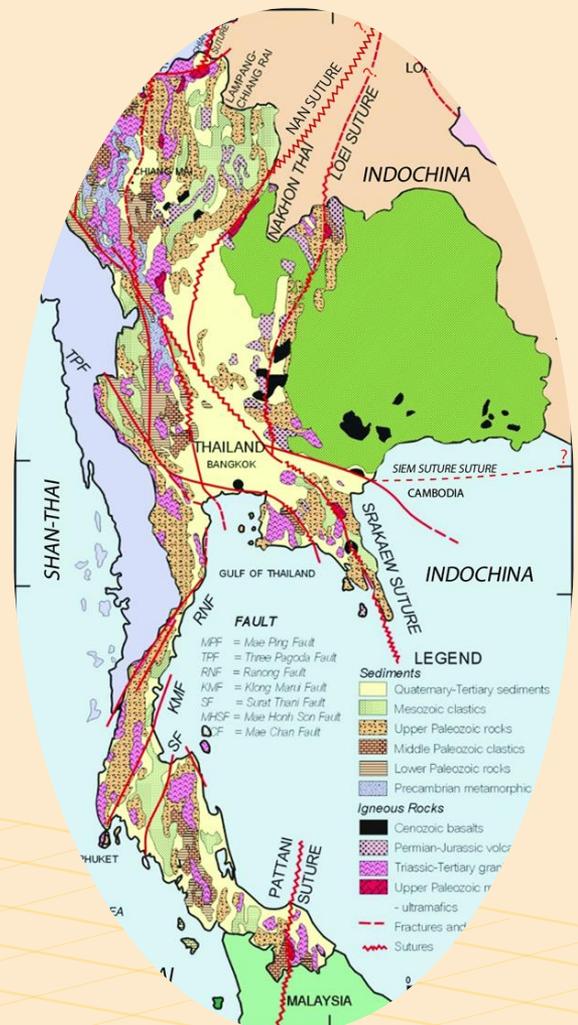




THAI GEOSCIENCE JOURNAL

Vol. 5 No. 8 July - December 2024



Published by
Department of Mineral Resources
Geological Society of Thailand
Coordinating Committee for Geoscience
Programmes in East and Southeast Asia (CCOP)

Editorial Committee

Honorary Editors

Mr. Pichit Sombatmak	Department of Mineral Resources, Thailand
Mr. Kanok Intharawijitr	Geological Society of Thailand, Thailand
Dr. Young Joo Lee	Coordinating Committee for Geoscience Programmes in East and Southeast Asia (CCOP), Thailand

Advisory Editors

Prof. Dr. Clive Burrett	Palaeontological Research and Education Centre, Mahasarakham University, Thailand
Dr. Dhiti Dhanasuvannachote	Department of Mineral Resources, Thailand
Prof. Dr. Katsuo Sashida	Mahidol University, Kanchanaburi Campus, Thailand
Prof. Dr. Nigel C. Hughes	University of California, Riverside, USA
Prof. Dr. Punya Charusiri	Department of Mineral Resources and Geological Society of Thailand, Thailand

Editor in Chief

Dr. Apsorn Sardsud	Department of Mineral Resources, Thailand
--------------------	---

Associate Editors

Dr. Prayath Nantasin	Department of Earth Sciences Faculty of Science, Kasetsart University
Dr. Apivut Veeravinantanakul	Mahidol University, Kanchanaburi campus
Dr. Namphon Khampilang	Department of Mineral Resources, Thailand
Dr. Christian Arnhardt	British Geological Survey

Editorial Secretary

Ms. Cherdchan Pothichaiya	Ms. Paveena Kitbutrawat
Mr. Denchok Munjai	Dr. Puangtong Malingam
Dr. Doungrutai Saesangseerung	Mr. Teerapon Wongprayoon
Mr. Inthat Chanpheng	Ms. Roongrawee Kingsawat
Mr. Kitti Khaowiset	Ms. Thapanee Pengtha
Dr. Kittichai Tongtherm	Ms. Warunee Maneerat
Ms. Narisara Yamansabedean	

On the cover



1) แผนที่แสดงแผนที่บริเวณไทย แผ่นอินโดจีน และแผ่นอื่นๆ ตลอดจนรอยเลื่อนหลักๆของประเทศไทย (อำนาจ ส่งอุไรล้ำ และคณะ, หน้า 6, รูป 1 ข)



2) Photo during Search and Rescue (SAR) Operation at the campsite and agriculture area (Muhammad Ramzane Mohd Noh et al., p.36, fig. 1)



THAI GEOSCIENCE JOURNAL

Vol. 5 No. 8
July - December 2024



Published By

Department of Mineral Resources • Geological Society of Thailand
Coordinating Committee for Geoscience Programmes in East and Southeast Asia (CCOP)

Copyright © 2024 by the Department of Mineral Resources of Thailand
Thai Geoscience Journal website at <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/TGJ/index>

LIST OF CONTENTS

	Page
หินแกรนิตและแนวแร่: ตอนที่ 1- ภาคใต้ประเทศไทย (Granites and Mineral Belts: I – Southern Thailand) อำนวยการ ส่งอุไรล้ำ, วรกิจ ขาวจันทร์, เอลิน สุขสวัสดิ์, วิภาวี วิลัยสิทธิ์, วิภาวี วิบูลย์อัฐพล, นพวรรณ รัตน์สันเทียะ, ภรณ์ทิพย์ ก่อสินวัฒนา, ธนัช วัชรมัย, และ ปัญญา จารุศิริ Aumnuay Songurailam, Vorakit Krawchan, A-Lin Suksawat, Wipawee Wilaisit, Wipavee Wiboonatthapol, Noppawan Rutsunthia, Pornthip Korsinwattana, Thanaz Watcharamai, and Punya Charusiri	1 – 33
Geological Factors Contributing to Landslide Incident in Malaysia - Case Study Batang Kali Landslide Disaster, Hulu Selangor, Selangor. Muhammad Ramzanee Mohd Noh, Qalam A'zad Rosle, Tuan Rusli Tuan Mohamed, Ferdaus Ahmad, Abdul Rahim Harun, Zamri Ramli	34 – 44

Any opinions expressed in the articles published in this journal are considered the author's academic
Autonomy and responsibility about which the editorial committee has no comments, and upon which
the editorial committee take no responsibility.

ข้อคิดเห็นของบทความทุกเรื่องที่ดีพิมพ์ลงในวารสารฯ ฉบับนี้ถือว่าเป็นความคิดเห็นอิสระของผู้เขียน กองบรรณาธิการไม่มีส่วน
รับผิดชอบ หรือไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยกับข้อคิดเห็นนั้น ๆ แต่อย่างไร

หินแกรนิตและแนวแร่: ตอนที่ 1- ภาคใต้ประเทศไทย

Granites and Mineral Belts: I – Southern Thailand

อำนวยการส่งออกรุ่น^{1*}, วรกิจ ขาวจันทร์¹, เอลิน สุขสวัสดิ์¹, วิภาวี วิลัยสิทธิ์¹, วิภาวี วิบูลย์อัฐพล¹,
นพวรรณ รัตนสันเทียะ¹, ภรณ์ทิพย์ ก่อสินวัฒนา¹, ธนช วัชรมัย¹, และ ปัญญา จารุศิริ^{1,2}

¹ กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ถนนพระราม 6 เขตราชเทวี กทม.10400

² ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางสัณฐานวิทยาพื้นผิวโลกและธรณีพิบัติภัยขั้นสูงในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (MESA)

C/O ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 10330

*ผู้รับผิดชอบบทความ: aumnuy0851345449@gmail.com

วันที่รับบทความ 14 มีนาคม 2567; วันที่แก้ไขบทความ 6 มิถุนายน 2567; วันที่ตอบรับบทความ 2 พฤศจิกายน 2567

Aumnuy Songurailam¹, Vorakit Krawchan¹, A-Lin Suksawat¹, Wipawee Wilaisit¹ Wipavee Wiboonathapol¹, Noppawan Rutsunthia¹, Pornthip Korsinwattana¹, Thanaz Watcharamai¹, and
Punya Charusiri^{1,2}

¹ Economic Geology Division, Department of Mineral Resources, Bangkok 10400 Thailand

² Morphology of Earth Surfaces and Advanced Geohazards Center of Excellence (MESA CE),
Chulalongkorn University, Bangkok 10330 Thailand

*Corresponding author: aumnuy0851345449@gmail.com

Received 14 March 2024; Revised 6 June 2024; Accepted 2 November 2024.

บทคัดย่อ

หินแกรนิตที่ศึกษาในภาคใต้ของประเทศไทยแบ่งออกอย่างง่ายเป็น 3 แนว ได้แก่ แนวตะวันตก, แนวกลาง, และแนวตะวันออก ซึ่งทุกแนววางตัวในทิศเกือบเหนือ-ใต้ แนวแกรนิตเหล่านี้มีความยาวอย่างน้อย 2,800 กิโลเมตร และต่อเลยมาจากแนวแกรนิตหลักของประเทศและเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ผืนแผ่นดินใหญ่โดยที่หินแกรนิตแนวตะวันออกปรากฏเป็นมวลหินแกรนิตห่อหุ้มเล็ก ๆ ทางใต้สุดของประเทศ และน่าจะต่อเนื่องมาจากแนวโค้งสุโขทัย และแนวโค้งเลย ส่วนแนวตะวันตก และตอนกลางน่าจะใกล้ชิดกับจุลทวีปผานไทย รายงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลธรณีวิทยาของหินแกรนิตในภาคใต้การกระจายตัวของแหล่งแร่และแนวแร่และข้อมูลการสำรวจค่ากัมมันตรังสีและสภาพการซึมซับแม่เหล็กของหินแกรนิต ผลการศึกษาทำให้ทราบว่า หินแกรนิตมีทั้งที่เป็นหินเนื้อออกจนถึงหินเนื้อขนาดเดียวและมีสีเทาดำจนถึงออกสีขาวๆ ส่วนหินแกรนิตขาวมักพบในแนวตะวันตกมากกว่าแนวอื่น ๆ หินแกรนิตที่ศึกษาแบ่งย่อยอย่างง่าย ออกเป็น 2 ประเภทตามชนิดแร่ที่ปรากฏ ได้แก่ (1) หินแกรนิตฮอร์นเบลนด์-ไบโอไทต์และหินแกรนิตไบโอไทต์ซึ่งมักปรากฏในแนวตะวันออกโดยข้อมูลศิลาเคมีบ่งบอกว่าหินแกรนิตแนวนี้ส่วนใหญ่เป็นพวกหินแกรนิตอัคนีและหินแกรนิตชุดแมกนีไทต์ โดยวินิจฉัยว่ามีอายุประมาณ 280 - 222 ล้านปี และ (2) หินแกรนิตไบโอไทต์-มัสโคไวต์และหินแกรนิตไบโอไทต์ ซึ่งมักปรากฏในแนวตะวันตกและแนวกลาง โดยข้อมูลศิลาเคมีบ่งบอกว่าหินแกรนิตทั้งสองแนวนี้ส่วนใหญ่เป็นพวกหินแกรนิตตะกอนและหินแกรนิตชุดอัลเมโนต์ นอกจากนี้ยังพบว่าหินแกรนิตทั้งสองแนวนี้ยังเกิดร่วมกับหินเพกมาไทต์และหินแอพลิตที่ให้แร่ และน่าจะมียุในช่วง 227 - 200 ล้านปี ส่วนหินแกรนิตแนวตะวันตกมักจำกัดอยู่ในช่วงอายุประมาณ 80 - 55 ล้านปี ขณะที่ หินแกรนิตแนวตะวันออกพบกระจายตัวไม่มากนัก เมื่อเทียบกับแนวตะวันตกและแนวกลาง อนึ่งผลจากข้อมูลในสนามและเศรษฐธรณีวิทยาพบว่าแนวแร่ที่รวบรวมส่วนใหญ่เป็นแนวดีบุก-ทังสแตน-ธาตุหายาก ซึ่งวางตัวใกล้เคียงกับแนวตะวันตกและแนวกลาง ส่วนแนวตะวันออกไม่พบแนวแร่ดีบุก-ทังสแตนที่สำคัญ แต่มีแนวแร่ทองคำ-ทองแดงที่สัมพันธ์กับแนวแร่ตามแนวโค้งเลย นอกจากนี้ยังพบว่าหินแกรนิตไบโอไทต์-มัสโคไวต์ที่สัมพันธ์กับแหล่งแร่ดีบุก-ทังสแตน-ธาตุหายากยังให้ค่าปริมาณธาตุกัมมันตรังสีและสภาพการซึมซับแม่เหล็ก

ในสนามที่แตกต่างจากหินแกรนิตฮอร์นเบลนด์-ไบโอไทต์ และหินไบโอไทต์อย่างมีนัยสำคัญซึ่งมีส่วนช่วยในการกำหนดขอบเขตแหล่งแร่และพื้นที่ศักยภาพเพื่อการทำเหมืองอีกด้วย

คำสำคัญ: หินแกรนิต, แแนวแร่, ภาคใต้ ประเทศไทย, ศีลาบรรณ, อายุ, สภาพการซึมซับแม่เหล็ก, ปริมาณธาตุกัมมันตรังสี

Abstract

Granites under investigation in southern Thailand are divided into 3 belts, namely Eastern Belt, Central Belt, and Western Belt, and each belt lies approximately in the north-south direction. These granite belts with the overall length of at least 2,800 km form parts of the main granite belts of the country and Mainland Southeast Asia. The granites of the Eastern Belt occur as small plutons in the southernmost part of Thailand and perhaps extend from the Loei tectonic belt. The objectives of this research are to document geology of these granites, distribution of mineral deposits and belts, and results on magnetic susceptibility and radioactives of the studied granites. Field investigation shows that granites exhibit both equigranular and porphyritic textures. Both have blackish gray to white colours, and leucogranites are more common in the Western Belt. Two granite suites are classified based on mineralogical criteria, and they can be separated tectonically by the Pattanni Suture. The first suite is hornblende – biotite granites and biotite granites mainly occurring in the Eastern Belt. On the basis of petrochemical data, they belong to the I-type affinity and magnetite granite suites with the inferred ages of 280 - 222 Ma. The second type includes the biotite – muscovite granites and biotite granites which genetically belongs to the S-type affinity and ilmenite series. These granites occurred in the Central Belt occurring in 227 – 200 Ma and the Western Belt with the ages ranging from 80 to 55 Ma. Based on both field and economic geology data, the mineral belts identified belong to Sn-W-REE belt and lies within the Western and Central belts. Moreover, gold and copper mineral belt can also be identified and lies within the Eastern Belt and perhaps located within the Loei tectonic belt. Additionally, it is recognized that biotite - muscovite granites related to Sn – W mineral deposits invariably yield the higher contents of radioactive elements and lower contents of magnetic susceptibilities than the hornblende -biotite granites. This scenario can help to delineate more appropriate mineral zonation and potential mining areas within the region.

Keywords: Ages, Granites, Petrography, Magnetic susceptibility, Mineral belts, Southern Thailand, REE contents

1. บทนำ

หินแกรนิตในประเทศไทยแผ่กระจายตัวและพบอยู่อย่างมากมายในทั่วทุกภาคของประเทศยกเว้นเขตที่ราบสูงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเนื่องจากหินแกรนิตเป็นหินที่มีประโยชน์อย่างมากเพราะนอกจากใช้เป็นหินประดับ (dimension stone) เป็นแหล่งวัสดุก่อสร้าง (building stone) ที่สำคัญ และยังเป็นหินที่เกี่ยวข้องกับสินแร่ (ore-related rocks) มากมายหลายชนิดด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องศึกษาวิจัยหินแกรนิตของประเทศอย่างเป็นระบบในอดีตได้มีการศึกษาหินแกรนิตในหลายมิติทั้งทางธรณีวิทยา ศิลาเคมี อายุ และแหล่งแร่ (ดู Suensilpong, 1977, Lehman และ Mahawat, 1989, Nakapadungrat และคณะ, 1984, Charusiri และคณะ, 1992 a และ b, 1993, Sanematsu และคณะ, 2011) โดยการศึกษามุ่งเน้นไปที่ภาคต่าง ๆ ของประเทศแต่ทางภาคใต้ นับได้ว่ามีการศึกษาไม่มากนัก (ดู Putthapiban, 1984, Charusiri และคณะ, 2006, Cobbing และคณะ, 1992, Imai และคณะ, 2003, นราเมศวร์ อีระรังสิกุล, 2517) ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลธรณีวิทยาหินแกรนิตในภาคใต้ ทั้งจากข้อมูลในอดีตและในครั้งนี้ รวมทั้งแสดงผลลักษณะเฉพาะของหินแกรนิต ได้แก่ ค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็กและค่าความเข้มข้นของกำมะถันตรังสี ตลอดจนแนวทางการกำเนิดแหล่งแร่โดยอาศัยข้อมูลทั้งจากในสนาม ช่วง 2564-2565 และจากการศึกษาธรณีวิทยาหินอัคนีและแหล่งแร่ทางภาคใต้ของประเทศ

หินแกรนิตในประเทศไทยและข้างเคียง (รูป 1ก) แบ่งอย่างง่ายตามสภาพแวดล้อม

ทางธรณีวิทยา วิทยาหิน ธรณีกาลวิทยา เป็น 3 แนว ได้แก่ แนวตะวันออก (Eastern Belt), แนวกลาง (Central Belt), และแนวตะวันตก (Western Belt) (Hutchison, 1983; Charusiri และคณะ, 1993) ซึ่งทุกแนววางตัวในทิศเกือบเหนือ-ใต้ และขนานกันตั้งแต่ภาคเหนือลงมา ยังภาคกลางจนถึงภาคใต้ของประเทศ โดยส่วนเหนือของแนวหินแกรนิตต่อไปทาง ตะวันออกและตอนกลางของภูฏาน ประเทศพม่า และทางใต้ของมณฑลยูนนาน ประเทศจีน ส่วนทางด้านใต้ของแนวหินแกรนิต ต่อเลยไปจนถึงเกาะบังกา-เกาะบิลิงตัน ของประเทศอินโดนีเซีย แนวแกรนิตนี้ยาวรวม อย่างน้อย 2,800 กม. และกว้างเกือบ 400 กม. (ดู Hosking, 1970, Schwartz และคณะ, 1995) แนวแกรนิตนี้หลายแนวสัมพันธ์ กับแหล่งแร่ดีบุก บางครั้งจึงเรียกว่า แนวดีบุกเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (SE Asian Tin Belt, ดู Schwarty และคณะ, 1995) สำหรับในภาคใต้พบแนวแกรนิตหลักอยู่ 2 แนว คือแนวกลางและแนวตะวันตก โดยเริ่มตั้งแต่ จ. เพชรบุรี ไปจนถึง จ. ยะลา โดยที่แนวแกรนิต ทั้งสองแนวยังคงวางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ส่วนแนวตะวันออกพบอยู่ไม่มากนักและพบเป็น บริเวณแคบ ๆ ในแถบอ่าวไทยฝั่งตะวันตก และ จ. ยะลาฝั่งตะวันออก (รูป 1ก)

1. สภาพการแปรสัณฐานและการกำเนิดหินอัคนี

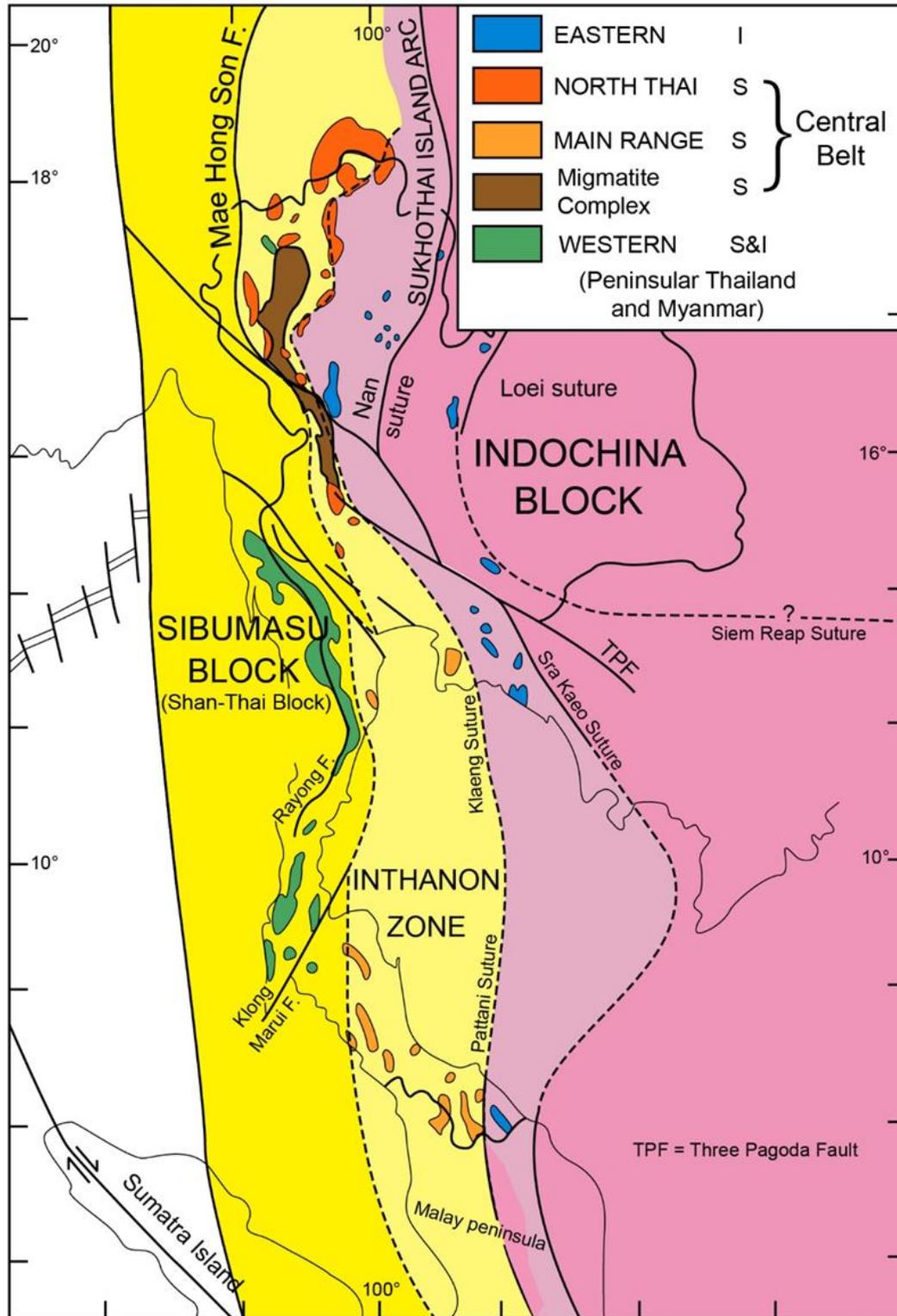
แนวแกรนิตภาคใต้ส่วนใหญ่จัดเป็นส่วนหนึ่งของจุลทวีปฉาน-ไทย (Shan Thai; Bunopas, 1981) หรือแผ่นไซบูมาสุ (Sibumasu; Matcalfe, 2002) และในเขตอินทนนท์ (Inthanon zone; Barr และ Macdonald, 1991) บ้าง และมีส่วนน้อยทางตะวันออกสุดของภาคใต้ที่เป็น

แนวตะเข้ประหวางรอยโค้งสุโขทัย (Sukhothai Fold Belt; Bunopas, 1981) หรือแผ่นลำปาง-เชียงราย (Charusiri และคณะ, 2002) กับรอยโค้งเลย (Loei Fold Belt; Bunopas, 1981) หรือแผ่นนครไทย (Charusiri และคณะ, 2002) (ดูรูป 1 ข) อย่างไรก็ตาม ที่สำคัญภาคใต้จัดเป็นภาคที่มีการกระจายตัวของแหล่งแร่ดีบุก-ทังสแตน มากที่สุด (Hutchison, 1975, Charusiri, 1989) รวมถึงแร่ธาตุหายาก (rare-earth elements หรือ REEs) ด้วยหินอัคนีภาคใต้ประกอบด้วยแนวแกรนิต 3 แนว (ดูรูป 1) ได้แก่ (1) *แนวตะวันตก* ตั้งแต่ราชบุรี-เพชรบุรี-ประจวบคีรีขันธ์-ชุมพรไปจนถึงระนอง-พังงา ภูเก็ต (2) *แนวกลาง* ตั้งแต่สุราษฎร์ธานี-นครศรีธรรมราช-ยะลา-นราธิวาส โดยต่อเลยไปยังทางเหนือของคาบสมุทรมลายูที่เรียก *แกรนิตเทือกหลัก* หรือ “Main Ranges Granites” (Hutchison, 1973, 1977) และ (3) *แนวตะวันออก* จำกัดเฉพาะที่ยะลา, นราธิวาส, และปัตตานี โดยที่แนวแกรนิตทางตะวันออกนี้แยกจากแกรนิตแนวกลางด้วยรอยตะเข้ปัตตานี (Pattani Suture, Charusiri และคณะ, 2002) ที่วางตัวเกือบเหนือ-ใต้ และเป็นส่วนที่ต่อมาจากรอยตะเข้เบนตง-รวบ (Bentong-Ruab Suture, Metcalfe, 2000) หรือ Bentong-Ruab ophiolite line, Hutchison, 1975) ของคาบสมุทรมลายู (Malay Peninsula) แนวตะวันออกของภาคใต้สอดคล้องกับแกรนิตคาบสมุทรมลายูตะวันออก (Eastern Malay Peninsula) ส่วนแนวแกรนิตตอนกลางแยกจากแนวตะวันตกด้วยรอยเลื่อนบางคราม-คลองมะรุ่ย (Bang Kram-Klong Marui fault zone) (รูป 1 ข) ที่วางตัวเกือบขนานกับรอย

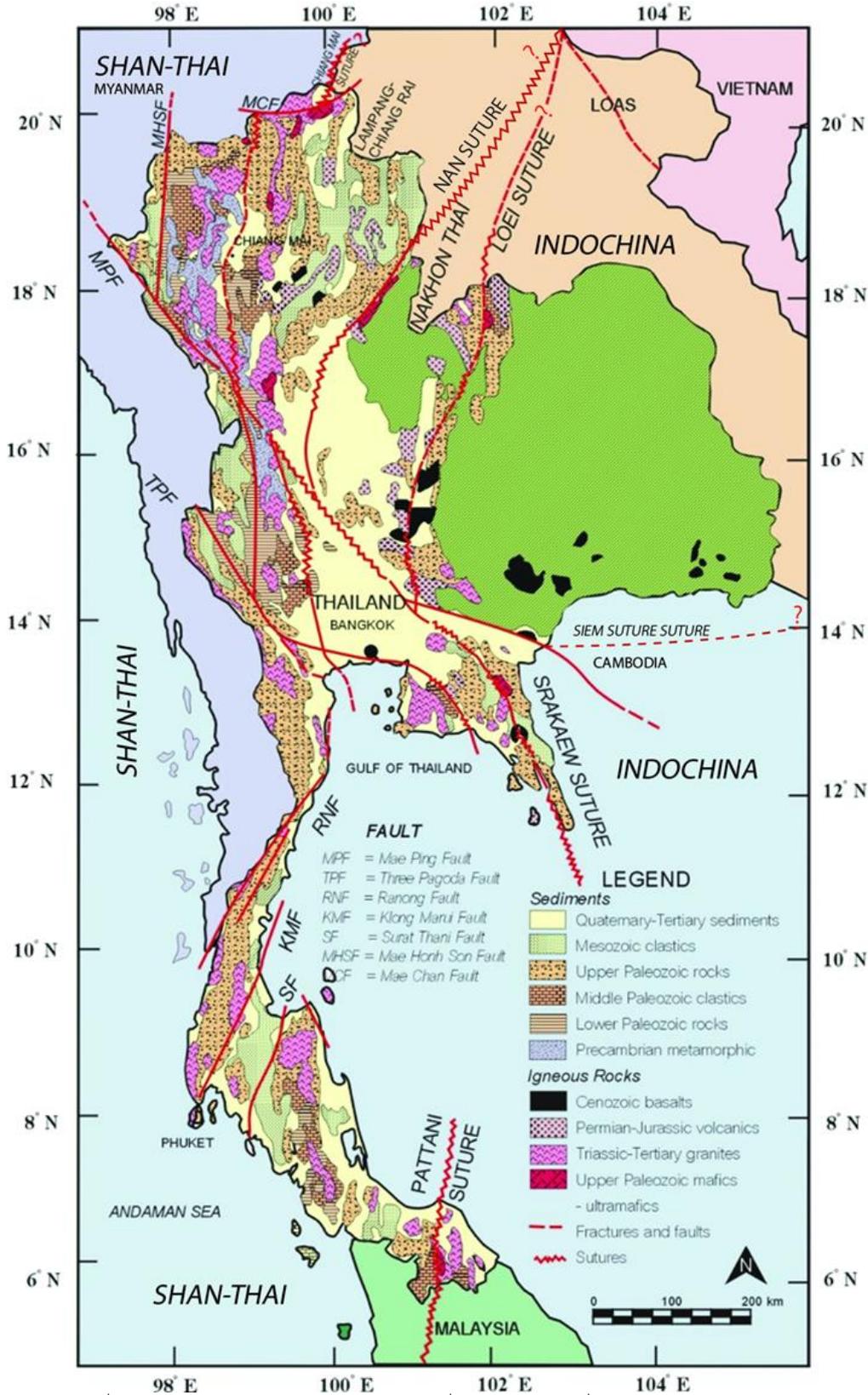
เลื่อนระนองและเชื่อมต่อกับรอยเลื่อนปราณบุรี-หัวหินที่อยู่ทางตอนเหนือของพื้นที่สำหรับแนวตะวันตกนี้ไม่ปรากฏว่าต่อเลยเข้าไปในมาเลเซีย แต่มีแนวโน้มว่าอาจต่อเลยไปยังทางตอนเหนือของเกาะสุมาตราฝั่งตะวันออก (Charusiri, 1989, Cobbing และคณะ, 1992 Pongsapich และคณะ, 1983)

แนวตะวันตกส่วนใหญ่แทรกดันหินตะกอน 2 ชนิด ได้แก่ หินปูนกลุ่มราชบุรีอายุประมาณยุคเพอร์เมียน และหินตะกอนเนื้อประสม (clastic rock) กลุ่มแก่งกระจาน ประมาณปลายยุคคาร์บอนิเฟอรัส – เพอร์เมียน ซึ่งหินแนวตะวันตก นอกจากแทรกตัวตัดผ่านหินตะกอนกลุ่มแก่งกระจานและกลุ่มราชบุรีแล้วยังแทรกตัดเข้าไปในกลุ่มหินที่แก่กว่าด้วย เช่น หินตะกอนกลุ่มตะรุเตา, หินปูนกลุ่มทุ่งสง, และหินตะกอนกลุ่มทองผาภูมิ เป็นต้น ส่วนแนวกลางแทรกดันเข้ามาในหินตะกอนหมวดยะหา (Yaha Fm.) ยุคคาร์บอนิเฟอรัส และหินตะกอนหมวดเบตง (Betong Fm.) อายุไซลูเรียน-ดีโวเนียน

อนึ่งแนวแกรนิตในภาคใต้ที่สามารถจัดกลุ่มได้เป็น 3 แนวนี้ (แนวตะวันตก แนวกลาง และแนวตะวันออก) โดยทั่วไปมีที่มาและการกำเนิดต่างกันโดยมีความสอดคล้องกับสภาพการแปรสัณฐานของไทย (ดูรูป 2, Charusiri และคณะ, 2002, ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2545) นอกจากหินแกรนิตแล้วยังมีหินอัคนีอีกชนิดซึ่งมักเกิดเป็นผนังหิน (dike) ถ้ามีสีจางจัดเป็นพวกหินคลา (เพกมาไทต์) มักพบในบริเวณใกล้กับแหล่งแร่ดีบุก-ทังสแตน แต่บางครั้งพบว่าผนังหินมีสีเข้มถึงเข้มจัด ที่เรียกหินแลมโพรไฟร์ (lamprophyre) ซึ่งเป็นหินอัคนีสีเข้มจัดที่มีโพแทสเซียมสูงมาก (ultrapotassic mafic igneous



รูปที่ 1ก: แผนที่แสดงการกระจายตัวของหินแกรนิตและแนวแกรนิตของประเทศไทยและข้างเคียง (ดัดแปลงจาก Charusiri และคณะ, 1993; Cobbing และคณะ, 1992)



รูป 1ข: แผนที่แสดงแผ่นทวีปฐานไทย แผ่นอินโดจีน และแผ่นอื่นๆ ตลอดจนรอยเลื่อนหลักๆของประเทศไทย (ดัดแปลงจาก Charusiri และคณะ, 2002, ปัญญา จารุศิริ และคณะ, 2545)

rocks) และมักพบอยู่ทางแถบทะเลอันดามัน (ภูเก็ต-พังงา) ตามรายงานของ Garson และคณะ, (1975) เชื่อว่าพนักหินสีเข้มเหล่านี้ เกิดอยู่ตามรอยเลื่อนหลักๆ 2 รอย คือ รอยเลื่อนระนองและรอยเลื่อนคลองมะรุ่ย

2. วรรณกรรมปริทัศน์ (Literature Reviews)

ธรณีวิทยาทั่วไปของหินแกรนิตใน 3 จังหวัดภาคใต้ (ยะลา, นราธิวาส, และ ปัตตานี) สามารถหาได้จากอำนาจ สงอุไรล้ำ, (2559 ก, ข, และ ค, ตามลำดับ) ส่วนการศึกษา แนวแกรนิต (granite belts) ของไทยได้เริ่มมา อย่างยาวนาน นับตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 26 จนสามารถจัดแบ่งช่วงการศึกษาออกได้เป็น 3 ช่วงสมัย ได้แก่ *ช่วงสมัยแรก* นับตั้งแต่ พ.ศ. 2504 โดย ดร.โพยม อรรถนันทน์ ได้ศึกษาหิน แกรนิตและแหล่งแร่ดีบุกที่ จ.ระนอง และได้ เรียกแหล่งแร่ดีบุกประเภทนี้ว่า *แหล่งแร่ ดีบุก แบบหาดส้มแป้น (Haad Som Pan Type)* (ดู Aranyaganon, 1962) ต่อมาใน พ.ศ. 2512 เกษตร พิทักษ์ไพรวลัย (กองธรณี วิทยา กรม ทรัพยากรธรณี) ได้ศึกษาและ วิเคราะห์ข้อมูล จากศิลารวพรรณนา (petrography) จนสามารถ แยกแยะชนิดหินแกรนิต ในไทยออกเป็น 2 จำพวก คือ แกรนิตให้ดีบุก (tin-bearing gra-nites) กับแกรนิตปราศจาก ดีบุก (tin-barren gra-nites) (Pitakpaiwan, 1969) และไม่ได้มุ่ง เน้น การคำนวณหาอายุหิน แกรนิต ดังนั้น การกำหนดอายุ จึงต้องอาศัย ข้อมูลจาก การวินิจฉัยในสนาม โดยเฉพาะจากการลำดับ ชั้นหิน หลังจากนั้นอีก ไม่นานนักธรณีวิทยา อังกฤษจึงได้เริ่มเข้ามาสำรวจหาอายุหินแกรนิต ภาคใต้ และภาคตะวันออกของไทย โดย

วิธี K-Ar (Bignell, 1972, Bignell และ Snelling, 1977) เป็นครั้งแรก ต่อมา *ช่วงสมัยกลาง* ตั้งแต่ พ.ศ. 2518 – 2532 เป็นช่วงต้นการศึกษาธรณี เคมีและการกำหนดอายุหินอย่างจริงจังโดยเริ่มจาก วิธีการหาอายุด้วย Rb-Sr จากหินทั้งก้อน ที่จังหวัดตากหรือที่เรียกหิน แกรนิตตาก (Tak Granite, Teggling, 1975), แกร นิต สะเมิง (Samoeng Granite, Punya-prasidth, 1980) จ.เชียงใหม่ และในหินแกรนิต ภาคใต้ ได้เน้นการทำ อายุหินแกรนิตซึ่งเกี่ยวข้องกับ แหล่งแร่ดีบุก-ทังสแตน โดย Garson และคณะ (1978), Asnachinda (1978), และ Beckinsale และ คณะ (1979) ซึ่งในตอนนั้น ดร.สนาม สวนศิลป์พงศ์ (ภายใต้โครงการวิจัย และวัดอายุ หินแกรนิต, กองธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี) เป็นผู้บุกเบิกการศึกษาหิน แกรนิตและแหล่งแร่ที่เกี่ยวข้อง ภายใต้ โครงการศึกษาวิจัยอายุหินแกรนิตในประเทศไทย ในปี พ.ศ.2523 ของกรมทรัพยากรธรณี ซึ่งโครงการนี้ต่อจากโครงการศึกษาวิจัยแนว ดีบุกในเขตทะเลอันดามันของกรมทรัพยากร ธรณี อังกฤษ (British Geological Survey) (Garson และคณะ, 1978) จนช่วงสุดท้าย ของสมัยยุคกลางจึงได้มีการศึกษาหินแกรนิต และการหาอายุของหินแกรนิตอย่างละเอียดใน ภาคใต้ โดยกลุ่มนักธรณีวิทยาไทย อาทิ ปริญา พุทธาภิบาล (ดู Putthapiban & Suensilpong, 1979, Putthapiban, 1984), สมชาย นาคะ -ผดุงรัตน์ (ดู Nakhpadungrat, 1982) และปัญญา จารุศิริ (ดู Charusiri, 1989) ร่วมกับนักธรณีวิทยาทั้งไทยและต่างประเทศ (เช่น Beckinsale และคณะ, 1979, Charusiri

และคณะ, 1993, Ishihara และคณะ, 2008, Pitfield, 1988, เป็นต้น)

ช่วงสมัยหลัง คือนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 การศึกษาวิจัยหินแกรนิตได้ลงไปถึงระดับการวิเคราะห์ธาตุหายากในหินและการหาอายุโดยวิธี U-Pb จากเซอร์คอนและโมนาไซต์ (Hansen และคณะ, 2011) โดยข้อมูลที่สำคัญทางใต้มาจากนักธรณีวิทยาจากหลายค่าย เช่น Kawakami และคณะ (2008, 2014) จากประเทศญี่ปุ่น, Kanjanapayont และคณะ (2012 a และ b, 2013) จากประเทศออสเตรเลีย, Lin และคณะ, (2013) และ Dew และคณะ (2018) จากประเทศอังกฤษ เป็นต้น และทุกคณะมักมีนักธรณีวิทยาไทยหลายคนร่วมวิจัยด้วย

3. การกระจายตัวและวิทยาหิน

ผลการศึกษานี้เราได้กำหนดให้ขอบเขตการศึกษาของหินแกรนิตภาคใต้โดยอาศัยข้อมูลจากในสนาม และเริ่มตั้งแต่จ.เพชรบุรี ให้เป็นพื้นที่ตอนเหนือ ประมาณเส้นรุ้ง (latitude) ที่ 13.3° เหนือ (รูป 2) ที่อ.เขาอ้อยจนถึงใต้สุดคือ ที่ อ.เบตง จ.ยะลา เป็นพื้นที่ตอนใต้ (รูป 3) แนวนี้ ต่อเลยจากไทย (ที่เส้นรุ้ง 5.7° เหนือ) ไปยังประเทศมาเลเซีย โดยผลการศึกษา พอแยกอธิบายได้ดังนี้

3.1 แนวกลาง

แนวกลางแบ่งอย่างง่ายเป็น 2 เขต ได้แก่ เขตตะวันออกและเขตตะวันตก ซึ่งแกรนิตเขตตะวันออกประกอบด้วยแกรนิตสงขลา (Songkhla Granite), แกรนิตปัตตานี (Pattani Granite), แกรนิตปะนาเระ (Pa Na Re Granite), แกรนิตกือลอง (Ku Long Granite), และแกรนิตรือเสาะ (Ruso Granite) (รูป 3)

ส่วนแกรนิตเขตตะวันตกประกอบด้วย แกรนิตหุบกะพง (Hub Krapong) (รูป 2), แกรนิตเขาหลวง-เกาะสมุย (Kho Samui Granite), แกรนิตเขากะช่อง-สตูล (Khao Kachong - Satun Granite) (รูป 3)

แนวกลางเขตตะวันตกมีรายละเอียดดังนี้

(1) แกรนิตหุบกะพง เป็นมวลหินแกรนิตทางเหนือสุดของหินแกรนิตภาคใต้และของแนวกลางเขตตะวันตกซึ่งครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ชะอำ-หัวหิน-ปราณบุรี และอยู่ห่างจากกรุงเทพฯ ไปทางใต้ประมาณ 150 กม. ยาวประมาณ 50 กม. และกว้างตั้งแต่ 5-10 กม. โดยวางตัวในแนวทิศเกือบเหนือใต้ ในทางธรณีแปรสัณฐานของแกรนิตหุบกะพงตั้งอยู่ระหว่างส่วนต่อทางใต้สุดของแขนงรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ (Three Pagoda fault sprays) ที่แตกย่อยมาจากรอยเลื่อนหลักเจดีย์สามองค์กับทางส่วนปลายด้านเหนือสุดของรอยเลื่อนระนอง (Ranong Fault) โดยผลการศึกษาของ Putthapiban และ Suensilpong, (1978) และ Cobbing และคณะ (1992) ทำให้พอสรุปได้ว่าหินแกรนิตหุบกะพงแบ่งย่อยเป็น 2 หน่วย (unit) ตามการกระจายตัว คือ หน่วยหุบกะพง ซึ่งเป็นหินแกรนิตไร้ริ้วขนาน (non-foliated granites) ที่ส่วนใหญ่มีเนื้อสมำ-เสมอแต่บางครั้งก็แสดงเนื้อดอก (porphyritic texture) บ้าง เช่น หินแกรนิตไบโอไทต์ (±มีสโคไวต์) และปรากฏเป็นมวลเล็ก ๆ ทางตะวันตก โดยเกิดสัมพันธ์กับแหล่งแร่ดีบุกในสายควอตซ์ ลึกลงไปในหุบเขาส่วนอีกพวกคือ หน่วยหัวหิน ซึ่งปรากฏทางตะวันออกจนถึงติดกับชายฝั่งอ่าวไทยและจัดเป็น

แกรนิตริ้วขนาน (foliated granites) จนถึง หินแกรนิตไนส์ (gneissic granite) ชัดเจน ซึ่งประกอบด้วยหินแกรนิต ไบโอไทต์ไนส์ เนื้อลายดอก-เนื้อหยาบมาก และหินแกรนิต ไบโอไทต์ไนส์ เนื้อสม่ำเสมอจนถึงเนื้อลาย ดอกบ้าง และต่อเลยไปทางใต้แถบปราณบุรี ข้อมูลในสนามทำให้ทราบว่าหินแกรนิตหวัหิน สัมพันธ์กับหินไนส์-หินชีสต์ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะ (deformation) รุนแรงและชัดเจน ในแนวเหนือ-ใต้ โดยเฉพาะตามและขนาน กับระบบรอยเลื่อนปราณบุรี-หวัหิน (Hua Hin-Pranburi fault system, ดู Tulyatid, 1991)

(2) แกรนิตเขาหลวง-เกาะสมุย เป็นมวลแกรนิต ขนาดใหญ่มาก (granite batholith) ของแกรนิตแนวกลางเขตตะวันตก และเมื่อรวมกับแกรนิตเขาพะช่องจึงเรียกรวมว่าแกรนิต นครศรีธรรมราช (Nakhon Si Thammarat Granite) โดยวางตัวในแนวเกือบเหนือใต้ ซึ่งมีความยาวประมาณ 100 กม. และมีความ กว้างเกือบ 25 กม. มวลแกรนิตแห่งนี้พบอยู่ทาง ตะวันออกเฉียงใต้ ของจังหวัดสุราษฎร์ธานี และทางตะวันตกของจังหวัดนครศรีธรรมราช ห่างจากกรุงเทพฯ ประมาณ 750 กิโลเมตร ประกอบด้วยหินแกรนิต 3 ชนิด (Ishihara และคณะ, 1983 และการศึกษานี้) ได้แก่ หินแกรนิตไบโอไทต์ เนื้อหยาบ และมีเนื้อดอก, หินแกรนิตไบโอไทต์-มัสโคไวต์ เนื้อหยาบ ปานกลาง และสม่ำเสมอ และหินแกรนิตขาว (leucogranite) เนื้อขนาดเดียวส่วน Pitfield (1988) ได้แบ่งมวลแกรนิตเขาหลวงออกเป็น 4 พื้นที่ตามการกระจายตัวทางภูมิศาสตร์ ได้แก่

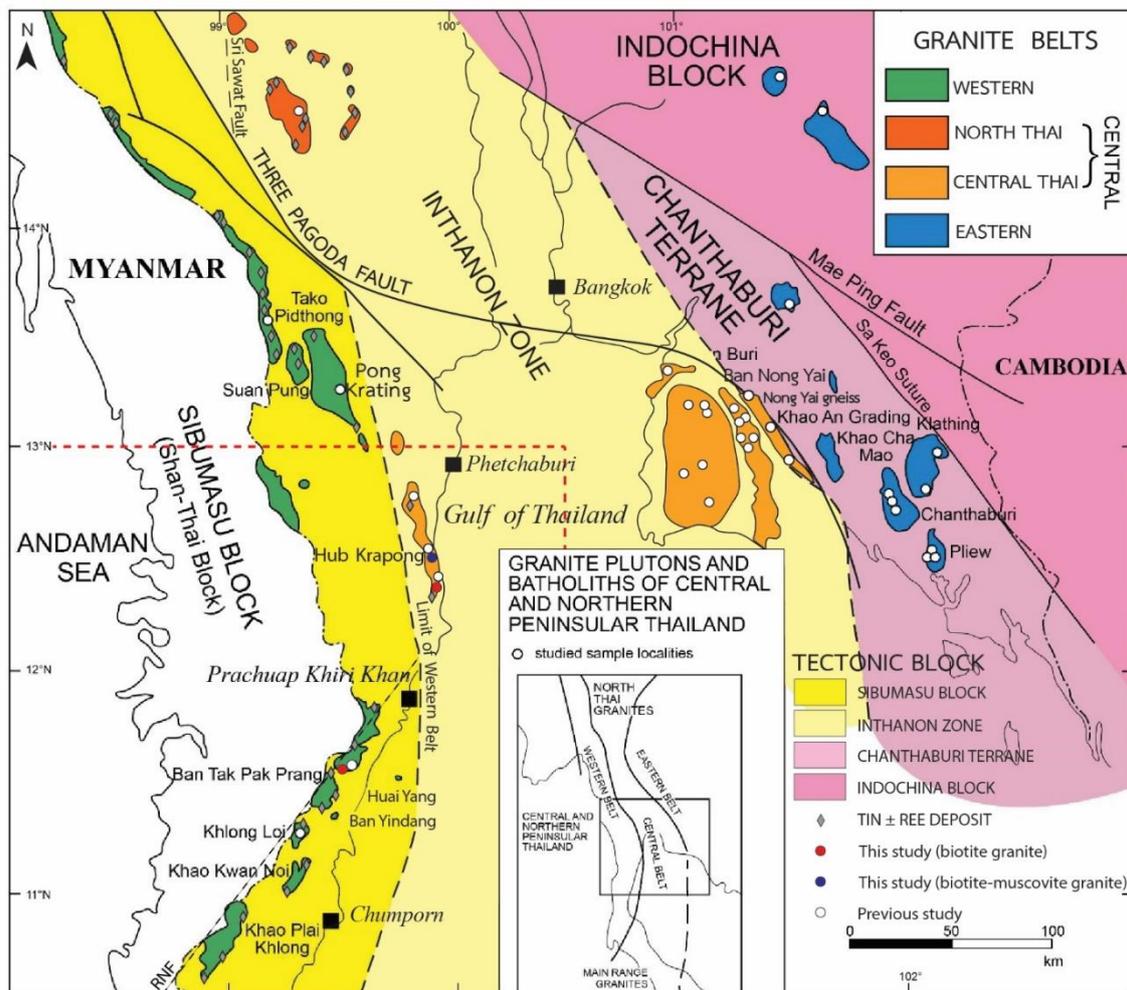
(1) ทางตอนใต้ของมวลแกรนิตเขาหลวง ได้แก่ แกรนิตเขาหัว (Khao Nhwa) หรือเรียกอีกชื่อ

ว่าแกรนิตบ้านนารอบ, (2) ทางตอนกลางถึงทาง ตะวันออกของมวลแกรนิตเขาหลวง ได้แก่ แกรนิตยอดหลวง (Yod Luang) (3) ทางตะวันตกของมวลแกรนิตเขาหลวง ได้แก่แกรนิต บ้านนาสาร (Na San) และ (4) ทางตอน เหนือของมวลแกรนิตเขาหลวง ได้แก่ แกรนิตยอดน้ำ (Yod Nam) ส่วนทางตอนเหนือ ของมวลแกรนิตเขาหลวงต่อเลยไปถึงเกาะสมุย- เกาะพะงัน ซึ่งหินแกรนิตทั้งหมดมีองค์ -ประกอบของแร่คล้ายกันคือ เป็นหินแกรนิต ไบโอไทต์-มัสโคไวต์ (Two-Mica Granite) ยกเว้นแกรนิตยอดหลวงที่แสดงการเปลี่ยนแปลงลักษณะแตกหักบดอัดรุนแรงมาก (strongly cataclastic deformation) แกรนิตเกาะสมุย แผ่กระจายตัวในเกาะสมุย เกาะพะงัน และฝั่งแผ่นดินใหญ่ที่ถัดจากเกาะสมุยลงมาทาง ใต้ (วรกิจ ขาวจันทร์ และ สันติ ลีวงศ์เจริญ, 2549) แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ (ก) หิน แกรนิตไบโอไทต์เนื้อดอก (prophyritic biotite granite) พบแผ่กระจายทางเขาด้าน ตะวันออก ชายฝั่งด้านตะวันตกเฉียงเหนือ บนเกาะพะงัน และทางตะวันออกของเกาะสมุย มีเนื้อพื้นขนาดปานกลางถึงหยาบ (2- 8 มม.) แร่ดอกเฟลด์สปาร์ขนาดเฉลี่ย ประมาณ 1x2 ซม. (ข) หินแกรนิตไบโอไทต์เนื้อขนาดเดียว (equigranular biotite granite) แผ่กระจาย บริเวณตอนกลางและอ่าวด้านเหนือของเกาะพ ังัน ทือกเขาด้านเหนือของเกาะสมุย และ อ.ขนอม จ.นครศรีธรรมราช ขนาดผลึก ปานกลาง ส่วนตะวันตกของเกาะพะงัน พบทั้งที่มีไบโอไทต์เด่นและไบโอไทต์- มัสโคไวต์เนื้อดอก, (ค) หินแกรนิตขาว (leuco- granite) พบแผ่กระจายทางใต้ของเกาะสมุย และ

อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราชส่วนใหญ่แสดงเนื้อ
ขนาดเดียวผลึกละเอียดถึงปานกลาง วรกิจ
ขาวจันทร์ และ สันติ ลีวงศ์เจริญ (2549)
ได้วินิจฉัยว่าแกรนิตเกาะสมุญน่าจะเกิด
และแทรกดันขึ้นมาในยุคไทรแอสซิก
(3) แกรนิตเขากะช่อง-สตูล แกรนิตเขากะช่อง
เป็นมวลแกรนิตแนวกลางเขตตะวันตกที่ยาวถึง
120 กม และกว้าง 15 กม ต่อลงมาจากเทือก
แกรนิตเขาหลวง วางตัวในแนวเกือบตะวันตกเฉียง
เหนือ-ตะวันออกเฉียงใต้ อยู่ระหว่าง จ.พัทลุง และ

จ.ตรัง ต่อเนื่องไปยังแกรนิตสตูลไปทางใต้
จรดเทือกเขาแกรนิตที่เรียกมวลหินแกรนิต
เทือกหลัก (Main Range Batholith) ในมาเลเซีย
(Ghani, 2009, Ghani และคณะ, 2013, และ
2014 และ Cobbing และคณะ, 1992)
และได้จัดแบ่ง เป็น 2 มวลย่อยตามการกระจายตัว
ได้แก่

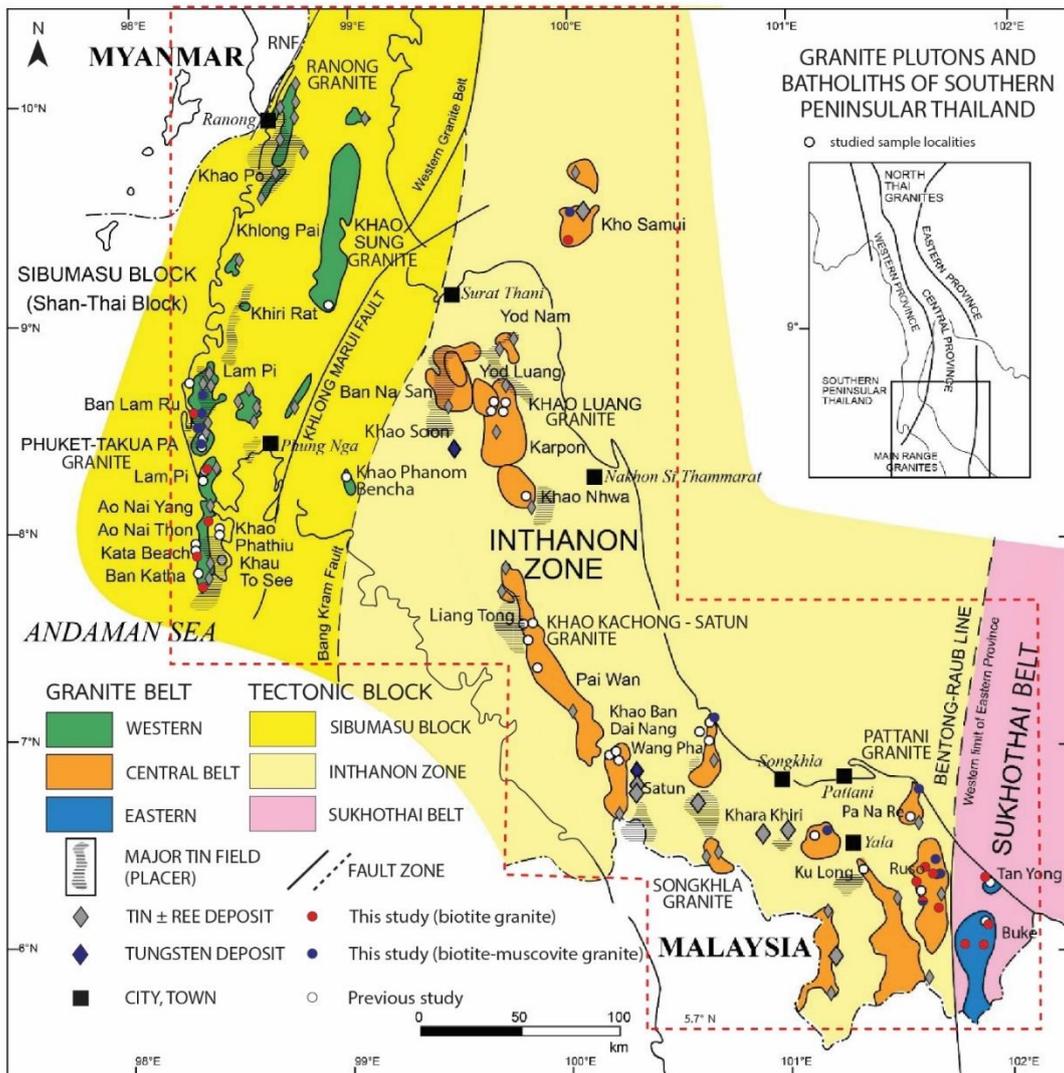
(1) แกรนิตเลียงทอง (Liang Tong Granite)
อยู่ทางส่วนเหนือของมวลแกรนิต กระช่อง
ส่วนใหญ่เป็นหินแกรนิตไบโอไทต์เนื้อหยาบที่



รูปที่ 2: แผนที่แสดงการกระจายตัวของหินแกรนิตในคาบสมุทรไทยตอนบน (upper peninsula of Thailand) และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งแนวแกรนิตทั้งสามแนว (ดัดแปลงจาก Ishihara และคณะ, 1984, Pitfield, 1988, Charusiri และคณะ 1993, Cobbing และคณะ, 1992) วงกลมสีขาว = ตำแหน่งตัวอย่างที่เก็บศึกษาก่อนหน้านี้ และวงกลมสีแดงและสีน้ำเงิน = ตำแหน่งตัวอย่างที่เก็บศึกษาในครั้งนี้

เปลี่ยนไปเป็นหินแกรนิตเนื้อละเอียดมาก (microgranite) ทางตะวันตกเฉียงเหนือ และ (2) แกรนิตไพวัลย์ (Pai Wan Granite) เป็นหินแกรนิตสีออกขาวๆ เนื้อสม่ำเสมอจนถึงเนื้อดอก ส่วนแกรนิตสตูล (Sutun Granite, รูป 3) เป็นมวลแกรนิตที่ต่อมาจากแกรนิตเขากะช่องโดยวางตัวในแนวเกือบเหนือ-

-ใต้ ยาวประมาณ 25 กม. และกว้าง 10 กม. และต่อไปทางใต้แถบปะดังเบซา ในรัฐปะลิส ประเทศมาเลเซีย ส่วนใหญ่เป็นแกรนิตไปโอโทต์-มัสโคไวต์เนื้อดอก เนื้อพื้นหยาบในทางตะวันตก ส่วนทางด้านตะวันออกหินแกรนิตมีสีจางกว่าจนเกือบเป็นแกรนิตขาว และมีแร่มีสโคไวต์เป็นองค์ประกอบ (muscovite-bearing leucogranite)



รูปที่ 3: แผนที่แสดงการกระจายตัวของหินแกรนิตในคาบสมุทรไทยตอนล่าง (lower peninsula of Thailand) และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งแนวแกรนิตทั้งสามแนว (ดัดแปลงจาก Ishihara และคณะ, 1984, Pitfield, 1988, Charusiri และคณะ 1993, Cobbing และคณะ, 1992) วงกลมสีขาว = ตำแหน่งตัวอย่างที่เก็บศึกษาก่อนหน้านี้ และวงกลมสีแดงและสีน้ำเงิน = ตำแหน่งตัวอย่างที่เก็บศึกษาในครั้งนี้

แนวกลางเขตตะวันออกมีรายละเอียดดังนี้

(1) *แกรนิตสงขลา* เป็นมวลแกรนิตแนวกลางเขตตะวันออกที่วางตัวในแนวเหนือใต้ขนานกับแกรนิตสตูลแต่อยู่ทางชายฝั่งอ่าวไทย ยาวเกือบ 40 กม. และกว้าง 5-10 กม. หินแกรนิตสงขลาประกอบด้วยหินแกรนิตไบโอไทต์ เนื้อหยาบจนถึงเนื้อดอก สีขาวจนถึงขาวเทา ไปทางตะวันตกของ อ.เมืองสงขลา หินแกรนิตเปลี่ยนไปเป็นหินแกรนิตไบโอไทต์-มัสโคไวต์

(2) *แกรนิตปัตตานี* ประกอบด้วยมวลแกรนิตเป็นกลุ่มๆ ที่สำคัญคือแกรนิตสะบาย้อย (Saba Yoi Granite) อยู่ในเขต อ.สะบาย้อย จ.สงขลา และในเขตอุทยานแห่งชาติสันกาลาคีรี มวลหินมีขนาดเล็กเกือบกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 กม. แกรนิตปัตตานี (Pattani Granite) หรือเรียกอีกชื่อว่าแกรนิตกาลาคีรี (Kala Khiri Granite) ตั้งอยู่ระหว่าง 3 จังหวัด คือยะลา, ปัตตานี และสงขลา โดยห่างจาก อ.หาดใหญ่ประมาณ 110 กม. ทางตะวันออกเฉียงใต้ ส่วนใหญ่เป็นแกรนิตเนื้อดอกสีขาว เนื้อพื้นหยาบ ตอนกลางเป็นหินแกรนิตเนื้อพื้นละเอียด (microgranite) และเป็นที่ตั้งของแหล่งดีบุกหลายแหล่งในอดีต

(3) *แกรนิตปะนาเระ* ในจังหวัดปัตตานี อยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของแกรนิตปัตตานี (Pattani Granite) ห่างจาก อ.หาดใหญ่ไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ 140 กม. เป็นมวลขนาดเล็ก ยาว 20 กม. และกว้าง 5 กม. ส่วนใหญ่เป็นหินแกรนิตไบโอไทต์-มัสโคไวต์ ผลึกหยาบ สีออกเทา ๆ

(4) *แกรนิตกือลอง* เป็นมวลแกรนิตที่ต่อลงจากแกรนิตปัตตานี (Pattani Granite) ไปทางใต้จรดมาเลเซีย ยาว 100 กม. กว้าง 15 กม. อยู่ห่างจาก อ.หาดใหญ่ไปทางตะวันออกเฉียงใต้ ประมาณ 100 กม. และอยู่ทางใต้ของเมืองยะลาประมาณ 20 กม. จัดเป็นมวลแกรนิตที่มีความหลากหลายมาก โดยมีเนื้อหินแบบรี้วขนานและไร้วขนาน ส่วนใหญ่มีเนื้อหยาบปานกลาง และเนื้อขนาดเดียว (equigranular) เป็นแกรนิตไบโอไทต์-มัสโคไวต์ที่แปรเปลี่ยนไปเป็นแกรนิตมัสโคไวต์-ทัวร์มาลีน

(5) *แกรนิตริ้อเสาะ* เป็นมวลแกรนิตที่อยู่ทางตะวันออกเฉียงเหนือของแกรนิตกือลอง ในเขต อ.ริ้อเสาะ จ.นราธิวาส เป็นมวลแกรนิตที่วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ทางตะวันออกเฉียงใต้ติดกับตะเข็บปัตตานี (Pattani Suture) ยาวประมาณ 70 กม. และกว้างประมาณ 25 กม. แกรนิตริ้อเสาะประกอบด้วยหินแกรนิตที่ต่างกัน 2 พวก ได้แก่ (1) แกรนิตลาโละ (La Lo Granite) เป็นหินแกรนิตไบโอไทต์-มัสโคไวต์ เนื้อดอก เนื้อพื้นหยาบ โดยขอบ ๆ เป็นแกรนิตมัสโคไวต์ และ (2) แกรนิตกาลิซา (Kalisa Granite) เป็นแกรนิตไบโอไทต์ เนื้อขนาดเดียว ผลึกหยาบปานกลาง (Cobbing และคณะ, 1992)

3.2 *แกรนิตตะวันออก (Eastern Granite Belt, รูป 2)*

หินแกรนิตนี้เป็นมวลขนาดเล็กที่ต่อเลยไปทางใต้ของคาบสมุทรมลายูตะวันออกเฉียงเหนือ (Eastern Malay Peninsula) ในที่นี้เรียกว่าแกรนิตนราธิวาส (Narathiwat Granite) ประกอบด้วยแกรนิตที่สำคัญ 2 แนว คือแกรนิตตันหยงและแกรนิตบุกิ

(ก) แกรนิตตันหยง (*Tanyong Granite*, รูป 3) อยู่ทางตะวันออกของรอยตะเข็บปัตตานีและอยู่ติดทะเลอ่าวไทยเป็นมวลแกรนิตกลม ๆ ขนาดเล็ก รัศมีไม่เกิน 2 กิโลเมตร ใกล้กับตำหนักทักษิณราชนิเวศน์ อ.เมือง จ.นราธิวาส ซึ่งเป็นหินแกรนิตไปโอไทต์เนื้อดอก เนื้อพื้นหยาบมาก ประกอบด้วยหินแกรนิต 2 หน่วย ได้แก่ หน่วยทักษิณ (*Tak Sin*) ทางตอนเหนือตำหนัก และหน่วยเขานาคาทางตอนใต้ ซึ่งเป็นหินแกรนิตไปโอไทต์-มัสโคไวต์ เนื้อละเอียด และมีผลึกดอกเฟลด์สปาร์

(ข) แกรนิตบุกดี (*Buke Granite*) / สุคีริน (*Sukirin Granite*, รูป 3) ปรากฏอยู่ทางใต้ต่อเลยจากแกรนิตตันหยง และตั้งอยู่ระหว่าง อ.สุไหงปาดี และ อ.สุคีริน จ.นราธิวาส ไปจนถึงพรหมแดนไทย-มาเลเซีย โดยมีความยาวเกือบ 50 กม. และความกว้าง 15 กม. สามารถแบ่งย่อยเป็น 2 หน่วย คือ (1) หน่วยฉัตรวาริน (*Chatwarin*) ทางด้านเหนือเป็นแกรนิตไปโอไทต์ เนื้อหยาบมาก และมีมวลแปลกปลอมไปโอไทต์ (inclusion) และ (2) หน่วยไอบ่อง (*Ibong*) ทางด้านใต้เป็นแกรนิตไปโอไทต์-ฮอร์นเบลนด์ เนื้อละเอียด

3.3 แกรนิตแนวตะวันตก (*Western Granite Belt*, รูป 2 และ 3)

แนวตะวันตกซึ่งในที่นี้เรียก แกรนิตอันดามัน (*Andaman Granites*) ปรากฏในพม่ามากกว่าในไทย โดยเริ่มจากเกาะภูเก็ตทางใต้สุดต่อเลยไปทางเหนือถึง จ.พังงา และจ.ระนอง และผ่านรอยเลื่อนระนองเข้าไปในภาคใต้ของพม่า (เมืองทวาย-มะริด

หรือเมอร์กูย-Mergui) และต่อเลยไปทางตะวันตกของไทย จนสุดบริเวณแนวรอยเลื่อนเจดีย์สามองค์ ใน จ.กาญจนบุรี โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) แนวแกรนิตภูเก็ต-พังงา (*Phuket-Phang Nga Granite*, รูป 3) มีความสำคัญมากในอดีตเพราะมีความสัมพันธ์ในแง่การเกิดกับแหล่งแร่ดีบุก-ทังสแตน มวลแกรนิตนี้วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ยาวประมาณ 100 กม. และกว้าง 10-15 กม. ส่วนใหญ่เป็นหินแกรนิตไปโอไทต์ ที่ในหลายบริเวณมีมัสโคไวต์และทัวร์มาลีน เช่นที่พบโดยรอบอ่างหุบเขาอำเภอกะทู้ และบางแห่งเป็นหินแกรนิตแอมฟีโบล (ฮอร์นเบลนด์) โดยไม่มีมัสโคไวต์และทัวร์มาลีน ทำให้เราทราบว่ามวลแกรนิตบนเกาะภูเก็ตและพังงาบางมวลไม่สัมพันธ์กับการเกิดดีบุก-ทังสแตน และธาตุหายาก เช่นแกรนิตอ่าวในยางและแกรนิตเขาประทิว (ภูเก็ต) นอกจากนั้นยังได้จัดให้แกรนิต เขาพนมเบญจาซึ่งอยู่ทางตะวันตกติดกับรอยเลื่อนบางคราม จ.กระบี่ ก็จัดอยู่ในแนวแกรนิตนี้

(2) แกรนิตเขาสุง (*Khao Sung Granite*, รูป 3) เป็นมวลแกรนิตแนวยาวในทิศเหนือ-ใต้ มีความกว้างเฉลี่ย 15 กม. และความยาวเกือบ 80 กม. แต่พบว่าหินแกรนิตที่โผล่มีไม่มากนัก Cobbing (1991) ได้จัดแบ่งเป็น 2 หน่วย คือ (1) มวลคีรีรัฐนิคมทางใต้ เป็นแกรนิตฮอร์นเบลนด์-ไปโอไทต์ ผลึกปานกลาง เนื้อดอกบ้าง และ (2) มวลคลองปายทางเหนือ เป็นแกรนิตไปโอไทต์-มัสโคไวต์ ผลึกปานกลาง แต่มีสีชาวกว่าและมีเนื้อดอกบ้าง เช่น น้ำตกคลองเงิน ต.พระรักษ์ อ.พะโต๊ะ จ.ชุมพร

(3) *แกรนิตระนอง (Ranong Granite, รูป 3)* เป็นมวลแกรนิตที่สัมพันธ์กับตึบูกและดินขาวมาก โดยเฉพาะที่ ต.หาดส้มแป้น (Hat Som Paen) อ.เมืองระนอง จนได้รับฉายาว่า “*Hat Som Paen Granite*” (Aranyakanon, 1962) แกรนิตระนองโผล่เป็นหย่อมๆ ทางตอนใต้ ต่อจากแกรนิตภูเก็ท-พังงา วางตัวเป็นแนวยาวในทิศเหนือถึงใต้ แต่ไม่ต่อเนื่อง เป็นหย่อมแกรนิตเล็กๆ มีความกว้าง 5-10 กม. และความยาว 40 กม. ในที่นี้ได้จัดให้แกรนิตระนองแบ่งเป็น 2 หน่วย โดยทางด้านเหนือเรียก *แกรนิตเขาโพธิ์ (Khao Po Granite)* ซึ่งเป็นแกรนิตไบโอไทต์-มัสโคไวต์ ส่วนอีกหน่วยอยู่ทางใต้ ซึ่งเรียก “*แกรนิตหาดส้มแป้น*” (Aranyakanon, 1962) ซึ่งเป็นแกรนิตมัสโคไวต์ สีขาวเทา ผลึกละเอียด-หยาบปานกลาง และมีทัวร์มาลีนปะปนด้วย แกรนิตระนองต่อเลยไปทางตะวันออกเฉียงเหนือไปยัง จ. เพชรบุรี (น้ำตกห้วยยาง) และเข้าไปทางตอนใต้ของพม่าด้วย นอกจากนี้ยังต่อเลยไปทางเหนือจาก จ. เพชรบุรีไปยังราชบุรี (โป่งกระทิง-สวนผึ้ง-ตะโกปิดทอง) และกาญจนบุรี (ปิ๊ลอก) ทางตะวันตกของไทยติดพรมแดนพม่า (ดูรูป 2) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นมวลแกรนิตขนาดเล็ก ยาว 25-50 กม. และกว้าง 5-10 กม. และเป็นหินแกรนิตไบโอไทต์-มัสโคไวต์ ซึ่งให้แหล่งตึบูก-ทังสแตน และแร่ธาตุหายาก

(4) *แกรนิตชุมพร (Chumporn Granite, รูป 2)* เป็นมวลแกรนิตเป็นหย่อมๆ ประมาณ 5-6 แห่ง โดยมีความยาวเฉลี่ยห่างละ 10 กม. วางตัวต่อเนื่องกันขนานไปกับพรมแดนไทย-พม่า และสัมพันธ์กับแหล่งตึบูก-ทังสแตน ซึ่งหิน

แกรนิตส่วนใหญ่เป็นหินแกรนิตไบโอไทต์ แสดงเนื้อดอกมากกว่าเนื้อขนาดเดียว และพอใกล้แหล่งแร่ หินเป็นพวกที่มีทั้งไบโอไทต์และมัสโคไวต์

4. ลักษณะเฉพาะของหินแกรนิตในภาคใต้

ผลการศึกษาวิจัยหินแกรนิตของนักธรณีวิทยาต่างชาติหลายท่าน (เช่น Beckinsale และคณะ, 1979, Cobbing และคณะ, 1996, 1992, Ishihara และคณะ, 2008) รวมทั้งงานวิจัยของนักธรณีวิทยาไทย (เช่น Nakapadungrat, 1982, Charusiri, 1989, Putthapiban, 1984, 2002, Charusiri และคณะ, 1993, และ 2002) ทำให้จำแนกลักษณะทางธรณีเคมี การกำเนิดหินอัคนี (แกรนิต) และการกำหนดอายุหินในภาคใต้ได้เป็นอย่างดี

4.1 ศิลาเคมี (Petrochemistry)

4.1.1 แนวตะวันออก

หินแกรนิตในแนวตะวันออกโดยเฉพาะภาคใต้ของประเทศไทยพบน้อยมาก (รูป 3) โดยเฉพาะที่จังหวัดนราธิวาส ซึ่งผลการศึกษาศิลาเคมีจนถึงปัจจุบัน (ดู Ishihara และคณะ, 1980 & 2008, Nakapadungrat, 1982, Pitfield, 1988, Charusiri, 1989, Cobbing และคณะ, 1992) บ่งบอกว่า หินแกรนิตนราธิวาส เป็นหินแกรนิตที่มีปริมาณ SiO_2 ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 58-70% (เฉลี่ย 65%) และยังคงเป็นหินแกรนิตจริง ๆ (“*sensu stricto*” granite) นอกจากนี้ยังพบหินแกรนิตไดโอไรต์และหินไดโอไรต์ [ที่รวมๆ กันเรียกว่า หินอะดามัลไลต์ (adamellite)] และยังคงจัดอยู่ในจำพวกหินแกรนิตแบบกว้างๆ (“*sensu lato*”

granite) ประมาณ 5 % จากผลธรณีเคมีพบว่า หินแกรนิตในแนวตะวันออกส่วนใหญ่จัดเป็น เมตอลูมินัส (metaluminous) แต่ที่เป็น หินสีจาง (felsic) อาจมี SiO_2 สูงได้ถึง $\pm 70\%$ จัดเป็นพวกเปอร์อลูมินัส (peraluminous) และแทบไม่พบมีสโคไวต์เลย (Cobbing และ คณะ, 1992) ทำให้พอสรุปได้ว่าหินแกรนิต แนวตะวันออกจัดเป็นหินแกรนิตอัคนีหรือ แกรนิตแบบ I (I-type granite) ตามการจำแนก ของ Chappell & White (1974) และจัดเป็น แกรนิตชุดแมกนีไทต์ (magnetite Series granites) ตามการจำแนกของ Ishihara (1977) เพราะมีค่าการซึมซับแม่เหล็ก (magnetic susceptibility) ที่สูงในช่วง 2×10^{-3} SI ใดๆก็ตาม Cobbing และคณะ (1992) ได้จัดให้เป็นหินแกรนิตที่มีปริมาณ K_2O มากกว่า และปริมาณ CaO น้อยกว่าหินแกรนิต คอร์ดิลเลอแรน (Cordilleran-type granite) โดยสรุปว่าหินแกรนิตแนวตะวันออกเกิดจากการมุดตัวของแผ่นสมุทรลงใต้แผ่นทวีปจนเกิดการหลอมละลายบางส่วน (partial melting) กลายเป็นหินหนืดสีเข้ม (mafic magma) ผ่านกระบวนการแยกลำดับส่วน (Magmatic differentiation) จนเกิดเป็นหินแกรนิต เป็นที่น่าสังเกตว่าแนวตะวันออกต่อไปทางใต้ไป เป็นแนวตะวันออกขนาดใหญ่ของมาเลเซีย ซึ่งโดยทั่วไปแกรนิตพวกนี้แสดงอัตราส่วน Sr แรกเริ่ม (initial strontium ratio) ต่ำ (< 0.71) (Putthapiban, 1984) นอกจากนั้นค่าความซึมซับแม่เหล็ก อยู่ในช่วง $0.4-1.01 \times 10^{-3}$ SI ทำให้จัดหินแกรนิตแนวตะวันออกส่วนใหญ่เป็นแกรนิตชุดแมกนีไทต์ (magnetite series) (Ishihara และคณะ, 1980)

4.1.2 แนวกลาง

แนวกลางมักเกิดเป็นหินอัคนีมวลไพศาลขนาดใหญ่ วางตัวเป็นแนวยาว ครอบคลุมชายฝั่งทะเลอ่าวไทยเกือบทั้งหมด และมีลักษณะธรณีเคมีที่เด่นชัด คือมีสีจาง (felsic) มากกว่าแนวตะวันออก โดยมีปริมาณ SiO_2 อยู่ในช่วง 67-77% ส่วนออกไซด์ ของธาตุแอลคาไล (alkali) และแอลคาไลเอิร์ท (alkali earth) ไม่แสดงแนวเป็นเส้นตรงเหมือนของแกรนิตแนวตะวันออก เนื่องจากอิทธิพลของการปนเปื้อนกับเปลือกโลก (crustal contamination) (ดู Charusiri, 1981, Charusiri และคณะ, 1995) นอกจากนั้นปริมาณธาตุร่องรอย (trace element) และธาตุหายากบางตัวมีปริมาณค่อนข้างสูง (เช่น U, Th, Rb, Nb, Ta, Nd และ Sm เป็นต้น) เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของเปลือกโลก ผลการศึกษาพบว่าหินแกรนิตภาคใต้โดยเฉพาะแนวกลางนี้มีการแปรเปลี่ยน (alteration) ที่มากกว่าหินแกรนิตแนวกลางในภาคเหนือ ซึ่งธรณีเคมีของหินแกรนิตแนวกลางในภาคใต้บ่งบอกการกำเนิดมาจากหินแกรนิตตะกอน (S-type, Chappel & White, 1974) หรือแกรนิตชุดอิลเมไนต์ (ilmenite-series granites, Ishihara, 1977) ค่าความซึมซับแม่เหล็กของแนวกลางอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่าของแนวตะวันออกเป็นอย่างมาก คืออยู่ในช่วงประมาณ $0.01-0.19 \times 10^{-3}$ SI ยกเว้นหินแกรนิตปะนาเระ (บ้านบาตะทุโบ) ที่มีค่าความซึมซับค่อนข้างสูง คือประมาณ $0.05-3.40 \times 10^{-3}$ SI (Ishihara และคณะ, 1980) สำหรับหินแกรนิตแนวกลางมักมีอัตราส่วน Sr แรกเริ่ม (initial Sr ratio) ค่อนข้างสูง คือโดยทั่วไปสูงกว่า 0.72 และอาจสูงถึง 0.74 (Putthapiban, 1984)

4.1.3 แนวตะวันตก

หินแกรนิตในแนวตะวันตกมักมีอัตราส่วน Sr แรกเริ่มค่อนข้างสูงและโดยทั่วไปสูงกว่า 0.72 โดยเฉพาะที่ เขาโต๊ะแชะ อ.เมือง จ.ภูเก็ตซึ่งมีค่าประมาณ 0.74 อย่างไรก็ตาม มีหินแกรนิตบางแห่ง เช่นแกรนิตเขาประทิว พบว่ามีอัตราส่วน Sr แรกเริ่มค่อนข้างต่ำกว่า คือประมาณ 0.7144 (Putthapiban, 1984) ดังนั้นโดยทั่วไปหินแกรนิตอันดามันแถบตะวันตกจึงมีอัตราส่วน Sr แรกเริ่มค่อนข้างต่ำคือ มีปริมาณ SiO_2 ประมาณ 69-72% และประมาณ K_2O โดยเฉลี่ยมากกว่า 5% และ Na_2O ประมาณ 3-3.2% และธรณีเคมีของธาตุร่องรอยและธาตุหายากบางตัวบ่งบอกว่าหินแกรนิตแนวตะวันตกส่วนใหญ่จัดเป็นแกรนิตตะกอน (S-type granite) ซึ่งมักมีอัตราส่วน Sr แรกเริ่มที่สูง >0.71 และเป็นหินมอนโซแกรนิตจำพวกเมตอลูมินัส-ซัลแอลคาไล (metaluminous-subalkali monzogranite) จนถึงเปอร์อลูมินัส แอลคาไล แคลลซิก (peraluminous alkali-calcic) และมีกำเนิดมาจากการหลอมละลายบางส่วนของหินตะกอนหรือหินแกรนิตจากเปลือกโลกทวีป (Putthapiban, 1984)

อย่างไรก็ตาม แกรนิตแนวตะวันตกบางบริเวณพบหินแกรนิตอัคนี (I-type) และชุดแมกนีไทต์ ได้เช่นกัน เช่นแกรนิตเขาพนมเบญจา (กระบี่), แกรนิตเขาประทิว (ภูเก็ต), และแกรนิตอ่าวในยาง (ภูเก็ต) เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินแกรนิตฮอร์นเบลนด์-ไบโอไทต์ที่มีสฟีน นอกจากนั้นยังมีปริมาณ SiO_2 , Fe_2O_3 , และ CaO โดยเฉลี่ยมากกว่าแกรนิตแนวตะวันตกที่อื่น ส่วนธาตุร่องรอยและธาตุหายากบางตัวบ่งบอกความเป็นหิน

แกรนิตอัคนี (I-type) ชัดเจน โดยหินแกรนิตดังกล่าวยังแสดงการแปรเปลี่ยน (alteration) ที่รุนแรงน้อยกว่าแกรนิตแนวตะวันตกที่อื่นด้วย (Charusiri และคณะ, 1993) สำหรับค่าความซึมซับแม่เหล็กของหินแกรนิตแนวตะวันตกโดยทั่วไปใกล้เคียงกับหินแกรนิตแนวกลางคือค่อนข้างต่ำ ประมาณ $0.09-0.18 \times 10^{-3}$ SI ทำให้จัดหินแกรนิตแนวตะวันตกนี้เป็นชุดอิลเมไนต์ (Ilmenite series) ยกเว้นเพียงบางแห่งที่ค่าความซึมซับแม่เหล็กค่อนข้างสูง คือแกรนิตประทิว ($\sim 4.02-17.9 \times 10^{-3}$ SI) และแกรนิตอ่าวในยาง ($\sim 4.0-5.7 \times 10^{-3}$ SI) ซึ่งจัดเป็นแกรนิตชุดแมกนีไทต์ (Ishihara และคณะ, 1980)

4.2 อายุหินแกรนิต (Ages of Granites)

หินแกรนิตในภาคใต้เป็นหินที่ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากในหลายพื้นที่หินมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับแหล่งแร่ดีบุก-ทังสแตน (Ishihara และคณะ, 1980, Nakapadungrat และคณะ, 1988) ผลการศึกษานี้จึงเน้นไปที่อายุและการกำเนิดแหล่งแร่และหินแกรนิต ซึ่งการหาอายุในอดีตมีหลายวิธี เช่น K-Ar (ดู Burton & Bignell, 1969), $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Charusiri, 1989, Charusiri, และคณะ, 1993), และ Rb-Sr (ดู Nakapadungrat, 1982, Putthapiban, 1984) และในปัจจุบันได้เน้นไปที่การหาอายุหินแกรนิตโดยวิธี U-Pb (Kanchanapayont และคณะ, 2012, Searle และคณะ, 2012, Kawakami และคณะ, 2014) และในการศึกษานี้ได้เน้นเฉพาะที่ได้จากวิธี U-Pb เป็นหลัก

4.2.1 แกรนิตแนวตะวันออก

Ishihara และคณะ (1980) ได้รายงาน

อายุหินแกรนิตแนวตะวันออกจากแกรนิตสุคีริน และแกรนิตตันหยงโดยวิธี K-Ar จากไบโอไทต์ ว่ามีอายุประมาณ 224 ± 4 ล้านปี (สุคีริน) และ 206 ± 6 ล้านปี (ตันหยง) ตามลำดับ คือปลายยุค ไทรแอสซิก อย่างไรก็ตามแนวตะวันออก เมื่อต่อเลยไปทางใต้ในภาคเหนือคาบสมุทรมมาเลย์ และจากการรวบรวมข้อมูลพบว่า แกรนิตแนวนี้ในมาเลเซีย อายุประมาณ 236 ± 1 และ 222 ± 2 ล้านปี โดยวิธี U-Pb จากเซอร์-คอนในหินแกรนิตโนริงสตรง (Noring Stong granite; Ng และคณะ, 2015) และแกรนิตเบนนม (Benom granite, Ng และคณะ, 2015 ตามลำดับ) ทำให้เชื่อว่าอายุที่เป็นไปได้มาก สำหรับแกรนิตสุคีรินและแกรนิตตันหยงใน จ.นราธิวาส น่าจะมีอายุประมาณนี้ คือต้นอนุครนอเรียน (early Norian) หรือ ประมาณกลางถึง ปลายยุคไทรแอสซิก (Middle- - Late Triassic) แนวแกรนิตนี้เมื่อต่อลงไป ทางใต้ของมาเลเซีย ที่เกาะปีซาร์ (Besar) รัฐยะโฮร์ (Johor) Ghani และคณะ (2014) ได้กำหนดอายุเฉลี่ยของ หินแกรนิตน้ำน้อย (anhydrous หรือ A-type granite) จากเซอร์-คอนด้วยวิธี U-Pb ได้เป็น 280.9 ± 2.3 ล้านปี (กลางยุคเพอร์เมียน)

4.2.2 แกรนิตแนวกลาง

แกรนิตแนวกลางได้รับความสนใจและมีการศึกษาด้านอายุมากกว่าแกรนิตแนวตะวันออก เพราะมีพื้นที่ในการกระจายตัวของ หินมากกว่า และส่วนใหญ่สัมพันธ์กับแร่ดีบุก ซึ่งเริ่มต้นโดย Pitakpaiwan (1969) จากหินแกรนิตจาก จ.สงขลา, จ.ตรัง, และ จ.ยะลา ด้วยวิธี K/Ar จากแร่ไมกา และได้อายุประมาณ 171 ± 5 ล้านปี ที่บ้านน้ำน้อย ต.บ้านน้ำน้อย อ.หาดใหญ่ และ 181 ± 6 ล้านปี (Early Jurassic)

ที่เขารูปช้าง ต.เขารูปช้าง อ.เมือง จ.สงขลา

ส่วนหินแกรนิต จ.ตรังและจ.ยะลา ให้อายุ K-Ar เฉลี่ยที่แก่กว่าคือประมาณ 180 ± 5 ล้านปี (Toarcian, Early Jurassic) จากไบโอ-ไทต์ในแกรนิตเขากะช่อง (Kachong) ต.ช่อง อ.นาโยง จ.ตรัง และประมาณ 229 ± 7 ล้านปี (หรือประมาณอนุครนอเรียน-Norian หรือ ประมาณปลายยุคไทรแอสซิก) จากไบโอไทต์ ในหินแกรนิต ที่น้ำตกธารโต (วนอุทยานบางลาง) ต. ถ้ำทะลุ อ. บันนังस्ता จ. ยะลา หลังจากนั้น Ishihara (1980) ได้รายงานอายุหินแกรนิต จากแร่ไมกาในหินแกรนิตด้วยวิธี K-Ar เหมือนกัน โดยที่ (ก) เกาะสมุยได้อายุประมาณ 202 ± 6 ล้านปี, (ข) แกรนิตยอดน้ำ (Yod Nam Granite) ให้อายุอ่อนกว่า คือประมาณ 68 ± 2 ล้านปี (Late Cretaceous), (ค) แกรนิตเขาหลวง (Khao Luang Granite-นครศรีธรรมราช) ได้อายุประมาณ 187 ± 6 ล้านปี (Early Jurassic), (ง) แกรนิตสงขลาที่เหมืองทุ่งโพธิ์ (อ.นาหม่อม จ.สงขลา), (จ) แกรนิตวังพา (Wang Pha Granite) (ต. ทุ่งตำเสา อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา) ให้อายุต้นยุคจูแรสซิก ประมาณ 191 ± 6 ล้านปี จากไบโอไทต์ และ 187 ± 6 ล้านปี จาก มัสโคไวต์, และ (ฉ) แกรนิตรือเสาะ (อ.รือเสาะ จ.นราธิวาส) ให้อายุประมาณ 145 ± 5 ล้านปี (ปลายสุดของยุคจูแรสซิก) จากไบโอไทต์ Ishihara และคณะ (1980) ได้รายงาน ว่าแกรนิตปัตตานีคือแกรนิตกือลอง ต.บ้านกือลอง ต.ตลิ่งชัน อ.บันนังस्ता จ.ยะลา ตรวจหาอายุ โดย K-Ar จากมัสโคไวต์ ได้ประมาณ 52.9 ± 1 ล้านปี (ต้นอนุครนอเรียน) ขณะที่ Pitakpaiwan(1969) พบว่าแกรนิตกือลอง มีอายุเพียง 34 ± 1 ล้านปี (ปลายอนุครนอเรียน)

โดยวิธี K-Ar จากไบโอไทต์ อย่างไรก็ตาม หินแกรนิตแนวกลางนี้เมื่อต่อเลยไปทางมาเลเซีย พบว่าอายุที่ได้จากเซอร์คอนในหินแกรนิต ด้วยวิธี U-Pb พบว่า อยู่ในช่วงอายุประมาณ 230–200 ล้านปี (ปลายยุคไทรแอสซิก) (Ghani, 2000)

4.2.3 แกรนิตแนวตะวันตก

อายุหินแกรนิตแนวตะวันตกหรือแกรนิตอันตามันมักเป็นแบบร่วมสมัย (classical age dating) ได้แก่ Rb-Sr, K-Ar, และ Ar-Ar (ดู Burton & Bignell, 1969, Garson และคณะ, 1975, Beckinsale และคณะ 1979, Beckinsale และ Nakapadungrat, 1981, Putthapiban, 1984, Charusiri และคณะ, 1992)

ที่เกาะภูเก็ต Putthapiban (1984) ได้กำหนดอายุหินแกรนิตได้ประมาณ 74–100 ล้านปีด้วยวิธี Rb-Sr จากหินทั้งก้อน (Rb-Sr wholerock isochron) ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มอายุ 95 ± 5 ล้านปี และกลุ่ม 80 ± 5 ล้านปี (และมีอัตราส่วน Sr แรกเริ่มค่อนข้างสูงมาก ประมาณ 0.714 ถึง 0.7453) ส่วนหินแกรนิตที่กำหนดอายุโดยวิธี K-Ar และ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ จากแร่ไมกาให้อายุที่อ่อนกว่า คือกลุ่มอายุ 70 ± 5 ล้านปี และกลุ่มอายุ 55 ± 5 ล้านปี (ดู Charusiri และคณะ, 1993) สำหรับแกรนิตตะกั่วป่า-พังงา Beckinsale และ Nakapadungrat (1981) กำหนดอายุด้วยวิธี Rb-Sr จากหินทั้งก้อนได้ประมาณ 78 ± 2 ล้านปี (และมีอัตราส่วน Sr แรกเริ่มสูง ~ 0.7346) และที่เขานิม (Khanim หรือ Sanim, ต.ท้ายเหมือง อ.ท้ายเหมือง จ.พังงา) หินแกรนิตหาอายุจากมัสโคไวต์ด้วยวิธี K-Ar ได้ประมาณ 65 ± 2 ล้านปี ขณะที่แกรนิตระนองจากการศึกษาของ Burton & Bignell

(1969) ได้กำหนดอายุหิน ด้วยวิธี K-Ar จากแร่ไมกา ได้อายุ 63 ± 9 ล้านปี ที่น้ำตกหงาว ส่วนที่ อ.เมืองระนองได้อายุ 66 ± 3 และ 73 ± 3 ล้านปี (หรือเฉลี่ยประมาณ 70 ± 5 ล้านปี) ซึ่งสอดคล้องกับ Charusiri และคณะ (1993) ที่หาอายุแกรนิตระนอง ได้ประมาณ 75 ± 5 ล้านปี ด้วยวิธี $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ จากมัสโคไวต์ในหินแกรนิต

อย่างไรก็ตาม หินแกรนิตที่เกาะภูเก็ต ได้ถูกกำหนดใหม่โดยวิธี U-Pb จากเซอร์คอนในหินแกรนิตโดย Searle และคณะ (2012) จากตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง และได้อายุ 2 กลุ่มคือกลุ่มอายุแก่ (214 ± 2 และ 212 ± 3 ล้านปี) และกลุ่มอายุอ่อนได้ (81.2 ± 1.2 และ 80 ± 5 ล้านปี) ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับการรายงานอายุที่แก่มากเป็นครั้งแรก แต่ยังไม่พบรายงานการวิเคราะห์โดยละเอียด เป็นที่น่าสังเกตว่าแกรนิตภูเก็ตที่มีอายุน้อยสอดคล้องกับอายุจาก Rb-Sr จากหินทั้งก้อน และเมื่อเร็วๆ นี้อายุของหินแกรนิตที่เกาะภูเก็ตและพังงาได้ถูกนำเสนออย่างไม่เป็นทางการ โดย Sritangsirikul (2023) ซึ่งผลการหาอายุด้วยวิธี U-Pb จาก เซอร์คอนพบว่าส่วนใหญ่มีอายุในช่วง 80 – 55 ล้านปี

นอกจากนั้นหินแกรนิตบางสะพาน จ.ประจวบคีรีขันธ์ สามารถกำหนดอายุจากเซอร์คอนด้วยวิธี U-Pb ได้ประมาณ 76.26 ± 0.82 ล้านปี (ปลายยุคครีเตเชียส) โดย Dew และคณะ (2012) และหินแกรนิตใกล้เคียงกับบ่อน้ำร้อนพรรั้ง (บ.พรรั้ง ต.บางรีน อ.เมืองระนอง) หาอายุด้วยวิธี U-Pb ได้ประมาณ 81.4 ± 1.1 ล้านปี (Dew และคณะ, 2012) ใกล้เคียงกับอายุหินแกรนิตระนอง Charusiri และคณะ (1993)

4.3 ลักษณะเฉพาะของความเข้มข้นมันตรังสี และสภาพการซึมซับแม่เหล็ก

ผลการตรวจวัดลักษณะเฉพาะของหินแกรนิต ซึ่งในที่นี้ได้แก่ ค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็ก และความเข้มข้นมันตรังสีด้วยเครื่องแบบพกพา (portable unit) (ตาราง 1) ของหินแกรนิตจังหวัดภูเก็ต - พังงา พบว่าหินแกรนิตในพื้นที่มีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ค่าความเข้มข้นมันตรังสีโพแทสเซียม (K) ยูเรเนียม (U) และทอเรียม (Th) ของหินแกรนิตไปโอไทด์ อยู่ในช่วงร้อยละ 5.4 – 6.6, 14.0 – 36.4 eppm และ 79.3 – 110.6 eppm ตามลำดับ ค่าความเข้มข้นมันตรังสีโพแทสเซียม (K) ยูเรเนียม (U) และทอเรียม (Th) ของหินแกรนิตไปโอไทด์ - มัสโคไวต์ อยู่ในช่วงร้อยละ 5.0 – 6.2, 19.9 – 28.9 eppm และ 77.4 – 149.0 eppm ตามลำดับ ส่วนค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็กของหินแกรนิตไปโอไทด์ และหินแกรนิตไปโอไทด์ - มัสโคไวต์ อยู่ในช่วง $0.0457 - 0.1182 \times 10^{-3}$ SI และ $0.0159 - 0.0481 \times 10^{-3}$ SI ตามลำดับ

สำหรับหินแกรนิตจังหวัดสงขลา - นราธิวาส - ปัตตานี พบว่า หินแกรนิตในพื้นที่มีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ค่าความเข้มข้นมันตรังสีโพแทสเซียม (K) ยูเรเนียม (U) และทอเรียม (Th) ของหินแกรนิตไปโอไทด์ อยู่ในช่วงร้อยละ 4.0 – 5.4, 10.3 – 22.7 eppm และ 21.9 – 67.2 eppm ตามลำดับ และค่าความเข้มข้นมันตรังสีโพแทสเซียม (K) ยูเรเนียม (U) และทอเรียม (Th) ของหินแกรนิตไปโอไทด์ - มัสโคไวต์ อยู่ในช่วงร้อยละ 3.6 – 7.5, 11.4 – 26.9 eppm และ 15.8 – 52.5 eppm ตามลำดับ ส่วนค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็ก

ของหินแกรนิตไปโอไทด์ และหินแกรนิตไปโอไทด์ - มัสโคไวต์ อยู่ในช่วง $0.0568 - 0.1021 \times 10^{-3}$ SI และ $0.0231 - 0.0977 \times 10^{-3}$ SI ตามลำดับ

ผลการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของหินแกรนิตทั้งสองชนิดในพื้นที่จังหวัดภูเก็ต - พังงา ซึ่งอยู่ในหินแกรนิตแนวตะวันตก ทำให้ทราบว่าหินแกรนิตไปโอไทด์ - มัสโคไวต์ เมื่อค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็กมากขึ้น ค่าความเข้มข้นมันตรังสีโพแทสเซียมจะเพิ่มขึ้น และค่าความเข้มข้นมันตรังสีทอเรียมต่อยูเรเนียมจะเพิ่มขึ้นเช่นกัน ส่วนหินแกรนิตไปโอไทด์ ค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็กมีความสัมพันธ์ค่อนข้างคงที่กับค่าความเข้มข้นมันตรังสีโพแทสเซียม และเมื่อค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็กมากขึ้น ค่าความเข้มข้นมันตรังสีทอเรียมต่อยูเรเนียมจะเพิ่มขึ้น (รูป 4ก และรูป 4ข)

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเฉพาะของหินแกรนิตทั้งสองชนิดในพื้นที่จังหวัดจังหวัดสงขลา - นราธิวาส - ปัตตานี ซึ่งอยู่ในหินแกรนิตแนวกลาง ทำให้ทราบว่า หินแกรนิตไปโอไทด์ - มัสโคไวต์ เมื่อค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็กมากขึ้น ค่าความเข้มข้นมันตรังสีโพแทสเซียมจะเพิ่มขึ้น และ ค่าความเข้มข้นมันตรังสีทอเรียมต่อ ยูเรเนียมจะเพิ่มขึ้น ส่วนหินแกรนิตไปโอไทด์ เมื่อค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็กเพิ่มขึ้น ค่าความเข้มข้นมันตรังสีโพแทสเซียมจะลดลง และ ค่าความเข้มข้นมันตรังสีทอเรียมต่อ ยูเรเนียมจะลดลง (รูป 4ค และรูป 4ง)

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะเฉพาะของหินแกรนิตไปโอไทด์ ในพื้นที่จังหวัดสงขลา - นราธิวาส - ปัตตานี ซึ่งอยู่ในหินแกรนิตแนวตะวันออก ทำให้ทราบว่าค่าสภาพ

การซึมซับแม่เหล็ก มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าความเข้มกัมมันตรังสีโพแทสเซียม แต่มีความสัมพันธ์เชิงลบกับค่าความเข้มกัมมันตรังสีทอเรียมต่อยูเรเนียม (รูป 4จ และรูป 4ด)

5. แนวแร่ ธรณีวิทยาแหล่งแร่ และการกำเนิด

การเกิดแหล่งแร่หลายแหล่งมีความสัมพันธ์กับหินแกรนิตบางชนิด (Hutchison, 1977, Park, 1985, Charusiri และคณะ, 1993) ซึ่งความสัมพันธ์และรูปแบบการเกิดแหล่งแร่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ให้ได้ให้รายละเอียดไว้โดย Hutchison & Taylor (1978), Cobbing และคณะ (1986, 1992), Pitfield (1988) และ Khin Zaw และคณะ (2014) ส่วนในประเทศไทย แหล่งแร่ส่วนใหญ่มักสัมพันธ์ใกล้ชิดกับหินแกรนิต สำหรับเอกสารที่รวบรวมได้เกี่ยวกับแหล่งแร่ดีบุกและแร่อื่นๆ ในไทยคือ ไพรัช ศุทธากรณ์ (2543) และ Crow & Khin Zaw (2011) โดยเฉพาะในช่วงการเกิดแหล่งแร่ในมหายุคมีซอ-อิมิซิวิน (Mesozoic) และนวยิวิน (Cenozoic) ส่วนที่เกี่ยวข้องกับแหล่งแร่ธาตุหายากที่สำคัญ ได้แก่ งานของ Imai และคณะ (2012) และ Sanematsu และคณะ (2011)

5.1 เขตแร่แนวตะวันออก

แหล่งแร่แนวตะวันออกไม่สามารถแบ่งเป็นแนวย่อยเหมือนแหล่งแร่แนวอื่น ๆ ในที่นี้จึงแบ่งออกตามชนิดแร่เป็น 4 แหล่ง ดังนี้

ผลการศึกษาแกรนิตแนวตะวันออกของ Jacobson และคณะ (1969), Shawe (1984), Charusiri (1989) และ Charusiri (1993) พอสรุปในภาพรวมๆ ได้ว่าในพื้นที่ภาคใต้ หินแกรนิตแนวตะวันออกเป็นหินอะดามัลไลต์ (adamellite)-ลิวโคแกรนิต (leuco-

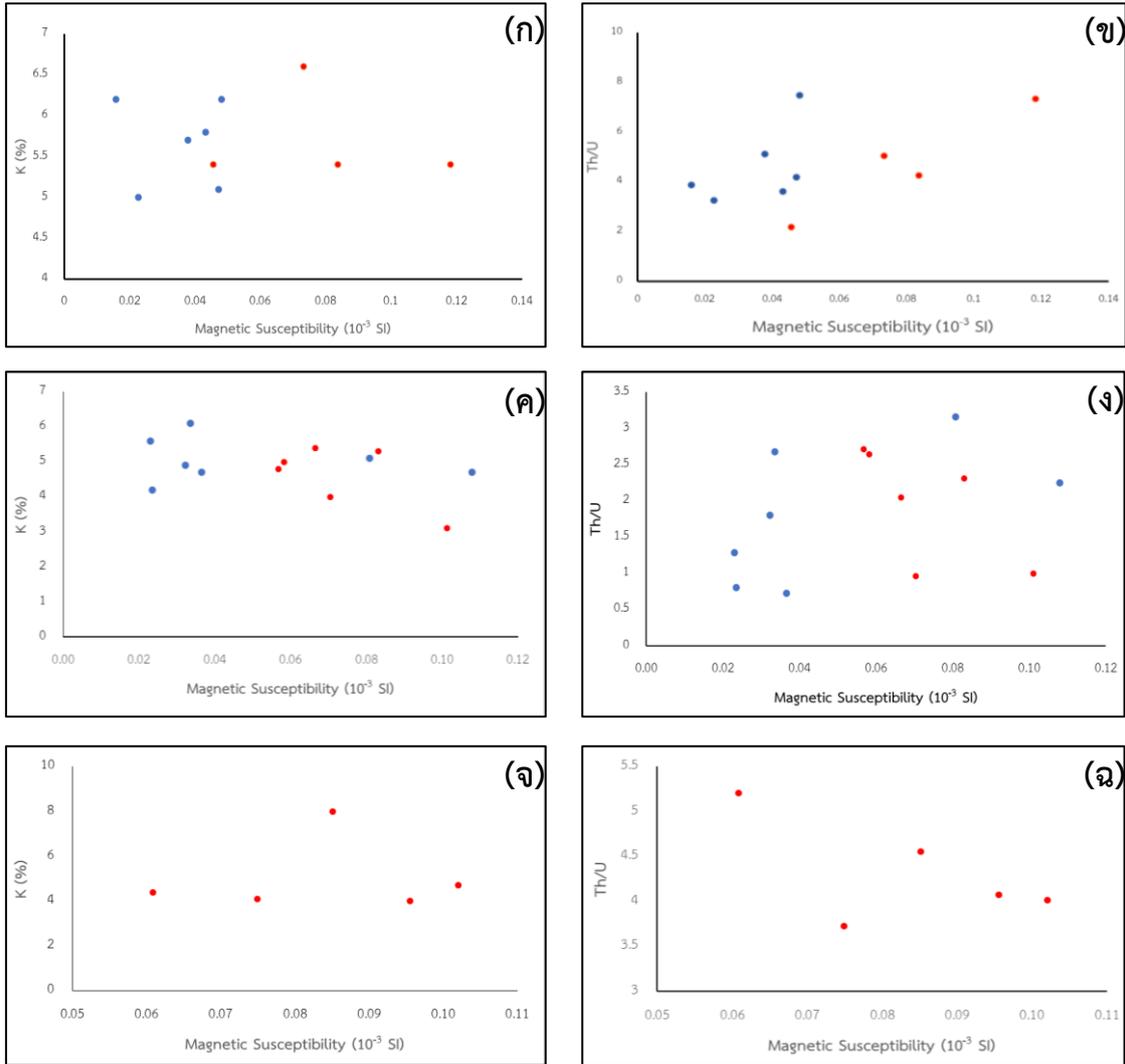
-granite) ประเภทแกรนิตอค์นี (I-type) และชุดแมกนีไทต์ที่มีค่าความซึมซับแม่เหล็กค่อนข้างสูงกว่าแกรนิตแนวอื่น ๆ ในพื้นที่ศึกษา จึงสัมพันธ์กับแหล่งแร่ที่ไม่เกี่ยวข้องกับแร่ดีบุก บางครั้งจึงเรียกว่าหินแกรนิตไร้ดีบุก (tin-barren granite, ดู Pitakpaiwan, 1969) ที่มีส่วนสัมพันธ์กับแหล่งแร่สำคัญๆ อย่างอื่น ได้แก่ แหล่งทองคำ แหล่งดินขาว และแหล่งแมงกานีส

(1) แหล่งทองคำ แหล่งทองคำที่สำคัญในแนวตะวันออกมี 2 แหล่งคือ แหล่งบ้านโตะโม๊ะ (ต.โตะโม๊ะ อ.โตะโม๊ะ จ.นราธิวาส) และแหล่งไถกาเปาะ (เหมืองฉืด ต.ภูเขาทอง อ.สุคีริน จ. นราธิวาส) ซึ่งทางเหนือของแหล่งโตะโม๊ะมีปริมาณแร่สำรองจากทั้งสองแหล่งรวมกันประมาณ 5 เมตริกตัน (กรมทรัพยากรธรณี, 2559) แหล่งแร่โตะโม๊ะพบทองคำเกิดในสายควอตซ์ ซึ่งหนา 5 ซม. ถึง 2.2 เมตร วางตัวในแนวเหนือ-ใต้ และเอียงเทไป ทิศตะวันออก (15°- 45°) ความสมบูรณ์ ประมาณ 7 กรัม/ตัน ตัดเข้าไปในหินแกรนิต-แกรโนไดโอไรต์ และหินแกรนิตขาว สายแร่ ส่วนใหญ่เกิดตามแนวรอยเลื่อนในแนวเหนือ-ใต้ โดยที่หินแกรนิตตัดเข้าไปในหินซีสต์-หินฟิลไลต์ อายุมหายุคปฐมซีวินตอนกลาง (หรือพาลีโอโซอิคตอนกลาง-Middle Paleozoic)

(2) แหล่งดินขาว ดินขาวที่สำคัญ คือ ดินขาว นราธิวาส เป็นดินขาวเซรามิก คุณภาพดีที่เกิด จากหินแกรโนไดโอไรต์(หรือหินอะดามัลไลต์) ซึ่งเป็นผลจากการผุพัง และการกร่อนที่สูงทำให้เกิดแหล่งแร่ดินขาวศักยภาพสูงที่แผ่ตัวกว้างขวางอย่างน้อย 4 แห่งที่สำคัญ (ธงชัย พึ่งรัศมี, 2527) คือ (ก) ดินขาว

สุโขทัย ซึ่งมีพื้นที่ศักยภาพที่ยาวรวมประมาณเกือบ 20 กม และกว้าง ประมาณ 5 กม. ซึ่งดินขาวสุโขทัยเป็นดินขาวจากหินแกรนิตที่ผุอยู่กับที่ (In-situ deposits) และที่ถูกพัดสะสมตัวในที่ลุ่ม (transported deposits) จัดเป็นดินขาวคุณภาพดีที่หนาถึง 3-4 เมตร ลึกจากผิวดิน 2-2.5 เมตร พบในเขต

ต.สุโขทัย ต.ปะลัญ และต.โตะเต็ง อ.สุโขทัย และ ต.มะรือโบออก อ.เจาะไอร้อง เนื้อที่รวม 54 ตร.กม คิดเป็นปริมาณสำรองถึง 102 ล้านตัน ซึ่งมีโรงล้างดินที่ กม.33 เส้นทางนราธิวาส-สุโขทัย และพบหินแกรนิตใกล้ที่สุดที่ กม. 27 และ กม. 43 ซึ่งเป็นหินไบโอไทต์-ฮอร์นเบลนด์แกรนิต, (ข) ดินขาวจวบ อยู่ที่



● biotite-muscovite granite ● biotite granite

รูปที่ 4: (ก - ข) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็กกับค่าความเข้มข้นมันตรังสีโพแทสเซียมและค่าความเข้มข้นมันตรังสีทอเรียมต่อยูเรเนียมของหินแกรนิตแนวตะวันตก พื้นที่ภูเก็ด - พังงา, (ค - ง) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็กกับค่าความเข้มข้นมันตรังสีโพแทสเซียมและค่าความเข้มข้นมันตรังสีทอเรียมต่อยูเรเนียมของหินแกรนิตแนวกลาง พื้นที่สงขลา - นราธิวาส - ปัตตานี, และ (จ - ฉ) กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็กกับค่าความเข้มข้นมันตรังสีโพแทสเซียมและค่าความเข้มข้นมันตรังสีทอเรียมต่อยูเรเนียมของหินแกรนิตแนวตะวันออก พื้นที่สงขลา - นราธิวาส - ปัตตานี

ตาราง 1 ค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็กและค่าความเข้มข้นของกัมมันตรังสีของหินแกรนิต ในเขตพื้นที่ภูเก็ต-พังงา และพื้นที่สงขลา - นราธิวาส - ปัตตานี

	หินแกรนิตไปโอไทต์			หินแกรนิตไปโอไทต์ - มัสโคไวต์		
	ค่ามากที่สุด	ค่าน้อยสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่ามากที่สุด	ค่าน้อยสุด	ค่าเฉลี่ย
ภูเก็ต - พังงา						
ค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็ก ($\times 10^{-3}$ SI)	0.1182	0.0457	0.1605	0.0481	0.0159	0.0358
ความเข้มข้นกัมมันตรังสี						
- %K	6.6	5.4	5.7	6.2	5.0	5.7
- U eppm	36.4	14.0	23.2	28.9	19.9	24.1
- Th eppm	110.6	79.3	95.0	149.0	77.4	107.2
สงขลา - นราธิวาส - ปัตตานี						
ค่าสภาพการซึมซับแม่เหล็ก ($\times 10^{-3}$ SI)	0.1021	0.0568	0.0743	0.0977	0.0231	0.0440
ความเข้มข้นกัมมันตรังสี						
- %K	5.4	4.0	4.6	7.5	3.6	5.2
- U eppm	22.7	10.3	15.3	26.9	11.4	19.1
- Th eppm	67.2	21.9	44.1	52.5	15.8	29.3

หมายเหตุ: รายละเอียดและข้อมูลตัวอย่างหินแกรนิตที่เก็บ สถานที่เก็บ และลักษณะเฉพาะของหินได้แสดงไว้ในภาคผนวก (ตาราง ก และ ข) ใน เว็บไซต์ของ Thai Geoscience Journal

ต.จวบ และ ต.มะรือโบออก อ.เจาะไอร้อง, ต.บางปอ อ.เมือง, และ ต.ตันหยงลิม อ.ระแงะ จ.นราธิวาส เนื้อที่รวม 48 ตารางกิโลเมตร ชั้นดินขาวหนา 0.5 เมตร (ลึก 0.5-1 เมตร จากผิวดิน) จัดเป็นดินที่มีเหล็กสูง ทำให้คุณภาพไม่ดี คิดเป็นปริมาณสำรอง 90 ล้านตัน, (ค) ดินขาวยี่งอ พบที่ ต.ยี่งอ - ต.ละหาร อ.ยี่งอ, ต.มะนังยางอ อ.เมือง, และ ต.ตันหยงมัส - ต.เฉลิม อ.ระแงะ จ.นราธิวาส โดยดินขาวหนาอย่างน้อย 3 เมตร อยู่ลึกจากผิวดิน 0.5-1.5 เมตร จัดเป็นดินขาว ทุติยภูมิ แต่คุณภาพไม่ดี

เนื่องจากมีแร่ไมกา และเหล็กปน, และ (ง) ดินขาวตะปอเยาะ อยู่ที่ ต.ตะปอเยาะ - ต.ลุ่มบือชา อ.ยี่งอ และ ต.ลุ่มบือชา อ.บาเจาะ เนื้อที่ 18.5 ตร.กม. ดินขาวทุติยภูมิหนา 3 เมตรจากผิวดิน 0.3-1.5 เมตร เป็นดินขาวเกิดในที่ราบจากหินแกรนิต อ.ยี่งอ และ อ.ระแงะ

(3) แหล่งโครไมต์ ตัวแหล่งแร่ไม่ได้เกิดสัมพันธ์กับหินแกรนิตโดยตรง แต่แหล่งโครไมต์พบสะสมตัวระหว่างแกรนิตหรือเสาะกับแกรนิตตันหยง ซึ่งต่อเลยจากแหล่งทองคำ ขึ้นไปทาง

เหนือ โดยมีพื้นที่ศักยภาพแร่ที่สำคัญ 2 แร่คือโครไมต์และแร่แมงกานีส โดยที่แหล่งโครไมต์วางตัวต่อเนื่องกันในแนวเหนือ-ใต้ของเขาบุกิตบือมาตอ (ต.มาโมง อ.แว้ง จ.นราธิวาส) และต่อเนื่องไปทางฝั่งด้านใต้ทางฝั่งตะวันตกของแม่น้ำสายบุรี ในเขต ต.ช้างเผือก อ.จะนะ และพบว่าโครไมต์มักเกิดเป็นกะเปาะ (podiform) ในหินอัครีซีซึมจัดจำพวกเพริโดไทต์ เซอร์เพนทีน (serpentinized peridotite) ยุคเพอร์โม-โทรแอสซิกที่แทรกดันเข้าไปในหิน แปรเกรดต่ำ (low-grade metamorphism) (หินชนวน-หินฟิลไลต์) อายุมหายุคปฐมซีวินตอนปลาย (หรือพาลีโอโซอิกตอนปลาย- Late Paleozoic) โดยมีโครงสร้างของแหล่งโครไมต์ วางตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตก เฉียงใต้ (N25°E) และมีความยาวเฉลี่ย ไม่น้อยกว่า 800 เมตร โดยมีโครไมต์ อยู่ลึกจากผิวดิน 2 เมตร และหนา 10 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ 2.6 ตร.กม. คาดว่าน่าจะมีปริมาณสำรอง 2,000 เมตริกตัน

(4) แหล่งแมงกานีส แหล่งแร่นี้ปรากฏตามแนวตะวันออกเป็นส่วนใหญ่ และกระจายตัวอยู่ทางใต้ของแหล่งโครไมต์นราธิวาส โดยพบที่ ต.ช้างเผือก อ.จะนะ ในอดีตจัดเป็นแหล่งแมงกานีสเกรดแบตเตอรี่ (ที่มี $MnO_2 \geq 75\%$) (Muenlek และคณะ, 1985) และต่อมาความสมบูรณ์ลดต่ำลง ($\leq 65\%$) และผลิตได้มากกว่า 1,000 ตัน ในช่วงปี 2540-2546 แร่แมงกานีสที่สำคัญ คือ ไฮโลมิเลน [psilomelane - $Mn_5O_{10}(Ba,H_2O)_2$] สีดำแข็งและไรโดไนต์ [rhodonites (Mn, Fe, Mg, Ca) SiO_3] สีชมพู

มีเหล็กสูง โดยแร่เหล่านี้พบอยู่ในสายแร่ควอตซ์ที่ตัดเข้าไปในหินฟิลไลต์-หินชีสต์ของหมวดหินบ้านโต (Muenlek และคณะ, 1985) ที่อายุประมาณยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน โดยมีพื้นที่ศักยภาพแร่ ปกคลุมเนื้อที่รวม 3 ตร.กม. และมีปริมาณ สำรอง 2,000 ตัน อนึ่ง พื้นที่ศักยภาพแร่ แมงกานีส โดยกรมทรัพยากรธรณี (2559) ได้สรุปว่ามี 4 แหล่ง ได้แก่ (ก) แหล่งคลองไอร์ ตลอปือซือ (1.36 ตร.กม.) ปริมาณสำรอง 800 ตัน, (ข) บ้านเหมือง (0.46 ตร.กม.) ปริมาณสำรอง 400 ตัน, (ค) แหล่งคลองกือซา (0.54 ตร.กม.) ปริมาณสำรอง 400 ตัน, และ (ง) แหล่งบ้านช้างเผือก (0.64 ตร.กม.) 300 ตัน นอกจากนี้ ยังมีที่แหล่งท่าธง อ.รามัน จ.ยะลา และแหล่งบ้านปาโอน ต.เทพา อ.เทพา จ.สงขลา ที่มีปริมาณสำรองรวม 2 หมื่นตัน

5.2 เขตแร่แนวกลาง

แกรนิตแนวกลางมักให้กำเนิดดีบุก-ทังสแตนและแร่ธาตุหายากเป็นส่วนใหญ่ และแบ่งย่อยเป็น 3 แนว โดยที่ทุกแนววางตัวในแนวเหนือ-ใต้ ได้แก่ (ก) แนวนราธิวาสทางตะวันออก (100 กม.) (ข) แนวสงขลา-ยะลาทางตอนกลาง (200 กม.) และ (ค) แนวสุราษฎร์-สตูลทางตะวันตก (350 กม.)

(1) แนวแร่นราธิวาสจัดเป็นแหล่ง กำเนิดแร่ดีบุกในสายแร่ควอตซ์, ไกรเซน (greisens), และสายเพกมาไทต์ (pegmatite) ซึ่งอยู่ทางตะวันตกของแกรนิตนราธิวาส (ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินไปโอไทต์-แกรนิตเนื้อดอก) แร่หนักที่เกิดร่วมกับดีบุก เช่น

อิลเมไนต์, รูไทล์, ไนโอเบียม-แทนทาลัม (Nb-Ta, rutite), วุลแฟรมไมต์, โคลัมไบต์-แทนทาลอไซด์, โมนาไซต์ และเซอร์คอน เป็นต้น แต่ในบางแห่งก็พบแร่ ซัลไฟด์บ้าง เช่นกาสินา และสฟาเลอไรต์ (ดู Praditwan, 1988) สรุปว่ารูปแบบการเกิดแร่ หนักและดีบุก-ทังสแตน ในแนวธรณีวิทยาคล้ายๆ กับแกรนิต แนวตะวันตก กรมทรัพยากรธรณี (2559) ได้ประเมินปริมาณทรัพยากรดีบุกในแนวนี้ว่าน่าจะมีประมาณ 3.31 ล้านตัน

(2) *แนวแร่สงขลา-ยะลา* ส่วนใหญ่เป็นแนวแร่ปฐมภูมิที่สัมพันธ์กับหินแกรนิตไบโอไทต์-มัสโคไวต์ ซึ่งกำหนดอายุประมาณยุคจูแรสซิก โดยสินแร่ดีบุกเกิดในสายแร่ควอตซ์ และอยู่ในสายเพกมาไทต์-แอพลอไซด์และสายแร่ดีบุกไกรเซน (tin greisens) ซึ่งเกิดร่วมกับเพื่อนแร่อื่น ๆ เช่น ทังมาลีนและไพไรต์ แต่ส่วนใหญ่แหล่งดีบุกที่สำคัญมักสะสมตัวแบบทุติยภูมิ โดยมีแหล่งแร่ที่สำคัญในอดีต ได้แก่ (ก) แหล่งวังพา ทางตะวันตกของ อ.หาดใหญ่ พบวุลแฟรมเป็นส่วนใหญ่และดีบุกรองลงมา, (ข) แหล่งทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมิ้น (อ.นาหม่อม จ.สงขลา), สำหรับแถบจังหวัดยะลาโดยเฉพาะ (ค) กลุ่มเหมืองปินเยาะ ที่ ต.ถ้ำทะลุ อ.บันนังสตา (เช่น แหล่งถ้ำทะลุ, ลาโบ, และยูโร-ไทย) โดยหินแกรนิตฮอร์นเบลนด์-ไบโอไทต์แทรกดันหินปูนที่สลับกับหินดินดานอายุเพอร์เมียน และทำให้เกิดเขตแปรสภาพที่ห่างจากขอบหินแกรนิตถึง 50 เมตร และพบแร่ดีบุกที่ส่วนใหญ่เป็นมาลาไธต์ [malayaite-CaSnO(SiO₄), ดู

Charusiri และ Charusiri, 1990] เกิดทั่วไปร่วมกับกาสินา, ไพไรต์, คาลโคไพไรต์, อาร์เซนไพไรต์, และแมกนีไทต์ ที่ถ้ำทะลุตัวสินแร่สลายตัวกลายเป็นกอสซาน (gossan) หรือสินแร่เกรอะกรัง และพบในบริเวณขอบแปรสัมผัส (contact zone) ที่เหมืองลาบู ต.บะแต อ.ยะหา จ.ยะลา แหล่งดีบุกประกอบด้วยสายแร่ดีบุก-ซัลไฟด์ในแหล่งแร่แบบปฐมภูมิและแหล่งลานแร่โดยดีบุกอยู่กับควอตซ์, อาร์เซนไพไรต์, ไพไรต์, กาสินาและสฟาเลอไรต์ ส่วนแหล่งแร่แปรสภาพมักมีดีบุกเกิดร่วมกับแคลไซต์, เอพิโดต, ไพไรต์, และอาร์เซนไพไรต์ การกระจายตัวของแหล่งดีบุกเป็นแนวยาวไปจนถึง อ.เบตง จ.ยะลา แหล่งอัยเยอร์เวง ที่เป็นเหมืองฉืดตามหินแกรนิตที่สัมผัสกับหินฟิลไลต์-ควอตไซต์อายุไซลูเรียน-ดีโวเนียน และเคยผลิตดีบุกได้เดือนละ 50 - 80 ตัน (ไพรัช สุทธากรณ์, 2543)

(3) *แนวแร่สุราษฎร์ธานี-สตูล* เป็นแนวแร่ที่เกิดอยู่ในบริเวณรอบและขอบแกรนิตเขาหลวง ซึ่งเป็นหินแกรนิตไบโอไทต์-มัสโคไวต์ ส่วนใหญ่ดีบุกเกิดอยู่ในสายไกรเซนและสายแร่ควอตซ์ นอกจากนั้นยังพบโทแพซ, ฟลูออไรต์, อะพาไทต์, และทังมาลีนในสายไกรเซน ในอดีตแนวนี้พบแหล่งดีบุกมากมาย (Praditwan, 1988) แต่ปัจจุบันพบเห็นเป็นแค่ร่องรอยการทำเหมืองเท่านั้น อย่างไรก็ตาม รัชชชัย เชื้ออhellาวานิช และคณะ (2558) ได้รายงานว่า พื้นที่แถบ อ.ไชยา จ.สุราษฎร์ธานี ต่อเลยไปจนถึง อ.พะโต๊ะ จ.ชุมพร น่าจะเป็นแหล่งแร่ธาตุหายากที่สำคัญเนื่องจากพื้นที่ดังกล่าว

เคยเป็นแหล่งดีบุกใหญ่มาก่อน แหล่งแร่ดีบุกที่สำคัญของแนวแร่มี 7 แหล่ง ได้แก่

(ก) แหล่งลิซล (นครศรีธรรมราช) พบอยู่ทาง ตะวันออกเฉียงเหนือของเขาลวง มีรูปแบบการเกิดแหล่งแร่เป็นแบบแปรสัมผัส แทนที่ และแบบฝังปะในหินแกรนิตที่แทรกดัน หินปูนยุคเพอร์เมียน ซึ่งให้ดีบุกเม็ดยาวรี (ยาว 1-3 มม.) และเกิดร่วมกับ ทูรมาลี, การ์เน็ต, ซีไลต์ และไพไรต์ แหล่งดีบุกนี้ ต่อเลยไปทางใต้ ที่มีดีบุกเกิดในสายควอตซ์และไกรเซน (Pradidwan, 1988)

(ข) แหล่งท่าศาลา (นครศรีธรรมราช) ทางตะวันออกของเขาลวงมีทั้งที่เป็นแหล่งดีบุกปฐมภูมิ ซึ่งเป็นสายแร่ดีบุก-วุลแฟรม-ควอตซ์-อาร์ซิโนไฟไรต์ โดยสายแร่นี้ตัดเข้าไปในหิน แกรนิตอีกทีและแหล่งลานแร่,

(ค) แหล่งร้อนพิบูลย์ (นครศรีธรรมราช) ถัดลงมา ทางใต้พบแหล่งแร่ดีบุก-วุลแฟรม-พลวง เกิดใน สายและกะเปาะ ไกรเซน,

(ง) แหล่งฉวาง (นครศรีธรรมราช) ซึ่งดีบุกเกิดในสายแร่ควอตซ์- -พลวง-วุลแฟรม และทางตะวันตกเฉียงเหนือ ของเทือกเขาลวง

(จ) แหล่งนาสาร (สุราษฎร์ธานี) ทางตะวันตกเฉียงใต้เขาลวง แหล่งแร่สการ์นที่พบดีบุกบริเวณใกล้รอยสัมผัส, สายไกรเซน, สายแร่ควอตซ์และในลานแร่ สำหรับแหล่งปฐมภูมิพบสายแร่ตัดเข้าไปในหินตะกอนเนื้อประสมและหินปูนที่เกิดสัมผัสกับหินแกรนิตเปลี่ยนสภาพ (altered granites)

(ฉ) แหล่งโชน (สุราษฎร์ธานี) จัดเป็นแหล่งดีบุกปฐมภูมิ โดยสายแร่เกิดแบบเพกมาไทต์-แอไพลด์ ซับซ้อน (บางบริเวณหนาถึง 12-15 เมตร) ซึ่งเป็นผนังหินแทรกไปตาม

ชั้นฮอร์นเฟลส์ หินปูนที่สัมผัส กับหินแกรนิต แร่ดีบุกที่เหมือนนี้บางเม็ด มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. และเกิดร่วมกับ แร่เพื่อน เช่นทัวร์มาลีน การ์เน็ต อะพาไทต์ และไพไรต์ (Praditwan, 1988), และ

(ซ) แหล่งห้วยยอด (อ.ห้วยยอด จ.ตรัง) เป็นแหล่งดีบุกปฐมภูมิที่มีดีบุกเกิดในหินแกรนิตไปโอไทต์-มัสโคไวต์ ลักษณะแหล่งเป็นสายควอตซ์และสายเพกมาไทต์ รวมทั้งที่เกิดในหินแกรนิตซึ่งถูกแปรเปลี่ยน

5.3 เขตแร่แนวตะวันตก

แหล่งแร่แนวนี้มักเรียกว่า แนวดีบุกด้านตะวันตกของคาบสมุทรไทย (Western Tin-Belt) (ดู Garson และคณะ, 1975) จัดเป็นแนวดีบุกที่ยาวมากและวางตัวในแนวเหนือ-ใต้เหมือนแนวดีบุกแนวอื่นๆ กับแนวฝั่งทะเลด้านตะวันตกของคาบสมุทรไทย (Thailand Peninsula) ครอบคลุมพื้นที่ของจังหวัดภูเก็ต พังงา และระนอง ซึ่งนับว่าในอดีต เคยเป็นแนวแร่ใหญ่ที่สุดของไทยที่สำคัญ ได้แก่ (1) แนวดีบุกเกาะภูเก็ต Praditwan (1985), Charusiri (1989), และ Charusiri และคณะ (1991) ได้รายงานว่าหินแกรนิตภูเก็ต (Phuket Granite) ที่แทรกดันหินตะกอนนิรสถานะ (diamictite) ของกลุ่มแก่งกระจาน มีความสัมพันธ์กับแนวแร่ดีบุกและธาตุหายาก (Sanematsu และคณะ, 2011) โดยเฉพาะหินแกรนิตช่วงหลัง (late-phase granite) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินแกรนิตไปโอไทต์-มัสโคไวต์-ทัวร์มาลีน เพกมาไทต์ และแอไพลด์ (Charusiri,

(1981) และ Suwimonpreecha และ คณะ (1993) เชื่อว่าหินแกรนิตสีจาง (leucocratic granite) เหล่านี้มักแสดงการเกิดสินแร่กรอระกรัง (gossan) หรือไกรเซน (greisenization) ที่แปรเปลี่ยนจากไบโอไทต์ และเฟลด์สปาร์ ไปเป็นควอตซ์ มัสโคไวต์ ทัวร์มาลีน เบริล และโทแพซโดยการทำปฏิกิริยากับน้ำร้อนที่มีฟลูออรีนมากและได้จัดแบ่งการเกิดแหล่งดีบุก เป็น 2 พวก คือปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งในแหล่งปฐมภูมิ ยังแบ่งย่อยออกเป็น 3 พวก ได้แก่

(ก) หินแกรนิตให้ดีบุก (tin-bearing granite) ซึ่งมักเกิดในส่วนยอดของหินแกรนิต (granite cupola) และประเมินว่ามีความสมบูรณ์ ตั้งแต่ 0.05-0.5% SnO₂ โดยมีเพื่อนแร่ที่สำคัญของดีบุกคือ โมนาไซต์, อิลเมไนต์, ไททไนต์ (titanite), อิลมิโนรูไทล์ (ilmenorutile), และการ์เนต ทั้ง Praditwan (1985) และ Charusiri (1991) ได้สรุปว่า หินแกรนิต-อะดามัลไลต์ ไม่ทำให้เกิดเป็นแหล่งแร่ดีบุก

(ข) หินแกรนิตสายร่างแห (granitic stockwork) จากการศึกษาก่อนของ Praditwan (1985) ยังพบว่าแหล่งดีบุกทุติยภูมิมีกัมมันต์กำเนิด จากการผุพังสลายตัวของแกรนิตร่างแห ที่อยู่บริเวณขอบของหินแกรนิตไบโอไทต์ ซึ่งบางครั้งอาจมีระยะแผ่กว้างถึง 2 กม. จากแนวสัมผัสกับหินดินดาน/หินฮอร์นเฟลส์ โดยมีแร่เพื่อนจำพวกซูลเฟรไมต์, ซีไลต์, ไพไรต์, อาร์เซนไพไรต์, ไททไนต์, โคลัมไบต์, อิลมิโนรูไทล์, และทัวร์มาลีน (Praditwan, 1985) และ

(ค) เพกมาไทต์ และแอไฟลด์ ซึ่งบนเกาะภูเก็ตพบแหล่งที่สำคัญคือ เพกมาไทต์ แร่

ไมกา-ทัวร์มาลีน ซึ่งนอกจาก ประกอบด้วย แร่ควอตซ์ และแอลไบต์/โอลิโกเคลสแล้วยังพบแร่ มัสโคไวต์, ทัวร์มาลีน, การ์เนต, โดยมีเพื่อนแร่ รองลงมาคือ ดีบุก อิลเมไนต์ และซูลเฟรไมต์ โดยเฉพาะแหล่ง อ.กระทุ้ง จ.ภูเก็ต และ เพกมาไทต์เลพิโดไลต์ ซึ่งมักประกอบด้วย ควอตซ์, แอลไบต์, เลพิโดไลต์ และมีเพื่อน แร่ได้แก่ ทัวร์มาลีน, มัสโคไวต์, และดีบุก นอกจากนั้นยังพบซีโนไทม์, โมนาไซต์, เซอร์คอน, โทแพซ, การ์เนต (spessartite -เสปสซาไทต์), เบริล, ซูลเฟรไมต์, และ ไมโครไลต์ (microlite - สินแร่แทนทาลัม) (Suwimonprecha และคณะ, 1993)

ในปัจจุบัน ธาตุลิเทียม (Li) มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมผลิตแบตเตอรี่ไฟฟ้า โดยสกัดจากแร่ไมกาที่เรียกเลพิโดไลต์ (lepidolite) ซึ่งนับว่าถูกที่สุด แหล่งลิเทียมที่สำคัญของไทยในปัจจุบันคือเหมืองเรืองเกียรติ-บางอีตุ้มจากการสำรวจของ บริษัท แพนเอเชีย เมตตอลส์ (Pan Asia Metals, 2023) ซึ่งเคยเป็นแหล่งเพกมาไทต์ลิเทียม (lepidolite pegmatite) ผลการสำรวจของ บริษัทเมื่อ พ.ศ. 2563 พบว่าความสมบูรณ์ของ Li₂O สูงถึง 1.56% และบางแห่งมีปริมาณ เลพิโดไลต์ 25-45% ในสายเพกมาไทต์ ซึ่งแร่นี้ให้ Li₂O อยู่ในช่วง 3.5-4.5% โดยแถบนี้เป็นบริเวณเหมืองเก่าที่มีความยาวต่อเนื่องกันเกือบ 10 กิโลเมตร ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ขนานไปกับแนวรอยเลื่อนคลองมะรุ่ยข้อมูลจากการเจาะสำรวจทำให้ทราบว่าแหล่งสายเพกมาไทต์

ลิเทียม อาจมีปริมาณทรัพยากรอยู่ระหว่าง 8-14 ล้านตัน ณ ที่ความสมบูรณ์ลิเทียมออกไซด์ร้อยละ 0.5 -0.8 ยิ่งกว่านั้น ในรายงานของ Garson และคณะ (1975) พบว่าสายเพกมาไทต์ ลิเทียม ที่เหมืองนี้หนาถึง 25 เมตรต่อชั้นไปทางเหนือของเหมืองเรื่องเกียรติประมาณ 140 กม. ในเขตรอยเลื่อนระนอง โดยพบสายเพกมาไทต์เลพิโดไลต์ (lepidolite pegmatite) อีกสายที่ทาง บริษัท แพนเอเชียเมตตอลส์ เรียก “Bang Now” ใน จ.ชุมพร โดยพบหินลอย (float rocks) จากสายเพกมาไทต์ ขนาดใหญ่กว่าก้อนกรวด และได้วิเคราะห์ หาปริมาณ พบว่ามี Li_2O อยู่ในช่วง 0.5-2.2% จากตัวอย่าง 5 ตัวอย่าง (เฉลี่ย 1.78%) และพบว่าตัวอย่าง ตะกอนท้องน้ำ พบ Li_2O 0.22% และ 0.14%

แหล่งทุติยภูมิ ได้แก่ แหล่งตะกอนน้ำพา (alluvial deposits), แหล่งตะกอนเชิงเขา (colluvial deposits), และ แหล่งสะสมตัวอยู่กับที่ (in situ หรือ residual deposits) ผลการสำรวจของคณะผู้เขียนพบว่า ดีบุกมักเกิดร่วมกับเพื่อนแร่อื่นๆ เรียงลำดับดังนี้ อิลเมไนต์, โมนาไซต์, รูไทล์ไนโอเบียม-แทนทาลัม (Nb-Ta rutile), ซีโนไทม์ และรูลแฟรไมต์ น่าสังเกตว่ารูลแฟรไมต์ ซึ่งพบมากเป็นอันดับสองในแหล่งดีบุกปฐมภูมิกลับกลายเป็นแร่เพื่อนที่พบน้อยมากในแหล่งทุติยภูมิ ขณะที่ อิลเมไนต์ มักพบเป็นอันดับต้นๆ ในแหล่งแร่ทุติยภูมิส่วนแมกนีไทต์แทบไม่พบเลย (2) **แนวดีบุก พังงา-ตะกั่วป่า-ระนอง** แนวนี้มีลักษณะการเกิดดีบุกและธาตุหายากคล้ายกับแนวดีบุกภูเก็ต (ดู Imai และคณะ, 2012, ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช และคณะ, 2556, ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช และ ธนัช วัชรมัย, 2560)

แนวย่อยระนองมักพบแร่ดินขาวที่เกิดร่วมกับ ดีบุกด้วย แหล่งปฐมภูมิของแนวแร่นี้ ประกอบด้วยแหล่งดีบุกฝังประในหินแกรนิต, เพกมาไทต์ และสายควอตซ์ โดยมากพบเฉพาะบริเวณยอดและขอบหินแกรนิต เช่นที่หาดส้มแป้น, บ้านบางนอน, และทุ่งคา จ. ระนอง, และ อ.กะปง จ.พังงา ส่วนดีบุกในสายเพกมาไทต์มักพบตัดเข้าไปในหินกลุ่มแก่งกระจานพบที่หาดส้มแป้น จ.ระนอง และพะโต๊ะ จ.ชุมพร อย่างไรก็ตาม แหล่งดีบุกหลายแหล่งยังเป็นแหล่งดินขาวคุณภาพดีที่เกิดการแปรเปลี่ยนหินแกรนิตโดยเฉพาะบริเวณส่วนบนหรือยอดเนื่องจากการแปรเปลี่ยนด้วยอิทธิพลของก๊าซ (pneumatolytic alteration) โดยเฉพาะที่ ต.หาดส้มแป้น อ.เมือง จ.ระนอง นอกจากนั้นยังพบที่เขาระตะควา จ.พังงา ส่วนดีบุกปฐมภูมิพบในสายควอตซ์มัก เกิดร่วมกับวูลแฟรไมต์ในบริเวณเขาระตะควา และเขานางหงส์ (ต.คึกคัก อ.ตะกั่วป่า จ.พังงา) และเหมืองหลัก แหวก (ต.ปากทรง อ.พะโต๊ะ จ.ชุมพร) และเพื่อนแร่อื่นๆ มากมาย เช่น อิลเมไนต์ โมนาไซต์, รูไทล์, ไนโอเบียม-แทนทาลัม (Nb-Ta rutile), ซีโนไทม์ เป็นต้น (Pradidwan, 1986)

6. สรุป

หินแกรนิตในภาคใต้ส่วนใหญ่กระจายตัวในแนวเหนือ-ใต้ และแบ่งออกเป็น 3 แนวคือแนวตะวันตก แนวกลาง และแนวตะวันออก โดยแนวตะวันออกพบไม่มากนักทางใต้สุดติดกับประเทศมาเลเซีย ส่วนแนวกลางและแนวตะวันตกพบเป็นแนวยาวและมักประกอบด้วยหินแกรนิตไบโอไทต์ และหินแกรนิตไบโอไทต์-มัสโคไวต์ ตั้งแต่ยุคจูแรสซิกถึง

ศรีเทเชียส ส่วนใหญ่เกิดจากการหลอม ละลาย บางส่วนจากหินตะกอนที่อะลูมิเนียมสูง ส่วนหิน แกรนิตแนวตะวันออกมักเป็นพวก แกรนิต ฮอร์นเบลนด์-ไบโอไทต์ และหินแกรนิต ไบโอไทต์ หินแกรนิตส่วนใหญ่ในพื้นที่มักมีอายุ ประมาณยุคไทรแอสซิก และเกิดเป็นผลต่อ เนื่องจากการมุดตัวของแผ่นสมุทรลงไปข้างใต้ แผ่นทวีปอินโดจีน โดยสัมพันธ์กับแหล่งแร่ ทองคำ-ทองแดง และแร่โครไมต์ ส่วนแกรนิต แนวกลางและแนวตะวันตกมักเกิดสัมพันธ์กับ แหล่งแร่ ดีบุก-ทังสแตน-แร่ธาตุหายาก ส่วนใหญ่ที่ให้แร่ที่มีอายุประมาณยุคศรีเทเชียส และมักให้ค่าความเข้มข้นแม่เหล็กต่ำกว่าและค่า กัมมันตรังสีรวมที่สูงกว่าแนวตะวันออก

กิจกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการกำเนิดแหล่งแร่และแผนที่การกำเนิดแหล่งแร่ของประเทศไทย (Project on Metallogeny and Metallogenic Map of Thailand) ที่สนับสนุนโดยกรมทรัพยากรธรณี คณะผู้เขียนขอขอบคุณกองทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี โดยเฉพาะ ผอ.กองทรัพยากรแร่ นางสาวกฤตยา ปัทมาลัย และ ผอ.ส่วนมาตรฐาน ดร.ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูลธรณีวิทยาและสนับสนุนงบประมาณการสำรวจ และการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบคุณนักธรณีวิทยาและพนักงาน - เจ้าหน้าที่กองทรัพยากรแร่ทุกคน โดยเฉพาะ นางสาวณัฐริกา หมีสา, นางสาวกานต์พิชชา พุฒศิริ, และนางสาวพิมพ์ลภัส เจริญใจ ที่ช่วยเหลือและจัดหาข้อมูลด้านธรณีวิทยาแหล่งแร่รวมถึงเศรษฐกิจธรณีวิทยาของภาคใต้

เอกสารอ้างอิง

- ธวัชชัย พังศรี (2527) ธรณีวิทยาแหล่งแร่ดีบุกบริเวณทุ่งโพธิ์-ทุ่งขมื่น ถึงอำเภอหนองม่อม จังหวัดสงขลา. รายงานภาค วิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย-ลัยสงขลานครินทร์, 68 หน้า.
- ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช และ ธนัช วัชรมัย (2560) ศักยภาพทรัพยากรธาตุหายากจากพื้นที่หินแกรนิต จังหวัดระนอง. กรุงเทพฯ: สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี, 64 หน้า. สืบค้นจาก <http://library.dmr.go.th/elib/cgi-bin/opacexe.exe?op=mmvw&db=Main&skin=s&mmid=13434&bid=40362> (เมื่อวันที่ 1 พค 2566)
- ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช, ธนัช วัชรมัย, และฐิติวรา อินศรี (2556) งานสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ชั้นรายละเอียด แร่หนัก ธาตุหายาก จังหวัดระนอง. กรุงเทพฯ: สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี, 84 หน้า. สืบค้นจาก https://www.dmr.go.th/wp-content/uploads/2022/10/article_20200910160243.pdf. (เมื่อวันที่ 7 พค 2566)
- ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช, ธนัช วัชรมัย, และ สมคิด ไชยชนะ (2558) การสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ชั้นรายละเอียดแร่หนัก - ธาตุหายาก จังหวัดชุมพร - สุราษฎร์ธานี. กรุงเทพฯ: สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี, 95 หน้า. สืบค้นจาก <http://library.dmr.go.th/elib/cgi-bin/opacexe.exe?op=mmvw&db=Main&skin=s&mmid=5033&bid=30101> (เมื่อวันที่ 10 มีค 2566)
- ปัญญา จารุศิริ, เขียวพันธ์ อำไพพรรณ, Ken-ichiro Hisada, กิตติ ขาววิเศษ (2545) วิวัฒนาการธรณีแปรสัณฐานของประเทศไทย. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T) ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2545, 1-21.
- นราเมศวร์ ชีระรังสิกุล (2517) การจัดการข้อมูลธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีภายใต้โครงการร่วมสำรวจธรณีวิทยาตามแนวชายแดนมาเลเซีย-ไทยโดยใช้ตัวแบบ Big Data: กรณีศึกษาชุดหินแกรนิตกับแหล่งแร่ดีบุก. รายงานการศึกษาส่วนบุคคล หลักสูตรนักบริหารการทูต รุ่นที่ 6 ปี 2557, สถาบันการต่างประเทศเทวะวงศ์วโรปการ กระทรวงการต่างประเทศ, 93 หน้า.
- ไพรัช ศุภธารณ (2543) ธรณีวิทยาแหล่งดีบุกและแหล่งแร่หายากในบริเวณภาคใต้ประเทศไทย. ฝ่ายสำรวจแร่ดีบุกและแร่พลอยใต้ กองเศรษฐกิจธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี. เอกสารเผยแพร่เศรษฐกิจธรณีวิทยา 6/2543, 227 หน้า. สืบค้นได้จาก <http://library.dmr.go.th/elib/cgi-bin/opac>

- exe.exe?op=mmvw&db=Main&skin=s&mmid=4401&bid=1776 (เมื่อ 12 ธันวาคม 2565).
- โพยม อรัณยกานนท์ (2512) การเกิดดินขาวในเทือกหินแกรนิต โดยกรรมวิธีของก๊าซต่างๆ, *ข่าวสารการธรณี* 14 (2), 6-10.
- วรกีจ ขาวจันทร์ และ สันติ ลีวงศ์เจริญ (2549) *ธรณีวิทยาระวางเกาะสมุย 4927 I และระวางอำเภอเกาะสมุย 4928 II*, สำนักธรณีวิทยา, กรมทรัพยากรธรณี, 61 หน้า,
- อำนาจ ส่งอุไรล้ำ (2559 ก) *บทที่ 3 ธรณีวิทยา, การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดยะลา, สำนักงานทรัพยากรธรณี เขต 4 (สุราษฎร์ธานี) กรมทรัพยากรธรณี* หน้า 9 - 23. สืบค้นได้จาก <https://www.dmr.go.th/wp-content/uploads/2022/11/การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดยะลา.pdf>. (เมื่อ 12 ธันวาคม 2565).
- อำนาจ ส่งอุไรล้ำ (2559 ข) *บทที่ 3 ธรณีวิทยา, การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดนราธิวาส, สำนักงานทรัพยากรธรณี เขต 4 (สุราษฎร์ธานี) กรมทรัพยากรธรณี* หน้า 9 - 24. สืบค้นได้จาก <https://www.dmr.go.th/wp-content/uploads/2022/11/การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดนราธิวาส.pdf>. (เมื่อ 12 ธันวาคม 2565).
- อำนาจ ส่งอุไรล้ำ (2559 ค) *บทที่ 3 ธรณีวิทยา, การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดปัตตานี, สำนักงานทรัพยากรธรณี เขต 4 (สุราษฎร์ธานี) กรมทรัพยากรธรณี*, หน้า 9 - 18. สืบค้นได้จาก <https://www.dmr.go.th/wp-content/uploads/2022/11/การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดปัตตานี.pdf> (เมื่อ 12 ธันวาคม 2565).
- Aranyakanon, P. (1962). *The cassiterite deposit of Haad Som Pan, Ranong Province, Thailand*: Royal Department of Mines. Report of Investigation No. 4.
- Aranyakanon, P. (1969) Tin deposits in Thailand. In *Proceedings of the 2nd Technical Conference on Tin*. Tin International Tin Council, Bangkok.
- Asnachinda, P. (1978) Tin mineralization in Burmese – Malayan peninsula- a plate tectonic model. In *Proceedings of the 3rd Regional Conference on Geology and Mineral Resources of Southeast Asia*, edited by P. Nutalaya (ed. in chief), November 1978, pp 193-199.
- Beckinsale, R. D., Suensilpong, S., Nakapadungrat, S., and Walsh, J. N. (1979) Geochronology of granite magmatism in Thailand in relation to a plate tectonic model. *Journal of the Geological Society*, London 136, 529–540.
- Bignell, J.D. (1972) *The Geochronology of the Malayan Granites*. Unpublished Ph.D. Thesis, University of Oxford, 154 p.
- Bignell, J.D. and Snelling, N. J. (1977) *The Geochronology of Malayan Granites. Overseas Geology and Mineral Resources* 47, 1–2.
- Bunopas, S. (1981) *Paleogeographic history of western Thailand and adjacent parts of Southeast Asia – A plate tectonics interpretation*: Victoria University of Wellington, unpublished Ph.D. thesis, 810 p.; reprinted 1982 as Geological Survey Paper no.5, Geological Survey Division, Department of Mineral Resources, Thailand.
- Bunopas, S. and Vella, P. (1978) Late Palerozoic and Mesozoic structural evoluuiou of Thailand. In *Proceedings of the 3rd Regional Conference on Geology and Mineral Resources of Southeast Asia*, edited by P. Nutalaya (ed. in chief), November 1978, pp 25-32.
- Burton, C.K. and Bignell, J.D. (1969) Cretaceous-Tertiary events in Thailand. *Geological Society of America Bulletin* 80, 681-688.
- Charusiri, P. (1980) *Igneous Complexes and Tin Mineralization in Phuket Island, with Special References to Chao Fa and Tor Soong mines*. Unpublished M.Sc. thesis, Department of Geology, Chulalongkorn University, Bangkok, 208 p.
- Charusiri, P. (1989) *Lithophile Metallogenic Epochs of Thailand: A Geological and Geochronological Investigation*. Ph. D. thesis, Department of Geological Sciences, Queen’s University, Kingston, 819 p.

- Charusiri, B. and Charusiri, P. (1990) Geology and Sn mineralization at Pinyok mine, Yala, southern Thailand. In *Proceedings of the Technical Conference on Development Geology for Thailand into the Year 2000*, Chulalongkorn University, Bangkok, pp 169-189.
- Charusiri, P., Pongsapich, W., Daolerk, V., Khantaprab, C. (1992a) Granite Belts in Thailand: Evidence from 40 Ar/39Ar geochronological and isotopic analyses. *Journal of Science Research*, Chulalongkorn University 17(2), 99-116.
- Charusiri, P., Pongsapich, W., Daolerk, V., and Charusiri, B. (1992b) Anatomy of Chanthaburi granitoids: geochronology, petrochemistry, tectonics, and associated mineralization. In *Proceedings of the National Conference on Geologic Resources of Thailand: Potential and Future Development*. Department of Natural Resources, Bangkok, Thailand, 17-24 November 1992, 383-392.
- Charusiri, P., Clark, A. H., Farrar, E., Archibald, D., and Charusiri, B. (1993). Granite belts in Thailand: evidence from the ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronological and geological syntheses. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences* 8, 127-136.
- Chappel, B.W. and White, A.J.R. (1974) Two contrasting granite types. *Pacific Geology* 8, 173-194.
- Ishihara, S., Shibata, S. Sawata, S, Terashima, S., Arykul, S., Sato, K. (1980) Granites and Sn-W deposits of peninsular Thailand. *Mining Geology*, Special Issue, 223 - 241.
- Coobing, E.J. (2011) Granitic Rocks. In Ridd, M.F., Barber, A.J., and Crow, M.J. (editors), *The Geology of Thailand*, The Geological Society, London, pp 441-457.
- Cobbing, E.J., Pitfield, P.E.J., Mallick, D.I.J., Toeh, L.H. (1986) The granites of Southeast Asian tin belts. *Journal of the Geological Society, London*, 128, 421-460.
- Coobing, E.J., Pitfield, E.P.J., Darbyshire, D.P.G., Mallick, D.I.J. (1992) *The granites of Southeast Asian Tin Belt*, Oversea Memoirs of the British Geological Survey, 10.
- Crow, M. J. and Khin Zaw (2011) Metalliferous mineral. In Ridd, M.F., Barber, A.j., and Crow, M.J. (editors), *The Geology of Thailand*, The Geological Society, London, 459-486.
- Darbyshire, D.P.G. (1988) *Southeast Asian Granite Project. Geochronology of Thai Granites*. Report of the Isotope Geology Centre. Natural Environmental Research Council 88/5.
- Garson, M.S., Young, B., Mitchell, A.H.G., and Tait, B.A.R. (1975) *The Geology of the Tin Belt in Peninsular Thailand around Phuket, Phangnga and Takua Pa*: Overseas Memoir No. 1, Institute of the Geological Sciences, London, U.K., Oversea Memoirs 1.
- Ghani, A.A. (2000) The Western Belt granite of Peninsular Malaysia: Some emergent problems on granite classification and its implication: *Geosciences Journal* 4, 283-293, doi: 10 .1007 /BF02914037.
- Ghani, A.A. (2009) Plutonism, in Hutchison, C.S., and Tan, D.N.-K., eds., *Geology of Peninsular Malaysia*. Kuala Lumpur, University of Malaya, Geological Society of Malaysia, p. 211-232
- Ghani, A.A., Searle, M.P., Robb, L.J., and Chung, S.-L. (2013) Transitional I-S type characteristic in the Main Range Granite, Peninsular Malaysia. *Journal of Asian Earth Sciences* 76, 225-240, doi:10.1016/j.jseas.2013.05.013.
- Ghani, A., Hazad, F.I., Jamil, A., Xiang, Q.L., Ismail, W.N.A.W., Chung, S.L., Lai, Y. M., Roselee, M.H., Islami, N., Nyein, K.K., Hassan, M.H.A., Bakar, M.F.A., and Mohd Rozi Umor, M.R. (2014) Permian ultrafelsic A-type granite from Besar Islands group, Johor, peninsular Malaysia. *Journal of Earth System Science* 123 (8), 1857-1878.
- Hansen, B. and Wemmer, K. (2011) Age and Metamorphic Evolution of the Basement Rocks in Thailand. In Ridd M.F., Barber A.J., Crow M.J (eds).

- The Geology of Thailand*. The Geological Society, pp 19-32.
- Hosking, K.F.G (1970) Primary tin deposits of Southeast Asia. *Minerals, Science, and Engineering* 2, 24-50.
- Hutchison, C.S. (1977) Granite emplacement and tectonic subdivision of Peninsular Malaysia. *Geological Society of Malaysia Bulletin* 9, 187–207.
- Hutchison, C.S. and Taylor, D. (1978) Metallogenesis in Southeast Asia. *Journal of the Geological Society*, London 135, 407-428.
- Imai, A., Yonezu, K., Sanematsu, K., Ikuno, T., Ishida, S., Watanabe, K., Pisutha-Armond, V., Nakapadungrat, S., and Boosayasak, J. (2012) Rare Earth Elements in Hydrothermally Altered Granitic Rocks in the Ranong and Takua Pa Tin-Field, Southern Thailand
- Ishihara, S. (1977) The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks, *Mining Geology* (Japan) 27, 293-305.
- Ishihara, S., Sawata, H., Shibata, K., Terashima, S., Artykul, S., and Sata, K. (1980) Granites and Sn-W deposits of peninsular Thailand: *Mining Geology*, Spec. Issue 8, 223-241, Japan.
- Ishihara, S., Moriyama, T. and Hirano, H. (2008) REE-rich granites of Ko Samui, Ko Phuket and Yod Nam Mine in Southern Thailand. In *Proceedings of the International Symposium on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes (GREAT 2008), the 4th IGCP 516, and the 5th APSEG Meeting*. Bangkok, Thailand, 24–26 November 2008, 238–247.
- Jacobson, H.S., Pierson, C.T. และคณะ (1969) Mineral Investigation of northeastern Thailand. *United States Geological Survey* 618.
- Kawakami, T., Osanai, Y., Nakano, N., Miyamaoto, T., Yonemura, K., and Charusiri, P. (2008) Upper amphibolite to lower granulite facies metamorphic rocks of western (Khao Chao) range, eastern Thailand. In Choowong, M. and Thitimakorn, T., *Proceedings of the International Symposia on Geoscience, Resources, and Environments of Asean Terranes (GREAT 2008)*, Bangkok, pp 251-253.
- Kawakami, T., Nakano, N., Higashino, F., Hokada, T., Osanai, Y., Yuhara, M., Charusiri, P., and Kamikubo, H. (2014) U-Pb zircon and CHIME monazite dating of granitoids and high - grade metamorphic rocks from the eastern and peninsular Thailand – A new report of Early Paleozoic granite. *Lithos* 200-201 (2014), 64-79.
- Kanjanapayont, P., Grasemann, B., Edwards, M.A., Fritz, H. (2012a) Quantitative kinematic analysis within the Khlong Marui shear zone, southern Thailand. *Journal of Structural Geology* 35, 17–27.
- Kanjanapayont, P., Klötzli, U., Thöni, M., Grasemann, B., Edwards, M.A. (2012b) Rb–Sr, Sm–Nd, and U–Pb geochronology of the rocks within the Khlong Marui shear zone, southern Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences* 56, 263–275.
- Kanjanapayont, P., Kiedupattum, P., Klötzli, U., Klötzli, E., Charusiri, P. (2013) Deformation history and U–Pb zircon geochronology of the high-grade metamorphic rocks within the Klaeng fault zone, eastern Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences* 77, 224-233.
- Lin, Y.L., Yeh, M.W., Lee, T.Y., Chung, S.L., Iisuka, Y., Charusiri, P. (2013) First evidence of the Cambrian basement in upper peninsula of Thailand and its implication for crustal and tectonic evolution of the Sibumasu terrane. *Gondwana Research* 24 (3–4), 1031-1037. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.05.014>.
- Metcalfe, I. 2002. Permian tectonic framework and palaeogeography of SE Asia. *Journal of Asian Earth Sciences* 20, 551–566. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(02\)00022-6](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00022-6).
- Muenlek, S., Meesook, A., Tongchit, P., Tipdhonsap, C., and Skullkaew, P. (1985) *Geological map of Chagwat Narathiwat and Amphoe Takbai (NB47-8, 5)*, scale 1:250,000: Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand.

- Nakapadungrat, S. (1982) *The Geochronology and Geochemistry of the Thong Lang Granite Complex, Central Thailand*. Unpublished Ph.D. thesis, University of London, U.K.
- Ng, S. W. P., Chung, S. L., Robb, L. J., Searle, M. P., Ghani, A. A., Whitehouse, M. J., Oliver, G. J. H., Sone, M., Gardiner, N. J., & Roselee, M. H. (2015). Petrogenesis of Malaysian granitoids in the Southeast Asian tin belt: Part 1. Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics. *Geological Society of America Bulletin*, 127(9-10), 1209-1237. <https://doi.org/10.1130/B31213.1>.
- Pan Asia Metals (2023) Pan Asia Metals reports lithium recoveries past 80% at Reung Kiet Project, Thailand. Available at <https://mining.com.au/pan-asia-metals-reports-lithium-recoveries-past-80-at-reung-kiet-lithium-project/> (on 3 May 2023)
- Park, A.F. (1989) *Granites and mineralization*. In: Petrology. Encyclopedia of Earth Science. Springer, Boston, MA.
- Pitfield, P. E. J. (1988) *Report on the geochemistry of the granites of Thailand*. Report of the Overseas Directorate, British Geological Survey WC/88/6.
- Pitakpaivan, K. (1969) Tin-bearing granite and tin-barren granite in Thailand. In *Proceedings of the 2nd Technical Conference on Tin*, Tin Council, v.1, p. 283-298.
- Pradidwan, J. (1985) *Mineral distribution study for cassiterite and associated heavy minerals in Phuket Thailand*. Southeast Asia Research and Development Centre, Ipoh, Malaysia 71 p.
- Pradidwan, J. (1986) *Mineral distribution study for cassiterite and associated heavy minerals in Ranong, Takua Pa and Phang Nga, Thailand*. Southeast Asia Research and Development Centre, Ipoh, Malaysia 89 p.
- Pradidwan, J. (1988) *Mineral distribution study for cassiterite and associated heavy minerals in Surat Thani, Nakhon Si Thammarat, Trang, and Yala Provinces, southern Thailand*. Southeast Asia Research and Development Centre, Ipoh, Malaysia 40 p.
- Punyaprasidh, P. (1980) *Investigation of the geology and mineralization of tin and tungsten of Samoeng mine area, northern Thailand*. Unpublished Ph. D. thesis, University of Sheffield, U.K., 130 p.
- Putthapiban, P. (1984) *Geochemistry, Geochronology, and Tin Mineralization of Phuket Granites, Phuket, Thailand*. Unpublished Ph.D. thesis, La Trobe University, Victoria, Australia.
- Putthapiban, P. and Suensilpong, S. (1979) *The Igneous Geology of Granitic Rocks of Hub Kapong and Hua Hin Areas -Granite Project*. Department of Mineral Resources, Bangkok, 6, 1-15.
- Putthapiban, P. (2002) Geology and geochronology of igneous rocks of Thailand. In *Proceedings of the Symposium on Geology of Thailand*, Bangkok, 26 – August 2002, 261-283.
- Sanematsu, K., Kon, Y., Imai, A., Watanabe, K. and Watanabe, Y. (2011) Geochemical and mineralogical characteristics of ion-adsorption type REE mineralization in Phuket, Thailand. *Miner Deposita* 48, 437–451 DOI 10.1007/s00126-011-0380-5.
- Schwartz, M.O., Rajah, S.S., Askury, A.K. ‘, Putthapiban, P., Djaswadi, S. (1995) The Southeast Asian Tin Belt. *Earth-Science Reviews* 38, 95-293.
- Shawe, D.R. (1984) *Geology and mineral deposits of Thailand*. Open-file Report 84-403 U.S. Geological Survey, 190 p.
- Suensilpong, S. (1977) The role of plate collision tin mineralization of Thailand. In *Proceedings of the International Symposium on Plutonism in Relation to Volcanism and Metamorphism*. Under the theme Circum Pacific Plutonism Terrane (CPPP), Japan, 15 p.
- Sritangsirikul, P. (2023) Geochemistry and petrochemistry of ore related magmatism of mainland

Southeast Asia. Ph. D. thesis, University of Tasmania, Hobart (in preparation).

Suwimonprecha, P., Friedrich, G., and Cerny, P. (1993) Contact relationships between the Phuket pegmatites and host rocks, Thailand. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences* 8, 137–145.

Tegging, D.E. (1975) *The Granites of Northern Thailand*. Unpublished Ph. D. thesis, University of Manchester, Manchester, United Kingdom.

Tulyatid, J. (1991) *⁴⁰Ar/³⁹Ar Geochronological Study of Deformed Meta-granitoid Rocks Adjacent to the Hua-Hin Pranburi Fault System, Peninsular Thailand*: M. Sc. Thesis, Queen's University, Kingston, 151 p.

Geological Factors Contributing to Landslide Incident in Malaysia - Case Study Batang Kali Landslide Disaster, Hulu Selangor, Selangor.

Muhammad Ramzanee Mohd Noh^{1*}, Qalam A'zad Rosle¹, Tuan Rusli Tuan Mohamed¹, Ferdaus Ahmad², Abdul Rahim Harun³, Zamri Ramli³

¹Department of Mineral and Geoscience Malaysia, Selangor/Wilayah Persekutuan, 6th & 7th Floor, Bangunan Darul Ehsan, No.3, Jln. Indah, Section 14, 40000 Shah Alam, Selangor, Malaysia

²Technical Services Division, Department of Mineral and Geoscience Malaysia, Jalan Sultan Azlan Shah, 31400 Ipoh, Perak, Malaysia

³Department of Mineral and Geoscience Malaysia, Level 9, No. 2, Menara PjH, Jalan Tun Abdul Razak, Precinct 2, 62100 Putrajaya, Malaysia.

*Corresponding author: ramzanee91@jmg.gov.my

Received 12 December 2023; Revised 29 March 2024; Accepted 15 May 2024.

Abstract

The Batang Kali landslide that occurred at 2.08 a.m. on 16 December 2022 had struck almost entirely the agriculture and campsite areas of Father's Organic Farm, Batang Kali, Hulu Selangor, Selangor. The deadly landslide claimed 31 lives including 13 children and 61 survivors were rescued. The search and rescue (SAR) operation was carried out immediately and continued for nine days before it ended after the last victim was found. The Department of Mineral and Geoscience Malaysia (JMG) was informed of the event and actively involved in conveying geological information during the SAR operation. JMG was also responsible for conducting a forensic investigation to understand the geological factors that contributed to this catastrophic event. An extensive field geological study including LiDAR data capture, geophysical surveys, geological surface mapping, hydrogeological, and in situ field testing were carried out. These data were analyzed to ascertain the causal geological factors and establish of subsurface profile for landslide simulation modeling. The landslide is classified as a complex which is a combination of rotational slide and earth flow. The landslide body measured approximately 550m long, 110m wide, and 14m deep with 282,170m³ total estimated volume of debris which mainly consists of sandy silt beside block boulders and tree trunks. Analyses indicate that the colluvium layer which is deposited at the foot slope and the groundwater regime have contributed significantly to the failure. Landslide simulation modeling shows the velocity of the flow is 13.2m/s with the average thickness of the accumulation zone ranging from 0.8m to 10.5m. The result from the investigation also indicates that geological causal factors should be taken into consideration in slope repair works and mitigation measures.

Keywords: Batang Kali Landslide, Disaster Risk Reduction, Forensic Geology

1. Introduction

Landslide incidents in Malaysia were recorded as one of the most common natural disasters that occurred frequently which had an impact in terms of damages and losses including fatalities, injuries, property damage, disruption and destruction of services as well as economic and financial losses (Komoo et al., 2011). Data showed the total economic losses due

to landslide incidents in Malaysia since 1973 was approximately more than USD 1 billion (Abdullah, 2013). According to Akter et al. (2019) from the year 1993 to 2014, there were 26 major landslide events recorded which had an impact on death, damage to properties, and economic losses. Among the memorable tragedies was the collapse of one block in Highland Tower resulted in 48 fatalities back in December 1993. Further analysis of the history of

landslides in Malaysia shows a significant increase in the trend of landslide occurrence in Malaysia and most cases are related to slope failure that occurred during the housing development stage in the hill slope area. In Selangor state, a record from 1993 to 2022 shows the number of fatalities from 8 landslide incidents increasing to 114 deaths including the Batang Kali landslide which claimed 31 lives (Table 1).

Batang Kali is one of the tourist attraction hotspots in Selangor state which offers recreational activities related to ecotourism such as hiking, glamping, and trekking. A landslide disaster that occurred at 2.08 a.m. on 16 December 2022 involved an agricultural area and campsite at Father's Organic Farm, Batang Kali, Hulu Selangor, Selangor. This incident destroyed almost the entire campsite and farming area which claimed 92 victims with 31 deaths including 13 children and 61 survivors (Fig. 1). The search and rescue (SAR) operation was carried out for 9 days and ended on 25 December 2022 after the last victim was found. Department of Mineral and Geoscience Malaysia (JMG) was assigned to support the SAR team as a technical advisor during the operation as well as conducting the geological forensic investigation to understand the failure mechanism and identify the geological factors that contributed to this catastrophic event. An extensive field geological study including Light Detection and Ranging

(LiDAR) data capture, geophysical surveys, geological surface mapping, hydrogeological, and in situ, field testing were carried out. This paper will discuss the result of the investigation which indicates the geological causal factor of the landslide.

2. Study Area

2.1 Geology and Geomorphology

The geology of the site and surrounding area is underlain by the Main Range Granite, metamorphic rocks, and colluvium deposits. Metamorphic rocks consisting of schist and phyllite interlayer are the oldest rock units. The Main Range Granite consists of porphyritic biotite granite with the boundary between the two bedrocks located in the middle of the investigation area. Colluvium deposits also form the surface sediment that overlies both bedrock units in the valley. The granitic and metamorphic bedrock in this area shows the most distinctive features that indicate the existence of the fault and tectonic activity.

The geomorphology of the area consists of a valley surrounded by hilly topography with elevations ranging from 590 m to 900 m. The area is generally located in the western foothills of the Banjaran Utama mountain range. Generally, it lies to the west of the foot of the Banjaran Utama mountain range. Between the peaks and the lowlands, there are high-

Table 1 Major landslide incident record in Selangor State 1993-2022.

No.	Date	Location	Toll
1.	11 Dis 1993	Highland Tower, Bukit Antarabangsa	48
2.	20 Nov 2002	Taman Hillview, Ulu Kelang	8
3.	30 Nov 2008	Ulu Yam Perdana, Hulu Selangor	2
4.	06 Dis 2008	Taman Bukit Mewah, Bukit Antarabangsa	4
5.	21 May 2011	Rumah Anak Yatim At Taqwa, Hulu Langat	16
6.	18 May 2014	Kg Melayu Subang, Sungai Buloh	1
7.	10 Mac 2022	Taman Bukit Permai 2, Hulu Langat	4
8.	16 Dis 2022	Jalan Batang Kali-Genting Highland, Hulu Selangor	31
Total			114



Fig. 1: Photo during Search and Rescue (SAR) Operation at the campsite and agriculture area

-banked river valleys filled with granite boulders of various sizes. The nature of the valley and the high cliffs form a dendritic stream pattern. This stream is a branch to the Pencheras River which is found in the south and flows northwest. Analysis of the terrain's gradient indicates that 50% of the slopes in the area are equal to or steeper than 15° .

2.2 Rainfall Analysis

Based on Malaysian Meteorological Department (METMalaysia), the Northeast Monsoon (MTL) began on 7 November 2022 and almost the entire country has received higher than normal rainfall levels. For the landslide area, there are 7 nearby rain gauge stations around the main route from Genting Sempah to Genting Highland owned by Genting Berhad. The closest rain gauge station is in the area of Institut Aminudin Baki, Gohtong Jaya (RG 3 IAB) which is located approximately 3 km upstream of the incident site. The rainfall

data for the period of 1 December to 30 December 2022 shows the heavy rainfall outflow of the Northeast Monsoon occurred in early December 2022 with the highest rate at 92.2mm a day. The cumulative rainfall record 15 days before the incident for the nearest Station (RG 3 IAB) was also at a level of 205.6mm. However, there was no rainfall recorded during the day of the incident.

3. Method and Results

3.1 Landslide Morphology

The landslide occurred on a man-made slope that was originally constructed to provide a platform for the Batang Kali-Genting Highlands Road. The cut slope at the top of the road platform is still intact, while the fill slope at the bottom has failed. The height of the fill slope from the road platform to the foot of the slope is approximately 50m and the gradient of the slope is approximately 25° - 30° . The width

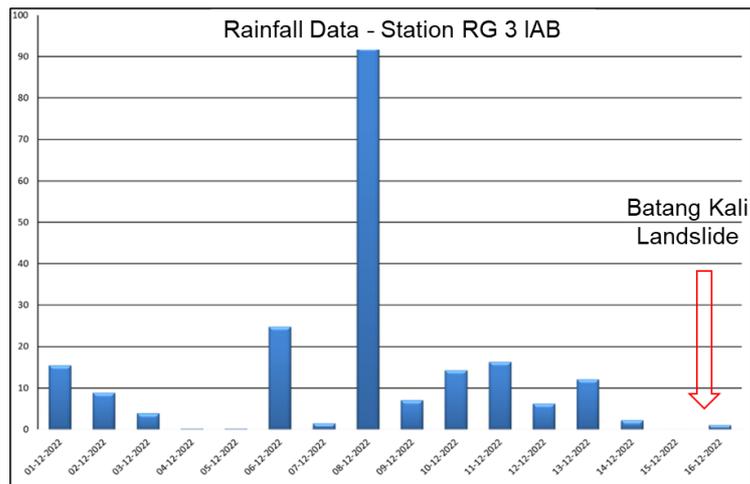


Fig. 2: The cumulative amount of rain 15 days before the event for the closest station RG 3 IAB was 205.6mm with the highest amount of daily rainfall being 92.2mm.

of the main scarp is 110m, the depth is 14m and the length of the path and accumulation area is approximately 550m (Fig. 3). The total volume of the landslide debris is approximately 282,170 m³ which includes the initiation zone and the accumulation zone. In addition, the landslide also transported soil materials, boulders, and trees along the route and deposited at the lower and sloping part of the valley downstream. According to Varnes (1978), landslides are classified as complexes that combine a rotational slide with earth flow.

During Search and Rescue (SAR) Operations, JMG has carried out a risk assessment for any subsequent ground movement and delineated the Hazard Zones and the Control Zones for operation safety control. The Hazard Zone covers the perimeter of the landslide body starting from the main body to the entire collapse run-out area. Whereas, the Control Zone covers the area surrounding the Hazard Zone that is characterized by geological constraints that are likely to cause subsequent movement (Department of Mineral and Geoscience Malaysia, 2012).



Fig. 3: Dimension of the landslide and the photo of the main landslide body.

3.2 Aerial Photo, Satellite Image, and InSAR Analysis

Analysis of the 1966 aerial photo imagery shows that the investigation area was covered by forest and there was no disturbance on the natural terrain. The 1995 aerial photo image also indicates the condition after the road was ready to be built where there were activities of cutting and filling the slope. Slope profiling also has been carried out on the upper slope and lower slope of the road platform around the landslide area (Fig.4). Besides that, analysis of satellite images from Google Earth starting from 2002 to 2021 shows that several land use changes have taken place within the investigation area. Land use patterns changed significantly from February 2015 when land clearing activities, construction of greenhouses for agricultural activities, and construction of permanent structures took place (Fig. 5). The qualitative interpretation was based on the elements of location, size, shape, hue, texture, and pattern of the objects in the images used. Signs of slope instability and landslides are not clearly visible in the vicinity but rather there is a sign of erosion at a modest to high grade in areas that were explored before vegetable planting and rain protection structures were built. On the other hand, analysis of Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) data revealed some changes in the earth's terrain prior to the failure in the investigation area. The method of monitoring using InSAR satellites is seen to be an effective monitoring tool for landslide risk. The analysis was divided into 5 monitoring zones to assess any landform changes (Fig. 6). Zone A covering the foot of the slope has shown a downward movement trend with a rate of 21.25 mm/year starting on 3 December 2022 until 15 December 2022 which was the day before the landslide occurred. Likewise, Zone C which includes the upper slope and lower slope has also indicated a downward movement with a rate of 21.48 mm/year starting on 24 July

2022 until 16 October 2022.

3.3 Engineering Geology

Observation at the main landslide scarp shows a fill layer approximately 8m thick consisting of homogeneous soil material that overlies on weathered granite that has sub-rounded corestones of various sizes. Some of the granite boulders that fell with the main debris originated from this area. Additionally, water seepage was observed at 3 locations at the toe of the main scarp of the landslide area which is located approximately 20 m below the level of the road platform that significantly contributed to the instability at the toe slope. Based on the geospatial analysis of Light Detection and Ranging (LiDAR) data, four landslide scarps were identified at the top of the road platform which were interpreted as the source of the colluvium deposits encountered in the valley section at the foot of the slope including the landslide area (Fig.7). Besides that, part of the road platform was constructed crossing the old landslide zone. A total of 28 Mackintosh probe tests and 17 hand augering holes were conducted to obtain sub-surface information to support the geophysical survey data. The analysis results found that the thickness of the landslide debris is estimated between 2-5m deposited on top of the colluvium layer. Based on the particle size distribution analysis of samples taken using the hand augering method found that the main soil type of the investigation area is sandy silt.

3.4 Geophysical Survey

A geophysical survey application in landslide investigation aims to understand the subsurface characterization, groundwater regime, and localization of the shear plane (Hussain et al., 2022). The 2-dimensional electrical resistivity method was used in the investigation with a total of 8 survey lines within the landslide body (Fig. 8). The result shows that the water-saturated zone was found in the main landslide scarp area where the resistivity values range from 1 Ω m

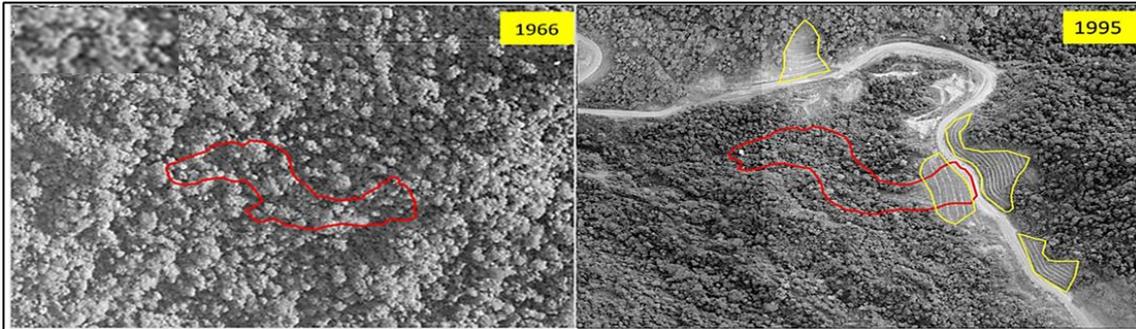


Fig. 4: Arial photo of the landslide area in 1966 and 1995 which red polygon indicates landslide area. (Source: Department of Survey & Mapping Malaysia)

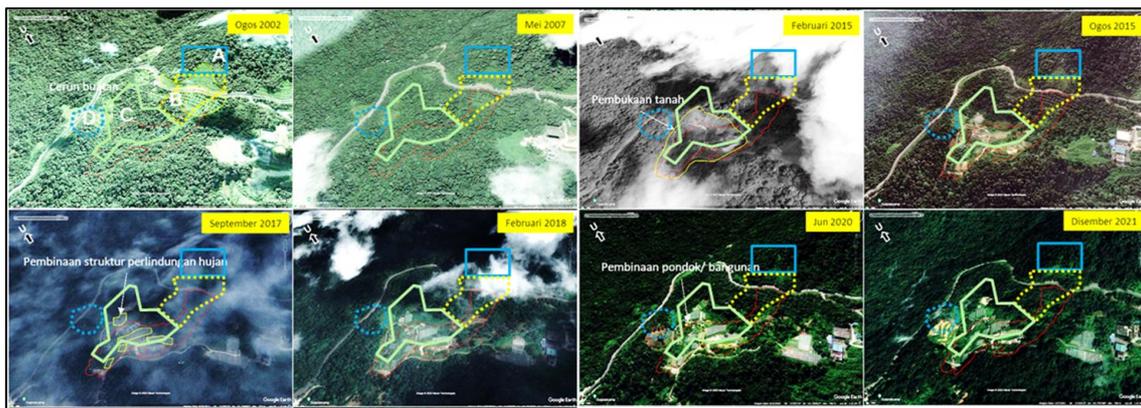


Fig. 5: Land use change from 2002 to 2021 based on satellite imagery. (Source: Google Earth)

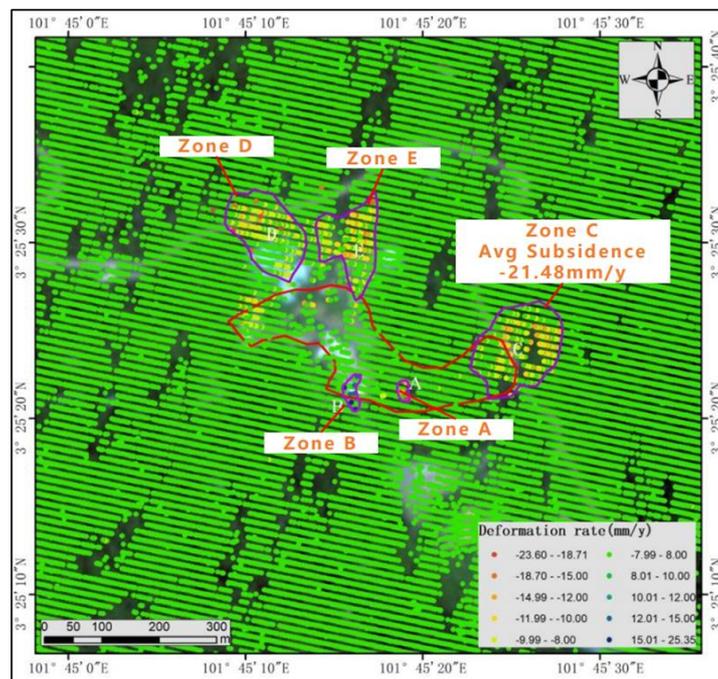


Fig. 6: Movement analysis using InSAR satellite data within the investigation area (Source: Spacegen Sdn Bhd).

to 9 Ω m. This zone consists of materials that have high porosity and permeable properties that allow water and electric current to flow easily. Whereas within the landslide area, water saturated zone in the landslide debris was interpreted at the low resistivity value zone range from 5 Ω m to 50 Ω m. Medium resistivity value zones (31 Ω m - 500 Ω m) are interpreted as the material within the landslide debris that can be found from the surface down to a depth of 20m followed by a layer beneath

the collapse debris layer that is interpreted as weathered rock and colluvium. The third layer at the bottom is interpreted as bedrock. The lower magnitude values indicate the different lithological nature of the bedrock and are interpreted as metamorphic rocks. The high intensity zones (500 Ω m - 5000 Ω m) within the landslide debris layer are interpreted as "boulders" and granite-type bedrock based on information from the geology of the area.

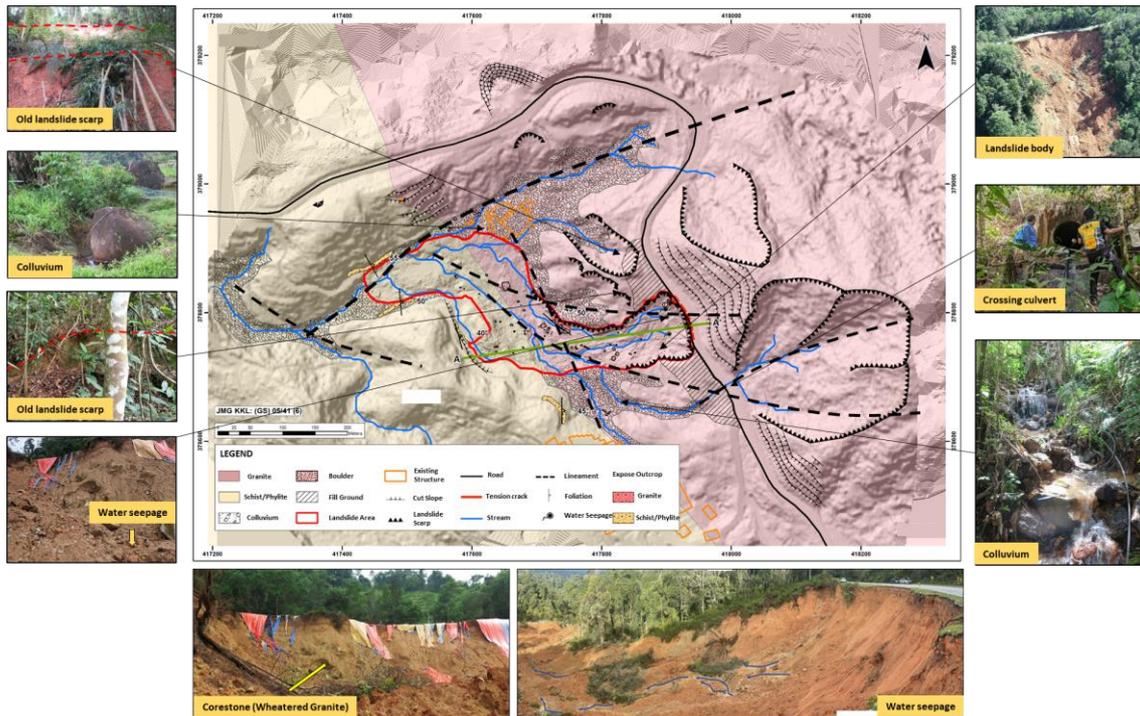


Fig. 7: Geomorphological Map of the landslide (Department of Mineral and Geoscience Malaysia, 2023)

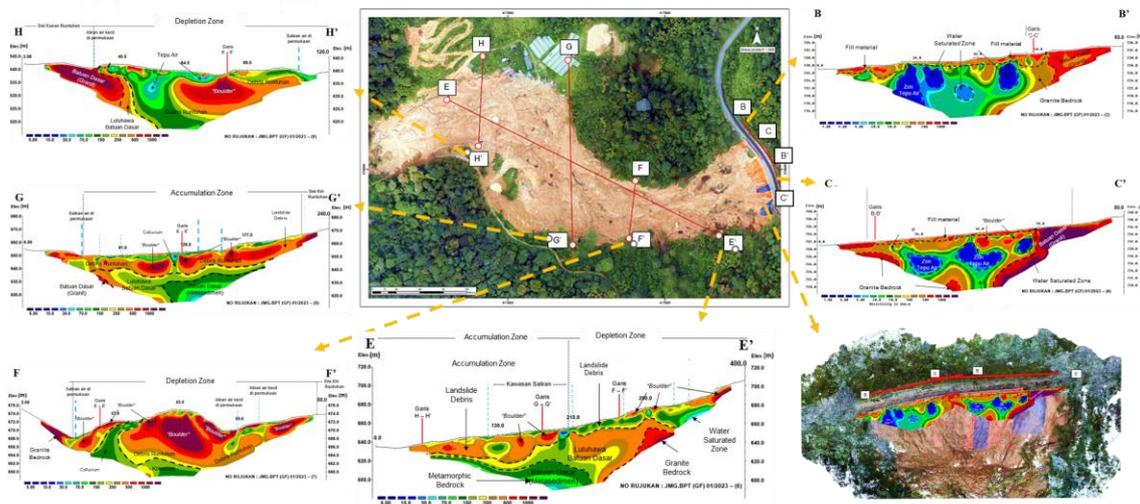


Fig. 8: Geophysical result of the landslide area

3.5 Hydrogeology

Groundwater regime has a direct impact on the slope stability and a substantial raising of groundwater will increase the pore water pressure (Alsubal et al., 2019). This investigation involved physical water analysis studies and stable water isotopes (SWI) analysis aimed to determine the source of water flow around the landslide area. The concentration of sampling points was based on the surface water run-off area and the water drain area from the cistern.

Besides that, hand auger holes and Mackintosh probes testing locations were utilized in measuring the groundwater levels a week after the incident. Based on the analysis of the water level measurements in the field, an isopach map of the groundwater level from the ground surface was generated

(Fig.9). Generally, the direction of underground water flow in this area is consistent with the hydraulic head contour which flows from the east to the west of the site. The high water table was found in the main landslide scarp area in line with the results from the geophysical study using the 2D electrical resistivity survey method which indicates the water-saturated zone.

Additionally, the total dissolved solids (TDS) and Stable Water Isotope (SWI) results indicate the presence of groundwater and surface water interactions in the vicinity of the investigation area. Field evidence also indicates the presence of iron staining in the area of the intercepted water path. Six (6) sampling points have been detected to contain iron which has been categorized as underground water. Furthermore, this condition is also influenced by the local geological materials and structure.

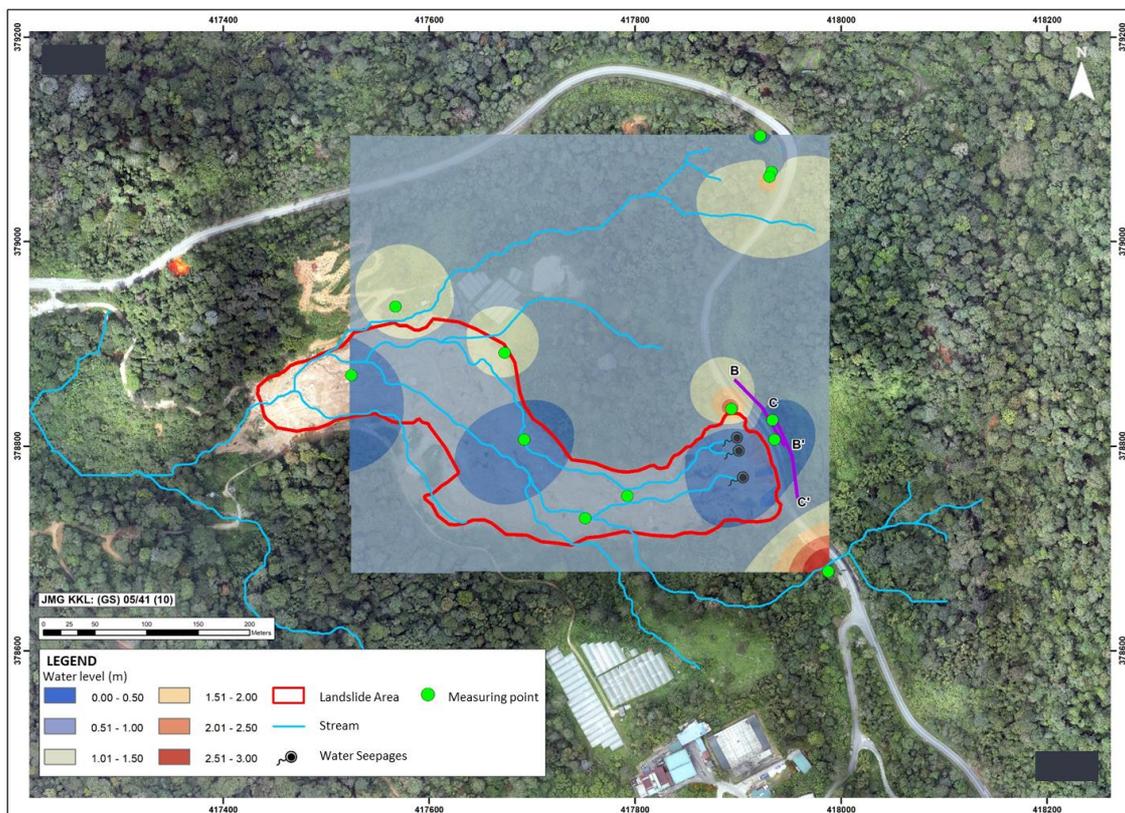


Fig. 9: The isopach map of groundwater level from the ground surface in the landslide area

4. Discussion

Based on witness accounts and analyses of field data, a simulation of the landslide was generated using Rapid Mass Movement Simulation (RAMMS) software. RAMMS modeling involves simulating and predicting the behavior of rapid mass movements such as landslides using computational models. Several parameters were used including topographic data in the digital elevation model (DEM), and soil properties represent in Table 2. As a result of the simulation, the landslide occurred in two phases which the first phase illustrates

that the landslide occurred starting at the top of the fill slope and the debris covered part of the campsite area. Subsequently, the second phase of the landslide occurred within 15 minutes which has completely struck almost the entire campsite and agriculture area. The estimated velocity of the debris was approximately 12.30 m/s. Through the analysis of pre-and post-landslide ground elevation data, it was found that the average thickness of the debris within the depositional zone ranged from 0.8m to 10.5m.

Table 2 Input Parameter for RAMMS modelling

Input Parameter	Value
Digital Elevation Model (DEM)	3.0-meter resolution
Soil Constant Density	1500 kg/m ³
Dry-Coulomb type friction μ (Mu)	0.180
Viscous-turbulent friction ξ (Xi)	2200 m/s ²
Simulation time	500 second
Momentum Threshold	5%

Generally, geology, geomorphology, climate, and anthropogenic activities, are factors controlling the stability of a slope (Komadja et al., 2020). The Batang Kali landslide is known to have been caused by geological elements within the slope and the presence of underground water. The road platform has been built on top of a cut slope while the fill slope has been constructed on top of weathered granite containing a rock boulder named corestone and colluvium layer at the foot of the slope which is characterized as a geological sensitive deposit due to loose and uncompacted materials. The presence of groundwater flow in the slope has formed a water-saturated zone at the foot of the slope which results in the soil matrix becoming loose and contributes to the instability of the entire slope. Apart from that, anthropogenic factors and land-use activities in the vicinity also significantly contributed to the instability of the slope thus increasing the risk of landslide.

Figure 10 depicts the schematic diagram of the landslides.

5. Conclusions

Based on the field evidence and data analysis found that the geological factors are deemed to be the main contributing factor in the Batang Kali Landslide disaster. Several methods have been used to identify the surface and subsurface characteristics including remote sensing analysis, engineering geological mapping, hydrogeological mapping, and geophysical survey. Computational simulation modeling integrates all the parameters to understand the mechanism of the landslide. From the result, the presence of geologically sensitive material such as loose colluvium deposits and expansion of the water-saturated zone within the slope can further exacerbate the stability of the slope. Apart from that, an anthropogenic factor related to the existing slope before the incident should be taken into consideration through additional

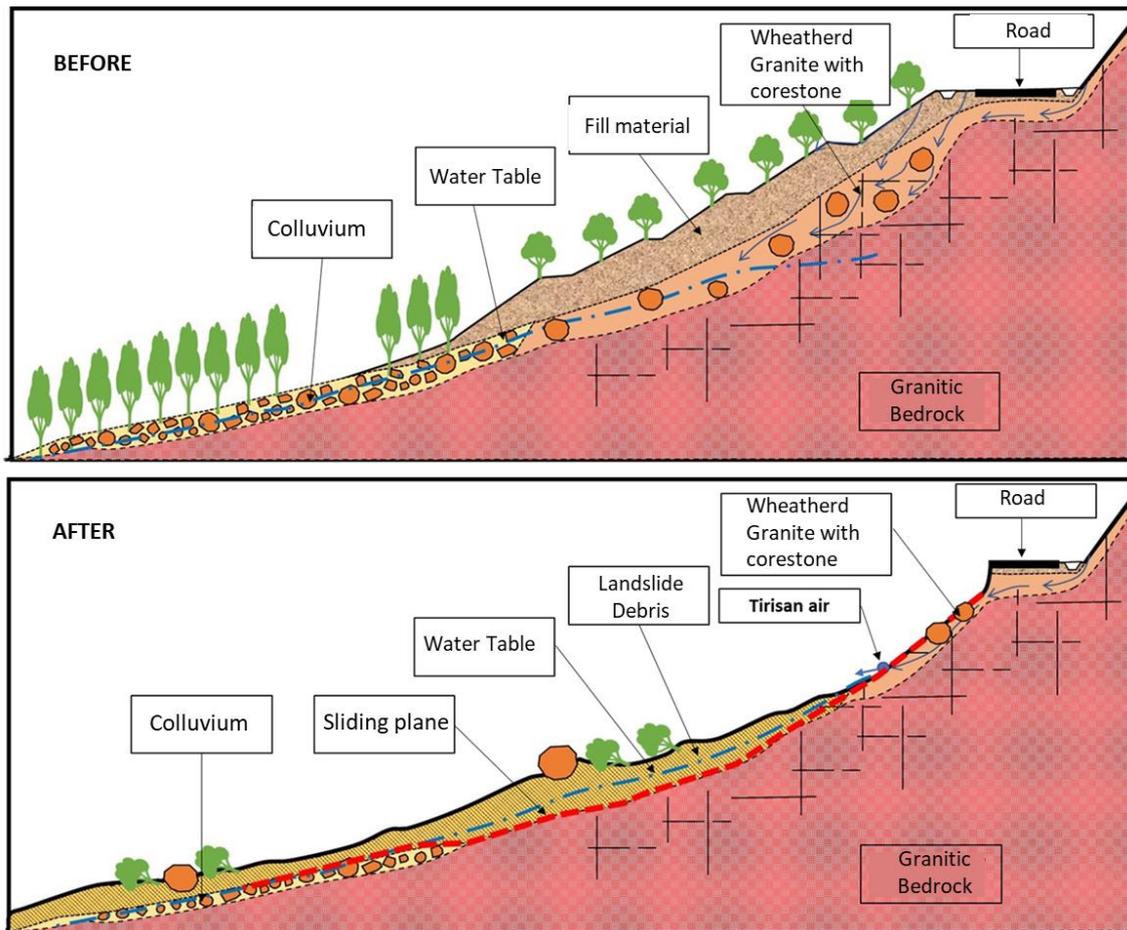


Fig. 10: Schematic geological cross-section of the landslides.

investigation and analysis as well. Thus, the findings of the investigation should also be used in designing the slope repair work and mitigating measures in the area. Additionally, it is crucial to assess the stability of existing slopes in the vicinity of the landslide area for proper mitigation measures as well as a routine slope maintenance of the man-made slope should cover the entire slope area.

References

- Abdullah, C. H. (2013). Landslide risk management in Malaysia *WIT Transactions on The Built Environment, Vol 133*. doi:10.2495/DMAN130231
- Akter, A., Megat Mohd Noor, M. J., Goto, M., Khanam, S., Parvez, A., & Rasheduz-zaman, M. (2019). Landslide Disaster in Malaysia: An Overview. *International Journal of Innovative Research and Development, 8*. doi:10.24940/ijird/2019/v 8/i6/JUN19058
- Alsubal, S., bin Sapari, N., Harahap, I. S., & Al-Bared, M. A. M. (2019). *A review on mechanism of rainwater in triggering landslide*. Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Department of Mineral and Geoscience Malaysia. (2012). *Prosedur Operasi Standard (SOP) Siasatan Bencana Tanah Runtuh (JMG.SOP.01)*.
- Department of Mineral and Geoscience Malaysia. (2023). *LAPORAN SIASATAN BENCANA GEOLOGI TANAH RUNTUH DI FATHER'S ORGANIC FARM (LOT 8993) MUKIM BATANG KALI, DAERAH HULU SELANGOR, SELANGOR DARUL EHSAN*.
- Hussain, Y., Schlögel, R., Innocenti, A., Hamza, O., Iannucci, R., Martino, S., & Havenith, H.-B. (2022). Review on the Geophysical and UAV-Based Methods Applied to Landslides. *Remote Sensing, 14*(18), 4564. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/18/4564>

- Komadja, G. C., Pradhan, S. P., Roul, A. R., Adebayo, B., Habinshuti, J. B., Glodji, L. A., & Onwualu, A. P. (2020). Assessment of stability of a Himalayan road cut slope with varying degrees of weathering: A finite-element-model-based approach. *Heliyon*, 6(11).
- Komoo, I., Abdul Ghani Aziz, S., & Lim, C.-S. (2011). Incorporating the Hyogo framework for action into landslide disaster risk reduction in Malaysia. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 57. doi:10.7186/bgsm2011002
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. *Special report*, 176, 11-33.



If you are interested in earth sciences
Support geoscience with a subscription to

Thai Geoscience Journal



The **Thai Geoscience Journal** publishes original research
And review articles from the international community in all
Fields of geological sciences such as

Engineering Geology

Petrology

Geopark

Paleontology

Environmental Geology

Economic Geology

Structural Geology

Geophysics

Tectonics

Geochemistry

All articles published by the **Thai Geoscience Journal**
are made freely and permanently accessible online
Immediately upon publication, **without subscription
charges or registration barriers.**

Make a submission and visit us via 



Please scan here

Contact

Geological Survey Division

Department of Mineral Resources 75/10 RAMA VI Road,
Ratchatewee, Bangkok 10400 Phone: +66(0)-2-621-9650

Website : <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/TGJ/index>

E-mail : tgj.2020@gmail.com

Published by





CONCEPT DESIGN

This logo composes of Abbreviations of Thai Geoscience Journal

T = THAI G = GEOSCIENCE J = JOURNAL

Coexistence of 3 abbreviations design in a concept of modernity blend with a Thainess
Modification of G alphabet in a shape of ammonoid shows relevance to geology
and infinite development of Thai Geoscience Journal

- **SCOPE AND AIM OF THAI GEOSCIENCE JOURNAL (TGJ):** TGJ is an international (Thai and English) journal publishing original research articles dealing with the geological sciences. It focuses, mainly but not exclusively, on: Sedimentology and Geomorphology, Palaeontology, Quaternary, Geology and Environment Change, Geological Hazards, Environmental Geosciences, Geophysics, Mineral and Petroleum Geology, Tectonics and Structural Geology, Geochemistry and Geochronology, Metamorphic Geology and Volcanic and Igneous Geology. Two types of articles are published in the Journal: Research Articles and Reviews. Research Articles are new original articles, normally not exceeding 25 pages. Review Articles are those papers that summarize the current state of knowledge on specific fields or topics of geosciences. They analyze and discuss previously published research results, rather than report new results. TGJ Aim is to provide valuable geoscience knowledge and information and push more inspiration for readers and researchers to produce treasure research in the future.
- **FEEDBACK AND CONTACT:** We welcome your feedback, comments and suggestions for the development of TGJ

Please contact: Dr. Apsorn Sardud (Editor-in-Chief, TGJ)
Department of Mineral Resources
75/10 RamaVI Road Ratchathewee Bangkok 10400, Thailand



Phone: +66 (0)2 6219650



Email: tgj.2020@gmail.com



Website: <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/TGJ/index>

INSTRUCTIONS TO AUTHORS FOR TGJ



The Thai Geoscience Journal (TGJ) is an international (Thai and English) journal publishing original research articles dealing with the geological sciences. Two types of articles are published in the Journal: Research Articles and Reviews. Research Articles are new original articles. Review Articles are those papers that summarize the current state of knowledge on specific fields of geosciences and discuss previously published research results, rather than report new results. **Copyright of all the contents of Thai Geoscience Journal belong to the Department of Mineral Resources in Thailand.**

The important instructions for manuscript submission are as follows:

1. TGJ member registration

Firstly, author must register the TGJ member before manuscript submission process. Please register TGJ members online on TGJ website at <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/TGJ/about/submissions>

2. Submission of manuscripts

The second, authors must completely fill up the online manuscript submission form on TGJ website. *The last important submission step is sending the required electronic manuscript (word file) and Figure files to TGJ editorial team via ThaiJO system.* Editorial team will send you manuscript submission confirmation, manuscript number and all publication processes by email.

3. Electronic file requirements for submission

1) The manuscript should be prepared both in word and pdf files. TGJ manuscript form can download from TGJ website.

2) Figure files (JPEG, PNG, TIFF, EPS, PSD or AI); Resolution of all figures must be 300 – 600 dpi. The name of the figure file should be beginning with “Fig.” and followed by the number and name of figure that related to the manuscript. *For publication, the high-resolution figure file (300-600 dpi) may be sent after the accepted manuscript process via ThaiJO system.*

4. Manuscripts Information

The main document, containing cover sheet, main text, acknowledgement (if applicable), references, figure, table, figure and table captions. *Cover sheet:* Cover sheet should contain 1) title, 2) full names and affiliations and the addresses of all authors and 3) postal and e-mail addresses, phone and fax numbers of the Corresponding author who will take responsibility for the proofs.

Title: A title is to be brief and summarizes the major results of the paper.

Abstract: An abstract should be condensation and concentrate on the essential qualities of the paper. All papers, excluding short notes, are to be accompanied by an abstract not exceeding 500 words or as appropriate.

Key words: Select keywords (should be 4-8 words or phrases) which identify the most important subjects covered by the paper and arrange them in alphabetical order

Main text: The main text should contain Introduction, Methods, Results, Discussions, and Conclusions, or as appropriate.

Figures and tables: Each figure and table should be sequentially placed in the main text near the first time mentioned. Figure captions and mentions in text begin with the term “Fig.” in bold type, followed by the figure number, also in bold type. Each table must have a heading. Captions and headings should be explicit enough that the reader can understand the significance of the illustration or table without reference to the text.

Acknowledgements: Brief acknowledgement of funding sources and assistance provided.

References: The references should be in a common citation format as shown below.

5. References Format Suggestion

In-text citation: the **APA 6th style** requires the references in content, tables and images should specify author-date, with the researcher’s surname followed by a comma (,) and the year of publication of the document behind the quote. If there are 2-5 authors, cite all names and use & before the last name for the first time, thereafter only the first name followed by et al. but if there are 6 or more authors, cite only the surname of the first author followed by et al. and the year. For examples as followings: (Mogen, 2001), (Jones & Miler, 2008), (Mogen, Jones & Miler, 2008), (Halano et al., 2009)

In Reference Page: Citation guide in APA 6th Style. For footnote citation should be at the end of manuscript.

List authors in the reference as:

- For 1 author: Author, A. A.
- For 2 authors: Author, A. A., & Author B. B.
- For 3-7 authors: Author, A. A., Author, B. B., Author, C. C., Author, D. D., Author, E. E., Author, F. F., & Author, G. G.
- For 8 or more authors (list first six authors, add a three dot, then last author): Author, A. A., Author, B. B., Author, C. C., Author, D. D., Author, E. E., Author, F. F., ... Author, Z. Z.

Types of cited references:

1. Book

Author, A. A. (Year). *Title of book*. City, Country: Publisher’s Name.

Example:

Luffman, J. M., Bulleen, C. V., Liano, A. D., McLeod, P. K., Nash, E. O., & Neuman, C. C. (2004). *Information technology resources management* (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: John & Sons Press.

2. Book Chapter

Author, A. A. (Year). Title of chapter. In A. Editor, & B. Editor (Eds.), *Title of book* (pp.xx-xx). Location: Publisher.

Example:

Ogg, J. G., Ogg, G. M., & Gradstein, F. M. (2016). 5 - Cambrian. In J. G. Ogg, G. M. Ogg, & F.M. Gradstein (Eds.), *A Concise Geologic Time Scale* (pp. 41-55). UK: Elsevier.

3. Journal Article

Author1, A. A., & Author2, B. B. (Year). Title of article. *Journal name*, volume number (issue number), pages-pages. doi:xx. xxxxxxxxxx

Example:

Jackson, J. J., & Samuel, T. S. (2001). The impact of climate change on sea levels. *Journal of Environmental Science*, 55(4), 233-277. doi:10.1070/8567-6582.33.5.



TGJ Contributors

- Assoc. Prof. Dr. Apichet Boonsoong
Dr. Apsorn Sardud
Prof. Dr. Che Aziz bin Ali
Prof. Dr. Clive Burrett
Assoc. Prof. Dr. Danupon Tonnayopas
Dr. Dhiti Dhanasuvarnachote
Dr. Ian Watkinson
Mr. Jittisak Premmanee
Prof. Dr. Katsumi Ueno
Prof. Dr. Katsuo Sashida
Prof. Dr. Ken-Ichiro Hisada
Assoc. Prof. Dr. Kieren Howard
Prof. Dr. Koji Wakita
Assoc. Prof. Dr. Kriengsak Srisuk
Assoc. Prof. Dr. Lindsay Zanno
Dr. Mallika Nillorm
Dr. Martin Smith
Adj. Prof. Dr. Michael Ryan King
Prof. Dr. Montri Choowong
Assoc. Prof. Dr. Mongkol Udchachon
Prof. Dr. Nigel C. Hughes
Mr. Niwat Boonnop
Asst. Prof. Nussara Surakotra
Asst. Prof. Dr. Passkorn Pananont
Dr. Phumee Srisuwan
Prof. Dr. Pitsanupong Kanjanapayont
Dr. Pol Chaodumrong
Dr. Pradit Nulay
Dr. Prinya Putthapiban
Prof. Dr. Punya Charusiri
Asst. Prof. Dr. Rattanaporn Hanta
Assoc. Prof. Runguang Lertsirivorakul
Assoc. Prof. Dr. Sachiko Agematsu-Watanabe
Dr. Sasiwimol Nawawitphisit
Dr. Seung-bae Lee
Dr. Siriporn Soonpankha
Asst. Prof. Dr. Sombat Yumuang
- Mr. Somchai Chaisen
Dr. Surin Intayos
Mr. Sutee Chongautchariyakul
Dr. Tawatchai Chualaowanich
Mr. Thananchai Mahatthanachai
Assoc. Prof. Dr. Thasinee Charoentitirat
Dr. Toshihiro Uchida
Mr. Tritip Suppasoonthornkul
Dr. Weerachat Wiwegwin
Assoc. Prof. Dr. Yoshihito Kamata
Dr. Andrew Mitchell
Dr. Jingwen SU
Dr. Songyang WU
- Dr. Apivut Veeravinantanakul
Dr. Namphon Khampilang
- Chiang Mai University, Thailand
Department of Mineral Resources, Thailand
Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia
Mahasarakham University, Thailand
Prince of Songkla University, Thailand
Department of Mineral Resources, Thailand
University of London, England
Department of Mineral Resources, Thailand
Fukuoka University, Japan
Mahidol University, Kanchanaburi campus, Thailand
University of Tsukuba, Japan
Kingsborough Community College, City University of New York, USA
Yamaguchi University, Japan
Khon Kaen University, Thailand
North Carolina State University, USA
Department of Mineral Resources, Thailand
Global Geoscience, British Geological Survey, UK
Western Colorado University, Thailand
Chulalongkorn University, Thailand
Mahasarakham University, Thailand
University of California, Riverside, USA
Department of Mineral Resources, Thailand
Khon Kaen University, Thailand
Kasetsart University, Thailand
Department of Mineral Fuels, Thailand
Chulalongkorn University, Thailand
Geological Society of Thailand, Thailand
Department of Mineral Resources, Thailand
Mahidol University Kanchanaburi Campus, Thailand
Department of Mineral Resources, Thailand
Suranaree University of Technology, Thailand
Khon Kaen University, Thailand
University of Tsukuba, Japan
Department of Mineral Resources, Thailand
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Republic of Korea
Department of Mineral Resources, Thailand
Geo-Informatics and Space technology Development Agency, Ministry of Science and Technology (GISTDA), Thailand
Department of Mineral Resources, Thailand
Burapha University, Chanthaburi Campus, Thailand
Department of Mineral Resources, Thailand
Department of Mineral Resources, Thailand
Department of Mineral Fuels, Thailand
Chulalongkorn University, Thailand
Retired geophysicist, Japan
Department of Mineral Fuels, Thailand
Department of Mineral Resources, Thailand
University of Tsukuba, Japan
Consultant, Myanmar Precious Resources Group, Yangon, Myanmar
Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing, China
Coordinating Committee for Geoscience Programmes in East and Southeast Asia (CCOP), Thailand
Mahidol University, Kanchanaburi campus, Thailand
Department of Mineral Resources, Thailand



Thai Geoscience Journal
Vol. 5 No. 8
July - December 2024
ISSN 2730-2695 (Print)
ISSN 3056-9370 (Online)

CONTENTS

Honorary Editors

Mr. Pichit Sombatmak

Mr. Kanok Intharawijitr

Dr. Young Joo Lee

Advisory Editors

Prof. Dr. Clive Burrett

Dr. Dhiti Tulyatid

Prof. Dr. Katsuo Sashida

Prof. Dr. Nigel C. Hughes

Prof. Dr. Punya Charusiri

Editor in Chief

Dr. Apsorn Sardud

Associate Editors

Dr. Prayath Nantasin

Dr. Apivut Veeravintanakul

Dr. Namphon Khampilang

Dr. Christian Arnhardt

- 1- 33 หินแกรนิตและแนวแร่: ตอนที่ 1- ภาคใต้ประเทศไทย
(Granites and Mineral Belts: I – Southern Thailand)
อำนวยการ ส่งอุไรล้ำ, วรกิจ ขาวจันทร์, เอลิน สุขสวัสดิ์, วิภาวี วิลัยสิทธิ์, วิภาวี วิบูลย์อัฐพล,
นพวรรณ รัตน์สันเทียะ, ภรณ์ทิพย์ ก่อสินวัฒนา, ธนัช วัชรมัย, และ ปัญญา จารุศิริ
**Aumnuay Songurailam, Vorakit Krawchan, A-Lin Suksawat, Wipawee Wilaisit,
Wipavee Wiboonatthapol, Noppawan Rutsunthia, Pornthip Korsinwattana, Thanaz
Watcharamai, and Punya Charusiri**
- 34 - 44 Geological Factors Contributing to Landslide Incident in Malaysia - Case Study
Batang Kali Landslide Disaster, Hulu Selangor, Selangor.
**Muhammad Ramzanee Mohd Noh, Qalam A'zad Rosle, Tuan Rusli Tuan
Mohamed, Ferdaus Ahmad, Abdul Rahim Harun, Zamri Ramli**

Published by

Department of Mineral Resources

Geological Society of Thailand

Coordinating Committee for
Geoscience Programmes in
East And Southeast Asia (CCOP)

