เอกสารเผยแพร่สำนักทรัพยากรแร่

สมุดแผนที่ทรัพยากรแร่ของไทย

ธาตุหายาก

B.7
ธ 394 ส
2561

กรมทรัพยากรธรณี
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

เอกสารเผยแพร่สำนักทรัพยากรแร่

สมุดแผนที่ทรัพยากรแร่ของไทย

ธาตุหายาก

ห้องสมุดกรมทรัพยากรธรณี
DMR.Library

คำนำ

ธาตุหายาก เป็นวัตถุดิบสำคัญที่มีมูลค่าสูงและมีปริมาณความต้องการใช้เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะมีการนำไปใช้ประโยชน์แพร่หลายในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท โดยเฉพาะสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์เทคโนโลยีชั้นสูงและชิ้นส่วนที่เป็นหัวใจของอุปกรณ์สื่อสาร เครื่องใช้ไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงที่ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมหลากชนิด อาทิ โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์จอแบน เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า เครื่องมือทางการแพทย์ รวมถึงยานยนต์ไฮบริด อากาศยาน ระบบนำร่องนำวิถี และอาวุธยุทโธปกรณ์ เป็นต้น ในปัจจุบัน ภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยจัดเป็นผู้บริโภควัตถุดิบธาตุหายากด้วยการนำเข้าสูงเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก และในปัจจุบันธาตุหายากได้กลายเป็นวัตถุดิบสำคัญที่กุมชะตาการพัฒนาเทคโนโลยีสำหรับโลกอนาคตเป็นที่เรียบร้อยแล้ว แต่ทว่าในประเทศไทยยังมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับธาตุหายากอยู่ในวงจำกัด ด้วยเหตุนี้ กรมทรัพยากรธรณีจึงได้จัดทำสมุดแผนที่ทรัพยากรแร่ของไทยเรื่อง “ธาตุหายาก” ฉบับนี้ขึ้น ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้นของธาตุหายากรวมถึงข้อมูลแหล่งธาตุหายากที่ได้จากกิจกรรมตามแผนปฏิบัติงานของกรมทรัพยากรธรณี โดยนำเสนอในรูปของข้อมูลแผนที่และรูปภาพประกอบเนื้อหาเพื่อให้ง่ายแก่ความเข้าใจสำหรับประชาชนและผู้สนใจทั่วไป โดยคาดหวังว่าสมุดแผนที่ฯ ฉบับนี้ จะเป็นสื่ออย่างหนึ่งให้ประชาชนสามารถเข้าถึงและมีความเข้าใจในข้อมูลทรัพยากรธาตุหายากที่ตรงกันตามเจตนารมณ์แห่งภารกิจของกรมทรัพยากรธรณี

สมุดแผนที่ทรัพยากรแร่ของไทย ฉบับนี้มีเนื้อหาประกอบด้วย ข้อมูลพื้นฐาน ประโยชน์ของธาตุหายาก วิธีการสำรวจ บัญชีทรัพยากรธาตุหายากเบื้องต้นในเขต 8 จังหวัดที่ได้จากงานสำรวจของกรมทรัพยากรธรณีที่เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555 เป็นต้นมา ตลอดจนข้อมูลสถิติแร่ที่เกี่ยวกับธาตุหายากในประเทศไทย

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า สมุดแผนที่ทรัพยากรแร่ของไทย ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้สนใจ หน่วยงานภาครัฐและภาคเอกชนที่จะนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นในพัฒนา และใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์เทคโนโลยีขั้นสูงในประเทศต่อไปในอนาคต

สำนักทรัพยากรแร่
กรมทรัพยากรธรณี

ห้องสมุดกรมทรัพยากรธรณี
DMR Library
0000039236
40926

เลขที่ 12 วันที่ 9 ธ.ค. 62

เอกสารเผยแพร่สำนักทรัพยากรแร่

สมุดแผนที่ทรัพยากรแร่ของไทย

ธาตุหายาก

อธิบดีกรมทรัพยากรธรณี
นายทศพร นุชอนงค์

ผู้อำนวยการสำนักทรัพยากรแร่
นายมนตรี เหลืองอิงคะสุต

ผู้อำนวยการส่วนวิชาการทรัพยากรแร่
นายภูรีวัฒน์ เจนรุ่งโรจน์

คณะผู้จัดทำ
นายธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช
นางสาวเอลิน สุขสวัสดิ์
นายธนัช วัชรมัย
นายสมคิด ไชยชนะ

จัดพิมพ์โดย
สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี

พิมพ์ครั้งที่ 1 มกราคม 2561
จำนวน 300 เล่ม

ติดต่อ
ส่วนวิชาการทรัพยากรแร่ สำนักทรัพยากรแร่
กรมทรัพยากรธรณี
ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0-2621-9766
โทรสาร 0-2621-9773

สารบัญ

I	คำนำ
II	สารบัญ
1	ข้อมูลพื้นฐานแร่
6	ประโยชน์ของธาตุหายาก
7	วิธีการสำรวจ
8	บัญชีทรัพยากรธาตุหายาก
13	แหล่งธาตุหายาก จังหวัดกาญจนบุรี
14	แหล่งธาตุหายาก จังหวัดระนอง
15	แหล่งธาตุหายาก จังหวัดอุทัยธานี
16	แหล่งธาตุหายาก จังหวัดชุมพร-สุราษฎร์ธานี
17	แหล่งธาตุหายาก จังหวัดเชียงราย
18	แหล่งธาตุหายาก จังหวัดเชียงใหม่-แม่ฮ่องสอน
20	ข้อมูลสถิติธาตุหายาก
22	เอกสารอ้างอิง
22	รูปภาพอ้างอิง
23	บรรณานุกรม

ข้อมูลการลงรายงานการบรรณานุกรม

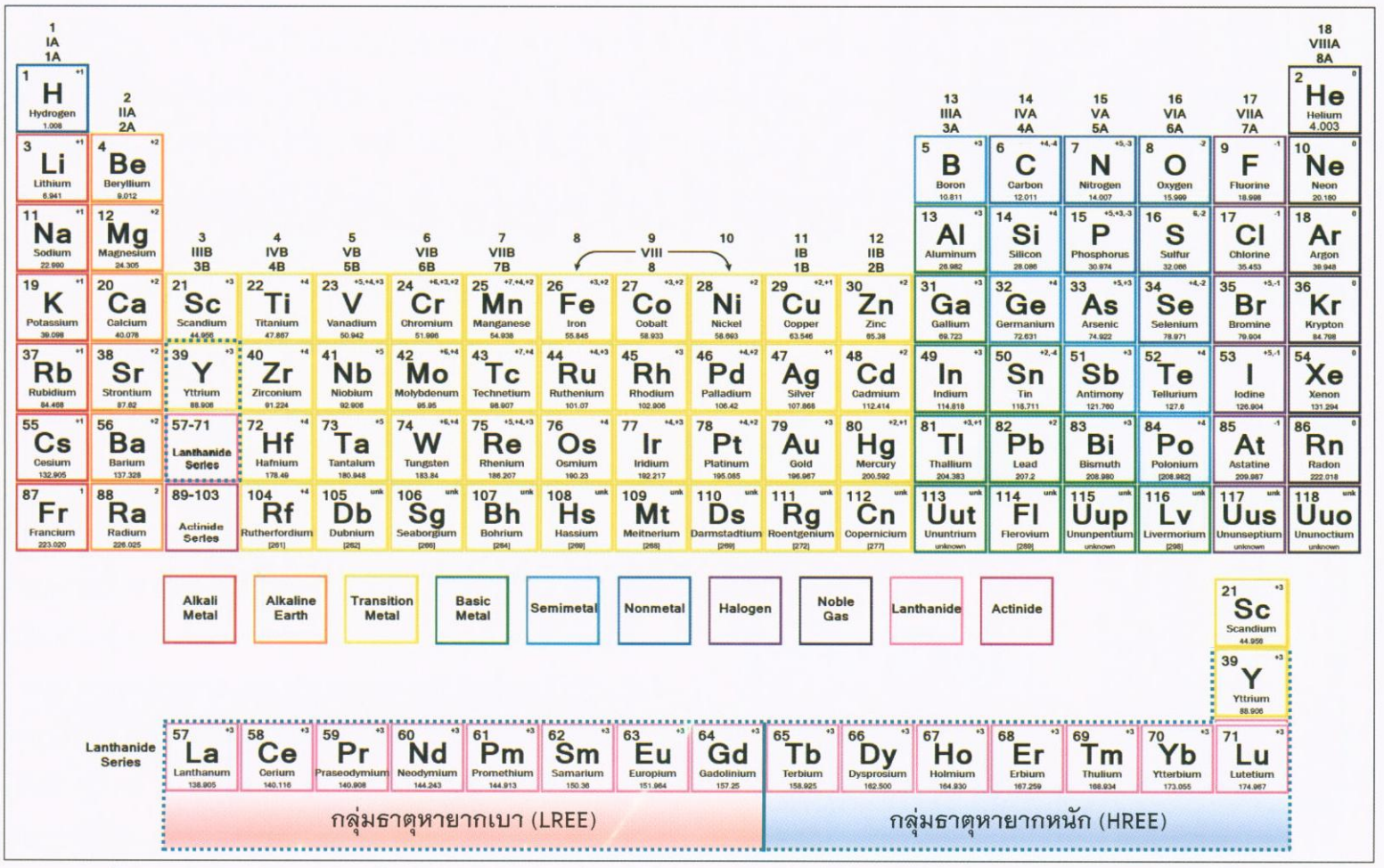
ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช เอลิน สุขสวัสดิ์ ธนัช วัชรมัย และสมคิด ไชยชนะ. สมุดแผนที่ทรัพยากรแร่ของไทย ธาตุหายาก. กรุงเทพฯ : สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี. 2561.
23 หน้า : ภาพประกอบ : ตาราง ; 37 ซม.
เอกสารเผยแพร่สำนักทรัพยากรแร่

ข้อมูลพื้นฐานแร่

General Information

1. คำนิยาม

"ธาตุหายาก (rare earth elements : REE)" หรือ "rare earths" เป็นธาตุโลหะในกลุ่มธาตุทรานซิชัน 3B ที่จัดอยู่ในอนุกรมธาตุแลนทาไนด์ (lanthanide series) ประกอบด้วยธาตุ 15 ธาตุ มีเลขอะตอมตั้งแต่ 57 ถึง 71 ทั้งนี้ โดยอนุโลมจะนับรวมธาตุสแกนเดียม (Sc) เลขอะตอม 21 และธาตุอิตเทรียม (Y) เลขอะตอม 39 เข้าอยู่ในกลุ่มของธาตุหายากด้วย เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายคลึงมาก (Moeller, 1963; Connelly et al., 2005) ซึ่งกลุ่มธาตุหายากสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ***กลุ่มธาตุหายากเบา*** (light rare earth elements: LREE) และ***กลุ่มธาตุหายากหนัก*** (heavy rare earth elements: HREE) อย่างไรก็ตามเกณฑ์การแบ่งจำนวนธาตุในกลุ่มย่อยสองกลุ่มนี้มีหลากหลาย แต่ในที่นี้จะแบ่งกลุ่มย่อยตามหลักการที่ U.S. Geological Survey (USGS) ยึดถือตามคำจำกัดความที่กำหนดขึ้นโดยสหพันธ์เคมีบริสุทธิ์และประยุกต์สากล (International Union of Pure and Applied Chemistry : IUPAC) กล่าวคือ ใน ***กลุ่มธาตุหายากเบา*** ประกอบด้วย 8 ชนิดธาตุ ได้แก่ แลนทานัม (La) ซีเรียม (Ce) เพรซีโอดิเมียม (Pr) นีโอดิเมียม (Nd) โพรมีเทียม* (Pm) ซาแมเรียม (Sm) ยูโรเพียม (Eu) และแกโดลิเนียม (Gd) ในขณะที่ธาตุใน ***กลุ่มธาตุหายากหนัก*** ประกอบด้วย 8 ชนิดธาตุเช่นเดียวกัน ได้แก่ เทอร์เบียม (Tb) ดีสโพรเซียม (Dy) โฮลเมียม (Ho) เออร์เบียม (Er) ทูเลียม (Tm) อิตเทอร์เบียม (Yb) ลูทีเทียม (Lu) และอิตเทรียม (Y) (รูปที่ 1) สำหรับธาตุสแกนเดียมนั้นไม่จัดรวมอยู่ในทั้งสองกลุ่มย่อยแม้จะถือว่าเป็นธาตุในกลุ่มของธาตุหายากตัวหนึ่งก็ตาม (Cordier, 2011; Haque et al., 2014)



Modified from http://vi.aliexpress.com/popular/modernism-period.html ; REE Subgroups defined by The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC)

รูปที่ 1 แผนภาพตารางธาตุแสดงตำแหน่งของกลุ่มธาตุหายาก

*โพรมีเทียม (Pm) เป็นธาตุหายากชนิดสังเคราะห์ ไม่มีความเสถียรในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ

ข้อมูลพื้นฐานแร่ (ต่อ)

General Information (cont.)

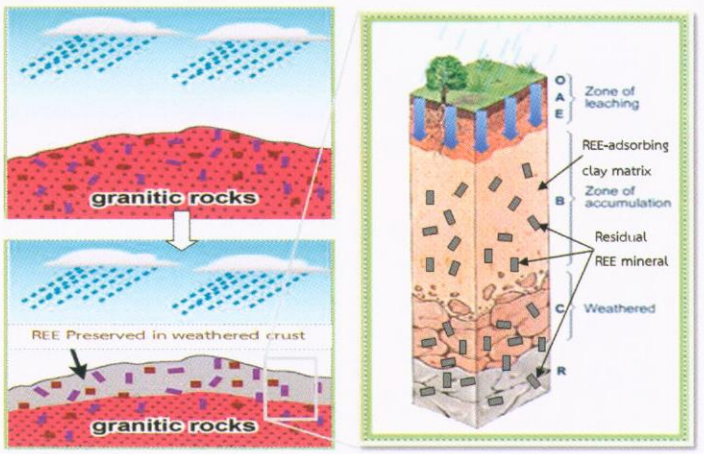
ธาตุหายากสามารถพบได้ในเนื้อหินเกือบทุกชนิดที่เป็นส่วนประกอบของเปลือกโลกในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ถึงกระนั้นก็เป็นการยากที่จะพบบริเวณที่มีการสะสมของกลุ่มธาตุหายากในปริมาณสมบูรณ์สูงมากพอจะสกัดออกมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งในธรรมชาติมีชนิดแร่ที่มีธาตุหายากเกิดเป็นธาตุองค์ประกอบหลักโครงสร้างผลึกอยู่ในราว 73 ชนิด โดยแร่เหล่านี้บางตัวจะมีธาตุหายากหลักเป็นกลุ่มธาตุเบา ขณะที่แร่บางตัวจะมีธาตุหายากหลักเป็นกลุ่มธาตุหนัก แต่ทั้งนี้มีเพียง 4 ชนิดแร่หลัก ๆ ที่ทั่วโลกได้มีการนำมาใช้เป็นสินแร่ในการสกัดแยกธาตุหายาก ได้แก่ แร่บาสต์เนไซต์ โมนาไซต์ ซีโนไทม์ และอะพาไทต์ นอกจากนี้ในปัจจุบันมีการสกัดแยกธาตุหายากที่ถูกดูดซับไว้บนผิวผลึกแร่ดิน (REE-adsorbed clay minerals) ที่สะสมในชั้นหินผุของมวลหินแกรนิต ในบริเวณภาคใต้ของประเทศจีน (Wu, et al., 1990; Bao an Zhao, 2008; Sanematsu and Kon, 2013) เป็นต้น

ตารางที่ 1 รายชื่อชนิดแร่ให้ธาตุหายากที่เด่น ๆ

กลุ่มแร่	ชนิดแร่หลัก
กลุ่มแร่ให้ธาตุหายากเบา	bastnasite, monazite, allanite, REE-bearing apatite, loparite, ancylite, parasite, lanthanite, cerite, fluocerite, cerianite, chevinite, stillwellite, และ britholite
กลุ่มแร่ให้ธาตุหายากหนัก	xenotime, gadolinite, samarskite, euxenite, fergusonite, yttrotantalite, yttrotungstite และ yttrialite

สำหรับพื้นที่ชนิดหินที่มีศักยภาพของการเป็นแหล่งให้ธาตุหายากที่พบได้ในประเทศไทย มีหลายชนิด อาทิ อัคนีบาดาลประเภทหินแกรนิต และหินไซอีไนต์ หินภูเขาไฟเนื้อไรโอไลต์ หินภูเขาไฟเนื้อแอลคาไลบะซอลต์ รวมถึงมวลหินแปรชนิดหินไนส์และหินชีสต์ เนื่องจากมีพื้นที่การกระจายตัวเป็นบริเวณกว้างขวาง นอกจากนี้ระดับค่าความเข้มกัมมันตรังสีทอเรียมจากผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศยังมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับปริมาณธาตุหายากในเนื้อหิน โดยรูปแบบการสะสมตัวของธาตุหายากที่มีศักยภาพสูงพอที่จะกลายเป็นแหล่งแร่ได้นั้น มี 2 รูปแบบหลัก คือ (1) แหล่งแร่หนักให้ธาตุหายากที่สะสมตัวแบบลานแร่ และ (2) แหล่งธาตุหายากแบบสะสมตัวในชั้นดินเหนือมวลหินที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผุพังทางเคมีอยู่กับที่ของมวลหิน ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีความชุ่มชื้นสูง มีฝนตกชุกและมีธรณีแปรสัณฐานที่เสถียรเป็นระยะเวลานาน

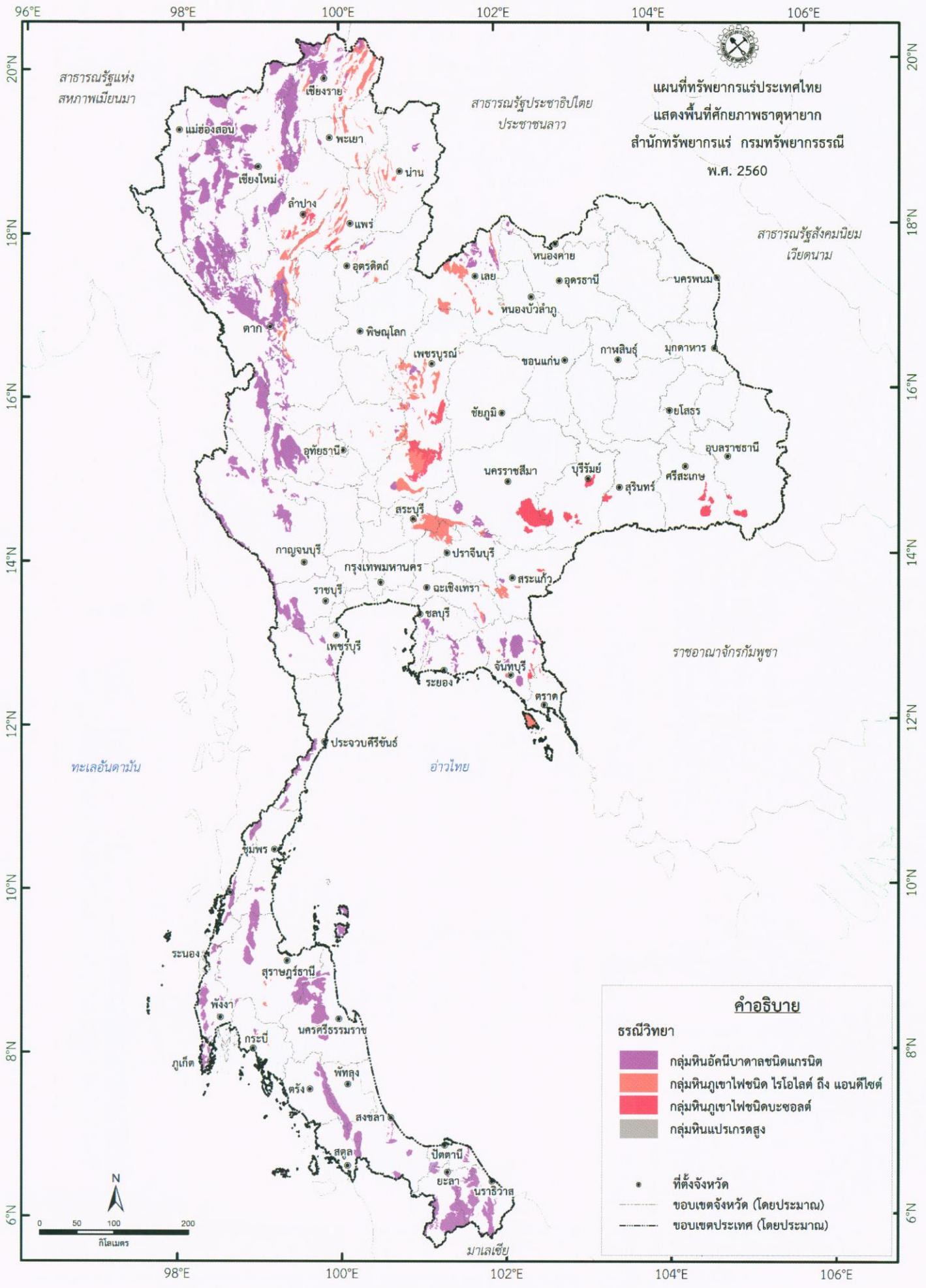
ทั้งนี้ เนื้อหินไซอีไนต์ มักมีความสมบูรณ์ของธาตุหายากสูงกว่าเนื้อหินประเภทอื่น ๆ แต่โอกาสในการเกิดแหล่งแร่แบบที่สัมพันธ์กับหินไซอีไนต์ อาจมีความเป็นไปได้ค่อนข้างน้อย เนื่องจากข้อมูลของการกระจายตัวของพื้นที่หินชนิดนี้ในประเทศไทยมีรายงานการพบน้อยมากและโดยมากเกิดเป็นหย่อมขนาดเล็ก ส่วนแหล่งแร่ที่สัมพันธ์กับหินอัคนีบาดาลชนิดพิเศษประเภทหินคาร์บอเนไทต์นั้น มีโอกาสเป็นไปได้ยาก เนื่องจากยังไม่เคยมีรายงานการพบหินชนิดนี้ในประเทศไทย



รูปที่ 2 แบบจำลองของการเกิดแหล่งแร่หนัก-ธาตุหายากแบบผุพังอยู่กับที่เหนือมวลหินแกรนิตในพื้นที่สำรวจ (ดัดแปลงจาก www.agsci.psu.edu, 2012)

ข้อมูลพื้นฐานแร่ (ต่อ)

General Information (cont.)



รูปที่ 3 แผนที่แสดงกลุ่มหินที่มีศักยภาพให้แหล่งธาตุหายากแบบผุพังอยู่กับที่

ข้อมูลพื้นฐานแร่ (ต่อ)

General Information (cont.)

แผนที่ทรัพยากรแร่ประเทศไทย
แสดงการกระจายตัวของพื้นที่ศักยภาพธาตุหายาก
ที่ได้จากแปลความหมายระดับค่าความเข้มกัมมันตรังสีทอเรียม
จากผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ
สำนักทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี
พ.ศ. 2560

สาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา
สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม
ราชอาณาจักรกัมพูชา
อ่าวไทย
ทะเลอันดามัน
มาเลเซีย

เชียงราย, แม่ฮ่องสอน, พะเยา, น่าน, เชียงใหม่, ลำปาง, แพร่, อุตรดิตถ์, เลย, หนองคาย, อุดรธานี, นครพนม, หนองบัวลำภู, ตาก, พิษณุโลก, เพชรบูรณ์, ขอนแก่น, กาฬสินธุ์, มุกดาหาร, ชัยภูมิ, ยโสธร, อุทัยธานี, อุบลราชธานี, นครราชสีมา, บุรีรัมย์, ศรีสะเกษ, สุรินทร์, สระบุรี, ปราจีนบุรี, กาญจนบุรี, กรุงเทพมหานคร, สระแก้ว, ราชบุรี, ฉะเชิงเทรา, ชลบุรี, เพชรบุรี, จันทบุรี, ระยอง, ตราด, ประจวบคีรีขันธ์, ชุมพร, ระนอง, สุราษฎร์ธานี, พังงา, นครศรีธรรมราช, กระบี่, ภูเก็ต, พัทลุง, ตรัง, สงขลา, สตูล, ปัตตานี, ยะลา, นราธิวาส

33.0 26.8 23.6 20.7 18.3 16.4 14.9 13.8 12.9 12.1 11.4 10.8 10.2 9.7 9.3 8.9 8.5 8.1 7.8 7.4 7.1 6.8 6.5 6.2 5.9 5.6 5.3 5.1 4.8 4.5 4.2 3.9 3.6 3.4 3.0 2.7 2.3 1.5

0 50 100 200 กิโลเมตร

98°E 100°E 102°E 104°E 106°E
20°N 18°N 16°N 14°N 12°N 10°N 8°N 6°N

คำอธิบาย

ค่าความเข้มกัมมันตรังสีธาตุทอเรียม (Th)
จากข้อมูลธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ

- ช่วงค่าเฉลี่ยสูงกว่า 25 ppm.
- ช่วงค่าเฉลี่ย 10 - 25 ppm.
- ที่ตั้งจังหวัด
- ขอบเขตจังหวัด (โดยประมาณ)
- ขอบเขตประเทศ (โดยประมาณ)

รูปที่ 4 แผนที่แสดงการกระจายตัวของพื้นที่ศักยภาพธาตุหายากที่ได้จากการแปลความหมายระดับค่าความเข้มกัมมันตรังสีธาตุทอเรียมจากผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ

ข้อมูลพื้นฐานแร่ (ต่อ)

General Information (cont.)

รูปที่ 5 แผนที่แสดงกลุ่มหินที่มีศักยภาพให้แหล่งธาตุหายากแบบผุพังอยู่กับที่ซ้อนทับกับพื้นที่ศักยภาพธาตุหายากที่ได้จากการแปลความหมายระดับค่าความเข้มกัมมันตรังสีธาตุทอเรียมจากผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศ

ประโยชน์ของธาตุหายาก

Usage of Rare Earth Elements

ประโยชน์ของธาตุหายากทั้ง 17 ชนิดธาตุ จัดเป็นวัตถุดิบต้นน้ำสำคัญยิ่งยวดในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชั้นสูงหลากประเภทของโลกปัจจุบันและอนาคต อาทิ การผลิตโลหะผสม (alloy) แม่เหล็กถาวรกำลังสูง (permanent magnet) ตัวเก็บประจุไดโอด ชุดไดนาโม และมอเตอร์ไฟฟ้าระบบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งถือเป็นวัตถุดิบกลางน้ำที่จำเป็นสำหรับการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ชีวิตประจำวันที่มีสมรรถนะสูง ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมแทบทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นโทรทัศน์จอแบน คอมพิวเตอร์ ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซัก/อบผ้า โทรศัพท์มือถือ แทปเล็ต ชุดเครื่องเสียงลำโพงขนาดจิ๋ว กล้องดิจิตอล หลอดประหยัดไฟเบอร์ 5 หลอดแอลอีดี แบตเตอรี่ชนิดเติมประจุใหม่ได้ รวมไปถึงชิ้นส่วนของรถยนต์ไฮบริด เครื่องบิน กังหันลมผลิตไฟฟ้า ระบบเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ และไฟแช็ก นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (catalysts) สำหรับกระบวนการกลั่นน้ำมันและผลิตไบโอดีเซล สารเรืองแสง สารให้สีในเครื่องแก้วและเซรามิก ผงขัดเลนส์แว่นตา ใยแก้วนำแสง ชุดกำเนิดแสงเลเซอร์ ระบบนำวิถีสำหรับอาวุธยุทโธปกรณ์ทางทหารที่ต้องการความแม่นยำสูง ยาและอุปกรณ์การแพทย์ ปุ๋ย และอุปกรณ์การกีฬา เป็นต้น ซึ่งธาตุหายากแต่ละตัวมีการนำไปใช้ประโยชน์ที่หลากหลายแตกต่างกัน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การใช้ประโยชน์หลัก ๆ ของธาตุหายากแต่ละชนิด (ดัดแปลงจาก Bleiwas and Gambogi, 2013 และ Haque et al., 2014)

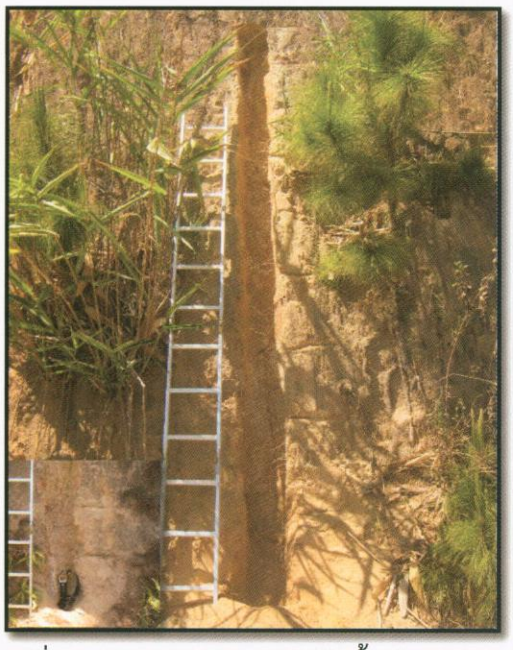
การใช้ประโยชน์	กลุ่มธาตุหายากเบา (LREEs)								กลุ่มธาตุหายากหนัก (HREYs)								Sc
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	
โลหะผสม	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
แม่เหล็ก		x	x	x		x	x	x	x	x	x						
แบตเตอรี่	x	x	x	x	x				x								
เครื่องยนต์ไฮบริด	x			x						x							
อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์	x	x	x	x					x	x		x				x	
LED และ/หรือ หลอดไฟประหยัดพลังงาน	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x			x	x
เซรามิก	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
เครื่องแก้ว	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
เลเซอร์	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
สารเรืองแสง	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
ตัวเร่งปฏิกิริยา	x	x	x	x		x		x							x	x	
อุปกรณ์ดูดซับนิวตรอน		x				x	x	x		x	x	x				x	
ยา-เวชภัณฑ์	x	x		x		x	x	x			x	x			x		
ปุ๋ย	x	x		x													

วิธีการสำรวจ

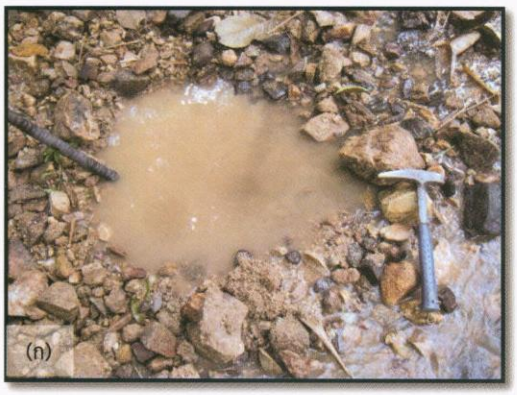
Exploration Method

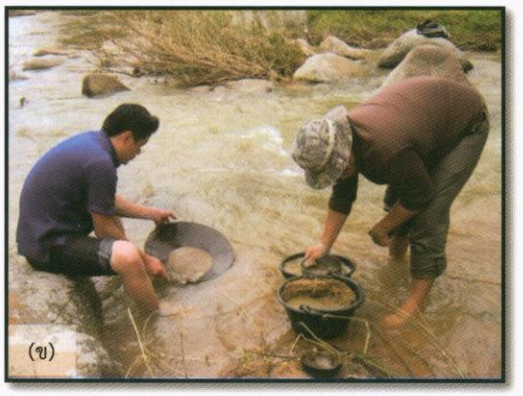
วิธีการสำรวจเพื่อการกำหนดแหล่งธาตุหายาก

ในการกำหนดกรอบพื้นที่เป้าหมายเบื้องต้น จะเน้นพื้นที่ที่มีแนวโน้มสูงในการให้แหล่งแร่แบบผุพังอยู่กับที่ โดยจะใช้ข้อมูลระดับค่าความเข้มกัมมันตรังสีจากผลการบินสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศเป็นปัจจัยพื้นฐาน ประกอบกับลักษณะการแผ่กระจายตัวของหินที่มีศักยภาพในการให้แหล่งธาตุหายากในพื้นที่ และข้อมูลผลการสำรวจที่ผ่านมาในการช่วยคัดเลือกพื้นที่ที่น่าจะมีศักยภาพธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแฝง และทำการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่เฉพาะแหล่ง โดยจะดำเนินศึกษาลักษณะชั้นดิน/หินผุเหนือหินฐานที่เป็นหินอัคนีบาดาล เก็บตัวอย่างตามแนวหน้าตัดชั้นดิน/หินผุและเนื้อหินสดส่งวิเคราะห์เคมีหาปริมาณธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสี ควบคู่กับการวัดค่ากัมมันตรังสีตามแนวหน้าตัดชั้นดิน พร้อมกับประมาณความหนาเบื้องต้นของชั้นดิน/หินผุด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าตามแนวสำรวจ รวมถึงศึกษาลักษณะการกระจายตัวของชนิดแร่หนักในตะกอนชั้นกะสะทางน้ำและในชั้นดิน/หินผุ ด้วยการนำตะกอนตัวอย่างมาร่อนเลียงเพื่อหาปริมาณและจำแนกชนิดแร่หนักตกค้างในชั้นตะกอน (โดยใช้ปริมาตรตัวอย่างตั้งต้น 10 ลิตร) (รูปที่ 7 (ก) และ (ข)) จากนั้นประมวลผลกำหนดขอบเขตพื้นที่แหล่งแร่



รูปที่ 6 การเซาะร่องหน้าตัดชั้นดิน/หินผุ พร้อมการตรวจวัดค่าระดับความเข้มกัมมันตรังสี

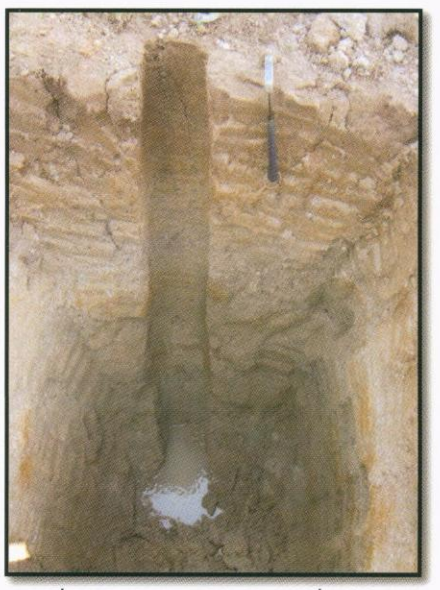




รูปที่ 7 (ก) การเก็บตัวอย่างในชั้นกะสะทางน้ำ และ (ข) การเลียงตัวอย่างเพื่อตรวจดูปริมาณแร่หนักที่ตกค้างในชั้นดิน/หินผุ และในชั้นกะสะทางน้ำ

วิธีการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ภายในเขตพื้นที่แหล่งแร่

หลังจากได้คัดเลือกพื้นที่แหล่งแร่ที่มีความน่าสนใจแล้ว จะดำเนินการสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่เพิ่มเติมในรายละเอียดเพื่อศึกษาการกระจายตัวและประเมินปริมาณทรัพยากรธาตุหายากที่สะสมตัวในแหล่งแร่แบบผุพังอยู่กับที่ ที่วางตัวปิดทับบนชั้นหินฐานที่มีศักยภาพให้ธาตุหายาก โดยจะเน้นไปที่การสำรวจธรณีวิทยาแหล่งแร่ใต้ดินโดยใช้ 2 วิธีการประกอบกัน คือ (1) การสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ ด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก เพื่อประเมินความหนาและรูปแบบการแผ่กระจายตัวของชั้นดิน/หินแกรนิตผุเหนือพื้นที่หินแกรนิต และ (2) ขุดหลุมทดลอง/เซาะร่อง บริเวณตำแหน่งขุด ณ จุดเดียวกัน (หรือใกล้เคียง) กับตำแหน่งที่ได้มีการสำรวจธรณีฟิสิกส์ด้วยวิธีวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าแบบหยั่งลึก เพื่อศึกษาลักษณะของชั้นตะกอนพร้อมกับตรวจสอบผลการแปลความหมายระดับตื้นจากการสำรวจธรณีฟิสิกส์ พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างตามแนวหน้าตัดชั้นดินส่งวิเคราะห์เคมีหาปริมาณธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสี ควบคู่กับการวัดค่ากัมมันตรังสีตามแนวหน้าตัดชั้นดิน/หินผุ รวมถึงศึกษาลักษณะการกระจายตัวของชนิดแร่หนักในชั้นดิน/หินผุด้วยการร่อนเลียงเพื่อหาปริมาณและจำแนกชนิดแร่หนักตกค้างในชั้นตะกอน (โดยใช้ปริมาตรตัวอย่างตั้งต้น 10 ลิตร)



รูปที่ 8 การขุดหลุมทดลองเพื่อศึกษาลักษณะเนื้อดิน/หินผุและระดับการผุสลายทางเคมีของเนื้อหิน

บัญชีทรัพยากรธาตุหายาก

Rare Earth Elements Resources

ข้อมูลด้านทรัพยากรธาตุหายากของประเทศไทยนั้น กล่าวได้ว่ามีน้อยมาก ทั้งนี้ด้วยการสำรวจประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่และการจัดทำบัญชีทรัพยากรแร่ของกรมทรัพยากรธรณีที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับธาตุหายากที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ได้กำหนดพื้นที่แหล่งแร่ของธาตุหายากและมีการประเมินปริมาณทรัพยากรธาตุหายากไว้ในเบื้องต้นแล้วทั้งสิ้น 13 แหล่ง โดยกิจกรรมการดำเนินการสำรวจสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงแรก ปี พ.ศ. 2534-2536 ซึ่งเป็นโครงการร่วมสำรวจแร่ในพื้นที่กระบุรี จ.ระนอง ระหว่างกรมทรัพยากรธรณีกับหน่วยงานของญี่ปุ่น 2 หน่วยงานคือ JICA (Japan International Cooperation Agency) และ MMAJ (Metal Mining Agency of Japan) ได้กำหนดบริเวณพื้นที่แหล่งแร่แบบลานแร่ไว้ 1 แหล่ง (REE_M8) มีเนื้อที่รวมประมาณ 0.5 ตร.กม. และช่วงหลัง ตั้งแต่ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 เป็นต้นมา เป็นการดำเนินงานของกรมทรัพยากรธรณี ซึ่งผลการดำเนินงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2555-2560 ได้กำหนดขอบเขตพื้นที่แหล่งแร่แบบผุพังสะสมตัวอยู่กับที่เหนือมวลหินแกรนิตไว้ 12 แหล่ง (REE_M1-M7 และ REE_M9-M13) มีเนื้อที่รวมประมาณ 214.5 ตร.กม. และพื้นที่ศักยภาพแร่แบบสะสมตัวอยู่กับที่เหนือมวลหินแกรนิต 5 พื้นที่ (REE_P1-P5) คิดเป็นเนื้อที่รวมประมาณ 1,248 ตร.กม.

พื้นที่แหล่งแร่ของธาตุหายาก แบบสะสมตัวอยู่กับที่ทั้ง 12 แหล่ง มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม 3,171,806 ตันโลหะ กระจายตัวอยู่ในเขตจังหวัดเชียงราย 1 แหล่ง (38 ตร.กม. มีปริมาณเฉลี่ยราว 12,818 ตันโลหะ/ตร.กม. มีศักยภาพในการพัฒนาอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ-ปานกลาง) จังหวัดเชียงใหม่ 3 แหล่ง (100.5 ตร.กม. แต่ละแหล่งมีปริมาณเฉลี่ยราว 19,911, 5,046 และ 13,532 ตันโลหะ/ตร.กม. มีศักยภาพในการพัฒนาอยู่ในระดับต่ำ-ปานกลาง 1 แหล่ง และระดับต่ำ 2 แหล่ง) จังหวัดแม่ฮ่องสอน 1 แหล่ง (33 ตร.กม. มีปริมาณเฉลี่ยราว 22,893 ตันโลหะ/ตร.กม. มีศักยภาพในการพัฒนาอยู่ในระดับปานกลาง) จังหวัดอุทัยธานี 1 แหล่ง (2 ตร.กม. มีปริมาณเฉลี่ยราว 3,812 ตันโลหะ/ตร.กม. มีศักยภาพในการพัฒนาอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ) จังหวัดกาญจนบุรี 2 แหล่ง (รวม 17 ตร.กม. แต่ละแหล่งมีปริมาณแร่เฉลี่ยราว 2,070 และ 1,586 ตันโลหะ/ตร.กม. มีศักยภาพในการพัฒนาอยู่ในระดับต่ำทั้งสองแหล่ง) จังหวัดชุมพร 1 แหล่ง (9 ตร.กม. มีปริมาณเฉลี่ยราว 2,776 ตันโลหะ/ตร.กม. มีศักยภาพในการพัฒนาอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ) จังหวัดสุราษฎร์ธานี 1 แหล่ง (10 ตร.กม. มีปริมาณเฉลี่ยราว 4,891 ตันโลหะ/ตร.กม. มีศักยภาพในการพัฒนาอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ-ปานกลาง) และจังหวัดระนอง 2 แหล่ง (รวม 5 ตร.กม. แต่ละแหล่งมีปริมาณเฉลี่ยราว 5,375 และ 1,869 ตันโลหะ/ตร.กม. มีศักยภาพในการพัฒนาอยู่ในระดับปานกลางทั้งสองแหล่ง) สำหรับแหล่งแร่ REE_M8 ในเขตจังหวัดระนองซึ่งเป็นแหล่งแบบลานแร่ คิดเป็นเนื้อที่ประมาณ 0.5 ตร.กม. ปริมาณทรัพยากรประมาณ 114 ตัน $TREE_2O_3$

พื้นที่ศักยภาพธาตุหายาก แบบสะสมตัวอยู่กับที่ทั้ง 5 พื้นที่ มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวมเบื้องต้น 181,286 ตันโลหะ กระจายตัวอยู่ในเขตจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 4 พื้นที่ (รวม 1,148 ตร.กม. แต่ละพื้นที่มีปริมาณเฉลี่ยราว 826, 100, 40 และ 24 ตันโลหะ/ตร.กม. มีความน่าสนใจต่อการสำรวจเพิ่มเติมในอนาคตอันใกล้อยู่ในระดับต่ำ) และเพชรบุรี 1 พื้นที่ (100 ตร.กม. มีปริมาณเฉลี่ยราว 9 ตันโลหะ/ตร.กม. ซึ่งจัดว่าไม่มีความน่าสนใจต่อการสำรวจเพิ่มเติมในอนาคตอันใกล้) แต่ทั้งนี้พื้นที่บริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่ศักยภาพทั้ง 5 พื้นที่นี้ยังคงมีความน่าสนใจต่อการสำรวจเพิ่มเติมในอนาคตเพื่อประเมินความเป็นไปได้ของการสะสมตัวเป็นแหล่งแร่แบบลานแร่ต่อไป

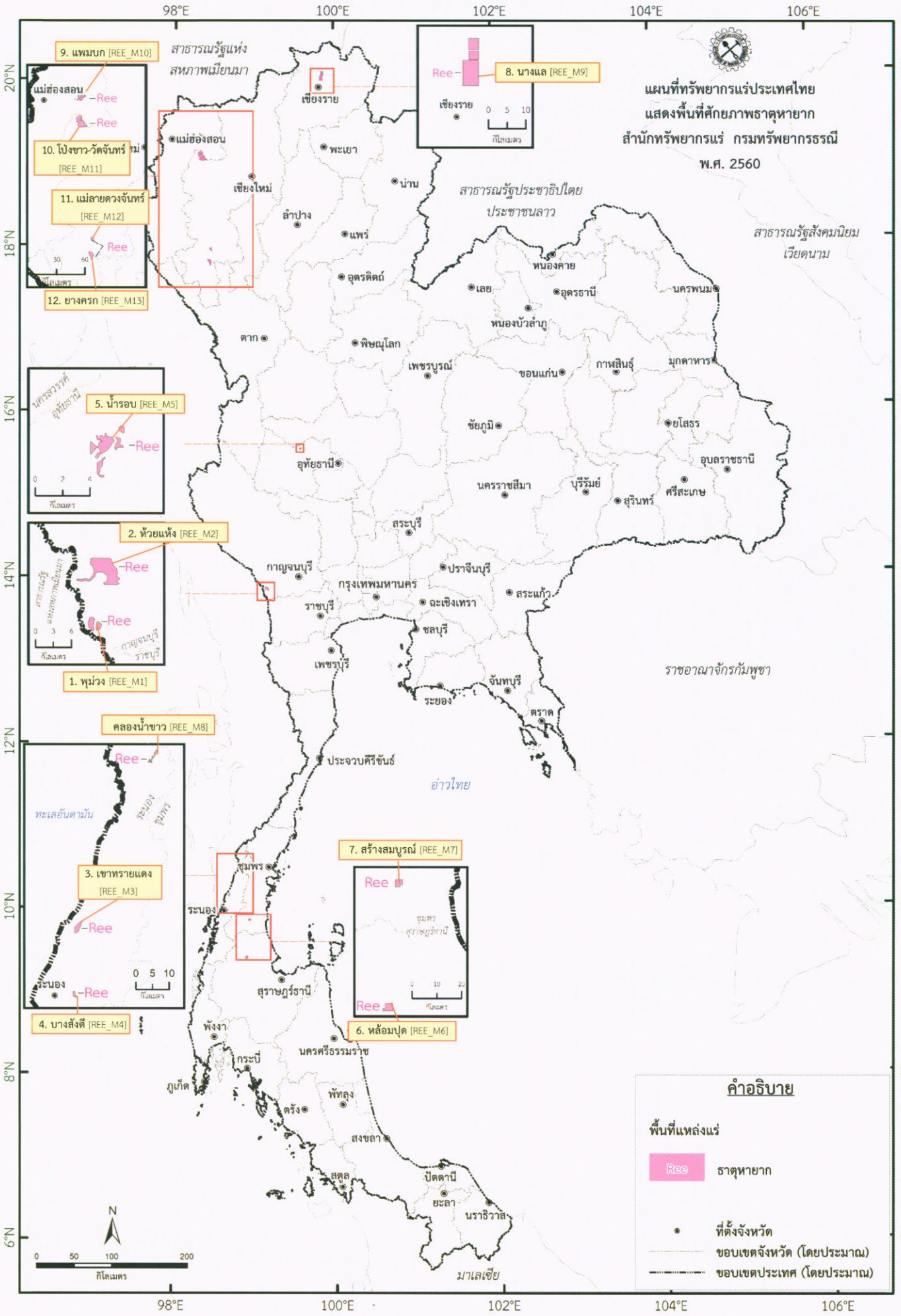
บัญชีทรัพยากรธาตุหายาก (ต่อ)

Rare Earth Elements Resources (cont.)

รูปที่ 9 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่แหล่งธาตุหายาก จำนวน 13 แห่ง (REE_M1-M13) และพื้นที่ศักยภาพธาตุหายากสูง จำนวน 5 พื้นที่ (REE_P1-P5) ที่ได้จากดำเนินการสำรวจที่ผ่านมา ซึ่งพื้นที่แหล่งแร่และพื้นที่ศักยภาพเหล่านี้มีลักษณะการสะสมตัวของธาตุหายากแบบอยู่กับที่ในชั้นดิน/หินผุ ยกเว้นแหล่ง REE_M8 ที่มีการสะสมตัวแบบลานแร่

บัญชีทรัพยากรธาตุหายาก (ต่อ)

Rare Earth Elements Resources (cont.)



รูปที่ 10 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่แหล่งธาตุหายาก

ตารางที่ 3 สรุปข้อมูลพื้นที่แหล่งธาตุหายาก แบบผุพังสะสมตัวอยู่กับที่ (REE_M1-M7 และ REE_M9-M13) ที่ได้จากดำเนินการในช่วงปีงบประมาณ พ.ศ. 2555-2560

จังหวัด	พื้นที่แหล่งแร่ (ตร.กม)	ปริมาณทรัพยากร (ตันโลหะ)	รหัส UNFC-2009	TREE+Y* (ppm)	ค่าเฉลี่ย (ppm)	ชนิดธาตุหายากหลัก (ธาตุหายากเสริม)	ระดับศักยภาพ** สำหรับการพัฒนา	ทอเรียม (ตันโลหะ)	ยูเรเนียม (ตันโลหะ)
กาญจนบุรี	1. พุม่วง (3) [REE_M1]	6,211 (2,070/ตร.กม.)	333	17 - 406	189	Ce, La, Nd, Y,	ต่ำ	ยังไม่ได้ประเมินไว้	
	2. ห้วยแห้ง (14) [REE_M2]	22,200 (1,586/ตร.กม.)	333	39 - 1,064	290	Ce, La, Nd, Y	ต่ำ		
ระนอง	3. เขาทรายแดง (4) [REE_M3]	21,500 (5,375 ตันโลหะ/ตร.กม.)	333	153 - 1,223	505	Ce, La, Nd, Y (Pr, Sm)	ปานกลาง	ยังไม่ได้ประเมินไว้	
	4. บางสังตี (1) [REE_M4]	1,869 (1,869/ตร.กม.)	333	67 - 2,275	337	Y, Ce, La, Nd (Dy, Pr, Sm, Gd, Yb)	ปานกลาง		
อุทัยธานี	5. น้ำรอบ (2) [REE_M5]	7,624 (3,812/ตร.กม.)	333	93 - 690	294	Ce, Y, La, Nd (Pr)	ค่อนข้างต่ำ	1,041 (502.5/ตร.กม.)	320 (160.0/ตร.กม.)
สุราษฎร์ธานี	6. หล้อมปุด (10) [REE_M6]	48,906 (4,891/ตร.กม.)	333	132 - 1,246	412	Ce, La, Nd, Y (Pr, Sm, Gd, Dy)	ค่อนข้างต่ำ-ปานกลาง	5,959 (595.9/ตร.กม.)	1,850 (185.0/ตร.กม.)
ชุมพร	7. สร้างสมบูรณ์ (9) [REE_M7]	24,984 (2,776/ตร.กม.)	333	255 - 563	320	Ce, La, Nd, Y (Pr)	ค่อนข้างต่ำ	4,297 (477.4/ตร.กม.)	991 (110.1/ตร.กม.)
เชียงราย	8. นางแล (38) [REE_M9]	487,090 (12,818/ตร.กม.)	333	21 - 889	350	Ce, La, Nd, Y (Pr, Sm, Gd, Dy)	ค่อนข้างต่ำ-ปานกลาง	84,842 (2,232.7/ตร.กม.)	25,741 (677.4/ตร.กม.)
แม่ฮ่องสอน	9. แพมบก (33) [REE_M10]	755,475 (22,893/ตร.กม.)	334	459 – 3,253	1,541	Ce, La, Nd, Y (Dy, Pr, Sm, Gd, Er, Eu)	ปานกลาง	59,422 (1,801/ตร.กม.)	13,697 (415/ตร.กม.)
เชียงใหม่	10. โป่งขาว-วัดจันทร์ (73) [REE_M11]	1,453,495 (19,911/ตร.กม.)	334	261 – 1,303	517	Ce, La, Nd, Y (Dy, Pr, Sm, Gd, Er, Eu)	ต่ำ-ปานกลาง	145,625 (1,995/ตร.กม.)	48,927 (670/ตร.กม.)
	11. แม่ลายดวงจันทร์ (3.5) [REE_M12]	17,662 (5,046/ตร.กม.)	334	48 – 1,123	326	Ce, La, Nd, Y (Dy, Pr, Sm, Gd)	ต่ำ	2,458 (702/ตร.กม.)	605 (173/ตร.กม.)
	12. ยางครก (24) [REE_M13]	324,790 (13,532/ตร.กม.)	334	77 – 1,284	384	Ce, La, Nd, Y (Dy, Pr, Sm, Gd)	ต่ำ	70,241 (2,927/ตร.กม.)	17,352 (723/ตร.กม.)
รวม	**214.5**	**3,171,806**		**17 - 3,253**	**189 - 1,541**	**Ce, La, Nd, Y (Dy, Pr, Sm, Gd, Yb)**	**ต่ำ-ปานกลาง**	**373,885**	**109,483**

*TREE+Y คือ ช่วงค่าความสมบูรณ์รวมของปริมาณธาตุหายากทุกตัวและธาตุอิตเทรียม แต่ไม่รวมสแกนเดียม

**ระดับศักยภาพเป็นการประเมินเบื้องต้นโดยเทียบกับค่าความสมบูรณ์ของแหล่งแร่แบบดูดซับไอออน ที่ได้มีการพัฒนาเป็นเหมืองแล้ว ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 300-2,000 ppm ทั้งนี้ยังต้องพิจารณาถึงสัดส่วนของปริมาณและชนิดของธาตุหายากหนักในแต่ละแหล่งต้นกำเนิดประกอบด้วย

ตารางที่ 4 ข้อมูลพื้นที่แหล่งธาตุหายาก แบบลานแร่ (REE_M8) ที่ได้จากดำเนินการในช่วงปีงบประมาณ พ.ศ. 2534-2536

จังหวัด	พื้นที่แหล่งแร่ (ตร.กม)	ปริมาณทรัพยากร (ตัน $TREE_2O_3$*)	รหัส UNFC-2009	ระดับศักยภาพ สำหรับการพัฒนา	ทอเรียม (ตัน ThO_3**)	ยูเรเนียม
ระนอง	1. คลองน้ำขาว (0.5) [REE_M8]	114	332	ต่ำ	15	ยังไม่ได้ประเมินไว้

*$TREE_2O_3$ คือธาตุหายากทั้งหมดในรูปของออกไซด์ **ThO_3 คือธาตุทอเรียมในรูปของออกไซด์

ตารางที่ 5 ข้อมูลพื้นที่ศักยภาพธาตุหายาก แบบผุพังสะสมตัวอยู่กับที่ (REE_P1-P5) ที่ได้จากดำเนินการในช่วงปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

จังหวัด	พื้นที่ศักยภาพแร่ (ตร.กม)	ปริมาณทรัพยากร (ตันโลหะ)	รหัส UNFC-2009	TREE+Y* (ppm)	ค่าเฉลี่ย (ppm)	ชนิดธาตุหายากหลัก (ธาตุหายากเสริม)	ระดับศักยภาพ** สำหรับการพัฒนา	ทอเรียม (ตันโลหะ)	ยูเรเนียม (ตันโลหะ)
ประจวบคีรีขันธ์	1. ทับสะแก (119) [REE_P1]	98,254 (825.7/ตร.กม.)	334	114-380	380	Ce, Y, La, Nd (Pr, Sm)	ต่ำ	13,520 (113.6/ตร.กม.)	2,757 (23.2/ตร.กม.)
	2. บางสะพาน (27) [REE_P2]	27,706 (1,026.1/ตร.กม.)	334	29-887	448	Ce, Y, La, Nd (Pr, Sm)	ต่ำ	5,672 (210.1/ตร.กม.)	690 (25.6/ตร.กม.)
	3. บางสะพานน้อย (59) [REE_P3]	23,383 (396.3/ตร.กม.)	334	169-638	375	Ce, Y, La, Nd (Pr, Sm)	ต่ำ	19,191 (325.3/ตร.กม.)	3,447 (58.4/ตร.กม.)
	4. หัวหิน (943) [REE_P4]	22,937 (24.3/ตร.กม.)	334	126-1,031	511	Ce, Y, La, Nd (Pr, Sm)	ต่ำ	51,896 (55.0/ตร.กม.)	12,053 (12.8/ตร.กม.)
เพชรบุรี	5. ชะอำ (100) [REE_P5]	9,006 (9.0/ตร.กม.)	334	50-554	242	Ce, Y, La, Nd (Pr, Sm)	ต่ำ	3,868 (38.7/ตร.กม.)	816 (8.2/ตร.กม.)
รวม	**1,248**	**181,286**		**29-1,031**	**242-511**	**Ce, Y, La, Nd (Pr, Sm)**	**ต่ำ**	**94,146**	**19,763**

*TREE+Y คือ ช่วงค่าความสมบูรณ์รวมของปริมาณธาตุหายากทุกตัวและธาตุอิตเทรียม แต่ไม่รวมสแกนเดียม

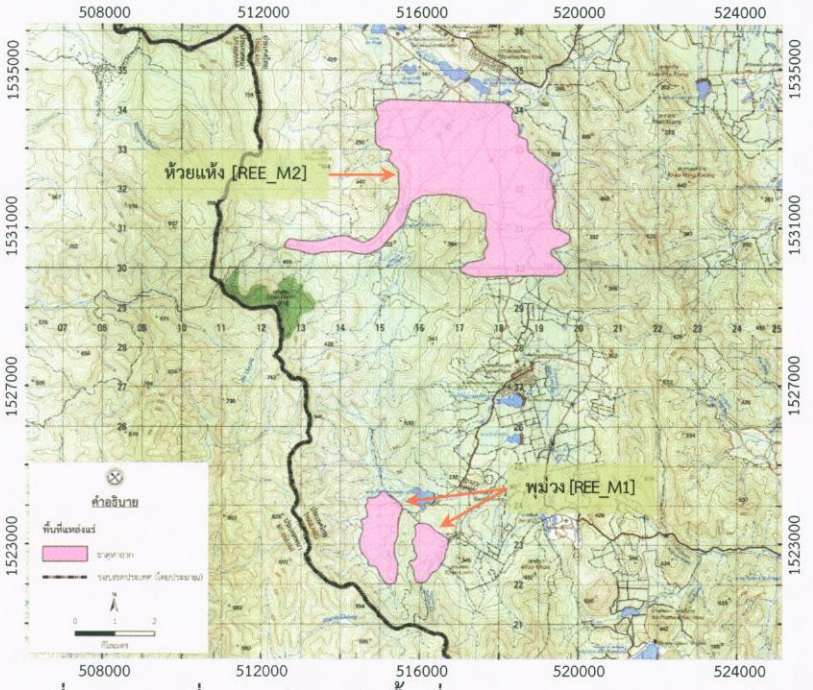
**ระดับศักยภาพเป็นการประเมินเบื้องต้นโดยเทียบกับค่าความสมบูรณ์ของแหล่งแร่แบบดูดซับไอออน ที่ได้มีการพัฒนาเป็นเหมืองแล้ว ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 300-2,000 ppm ทั้งนี้ยังต้องพิจารณาถึงสัดส่วนของปริมาณและชนิดของธาตุหายากหนักในแต่ละแหล่งต้นกำเนิดประกอบด้วย

แหล่งธาตุหายาก จังหวัดกาญจนบุรี

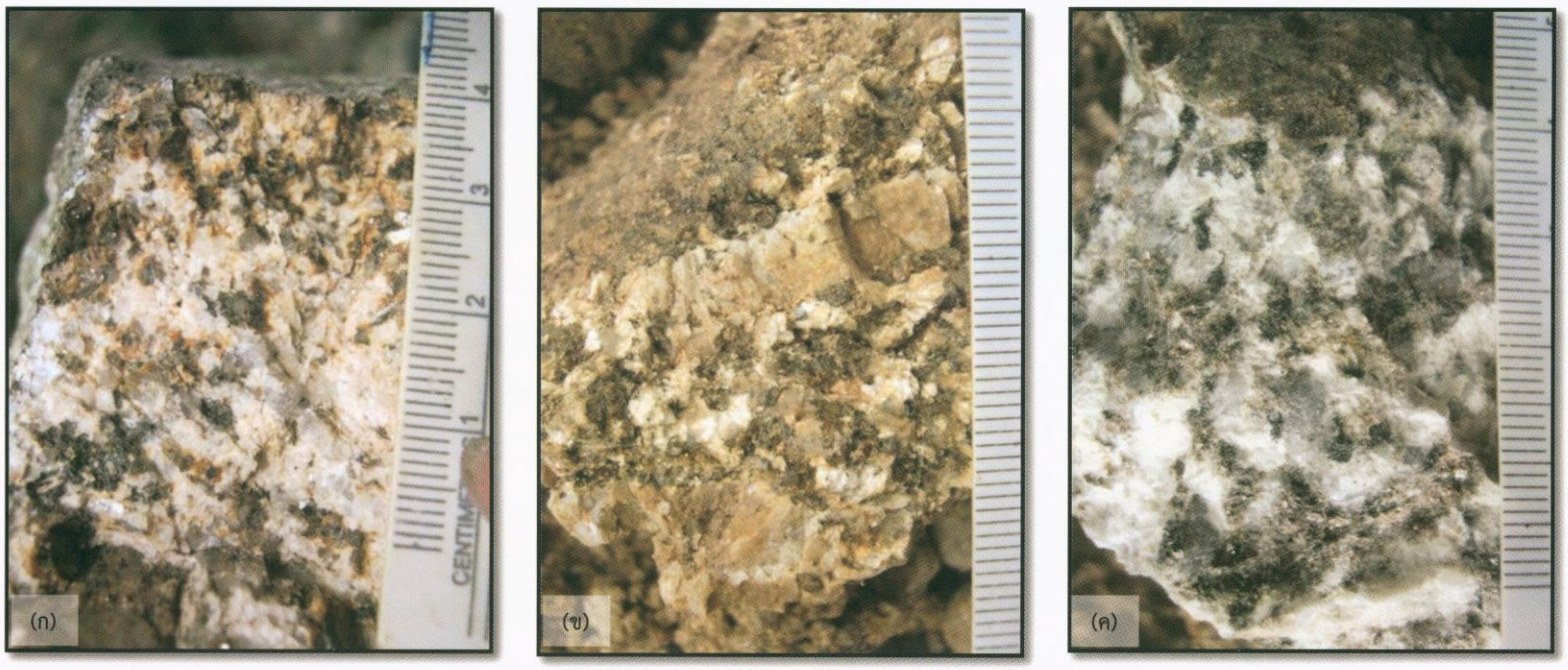
Rare Earth Elements Deposits in Kanchanaburi

แหล่ง “พุม่วง [REE_M1] ” (ขนาดพื้นที่ ~ 3 ตร.กม.) อยู่ในเขต ต.บ้านเก่า อ.เมือง คาบเกี่ยวกับ ต.จระเข้เผือก อ.ด่านมะขามเตี้ย จ.กาญจนบุรี ลักษณะทางธรณีวิทยารองรับด้วยหินทัวร์มาลีน-มัสโคไวต์แกรนิตเนื้อเดียวที่มีเนื้อละเอียดถึงเนื้อปานกลาง และหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอกที่มีเนื้อพื้นเป็นเนื้อละเอียดถึงเนื้อปานกลาง แทรกดันเข้ามาในชั้นหินทรายเกร์ยแวคกึ่งแปรสภาพและหินฟิลิติกชีสต์ยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน ทางด้านตะวันตกของพื้นที่เป็นหินโคลนกึ่งแปรสภาพยุคคาร์บอนิเฟอรัส-เพอร์เมียน มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม (TREYs) ประมาณ 6,211 ตันโลหะ ที่ความสมบูรณ์เฉลี่ย 189 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับต่ำ และมีชั้นความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่าระดับ 333

แหล่ง “ห้วยแห้ง [REE_M2] ” (ขนาดพื้นที่ ~ 14 ตร.กม.) อยู่ในเขต ต.บ้านเก่า อ.เมือง จ.กาญจนบุรี มีลักษณะทางธรณีวิทยารองรับด้วยหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอก หินทัวร์มาลีน-มัสโคไวต์แกรนิต หินไบโอไทต์แกรนิต และหินมัสโคไวต์แกรนิต โดยมีสายเพกมาไทต์ตัดแทรกเข้ามาในมวลหินแทรกตัดเข้ามาในชั้นหินตะกอนเนื้อผสมยุคไซลูเรียน-ดีโวเนียน ที่มีหินทรายสลับชั้นกับหินโคลนสีเทา มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม (TREYs) ประมาณ 22,200 ตันโลหะ ที่ความสมบูรณ์เฉลี่ย 290 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับต่ำ และมีชั้นความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่าระดับ 333



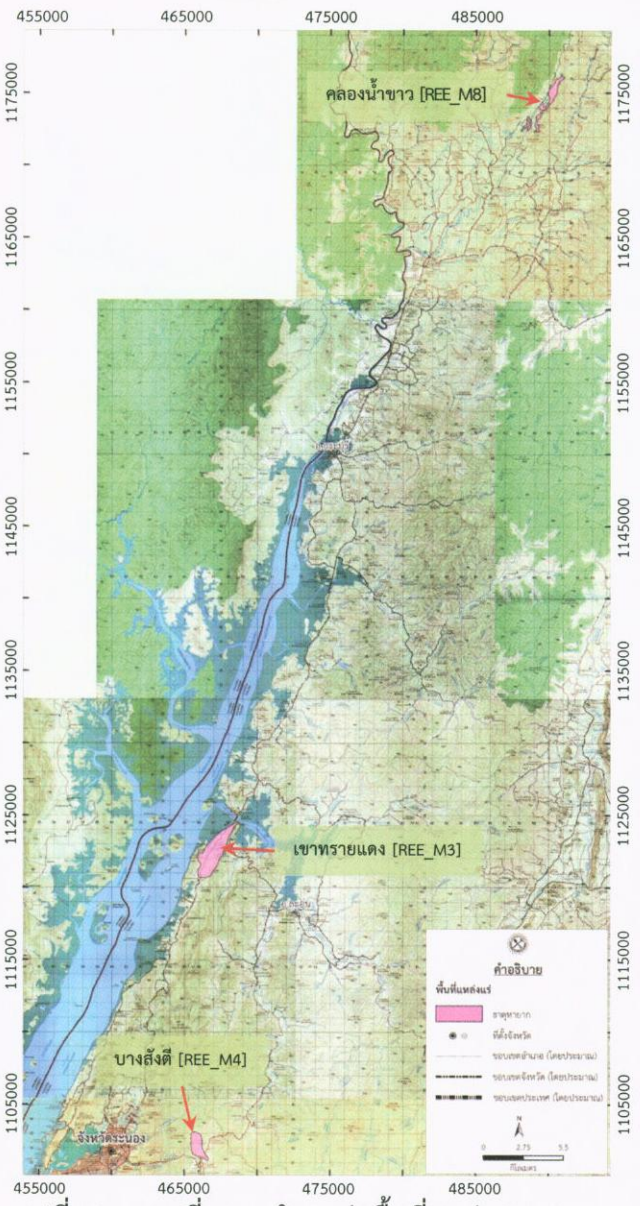
รูปที่ 11 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่แหล่งธาตุหายาก 2 แหล่ง ใน จ.กาญจนบุรี



รูปที่ 12 ลักษณะเนื้อหินแกรนิตที่พบในพื้นที่ (ก) หินแกรนิตเนื้อทัวร์มาลีน-มัสโคไวต์-ไบโอไทต์ เนื้อขนาดเดียว (ข) หินแกรนิตเนื้อไบโอไทต์ เนื้อดอก (ค) หินแกรนิตเนื้อมัสโคไวต์-ไบโอไทต์ เนื้อขนาดเดียว

แหล่งธาตุหายาก จังหวัดระนอง

Rare Earth Elements Deposits in Ranong

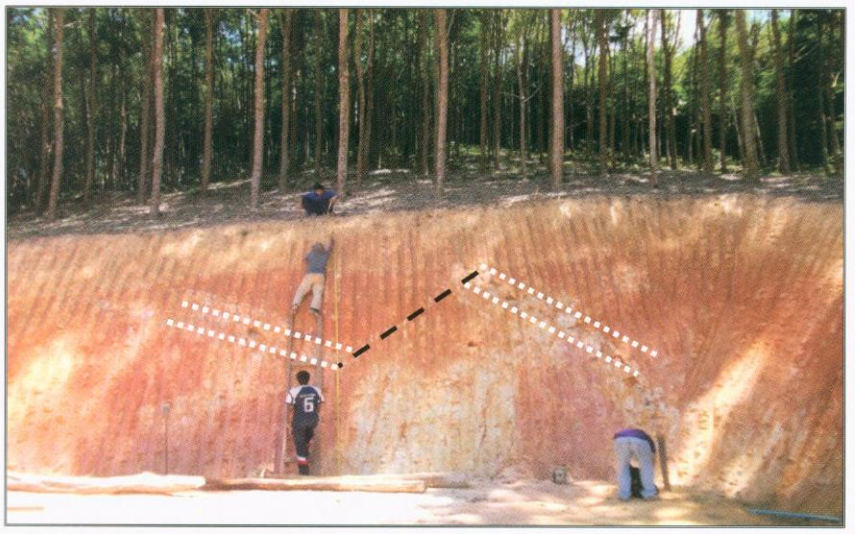


รูปที่ 13 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่แหล่งธาตุหายาก 3 แหล่ง ใน จ.ระนอง

แหล่ง “เขาทรายแดง [REE_M3] ” (ขนาดพื้นที่ ~ 4 ตร.กม.) อยู่ในเขต ต.ทรายแดง อ.เมือง จ.ระนอง มีลักษณะทางธรณีวิทยารองรับด้วยหินมัสโคไวต์-ไบโอไทต์แกรนิต แทรกดันเข้ามาในชั้นหินตะกอนของกลุ่มหินแก่งกระจานที่ประกอบด้วยหินโคลนกึ่งแปรสภาพ หินทรายกึ่งแปรสภาพ และหินควอร์ตซีสต์ โดยเนื้อหินแกรนิตมักแสดงการเรียงตัวของเม็ดแร่ในแนวทิศตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นผลจากแรงเฉือนตามแนวรอยเลื่อนระนอง มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม (TREYs) ประมาณ 21,500 ตันโลหะ ที่ความสมบูรณ์เฉลี่ย 505 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับปานกลาง และมีชั้นความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่าระดับ 333

แหล่ง “บางสังตี [REE_M4] ” (ขนาดพื้นที่ ~ 1 ตร.กม.) อยู่ในเขต ต.หาดส้มแป้น อ.เมือง จ.ระนอง มีลักษณะทางธรณีวิทยารองรับด้วยหินแกรนิตหลายเนื้อ ประกอบด้วย มัสโคไวต์-ไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอก ไบโอไทต์-มัสโคไวต์แกรนิต มัสโคไวต์แกรนิต ทัวร์มาลีน-มัสโคไวต์แกรนิต และทัวร์มาลีนแกรนิตแทรกดันเข้ามาในชั้นหินตะกอนของกลุ่มหินแก่งกระจานที่ประกอบด้วยหินโคลนกึ่งแปรสภาพ หินทรายกึ่งแปรสภาพ และหินฮอร์นเฟลส์ มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม (TREYs) ประมาณ 1,869 ตันโลหะ ที่ความสมบูรณ์เฉลี่ย 337 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับปานกลาง และมีชั้นความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่าระดับ 333

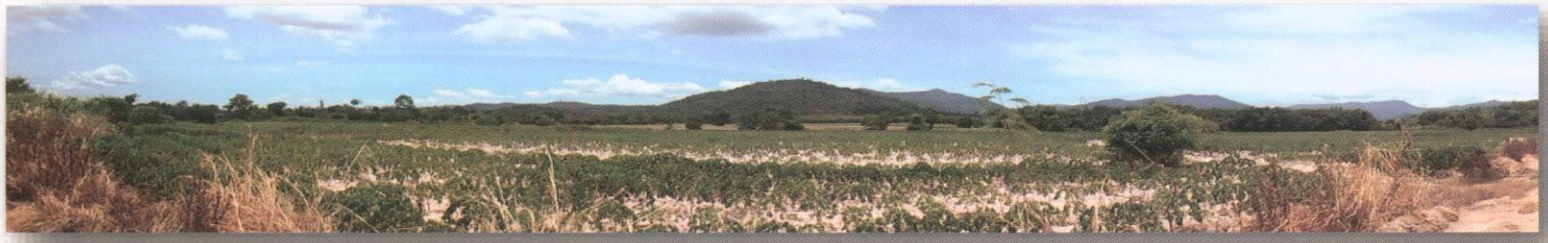
แหล่ง “คลองน้ำขาว [REE_M8] ” (ขนาดพื้นที่ ~ 0.5 ตร.กม.) อยู่ในเขต ต.จ.ป.ร. อ.กระบุรี จ.ระนอง ลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นชั้นตะกอนทางน้ำและตะกอนเชิงเขาอายุควอเทอร์นารี ซึ่งมีการสะสมตัวของแร่หนักโดยเป็นแนวสัมผัสระหว่างหินแกรนิตกับหินท้องที่ซึ่งเป็นหินตะกอนอายุไซลูเรียนถึงเพอร์เมียน จัดเป็นแหล่งธาตุหายากแบบลานแร่สัมพันธ์กับแหล่งแร่ดีบุก มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม (TREYs) ประมาณ 114 ตัน $TREE_2O_3$ โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับต่ำ และมีชั้นความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่าระดับ 332



รูปที่ 14 ลักษณะหน้าตัดดินที่มาสายควอตซ์ผุ (เส้นไข่ปลาสีขาว) และรอยเลื่อนตัดผ่าน (เส้นประสีดำ) เข้ามาในเนื้อหินมัสโคไวต์-ไบโอไทต์ผุยุ่ย ในพื้นที่แหล่ง “เขาทรายแดง”

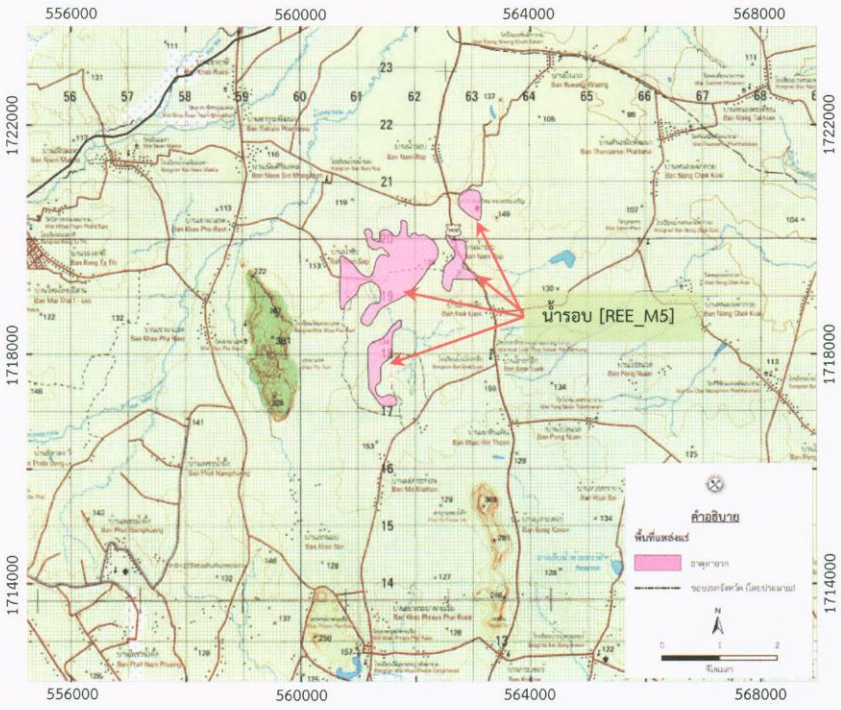
แหล่งธาตุหายาก จังหวัดอุทัยธานี

Rare Earth Elements Deposits in Uthai Thani

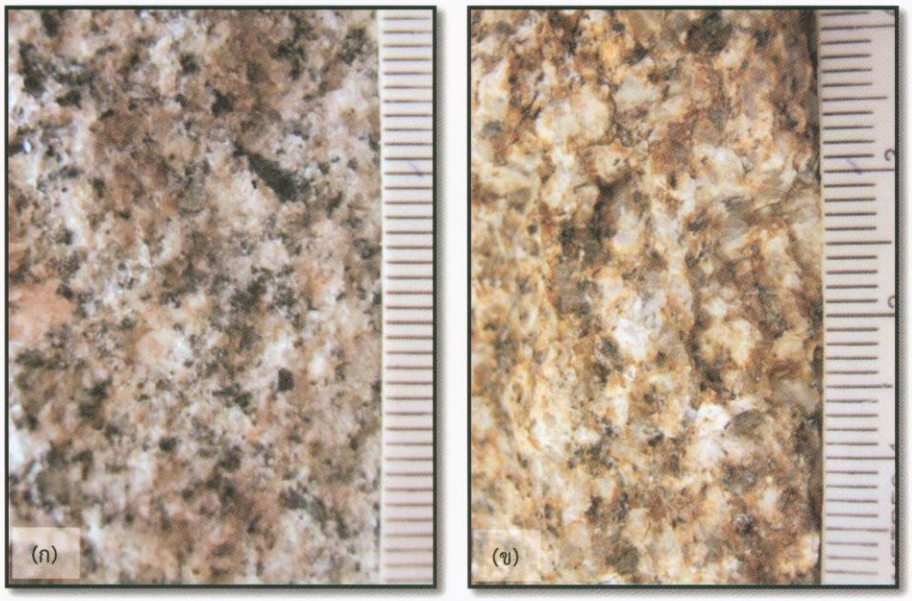


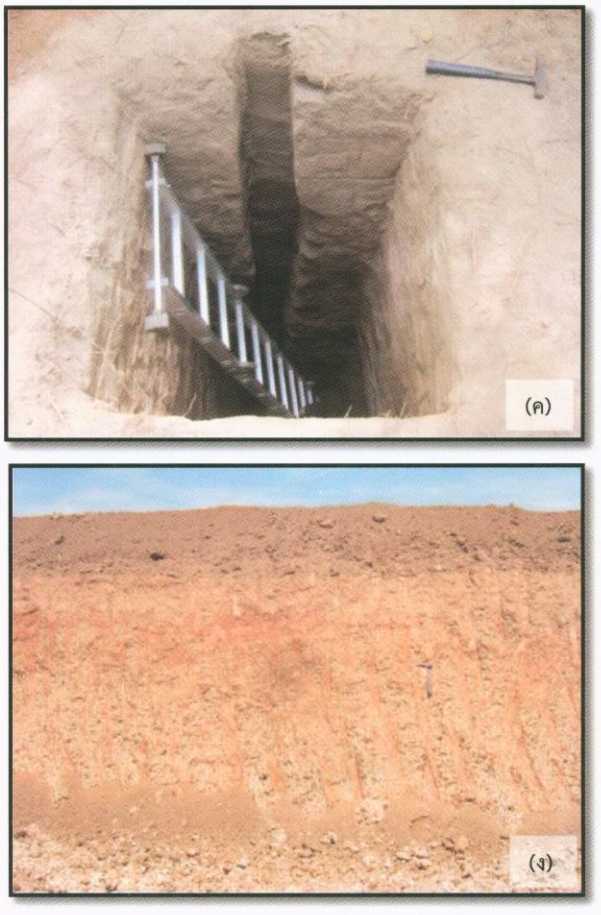
รูปที่ 15 ลักษณะภูมิประเทศบริเวณพื้นที่แหล่งธาตุหายาก “น้ำรอบ” ต.น้ำรอบ อ.ลานสัก จ.อุทัยธานี เป็นที่ราบสลับเนินเขาเตี้ย ไม่สูงชัน

แหล่ง “น้ำรอบ [REE_M5] ” (ขนาดพื้นที่ ~ 2 ตร.กม.) อยู่ในเขต ต.น้ำรอบ อ.ลานสัก จ.อุทัยธานี มีลักษณะทางธรณีวิทยารองรับด้วยหินไบโอไทต์แกรนิต แทรกดันเข้ามาในชุดหินปูนของหมวดหินบ้านผาขาด (Ppk) ซึ่งเนื้อหินแกรนิตมีทั้งชนิดเนื้อสองขนาด และเนื้อผลึกเท่า ที่มีผลึกแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์สีเนื้ออมชมพูเป็นแร่พื้นรวมกับแร่ควอตซ์และไบโอไทต์ มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม (TREYs) ประมาณ 7,624 ตันโลหะ ที่ความสมบูรณ์เฉลี่ย 294 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ และมีชั้นความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่าระดับ 333



รูปที่ 16 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่แหล่งธาตุหายากใน จ.อุทัยธานี

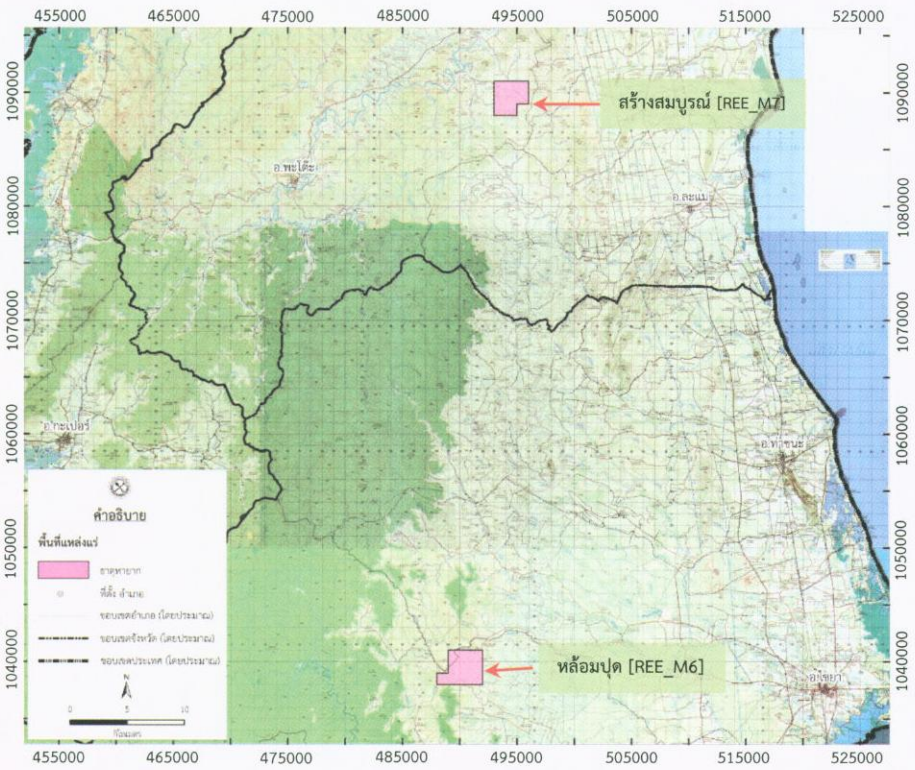




รูปที่ 17 (ก) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์แกรนิตสด ในพื้นที่แหล่ง “น้ำรอบ”
(ข) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์แกรนิตผุ ในพื้นที่แหล่ง “น้ำรอบ”
(ค) ลักษณะชั้นเนื้อดิน/หินผุภายในหลุมทดลอง
(ง) ลักษณะหน้าตัดชั้นดิน/หินผุ

แหล่งธาตุหายาก จังหวัดชุมพร-สุราษฎร์ธานี

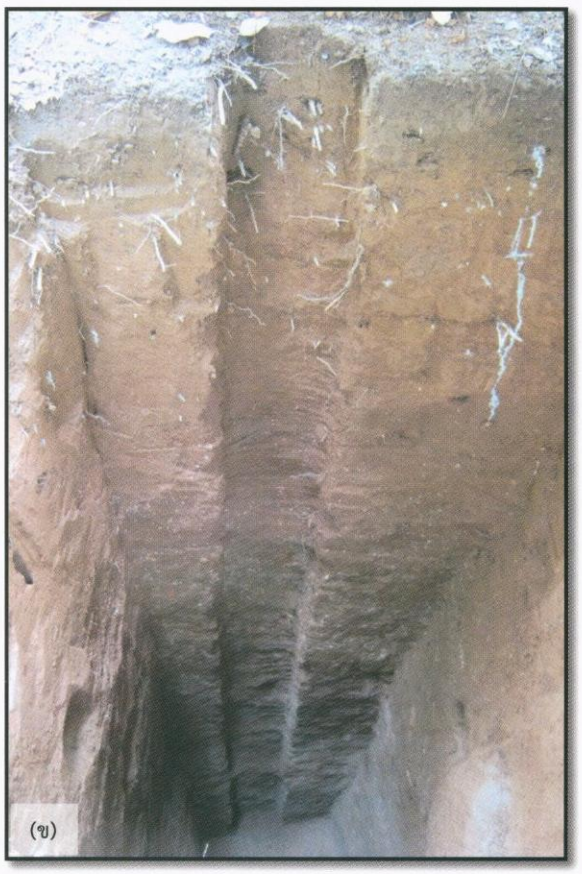
Rare Earth Elements Deposits in Chumphon–Surat Thani

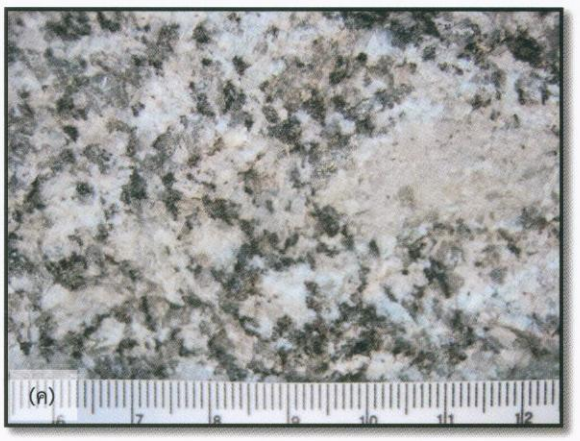


รูปที่ 18 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่แหล่งธาตุหายาก 2 แหล่ง ใน จ.ชุมพร-สุราษฎร์ธานี

แหล่ง "สร้างสมบูรณ์ [REE_M7] " (ขนาดพื้นที่ ~ 9 ตร.กม.) อยู่ในเขต อ.พะโต๊ะ จ.ชุมพร มีลักษณะทางธรณีวิทยารองรับด้วยหินไบโอไทต์แกรนิต เนื้อดอกเป็นส่วนใหญ่ มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม (TREYs) ประมาณ 24,984 ตันโลหะ ที่ความสมบูรณ์เฉลี่ย 320 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ และมีชั้นความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่าระดับ 333

แหล่ง "หล้อมปุด [REE_M6] " (ขนาดพื้นที่~ 10 ตร.กม.) อยู่ในเขตรอยต่อระหว่าง อ.ท่าฉาง และ อ.ไชยา จ.สุราษฎร์ธานี มีลักษณะทางธรณีวิทยารองรับด้วยหินไบโอไทต์แกรนิต เนื้อดอกเป็นส่วนใหญ่ มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม (TREYs) ประมาณ 48,906 ตันโลหะ ที่ความสมบูรณ์เฉลี่ย 412 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ-ปานกลาง และมีชั้นความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่าระดับ 333

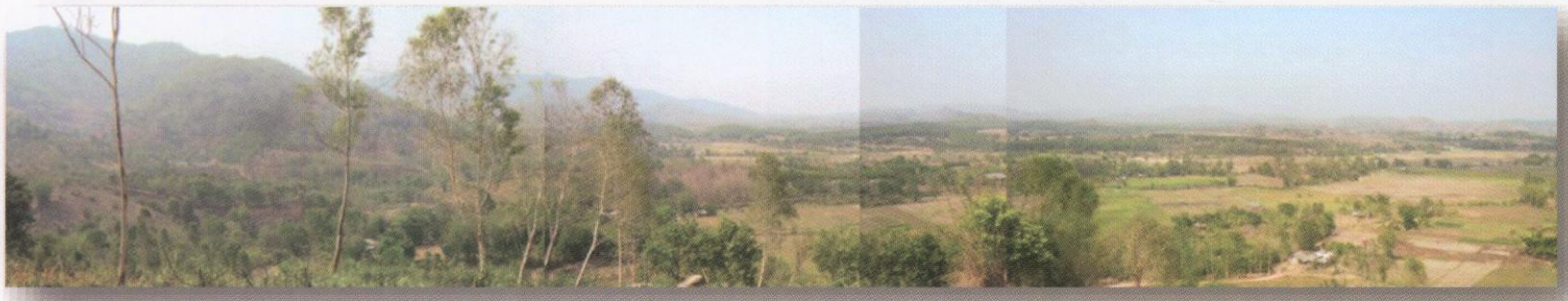




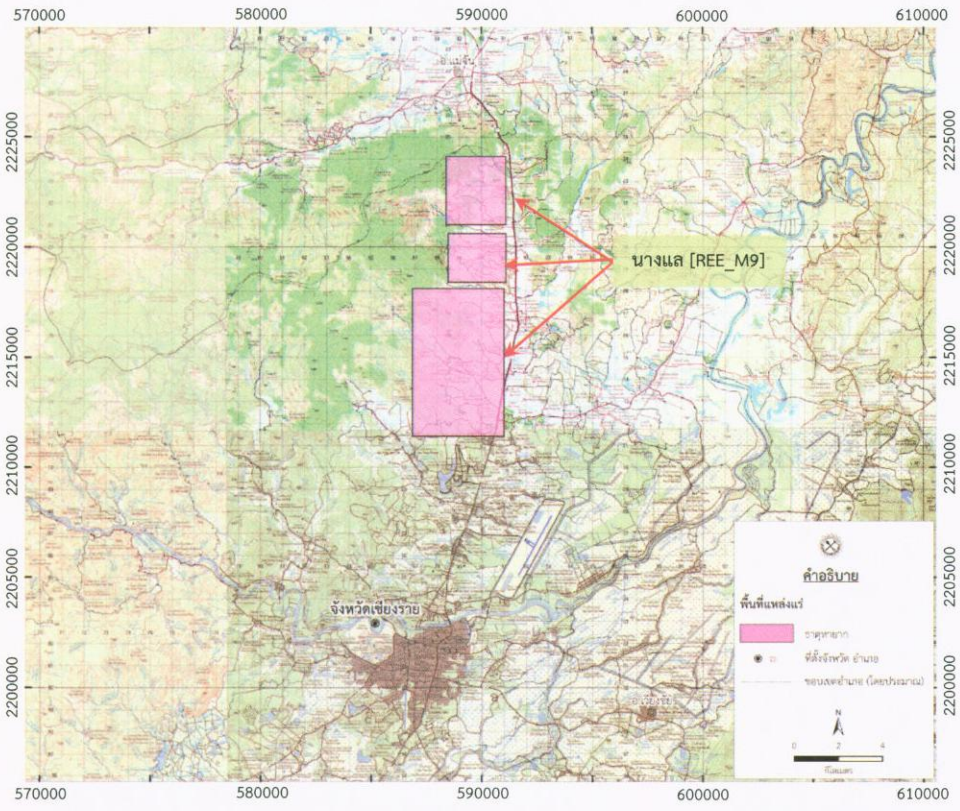
รูปที่ 19 (ก) ลักษณะเนื้อดิน/หินผุ ของชั้นหน้าตัดดิน ในพื้นที่แหล่ง "สร้างสมบูรณ์"
(ข) ลักษณะชั้นเนื้อดิน/หินผุ ภายในหลุมทดลอง ในพื้นที่แหล่ง "หล้อมปุด"
(ค) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอก ที่พบในทั้งสองพื้นที่

แหล่งธาตุหายาก จังหวัดเชียงราย

Rare Earth Elements Deposits in Chiang Rai

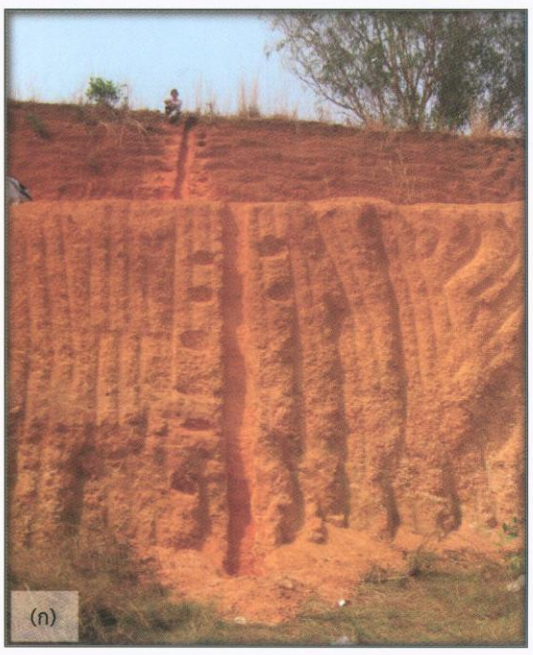


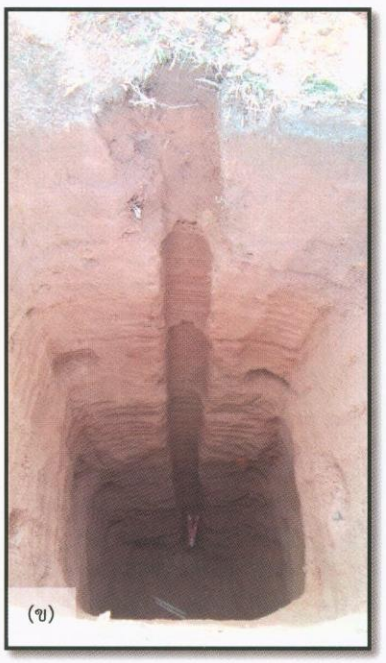
รูปที่ 20 ลักษณะภูมิประเทศบริเวณพื้นที่แหล่งธาตุหายาก “นางแล” ต.นางแล ต.ท่าสุด อ.เมือง จ.เชียงราย เป็นที่ราบสลับเนินเขาไม่สูงชัน



รูปที่ 21 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่แหล่งธาตุหายากใน จ.เชียงราย

แหล่ง “นางแล [REE_M9] ” (ขนาดพื้นที่ ~ 38 ตร.กม.) ตั้งอยู่ในบริเวณที่ราบเชิงเขาทางด้านตะวันตกของถนนหมายเลข 1 ในเขต ต.นางแล ต.ท่าสุด อ.เมือง จ.เชียงราย มีลักษณะทางธรณีวิทยารองรับด้วยหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอกผลึกขนาดปานกลางเป็นส่วนใหญ่ และพบผลึกขนาดหยาบบ้างเล็กน้อย มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม (TREYs) ประมาณ 487,090 ตันโลหะ ที่ความสมบูรณ์เฉลี่ย 350 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับค่อนข้างต่ำ-ปานกลาง และมีชั้นความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่า ระดับ 333



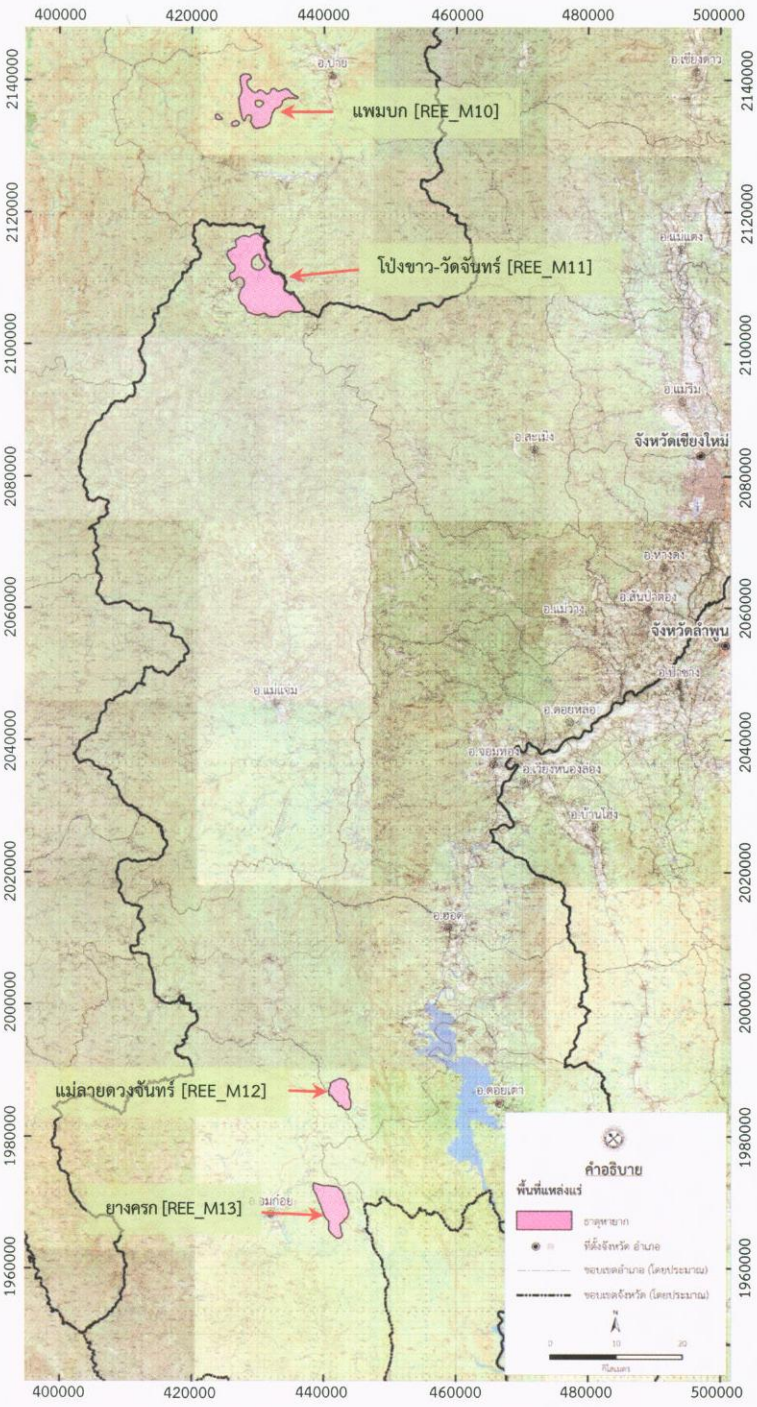


รูปที่ 22 (ก) ลักษณะเนื้อดิน/หินผุ ของชั้นหน้าตัดดิน ในพื้นที่แหล่ง “นางแล”
(ข) ลักษณะชั้นเนื้อดิน/หินผุ ภายในหลุมทดลอง
(ค) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอก ผลึกขนาดปานกลาง

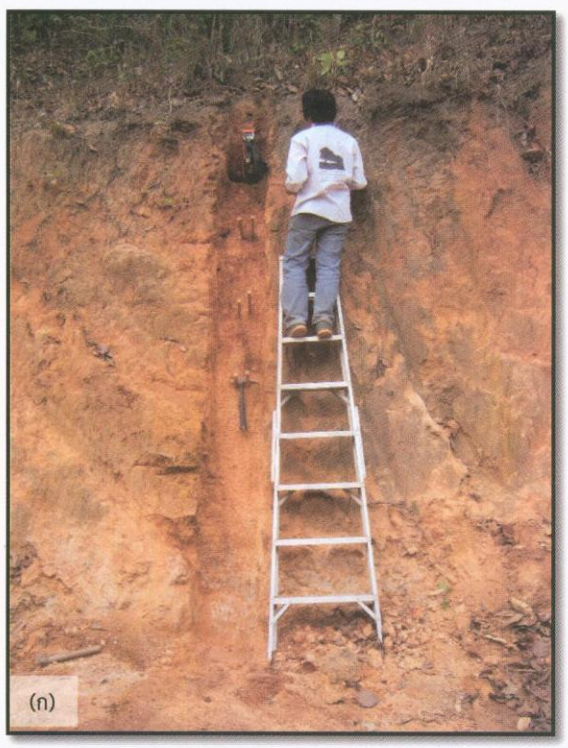
แหล่งธาตุหายาก จังหวัดเชียงใหม่-แม่ฮ่องสอน

Rare Earth Elements Deposits in Chiang Mai–Mae Hong Son

แหล่ง “แพมบก [REE_M10] ” (ขนาด ~ 33 ตร.กม.) อยู่ในเขต ต.ทุ่งยาว อ.ปาย จ.แม่ฮ่องสอน มีลักษณะทางธรณีวิทยารองรับมวลหินอัคนีบาดาลซับซ้อน ประกอบด้วยหินไซอีไนต์หลายลักษณะเนื้อ ทั้งแบบเนื้อดอก เนื้อผลึกเท่าขนาดปานกลาง และเนื้อละเอียด ปะปนกับหินไบโอไทต์แกรนิต และเพกมาไทต์ มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม (TREYs) ประมาณ 755,475 ตันโลหะ ที่ความสมบูรณ์เฉลี่ย 1,541 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับปานกลาง และมีชั้นความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่าระดับ 334



รูปที่ 23 แผนที่แสดงตำแหน่งพื้นที่แหล่งธาตุหายาก 4 แหล่ง ใน จ.เชียงใหม่-แม่ฮ่องสอน

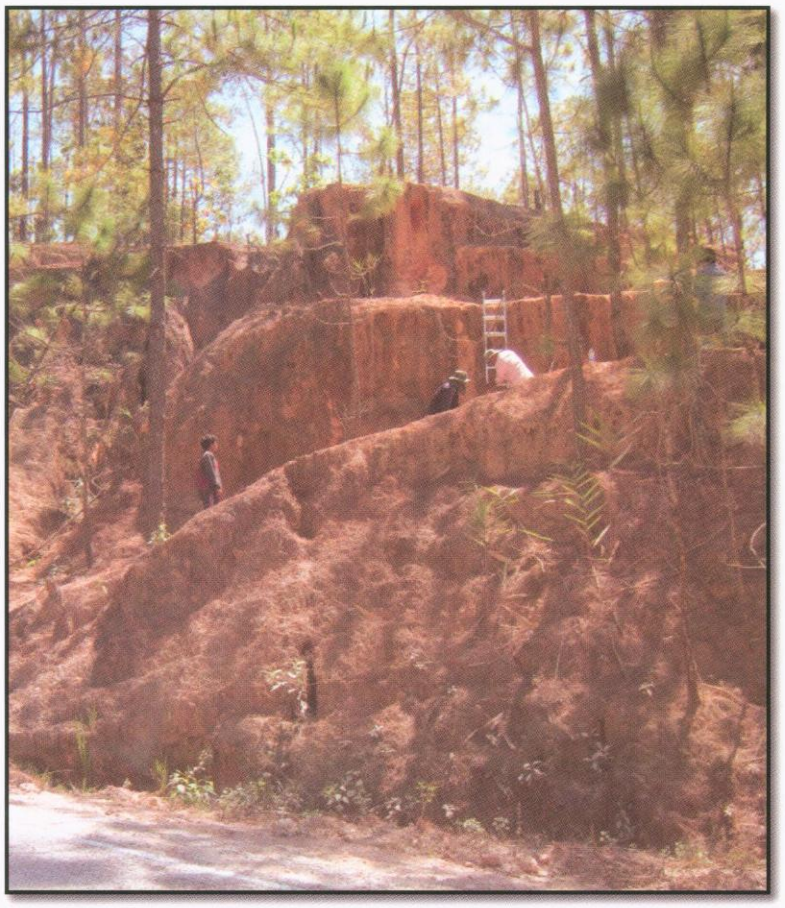


รูปที่ 24 (ก) ลักษณะเนื้อดิน/หินผุ ของชั้นหน้าตัดดิน ในพื้นที่แหล่ง “แพมบก”
(ข) ลักษณะเนื้อหินไซอีไนต์ ผลึกขนาดปานกลาง
(ค) ลักษณะเนื้อหินไซอีไนต์ ผลึกขนาดละเอียด

แหล่งธาตุหายาก จังหวัดเชียงใหม่-แม่ฮ่องสอน (ต่อ)

Rare Earth Elements Deposits in Chiang Mai–Mae Hong Son (cont.)

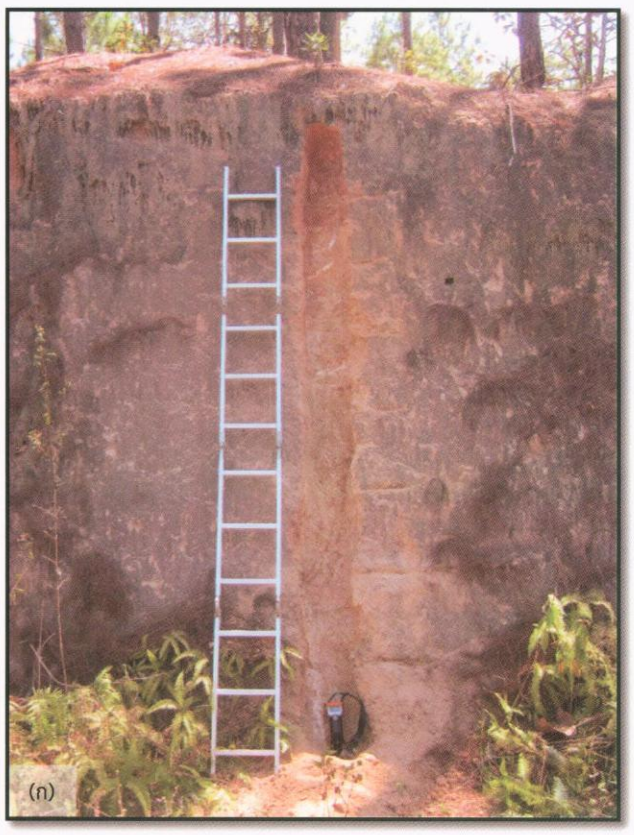
แหล่ง “โป่งขาว-วัดจันทร์ [REE_M11] ” (ขนาด ~ 73 ตร.กม.) อยู่ในเขต อ.กัลยาณิวัฒนา จ.เชียงใหม่ มีลักษณะทางธรณีวิทยารองรับด้วยหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอกเป็นหลัก แต่ทว่าบนยอดเนินบางบริเวณยังคงพบชั้นดิน/หินผุของหินทรายกึ่งแปรวางตัวปิดอยู่ด้านบน มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม (TREYs) ประมาณ 1,453,495 ตันโลหะ ที่ความสมบูรณ์เฉลี่ย 517 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับต่ำ-ปานกลาง และมีชั้นความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่าระดับ 334



รูปที่ 25 ลักษณะเนื้อดิน/หินผุ ของชั้นหน้าตัดดิน ในพื้นที่แหล่ง “โป่งขาว-วัดจันทร์”

แหล่ง “แม่ลายดวงจันทร์ [REE_M12] ” (ขนาด ~ 3.5 ตร.กม.) อยู่ในเขต ต.นาคอเรือ อ.ฮอด จ.เชียงใหม่ มีลักษณะทางธรณีวิทยารองรับด้วยหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอกเป็นหลัก มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม (TREYs) ประมาณ 17,662 ตันโลหะ ที่ความสมบูรณ์เฉลี่ย 326 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับต่ำ และมีชั้นความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่าระดับ 334

แหล่ง “ยางครก [REE_M13] ” (ขนาด ~ 24 ตร.กม.) อยู่ในเขตรอยต่อระหว่าง อ.ฮอด และ อ.อมก๋อย จ.เชียงใหม่ มีลักษณะทางธรณีวิทยารองรับด้วยหินไบโอไทต์แกรนิตเนื้อดอกเป็นหลัก มีปริมาณทรัพยากรธาตุหายากรวม (TREYs) ประมาณ 324,790 ตันโลหะ ที่ความสมบูรณ์เฉลี่ย 384 ppm โดยมีศักยภาพของการพัฒนาแหล่งอยู่ในระดับต่ำ และมีชั้นความเชื่อมั่นของการประเมินปริมาณทรัพยากรเบื้องต้นตามหลักการของ UNFC-2009 เทียบเท่าระดับ 334



รูปที่ 26 (ก) ลักษณะเนื้อดิน/หินผุของชั้นหน้าตัดดิน ในพื้นที่แหล่ง “แม่ลายดวงจันทร์”
(ข) ลักษณะเนื้อหินไบโอไทต์แกรนิต ในพื้นที่แหล่ง “ยางครก”

ข้อมูลสถิติธาตุหายาก

Rare Earth Elements Statistics

1. การผลิตแร่/วัตถุดิบธาตุหายาก

สำหรับประเทศไทยนั้นมีรายงานการผลิตแร่หนักที่เป็นแร่ให้ธาตุหายากจากแหล่งในประเทศปรากฏขึ้นเป็นบางช่วงเวลา โดยมีผลผลิตรวมกันในช่วงปี พ.ศ. 2531-2537 ทั้งสิ้นเพียง 2,251 เมตริกตัน ซึ่งมีการผลิตแร่โมนาไซต์เกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2531-2537 คิดเป็นปริมาณการผลิตรวม 2,098 เมตริกตัน และแร่ซีโนไทม์ มีข้อมูลการผลิตเฉพาะในช่วงปี พ.ศ. 2531-2536 โดยมีปริมาณการผลิตรวม 153 เมตริกตัน ทั้งนี้ ไม่เคยมีรายงานการถลุงแปรสภาพหรือสกัดแยกแร่หนักให้ธาตุหายากเหล่านี้ให้เป็นวัตถุดิบธาตุหายากในเชิงพาณิชย์แต่อย่างใด

2. การใช้แร่/วัตถุดิบธาตุหายาก

จากข้อมูลสถิติแร่ของกรมทรัพยากรธรณีและกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531-2559 พบว่าประเทศไทยมีสถิติการใช้แร่หนักให้ธาตุหายากภายในประเทศปรากฏเฉพาะในปี พ.ศ. 2540 จำนวน 38 เมตริกตัน เท่านั้น

สำหรับการใช้วัตถุดิบธาตุหายากในประเทศไทยนั้น ได้มาจากการนำเข้าทั้งสิ้น โดย Roskill (2016) ได้รายงานในลักษณะภาพรวมว่าประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้วัตถุธาตุหายากสูงเป็นอันดับ 5 ของโลก รองจากจีน สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และเกาหลีใต้ แต่ทั้งนี้ไม่ได้มีการนำเสนอในเชิงตัวเลขสถิติประกอบแต่อย่างใด

3. การนำเข้าแร่/วัตถุดิบธาตุหายาก

จากข้อมูลสถิติของกรมศุลกากรในช่วง พ.ศ. 2550 ถึงตุลาคม พ.ศ. 2559 ประเทศไทยมีการนำเข้าผลิตภัณฑ์วัตถุดิบธาตุหายากในหลายรูปแบบอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยสามารถจำแนกรูปแบบผลิตภัณฑ์วัตถุดิบธาตุหายากที่สืบค้นได้จากรายงานการนำเข้าผ่านระบบการบันทึกของกรมศุลกากรได้เป็น 2 กลุ่มหลัก คือ (1) กลุ่มโลหะและสารประกอบธาตุหายาก และ (2) กลุ่มวัสดุที่มีธาตุหายากเป็นส่วนประกอบ โดยวัตถุดิบกลุ่มแรก ประกอบด้วย 4 หมวดย่อย ได้แก่ โลหะธาตุหายาก โลหะผสมเนื้อซีเรียมเจือเหล็ก สารประกอบซีเรียม และสารประกอบธาตุหายากชนิดอื่น และกลุ่มสอง ประกอบด้วย 5 หมวดย่อย ได้แก่ เชื้อเพลิงแข็งหรือกึ่งแข็ง ฟลิ้นท์สำหรับไฟแช็ค ตัวจุดประกายไฟ วัสดุที่มี Hexamethylenetetramine และวัสดุที่มี Metaldehyde ทั้งนี้สัดส่วนปริมาณผลิตภัณฑ์วัตถุดิบธาตุหายากที่นำเข้าส่วนใหญ่กว่าร้อยละ 70 เป็นการนำเข้ามาเพื่อป้อนอุตสาหกรรมในประเทศ และส่วนที่เหลือเป็นการนำเข้าเพื่อส่งออกไปยังประเทศที่สาม

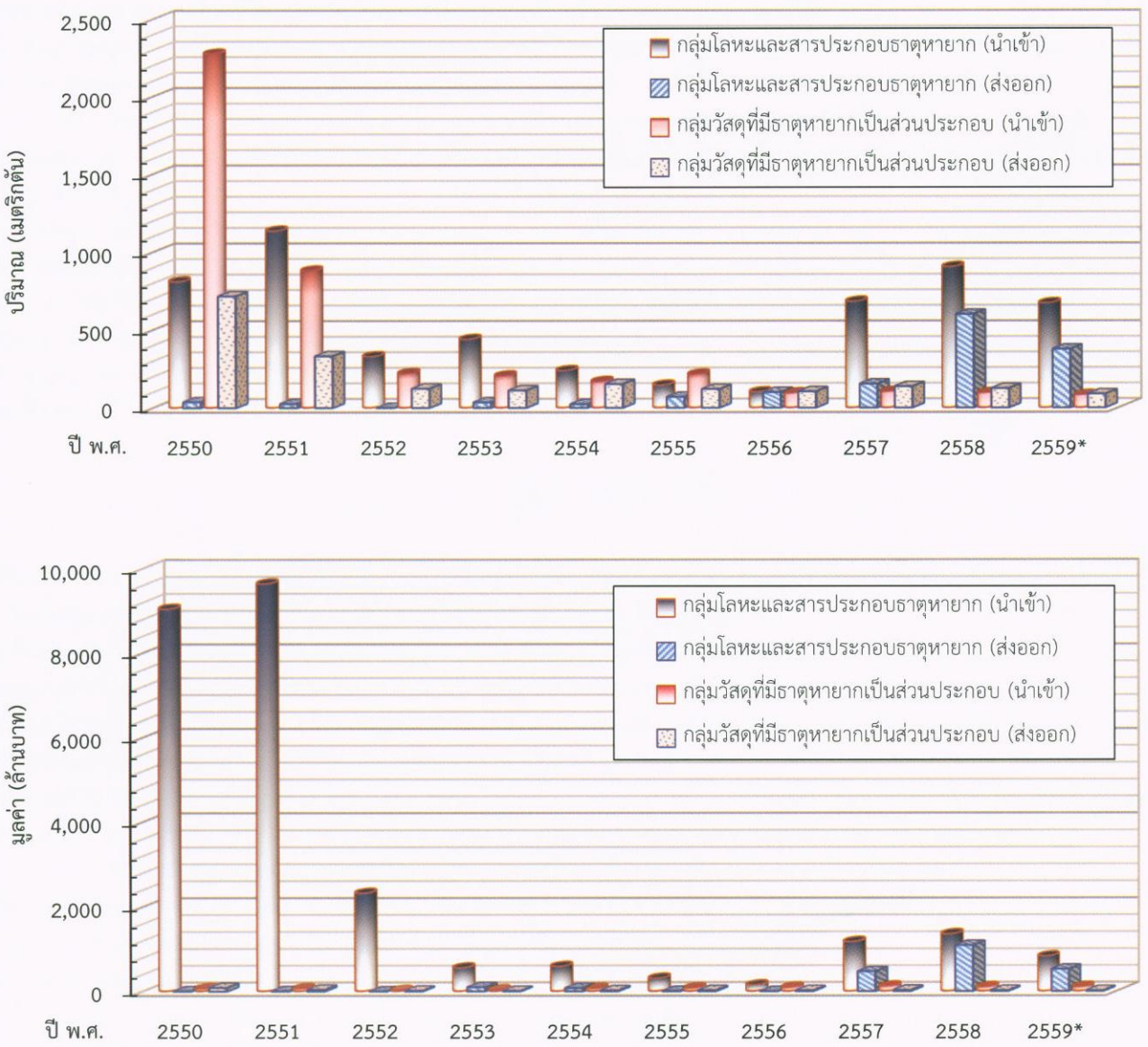
4. การส่งออกแร่/วัตถุดิบธาตุหายาก

จากข้อมูลสถิติแร่ของกรมทรัพยากรธรณีและกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531-2559 พบว่าประเทศไทยมีสถิติการส่งออกแร่ให้ธาตุหายากที่ได้จากการแต่งหางแร่ดีบุก ปรากฏเป็นช่วง ๆ ซึ่งมีปริมาณการส่งออกแร่โมนาไซต์ ในช่วงปี พ.ศ. 2531-2559 รวม 53,184 เมตริกตัน ขณะที่แร่ซีโนไทม์ มีปริมาณการส่งออกในช่วงปี พ.ศ. 2531-2554 รวม 2,391 เมตริกตัน โดยการส่งออกแร่โมนาไซต์และซีโนไทม์มีปรากฏอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2541 ทั้งนี้ในช่วงปี พ.ศ. 2542-2559 มีปริมาณการส่งออกแร่โมนาไซต์รวมกันมากถึง 51,838 เมตริกตัน ซึ่งเป็นตัวเลขที่สูงกว่าตัวเลขส่งออกรวมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531-2541 (1,326 เมตริกตัน) ถึง 38.5 เท่าตัว ทั้ง ๆ ที่กิจการเหมืองแร่ดีบุกจากแหล่งลานแร่ในประเทศทั้งหมดได้ยุติการผลิตแร่ไปก่อนหน้านี้แล้ว จึงเป็นการบ่งชี้ว่าวัตถุดิบหางแร่ส่วนใหญ่ที่ป้อนโรงแต่งแร่ในช่วงเกือบสองทศวรรษที่ผ่านมาได้มาจากการนำเข้าและเป็นภาพสะท้อนส่วนหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงระดับความต้องการใช้วัตถุดิบธาตุหายากของภาคอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี

ข้อมูลสถิติธาตุหายาก (ต่อ)

Rare Earth Elements Statistics (cont.)

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วว่าประเทศไทยมีสถิติการส่งออกผลิตภัณฑ์วัตถุดิบธาตุหายากด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งคาดว่าเป็นส่วนของการนำเข้าเพื่อขายต่อไปยังประเทศที่สาม คิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 30 โดยเฉลี่ยของปริมาณการนำเข้าผลิตภัณฑ์วัตถุดิบธาตุหายาก ซึ่งจากการสืบค้นข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลกรมศุลกากรที่เผยแพร่ออนไลน์ ในเบื้องต้นพบว่า นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 ถึงตุลาคม พ.ศ. 2559 มีการส่งออกวัตถุดิบธาตุหายากในหลายรูปแบบอย่างต่อเนื่องทุกปี โดยสามารถจำแนกรูปแบบผลิตภัณฑ์วัตถุดิบธาตุหายากที่มีรายงานการส่งออกผ่านระบบการบันทึกของกรมศุลกากรได้เป็น 2 กลุ่มหลัก และ 4 หมวดย่อย เช่นเดียวกับหมวดของการนำเข้าวัตถุดิบธาตุหายาก



รูปที่ 27 แผนภูมิเปรียบเทียบระหว่างปริมาณการนำเข้าและการส่งออกวัตถุดิบธาตุหายาก (บน) และมูลค่าการนำเข้าและส่งออกวัตถุดิบธาตุหายาก (ล่าง) จำแนกตามกลุ่มวัตถุดิบ (ที่มา: กรมศุลกากร, 2559; ข้อมูลถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2559)

เอกสารอ้างอิง

Bao, Z., Zhao, Z. (2008). Geochemistry of mineralization with exchangeable REY in the weathering crusts of granitic rocks in South China. *Ore Geol. Rev.*, v.33. p.519-535.

Bleiwas and Gambogi. (2013). Preliminary estimates of the quantities of rare-earth elements contained in selected products and in imports of semi manufactured products to the United States. 2010. Open-File Report 2013–1072. U.S. Geological Survey. U.S. Department of the Interior. p.5.

Connelly, N.G., Damhus, T., Hartshorn, R.M., and Hutton, A.T. (2005). Nomenclature of inorganic chemistry-IUPAC recommendations 2005. Cambridge. United Kingdom. Royal Society of Chemistry. 366 p.

Cordier, D.J. (2011). Rare Earths. *Mineral commodity summaries 2011*. U.S. Geological Survey. p.128-129.

Haque, N., Hughes, A., Lim, S. and Vernon, C.. (2014). Rare earth elements: overview of mining. Mineralogy. Uses. sustainability and environmental impact. *Resources*. v.3. p.614-635.

Moeller, T. (1963). The Chemistry of the Lanthanides. New York: Reinhold Publishing Corporation.

Roskill Ltd. (2016). Rare Earths: Global industry. markets and outlook to 2026.

Sanematsu, K. and Kon, Y. (2013). Geochemical characterisics determined by multiple extraction from ion-adsorption type REE ores in Dingnan County of Jiangxi Province. South China. Bull Geol. Surv. Jpn.. v.64. p.313-330.

Wu, C.Y., Huang, D.H. and Guo, Z.X. (1990). REE geochemistry in the weathered crust of granites. Longnan area. Jiangxi province. *Acta Geol. Sin.*, v.3. p.193-210.

รูปภาพอ้างอิง

ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช ธนัช วัชรมัย และเอลิน สุขสวัสดิ์. (2557). การสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ขั้นรายละเอียดแร่หนักธาตุหายาก จังหวัดอุทัยธานี-สุพรรณบุรี. รายงานเผยแพร่ฉบับสมบูรณ์. สำนักทรัพยากรแร่. กรมทรัพยากรธรณี. 76 หน้า.

Christian Rewitzer. (2010). Bastnaesite. Retrieved from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bastnaesite-(Ce)-156558.jpg

Geologypage. (2014). Euxenite-(Y). Retrieved from http://www.geologypage.com/2014/03/euxenite-y.html. Copyright © David K. Joyce Minerals

Monazite-(Ce) Sand from North Carolina. (1939). Retrieved from http://www.johnbetts-fineminerals.com/jhbnyc/mineralmuseum/picshow.php?id=52027

Monazite. (2018). Retrieved from https://www.mindat.org/photo-423813.html. Copyright © François Périnet.

Parent Géry. (2013). Apatite sur gangue de calcite orange. Retrieved from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apatite_sur_gangue_de_calcite_orange.jpg

Rob Lavinsky. (2010). Gadolinite-(Y). Retrieved from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gadolinite-(Y)-244305.jpg

_____. Samarskite-(Y). Retrieved from https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Samarskite-(Y)-259507.jpg

Wikipedia. (2017). Gadolinium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Gadolinium

_____. Scandium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Scandium

Wikipedia. (2018). Cerium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Cerium

_____. Dysprosium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Dysprosium

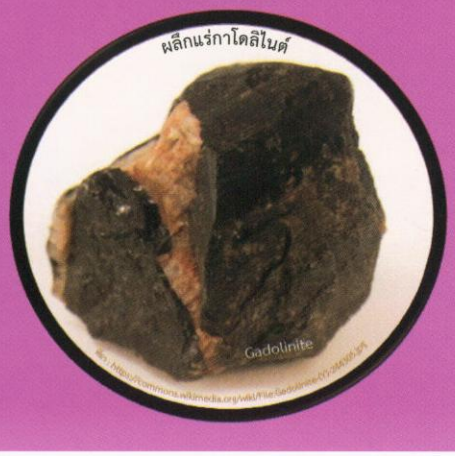
_____. Erbium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Erbium

_____. Europium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Europium

_____. Holmium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Holmium

_____. Lanthanum. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Lanthanum

_____. Lutetium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Lutetium



รูปภาพอ้างอิง (ต่อ)

Wikipedia. (2018). Neodymium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Neodymium

_____. Praseodymium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Praseodymium

_____. Samarium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Samarium

_____. Terbium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Terbium

_____. Thulium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Thulium

_____. Yttrium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Yttrium

_____. Ytterbium. Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/Ytterbium

Xenotime. (2018). Retrieved from https://www.mindat.org/photo-423813.html. Copyright © FRANCOIS PERINET.

_____. Retrieved from https://www.mindat.org/photo-580841.html.

บรรณานุกรม

ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช ธนัช วัชรมัย และฐิติวรดา อินศรี. (2556). งานสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ขั้นรายละเอียดแร่หนัก-ธาตุหายาก จังหวัดระนอง. รายงานเผยแพร่ฉบับสมบูรณ์. สำนักทรัพยากรแร่. กรมทรัพยากรธรณี. 84 หน้า.

ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช ธนัช วัชรมัย วรรณพร ปัญญาไว และฐิติวรดา อินศรี. (2555). งานสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ขั้นรายละเอียดแร่หนัก ธาตุหายาก จังหวัดกาญจนบุรี. รายงานเผยแพร่ฉบับสมบูรณ์. สำนักทรัพยากรแร่. กรมทรัพยากรธรณี. 80 หน้า.

ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช ธนัช วัชรมัย และสมคิด ไชยชนะ. (2558). งานสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแร่ขั้นรายละเอียดแร่หนัก-ธาตุหายาก จังหวัดชุมพร-สุราษฎร์ธานี. รายงานฉบับสมบูรณ์. สำนักทรัพยากรแร่. กรมทรัพยากรธรณี. 95 หน้า.

ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช ธนัช วัชรมัย สมคิด ไชยชนะ และเอลิน สุขสวัสดิ์. (2559). งานสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรธาตุหายากและธาตุกัมมันตรังสีแฝง (ระดับรายละเอียด) จังหวัดเชียงราย. รายงานเผยแพร่ฉบับสมบูรณ์. สำนักทรัพยากรแร่. กรมทรัพยากรธรณี. 127 หน้า.

ธวัชชัย เชื้อเหลาวานิช ธนัช วัชรมัย และเอลิน สุขสวัสดิ์. (2557). การสำรวจและประเมินศักยภาพทรัพยากรแรขั้นรายละเอียดแร หนักธาตุหายาก จังหวัดอุทัยธานี-สุพรรณบุรี. รายงานเผยแพร่ฉบับสมบูรณ์. สำนักทรัพยากรแร. กรมทรัพยากรธรณี. 76 หนา.

ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช ธนัช วัชรมัย เอลิน สุขสวัสดิ์ เฉลิมพร กาญจนสถิตย์ จิตราวดี สุดชาหา และสมคิด ไชยชนะ. (2560). รายงานการประเมินสถานภาพและกำหนดแหล่งแร่เพื่อใช้ประโยชน์ทางเศรษฐกิจ (ธาตุหายาก จังหวัดเชียงใหม่-แม่ฮ่องสอน). รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร. สำนักทรัพยากรแร่. กรมทรัพยากรธรณี. 49 หน้า.

กรมทรัพยากรธรณี
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
75/10 ถ.พระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทร 0 2621 9766 โทรสาร 0 2621 9773 http://www.dmr.go.th