

การประชุมวิชาการด้านเหมืองแร่ ครั้งที่ 5
ในหัวข้อ : อุตสาหกรรมแร่และพลังงานเพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ
ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และโลหวิทยา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่
24-25 พฤศจิกายน 2537

ธรณีเคมีของธาตุหายากในหินแกรนิตของประเทศไทย:

ความเกี่ยวเนื่องกับการสำรวจในอนาคต

ปัญญา จารุศิริ¹ สุวิทย์ โควสุวรรณ² วัฒนา ตูคีจัน¹ ชัยยุทธ ชันธปราม¹

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย¹

กองธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี²

บทคัดย่อ

ตัวอย่างหินแกรนิตและแร่ *K-feldspar* ที่ได้เลือกสรรแล้วจำนวนหกตัวอย่างได้นำมาวิเคราะห์เคมี เพื่อหาปริมาณธาตุหายากโดยวิธี ICP ผลการวิเคราะห์ประกอบด้วยข้อมูลธรณีเคมีของธาตุหายากเดิมที่มีอยู่แล้ว แสดงถึงการค้นพบที่สำคัญอันเป็นประโยชน์กับการสำรวจ จากการเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุหายากในหินอุกบาตชนิด *chondrites* อัตราส่วนของ Eu/Eu ในหินแกรนิต แสดงว่าความผิดปกติของ Eu ในหินแกรนิต ชนิด *I-type* มากกว่าในหินแกรนิตชนิด *S-type* อัตราส่วนระหว่างธาตุ La กับ Lu ของหินแกรนิตเมื่อเทียบกับของ *chondrites* แสดงว่าหินแกรนิต *I-type* ประกอบด้วยปริมาณธาตุหายากชนิดเบาน้อยกว่าหินแกรนิต *S-type* จากการวิเคราะห์นี้ยังพบว่าหินแกรนิต *S-type* มีปริมาณธาตุหายากรวมมากกว่าหินแกรนิต *I-type* หินทั้งสองชนิดและโดยเฉพาะ *S-type* ซึ่งได้รับน้ำยาความร้อนที่มี Li และ F อยู่มาก ให้เปลี่ยนแปลงไป ประกอบด้วยปริมาณธาตุหายากมากกว่าหินแกรนิตปกติที่ไม่ได้รับการเปลี่ยนแปลง จากข้อมูลธาตุหายากที่มีอยู่จำกัดนี้ ยังสนับสนุนว่าหินแกรนิตที่เกิดขึ้นมาตอนช่วงปลายวิวัฒนาการหินหนืดหรือที่ผ่านกระบวนการตกผลึกลำดับส่วนอย่างมาก แต่ไม่จำเป็นต้องเป็นจุดที่อ่อนที่สุดที่อาจมีปริมาณน้อย น่าจะมีธาตุหายากอยู่ในปริมาณที่น้อยกว่าหินแกรนิตชนิดอื่นๆ อีกทั้งแร่ปริมาณน้อยในหินแกรนิตยังถูกวินิจฉัยว่าเป็นตัวควบคุมปริมาณและการกระจายตัวของธาตุหายากมากกว่าแร่ประกอบหลักในหิน การสุพันทางเคมีของหินแกรนิต *S-type* โดยเฉพาะในภาคใต้ของประเทศไทยทำให้เกิดการสะสมตัวในปริมาณที่สูงได้ในชั้นเปลือกผิวสูงของหิน หินแกรนิตยุค *Tertiary* (จนถึงปลาย *Cretaceous*) ซึ่งเป็นพวก *S-type* เป็นส่วนใหญ่มิมีปริมาณของธาตุหายากทั้งหมดสูงกว่าแกรนิตยุค *Triassic* หรือที่เก่ากว่า ดังนั้นการสำรวจธาตุหายากในอนาคตจึงควรเน้นหนักในพื้นที่หินแกรนิต *S-type* โดยเฉพาะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยน้ำยาความร้อนมากๆ ซึ่งก็คือแนวหินแกรนิตตะวันตกของประเทศไทยและอาจรวมถึงเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ด้วย

Research Title : Rare-Earth Element Geochemistry of Some Granitoid Rocks in Thailand: Implication for Future Exploration
Name : P. Chrusiri¹, S. Kosuwan², W. Tuteechin¹ and C. Khantaprab¹
Address : ¹Department of Geology, Faculty of Science, Chulalongkorn University
²Department of Mineral Resources

Abstract

Distinguished six samples of granitoids and a K-feldspar mineral from various parts of Thailand were geochemically analyzed for rare-earth elements (REE) using ICP technique. The analytical results together with the pre-existing available REE geochemical data reveal the significant findings for future exploration. In comparison to REE contents in chondrites, Eu-Eu ratios of granitoids show that Eu anomalies are higher in I-type granitoids than those in S-type varieties ($(La/Lu)_{CN}$ analyses indicate that I-type granitoids possess lower amount of light REE than S-type varieties. S-type and/or ilmenite-series granitoids contain more total REE content (REE) than I-type and/or magnetite-series granitoids. Both I-type and, in particular S-type granitoids, which have been affected by F- and Li- enriched hydrothermal fluids, contain a greater amount of REE than normal, unaltered granitoids. The limited amount of REE data also suggest that the granitoids, which emplaced in the late stage of magmatic evolution or underwent strong differentiation and fractionation, but not always the latest/minor phases, are considered to contain less REE than the other phases of granitoids. Accessories in granitoids are inferred to control the REE abundance and distribution rather than essential minerals do. Chemical weathering of S-type granitoids, especially in the southern part of the country, may cause the REE enrichment in the zone of weathering crust. Tertiary (-Late Cretaceous) granitoids, of mostly S-type, have higher REE than Triassic or older granitoids. Therefore, future exploration should be emphasized on the terrain where hydrothermally altered S-type granitoids are dominated; i.e. in the Western Granitoid Belt.

คำนำ

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับธาตุหายากเป็นอย่างมาก เนื่องจากความต้องการธาตุหายากโดยเฉพาะสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่นได้เพิ่มสูงขึ้น (ชัยบุษย์ ชันทปราบ และคณะ 2532) เช่น ในอุตสาหกรรมการทำแม่เหล็ก ปีโตรเลียม แกลทาลิสต์ โลหกรรม งานวิศวกรรมเซรามิกส์และแก้ว และอุตสาหกรรมโทรทัศนศาสตร์เป็นต้น ขณะนี้ประเทศจีนจัดว่าเป็นประเทศที่ผลิตสินแร่ธาตุหายากมากที่สุดในโลก (Vijayan et al., 1989) โดยสามารถผลิตได้ 28,330 ตัน ในปี 2532 (คิดเป็น 37% ของปริมาณทั้งหมดที่ผลิตได้ในโลก) ซึ่ง 70% ของการผลิตมาจากแร่ Bastnaesite นอกจากนั้นจีนยังจัดว่าเป็นประเทศที่มีปริมาณสำรองของแร่ธาตุหายากอยู่มากที่สุดในโลกคือ 36 ล้านตัน คิดเป็น 80% ของปริมาณสำรองของโลก (Robjohn, 1989; Praditwan, 1989) แร่ monazite หรือแร่ทรายเขียว แม้เป็นแร่ที่สำคัญรองลงมา แต่ก็ประกอบด้วยธาตุหายากหนักมากกว่าแร่ bastnaesite ประเทศที่ผลิตแร่ monazite ได้มากคือ ออสเตรเลีย ในปี พ.ศ. 2532 ผลิตได้ 11,000 ตัน คิดเป็น 37% ของปริมาณ monazite ที่ผลิตได้ทั้งโลก สำหรับประเทศไทย bastnaesite พบว่ามีปริมาณน้อยมากในประเทศไทย (Garson et al., 1975) แร่ธาตุหายากส่วนใหญ่มาจากแร่ monazite หรือแร่ทรายเขียว และแร่ xenotime หรือแร่ทรายเหลือง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแร่พลอยได้ (associated minerals) ปะปนอยู่กับแร่ดีบุก ปริมาณการผลิตแร่ธาตุหายากนี้จึงต้องอาศัยจากเหมืองแร่ดีบุกเป็นเกณฑ์ ในปัจจุบันเนื่องจากราคาแร่ดีบุกลดต่ำลงอย่างมาก ทำให้เหมืองดีบุกหยุดกิจการลงมากมาย ผู้เขียนประมาณว่ามากกว่า 60% ของเหมืองดีบุกได้ปิดกิจการลงอย่างถาวร ด้วยเหตุนี้ปริมาณการผลิตแร่ธาตุหายากในประเทศไทย จึงสวนทางกับปริมาณความต้องการของโลก (ชัยบุษย์ ชันทปราบ และคณะ 2532) ด้วยเหตุนี้ความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเร่งสำรวจหาแหล่งแร่ธาตุหายากเพิ่มเติม เพื่อสนองความต้องการของโลก เนื่องจากเป็นที่ทราบกันดีว่าแร่ดีบุก (รวมทั้งแร่ธาตุหายากโดยอ้อม) มักมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับหินแกรนิต S-type โดยเฉพาะชนิด Peraluminous (Charusiri 1980, และ 1989) ดังนั้นการศึกษาข้อมูลจากหินแกรนิตดังกล่าวจะเป็นตัวบ่งชี้ที่สำคัญต่อกระบวนการค้นหาธาตุหายากในอนาคตการศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อให้ทราบถึงธรรมชาติของธาตุหายากในหินแกรนิตของประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางนำไปประยุกต์ใช้กับการสำรวจหาแหล่งแร่ธาตุหายากได้

ขั้นตอนการศึกษา (Investigation Procedures)

ขั้นตอนในการศึกษาแบ่งออกได้ดังนี้

- (1) เลือกทำแผนที่ธรณีวิทยาถึงรายละเอียด (semi-detailed geological map) ในพื้นที่ที่เป็นเป้าหมาย (ไม่ได้แสดงไว้ในนี้)
- (2) กำหนดชนิดและประเภทของหินแกรนิต โดยการศึกษาถึงรายละเอียดความสัมพันธ์ในภาคสนาม (field relationships) และจากกล้องจุลทรรศน์ (microscopic studies)
- (3) วิเคราะห์หาปริมาณของธาตุหายากในหินแกรนิตที่ทำการเก็บมาจากบริเวณที่เลือกสรรแล้ว
- (4) นำเสนอข้อมูลและเปรียบเทียบที่ได้กับข้อมูลที่มีอยู่เดิม
- (5) เสนอแนะแนวทางการสำรวจ

เพื่อที่จะตรวจสอบขั้นพื้นฐานถึงปริมาณของธาตุหายากทั้งหมด (total rare-earth-element content, REE) ในหินแกรนิตชนิดต่างๆ จากบริเวณที่เลือกสรรแล้ว จึงได้ทำการส่งตัวอย่างหินแกรนิตทั้งที่เป็น S-type และ I-type จากบริเวณที่ต่างๆ ของประเทศ 5 บริเวณด้วยกัน (รูป 1) ไปทำการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณธาตุหายาก ณ มหาวิทยาลัย Memorial University of Newfoundland (MUN) ประเทศแคนาดา โดยวิธี Inductively couple-plasma emission spectrometry หรือ ICP ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุหายากและธาตุมีน้อย (rare-earth and trace elements) ในหินซึ่งเป็นที่ยอมรับว่ามีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุดวิธีหนึ่ง (ดู Walsh and Howie, 1980; Henderson and Pankhurst, 1984) ผลการวิเคราะห์หาปริมาณของธาตุหายากดังกล่าวได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ลักษณะบางประการของตัวอย่างที่เก็บ

รูปที่ 1 แสดงถึงตำแหน่งที่ตั้งของตัวอย่างที่เก็บ ตัวอย่างหินแกรนิตที่เก็บได้นี้นำมาทำการจำแนกชนิดของหินว่าเป็น S- หรือ I-type โดยวิธีของ Chappel and White (1944) และกำหนดแกรนิตว่าเป็นแบบ syeno- หรือ monzo-granite ตามจำแนกของ Streckeisen (1973) และได้ทำการตรวจสอบชนิดของการเปลี่ยนแปลงหินแกรนิตโดยน้ำยาความร้อน (hydrothermal alteration) ภายใต้อุปกรณ์กล้องจุลทรรศน์ รายละเอียดของตัวอย่างที่เก็บมีดังนี้ :-

เลขที่ 1 ได้ (ดูรายละเอียดในตารางที่ 1) และเรียกปริมาณของธาตุหายากและธาตุอื่นในหินที่ต้องการเมื่อเทียบกับอุกามาตหินว่า Chondrite-normalized abundance รูป 2 ถึง 7 แสดง chondrite-normalized abundances ของธาตุหายากในหินแกรนิตและแร่ K-feldspar โดยมีข้อมูลของ Cullers and Graf (1984) เป็นตัวเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุหายากจากตาราง 1 แสดงว่าปริมาณธาตุหายากทั้งหมด (REE) ในแร่ K-feldspar (PK-3) จาก จ.ภูเก็ต มีค่าเป็น 54 ppm, REE ของหิน I-type ที่ จ.กระบี่ (BC-1) มีค่า 209 ppm, ของหิน REE I-type ที่ จ.เชียงราย (DM-3) มีค่า 158 ppm REE ของหิน S-type ที่ จ.เชียงใหม่ (SM-) มีค่า 143 ppm, REE ของหิน I-type ที่ จ.เลย (L-1) เท่ากับ 82 ppm และ S-type ที่ จ.ภูเก็ต (OSK-4) เท่ากับ 313 ppm จะเห็นได้ว่า REE ในหิน I-type มีค่าในช่วง 80-210 ppm (เฉลี่ย 145 ppm) ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่า REE ในหิน S-type ซึ่งมีค่าประมาณ 150-320 ppm (เฉลี่ย 228 ppm)

ค่าความผิดปกติของธาตุ Eu (หรือ Eu anomalies = Eu/Eu^*) ที่หาได้จากการหาอัตราส่วนระหว่างปริมาณธาตุ Eu กับธาตุ Sm (Eu/Sm ratio) ในแร่ K-feldspar จากหินแกรนิตที่ภูเก็ตมีค่า 0.611 (ดูรูป 1) ในหิน I-type จ.เลย (L-2) เท่ากับ 0.141 ในหิน I-type จ.เชียงราย (DM-3) มีค่า 0.145 ในหิน I-type จ.กระบี่ (BC-1) เท่ากับ 0.198 ในหิน S-type ที่ เชียงใหม่ เท่ากับ 0.247 และในหิน S-type จ.ภูเก็ต มีค่า 0.333 จะเห็นได้ว่าหิน I-type นั้น จะแสดงค่าความผิดปกติปานกลาง (moderate negative anomalies) ตั้งแต่ 0.141-0.198 (ดูรูป 3 ถึง 5) อันเป็นค่าความผิดปกติที่พบเห็นบ่อยในหินแกรนิต "จริงๆ" (granite sensu stricto) Cullers and Graf (1984) ได้รายงานว่าโดยมากหินแกรนิตจะมีค่าความผิดปกติน้อยถึงปานกลางคืออยู่ในช่วง 0.09-0.23

หิน S-type จะแสดงลักษณะของค่าความผิดปกติช่วงกว้างกว่ามากคือ ตั้งแต่ 0.033 ถึง 0.247 ถ้าถือการวิเคราะห์ของ Cullers and Graf (1984) นี้เป็นเกณฑ์ หินแกรนิตที่เชียงใหม่ (SM-12) จัดว่าเป็นชนิดที่ไม่แสดงค่าความผิดปกติหรือเปลี่ยนแปลงทางบวกน้อยมาก (little or no anomalies) คืออยู่ในช่วง 0.20-0.36 (ดูรูป 6 และ 7) สำหรับค่าความผิดปกติบวกนี้แสดงว่าหินแกรนิตจะมีลักษณะก่อนไปทาง mafic คือมาจากหิน granodiorite ซึ่งก็ตรงกับที่ได้จากการตรวจสอบในสนามและจากการศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (Charusiri, 1989) ส่วนค่าความผิดปกติอีกค่าที่เป็นค่าลบสูง (large negative anomalies) คือ Eu/Sm เข้าใกล้ 0.0009 ได้จากหินแกรนิตจากภูเก็ต (OSK-4) (ดูรูป 7) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากอิทธิพลของน้ำยาความร้อนที่ทำปฏิกิริยากับหินแกรนิตทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณ Eu ลงไปในระดับที่ต่ำมาก (Taylor and Fryer, 1982) เพราะ K-feldspar เปลี่ยนแปลงไปเป็น mica อย่างมาก (Charusiri, 1980) ทำให้ธาตุ Eu ในแร่ feldspar และในมวลหินทั้งก้อนลดลง ส่วนค่าความผิดปกติบวกในแร่ K-feldspar จากแกรนิตในภูเก็ตนั้นจัดว่าเป็นลักษณะปกติของแร่ที่มี Eu อยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างมากอยู่แล้ว (Haskin, 1984)

ในขั้นตอนนี้พอจะชี้แจงได้ว่าโดยเฉลี่ยหิน S-type มีปริมาณธาตุหายากทั้งหมด (REE) มากกว่าหิน I-type และจากการศึกษาทางศิลาวิทยา (petrology) ของมวลหินแกรนิต (Charusiri, 1980 และ

1980) ปรากฏว่าหินแกรนิตทั้ง S-type และ I-type มีการเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาน้ำยาความร้อน (hydrothermal alteration) ผลที่ได้ก็คือจะทำให้ได้ปริมาณธาตุหายากเพิ่มมากขึ้นในหิน ซึ่งก็ตรงกับที่ Taylor and Fryer (1982) ได้เสนอไว้

ส่วนกรณีอัตราส่วนระหว่างปริมาณธาตุหายาก(ธาตุ La ถึง Eu หรือ Cerium Group) กับปริมาณธาตุหายากหนัก (ธาตุ Gd ถึง Lu หรือ Yttrium Group) หรือ LREE/HREE ซึ่งโดยทั่วไปมักแสดงด้วยอัตราส่วนของปริมาณธาตุ La กับ Lu โดยเทียบกับอุกกาบาตหิน หรือที่นิยมเขียนว่า $(La/Lu)_{cn}$ จากการศึกษาพบว่าแร่ K-feldspar ของแกรนิตที่ภูเก็ตมี $(La/Lu)_{cn} = 55.6$ หิน I-type จากจ.เลยมี $(La/Lu)_{cn} = 12.8$ จาก จ.เชียงใหม่ มีค่า 17.6 และจาก จ.กระบี่ มีค่า 11.2 ส่วนหิน S-type จ.เชียงใหม่ และ จ.ภูเก็ตมี $(La/Lu)_{cn} = 65.3$ และ 28.9 ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวนี้ทำให้เข้าใจว่าหินแกรนิต S-type จะประกอบด้วยปริมาณธาตุหายากเบามากกว่า I-type และจากข้อมูลแร่ K-feldspar ที่ภูเก็ตทำให้ทราบว่าแร่ K-feldspar มีปริมาณธาตุหายากเบามากกว่าธาตุหายากหนักอยู่มากทีเดียว แนวทางที่เป็นไปได้อีกประการหนึ่งคือ แร่ธาตุปริมาณน้อยในหิน (accessories) เช่น แร่ monazite, xenotime และ allanite คงจะมีบทบาทต่อการกระจายตัวของธาตุหายากนี้เป็นอย่างมาก (ดู Henderson and Pankhurst, 1984)

ปริมาณธาตุหายากกับการแยกส่วนของหินแกรนิต (Magmatic Differentiation)

Charusiri (1980) ได้ทำการศึกษาธรณีเคมีของธาตุหายากเบาบางตัว (La, Ce, Nd และ Sm) จากหินแกรนิตที่ส่วนใหญ่เป็นพวก S-type ในแถบบริเวณ อ.กะทู้ และ อ.เมือง จ.ภูเก็ต (ตารางที่ 2) ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุดังกล่าว ปรากฏว่าธาตุหายากทั้งหมด จะมีปริมาณลดน้อยลงเมื่อหินแกรนิตเกิดการแยกส่วน (differentiation) หรือแยกลำดับส่วน (fractionation) เพิ่มมากขึ้น ยกเว้นที่จะเกิดเป็น pegmatites ซึ่ง ซัยบูท ขันทปราบ และคณะ (2533) จัดว่าเป็นหินอีกประเภทที่มีปริมาณของแร่ธาตุหายากอยู่มาก สำหรับกรณีหินแกรนิตดังกล่าวพบว่าเริ่มแยกจากหิน biotite granites ไปเป็น biotite- muscovite และ muscovite-tourmaline granites ในที่สุด Garson et al. (1975) กลุ่มนักธรณีวิทยาชาวอังกฤษ ได้ศึกษาหินแกรนิตแถบจังหวัดภูเก็ต-พังงา โดยวิธีซิลิคาวิทยาที่พบลักษณะคล้ายๆกัน และยังพบว่าหิน granite-granodiorite ในบริเวณนี้ซึ่ง Charusiri (1989) จัดว่าเป็นประเภท I-type ก็ไม่พบแร่ธาตุหายากอยู่เลย

Nakapadungrat (1982) นักธรณีวิทยาไทยได้ทำการศึกษาธรณีเคมีของธาตุหายากในหินแกรนิต S-type ที่บริเวณ อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับผลวิเคราะห์ปริมาณธาตุหายากในหินแกรนิตชนิดต่างๆ ได้แสดงไว้ในตาราง 3 ผลการวิเคราะห์ได้แสดงลักษณะและรูปแบบที่คล้ายกับที่พบโดย Charusiri (1980) และ Garson et al. (1975) จากตาราง 3 นี้ จะเห็นได้ว่าหินแกรนิตทุกชนิดจะมีปริมาณธาตุหายากมากกว่าหินอุกกาบาต โดยเฉลี่ยและหินแกรนิตที่มีอายุประมาณ 240 ล้านปี (Triassic; Nakapadungrat, 1982) จะมีปริมาณของธาตุหายากลดลงจากหิน GG-1 ไปยัง GG-3 (ซึ่งมี

การแยกส่วนออกไปมากกว่า) ส่วนหินแกรนิต GG-4 ชนิด aplite ซึ่งมีอายุน้อยกว่าคือ มีอายุประมาณ 70 ล้านปี (Cretaceous-Tertiary; Nakapadungrat, 1982 และ Charusiri, 1989) ก็ให้ปริมาณธาตุหายากที่ลดลง เมื่อเทียบกับหินแกรนิตที่แก่กว่า แต่อย่างไรก็ตามปริมาณธาตุหายากยังมากกว่าหินแกรนิต GG-3 ซึ่งมีส่วนประกอบคล้ายกันแต่มีอายุมากกว่าค่า $(La/Lu)_{cn}$ ในหินแกรนิตที่คำนวณโดยผู้เขียน โดยเฉลี่ยจะลดต่ำลงจากแกรนิต GG-1 ไปยัง GG-2 แสดงว่าปริมาณธาตุหายากเบาจะมีมากในแกรนิตที่เกิดขึ้นในช่วงต้นของวิวัฒนาการของหินหนืดซึ่งก็ตรงกับกราวิชครั้งนี้ ในทำนองเดียวกัน Eu/Eu^* ของหินแกรนิตนี้ก็ลดลงจาก GG-1 ไปยัง GG-3 แต่แสดงค่าความผิดปกติบวกสำหรับ GG-1 และ GG-2 ส่วน GG-3 มีตั้งแต่ค่าความผิดปกติเล็กน้อย จนถึงค่าความผิดปกติบวก ผู้เขียนมีความเห็นว่าเมื่อพิจารณาจากข้อมูลธาตุหายากเพียงอย่างเดียว GG-3 นี้ อาจเกิดจากหินหนืดคนละตัวกับ GG-1 และ GG-2 Cullers et al. (1981) ได้อธิบายถึงค่าความผิดปกติบวกที่เกิดจากการแยกตัวของผลึกจากหินหนืดไม่สมบูรณ์ แร่เฟลด์สปาร์จึงเขาทำปฏิกิริยากับหินหนืด จึงได้ค่าความผิดปกติมากในหินได้

นอกจากนั้น Nakapadungrat (1982) ยังได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุหายากในแร่ประกอบหิน ซึ่งรายละเอียดได้แสดงในตาราง 4 จากผลการวิเคราะห์ปรากฏว่าธาตุหายากทั้งชนิดเบาและหนัก มีอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างมากในแร่ปริมาณน้อย (accessories) ซึ่งก็คือ monazite และ allanite แต่กลับมีอยู่ในปริมาณที่น้อยกว่ามากในแร่ประกอบหิน (essential minerals) เช่น alkali feldspar และแร่ประกอบหินรอง (subordinate minerals) เช่น biotite, muscovite และ tourmaline ผลการวิเคราะห์ของ Nakapadungrat (1982) ทำให้พอสรุปได้ว่าแร่ monazite และ allanite มีผลต่อการกระจายตัว และปริมาณธาตุหายากในหินแกรนิตได้มากกว่าแร่ประกอบหิน (rock-forming minerals) ในขณะที่เกิดการแยกส่วนหรือวิวัฒนาการของหินหนืด

Gocht et al. (1978) คณะนักธรณีวิทยาชาวเยอรมันได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุหายากในแร่ monazite ของหินแกรนิตในประเทศไทย และพบว่าปริมาณธาตุหายากใน monazite นี้เกือบจะคงที่ในหินแกรนิตชนิดต่างๆ ซึ่งพอสรุปได้ว่าการแยกส่วนของหินแกรนิตไม่มีผลทำให้ปริมาณธาตุหายากเบาในแร่ monazite เปลี่ยนแปลงไปได้

ปริมาณธาตุหายากกับอายุหินแกรนิต

จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้แม้จะไม่ชัดเจนและเล่นชด แต่ก็พบความแตกต่างระหว่างปริมาณธาตุหายากในหินแกรนิต S-type ที่มีอายุต่างกันอยู่บ้าง ซึ่งทั้งนี้อาจเป็นเพราะข้อมูลที่ได้นี้ไม่เพียงพอ จากการศึกษาหินแกรนิต S-type ของ Aranyakanon (1961) บริเวณหาดส้มแป้น จ.ระนอง หรือจากข้อมูลของ Garson et al. (1975) ในแถบบริเวณ จ.ภูเก็ต และพังงา พบแร่ monazite ซึ่งมีปริมาณธาตุหายากเบาอยู่มากในหินแกรนิตอยู่ในปริมาณพอควร ซึ่งหินแกรนิตเหล่านี้ได้รับการยืนยันจนเป็นที่นอน พบว่ามีอายุประมาณ Tertiary (\pm Cretaceous) หรือ 55-80 ล้านปี ดังนั้นจึงพอประมาณโดยอาศัยข้อมูลดังกล่าวได้ว่า หินแกรนิต S-type ที่มีอายุอ่อนกว่า เช่น Tertiary (น้อยกว่า 70 ล้านปี) จะมีโอกาสที่จะทำ

ให้ธาตุหายากในปริมาณที่มากกว่าหินแกรนิตประเภทเดียวกันซึ่งมีอายุแก่กว่าเช่น Triassic ผู้เขียนเชื่ออย่างมากกว่าที่เป็นเช่นนี้เพราะ หินแกรนิต S-type ที่อายุยังใหม่เกิดจากการหลอมละลายบางส่วนของหินเคมในชั้นเปลือกโลก (crustal anatexis) และการหลอมละลายนี้มีผลอย่างมากต่อการรวบรวมเอาบรรดาธาตุและแร่ธาตุหายากจากหินเคม รวมทั้งหินแกรนิตเก่าที่มีธาตุหายากอยู่บ้างให้มาสะสมตัวกันใหม่ จนได้แร่ธาตุหายากในปริมาณมากขึ้น (recycling processes)

ปริมาณธาตุหายากกับเปลือกผิวผุพัง (Weathering crust)

หินแกรนิต S-type ที่มีปริมาณธาตุหายากอยู่มาก เมื่อได้รับอิทธิพลของการผุพังทางเคมี ที่เป็นไปอย่างรวดเร็วประกอบด้วยสภาพภูมิอากาศที่เป็นเขตร้อนชื้นและมีฝนตกชุกจึงทำให้เกิดการสลายตัวในลักษณะอ่อนนุ่ม (friable) แต่บางครั้งยังคงรูปลักษณะของหินแกรนิตอยู่เกิดเป็น saprolite หรือหินแกรนิต ซึ่งจะช่วยให้แร่จำพวก feldspar สลายตัวเป็นแร่ดิน เช่น kaolinite หรือ illite ได้โดยกระบวนการ hydrolysis หรือแร่ biotite กลายเป็นแร่ Fe-oxides ธาตุ alkaline earth เช่น Ca และ Mg จะถูกละลายตัวออกไปจนหมดสิ้นจากตัวแกรนิต ส่วนธาตุที่มีความสามารถในการเคลื่อนตัวช้ากว่า (less-mobile element) อาทิเช่น ธาตุ Zr, Sr, Ba, V, Th รวมทั้งตระกูลธาตุหายากก็มีความทนทานทางเคมี (chemically resistant) ไม่สลายตัวได้ง่าย จึงยังคงอยู่ (ตาราง 5; Punggrassami, 1984) ในรูปของ phosphates carbonates และ sulphates (Mariano, 1989) เมื่อ หินแกรนิตเกิดการผุพังชะล้างลงไปในระดับลึกเรื่อยๆ จะเกิดการสะสมตัวของธาตุหายากนี้ในส่วนบนสุดของหิน และในบางครั้งอาจได้ดินลักษณะศิลาแลง (lateritic soils) ปรากฏอยู่ในชั้นบนสุดของ saprolite เช่น แถบบริเวณทุ่งโพธิ์ทุ่งขมิ้น อ.นาหม่อม จ.สงขลา ชัยยุทธ ชันทรปราบ และคณะ (2533) ได้เรียกชั้นสะสมตัวของธาตุหายากแบบนี้ว่าเปลือกผิวผุพัง (weathering crust) ซึ่งในบางครั้งชั้นดินดังกล่าวมีความหนาดังถึง 300 เมตร (Mariano, 1989) ผู้เขียนเชื่อว่าธาตุหายากอาจถูกแร่ดินจับ (adsorb) เอาไว้โดยกระบวนการ Chelation ในลักษณะเดียวกับที่ประจุบวกโลหะถูกสารอินทรีย์จับไว้หรืออาจอยู่ในสภาพ colloidal complex โดยเปลี่ยนจากสารที่ไม่ละลายโดยง่ายไปเป็นสารที่ละลายได้ง่าย ในสภาพฟุ้ง (jel) ปนอยู่หรือจับตัวอยู่กับดินโดยกระบวนการ coagulation หรือ flocculation ได้

Punggrassami (1984) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุหายากและธาตุปริมาณน้อยบางตัวในหินแกรนิตและเปลือกผิวผุพัง ในบริเวณเหมืองแร่ทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น จ.สงขลา ผลการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 6 และผลปรากฏว่าปริมาณธาตุหายากบางตัวเช่น Dy, Eu, Sm, และ Ce ได้เพิ่มสูงขึ้นในเปลือกผิวผุพังเมื่อเทียบกับหินแกรนิต และธาตุปริมาณน้อยบางตัวเช่น V, Sr, Zr, Ba และ Th ก็แสดงลักษณะคล้ายๆ กัน จึงเป็นที่น่าสังเกตว่าปริมาณที่สูงของธาตุหายากนี้ (โดยเฉพาะพวกธาตุหายากหนัก) น่าจะนำมาพิจารณาในการประเมินศักยภาพปริมาณสำรองของแร่ธาตุหายาก (ชัยยุทธ ชันทรปราบ และคณะ, 2533) ตลอดจนนำมาเป็นข้อมูลในการสำรวจแหล่งแร่ได้เป็นอย่างดี นอกเหนือ

จากบริเวณดังกล่าวแล้วบริเวณอื่นๆ ก็ควรจัดให้มีการสำรวจชั้นละเอียดเช่นกัน เช่น บริเวณหาด
ส้มแป้น จ.ระนอง เขตตะเภากว่า จ.พังงา บริเวณทุ่งหลวง จ.ลำปาง และแถบ อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี
อย่างไรก็ตามแม้จะมีโอกาสให้แร่เกรดสูงแต่คงมีปริมาณจำกัด

สรุปและเสนอแนะ

จากการศึกษาเบื้องต้นในครั้งนี้นี้ควมกับข้อมูลสำคัญๆ เช่น Garson et al. (1975) Charusiri
(1980 และ 1980) Nakapadungrat (1982) ชัยบุทท ขันทปราบ และคณะ (2532 และ 2533) พอจะสรุป
ได้ว่า

1) หินแกรนิต S-type โดยเฉลี่ยมีปริมาณของธาตุหายากทั้งชนิดเบาและหนักมากกว่าหิน
แกรนิต I-type

2) หินแกรนิตทั้ง S-และ I-type ที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากน้ำยาความร้อน
(hydrothermal alterations) ย่อมให้ปริมาณของ (แร่) ธาตุหายากมากกว่าหินแกรนิตที่ไม่ได้รับการ
เปลี่ยนแปลงนี้

3) หินแกรนิต S-type ที่ได้รับน้ำยาความร้อน ย่อมมีปริมาณแร่ธาตุหายากมากกว่าหินแกรนิต
I-type ที่ได้รับอิทธิพลเช่นเดียวกัน

4) หินแกรนิต S-type ที่มีอายุเท่ากัน และมีการแยกส่วน (differentiation) หรือแยกลำดับส่วน
(fractionation) ออกไปมากๆ ยกเว้น pegmatites หรือที่เกิดในช่วงหลังของวิวัฒนาการหินหนืด
(magmatic evolution) จะมีปริมาณของ (แร่) ธาตุหนักน้อยกว่าหินแกรนิตที่มีการแยกส่วนออกไป
น้อยหรือเกิดในช่วงต้นของการวิวัฒนาการหินหนืด

5) แร่ธาตุปริมาณน้อย (accessories) ในหินแกรนิตโดยเฉพาะ S-type ย่อมมีอิทธิพลต่อการ
กระจายตัวของปริมาณธาตุหายาก ในขณะที่เกิดการวิวัฒนาการของหินหนืด

6) หินแกรนิตโดยเฉพาะ S-type ที่มีอายุน้อย เช่น Tertiary มีแนวโน้มที่จะให้ปริมาณของธาตุ
หายากมากกว่าแกรนิต S-type ที่มีอายุมากกว่าเช่น Triassic

7) เปลือกผิวหุ้มของหินแกรนิตมีโอกาสที่จะให้ปริมาณของ (แร่) ธาตุหายากมาสะสมตัวได้
มาก จากภาพรวมๆ ทั้งหมดนี้ พอจะประเมินได้ว่าหินแกรนิต I-type ไม่เหมาะสมพอที่จะนำมา
พิจารณาถึงการสำรวจหาและประเมินศักยภาพของ (แร่) ธาตุหายาก เนื่องจากมีปริมาณธาตุจำกัด ดัง
นั้นแนวแกรนิตด้านตะวันออกของไทย (ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2533) จึงไม่ใช่บริเวณที่จะเลือกหา
พื้นที่เป้าหมายในการสำรวจ ส่วนหินแกรนิต S-type ที่เกิดในช่วงแรกๆ (early phase) ของ วิวัฒนาการ
ของหินหนืด และหิน S-type ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปโดยน้ำยาความร้อนมากๆ โดยเฉพาะที่มีอายุ
ใหม่ๆ ประมาณ Tertiary (น้อยกว่า 70 ล้านปี) ซึ่งได้แก่ แนวแกรนิตด้านตะวันตกของไทย น่าจะนำ
มาพิจารณาเป็นบริเวณที่จะเลือกหาพื้นที่เป้าหมาย บริเวณที่น่าจะให้มีการศึกษาลึกลงไปในรายละเอียด
ได้แก่ บริเวณตั้งแต่ จ.ภูเก็ต จ.พังงา และ จ.ระนอง ในภาคใต้ และแถบ จ.กาญจนบุรี จ.ราชบุรี

จ.สุพรรณบุรี เรื่อยไปจนถึง จ.ตาก และอุทัยธานี ในภาคตะวันตก

เป็นที่น่าสังเกตจากการศึกษาในขั้นต้นทั้งจากภาคสนามและจากห้องปฏิบัติการ ไม่พบแร่ธาตุหายากอยู่ปะปนกับแหล่งแร่ดีบุกที่มีแร่ทั้งสะเทินเกิดรวมอยู่ เช่น แดบเหมืองบิล็อก จ.กาญจนบุรี แดบเหมืองแม่ละมา จ.แม่ฮ่องสอน ซึ่งก็อยู่ในแนวแกรนิตตะวันตกเหมือนกัน นอกจากนั้นที่อยู่ในแนวแกรนิตตอนกลาง เช่น แดบเหมืองสะเมิง จ.เชียงใหม่ และเหมืองเขาแก้ว-วังผา จ.สงขลา ซึ่งขณะนี้ไม่สามารถให้คำตอบได้ว่าทำไมเมื่อพบแร่ดีบุก-ทั้งสะเทินแล้ว ถึงไม่พบแร่ธาตุหายากเกิดรวมอยู่ในปริมาณมากๆ พอที่จะเป็นแร่พลอยได้ ซึ่งน่าจะมีการทำรายละเอียดต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานสภาวิจัยแห่งชาติ และได้รับความช่วยเหลือจากกรมทรัพยากรธรณีในด้านยานพาหนะและการเก็บตัวอย่าง ผู้เขียนต้องขอขอบคุณคุณสุภาพร ศิริสุศรี ที่ช่วยกรุณาพิมพ์เอกสารการวิจัยนี้ และขอขอบคุณ คุณต่อเกียรติ สรพรหม และคุณวัฒนา ตูต๊ะจิน ที่จัดทำรูปภาพ และผู้เขียนต้องขอขอบคุณภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือด้านกำลังคนและเครื่องมือในห้องปฏิบัติการ

เอกสารอ้างอิง

ชัยยุทธ จันทร์ปราบ และ 12 ผู้ร่วมงาน, 2532, การประเมินศักยภาพทางธรณีวิทยาเกี่ยวกับปริมาณของแร่ซึ่งมีโลหะหายากในประเทศไทย, รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 1 ขึ้นต่อสำนักงานสภาวิจัย แห่งชาติ, ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 71 หน้า

ชัยยุทธ จันทร์ปราบ และ 12 ผู้ร่วมงาน, 2533, การประเมินศักยภาพทางธรณีวิทยาเกี่ยวกับปริมาณของแร่ซึ่งมีโลหะหายากในประเทศไทย, รายงานความก้าวหน้าฉบับที่ 2 ขึ้นต่อสำนักงานสภาวิจัย แห่งชาติ, 77 หน้า

ปัญญา จารุศิริ วสันต์ พงศาพิชญ์ และชัยยุทธ จันทร์ปราบ, 2533, แนวหินแกรนิตในประเทศไทย: หลักฐานจากการหาอายุโดยวิธี $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$: ข่าวสารการธรณี ปีที่ 36 ฉบับที่ 1 มกราคม 2534, หน้า 43-62

Aranyakanon, P., 1961, The cassiterite deposit at Haad Som Pan, Ranong Province, Thailand: Royal Thai Department of Mineral Resources, Report of Investigation, no. 4 182 p.

Chappel, B.W. and White, A.J.R., 1974, Two contrasting granite-types: Pacific Geology, v.8, p. 173-174.

- Charusiri, P., 1980, Igneous Complexes and Tin Mineralization in Phuket Island, with Special References to the Chao Fa and Tor Soong Mines: Unpublished M.Sc. Thesis, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 208 p.
- Charusiri, P., 1989, Lithophile Metallogenic Epochs of Thailand: A Geological and Geochronological Investigation: Unpublished Ph.D. Thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, 819 p.
- Coryell, C.G., Chase, J.W. and Winchester, J.W., 1963, A procedure for geochemical interpretation of terrestrial rare-earth abundance pattern: *Journal of Geophysical Researches*, v. 68, p. 559-566.
- Cullers, R.L. and Graf, J.L., 1984, Rare-earth elements in igneous rocks of the continental crust: Intermediate and silicic rocks-ore petrogenesis: in Henderson, P. (ed.), *Rare-Earth Element Geochemistry*, Elsevier, New York, p. 275-316.
- Cullers, R.L., Koch, R., and Bickford, M.E., 1981, Chemical evolution of magmas in the igneous terrane of the St. Francois, Mo., II. Trace element evidence: *Journal Geological Researches*, v.86, p. 10365-10387.
- Garson, M.S., Young, B., Mitchell, A.H.G. and Tait, B.A.R., 1975, The geology of the belt in peninsular Thailand around Phuket, Phang Nga and Takua Pa: *Institute of Geological Sciences, Oversea Memoir*, no.1 London, 112 p.
- Gocht, W., Phuhar, E., and Arndt, P., 1978, Application of geochemical prospecting methods for tin deposits by investigation of heavy minerals associated with cassiterite: in Nutalaya, P. (ed.) *Proceedings of the Third Regional Conferences on Geology and Mineral Resources of South East Asia*, Bangkok, November, 1978, p. 319-330.
- Haskin, L.A., 1984, Petrogenetic modelling-Use of rare earth elements: in Henderson, P. (ed.), *Rare-Earth Element Geochemistry*, Elsevier, New York, p. 115-152.
- Henderson, P. and Pankhurst, R.J., 1984, Analytical chemistry: in Henderson, P. (ed.) *Rare-Earth Element Geochemistry*, Elsevier, New Your, p. 467-500.
- Mariano, A.N., 1989, Economic geology of rare earth minerals: in Lipin, B.R. and McKay, G.A. (eds.), *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Element*, *Review in Mineralogy*, v. 21, p. 309-329.

- Masada, A., 1962, Regularities in variation of relative abundances of lanthanide elements and an attempt to analyse separation-index patterns of some minerals, *Journal of Earth Sciences*, Nagoya University, Japan, v. 10, p. 172-187.
- Nakhpadungrat, S., 1982, The geochronology and geochemistry of the Thong Land Granite Complex, Central Thailand: Unpublished Ph.D. Thesis University of London, U.K., 356 p.
- Praditwan, J., 1989, Study of rare earth minerals in tin tailings in southern Thailand: SEATRAD Center, Report of Investigation, no. 78, Ipoh, Malaysia, 21 p.
- Pungrassami, T., 1984, Tin mineralization of the Thung Pho - Thung Kamin mining district, Changwat Songkhla: Proceedings of the Geology and National Development, Chulalongkorn University, Bangkok, November 1984, p. 207-214.
- Robjohns, N., 1988, Rare Earth: Mining Annual Review 1988, June 1988, p. 88.
- Streckeisen, A.L., 1973, Plutonic rocks: classification and nomenclature recommended by the IUGS Subcommission on the systematics of igneous rocks: *Geotimes*, v. 18, p. 26-30.
- Taylor, R.P. and Fryer, B.J. 1982, Rare earth element geochemistry as an aid to interpreting hydrothermal ore deposits: in Evans, A.M. (ed.), *Metallization Associated with Acid Magmatism*, John Wiley & Sons, New York, p. 357-366.
- Vijayan, S., Melnyk, A.J., Singh, R.D. and Nuttal, K., 1989, Rare earths: Their mining processing and growing industrial usage: *Mining Engineering*, v. 41, no. 1, p. 13-18.
- Walsh, J.N. and Howie, R.A., 1980, An evaluation of the performance of an inductively coupled plasma source spectrometer for the determination of the major and trace constituents of silicate rocks and minerals: *Mineralogical Magazine*, v. 43, p. 967-974.

ตาราง 1 ปริมาณธาตุหายากในแร่ alkali feldspar และหินแกรนิตต่างๆ จากบริเวณต่างๆ ของประเทศไทย

CHANGWAT	PHUKET	LOEI	CHIANG MAI	PHUKET	CHAIANG RAI	KRABI
Granite Type	I	S	I	S	I	I
	PK-3*	L-2	SM-12	OSK-4	DM-3	RC-1
La	13.185	17.879	36.833	65.354	34.180	51.588
Ce	24.426	35.170	67.246	143.519	68.817	89.885
Pr	2.609	4.041	7.161	16.649	8.047	9.806
Nd	8.573	13.961	22.647	54.643	27.510	32.956
Sm	1.626	2.696	3.361	11.278	5.699	6.018
Eu	0.994	0.419	0.818	0.368	0.825	1.195
Gd	1.074	2.486	2.117	7.882	4.524	5.181
Tb	0.146	0.394	0.248	1.241	0.700	0.816
Dy	0.729	2.215	1.262	6.109	3.744	4.708
Ho	0.108	0.387	0.204	1.000	0.639	0.947
Er	0.292	1.073	0.538	2.465	1.735	2.804
Tm	0.035	0.151	0.068	0.316	0.226	0.409
Yb	0.176	0.932	0.382	1.824	1.453	2.794
Lu	0.024	0.141	0.057	0.228	0.196	0.425
REE(t)	54.097	81.945	142.942	312.886	158.295	209.542
Y	2.755	10.975	5.619	27.391	16.892	27.897

N.B. * = Alkali feldspar sample

1. Rare-earth element concentrations were determined at Memorial University, St. John's, Newfoundland, Canada using ICP techniques
2. All values are in ppm.

ตาราง 2 ช่วงห่างและค่าเฉลี่ยของธาตุหายากเบาของหินแกรนิตชนิดต่างๆ จากอ.เมือง และอ.ประจักษ์ ๓.๖๕๕

Type	G-1(5)		G-2(2)		G-3(4)		G-4(11)		G-5(3)		G*(1)	
	range	av.	range	av.	range	av.	range	av.	range	av.	range	av.
La	89-140	113.4	124-132	128	27-78	60	26-132	54	24-54	42	101	101
Ce	109-303	188.8	157-176	166.5	121-254	167.5	55-198	111.9	32-98	74.4	153	153
Nd	88-136	98.4	103-106	104.5	25-87	56.0	52-70	48.5	10-80	41.7	76	76
Sm	3-27	15.8	10	10	8-16	10.8	1-24	11.1	2-33	14.7	10	10

- N.B. 1. G-1 = coarse-grained, porphyritic, biolite granite
 G-2 = fine-to-medium-grained, biolite granite
 G-3 = medium-to-coarse-grained, biolite (± muscovite) granite, slightly porphyritic
 G-4 = fine-to-medium-grained, biolite-muscovite granite, locally porphyritic
 G-5 = fine-grained, biolite-muscovite-tourmaline granite
 G* = hydrothermally altered granite (1 sample, recalculated from WDS x-ray fluorescence data)

- All values are in ppm.
- Number in () = no. of samples analyzed
- Data from Charusiri (1980)

ตาราง 3 ปริมาณธาตุหายากของหินแกรนิตชนิดต่างๆ จากห.บ้านไร่ จ. ลพบุรี

Type	GG-1			GG-2			GG-3				GG-4
	Tl-3	Tl-8	Tl-49	Tl-2	Tl-37	Tl-6	Tl-9	Tl-129	Tl-216	Tl-4	
La	69.7	96.0	69.4	48.0	45.1	7.5	3.0	71.9	3.0	10.7	
Ce	147.9	175.4	132.5	86.7	92.6	15.9	6.4	142.7	5.4	20.2	
Pr	24.2	24.9	17.4	12.1	11.8	1.8	0.9	21.8	0.8	2.1	
Nd	111.4	85.0	60.9	43.0	46.0	7.6	3.8	78.6	2.4	9.4	
Sm	31.9	12.7	9.5	6.7	9.2	2.2	1.2	14.7	0.9	2.0	
Eu	6.5	1.5	1.4	1.2	0.9	0.3	0.5	1.1	0.1	0.3	
Gd	28.9	8.1	5.8	4.4	7.0	2.1	1.2	9.8	0.7	1.5	
Dy	15.4	6.3	4.4	3.4	6.5	2.6	1.3	6.7	1.3	1.3	
Ho	2.2	1.1	0.7	0.6	1.3	0.5	0.2	1.2	0.2	0.2	
Er	4.9	4.0	2.8	2.0	4.1	1.4	0.6	4.1	0.7	0.8	
Yb	2.8	2.5	1.9	1.4	3.9	1.5	0.8	2.7	1.5	0.7	
Lu	0.4	0.3	0.2	0.17	0.6	0.2	0.1	0.4	0.2	0.1	
Y	51.1	31.6	21.3	18.0	38.2	15.3	7.2	38.1	8.3	7.1	
Fu/Er*	0.71	0.46	0.57	0.67	0.38	0.45	1.39	0.29	0.16	0.54	
REEE	446.2	449.4	306.9	209.7	299	43.6	20	355.7	17.2	49.3	
(La/In) _{cn}	18.09	33.24	36.04	29.32	7.87	3.89	3.12	18.67	1.55	11.11	

N.B. 1. GG-1 = allanite-biotite granite

GG-2 = biotite granite

GG-3 = leucocratic granite

GG-4 = aplitic granite

2. All values are in ppm.

3. Data from Nakapadungrat (1982)

Type	GG-1 (3)						GG-1 (2)						GG-3 (4)						GG-4 (1)	
	A	B	C	D	J		A	C	D	F		K	A	C	D	E	G	A	D	
REE																				
La	1.3	35488	177	6	245		1.7	309	6.5	69303		114	1.1	265	13	5.7	4.6	3.2	1.0	
Ce	3.1	71492	618	12	1973		3	967	13	153026		227	2	825	29	20	3.9	5.8	2.6	
Pr	0.4	8684	119	1.4	465		0.3	145	1.6	19664		26	0.3	115	3	-	1.1	0.5	0.6	
Nd	2.7	26279	749	5.5	3076		2.1	759	6.1	66940		97	1.1	539	14	2.8	3.8	3.8	2.0	
Sm	0.2	3052	360	0.9	1549		0.2	286	1.1	10060		16	0.2	216	3	1.9	0.9	0.6	0.4	
Eu	1.5	138	16	0.2	81		1.6	10	0.1	386		0.9	0.5	7.6	0.2	-	0.2	0.4	0.1	
Gd	0.2	1452	405	0.7	1598		0.2	331	0.8	6225		6.8	0.2	239	1.7	14	0.7	0.5	0.2	
Dy	0.2	507	464	0.5	1769		0.1	412	1.1	3289		6.2	0.2	349	1.3	45	0.9	0.4	0.2	
Ho	0.04	84	91	0.1	315		0.01	75	0.3	468		1.5	0.05	52	0.2	13	0.2	0.1	0.1	
Er	0.1	366	213	0.4	749		0.1	188	0.8	940		3.5	0.1	160	0.9	52	0.5	0.3	0.2	
Yb	0.05	81	200	0.3	766		0.03	182	0.8	281		2.1	0.2	181	0.6	148	0.6	0.3	0.1	
Lu	0.01	12	28	0.04	86		0.01	24	0.1	23		0.4	0.02	23	0.1	25	0.1	0.4	0.01	
γ	0.3	1177	2346	2.7	3316		0.4	2122	6.3	9220		25	1.3	1935	5.8	423	5	2.1	1.1	

N.B. 1. All granite types are the same as those of Table 3

2. A = Alkali feldspar, B = Allanite, C = Apatite, D = Biotite, E = Garnet, F = Monazite, G = Muscovite, J = sphene, and K = Tourmaline

3. Number in () = no. of samples analyzed

4. Data from Nakapadungras (1982)

ตาราง 5 ปริมาณ Trace และ Rare earth elements ทางภาคเหนือ และส่วนใต้ของพื้นที่จังหวัด พะเยา

Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	Method
Sn	25	25	150	833	<10	<10	50	450	COL
V	9.20	0.61	1.77	-	36.48	44.21	31.82	75.41	NAA
Rb	3383	1594	2012	2051	658	357	105	157	XRF
Sr	-	-	-	-	37	36	27	27	XRF
Zr	90	11	8	-	95	87	149	156	XRF
Ba	42	59	70	127	861	902	429	387	XRF
Ce	76	40	-	-	127	163	82	95	XRF
Sm	3.94	3.29	5.32	1.50	-	-	4.95	-	NAA
Eu	1.12	0.22	0.12	0.24	0.98	1.34	1.07	0.94	NAA
Gd	3.39	0.90	1.73	1.24	1.86	2.41	4.38	1.55	NAA
Th	26	10	3	3	18	24	13	11	NAA

N.B. : (1) leucogranite, partial altered, visible torbernite

(2) biotite granite: medium-grained, partial altered

(3) leucogranite, highly altered

(4) kaolinized leucogranite, highly altered

(5) yellow zone, weathered materials

(6) brown zone, weathered materials

(7) inner red zone, weathered materials

(8) outer red zone, weathered materials

+ = Neutron activation analysis; XRF = X-ray fluorescence; COL = colorimetry

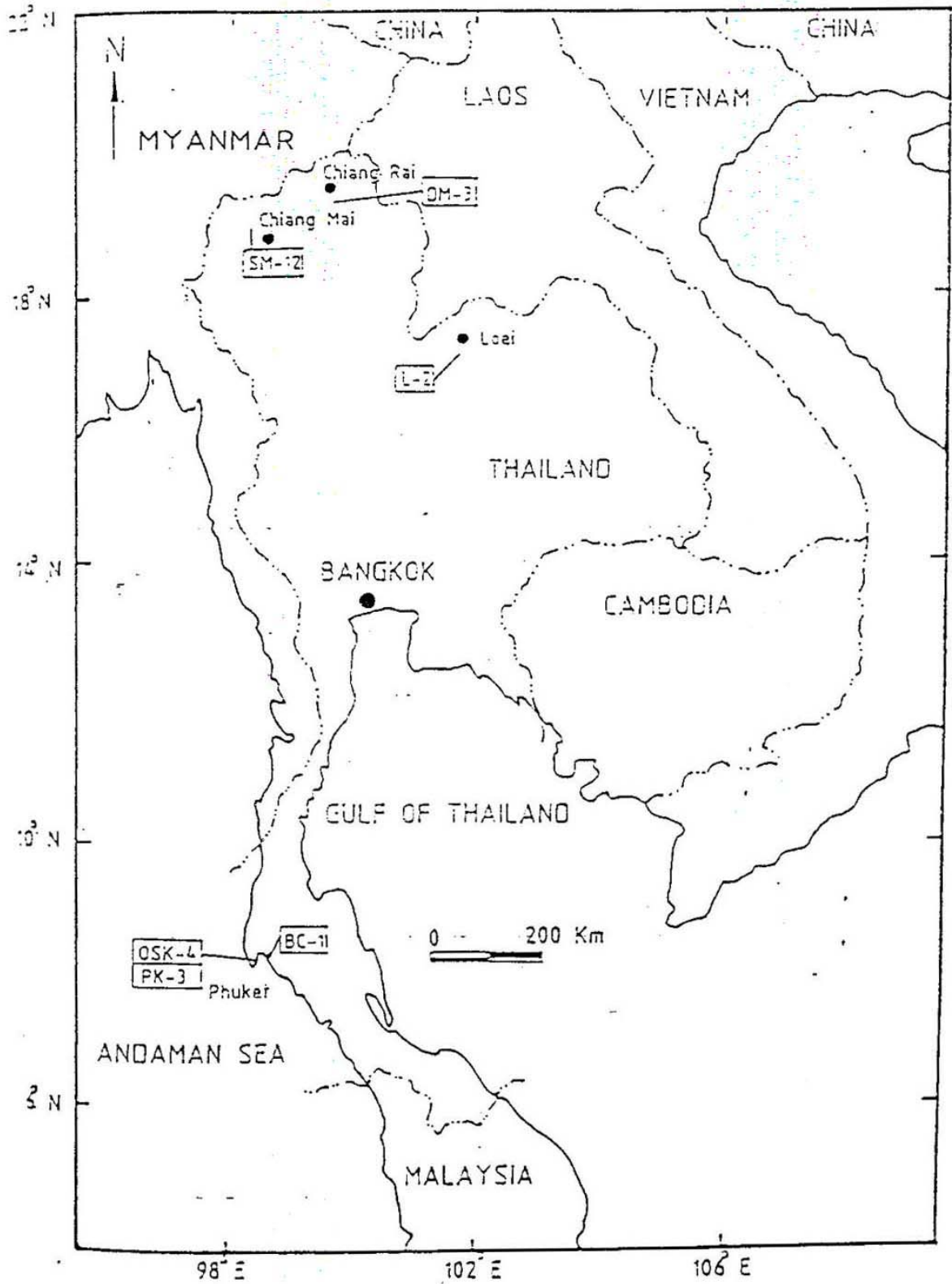
! All values in ppm.

! Data from Punggrassami (1984)

ตาราง 6 ปริมาณโมโนไซต์ในหินแกรนิต monazite ในหินแกรนิตของไทร

type of granite	Sigma = La + Ce + pr (at %) average	Ce Y + Nd average	at. ratio variation	No. of grains
muscovite granites and tourmaline granite				
group I: pneumatolytic	64.5	1.57	1.37-1.64	8
group II: granitic	74.7	2.50	2.36-2.84	6
medium-grained, porphyritic, biotite granites	74.5	2.28	1.95-2.72	11
medium-grained, biotite-hornblende granite	70.8	1.88	1.49-2.46	6
coarse-grained, porphyritic, biotite granites	71.2	1.87	1.73-2.19	4
Data from Gochl et al. (1978)				

Appendix



รูป 1 แผนที่แสดงตำแหน่งที่ตั้งของตัวอย่างที่วิเคราะห์หาปริมาณธาตุหายาก

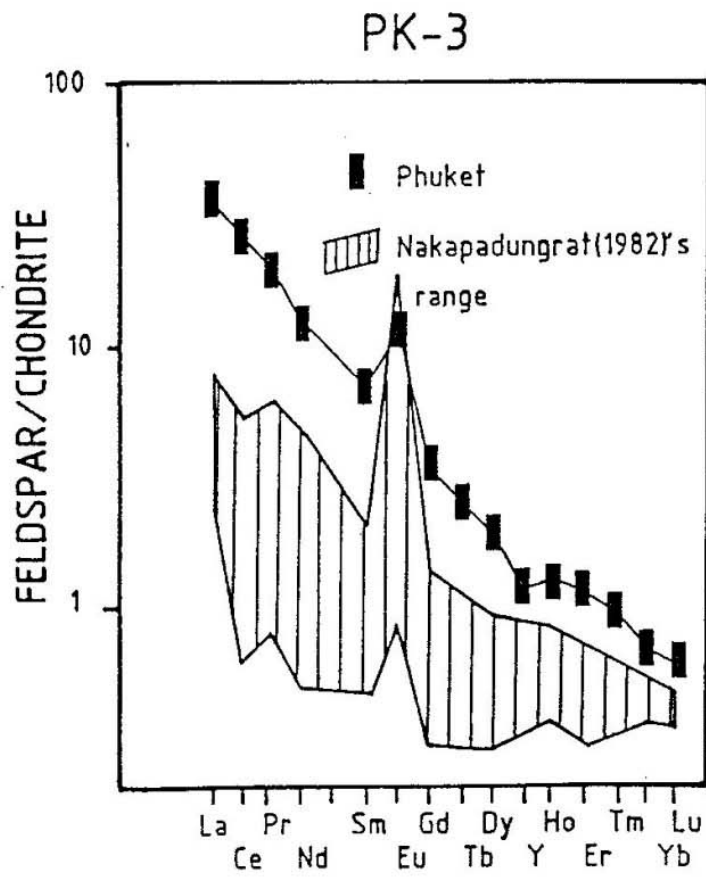


Fig. 2 Chondrite-normalized REE distribution of K-feldspar from granites (PK-3) in Phuket, in comparison to a range of REE content in K-feldspars from biotite-muscovite granites in Uthai Thani (Nakapadungrat 1982).

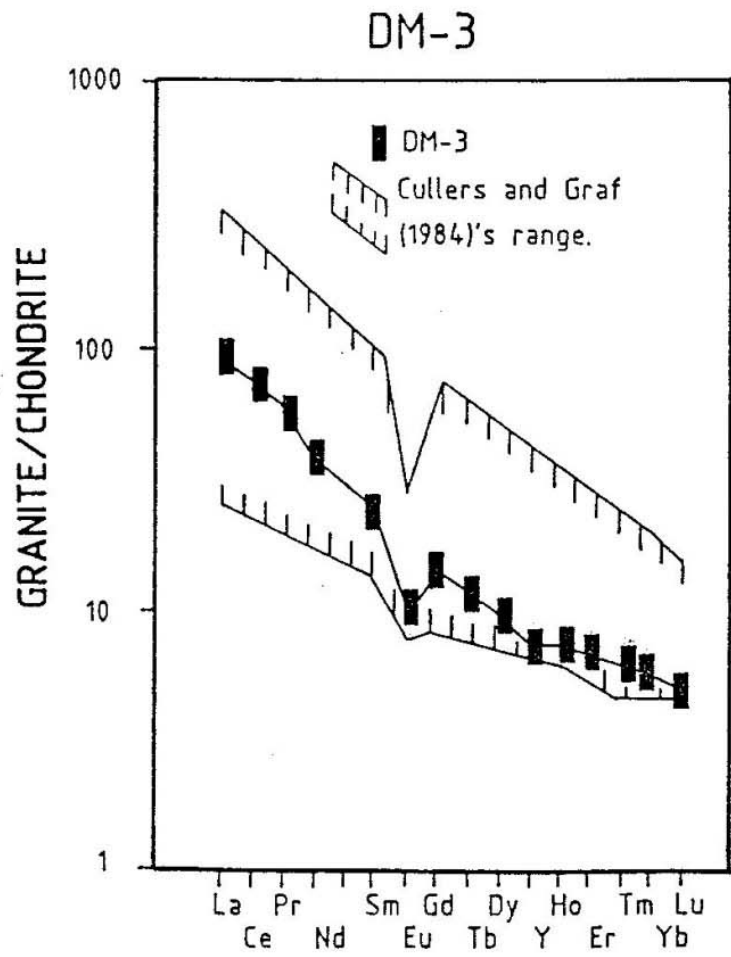


Fig. 3 Chondrite-normalized REE distribution of I-type (DM-3) from Doi Mok, Chiang Rai, in comparison to a range of REE content in Cullers and Graf (1984)'s granites containing small to moderate, negative Eu anomalies.

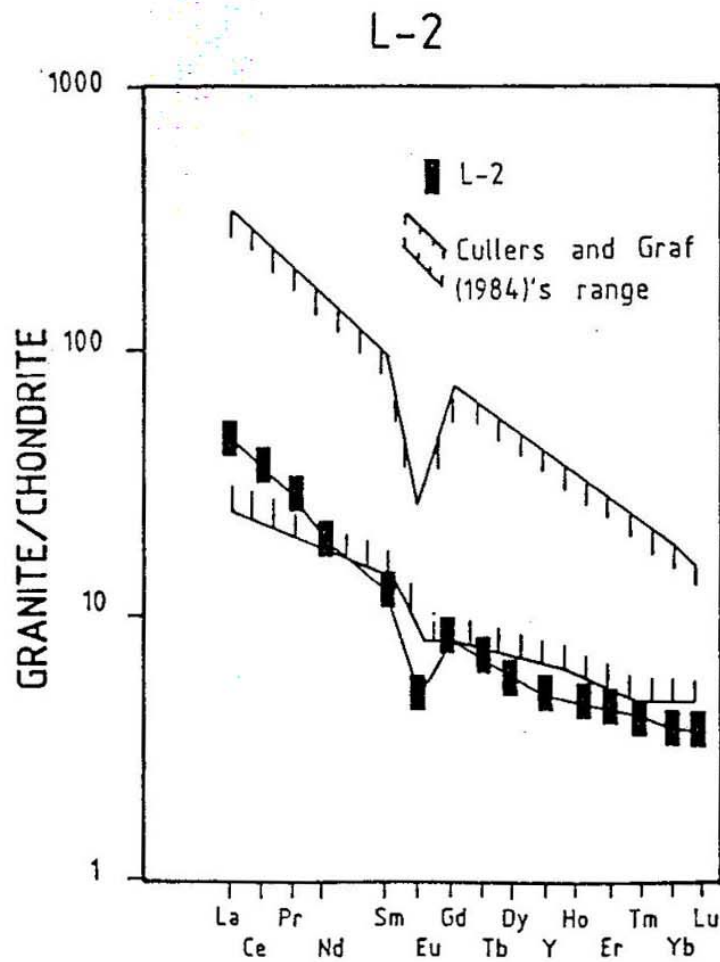


Fig. 4 Chondrite-normalized REE distribution of I-type granite (L-2) from Loei, in comparison to a range of REE content of Cullers and Graf (1984)'s granite containing small to moderate, negative Eu anomalies.

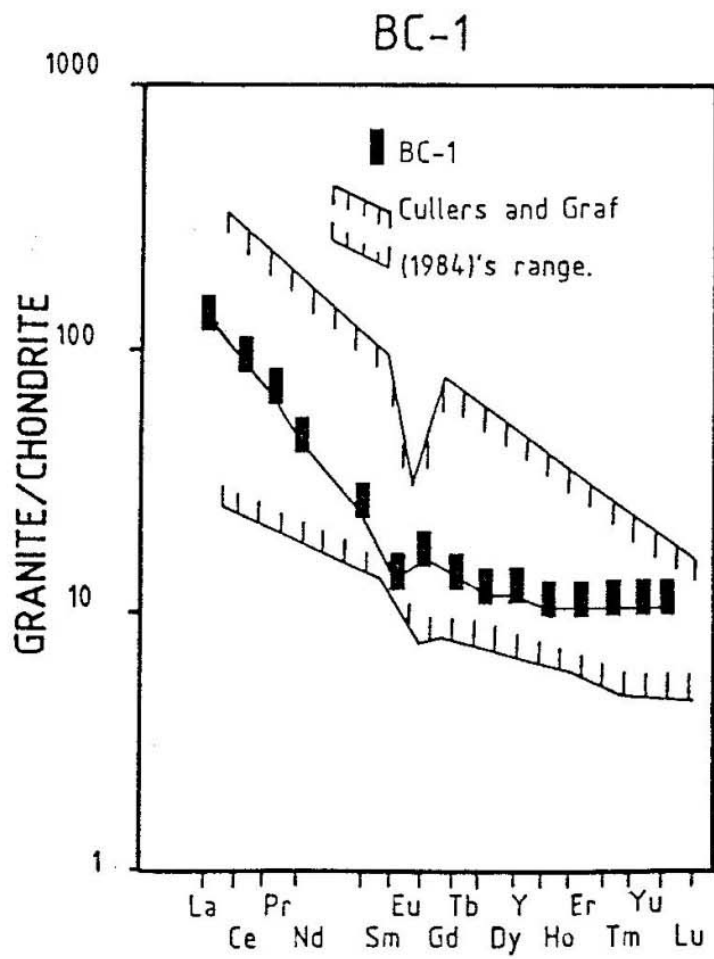


Fig. 5 Chondrite-normalized REE distribution of I-type granite (BC-1) from Krabi, in comparison to a range of REE content of Cullers and Graf (1984)'s granites containing small to moderate Eu anomalies.

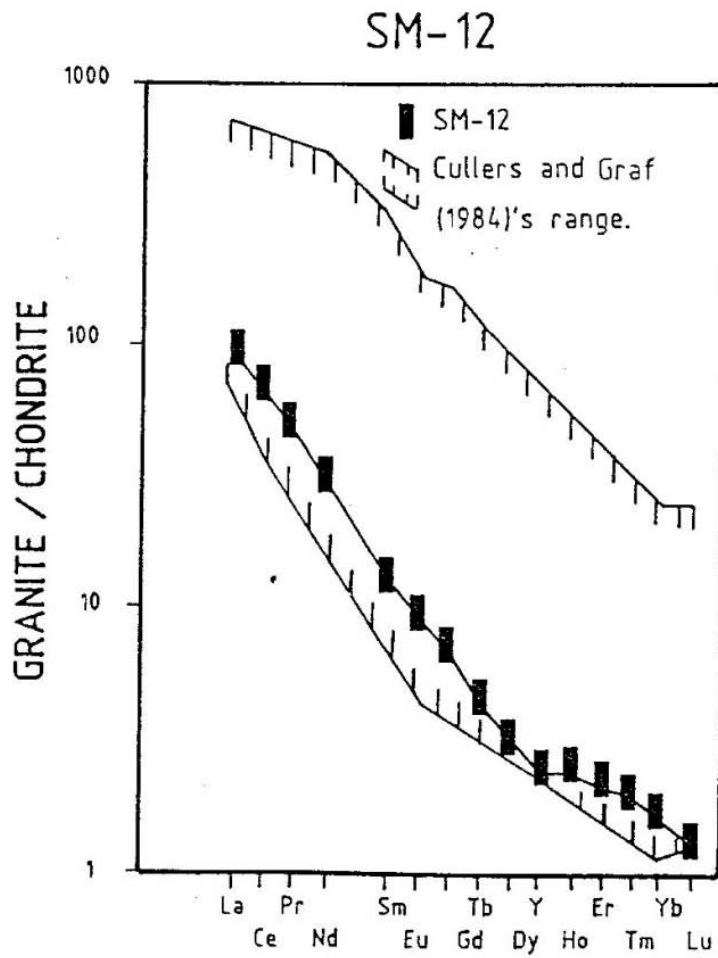


Fig. 6 Chondrite-normalized REE distribution of more mafic, S-type granite (SM-12) from the Samoeng mine, Chiang Mai, in comparison to a range of REE content of Cullers and Graf (1984) granites containing little or no Eu anomalies.

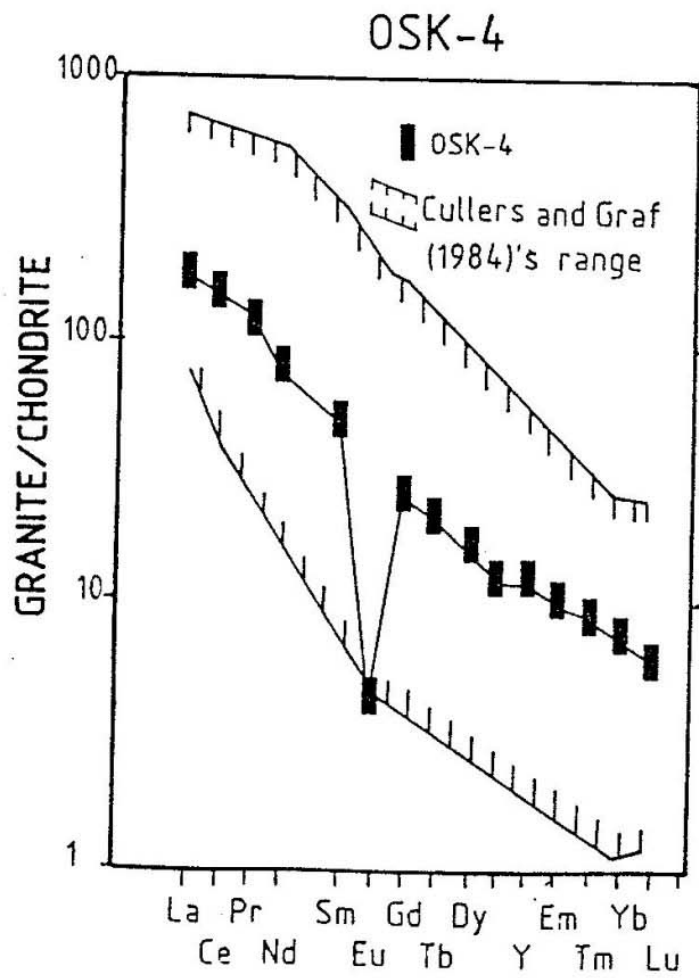


Fig. 7 Chondrite-normalized REE distribution of S-type granite (OSK-4) from Phuket, in comparison a range of REE content from Cullers and Graf (1984) granites containing little or no Eu anomalies.