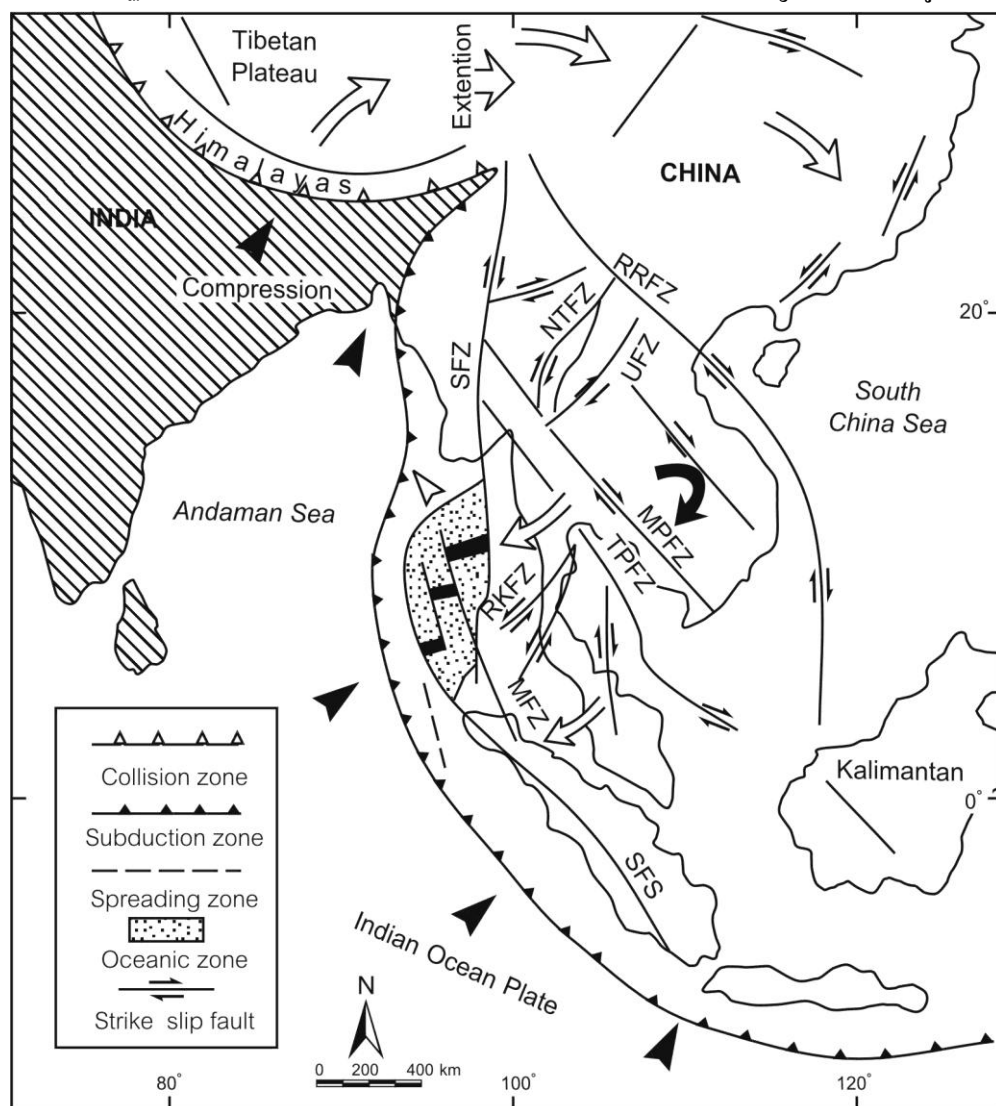


บทที่ 3

โครงร่างการแปรสัณฐาน

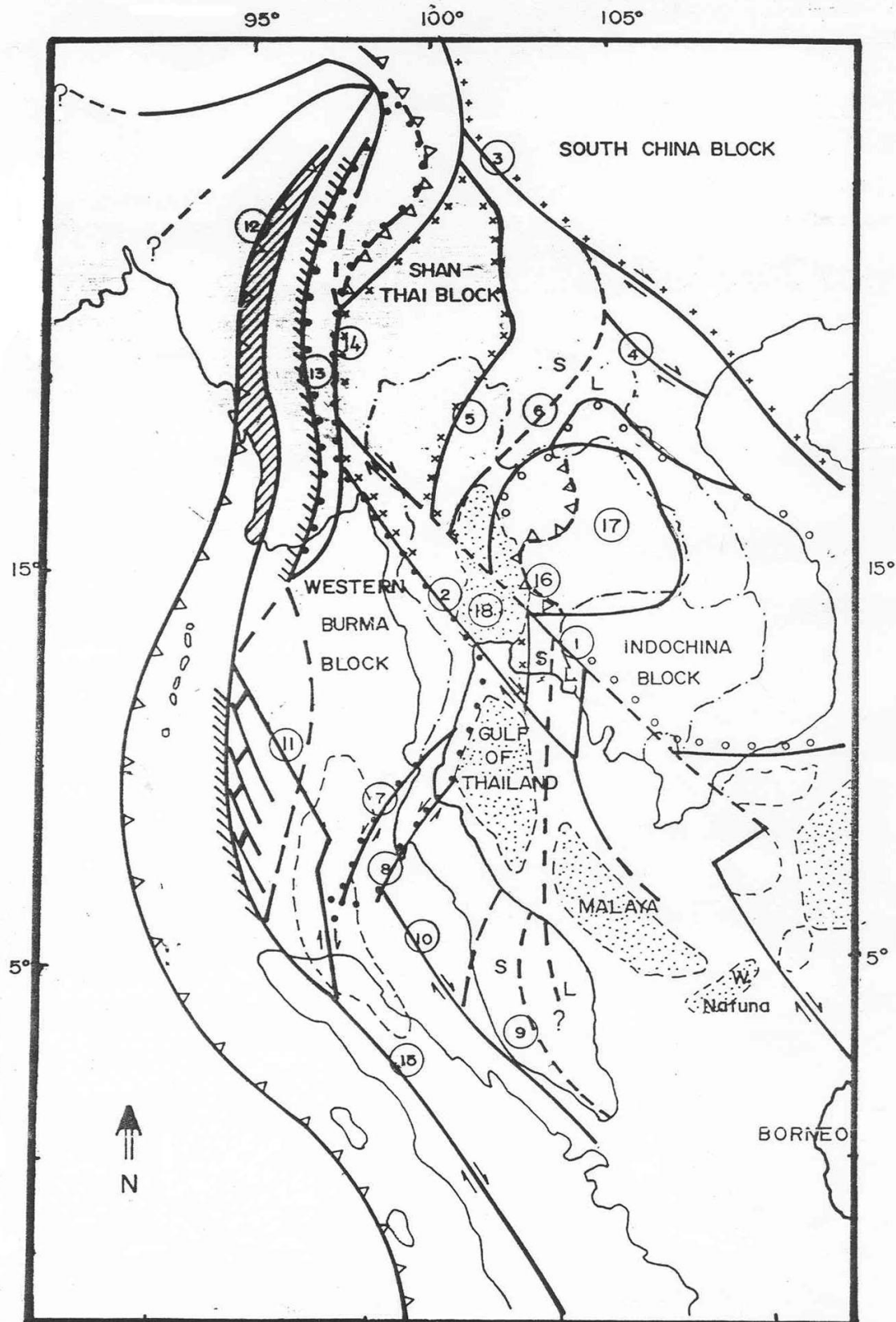
สภาพทางภูมิศาสตร์และธรณีวิทยาที่ปรากฏในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่า ประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ตั้งอยู่บนแผ่นแปรสัณฐาน (tectonic plates) แผ่น หรือในที่นี้เรียกสั้น ๆ “แผ่น” (plates) หลายแผ่นประกบกันท่ามกลางแผ่นเปลือกโลกหรือแผ่นภาคขนาดใหญ่ที่มาบรรจบกัน 3 แผ่น ได้แก่ แผ่นอินเดีย (Indian Plate) แผ่นแปซิฟิก (Pacific Plate) และแผ่นยูเรเชีย (Urasian Plate) โดยมีหลักฐานต่าง ๆ เช่น ทางธรณีฟิสิกส์ ที่บ่งชี้ว่าแผ่นแปซิฟิกยังคงเคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ แผ่นยูเรเชียกำลังเคลื่อนตัวไปทางตะวันออกเฉียงใต้ และแผ่นอินเดียยังคงเคลื่อนตัวขึ้นไปทางทิศเหนือ โดยเกิดการแปรสัณฐานในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ทำให้ได้แนวโครงสร้างใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 3-1



รูป 3-1 โครงร่างการแปรสัณฐานแผ่นเปลือกโลก (Tectonic frame work of plates) ของพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อันเป็นส่วนหนึ่งของดินแดนซุนดา (Sundaland) ของเอเชีย (ลูกศรขนาดใหญ่แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ ลูกศรขนาดเล็กแสดงรอยเลื่อนหลังจากที่ทวีปอินเดียเข้ามาชนทวีปเอเชีย) (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2543)

3.1 สภาพธรณีแปรสัณฐาน (Tectonic setting)

สภาพธรณีแปรสัณฐานของเอเชียอาคเนย์นอกจากประกอบด้วยแผ่นแล้ว ยังมีองค์ประกอบอันได้แก่ พื้นที่แอ่งรองรับการสะสมตัวของตะกอนหรือธรณีแอ่นตัว (geosyncline) และแหล่งสะสมตะกอนไปสะสมตัว ในช่วงเวลานั้น ๆ เรียกว่า แผ่นดินโบราณ (ancient landmass) โดยมีขอบแผ่น (plate boundary หรือ plate margin) อยู่ด้วยกันทั้ง 2 แบบ คือ ทั้งขอบแบบทำลาย (destructive plate boundary) และขอบแบบอนุรักษ์ (conservative plate boundary) โดยแบบแรกมักแสดงด้วยเขตมุดตัวบีนีออฟฟ์ (benioff subduction zone) และร่องลึกก้นสมุทร (oceanic trench) ซึ่งอยู่ทางด้านทิศใต้และตะวันตกเฉียงใต้ ได้แก่ แนวร่องลึกก้นสมุทรชาว (Java trench) ซึ่งยาวไปทางทิศเหนือผ่านแนวเกาะอันดามัน-นิโคบาร์ (Andaman-Nicobar island arc) ขึ้นไปจนถึงเทือกเขาอินโด-พม่า (Indo-Burma range) ทางด้านตะวันตกของประเทศพม่า (รูป 3.2) โดยบริเวณเทือกเขาดังกล่าวมีแนวชุดหินงูใหญ่ (ophiolite) ยุคเทอร์เชียรีอยู่ด้วย (Michell และ Mckerrow, 1975) และทางด้านตะวันออกมีแนวร่องลึกฟิลิปปินส์ (Phillipine trench) ซึ่งเป็นแนวยาวเหนือ-ใต้ จากเกาะไต้หวัน ผ่านหมู่เกาะฟิลิปปินส์ ลงไปจนถึงหมู่เกาะโมลุกกะ ในปัจจุบันหลายคนเรียกภูมิภาคการแปรสัณฐานแถบนี้ว่าภูมิภาคซุนด้า (Sunda land) (ดู Hatchison, 19..., Searl & Morley, 2010) เป็นบริเวณที่แผ่นแปซิฟิกบรรจบกับแผ่นอินเดีย สำหรับขอบแบบอนุรักษ์ นั้นปรากฏให้เห็นตามแนวรอยเลื่อนแม่น้ำแดง (Red river fault) ซึ่งเป็นแนวรอยเลื่อนแนวระดับแบบไปทางซ้ายที่วางตัวในทิศทางตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ ผ่านภาคเหนือประเทศลาว เวียดนาม ลงสู่ทะเลจีนบริเวณอ่าวตังเกี๋ย (รูปที่ 3-2) และในปัจจุบันก็อาจจัดเป็นขอบเขตเหนือสุดของภูมิภาคซุนด้านี้



รูป 3-2 แผนที่โลกที่ประกอบขึ้นมาเป็นประเทศไทย และรอยเลื่อนใหญ่ของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Charusiri และคณะ, 1995)

3.2 ขอบเขตของการแปรสัณฐาน (Tectonic province)

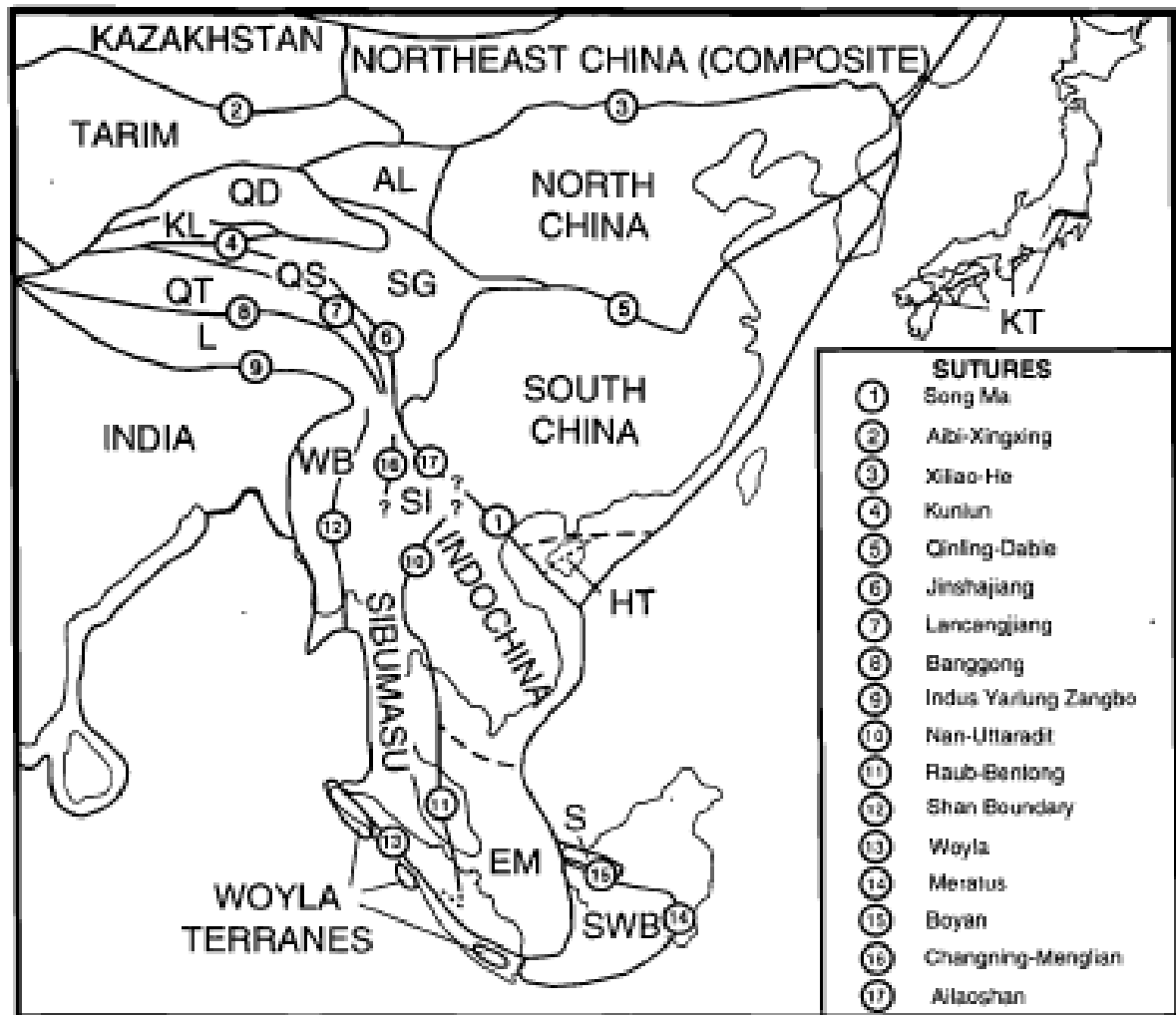
ในที่นี้เราได้แบ่งเขตการแปรสัณฐานของบริเวณส่วนที่เป็นแผ่นดินหลักของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Tectonic Main Lands of Southeast Asia) ออกเป็น 4 เขตการแปรสัณฐาน (tectonic provinces) หรือแผ่นธรณีแปรสัณฐาน ในที่นี้เรียกละย่อว่า แผ่น (รูป 3-3)

3.2.1 แผ่นจีนใต้ (South China Plate)

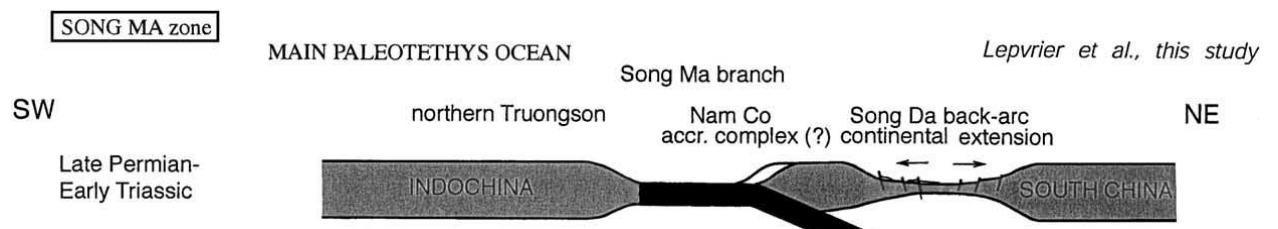
แผ่นธรณีจีนใต้เป็นพื้นที่ตอนใต้ประเทศจีนและส่วนของเวียดนามด้านตะวันออกเฉียงเหนือ โดยกำหนดแนวแบ่งขอบเขตกับแผ่นอินโดจีนทางด้านใต้ตามตะเข็บไถ้รอยเลื่อนแม่น้ำแดง ซึ่งได้แก่ แนวตะเข็บซงมา (Song Ma Suture) และแนวตะเข็บอ้ายลาวซาน (Ailaoshan Suture)

ตะเข็บซงมา (Song Ma Suture)

ตะเข็บซงมาพบบริเวณที่แผ่นจีนใต้เคลื่อนที่แยกออกจากแผ่นอินโดจีนทางตอนเหนือของเวียดนาม (รูป 3-4) โดยตะเข็บนี้วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ มีอายุปลายมหายุคพาลีโอโซอิก (Metcalf, 1990) ประกอบด้วยหินแปรซับซ้อนหลายชนิด จากการหาอายุด้วยวิธี $40\text{Ar}-39\text{Ar}$ พบว่ามีอายุ 244-230 ล้านปี (Miyamoto และคณะ., 2010) หินแปรที่สำคัญได้แก่ หินกรีนชีสต์ที่เกิดการแปรสภาพต่ำถึงชุดลักษณะหินแอมฟิโบไลต์ (amphibolite facies) นอกจากนี้ยังพบหินแกรนูลาइट (เกิดจากการแปรสภาพขั้นสูง) ตามแนวตะเข็บ (Miyamoto และคณะ., 2010) หินเอคโลไจต์ (eclogite) ที่พบประกอบด้วยแร่การ์เนตจำนวนมาก ออมฟาไซต์ (omphacite) เฟนไกต์ (phengite) ควอร์ต (quartz) ซอยไซต์ (zoisite) เพลจิโอเคลส (Plagioclase) แอมฟิโบไลต์ (amphibole) รูไทต์ (rutile) แมกนีไทต์ (magnetite) และเอปิโดท (epidote) เป็นต้น ปรากฏโดยรอบสายแร่ ซึ่งบ่งบอกได้ว่าแร่มีความสัมพันธ์กับแรงกดอัดที่ลดลง (decompression) หลังจากที่มีสภาพความดันสูงสุดสำหรับหินแปร



รูป 3-3 การกระจายตัวของแผ่นธรณีภาคพื้นทวีป (continental terrane) และตะเข็บต่าง ๆ (suture) ของทวีปเอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียง และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Metcalfe 1998)



รูปที่ 3-4 ลักษณะการมุดตัวบริเวณขอบแผ่นอินโดจีนที่สัมพันธ์กับแผ่นจีนใต้ในยุคเพอร์เมียน (Lepvrier และคณะ., 2004).

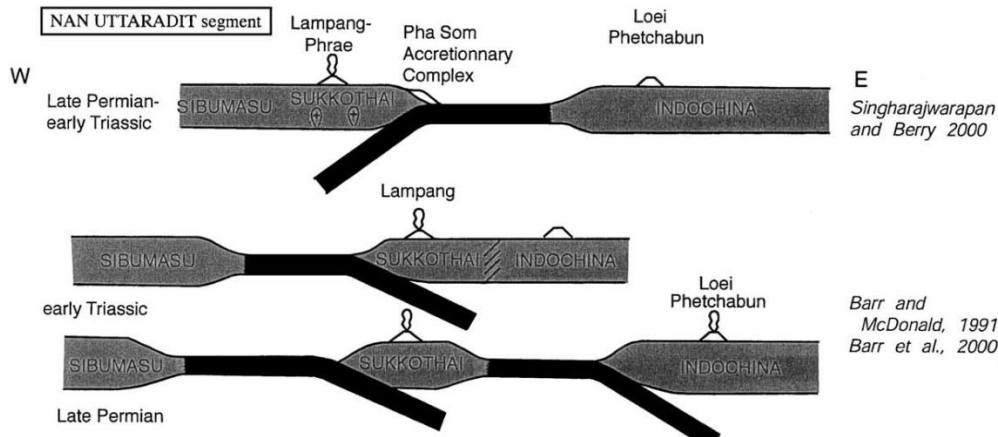
ตะเข็บส่วนใหญ่เกิดการพัฒนามตามขอบ (boundaries) ในสมัยคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้น (Early Carboniferous) จากการชนกัน (collision) ระหว่างแผ่นจีนใต้กับแผ่นอินโดจีนตามตะเข็บซงมา (Song

Ma Suture) เป็นรูปแบบของ “East Asia continental หรือ Cathaysialand” ซึ่งแสดงโครงสร้างขนาดใหญ่ บ้างคดโค้ง รอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ และ โครงสร้างทบตัว (nappe) ในสมัยคาร์บอนิเฟอรัสตอนต้นถึง ตอนกลาง (Early-Middle Carboniferous) ซึ่งสนับสนุนการชนกันแบบภาคพื้นทวีป-ภาคพื้นทวีป (continental-continental) และการรวมตัวกัน (amalgamation) ในสมัยคาร์บอนิเฟอรัสตอนกลาง (Middle Carboniferous) เกิดการสะสมตัวของหินปูนในสภาพแวดล้อมแบบทะเลน้ำตื้น โดยปกคลุม บริเวณแนวตะเข็บซงมา (Song Ma Suture) ทางตอนเหนือของเวียดนาม จากการค้นพบเมื่อเร็ว ๆ นี้ ของ ฟิชในยุครคาร์บอนิเฟอรัสบนแผ่นอินโดจีนทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเป็นสิ่งที่ยืนยัน การเชื่อมต่อกันของภาคพื้นทวีประหว่างแผ่นจีนใต้กับแผ่นอินโดจีน

ตะเข็บเขาอ้ายลาว (Ailaoshan Suture)

ตะเข็บเขาอ้ายลาวพบระหว่างแผ่นจีนใต้กับแผ่นอินโดจีนที่เกิดการแยกจากจุดทวีปฉานไทย (Shan-Thai) ตั้งเดิมมณฑลยูนนานตะวันตกเฉียงใต้ของจีนถึงตอนเหนือประเทศเวียดนาม มีความยาว มากกว่า 1,000 กิโลเมตร ระหว่างทิวเขาและอ่าวตันคิน (Tonkin Gulf) ซึ่งนำมาใช้ในการอธิบายภูมิ ประเทศและความไม่ต่อเนื่องทางธรณีวิทยาในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Chung และคณะ., 2010) ตาม ตะเข็บแสดงการเคลื่อนที่แบบซ้ายเข้า (left lateral movement) โดยวางตัวในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ- ตะวันออกเฉียงใต้ของชุดหินงูใหญ่ (Ophiolite suite) และตะกอนที่มาจากทะเล

ยังมีเขตรอยเลื่อน (shear zone) เขาอ้ายลาวที่สัมพันธ์กับแนวรอยเลื่อนด้านข้างแบบเลื่อนขวา (right lateral fault belt) (Allen และคณะ., 1984) และเขตรอยเลื่อนนี้ประกอบด้วยหินแปรชั้นสูง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินไนส์ที่มีอายุอยู่ในช่วงบรมยุคโปรเทอโรโซอิกตอนต้น (Middle Proterozoic) (รูปที่ 3-5) หิน เมฟิกและอัลตามฟิกแยกจากกันอย่างชัดเจน พบเศษหินโอไฟโอไลต์ (Zhang และคณะ., 1994) หินเพอริโดไทต์ หินแกบโบรและหินบะซอลต์ ทางตอนใต้ของตะเข็บเขาอ้ายลาวพบหมวดหินยุคพาลีโอโซอิก และมีโซโซอิก ซึ่งหินเพริโดไทต์ เช่นหินเซอร์โซไนต์มีพลาจิโอเคลส (plagioclase lherzolite) และหิน ฮาซเบอร์ไรต์มีสปิเนล (spinel harzburgite) ที่เกิดการสะสมตัวตามสันกลางมหาสมุทร (Zhang และ คณะ., 1984; Wang และ Zhong 1991) และสัมพันธ์กับตะกอนทะเลลึกเช่นหินเซิร์ต ปรีดิโอราเลียน (radiolarians) อายุปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนปลาย และปลายยุคเพอร์เมียน (Wang และ Zhong 1991) โดยหินปูนและหินทรายต้นยุคไทรแอสสิกพบปกคลุมในบริเวณรอยต่อ ถ้ามีอายุมหายุคปฐมวัยหรือ พาลีโอโซอิกอาจสามารถหาความสัมพันธ์ได้เช่นเดียวกับแนวตะเข็บซงมา หรืออาจเป็นไปได้ว่าจะมีอายุ มหายุคมัธยมวัยหรือมีโซโซอิก แต่จากการหาความสัมพันธ์แนวตะเข็บซงมาที่เกิดการปิดของทะเล เททิสบรรพการ (Paleotethys) ในช่วงต้นพบว่าทางตะวันออกอาจมีอายุอ่อนกว่าทางด้านตะวันตกก็ได้ (Metcalf, 1995)



รูป 3-5 ลักษณะการมุดตัวบริเวณขอบแผ่นอินโดจีนกับจุลทวีปฉานไทยในยุคเพอร์เมียนต้นยุคไตรแอสซิก (Lepvrier และคณะ, 2004).

3.2.2 แผ่นอินโดจีน (Indo-China Plate)

แผ่นอินโดจีนติดกับแผ่นจีนใต้ด้วยตะเข็บขงมาในแถบแม่น้ำแดงลงมาทางทิศใต้ ประกอบด้วย ส่วนของประเทศเวียดนาม ลาว กัมพูชา และภาคอีสานของประเทศไทย ซึ่งรวมเอาภาคตะวันออกเฉียงเหนือของ คาบสมุทรมลายูหรือแผ่นมาเลเซียตะวันออกเฉียงเหนือเข้าไว้ด้วย (รูป 3-2) ขอบแผ่นฉาน-ไทยตาม แนวตะวันตกเป็นแนวยาวไปตามตะเข็บน่าน-อุตรดิตถ์-สระแก้ว และแนวตะเข็บเบงตง-รวบ (Nan-Uttaradit-Srakaew และ Bentong-Roub geosuture) อย่างไรก็ตาม ปัญญา จารุศิริ และคณะ (2545) ได้ เสนอให้มีตะเข็บเลย (Loei suture) เป็นรอยต่อทางตะวันตกสุดของแผ่นอินโดจีน

ตะเข็บน่าน-อุตรดิตถ์ (Nan-Uttaradit Suture)

ตะเข็บน่าน-อุตรดิตถ์เป็นแนวรอยต่อที่แบ่งแผ่นอินโดจีนกับจุลทวีปฉานไทยจากกัน (รูป 3-6) และทำให้ขอบแผ่นอินโดจีนด้านตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงใต้เคลื่อนที่แบบเลื่อนข้าง (strike-slip) หรือด้างข้าง (lateral movement) ซึ่งตะเข็บน่าน-อุตรดิตถ์คาดว่าเชื่อมต่อกับแนวตะเข็บ สระแก้ว-จันทบุรีทางตอนใต้ลงไปจนถึงแนวตะเข็บเบงตง-รวบในคาบสมุทรมลายู (Hada และคณะ, Bunopa & Valla, 1993) (รูป 3-3) โดยมีรอยเลื่อนแม่ปิงซึ่งเป็นรอยเลื่อนแนวระดับแบบซ้ายเข้าทางตัว ผ่านรอยต่อนี้ คาดว่าเดิมควรเป็นธรณีแอ่นตัวเทปหลักบรรพการที่มีแนวต่อเนื่องไปทางทิศเหนือถึง ตะเข็บชานหนิง-เหมงเจียง (Changning-Shuangjiang) ทางตะวันตกเฉียงใต้ของจีน

ตะเข็บน่าน-อุตรดิตถ์ประกอบด้วย ชุดหินงูใหญ่ (โอไฟโอไลต์สีเข้ม) อายุก่อนยุคเพอร์เมียน (Pre-Permian ophiolitic mafic) และหินอัคนีสีเข้มจัดโดยที่หินงูใหญ่ชุดที่สองนี้สัมพันธ์กับหินโอไฟไลต์ชนิด สัมพันธ์กับหินบลูชีสต์ (blueschists) ที่กระจายตัวเป็นแนวแคบพบบริเวณตะวันออกเฉียงเหนือของ จังหวัดอุตรดิตถ์ (Baar & McDonald, 19...) แต่เมื่อถึงลงใต้ทางใต้จนถึงบริเวณตะเข็บสระแก้ว-จันทบุรี ไม่พบหินบลูชีสต์แต่พบแนวคดโค้งหินเชิร์ต-หินเนื้อประสม (chert-clastic belt) ทางทิศตะวันตก และ แนวชุดหินงูใหญ่เมลาจ (serpentinite melange belt) ทางทิศตะวันออก นอกจากนั้นยังพบชุดหินที่มี

ความหลากหลายของหินภูเขาไฟบริเวณมหาสมุทร (ocean-floor) หมู่เกาะรูปโค้ง (island arc) และภาคพื้นทวีป (continental arc) และแสดงโครงสร้างแบบเกยเลื่อน (melange) ซึ่งประกอบด้วย หินบะซอลต์ปะทุนพื้นสมุทร (ocean island basalts) หินบะซอลต์หลังแนวโค้ง (backarc basin basalts) และหินแอนดีไซต์ นอกจากนี้ยังมีหินบะซอลต์เกาะโค้ง (island-arc basalts) และหินแอนดีไซต์ยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์โม-ไทรแอสสิก วางตัวแบบเกยเลื่อนกับเขตหินเชิร์ต-หินเนื้อประสม (chert-clastic belt) ส่วนทางทิศตะวันตก ชันหินและกลุ่มหินแสดงการเลื่อนแบบย้อนมุมต่ำ (thrust) และปรากฏเป็นเศษหินขนาดใหญ่วางตัวซ้อนกันเป็นแผ่นบางๆ และพบซากดึกดำบรรพ์เรดิโอราเรียนที่เป็นตัวบ่งบอกอายุในยุคไทรแอสสิกตอนกลางด้วย

รูป 3-6 ลักษณะการมุดตัวของบริเวณขอบแผ่นฉาน-ไทย และอินโดจีนทำให้เกิดตะเข็บธรณีและการกำเนิดหินอัคนีในช่วยปลายยุคเพอร์เมียนถึงต้นยุคไทรแอสสิก ตามแนวคิดของหนังสือเล่มนี้

ตะเข็บเบงตง-ราวบ (Bentong –Raub Suture zone)

ตะเข็บนี้เป็นแนวรอยต่อธรณีวิทยาที่น่าจะต่อมาจากรอยต่อน่าน-อุดรดิตถ์ และสระแก้ว-จันทบุรี เป็นรอยตะเข็บระหว่างแผ่นอินโดจีนกับแผ่นฉานไทย เป็นผลมาจากแผ่นมหาสมุทรที่ทิศที่เคลื่อนที่ขึ้นเหนือและมุดลงไปได้ แผ่นอินโดจีนในช่วงปลายของยุคเพอร์เมียน และเกิดจากการชนกันจนแผ่นฉานไทยถูกเลื่อนดันและมุดตัว (underthrust) ลงไปข้างใต้แผ่นอินโดจีน ตะเข็บเบงตง-ราวบนี้โผล่ให้เห็นในตอนกลางคาบสมุทรมาเลย์เป็นแนวยาวแคบๆ วางตัวในแนวเหนือใต้ กว้างประมาณ 20 กิโลเมตร หินในตะเข็บประกอบด้วยชันหินเกยเลื่อนหินเชิร์ตชั้นบางทะเลลึกที่มีเรดิโอราเรียนซึ่งบ่งบอกอายุตั้งแต่ดีโวเนียนตอนต้น คาร์บอนิเฟอรัสตอนปลาย และ เพอร์เมียนตอนต้นถึงเพอร์เมียนตอนกลาง (Sashida และคณะ., 1995; Spiller & Metcalfe, 1999) นอกจากนี้ยังพบหินชีสต์ และชุดหินภูเขาไฟสูงถึงชั้นจัด พบกระจายตัวอยู่เป็นกระเปาะๆ ไม่ต่อเนื่องกันปะปนอยู่กับหินแอมไฟโบไลต์ หินแอมไฟโลไทต์ชีสต์ หินควอร์ตไมก้าชีสต์ หินปูนเนื้อฟิลไลต์ที่มีซากดึกดำบรรพ์ หินแกรนิตไทรโยคิโวเนียนตอนต้น โดยเกิดในโครงสร้างเกยเลื่อน มีความเป็นหินชุดโอไฟโอไลต์ (Hutchison, 1975, 1989; Tjia, 1987, 1989, b) และใกล้ๆ เมืองราวบ พบหินปูนที่มีซากดึกดำบรรพ์จำพวก *Mesogondolella bisselli* (Clark and Behnken) และ *Sweetognathus whitei* (Rhodes) โดยที่ทั้งสองชนิดเป็น ตัวแทนของ *Mesogondolella bisselli* - *Sweetognathus whitei* Zone ซึ่งบ่งบอกอายุเพอร์เมียนตอนต้น (Middle Permian) และมีซากดึกดำบรรพ์ *Xaniognathus* cf. *sweeti* Igo, ซึ่งบ่งบอกอายุเพอร์เมียนตอนต้น และพบฟอสซิลจำพวก *Paraschwagerina* sp. *Schwagerina* sp. และ *Pseudofusulina* sp. ซึ่งทั้งสามชนิดนี้บ่งบอกอายุในยุคเพอร์เมียน (อนุยุค Sakmarian) และมีหินภูเขาไฟในช่วงพาลีโอโซอิกตอนต้น 2 แนว คือ แนวหินภูเขาไฟยุคเพอร์เมียนตอนต้นจนถึงเพอร์เมียนตอนกลาง (Peusangan-Palepat Volcanic Arc)

ปรากฏเป็นแนวแคบๆยาว ทางตะวันตกของตะเข็บเบงกอล-รวบที่มีรอยเลื่อนเป็นเขตแบ่ง เชื่อกันว่า ตะเข็บนี้ทอดตัวยาวลงไปถึงสุมาตรา และอีกแนวเป็นแนวหินภูเขาไฟยุคเทอร์เชียรีตอนกลางถึงตอนปลายและไทรแอสซิก (East Malaya Volcanic Arc) ปรากฏเป็นแนวแคบๆยาว ทางตะวันออกของรอยต่อเบงกอล-รวบ และเลยออกไปถึงทางตะวันออกของคาบสมุทรมลายูและอาจจะขยายออกไปจนถึงหมู่เกาะบัลลาและบิลิตัน (Bangka and Billiton) ตามแนวตะวันตกของแผ่นอินโดจีน

3.2.3 จุลทวีปฉานไทย (Shan-Thai micro continent) หรือแผ่นไซบูมาสุ (Sibumasu, Plate)

จุลทวีปฉานไทยถูกกำหนดให้อยู่ในระหว่างแผ่นพม่าตะวันตกตามแนวรอยเลื่อนสะกาย (Sagaing fault) หรือขอบเขตฉาน (Shan boundary) (รูป 3-2) กับแผ่นอินโดจีนทางด้านตะวันออก ตามแนวตะเข็บน่าน-อุตรดิตถ์-สระแก้วและเบงกอล-รวบ ซึ่งเป็นแนวแบ่งขอบเขตดังกล่าวแล้ว โดยพื้นที่ส่วนของจุลทวีปฉานไทย ประกอบด้วยประเทศพม่าด้านตะวันออก ประเทศไทยด้านตะวันตก ตอนกลางและยาวตลอดแนวของแหลมไทย รวมถึงประเทศมาเลเซียด้านตะวันตก

3.2.4 แผ่นพม่าตะวันตก (West Burma Plate)

พื้นที่กำหนดจากแนวรอยเลื่อนสะกายด้านตะวันตก ขอบรัฐฉาน (Shan boundary) หรือตะเข็บสะกาย หรือตะเข็บมันทะเลย์ ซึ่งเป็นรอยเลื่อนเลื่อนข้าง (strike-slip fault) ที่ยาวมากในแนวเหนือ-ใต้เกือบขนานกับแม่น้ำสาละวิน คลุมพื้นที่ส่วนของประเทศพม่าด้านตะวันตกทั้งหมด ในรายงานของ Metcalfe (1996) แผ่นพม่าตะวันตกมีหินฐานเป็นหินชีสต์ที่เกิดก่อนมหายุคมีโซโซอิก ปิดทับด้วยหินน้ำขุ่น (turbidite) ยุคไทรแอสซิก หินดินดานมีแอมโมไนต์ยุคครีเทเชียส และหินปูน โดยพบกระจายตัวตามเทือกเขาอินโดพม่า (Indo-Burma Ranges) และทางตะวันออกมีแนวหินภูเขาไฟมหายุคมีโซจีน (มีโซโซอิก) ถึงยุคครีเทเชียสเกิดขึ้นตามที่ราบต่ำภาคกลาง (Central lowland) แนวหินภูเขาไฟนี้อาจไม่เกี่ยวกับแผ่นพม่าตะวันตกแต่อาจเป็นตะเข็บระหว่างแผ่นฉานไทยกับพม่าตะวันตก เชื่อว่าแผ่นพม่าตะวันตกแยกตัวออกมาจากแผ่นทวีปก่อนคั้วนาในยุคจูแรสซิกตอนปลายก่อนที่จะมาผนวกกับแผ่นฉานไทยทำให้เกิดทะเลที่ที่ส่วกลาง (Mesotethy)

เขตรอยเลื่อนขอบฉาน (Shan Boundary Fault Zone)

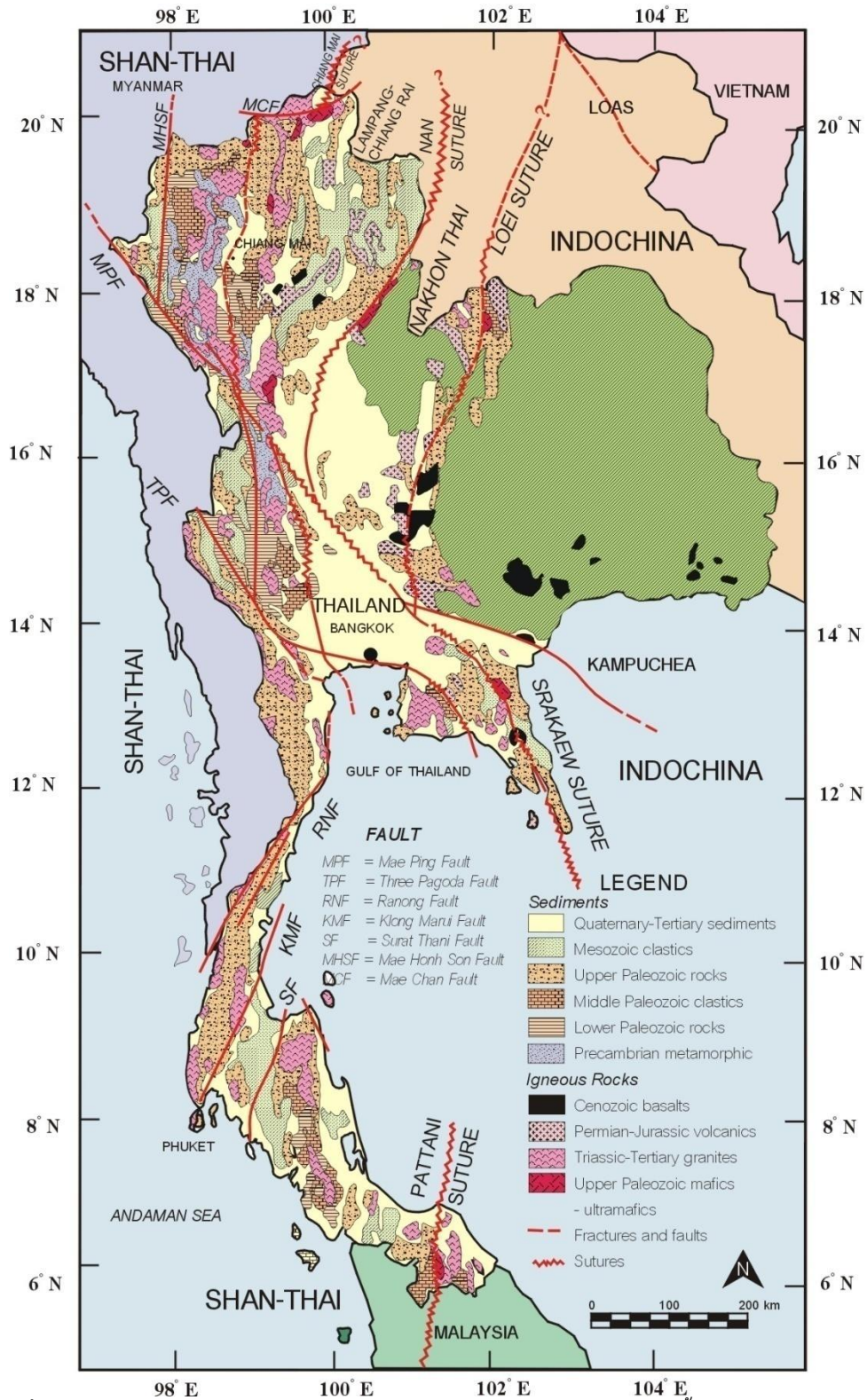
เขตรอยเลื่อนขอบฉานนี้เป็นรอยต่อธรณี (หรือตะเข็บ) ระหว่างแผ่นพม่าตะวันตกกับแผ่นฉานไทย วางตัวในแนวเหนือใต้ตามแนวรอยเลื่อนสะกาย โดยขอบด้านตะวันตกประกอบด้วยหินมหายุคมีโซจีน (มีโซโซอิก) วางอยู่บนหินมหายุคปฐมวัย (พาลีโอโซอิก) ที่คดโค้งมาก และหินชุดโมก็อก (Mogok belt) ซึ่งประกอบด้วยหินแปร หินอัคนีสีเข้มจัด หินแกรนิต และรวมถึงหินพรีแคมเบรียนด้วย ส่วนทางด้านตะวันตกของรอยเลื่อนประกอบด้วยแนวหินภูเขาไฟยุคครีเทเชียสถึงเทอร์เชียรี ส่วนตะวันตกของรอยเลื่อนเป็นแอ่งตะกอนยุคนีโอจีน ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการชนกันของแผ่นพม่าตะวันตกกับแผ่นฉานไทยในปลายยุคครีเทเชียส

แผ่นลำปาง-เชียงรายหรือแนวหินคดโค้งสุโขทัย (Sukothai fold belt) หรือ โค้งสุโขทัย (Sukothai arc)

แต่เดิมแนวหินคดโค้งสุโขทัย (Bunopas, 1981) เป็นแนวชั้นหินคดโค้งที่อยู่ระหว่างจุลทวีปฉานไทป์กับแผ่นอินโดจีน (รูป 3-7) วางตัวในแนวยาวเหนือ-ใต้ พื้นที่ด้านตะวันออกถึงชุดหินงูใหญ่โอไฟโอไลต์ น่าน-อุตรดิตถ์จนถึงเบตง-รวบ กลุ่มพื้นที่ด้านตะวันออกของภาคเหนือประเทศไทย และภาคตะวันตกของพม่ามาเลเซีย ซึ่งจัดเป็นส่วนบนแผ่นฉาน-ไทป์ (Bunopas และ Vella, 1978) แนวคดโค้งนี้สอดคล้องหรือคล้ายกับแผ่นธรณีที่ ปัญญา จารุศิริ และคณะ (2545) เรียกว่าแผ่นลำปาง-เชียงราย (Lampang-Chiang Rai block) แต่ต่างกันตรงที่แผ่นลำปาง-เชียงรายมีความเป็นแผ่นสมุทร (Oceanic Plate) มากกว่าเป็นแนวหินคดโค้ง

แผ่นนครไทยหรือแนวหินคดโค้งเลย (Loei fold belt)

แนวหินคดโค้งเลยเป็นส่วนทางด้านตะวันออกขนานไปกับแนวหินคดโค้งสุโขทัยจากแนวของหินโอไฟโอไลต์ไปทางตะวันออกต่อเนื่องขึ้นไปทางเหนือในส่วนของประเทศลาว และประเทศเวียดนามทางตอนเหนือ รวมส่วนของประเทศไทยตลอดแนวด้านตะวันออก และพื้นที่บางส่วนของภาคตะวันออกของพม่ามาเลเซีย (รูป 3-7) เป็นส่วนประกอบที่อยู่บนแผ่นอินโดจีน (Bunopas และ Vella, 1978) อย่างไรก็ตาม ปัญญา จารุศิริ และคณะ (2545) ได้เสนอให้แนวคดโค้งเลยมีความใกล้เคียงทางธรณีวิทยากับแผ่นนครไทย (Nakhon Thai block)



รูป 3-7 แผนที่ธรณีวิทยาประเทศอย่างง่ายแสดงการกระจายตัวของหินในมหายุคต่างๆ ทั้งหินตะกอน (แปร) และหินอัคนี และแผ่นเปลือกโลกที่สำคัญ ตลอดจนตะเข็บ (ธรณี) และแนวรอยเลื่อนหลักๆ ของไทย (Charusiri และคณะ, 2002)

3.3 วิวัฒนาการของการแปรสัณฐาน (Tectonic evolution)

ข้อมูลการศึกษาแม่เหล็กบรรพกาลทั้งในประเทศไทย และมาเลเซียและการศึกษาในประเทศจีน นับว่าเป็นข้อมูลสำคัญในการสนับสนุนทฤษฎีการแปรสัณฐานของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ว่าประกอบด้วยส่วนของแผ่นการแปรสัณฐานหลายส่วนที่เคลื่อนตัวจากบริเวณอื่นมาอยู่ร่วมกัน โดยทั่วไปมักกล่าวถึงการมารวมกันของแผ่น 4 แผ่นหลักๆ ได้แก่ แผ่นฉานไทย (หรือไซบุมาสู) แผ่นพม่าตะวันตก แผ่นอินโดจีน และแผ่นจีนใต้ โดยอาศัยข้อมูลทางการศึกษาซากดึกดำบรรพ์ในหลาย ๆ การศึกษา รวมถึงความคล้ายคลึงกันของการลำดับชั้นหิน ซึ่งเหล่านี้ล้วนเป็นข้อมูลสนับสนุน ที่ทำให้เชื่อว่าแผ่นทวีปทั้งสองอันได้แก่แผ่นฉานไทย (หรือไซบุมาสู) กับแผ่นอินโดจีนมีจุดกำเนิด และแตกแยกมาจากแผ่นดินเดียวกัน คือขอบของอภิมหาทวีปกอนด์วานาในซีกโลกใต้ แม้ว่าจะยังคงมีความขัดแย้งกันอยู่ในเรื่องตำแหน่งของแผ่นไซบุมาสูที่เกี่ยวข้องกับแผ่นดินแม่คือทวีปออสเตรเลีย และระยะเวลาของการแยกตัว (rifting) ก็ตาม

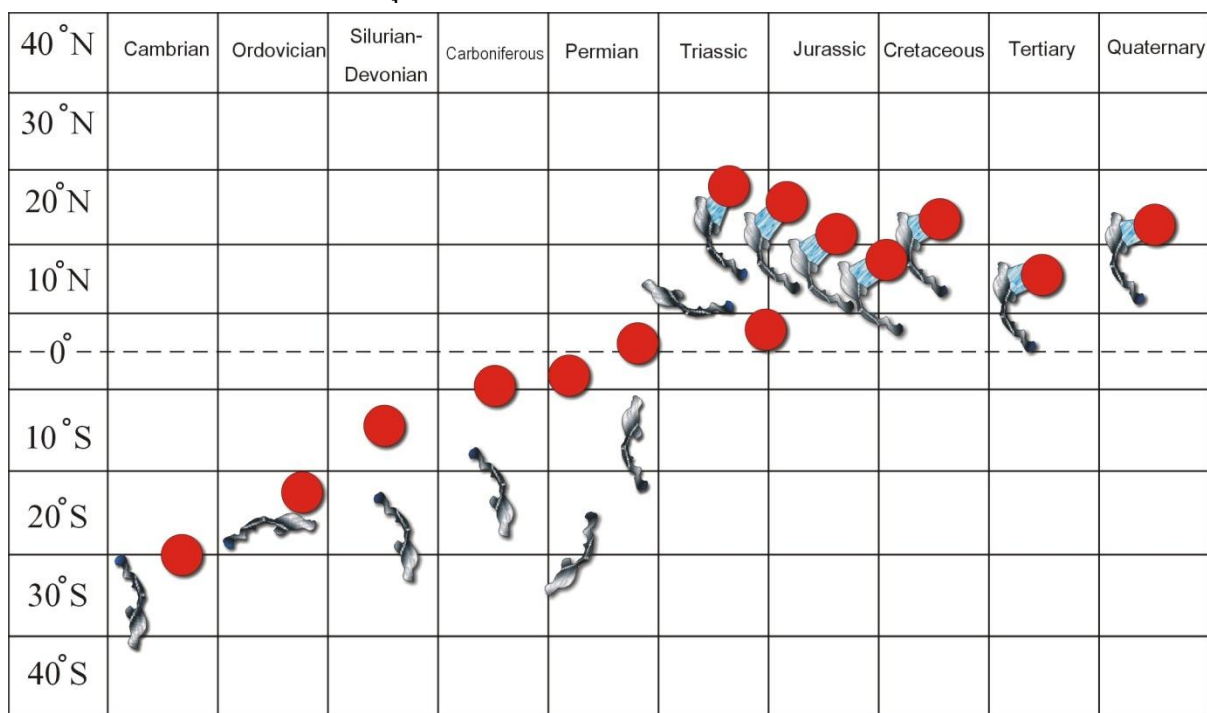
โดยตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ปัจจุบันของแผ่นดินหลักในภูมิภาคส่วนนี้ เชื่อว่าเป็นผลมาจากการปะทะกันระหว่างแผ่นฉานไทยหรือไซบุมาสูทางด้านตะวันตกกับแผ่นอินโดจีนทางด้านตะวันออก (รูป 3.2 และ 3.7) ซึ่งกลุ่มการศึกษาส่วนใหญ่เชื่อว่าการปะทะกันเกิดขึ้นในช่วงเวลาปลายยุคไทรแอสซิก เช่น Bunopas และ Vella (1978) Gatinsky และคณะ (1978) Asnachinda (1978) Macdonald และ Barr (1978) Bunopas (1981) Mitchell และ Garson (1981) Chonglakmani (1981) Sengor (1984) Hutchison (1989) Charusiri และคณะ (2002) เป็นต้น

Metcalfe (1988) และ Charusiri และคณะ (2002) กล่าวว่า อินโดจีน เป็นแผ่นทวีปถาวรมีหินฐานมหายุคพรีแคมเบรียน ซึ่งโดยปกติถูกปิดทับด้านบนอยู่ด้วยตะกอนทะเลตื้นในมหายุคปฐมชีวิติน (พาลีโอโซอิก) และตะกอนภาคพื้นทวีปของมหายุคมีซิมชีวิติน (มีโซโซอิก) และเชื่อว่าแผ่นอินโดจีนเคลื่อนตัวหลุดออกมาจากขอบด้านตะวันตกเฉียงเหนือของแผ่นทวีปออสเตรเลียซึ่งติดอยู่ทางด้านตะวันออกของแผ่นดินกอนด์วานา (Audley-Charles, 1983, 1988) สำหรับแผ่นฉานไทยนั้นเป็นแผ่นทวีปรูปยาวรี มีหินฐานมหายุคพรีแคมเบรียน และเคลื่อนตัวหลุดมาจากด้านตะวันตกเฉียงเหนือของแผ่นทวีปออสเตรเลียเช่นเดียวกัน โดย Metcalfe (1991) เชื่อว่าแผ่นอินโดจีนนั้นได้แยกตัวมาจากด้านตะวันออกเฉียงเหนือของแผ่นทวีปออสเตรเลียในระหว่างยุคไซลูเรียน (หรือดีโวเนียน) และเคลื่อนตัวขึ้นเหนือในยุคคาร์บอนิเฟอรัส โดยในเวลานั้นจุดทวีปฉานไทย ยังคงติดอยู่กับแผ่นออสเตรเลีย ซึ่งยังอยู่ทางตะวันออกของมหาทวีปกอนด์วานาจนกระทั่งในปลายยุคเพอร์เมียนจึงแยกตัวออกมาอย่างอิสระเป็นรูปยาวรี จนมาเชื่อมต่อไปเป็นแผ่นดินเดียวกันในช่วงต้นยุคไทรแอสซิก

Mouret (1994) ได้ศึกษาชั้นหินตะกอนมหายุคมีโซโซอิกในแถบภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยและเชื่อว่า การชนกันของแผ่นฉานไทยกับแผ่นอินโดจีน เริ่มเมื่อตอนกลางยุคไทรแอสซิก สืบเนื่องให้มีการหมุนตัวตามเข็มนาฬิกาในเวลาต่อมา โดยการแปรเปลี่ยนจากความรุนแรงมากกว่าในครั้งแรกจากทางขอบด้านตะวันตกเฉียงใต้ และแผ่ขยายตัวออกไปจนก่อให้เกิดการเลื่อนย้อนตามแนวเทือกภู

พาน และการขยับตัวของรอยเลื่อนต่างๆ เกิดขึ้นอีกครั้งหนึ่งในยุคคาร์บอนิเฟอรัส การสะสมตะกอนบก โมลาสส์ (molasse) ได้สิ้นสุดลงเมื่อ 65 ล้านปี สัมพันธ์กับช่วงต้นของการชนกันของแผ่นดินหิมาลัย ทางด้านตะวันตกของประเทศพม่า และการอัดตัวในยุคซีโนโซอิกได้ก่อให้เกิดการโค้งงอแบบกว้าง ๆ ในกลุ่มหินโคราชขึ้นด้วย

ในส่วนของอินโดจีน Mouret (1994) ได้แปลความและอธิบายวิวัฒนาการแปรสัณฐาน ผนวก กับข้อมูลสถานะแม่เหล็กบรรพกาลจาก Cgarysuru และคณะ (2002) (รูป 3-8) จากข้อมูลธรณีวิทยาใต้ดิน (subsurface data) ในบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยร่วมกับข้อมูลธรณีวิทยาของจีนตอนใต้ และธรณีวิทยาของประเทศเวียดนามจนพบว่า แผ่นอินโดจีนนั้นชนกับแผ่นซงดา (Song Da) หรือ แผ่นดินคาเทเซีย (Cathaysia) ในแอ่งรับตะกอนตรังซอน (Truong Son) ตั้งแต่ก่อนยุคคาร์บอนิเฟอรัส ตอนกลาง มีการเลื่อนเหลื่อมข้างแนวยืนในทิศทางตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีผลให้เกิดแอ่งเลื่อนยุบ (graben) และกึ่งเลื่อนยุบ ต่อเนื่องตามมาในยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนกลางหรือตอนบน ส่วนในยุคเพอร์เมียน ตอนกลาง แผ่นอินโดจีนชนกันกับแผ่นแยงซีเกียง (Yangtze) หรือแผ่นจินใต้ ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ที่เรียกว่า ซงดา (Song Da) ขึ้นไปอยู่ทางตอนเหนือของเวียดนาม และในปลายยุคเพอร์เมียน ถึงต้นยุคไทรแอสซิก การฉีกเลื่อน (wrenching) ของแผ่นไปทางขวาทำให้เกิดการเปิดออกและการโค้งตัวของแอ่ง นอกจากนี้ มีการเลื่อนขนานไปทางซ้ายเล็ก ๆ ด้วย คูได้จากรูปร่างของแอ่งฮวงซอน (Hoang Son) เมื่อแอ่งซงดา (Song Da) เปิดออกเต็มที่แล้ว ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าเกิดการแทรกดันของเปลือกสมุทร (oceanic crust) และทางด้านตะวันตกมีการมุดตัวสัมพันธ์กับหินอัคนี



Shan - Thai



Indochina

Lampang-Chiang Rai &
Nakhon Thai

รูป 3-8 ตำแหน่งที่ตั้งในอดีตทางภูมิศาสตร์ของแผ่นเปลือกโลกสำคัญของไทยในช่วงยุคต่างๆ โดยอาศัยหลักฐานทางสถานะแม่เหล็กบรรพกาล (ที่มา : แผ่นฉานไทย Bunopas (1981), Bunopas & Vella (1983) แผ่นอินโดจีน Marante & Vella (1986), Imsamut (1996), แผ่นลำปาง-เชียงใหม่และแผ่นนครไทย Xu และคณะ (1997), Li & Zhung (1997)) (ปัญญา จารุศิริและคณะ, 2545)

ส่วนวิวัฒนาการแปรสัณฐานทางด้านตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ของแผ่นฉานไทยนั้น Metcalfe (1998) ได้รวบรวมข้อมูลและรายงานว่าแผ่นพม่าตะวันตกและแผ่นไวโอล่า (Woyla terrane) ได้แยกออกจากทางตอนเหนือของมหาทวีปกอนด์วานาในช่วงยุคจูแรสสิกตอนปลาย โดยที่แผ่นพม่าตะวันตกได้ผนวกกับแผ่นฉานไทยในช่วงยุคครีเทเชียส ส่วนแผ่นไวโอล่านั้นเข้ามาชนกับแผ่นฉานไทยหรือไซบิวมาสูทางตะวันตกเฉียงใต้ของเกาะสุมาตราในช่วงยุคครีเทเชียสตอนปลาย ผลของการชนกันทำให้เกิดชุดหินภูเขาไฟขนาดใหญ่แนวหินโอไฟโอไลต์และมวลพอกพูนเกลื่อน (accretionary complex) จำนวนมากตามแนวปะทะกัน

การจัดแบ่งวิวัฒนาการทางการแปรสัณฐานของประเทศไทย และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เริ่มต้นโดย Bunopas และ Vella (1983, 1992) และต่อมา Charusiri และคณะ (2002) และปัญญา จารุศิริ และคณะ (2545) โดยอาศัยลักษณะปรากฏของหิน โครงสร้าง และอายุหิน ตลอดจนธรณีเคมีและการลำดับชั้นหิน ได้จำแนกวิวัฒนาการแปรสัณฐานออกเป็น 4 ช่วงดังมีรายละเอียดดังนี้ (รูป 3-9)

รของใหม่

๓.๕ กลุ่มรอยเลื่อนหลัก (Major Fault Zones)

กระบวนการแปรสัณฐาน (tectonic process) ก่อให้เกิดทั้งกระบวนการธรณีวิทยา (geological process) ตลอดจนชนิดและลักษณะรูปร่างวัสดุทางธรณีวิทยา (geological material) ต่าง ๆ มากมายเช่น เทือกเขาและแอ่งสะสมตะกอน การระเบิดของภูเขาไฟ การคดโค้ง รอยเลื่อนต่างๆ รวมถึงการเกิดแผ่นดินไหวและแผ่นดินถล่ม ซึ่งสาเหตุของการเกิดแผ่นดินไหวสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ 1) แผ่นดินไหวที่เกิดจากมนุษย์ และ 2) แผ่นดินไหวที่เกิดจากธรรมชาติ ซึ่งแผ่นดินไหวจากธรรมชาติมีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับการแปรสัณฐานยุคใหม่ (neotectonics) ทฤษฎีกลไกการเกิดแผ่นดินไหวที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบันมีอยู่ 2 ทฤษฎี คือ

1) ทฤษฎีการขยายของเปลือกโลก (Dilation source theory) ซึ่งเชื่อว่าแผ่นดินไหวเกิดจากการที่เปลือกโลกโค้งงอและเลื่อนตัวอย่างฉับพลัน และเมื่อวัตถุขาดออกจากกันจึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปคลื่นแผ่นดินไหว

2) ทฤษฎีการคืนตัวของวัตถุ (Elastic rebound theory) ซึ่งเชื่อว่าแผ่นดินไหวเกิดจากการสั่นสะเทือนอันเป็นผลมาจากรอยเลื่อน (Fault) เคลื่อนตัว เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ถึงจุดหนึ่งวัตถุจะขาดออก

จากกันและเสียดรูปเดิม ทฤษฎีนี้สนับสนุนแนวคิดที่เชื่อว่าแผ่นดินไหวมีกลไกการกำเนิดเกี่ยวข้องโดยตรงและใกล้ชิดกับแนวรอยเลื่อนต่างๆ ที่เกิดขึ้นอันเป็นผลจากการแปรสัณฐานของเปลือกโลก โดยเฉพาะรอยเลื่อนมีพลัง (Active fault) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการธรณีแปรสัณฐานยุคใหม่

ปัญญา จารุศิริ และคณะ, (2543) ได้สรุปโครงสร้างทางธรณีวิทยาที่มีความสัมพันธ์กับแผ่นดินไหวบนทวีปในพื้นแผ่นดินเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จากข้อมูลภาพดาวเทียมและข้อมูลธรณีวิทยาอ้างอิงและได้แบ่งรอยเลื่อนที่ส่วนใหญ่มีนัยการเลื่อนไปตามแนวระดับ (strike-slip fan (timp) ออกเป็น 7 กลุ่มด้วยกัน ซึ่งจากโครงสร้างแนวเส้นของรอยเลื่อนที่ปรากฏในภาพจากดาวเทียมทำให้พบว่า กลุ่มรอยเลื่อนมีทิศทางการวางตัว 3 แนวหลักได้แก่ แนวเหนือ-ใต้, แนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ และแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ กลุ่มรอยเลื่อนมีดังนี้ (รูป 3-13 และ 3-14)

1) กลุ่มรอยเลื่อนเทือกเขาอินเดียน-พม่า (Indo-Burman Ranges Fault Zone) เป็นรอยเลื่อนย้อนกลับทิศตะวันออกเฉียงของเทือกเขาซึ่งเป็นแนวยาวในทิศเหนือ-ใต้ จนถึงกลุ่มน้ำอริระวดีฝั่งตะวันตก และจากข้อมูลแปรแผ่นดินไหวสามารถสรุปแน่นอนได้ว่ากลุ่มรอยเลื่อนนี้เป็นรอยเลื่อนมีพลัง กลุ่มรอยเลื่อนสะเกียง-ปานหลวง-ตวงกุย (Sagaing-Panlaung-Tuanggui Fault Zone) เป็นรอยระนาบขนาบเข้าครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ฝั่งตะวันออกเฉียงของแม่น้ำอริระวดีซึ่งครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของที่ราบลุ่มภาคกลางของพม่าจนถึงฝั่งตะวันตกของแม่น้ำสะโตง จากข้อมูลแผ่นดินไหวพบว่ามีแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ (>7 ริกเตอร์) อย่างน้อย 4 ครั้ง ลักษณะการเคลื่อนตัวส่วนใหญ่เป็นรอยเลื่อนย้อนถึงรอยเลื่อนย้อนมุมต่ำ และนับการเคลื่อนขึ้นแบบยกขึ้นไปทางทิศตะวันตก

2) กลุ่มรอยเลื่อนนานตึง-ปาซาน-แมจัน (Nanting-Paosan-Mae Chan Fault Zone) มีการวางตัวในแนวเกือบตะวันออก-ตะวันตก จากข้อมูลแผ่นดินไหวสรุปได้เป็นแนวรอยเลื่อนมีพลัง กลุ่มรอยเลื่อนนี้มีความสำคัญมากที่สุดกลุ่มหนึ่งตามทฤษฎีธรณีวิทยาแปรสัณฐาน ซึ่งพบว่าแนวรอยเลื่อนบริเวณนี้เป็นจุดอ่อนตัวที่สุดของแผ่นทวีปเดิม ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่เป็นไปได้มาก

3) กลุ่มรอยเลื่อนแม่น้ำแดง-มา-ดา (Red-Ma-Da Fault Zone) วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ จากข้อมูลแผ่นดินไหวบริเวณกลุ่มรอยเลื่อนนี้พบที่มีความรุนแรงในส่วนของการรอยเลื่อนในเขตมณฑลยูนนานมากกว่าบริเวณเวียดนามตอนเหนือ ในแง่ของธรณีวิทยาแปรสัณฐาน กลุ่มรอยเลื่อนนี้เป็นรอยต่อหรือตะเข็บโลกที่เกิดจากการชนกันของแผ่นเปลือกโลกอินโดจีน กับแผ่นจีนใต้ ในยุคไทรแอสซิกตอนปลาย ทำให้น่าจะเป็นบริเวณที่มีความอ่อนตัวของเปลือกโลกอย่างมาก มีโอกาสเกิดแผ่นดินไหวได้ง่ายเมื่อเกิดการหมุนตัวของแผ่นเปลือกโลกเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จากการดันตัวของแผ่นทวีปอินเดีย กลุ่มรอยเลื่อนนี้เคยเลื่อนแบบซ้ายเข้าตอนต้นยุคเทอร์เชียรี ปัจจุบันเลื่อนแบบขวาเข้า

4) กลุ่มรอยเลื่อนแม่สะเรียง-แม่ปิง-ด่านเจดีย์สามองค์ (Mae Sariang-Mae Ping-Three Pagoda Fault Zone) วางตัวทางด้านตะวันตกของประเทศไทย โดยกลุ่มรอยเลื่อนแม่ฮ่องสอนวางตัวในแนวเกือบเหนือ-ใต้ ทอดตัวลงมาต่อเข้ากับกลุ่มรอยเลื่อนแม่ปิง-เจดีย์สามองค์ ซึ่งวางตัวในแนวตะวันตกเฉียง

เหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ จากข้อมูลแผ่นดินไหวพบว่ามีความถี่และเกิดเป็นกระจุกในเขตประเทศพม่า มากกว่าที่เกิดในประเทศไทย ในแง่ของอายุรอยเลื่อนจัดว่าเป็นรอยเลื่อนมีพลัง สอดคล้องกับหลักฐานทางธรณีวิทยาแปรสัณฐาน ปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นรอยเลื่อนแบบขวาเข้าคล้ายรอยเลื่อนแม่น้ำแดง

5) กลุ่มรอยเลื่อนเดียนเบียนฟู-หลวงพระบาง-แพร่-เถิน-อุตรดิตถ์ (Dien Bien Phu-Luang Prabang-Phrae-Thoen-Uttradiit Fault Zone) วางตัวในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ จากข้อมูลแผ่นดินไหวพบว่ามักจะเกิดแผ่นดินไหวขนาดเล็ก (3-5 ริคเตอร์) บ่อยครั้ง ทางด้านของธรณีวิทยาแปรสัณฐาน กลุ่มรอยเลื่อนนี้เป็นรอยตะเข็บโลก จากการชนกันของแผ่นจุลทวีปฉาน-ไทยและจุลทวีปอินโดจีน ทำให้เป็นบริเวณที่มีความหุนและอ่อนตัวมากมีโอกาสในการเกิดแผ่นดินไหวมา สอดคล้องกับการหาอายุรอยเลื่อนซึ่งใหม่มาก ปัจจุบันมีการเลื่อนตัวแบบซ้ายเข้า

6) กลุ่มรอยเลื่อนแม่ทา-แม่ริม (Mae Tha-Mae Rim Fault Zone) กลุ่มรอยเลื่อนนี้มีขนาดเล็ก ลักษณะคล้ายกับกลุ่มรอยเลื่อนเปาซาน-เชียงราย คือมีลักษณะโค้งเป็นรูปตัวเอส (S) จากข้อมูลแผ่นดินไหวพบว่าส่วนใหญ่มีขนาดประมาณ 3-4 ริคเตอร์ จากการหาอายุรอยเลื่อน น่าจะยังคงมีพลังอยู่ และมีนัยการเลื่อนแบบซ้ายเข้า

3.4. ธรณีแปรสัณฐานยูเนียนตอนใต้

เมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่เราได้ศึกษานับตั้งแต่ธรณีวิทยาในสนาม ธรณีเคมี ธรณีโครงสร้างศิลาวิทยา การจัดลำดับชั้นหิน และซากดึกดำบรรพ์ ทำให้พอประมวลและจัดแบ่งหน่วยธรณีแปรสัณฐานในบริเวณยูเนียนใต้ได้เป็นหลายหน่วย (รูป 3.15 และ 3-16) โดยแบ่งกลุ่มใหญ่เป็น 4 หน่วยแปรสัณฐาน (tectonic unit หรือ block) หลัก คือตะวันออกเฉียงใต้เรียก 1) จุลทวีปแยงซี (Yangtze microcontinent หรือ block) ถัดมาทางตะวันตกเรียก 2) จุลทวีปซิมมา (ซามโด) (Simao-Qamdo microcontinent) 3) จุลทวีปเปาซาน (Baoshan microcontinent) และทางตะวันตกสุดเรียก 4) จุลทวีปเท็นจง (Tengchong microcontinent) ซึ่งในที่นี้คือส่วนที่เรียกรอยเลื่อนคั่นขึ้นเกาลีโกงชาน (Gaoli Gongchan Thrust)

3.4.1 แผ่นหรือจุลทวีปแยงซี

จุลทวีปนี้สามารถเรียกได้หลายชื่อในอดีตใช้คำว่าผืนราบแยงซี (Yangtze platform) หรือต่อมาเรียกฐานทวีปแยงซี (Yangtze massif) และเรียกแผ่นหรือจุลทวีปแยงซีในปัจจุบัน ประกอบด้วยหินเก่าแก่ที่สุด (Prepaleozoic) จนถึงอ่อนที่สุด (Cenozoic)

ในที่นี้เราได้แบ่งจุลทวีปแยกชื่อออกเป็น 3 ส่วน ด้วยกัน (รูป 3-15) คือ 1) เขตเลื่อนคั่นขึ้นเขาอ้ายลาว (Ailaochn Overthrust Belt) 2) เขตมวลเลื่อนจินผิง (Jinping Gliding Mass) และ 3) เขตตะเข็บจินชาเจียง-อ้ายลาวซาน (Jinshajiang-Ailao Shan Suture)

เขตคินเลี่ยนเขาอ้ายลาว

ฐานหิน (basement) ที่แก่ที่สุดโผล่ให้เห็นในบริเวณเทือกเขาอ้ายลาว-เดียนซาง (Ailaoshan Diancang shan) เนื่องจากถูกดันเลื่อนขึ้น (thrusting) ไปบนกลุ่มหินตะกอนมหายุคเมโซโซอิกของแอ่งซีเหมา-ลานปิง (Simao-Lanping Depression) จนทำให้เกิดแนวเลื่อนดันขึ้นเขาอ้ายลาว-เดียนซาง ซึ่งทำให้เกิดรอยเลื่อนดันขึ้นเป็นชุด ๆ (Y1 ในรูป 3.15) โดยเฉพาะแถบบริเวณโมเจียง-หยวนเจียง (Mojiang-Yuanjiang) ซึ่งบริเวณนี้มีแหล่งทองคำมากมาย ฐานหินเขาอ้ายลาวนี้มีอายุพรีแคมเบรียนและประกอบด้วย หินมิกมาไทต์ไนส์ (migmatite gneiss) หินแกรนูลไลต์ (granulite) หินแอมฟิโบไลต์ (amphibolite) ชิสต์และหินอ่อน เนื่องจากอิทธิพลของการเลื่อนตัวแบบนี้จึงทำให้หินเกิดการเปลี่ยนแปลงแบบโค้งงอ (ductile deformation) และเกิดหินไมโลไนต์ (mylonite) ชนิดต่าง ๆ มากมาย ในช่วงต่อมาจึงเกิดการลำดับชั้นหินในมหายุคถัดมาแบบไม่ต่อเนื่อง แสดงว่าเกิดกระบวนการยกตัว (uplift) ของเปลือกโลกนั้น จนกระทั่งเกิดการสะสมของตะกอนเม็ด (clastic) และตะกอนเคมี (เช่น คาร์บอเนต) ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมแบบสงบนิ่งในน้ำทะเลตื้น ขณะเดียวกันก็อาจมีบางแห่งในบางยุค (เช่น ยุคออรัโดวิเซียน-ไซลูเรียน) ที่เกิดตะกอนน้ำทะเลลึก เช่น หินดินดานสีดำ (black shale) มีแกรบโตไลต์ (graptolite shale) และหินทรายสลับ ในตอนช่วงปลายยุคไซลูเรียนเกิดการยกตัวครั้งใหญ่อีกครั้งหลังจากเกิดการสะสมตะกอนในแอ่งหน้าแผ่นดิน (foreland basin) แล้วต่อมาจึงมีการสะสมตัวของตะกอนคาร์บอเนตยุคคาร์บอนิเฟอรัสเรื่อยมาจนถึงยุคไทรแอสสิก ในช่วงปลายของต้นยุคเพอร์เมียน (Late Early Permian) จึงเกิดการปะทุของภูเขาไฟในจุลทวีปแยงซีตอนใต้ ซึ่งอาจปะทุก่อนภูเขาไฟบายันฮ่า (Bayan Har) ที่มีอายุประมาณไทรแอสสิก ซึ่งแต่เดิมเป็นขอบทวีปสัถย์ (passive continental margin) ในทางตอนเหนือและตะวันออกของจุลทวีปแยงซี ต่อมาในช่วงยุคไทรแอสสิกจึงมีการสะสมตัวในทะเลตื้นจนเกิดตะกอนทั้งเม็ดและเคมีจำพวก (คาร์บอเนต) แต่ก็ยังมีบางแห่งอาจเปลี่ยนไปเป็นการสะสมตะกอนบนบกได้ เนื่องจากพบตะกอนปนถ่านในตอนปลายยุคไทรแอสสิก ในที่สุดจุลทวีปแยงซีจึงยกตัวขึ้นอีกในยุคจูแรสสิก และสะสมตัวของตะกอนบก (non-marine deposit) ไปเรื่อย ๆ จนถึงยุคเทอร์เชียรีเกิดการสะสมตัวเฉพาะแอ่งภายใน (intrabasin) เท่านั้น

เขตมวเลี่ยนจินผิง

เขตมวเลี่ยนนี้ (Y2 ในรูป 3-15) ซึ่งแทรกอยู่ระหว่างรอยเลื่อนเขาอ้ายลาวและรอยเลื่อนอับโด (Abedo Fault) คล้ายสามเหลี่ยมมุมแหลมชี้ไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือ มวเลี่ยนนี้ประกอบด้วยหินที่แก่ที่สุด คือยุคออรัโดวิเซียน และมีการสะสมตัวของตะกอนเรื่อยมาจนถึงยุคเพอร์-เมียน ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับแอ่งยานหยวน-ลีเจียง (Yanyuan-Lijiang depression) แถบเมืองตาลีและทางทิศตะวันตกของเมืองคุนหมิง ทำให้เชื่อว่าทั้งมวเลี่ยนจินผิงและแอ่งยานหยวน-ลีเจียงน่าจะเคยติดต่อกันบนแผ่น

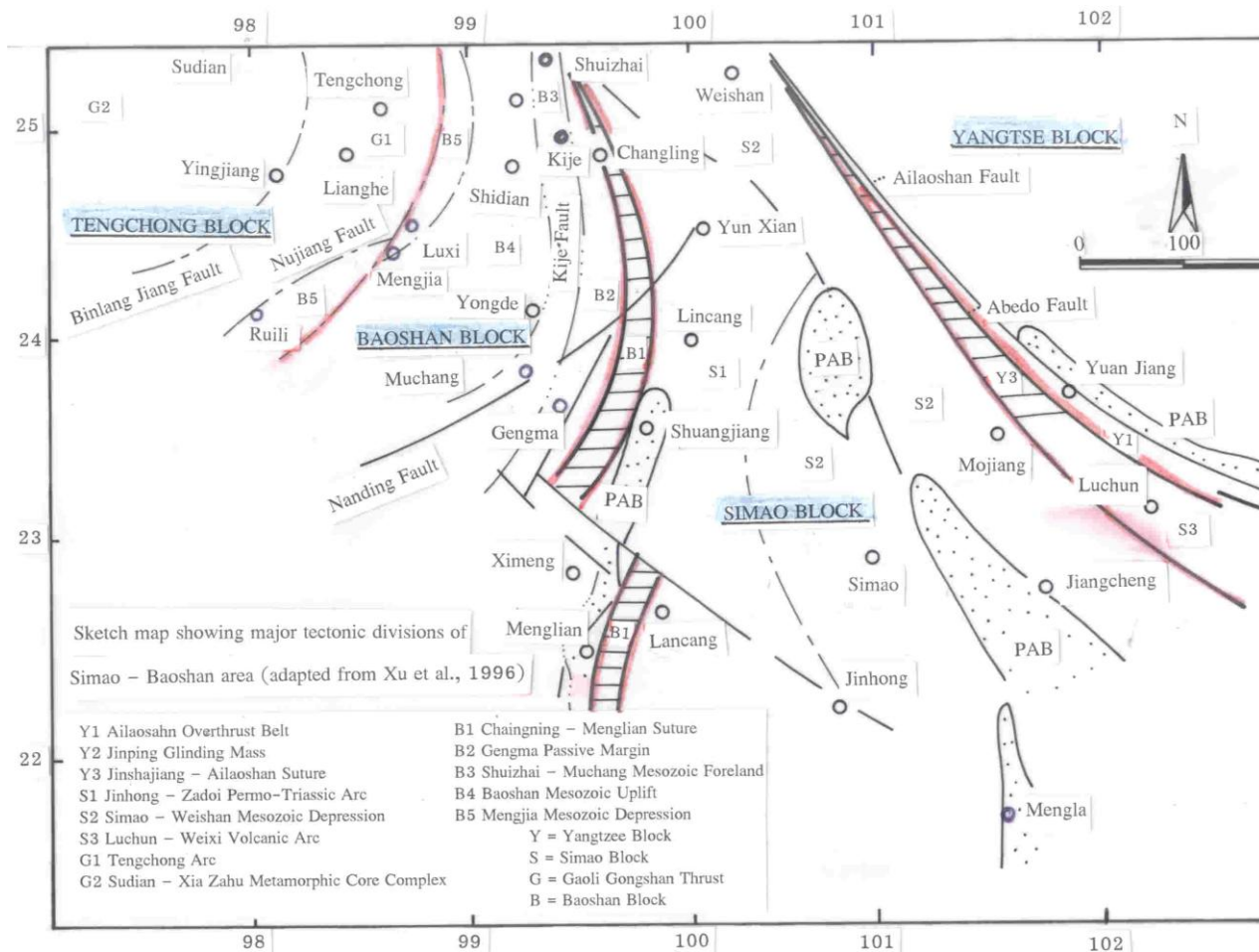
เปลือกเดียวกันมาก่อน และน่าจะเป็นส่วนที่เดิมติดต่อกับฐานทวีปแยงซี ต่อมาได้แยกตัวออกจากฐานทวีปแยงซีด้วยรอยเลื่อนเขาอ้ายลาวซึ่งเป็นรอยเลื่อนเหลื่อมซ้ายเข้า และในที่สุดทั้งมวลเลื่อนตัวจินผิงและแอ่งยานหยวน-ลิเจียงจึงขาดออกจากกันด้วยอิทธิพลของการเลื่อนคั่นขึ้น (overthrust) ของฐานทวีปแยงซี อีกทั้งยังทำให้แก่นฐานหินแปรเขาอ้ายลาว (Ailao shan metamorphic core complex) ถูกคั่นตัวขึ้นและโผล่ให้เห็นเป็นแนวเทือกเขาใหญ่ในที่สุด ซึ่งทำให้เราเชื่อว่าอิทธิพลการเลื่อนตัวของรอยเลื่อนทำให้เกิดนัยการเลื่อนตัวไปทางซ้าย (left lateral movement) ที่มีความยาวถึง 500 ± 200 กิโลเมตร และการเลื่อนตัวขนาดยาวมากนี้น่าจะเกิดตอนช่วงยุคไทรแอสสิก เป็นที่น่าสังเกตว่ามวลเลื่อนจินผิงไม่มีตะกอนหรือหินในต้นยุคไทรแอสสิกอยู่ในมวลแต่มีเฉพาะหินในตอนกลางถึงปลายยุคไทรแอสสิกเท่านั้น โดยเฉพาะทางตะวันตกเฉียงใต้เหมือนกับที่พบแถบคำลี่-เซียนหยุน จึงคาดว่าในต้นยุคไทรแอสสิกมวลเลื่อนจินผิงคงถูกยกตัวขึ้น นอกจากนี้บริเวณแถบเทือกเขาอ้ายลาวและแอ่งซีเหมา-ลานปิง ไม่พบหินยุคไทรแอสสิกตอนต้นเช่นเดียวกัน พบแต่หินตอนกลางถึงปลายยุคไทรแอสสิกที่เกิดสะสมตัวแบบไม่ต่อเนื่องบนหินตะกอนมหาสมุทรโอโซอิกตอนปลายซึ่งเป็นหินแปรอ่อน ๆ จึงมีความเป็นไปได้ที่เมื่อฐานทวีปแยงซีเลื่อนตัวไปทางทิศตะวันตก ตอนช่วงต่อยุคเพอร์เมียนถึงไทรแอสสิกแล้ว ทำให้ฐานทวีปมุดตัวแบบเฉียง (oblique subductions) เกิดรอยเลื่อนเขาอ้ายลาวในที่สุด

เขตตะเข็บธรณีเขาอ้ายลาว-จินซาเจียง

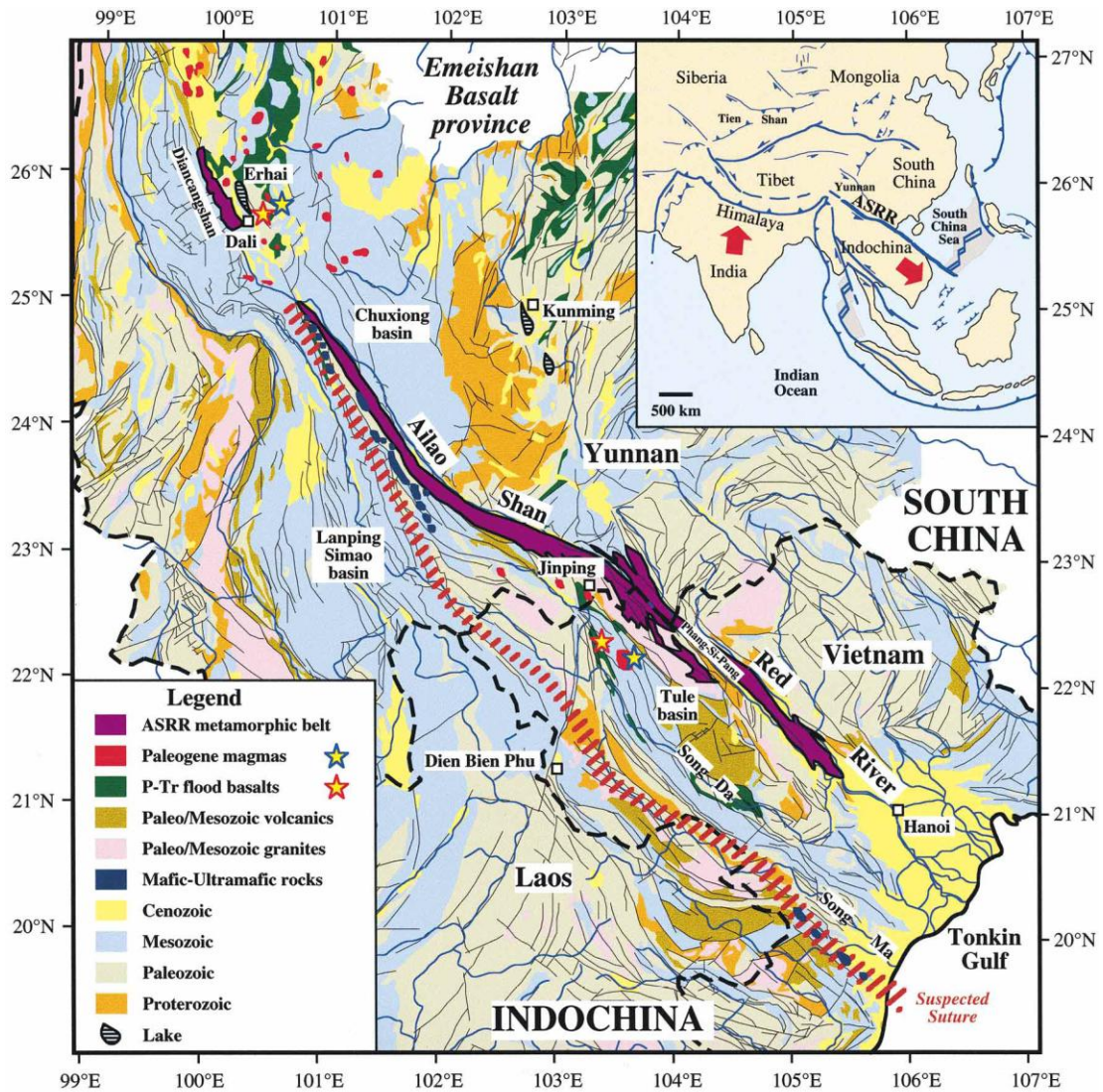
เขตนี้ (Y3 ในรูปที่ 3-15) ประกอบด้วยกลุ่มหินคั่นเลื่อนขึ้น (mélangé) อันเป็นผลมาจากการชนกันของสองจุดทวีป ในที่นี้คือฐานทวีปแยงซีกับแผ่น (หรือแอ่ง) ซีเหมา กลุ่มหินดังกล่าวจัดเป็นมวลก้อนหินยักษ์หรือเศษหินยักษ์ไปจัดถิ่น (exotic block) ที่ประกอบด้วยหินอัคนีสีเข้มและเข้มจัดตั้งแต่หินอัคนีบาดาล (เช่น แกบโบร) จนถึงหินภูเขาไฟจำพวกบะซอลต์ และหินตะกอนจำพวกคาร์บอนเนต หินชนวน และหินเชิร์ต ที่สำคัญคือ ในแถบเขาอ้ายลาวก้อนหินยักษ์ต่างเทศหรือ..จัดถิ่น ประกอบด้วยหินหลายจำพวกอายุตั้งแต่ไควเนียนจนถึงเพอร์เมียนและเนื้อ (matrix) ของกลุ่มหินคั่นเลื่อนขึ้นนี้มีอายุตั้งแต่คาร์บอนิเฟอรัสจนถึงไทรแอสสิก ซึ่งเป็นพวกตะกอนน้ำลึก (Hysch) ได้แก่ หินทรายที่แทรกสลับด้วยหินดินดาน, หินเชิร์ต และหินภูเขาไฟสีเข้มจนถึงสีจาง จากการศึกษาพบว่าก้อนหินปูนปนดินนี้มีซากโคโนดอนต์ ชื่อ *Ancyrodella ioides* (Xu และคณะ, 1986) ที่มีอายุปลายยุคไควเนียน และในก้อนเชิร์ตขนาดใหญ่พบราดิโอลาเรียน ทำให้กำหนดอายุได้ว่าเป็นยุคเพอร์เมียน ส่วนหินบะซอลต์ที่พบกำหนดอายุให้เป็นช่วงต่อของยุคเพอร์เมียนและคาร์บอนิเฟอรัส และจากข้อมูลธรณีเคมีพบว่า มีปริมาณ K_2O & TiO_2 อยู่ปานกลาง และ REE ที่มีเส้นอัตราส่วน (chondrite-normalized) แบบราบ ทำให้เชื่อว่าจะเป็นหินบะซอลต์ที่สันสมุทรมีปริมาณธาตุโดยเฉลี่ยสูงกว่าของสันสมุทรรั่วไปจึงทำให้ไปคล้ายกับบะซอลต์กลางทวีป (continental flood basalt) หรือหินบะซอลต์เกาะสมุทรมุท (Oceanic

island basalt) มากกว่า อย่างไรก็ตามคงเป็นหินบะซอลต์ที่กำเนิดมาจากเนื้อโลก (mantle-derived) อยู่ดี ทำให้มีความใกล้ชิดกับหินอัคนีสีเข้มและเข้มจัด จนจัดให้เป็นชุดหินใหญ่หรือโอไฟไอต์ได้

แม้ว่าการแปรสัณฐานจะรุนแรงและทำให้เกิดรอยโค้ง รอยโค้งเลื่อนเกยทับมุดต่ำ (nappe) และรอยเลื่อนแนวระดับแบบย้อนงอ (ductile lateral shear) แต่ระดับการแปรสภาพกลับไม่รุนแรงทำให้ได้กลุ่มแร่หินแปรชั้นต่ำกรีนชีสต์เท่านั้น ซึ่งแสดงถึงการแปรสภาพที่อุณหภูมิสูงแต่ความดันปานกลาง ผลรวมจากการแปรสัณฐานเนื่องจากการกระทบกระทั่งของแผ่นทวีปแยงซีและซิเหมา ทำให้การหมุนของแผ่นแยงซีเปลี่ยนแปลงไปคือ แต่เดิมหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกาในปัจจุบันหมุนแบบตามเข็มนาฬิกา



รูป 3-15 แผนที่ธรณีวิทยาแปรสัณฐานอย่างง่ายบริเวณซิเหมา-เบาชาน แสดงการจำแนกหน่วยหินการแปรสัณฐานย่อยๆ (ดัดแปลงจาก Xu และคณะ., 1996, ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2542), ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2542)



รูป 3-16 แผนที่ธรณีวิทยาและโครงสร้างหลักของยูนนานใต้โดยเฉพา บริเวณแนวตะเข็บอัยลาวซาน (Ailaoshan Suture) – บริเวณแรงเฉือนของแม่น้ำแดงและพื้นที่ข้างเคียง (Chung และคณะ., 2010)

3.4.2 แผ่นหรือจุลทวีปซีเหมา (ซามโค)

จุลทวีปนี้อยู่ระหว่างรอยต่อธรณีวิทยาเขาอัยลาว-จินชาเจียงกับรอยต่อธรณีสันทางเจียง (รูปที่ 3-15) ในการวิเคราะห์นี้เรากำหนดให้จุลทวีปซีเหมาประกอบด้วย 3 หน่วยแปรสัณฐานย่อย (subtectonic unites) คือ 1) แนวโค้งภูเขาไฟจินหง-ชะคอย (Jinghong-Zadoi Volcanic Arc) 2) แอ่งซีเหมา-ไหวซาน (Simao-Weishan Depression) และ 3) แนวโค้งภูเขาไฟลูชาน (-ไหวซี) (Luchun-Weixi Volcanic Arc) แนวภูเขาไฟลูชาน

แนวภูเขาไฟนี้ (S1 ในรูปที่ 3-15) อยู่ทางฝั่งตะวันออกสุดของทวีปซีเหมา จัดว่าเป็นส่วนทางใต้สุดของแนวภูเขาไฟจอมดา-ไหวซี-ลูชาน (Jomda-Weixi-Luchun volcanic belt) อายุประมาณเพอร์เมียน ซึ่งเป็นแนวยาวอยู่ในแนวเกือบตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ และทางเหนือถูกขนาบด้วยแนว

รอยเลื่อนทั้งหมด ส่วนทางใต้วางตัวทางตะวันตกสุดของรอยเลื่อนเขาอ้ายลาว แนวภูเขาไฟนี้ประกอบด้วย 3 กลุ่ม ด้วยกัน คือ (ก) แนวโค้งหลัก (major-arc) (ข) แนวโค้งชนกัน (collision arc) และ (ค) แนวโค้งเฉื่อย (delayed arc) จากการศึกษาธรณีเคมีโดยใช้ไดอะแกรม ATK (รูป 3-17) ของกลุ่มแนวโค้งหลัก พบว่าหินส่วนใหญ่เป็นแบบเกาะโค้ง (island arc) และแนวบรรพตรังสรรค์ (orogenic-type) จากข้อมูลธาตุหายากพบว่ามีส่วนที่เทียบได้กับแบบเกาะโค้ง โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุหลัก เช่น Al_2O_3 และ $K_2O + Na_2O$ เพิ่มขึ้นจากตะวันออกไปตะวันตก ซึ่งแสดงว่าแผ่นสมุทรมุดตัวไปทางตะวันตก อย่างไรก็ตามกลุ่มแนวโค้งหลักไม่พบในบริเวณแถบนี้ กลุ่มที่สองคือกลุ่มแนวโค้งชนกัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินไรโอไลต์เนื้อดอก (rhyolite porphyry) ที่มีปริมาณ SiO_2 และ K_2O สูง (73.4% และ 5.2% ตามลำดับ) ซึ่งใกล้เคียงกับหินไรโอไลต์ชนกันของอเมริกาตะวันตก กลุ่มสุดท้ายคือ พวกแนวโค้งเฉื่อย ที่พบบ้างที่ลูซอน และเป็นพวกตะกอนภูเขาไฟสลับกับหินละลายสีเข้มปานกลาง แต่มีปริมาณธาตุโพแทสเซียมค่อนข้างสูงกว่าปกติ ข้อมูลธรณีเคมีของธาตุหายาก (Xu และคณะ, 1996) แสดงว่าหินภูเขาไฟจัดเป็นพวกที่อยู่ระหว่างปะทุกลางทวีป (continental intraplate) กับแบบเกาะโค้ง แต่กว่าจะปะทุได้คงกินเวลายาวนานประมาณปลายยุคไทรแอสสิก

แอ่งซีเหมา-ไหวซาน

แอ่งซีเหมา-ไหวซาน (S2 ในรูป 3-15) นี้เป็นหน่วยแปรสัณฐานที่อยู่กลางระหว่างแนวภูเขาไฟลูซอน (ทางตะวันออก) กับแนวภูเขาไฟจินหง-ชะคอย (ทางตะวันตก) แอ่งนี้เกิดขึ้นมาบนแผ่นหรือฐานทวีปที่สงบนิ่งมีอายุประมาณปลายมหายุคพาลีโอโซอิก แอ่งซีเหมานี้เป็นส่วนหนึ่งของแอ่งใหญ่ที่เรียกแอ่งซีเหมา-ซามโค ซึ่งเข้าใจว่าเคยเป็นแอ่งเดียวกันมาก่อน แอ่งซามโคเป็นแอ่งทางเหนืออาจเกิดมาก่อน เพราะหินตะกอนอายุเก่าที่สุดคือ ตะกอนยุคออร์โดวิเชียน-ไซลูเรียน ส่วนแอ่งทางใต้คือ แอ่งซีเหมาเกิดทีหลัง เพราะหินที่เก่าที่สุดมีอายุประมาณยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน ทางจีนให้ข้อมูลว่า แอ่งเหนือตอนต้นมหายุคพาลีโอโซอิกเป็นหินตะกอนน้ำลึก (turbidite) จนมาตอนปลายมหายุคพาลีโอโซอิก (ดีโวเนียน-เพอร์เมียน) ได้เปลี่ยนเป็นตะกอนบกสลับกับตะกอนทะเลตื้น (ตะกอนเม็ดสลับกับตะกอนเคมี) และมีหินภูเขาไฟแทรกด้วย หลักฐานทางบรรพชีวินกำหนดว่าตะกอนยุคเพอร์เมียนและคาร์บอนิเฟอรัสเป็นพวกตะกอนทะเลน้ำอุ่นปนน้ำเย็น แต่น้ำอุ่นพบมากกว่า ส่วนในปลายยุคเพอร์เมียนมีถ่านในชั้นตะกอนเม็ดด้วยและเป็นพวกคาเทเซีย (Cathaysia) ซึ่งในลักษณะเดียวกันนี้ ทั้งข้อมูลจากบรรพชีวินและลำดับชั้นหินก็คล้ายคลึงกับแผ่นนครไทยของไทยอย่างมาก จนทำให้เชื่อว่าน่าจะต่อเนื่องเป็นแผ่นเดียวกัน สำหรับหินอายุต้นยุคไทรแอสสิกเป็นหินตะกอนเม็ดและหินตะกอนภูเขาไฟสีจางสลับกับหินปูน ตอนปลายยุคไทรแอสสิกจนถึงยุคครีเตเชียสลักษณะตะกอนเปลี่ยนไปเป็นตะกอนบกสีแดง

(continental redbeds) ซึ่งอาจมีตะกอนทะเลสลับบ้างเล็กน้อย ส่วนในยุคเทอร์เชียรีเป็นตะกอนบกหมด แต่อาจมีหินภูเขาไฟสีเข้มปานกลางบ้างและมีบั้งและถ่านหินปน ซึ่งลักษณะที่กล่าวมาคล้ายที่พบในแอ่งซิงเหมาที่ต่อเนื่องถึงแผ่นนครไทย คือ ในตอนยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน เป็นตะกอนทะเลลึกมีซากแอมบรโพลิต์ปนในหินดินดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน เป็นพวกตะกอนน้ำตื้นเม็ดใหญ่และมีหินปูนและถ่านปนซึ่งหนารวมกัน 1 กิโลเมตร (เช่น ที่พบแถบเมืองโมเจียง) และชั้นตะกอนหนาขึ้นเรื่อย ๆ ไปทางทิศตะวันตกและมีตะกอนภูเขาไฟด้วย ส่วนในยุคไทรแอสสิกถึงเทอร์เชียรีการสะสมตะกอนคล้ายกับของแอ่งซามโค หินอัคนีแทรกซอนในแอ่งซามโค แถบ (เมืองกอนโจ) เป็นตระกูลยานชาเนียนและหิมาลัย ดังนั้นเราจึงสรุปว่าอาจมีความสัมพันธ์กับรอยเลื่อนเหลื่อมขวางจึงทำให้เกิดลักษณะเช่นนี้ได้

ในช่วงสมัยมหายุคเมโซเซอิกเป็นช่วงการเปลี่ยนลักษณะของแอ่งหน้าแผ่นดินทวีป (foreland basin) อันเกิดจากการถูกอัดเข้าทั้งสองข้างของแอ่งทั้งทางตะวันตกและตะวันออก ผลก็คือเกิดแอ่งหลังแนวโค้ง (back arc basin) จนทำให้เทือกเขาอ้ายลาวถูกดันเลื่อนขึ้น แต่เมื่อถึงกลางแอ่งการโค้งโค้งงอลดลง และทำให้การแปรสภาพหินไม่รุนแรงนัก คือ ไม่เกินชั้นกรีนชีสต์

อาจเป็นไปได้ว่าด้วยอิทธิพลการชนของแผ่นดินอินเดียที่ทั้งดันเลื่อนขึ้นและผลักอัดดัน และการหยุดเลื่อนของแผ่นแองซีในช่วงสมัยอินโดจีนทำให้แอ่งที่เคยใหญ่กลับเล็กลง และทำให้แบ่งแยกออกเป็น 2 แอ่งย่อยคือ แอ่งซามโคทางเหนือและแอ่งซิงเหมาทางใต้ และทำให้เกิดรอยเลื่อนคู่ขวางกัน (conjugate fault) จนเกิดเป็นแอ่งย่อยเล็ก ๆ เช่น ทางตอนเหนือด้านตะวันตกแถบเมืองหนางเก็น (Nangquen) เป็นแบบแอ่งดึงออกเหลื่อมซ้าย (left-lateral pull-apart basin) ส่วนทางตะวันออกเช่นแถบเมืองกอนโจ (Gonjo) เป็นแอ่งดึงออกเหลื่อมขวา (right-lateral pull-apart basin) สำหรับทางใต้ เช่น แถบเมืองไหวซาน (Weishan) เป็นแอ่งถูกดึงเหลื่อมซ้าย และแถบเมืองลานปิง-เหมิงลา-ยูลอง มีการพัฒนาให้เป็นแอ่งย่อยซิงเหมา-ลานปิงและแอ่งย่อยซามโคตอนสิ้นสุดอิทธิพลของแรงอัดดันที่ทำให้เกิดรอยเลื่อนคู่ขวางกัน

แนวภูเขาไฟจินหง-ชะดอย

ส่วนสุดท้ายทางตะวันตกของจุลทวีปซิงเหมา (-ซามโค) คือ แนวภูเขาไฟจินหง-ชะดอยซึ่งส่วนใหญ่พบอยู่ทางแถบจินหง (S2 ในรูป 3.15) และต่อเลยขึ้นไปทางตอนเหนือ คือ แถบเมืองชะดอย (Zadoi) และเมืองโตบา (Toba) ในมณฑลเสฉวน จากข้อมูลธรณีเคมีของคณาจารย์จีน (Xu และคณะ, 1996) จำแนกให้เป็นหินภูเขาไฟจำพวกบะซอลต์ถึงไรโอไรต์ซึ่งแทรกสลับกับหินปูนมาร์ล และหินตะกอนเม็ดขนาดต่าง ๆ ต่อมาในตอนกลางถึงปลายยุคไทรแอสสิกก็มีลักษณะหินคล้ายกันเพียงแต่ไม่มีหินปูนและ

มาร์ล ส่วนตอนต้นยุคไทรแอสสิกไม่มีตะกอนสะสมตัว (ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของชั้นหินแทน) จนถึงยุคจูแรสสิก- ครีเตเชียสจึงมีการสะสมตัวของหินตะกอนแดงบกปนทะเล แต่ตอนต้นยุคจูแรสสิกก็ขาดหายไปอีก จากผลการวิเคราะห์ธรณีเคมีของหินภูเขาไฟพบว่าปริมาณ K_2O เพิ่มขึ้นจากตะวันตกไปยังตะวันออก แสดงว่าแผ่นสมุทรน่าจะมีการมุดตัวจากทิศตะวันตกไปตะวันออก (east-dipping oceanic plate)

ทางด้านตะวันตกของจุลทวีปซีเหมา ประกอบด้วยหินตะกอน หินแปร และโครงสร้างหินที่อยู่ยากซับซ้อนมาก เริ่มต้นตั้งแต่ช่วงกลางโปรติโรโซอิกจนถึงพาลีโอโซอิกตอนกลางเป็นชุดหินลานซ้าง ซึ่งเป็นหินแปรผลจากข้อมูลศิลาเคมีของจีน บ่งชี้ว่าหินเดิมเป็นพวกหินภูเขาไฟชนิดแนวโค้ง ซึ่งอาจเกิดจากแผ่นสมุทรมุดตัวไปทางตะวันตก (ถึงตะวันตกเฉียงใต้หรือใต้) ต่อมาตอนปลายมหายุคพาลีโอโซอิก การมุดตัวของแผ่นเปลือกสมุทรมกลับเปลี่ยนเป็นไปทางตะวันออก ผลก็คือทำให้เกิดแอ่งหลังแนวโค้ง (back-arc basin) และเกิดมหาสมุทรภายในเชิงบรรพกาลขึ้นในตอนปลายมหายุคพาลีโอโซอิก ซึ่งอาจเรียกมหาสมุทรภายใน-เหมิงเลียงก็ได้ มหาสมุทรบรรพกาลนี้มุดตัวไปทางตะวันออก (จนถึงทางเหนือสำหรับแถบตอนเหนือของยูนาน (เช่น บริเวณเขาเซงควน, Xu และคณะ, 1996) ในตอนช่วงต่อระหว่างยุคเพอร์เมียนกับยุคไทรแอสสิก และในที่สุดจึงเกิดการชนกันและอัดตัวระหว่างแนวภูเขาไฟโค้งกับแผ่นทวีป เกิดเป็นแนวแกรนิตขนาดใหญ่ทางตะวันออกเมืองล้านซ้าง เรียก แนวแกรนิตหลังคาง นอกจากนั้นแถบตอนเหนือขึ้นไปเช่นแนวแกรนิตคองคาซานและยูซินก็เกิดจากอิทธิพลดังกล่าวด้วย คณะจารย์จีนบางท่านโดยเฉพาะ Xu และคณะ (1996) เรียกว่าแนวโค้งล้านซ้าง – กิตัง (Lancang-Guitang Paleoarcs) ผลศิลาเคมีบ่งบอกชัดเจนว่ามวลหินอัคนีเหล่านี้ประกอบด้วยหินแกรนิตตะกอน (S-type granite) และหินแกรนิตอัคนี (I-type) ระหว่างแนวโค้งจินหง-ชาดอยกับแนวโค้งล้านซ้าง-กิตัง ในปัจจุบันเราไม่สามารถมองเห็นรอยต่อธรณีได้เนื่องจากถูกปิดทับด้วยรอยเลื่อนดันขึ้น (thrust) และรอยโค้งเลื่อนทับ (nappe) ยกเว้นทางตอนเหนือของมณฑลยูนาน (แถบเมืองริวอก-Riwog) ที่อาจมีหินบะซอลต์สันสมุทรมุดตัว และจัดให้เป็นรอยต่อธรณีมีนัยสำคัญ (cryptic geosuture) ของบริเวณแถบนี้ได้ ซึ่งแสดงถึงรูปแบบการพัฒนากาแปรสัณฐานของแผ่นหรือจุลทวีปซีเหมา-ซามโด

3.4.3 แผ่นหรือจุลทวีปเบาชาน

ในส่วนของทวีปเบาชาน (รูป 3-15) สามารถจัดกลุ่มแบ่งหน่วยแปรสัณฐานออกได้เป็น 5 หน่วยย่อยด้วยกัน ได้แก่ 1) เขตรอยต่อธรณีขานหมิง-เหมิงเลียง (Changhing-Menglian Suture) 2) ขอบสถิติย์เจ็งมา (-ริวอก) (Gengma-Riwog Passive Margin) 3) แอ่งหน้าแผ่นดินมู่ฉาง (Muchang

Foreland) 4) แนวยกตัวเบาชาน (Baoshan Uplift) และ 5) แอ่งเหม้งเจีย (-ลิวกุ) (Mengjia-Liuku Depression)

รอยต่อชานหนิง-เหม้งเจีย

รอยต่อชานหนิง-เหม้งเจียนี้ติดกับแอ่งชีเหมมาทางตะวันออกและติดกับขอบสีกัดเจ็งมา ทางตะวันตก (B1 รูป 3-15) หลายคนเชื่อว่ารอยต่อธรณีนี้เป็นส่วนใต้ของรอยต่อธรณีสันทางเจียง ซึ่งอยู่ระหว่างแผ่นฉานไท่กับแผ่นชีเหม มีลักษณะเป็นแนวยาวแคบๆวางตัวในแนวเหนือใต้ เริ่มจากเมืองเหม้งเหลียน ลานซ้าง ตองฉางเจีย (Tongchangia) จนถึงเมืองชานหนิง เขตประกอบด้วยหินหลากหลายชนิด นับตั้งแต่กลุ่มหินสกุสโอฟีโอลด์ (หินอัคนีสีเข้มจนถึงหินบะซอลต์) หินบะซอลต์สันสมุทร (Wu และคณะ, 1995) นอกจากนั้นยังมีหินเชิร์ตตอนปลายยุคออร์โดวินียนจนถึงต้นยุคเพอร์เมียน ซึ่งเชื่อกันว่าเป็นส่วนหนึ่งของทะเลทีสโบราณ (Tethys) ในเอเชียตะวันออก ในส่วนของหินอัคนีสีเข้มและเข้มเข้มจัด มีทั้งหินอัคนีแทรกซอกและหินภูเขาไฟ ประกอบด้วยหินภูเขาไฟ จำพวกบะซอลต์ หินไดอะเบส หินบะซอลต์สันกลางมหาสมุทร และเกาะกลางมหาสมุทร (MORB) และหินอัคนีแทรกซอนสีเข้มจัด หินฮาสเบอร์ไรต์ หินไฟร็อกซีไนต์ หินแกรโบ หินเมตตาเพอริโดไตต์ หินบะซอลต์มีธาตุหายากเบา (light rare earth element) โดยกำหนดอายุของหินบะซอลต์ได้ 340 ล้านปี และอายุหินอายุแกรโบมีแอมฟิโบล โดยวิธี K/Ar ได้ 385 ล้านปี ก่อตั้งตั้งแต่ต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัสจนถึงปลายยุคเพอร์เมียน และมีหินปูนที่วางตัวอยู่ด้านบน ซึ่งถูกตีความว่าเป็นภูเขาไฟใต้น้ำ (seamount) หินปูนขนาดใหญ่และเลนส์หินปูน (ที่พบร่วมกับกลุ่มหินบะซอลต์) มีซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลบ่งชี้ว่ายุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงปลายยุคเพอร์เมียน และหินเชิร์ตชั้นบางสลับกับหินดินดานมีซากดึกดำบรรพ์แกรปโตไลต์ โคโนดอนท์ และเรดิโอลาเรียนหลายกลุ่ม ที่บ่งบอกอายุตั้งแต่ดีโวเนียนจนถึงไทรแอสซิกตอนกลาง

ขอบสีกัดเจ็งมา (-ริวอก)

ขอบสีกัดเจ็งมา (-ริวอก)วางตัวอยู่ระหว่างรอยต่อชานหนิง-เหม้งเจียกับแอ่งหน้าแผ่นดินมู่ฉาง (ดู B2 ในรูป 3-15) ซึ่งต่อลงไปทางใต้ก็คือแนวรอยเลื่อนคิจี-นังดิง (Kejie-Nangding Fault) อาจจัดได้ว่าขอบสีกัดเจ็งมาอยู่ทางด้านตะวันตกสุดของมหาสมุทรโบราณฉางเจียง ซึ่งมีอายุระหว่างยุคพรีแคมเบรียนถึงเพอร์เมียน หินยุคเก่าแก่ที่สุดที่โผล่คือหินในยุคไซเนียนถึงต้นมหายุคพาลีโอโซอิกซึ่งเป็นตะกอนเม็ด (แปรชั้นต่ำ) สลับกับหินปูนและหินภูเขาไฟ ซึ่งจัดเป็นตะกอนในขอบสีกัดหรือในแอ่งหลังแนวโค้ง (ภูเขาไฟ) ส่วนหินปลายมหายุคพาลีโอโซอิกเป็นตะกอนน้ำทะเลตื้นและหินเชิร์ตสลับกับ

หินปูน และหินตะกอนภูเขาไฟในขอบสัณฐานและปิดทับด้วยหินมหายุคเมโซโซอิกจำพวกหินปูนและตะกอนเม็ดทะเล และตะกอนบกซึ่งอาจมีหินภูเขาไฟปนบ้างจัดให้เป็นตะกอนในแอ่งหน้าโค้ง (ภูเขาไฟ) *แนวยกตัวเบาชานและแอ่งเหมิงเจีย-ลิ่งกู*

ส่วนถัดมาที่อยู่ระหว่างขอบสัณฐานเจียงมาและแผ่นทวีปเหมิงเจียซึ่งเรียกรวมกันว่า ฐานทวีปเบาชาน หรือแผ่นเบาชาน (หรือ แผ่นเขาเบา) อยู่ระหว่างรอยเลื่อนหนูเจียง (Nujiang Fault) หรือตะเข็บหนูเจียงกับรอยเลื่อนคิจี-นานดิง ซึ่งอายุหิน (ที่โผล่) มีตั้งแต่มหายุคพรีแคมเบรียนจนถึงยุคเทอร์เชียรี ซึ่งในยุคซีเนียนถึงกลางยุคแคมเบรียนจัดให้เป็นตะกอนน้ำทะเลลึก (flysch-type) ในแถบแนวยกตัวเหมิงเจีย (-หลิวกู) (Mengia-Liuku Depression, B5 รูป 3-15) แต่พอมาปลายยุคแคมเบรียนจนถึงเพอร์เมียนเป็นตะกอนน้ำตื้นในแถบแนวยกตัวเบาชาน (Baoshan Uplift) (B4 ในรูป 3-15) ทางจีน (Xu และคณะ, 1996) พบว่าในยุคโดโวเนียน น้ำทะเลลึกไปทางตะวันออกแสดงว่าแหล่งกำเนิดตะกอน (provenance) น่าจะอยู่ทางทิศตะวันตกในตอนปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัส (ในบริเวณแถบ B4 และ B5 ในรูป 3.13) พบตะกอนทะเลไร่ที่มา (diamictite) ซึ่งสัมพันธ์กับธารน้ำแข็ง (glacia-marine) ทำให้เชื่อว่าอาจมาจากอภิมหาทวีปกอนวานา (Gondwana supercontinent) ได้ ส่วนในตอนปลายมหายุคเมโซโซอิกพบตะกอนบกสีแดง ซึ่งเป็นบริเวณแถบ ๆ ที่เรียกแอ่งหน้าแผ่นดินขุ่นใน-หมู่ซาง

3.4.4 จุลทวีปเทนจง

จุลทวีปเทนจงจัดเป็นแผ่นเปลือกโลกขนาดเล็ก (minor lithospheric plate) ที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ 1) แนวโค้งเทงจง-โบมี (Tengchong-Bomi arc belt) และ 2) แก่นหินแปรซับซ้อนซุเดียน (-เซียซาเย) (Sudian-Xiazayu metamorphic core complex) ซึ่งทั้งสองจัดอยู่ในส่วนที่เรียกแนวดันเลื่อนขึ้นบาซอ-เกาหลิง (Baxoi-Gaolingshan Thrust Belt)

แนวโค้งเทงจง

แนวโค้งเทงจง (G1 ในรูป 3-15) ถูกขนาบด้วยรอยเลื่อน 2 แนว คือรอยเลื่อนหนูเจียงทางทิศตะวันออก (ตอนเหนือของเมืองโบมี) และรอยเลื่อนบินยางเจียง (-เสียซาเย) (Binyangjiang-Xiazayu Fault) ทางทิศตะวันตกซึ่งทำให้แยกออกจากแก่นหินแปรซับซ้อนซุเดียนได้ หินที่โผล่มีตั้งแต่หินแปรมหายุคพรีแคมเบรียนจนถึงตะกอนยุคเทอร์เชียรี หินมหายุคพรีแคมเบรียน (เช่น หมวดเกาหลิงกงชาน) ประกอบด้วยหินไนล์ หินชีสต์ หินอ่อน และหินมิกมาไทต์/ไมโลไนต์ ซึ่งอนุมานว่าหินเดิมน่าจะเป็นหินโคลนสลับกับหินภูเขาไฟและหินปูน นอกจากนั้นยังพบหินปูนตอนปลายยุคออร์โดวิเชียนอีกด้วย ส่วนกลางยุคออร์โดวิเชียนและยุคไซลูเรียนการสะสมตัวขาดหายไป ช่วงยุคโดโวเนียนและเพอร์เมียนยังคงเป็นลักษณะเดิมคือตะกอนทะเลเม็ดสลับตะกอนเคมีและหินภูเขาไฟ ซึ่งช่วงต้นยุคโดโวเนียนเป็น

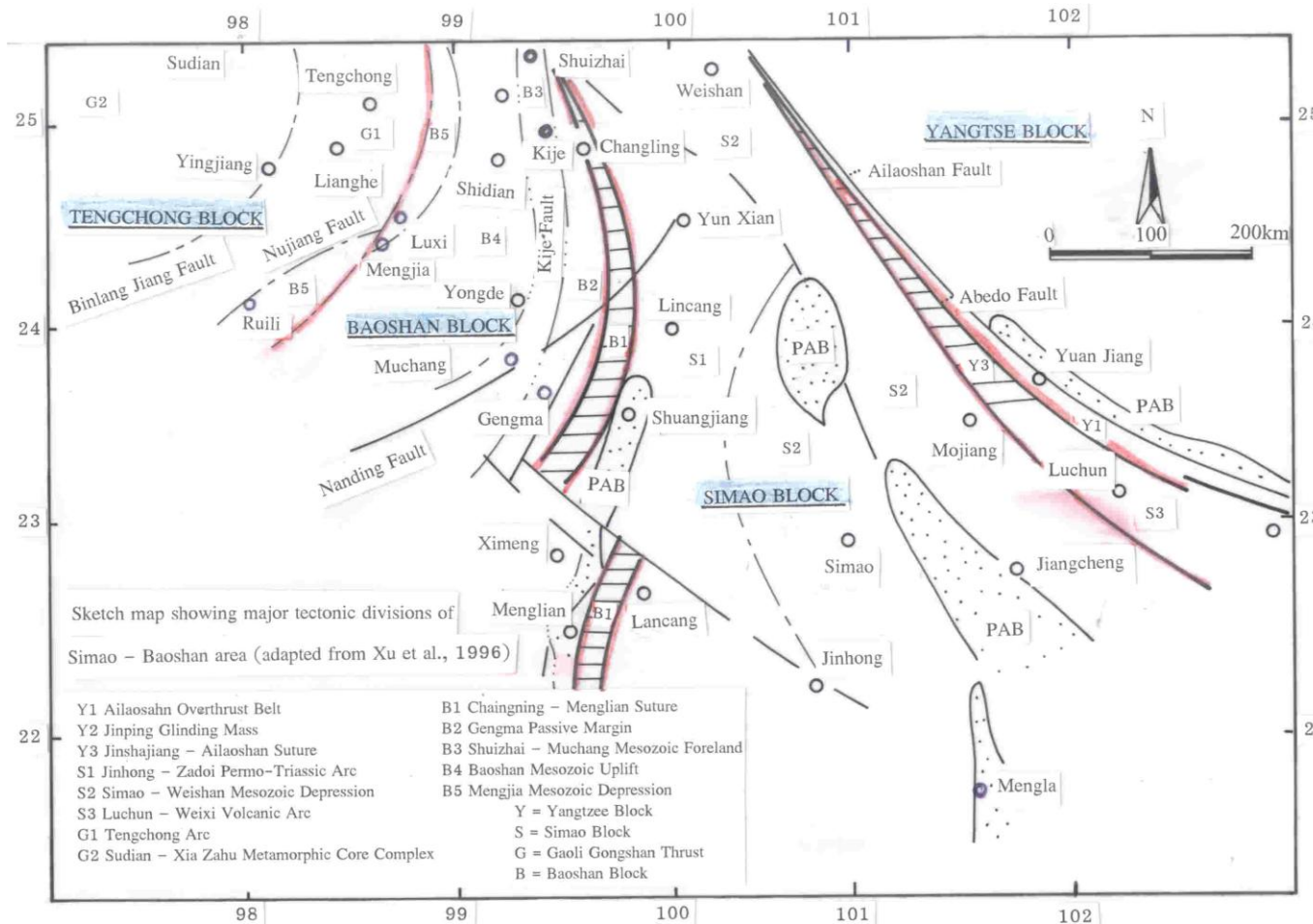
ตะกอนบดที่วางตัวไม่ต่อเนื่องกับหินยุคออร์โอวิเซียน ในยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียนเป็นหินตะกอนไรท์ที่เหมือนอย่างของแผ่นทวีปเบาซานจนถึงยุคเพอร์เมียน แต่ตอนต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัสเป็นตะกอนน้ำทะเลลึก ซึ่งแสดงถึงการยกตัวและตามด้วยการจมตัวของขอบสัณติ ส่วนในยุคเทอร์เชียรี-ควอเตอร์นารีเป็นตะกอนทรายแม่น้ำและทะเลสาบ ที่มีถ่านหินและตะกอนภูเขาไฟบ้าง ในบริเวณตะวันออกสุดของแนวโค้งเทนจิงนี้ (หรือที่ติดกับรอยเลื่อนหนูเจียง) โดยเฉพาะแถบแดงเงิน (Denggen) ฝั่งตะวันตกเป็นกลุ่มหินคั่นเลื่อนขึ้น (melanges) ซึ่งเป็นตะกอนน้ำทะเลลึกอายุปลายยุคไทรแอสสิกจนถึงกลางยุคจูแรสสิกที่มีมวลก้อนหินยักษ์ของพวกหินอัคนีสีเข้ม หินปูน หินเชิร์ต และหินโคลน และหินชุดงูใหญ่ (โอไฟโอไลต์) นี้เป็นพวก Mg-type (Pan Guitang และคณะ, 1983) หินบะซอลต์ที่พบบริเวณแถบเมืองแดงเงินแสดงผลรณีเคมีที่จัดได้ว่าเป็นหินที่เกิดจากสันสมุทร อย่างไรก็ตามแบบรอยต่อหนูเจียงหรือรอยเลื่อนนี้ไม่ปรากฏชัดเจนนักในบริเวณแถบตอนเหนือ เช่น แถบเมืองคาวารง (Cawarong) แต่จะปรากฏชัดเจนเฉพาะในยูนานตอนใต้ คือแถบเขาซานไตทางใต้ของเมืองลูซี เพราะพบหินอัคนีสีเข้มจัดแทรกตัวเข้ามาในหินตะกอนน้ำลึกยุคไทรแอสสิก-จูแรสสิกดังกล่าวตอนต้น

แก่นหินแปรซับซ้อนชุยเคียน (-เซียซาฮู)

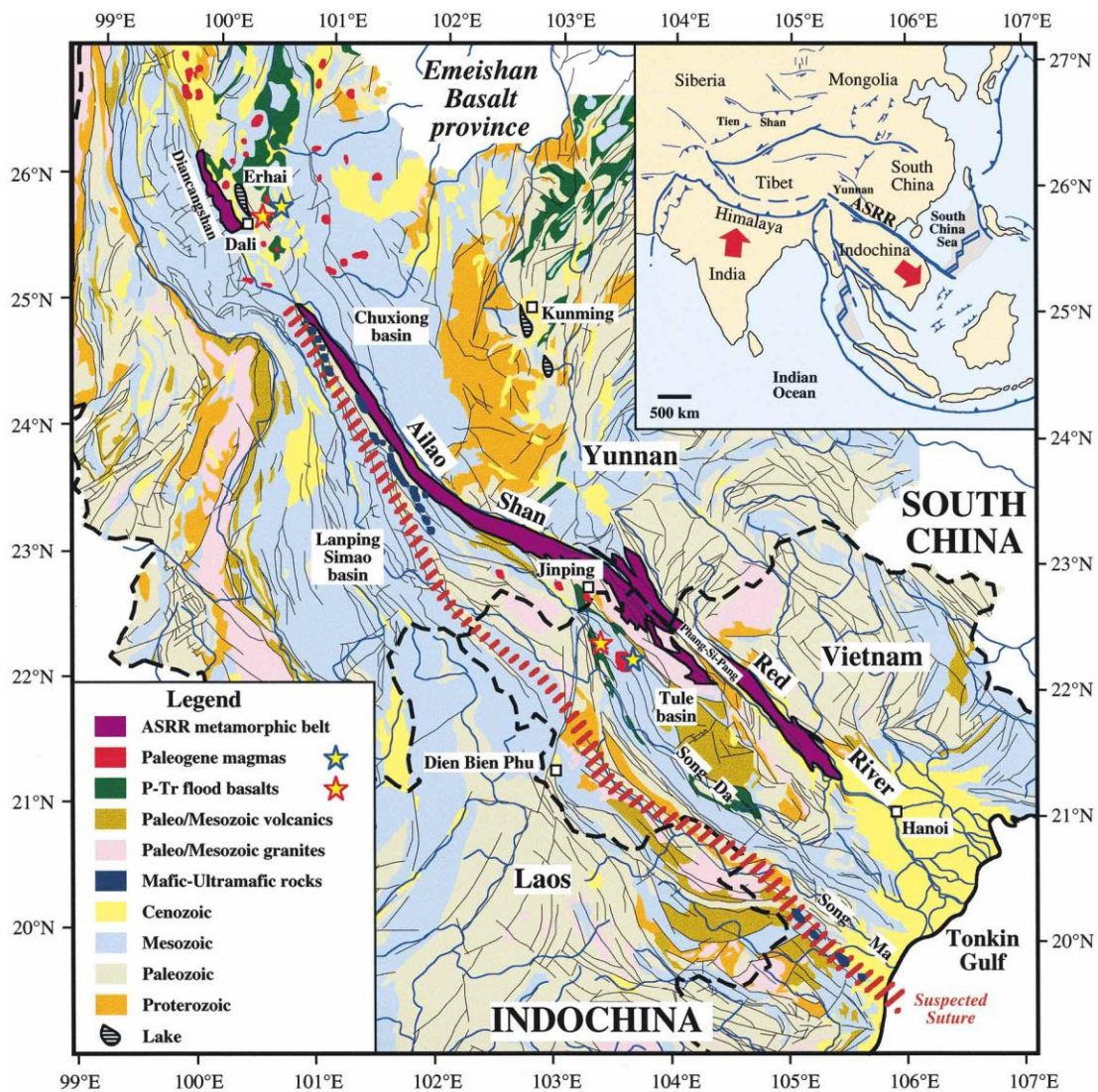
แก่นหินแปรนี้อยู่ทางตะวันตกสุดของพื้นที่ศึกษา (G2 ในรูป 3.15) และถูกบังคับด้วยแนวรอยเลื่อนบินกลางเจียง แก่นหินแปรประกอบด้วยหินแปรหลายชนิด (เช่น หินไนส์, หินชีส และหินอ่อน) ที่ถูกบดแตก (mylonized) และแปรหลอม (migmatized) และหินแกรนิตช่วงอายุหิมาลัย จากการหาอายุด้วยวิธี Rb-Sr ได้อายุประมาณ 954 ± 198 ล้านปีจากหินไนส์แปรหลอม (migmatized gneiss) แถบเมืองหยิงเจียง (Yingjiang) ทางตะวันตกเฉียงใต้ของเมืองเตงจิงโกสัฟรมแดนพม่า

สำหรับมณฑลยูนนานทางจีนได้ศึกษาหินอัคนีแทรกซอนแถบเลียงซี-ซาฮูไว้มาก (ดู Xu และคณะ, 1996) พบว่าส่วนใหญ่เป็นหินจำพวกไดโอไรต์ แสดงว่าเกิดจากอิทธิพลการมุดตัวของแผ่นสมุทรลงไปใต้อีกแผ่น ในส่วนของหินอัคนีแทรกซอนทางตะวันตกของเมืองโบมีมีลักษณะที่เหมือนกับหินไดโอไรต์เมืองกังกิสในทิเบต แม้ทั้งสองจะมีความคล้ายกันในแง่สัณนิพจน์ และเกิดในช่วงยานซาน-หิมาลัย แต่จากข้อมูลศิลาเคมีทำให้ทราบว่าหินอัคนีสีจางแถบกังกิสส่วนใหญ่เป็นแกรนิตอัคนี (แบบไอ) มากกว่าแกรนิตตะกอน (แบบเอส) และพบหินภูเขาไฟสีเข้มด้วย ในขณะที่ทางตะวันออกของเมืองโบมีและเรื่อยมาทางใต้ของเมืองซาฮู มีทั้งแกรนิตตะกอนและแกรนิตอัคนี ส่วนทางใต้ลงมาจนถึงเมืองหงจิง-ชงเคียน หินแกรนิตมาจากชั้นเปลือกโลก (crustal material) หรือแกรนิตตะกอนมากกว่าหินแกรนิตอัคนี (จากชั้นเนื้อโลก) (mantle source region)

การเปลี่ยนแปลงจากการแปรสัณฐานในแถบสองบริเวณนี้ค่อนข้างรุนแรงและซับซ้อนพอควร แต่เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างการแปรสัณฐานอย่างง่าย (simplified tectonic structure) พบว่าแนวรอยเลื่อนทางตอนเหนือของแนวโค้ง มักพบเป็นรอยเลื่อนดันขึ้น (upthrust) ไปทางซ้ายเป็นส่วนใหญ่ ส่วนทางใต้มักพบรอยเลื่อนดันขึ้นไปทางขวา ทำให้เกิดรอยเลื่อนปกติในบริเวณแอ่งหลังแนวโค้ง ในการแปรสภาพอาจจัดได้ว่าในช่วงอายุก่อนยุคออร์โดวิเชียน เกิดการแปรสภาพหินค่อนข้างรุนแรง อาจถึงขั้นสูงสุด คือชุดกลุ่มแกรนูไลต์ (granulite) ขณะที่ในตอนช่วงหลังยุคออร์โดวิเชียนการแปรสภาพหินเป็นไปในขั้นต่ำประมาณชุดกลุ่มกรีนชีส



รูป 3-15 แผนที่ธรณีวิทยาแปรสัณฐานอย่างง่ายบริเวณซีหม่า-เบาซาน แสดงการจำแนกหน่วยหินการแปรสัณฐานย่อยๆ (ดัดแปลงจาก Xu และคณะ, 1996, ปัญหา จารุศิริ และคณะ, 2542), ปัญหา จารุศิริ และคณะ, 2542)



รูป 3-16 แผนที่ธรณีวิทยาและโครงสร้างหลักของยูนนานใต้โดยเฉพา บริเวณแนวตะเข็บอัยลาวซาน (Ailaoshan Suture) – บริเวณแรงเฉือนของแม่น้ำแดงและพื้นที่ข้างเคียง (Chung และคณะ., 2010)

3.4.2 แผ่นหรือจุลทวีปซีเหมา (ซามโค)

จุลทวีปนี้อยู่ระหว่างรอยต่อธรณีวิทยาเขาอัยลาว-จินชาเจียงกับรอยต่อธรณีสันขางเจียง (รูปที่ 3-15) ในการวิเคราะห์นี้เรากำหนดให้จุลทวีปซีเหมาประกอบด้วย 3 หน่วยแปรสัณฐานย่อย (subtectonic unites) คือ 1) แนวโค้งภูเขาไฟจินหง-ชะดอย (Jinghong-Zadoi Volcanic Arc) 2) แอ่งซีเหมา-ไหวซาน (Simao-Weishan Depression) และ 3) แนวโค้งภูเขาไฟลูซัน (-ไหวซี) (Luchun-Weixi Volcanic Arc) แนวภูเขาไฟลูซัน

แนวภูเขาไฟนี้ (S1 ในรูปที่ 3-15) อยู่ทางฝั่งตะวันออกสุดของทวีปซีเหมา จัดว่าเป็นส่วนทางใต้สุดของแนวภูเขาไฟจอมดา-ไหวซี-ลูซัน (Jomda-Weixi-Luchun volcanic belt) อายุประมาณเพอร์เมียน

ซึ่งเป็นแนวยาวอยู่ในแนวเกือบตะวันตกเฉียงเหนือตะวันออกเฉียงใต้ และทางเหนือถูกขนาบด้วยแนวรอยเลื่อนทั้งหมด ส่วนทางใต้วางตัวทางตะวันตกสุดของรอยเลื่อนเขาอ้ายลาว แนวภูเขาไฟนี้ประกอบด้วย 3 กลุ่ม ด้วยกัน คือ (ก) แนวโค้งหลัก (major-arc) (ข) แนวโค้งชนกัน (collision arc) และ (ค) แนวโค้งเฉื่อย (delayed arc) จากการศึกษาธรณีเคมีโดยใช้ไดอะแกรม ATK (รูป 3-17) ของกลุ่มแนวโค้งหลัก พบว่าหินส่วนใหญ่เป็นแบบเกาะโค้ง (island arc) และแนวบรรพตรังสรรค์ (orogenic-type) จากข้อมูลธาตุหายากพบว่ามีส่วนที่เทียบได้กับแบบเกาะโค้ง โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุหลัก เช่น Al_2O_3 และ $K_2O + Na_2O$ เพิ่มขึ้นจากตะวันออกไปตะวันตก ซึ่งแสดงว่าแผ่นสมุทรมุดตัวไปทางตะวันตก อย่างไรก็ตามกลุ่มแนวโค้งหลักไม่พบในบริเวณแถบนี้ กลุ่มที่สองคือกลุ่มแนวโค้งชนกัน ซึ่ง ส่วนใหญ่เป็นหินไรโอไลต์เนื้อดอก (rhyolite porphyry) ที่มีปริมาณ SiO_2 และ K_2O สูง (73.4% และ 5.2% ตามลำดับ) ซึ่งใกล้เคียงกับหินไรโอไลต์ชนกันของอเมริกาตะวันตก กลุ่มสุดท้ายคือ พวกแนวโค้งเฉื่อย ที่พบบ้างที่ลูซอน และเป็นพวกตะกอนภูเขาไฟสลับกับหินละลายสีเข้มปานกลาง แต่มีปริมาณธาตุโพแทสเซียมค่อนข้างสูงกว่าปกติ ข้อมูลธรณีเคมีของธาตุหายาก (Xu และคณะ, 1996) แสดงว่าหินภูเขาไฟจัดเป็นพวกที่อยู่ระหว่างปะทุกลางทวีป (continental intraplate) กับแบบเกาะโค้ง แต่กว่าจะปะทุได้คงกินเวลายาวนานประมาณปลายยุคไทรแอสสิก

แอ่งซีเหมา-ไหวซาน

แอ่งซีเหมา-ไหวซาน (S2 ในรูป 3-15) นี้เป็นหน่วยแปรสัณฐานที่อยู่กลางระหว่างแนวภูเขาไฟลูซอน (ทางตะวันออก) กับแนวภูเขาไฟจินหง-ชะคอย (ทางตะวันตก) แอ่งนี้เกิดขึ้นมาบนแผ่นหรือฐานทวีปที่สงบนิ่งมีอายุประมาณปลายมหายุคพาลีโอโซอิก แอ่งซีเหมานี้เป็นส่วนหนึ่งของแอ่งใหญ่ที่เรียกแอ่งซีเหมา-ซามโค ซึ่งเข้าใจว่าเคยเป็นแอ่งเดียวกันมาก่อน แอ่งซามโคเป็นแอ่งทางเหนืออาจเกิดมาก่อน เพราะหินตะกอนอายุเก่าที่สุดคือ ตะกอนยุคออร์โดวิเชียน-ไซลูเรียน ส่วนแอ่งทางใต้คือ แอ่งซีเหมาเกิดทีหลัง เพราะหินที่เก่าที่สุดมีอายุประมาณยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน ทางจีนให้ข้อมูลว่า แอ่งเหนือตอนต้นมหายุคพาลีโอโซอิกเป็นหินตะกอนน้ำลึก (turbidite) จนมาตอนปลายมหายุคพาลีโอโซอิก (ดีโวเนียน-เพอร์เมียน) ได้เปลี่ยนเป็นตะกอนบกสลับกับตะกอนทะเลตื้น (ตะกอนเม็ดสลับกับตะกอนเคมี) และมีหินภูเขาไฟแทรกด้วย หลักฐานทางบรรพชีวินกำหนดว่าตะกอนยุคเพอร์เมียนและคาร์บอนิเฟอรัสเป็นพวกตะกอนทะเลน้ำอุ่นปนน้ำเย็น แต่น้ำอุ่นพบมากกว่า ส่วนในปลายยุคเพอร์เมียนมีถ่านในชั้นตะกอนเม็ดด้วยและเป็นพวกคาเทเซีย (Cathaysia) ซึ่งในลักษณะเดียวกันนี้ ทั้งข้อมูลจากบรรพชีวินและลำดับชั้นหินก็คล้ายคลึงกับแผ่นนครไทยของไทยอย่างมาก จนทำให้เชื่อว่าน่าจะต่อเนื่องเป็นแผ่นเดียวกัน สำหรับหินอายุต้นยุคไทรแอสสิกเป็นหินตะกอนเม็ดและหินตะกอนภูเขาไฟสีจางสลับกับ

หินปูน ตอนปลายยุคไทรแอสสิกจนถึงยุคครีเทเชียสลักษณะตะกอนเปลี่ยนไปเป็นตะกอนบกลีแดง (continental redbeds) ซึ่งอาจมีตะกอนทะเลสลับบ้างเล็กน้อย ส่วนในยุคเทอร์เชียรีเป็นตะกอนบกหมด แต่อาจมีหินภูเขาไฟสลับปานกลางบ้างและมีขี้ผึ้งและถ่านหินปน ซึ่งลักษณะที่กล่าวมาคล้ายที่พบในแอ่งซีเหมาที่ต่อเนื่องถึงแผ่นนครไทย คือ ในตอนยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน เป็นตะกอนทะเลลึกมีซากแอมบรโบลิต์ปนในหินดินดาน ยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน เป็นพวกตะกอนน้ำตื้นเม็ดใหญ่และมีหินปูนและถ่านหินซึ่งหนารวมกัน 1 กิโลเมตร (เช่น ที่พบแถบเมืองโมเจียง) และชั้นตะกอนหนาขึ้นเรื่อย ๆ ไปทางทิศตะวันตกและมีตะกอนภูเขาไฟด้วย ส่วนในยุคไทรแอสสิกถึงเทอร์เชียรีการสะสมตะกอนคล้ายกับของแอ่งซามโค หินอัคนีแทรกซอนในแอ่งซามโค แถบ (เมืองกอนโจ) เป็นตระกูลยานชาเนียนและหิมาลัย ดังนั้นเราจึงสรุปว่าอาจมีความสัมพันธ์กับรอยเลื่อนเหลื่อมขวาจึงทำให้เกิดลักษณะเช่นนี้ได้

ในช่วงสมัยมหายุคเมโซเซอิกเป็นช่วงการเปลี่ยนลักษณะของแอ่งหน้าแผ่นดินทวีป (foreland basin) อันเกิดจากการถูกอัดเข้าทั้งสองข้างของแอ่งทั้งทางตะวันตกและตะวันออก ผลก็คือเกิดแอ่งหลังแนวโค้ง (back arc basin) จนทำให้เทือกเขาฮัยลาวถูกดันเลื่อนขึ้น แต่เมื่อถึงกลางแอ่งการโค้งโค้งงอลดลง และทำให้การแปรสภาพหินไม่รุนแรงนัก คือ ไม่เกินชั้นกรีนชีสต์

อาจเป็นไปได้ว่าด้วยอิทธิพลการชนของแผ่นดินอินเดียที่ทั้งดันเลื่อนขึ้นและผลักอัดดัน และการหยุดเลื่อนของแผ่นแองซีในช่วงสมัยอินโดจีนทำให้แอ่งที่เคยใหญ่กลับเล็กลง และทำให้แบ่งแยกออกเป็น 2 แอ่งย่อยคือ แอ่งซามโคทางเหนือและแอ่งซีเหมาทางใต้ และทำให้เกิดรอยเลื่อนคู่ขวางกัน (conjugate fault) จนเกิดเป็นแอ่งย่อยเล็ก ๆ เช่น ทางตอนเหนือด้านตะวันตกแถบเมืองหนางเก็น (Nangquen) เป็นแบบแอ่งดึงออกเหลื่อมซ้าย (left-lateral pull-apart basin) ส่วนทางตะวันออกเช่นแถบเมืองกอนโจ (Gonjo) เป็นแอ่งดึงออกเหลื่อมขวา (right-lateral pull-apart basin) สำหรับทางใต้ เช่น แถบเมืองไหวซาน (Weishan) เป็นแอ่งถูกดึงเหลื่อมซ้าย และแถบเมืองลานปิง-เหมิงลา-ยูลอง มีการพัฒนาให้เป็นแอ่งย่อยซีเหมา-ลานปิงและแอ่งย่อยซามโคตอนสิ้นสุดอิทธิพลของแรงอัดดันที่ทำให้เกิดรอยเลื่อนคู่ขวางกัน

แนวภูเขาไฟจินหง-ชะดอย

ส่วนสุดท้ายทางตะวันตกของจุลทวีปซีเหมา (-ซามโค) คือ แนวภูเขาไฟจินหง-ชะดอยซึ่งส่วนใหญ่พบอยู่ทางแถบจินหง (S2 ในรูป 3.15) และต่อเลยขึ้นไปทางตอนเหนือ คือ แถบเมืองชะดอย (Zadoi) และเมืองโตบา (Toba) ในมณฑลเสฉวน จากข้อมูลธรณีเคมีของคณาจารย์จีน (Xu และคณะ, 1996) จำแนกให้เป็นหินภูเขาไฟจำพวกบะซอลต์ถึงไรโอไรต์ซึ่งแทรกสลับกับหินปูนมาร์ล และหินตะกอนเม็ด

ขนาดต่าง ๆ ต่อมาในตอนกลางถึงปลายยุคไทรแอสสิกก็มีลักษณะหินคล้ายกันเพียงแต่ไม่มีหินปูนและมาร์ล ส่วนตอนต้นยุคไทรแอสสิกไม่มีตะกอนสะสมตัว (ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของชั้นหินแทน) จนถึงยุคจูแรสสิก- ครีเตเชียสจึงมีการสะสมตัวของหินตะกอนแดงบกปนทะเล แต่ตอนต้นยุคจูแรสสิกก็ขาดหายไปอีก จากผลการวิเคราะห์ธรณีเคมีของหินภูเขาไฟพบว่าปริมาณ K_2O เพิ่มขึ้นจากตะวันตกไปยังตะวันออก แสดงว่าแผ่นสมุทรน่าจะมีการมุดตัวจากทิศตะวันตกไปตะวันออก (east-dipping oceanic plate)

ทางด้านตะวันตกของจุลทวีปซีเหมา ประกอบด้วยหินตะกอน หินแปร และโครงสร้างหินที่อยู่ยากซับซ้อนมาก เริ่มต้นตั้งแต่ช่วงกลางโปรโตโรโซอิกจนถึงพาลีโอโซอิกตอนกลางเป็นชุดหินลานซ้าง ซึ่งเป็นหินแปรผลจากข้อมูลศิลาเคมีของจีน บ่งชี้ว่าหินเดิมเป็นพวกหินภูเขาไฟชนิดแนวโค้ง ซึ่งอาจเกิดจากแผ่นสมุทรมุดตัวไปทางตะวันตก (ถึงตะวันตกเฉียงใต้หรือใต้) ต่อมาตอนปลายมหายุคพาลีโอโซอิก การมุดตัวของแผ่นเปลือกสมุทรถลับเปลี่ยนเป็นไปทางตะวันออก ผลก็คือทำให้เกิดแอ่งหลังแนวโค้ง (back-arc basin) และเกิดมหาสมุทรลานซ้างเฉียงบรรพกาลขึ้นในตอนปลายมหายุคพาลีโอโซอิก ซึ่งอาจเรียกมหาสมุทรขานหมิง-เหมิงเลียงก็ได้ มหาสมุทรบรรพกาลนี้มุดตัวไปทางตะวันออก (จนถึงทางเหนือสำหรับแถบตอนเหนือของยูนาน (เช่น บริเวณเขาเซงควน, Xu และคณะ, 1996) ในตอนช่วงต่อระหว่างยุคเพอร์เมียนกับยุคไทรแอสสิก และในที่สุดจึงเกิดการชนกันและอัดตัวระหว่างแนวภูเขาไฟโค้งกับแผ่นทวีป เกิดเป็นแนวแกรนิตขนาดใหญ่ทางตะวันออกเมืองล้านซ้าง เรียก แนวแกรนิตหลังคาง นอกจากนั้นแถบตอนเหนือขึ้นไปเช่นแนวแกรนิตคองคาซานและยูชินก็เกิดจากอิทธิพลดังกล่าวด้วย คณะจารย์จีนบางท่านโดยเฉพาะ Xu และคณะ (1996) เรียกว่าแนวโค้งล้านซ้าง – กิตัง (Lancang-Guitang Paleoarcs) ผลศิลาเคมีบ่งบอกชัดเจนว่ามวลหินอัคนีเหล่านี้ประกอบด้วยหินแกรนิตตะกอน (S-type granite) และหินแกรนิตอัคนี (I-type) ระหว่างแนวโค้งจินหง-ชาดอยกับแนวโค้งลานซ้าง-กิตัง ในปัจจุบันเราไม่สามารถมองเห็นรอยต่อธรณีได้เนื่องจากถูกปิดทับด้วยรอยเลื่อนคั่นขึ้น (thrust) และรอยโค้งเลื่อนทับ (nappe) ยกเว้นทางตอนเหนือของมณฑลยูนาน (แถบเมืองริวอก-Riwoque) ที่อาจมีหินบะซอลต์สันสมุทรรได้ และจัดให้เป็นรอยต่อธรณีมีนัยสำคัญ (cryptic geosuture) ของบริเวณแถบนี้ได้ ซึ่งแสดงถึงรูปแบบการพัฒนาการแปรสัณฐานของแผ่นหรือจุลทวีปซีเหมา-ซามโด

3.4.3 แผ่นหรือจุลทวีปเบาชาน

ในส่วนของทวีปเบาชาน (รูป 3-15) สามารถจัดกลุ่มแบ่งหน่วยแปรสัณฐานออกได้เป็น 5 หน่วยย่อยด้วยกัน ได้แก่ 1) เขตรอยต่อธรณีขานหมิง-เหมิงเลียง (Changhing-Menglian Suture) 2)

ขอบสัณยศาสตร์เจิ้งมา (-ริวอก) (Gengma-Riwoge Passive Margin) 3) แอ่งหน้าแผ่นดินมู่ฉาง (Muchang Foreland) 4) แนวยกตัวเบาชาน (Baoshan Uplift) และ 5) แอ่งเหม้งเจีย (-ลิวกู) (Mengjia-Liuku Depression)

รอยต่อซานหนิง-เหม้งเหลียง

รอยต่อซานหนิง-เหม้งเหลียงนี้ติดกับแอ่งชีเหมมาทางตะวันออกและติดกับขอบสัณยศาสตร์เจิ้งมา ทางตะวันตก (B1 รูป 3-15) หลายคนเชื่อว่ารอยต่อธรณีนี้เป็นส่วนใต้ของรอยต่อธรณีสันทางเจียง ซึ่งอยู่ระหว่างแผ่นดินไทยกับแผ่นดินชีเหมมา มีลักษณะเป็นแนวยาวแคบๆ วางตัวในแนวเหนือใต้ เริ่มจากเมืองเหม้งเหลียน ลานซ้าง ตองฉางเจีย (Tongchangia) จนถึงเมืองซานหนิง เขตประกอบด้วยหินหลากหลายชนิด นับตั้งแต่กลุ่มหินสกุสโอฟิโอไลต์ (หินอัคนีสีเข้มจนถึงหินบะซอลต์) หินบะซอลต์สันสมุทร (Wu และคณะ, 1995) นอกจากนั้นยังมีหินเชิร์ตตอนปลายยุคออร์โดวิเซียนจนถึงต้นยุคเพอร์เมียน ซึ่งเชื่อกันว่าเป็นส่วนหนึ่งของทะเลทีสโบราณ (Tethys) ในเอเชียตะวันออก ในส่วนของหินอัคนีสีเข้มและเข้มเข้มจัด มีทั้งหินอัคนีแทรกซอนและหินภูเขาไฟ ประกอบด้วยหินภูเขาไฟ จำพวกบะซอลต์ หินไดอะเบส หินบะซอลต์สันกลางมหาสมุทร และเกาะกลางมหาสมุทร (MORB) และหินอัคนีแทรกซอนสีเข้มจัด หินฮาสเบอร์ไรต์ หินไฟร็อกซีไนต์ หินแกรโบ หินเมตตาเพอริโดไต์ หินบะซอลต์มีธาตุหายากเบา (light rare earth element) โดยกำหนดอายุของหินบะซอลต์ได้ 340 ล้านปี และอายุหินอายุแกรโบมีแอมฟิโบล โดยวิธี K/Ar ได้ 385 ล้านปี ก่อตั้งตั้งแต่ต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัสจนถึงปลายยุคเพอร์เมียน และมีหินปูนที่วางตัวอยู่ด้านบน ซึ่งถูกตีความว่าเป็นภูเขาไฟใต้น้ำ (seamount) หินปูนขนาดใหญ่และเลนส์หินปูน (ที่พบร่วมกับกลุ่มหินบะซอลต์) มีซากดึกดำบรรพ์ฟอสซิลบ่งชี้ว่ายุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงปลายยุคเพอร์เมียน และหินเชิร์ตชั้นบางสลับกับหินดินดานมีซากดึกดำบรรพ์แกรปโตไลต์ โคโนดอนท์ และเรดิโอลาเรียนหลายกลุ่ม ที่บ่งบอกอายุตั้งแต่ดีโวเนียนจนถึงไทรแอสซิกตอนกลาง

ขอบสัณยศาสตร์เจิ้งมา (-ริวอก)

ขอบสัณยศาสตร์เจิ้งมา (-ริวอก)วางตัวอยู่ระหว่างรอยต่อซานหนิง-เหม้งเหลียงกับแอ่งหน้าแผ่นดินมู่ฉาง (ดู B2 ในรูป 3-15) ซึ่งต่อลงไปทางใต้ก็คือแนวรอยเลื่อนคิเจี-นังดิง (Kejie-Nangding Fault) อาจจัดได้ว่าขอบสัณยศาสตร์นี้อยู่ทางด้านตะวันตกสุดของมหาสมุทรโบราณลานซ้างเจียง ซึ่งมีอายุระหว่างยุคพรีแคมเบรียนถึงเพอร์เมียน หินยุคเก่าแก่ที่สุดที่โผล่คือหินในยุคไซเนียนถึงต้นมหายุคพาลีโอโซอิกซึ่งเป็นตะกอนเมืง (แปรชั้นต่ำ) สลับกับหินปูนและหินภูเขาไฟ ซึ่งจัดเป็นตะกอนในขอบสัณยศาสตร์หรือในแอ่งหลังแนวโค้ง (ภูเขาไฟ) ส่วนหินปลายมหายุคพาลีโอโซอิกเป็นตะกอนน้ำทะเลตื้นและหินเชิร์ตสลับกับ

หินปูน และหินตะกอนภูเขาไฟในขอบสัณฐานและปิดทับด้วยหินมหายุคเมโซโซอิกจำพวกหินปูนและตะกอนเม็ดทะเล และตะกอนบกซึ่งอาจมีหินภูเขาไฟปนบ้างจัดให้เป็นตะกอนในแอ่งหน้าโค้ง (ภูเขาไฟ) *แนวยกตัวเบาชานและแอ่งเหมิงเจีย-ลิ่งกู*

ส่วนถัดมาที่อยู่ระหว่างขอบสัณฐานเจียงมาและแผ่นทวีปเหมิงเจียซึ่งเรียกรวมกันว่า ฐานทวีปเบาชาน หรือแผ่นเบาชาน (หรือ แผ่นเขาเบา) อยู่ระหว่างรอยเลื่อนหนูเจียง (Nujiang Fault) หรือตะเข็บหนูเจียงกับรอยเลื่อนคิจี-นานดิง ซึ่งอายุหิน (ที่โผล่) มีตั้งแต่มหายุคพรีแคมเบรียนจนถึงยุคเทอร์เชียรี ซึ่งในยุคซีเนียนถึงกลางยุคแคมเบรียนจัดให้เป็นตะกอนน้ำทะเลลึก (flysch-type) ในแถบแนวยกตัวเหมิงเจีย (-หลิวกู) (Mengia-Liuku Depression, B5 รูป 3-15) แต่พอมายปลายยุคแคมเบรียนจนถึงเพอร์เมียนเป็นตะกอนน้ำตื้นในแถบแนวยกตัวเบาชาน (Baoshan Uplift) (B4 ในรูป 3-15) ทางจีน (Xu และคณะ, 1996) พบว่าในยุคโดโวเนียน น้ำทะเลลึกไปทางตะวันออกแสดงว่าแหล่งกำเนิดตะกอน (provenance) น่าจะอยู่ทางทิศตะวันตกในตอนปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัส (ในบริเวณแถบ B4 และ B5 ในรูป 3.13) พบตะกอนทะเลไร่ที่มา (diamictite) ซึ่งสัมพันธ์กับธารน้ำแข็ง (glacia-marine) ทำให้เชื่อว่าอาจมาจากอภิมหาทวีปกอนวานา (Gondwana supercontinent) ได้ ส่วนในตอนปลายมหายุคเมโซโซอิกพบตะกอนบกสีแดง ซึ่งเป็นบริเวณแถบ ๆ ที่เรียกแอ่งหน้าแผ่นดินขุ่นใน-หมู่ซาง

3.4.4 จุลทวีปเทนจง

จุลทวีปเทนจงจัดเป็นแผ่นเปลือกโลกขนาดเล็ก (minor lithospheric plate) ที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ 1) แนวโค้งเทงจง-โบมี (Tengchong-Bomi arc belt) และ 2) แก่นหินแปรซับซ้อนซุเดียน (-เซียซาเย) (Sudian-Xiazayu metamorphic core complex) ซึ่งทั้งสองจัดอยู่ในส่วนที่เรียกแนวดันเลื่อนขึ้นบาซอ-เกาลิง (Baxoi-Gaolingshan Thrust Belt)

แนวโค้งเทงจง

แนวโค้งเทงจง (G1 ในรูป 3-15) ถูกขนาบด้วยรอยเลื่อน 2 แนว คือรอยเลื่อนหนูเจียงทางทิศตะวันออก (ตอนเหนือของเมืองโบมี) และรอยเลื่อนบินยางเจียง (-เสียซาเย) (Binyangjiang-Xiazayu Fault) ทางทิศตะวันตกซึ่งทำให้แยกออกจากแก่นหินแปรซับซ้อนซุเดียนได้ หินที่โผล่มีตั้งแต่หินแปรมหายุคพรีแคมเบรียนจนถึงตะกอนยุคเทอร์เชียรี หินมหายุคพรีแคมเบรียน (เช่น หมวดเกาลิงกงชาน) ประกอบด้วยหินไนล์ หินชีสต์ หินอ่อน และหินมิกมาไทต์/ไมโลไนต์ ซึ่งอนุมานว่าหินเดิมน่าจะเป็นหินโคลนสลับกับหินภูเขาไฟและหินปูน นอกจากนั้นยังพบหินปูนตอนปลายยุคออร์โดวิเชียนอีกด้วย ส่วนกลางยุคออร์โดวิเชียนและยุคไซลูเรียนการสะสมตัวขาดหายไป ช่วงยุคโดโวเนียนและเพอร์เมียนยังคงเป็นลักษณะเดิมคือตะกอนทะเลเม็ดสลับตะกอนเคมีและหินภูเขาไฟ ซึ่งช่วงต้นยุคโดโวเนียนเป็น

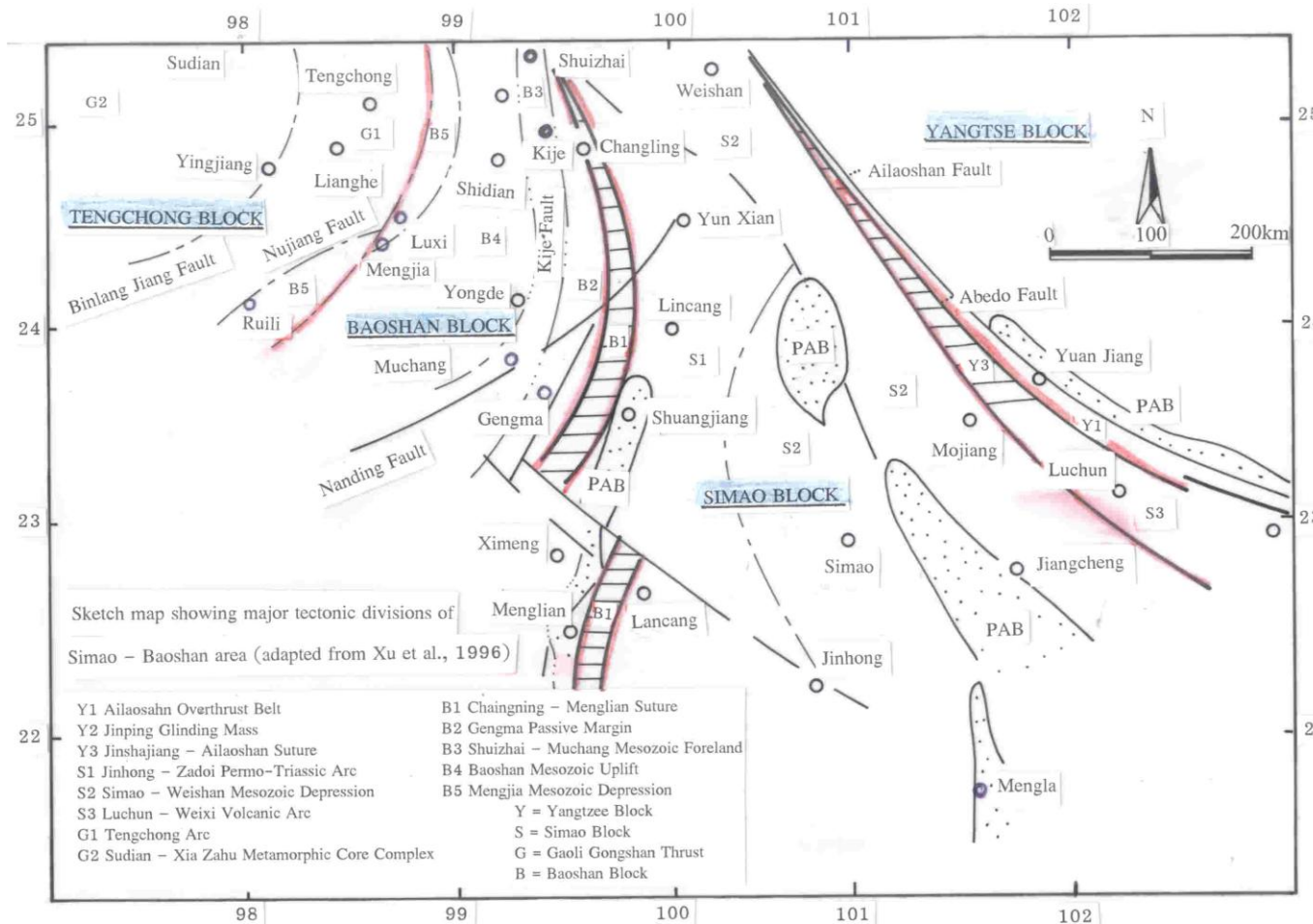
ตะกอนบดที่วางตัวไม่ต่อเนื่องกับหินยุคออร์โอวิเซียน ในยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียนเป็นหินตะกอนไรท์ที่เหมือนอย่างของแผ่นทวีปเบาซานจนถึงยุคเพอร์เมียน แต่ตอนต้นยุคคาร์บอนิเฟอรัสเป็นตะกอนน้ำทะเลลึก ซึ่งแสดงถึงการยกตัวและตามด้วยการจมตัวของขอบสัณติ ส่วนในยุคเทอร์เชียรี-ควอเตอร์นารีเป็นตะกอนทรายแม่น้ำและทะเลสาบ ที่มีถ่านหินและตะกอนภูเขาไฟบ้าง ในบริเวณตะวันออกสุดของแนวโค้งเทนจิงนี้ (หรือที่ติดกับรอยเลื่อนหนูเจียง) โดยเฉพาะแถบแดงเงิน (Denggen) ฝั่งตะวันตกเป็นกลุ่มหินคั่นเลื่อนขึ้น (melanges) ซึ่งเป็นตะกอนน้ำทะเลลึกอายุปลายยุคไทรแอสสิกจนถึงกลางยุคจูแรสสิกที่มีมวลก้อนหินยักษ์ของพวกหินอัคนีสีเข้ม หินปูน หินเชิร์ต และหินโคลน และหินชุดงูใหญ่ (โอไฟโอไลต์) นี้เป็นพวก Mg-type (Pan Guitang และคณะ, 1983) หินบะซอลต์ที่พบบริเวณแถบเมืองแดงเงินแสดงผลรณีเคมีที่จัดได้ว่าเป็นหินที่เกิดจากสันสมุทร อย่างไรก็ตามแบบรอยต่อหนูเจียงหรือรอยเลื่อนนี้ไม่ปรากฏชัดเจนนักในบริเวณแถบตอนเหนือ เช่น แถบเมืองคาวารง (Cawarong) แต่จะปรากฏชัดเจนเฉพาะในยูนานตอนใต้ คือแถบเขาซานไตทางใต้ของเมืองลูซี เพราะพบหินอัคนีสีเข้มจัดแทรกตัวเข้ามาในหินตะกอนน้ำลึกยุคไทรแอสสิก-จูแรสสิกดังกล่าวตอนต้น

แก่นหินแปรซับซ้อนชุยเคียน (-เซียซาฮู)

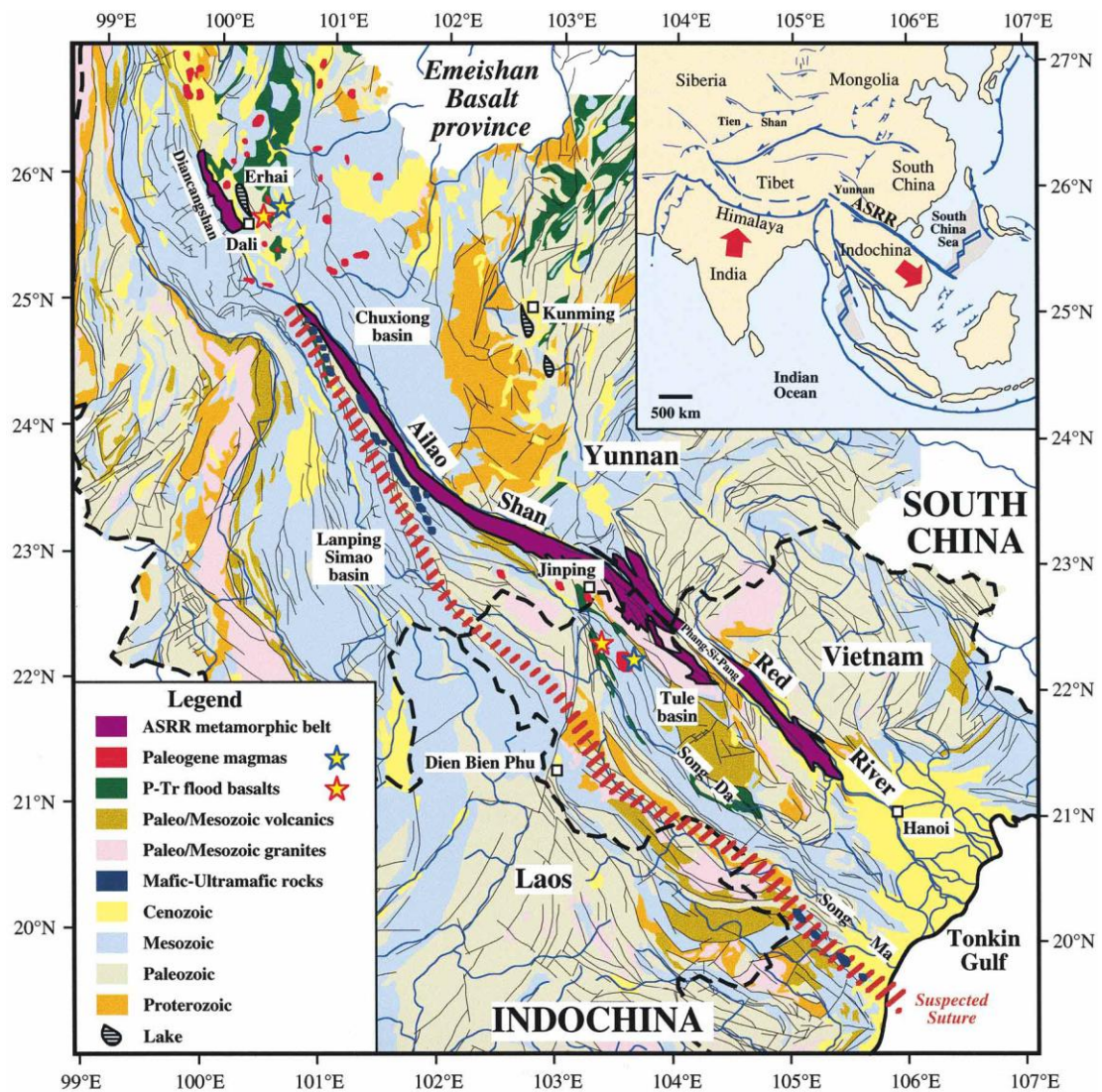
แก่นหินแปรนี้อยู่ทางตะวันตกสุดของพื้นที่ศึกษา (G2 ในรูป 3.15) และถูกบังคับด้วยแนวรอยเลื่อนบินกลางเจียง แก่นหินแปรประกอบด้วยหินแปรหลายชนิด (เช่น หินไนส์, หินชีส และหินอ่อน) ที่ถูกบดแตก (mylonized) และแปรหลอม (migmatized) และหินแกรนิตช่วงอายุหิมาลัย จากการหาอายุด้วยวิธี Rb-Sr ได้อายุประมาณ 954 ± 198 ล้านปีจากหินไนส์แปรหลอม (migmatized gneiss) แถบเมืองหยิงเจียง (Yingjiang) ทางตะวันตกเฉียงใต้ของเมืองเตงจงโก๊สัปรมแดนพม่า

สำหรับมณฑลยูนนานทางจีนได้ศึกษาหินอัคนีแทรกซอนแถบเลียงซี-ซาฮูไว้มาก (ดู Xu และคณะ, 1996) พบว่าส่วนใหญ่เป็นหินจำพวกไดโอไรต์ แสดงว่าเกิดจากอิทธิพลการมุดตัวของแผ่นสมุทรลงไปใต้อีกแผ่น ในส่วนของหินอัคนีแทรกซอนทางตะวันตกของเมืองโบมีมีลักษณะที่เหมือนกับหินไดโอไรต์เมืองกังกิสในทิเบต แม้ทั้งสองจะมีความคล้ายกันในแง่สัณนิพจน์ และเกิดในช่วงยานซาน-หิมาลัย แต่จากข้อมูลศิลาเคมีทำให้ทราบว่าหินอัคนีสีจางแถบกังกิสส่วนใหญ่เป็นแกรนิตอัคนี (แบบไอ) มากกว่าแกรนิตตะกอน (แบบเอส) และพบหินภูเขาไฟสีเข้มด้วย ในขณะที่ทางตะวันออกของเมืองโบมีและเรื่อยมาทางใต้ของเมืองซาฮู มีทั้งแกรนิตตะกอนและแกรนิตอัคนี ส่วนทางใต้ลงมาจนถึงเมืองหงจง-ชงเคียน หินแกรนิตมาจากชั้นเปลือกโลก (crustal material) หรือแกรนิตตะกอนมากกว่าหินแกรนิตอัคนี (จากชั้นเนื้อโลก) (mantle source region)

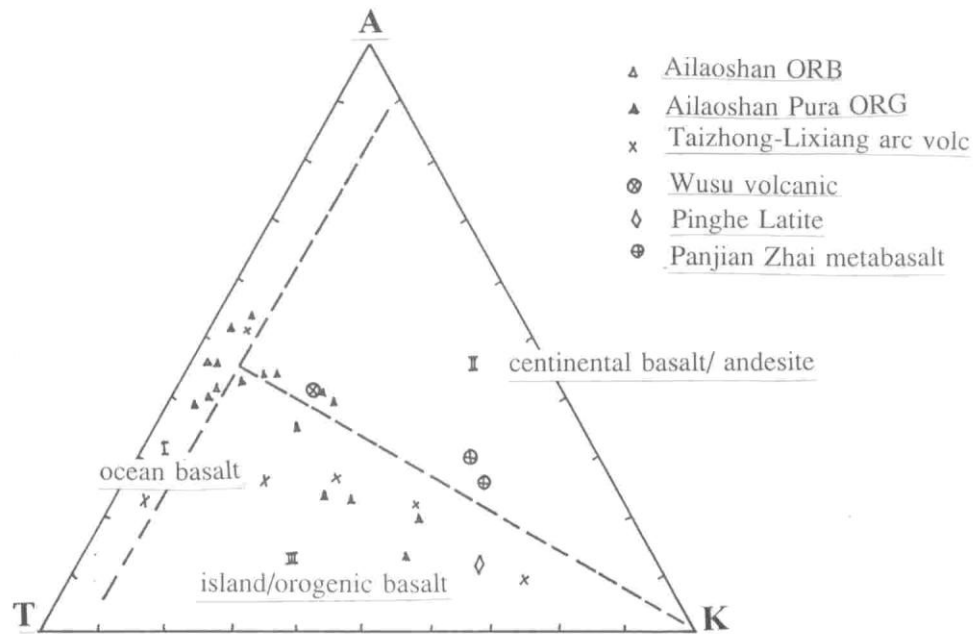
การเปลี่ยนแปลงจากการแปรสัณฐานในแถบสองบริเวณนี้ค่อนข้างรุนแรงและซับซ้อนพอควร แต่เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างการแปรสัณฐานอย่างง่าย (simplified tectonic structure) พบว่าแนวรอยเลื่อนทางตอนเหนือของแนวโค้ง มักพบเป็นรอยเลื่อนดันขึ้น (upthrust) ไปทางซ้ายเป็นส่วนใหญ่ ส่วนทางใต้มักพบรอยเลื่อนดันขึ้นไปทางขวา ทำให้เกิดรอยเลื่อนปกติในบริเวณแอ่งหลังแนวโค้ง ในแง่การแปรสภาพอาจจัดได้ว่าในช่วงอายุก่อนยุคออร์โดวิเชียน เกิดการแปรสภาพหินค่อนข้างรุนแรง อาจถึงขั้นสูงสุด คือชุดกลุ่มแกรนูไลต์ (granulite) ขณะที่ในตอนช่วงหลังยุคออร์โดวิเชียนการแปรสภาพหินเป็นไปในขั้นต่ำประมาณชุดกลุ่มกรีนชีส



รูป 3-15 แผนที่ธรณีวิทยาแปรสัณฐานอย่างง่ายบริเวณซีเหมา-เบาซาน แสดงการจำแนกหน่วยหินการแปรสัณฐานย่อยๆ (ดัดแปลงจาก Xu และคณะ, 1996, ปัญหา จารุศิริ และคณะ, 2542), ปัญหา จารุศิริ และคณะ, 2542)



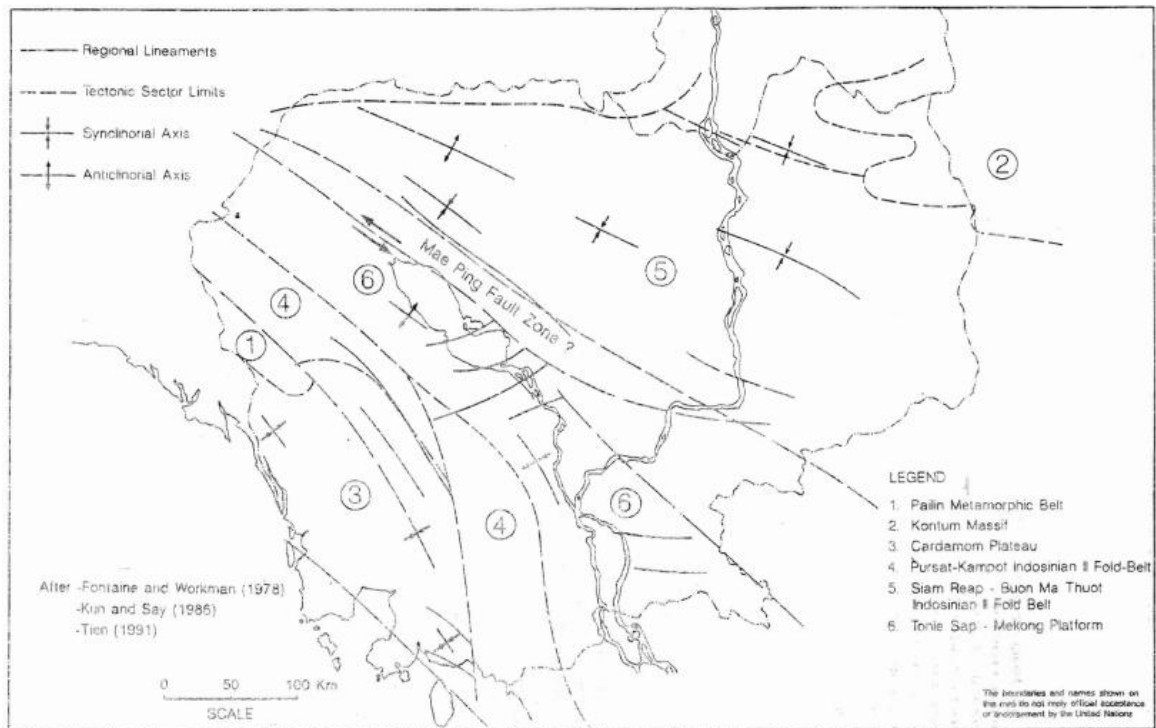
รูป 3-16 แผนที่ธรณีวิทยาและโครงสร้างหลักของยูนนานใต้โดยเฉพาะ บริเวณแนวตะเข็บอัฒลาซาน (Ailaoshan Suture) – บริเวณแรงเฉือนของแม่น้ำแดงและพื้นที่ข้างเคียง (Chung และคณะ., 2010)



รูปที่ 3-17 ตารางสามเหลี่ยม ATK แสดงการเกาะตัวของหินภูเขาไฟชนิดต่างๆ ของมหายุคนาน (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2542)

3.5 ธรณีแปรสัณฐานของกัมพูชา

ประเทศกัมพูชาเป็นส่วนเล็กๆ ที่อยู่ตอนกลางของส่วนธรณีแปรสัณฐานเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งประกอบด้วย คาบสมุทธรินโดจีน, ส่วนตะวันออกของประเทศไทย, ลาว, ทางใต้มาเลเซีย, ตะวันตกของกาลิมันตันและพื้นที่ที่แทรกเข้ามาในอ่าวไทยและทะเลจีนใต้ ส่วนของแผ่นเปลือกโลกนี้รวมกันเรียกว่าอินโดจีน (Indosinia) ซึ่งรวมกันเป็นหนึ่งและยกตัวขึ้นโดยส่งผลให้เกิดการเคลื่อนตัวและการเกิดภูเขาในยุคไทรแอสสิกตอนปลาย (Indosinian Orogeny) ในระหว่างยุคจูแรสสิก ครีเตเชียส และพาลีโอจีนเป็นช่วงที่เกิดการเชื่อมกันของภูมิภาคกลายเป็นภูเขาซึ่งก็ผุพังกัดกร่อนและสะสมตัวจนในที่สุดได้ลำดับชั้นตะกอนบนพื้นทวีป และเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการแปรสัณฐานเปลือกโลกที่เริ่มต้นในช่วงยุคนีโอจีนซึ่งทำให้เกิดภูมิลักษณะดังที่เห็นในปัจจุบัน รูปที่ 3-17 แสดงแผนที่ภาพวาดของส่วนหลักและโครงการแปรสัณฐานของกัมพูชา



รูป 3-18 ลักษณะการแปรสัณฐานในส่วนของประเทศกัมพูชา (ESCAP, 1993.) [น่าจะใส่ภาพงานดาวเทียมด้วยนะ]

ใจกลางแผ่นอินโดจีนประกอบด้วยเขตที่ราบสูงคอนทุม (Kontum massif) บริเวณตอนกลางของเวียดนามและตะวันออกเฉียงเหนือของกัมพูชาซึ่งมีการรวมตัวกันก่อนยุคโครีเนียนและในปัจจุบันกลายเป็นหินแปรซับซ้อน (metamorphic complex) ซึ่งเกี่ยวข้องกันแต่แบ่งออกเป็นส่วนเล็กๆตามลักษณะหินที่คล้ายคลึงกันในพื้นที่ไพลินทางตะวันตกของกัมพูชา พื้นที่ของวาฬิสกัน (Variscan) (คาร์บอนิเฟอรัส) folding อยู่ทางตอนเหนือและตอนใต้ของอินโดจีนเนียนนี้ โดยเขตรอยโค้งทางตอนใต้วางตัวตัดกัมพูชาทางตอนเหนือและตอนกลาง

จากกระบวนการแปรสัณฐานและการยกตัวในช่วงเวลานี้ทำให้เกิดตะกอนลำน้ำ (River terranes) มหายุคพาเลโอโซอิกในเขตสตุงเตริง (Rovien-Stung Treng belt) ทางตอนเหนือของกัมพูชา และในพื้นที่ที่คล้ายกันทางตะวันตกเฉียงใต้ของกัมพูชา ซึ่งในปัจจุบันแสดงให้เห็นเป็นหินโคล่อายุโครีเนียน-คาร์บอนิเฟอรัส ที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง และในขณะเดียวกันแผ่นทวีปอินโดจีนเนียนในยุคพาเลโอโซอิกมีการขยายใหญ่ขึ้นและรวมตัวกัน

แผ่นทวีปในช่วงก่อนนี้ประกอบด้วยตอนกลางและตะวันออกเฉียงของประเทศลาว, ทางเหนือตะวันตก และตะวันออกเฉียงเหนือของกัมพูชา, ตอนกลางและตอนใต้ของเวียดนาม และบางส่วนของประเทศไทย การตกสะสมตัวของตะกอนรอบๆ แผ่นทวีปนี้ซึ่งยังคงมั่นคงตามธรรมชาติที่ยังเหลืออยู่ตั้งแต่ยุคคาร์บอนิเฟอรัสตอนกลางเป็นต้นมาด้วยส่วนของขอบเท่านั้นที่จมตัวลงไปบริเวณชายฝั่งทะเลและทะเลสาบ และตะกอนเหล่านี้ยังมีการสะสมตัวอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงยุคคาร์บอนิเฟอรัส, เพอร์

เมียน และไทรแอสสิก ในยุคเพอร์เมียนตอนปลายเกิดการโค้ง (folding) อย่างรุนแรงต่อเนื่องไปจนถึงกลางยุคไทรแอส ช่วงนี้เกิดการยกตัว เคลื่อนตัวและการคดโค้งของชั้นหินเป็นบรรพตรังสรรค์อินโดจีน (Indosinian orogeny) ซึ่งเกิดขึ้นเป็นบริเวณกว้างในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ติดกับประเทศลาว, ตอนกลางของประเทศไทย และตอนกลางและตะวันตกของประเทศกัมพูชา ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือ จากนั้นก็เข้าไปทางใต้สู่ลาว ไทย แนวโครงสร้างขนาดใหญ่นี้ขนานไปกับการโค้งตัวในช่วงอินโดจีน (Indosinian folding) ที่ยาวและต่อเนื่องไปทางใต้ของลาวและตอนกลางของเวียดนาม เป็นผลทำให้เกิดแนวเทือกเขาแถบนี้ โดยเป็นการเกิดเทือกเขาทั้งหมดจนมาถึงปัจจุบันรวมถึงในยุคไทรแอสสิกมีการคดโค้งอย่างรุนแรงของชั้นหินไปในแนวตะวันออกเฉียงใต้

ทฤษฎีการแปรสัณฐานนี้เสนอโดย Bunopas และคณะ (2007) แสดงให้เห็นว่าแผ่นอินโดจีนและแผ่นลายไทยเกิดการชนกันและเชื่อมกันในช่วงยุคไทรแอสสิกตอนกลาง และแนบสนิทกันในช่วงไทรแอสสิกตอนปลาย ในการแปลความหมายนี้ แผ่นเปลือกโลกพื้นทวีปสองแผ่นส่วนใหญ่จะชนพร้อมๆ กันและเชื่อมกับขอบทางตอนใต้ของแผ่นอินโดจีนได้ การชนกันของแผ่นลานไทยและอินโดจีนทำให้เกิดการคดโค้งโค้งงอของชั้นหินที่พบเห็นได้ทั่วไปบริเวณขอบของแผ่นทวีป ภูเขาไฟ และเกิดการแทรกซอนของหินแกรนิตเป็นบริเวณกว้างเกี่ยวข้องกับแรงอัดดันที่เห็นได้จากบรรพตรังสรรค์อินโดจีน (Indosinian orogeny) ของแผ่นอินโดจีน และเชื่อว่าการชนกันและการเกิดแนวการมุดตัวของแผ่นเปลือกโลกขนานกับขอบทางตะวันตกของแผ่นลานไทยเป็นสิ่งที่บ่งบอกการแทรกตัวของแถบมวลหินแกรนิตเป็นแนวยาวอายุไทรแอสสิกถึงจูแรสสิกตอนต้นซึ่งขยายมาจากทางตะวันออกของพม่าต่อเนื่องไปทางตอนใต้ของประเทศไทยและมาเลเซียถึงตะวันตกเฉียงเหนือของอินโดนีเซีย

ขั้นสุดท้ายของบรรพตรังสรรค์อินโดจีนหรือการเกิดเทือกเขาอินโดจีนเมียน (ยุคไทรแอสสิกตอนกลาง-ตอนปลาย) มีการเชื่อมกันของพื้นทวีปแผ่นอินโดจีน ซึ่งในปัจจุบันขยายมาจากทางตอนใต้ของจีนไปทางตอนใต้ถึงทางตะวันตกของรัฐกาลิมันตัน และไปถึงพื้นที่ของหมู่เกาะบังกาและบิลลิงตันในทะเลซุนดา มีการเริ่มต้นในช่วงยุคไทรแอสสิกตอนปลาย (Norian stage) การผุพังของบริเวณที่สูงที่เกิดโดยการเกิดเทือกเขาอินโดจีนวางตัวอยู่ใต้ตะกอนบก (molasse-facies) เหนือพื้นที่บริเวณกว้างของแผ่นทวีปย่อย การเกิดภูเขาไฟยังคงมีอยู่ในท้องถิ่น บริเวณที่มีการสะสมตัวของตะกอนที่ดีที่สุดอยู่ในตอนกลางของหินฐานธรณีอินโดจีนเมียนที่ซึ่งหุบเขาธารน้ำรูปแจกันและเนินตะกอนปากแม่น้ำได้รับตะกอนเนื้อประสมจากพื้นทวีป/ตะกอนน้ำผสม (paralic) มาตกสะสมตัวตลอดช่วงยุคจูแรสสิกและครีเตเชียส ถึงจุดสูงสุดในช่วงที่มีการตะกอนและการะเหยในช่วงยุคครีเตเชียสตอนปลายจนถึงอนุยุคพาลีโอจีน เป็นผลจากการบุกรุกของน้ำทะเลในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ดังนั้นจึงเกิดการสะสมตัวของหินทราย, หินกรวด และหินทรายแป้งเป็นบริเวณกว้างในที่ราบสูงโคราช (ในไทย) ที่สูงคาร์ดามอนและที่สูงใกล้เคียงทางตะวันตกของประเทศกัมพูชา การเคลื่อนตัวจากการตกสะสมตัวของตะกอนมหาสมุทรไปยังตะกอนแผ่นทวีปเป็นผลสะท้อนด้วยในหมวดหินบ้านดอนทางตะวันออกของกัมพูชาในช่วงยุคจูแรสสิกตอนกลางและตอนปลายซึ่งสิ้นสุดในชั้นบนของตะกอนพื้นทวีป “Terrain Rouge” ผ่านขึ้นไปในพื้นที่

ทวีปหวมวดหินคาโต (โกสัสมพัด) ซึ่งสัมพันธ์กับกลุ่มหิน โคราชและเหมือนกับทางตะวันตกของกัมพูชา แต่ประกอบไปด้วยเศษเสี้ยวภูเขาไฟที่สำคัญ การสะสมตัวของตะกอนพื้นทวีปในยุคจูเรสสิก-ครีเตเชียสมีความต่อเนื่องอย่างเด่นชัด ซึ่งมีตะกอนชั้นหนาของตะกอนจากบก (molasse-mass) ปกคลุมพื้นที่รูปແຈກັນของ ไทย, กัมพูชา และลาวตอนใต้ เป็นผลมาจากการยกตัวและการเคลื่อนตัวที่เกิดจากการเกิดเทือกเขาอินโดจีนและตามมาด้วยช่วงการผุพังที่ยาวนาน

ในระหว่างช่วงมหายุคมีโซโซอิกแผ่นอินโดจีน (Indosinian terrane) ปรากฏว่ามีการแปรสัณฐานเกิดขึ้นครั้งแรกในยุคไทรแอสสิกตรงแอ่งหน้าแผ่นดิน (foreland basin) (ในระหว่างการสะสมตัว) และต่อมาในพื้นที่ back-arc magmatic ในยุคจูเรสสิกและครีเตเชียส โดยจะเห็นได้จากการแทรกตัวของหินแกรนิตจำนวนมากและในตำแหน่งทางตะวันออกของกัมพูชาในช่วงเวลานี้ นี้แสดงให้เห็นว่าเป็นช่วงเวลาที่สำคัญของ endogenic metallogeny ในประเทศ

วิวัฒนาการสุดท้ายของ แผ่นอินโดจีน (Indosinian block) เกิดในช่วงมหายุคซีโนโซอิก โดยตลอดช่วงเวลานี้มีความเสถียรของแผ่นเปลือกโลกตลอดมาจนถึงปัจจุบัน เป็นแผ่นเปลือกโลกเดียวที่เป็นแรงการแปรสัณฐานที่สำคัญที่กระทำต่อพื้นที่รอบข้างบริเวณกว้าง การเกิดการแยกตัวของแผ่นสมุทรไปทางตะวันออก, การเคลื่อนตัวของแผ่นฉานไทยไปทางเหนือและการพัฒนาของขอบเขตฉานในการเกิดเทือกเขายุคครีเตเชียส-เทอร์เชียรีไปทางตะวันตกและแอ่งตะกอนช่วงมหายุคซีโนโซอิก ไปทางตะวันตกเฉียงใต้และทางใต้ ขอบเขตทางด้านเหนือวางตัวตัดกับตะเข็บธรณีที่อยู่ในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ตัดกับด้านเหนือของเวียดนามและทางตะวันตกเฉียงใต้ของจีน (the Red River Suture zone)

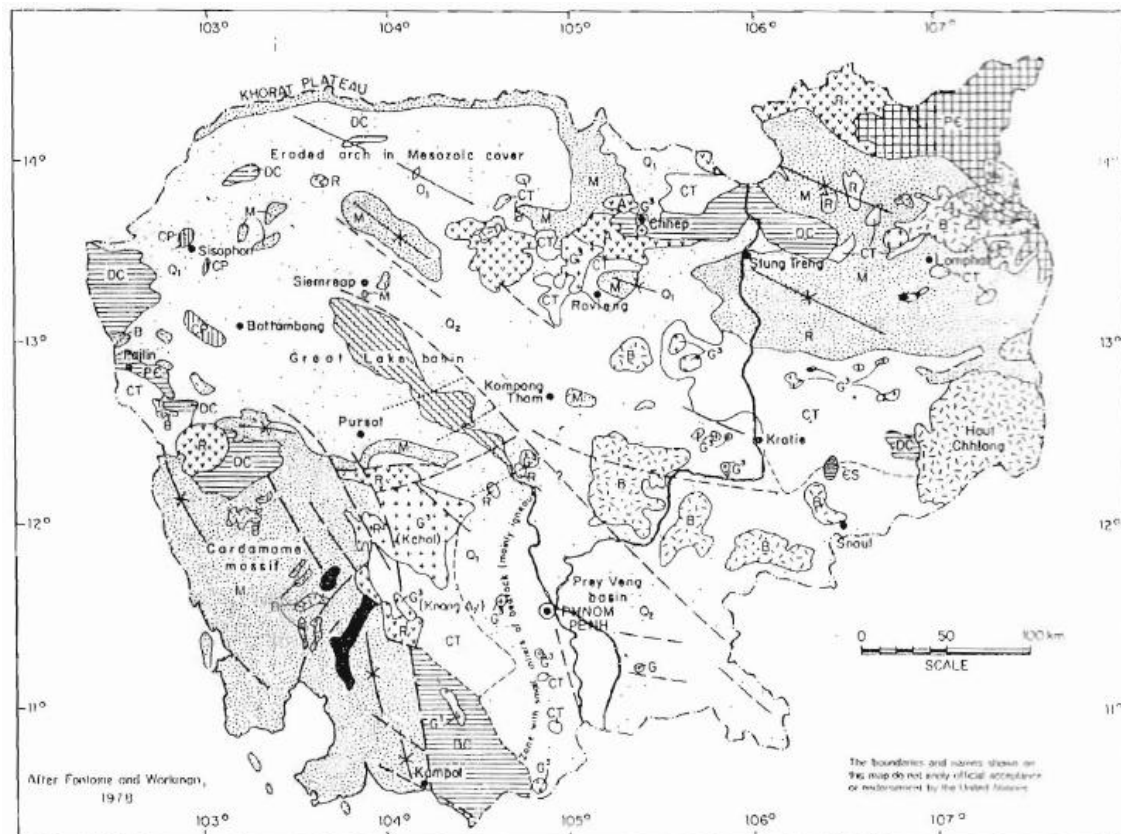
แรงจากการแปรสัณฐานและการเคลื่อนที่ที่สำคัญปรากฏให้เห็นลดลงในช่วงอนุยุคพาเลโอจีน อย่างไรก็ตามแรงจากการแปรสัณฐานนี้ในยุคเทอร์เชียรีทำให้เกิดการเคลื่อนตัวที่สำคัญ, โดยเฉพาะการเกิดรอยเลื่อนและภูเขาไฟภายในแผ่น (ธรณีภาค) สิ่งเหล่านี้มีผลกระทบที่สำคัญหลายอย่าง โดยเฉพาะการยกตัวและการแอ่นตัวบริเวณตอนกลางของขอบแผ่นเปลือกโลก (รวมถึงแอ่งโคราชทั้งหมด) และการจมตัวทางตอนใต้ของการพื้นทวีปในส่วนตะวันออกของอ่าวไทยและทะเลจีนดำ

ช่วงยุคพาเลโอจีนเป็นช่วงเวลาของการเกิดหินอัคนีช่วงสุดท้ายบนแผ่นเปลือกโลก (ถึงแม้ว่าจะพบน้ำพุร้อนใต้ดินอย่างกว้างขวาง) ดังที่พบว่าการแทรกตัวของพวกควอตซ์-เฟลด์สปาร์ขนาดเล็กยุคพาเลโอจีน (50-70 ล้านปี) ทั่วคาบสมุทร (ในกัมพูชา) และหินแกบโบรและไดโอไรต์ (gabbroic-dioritic stocks) ขนาดเล็ก และบริเวณรอยเชื่อมที่มีอายุเดียวกัน ทั้งหมดอาจจะมาจากกลุ่มภูเขาไฟอันเดียวกันของหินบะซอลต์ที่ราบสูงที่มีการสึกกร่อนอยู่ในปัจจุบัน การสะสมตัวเหล่านี้เกิดจากแรงดึงภายในแผ่นเปลือกโลกที่เกิดการเคลื่อนตัวในช่วงยุคซีโนโซอิก

การยกตัวเริ่มต้นเกิดขึ้นในการเกิดอ่าวไทยในช่วงยุคอีโอซีนและต่อเนื่องไปในยุคเทอร์เชียรี เริ่มต้นในส่วนตอนใต้และขยายไปทางเหนือและเกิดการเปิดของอ่าวขึ้น เกิดเป็นรูปแบบของชุดการแผ่ขยายของแอ่งตะกอน intracratonic rift (pull-apart) ในทิศทางเหนือ-ใต้ เป็นผลมาจากแรงดึงในแนว

ตะวันออก-ตะวันตก เกิดเป็นชั้นหนาของตะกอนทะเลสาบในยุคเทอร์เชียรีตอนกลางถึงตอนปลายทำให้เกิดเป็นหินที่เป็นแหล่งกำเนิดปิโตรเลียม ซึ่งปัจจุบันเป็นแหล่งสำรวจในอ่าว

ในยุคพาเลโอจีนชั้นหินมักคดโค้งซึ่งเห็นได้อย่างชัดเจนเป็นบริเวณกว้างและเป็นแนวยาวและมีลักษณะเป็นหลังคารูปทรงกลมมากขึ้นลำดับชั้นหินพื้นทวีปยูเรเชีย โซโซอิก ดังที่เห็นในปัจจุบันในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของที่ราบสูงโคราชและที่ราบสูงคาตามอน โดยพื้นที่ขนาดใหญ่ของหินเหล่านี้จะมีการถูกนำออกไปโดยการผุพัง และพื้นที่ทั้งหมดของชั้นหินที่เป็นหลังคารูปทรงกลมในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้มีการบิดงอไปจนถึงหินก่อนยุคควอเทอร์นารีตามโดนเลสาล – แนวแม่น้ำโขงตอนล่าง อีกอันที่อาจจะเกี่ยวข้องกันคือในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ของ cross-arches ที่มีการยกตัวสูงขึ้นในหินฐานธรณีก่อนยุคเทอร์เชียรีบริเวณตอนกลางของลานนี้ (รูป 3-18)



LEGEND

TERRANES

UNDEFORMED OR GENTLY FOLDED COVER STRATA

- Q Quaternary sedimentary rocks and unconsolidated sediments. 1: Pleistocene; 2: Holocene. Includes some small Neogene basins
- B Neogene - Quaternary platform basaltic rocks
- M Mesozoic sedimentary units (upper Triassic - Cretaceous)
- Volcano-sedimentary units (mainly Triassic, some Paleozoic). A: andesitic; R: rhyolitic.
- C-P Paleozoic sedimentary units (mainly Carboniferous - Permian).

ZONES OF INDOCHINIAN FOLDING

- CT Synclinal zones in Indochinian fold-belts (mainly Carboniferous - Triassic).
- DC Anticlinorial zones in Indochinian fold-belts (Precambrian - Silurian medium to high-grade metamorphics; Devonian - Carboniferous rocks, deformed and slightly metamorphosed).

EXPOSED BASEMENT ROCKS OF THE KONTUM MASSIF

- PC Precambrian - Early Paleozoic granites and high-grade metamorphics.

INTRUSIVE ROCK GROUPS

- G Acid - Intermediate intrusive suites
- G₁ - Pre-Carboniferous
- G₂ - Carboniferous
- G₃ - Triassic-Jurassic
- G₄ - Cretaceous

STRUCTURE SYMBOLS

- Regional faults, known and inferred
- Geographical lineament
- Axes of Cenozoic epirogenic folding
- Limits of terranes, known and inferred
- Axis of swell in buried pre-Tertiary basement
- Intramontane grabens (Neogene)

Figure 2. Principal features of the geological structure of Cambodia.

รูป 3-18 ทัศนวิสัยลักษณะธรณีวิทยาโครงสร้างของประเทศกัมพูชา (ESCAP, 1993)

แรงดึงจากการแปรสัณฐานในยุคซีโนโซอิกตอนปลายทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของแอ่งเลื่อนลง (graben) ที่อยู่ระหว่างภูเขาในเทือกเขาคาตามอนและภูเขาคราวาน ในปัจจุบันมักมีตะกอนเนื้อประสมมาสะสมตัวจนเป็นชั้นหนากว่าหลายร้อยเมตรในช่วงอายุไพลโอซีน-ไพลสโตซีน แอ่งเลื่อนลงขนาดเล็กสามารถพบได้ในพื้นที่ Kratie และ Snoul ด้วย

แรงดึงที่เกิดจากการแปรสัณฐานทำให้เกิดการระเบิดของภูเขาไฟเป็นบริเวณกว้าง โดยเฉพาะแถบที่เรียกที่ราบสูงบริเวณ (Bolevan Plateau) ในช่วงไพลโอซีนและต่อเนื่องไปจนถึงยุคควอเทอร์นารี (ตัวอย่าง เช่น จาก 5 ล้านปี-1.7 ล้านปี ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดในช่วง 1.7-2.6 ล้านปี) หินบะซอลต์เหล่านี้มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและเป็นแหล่งหินอัคนีต่างๆ รวมทั้งเป็นแหล่งสะสมตัวของบอไซต์ ในขณะที่เกี่ยวกับการขยายตัวทางด้านตะวันออกและทางใต้ของการถดถอยตัวของอินโดจีนทำให้เกิดพื้นที่บริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยและทางใต้ของประเทศจีน

ในยุคควอเทอร์นารีเกิดแอ่งทะเลสาบที่ใหญ่ที่สุดคือ โตนเลสาบและหุบเขาตอนกลางของกัมพูชาโดยการทรุดตัวเล็กน้อยของพื้นที่กว้างนี้ตามแนวตะวันตกเฉียงเหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ อันเป็นผลจากการเลื่อนตัวตามรอยเลื่อนแม่ปิงที่ต่อเนื่องเข้ามาทางตอนกลางของกัมพูชา ทำให้เกิดตะกอนชั้นบางปกคลุมพื้นที่นี้ในยุคควอเทอร์นารีตอนกลางถึงตอนปลาย และการทรุดตัวของ โตนเลสาบ บางทฤษฎีเชื่อว่าทะเลมีสาเหตุเนื่องมาจากการชนของอุกกาบาตขนาดใหญ่, ซึ่งเป็นสมมุติฐานที่เกิดขึ้นมากกว่า 700,000 ปีก่อนปัจจุบันตามอายุของเทกไทน์ในภาคตะวันออกของไทยและกัมพูชา ความคิดนี้ยังคงมีความไม่แน่นอนในเรื่องของการระบุช่วงเวลา (สังัด พันธุโอภาส, 2550, คิดต่อส่วนตัว)

ในส่วนตะวันออกเฉียงเหนือ หินบะซอลต์บริเวณที่ราบสูง (อายุ 0.6-0.7 ล้านปี) โผล่ขึ้นตามแนวตะวันออก-ตะวันตกจนเกิดเป็นแนวภูเขาไฟเป็นบริเวณกว้างของยุคไพลโอซีนตอนต้น-ไพลสโตซีน หินละลายที่อายุน้อยกว่ามักวางตัวอยู่พื้นที่หินลาวาที่แก่กว่า

ตั้งแต่การเคลื่อนตัวจากการแปรสัณฐานที่สำคัญในยุคควอเทอร์นารีตอนกลางถึงตอนปลายมีการขาดช่วงไป ซึ่งส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงบริเวณไพศาลในหลายพื้นที่และการสังเกตระดับของชายหาดกับระดับน้ำทะเลในปัจจุบันประมาณ 140 เมตรเหนือระดับอ้างอิง

3.6. ประวัติธรณีแปรสัณฐานของเวียดนาม น่าจะใช้รูปของเวียดนาม & Nakano อีกทั้งเนื้อเรื่องไม่สอดคล้องกับ 3.6

แผ่นอินโดจีนเป็นโครงสร้างทางธรณีวิทยาหลักของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แผ่นนี้ประกอบด้วยประเทศเวียดนาม, ลาว, กัมพูชา และภาคตะวันออกของประเทศไทย ตามรายงานของ Metcalfe (1998, 2000) รวมทั้งส่วนตะวันออกเฉียงใต้ของมาเลเซีย, ส่วนเล็กๆ ของเกาะสุมาตรา และส่วนเล็กๆ ทางตะวันตกของเกาะบอร์เนียวที่เป็นส่วนหนึ่งของแผ่นอินโดจีน ทางตะวันตกของแผ่นแบ่งจากแผ่นฉานไทยโดยตะเข็บเบงตง-รวบ (Ruab-Bentong Suture), ตะเข็บสระเก้ (Sra Kaeo Suture) และตะเข็บนาน-อุดรดิษฐ์ (Nan-Uttaradit Suture) (จากเหนือไปใต้) (รูป 3-19) (Metcalfe, 1998, 2000)

ทางตะวันออกเฉียงเหนือถูกแบ่งจากจินใต้ด้วย ตะเข็บซงมา (Song Ma Suture) ขอบทางด้านตะวันออกของอินโดจีนเป็นขอบสถิติ (passive margin) ที่เชื่อมต่อกับจินใต้โดยแผ่นเปลือกโลกพื้นทวีปที่ขยายออกไป (Fan, 2000) อินโดจีนถูกแบ่งอย่างสมบูรณ์จากแผ่นส่วนใต้โดยรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้

ใช้รูปของ TLE

รูป 3-19 แผนที่แสดงการกระจายตัวของแผ่นธรณีต่าง ๆ ในเอเชียใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเอเชียตะวันออก (ดัดแปลงจาก Metcalfe, 1998)

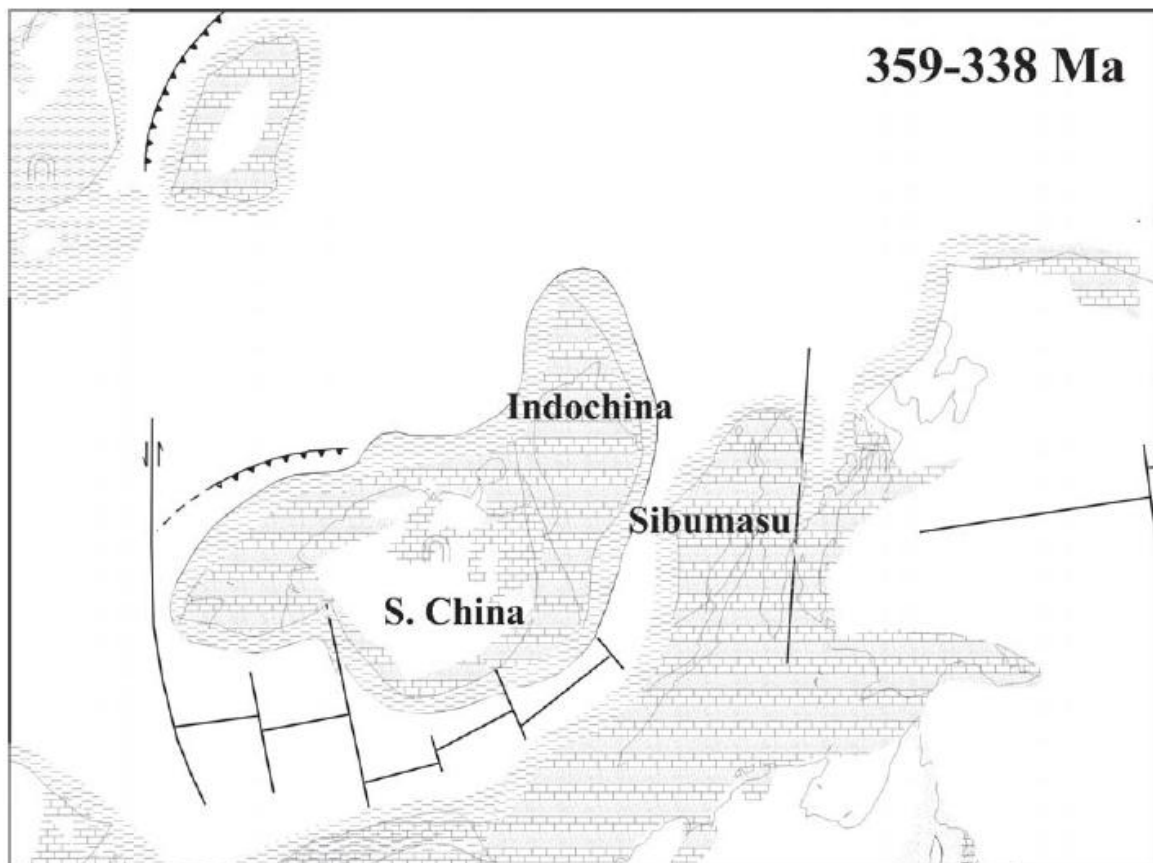
แผ่นจินใต้ประกอบด้วยส่วนของประเทศจีนและส่วนเล็กๆ ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเวียดนาม ถูกแบ่งจากจินเหนือโดยตะเข็บคินลิง-ดาบี (Quinling-Dabie Suture) และแบ่งจากอินโดจีนโดยตะเข็บซงมา (Song Ma Suture), จากแผ่นฉานไท่โดยตะเข็บอ้ายลาวซาน (Ailaoshan Suture), จาก Songpan-Ganzi accretionary complex โดย Longmenshan Suture (รูปที่ 3-19) ขอบทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของจินใต้เป็น passive margin ที่เชื่อมต่อกับทะเลจีนใต้โดยเป็นแผ่นเปลือกโลกพื้นทวีปที่มีการขยายออกไป ไปทางตะวันออกแผ่นจินใต้ถูกรอกล้อมด้วย Taiwan foldbelt และ the Okinawa trough passive margin บริเวณ Sibumasu terrane ถูกล้อมรอบทางด้านตะวันออกด้วย Ruab-Bentong Suture, Sra Kaeo Suture และ Nan-Uttaradit Suture, ทางด้านตะวันออกเฉียงเหนือถูกล้อมด้วย Ailaoshan Suture (รูปที่ 3-19) (Nie et al., 1990; Metcalfe, 1998, 2000), ถึงด้านตะวันตก ส่วนทางด้านเหนือถูกแบ่งจากพม่าตะวันตกโดย Shan Suture และทางด้านเหนือโดย Lungmu-Yushu Zone แผ่นลาซาถูกรอกล้อมด้วย Lungmu-Yushu Zone ทางด้านเหนือและทางด้านใต้โดย Indus Yarlung-Zangbo Suture (Nie et al., 1990; Metcalfe, 2002).

แผ่นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เกิดขึ้นในยุคโปรเทอโรโซอิกซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของคอนควานา และมีการแยกตัวออกในยุคพาเลโอโซอิกและเลื่อนตัวไปทางเหนือ มีการพัฒนา carbonate platforms ในระหว่างยุคเดโวเนียน-ยุคพาเลโอโซอิกตอนปลาย การสะสมตัวของคาร์บอนेटทำให้เกิดเป็นภูมิประเทศแบบ karst ที่สวยงาม ประวัติความเป็นมาในยุคพาเลโอโซอิกในการแยกตัวและการชนกันมีความไม่แน่นอน การเกิดเทือกเขาคาลิโดเนียนทำให้เกิดทะเลพาเลโอเททิสในขณะเดียวกัน จากนั้นก็ของสภาพภูมิอากาศแสดงให้เห็นความแตกต่างที่สำคัญระหว่างซิบูมาสุ, อินโดไชนา และจินใต้ในระหว่างยุคพาเลโอโซอิก

ในระหว่างยุคไทรแอสสิก ผลจากการเกิดเทือกเขาคาลิโดเนียนและการปิดของทะเลพาเลโอเททิส, แผ่นเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เชื่อมกับแผ่นเอเชีย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างทางเทคโทนิคอย่างมาก, การแปรสภาพและการแทรกตัวของแมกมาภายใต้และบนพื้นผิวโลกมีความเกี่ยวข้องกับการเกิด

เพื่อให้เห็น ในยุคเทอร์เชียรีจีนได้มีการยกตัวสูงขึ้นด้วยลักษณะของภูเขาและแอ่งระหว่างภูเขาที่มีการปรากฏของชั้นหินสีแดง, ถ่านหิน และภูเขาไฟ ในแผ่นอินโดไชนาในระหว่างยุคจูแรสสิกและครีเตเชียสมีการสะสมตัวของตะกอนเนื้อเมือกจากแผ่นทวีปพวกชั้นหินสีแดง

การเริ่มต้นชนกันของอินเดียและเอเชียเกิดขึ้นใกล้กับช่วงรอยต่อของยุคพาเลโอจีนและอีโอจีน (เช่น Gaetani & Garzanti, 1991) เกิดรอยเลื่อนแบบขนานและ pull-apart basin ในจีน อินโดไชนาเริ่มต้นเคลื่อนตัวไปทางตะวันออกเฉียงใต้ สอดคล้องกับรอยเลื่อนขวาของ Red River Fault ในจีนตอนใต้ (Lee & Lawver, 1994; Golonka, 2002), ช่วงเวลาหลักของการเกิดการเคลื่อนตัวนี้ อย่างไรก็ตามต่อมา (รูปที่ 3-20) บริเวณแนวรอยเลื่อน Red River Fault ในยูนนาน, จีน และเวียดนามตอนเหนือ มีความกว้างถึง 20 กม. ซึ่งเป็นแถบรอยเลื่อนแนวขนานหลักในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่แบ่งส่วนของจีนใต้และอินโดไชนา เกิดการเคลื่อนตัวของแนวรอยเลื่อนใน 2 ระดับ ได้แก่ เกิดการเลื่อนเฉือนไปทางซ้ายในช่วง 27-16 ล้านปี ตามด้วยการยกตัวขึ้นมาจากระดับความลึก 20-25 กม., และเลื่อนขวา, ทำให้เกิดการเลื่อนเฉือนและแตกหักในช่วงยุคไพลโอ-ควอเตอร์นารี การเปลี่ยนแปลงในช่วงยุคไมโอซีนตอนปลายของการเคลื่อนตัวเป็นลักษณะทั่วไปที่มีความคล้ายคลึงกับการชนกันของอินเดียและยูเรเชีย (e.g. Tapponnier et al., 1990). การเปิดของบริเวณแอ่งของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้เป็นผลมาจากกระบวนการทางเทคโทนิกที่ซับซ้อนในระหว่างยุคพาเลโอจีน-นีโอจีน



รูป 3-15 สภาพการแปรสัณฐานของภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยเฉพาะแผ่นฉานไทยและแผ่นอินโดจีน ในช่วงตอนปลายสุดของยุคครีตเชียส-ต้นยุคเทอร์เชียรี (359-338 ล้านปี) หรือคัสการกีย – Kaskaskia III)