คู่มือ

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่

ส่วนมาตรฐานและข้อมูลทรัพยากรแร่
กองทรัพยากรแร่

คู่มือการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่

ส่วนมาตรฐานและข้อมูลทรัพยากรแร่
กองทรัพยากรแร่
กรมทรัพยากรธรณี
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

อธิบดีกรมทรัพยากรธรณี
นายสมหมาย เตชวาล

ผู้อำนวยการกองทรัพยากรแร่
นางสาวกฤตยา ปัทมาลัย

ผู้อำนวยการส่วนมาตรฐานและข้อมูลทรัพยากรแร่
นายธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช

จัดพิมพ์โดย กองทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี
ถนนพระรามที่ 6 เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2621 9762

พิมพ์ครั้งที่ 1 กันยายน 2564
จำนวน 80 เล่ม

ข้อมูลการลงรายงานการบรรณานุกรม

ส่วนมาตรฐานและข้อมูลทรัพยากรแร่. คู่มือการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่. กรุงเทพฯ :
กองทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี. 2564.
83 หน้า : ภาพประกอบ : ตาราง ; 30 ซม.
รายงานเผยแพร่ฉบับสมบูรณ์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	III
สารบัญรูป	IV
สารบัญตาราง	V
บทคัดย่อ	VII
คำขอบคุณ	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 เป้าหมายและขอบเขตงาน	2
1.4 นิยามศัพท์ “ปริมาณทรัพยากรแร่” และ “ปริมาณแร่สำรอง”	2
บทที่ 2 วิธีการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เชิงปริมาณ	5
2.1 วิธีการประเมินเชิงพื้น (Area)	5
2.2 วิธีการประเมินเชิงปริมาตร (Volume)	5
2.3 วิธีการประเมินแบบธรรมดา (Conventional Estimation Methods)	10
2.4 วิธีการประเมินทางธรณีสถิติ (Geostatistical estimation method)	18
2.5 กรณีศึกษาการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่แบบธรรมดา และการประเมินทางธรณีสถิติ	20
บทที่ 3 ตัวอย่างกรณีศึกษาการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เชิงปริมาณ	29
3.1 ดีบุก	29
3.2 เหล็ก	32
3.3 ธาตุหายาก	34
3.4 ควอตซ์	37
3.5 เฟลด์สปาร์	39
3.6 ยิปซัม	42
3.7 เกลือหินและโพแทช	44
3.8 หินอุตสาหกรรม	50
3.9 ดินอุตสาหกรรม	52
3.10 ทรายอุตสาหกรรม	55
บทที่ 4 การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เชิงคุณภาพ	57
4.1 การจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC (United Nations Framework Classification for Resources)	57
4.2 กรณีศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบ UNFC	64
4.3 ระบบการบริหารจัดการทรัพยากร (United Nation Resources Management System : UNRMS)	66
4.4 กรณีศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการบริหารจัดการทรัพยากร (United Nation Resources Management System : UNRMS)	69
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	71
เอกสารอ้างอิง	73
ภาคผนวก	75

สารบัญรูป

		หน้า
2.1	ตัวอย่างการคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่จากภาพตัดขวาง (cross section)	6
2.2	ตัวอย่างการคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่จากภาพตัดขวาง (cross section)	7
2.3	ตัวอย่างการคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ด้วยวิธี Contour Method)	8
2.4	การประเมินทรัพยากรวิธีการตัดขวางตามส่วนแนวตั้ง	11
2.5	ขั้นตอนการการสร้างรูปหลายเหลี่ยม	12
2.6	รูปหลายเหลี่ยมที่ได้จากการสร้างคลอบคลุมพื้นที่สำรวจ	13
2.7	ชุดสามเหลี่ยมที่ได้จากการเชื่อมโยงหลุมเจาะที่อยู่ใกล้เคียงกัน ครอบคลุมมวลสินแร่ในพื้นที่	15
2.8	พื้นที่การคำนวณแบบถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน (IDW) ของบล็อกสำหรับประเมิน	17
2.9	variogram model	19
2.10	ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจในแหล่ง Derekoy copper deposit	21
2.11	การกระจายตัวค่าสมบูรณ์แร่ในแหล่งแร่ทองแดงพอร์ไฟรี ด้านใต้	22
2.12	แบบประเมินรูปหลายเหลี่ยมของแหล่งแร่ทองแดงพอร์ไฟรี ด้านใต้	23
2.13	ที่ตั้ง North Choghart Iron deposit	25
2.14	ตำแหน่งหลุมเจาะ North Choghart Iron deposit	25
2.15	variogram model ของ North Choghart Iron deposit	26
2.16	ความสมบูรณ์แร่จากการคาดการณ์และค่าแปรปรวนของการคาดการณ์ (error variance)	26
2.17	Histogram การกระจายตัวปริมาณสำรองแร่และผลการจำแนกทรัพยากรแร่ด้วย relative estimation error variance	27
3.1	ตารางธาตุแสดงตำแหน่งของกลุ่มธาตุหายากซึ่งอยู่ในอนุกรมธาตุแลนทาไนด์	35
3.2	แบบจำลองของการเกิดแหล่งแร่หนัก-ธาตุหายากแบบผุพังอยู่กับที่เหนือมวลหินแกรนิต	36
4.1	การเปรียบเทียบระหว่างการจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC (UNECE, 2013) และการจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC ฉบับปรุงปรุง	58
4.2	ความเชื่อมโยงระหว่างระบบ UNRMS และระบบ UNFC	68
4.3	การเปรียบเทียบจัดลำดับความสำคัญของแต่ละโครงการพัฒนาทรัพยากร	68

สารบัญตาราง

		หน้า
2.1	ตัวอย่างการคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ด้วยค่าความสมบูรณ์ของแร่วุลแฟรไมต์	6
2.2	ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณแร่สำรอง massive sulfide ในแผงแร่	11
2.3	ตัวอย่างการคำนวณความสมบูรณ์แร่เฉลี่ยในหลุมเจาะ (Average grade in Drill Hole)	13
2.4	ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสำรองแร่และความสมบูรณ์เฉลี่ยของแหล่งแร่ (Average Grade of Entrie Deposit)	14
2.5	ค่าวิเคราะห์ของหลุมเจาะสำรวจแหล่งแร่ Ojala copper Deposit	15
2.6	การคำนวณหาความสมบูรณ์เฉลี่ยพื้นที่สามเหลี่ยม T-1	16
2.7	การคำนวณหาปริมาณสำรองแร่และความสมบูรณ์เฉลี่ยของแหล่งแร่ (Average Grade Entire Deposit)	16
2.8	ตัวอย่างการคำนวณความสมบูรณ์แร่ทองคำในบล็อกที่ประเมิน	18
2.9	การกระจายตัวค่าสมบูรณ์แร่ในแหล่งแร่ทองแดงพอร์ไฟรี ด้านใต้	23
2.10	การกระจายตัวค่าสมบูรณ์แร่ในแหล่งแร่ทองแดงพอร์ไฟรี ด้านใต้ด้วยวิธีรูปหลายเหลี่ยม	24
2.11	การจำแนกทรัพยากรแร่จาก relative estimation error variance	27
3.1	ตัวอย่างแร่ให้ธาตุหายาก	35
3.2	สารประกอบหรือหินเกลือระเหยที่ตกผลึกเป็นชั้น ๆ ตามลำดับที่เรียงจากล่างขึ้นบนที่ได้จากการทดลองของ Usiglio	47
4.1	ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ (Environmental-socio-economic viability: E)	59
4.2	การแบ่งระดับย่อยของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ (Environmental-socio-economic viability: E)	60
4.3	ปัจจัยด้านความเป็นไปได้ทางเทคนิคของโครงการ (Technical Feasibility: F)	60
4.4	การแบ่งระดับย่อยของปัจจัยด้านความเป็นไปได้ทางเทคนิคของโครงการ (Technical Feasibility: F)	61
4.5	ปัจจัยด้านความเชื่อมั่นทางธรณีวิทยาในการประเมินปริมาณทรัพยากร (Degree of confidence in the estimate of the quantities of products from the project: G)	62
4.6	การแบ่งระดับย่อยของปัจจัยด้านความเชื่อมั่นทางธรณีวิทยาในการประเมินปริมาณทรัพยากร (Degree of confidence in the estimate of the quantities of products from the project: G)	62
4.7	การจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC และการจัดลำดับกลุ่มโครงการพร้อมรายละเอียดชุดรหัสหลัก UNFC (EFG)	63
4.8	การจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC และการจัดลำดับกลุ่มโครงการพร้อมรายละเอียดชุดรหัสย่อย UNFC (EFG)	64
4.9	ตัวอย่างกรณีศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบ UNFC ของโครงการพัฒนาแหล่งยูเรเนียมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของสหพันธ์สาธารณรัฐไนจีเรีย	65
4.10	ตัวอย่างกรณีศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบ UNFC ของโครงการฟอตเฟตในแหล่ง East El-Sebaeya และแหล่ง West El-Sebaeya สาธารณรัฐอาหรับอียิปต์	66
4.11	ตัวอย่างกรณีศึกษาสถานภาพการพัฒนาโครงการพัฒนาแหล่งหินปูนของแหล่ง the Bunge limestone deposit ของราชอาณาจักรสวีเดน	69

บทคัดย่อ

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ แบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ 1) การประเมินทรัพยากรแร่เชิงปริมาณ มีวิธีการประเมิน 4 วิธี ได้แก่ การประเมินเชิงพื้น วิธีการประเมินเชิงปริมาตร วิธีการประเมินแบบธรรมดา และวิธีการประเมินทางธรณีสถิติ ซึ่งวิธีการเหล่านี้ใช้สำหรับหาปริมาณทรัพยากรแร่และความสมบูรณ์ของแหล่งแร่ จากมวลสินแร่ ซึ่งวิธีการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ขึ้นอยู่กับขอบเขตของมวลสินแร่ รูปร่าง การแปรปรวนความสมบูรณ์แร่ เวลาและงบประมาณ รวมทั้งความเชื่อมั่นและข้อมูลธรณีวิทยา และ 2) การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เชิงคุณภาพ เป็นการประเมินโดยใช้การจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC (United Nations Framework Classification for Resources) และระบบการบริหารจัดการทรัพยากร (United Nation Resources Management System : UNRMS) ทั้งนี้ การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่นั้น จะต้องทำการประเมินทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพควบคู่กันไป เพื่อจะได้ทราบถึงปริมาณทรัพยากรแร่ และสถานภาพของแต่ละโครงการเป็นรายโครงการ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะช่วยในการบริหารจัดการทรัพยากรในภาพรวมและสามารถนำไปประกอบการตัดสินใจเชิงนโยบายในการนำทรัพยากรของประเทศขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

คำขอบคุณ

คู่มือการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่นี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนจาก คุณธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช ผู้อำนวยการส่วนมาตรฐานและข้อมูลทรัพยากรแร่ คุณไพรัตน์ จรรยาหาญ ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านการบริหารจัดการแร่ คุณไวยพจน์ วรกนก ข้าราชการบำนาญ ศาตราจารย์ ดร.ปัญญา จารุศิริ ผู้เชี่ยวชาญพิเศษด้านประสานความร่วมมือระหว่างประเทศ ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการจัดทำคู่มือฉบับนี้ ตลอดทั้งให้ข้อคิดเห็น ข้อแนะนำ และปรับปรุงแก้ไขรายละเอียดต่าง ๆ จนกระทั่งสำเร็จเรียบร้อยด้วยดี คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ คุณสมชาย ทรัพย์ปริญญาพร ข้าราชการบำนาญ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการจัดทำต้นร่างของคู่มือฉบับนี้

และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ส่วนมาตรฐานและข้อมูลทรัพยากรแร่ ที่ได้ช่วยกันจัดทำและปรับปรุงแก้ไข ให้คู่มือฉบับนี้แล้วเสร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คู่มือการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ฉบับนี้คงเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจ และหน่วยงานที่สนใจงานด้านทรัพยากรแร่ต่อไป

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ตามกฎกระทรวงแบ่งส่วนราชการกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2561 กำหนดให้กรมทรัพยากรธรณี มีภารกิจเกี่ยวกับการสงวน การอนุรักษ์ การฟื้นฟู และการบริหารจัดการด้านธรณีวิทยา ทรัพยากรธรณี ซากดึกดำบรรพ์ ธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อมและธรณีพิบัติภัย โดยการสำรวจ การตรวจสอบ การศึกษา และการวิจัยสภาพธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี การประเมินศักยภาพแหล่งทรัพยากรธรณี การกำหนดและการกำกับดูแลเขตพื้นที่สงวน พื้นที่อนุรักษ์ทรัพยากรธรณี และพื้นที่เสี่ยงต่อธรณีพิบัติภัย เพื่อการพัฒนาทรัพยากรธรณี คุณภาพชีวิต เศรษฐกิจ สังคมอย่างยั่งยืน และเกิดประโยชน์สูงสุด โดยให้มีหน้าที่และอำนาจที่สำคัญด้านหนึ่งในการ กำหนดมาตรฐานทางธรณีวิทยา ทรัพยากรแร่ ซากดึกดำบรรพ์ ธรณีวิทยาสิ่งแวดล้อมและธรณีพิบัติภัย รวมทั้งรวบรวมจัดเก็บรักษาหลักฐานอ้างอิงทางธรณีวิทยา ทรัพยากแร่ และซากดึกดำบรรพ์ของประเทศ โดยในส่วนของมาตรฐานด้านทรัพยากรแร่ กองทรัพยากรแร่ มีอำนาจและหน้าที่จัดทำและกำหนดมาตรฐานด้านทรัพยากรแร่ของประเทศ โดยเป็นการดำเนินการเกี่ยวกับการจัดทำคู่มือ รายงาน กระบวนงานเพื่อความเป็นมาตรฐานในการปฏิบัติงาน เพื่อการศึกษา ค้นคว้าและอ้างอิงทางวิชาการต่อไป

กระบวนงานสำคัญหนึ่งด้านทรัพยากรแร่ คือ กระบวนงานการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ โดยเป้าหมายสูงสุดของการสำรวจและประเมินศักยภาพแหล่งแร่ คือเพื่อให้ได้มาซึ่งการกำหนดขอบเขตพื้นที่แหล่งแร่ รูปร่างของชั้นแร่ คุณภาพและปริมาณทรัพยากรแร่ จากข้อมูลปริมาณทรัพยากรแร่ที่ได้จากการสำรวจภาคสนามจะถูกรวบรวมและส่งต่อไปจัดทำข้อมูลบัญชีทรัพยากรแร่เพื่อใช้ประกอบการวางแผนเชิงนโยบายและการบริหารจัดการทรัพยากรแร่ของประเทศในภาพรวมของรัฐบาลภายใต้ยุทธศาสตร์แร่ และแผนแม่บทการบริหารจัดการแร่ ภายใต้ข้อกำหนดแห่งพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. ๒๕๖๐ ต่อไป อย่างไรก็ตาม จากการสืบค้นและศึกษาผลการดำเนินงานที่ผ่านมาพบว่ารายงานการสำรวจและประเมินปริมาณทรัพยากรแร่มีแนวทางและวิธีการประเมินที่แตกต่างกันไป ดังนั้นข้อมูลปริมาณทรัพยากรแร่จึงมีความแตกต่างกันไปตามการตีความและความรู้ความเข้าใจของผู้ปฏิบัติงานสำรวจในช่วงเวลานั้น ๆ ทั้งนี้จนถึงปัจจุบันยังไม่เคยมีการกำหนดมาตรฐานด้านทรัพยากรแร่ในส่วนที่เกี่ยวข้องแนวทางวิธีปฏิบัติการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เพื่อใช้อ้างอิงทางวิชาการในการปฏิบัติงานแต่อย่างใด

ในปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 ส่วนมาตรฐานและข้อมูลทรัพยากรแร่ กองทรัพยากรแร่ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการพัฒนาและกำหนดมาตรฐานด้านทรัพยากรแร่ในส่วนที่เกี่ยวกับการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ จึงดำเนินการจัดทำคู่มือการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ฉบับนี้ ภายใต้โครงการจัดทำมาตรฐานและคลังข้อมูลธรณีวิทยา และทรัพยากรธรณี เพื่อใช้เป็นคู่มืออ้างอิงทางวิชาการและแนวทางปฏิบัติในการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ให้มีมาตรฐานและเป็นไปในทิศทางเดียวกันและเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานสำรวจและประเมินศักยภาพแหล่งแร่ของกรมทรัพยากรธรณี เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลปริมาณทรัพยากรแร่เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรแร่ของประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1) กำหนดแนวทางและจัดทำคู่มือการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เพื่อใช้อ้างอิงทางวิชาการ

2) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการดำเนินงานการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ ให้มีมาตรฐานแนวทางวิธีปฏิบัติเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

3) เพื่อเป็นคู่มืออ้างอิงทางวิชาการสำหรับการปฏิบัตงานของนักธรณีวิทยาและผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง

1.3 เป้าหมายและขอบเขตงาน

นักธรณีวิทยาหรือผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับงานสำรวจและประเมินศักยภาพแหล่งแร่สามารถนำคู่มือการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ไปใช้อ้างอิงทางวิชาการในการปฏิบัติงานให้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้ขอบเขตของการจัดทำคู่มือการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ฉบับนี้ กำหนดเพื่อใช้เป็นแนวทางการประเมินทรัพยากรแร่สำหรับการปฏิบัติงานด้านการสำรวจทรัพยากรแร่ที่เป็นการสำรวจตรวจสอบภาคสนามและปรับปรุงพื้นที่ศักยภาพแร่ และทำการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เบื้องต้นเท่านั้น ซึ่งยังไม่ได้มีการดำเนินการสำรวจแร่ขั้นรายละเอียดและการเจาะสำรวจเพื่อตรวจพิสูจน์ทราบรูปร่างและความต่อเนื่องของสายแร่หรือชั้นแร่ คู่มือการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ฉบับนี้ จึงเป็นแนวทางการประเมินตามหลักวิชาการทางธรณีวิทยาเบื้องต้น โดยยังไม่รวมถึงการประเมินปริมาณแร่สำรองที่จะต้องมีการความคุ้มค่าเชิงพานิชย์ในการทำเหมืองแร่ของภาคเอกชน

1.4 นิยามศัพท์ “ปริมาณทรัพยากรแร่” และ “ปริมาณแร่สำรอง”

การดำเนินงานที่ผ่านมาในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการรายงานผลการสำรวจและการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ของกรมทรัพยากรธรณี พบว่ามีการใช้คำที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น

- รายงานคู่มือแผนที่แหล่งแร่และแหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติของประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2540) ใช้คำที่หลากหลาย เช่น ปริมาณสำรองธรณีวิทยา ปริมาณสำรอง ปริมาณสำรองที่เป็นไปได้ (Possible reserve) ปริมาณสำรองแร่ที่พิสูจน์แล้วและที่น่าจะเป็น (Proven and probable reserve) ซึ่งจะใช้ผลการเจาะสำรวจในการประเมินปริมาณสำรองหรือข้อมูลจากประทานบัตร

- รายงานคู่มือการจัดทำแผนที่ทรัพยากรแร่ มาตราส่วน 1:250,000 (กรมทรัพยากรธรณี, 2542) ได้อ้างอิงนิยามคำว่า “ปริมาณสำรอง (reserve) หรือ “ปริมาณแร่สำรอง” หมายถึง ส่วนของทรัพยากรที่ค้นพบแล้ว ซึ่งมีแร่หรือพลังงานที่สามารถจะสกัดนำมาใช้ได้อย่างคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและถูกต้องตามกฎหมายในช่วงระยะเวลาที่กำหนด

- รายงานข้อมูลแหล่งแร่ของประเทศไทย (กรมทรัพยากรธรณี, 2551) ใช้คำในการรายงานปริมาณแร่ประกอบด้วย “ปริมาณทรัพยากรแร่ที่ได้รับอนุญาตให้ผลิต (ประทานบัตรทำเหมืองแร่)” หมายถึง ปริมาณสำรองที่รวบรวมได้จากประทานบัตรทำเหมืองแร่ที่กระทรวงอุตสาหกรรมอนุญาตให้ทำการผลิต ซึ่งเจ้าของประทานบัตรได้ทำการสำรวจและรายงานได้ โดยใช้ข้อมูลจากกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม แล้วทำการประเมินได้ปริมาณทรัพยากรแร่สำรองที่ได้รับอนุญาตให้ผลิต และกำหนดคำว่า “ปริมาณทรัพยากรแร่ที่มีศักยภาพเป็นไปได้ (พื้นที่แหล่งแร่)” หมายถึงปริมาณสำรองที่ประเมินในพื้นที่ที่มีการพบแร่ แต่ยังมิได้มีการสำรวจเพื่อพิสูจน์ว่ามีปริมาณความ

สมบูรณ์มากน้อยเพียงใด เป็นทรัพยากรแร่สำรองที่จะต้องทำการสำรวจเพิ่มเติมจนถึงขั้นรายละเอียด เพื่อให้ทราบปริมาณและความสมบูรณ์ รวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาก่อนที่จะลงทุนทำเหมืองแร่ โดยในการประเมินใช้การประเมินทางสถิติ และวิชาการธรณีวิทยาเป็นปัจจัยหลัก แล้วทำการประเมินได้ปริมาณทรัพยากรแร่สำรองมีศักยภาพเป็นไปได้

ในปัจจุบันมาตรฐานสากล เช่นระบบ JORC Code ระบบ Crirsco Template ระบบ NI43-101 ระบบ UNFC-2009 (JORC Code, 2012; Crirsco, 2013; CIM, 2014; ECE, 2013) ได้กำหนดหลักเกณฑ์และจำแนกปริมาณแร่ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ “ปริมาณทรัพยากรแร่” (Mineral Resource) และปริมาณสำรองแร่” (Mineral Reserve) ซึ่งทั้งสองคำดังกล่าวมีความแตกต่างของความหมายอย่างมีนัยสำคัญ ในการนำไปใช้เป็นอย่างมาก โดยคำว่า ปริมาณทรัพยากรแร่ หมายถึง ปริมาณแร่ที่ได้จากการสำรวจและประเมินตามหลักวิชาการทางธรณีวิทยา ส่วนคำว่า ปริมาณสำรองแร่ จะหมายถึงปริมาณแร่ที่ได้ผ่านการพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องแล้วสามารถพัฒนาเป็นเหมืองแร่ และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

ทั้งนี้ หากเทียบเคียงกับการใช้คำในงานสำรวจแร่ของกรมทรัพยากรธรณีกับการกำหนดคำนิยามตามมาตรฐานสากลดังกล่าวแล้ว จะเห็นได้ว่าการสำรวจและประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ของกรมทรัพยากรธรณีที่ผ่านมา ส่วนใหญ่เป็นการประเมินปริมาณทรัพยากรตามหลักวิชาการทางธรณีวิทยาเท่านั้น แม้ว่าอาจจะมีการประเมินปัจจัยอื่น ๆ เช่น ปัจจัยข้อจำกัดเชิงพื้นที่และปัจจัยทางเศรษฐกิจเบื้องต้นเท่านั้น และจากระดับการสำรวจที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ยังไม่ได้มีนัยความหมายที่ผ่านการประเมินปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจที่สามารถสกัดทำกำไรในการพัฒนาโครงการทำเหมืองแร่อย่างแท้จริง ดังนั้นการประเมินปริมาณของแหล่งแร่ของกรมทรัพยากรธรณีเมื่อเทียบกับมาตรฐานสากลแล้วจึงเทียบได้กับคำว่า“ปริมาณทรัพยากรแร่ (Mineral Resource)” เท่านั้น ยังไม่ได้เป็นการประเมิน “ปริมาณแร่สำรอง (Mineral Reserve)”

ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจไปในทิศทางเดียวกัน ในที่นี้ คู่มือการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ฉบับนี้ จะกำหนดนิยามศัพท์ เพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบันและมาตรฐานสากล ดังนี้

ปริมาณแร่ (Mineral Quantity) หมายถึง แร่หรือหินที่มีการสะสมตัวตามธรรมชาติและมีศักยภาพที่จะพัฒนานำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยประเมินจากผลการสำรวจทางธรณีวิทยา และการประเมินความเป็นไปได้ของการพัฒนาโครงการทำเหมือง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ปริมาณทรัพยากรแร่ (Mineral Resource) และปริมาณสำรองแร่ (Mineral Reserves)

ปริมาณทรัพยากรแร่ (Mineral Resource) หมายถึง ปริมาณแร่ที่มีศักยภาพในการพัฒนานำมาใช้ประโยชน์ได้ แต่ยังไม่มีการประเมินคุณค่าทางเศรษฐกิจ หรือมีการประเมินคุณค่าทางเศรษฐกิจแล้วแต่ยังไม่คุ้มค่าในขณะที่มีการประเมิน

โดยปริมาณทรัพยากรแร่แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามลำดับของความเชื่อมั่นทางธรณีวิทยาจากต่ำไปสูง คือ ปริมาณทรัพยากรแร่อนุมาน (inferred mineral resource) ปริมาณทรัพยากรแร่บ่งชี้ (indicated mineral resource) และปริมาณทรัพยากรแร่ตรวจวัด (measured mineral resource) ตามลำดับ

ปริมาณสำรองแร่ (Mineral Reserve) หมายถึง ปริมาณแร่ที่สามารถพัฒนามาใช้ประโยชน์ได้ โดยมีการพิจารณาปัจจัยปรับเปลี่ยน ได้แก่ ความคุ้มค่าเชิงพาณิชย์ของโครงการ ความเป็นไป

ได้ในการทำเหมือง เศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อม และกฎระเบียบต่าง ๆ ที่อาจส่งผลกระทบโดยตรงต่อการพัฒนาโครงการ

โดยปริมาณสำรองแร่แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลำดับของความเชื่อมั่นทางธรณีวิทยาจากต่ำไปสูง ดังนี้ ปริมาณสำรองแร่เป็นไปได้ (Probable Mineral Reserve) และปริมาณสำรองแร่ตรวจพิสูจน์ (Proved Mineral Reserve)

บทที่ 2
วิธีการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เชิงปริมาณ

การประเมินทรัพยากรแร่ ใช้สำหรับหาปริมาณทรัพยากรแร่และความสมบูรณ์ของแหล่งแร่จากมวลสินแร่ (Ore Body) ซึ่งวิธีการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ขึ้นอยู่กับขอบเขตของมวลสินแร่ รูปร่าง การแปรปรวนความสมบูรณ์แร่ เวลาและงบประมาณ รวมทั้งความเชื่อมั่นและข้อมูลธรณีวิทยา ดังนี้

2.1 วิธีการประเมินเชิงพื้นที่ (Area)

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เชิงพื้นที่ ใช้ประเมินแหล่งแร่ที่มีการสะสมตัวชั้นแร่หรือสายแร่ที่แสดงขอบเขตชัดเจน คำนวณปริมาณทรัพยากรแร่จากการนำพื้นที่แหล่งแร่ (ความกว้าง x ความยาว x ความหนาของชั้นแร่) คูณความหนาแน่นของชนิดแร่นั้น ๆ ดังสมการ

ปริมาณทรัพยากรแร่ = พื้นที่แหล่งแร่ x ความหนาเฉลี่ย x ความหนาแน่นของแร่

ปริมาณทรัพยากรแร่ หน่วยเป็น เมตริกตัน
พื้นที่แหล่งแร่ หน่วยเป็น ตารางเมตร
ความหนาเฉลี่ยของชั้นแร่ หน่วยเป็น เมตร

ความหนาแน่นของแร่ แตกต่างกันไปตามชนิดแร่นั้น ๆ ตัวอย่างการคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ยิปซั่ม (บริษัท ยิปซั่มเฮาส์ จำกัด, 2557) รายละเอียดดังนี้

พื้นที่ขอบเขตแหล่งแร่ยิปซัม = 62,356 ตารางเมตร
ความหนาเฉลี่ยชั้นแร่ยิปซัม = 30 เมตร
ความหนาแน่นของแร่ยิปซัมที่ใช้คำนวณ = 2.32 เมตริกตันต่อลูกบาศก์เมตร
ดังนั้นปริมาณทรัพยากรแร่ยิปซัม = 62,356 x 30 x 2.32 = 4,339,977.60 เมตริกตัน
หรือโดยประมาณ 4,339,000 เมตริกตัน

2.2 วิธีการประเมินเชิงปริมาตร (Volume)

2.2.1 วิธีการประเมินแบบพื้นฐาน

1) วิธีการคำนวณด้วยค่าความสมบูรณ์ของแร่

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ด้วยค่าความสมบูรณ์ของแร่ ใช้กับแหล่งแร่ทุติยภูมิที่มีการสะสมตัวอยู่ในชั้นดิน วิธีการประเมินจะคำนวณจากพื้นที่ของแหล่งแร่ คูณด้วย ความหนาของชั้นดินที่มีแร่สะสมตัว คูณด้วยค่าความสมบูรณ์เฉลี่ยในชั้นดินของชนิดแร่นั้น ๆ มีวิธีการคำนวณดังนี้

ปริมาณทรัพยากรแร่ (ตัน) = V x ความสมบูรณ์ของแร่

V = ปริมาตรของชั้นแร่ (ลูกบาศ์เมตร) คำนวณจาก
พื้นที่ (ตารางเมตร) x ความหนาของชั้นแร่ (เมตร)

ความสมบูรณ์ของแร่จะแตกต่างกันตามลักษณะการสะสมตัวของชนิดแร่นั้น ๆ ขึ้นกับการประเมินตามลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ เช่น ความหนาของชั้นเปลือกดินที่เป็นแหล่งแร่ทุติยภูมิที่มีความสมบูรณ์ของ

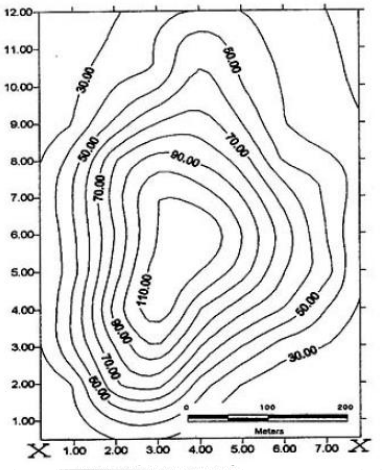
แร่วุลแฟรมเฉลี่ยประมาณ 2 กิโลกรัมต่อลูกบาศ์เมตร (ห้างหุ้นส่วนจำกัด พนาสิทธิ์, 2556) แสดงตัวอย่างการคำนวณตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ด้วยค่าความสมบูรณ์ของแร่วุลแฟรไมต์ (คัดลอกจาก ห้างหุ้นส่วนจำกัด พนาสิทธิ์, 2556)

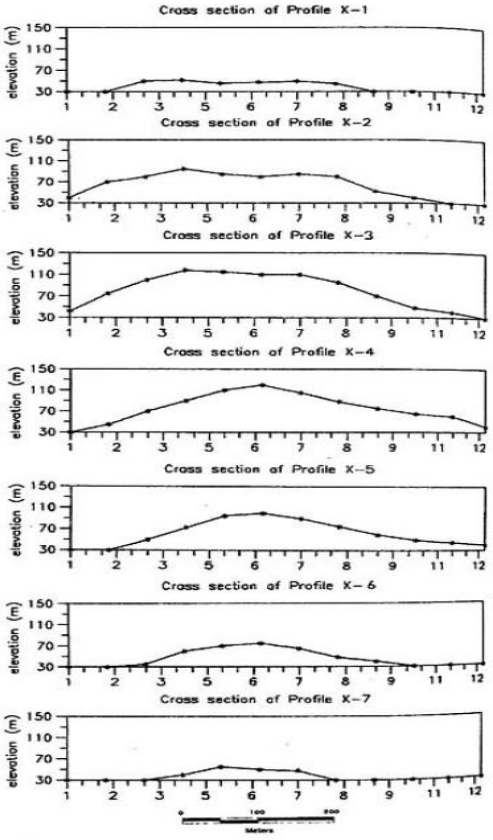
บริเวณ	พื้นที่ (ตร.ม.)	ความหนา (ม .)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	ความสมบูรณ์ (กก./ลบ.ม.)	ปริมาณแร่วุลแฟรไมต์ (กก.)
A	7,762	2	15,524	2.0	31,048
B	11,887	2	23,774	2.0	47,548
C	14,295	2	28,590	2.0	57,180
รวม			**67,888**	รวม	**135,776**

2) วิธีการคำนวณจากภาพตัดขวางด้วย Planimeter

การประเมินปริมาณทรัพยากรเริ่มต้นโดยการสร้างภาพตัดขวางพื้นที่ตัวอย่างตามแนวเส้นที่กำหนด จากนั้นทำการคำนวณหาพื้นที่ของแต่ละภาพตัดขวางโดยใช้ Planimeter จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของพื้นที่ภาพตัดขวางแต่ละคู่ คำนวณปริมาตรและนำไปคูณกับค่าความถ่วงจำเพาะของชนิดแร่นั้น ๆ จากนั้นหาค่าผลรวมปริมาตรของพื้นที่ตัวอย่างทั้งหมด ตัวอย่างการคำนวณแสดงดังรูปที่ 2.1



ภาพตัดขวาง	พื้นที่ (ตร.ม.)	พื้นที่เฉลี่ย (ตร.ม.)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	ปริมาณ (ตัน)
X-0	0			
		3,475	173,750	451,750
X-1	6,950			
		12,075	630,750	1,569,750
X-2	17,200			
		22,950	1,142,500	2,970,500
X-3	28,500			
		27,750	1,387,500	3,607,500
X-4	27,000			
		19,650	982,500	2,554,500
X-5	12,300			
		10,200	510,000	1,326,000
X-6	81,000			
		5,635	281,750	732,550
X-7	3,250			
		1,625	81,250	211,250
X-8	0			



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่จากภาพตัดขวาง (cross section) (คัดลอกจาก มรกต นนทโส, 2539)

3) วิธีการคำนวณโดยใช้สูตรคณิตศาสตร์ Mean Area Formula จากเส้นชั้นความสูงด้วย Planimeter

จากแผนที่ลักษณะภูมิประเทศแสดงเส้นชั้นความสูง ใช้ Planimeter หาพื้นที่แต่ละระนาบของเส้นชั้นความสูง โดยมีการคำนวณหาปริมาณทรัพยากรแร่จากสูตรคณิตศาสตร์ Mean Area Formula ดังนี้

$$V = (S_1 + 2S_2 + 2S_3 + ..S_n)\ L/2 * S.G.$$

V = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)

S_1 = พื้นที่หน้าตัดของเส้นชั้นความสูงที่อยู่บนสุด (ตารางเมตร)

S_1 = พื้นที่หน้าตัดของเส้นชั้นความสูงที่อยู่บนสุด (ตารางเมตร)

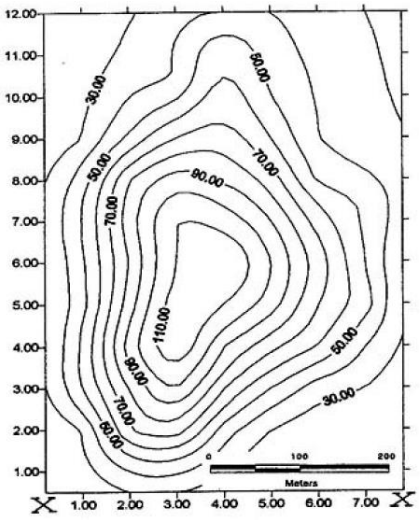
S_1 = พื้นที่หน้าตัดของเส้นชั้นความสูงที่อยู่ต่ำถัดลงมา (ตารางเมตร)

S_n = พื้นที่หน้าตัดของเส้นชั้นความสูงที่อยู่ล่างสุด (ตารางเมตร)

L = ระยะห่างของเส้นชั้นความสูง

S.G. = ค่าความถ่วงจำเพาะ

ตัวอย่างการคำนวณแสดงดังรูปที่ 2.2



พื้นที่	พื้นที่(ตร.ม.)	ปริมาตร(ลบ.ม.)	ปริมาณ(ตัน)
S-1	11,500	57,500	149,500
S-2	22,500	225,000	585,000
S-3	32,500	325,000	845,000
S-4	46,500	465,000	1,209,000
S-5	68,600	686,000	1,783,600
S-6	121,500	1,215,000	3,159,000
S-7	123,400	1,234,000	3,206,200
S-8	142,000	76,000	1,846,000
	รวมทั้งหมด		12,780,300

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่จากภาพตัดขวาง (cross section) (คัดลอกจาก มรกต นนทโส, 2539)

อย่างไรก็ตามการคำนวณด้วยเครื่องมือ Planimeter ซึ่งทำงานแบบกลศาสตร์ (Mechanic) มีโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนสูงและผลการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่มีความแม่นยำต่ำ ในขณะที่การคำนวณโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเป็นวิธีที่ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยมีความยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่า แต่จะมีความแม่นยำที่สูงกว่า (มรกต นนทโส, 2539)

4) วิธีการคำนวณโดยใช้สูตรคณิตศาสตร์ Contour Method

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ จะประเมินพื้นที่ในระดับเส้นชั้นความสูงในระดับต่าง ๆ มาคำนวณ โดยใช้วิธี Contour Method อาจใช้ร่วมกับโปรแกรม Auto Cad และ Microsoft Excel ดังสมการดังนี้

ปริมาณทรัพยากรแร่ = V * S.G. * k

V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร) คำนวณโดย

$$V = 1/3 \times (A1 + A2 + \sqrt{A1xA2}) \times h$$

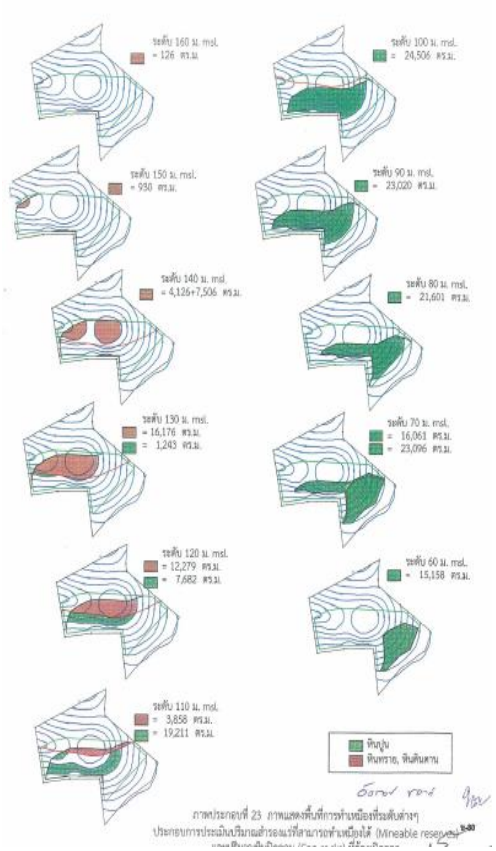
S.G. = ความถ่วงจำเพาะของแร่

k = ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมิน

A1, A2 = พื้นที่หน้าตัดด้านบนและพื้นที่หน้าตัดด้านล่าง (ตารางเมตร)

H = ระยะห่างระหว่าง A1 กับ A2 (เมตร)

ตัวอย่างการคำนวณแสดงดังรูปที่ 2.3



ระดับชั้นความสูง (เมตร จาก msl.)	พื้นที่หน้าตัดด้านบน (A1) (ตารางเมตร)	พื้นที่หน้าตัดด้านล่าง (A2) (ตารางเมตร)	ระยะห่างระหว่างชั้น (เมตร)	ปริมาตรแร่ (ลูกบาศก์เมตร)
140-130	-	1,243	10	4,143
130-120	1,243	7,682	10	40,050
120-110	7,682	19,211	10	130,137
110-100	19,211	24,506	10	218,049
100-90	24,506	23,020	10	237,591
90-80	23,020	21,601	10	223,067
80-70	21,601	23,096	10	243,699
70-60	16,061	15,158	10	156,073
รวม				1,252,809

* รายละเอียดพื้นที่หน้าตัดแต่ละระดับชั้นความสูงดังภาพประกอบที่ 23 *

ปริมาตรหินปูน = 1,252,809 ลูกบาศก์เมตร

หักช่องว่าง โพรงและเศษหิน 10% ความถ่วงจำเพาะของหินปูนเท่ากับ 2.6

ได้ปริมาณหินปูน = 1,252,809 x 2.6 x 0.9 เมตริกตัน

= 2,931,573 เมตริกตัน

≈ 2,931,600 เมตริกตัน

ดังนั้น ปริมาณหินปูน ≈ 2,931,600 เมตริกตัน

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ด้วยวิธี Contour Method)
(คัดลอกจาก บริษัท เอส ซี จี 1995 จำกัด, 2556)

2.2.2 วิธีการประเมินด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS)

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ เริ่มต้นจากการประเมินปริมาตรของทรัพยากรแร่ ในพื้นที่แหล่งแร่แต่ละบริเวณ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เช่น โปรแกรม ArcGIS โดยใช้ข้อมูลพื้นที่แหล่งแร่ และข้อมูลแบบจำลองภูมิประเทศ

- ข้อมูลพื้นที่แหล่งแร่ ในระบบ GIS มีลักษณะข้อมูลเป็นพื้นที่ (polygon) แสดงขอบเขต รูปร่างและขนาดเนื้อที่ พร้อมข้อมูลเชิงบรรยายประกอบ (attribute)

- ข้อมูลแบบจำลองภูมิประเทศ ใช้ประกอบในการคำนวณหาปริมาตรของพื้นที่แหล่งแร่ที่มีอยู่เหนือระดับพื้นผิว โดยใช้แบบจำลองภูมิประเทศ (Digital Elevation Model : DEM) หรือแบบจำลองภูมิประเทศชนิด TIN (Triangular Interpolated Network) แทนข้อมูล DEM

การสร้างแบบจำลองภูมิประเทศชนิด TIN ใช้ข้อมูลเส้นชั้นความสูง จุดค่าความสูง และขอบเขตพื้นที่ประเทศไทย เนื่องจากเป็นการอนุมานค่าระหว่างจุด 3 จุด โดยการสร้างสามเหลี่ยมเล็ก ๆ จาก vertex ของข้อมูลเส้นชั้นความสูง (contour) และ/หรือ ข้อมูลจุดค่าความสูง (Spot Elevation)

การคำนวณหาปริมาตรโดยวิธีนี้เป็นการคำนวณหาปริมาณที่อยู่เหนือระดับพื้นผิวของแต่ละแหล่ง ในแต่ละพื้นที่ระดับพื้นผิวไม่เท่ากัน จึงมีการกำหนดเส้นฐานของค่าความสูง (Base height elevation) ในการหาปริมาตรของทุก ๆ พื้นที่ที่ระดับ 0 (ศูนย์) ใช้โปรแกรมทำการคำนวณปริมาตรที่อยู่ใต้ระดับพื้นผิวแล้วนำไปหักออกจากปริมาตรเหนือระดับ 0 (ศูนย์) ที่โปรแกรมคำนวณออกมาให้ ก็จะได้ผลลัพธ์เป็นปริมาตรที่อยู่ระดับพื้นผิวบริเวณนั้น ๆ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการคำนวณปริมาตรแสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ก

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ คือ การนำเอาปริมาตรที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม GIS คูณด้วยค่าความหนาแน่นของแร่หรือหินที่มีในพื้นที่แหล่งแร่ และคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมิน ดังสมการ

$$M = V \times D \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)
V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)
D = ความหนาแน่น (เมตริกตัน/ลูกบาศก์เมตร)
K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน

ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินเป็นค่าที่กำหนดขึ้น เพื่อให้ได้ตัวเลขของปริมาณทรัพยากรแร่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินอาจจะเป็นค่าของโพรงหรือช่องว่างที่มีอยู่ในเนื้อหิน ค่าความน่าจะเป็นไปได้ในการพบสายแร่ในพื้นที่แหล่งแร่ ค่าความสมบูรณ์ของแหล่งแร่ เป็นต้น ในการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ของแต่ละชนิดแร่จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินต่างกัน และอาจใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินหลายตัวร่วมกัน

การใช้ค่าตัวแปรในการคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ในบางกรณี ควรศึกษากฎหมายและข้อกำหนดต่าง ๆ ที่มีการประกาศใช้เพิ่มเติม เช่น กรณีของหินอุตสาหกรรมชนิดหินปูน การคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ จากการดำเนินงานที่ผ่านมาได้เคยมีการกำหนดให้ใช้ตัวเลขจากประกาศกรมทรัพยากรธรณี เรื่อง ประทานบัตรหินอุตสาหกรรม ลงวันที่ 4 เมษายน 2539 โดยกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของหินปูน เท่ากัน 2.5 เมตริกตัน/ลูกบาศ์เมตร และหักค่าปริมาณดินหรือโพรงหินออกจาก

ปริมาตรที่คำนวณได้ ไม่เกินร้อยละ 10 ดังนั้น ตัวอย่างกรณีเช่นนี้ ปริมาณทรัพยากรแร่ของของหินปูนในแต่ละพื้นที่จะคำนวณ ดังนี้

$$M = V \times D \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)
V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)
D = ความหนาแน่น (เมตริกตัน/ลูกบาศก์เมตร)
K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน

ทั้งนี้ ในการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ ควรศึกษากฎหมายและข้อกำหนดต่าง ๆ ที่มีการประกาศต่าง ๆ เกี่ยวข้องกับหินปูนหรือชนิดแร่นั้น ๆ ซึ่งบางกรณีอยู่ระหว่างการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่มีการประกาศใช้ในสถานการณ์ปัจจุบัน สำหรับแร่ชนิดอื่นจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินต่างกัน ในบางกรณีอาจต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินหลายค่าตามความเหมาะสมของการกำเนิดแร่ที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่แหล่งแร่นั้น ๆ

2.3 วิธีการประเมินแบบธรรมดา (Conventional Estimation Methods)

วิธีการประเมินทรัพยากรแร่แบบธรรมดาเหมาะสำหรับใช้ในขั้นตอนการสำรวจ (Exploration) และบางครั้งในขั้นก่อนการศึกษาความเป็นไปได้ (Preliminary feasibility study) ใช้สำหรับตรวจสอบเทียบ (cross-check) กับวิธีการประเมินแบบอื่น เป็นวีการที่ใช้ประยุกต์ได้เหมาะสมกับมวลสินแร่ประเภท 2 มิติ ที่มีรูปร่างเป็นแผ่น ลักษณะบาง มีวิธีการดังนี้

2.3.1 วิธีการตัดขวาง (Sectional method)

วิธีการตัดขวาง มวลสินแร่ หรือแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยคอมพิวเตอร์ จะถูกตัดเป็นแนวตั้งหรือแนวนอนเพื่อกำหนดแผงแร่ (panel) แผงแร่เหล่านี้แต่ละชิ้นความหนาจะเท่ากับระยะห่างของแผงแร่ (ตารางที่ 2.2 และรูปที่ 2.4) ความสมบูรณ์แร่ของตัวอย่างทั้งหมดหรือหลุมเจาะทั้งหมดที่อยู่ภายในแผงแร่นี้เป็นค่าความสมบูรณ์เฉลี่ยในแผงแร่ ผลรวมปริมาตรของแร่ทั้งหมดจะให้ปริมาตรรวมของสินแร่ในแหล่งแร่ ในขณะที่ความสมบูรณ์แร่เฉลี่ยของแหล่งแร่ จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของความสมบูรณ์แร่ในแต่ละแผงแร่ โดยมีปริมาตรหรือน้ำหนักเป็นตัวกำหนด

กรณีพื้นที่ต้นและท้ายแผงแร่เท่ากัน

ปริมาตรของแผงแร่ (V) = พื้นที่ (Area) x ความหนา (D) (1)

กรณีที่พื้นที่ต้นและท้ายแผงแร่ไม่เท่ากัน

ปริมาตรของแผงแร่ (V) = พื้นที่ (A + B) x ความหนา (D) / 2 (2)

ปริมาณแร่ในแผง =ปริมาตรของแผงแร่ (V) x ค่าความถ่วงจำเพาะของแผงแร่

ค่าความถ่วงจำเพาะของแผงแร่ คำนวณได้จากค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะของแร่แต่ละชนิดที่เกิดร่วมกันเป็นสินแร่ เช่น Massive sulfide ore ประกอบด้วย 10% galena , 35% sphalerite และ 55% pyrite โดยแร่ galena มีค่าความถ่วงจำเพาะ 7.6 แร่ sphalerite มีค่าความถ่วงจำเพาะ 4.1 และแร่ pyrite มีค่าความถ่วงจำเพาะ 5.0

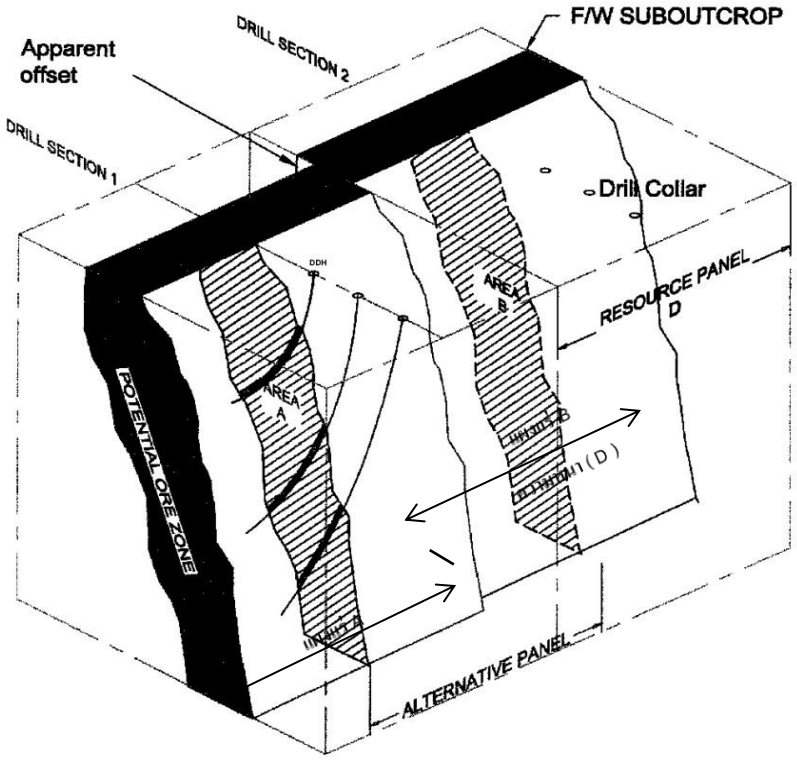
ดังนั้น ค่าความถ่วงจำเพาะของ Massive sulfide ore

= (7.6 x 0.1) + (4.1 x 3.5) + (5.0 x 0.55)

= 4.95

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณแร่สำรอง massive sulfide ในแผงแร่

แผงแร่	พื้นที่	เนื้อที่รวม m^2	ความหนา (D) m.	ปริมาตร (V) m^3	ความถ่วงจำเพาะ	ปริมาณทรัพยากรแร่ (Tones)
A	A+B	1,715	25	21,437.5	4.95	106,115.6
B	B	820	25	20,500.0	4.95	101,475.0



รูปที่ 2.4 การประเมินทรัพยากรวิธีการตัดขวางตามส่วนแนวตั้ง (ดัดแปลงจาก Dominy, S. C. and Annels, A .E., 2001)

วิธีการตัดขวางมีข้อดี คือ สามารถใช้กับแหล่งแร่ที่มีรูปร่างซับซ้อนได้ แต่มีข้อบกพร่องบางประการ โดยปัญหาที่สำคัญคือ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของมวลสินแร่ เนื่องจากมีสมมุติฐานว่ามวลสินแร่มีรูปร่างความหนาคงที่ในระยะห่างระหว่างแผงแร่ และค่าความสมบูรณ์ของแร่ก็คงที่เช่นเดียวกันในแผงแร่ วิธีการแบบตัดขวางจึงไม่เหมาะสำหรับการประเมินทรัพยากรแร่ที่มีการแปรปรวนของค่าความสมบูรณ์แร่ หรือมวลสินแร่ที่มีรูปร่างแปรเปลี่ยนมาก เช่น พวกสายแร่

2.3.2 วิธีการหลายเหลี่ยม (Polygonal Method)

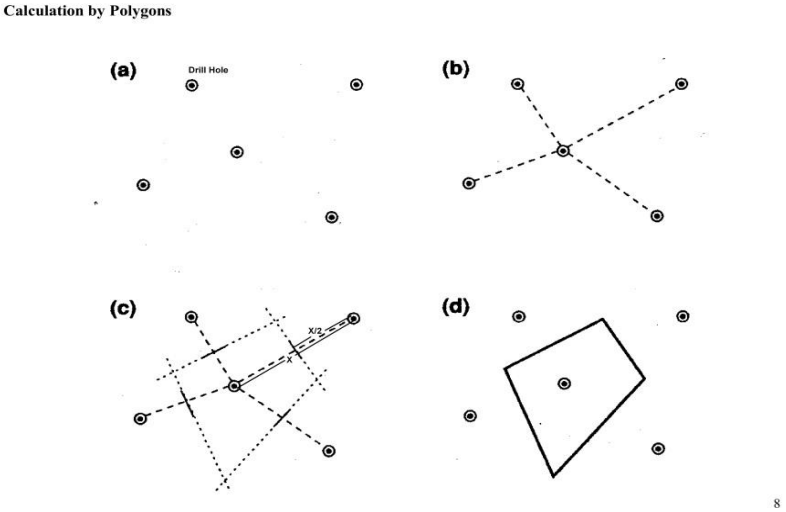
วิธีการหลายเหลี่ยมนี้เป็นที่นิยมแพร่หลายโดยเฉพาะในการสำรวจแร่ทองแดงพอร์ไฟรี ในยุคอดีตที่ยังไม่มีมีคอมพิวเตอร์ใช้งาน เมื่อมีการเจาะแร่แบบสุ่ม ไม่เป็นระบบตาราง (Grid) ความสมบูรณ์และความหนาของแต่ละหลุมจะถูกกำหนดให้กับรูปหลายเหลี่ยม โดยมีหลุมเจาะ 1 หลุมอยู่ตรงกลางภายในรูปหลายเหลี่ยม (รูปที่ 2.5 – 2.6) บล็อกรูปหลายเหลี่ยมแต่ละอันจะถูกสร้าง (MinE301-5: Ore Reserve Estimation. n.d., online) ดังนี้

1. ลากเส้นทีเชื่อมโยงหลุมเจาะกับหลุมที่ใกล้เคียงรอบๆ
2. แล้วลากเส้นแบ่งครึ่งตั้งฉากกับเส้นเหล่านี้
3. เส้นที่แบ่งครึ่งตั้งฉากกับเส้นในข้อ 1 ลากให้มาชนกันเกิดเชิงมุมระหว่างเส้นเหล่านี้จะได้รูปหลายเหลี่ยมกลางขึ้น
4. ขยายการสร้างรูปหลายเหลี่ยมออกไปยังหลุมเจาะที่เหลือจนหมด จะได้ชุดของรูปหลายเหลี่ยมขึ้น รูปหลายเหลี่ยมแต่ละอันที่ได้ จะมีขนาดพื้นที่ ความหนาของมวลแร่และความถ่วงจำเพาะที่เหมาะสมจากข้อมูลหลุมเจาะ

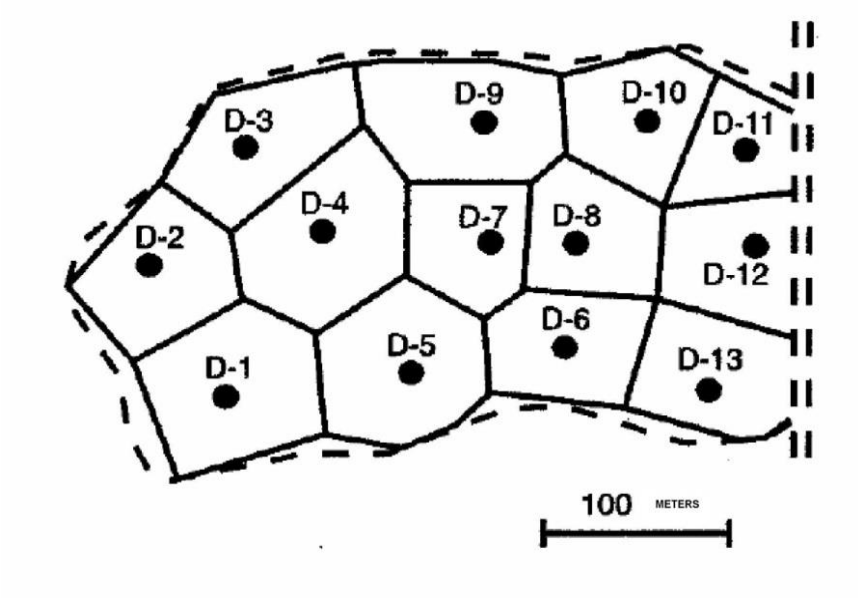
โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4

วิธีการหลายเหลี่ยมมีข้อดีคือ ความเรียบง่ายและใช้สำหรับตรวจสอบเทียบ (cross-check) วิธีการประเมินแบบอื่น มีปัญหาที่เกี่ยวข้องกับวิธีการหลายเหลี่ยม คือใช้ข้อมูลจากหลุมเจาะที่มีอยู่เพื่อประเมินรูปหลายเหลี่ยมแต่ละอันเท่านั้น ค่าต่างๆในหลุมเจาะที่อยู่ติดกันจะถูกละเว้นไม่นำมาใช้ ไม่สามารถอธิบายแนวโน้มในการกระจายค่าความสมบูรณ์ ได้เนื่องจากมีการสมมติฐานให้ค่าความสมบูรณ์คงที่ทั่วทั้งพื้นที่ของรูปหลายเหลี่ยม ในกรณีที่เป็นผลของนักเก็ต (nugget effect) ค่าที่คำนวณได้ในรูปหลายเหลี่ยมนั้นมีความแปรปรวนสูง ทำให้มีรูปหลายเหลี่ยมที่มีค่าความสมบูรณ์ต่ำหรือสูงมากปรากฏอยู่

Nugget effect เกิดจากการกระจายตัวของเม็ดแร่ที่มีความสมบูรณ์สูงที่เป็นไปไม่สม่ำเสมอ ทำให้ได้ค่าวิเคราะห์ที่สูงผิดปรกติมาก อันเป็นผลเนื่องจากการเก็บตัวอย่างที่ไม่ครอบคลุมกลุ่มตัวอย่างทั้งหมดของแหล่งแร่ แหล่งแร่ทองคำมักพบปัญหาของนักเก็ตเสมอ



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการการสร้างรูปหลายเหลี่ยม



รูปที่ 2.6 รูปหลายเหลี่ยมที่ได้จากการสร้างคลอบคลุมพื้นที่สำรวจ

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างการคำนวณความสมบูรณ์แร่เฉลี่ยในหลุมเจาะ (Average grade in Drill Hole)
(ค่าวิเคราะห์จากหลุมเจาะที่ 1 D -1, Bonanza copper deposit)

ความลึก Interval (m.)	ความหนา Thickness (m.)	ความสมบูรณ์ Grade (% Cu)	Thickness x Grade	หมายเหตุ
0-100	100	0.32	-	ต่ำกว่า cut off grade
100-110	10	0.47	4.7	
110-122	12	0.72	8.75	
122-130	8	0.96	7.68	
130-150	20	1.04	20.8	
150-200	50	0.82	41.0	
200-220	20	0.54	10.8	
220-250	30	0.42	12.6	
250-270	50	0.35	-	ต่ำกว่า cut off grade
รวม	150		106.43	สูงกว่า cut off grade

Average grade in D-1 = ผลรวม(thickness x grade)/ผลรวม(thickness) = 106.43/150 = 0.71% Cu
ในกรณีจะคำนวณหาปริมาณทรัพยากรแร่ (mineral resources) ค่าต่ำกว่า cut-off grade นำมาใช้ในการพิจารณาด้วย

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างการคำนวณปริมาณสำรองแร่และความสมบูรณ์เฉลี่ยของแหล่งแร่ (Average Grade of Entrie Deposit)

หลุมเจาะ	พื้นที่ (m^2)	ความหนา (m.)	ปริมาตร (m^3)	Tonnage Factor	Tones	Grade % Cu	Tones x Grade
D-1	2500	150	375,000	2.56	960,000	0.71	681,600
D-2	2460	135	332,100	2.56	850,176	0.80	680,140.8
D-3	2590	122	315,980	2.56	808,908.8	0.92	744,196.1
D-4	2340	148	346,320	2.56	886,579.2	1.02	904,310.7
D-5	2440	165	402,600	2.56	1,030,656	1.05	1,082,188.8
D-6	2510	154	386,540	2.56	989,542.4	0.81	801,529.3
D-7	2620	133	348,460	2.56	892,057.6	0.76	677,964.7
D-8	2610	147	383,670	2.56	982,195.2	0.54	530,385.4
D-9	2570	156	400,920	2.56	1,0263,55.2	0.50	0513177.6
D-10	2360	179	422,440	2.56	1,081,446.4	0.62	670,496.7
D-11	2450	145	355,250	2.56	909,440.0	0.42	381,964.8
D-12	2542	132	335,544	2.56	858,992.6	0.55	472,445.9
D-13	2448	135	330,480	2.56	846,028.8	0.45	380,712.96
รวม					11,096,023.0		8,521,113.76

Tonnage Factor คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

Tones = ปริมาตร x Tonnage Factor Total Tones = 11,096,023.00 Tones

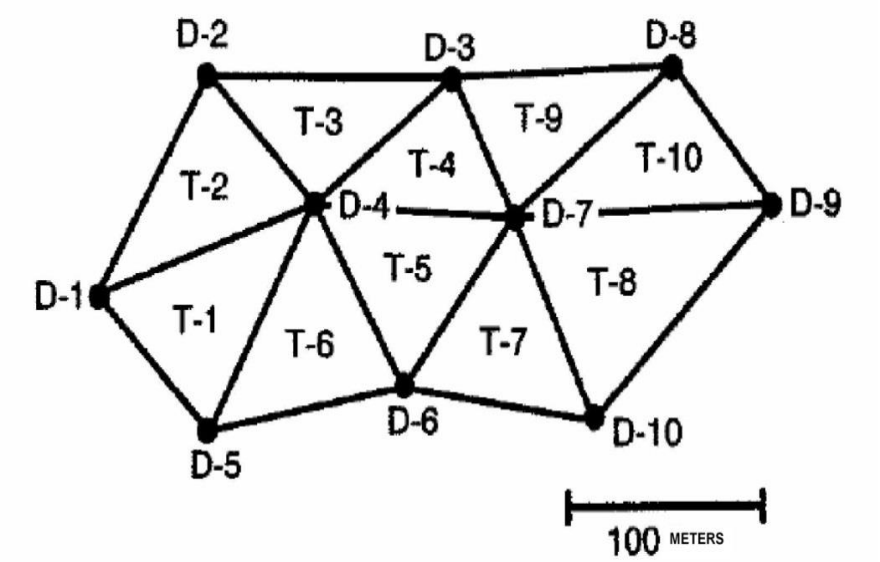
Average grade entire deposit = ผลรวม(Tones x grade)/ผลรวม(tones)=8,521,113.76/11,096,023.00 = 0.76 % Cu

2.3.3 วิธีการสามเหลี่ยม (Triangular Method)

วิธีการสามเหลี่ยมนั้น ทำการได้โดยการเชื่อโยงตำแหน่งหลุมเจาะที่อยู่ใกล้เคียงกัน 3 หลุมในระนาบ ให้เป็นรูปสามเหลี่ยม โดยมีหลุมเจาะอยู่ตรงมุมสามเหลี่ยม (รูปที่ 2.7) ซึ่งสุดท้ายแล้วจะได้ชุดสามเหลี่ยมครอบคลุมมวลสินแร่ในพื้นที่ตั้งของแหล่งแร่ ความสมบูรณ์แร่และความหนาของแร่ในพื้นที่สามเหลี่ยมได้จากค่าเฉลี่ยความสมบูรณ์แร่และความหนาแร่ของทั้ง 3 หลุมที่ประกอบเป็นสามเหลี่ยมนั้น

ปริมาตรรูปสามเหลี่ยม = พื้นที่สามเหลี่ยม x ความหนาเฉลี่ยในรูปสามเหลี่ยม

ปริมาณแร่ในสามเหลี่ยม = ปริมาตรรูปสามเหลี่ยม x ความถ่วงจำเพาะในรูปสามเหลี่ยม



รูปที่ 2.7 ชุดสามเหลี่ยมที่ได้จากการเชื่อมโยงหลุมเจาะที่อยู่ใกล้เคียงกัน ครอบคลุมมวลสินแร่ในพื้นที่

วิธีการสามเหลี่ยมนั้นดีกว่าวิธีการหลายเหลี่ยม ในการใช้เพื่อประเมินบล็อกเนื่องจากให้ค่าน้ำหนักความสมบูรณ์แร่จากค่าเฉลี่ยของ 3 หลุมเจาะ แต่ค่าน้ำหนักที่ใช้กับความสมบูรณ์ของแร่ยังคงถูกควบคุมโดยคุณสมบัติเชิงเรขาคณิตของบล็อก โดยไม่มีการนำค่าความสมบูรณ์แร่ของหลุมเจาะที่อยู่ใกล้เคียงอื่นๆ มาใช้

จากรูปที่ 2.7 พื้นที่สามเหลี่ยม T-1 สามารถคำนวณพื้นที่ได้ 4,400 ตารางเมตร และมีค่าความถ่วงจำเพาะ (Tonnage Factor) 2.56 โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 2.5 – 2.7

ตารางที่ 2.5 ค่าวิเคราะห์ของหลุมเจาะสำรวจแหล่งแร่ Ojala copper Deposit (MinE301-5: Ore Reserve Estimation. n.d., online)

หลุมเจาะ	ความหนา (m.)	Grade % Cu
D-1	50	0.93
D-2	75	0.77
D-3	60	0.82
D-4	100	1.05
D-5	75	0.72
D-6	60	0.49
D-7	105	1.63
D-8	80	0.91
D-9	70	0.86
D-10	75	0.64

ตารางที่ 2.6 การคำนวณหาความสมบูรณ์เฉลี่ยพื้นที่สามเหลี่ยม T-1

หลุมเจาะ	ความหนา Thickness (m.)	Grade % Cu	Grade x Thickness
D-1	50	0.93	46.5
D-4	100	1.05	105.0
D-5	75	0.72	54.0
รวม	225		205.5

Average Grade of T-1 = ผลรวม(Grade x Thickness)/ผลรวม(thickness) = 205.5/225 = 0.91 %Cu

ปริมาณทรัพยากรแร่ T-1 = พื้นที่ x ความหนาเฉลี่ย x Tonnage Factor = 4400 x (225/3) x 2.56 = 844,800

ตารางที่ 2.7 การคำนวณหาปริมาณสำรองแร่และความสมบูรณ์เฉลี่ยของแหล่งแร่ (Average Grade Entire Deposit)

สามเหลี่ยม	หลุมเจาะ	Tones	Average Grade	Tones x Grade
T-1	D-1,D-4,D-5	844,800	0.91	768768.0
T-2	D-1,D-2,D-4	821,600	0.94	772304.0
T-3	D-2,D-3,D-4	785,040	0.91	714386.4
T-4	D-3,D-4,D-7	722,500	1.23	888675.0
T-5	D-4,D-6,D-7	724,560	1.15	833244.0
T-6	D-4,D-5,D-6	855,320	0.79	675702.8
T-7	D-6,D-7,D-10	853,200	1.07	912924.0
T-8	D-7,D-9,D-10	874,200	1.15	1005330.0
T-9	D-3,D-7,D-8	845,010	1.20	1014012.0
T-10	D-7,D-8,D-9	880,420	1.19	1047699.8
รวม		8,206,650.0		8,633,046.0

ปริมาณสำรองแร่ (Total Tones) = 8,206,650.0

Average Grade Entire Deposit = ผลรวม(Tones x Grade)/ผลรวม(Tones) = 8,633ม046/8,206,650 = 1.05 %Cu

2.3.4 วิธีการถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน (Invers distance weighting Method, IDW)

แบบจำลองบล็อก (Block model) จะถูกสร้างขึ้นสำหรับการประเมินทรัพยากรแร่ รูปแบบบล็อกเป็นโครงสร้างข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากซึ่งสามารถเก็บข้อมูลจำนวนมากได้ เป็นวิธีการที่ยืดหยุ่นมากช่วยให้สามารถสร้างแบบจำลองที่แสดงถึงสภาพทางธรณีวิทยาและการทำเหมืองแร่ได้อย่างแม่นยำ ช่วยให้มองเห็นธรณีวิทยาหรือแนวโน้มเกรดภายในมวลสินแร่ได้อย่างยอดเยี่ยม มีการใช้วิธีการทางธรณีสถิติมากขึ้นเพื่อแสดงการกระจายค่าความสมบูรณ์แร่ การคำนวณอย่างรวดเร็วระหว่างค่าตัวแปร ทำให้การประเมินทรัพยากรแร่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

เมื่อคอมพิวเตอร์ได้ประดิษฐ์ขึ้นและถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณทรัพยากรแร่ วิธีการแบบการถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน (IDW) มีการใช้ได้อย่างเป็นจริงจังและทำได้ง่ายขึ้น วิธีการนี้ความสมบูรณ์ของแร่ที่ตรงกลางบล็อก *(Zp)* ใช้ค่าน้ำหนักเฉลี่ยของหลุมเจาะที่อยู่ข้างเคียงตามระยะทางผกผัน มาใช้คาดการณ์ดังสมการ

$$Zp \quad = \sum_{i=0}^{n} \left(Zi/di^{\,p} \right) / \sum_{i=0}^{n} \left(1/di^{\,p} \right)$$

โดยที่

di เป็นระยะทางจากจุดที่รู้ข้อมูลไปยังตรงกลางบล็อกที่จะคำนวณค่า

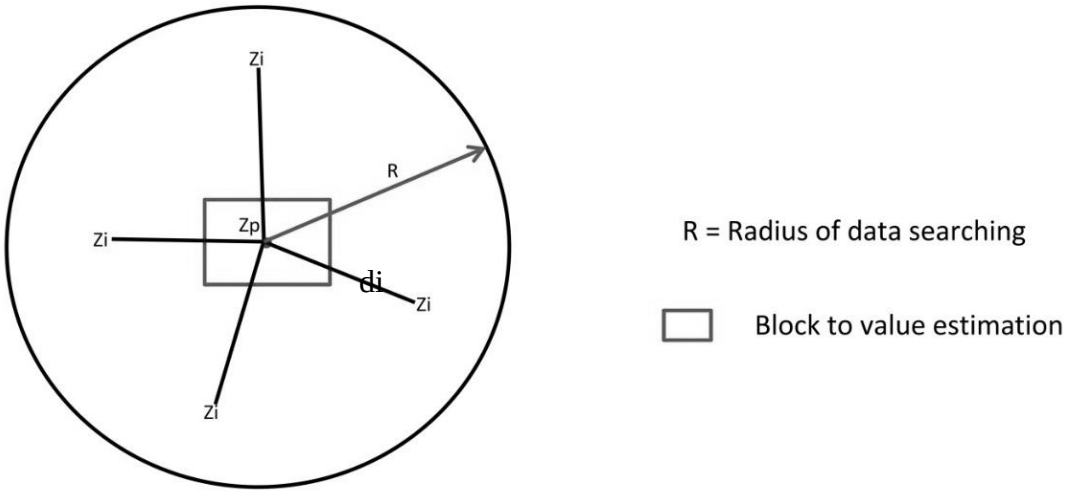
Zi เป็นค่าที่รู้ข้อมูล เช่น ความสมบูรณ์แร่

p เป็นค่ายกกำลัง มีค่า 1 ถึง 5

p ที่มีค่าต่ำจะใช้ข้อมูลส่วนใหญ่ในรัศมีทรงกลม (รูปที่ 2.8) มาใช้ในการคำนวณ ขณะที่ค่า *p* สูงจะใช้ข้อมูลที่อยู่ใกล้ๆ บล็อก โดยที่ข้อมูลที่อยู่ห่างไกลบล็อก จะไม่นำมาคำนวณ ค่ามากกว่า 5 จะได้ผลคำนวณคล้ายกับวิธีการรูปหลายเหลี่ยม (Dominy and Annels, 2001) โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณดังตารางที่ 2.8

ทั้งนี้ ค่า *Zp* ที่ได้ของบล็อกจากการคำนวณ จะถูกนำไปใช้เพื่อหาปริมาณทรัพยากรแร่หรือปริมาณแร่สำรองต่อไป

วิธีการแบบถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผันเป็นรูปแบบการประเมินที่ดีกว่าวิธีรูปสามเหลี่ยม รูปหลายเหลี่ยม และรูปตัดขวาง แต่ยังมีข้อด้อยในการจัดการกรณีที่สภาพธรณีวิทยาที่มีความแตกต่างในทิศทาง (anisothropy) หรือกรณีเป็นผลของนักเก็ตที่สามรถพบเห็นได้ทั่วไปในแหล่งแร่



รูปที่ 2.8 พื้นที่การคำนวณแบบถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน (IDW) ของบล็อกสำหรับประเมิน

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างการคำนวณความสมบูรณ์แร่ทองคำในบล็อกที่ประเมิน

Zi (ppm)	*di* (m.)	Zi/di^1	Zi/di^2	Zi/di^3	$1/di^1$	$1/di^2$	$1/di^3$
1.3	50	0.02600	0.00052	0.00001	0.02000	0.00040	0.00001
0.7	45	0.01556	0.00035	0.00001	0.02222	0.00049	0.00001
1.2	25	0.04800	0.00192	0.00008	0.04000	0.00160	0.00006
3.1	22	0.14091	0.00640	0.00029	0.04545	0.00207	0.00009
4.5	39	0.11538	0.00296	0.00008	0.02564	0.00066	0.00002
5.1	36	0.14167	0.00394	0.00011	0.02778	0.00077	0.00002
2.1	41	0.05122	0.00125	0.00003	0.02439	0.00059	0.00001
3.5	67	0.05224	0.00078	0.00001	0.01493	0.00022	0.00000
1.2	28	0.04286	0.00153	0.00005	0.03571	0.00128	0.00005
0.3	31	0.00968	0.00031	0.00001	0.03226	0.00104	0.00003
รวม		0.64351	0.01996	0.00068	0.28838	0.00912	0.00031

p =1, *Zp* = 0.64351/0.28838 = 2.23 ppm Au
p= 2, *Zp* = 0.01996/0.00912 = 2.19 ppm Au
p= 3, *Zp* = 0.00068/0.00031 = 2.17 ppm Au

2.4 วิธีการประเมินทางธรณีสถิติ (Geostatistical estimation method)

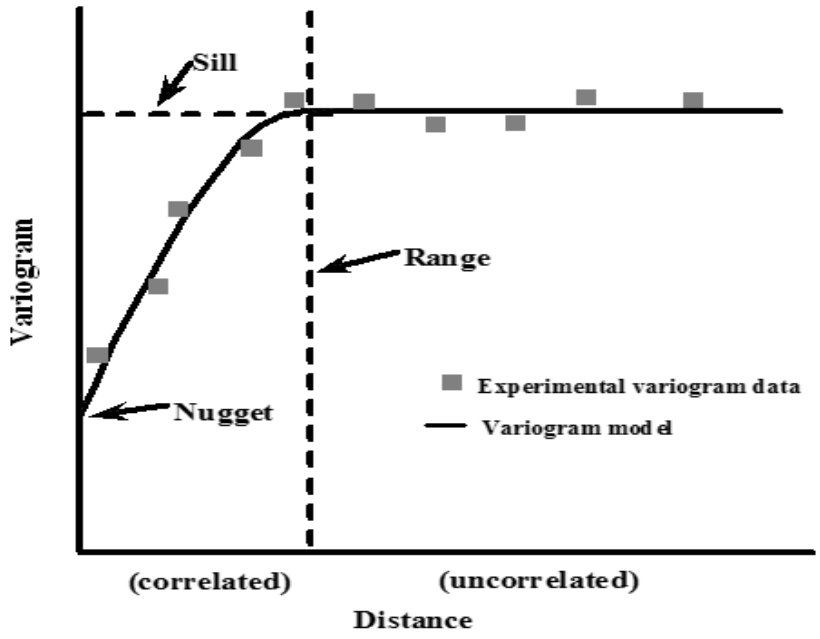
ธรณีสถิติเป็นการวิเคราะห์หรือคาดการณ์ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเชิงพื้นที่หรือชั่วคราว ถูกใช้วิเคราะห์และคาดหมายข้อมูลที่แปรผันเชิงพื้นที่สัมพันธ์กันอย่างเป็นนัย เช่น ความสมบูรณ์แร่ (grade) ทำการคาดการณ์ข้อมูลในจุดที่ไม่มีการเก็บตัวอย่าง เนื่องจากการประเมินทรัพยากรแร่แบบธรรมดามีความลำเอียง (biased) โดยค่าน้ำหนักที่ให้ต่อตัวอย่างกำหนดขึ้นเอง แต่ธรณีสถิติกำหนดค่าน้ำหนักโดยยึดความสัมพันธ์ต่อกันของตัวอย่างโดยการใช้ variogram ซึ่งเป็นรากฐานของธรณีสถิติ ช่วยลดค่าผิดพลาดให้น้อยลง ถือว่าเป็นตัวประเมินที่ดีที่สุด (รูปที่ 2.9)

Variogram แสดงได้ดังสมการข้างล่างนี้

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_1) - Z(x_{i+h})]^2 \qquad \text{(A)}$$

โดยที่

$Z(x_i)$: Sample value of the variable at point x_i
$Z(x_i + h)$: Sample value of the variable at a point distance h from point x_i
$\gamma(h)$: The experimental variogram value at the distance interval *h*.
$n(h)$: Number of sample pairs within the distance interval *h*.



รูปที่ 2.9 variogram model (Kriging Variogram Model: 2020, online)

คริกกิ้ง (Kriging) เป็นวิธีการประเมินแบบธรณีสถิติ ที่ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพื่อลดอิทธิพลของการประเมินเชิงเส้นและความเอนเอียงของการคาดการณ์ วิธีการนี้แสดงการแปรปรวนเชิงพื้นที่ของแหล่งแร่ในรูปของ variogram ลดความผิดพลาดการคาดการณ์ให้น้อยสุด ในการประเมินบล็อกโมเดล คริกกิ้ง ทำการลดค่าน้ำหนักของตัวอย่างที่กระจุกตัว และลดอิทธิพลของระยะตัวอย่างให้ต่ำ ข้อมูลที่ได้การประเมินจากคริกกิ้ง ควรจะมีค่าไม่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปอย่างเป็นระบบจากค่าจริง

คริกกิ้ง ในปัจจุบันมีหลายวิธี Ordinary Kriging เป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับความนิยม มีความน่าเชื่อถือมาก ใช้ได้กับข้อมูลหลายชนิด ใช้สำหรับคาดการณ์ค่าความสมบูรณ์แร่ให้กับบล็อกโดยการให้ค่าน้ำหนักข้อมูลที่มีอยู่รอบๆ ด้วย variogram model ค่าที่คาดการณ์ ($\hat{Z}$) ดังสมการข้างล่าง

$$\hat{Z} = \sum_{=1}^{n} \lambda_i . Z_i \qquad \text{(B)}$$

The weight λ_i calculated by a formula

$$\sum_{i}^{n} \lambda_i . C(i,j) + \mu = C(i,0), with \ \sum_{i=1}^{n} \lambda_i = 1 \qquad \text{(C)}$$

Kriging variance สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$\sigma_R^2 = C(0) - ((\sum_{i=1}^{n} \lambda_i C_{i0}) + \mu) \qquad \text{(D)}$$

โดยที่

Z_i : A sample value at point *i*

$C(i,j)$: Covariance between sample *i* and sample *j*

μ : Lagrange multiplier

$C(i,0)$: Covariance between sample and block

การทำคริกกิ้ง เพื่อประเมินทรัพยากรแร่หรือปริมาณแร่สำรองนั้น มีขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. ตำแหน่งหลุมเจาะหรือตำแหน่งเก็บตัวอย่าง และค่าความสมบูรณ์แร่

2. จัดทำกราฟ variogram โดยมี่ค่า ระยะทาง h เป็นแกนนอน X และค่า $\gamma(h)$ จากสมการ (A) เป็นแกนตั้ง Y

3. ทำการ graph fitting ข้อมูลใน variogram ด้วยรูปแบบโมเดลต่างๆ เช่น ทรงกลม (sphere) exponential หรืออื่นๆ เพื่อให้ได้รูปแบบที่ดีที่สุด

4. จากโมเดลที่ได้คำนวณหาค่า $\hat{Z}$ ของบล็อกจากสมการ (B) ค่า $C(i,0)$ จากสมการ (C) จนได้ค่า σ_R^2 ในสมการ (D) มีค่าต่ำสุด

5. นำค่าคาดการณ์ความสมบูรณ์แร่ของบล็อก $\hat{Z}$ จากสมการ (B) ไปประเมินปริมาณทรัพยากรแร่และปริมาณสำรองแร่ต่อไป

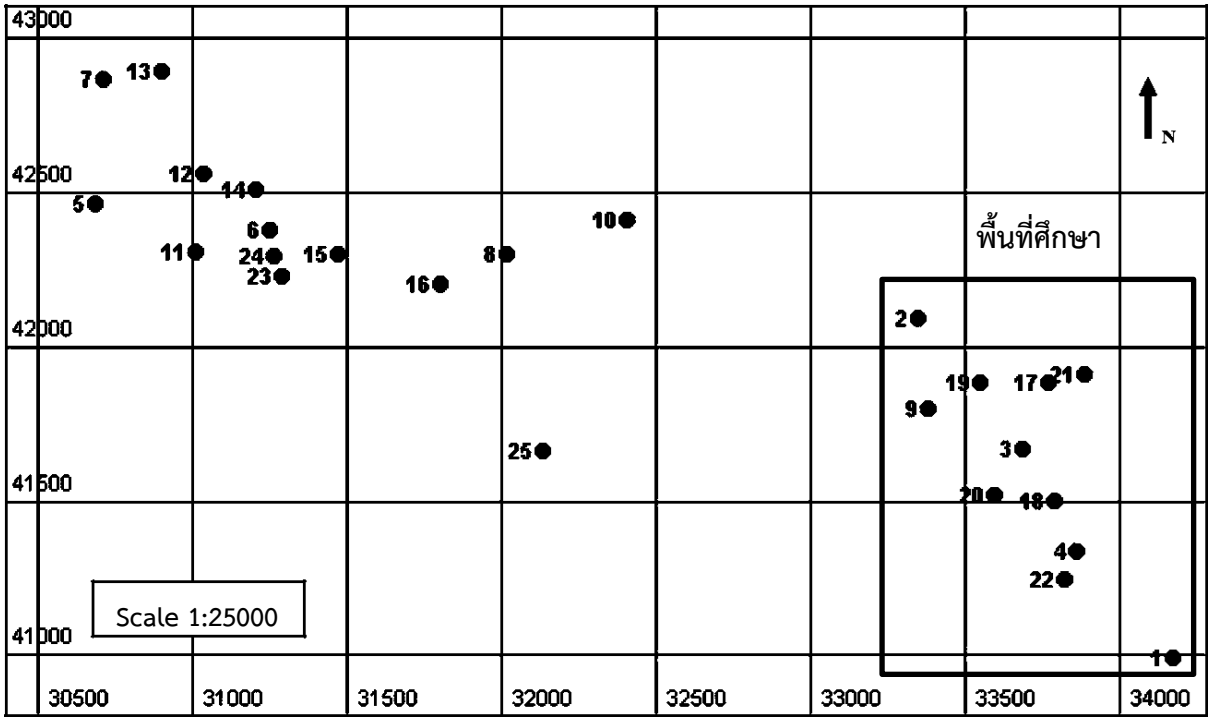
ธรณีสถิติเป็นวิชาที่มีเนื้อหามากมายและมีความซับซ้อน สามาถนำไปประยุกต์ใช้กับข้อมูลได้หลายชนิดผู้สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก David (1977) วัลลภ (2540) และการนำธรณีสถิติไปใช้ในการประเมินทรัพยากรแร่โดย สุรพล (2529) ธรณีสถิติโดยส่วนมากจะถูกนำไปประยุกต์ใช้กับการประเมินทรัพยากรแร่ (Mineral Resource Estimation) ในขั้นตอนการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการทำเหมือง (Feasibility) และในขั้นตอนการควบคุมเกรด (grade control) ขณะทำเหมือง

ข้อดีของคริกกิ้ง เป็นวิธีการประเมินที่ดีสำหรับจัดการข้อมูลเชิงท้องถิ่นและเชิงภูมิภาค ข้อมูลธรณีวิทยาถูกแสดงให้เห็นทาง variogram และวิธีการแบบสถิตินี้ความไม่แน่นอนถูกตรวจสอบพบ

ข้อเสียของคริกกิ้ง คือ มีความยุ่งยากในการดำเนินการต้องใช้ผู้มีความชำนาญใช้คอมพิวเตอร์ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ และการอนุญาตกำหนดค่าให้กับตัวแปรอาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้

2.5 กรณีศึกษาการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่แบบธรรมดา และการประเมินทางธรณีสถิติ

2.5.1 Derekoy Copper Deposit อยู่ที่ เมือง Derekoy จังหวัด Kirklareli ประเทศตุรกี ใกล้กับชายแดนประเทศบัลแกเรีย อยู่ในเขต Istranca massive ซึ่งเป็นปริมณฑลแร่แบบทองแดงพอร์ไฟรี มีความยาวต่อเนื่องจากประเทศโรมาเนีย ยูโกสลาเวีย บัลแกเรีย ถึงตุรกี การสำรวจแร่เริ่มขึ้นในปี 1981-1986 โดยดำเนินการเจาะสำรวจทั้งสิ้น 25 หลุม การประเมินผลเบื้องต้นพบว่าแหล่งแร่มีปริมาณสำรอง 1,740,805,517 ตัน ที่เกรดเฉลี่ย 0.106 % Cu (Erdem O. and Guyaguler T., 2017) ซึ่งถือว่าค่อนข้างต่ำที่จะดำเนินการทำเหมืองแร่ได้อย่างคุ้มค่า ประกอบกับด้านตะวันตกเฉียงเหนือของแหล่งแร่ เป็นเขตเมืองอยู่อาศัย และอยู่ใกล้เส้นทางคมนาคมหลัก โอกาศที่จะทำเหมืองแร่ได้มีต่ำเนื่องจากมีผลกระทบต่อชุมชน จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการทำเหมืองแร่ของพื้นที่ด้านใต้ เนื่องจากแร่มีค่าความสมบูรณ์ค่อนข้างสูง (รูปที่ 2.10) ซึ่งพื้นที่ศึกษาด้านใต้ดำเนินเจาะสำรวจอยู่ทั้งหมด 11 หลุมและข้อมูลจากหลุมเจาะดังกล่าวได้ถูกนำมาวิเคราะห์ทางสถิติและจัดทำโมเดลเพื่อประเมินปริมาณสำรองแร่



รูปที่ 2.10 ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจในแหล่ง Derekoy copper deposit

1) การศึกษาปริมาณสำรองแร่ด้วยซอฟแวร์

จัดทำบล็อกโมเดล ที่มีขนาด 10x10x5 เมตร จำนวน 144,936 บล็อก และบล็อกย่อย 2x2x2.5 เมตร จำนวน 522,352 คำนวณหาความสมบูรณ์ (grade) ของบล็อก และบล็อกย่อย โดยวิธีการถ่วงน้ำหนักระยะทางผกผัน IDW ด้วยซอฟแวร์ Micromine ได้ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 0.244% Cu ดังรายละเอียดในรูปที่ 2.11 และตารางที่ 2.9 และปริมาณสำรองแร่ 209,767,104 ตัน โดยใช้ค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 2.7 ตัน/ลูกบาศก์เมตร

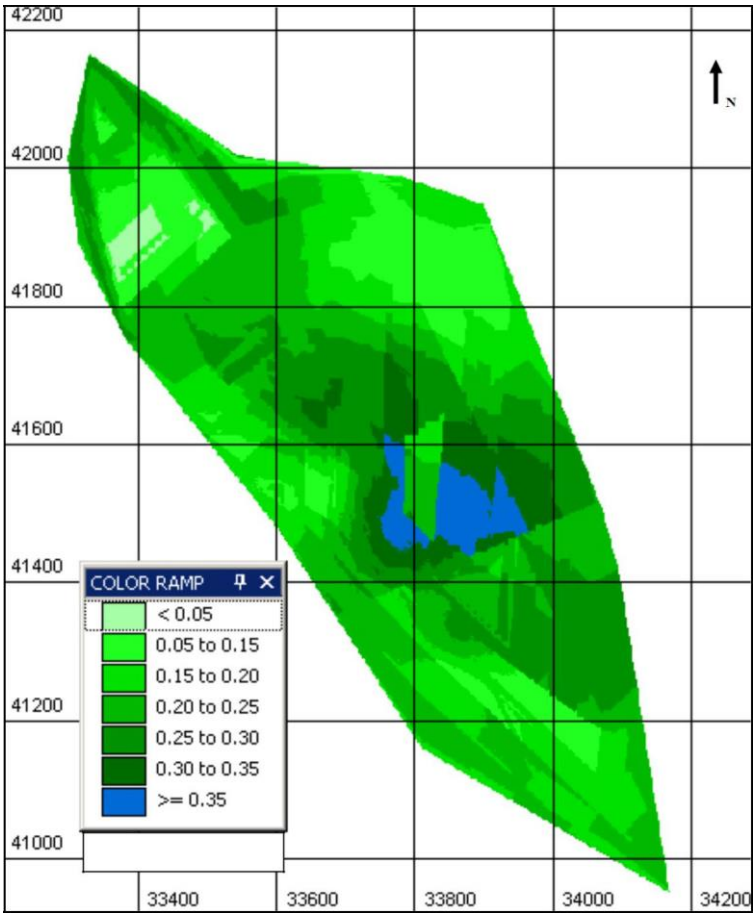
2) การหาปริมาณสำรองแร่แบบหลายเหลี่ยม (Polygonal Method)

วิธีแบบหลายเหลี่ยมใช้เพื่อหาปริมาณแร่และความสมบูรณ์เฉลี่ยในแหล่งแร่ด้านใต้ และเพื่อตรวจเทียบกับวิธีการใช้ซอฟแวร์ Micromine การประเมินแบบรูปหลายเหลี่ยมปัญหาที่สำคัญ คือ รูปร่างที่ซับซ้อนของมวลสินแร่ ซึ่งจัดการโดยให้ขอบของรูปหลายเหลี่ยมซ้อนทับกับขอบของมวลสินแร่ (รูปที่ 2.12) พื้นที่ของรูปหลายเหลี่ยมได้จากการใช้เครื่องมือวัดพื้นที่ (planimeter) เพื่อลดความผิดพลาด ค่าเฉลี่ยจากการวัดพื้นที่รูปหลายเหลี่ยม 3 ครั้ง จึงยอมรับให้ใช้เป็นเนื้อที่ของรูปหลายเหลี่ยม ผลการประเมินแบบรูปหลายเหลี่ยมได้ปริมาณสำรองแร่ 212,105,421 ตัน มีค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 0.255 %Cu (ตารางที่ 2.10) ในขั้นตอนคำนวณค่าความสมบูรณ์เฉลี่ยของแหล่งแร่ วิธีการแบบค่าน้ำหนักเฉลี่ยนำมาประยุกต์ใช้กับปริมาณสำรองแร่ทุกรูปหลายเหลี่ยม

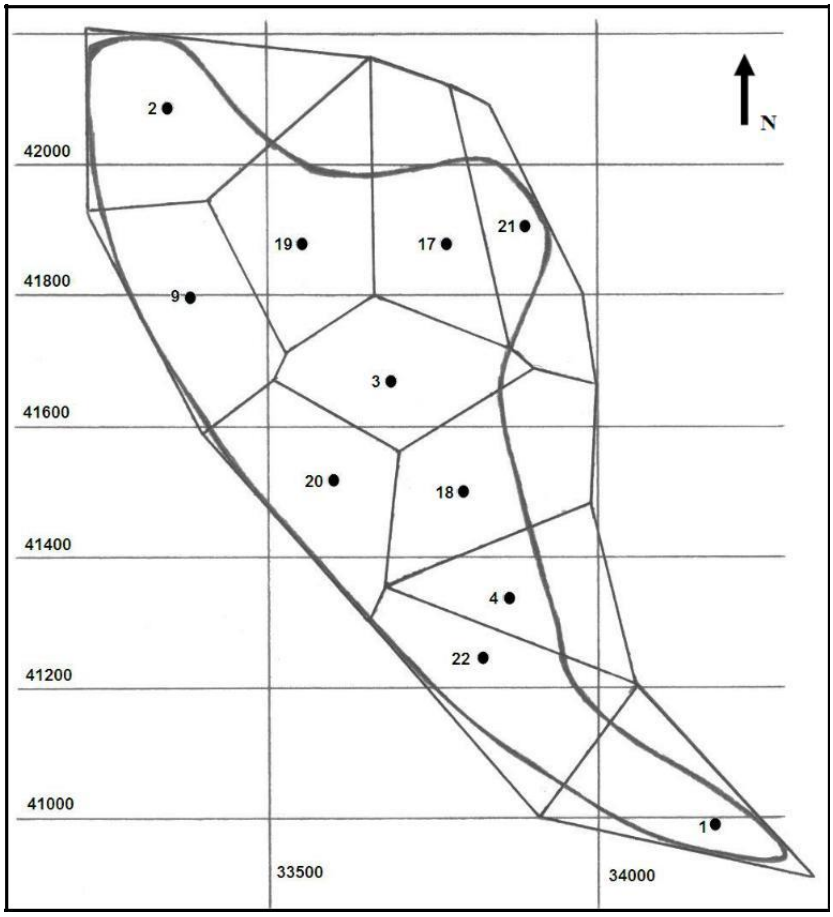
3) เปรียบเทียบวิธีการประเมิน

ปริมาณสำรองแร่ที่ได้จากซอฟแวร์ Micromine 209,767,104 ตัน จากวิธีการรูปหลายเหลี่ยม 212,105,421 ตัน ซึ่งแตกต่างกัน 2,338,317 ตัน Micromine ได้ค่าเฉลี่ยความสมบูรณ์แร่ 0.244% Cu ส่วนวิธีการรูปหลายเหลี่ยมได้ ค่าความสมบูรณ์เฉลี่ย 0.255 %Cu

ผลการการประเมินปริมาณสำรองแร่แบบใช้ซอฟแวร์และแบบหลายเหลี่ยม มีความแตกต่างกันเล็กน้อย แต่วิธีการใช้ซอฟแวร์ Micromine มีความแม่นยำกว่า เนื่องจากวิธีรูปหลายเลี่ยมมีข้อผิดพลาดจากการวัดด้วยเครื่องมือวัดพื้นที่และข้อผิดพลาดจาการกำหนดขอบเขตมวลสินแร่ด้วยมือ (manual) ทั้ง 2 วิธีการให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันไม่มาก



รูปที่ 2.11 การกระจายตัวค่าสมบูรณ์แร่ในแหล่งแร่ทองแดงพอร์ไฟรี ด้านใต้



รูปที่ 2.12 แบบประเมินรูปหลายเหลี่ยมของแหล่งแร่ทองแดงพอร์ไฟรี ด้านใต้

ตารางที่ 2.9 การกระจายตัวค่าสมบูรณ์แร่ในแหล่งแร่ทองแดงพอร์ไฟรี ด้านใต้

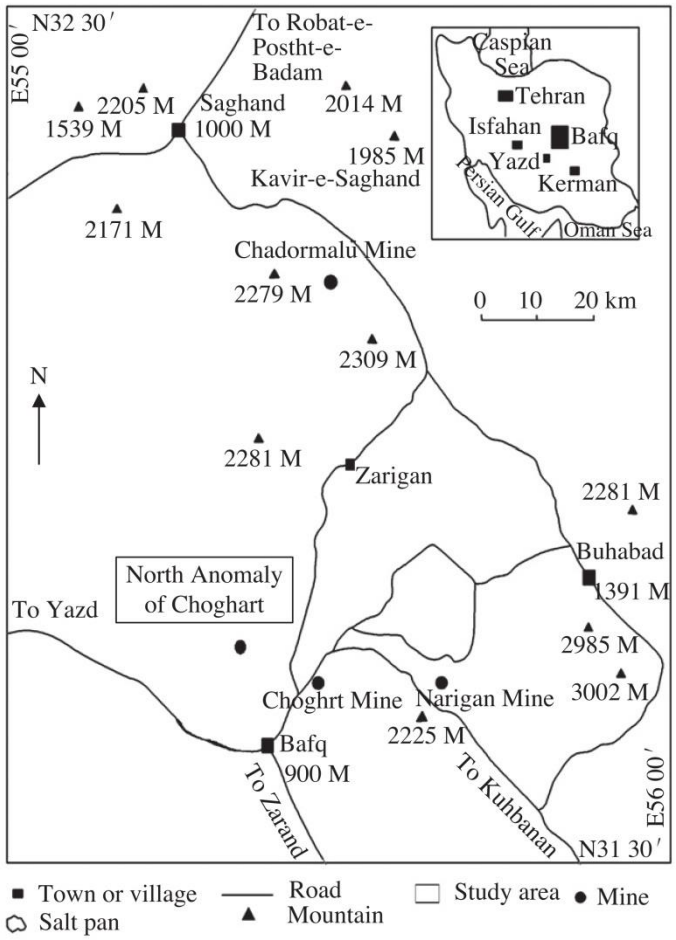
Grade From	Grade To	Volume (m^3)	Tones	Average Grade (%)	Cumulative Volume (m^3)	Cumulative Tones	Cum. Average Grade (%)
0	0.15	8,784,450	23,718,015	0.124	8,784,450	23,718,015	0.124
0.15	0.20	14,519,640	39,203,028	0.178	23,304,090	62,921,043	0.158
0.20	0.25	20,539,540	55,456,758	0.226	43,843,630	118,377,801	0.190
0.25	0.30	17,305,750	46,725,525	0.271	61,149,380	165,103,326	0.213
0.30	0.35	9,303,630	25,119,801	0.324	70,453,010	190,223,127	0.228
0.35	100	7,238,510	19,543,977	0.406	77,691,520	209,767,104	0.244

ตารางที่ 2.10 การกระจายตัวค่าสมบูรณ์แร่ในแหล่งแร่ทองแดงพอร์ไฟรี ด้านใต้ด้วยวิธีรูปหลายเหลี่ยม

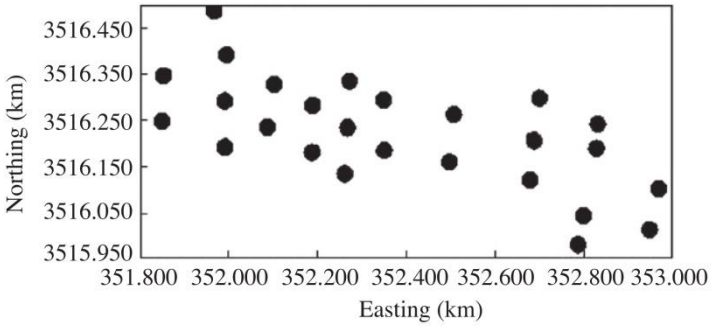
Polygon Name	Ore (tones)	Average Grade (%)	Cu Content* (tones)
1	5,103,063	0.229	11,686
2	23,880,582	0.199	47,522
3	25,201,296	0.372	93,749
4	24,279,948	0.232	56,329
9	10,286,955	0.222	22,837
17	22,394,736	0.108	24,186
18	33,605,226	0.325	109,217
19	39,600,630	0.283	112,070
20	9,285,633	0.236	21,914
21	3,953,664	0.158	6,247
22	14,513,688	0.240	34,833
รวม	212,105,421		540,591
เฉลี่ย		0.255	

Cu Content* = Ore X Average Grade

2.5.2 North Choghart Iron deposit ตั้งอยู่ตอนกลางของประเทศอิหร่าน ที่ระดับความสูง 612-1162 เหนือระดับน้ำทะเล เป็นแหล่งแร่แมกนีไทต์ ฮีมาไทต์ ที่มีความสมบูรณ์ต่ำ มีขนาดใหญ่ (รูปที่ 2.13) โดยมีหินท้องที่เป็นพวก hornblendite–pyroxenite, rhyolite, andesite และ pyroclastic rocks ที่ถูกแปรสภาพ มีหลุมเจาะสำรวจแร่ทั้งหมด 26 หลุม (รูปที่ 2.14) โดยมีไฟล์ข้อมูลที่ประกอบด้วยชื่อหลุมเจาะ พิกัดที่ตั้งหลุมเจาะ ความสมบูรณ์ของธาตุ ความลึก ทิศทางหลุมเจาะ ความเอียงหลุมเจาะ ระดับหลุมเจาะ และชนิดหิน มวลสินแร่ถูกแบ่งบล็อกขนาด 20x20x12.5 เมตร สำหรับการประเมินทางธรณีสถิติ ด้วยวิธี ordinary kriging โดยใช้ซอฟแวร์ Wingslib

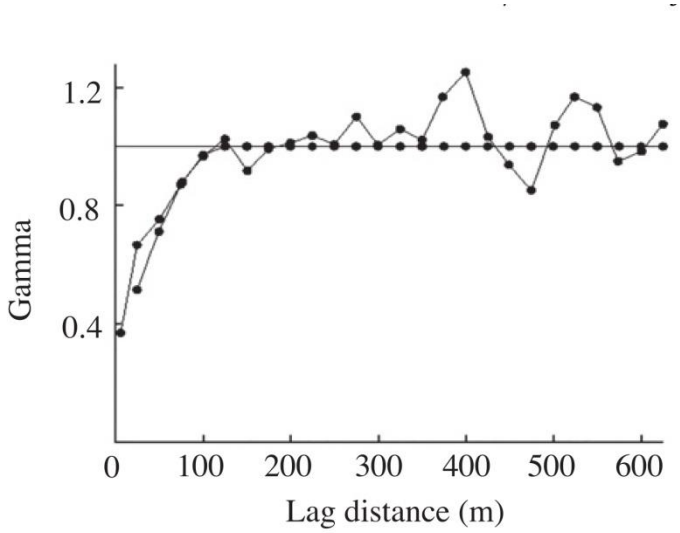


รูปที่ 2.13 ที่ตั้ง North Choghart Iron deposit



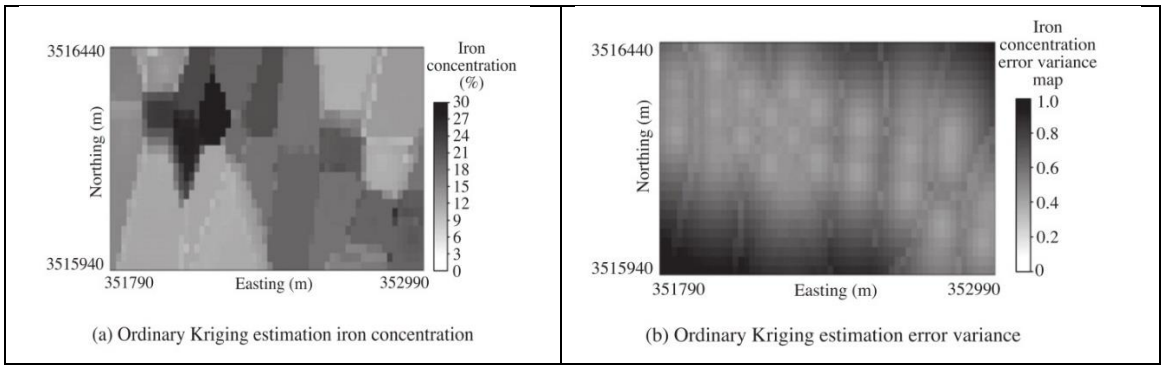
รูปที่ 2.14 ตำแหน่งหลุมเจาะ North Choghart Iron deposit

1) **variogram** สามารถแสดงการแปรปรวนของโครงสร้างให้ได้พบ แต่จากการศึกษาในทิศทางต่างๆ พบว่าไม่มีความแตกต่างในทิศทาง (anisotropy) ซึ่ง spherical fitting เข้าได้ดีกับข้อมูล โดยvariogram model แสดง range ประมาณ 150 เมตร sill 1.0 และnugget ประมาณ 3.8 (รูปที่ 2.15) มีค่าcorrelation coefficient ของค่าที่คาดการณ์และค่าที่ทราบ 0.773 ซึ่งค่อนข้างสูง แตกต่างไม่มาก และยอมรับได้



รูปที่ 2.15 variogram model ของ North Choghart Iron deposit

ความสมบูรณ์แร่จากการคาดการณ์และค่าแปรปรวนของการคาดการณ์ (error variance) ของแหล่งแร่ที่ระดับ 1,000 เมตร จากระดับน้ำทะเลแสดงได้ในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ความสมบูรณ์แร่จากการคาดการณ์และค่าแปรปรวนของการคาดการณ์ (error variance)

2) การจำแนกทรัพยากรแร่สามารถจำแนกได้ด้วยการใช้ relative estimation error variance ด้วยวิธีการนี้จากรูปร่างของ Histogram สามารถแบ่งได้เป็น measured, indicate และ inferred (รูปที่ 2.17 ตารางที่ 2.11) relative estimation error variance แสดงได้ดังสมการ

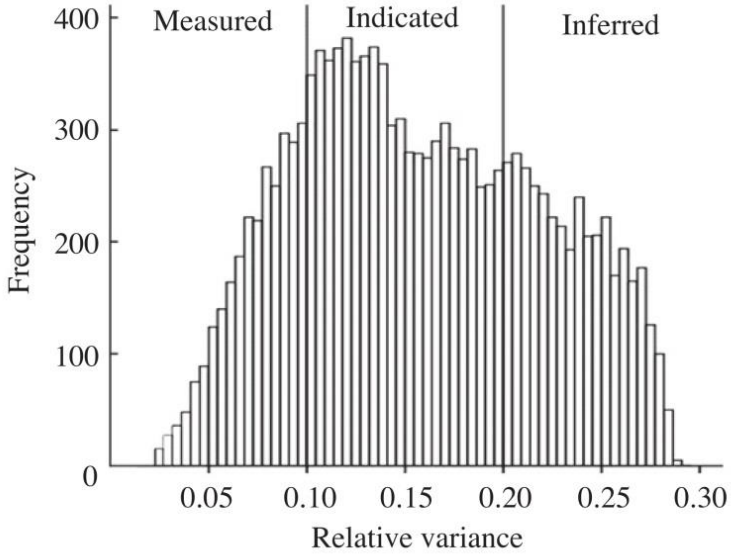
$$\sigma_R = \sigma_V / Z_*^2$$

โดยที่

σ_R relative estimation error variance

σ_V Block estimation error variance

Z_* Estimation grade of each block



รูปที่ 2.17 Histogram การกระจายตัวปริมาณสำรองแร่และผลการจำแนกทรัพยากรแร่ด้วย relative estimation error variance

ตารางที่ 2.11 การจำแนกทรัพยากรแร่จาก relative estimation error variance

Reserve category	Tonnage (tones)
Measured	41,355,000
Indicated	104,190,000
Inferred	56,550,000

จากกรณีศึกษา พบว่า การประเมินทรัพยากรแร่มีอยู่ 2 วิธีการ คือ การประเมินแบบธรรมดา และการประเมินแบบธรณีสถิติ การประเมินแบบธรรมดามีข้อดีเนื่องจากทำได้ง่าย ข้อมูลมีจำนวนไม่มาก การปฏิบัติทำได้เร็ว แต่ก็มีข้อเสีย คือ มีการลำเอียงของการกำหนดค่าให้ต่อบล็อก ไม่สามารถจัดการข้อมูลที่ขอบมวลสินแร่ได้ ส่วนการประเมินแบบธรณีสถิติเป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาภายหลัง เพื่อแก้ไขปัญหาความผิดพลาดจากการลำเอียง โดยการใช้ variogram มาวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อลดความผิดพลาดให้น้อยลง เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพแต่บอบบาง วิธีการธรณีสถิติ มีข้อบกพร่องในด้านต้องใช้ผู้ชำนาญเป็นผู้ดำเนินการ ใช้คอมพิวเตอร์และซอฟแวร์อย่างมาก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้ การประเมินทรัพยากรแร่ทั้งสองวิธีการนี้ ยังเป็นที่นิยมใช้อยู่แพร่หลาย ขึ้นอยู่กับรูปแบบการแปรปรวนและรูปร่างของมวลสินแร่ ทรัพยากรแร่ที่ได้จากการประเมิน จะถูกนำมาจำแนกเป็นระดับต่างๆ ตามความเชื่อมั่นและข้อมูลธรณีวิทยาที่มีอยู่ กรณีศึกษาแหล่งแร่ทองแดงพอร์ไฟรีที่ประเทศตุรกี ใช้การประเมินทรัพยากรแร่แบบหลายเหลี่ยม ให้ผลลัพธ์ความแตกต่างในปริมาณทรัพยากรแร่จากการใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์เล็กน้อย ขณะที่แหล่งแร่เหล็กที่ประเทศอิหร่าน ใช้การประเมินแบบธรณีสถิติ ผลลัพธ์ที่ได้เป็นที่ยอมรับ มีความถูกต้อง โดยมี correlation coefficient ที่ 0.773

บทที่ 3
ตัวอย่างกรณีศึกษาการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เชิงปริมาณ

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เชิงปริมาณ เป็นการคำนวณที่ได้จากการคาดคะเนจากผลสำรวจหรือข้อมูลที่มีอยู่เท่านั้น ตัวเลขที่ปรากฏจะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับปริมาณและความถูกต้องของข้อมูลที่นำมาใช้ประเมิน ดังตัวอย่างกรณีศึกษาการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เชิงปริมาณรายชนิดแร่ ดังนี้

3.1 ดีบุก

3.1.1 ลักษณะทางกายภาพ

ดีบุก ที่พบในประเทศไทยมี 2 ชนิด ได้แก่

1) แคสซิเทอไรต์ (Cassiterite) พบได้ทั่วไปและเป็นแร่เศรษฐกิจ
2) สแตนไนต์ (Stannite) พบน้อยมากและไม่มีการผลิต

ดีบุก หรือแคสซิเทอไรต์ ผลึกอยู่ในระบบสองแกนเท่า (เททราโกนาล) ลักษณะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมสั้นๆ มักมีปลายเป็นรูปปิรามิด โดยปกติมักเป็นมวลเม็ดและพบเกิดเป็นรูปไตที่มีโครงสร้างทรงกลมที่เป็นเส้นใยรัศมีดูคล้ายเนื้อไม้แห้งเรียกว่า “ดีบุกลายไม้” (wood tin) สีของแร่ส่วนมากมีสีน้ำตาลหรือดำ นอกจากนี้ มีสีน้ำผึ้ง สีช็อกโกแลต เขียว เหลือง แดง น้ำเงิน สีจำปา และม่วง สีผงสีขาว ความแข็ง 6-7 จึงทนทานต่อการสึกกร่อนได้ดี ความถ่วงจำเพาะ 6.8-7.1 หนักเป็นพิเศษในจำพวกแร่โลหะด้วยกัน โปร่งแสง ที่โปร่งใสก็มีแต่หายาก วาวแบบโลหะ คล้ายเพชรถึงกึ่งโลหะหรือคล้ายดินก็มี รอยแตกแบบก้นหอยถึงขรุขระ แนวแตกเรียบ 2 แนวชัดเจน

3.1.2 คุณสมบัติทางเคมี

มีสูตรเคมี SnO_2 ประกอบด้วย Sn 78.6% O 21.4% อาจมีเหล็กปนเล็กน้อยประมาณ 3% โดยน้ำหนัก ธาตุไนโอเบียมและแทนทาลัมอาจเข้าแทนที่ตะกั่วเล็กน้อย ดีบุกลายไม้มักจะมีฮีมาไทต์และควอตซ์เป็นมลทินอยู่ด้วย

3.1.3 ลักษณะเด่นและวิธีตรวจสอบ

ดีบุก เป็นแร่ที่มีน้ำหนักมาก (ความถ่วงจำเพาะ 6.8 –7.1) มีผิววาวคล้ายเพชร สีเข้มแต่สีผงสีขาว และแข็ง ไม่หลอมละลาย ไม่ติดแม่เหล็ก

วิธีการตรวจสอบ นำแร่ใส่ถาดสังกะสี (zinc plate) แล้วเทกรดเกลือเข้มข้น (HCl) ลงไป สักครู่จะเห็นว่ามีโลหะสีเทาด้านๆ ของดีบุก หุ้มพอกอยู่รอบเม็ดแร่ ซึ่งเป็นปฏิกิริยาระหว่างโลหะสังกะสีกับกรดเกลือ จะทำให้เกิดความร้อนและแก๊สไฮโดรเจน ทำปฏิกิริยาดึงออกซิเจนออกจากแร่ เหลือเป็นโลหะดีบุก ปฏิกิริยานี้จะเริ่มที่ผิวของเม็ดแร่ โลหะดีบุกที่เกิดขึ้นจึงหุ้มเม็ดแร่ตัวอย่าง ส่วนภายในนั้นยังคงสภาพเป็นแร่เดิม ดังสมการต่อไปนี้

$Zn + 4\ HCl$ ----------> $2\ ZnCl_2 + 4H$

$SnO_2 + 4H$ ----------> $Sn + 2\ H_2O$

3.1.4 การเกิด

ดีบุกมีความสัมพันธ์กับหินอัคนีแทรกซอนชนิดกรด เช่น หินแกรนิต โดยทั่วไปและพบเกิดอยู่ในสายแร่ควอตซ์อุณหภูมิสูงที่แทรกตัดผ่านหินแกรนิตหรือหินตะกอนที่อยู่ข้างเคียง และอาจเกิดเป็นก้อนหรือผลึกเล็กๆ ฝังในหินเพกมาไทต์ หินสการ์น รวมถึงฝังประอยู่ในเนื้อหินแกรนิตที่อยู่ใกล้กับบริเวณสัมผัสกับหินข้างเคียง และเมื่อแร่ต้นกำเนิดเดิมผุพังจะถูกพัดพาไปสะสมในที่แห่งใหม่ตามบริเวณไหล่เขา เชิงเขา ตามแอ่ง ที่ราบ และในท้องทะเล สายแร่ดีบุกโดยปกติมักมีแร่ที่มีฟลูออรีนหรือโบรอนอยู่ด้วย เช่น พวกทัวร์มาลีน โทแพซ ฟลูออไรต์ อาร์เซโนไพไรต์ โมลิบดีไนต์ และอะพาไทต์ แร่อื่นที่พบเกิดร่วมกับแร่ดีบุก เช่น วุลแฟรไมต์ ชีไลต์ แร่ตระกูลไนโอเนียม-แทนทาลัม อิลเมไนต์ โมนาไซต์ ซีโนไทม์ และเซอร์คอน แร่ดีบุกในลักษณะเป็นก้อนกรวดในแหล่งลานแร่เรียก “ดีบุกตามลำน้ำ” (stream tin)

3.1.5 การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ดีบุก แบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

1) แบบปฐมภูมิ

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ดีบุกในแหล่งแร่ปฐมภูมิ จะใช้ข้อมูลผลการสำรวจธรณีวิทยา ธรณีวิทยาแหล่งแร่ ธรณีฟิสิกส์ และการขุดคูทดลองและหลุมทดลอง โดยมีวิธีการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ ดังนี้

ก) การคำนวณหาปริมาตรของสายแร่ดีบุก คำนวณหาปริมาตรรวม (V) ดังสมการ

$$V = A \times D$$

A = พื้นที่แหล่งแร่ (ตารางเมตร)

D = ความลึก (เมตร)

หมายเหตุ : - พื้นที่ของโซนแร่ (A) คำนวณจากพื้นที่ของสายแร่เพกมาไทต์ สายแร่ควอตซ์ และหินแกรนิตที่มีแร่ดีบุกเกิดร่วม ทั้งหมด 4 แนว จากผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ โดยวิธีการสำรวจวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า การสำรวจวัดค่าสนามแม่เหล็กโลก และการสำรวจวัดค่าความเข้มกัมมันตภาพรังสีภาคพื้นดิน

- ความลึกของโซนสายแร่ (D) คำนวณจากลักษณะภูมิประเทศที่พบสายแร่ดีบุกที่มีการเปิดหน้าเหมืองเก่า หรือผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์

ข) การคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ของสายแร่ดีบุก ดังสมการ

$$M = V \times D \times G \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)

V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)

D = ความถ่วงจำเพาะของชั้นหินอุ้มแร่

G = ความสมบูรณ์ของแร่ดีบุก ได้จากผลวิเคราะห์ทางเคมีของตัวอย่างแร่ในพื้นที่ดำเนินการ

K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน (หักส่วนที่คาดว่าความสมบูรณ์ของแร่ดีบุกไม่คงที่ และความไม่ต่อเนื่องของสายแร่)

2) แบบทุติยภูมิ

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ดีบุกในแหล่งแร่ทุติยภูมิ มีวิธีการคำนวนหาปริมาณทรัพยากรแร่ ดังสมการ

$$M = A \times T \times G$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)

A = ขอบเขตพื้นที่แหล่งแร่ทุติยภูมิ (ตารางเมตร)

T = ความหนาของชั้นกะสะ (เมตร)

G = ความสมบูรณ์ของดีบุก (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

หมายเหตุ : - ขอบเขตพื้นที่แหล่งแร่ทุติยภูมิ (A) คำนวณจากการประมวลผลการสำรวจธรณีวิทยาธรณีวิทยาแหล่งแร่ ธรณีฟิสิกส์ ขุดหลุมทดลองและคูทดลอง

- ความหนาของชั้นกะสะ (T) คำนวณจากข้อมูลการสำรวจธรณีฟิสิกส์วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าแบบตรวจสอบข้อมูลตามแนวดิ่ง และการขุดหลุมทดลอง

- ความสมบูรณ์ของดีบุก (G) คำนวณจากผลการตรวจสอบทางกายภาพของแร่จากการขุดหลุมทดลองและคูทดลอง มีวิธีการดังนี้

- นำแร่หนักที่ได้จากการเลียงตัวอย่างชั้นกระสะ ไปทำการแยกแร่หนักโดยกระบวนการลอยแร่ด้วยสารโบรโมฟอร์ม (bromoform) เพื่อแยกกลุ่มชนิดแร่หนักกว่าออกจากแร่ที่เบากว่า (กลุ่มแร่หนักคือแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า 2.85)
- ทำการตรวจสอบแร่หนักแต่ละชนิด โดยวิธีกะประมาณเปอร์เซ็นต์ด้วยสายตาผ่านกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งค่าที่ได้จะออกมาในรูปร้อยละโดยปริมาตร
- นำค่าที่ได้ไปคำนวณร้อยละโดยน้ำหนัก และเกรดของแร่แต่ละตัว

3.1.6 ประโยชน์

โลหะดีบุกใช้เคลือบโลหะอื่น เช่น เหล็ก ทองแดง และทองเหลือง แผ่นเหล็กชุบดีบุก (tin plate) มีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนของกรดอื่นๆ และสารละลายอื่นๆ ได้ ไม่เป็นสนิม ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย จึงใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารและอื่นๆ ใช้ทำตะกั่วบัดกรี ซึ่งหลอมละลายได้ง่าย เมื่อเย็นตัวลงจะทำให้เกิดการยึดแน่นระหว่างผิวหน้าของโลหะ จึงใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและกิจการต่างๆ มากมาย เช่น โรงงานบรรจุอาหารกระป๋อง อุตสาหกรรมไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ ใช้ในการทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่น สำหรับงานเครื่องกลในเรื่องเพลาทุกประเภท ตามท้องตลาดมักเรียกว่า “ตุ๊กตา” ดีบุกในรูปสารประกอบมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น พวกสแตนนิกออกไซด์ ใช้ประโยชน์ในการผลิตแก้ว เนื้อทึบ เครื่องปั้นดินเผา เครื่องถ้วยชาม และเครื่องเคลือบ ใช้เป็นผงอุดรู และผงขัดถู สแตนนิกคลอไรด์ใช้ในการพิมพ์ผ้าดอก ทำหมึก ฟอกน้ำตาล และสบู่ สแตนนิกคลอไรด์ ใช้ในการทำเส้นไหมให้มีน้ำหนัก สารประกอบที่เรียกสารประกอบดีบุกอินทรีย์มีดีบุกผสม 25-50% ใช้ในอุตสาหกรรมพลาสติก ยาฆ่าเห็ดรา ยาฆ่าแมลง ยารักษาเนื้อไม้ และสีทาบ้าน

3.2 เหล็ก

3.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

แมกนีไทต์ (Magnetite) รูปผลึกระบบไอโซเมทริกแบบออกตะฮีดรอน ปกติเป็นเม็ดเกาะแน่น เนื้อละเอียดหรือหยาบ สีดำแบบเหล็ก สีผงละเอียดสีดำ วาวแบบโลหะ เนื้อเปราะร่วน รอยแตกไม่เรียบ ความแข็ง 6 ความถ่วงจำเพาะ 5.18 แม่เหล็กดูดติดดีมาก และตัวแร่เป็นแม่เหล็กด้วย เช่น ดูดเข็มหมุดติด เรียกว่า Lodestone

ฮีมาไทต์ (Hematite) รูปผลึกระบบเฮกซะโกนาล ในลักษณะเป็นแผ่นบางถึงหนามากจนเนื้อสมานแน่นชนิดที่บางมากขนาดแผ่นไมกา และมีสีเทาแบบโลหะเหล็ก และมีความวาววับแบบโลหะเรียกว่า สเปกคูลาไรต์ นอกจากนี้ยังมีลักษณะเป็นรูปไต เนื้อร่วน รอยแตกขรุขระ ถ้าเป็นผลึกจะมีความแข็ง 6.5 ความถ่วงจำเพาะ 5.3 สีแดงเลือดหมูเข้มจนเกือบดำหรือเทาแบบเหล็ก สีผงละเอียดสีเลือดหมู ถ้าเนื้อสมานแน่นจะมีผิวด้านคล้ายดิน ถ้าเป็นผลึกจะวาวคล้ายโลหะ

อิลเมไนต์ (Ilmenite) รูปผลึกระบบเฮกซะโกนาลผลึกมักจะเป็นแผ่นหนาหรือเป็นชั้น ผลึกมักจะใกล้เคียงกับฮีมาไทต์ อาจพบเป็นแผ่นบาง ๆ ซ้อน ๆ กัน ปกติจะมีเนื้อสมานแน่น หรือเป็นมวลเมล็ดเท่าเม็ดทราย ความแข็ง 5.5-6 ความถ่วงจำเพาะ 4.7 ความวาวคล้ายโลหะหรือกึ่งโลหะ สีดำแบบเหล็ก สีผงละเอียดดำหรือแดงน้ำตาล อาจมีคุณสมบัติแม่เหล็กได้สูง โดยไม่ต้องเผาให้ร้อน เนื้ออับแสง (Opaque)

3.2.2 คุณสมบัติทางเคมี

แมกนีไทต์ สูตรเคมี Fe_3O_4 ซึ่งความจริง เป็น $FeO.Fe_2O_3$ มี Fe 72.4 % O 27.6% อาจมีแมกนีเซียมและแมงกานีสปนเล็กน้อย

ฮีมาไทต์ สูตรเคมี Fe_2O_3 มี Fe 70% ละลายได้ช้าๆ ในกรดเกลือเข้มข้นร้อน ทำให้สารละลายมีสีเหลืองปนแดง

อิลเมไนต์ สูตรเคมี $FeTiO_3$ มี Fe 36.8% Ti 31.6% และ O 31.6% อัตราส่วนระหว่างไทเทเนียมกับเหล็กแปรเปลี่ยนได้มาก ถ้ามีเหล็กออกไซด์มากอาจเป็นเพราะมีฮีมาไทต์เป็นมลทิน แมกนีเซียมและแมงกานีส อาจพบในอิลเมไนต์เนื่องจากสามารถแทนที่เหล็กในแร่นี้ได้

3.2.3 ลักษณะเด่นและวิธีตรวจสอบ

แมกนีไทต์ มีสมบัติเป็นแม่เหล็ก ทดสอบกับแม่เหล็กได้ทันที จะให้ชัดก็ใช้เข็มเย็บผ้าใหม่ๆ จ่อเศษผงเล็กๆ ของแร่นี้ก็พอจะทราบได้ มีสีดำและแข็ง ไม่หลอมละลาย แต่ละลายช้า ๆ ในกรดเกลือร้อน

ฮีมาไทต์ ดูสีโดยเฉพาะสีผงมีสีแดงเลือดหมู นำไปทดสอบกับกรดเกลือ ดูการละลายและสีของสารละลาย ถ้านำไปเผาในเปลวลดออกซิเจนจะมีคุณสมบัติดูดติดแม่เหล็ก ไม่หลอมตัว

อิลเมไนต์ มักเป็นผลึกแบน ๆ และบางครั้งอาจเห็นหกเหลี่ยมได้ อิลเมไนต์ต่างจากฮีมาไทต์ตรงสีผงละเอียด และต่างจากแมกนีไทต์ตรงที่มีคุณสมบัติแม่เหล็กอ่อนกว่า แต่ในกรณีที่แมกนีไทต์เกิดซ้อนอยู่ด้วยกัน ก็จำเป็นต้องตรวจดูคุณสมบัติทางเคมี โดยละลายผงป่นในกรดเกลือแล้วใส่ดีบุกจะได้ตะกอนสีม่วง อิลเมไนต์ไม่หลอมตัว ถ้าเผาจะมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็ก

3.2.4 การเกิด

แร่เหล็กที่พบในประเทศไทยเกิดอยู่ 4 แบบดังนี้

1) เกิดแทนที่ (replacement deposit) ในหินคาร์บอเนตใกล้เขตการแปรสภาพโดยการแทนที่ (contact metasomatic zone) หินท้องที่ที่พบอยู่ในยุคออร์โดวิเชียนหรือเพอร์เมียนและคาร์บอนิเฟอรัส ส่วนหินอัคนีแซกซอนชนิดกรดหรือปานกลางมักอยู่ในยุคไทรแอสซิก

2) เกิดแบบสายแร่ (vein deposit) ในหินชั้นและหินแปร ซึ่งมีอายุในช่วงมหายุคพาลีโอโซอิกเป็นส่วนใหญ่

3) เกิดเป็นชั้นร่วมกับหินหินชั้น (stratiform deposit) ตัดผ่านในหินซึ่งคาดว่ามีอายุในยุคพรีแคมเบรียน

4) เกิดแบบตกตะกอนทับถมอยู่กับที่ (residual deposit) ในลักษณะศิลาแลง (laterite) โดยเกิดจากการผุพังของหินชนิดต่าง ๆ ซึ่งมีธาตุเหล็กในปริมาณสูง

ส่วนใหญ่แหล่งแร่เหล็กที่พบในประเทศไทย จะโผล่ให้เห็นบนพื้นดินเป็นหย่อมใหญ่ ๆ บนเนินเขาเห็นได้ชัดเจน เป็นแหล่งขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วไป เช่น จังหวัดฉะเชิงเทรา ตาก เชียงใหม่ เพชรบูรณ์ ลพบุรี ลำปาง ชลบุรี นครสวรรค์ สุราษฎร์ธานี ปราจีนบุรี กำแพงเพชร แพร่ และนครราชสีมา

3.2.5 การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่

การประเมินทรัพยากรแร่เหล็ก มีวิธีการคำนวนหาปริมาณทรัพยากรแร่ ดังสมการ

$$M = V \times D \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)

V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)

D = ความถ่วงจำเพาะของแร่

K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน

ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินเป็นค่าที่กำหนดขึ้น เพื่อให้ได้ตัวเลขของปริมาณทรัพยากรแร่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินอาจจะเป็นค่าของโพรงหรือช่องว่างที่มีอยู่ในเนื้อหิน ค่าความน่าจะเป็นไปได้ในการพบสายแร่ในพื้นที่แหล่งแร่ ค่าความสมบูรณ์ของแหล่งแร่ เป็นต้น

3.2.6 ประโยชน์

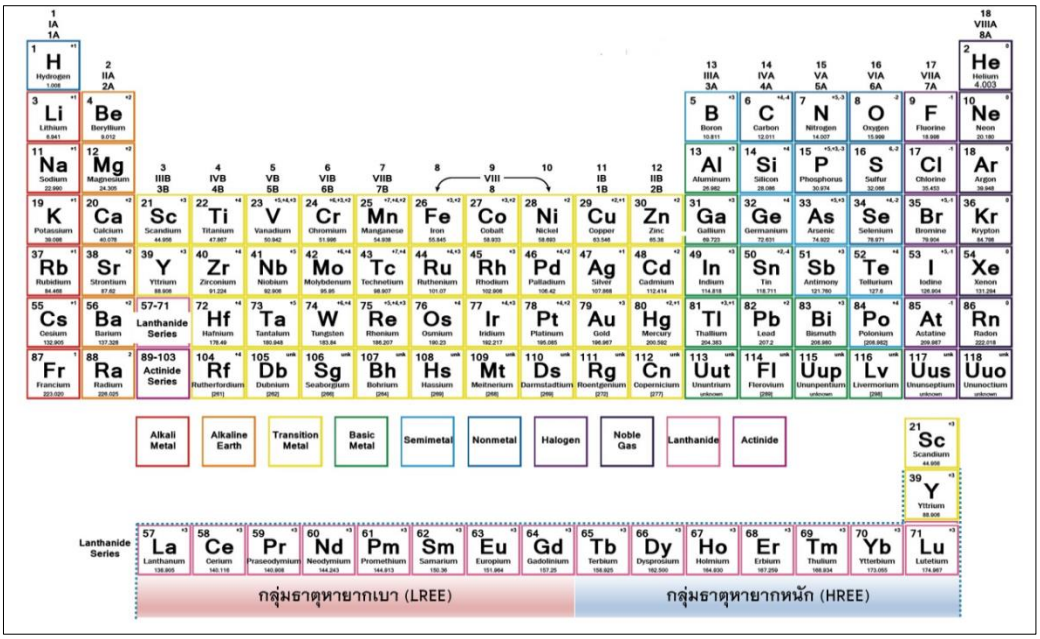
ใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม เช่น โรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตสินค้าที่มีการก่อสร้างด้วยเหล็กกล้าเกือบทั้งหมด ตั้งแต่เสาคาน โครงสร้างหลังคา หลังคาภายในโรงแรม ถังน้ำมัน รถยก เสาไฟฟ้าแรงสูง ด้านการคมนาคม เหล็กเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตยานพาหนะต่าง ๆ ได้แก่ รถยนต์ รถไฟ เรือเดินสมุทร และเครื่องบิน เพื่อความสะดวกในการขนส่งสินค้าและการเดินทาง และด้านอำนวยความสะดวก ของใช้ต่าง ๆ ภายในบ้านที่อยู่อาศัย เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ พัดลม นาฬิกา เครื่องซักผ้า จักรเย็บผ้า หม้อหุงข้าวไฟฟ้า กระทะ เตารีด เตาอบ เตาปิ้ง เตาแก๊ส โต๊ะ เก้าอี้ มุ้งลวด รั้วบ้าน ท่อประปา อ่างล้างหน้า ช้อนส้อม มีด เป็นต้น ล้วนทำจากเหล็กซึ่งเป็นเครื่องอำนวยความสะดวกแก่คนเราในด้านต่าง ๆ

3.3 ธาตุหายาก

3.3.1 ลักษณะทั่วไป

ธาตุหายาก หรือ “rare earths element” เป็นกลุ่มธาตุโลหะทรานซิชันหมู่ IIIB ที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 57 ถึง 71 ซึ่งอยู่ในอนุกรมธาตุแลนทาไนด์ (lanthanide series) ประกอบด้วยชนิดธาตุ 15 ธาตุ แต่โดยอนุโลมมักจะนับรวม ธาตุสแกนเดียม (Sc) เลขอะตอม 21 และธาตุอิตเทรียม (Y) เลขอะตอม 39 ของหมู่ IIIB เข้าอยู่ในกลุ่มของธาตุหายากด้วย เนื่องจากมีคุณสมบัติทางเคมีที่คล้ายคลึงมากและมักพบเกิดอยู่ด้วยกันเสมอ (Moeller, 1963; Connelly et al., 2005) ซึ่งกลุ่มธาตุหายากสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย คือ *กลุ่มธาตุหายากเบา* (light rare earth elements: LREE) และ*กลุ่มธาตุหายากหนัก* (heavy rare earth elements: HREE) อย่างไรก็ตามการจัดแบ่งจำนวนธาตุในกลุ่มย่อยสองกลุ่มนี้มีหลักเกณฑ์กำหนดที่หลากหลาย ซึ่งในที่นี้จะใช้เกณฑ์การแบ่งกลุ่มย่อยตามหลักที่ U.S. Geological Survey (USGS) ยึดถือข้อกำหนดของสหพันธ์นานาชาติด้านเคมีบริสุทธิ์และเคมีประยุกต์ (The International Union of Pure and Applied Chemistry: IUPAC) กล่าวคือ ***กลุ่มธาตุหายากเบา*** ประกอบด้วย 8 ชนิดธาตุ ได้แก่ แลนทานัม (La) ซีเรียม (Ce) เพรซีโอดิเมียม (Pr) นีโอดิเมียม (Nd) โพรมีเทียม (Pm) ซาแมเรียม (Sm) ยูโรเพียม (Eu) และแกโดลิเนียม (Gd) และ ***กลุ่มธาตุหายากหนัก*** ประกอบด้วย 8 ชนิดธาตุ ได้แก่ เทอร์เบียม (Tb) ดีสโพรเซียม (Dy) โฮลเมียม (Ho) เออร์เบียม (Er) ทูเลียม (Tm) อิตเทอร์เบียม (Yb) ลูทีเทียม (Lu) และอิตเทรียม (Y) ทั้งนี้สำหรับธาตุสแกนเดียมนั้น จะไม่จัดให้อยู่ในกลุ่มย่อยใดกลุ่มย่อยหนึ่ง แม้ว่าจะนับเป็นธาตุหายากตัวหนึ่งก็ตาม (Cordier, 2011; Haque et al., 2014) (รูปที่ 3.1)

แม้ว่าเกือบทุกชนิดหินที่เป็นส่วนประกอบของเปลือกโลกจะมีธาตุหายากเป็นองค์ประกอบของเนื้อหินในปริมาณความเข้มข้นที่แตกต่างกัน แต่ก็เป็นการยากที่จะพบบริเวณที่มีการสะสมของกลุ่มธาตุหายากในปริมาณความเข้มข้นที่สูงมากพอจะสกัดออกมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งในธรรมชาติพบแร่ประกอบหินอยู่ราว 73 ชนิดที่เป็น “แร่ให้ธาตุหายาก (rare earth minerals)” มีธาตุหายากเป็นองค์ประกอบหลักในโครงสร้างผลึก โดยองค์ประกอบทางเคมีของแร่เหล่านี้ส่วนใหญ่จะมีสัดส่วนปริมาณธาตุหายากชนิดเบาสูงกว่าธาตุหายากชนิดหนัก โดยแร่ส่วนน้อยที่มีธาตุหายากหลักเป็นชนิดหนัก (ตารางที่ 3.1) ทั้งนี้มีเพียง 4 ชนิดแร่หลัก ๆ ที่ทั่วโลกได้มีการนำมาใช้เป็นสินแร่ในการสกัดแยกธาตุหายาก ได้แก่แบสต์นีไซต์ โมนาไซต์ ซีโนไทม์ และอะพาไทต์ นอกจากนี้แหล่งธาตุหายากในบริเวณภาคใต้ของประเทศจีนมีการทำเหมืองโดยการสกัดแยกธาตุหายากจากชั้นหินผุของมวลหินแกรนิตที่มีการสะสมตัวของแร่ดินที่เกิดจากกระบวนการผุพัง ซึ่งแร่ดินเหล่านี้จะเป็นตัวกลางดูดซับประจุของธาตุหายากที่ผุพังหลุดออกมาจากโครงสร้างผลึกแร่เดิมไว้ตามพื้นที่ผิวผลึกของแร่ดิน ด้วยกระบวนการดูดซับประจุ (ion-adsorption) (Wu, et al., 1990; Bao an Zhao, 2008; Sanematsu and Kon, 2013)



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

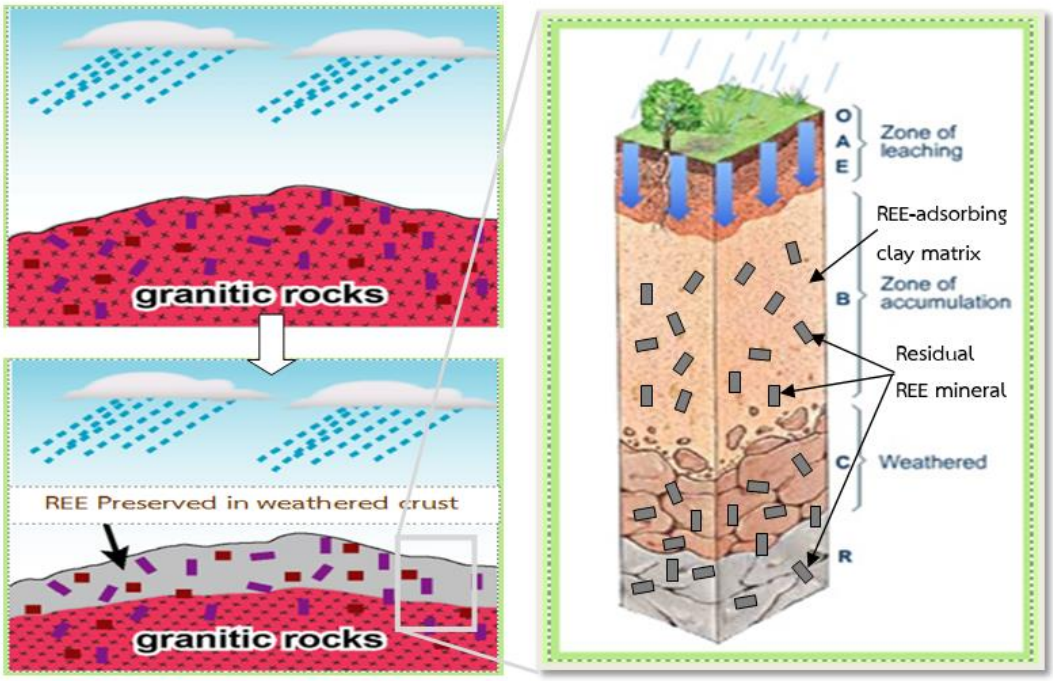
รูปที่ 3.1 ตารางธาตุแสดงตำแหน่งของกลุ่มธาตุหายากซึ่งอยู่ในอนุกรมธาตุแลนทาไนด์

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างแร่ให้ธาตุหายาก

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

3.3.2 การเกิด

หินที่มีศักยภาพของการเป็นแหล่งให้ธาตุหายากได้นั้นมีหลายชนิดหิน อาทิ หินอัคนีชนิดอัลคาไลน์ เช่น หินคาร์บอเนไทต์และหินไซอีไนต์ ที่มักมีปริมาณธาตุหายากสูง อัคนีแทรกซอนประเภทหินแกรนิต หินภูเขาไฟและหินเถ้าภูเขาไฟชนิดเฟลสิก (felsic rock) เช่น ไรโอไลต์และอิคนิมไบท์ หรือหินภูเขาไฟชนิดหินบะซอลต์ประเภทอัลคาไลน์ รวมถึงหินแปรชนิดหินไนส์และหินชีสต์ ที่มักมีพื้นที่การแผ่กระจายเป็นบริเวณกว้างขวาง ทั้งนี้รูปแบบการสะสมตัวของธาตุหายากที่พบได้ในประเทศไทยที่มีศักยภาพสูงพอที่จะเป็นแหล่งแร่ได้นั้น มี 2 รูปแบบหลัก คือ 1) แหล่งแร่หนักแบบลานแร่ที่มีแร่ให้ธาตุหายากสะสมตัวร่วมด้วย และ 2) แหล่งธาตุหายากแบบชั้นหินผุที่เกิดจากกระบวนการผุพังและสะสมตัวอยู่กับที่ในบริเวณที่ปกคลุมไปด้วยหินที่มีธาตุหายากเป็นองค์ประกอบ (รูปที่ 3.2) ทั้งนี้แหล่งแร่แบบที่สัมพันธ์กับหินอัคนีแทรกซอนชนิดหินไซอีไนต์ อาจมีความเป็นไปได้เช่นเดียวกันแต่มีโอกาสค่อนข้างน้อย เนื่องจากพบการกระจายตัวของหินชนิดนี้ในประเทศไทยน้อยมากและส่วนใหญ่พบเป็นพลูตอนขนาดเล็ก ในขณะที่แหล่งแร่ที่สัมพันธ์กับหินคาร์บอเนไทต์นั้นมีโอกาสเป็นไปได้น้อยมาก เนื่องจากยังไม่เคยมีรายงานการพบหินชนิดนี้ในประเทศไทย



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของการเกิดแหล่งแร่หนัก-ธาตุหายากแบบผุพังอยู่กับที่เหนือมวลหินแกรนิต (ดัดแปลงจาก www.agsci.psu.edu, 2012)

3.3.3 การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่

การประเมินทรัพยากรธาตุหายากในชั้นดินผุพังอยู่กับที่ มีวิธีการคำนวนหาปริมาณทรัพยากรธาตุหายาก ดังสมการ

$$M = V \times G \times D \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรธาตุหายาก (ตันโลหะ)
V = ปริมาตรชั้นตะกอน (ลูกบาศก์เมตร)
G = ความสมบูรณ์ของแร่ (ppm)
D = ความถ่วงจำเพาะของชั้นดิน
K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน

3.3.4 ประโยชน์

ประโยชน์ของธาตุหายากทั้ง 17 ชนิดธาตุ จัดเป็นวัตถุดิบต้นน้ำสำคัญยิ่งยวดในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชั้นสูงหลากประเภทของโลกปัจจุบันและอนาคต อาทิ การผลิตโลหะผสม (alloy) แม่เหล็กถาวรกำลังสูง (permanent magnet) ตัวเก็บประจุไดโอด ชุดไดนาโมและมอเตอร์ไฟฟ้าระบบอินเวอร์เตอร์ 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

3.4 ควอตซ์

3.4.1 ลักษณะทางกายภาพ

รูปผลึกอยู่ในระบบเฮกซะโกนาล มักจะเกิดเป็นแท่งยาวปลายแหลมทั้งหัวและท้าย บางครั้งเกิดเป็นผลึกแฝด เนื้อสมานแน่น ผลึกมีแทบทุกขนาด ความแข็ง 7 (เป็นแร่หนึ่งในสเกลความแข็งของโมห์) เอามีดขีดดูจะไม่เป็นรอย มีรอยแตกเว้า ความวาวคล้ายแก้ว บางทีคล้ายเทียนไข ส่องแสงเป็นประกายแววววาว ลักษณะเนื้อโปร่งใสจนถึงทึบแสง สีอาจจะเป็นสีขาวหรือไม่มีสี ถ้ามีธาตุมลทินเจือปนอยู่จะให้สีต่างๆ มากมาย

3.4.2 คุณสมบัติทางเคมี

ควอตซ์ประกอบด้วยซิลิกา (Si) 46.7% และออกซิเจน (O) 53.3% สูตรเคมีคือ SiO_2 มีธาตุมลทินเจือปนอยู่บ้าง เช่น ลิเธียม โซเดียม โพแตสเซียม อะลูมิเนียม เหล็ก แมงกานีส และไทเทเนียม เป็นต้น มีความหนาแน่น 2,649 กิโลกรัม/ลูกบาศ์กเมตร (ความถ่วงจำเพาะ 2.65) มีจุดหลอมเหลวที่ 1,750 องศาเซลเซียส แร่ควอตซ์ไม่ละลายในกรดทั่วๆ ไป แต่จะละลายในกรดกัดแก้ว (hydrofluoric acid: HF) และในสารละลายด่างที่ร้อน หากแร่ควอตซ์ถูกทำให้ร้อนเกิน 573 องศาเซลเซียส รูปผลึกจะเปลี่ยนแปลงไป รูปแบบผลึกที่เสถียรที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเปลี่ยนแปลง รู้จักกันในชื่อของ “ไฮ-ควอตซ์” หรือ “เบต้า-ควอตซ์” (high-quartz or beta-quartz) ส่วนรูปแบบที่เสถียรที่อุณหภูมิต่ำกว่า 573 องศาเซลเซียส รู้จักกันในชื่อ “โลว์-ควอตซ์” หรือ “อัลฟา-ควอตซ์” (low-quartz or alpha-quartz) Hurlbut, 1959)

3.4.3 ลักษณะเด่นและวิธีตรวจสอบ

ความวาวแบบแก้ว รอยแตกแบบก้นหอย และรูปผลึก ต่างจากแร่แคลไซต์ตรงที่แข็งกว่า และต่างจากเบริลชนิดสีขาวตรงที่อ่อนกว่า

3.4.4 การเกิด

ควอตซ์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของหินอัคนีชนิดที่มีซิลิกามาก เช่น หินแกรนิต หินไรโอไลท์ และเพกมาไทต์ เป็นแร่ที่ทนทานต่อการผุพังทั้งทางเคมีและทางกลศาสตร์ ดังนั้นเมื่อหินอัคนีแตกหักและผุพังลง แร่นี้จะสะสมตัวกันเป็นหินชั้น พบมากในหินทราย และหินทรายแป้ง ในหินแปรจำพวกหินควอร์ตไซต์ หินไนส์ และหินชีสต์ โดยทั่วไปแร่ควอตซ์เป็นแร่สามัญที่พบเกิดเป็นสายแร่ (vein) และเกิดเป็นกากแร่ (gangue mineral) บางทีสะสมตัวอยู่ในชั้นตะกอนตามท้องน้ำลำธารและตามชายฝั่งทะเลในรูปของทราย นอกจากนี้ยังพบเป็นส่วนประกอบของดินด้วย

3.4.5 การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ควอตซ์ในเบื้องต้น มีวิธีการคำนวนหาปริมาณทรัพยากรแร่ดังสมการ

$$M = V \times D \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)

V = ปริมาตรของสายแร่ควอตซ์ที่สามารถวัดระยะได้และสายตามองเห็น (ลูกบาศก์เมตร)

D = คาความถวงจำเพาะของแรควอตซ์

K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ควอตซ์ในกรณีที่มีการสำรวจธรณีฟิสิกส์บริเวณสายแร่ควอตซ์จะใช้ค่าปริมาตรของสายแร่ควอตซ์ที่ได้จากการสำรวจธรณีฟิสิกส์มาคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ควอตซ์โดยจะได้ค่าความลึกที่เครื่องมือทางฟิสิกส์สามารถตรวจจับได้ก็จะได้ค่าความน่าเชื่อถือที่มากขึ้น ดังสมการ

$$M = V \times D \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)

V = ปริมาตรของสายแร่ควอตซ์ที่ได้จากการสำรวจธรณีฟิสิกส์ (ลูกบาศก์เมตร)

D = คาความถวงจำเพาะของแรควอตซ์

K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน

หมายเหตุ : - ค่าความหนาแน่นของแร่ควอตซ์ มีค่าเท่ากับ 2.65 เมตริกตัน/ลูกบาศก์เมตร

- ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมิน แปรเปลี่ยนตามแต่ละพื้นที่ส่วนใหญ่สายแร่ควอตซ์จะมีลักษณะเป็นเนื้อแน่นไม่มีโพรงค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมิน 0.7

- การคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ควอตซ์ ถ้ามีการสำรวจที่ละเอียดมากทั้งการเดินสำรวจและการทำธรณีฟิสิกส์หรือมีการเจาะสำรวจ อาจจะใช้เทคนิคการคำนวณปริมาณแร่ในรูปแบบอื่นได้ โดยนำข้อมูลสำรวจดูจากภาคสนาม การทำธรณีฟิสิกส์ การเจาะสำรวจ เพื่อมาประมวลผลหาปริมาตรสายแร่ควอตซ์แบบสามมิติในโปรแกรมคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ก็จะทำให้มีความน่าเชื่อถือของปริมาณทรัพยากรแร่ควอตซ์ในระดับที่สูงขึ้น เพื่อประกอบการพัฒนาลงทุนทำเหมืองแร่ต่อไป

3.4.6 ประโยชน์

แร่ควอตซ์ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในลักษณะต่างๆ กันมากมาย เช่น ใช้เป็นรัตนชาติ และหินประดับ แร่ควอตซ์ที่อยู่ในรูปของทรายถูกนำมาใช้ผสมทำคอนกรีต ทำครก ใช้เป็น flux และวัสดุสำหรับขัดสี (abrasive) ในอุตสาหกรรมแก้วและอิฐ แร่ควอตซ์ที่เป็นผงใช้ทำเครื่องเคลือบ (porcelain) กระดาษทราย สบู่ และเติมลงไปในไม้ (wood filter) สำหรับหินทรายและหินควอร์ตไซต์จะถูกใช้เป็นหินก่อสร้าง หินประดับ และทำอิฐปูทางเท้า แร่ควอตซ์ยังถูกนำไปใช้ทำเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเครื่องมือทางแสง โดยนำไปทำเลนส์ ปริซึม และใช้ในงานวิทยาศาสตร์หลายแขนง เนื่องจากมีคุณสมบัติโปร่งใสยอมให้แสงอินฟราเรดและแสง อุลตราไวโอเลตผ่านได้เป็นอย่างดี จึงเป็นแร่ที่หาสิ่งอื่นมาแทนไม่ได้ และใช้ทำอุปกรณ์เครื่องมือในกล้องจุลทรรศน์ชนิดพิเศษอีกด้วย

3.5 เฟลด์สปาร์

เฟลด์สปาร์ หรือแร่ฟันม้า ไม่ได้เป็นชื่อเฉพาะสำหรับแร่ตัวใดตัวหนึ่ง แต่เป็นชื่อที่ใช้เรียกแร่ประกอบหินในกลุ่มแร่ซิลิเกต ที่มีการจับตัวชนิด Tectosilicate ส่วนประกอบทางเคมีที่เป็นสารประกอบหลักคือ อะลูมิโนซิลิเกต กับ โพแทสเซียม โซเดียม และแคลเซียม กลุ่มแร่เฟลด์สปาร์ประกอบด้วยแร่ เกือบ 20 ชนิด แต่ที่รู้จักกันดีมี 9 ชนิด แบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ

1. กลุ่มแร่แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์หรือกลุ่มแร่โซเดียมเฟลด์สปาร์ และแคลเซียมเฟลด์สปาร์ ประกอบด้วยแอลไบต์ โอลิโกเคลส แอนดีซีน แลบราโดไรต์ ไบโทว์ไนต์ และอะนอร์ไทต์

2. กลุ่มแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ หรือแอลคาไลน์เฟลด์สปาร์ ประกอบด้วยไมโครไคลน์ ซานิดีน และออร์โทเคลส

3.5.1 ลักษณะทางกายภาพ

เฟลด์สปาร์ทุกชนิดคล้ายคลึงกัน คือมีแนวแตกเรียบสอง ทิศทาง ทำมุมฉากหรือเกือบจะตั้งฉากกัน เมื่อทุบให้แตกจะมีผิวหน้าไม่เรียบ (uneven fracture) ผิวหน้าผลึกมีความวาว (luster) คล้ายแก้วหรือคล้ายมุก มีความเปราะ เฟลด์สปาร์มีสีหลายสี เช่น ขาว เทา น้ำตาล ชมพู เหลือง และเขียว ขึ้นกับมลทินที่ปนอยู่ สีผงมีสีขาว จุดหลอมเหลวของเฟลด์สปาร์เปลี่ยนแปลงตามส่วนประกอบทางเคมี มีค่าประมาณ 1,100-1,522 องศาเซลเซียส เฟลด์สปาร์มีความแข็งตามโมห์สเกล (Mohs scale of hardness) ประมาณ 6.0-6.5 กลุ่มโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.55 ดัชนีหักเหของแสงสำหรับออร์โทเคลส มีค่า 1.518-1.536 ในขณะที่กลุ่มแพลจิโอเคลส-เฟลด์สปาร์ มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.76 ดัชนีหักเหของแสงสำหรับอะนอร์ไทต์ มีค่า 1.576-1.588 อะนอร์ไทต์ละลายได้ดีในกรดเกลือ ไบโทว์ไนต์ละลายในกรดได้อย่างช้า ๆ แต่เฟลด์สปาร์ตัวอื่น ๆ ไม่ละลายในกรด ยกเว้นกรดกัดแก้ว ซึ่งละลายแอลไบต์ โอลิโกเคลส และแอนดีซีน

3.5.2 คุณสมบัติทางเคมี

เฟลด์สปาร์ ประกอบด้วยธาตุโพแทสเซียม (K) โซเดียม (Na) แคลเซียม (Ca) อะลูมิเนียม (Al) ซิลิคอน (Si) และออกซิเจน (O) สำหรับเฟลด์สปาร์ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก ได้แก่ ชนิดที่มีสูตรเคมี $KAlSi_3O_8$ เรียก โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และ $NaAlSi_3O_8$ เรียก โซเดียมเฟลด์สปาร์ ซึ่งชนิดหลังมักจะมีแคลเซียมอยู่ด้วย

ส่วนประกอบทางเคมีตามทฤษฎีเมื่อคิดปริมาณของแต่ละสารประกอบจากสูตรเคมีที่กำหนดไว้ของกลุ่มแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ และโซเดียมเฟลด์สปาร์ มีดังนี้

1) โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ สูตรเคมี $KAlSi_3O_8$

ส่วนประกอบทางเคมี	SiO_2	64.7%
	Al_2O_3	8.4%
	K_2O	16.9%

2) โซดาเฟลด์สปาร์ หรือโซเดียมเฟลด์สปาร์ สูตรเคมี $NaAlSi_3O_8$

ส่วนประกอบทางเคมี SiO_2 68.7%
Al_2O_3 19.5%
K_2O 11.8%

3.5.3 ลักษณะเด่นและวิธีตรวจสอบ

ดูจากสี ความแข็ง และแนวแตกเรียบ เช่น ออร์โทเคลส มีแนวแตกเรียบตั้งฉากกัน ไมโครไคลน์ มีแนวแตกเรียบ 2 แนวเกือบตั้งฉากกัน วาวแบบแก้ว

3.5.4 การเกิด

เฟลด์สปาร์เป็นแร่ประกอบหินที่สำคัญ พบได้ทั่วไปในหินอัคนี หินแปร หินตะกอน แต่เฟลด์สปาร์ที่มีคุณค่าทางเศรษกิจพบในสายแร่ของน้ำแร่ร้อนในสายเพกมาไทต์ (pegmatite) จากหินกราฟิกแกรนิต (graphic granite) หินแกรนิตสีขาว (leucocratic granite) หินแอไพลต์ (aplite) และหินเฟลด์สปาร์ (feldspathic rock)

การเกิดเฟลด์สปาร์ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของหินหนืด (magma) สายเพกมาไทต์ที่มีความสัมพันธ์กับหินแกรนิต มักจะพบในหินแกรนิต หรือบริเวณรอบๆ หินแกรนิต ขนาดรูปร่างและทิศทางของสายเพกมาไทต์ขึ้นอยู่กับรอยแตกในหินแกรนิตหรือหินข้างเคียง สายเพกมาไทต์ที่มีความสัมพันธ์กับหินแปรจะพบในพื้นที่ซึ่งหินท้องที่มีการปรับตัวอย่างรุนแรง ในประเทศไทยพบสายเพกมาไทต์แทรกตัวอยู่ในหินแกรนิต หินไนส์ และหินชีสต์ เป็นส่วนใหญ่

แร่เฟลด์สปาร์ในสายเพกมาไทต์ เกิดร่วมกับ ควอตซ์ ไบโอไทต์ มัสโคไวต์ และแร่อื่นๆ เช่น ทัวร์มาลีน เบริล โกเมน เป็นต้น การผลิตทำโดยการเจาะระเบิดสายเพกมาไทต์ หลังจากนั้นใช้คนงานแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจากแร่อื่นด้วยมือ

หินกราฟิกแกรนิต เป็นหินที่มีแร่ควอตซ์ และแอลคาไลน์เฟลด์สปาร์ยึดประสานกันคล้ายตัวหนังสือฮิบรูโบราณ แร่ที่เกิดร่วมด้วยคือ มัสโคไวต์ ทัวร์มาลีน โกเมน พบเป็นจำนวนเล็กน้อย การผลิตแร่เฟลด์สปาร์โดยทำเหมืองเปิด แร่เฟลด์สปาร์ในเนื้อหินกราฟิกแกรนิต จะถูกจำหน่ายในรูปของโพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ โดยมีปริมาณ K_2O ค่อนข้างสูงเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก

หินแอไพลต์ เป็นหินอัคนีที่เย็นตัวในระดับตื้นชนิดหนึ่ง มีสีอ่อนจาง ลักษณะคล้ายหินแกรนิตแต่เนื้อละเอียดกว่า มีแร่ควอตซ์ และออร์โทเคลสเป็นหลัก การผลิตแร่เฟลด์สปาร์โดยทำเหมืองเปิดและส่งจำหน่ายในรูปของเฟลด์สปาร์ผสม โดยมีปริมาณ K_2O ค่อนข้างต่ำ ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก

หินแกรนิตสีขาว เป็นหินอัคนีที่มีแร่หลักคือ แอลคาไลน์เฟลด์สปาร์ และแร่ควอตซ์มีแพลจิโอเคลสเกิดร่วมด้วยในจำนวนไม่มาก แร่สีดำที่มีธาตุเหล็กและแมกนีเซียมเป็นส่วนประกอบสำคัญเกิดร่วมด้วยน้อยมาก หินแกรนิตสีขาวมักพบตามขอบของแนวหินอัคนีมวลไพศาล (batholiths) การผลิตแร่เฟลด์สปาร์โดยการทำเหมืองเปิด และส่งจำหน่ายในรูปของเฟลด์สปาร์ผสม โดยมีปริมาณ K_2O ค่อนข้างต่ำ ใช้ในอุตสาหกรรมเซรามิก

หินเฟลด์สปาร์ เป็นหินอัคนีที่มีแร่หลัก คือ แพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์ และควอตซ์ เนื้อหินพบทั้งส่วนที่มีเนื้อละเอียดจนถึงเนื้อบางหยาบ และพบทั้งเนื้อผลึกขนาดเดียวกันจนถึงเนื้อผลึกสอง

ขนาดหรือเนื้อดอก ในบางบริเวณพบส่วนที่แสดงริ้วขนาน (foliation) ในเนื้อหิน การผลิตแร่เฟลด์สปาร์โดยทำเหมืองเปิด ในส่วนที่เป็นหินเฟลด์สปาร์ โดยมีปริมาณ Na_20 ค่อนข้างสูง

นอกจากนี้แล้ว แหล่งแร่เฟลด์สปาร์ยังมีการกำเนิดได้อีกหลายชนิด แต่ในประเทศไทยไม่พบแหล่งที่มีคุณค่าในเชิงพาณิชย์ เช่น การผลิตเฟลด์สปาร์จากเนฟิลีนไซอิไนต์ (nepheline syenite) โพโนไลต์ (phonoline) ทรายเฟลด์สปาร์ (feldspsparthic sand) และอะนอร์โทไซต์ (anothosite) เนฟิลีนไซอิไนต์ เป็นหินอัคนีระดับลึก ประกอบด้วยผลึกขนาดหยาบของแอลคาไลเฟลด์สปาร์ เนฟิลีน และแร่ที่มีส่วนประกอบเป็นแอคาไลของเหล็ก และแมกนีเซียม ไม่มีควอตซ์ นำมาใช้แทนเฟลด์สปาร์ในอุตสาหกรรมแก้ว และอุตสาหกรรมเซรามิก เพราะมีอะลูมินาสูง ทรายเฟลด์สปาร์เป็นทรายที่ประกอบด้วยแร่เฟลด์สปาร์ และควอตซ์ สามารถนำเอาแร่เฟลด์สปาร์ออกมาใช้ โดยวิธีลอยแร่ โฟโนไลต์ เป็นหินอัคนีพุที่มีส่วนประกอบเหมือนกับเนฟิลีนไซอิไนต์ มีแร่ออร์โทเคลสหรือแร่ซานิดีนเป็นแร่หลัก อะนอร์โทไซด์ เป็นหินอัคดีพุที่ประกอบด้วยแพลจิโอเคลสเฟลด์สปาร์มากกว่าร้อยละ 90

3.5.5 การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่

กลุ่มแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์ หรือแอลคาไลน์เฟลด์สปาร์จะเกิดอยู่ในสายเพกมาไทต์ (pegmatite) จะใช้การคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่แบบสายแร่ (vein type) เช่นเดียวกับลักษณะของแร่ควอตซ์ ดังสมการ

$$M = V \times D \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)
V = ปริมาตรของสายแร่เฟลด์สปาร์ที่สามารถวัดระยะได้และสายตามองเห็น (ลูกบาศก์เมตร)
D = คาความถวงจำเพาะของแรเฟลด์สปาร์
K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เฟลด์สปาร์ในกรณีที่มีการสำรวจธรณีฟิสิกส์บริเวณสายแร่เฟลด์สปาร์จะใช้ค่าปริมาตรของสายแร่เฟลด์สปาร์ที่ได้จากการสำรวจธรณีฟิสิกส์มาคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่เฟลด์สปาร์โดยจะได้ค่าความลึกที่เครื่องมือทางฟิสิกส์สามารถตรวจจับได้ก็จะได้ค่าความน่าเชื่อถือที่มากขึ้น ดังสมการ

$$M = V \times D \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)
V = ปริมาตรของสายแร่เฟลด์สปาร์ที่ได้จากการสำรวจธรณีฟิสิกส์ (ลูกบาศก์เมตร)
D = คาความถวงจำเพาะของแรเฟลด์สปาร์
K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน

หมายเหตุ : - ค่าความหนาแน่นของแร่เฟลด์สปาร์ มีค่าเท่ากับ 2.54-2.57 ตัน/ลูกบาศก์เมตร (ค่าความถ่วงจำเพาะของแร่ไมโครคลายน์ (microcline) และแร่ออร์โทเคลส (orthoclase)

- ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมิน แปรเปลี่ยนตามแต่ละพื้นที่ส่วนใหญ่สายแร่เฟลด์สปาร์จะมีลักษณะเป็นเนื้อแน่น ไม่มีโพรงค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมิน 0.6 เนื่องจากแร่เฟลด์สปาร์ในสายเพกมาไทต์เกิดร่วมกับควอตซ์ ไบโอไทต์ มัสโคไวต์ และแร่อื่นๆ เวลาทุบแยกแร่เฟลด์สปาร์ออกจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ในการคำนวณ

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เฟลด์สปาร์แบบหินแกรนิตสีขาว (leucocratic granite) หินแอไพลต์ (aplite) และหินเฟลด์สปาร์ (feldspathic rock) ดังสมการ

$$M = A \times T \times D \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)
A = พื้นที่แหล่งแร่ (ตารางเมตร)
T = ความหนาของชั้นหินแกรนิตสีขาว (leucocratic granite) หินแอไพลต์ (aplite) และหินเฟลด์สปาร์ (feldspathic rock) (เมตร)
D = ความถ่วงจำเพาะของแร่เฟลด์สปาร์เท่ากับ 2.62 หรือค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ
K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน (ใช้ 0.6 ในหินมีแร่ควอตซ์และแร่อื่นๆ ปน)

3.5.6 ประโยชน์

ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา พอร์ชแลน อุตสาหกรรมแก้ว ผงขัด และสารเคลือบ นอกจากนี้ยังใช้ทำหินประดับและเครื่องประดับ เช่น แลบราโดไรต์

3.6 ยิปซัม

3.6.1 ลักษณะทางกายภาพ

รูปผลึกอยู่ในระบบหนึ่งแกนเอียง (Monoclinic) ผลึกมีลักษณะเป็นแท่งแบนปลายแหลมทั้งสองข้าง คล้ายสีเหลี่ยมขนมเปียกปูน (diamond-shaped) แต่ที่ชัดเจนมีแนวเดียวจนทำให้แตกเป็นแผ่นๆ รอยแตกอีกแนวอาจเป็นรูปโค้งเว้าแบบก้นหอย หรือแตกแล้วมีลักษณะ เป็นเสี้ยนๆ มีแนวแตกเรียบ 3 แนวต่างๆกัน ความถ่วงจำเพาะ 2.32 แข็ง 2 โปร่งใสถึงโปร่งแสง วาวแบบแก้ว วาวแบบมุก หรือแบบไหม ใสไม่มีสี หรือมีสีขาว เทา หรือ มีสีเหลือง แดง น้ำตาลปนหน่อยๆ เนื่องจากมีมลทินปะปน ยิปซัมแบ่งเป็นชนิดย่อยตามลักษณะเนื้อแร่ คือ 1. ซาทินสปาร์ (satin spar) ลักษณะเป็นมวลรวม เนื้อเป็นเส้นใย สีขาว วาวแบบใยไหม โปร่งแสง 2. เซเลไนต์ (selenite) เป็นผลึกใหญ่ ใสไม่มีสี เนื้อเป็นแผ่นบางโปร่งใส วาวแบบมุก 3. อะลาบาสเทอร์ (alabaster) ลักษณะเป็นมวลเม็ดคล้ายน้ำตาลทราย หรือเนื้อละเอียดโปร่งแสง

3.6.2 คุณสมบัติทางเคมี

สูตรเคมี $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ มี CaO 32.6 % SO_3 46.5% H_2O 26.9% ละลายในกรดเกลือเจือจางร้อน

3.6.3 ลักษณะเด่นและวิธีตรวจสอบ

อ่อน เล็บขูดเข้า มีแนวแตกเรียบที่สมบูรณ์ 3 แนว ละลายได้ในกรดเกลือเจือจางที่ร้อน ต่างกับแอนไฮไดร์ (anhydrite : $CaSO_4$) ตรงที่มีน้ำ

3.6.4 การเกิด

มีการเกิดได้หลายลักษณะ เช่น สะสมตัวในแอ่งน้ำเค็มแบบหินตะกอน หรือก่อตัวใต้ชั้นโคลนในบริเวณที่ราบน้ำท่วมถึง หรือเกิดจากปฏิกิริยาเคมีของสายน้ำแร่ร้อน เป็นต้น แต่จะพบการเกิดมากที่สุดในแหล่งหินเกลือระเหย ซึ่งเกิดจากการตกตะกอนของน้ำทะเล เนื่องจากน้ำทะเลระเหยตัวออกไป จึงสะสมตัวเป็นชั้นๆ เหมือนเกลือหิน อาจเกิดจากการแปรสภาพของแอนไฮไดรต์ โดยการดูดน้ำ พบในบริเวณที่มีภูเขาไฟ โดยเฉพาะตรงบริเวณที่มีหินปูนทำปฏิกิริยากับไอของกำมะถัน อาจพบเกิดเป็นเพื่อนแร่ในสายแร่โลหะ

แหล่งที่พบในประเทศไทย พบที่ จังหวัดพิจิตร นครสวรรค์ กาญจนบุรี นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี และกระบี่

3.6.5 การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ยิปซัม มีวิธีการคำนวณดังสมการ

$$M = V \times D \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)
V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร) โดยใช้ความหนาเฉลี่ยของชั้นแร่
D = คาความถวงจำเพาะของแร่ยิปซัม มีค่าเท่ากับ 2.3 เมตริกตัน/ลูกบาศก์เมตร
K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน

หมายเหตุ : - ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินเป็นค่าที่กำหนดขึ้น เพื่อให้ได้ตัวเลขของปริมาณทรัพยากรแร่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินอาจจะเป็นค่าของโพรงหรือช่องว่างที่มีอยู่ในเนื้อหิน ค่าความน่าจะเป็นไปได้ในการพบสายแร่ในพื้นที่แหล่งแร่ ค่าความสมบูรณ์ของแหล่งแร่ เป็นต้น

- การคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ ถ้ามีการสำรวจที่ละเอียดมากขึ้น เช่น การทำธรณีฟิสิกส์ หรือมีการเจาะสำรวจ อาจจะใช้เทคนิคการคำนวณปริมาณแร่ยิปซัม ในรูปแบบอื่นได้ โดยนำข้อมูลจากการสำรวจภาคสนาม การทำธรณีฟิสิกส์ การเจาะสำรวจ มาประมวลผล หาปริมาตรสายแร่ยิปซัม แบบสามมิติในโปรแกรมคำนวณโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ก็จะทำให้มีความ น่าเชื่อถือของปริมาณทรัพยากรแร่ยิปซัม ในระดับที่สูงขึ้น เพื่อประกอบการพัฒนาลงทุนทำเหมืองแร่ต่อไป

3.6.6 ประโยชน์

ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมซีเมนต์ ใช้ในการทำปูนพลาสเตอร์ ปูนซีเมนต์ (portland cement) แผ่นยิปซัม (gypsum board) กันความร้อน ยิปซั่มที่บดละเอียด ใช้ผสมทำสีขาว บางชนิดใช้เป็นตัวฟิลเลอร์ (filler) ในการทำกระดาษ ชอล์ก และยาง และใช้ในการปรับสภาพความเค็มของดิน นอกจากนี้ยังใช้ในการแกะสลักรูปต่างๆ และเป็นเครื่องประดับยิปซัมชนิดซาทินสปาร์ และอะลาบาสเทอร์

3.7 เกลือหินและโพแทช

3.7.1 ลักษณะทางกายภาพ

โพแทชอาจใช้เรียกเป็นชื่อทั่ว ๆ ไปของสารประกอบโพแทสเซียมใด ๆ ที่พบในชั้นเปลือกโลก ซึ่งสารประกอบเหล่านี้อาจมีธาตุอื่นปนอยู่ก็ได้ และสามารถพบได้ทั่วไปไม่ว่าในหิน ดิน น้ำทะเล หรือน้ำจืดในแม่น้ำหรือทะเลสาบ ฯลฯ ในชั้นเปลือกโลกมีธาตุโพแทสเซียมอยู่ประมาณร้อยละ 2.50 - 3.11 ธาตุโพแทสเซียมนี้พบอยู่ในหินอัคนีมากถึงร้อยละ 95 ของทั้งหมดในรูปของสารประกอบซิลิเกต นอกนั้นจะพบอยู่ในหินตะกอนเฉลี่ยประมาณร้อยละ 1.10 ในหินดินดานร้อยละ 2.70 และในหินปูนร้อยละ 0.27

แร่โพแทชที่พบส่วนใหญ่จะสลายตัวจากหินต้นกำเนิด ละลายเป็นสารละลายในน้ำทะเล และมีการระเหยแห้ง ตกผลึกสะสมตัวเป็นชั้นแร่ใต้ดิน บางบริเวณสะสมตัวจากสารละลายน้ำร้อนใต้ดิน ถูกพัดพาไปสะสมตัวในแอ่งทะเลสาบขนาดใหญ่ ระเหยแห้งตกผลึกเป็นชั้นแร่ตามภูมิประเทศที่แห้งแล้ง กลุ่มแร่โพแทชที่เกิดจากน้ำเกลือเข้มข้นระเหยแห้งไปประกอบด้วยแร่ชนิดต่าง ๆ ดังนี้

1) ซิลไวต์ (Sylvite)

แร่ซิลไวต์ปกติจะมีสีขาวใสหรือไม่มีสีหรือสีขาวแบบปุยเมฆ แต่ถ้าไม่บริสุทธิ์เนื่องจากมีมลทินเข้ามาปะปนซึ่งพบได้เป็นประจำก็อาจจะมีสีอื่นได้ เช่น สีแดงเนื่องจากมีแร่ฮีมาไทต์ (Hematite : Fe_2O_3) มาแทรกปน บางครั้งอาจพบเป็นสีอื่นเช่น สีม่วง สีน้ำเงิน สีเหลืองหรือสีเหลืองส้มได้ แร่ซิลไวต์มีประกายวาวคล้ายแก้ว มีความแข็งตามโมห์สเกลเท่ากับ 2 Fusible ที่ 1.5 ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) เท่ากับ 1.93 ค่าดัชนีหักเหแสง (refractive index) เท่ากับ 1,490 ละลายน้ำง่าย มีรสขม ถ้าเกิดแบบปฐมภูมิซิลไวต์จะมีรูปผลึกแบบ ไอโซมาติก (isometric) เป็นรูปลูกเต๋า (cube) หรือรูป 8 เหลี่ยม แต่ซิลไวต์ที่เกิดแบบปฐมภูมิมักไม่ค่อยพบ โดยทั่วไปมักเกิดแบบทุติยภูมิมากกว่า โดยเกิดแทนที่ในคาร์นัลไลต์ ดังนั้นจึงทำให้พบรูปผลึกเทียมแร่คาร์นัลไลต์ (pscudo-carnallite) หรือมีเนื้อแบบคล้ายตัวอะมีบา (amoeboid texture) ซิลไวต์มักพบอยู่ร่วมกับเกลือหินและคาร์นัลไลต์ หรือพบเป็นซิลวิไนต์ (Sylvinite) ซึ่งหมายถึงแร่ผสมระหว่างซิลไวต์กับเกลือหิน

2) คาร์นัลไลต์ (Carnallite)

แร่โพแทชที่พบมากที่สุดในโลกคือ คาร์นัลไลต์ ทั่วไปมักมีสีแดงหรือสีส้มเนื่องจากมีแร่ฮีมาไทต์เข้ามาแทรกปน ผลึกคาร์นัลไลต์จะอยู่ในระบบออโทรอมบิก (orthorhombic) ตามธรรมชาติมักพบเป็นเม็ดเกาะอยู่กับเกลือหิน คาร์นัลไลต์มีประกายวาวแบบอโลหะ (nonmetallic) คล้ายขี้ผึ้ง (Greasy) ค่าความแข็งประมาณ 1 ความถ่วงจำเพาะ 1.61 และละลายน้ำได้ง่ายแม้จะทิ้งไว้ในอากาศปกติ (Hurlbut , 1971)

กำเนิดของคาร์นัลไลต์ปกติเป็นแบบปฐมภูมิ กล่าวคือตกตะกอนจากน้ำทะเลโดยตรง มักเกิดร่วมกับเกลือหินและแอนไฮไดรต์หรือร่วมกับโบราไซต์บ้าง การนำเอาคาร์นัลไลต์มาใช้ประโยชน์ในฐานะแร่โพแทชมักค่อนข้างยุ่งยากและมีต้นทุนสูง เนื่องจากต้องผ่านกระบวนการแยกสารประกอบแมกนีเซียมซึ่งมีปริมาณมากออกไปก่อน นอกจากนั้นแมกนีเซียมที่แยกออกไปอาจมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีความยุ่งยากในการกำจัดด้วย

3) ไคไนต์ (Kainite)

ไคไนต์เป็นแร่โพแทชที่พบไม่บ่อยนัก มีประกายคล้ายแก้ว มีความถ่วงจำเพาะ 2.13 มักมีสีขาวหรือไม่มีสีสามารถแทนที่เคียซอไรต์หรือคาร์นัลไลต์ได้เสมอ

4) โพลีเฮไลต์ (Polyhalite)

โพลีเฮไลต์ส่วนใหญ่จะมีสีแดงเพราะมีเหล็กออกไซต์ปน มีความถ่วงจำเพาะ 2.78 โพลีเฮไลต์เป็นแร่ทุติยภูมิในเกลือหิน แต่พบเล็กน้อยร่วมกับคาร์นัลไลต์

5) อาร์คาไนต์ (Arcanite)

อาร์คาไนต์อยู่ในกลุ่มแร่ซัลเฟต มีลักษณะทางกายภาพเป็นแร่ที่มีสีเหลือง สีขาวถึงขาวใส ไม่มีสี ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.66

3.7.2 ลักษณะทางเคมี

1) ซิลไวต์

ซิลไวต์มีสูตรเคมี KCl เป็นแร่โพแทชที่สำคัญที่สุด เนื่องจากถ้าคิดค่าวิเคราะห์ในรูปของโพแทสเซียมออกไซด์ (K_2O) จะมีค่าสูงที่สุดคือสูงถึงร้อยละ 63.17 หรือคิดเฉพาะค่าของ K ก็จะสูงเท่ากับร้อยละ 52.44

2) คาร์นัลไลต์

แร่โพแทชที่พบมากที่สุดในโลกคือ คาร์นัลไลต์มีสูตรเคมี $KCl.MgCl_26H_2O$ ค่าวิเคราะห์คาร์นัลไลต์ในรูปของ K_2O มีค่อนข้างต่ำคือร้อยละ 16.95 หรือค่า K เพียงร้อยละ 14.07 หากคิดเฉพาะค่า KCl จะมีอยู่เพียงร้อยละ 26.83 แต่บางกรณีพบว่าค่า K_2O ในคาร์นัลไลต์อาจสูงขึ้นถึงร้อยละ 18 - 20 ก็ได้ ทั้งนี้เนื่องจากคาร์นัลไลต์นั้นกำลังเริ่มถูกแทนที่ด้วยซิลไวต์ ในบางครั้งอาจพบเม็ดคาร์นัลไลต์เกิดเป็นวงโดยชั้นในยังคงเป็นคาร์นัลไลต์อยู่แต่ชั้นนอกเปลี่ยนเป็นซิลไวต์แล้ว

3) ไคไนต์

ไคไนต์เป็นแร่โพแทชที่พบไม่บ่อยนักมีสูตรเคมี $4MgSO_4.4KCl.11H_2O$ มีปริมาณ KCl ร้อยละ 29.94 หรือมี K_2O ร้อยละ 18.92 หรือ K ร้อยละ 15.71

4) โพลีเฮไลต์

โพลีเฮไลต์มีสูตรเคมี $K_2SO_4.MgSO_4.2H_2O$ มี K_2SO_4 ร้อยละ 28.90 หรือมี K_2O ร้อยละ 15.62 หรือ K ร้อยละ 12.9

5) อาร์คาไนต์

อาร์คาไนต์มีสูตรเคมี K_2SO_4 เป็นแร่ที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.66 มีปริมาณ K_2O ร้อยละ 54.06 หรือ K ร้อยละ 44.88

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว ยังมีแร่โพแทชที่เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีหรือเกิดจากการระเหยของน้ำอีกหลายชนิดแต่พบไม่บ่อยนัก เช่น แลงไบไนต์ (Langbeinite : $K_2SO.2MgSO_4$) ที่ส่วนใหญ่เป็นแร่ไม่มีสี แต่สามารถพบเป็นสีแดงหรือสีเหลือง มีความถ่วงจำเพาะ 2.83 มีปริมาณ K_2SO_4 ร้อยละ 41.99 หรือ K_2O ร้อยละ 22.70 หรือ K ร้อยละ 18.84 โดยเกิดเป็นแร่ทุติยภูมิ มักพบร่วมกับเกลือหินหรือเคียเซอไรต์ (Kieserite) แอนไฮไดรต์ และโพลีเฮไลต์ ส่วนแร่โพแทชชนิดอื่นที่พบค่อนข้างยาก ได้แก่ แร่ Erytrosiderite ($2KCl.FeCl_3.H_2O$), Glaserite ($3K_2SO_4.Na_2SO_4$), Hydrophylite ($KCl.\ CaCl_2.6H_2O$), Rirmeite ($FeCl_2.3KCl.NaCl$), Shchonite ($K_2SO_4.MgSO_4.6H_2O$), Leonite ($K_2SO_4.MgSO_4.4H_2O$), Syngenite ($K_2SO_4.CaSO_4.H_2O$),

Krugite ($K_2SO_4.MgSO_4.\ 4CaSO_4.\ 2H_2O$), Apthitalite $(K,Na)_2SO_4$), Picromerite ($K_2SO_4.MgSO_4.6H_2O$), และ Kalinite ($K_2SO_4.Al_2\ (SO_4),\ 24H_2O$) เป็นต้น

3.7.3 ลักษณะเด่นและวิธีตรวจสอบ

แร่โพแทชส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้ง่าย แตกต่างจากเกลือหินหรือเฮไลต์ตรงที่ซิลไวต์จะมีรสเฝื่อนเมื่อเผาจะให้เปลวไฟสีม่วง แต่ถ้ามีธาตุโซเดียมปะปนอยู่ด้วยจะมองไม่ชัด เพราะจะเกิดเปลวไฟสีเหลืองของโซเดียม ถ้าใช้ Blue filter จะไม่เห็นสีเหลือง เห็นเฉพาะสีม่วงของธาตุโพแทสเซียมได้ชัด ส่วนคาร์นัลไลต์มีรสขมหรือรสเฝื่อน ถ้าบริสุทธิ์จะใสมีสีแต่หายาก เมื่อให้เปลวไฟสีม่วง

3.7.4 การกำเนิดแหล่งแร่โพแทช

แหล่งแร่โพแทชขนาดใหญ่โดยทั่วไปจะเกิดจากสารละลายของสารประกอบโพแทชเซียมในน้ำทะเลเมื่อเกิดปรากฏการณ์ที่น้ำทะเลถูกปิดกั้นแยกออกจากมวลส่วนใหญ่และเกิดการระเหยแห้งจนมีความเข้มข้นสูงขึ้น สารละลายนี้จะค่อยตกผลึกเป็นของแข็งคือหินเกลือระเหยชนิดต่าง ๆ การตกผลึกจะเป็นไปตามลำดับจากกระบวนการทางเคมีกายภาพ น้ำที่มีสารละลายนี้เกิดอยู่บนผิวโลกและไม่มีอุณหภูมิสูงเหมือนน้ำที่มีสารละลายที่ได้รับมาจากหินหลอมละลาย (hydrothermal water) น้ำเหล่านี้มักเรียกกันว่า brine หรือ น้ำเค็ม (saline water) ซึ่งอาจจะอยู่ในแหล่งน้ำผิวดินบางแห่ง โดยมีความสัมพันธ์กับน้ำใต้ดิน กล่าวคือมีการละลายแร่ที่อยู่ใต้ผิวดินออกมา น้ำที่มีสารละลายชนิดนี้เรียกว่า น้ำจืด (nonmarine water) แต่ปกติแล้วน้ำเค็มจะมาจากน้ำทะเล ตามประวัติทางธรณีวิทยาในบางยุคน้ำทะเลอาจไหลท่วมเข้ามาได้ไกลบนทวีปโดยเฉพาะในบริเวณที่ชายฝั่งที่มีลักษณะค่อนข้างราบ พื้นที่น้ำท่วมอาจติดต่อกันเป็นบริเวณกว้าง บริเวณส่วนต่อระหว่างแผ่นดินกับน้ำทะเลมักมีแนวกั้นไม่ให้น้ำทะเลที่ไหลเข้ามาแล้วสามารถไหลย้อนกลับออกไปได้ แนวกั้นเรียกว่า สันดอนทะเล (sea barrier) เมื่อน้ำทะเลที่ไหลเข้ามาในขณะที่น้ำขึ้นสูงสุดถูกกักไว้ในแอ่ง ไม่สามารถจะไหลย้อนกลับไปแม้ระดับน้ำทะเลโดยทั่วไปจะลดลงแล้ว ประกอบกับมีปัจจัยสำคัญอีกหลายประการเกิดขึ้นตามมา ได้แก่ การที่ไม่มีน้ำจืดเติมเข้าไปในแอ่ง Saline water ซึ่งหมายถึงแอ่งกักเก็บน้ำจะต้องอยู่ในพื้นที่แห้งแล้งฝนตกน้อยแบบเดียวกับภูมิอากาศทะเลทราย กระบวนการระเหยน้ำจะเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อนและแห้งแล้งอย่างเต็มที่ ทำให้ความเข้มข้นของน้ำสารละลายเพิ่มสูงขึ้นตามลำดับจนถึงจุดวิกฤตที่ทำให้สารละลายในน้ำเริ่มตกผลึกลงมาตามลำดับ

สภาพทางธรรมชาติที่เหมาะสมกับการเป็นแหล่งเกิดเกลือระเหยยังต้องประกอบด้วยปัจจัยต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องอีกหลายประการ ได้แก่ พื้นที่แอ่งจะต้องมีความเสถียรในระดับตื้นเพื่อรองรับการสะสมตัวของน้ำที่มีสารละลายแร่ธาตุเหล่านั้นอยู่ได้เป็นระยะเวลายาวนาน การที่มีน้ำทะเลไหลเพิ่มเติมเข้ามาในแอ่งอย่างต่อเนื่องแต่ไม่สามารถไหลกลับได้อย่างสะดวกเนื่องจากมีแนวกั้นธรรมชาติกั้นเอาไว้ภูมิอากาศแห้งแล้งแบบทะเลทรายที่มีปริมาณฝกตกน้อยมาก น้ำทะเลระเหยแห้งงวดไปตามลำดับเกิดการตกผลึกของหินเกลือระเหยอย่างต่อเนื่องเป็นเวลายาวนาน และมีชั้นหินทึบมาปกปิดด้านบนเพื่อป้องกันการถูกชะละลายกลับไปใหม่ เป็นต้น

ส่วนประกอบของน้ำทะเล โดยปกติในน้ำทะเลจะประกอบด้วยสารละลายต่าง ๆ มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 3.45 โดยน้ำหนักสารละลายดังกล่าวจะอยู่ในรูปของสารละลายที่ซับซ้อนจนถึงอนุมูลอิสระ อย่างไรก็ตามประมาณร้อยละ 97.7 ของสารละลายทั้งหมดจะประกอบด้วยอนุมูลหลัก 7 ชนิด ได้แก่ อนุมูล Cl^-, Na^+, Mg^+, SO_4^-, Ca^{2+}, K^+ และ HCO_3^-, นอกจากนี้ยังมีอนุมูลชนิดอื่น ได้แก่ อนุมูล Br^-, Fe^{2+}, CO_3^-, Sr^{2+} เป็นต้น (Selly, 1976)

อนุมูลเหล่านี้สามารถตกผลึกกลายเป็นสารประกอบได้หลายชนิด และที่พบเป็นส่วนใหญ่ ได้แก่ สารประกอบดังต่อไปนี้

Sodium Chloride	(NaCl)	2.94 %
Magnesium Chloride	(Fe_2O_3)	0.32 %
Magnesium Sulfate	($MgSO_4.2H_2O$	0.15 %
Calcium Sulfate	($CaSO_4$)	9.14 %
Sodium Bromide	(NaBr)	0.06 %
Potassium Chloride	(KCl)	0.05 %
Calcium Carbonate	($CaCO_3$)	0.01 %
Iron Oxide	($MgCl_2$)	0.001 %

การตกผลึกจากน้ำทะเล

ถึงแม้ว่าในน้ำทะเลจะมีสารละลายอยู่หลายชนิด แต่เมื่อมีการตกผลึกแยกออกจากน้ำที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นเรื่อย ๆ จากการระเหยออกไป สารละลายจะมีการตกผลึกเป็นชนิด ๆ ไปตามลำดับ โดยไม่ปะปนในคราวเดียวกัน ทำให้เกิดสารประกอบหรือแร่แต่ละชนิดเป็นชั้น ๆ และสารประกอบในแต่ละชั้นสามารถบอกถึงความเข้มข้นของน้ำทะเลในขณะที่เกิดการตกผลึกสารประกอบนั้นได้ ตามการทดลองของ Usiglio ในปี 1849 ซึ่งทดลองใช้น้ำทะเลจากทะเลเมดิเตอเรเนียนมาระเหยออกไป จะพบว่าสารละลายหรือเกลือชนิดต่าง ๆ จะตกผลึกก่อนหลังตามลำดับความเข้มข้นหรือการงวดของน้ำทะเล เนื่องจากกระบวนการ Physico - chemical process ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า สารละลายที่ละลายน้ำได้ยากจะตกผลึกก่อนส่วนสารละลายที่ละลายน้ำได้ง่ายจะตกผลึกทีหลัง ตารางที่ 3.2 จะแสดงถึงสารประกอบที่ตกผลึกเรียงลำดับการตกผลึกก่อนไปจนถึงการตกผลึกทีหลังสุดและเกิดเป็นแร่ชนิดต่าง ๆ (Krauskopf, 1967) สภาพแวดล้อมในการเกิดหินเกลือระเหยดังกล่าวข้างต้นในธรรมชาตินั้นมีลักษณะของลำดับขั้นตอนและปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ แต่เมื่อน้ำทะเลไหลเข้ามาในทวีปซึ่งก่อตัวเป็นแอ่งตื้น ๆ ขนาดใหญ่เมื่อได้เวลาน้ำขึ้นน้ำทะเลจะไม่สามารถไหลกลับออกไปเมื่อถึงเวลาน้ำลงเนื่องจากติดสันขอบแอ่งที่เกิดขึ้นเป็นสันดอน น้ำในแอ่งจะถูกแผดเผาให้ระเหยออกไปในสภาพเดียวกับทะเลทราย น้ำทะเลที่เหลืออยู่ก็จะมีลักษณะเข้มข้นขึ้นเรื่อย ๆ ตามลำดับ จนสารละลายในน้ำทะเลดังกล่าวเริ่มตกผลึกตามลำดับ สารละลายที่ตกผลึกหลังสุดก่อนน้ำทะเลเข้มข้นที่เหลือจะแห้งหมดไป เป็นพวกสารละลายที่ละลายน้ำได้ดีที่สุด ได้แก่ กลุ่มอนุมูลโพแทสเซียมและแมกนีเซียม

ตารางที่ 3.2 สารประกอบหรือหินเกลือระเหยที่ตกผลึกเป็นชั้น ๆ ตามลำดับที่เรียงจากล่างขึ้นบนที่ได้จากการทดลองของ Usiglio (1849) (Krauskopf, 1967)

ลำดับ	สารประกอบ	แร่ที่ตกผลึก
1	Iron oxide	hematite
2	calcium carbonate	limestone, dolomite
3	calcium sulfate	gypsum, anhydrite
4	sodium chloride	Halite
5	potassium chloride	sylvite
6	potassium and magnesium	potassium-magnesium minerals

ดังนั้น การเกิดแร่โพแทชในโลกนี้จึงมักจะมีสภาพเกิดคล้ายคลึงกันคือ น้ำทะเลจะไหลเข้ามาในแอ่งบนทวีปใกล้ชายฝั่งที่ค่อนข้างราบ เมื่อน้ำทะเลขึ้นก็จะไหลเข้ามาจากทะเลผ่านแนวกั้น ซึ่งทำหน้าที่ปิดกั้นไม่ยอมให้น้ำไหลกลับช่วงน้ำลง สภาพแวดล้อมบริเวณพื้นที่นั้นจะต้องแห้งแล้งฝนตกน้อยเพื่อป้องกันการละลายของแร่เกลือและโพแทช ในขณะที่ตกผลึกสภาพแวดล้อมดังกล่าวน่าจะใกล้เคียงกับทะเลทรายในปัจจุบัน แต่อยู่ไม่ห่างจากชายฝั่งทะเล มักเกิดบริเวณละติจูดที่ 5 - 20 องศาเหนือหรือใต้ น้ำทะเลจะถูกแสงแดดแผดเผาตลอดเวลาจนมีความเข้มข้นมากขึ้นตามลำดับและตกผลึกเป็นเกลือระเหยชนิดต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้างต้น

3.7.5 การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่

การคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่สำรองของแร่เกลือหินและโพแทช Suwanich (1986) ได้ทำการคำนวนทรัพยากรแร่สำรองโดยใช้ข้อมูลหลุมเจาะที่ได้จากการเจาะทั้งหมด ณ ขณะนั้น (จำนวน 175 หลุม) ซึ่งได้ทำการเจาะครอบคลุมทั่วทั้งบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือในแอ่งโคราชทางด้านใต้และแอ่งสกลนครทางด้านเหนือ ผลจากการเจาะสำรวจพบว่าหมวดหินมหารสารคาม ซึ่งประกอบด้วยชั้นเกลือหินเป็นองค์ประกอบหลัก สามารถแบ่งชั้นการสะสมตัวย่อยออกเป็นชั้นตะกอนผิวดิน ตะกอนเนื้อเม็ดชั้นบน (upper clastic) เกลือหินชั้นบน (upper salt) ตะกอนเนื้อเม็ดชั้นกลาง (middle clastic) เกลือหินชั้นกลาง (middle salt) ตะกอนเนื้อเม็ดชั้นล่าง (lower clastic) ชั้นเกลือหลากสี (colored salt) ชั้นแร่โพแทช (potash zone) เกลือหินชั้นล่าง (lower salt) และชั้นแอนไฮไดร์ทฐาน (basal anhydrite) โดยพบการกระจายตัวของแร่เกลือหินและโพแทชอยู่ใต้ดินเป็นบริเวณกว้างและสามารถจำแนกรูปแบบการสะสมตัวได้เป็น 4 แบบ ซึ่งคลอบคลุมพื้นที่โดยประมาณ ดังนี้

1) พื้นที่ที่มีเกลือหิน 3 ชั้นและมีแร่โพแทช มีพื้นที่คลอบคลุมโดยประมาณ 9,280 ตารางกิโลเมตร
2) พื้นที่ที่มีเกลือหิน 2 ชั้นและมีแร่โพแทช มีพื้นที่คลอบคลุมโดยประมาณ 22,680 ตารางกิโลเมตร
3) พื้นที่ที่มีเกลือหินชั้นเดียวและมีแร่โพแทช มีพื้นที่คลอบคลุมโดยประมาณ 3,350 ตารางกิโลเมตร
4) พื้นที่ที่มีเกลือหินชั้นเดียวแต่ไม่พบแร่โพแทช มีพื้นที่คลอบคลุมโดยประมาณ 14,690 ตารางกิโลเมตร

โดยในการคำนวณปริมาณสำรองทรัพยากรแร่ที่ใช้ จะใช้วิธีในการคำนวนดังสมการ

$$M = V \times D$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)
V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร) โดยใช้ความหนาเฉลี่ยของชั้นแร่
D = คาความถวงจำเพาะของแร่

หมายเหตุ : - เกลือหิน มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.16
- ซิลไวท์ มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.98
- คาร์นัลไลท์ มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.61
- แทชชีไฮไดร์ท มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.66

ตัวอย่างกรณีศึกษาการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่โพแทช จากข้อมูลผลการเจาะสำรวจในอดีตสามารถหาค่าเฉลี่ยของเกลือหินและแร่โพแทชที่เป็นตัวแทนความหนาเฉลี่ยของทั้งพื้นที่ ดังนี้

1) พื้นที่ที่มีเกลือหิน 3 ชั้นและมีแร่โพแทช

- เกลือหินชั้นบน มีความหนาประมาณ 20.98 เมตร
- เกลือหินชั้นกลาง มีความหนาประมาณ 85.76 เมตร
- เกลือหินชั้นล่าง มีความหนาประมาณ 61.88 เมตร
- คาร์นัลไลท์ ชั้นล่าง มีความหนาประมาณ 14.20 เมตร
- แทชซีไฮไดร์ท มีความหนาประมาณ 6.44 เมตร

2) พื้นที่ที่มีเกลือหิน 2 ชั้นและมีแร่โพแทช

- เกลือหินชั้นกลาง มีความหนาประมาณ 64.89 เมตร
- เกลือหินชั้นล่าง มีความหนาประมาณ 120.88 เมตร
- คาร์นัลไลท์ ชั้นล่าง มีความหนาประมาณ 20.23 เมตร
- แทชซีไฮไดร์ท มีความหนาประมาณ 8.77 เมตร

3) พื้นที่ที่มีเกลือหินชั้นเดียวและมีแร่โพแทช

- เกลือหิน มีความหนาประมาณ 182.32 เมตร
- ซิลไวท์ ชั้นบน มีความหนาประมาณ 5.30 เมตร
- คาร์นัลไลท์ ชั้นล่าง มีความหนาประมาณ 25.46 เมตร

4) พื้นที่ที่มีเกลือหินชั้นเดียวแต่ไม่พบแร่โพแทช

- เกลือหิน มีความหนาประมาณ 157.12 เมตร

เมื่อรวมปริมาณสำรองของแร่ทั้งเกลือหิน และโพแทชจากโครงสร้างทั้ง 4 แบบ จะมีปริมาณแร่สำรองรวมทั้งสิ้นดังต่อนี้

แร่เกลือหิน = 4,985,840+1,319,267+9,100,649+3,379,953 ล้านตัน
= 18,785,348 ล้านตัน หรือ ประมาณ 18 ล้านล้านตัน

แร่คาร์นัลไลท์ = 137,318+738,694+212,195 ล้านตัน
= 1,088,171 ล้านตัน หรือ ประมาณ 1 ล้านล้านตัน

แร่ซิลไวท์ = 35,154 ล้านตัน หรือ ประมาณ 35,000 ล้านตัน

แร่แทชซีไฮไดร์ท = 330,179+99,206
= 429,385 ล้านตัน หรือ ประมาณ 429,000 ล้านตัน

แต่ในความเป็นจริงตามธรรมชาติจะพบแร่โพแทชทั้งชนิดคาร์นัลไลท์และซิลไวท์ มักเกิดร่วมกับแร่แฮไลท์ หรือแร่เกลือหิน รวมทั้งแร่แทชซีไฮไดร์ทด้วยเสมอ ไม่มีโอกาสที่พบเป็นแร่บริสุทธิ์ 100% จึงทำให้ความบริสุทธิ์ของแร่โพแทชมีอัตราส่วนร้อยละที่ลดลง ปริมาณทรัพยากรแร่สำรองที่คำนวนได้ในขั้นต้นก็จะเป็นเพียงปริมาณทรัพยากรแร่สำรองของแร่โพแทชที่มีส่วนผสมของแร่แฮไลท์ร่วมด้วย และการเรียกชื่อแร่ก็จะมีคำเรียกที่เกิดจากสัดส่วนผสมของแร่ เช่นคานาลิไทต์ ใช้เรียกแร่คาร์นัลไลท์ที่เกิดร่วมผสมกับแร่แฮไลท์ และซิลวิไนต์ใช้เรียกแร่ซิลไวท์ที่เกิดร่วมผสมกับแร่แฮไลท์ ดังนั้นถ้าหากจะคำนวนปริมาณทรัพยากรแร่สำรองโพแทชให้มีความถูกต้องเพิ่มขึ้น จะต้องทำการคำนวนสัดส่วนของแร่โพแทชที่เกิดร่วมอยู่กับแร่แฮไลท์ ส่วนแร่อื่น ๆ ที่พบ เช่นแอนไฮไดร์ท โบราไซต์ หรือดินเหนียว จะไม่นำมาคำนวณร่วมเนื่องจากพบในปริมาณที่น้อยมาก (ปกรณ์ สุวานิช, 2550)

ถ้าปริมาณแร่คานาลิไทต์ที่มีสัดส่วนแร่คาร์นัลไลท์ผสมอยู่ร้อยละ 40 ดังนั้นค่าเฉลี่ยปริมาณทรัพยากรแร่สำรองของแร่คาร์นัลไลท์บริสุทธ์จะมีค่าโดยเฉลี่ย

= 1,088,171 ล้านตัน x ร้อยละ 40

= 435,268 ล้านตัน หรือประมาณ 4 แสนล้านตัน

ถ้าปริมาณแร่ซิลวิไนต์ที่มีสัดส่วนแร่ซิลไวท์ผสมอยู่ร้อยละ 20 ดังนั้นค่าเฉลี่ยปริมาณทรัพยากรแร่สำรองของแร่ซิลไวท์บริสุทธ์จะมีค่าโดยเฉลี่ย

= 35,154 ล้านตัน x ร้อยละ 20

= 7,030 ล้านตัน หรือประมาณ 7 พันล้านตัน

ถ้าปริมาณแร่แทชชีไฮไดร์ท ที่ผสมอยู่กับแฮไลท์มีแร่แทชชีไฮไดร์ท อยู่จริงร้อยละ 50 ดังนั้นค่าเฉลี่ยปริมาณทรัพยากรแร่สำรองของแร่แทชชีไฮไดร์ท บริสุทธ์จะมีค่าโดยเฉลี่ย

= 429,385 ล้านตัน x ร้อยละ 50

= 214,692 ล้านตัน หรือประมาณ 2 แสนล้านตัน

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าบริเวณที่ราบสูงโคราชทั้งในแอ่งโคราชทางด้านทิศใต้ และแอ่งสกลนครทางด้านทิศเหนือ มีปริมาณทรัพยากรแร่สำรองของแร่เกลือหินไม่น้อยกว่า 18 ล้านล้านตัน แร่คาร์นัลไลท์ไม่น้อยกว่า 4 แสนล้านตัน แร่ซิลไวท์ไม่น้อยกว่า 7 พันล้านตัน และแร่แทชชีไฮไดร์ทไม่น้อยกว่า 2 แสนล้านตัน

3.7.6 ประโยชน์

ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตปุ๋ยโพแทชเซียม

3.8 หินอุตสาหกรรม

3.8.1 คำจำกัดความ “หินอุตสาหกรรม”

“หินอุตสาหกรรม” ในที่นี้หมายถึงดินอุตสาหกรรมที่มีการกำหนดตามกฎหมาย ตามมาตรา 4 แห่งพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2560 กำหนดให้ “แร่” หมายรวมถึงหินตามที่กฎกระทรวงกำหนดเป็นหินประดับหรือหินอุตสาหกรรม อ้างอิงตามกฎกระทรวงกำหนดหินเป็นหินประดับหรือหินอุตสาหกรรม และดินหรือทรายเป็นดินอุตสาหกรรมหรือทรายอุตสาหกรรม พ.ศ. 2563 (ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 137 ตอนที่ 13 ก ลงวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2563) กำหนดให้หิน 10 ชนิด ดังต่อไปนี้ที่สามารถทำเป็นแผ่นหรือรูปทรงอื่นใดเพื่อการประดับหรือตกแต่งได้เป็นหินประดับ ประกอบด้วย (1) หินกรวดมน (2) หินกรวดเหลี่ยม (3) หินแกรนิต (4) หินชนวน (5) หินทราย (6) หินทราเวอร์ทีน (7) หินนาคกระสวย (8) หินไนส์ (9) หินบะซอลต์ (10) หินปูน และกำหนดให้หิน 10 ชนิดดังกล่าว ซึ่งมีคุณภาพไม่เหมาะสมที่จะทำเป็นหินประดับและหินชนิดอื่นนอกเหนือจาก 10 ชนิดดังกล่าว เป็นหินอุตสาหกรรม

3.8.2 การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ของหินอุตสาหกรรม

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ของหินอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการประเมินด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ เริ่มต้นจากการประเมินปริมาตรของทรัพยากรแร่ ในพื้นที่แหล่งแร่แต่ละ

บริเวณ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลพื้นที่แหล่งแร่ และข้อมูลแบบจำลองภูมิประเทศ

- ข้อมูลพื้นที่แหล่งแร่ ในระบบ GIS มีลักษณะข้อมูลเป็นพื้นที่ (polygon) แสดงขอบเขต รูปร่างและขนาดเนื้อที่ พร้อมข้อมูลเชิงบรรยายประกอบ (attribute)

- ข้อมูลแบบจำลองภูมิประเทศ ใช้ประกอบในการคำนวณหาปริมาตรของพื้นที่แหล่งแร่ที่มีอยู่เหนือระดับพื้นผิว โดยใช้แบบจำลองภูมิประเทศ (Digital Elevation Model : DEM) หรือแบบจำลองภูมิประเทศชนิด TIN (Triangular Interpolated Network) แทนข้อมูล DEM

การสร้างแบบจำลองภูมิประเทศชนิด TIN ใช้ข้อมูลเส้นชั้นความสูง จุดค่าความสูง และขอบเขตพื้นที่ประเทศไทย เนื่องจากเป็นการอนุมานค่าระหว่างจุด 3 จุด โดยการสร้างสามเหลี่ยมเล็ก ๆ จาก vertex ของข้อมูลเส้นชั้นความสูง (contour) และ/หรือ ข้อมูลจุดค่าความสูง (Spot Elevation)

การคำนวณหาปริมาตรโดยวิธีนี้เป็นการคำนวณหาปริมาณที่อยู่เหนือระดับพื้นผิวของแต่ละแหล่ง ในแต่ละพื้นที่ระดับพื้นผิวไม่เท่ากัน จึงมีการกำหนดเส้นฐานของค่าความสูง (Base height elevation) ในการหาปริมาตรของทุก ๆ พื้นที่ที่ระดับ 0 (ศูนย์) ใช้โปรแกรมทำการคำนวณปริมาตรที่อยู่ใต้ระดับพื้นผิวแล้วนำไปหักออกจากปริมาตรเหนือระดับ 0 (ศูนย์) ที่โปรแกรมคำนวณออกมาให้ ก็จะได้ผลลัพธ์เป็นปริมาตรที่อยู่ระดับพื้นผิวบริเวณนั้น ๆ (รายละเอียดดังภาคผนวก ก)

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ คือ การนำเอาปริมาตรที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม GIS คูณด้วย ค่าความหนาแน่นของแร่หรือหินที่มีในพื้นที่แหล่งแร่ และคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมิน ดังสมการ

$$M = V \times D \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)

V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)

D = คาความถวงจำเพาะ

K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน

ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินเป็นค่าที่กำหนดขึ้น เพื่อให้ได้ตัวเลขของปริมาณทรัพยากรแร่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินอาจจะเป็นค่าของโพรงหรือช่องว่างที่มีอยู่ในเนื้อหิน ค่าความน่าจะเป็นไปได้ในการพบสายแร่ในพื้นที่แหล่งแร่ ค่าความสมบูรณ์ของแหล่งแร่ เป็นต้น ในการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ของแต่ละชนิดแร่จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินต่างกัน และอาจใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินหลายตัวร่วมกัน

การใช้ค่าตัวแปรในการคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ในบางกรณี ควรศึกษากฎหมายและข้อกำหนดต่าง ๆ ที่มีการประกาศใช้เพิ่มเติม เช่น กรณีของหินอุตสาหกรรมชนิดหินปูน การคำนวณปริมาณทรัพยากรแร่ จากการดำเนินงานที่ผ่านมาได้เคยมีการกำหนดให้ใช้ตัวเลขจากประกาศกรมทรัพยากรธรณี เรื่อง ประทานบัตรหินอุตสาหกรรม ลงวันที่ 4 เมษายน 2539 โดยกำหนดให้ค่าความหนาแน่นของหินปูน เท่ากัน 2.5 เมตริกตัน/ลูกบาศ์เมตร และหักค่าปริมาณดินหรือโพรงหินออกจากปริมาตรที่คำนวณได้ ไม่เกินร้อยละ 10

ทั้งนี้ในการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ ควรศึกษากฎหมาย และข้อกำหนดต่าง ๆ ที่มีการประกาศต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับหินปูน หรือชนิดแร่นั้น ๆ ซึ่งบางกรณีอยู่ระหว่างการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติม เพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดที่มีการประกาศใช้ในสถานการณ์ปัจจุบัน สำหรับแร่ชนิดอื่นจะใช้ค่า

สัมประสิทธิ์ในการประเมินต่างกัน ในบางกรณีอาจต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการประเมินหลายค่าตามความเหมาะสมของการกำเนิดแร่ที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่แหล่งแร่นั้น ๆ

3.9 ดินอุตสาหกรรม

3.9.1 คำจำกัดความ “ดินอุตสาหกรรม”

“ดินอุตสาหกรรม” ในที่นี้หมายถึงดินอุตสาหกรรมที่มีการกำหนดตามกฎหมาย ตามมาตรา 4 แห่งพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2560 กำหนดให้ “แร่” หมายรวมถึงหินดินหรือทรายตามที่กฎกระทรวงกำหนดเป็นดินอุตสาหกรรมหรือทรายอุตสาหกรรม อ้างอิงตามกฎกระทรวงกำหนดหินเป็นหินประดับหรือหินอุตสาหกรรม และดินหรือทรายเป็นดินอุตสาหกรรมหรือทรายอุตสาหกรรม พ.ศ. 2563 (ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 137 ตอนที่ 13 ก ลงวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2563) กำหนดให้ดิน 7 ชนิด ดังต่อไปนี้เป็นดินอุตสาหกรรม ประกอบด้วย (1) ดินขาว (2) ดินซีเมนต์ (3) ดินทนไฟ (4) ดินเบา ไดอะทอไมต์ หรือไดอะตอมเมเชียสเอิร์ท (5) ดินมาร์ล เว้นแต่ดินมาร์ลที่นำไปผ่านกระบวนการแต่งเป็นดินสอพองเพื่อใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมพื้นบ้าน (6) ดินเหนียวสี เว้นแต่ดินเหนียวสีที่ใช้เพื่อประโยชน์ในงานหัตถกรรมหรืออุตสาหกรรมพื้นฐาน (7) บอลล์เคลย์

ดินขาว

ดินขาว หรือ Kaolin หรือ China Clay คือแร่ที่มีลักษณะเป็นดินสีขาวซึ่งประกอบด้วยสารประกอบผลึกเล็ก ๆ ของแร่ Kaolinite (อุบลศรี ชัยสาม และเยาวลักษณ์ นิสสกา, 2537)

ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ของแหล่งดินขาว มีรูปแบบการเกิดดังนี้

1) แหล่งดินขาวปฐมภูมิ ประกอบด้วย

- การผุพังอยู่กับที่ (weathering) มักเกิดจากการผุพังสลายตัวจากหินแกรนิตชนิดที่มีแร่เฟลด์สปาร์เป็นส่วนประกอบอยู่มาก โดยเกิดผุพังอยู่กับที่

- การผุโดยกระบวนการของน้ำร้อนหรือก๊าซร้อน (hydrothermal alteration) มักเกิดจากการสลายตัวโดยกระบวนการแปรสภาพเป็นดินขาวเคโอลิน (kaolinization) ออกจากแร่เฟลด์สปาร์ที่มีอยู่หินภูเขาไฟชนิดไรโอไลต์

2) แหล่งดินขาวทุติยภูมิ เกิดการตกทับถมในแอ่งสะสมตะกอน ถูกพัดพาโดยกระแสน้ำไปตกตะกอนทับถมในที่ลุ่ม

ดินซีเมนต์

ดินซีเมนต์ มีการใช้ประโยชน์หลากหลายในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์และอื่น ๆ เพื่อให้เกิดความชัดเจน จึงมีประกาศกำหนดคุณสมบัติและลักษณะของดินเหนียวสีเพิ่มเติมตามกฎหมาย อ้างอิงตามประกาศกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เรื่อง กำหนดคุณสมบัติและคุณลักษณะของดินอุตสาหกรรมชนิดดินเหนียวสี และชนิดดินซีเมนต์ (ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 124 ตอนพิเศษ 157 ง หน้า 8 ลงวันที่ 17 ตุลาคม 2550 แห่งพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2510 ทั้งนี้เนื่องจากยังไม่มีการออกอนุบัญญัติแห่งพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2560) โดยกำหนดให้ดินซีเมนต์ หมายถึง ดินที่ใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ มีองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ เหล็กออกไซด์ (Iron Oxide, Fe_2O_3) หรืออะลูมินา (Aluminium Oxide, Al_2O_3) หรือซิลิกา (SiO_2)

ดินทนไฟ

ดินทนไฟ หมายถึง ดินที่นำมาใช้ทำวัตถุทนไฟ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแร่เคโอลิไนต์และสิ่งเจือปน เช่น แร่ควอตซ์ (อุบลศรี ชัยสาม และเยาวลักษณ์ นิสสกา, 2537)

ดินทนไฟมีคุณสมบัติพิเศษ คือ ทนการหลอมเหลมได้ในอุณหภูมิที่สูง มีจุดหลอมตัวเกิน 1,410-1,500 °C เนื่องจากมีสารประกอบของซิลิกาและอะลูมินาอยู่มากและมีเหล็กออกไซด์ แคลเซียมออกไซด์ แมกนีเซียออกไซด์ และอัลคาไลน้อย เนื้อดินค่อนข้างหยาบ มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีในแต่ละแหล่งผันแปรในช่วงกว้างมาก อาทิ ความเหนียวและสี โดยในบางแหล่งมีความเหนียวเหมาะสมต่อการขึ้นรูป แต่บางแหลงต้องผสมดินบอลล์เคลย์เพื่อเพิ่มความเหนียว ดินนี้หลังจากเผาอาจไม่เป็นสีขาว (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ของดินทนไฟสะสมตัวแบบทุติยภูมิที่มีการเกิดคล้ายแร่เคโอลิไนต์ โดยเกิดจากการผุพังและแปรสภาพมาจากแร่อื่นโดยเฉพาะแร่จำพวกอลูมิเนียมซิลิเกต เช่น แร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งเกิดจากหินแกรนิต สายเพกมาไทต์ หรือหินภูเขาไฟบางประเภท แร่เฟลด์สปาร์ดังกล่าวเมื่อผุสลายจะกลายเป็นแร่ดินเคโอลิไนต์ และถูกพัดพาจากแหล่งกำเนิดเป็นระยะทางค่อนข้างไกลมาสะสมตัวแบบหินชั้นตามที่ลุ่ม แอ่งน้ำ หรือทะเลสาบ ร่วมกับตะกอนดินและทรายแป้งที่มีค่าซิลิกาและอะลูมินาสูง เกิดการปะปนกันของเนื้อดิน ทำให้ดินเคโอลิไนต์ที่เกิดขึ้นมีค่าค่าซิลิกาและอะลูมินาสูงผิดปกติ การสะสมตัวมักสัมพันธ์กับการเกิดถ่านหินในแอ่งทะเลสาบโบราณ โดยทั่วไปแหล่งดินทนไฟมักมีลักษณะเป็นชั้นอยู่ร่วมกับชั้นถ่านหิน มีความหนาตั้งแต่ไม่กี่เมตรถึงกว่า 20 เมตร ประเทศไทยพบในแหล่งเดียวกับแหล่งเคโอลิไนต์ ส่วนใหญ่เป็นแหล่งเล็กที่อยู่ใกล้แหล่งถ่านหิน ในจังหวัดลำปาง นอกจากนี้ยังสามารถพบได้อีกในจังหวัดเชียงราย เชียงใหม่ ลำพูน แพร่ สุโขทัย อุทัยธานี อุตรดิตถ์ กาญจนบุรี ลพบุรี ปราจีนบุรี ราชบุรี พิจิตร ชลบุรี ระยอง ชุมพร ระนอง พังงา ภูเก็ต สุราษฎร์ธานี และนครศรีธรรมราช (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

ดินเบา ไดอะทอไมต์ หรือไดอะตอมเมเชียสเอิร์ท

ดินเบา คือ สารประกอบ opaline silica ที่เกิดจากซากพืชเซลล์เดี่ยวที่เรียกว่าไดอะตอม ซึ่งอาศัยอยู่ในน้ำ ตกตะกอนทับถมลงสู่ก้นทะเลสาบหรือท้องทะเลกลายเป็นชั้น เรียกว่าไดอะตอมไมต์ มีรูพรุน ส่วนใหญ่มักจะไม่บริสุทธิ์เพราะมีแร่ดินชนิดอื่น ๆ ปน ดินเบาประกอบด้วยซิลิกา (silica) ซึ่งมีน้ำปนอยู่ด้วย มีโครงสร้างที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เรียกว่า ไดอะตอม ซึ่งแต่ละเซลล์อาจจะมีความยาวตั้งแต่ 0.005-0.4 มิลลิเมตร ดินเบาบริสุทธิ์มักจะมีสีขาว แต่ถ้ามีมลทินจะมีสีอื่น ๆ เช่น เทา น้ำตาล หรือค่อนข้างเขียว (อุบลศรี ชัยสาม และเยาวลักษณ์ นิสสกา, 2537)

ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ของดินเบา เกิดจากการตกทับถมกันของเปลือกหรือโครงสร้างส่วนแข็งของสาหร่ายเซลเดียวที่เรียกไดอะตอมจำนวนมากมายและมีตะกอนพัดพาดขนาดละเอียดสะสมปะปนในชั้นด้วย บริเวณที่ทับถมมักเป็นแหล่งที่ไดอะตอมเจริญพันธุ์ได้ดี ซึ่งได้แก่ สภาพแวดล้อมในน้ำทะเล น้ำกร่อย และน้ำจืด รวมไปถึงบางพื้นที่ที่เคยเป็นน้ำแข็ง พุน้ำร้อน หรือดินที่มีความชุ่มชื้น แต่บริเวณที่พบมากและเป็นแหล่งแร่ในเชิงเศรษฐกิจของโลกมักเป็นเขตน้ำจืดที่มีน้ำใน และมีการเติมสารซิลิกาเข้าไปในแอ่งสะสมตัว อย่างต่อเนื่องเพียงพอที่จะให้ไดอะตอมนำไปใช้สังเคราะห์เป็นเปลือก ดังนั้นจึงมักพบร่วมกับพื้นที่ภูเขาไฟเดิม ซึ่งสามารถให้ซิลิกาทั้งในรูปของตะกอนน้ำพา สารละลาย และขี้เถ้าจากการระเบิด ประเทศไทยพบแหล่งดินเบาบริเวณอำเภอเมือง เกาะคาแ แม่ทา และสบปราบ จังหวัดลำปาง

ดินมาร์ล

ดินมาร์ล หมายถึง หินที่มีเนื้อค่อนข้างร่วน ประกอบด้วยไลม์คาร์บอเนต (Lime Carbonate) และดิน (Clay) ในอัตราส่วนร้อยละ 35-65 ซึ่งหมายความว่า ถ้ามีไลม์คาร์บอเนต ร้อยละ 35 จะมีดินปนอยู่ด้วยถึงร้อยละ 65 หรือถ้ามีไลม์คาร์บอเนตร้อยละ 65 ก็จะมีดินปนอยู่เพียงร้อยละ 65 คุณลักษณะของดินมาร์ลที่กำหนดเป็นมาตรฐานการซื้อ-ขาย กำหนดแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCo_3$) ต่ำสุดร้อยละ 90 และแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) สูงสุดร้อยละ 3 (อุบลศรี ชัยสาม และเยาวลักษณ์ นิสสกา, 2537)

ดินเหนียวสี

ดินเหนียวสีมีการใช้ประโยชน์หลากหลายในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์และอื่น ๆ เพื่อให้เกิดความชัดเจน จึงมีประกาศกำหนดคุณสมบัติและลักษณะของดินเหนียวสีเพิ่มเติมตามกฎหมาย อ้างอิงตามประกาศกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เรื่อง กำหนดคุณสมบัติและคุณลักษณะของดินอุตสาหกรรมชนิดดินเหนียวสี และชนิดดินซีเมนต์ (ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 124 ตอนพิเศษ 157 ง หน้า 8 ลงวันที่ 17 ตุลาคม 2550 แห่งพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2510 ทั้งนี้เนื่องจากยังไม่มีการออกอนุบัญญัติแห่งพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2560) โดยกำหนดให้ ดินเหนียวสี หมายถึง ดินที่ใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานจำพวกที่ 3 ที่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกที่ผลิตกระเบื้องและเครื่องสุขภัณฑ์ ตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งประกอบด้วยแร่ดินเป็นส่วนใหญ่ เช่น เคโอลิไนต์ ฮาลลอยไซต์ มอนต์มอริลโลไนต์ อิลไลต์ และมีแร่อื่น ๆ เป็นส่วนน้อย เช่น ควอตซ์ เฟลด์สปาร์ และโลหะออกไซด์บางชนิด มีคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีความเหนียวพอปั้นขึ้นรูปได้ และมีสีหลังเผาที่อุณหภูมิสูงเป็นสีเข้ม

บอลล์เคลย์

บอลล์เคลย์ หรือ ดินเหนียวอุตสาหกรรม หรือ ดินดำ คือดินที่มีแร่เคโอลิไนต์ (kaolinite) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญ โดยเฉพาะพวกที่มีโครงสร้างจัดอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ (disordered kaolinite) มีขนาดเม็ดละเอียดมาก และมักพบแร่อิลไลต์ (illite) มอนต์มอริลโลไนต์ และสารอินทรีย์ (carbonaceous) ปนอยู่ด้วยเสมอ บอลล์เคลย์ต่างจากดินขาว (Kaolinite) ตรงที่มีอินทรีย์วัตถุเจือปน จึงอาจมีสีต่าง ๆ เช่น สีขาว เทา เหลือง ดำ ที่มีความละเอียด มีความเหนียวดี เมื่อแห้งจะมีความแข็งแรงและเมื่อเผาแล้วถึงจะให้สีที่อ่อนลง (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ของบอลล์เคลย์ มีลักษณะการเกิดเป็นดินทุติยภูมิภายหลังการเกิดแร่เคโอลิไนต์ โดยเริ่มจากการผุพังและแปรสภาพมาจากแร่อื่นโดยเฉพาะแร่จำพวกอลูมิเนียมซิลิเกต เช่น แร่เฟลด์สปาร์ ซึ่งเกิดจากหินแกรนิต สายเพกมาไทต์ หรือหินภูเขาไฟบางประเภท แร่เฟลด์สปาร์ดังกล่าวเมื่อผุสลายจะกลายเป็นแร่ดินเคโอลิไนต์ และถูกพัดพาจากแหล่งกำเนิดมาสะสมตัวแบบหินชั้นตามที่ลุ่มชื้น แอ่งน้ำ หรือทะเลสาบ ร่วมกับตะกอนดินและทรายแป้งที่มีค่าซิลิกาและอะลูมินาสูง เกิดการปะปนของเนื้อดินทำให้ดินบอลล์เคลย์ที่เกิดขึ้นมีค่าซิลิกาและอะลูมินาสูงผิดปกติ การสะสมตัวดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับการเกิดถ่านหินและตะกอนดินในแอ่งทะเลสาบโบราณ บอลล์เคลย์เมื่อถูกฝังกลบเป็นเวลาจะทำให้เนื้อดินประสานกันดีขึ้นและมีความเหนียวลดลง ประเทศไทยพบแหล่งบอลล์เคลย์ในจังหวัดเชียงใหม่ ลำปาง เชียงราย ปราจีนบุรี สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

3.9.2 การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ของดินอุตสาหกรรม

การปริมาณปริมาณทรัพยากรแร่ของดินอุตสาหกรรม มี 2 ลักษณะ ดังนี้

1) ลักษณะที่เป็นสายแร่ คำนวณดังสมการ

$$M = V \times G \times D$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)
V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)
G = คาความสมบูรณ์ของสายแร่
D = คาความถวงจำเพาะของดินอุตสาหกรรม

2) ลักษณะสะสมตัวเป็นชั้นดินอุตสาหกรรม คำนวณตามสมการดังนี้

$$M = V \times D \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)
V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)
D = คาความถวงจำเพาะของดินอุตสาหกรรม
K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน

ทั้งนี้ ค่าความถ่วงจำเพาะของดินอุตสาหกรรมได้มาจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน หรือบางกรณีอาจมีการกำหนดเพิ่มเติม เช่น การกำหนดความถ่วงจำเพาะของดินอุตสาหกรรมซีเมนต์ เท่ากับ 2.0 (อ้างอิงตามตารางกำหนดค่าความถ่วงจำเพาะของแร่ ตามมติคณะกรรมการตามพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2510 เมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2560)

3.10 ทรายอุตสาหกรรม

3.10.1 คำจำกัดความ “ทรายอุตสาหกรรม”

“ทรายอุตสาหกรรม” ในที่นี้หมายถึงดินอุตสาหกรรมที่มีการกำหนดตามกฎหมาย ตามมาตรา 4 แห่งพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2560 กำหนดให้ “แร่” หมายรวมถึงหินดินหรือทรายตามที่กฎกระทรวงกำหนดเป็นดินอุตสาหกรรมหรือทรายอุตสาหกรรม อ้างอิงตามกฎกระทรวงกำหนดหินเป็นหินประดับหรือหินอุตสาหกรรม และดินหรือทรายเป็นดินอุตสาหกรรมหรือทรายอุตสาหกรรม พ.ศ. 2563 (ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 137 ตอนที่ 13 ก ลงวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2563) กำหนดให้ทรายแก้วหรือทรายซิลิกาเป็นทรายอุตสาหกรรม

ทรายแก้ว (glass sand) คือ ทรายบริสุทธิ์ที่มีซิลิกา (SiO_2) มากกว่าร้อย 95 มีเหล็ก (Fe_2O_3) ตลอดจนสารอื่น ๆ เจือปนเล็กน้อย ทรายละเอียดนี้เหมาะสำหรับใช้ในอุตาหกรรมทำแก้วและกระจกต่าง ๆ ซึ่งขนาดของเม็ดทรายควรจะไล่เลี่ยนกันไม่ควรใหญ่กว่า 20 เมซ (0.84 มิลลิเมตร) และไม่ควรเล็กกว่า 100-200 เมซ (อุบลศรี ชัยสาม และเยาวลักษณ์ นิสสกา, 2537)

ทรายแก้วมีการนำไปใช้ประโยชน์ในกิจการต่าง ๆ หลายด้าน ทั้งในการก่อสร้าง ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมแก้ว อุตสาหกรรมกระจก และอุตสาหกรรมเซรามิก เป็นต้น รวมถึงการนำไปใช้ประโยชน์ในกิจการอื่น ๆ เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการบริหารจัดการทรายอุตสาหกรรม จึงมี

ประกาศกำหนดคุณสมบัติและลักษณะของทรายแก้วเพิ่มเติมตามกฎหมาย อ้างอิงตามประกาศกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ เรื่อง กำหนดคุณสมบัติและคุณลักษณะของทรายแก้วหรือทรายซิลิกา (ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 128 ตอนที่ 129 ง หน้า 28 ลงวันที่ 1 กันยายน 2554 แห่งพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2510 ทั้งนี้เนื่องจากยังไม่มีการออกอนุบัญญัติแห่งพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2560) โดยกำหนดให้ ทรายแก้วหรือทรายซิลิกา หมายถึง (1) ทราย หรือทรายที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ คัดเศษดินและเศษผลออกที่มีปริมาณซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 95 โดยน้ำหนักขึ้นไป และคัดขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ 50 ตามมาตรฐาน ASTM Specification E-11-70 มีส่วนค้างตะแกรงไม่เกินร้อยละ 20 และ (2) ทรายที่มีวัตถุประสงค์นำไปผ่านขบวนการแต่งแร่ เพื่อให้มีคุณสมบัติตาม 1 หรือนำไปใช้อุตสาหกรรมแก้ว อุตสาหกรรมกระจก หรืออุตสาหกรรมเซรามิก

ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ของทรายแก้ว เกิดจากการตกสะสมแบบทุติยภูมิในตะกอนทรายจากกระบวนการผุพังและพัดพาจากหินเดิม หรือหินต้นกำเนิดที่มีส่วนประกอบของแร่ซิลิกาสูง ลักษณะธรณีวิทยาและสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยสำหรับเป็นแหล่งสะสมตัวของทรายแก้ว เช่น ตามแนวชายฝั่งทะเล ทางน้ำเก่า เป็นต้น หินต้นกำเนิดของทรายแก้วเป็นหินชั้น หินแปร และหินอัคนี ที่มีส่วนประกอบเป็นแร่ควอตซ์หรือซิลิกาในปริมาณสูง เช่น หินทราย หินควอร์ตไซต์ หินแกรนิต หินไรโอไรต์ เป็นต้น

3.10.2 การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ของทรายอุตสาหกรรม

การปริมาณปริมาณทรัพยากรแร่ของทรายแก้ว คำนวณดังสมการ

$$M = V \times D \times K$$

M = ปริมาณทรัพยากรแร่ (เมตริกตัน)

V = ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)

D = คาความถวงจำเพาะของทรายแก้ว

K = ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรผันในการประเมิน

ทั้งนี้ ความถ่วงจำเพาะของดินอุตสาหกรรมได้มาจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของดิน หรือบางกรณีอาจมีการกำหนดเพิ่มเติม เช่น กำหนดค่าความถ่วงจำเพาะของทรายแก้วเท่ากับ 2.60 (อ้างอิงตามตารางกำหนดค่าความถ่วงจำเพาะของแร่ตามมติคณะกรรมการตามพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ. 2510 เมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2560)

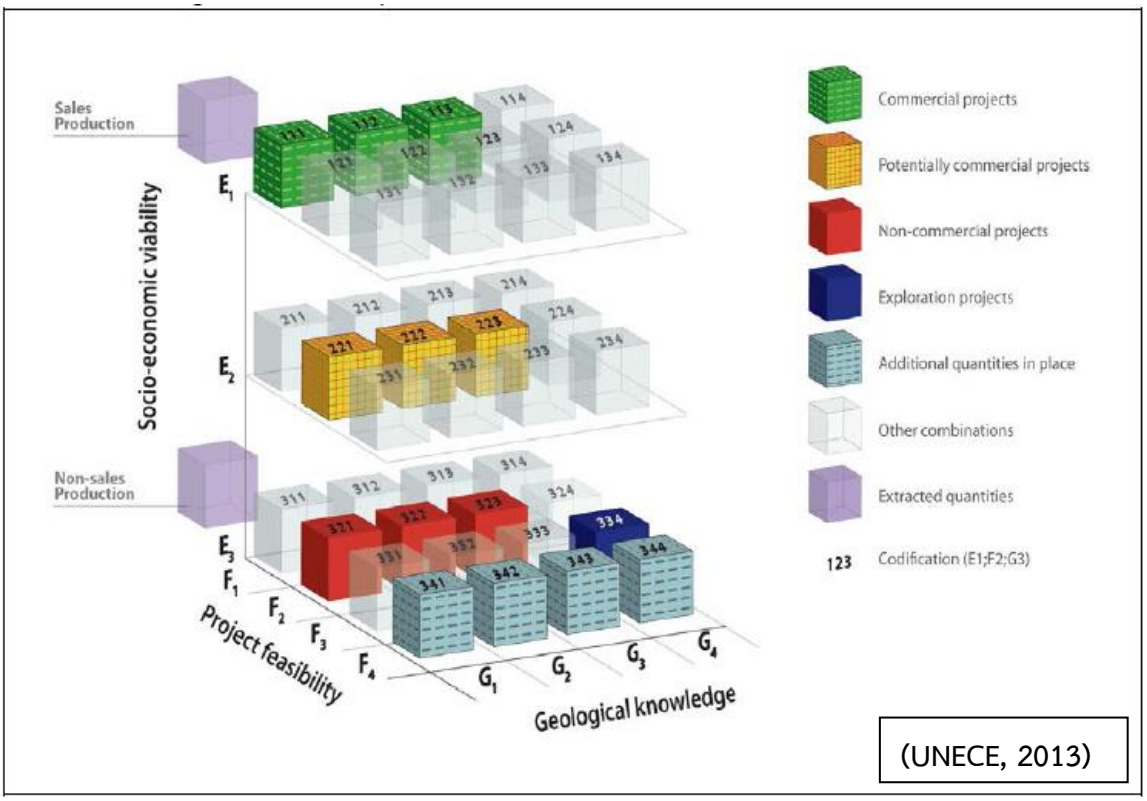
บทที่ 4
การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เชิงคุณภาพ

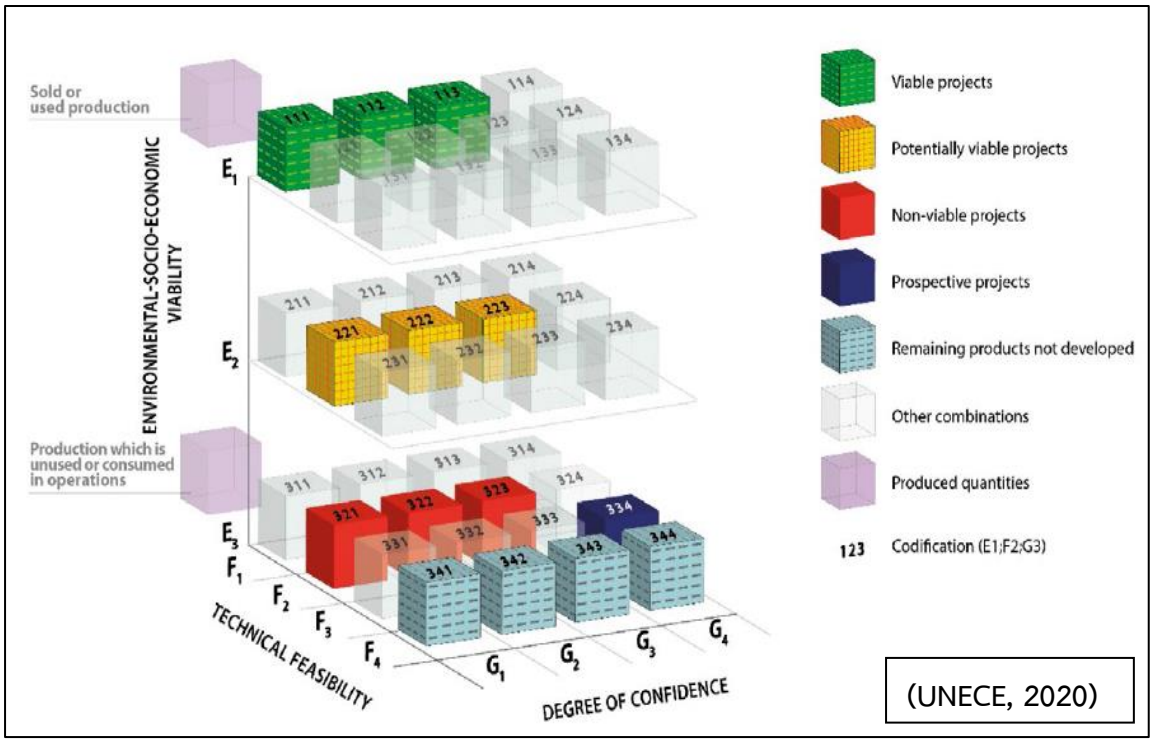
การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เชิงคุณภาพ เป็นการประเมินโดยใช้การจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC (United Nations Framework Classification for Resources) และระบบการบริหารจัดการทรัพยากร (United Nation Resources Management System : UNRMS) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งจะทำให้ทราบถึงสถานภาพของแต่ละโครงการเป็นรายโครงการ และสามารถพิจารณาในภาพรวมครอบคลุมทุกมิติ สามารถเปรียบเทียบและจัดลำดับความสำคัญของโครงการพัฒนาทรัพยากรแต่ละแหล่ง โครงการที่พัฒนาสำเร็จ และโครงการที่ต้องชะลอหรือยุติเนื่องจากปัจจัยและปัญหาต่าง ๆ รายละเอียดดังนี้

4.1 การจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC (United Nations Framework Classification for Resources)

การจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC (United Nations Framework classification for Resources) เป็นกรอบแนวทางการจำแนกทรัพยากรที่มีการขับเคลื่อนและพัฒนาโดยองค์การสหประชาติ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดกรอบแนวทางการจำแนกทรัพยากรแร่ (minerals) รวมถึงทรัพยากรประเภทต่าง ๆ (เช่น solar, wind, geothermal, hydro-marine, bioenergy, injection for storage, hydrocarbons, nuclear fuels, water) เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันในระดับสากลและนำไปสู่การบริหารจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน

การจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC อ้างอิงตามเอกสารเผยแพร่ขององค์การสหประชาติ เรื่อง “United Nations Framework Classification for Resources Update 2019” (ECE ENERGY SERIES No. 62) (UNECE, 2020) ซึ่งเป็นฉบับแก้ไขปรับปรุงมาจาก “United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2009 incorporating Specification for its Application (ECE ENERGY SERIES No. 42) (UNECE, 2013) ที่ได้มีการเผยแพร่เมื่อ ปี ค.ศ. 2013 ซึ่งรายละเอียดการปรับปรุงส่วนใหญ่แล้วหลักการพื้นฐานหลักและกรอบแนวทางการจำแนกทรัพยากรไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนที่มีการปรับปรุงคือมีการแก้ไขชื่อปัจจัยที่ใช้ในการประเมินให้ครอบคลุมและเหมาะสมกับทรัพยากรประเภทต่าง ๆ มากขึ้น และขยายมุมมองพิจารณาไม่มุ่งเน้นเฉพาะแต่ด้านเศรษฐกิจแต่เพียงด้านเดียว และเพิ่มความสำคัญด้านการบริหารจัดการทรัพยากรให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น โดยเดิมปัจจัยหลักที่ใช้ในการพิจารณาใช้ชื่อปัจจัย socio-economic viability, project feasibility , geological knowledge ปรับแก้ไขเป็น environmental-socio-economic viability, technical feasibility, degree of confidence ตามลำดับ และมีการเปลี่ยนชื่อการจำแนกโครงการ โดยเดิมกำหนดเป็น commercial projects, potentially commercial projects, non-commercial projects ปรับแก้ไขเป็น viable projects, potentially viable projects, non-viable projects การเปรียบเทียบระหว่างการจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC (UNECE, 2013) และ UNFC (ฉบับปรับปรุง) (UNECE, 2020) แสดงดังรูปที่ 4.1





รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบระหว่างการจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC (UNECE, 2013) และการจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC ฉบับปรุงปรุง (UNECE, 2020)

หลักการพื้นฐานของการจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC เป็นการประเมินระดับรายโครงการ (project-based) เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้และความสำเร็จของโครงการพัฒนาทรัพยากรมาใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน โดยพิจารณาปัจจัยหลัก 3 ด้าน

หลักการพื้นฐานของการจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC เป็นการประเมินระดับรายโครงการ (project-based) เพื่อพิจารณาความเป็นไปได้และความสำเร็จของโครงการพัฒนาทรัพยากรมาใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน โดยพิจารณาปัจจัยหลัก 3 ด้าน ประกอบด้วย

1) ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ (Environmental-socio-economic viability: E) เป็นการพิจารณาราคาตลาด (market prices) กฎหมาย (relevant legal) กฎข้อบังคับ (regulatory) สังคม (social) สิ่งแวดล้อม (environmental) และเงื่อนไขสัญญา (contractual conditions) ซึ่งมีการจำแนกออกเป็น 3 ระดับหลัก (E1, E2, E3) แสดงดังตารางที่ 4.1 การแบ่งระดับย่อยแสดงดังตารางที่ 4.2

2) ปัจจัยด้านความเป็นไปได้ทางเทคนิคของโครงการ (Technical Feasibility: F) เป็นการพิจารณาเทคโนโลยี การพัฒนาโครงการ ซึ่งมีการจำแนกออกเป็น 4 ระดับหลัก (F1, F2, F3, F4) แสดงดังตารางที่ 4.3 การแบ่งระดับย่อยแสดงดังตารางที่ 4.4

3) ปัจจัยด้านความเชื่อมั่นทางธรณีวิทยาในการประเมินปริมาณทรัพยากร (Degree of confidence in the estimate of the quantities of products from the project: G) โดยมีการจำแนกออกเป็น 4 ระดับหลัก (G1, G2, G3, G4) แสดงดังตารางที่ 4.5 การแบ่งระดับย่อยแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.1 ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ (Environmental-socio-economic viability: E)

Category	Definition	Supporting Explanation
E1	Development and operation are confirmed to be environmentally-socially-economically viable.	Development and operation are environmentally-socially-economically viable on the basis of current conditions and realistic assumptions of future conditions. All necessary conditions have been met (including relevant permitting and contracts) or there are reasonable expectations that all necessary conditions will be met within a reasonable timeframe and there are no impediments to the delivery of the product to the user or market. Environmental-socio-economic viability is not affected by short-term adverse conditions provided that longer-term forecasts remain positive.
E2	Development and operation are expected to become environmentally-socially-economically viable in the foreseeable future.	Development and operation are not yet confirmed to be environmentally-socially-economically viable but, on the basis of realistic assumptions of future conditions, there are reasonable prospects for environmental-socio-economic viability in the foreseeable future.
E3	Development and operation are not expected to become environmentally-socially-economically viable in the foreseeable future or evaluation is at too early a stage to determine environmental-socio-economic viability.	On the basis of realistic assumptions of future conditions, it is currently considered that there are not reasonable prospects for environmental-socio-economic viability in the foreseeable future; or, environmental-socio-economic viability cannot yet be determined due to insufficient information. Also included are estimates associated with projects that are forecast to be developed, but which will be unused or consumed in operations.

ตารางที่ 4.2 การแบ่งระดับย่อยของปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ (Environmental-socio-economic viability: E)

Category	Sub-Category	Sub-Category Definition
E1	E1.1	Development is environmentally-socially-economically viable on the basis of current conditions and realistic assumptions of future conditions.
	E1.2	Development is not environmentally-socially-economically viable on the basis of current conditions and realistic assumptions of future conditions, but is made viable through government subsidies and/or other considerations.
E2	No Sub-categories defined	
E3	E3.1	Estimate of product that is forecast to be developed, but which will be unused or consumed in operations.
	E3.2	Environmental-socio-economic viability cannot yet be determined due to insufficient information.
	E3.3	On the basis of realistic assumptions of future conditions, it is currently considered that there are not reasonable prospects for environmental-socio-economic viability in the foreseeable future.

ตารางที่ 4.3 ปัจจัยด้านความเป็นไปได้ทางเทคนิคของโครงการ (Technical Feasibility: F)

Category	Definition	Supporting Explanation
F1	Technical feasibility of a development project has been confirmed.	Development or operation is currently taking place or, sufficiently detailed studies have been completed to demonstrate the technical feasibility of development and operation. A commitment to develop should have been or will be forthcoming from all parties associated with the project, including governments.
F2	Technical feasibility of a development project is subject to further evaluation.	Preliminary studies of a defined project provide sufficient evidence of the potential for development and that further study is warranted. Further data acquisition and/or studies may be required to confirm the feasibility of development.
F3	Technical feasibility of a development project cannot be evaluated due to limited data.	Very preliminary studies of a project, indicate the need for further data acquisition or study in order to evaluate the potential feasibility of development.
F4	No development project has been identified.	Remaining quantities of product not developed by any project. These are quantities which, if produced, could be bought, sold or used (i.e. electricity, heat, etc., not wind, solar irradiation, etc.).

ตารางที่ 4.4 การแบ่งระดับย่อยของปัจจัยด้านความเป็นไปได้ทางเทคนิคของโครงการ (Technical Feasibility: F)

Category	Sub-Category	Sub-Category Definition
F1	F1.1	Production is currently taking place.
	F1.2	Capital funds have been committed and implementation of the development is underway.
	F1.3	Studies have been completed to demonstrate the technical feasibility of development and operation. There shall be a reasonable expectation that all necessary approvals/contracts for the project to proceed to development will be forthcoming
F2	F2.1	Project activities are ongoing to justify development in the foreseeable future.
	F2.2	Project activities are on hold and/or where justification as a development may be subject to significant delay.
	F2.3	There are no plans to develop or to acquire additional data at the current time due to limited potential.
F3	F3.1	Site-specific studies have identified a potential development with sufficient confidence to warrant further testing.
	F3.2	Local studies indicate the potential for development in a specific area but requires more data acquisition and/or evaluation in order to have sufficient confidence to warrant further testing.
	F3.3	At the earliest stage of studies, where favourable conditions for the potential development in an area may be inferred from regional studies.
F4	F4.1	The technology necessary is under active development, following successful pilot studies, but has yet to be demonstrated to be technically feasible for this project.
	F4.2	The technology necessary is being researched, but no successful pilot studies have yet been completed.
	F4.3	The technology is not currently under research or development.

ตารางที่ 4.5 ปัจจัยด้านความเชื่อมั่นทางธรณีวิทยาในการประเมินปริมาณทรัพยากร (Degree of confidence in the estimate of the quantities of products from the project: G)

Category	Definition	Supporting Explanation
G1	Product quantity associated with a project that can be estimated with a high level of confidence.	Product quantity estimates may be categorized discretely as G1, G2 and/or G3 (along with the appropriate E and F Categories), based on the degree of confidence in the estimates (high, moderate and low confidence, respectively) based on direct evidence. Alternatively, product quantity estimates may be categorized as a range of uncertainty as reflected by either (i) three specific deterministic scenarios (low, best and high cases) or (ii) a probabilistic analysis from which three outcomes (P90, P50 and P10)[3] are selected. In both methodologies (the "scenario" and "probabilistic" approaches), the estimates are then classified on the G Axis as G1, G1+G2 and G1+G2+G3 respectively. In all cases, the product quantity estimates are those associated with a project. Additional Comments: The G axis Categories are intended to reflect all significant uncertainties (e.g. source uncertainty, geologic uncertainty, facility efficiency uncertainty, etc.) impacting the estimate forecast for the project. Uncertainties include variability, intermittency and the efficiency of the development and operation (where relevant). Typically, the various uncertainties will combine to provide a full range of outcomes. In such cases, categorization should reflect three scenarios or outcomes that are equivalent to G1, G1+G2 and G1+G2+G3.
G2	Product quantity associated with a project that can be estimated with a moderate level of confidence.	
G3	Product quantity associated with a project that can be estimated with a low level of confidence.	
G4	Product quantity associated with a Prospective Project, estimated primarily on indirect evidence.	A Prospective Project is one where the existence of a developable product is based primarily on indirect evidence and has not yet been confirmed. Further data acquisition and evaluation would be required for confirmation. Where a single estimate is provided, it should be the expected outcome but, where possible, a full range of uncertainty should be calculated for the prospective project. In addition, it is recommended that the chance of success (probability) that the prospective project will progress to a Viable Project is assessed and documented.

ตารางที่ 4.6 การแบ่งระดับย่อยของปัจจัยด้านความเชื่อมั่นทางธรณีวิทยาในการประเมินปริมาณทรัพยากร (Degree of confidence in the estimate of the quantities of products from the project: G)

Category	Sub-Category	Sub-Category Definition
G4	G4.1	Low estimate of the quantities.
	G4.2	Incremental amount to G4.1 such that G4.1+G4.2 equates to a best estimate of the quantities.
	G4.3	Incremental amount to G4.1+G4.2 such that G4.1+G4.2+G4.3 equates to a high estimate of the quantities.

การแสดงผลการจำแนกตามระบบ UNFC เป็นใช้ระบบตัวเลข (a numerical coding system) แสดงชุดรหัส เรียงลำดับตามปัจจัยทั้ง 3 ด้าน (E,F,G) พร้อมระบุค่าตัวเลขของระดับของแต่ละปัจจัย เช่น E1,F1,G1 โดยจะมีการจัดลำดับกลุ่มโครงการ (class) เช่น โครงการที่พัฒนาสำเร็จ (Viable Projects) (E1;F1;G1,2,3) โครงการที่มีศักยภาพ (Potentially Viable Projects) (E2;F2;G1,2,3) โครงการที่พัฒนาไม่สำเร็จ (Non-Viable Projects) (E2;F2;G1,2,3) โครงการสำรวจ (Prospective Projects) (E3;F3;G4) การจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC และการจัดลำดับกลุ่มโครงการพร้อมรายละเอียดชุดรหัสหลัก UNFC (EFG) (UNECE, 2020) แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC และการจัดลำดับกลุ่มโครงการพร้อมรายละเอียดชุดรหัสหลัก UNFC (EFG) (UNECE, 2020)

	Produced	Sold or used production Production which is unused or consumed in operations[a]			
		Class	Minimum Categories		
			E	F	G[b]
Total Products	The project's environmental-socio-economic viability and technical feasibility has been confirmed	Viable Projects[c]	1	1	1, 2, 3
	The project's environmental-socio-economic viability and/or technical feasibility has yet to be confirmed	Potentially Viable Projects[d]	2[e]	2	1, 2, 3
		Non-Viable Projects[f]	3	2	1, 2, 3
	Remaining products not developed from identified projects[g]		3	4	1, 2, 3
	There is insufficient information on the source to assess the project's environmental-socio-economic viability and technical feasibility	Prospective Projects	3	3	4
	Remaining products not developed from prospective projects[g]		3	4	4

a. Future production that is either unused or consumed in the project operations is categorized as E3.1. These can exist for all classes of recoverable quantities.

b. G categories may be used discretely, or in cumulative scenario form (e.g. G1+G2).

c. Estimates associated with Viable Projects are defined in many classification systems as Reserves, but there are some material differences between the specific definitions that are applied within different industries and hence the term is not used here.

d. Not all Potentially Viable Projects will be developed.

e. Potentially Viable Projects may satisfy the requirements for E1.

f. Non-Viable Projects include those that are at an early stage of evaluation in addition to those that are considered unlikely to become viable developments within the foreseeable future.

g. Remaining products not developed from identified projects or prospective projects may become developable in the future as technological or environmental-socio-economic conditions change. Some or all of these estimates may never be developed due to physical and/or environmental-socio-economic constraints. This classification may be of less value to renewable resource projects but can still be used to indicate the amount of unrealized potential. It is emphasised that the remaining products are quantities which, if produced, could be bought, sold or used (i.e. electricity, heat, etc., not wind, solar irradiation, etc.).

นอกจากนี้ยังสามารถประเมินโครงการอย่างละเอียดด้วยชุดรหัสย่อยของแต่ละปัจจัย เช่น โครงการที่พัฒนาสำเร็จ (กำลังดำเนินการผลิต) (Viable Projects: On Production) (E1;F1.1;G1,2,3) โครงการที่มีศักยภาพ (ถูกระงับ) (Potentially Viable Projects: Development Pending) (E2;F2.1;G1,2,3) การจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC และการจัดลำดับกลุ่มโครงการพร้อมรายละเอียดชุดรหัสย่อย UNFC (EFG) (UNECE, 2020) แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การจำแนกทรัพยากรตามระบบ UNFC และการจัดลำดับกลุ่มโครงการพร้อมรายละเอียดชุดรหัสย่อย UNFC (EFG) (UNECE, 2020)

UNFC Classes Defined by Categories and Sub-categories						
Total Products	Produced	Sold or used production				
		Production which is unused or consumed in operations				
	Class		Sub-class	Categories		
				E	F	G
	Known Sources	Viable Projects	On Production	1	1.1	1, 2, 3
			Approved for Development	1	1.2	1, 2, 3
			Justified for Development	1	1.3	1, 2, 3
		Potentially Viable Projects	Development Pending	2[b]	2.1	1, 2, 3
			Development On Hold	2	2.2	1, 2, 3
		Non-Viable Projects	Development Unclarified	3.2	2.2	1, 2, 3
			Development Not Viable	3.3	2.3	1, 2, 3
		Remaining products not developed from identified projects		3.3	4	1, 2, 3
	Potential Sources	Prospective Projects	[No sub-classes defined]	3.2	3	4
		Remaining products not developed from prospective projects		3.3	4	4

4.2 กรณีศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบ UNFC

4.2.1 กรณีศึกษาที่ 1 การประยุกต์ใช้ระบบ UNFC ของโครงการพัฒนาแหล่งยูเรเนียมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของสหพันธ์สาธารณรัฐไนจีเรีย

ตัวอย่างกรณีศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบ UNFC ของโครงการพัฒนาแหล่งยูเรเนียมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของสหพันธ์สาธารณรัฐไนจีเรีย (UNECE, 2019) (ตารางที่ 4.9) แสดงการนำระบบ UNFC เป็นเครื่องมือใช้ในการประเมินปริมาณทรัพยากร และประเมินความสำเร็จของการพัฒนาโครงการแต่ละแหล่ง ครอบคลุมทุกมิติ (EFG) จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าการพัฒนาแหล่งยูเรเนียมในประเทศไนจีเรีย ทั้ง 4 แหล่ง สามารถจัดลำดับความสำคัญของแต่ละโครงการโดยเน้นปริมาณและคุณภาพของยูเรียมจากผลการสำรวจ แสดงรายละเอียดดังตาราง พบว่าส่วนใหญ่เป็นโครงการที่ยังไม่คุ้มค่าเชิงพานิชย์และโครงการสำรวจเท่านั้น อย่างไรก็ตามข้อมูลผลการสำรวจธรณีฟิสิกส์ทางอากาศของทั้งประเทศที่มีข้อมูลใหม่เพิ่มเติม สามารถจะนำมาใช้และคัดเลือกแหล่งที่น่าสนใจทำการสำรวจแสวงหาและพัฒนาแหล่งยูเรเนียมในอนาคตต่อไป

ตารางที่ 4.9 ตัวอย่างกรณีศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบ UNFC ของโครงการพัฒนาแหล่งยูเรเนียมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของสหพันธ์สาธารณรัฐไนจีเรีย (UNECE, 2019)

	Project and location	*Geology*	*Quantity of U resource*	*Average U grade in ppm*	*UNFC Class*	*E*	*F*	*G*	*Remarks*
1	Gumchi prospect, North-East Nigeria	Uranium in anomalies in brecciated, silicified and mylonitized porphyritic granites	100 t U	2000 ppm	Non-Commercial Project	3.2	3.1	3	Priority 1 It has the best uranium grade and best geological potential in this region.
2	Mayo- lope syncline—Zona prospect, North-East Nigeria	Uranium in Cretaceous Bima Sandstone	130 t U	1826 ppm and 2375 ppm	Non-Commercial Project	3	3.2	3	Priority 2 It has the second-best uranium grade with good geological potential.
3	Mika prospect, North-East Nigeria	Uranium mineralisation in rhyolite	52 t U	540 ppm	Non-Commercial Project	3	3.3	3	Priority 3 It has the third-best uranium grade and good geological potential.
4	Gabrunde prospect, North-West Nigeria	Uranium-bearing pyrochlore mineralization in peralkaline granite	60 t U	215 ppm	Exploration project	3	3	4	Priority 4 It has the least uranium grade and the least geological potential.

4.2.2 กรณีศึกษาที่ 1 การประยุกต์ใช้ระบบ UNFC ของโครงการพัฒนาแหล่งฟอตเฟตในแหล่ง East El-Sebaeya และแหล่ง West El-Sebaeya สาธารณรัฐอาหรับอียิปต์

ตัวอย่างกรณีศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบ UNFC ของโครงการพัฒนาแหล่งฟอตเฟตในแหล่ง East El-Sebaeya และแหล่ง West El-Sebaeya สาธารณรัฐอาหรับอียิปต์ (UNECE, 2019) (ตารางที่ 4.10) แสดงการประเมินโครงการพัฒนาแหล่งฟอตเฟต ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2556 พบว่ามีปริมาณสำรองแร่ตรวจพิสูจน์ (proved reserved) รวม 49 ล้านตัน (34 ล้านตันในแหล่ง East El-Sebaeya และ 15 ล้านตันในแหล่ง West El-Sebaeya) มีปริมาณทรัพยากรแร่บ่งชี้ (indicated resources) รวม 180 ล้านตัน (80 ล้านตันในแหล่ง East El-Sebaeya และ 100 ล้านตันในแหล่ง West El-Sebaeya) ปริมาณทรัพยากรแร่อนุมาน (inferred resources) ของทั้งสองแหล่งรวม 2,384.0 ล้านตัน ซึ่งความเชื่อมั่นทางธรณีวิทยาสามารถเทียบเคียงได้กับ G1 G2 และ G3 (ตารางที่ 4.10) ตัวเลขปริมาณสำรองแร่ (reserves) ดังกล่าวข้างต้น เป็นการรายงานภายใต้โครงการคุ้มค่าที่พัฒนาสำเร็จ (commercial project or viable project) และมีสถานสภาพกำลังผลิต (on production) เทียบได้กับ E1.1 และ F1.1 ของระบบ UNFC ในขณะที่ตัวเลขปริมาณทรัพยากรแร่ (indicated and inferred resources) เป็นการรายงานภายใต้โครงการที่มีศักยภาพ (Potentially Commercial project = Potentially Viable project) และมีสถานภาพการพัฒนาโครงการล่าช้า (developing pending) เทียบได้กับ E2 และ F2.1 ของระบบ UNFC

ตารางที่ 4.10 ตัวอย่างกรณีศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบ UNFC ของโครงการฟอตเฟตในแหล่ง East El-Sebaeya และแหล่ง West El-Sebaeya สาธารณรัฐอาหรับอียิปต์ (UNECE, 2019)

Area	*Project*	*Average P205 Content, %*	*CRIRSCO Template*	*UNFC Class*	*UNFC Sub-class*	*UNFC Categories*			*Phosphate rock quantities (Mt)*	*Estimated Phosphate rock recoverable, Mt*
						E	*F*	*G*		
Nile Valley Deposit	*East El-Sebaeya*	29-30	Proved Reserves	Commercial Project	On Production	1.1	1.1	1	34.0	34.0
			Indicated Resources	Potentially Commercial Project	Development Pending	2	2.1	2	80.0	64.0
			Inferred Resources					3	1,674.0	1,339.2
			Additional Quantities in Place			3.3	4	1,2,3		350.8
	West El-Sebaeya	27	Proved Reserves	Commercial Project	On Production	1.1	1.1	1	15.0	15.0
			Indicated Resources	Potentially Commercial Project	Development Pending	2	2.1	2	100.0	80.0
			Inferred Resources					3	710.0	568.0
			Additional Quantities in Place			3.3	4	1,2,3		162.0
Total quantities (excluding Additional Quantities in Place)										2,100.2
Total quantities (including Additional Quantities in Place)										2,613.0

หมายเหตุ : Commercial project = Viable project = โครงการที่พัฒนาสำเร็จ
Potentially Commercial project = Potentially Viable project = โครงการที่มีศักยภาพ

4.3 ระบบการบริหารจัดการทรัพยากร (United Nation Resources Management System : UNRMS)

เมื่อคราวการประชุมสมัชชาสหประชาชาติ สมัยสามัญครั้งที่ 70 เมื่อวันที่ 25 กันยายน 2558 ประเทศไทยและประเทศสหประชาชาติรวม 193 ประเทศ ร่วมลงนามรับรองวาระการพัฒนาที่ยั่งยืน ค.ศ. 2030 (2030 Agenda for Sustainable Development) ซึ่งเป็นการการพัฒนาของโลกเพื่อร่วมกันบรรลุการพัฒนาทางสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน ภายในปี ค.ศ. 2030 โดยกำหนดให้มีเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) 17 เป้าหมาย ซึ่งนำมาสู่ความสำคัญของการบริหารจัดการทรัพยากรแร่รวมถึงทรัพยากรต่าง ๆ อย่างยั่งยืนในปัจจุบัน

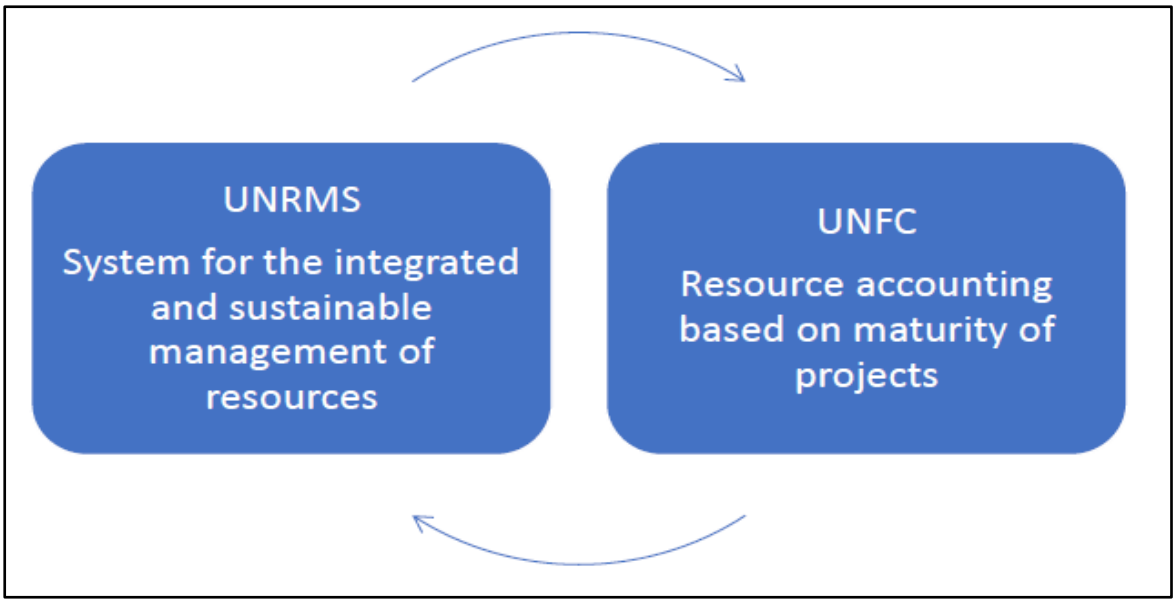
ในปี ค.ศ. 2017 องค์การสหประชาชาติได้พัฒนาระบบการบริหารจัดการแร่ (United Nation Resources Management System : UNRMS) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) พัฒนากรอบการเชื่อมโยงข้อมูลแหล่งทรัพยากร สิ่งแวดล้อม และเศรษฐกิจ เพื่อเป็นข้อมูลการพัฒนาอย่างยั่งยืนของโครงการพัฒนาทรัพยากรที่มีอยู่ รวมถึงโครงการที่มีแผนจะพัฒนาต่อไป (2) เสริมสร้างประสิทธิภาพของการบริหารจัดการเชิงนโยบายและสาธารณะในด้านการตลาดและการพัฒนาอุตสาหกรรมเพื่อกำหนดนโยบายในภาพรวมของประเทศ (3) พัฒนาเครื่องมือและกระบวนการในการบริหารจัดการทรัพยากรที่เป็นมาตรฐานเดียวกันสำหรับภาครัฐ นักลงทุน ชุมชน และทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง

ระบบ UNRMS เป็นการพัฒนาต่อยอดมาจากระบบ UNFC ที่มีการจำแนกทรัพยากรรายโครงการ ทำให้ทราบถึงสถานภาพและความเป็นไปได้และความสำเร็จในการพัฒนาโครงการนำทรัพยากรขึ้นมาใช้ประโยชน์ ภายใต้การประเมินปัจจัยครอบคลุมทุกมิติ (Environmental-socio-economic viability: E/ Technical Feasibility: F/ Degree of confidence in the estimate of the quantities of products from the project: G) จากนั้นจะเข้าสู่หลักการของ UNRMS ซึ่งจะเป็นการ

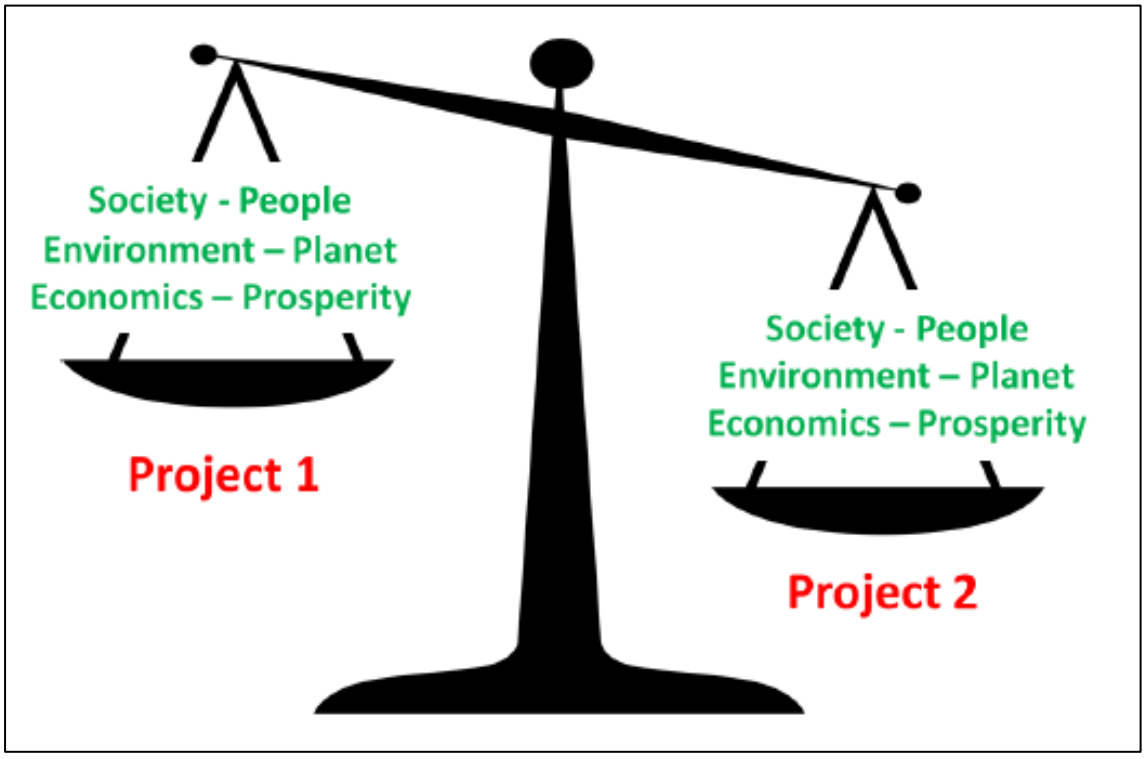
พิจารณาทุกโครงการ เพื่อนำไปสู่บริหารจัดการทรัพยากรในภาพรวมเชิงพลวัตตลอดระยะเวลาของการพัฒนาทรัพยากรขึ้นมาใช้ประโยชน์ (a systematic and dynamic development of resources over time) อย่างเป็นระบบมาตรฐานเดียวกัน หลักการพื้นฐานของระบบ UNRMS อ้างอิงตามเอกสารเผยแพร่ขององค์การสหประชาติ เรื่อง “United Nation Resources Management System : UNRMS” (ECE ENERGY SERIES No. 68) (UNECE, 2020a) ที่ได้มีการเผยแพร่เมื่อ ปี ค.ศ. 2019 รายละเอียดดังนี้

ความเชื่อมโยงระหว่างระบบ UNRMS และระบบ UNFC (รูปที่ 4.2) โดยหลักการพื้นฐานระบบ UNFC เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินและรายงานปริมาณทรัพยากรกร รวมถึงจำแนกประเภทและสถานภาพของแต่ละโครงการ โอกาสและข้อจำกัดต่าง ๆ ความเป็นไปได้ในการที่จะประสบความสำเร็จในการพัฒนาและผลิตของแต่ละโครงการ ณ ช่วงเวลา ที่ทำการประเมินโครงการนั้น ๆ ในขณะที่ระบบ UNRMS เป็นเครื่องมือที่ใช้ประเมินการพัฒนาทรัพยากรแร่อย่างยั่งยืนของทุกโครงการเพื่อบริหารจัดการในภาพรวมตลอดระยะเวลาของการพัฒนาทรัพยากรขึ้นมาใช้ประโยชน์ เช่น หากโครงการใดผ่านการประเมินปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจะยกระดับเป็นโครงการที่ประสบความสำเร็จและสามารถผลิตทรัพยากรขึ้นมาประโยชน์ ในขณะที่โครงการใดที่ไม่ผ่านการประเมินบางปัจจัย เช่น ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม และสังคม โครงการนั้นอาจถูกลดระดับลงและชะลอไว้จนกว่าจะสามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดต่าง ๆ ระบบ UNRMS จึงสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจเชิงนโยบายภาครัฐ ผู้ลงทุนภาคเอกชน ประชาชน รวมถึงผู้มีส่วนได้เสียต่าง ๆ ครอบคลุมทุกมิติทั้งด้านสังคม เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม เพื่อนำไปสู่การพัฒนานำทรัพยากรมาใช้ประโยชน์อย่างยั่งยืน สอดคล้องกับวาระการพัฒนาที่ยั่งยืน ค.ศ. 2030 ของโลกต่อไป

การตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากร สามารถประเมินถึงผลลัพธ์และความสำเร็จ รวมถึงผลกระทบต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นของโครงการพัฒนาทรัพยากรแต่ละแหล่ง ในการบริหารจัดการในภาพรวมจะทำการประเมินโดยเปรียบเทียบจัดลำดับความสำคัญของแต่ละโครงการ (รูปที่ 4.3) ประเมินความเป็นไปได้ในการพัฒนาแหล่งทรัพยากรที่อาจจะเกิดขึ้นและประสบความสำเร็จได้ในอนาคต โดยคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ทั้งด้านสังคม สิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจ จากนั้นติดตามความก้าวหน้าในการพัฒนาตั้งแต่เริ่มต้นโครงการจนสามารถผลิตนำทรัพยากรขึ้นมาใช้สำเร็จได้จริงของโครงการนั้น ๆ โดยใช้การจำแนกทรัพยากรรายโครงการตามระบบ UNFC มาใช้ประโยชน์ในการแสดงสถานภาพและความก้าวหน้าในการยกระดับโครงการ ตั้งแต่โครงการสำรวจ (Prospective Projects) (E3;F3;G4) และโครงการที่มีศักยภาพ (Potentially Viable Projects) (E2;F2;G1,2,3) เพื่อยกระดับเป็นโครงการที่พัฒนาสำเร็จ (Viable Projects) (E1;F1;G1,2,3) ในขณะที่แหล่งทรัพยากรที่มีข้อจำกัดไม่สามารถพัฒนาได้จะถูกจัดเป็นโครงการที่พัฒนาไม่สำเร็จ (Non-Viable Projects) (E2;F2;G1,2,3)



รูปที่ 4.2 ความเชื่อมโยงระหว่างระบบ UNRMS และระบบ UNFC (UNECE, 2020a)



รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบจัดลำดับความสำคัญของแต่ละโครงการพัฒนาทรัพยากร (UNECE, 2020a)

4.4 กรณีศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการบริหารจัดการทรัพยากร (United Nation Resources Management System : UNRMS)

ตัวอย่างกรณีศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบการบริหารจัดการทรัพยากร (United Nation Resources Management System : UNRMS) กรณีศึกษาพัฒนาโครงการพัฒนาแหล่งหินปูนของแหล่ง the Bunge limestone deposit ของราชอาณาจักรสวีเดน (UNECE, 2020b) ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้ระบบการจำแนกทรัพยากรแร่ตามระบบ UNFC แสดงถึงสถานภาพของการพัฒนาโครงการ ซึ่งได้มีการประเมินปัจจัยด้านความเชื่อมั่นทางธรณีวิทยาในการประเมินปริมาณทรัพยากร (Degree of confidence in the estimate of the quantities of products from the project: G) อยู่ในระดับ G1 หรือ ความเชื่อมั่นระดับสูง และปัจจัยด้านความเป็นไปได้ทางเทคนิคของโครงการ (Technical Feasibility: F) อยู่ในระดับ F2 หรือความเป็นไปได้ทางเทคนิคของโครงการตองไดรับการประเมินเพิ่มเติม และการประเมินปัจจัยปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม สังคม และเศรษฐกิจ (Environmental-socio-economic viability: E) ซึ่งมีผลต่อความสำเร็จของการพัฒนาโครงการเป็นอย่างมากในการที่จะได้รับอนุมัติให้มีการผลิตและพัฒนา สถานภาพการพัฒนาโครงการพัฒนาแหล่งหินปูนของแหล่ง the Bunge limestone deposit ของราชอาณาจักรสวีเดน ในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2008 - 2018 แสดงดังตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นถึงการเริ่มมีความพยายามที่จะขออนุมัติพัฒนาและผลิตตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 เป็นต้นมา และมีการชะลอโครงการ จนในที่สุด รัฐบาลได้ติดสินใจยุติการพัฒนาโครงการในปี ค.ศ. 2018 ในที่สุด

ตารางที่ 4.11 ตัวอย่างกรณีศึกษาสถานภาพการพัฒนาโครงการพัฒนาแหล่งหินปูนของแหล่ง the Bunge limestone deposit ของราชอาณาจักรสวีเดน (UNECE, 2020b)

Year	*Court verdict*	*UNFC E Category*
2008	1st instance, application turned down.	E3
2009	2nd instance, partial permit granted.	E2
2010	Supreme Court, sent back the case to the 1st instance.	E2
2011	1st instance, turned down the permit.	E3
2012	2nd instance, permit granted.	E1
2013	Supreme Court, granted partial appeal, due to Natura 2000 evaluation. Case sent back to the 1st instance.	E2
2014	1st instance, permit granted. Case appealed.	E1
2015	2nd instance trial put on hold due to new Natura 2000 proposal.	E2
2015	Swedish Government, Decision on a new Natura 2000 area.	E2
2018	2nd instance, taking on the trial which was on hold since 2015. Permit not granted.	E3
2018	Supreme Court turned down an appeal. The 2018 verdict came into legal force.	E3
The UNFC F and G Categories were at an early stage concluded to be F2 and G1.		

จากกรณีศึกษาจะได้เห็นได้ว่าการนำระบบ UNFC และระบบการบริหารจัดการทรัพยากร UNRMS มาประยุกต์ใช้ จะทำให้ทราบถึงสถานภาพของแต่ละโครงการเป็นรายโครงการ และสามารถพิจารณาในภาพรวม ครอบคลุมทุกมิติ สามารถเปรียบเทียบและจัดลำดับความสำคัญของโครงการพัฒนาทรัพยากรแต่ละแหล่ง โครงการที่พัฒนาสำเร็จ และโครงการที่ต้องชะลอหรือยุติเนื่องจากปัจจัยและปัญหาต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะช่วยในการบริหารจัดการทรัพยากรในภาพรวมและสามารถนำไปประกอบการตัดสินใจเชิงนโยบายในการนำทรัพยากรของประเทศขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ เป็นการคำนวณหาปริมาณของแร่ชนิดต่าง ๆ ในพื้นที่นั้น ๆ โดยการคำนวณหาพื้นที่ของแหล่งแร่ที่มีรูปร่างต่าง ๆ แล้วนำมาคำนวณหาปริมาตรด้วยการคูณกับความหนาหรือความลึกของสายแร่ และนำมาคำนวณรวมกับค่าความถ่วงจำเพาะของหิน ค่าความสมบูรณ์ของสินแร่หรือเกรดแร่ ทั้งนี้ การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยและสภาพแวดล้อมทางด้านธรณีวิทยาต่าง ๆ หลายประการ ได้แก่ ลักษณะการกำเนิดของแหล่งแร่ในแต่ละบริเวณ เช่น ลักษณะแบบสายแร่ แบบฝังประ หรือชั้นกะสะตามร่องน้ำ รวมทั้งวิธีการสำรวจ เช่น การเจาะสำรวจ ขุดร่องสำรวจ หลุมสำรวจ และการเก็บตัวอย่างเป็นระบบกริดหรือสุ่มสำรวจ ซึ่งจะมีวิธีการคำนวณแตกต่างกันไปตามที่กล่าวมาข้างต้น โดยการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่นั้น จะต้องทำการประเมินทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพควบคู่กันไป เพื่อจะได้ทราบถึงปริมาณทรัพยากรแร่ และสถานภาพของแต่ละโครงการเป็นรายโครงการ ซึ่งสามารถพิจารณาในภาพรวม ครอบคลุมทุกมิติ สามารถเปรียบเทียบและจัดลำดับความสำคัญของโครงการพัฒนาทรัพยากรแต่ละแหล่ง โครงการที่พัฒนาสำเร็จ และโครงการที่ต้องชะลอหรือยุติเนื่องจากปัจจัยและปัญหาต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะช่วยในการบริหารจัดการทรัพยากรในภาพรวมและสามารถนำไปประกอบการตัดสินใจเชิงนโยบายในการนำทรัพยากรของประเทศขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมและยั่งยืนต่อไป

ทั้งนี้ การประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องดำเนินการ เนื่องจากแต่ละหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน ต่างก็ต้องการที่จะทราบปริมาณสำรองและทรัพยากรสำรองของแร่ในเชิงปริมาณและคุณภาพ เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนทางด้านทรัพยากรแร่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการบริหารจัดการทรัพยากรแร่ของประเทศให้เกิดประโยชน์สูงสุด แต่อย่างไรก็ตามการที่จะทราบปริมาณปริมาณแร่สำรองที่แท้จริงได้ก็ต่อเมื่อมีการขอประทานบัตร และเปิดการทำเหมืองแล้ว ดังนั้น ปริมาณทรัพยากรแร่ที่ได้จากการคำนวณโดยคู่มือการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่เล่มนี้นั้น เป็นเพียงตัวเลขที่ได้จากการคาดคะเน จากข้อมูลผลสำรวจหรือข้อมูลอื่น ๆ ที่มีอยู่เท่านั้น ตัวเลขที่ปรากฏจะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับปริมาณและความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้ในการประเมิน

5.2 ข้อเสนอแนะ

การรายงานการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ ควรมีการแสดงข้อมูลที่ใช้ในการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ เพื่อแสดงถึงความถูกต้องของข้อมูลตามหลักวิชาการ ดังนี้

1) ควรมีการแสดงข้อมูลต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ อาทิ ลักษณะและคุณภาพรวมถึงข้อจำกัดของข้อมูลที่นำมาใช้ในการประเมิน การแปลความหมายทางธรณีวิทยาแหล่งแร่ รูปแบบการกำเนิดแร่ ขนาดและรูปร่าง ทิศทางการวางตัวและความต่อเนื่องของสายแร่

2) ควรแสดงสมมุติฐานและตัวแปรต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้ในคำนวณ หน่วยวัดของตัวแปร ค่าสัมประสิทธิ์การแปรเปลี่ยนและความไม่แน่นอนทางธรณีวิทยาแหล่งแร่ คุณภาพแร่หรือเกรดแร่ที่ใช้ในการประเมิน

3) ควรแสดงเทคนิควิธีการประเมินที่นำมาใช้ประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ (estimated methods and modelling techniques) การอนุมาน

4) ควรระบุข้อจำกัดและเงื่อนไขต่าง ๆ ที่อาจจะส่งผลต่อความถูกต้องของการประเมิน เพื่อแสดงถึงความถูกต้องตามหลักวิชการในการประเมินปริมาณทรัพยากรแร่ให้ได้มากที่สุด

5) ควรระบุระดับความเชื่อมั่นทางธรณีวิทยา (inferred, indicated, measured resources)

6) ควรศึกษาทำความเข้าใจมาตรฐานการจำแนกทรัพยากรแร่ตามมาตรฐานสากล เช่น USGS JORC Code CRIRSCO Template UNFC-2009 เป็นเพื่อยกระดับงานด้านทรัพยากรแร่และสามารถเทียบเคียงตามมาตรฐานสากลกได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

ปกรณ์ สุวานิช, ธรณีวิทยาแหล่งแร่โพแทช-เกลือหินของไทย, บริษัท คัมภีร์วรรณ จำกัด, 195 หน้า

สุรพล อารีย์กุล, 2529, แบบจำลอง variogram ของแหล่งแร่โพแทช, มหาวิทยาลัยสงขานครินทร์, 5 หน้า

พจนีย์ ไพศาลตันติวงศ์, (2546), คุณภาพของแร่เหล็กจากแหล่งต่างๆในประเทศไทย, กรุงเทพฯ: กองวิเคราะห์และตรวจสอบทรัพยากรธรณี กรมทรัพยากรธรณี.

สุพัตรา วุฒิชาติวาณิช และคณะ, แร่, พิมพ์ครั้งที่ 5, กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี, 320 หน้า

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.

Darling, P., and Noble, A., 2011, Mineral Resource Estimation. SME mining engineering handbook (3rded., p. 203). Englewood, Colo.: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

David, M., 1977, Geostatistcal ore reserve estimation (Amsterdam: Elsevier Scientific, 364 p. Developments in Geomathematics 2

Daya, A. A., 2012, Reserve estimation of central part of Choghart north anomaly iron ore deposit through ordinary kriging method; Ijmst Elsevier, 5 p.

Dominy, S. C. and Annels A. E., 2001, Evaluation of Gold Deposit -Part 1 : Review of mineral resources estimation methodology applied to fault and fracture-related system, Trans. Instn Min. Metall. (Sect. B: Appl. earth sci.), 110B145–166.

Erdem, O. and Guyaguler ., 2017, Reserve Estimation Derekoy Copper Deposit Considering the Feasibility of the Project, 9 p.

Glacken, I. M. and Snowden, D. V., 2001, Mineral Resource Estimation. In A. C. Edwards, Mineral Resource and Ore Reserve Estimation - The AusIMM Guide to Good Practice (pp. 189-198). Melbourne: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.

Haddon, F. K., Denis W. M. and George J. B., 1982, A Guide to the Understanding of Ore Reserve Estimation, (Melbourne: Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 25p.

Haque, N., Hughes, A., Lim, S. and Vernon, C., 2014, Rare Earth Elements: Overview of Mining, Mineralogy, Uses, Sustainability and Environmental Impact. Resources 2014, 3, 614-635. Available source: http://www.mdpi.com/journal/resources. Doi:10.3390/ resources3040614

Krauskopf KB (1967), Introduction to geochemistry, pp.1-721 New York/Tokyo: McGraw-Hill/Kogakusha.

Marques, J. P. M., 1985, Ore Reserve Estimation : A summary of Principles and Methods, Nuclebras, Rio de Janerio, RJ(Brazil). 76 p.

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

Wu, C., Huang, D. and Guo, Z., 1990, REE geochemistry in the weathered crust of granites, Longnan area, Jiangxi province. *Acta Geol. Sinica,* 3, p. 193-210.

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

Parkorn Suwanich, 1986, Potash and rock salt in Thailand, nonmetallic minerals bulletin no.2, Economic Geology Division, Department of Mineral Resources, Bangkok, Thailand, 339 p.

Rossi, M.E., Deutsch, C. V., 2014, Mineral Resource Estimation; Springer: Berlin Germany, 332p.

United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). 2020a. United Nations Framework Classification for Resources Update 2019 (ECE ENERGY SERIES No.61). Geneva: United Nations Publications. 18p.

United Nations Economic Commission for Europe (UNECE b). 2020b. United Nations Framework Classification for Resources Case Studies from Finland/Estland, Sweden and Norway-Nordkalk limestone and Forsand and gravel mine. (ECE/ENERGY/GE.3/2020/10). Geneva: United Nations Publications. 20p.

United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). 2019. Application of the United Nations Framework Classification for Resources : Case studies (ECE ENERGY SERIES No.58). Geneva: United Nations Publications. 61p.

United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). 2013. United Nations Framework Classification for Fossil Energy and Mineral Reserves and Resources 2019 (ECE ENERGY SERIES No.42). New York and Geneva: United Nations Publications. 57p.

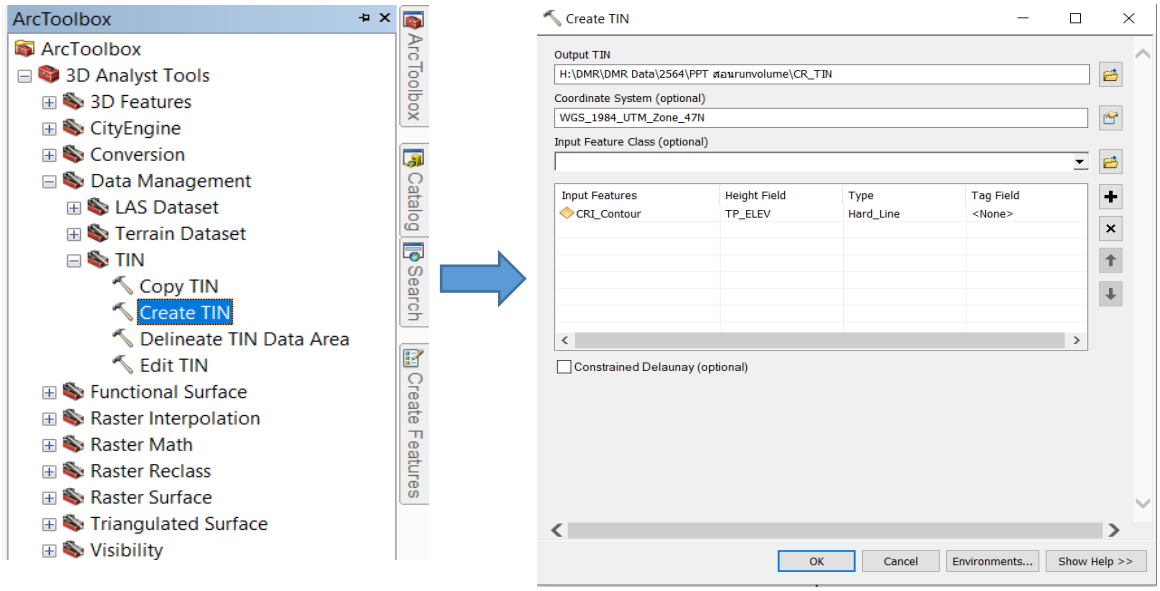
ภาคผนวก

การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการคำนวณปริมาตร

การประเมินปริมาณทรัพยากรหินอุตสาหกรรม โดยการคำนวณหาปริมาตรของพื้นที่ทรัพยากรแร่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) โดยวิธีการ Run Volume มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้าง TIN จาก contour

เข้าไปที่ ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Data Management > TIN > Create TIN



เมื่อเปิดหน้า Create TIN แล้ว ดำเนินการเลือกข้อมูล ดังนี้

ช่อง Output TIN เลือกที่จะเก็บไฟล์

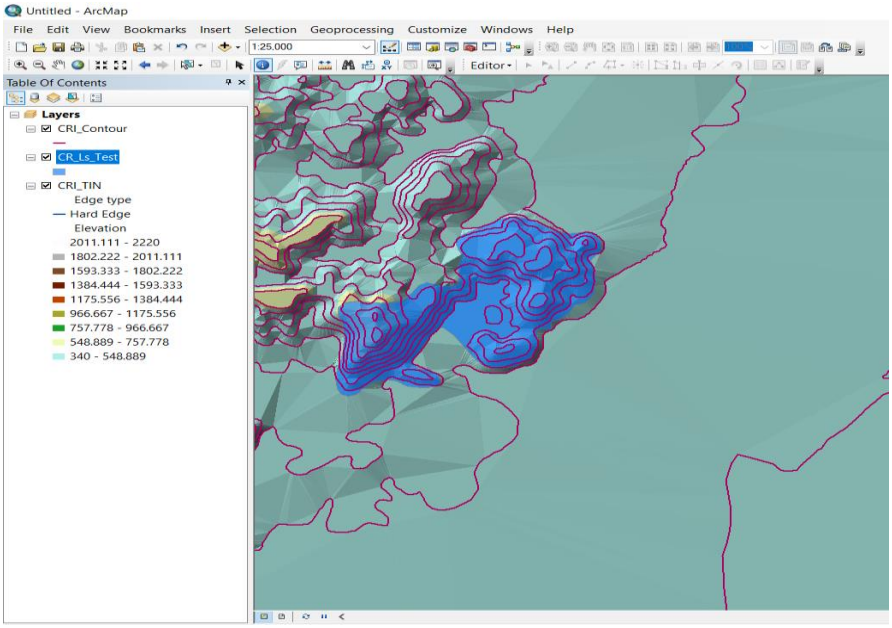
ช่อง Coordinate System เลือกที่ต้องการ (WGS_1984_UTM_Zone_47N)

ช่อง Input Features เลือก File ที่เราต้องการสร้าง TIN

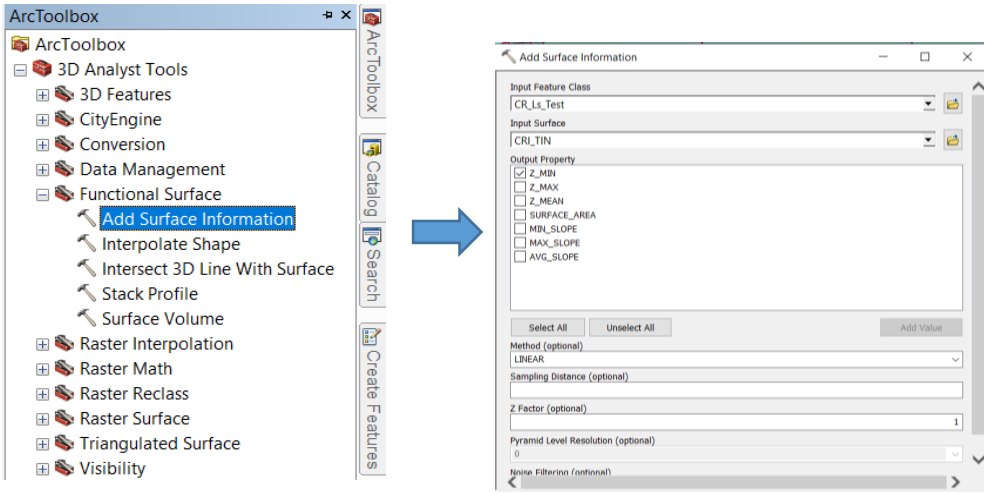
ช่อง Height Field เลือก field ที่เก็บข้อมูลความสูงของเส้น Contour (TP_ELEV)

ช่อง Type เลือก Hard_Line

เมื่อเลือกข้อมูลตามที่เราต้องการแล้ว กด OK จะได้พื้นที่ 3D เพื่อนำมาคำนวณปริมาตรของพื้นที่ศึกษาภาพแร่ที่เราต้องการ ดังรูป



2. ทำการหาค่าระดับพื้นผิวของ พื้นที่ศึกยภาพแร่ที่เราต้องการ เข้าไปที่ ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Functional Surface > Add Surface Information



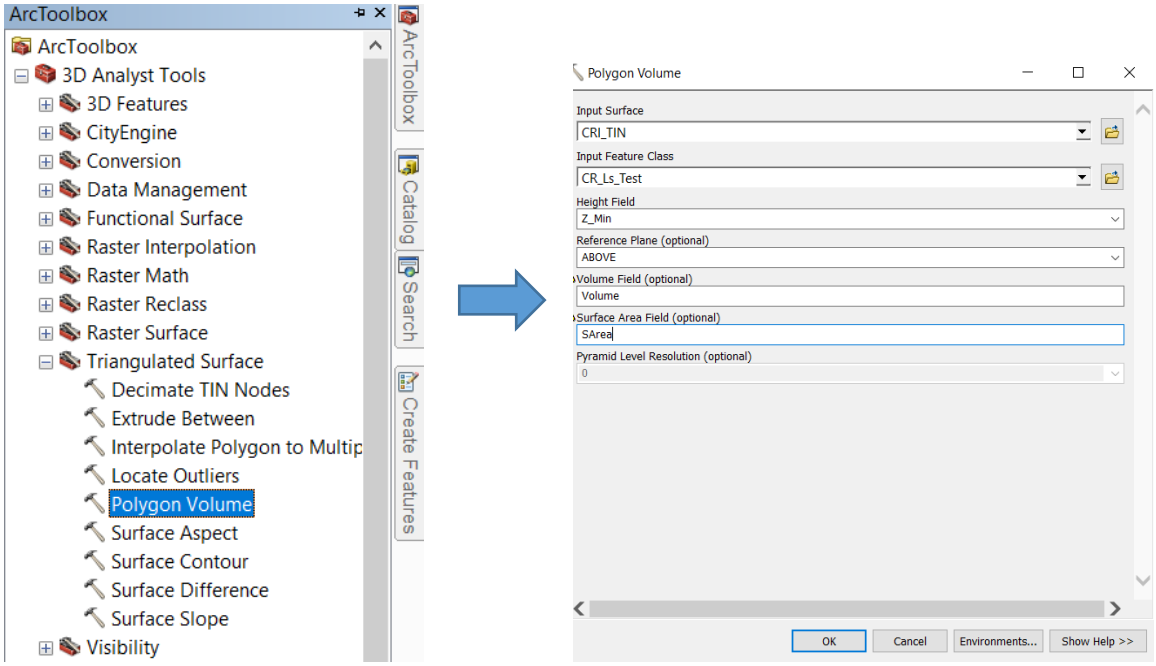
เมื่อเปิดหน้า Add Surface Information แล้ว ดำเนินการเลือกข้อมูล ดังนี้

ช่อง Input Features Class เลือก พื้นที่ศักยภาพแร่ที่ทำการคำนวณ

ช่อง Input Surface เลือก TIN ที่ทำการสร้างจากขั้นตอนที่ 1

ช่อง Output Property เลือกที่ช่อง Z_MIN เพื่อหาค่าระดับพื้นผิวของพื้นที่ศักยภาพแร่ที่เราต้องการ

3. หาปริมาตรของพื้นที่ศึกษาภาพแร่ โดยวิธีการ run volume ที่ ArcToolbox > 3D Analyst Tools > Triangulated Surface> Polygon Volume



ดำเนินการเลือกข้อมูล ดังนี้

ช่อง Input Surface เลือก TIN ที่ทำการสร้างจากขั้นตอนที่ 2

ช่อง Input Feature Class เลือก File ของพื้นที่ศึกยภาพแร่ที่เราต้องการ

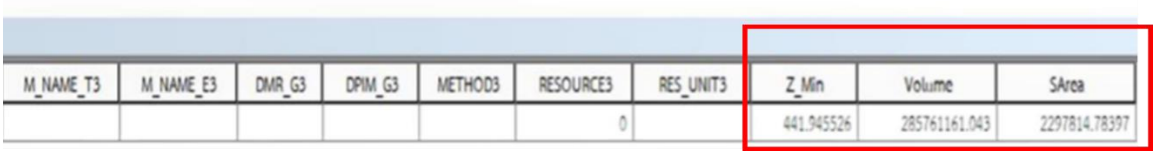
ช่อง Height Field เลือก ค่าระดับพื้นผิว (Z_Min)

ช่อง Reference Plane เลือก ABOVE

ช่อง Volume Field ตั้งชื่อ Field ที่ต้องการเก็บข้อมูลปริมาตร (Volume)

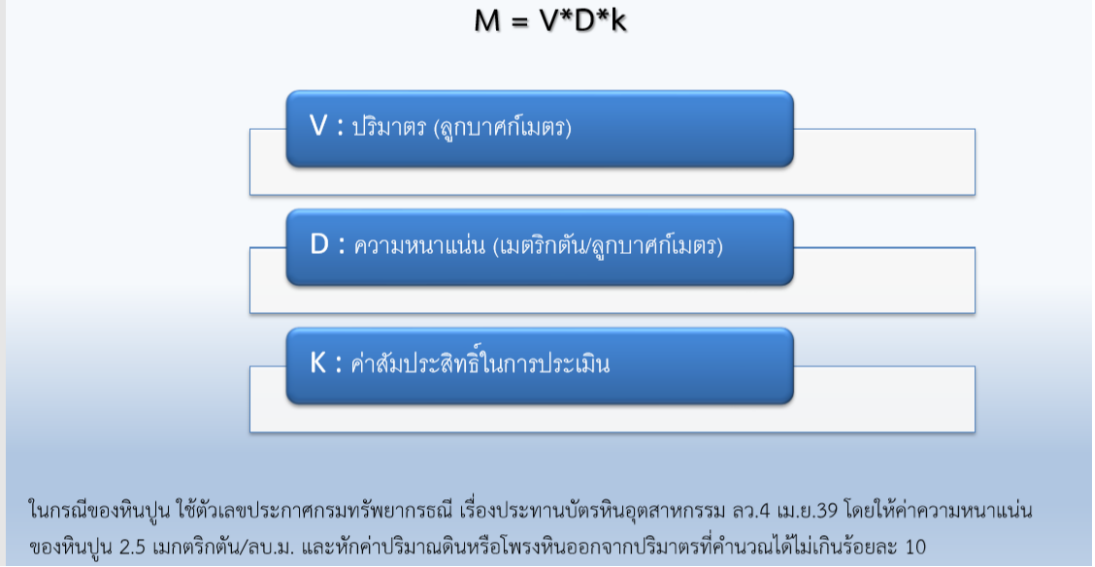
ช่อง Surface Area Field ตั้งชื่อ Field ที่ต้องการเก็บค่าพื้นที่ในระดับระนาบ

เมื่อเลือกข้อมูลตามที่เราต้องการแล้ว กด OK จะได้ข้อมูล Field เพิ่มขึ้นมาตามรูป



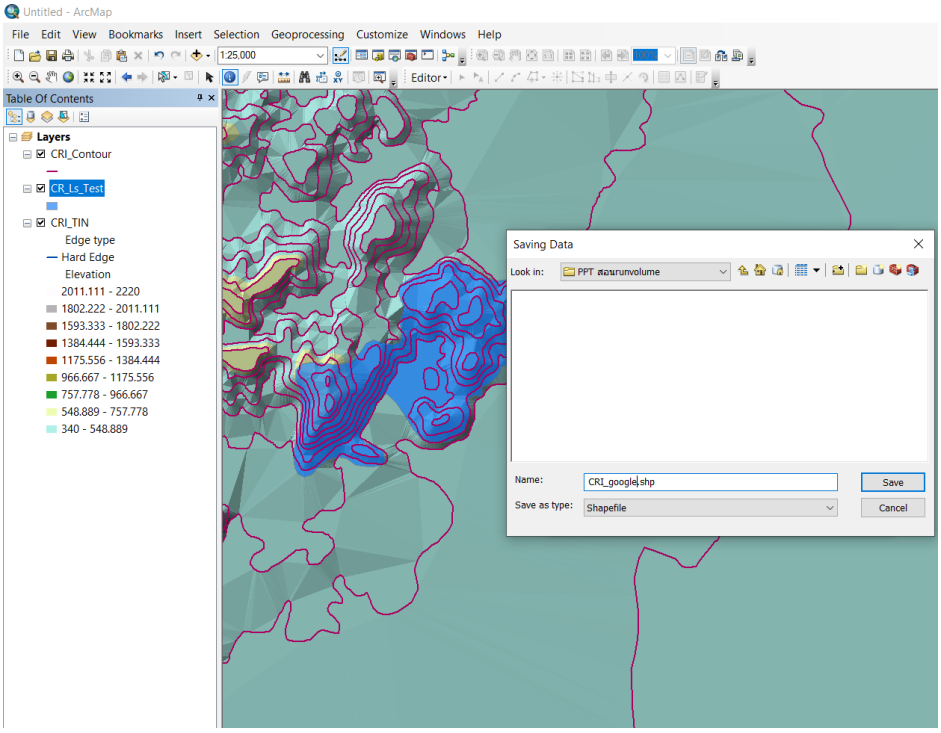
M_NAME_T3	M_NAME_E3	DMR_G3	DPIM_G3	METHOD3	RESOURCE3	RES_UNIT3	Z_Min	Volume	SArea
					0		441.945526	285761161.043	2297814.78397

4. วิธีการคำนวณปริมาณหินอุตสาหกรรม มีสูตรดังนี้

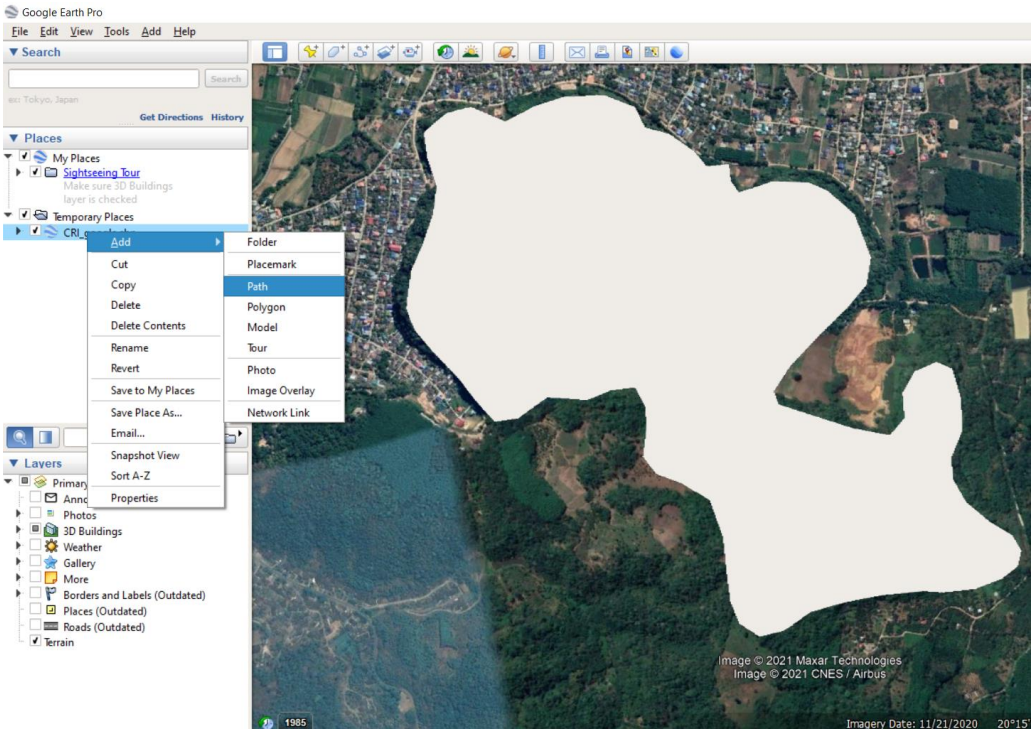


กรณีที่ run volume แล้ว ปริมาตรเป็น 0 หรือมีค่าติดลบ ให้ดำเนินการดังนี้

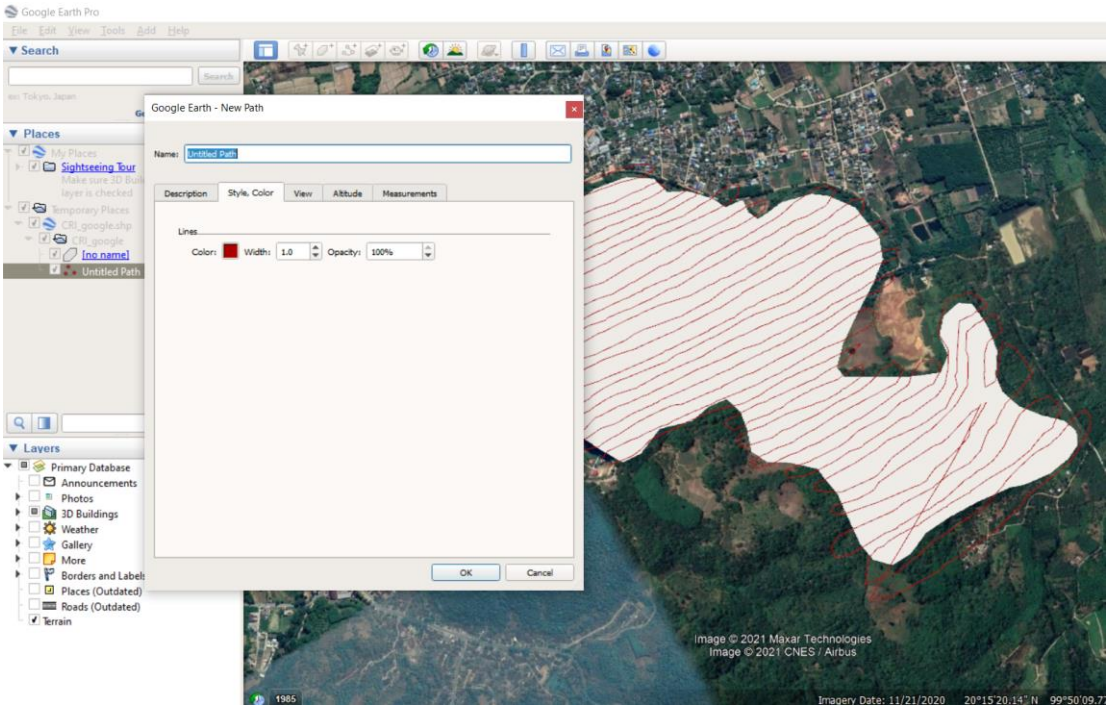
1. ทำการ export file ที่ต้องการสร้างเส้น contour ให้อยู่ในรูป .shp



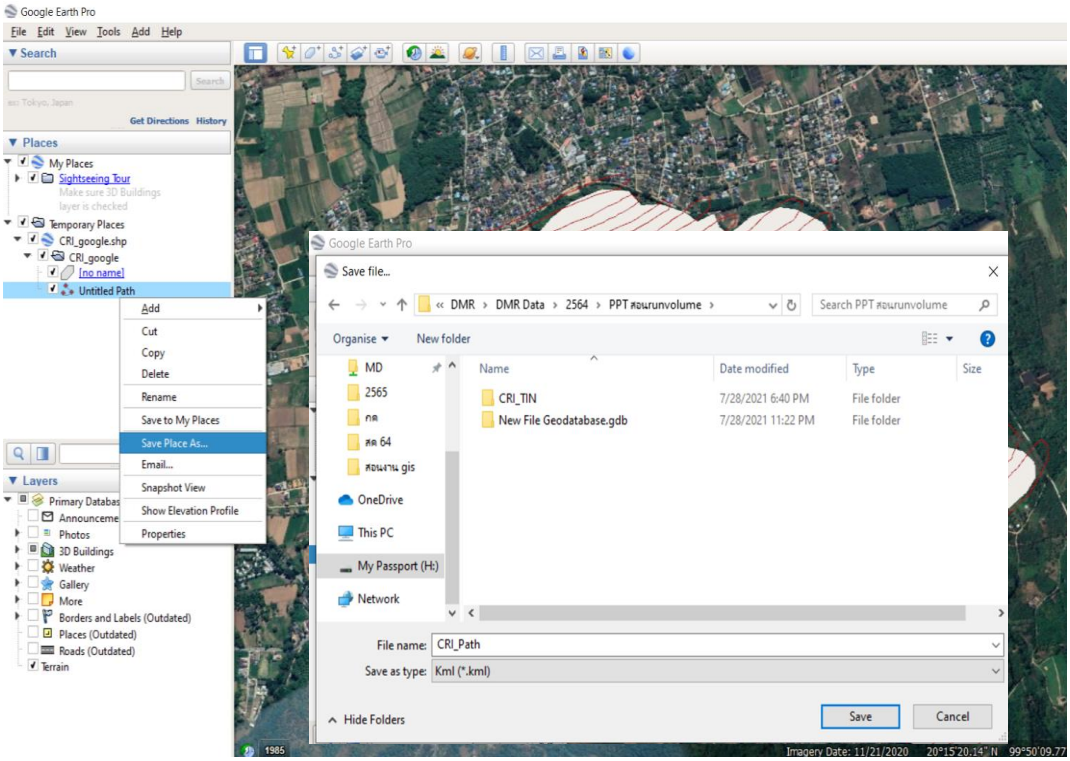
2. เปิดไฟล์ใน google earth
3. เลือก Add Path ที่โปรแกรม ทำการตั้งชื่อ และตกแต่งสี และลายเส้นที่ Style,Color



4. ทำการสร้าง Line ให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา เสร็จแล้วกด ok



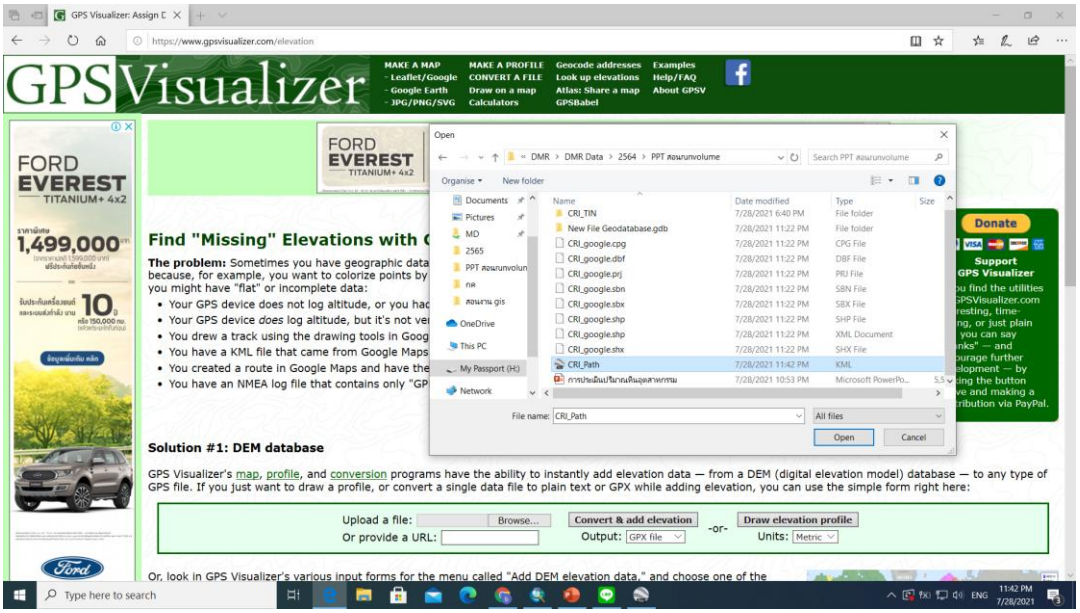
5. คลิกขวาที่ไฟล์ที่สร้าง ไปที่ Save Place As... เลือก Type = .kml



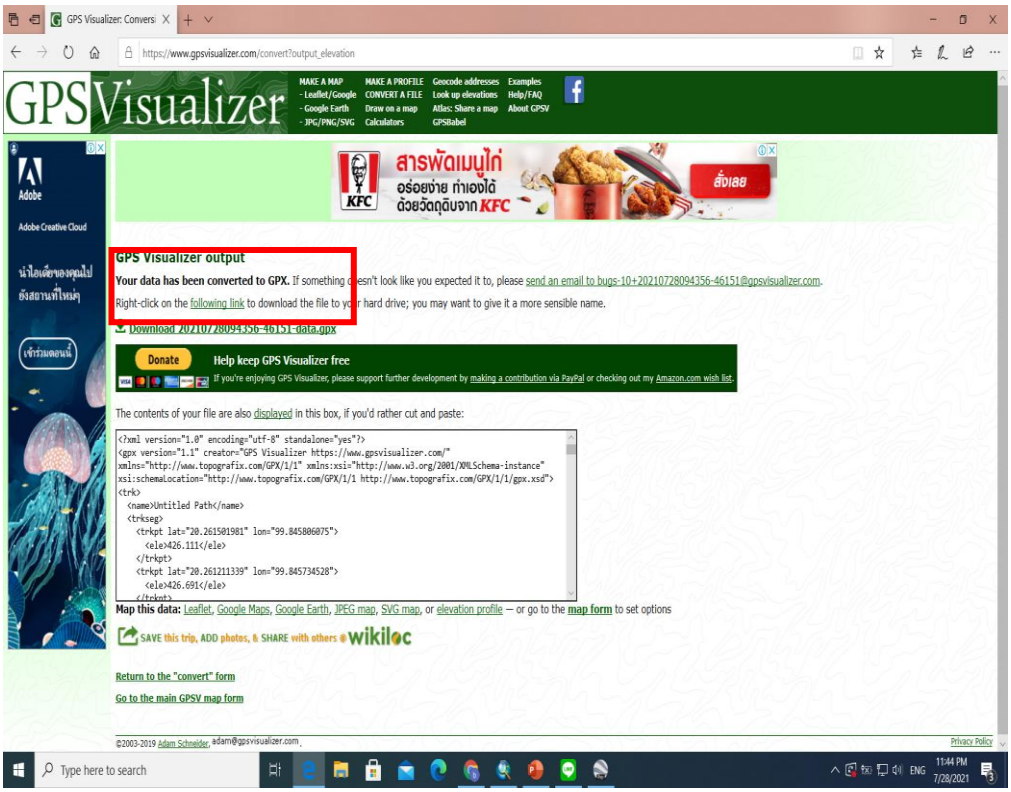
6. ไปที่ https://www.gpsvisualizer.com/elevation

7. ช่องให้ Upload a file : เลือก ไฟล์ .Kml

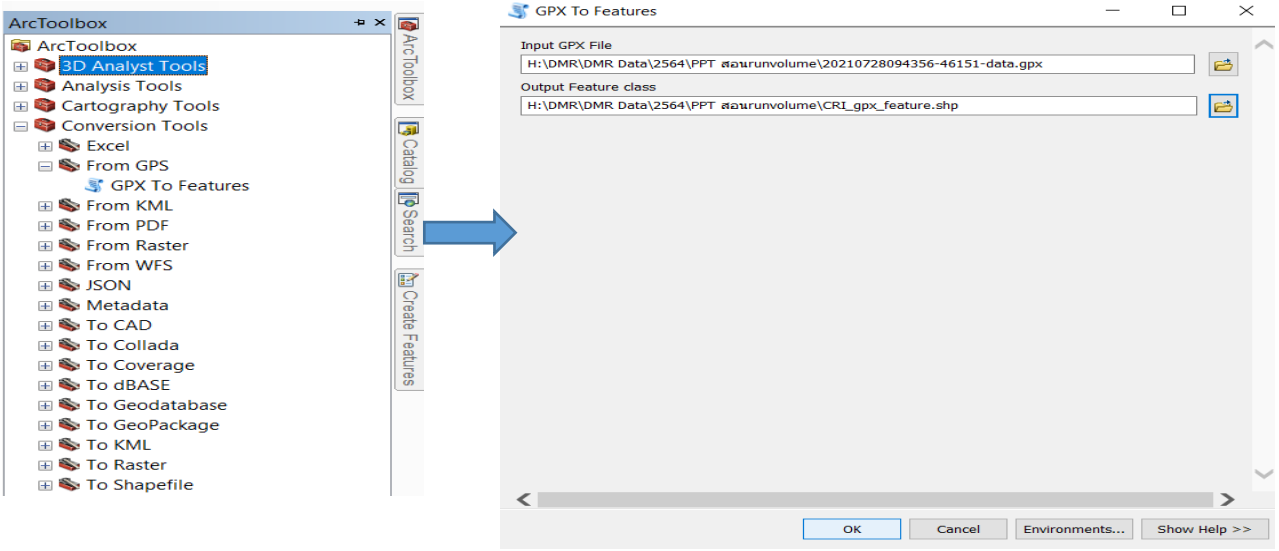
8. ช่อง Output เลือก GPX file แล้วกด Convert & add elevation



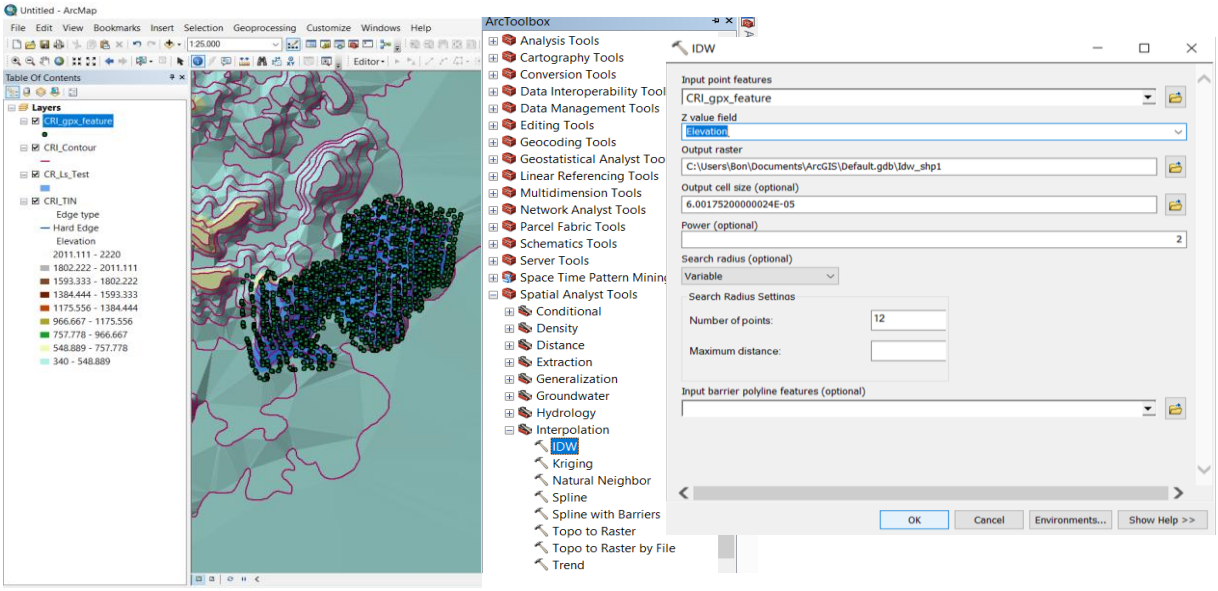
9.ที่ GPS Visualizer output กด Click to download..... .gpx



10. ที่ ArcToolboxเลือกConversion Tools/From Gps/GPX To Features นำเข้าไฟล์ .gpx และตั้งชื่อใหม่ กด ok

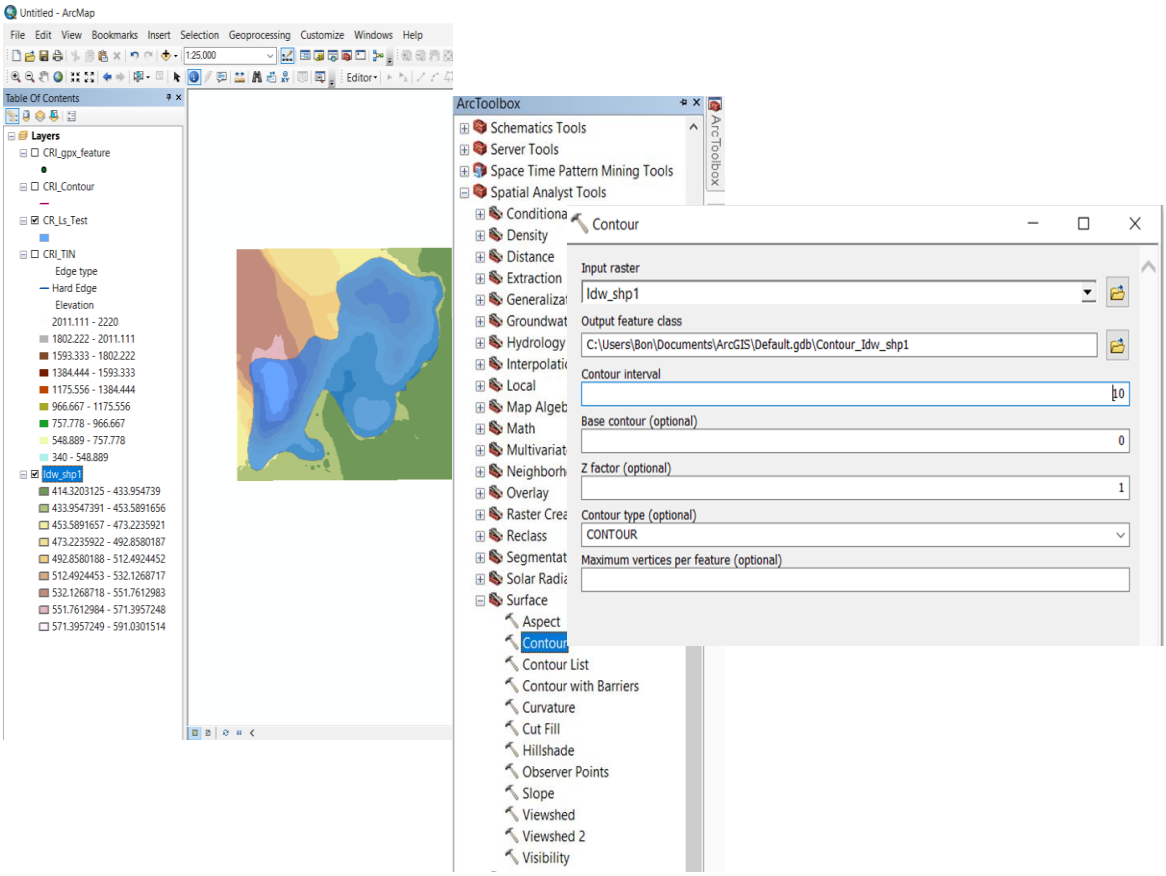


11.ทำการสร้าง Raster เข้าไปที่ ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Interpolation > IDW

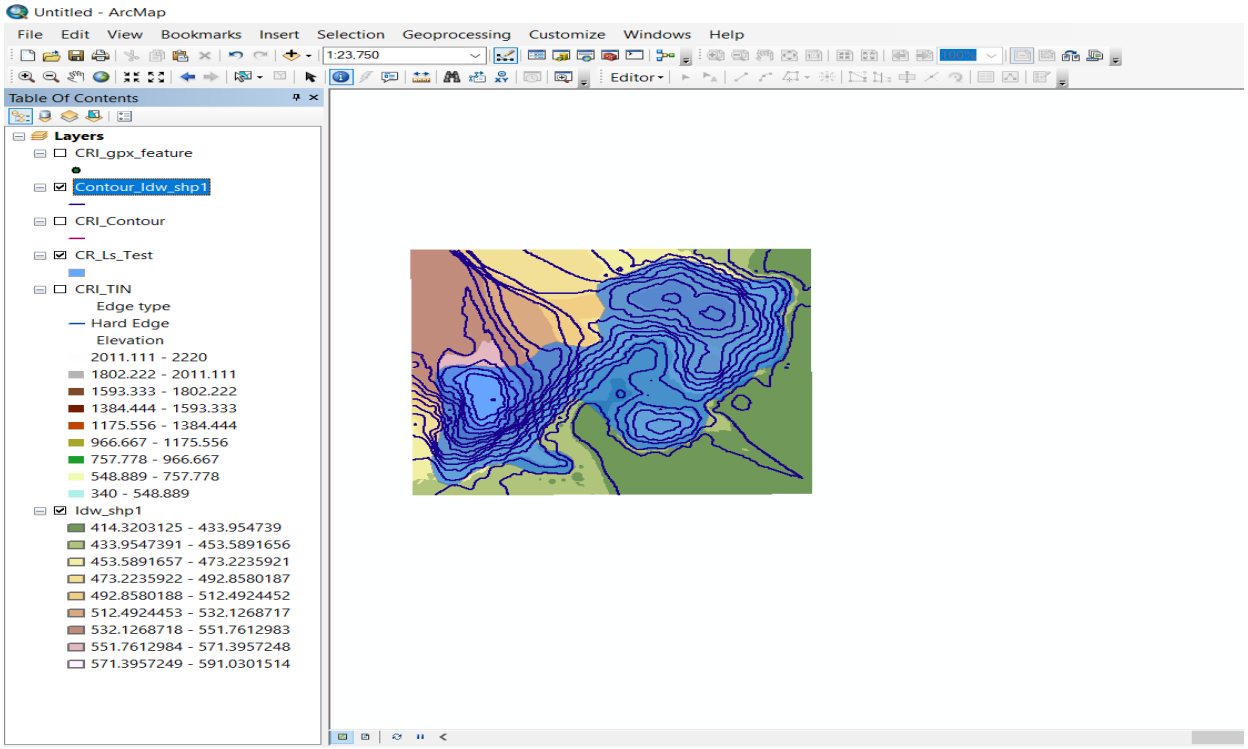


12.จาก Raster ที่สร้างทำการสร้างเส้นชั้นความสูง เข้าไปที่ ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Surface > Contour

13. ตั้งค่าช่อง Contour interval เท่ากับ 10



14. จะได้ผลลัพธ์ตามภาพ ทำการนำเส้น contour ไปใช้ในขั้นตอนการ run volume ต่อไป



กองทรัพยากรแร่ กรมทรัพยากรธรณี
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

75/10 ถ.พระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400
โทร 0 2621 9762 โทรสาร 0 2621 9773