบเอส และพบหินภูเขาไฟสีเข้มด้วย ในขณะที่ทางตะวันออกของเมืองโบมิและเรื่อยมาทางใต้ของเมืองซายูมีทั้งแกรนิตแบบเอสและแกรนิตแบบไอ ส่วนทางใต้ลงมาจนถึงบริเวณที่ศึกษา (แถบเมืองเหงจง-ซงเดียน) หินแกรนิตมาจากชั้นเปลือกโลก (crustal material) หรือแกรนิตแบบเอสมากกว่าชั้นเนื้อโลก (mantle source region) หรือแกรนิตแบบไอ

การเปลี่ยนแปลงลักษณะด้วยการแปรสัณฐานในแถบสองบริเวณนี้ค่อนข้างรุนแรงและซับซ้อนพอควร แต่เมื่อพิจารณาในโครงสร้างการแปรสัณฐานอย่างง่าย (simplified tectonic structure) พบว่าแนวรอยเลื่อนทางตอนเหนือของแนวโค้ง มักพบรอยเลื่อนดันขึ้นไปทางซ้ายเป็นส่วนใหญ่ ส่วนทางใต้มักพบรอยเลื่อนดันขึ้นไปทาขวา ทำให้เกิดรอยเลื่อนปกติในบริเวณแอ่งหลังแนวโค้ง ในแง่ของการแปรสภาพอาจจัดได้ว่าช่วงอายุก่อนยุคออร์โดวิเชียน การแปรสภาพหินค่อนข้างรุนแรงอาจถึงขั้นสูงสุดคือชุดกลุ่มแร่แกรนูไลต์ (granulite) ขณะที่หลังยุคออร์โดวิเชียนการแปรสภาพหินเป็นไปในขั้นต่ำประมาณชุดกลุ่มแร่กรีนชีส



รูป 3.4.1 แผนที่ธรณีวิทยาแปรสัณฐานบริเวณซิเหมา-เบาชาน แสดงการจำแนกหน่วยหินการแปรสัณฐานย่อยๆ (ดัดแปลงจาก Xu and el.at. ,1996)



รูป 3.4.2 ตารางสามเหลี่ยม ATK แสดงการเกาะตัวของหินภูเขาไฟชนิดต่างๆ ของมณฑลยูนาน (Charusiri and el. at. ,2542)