

การประเมิน แหล่งทรัพยากรธรณี

Geological resources evaluation



ศาสตราจารย์ ดร. สง่า ตั้งชวัล

การประเมิน แหล่งทรัพยากรธรณี

Geological resources evaluation



ศาสตราจารย์ ดร. สว่าง ตั้งชวัล

สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 100 เล่ม

กันยายน 2562

จำหน่ายในรูปแบบ e-book

กุมภาพันธ์ 2566

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

สง่า ตั้งขวาล.

การประเมินแหล่งทรัพยากรธรณี.-- นครปฐม : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล, 2566.
665 หน้า.

1. ธรณีวิทยา. I. ชื่อเรื่อง.

551

ISBN (e-book) 978-616-443-785-2

ISBN 978-616-443-341-0

อ้างอิง

สง่า ตั้งขวาล. (2562). การประเมินแหล่งทรัพยากรธรณี. นครปฐม :
สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล.

จัดพิมพ์โดย

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล (MU PRESS)

กองบริหารงานวิจัย สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

999 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

โทร. 02-849-6379/080-575-5151

พิมพ์ที่

บริษัท ภาพพิมพ์ จำกัด

45/12-14, 33 หมู่ 4 ถ.บางกรวย-จตุรรม ต.บางขุน อ.บางกรวย จ.นนทบุรี 11130

โทร. 0-2879-9154-6 โทรสาร 0-2879-9153

www.parbpim.com

คำนิยาม

ตำรา “การประเมินแหล่งทรัพยากรธรณี – Geological Resources Evaluation” เล่มนี้เหมาะสำหรับนิสิตนักศึกษาในหลายสาขา ทั้งสาขาธรณีวิทยา วิศวกรรมเหมืองแร่ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสำรวจ และช่างสำรวจ ตำราเล่มนี้มีรูปแบบประกอบด้วยผังประกอบ ที่เป็นแผนที่ บล็อก หรือภาพตัดขวาง มาตราส่วนต้นฉบับถูกจัดทำให้ความถูกต้องหรือใกล้เคียงมากที่สุด การแสดงเส้นกราฟเป็นพื้นหลังของรูปบางรูปกับแสดงภาพเป็นรูปบล็อกสามมิติช่วยให้เข้าใจสภาพจริงในสนามมากขึ้น

ผู้เขียนนำเสนอความรู้เบื้องต้นของการสำรวจรังวัด ความรู้พื้นฐานของแผนที่ พื้นฐานการประเมินเชิงความน่าจะเป็นในภาคสนาม การวิเคราะห์หาค่าตัวแปรเสริมเชิงสถิติ กับการปรับแก้ผลลัพธ์การสำรวจรังวัด ขั้นตอนถัดมา เป็นการคำนวณหาค่าขนาดพื้นที่ ค่าขนาดปริมาตรที่เป็นตัวแปรเสริมสำคัญในการประเมินหาน้ำหนักมวลสารในแหล่งทรัพยากรธรณี การวิเคราะห์ใช้ทั้งรูปแบบปกติกับการใช้วิธีการพิท การสุ่มเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์หามูลค่าเชิงพาณิชย์ของแหล่งแร่ ซึ่งการประเมินแหล่งแร่ที่มีความแปรปรวนสูงจำเป็นต้องใช้แผนที่หน้าเหมือง ข้อมูลทางธรณีวิทยา หลุมเจาะสำรวจกับใช้แนวทางวิเคราะห์ที่เหมาะสม

กรณีตัวอย่างที่นำเสนอมาจากประสบการณ์และการค้นคว้าของผู้เขียน การเปิดหน้างานเพื่อทำเหมืองดิน-ทราย หิน หรือเหมืองแร่ นั้น ผลลัพธ์เชิงเศรษฐศาสตร์มีความสำคัญสูงเช่นเดียวกับการปลอดภัยในการปฏิบัติงาน การวางแผนการทำงานให้มีการจัดลำดับขั้นตอนที่เหมาะสมที่สุดจะทำให้มีรายรับสูงขึ้น เช่นเดียวกับการประเมินแหล่งที่ต้องหาค่าผลลัพธ์ให้ใกล้เคียงมากที่สุด

ผศ. ดร. รัชวีร์ ลีละวัฒน์

รองอธิการบดีฝ่ายสารสนเทศและวิทยาเขตกาญจนบุรี

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

คำนิยม

ผู้เขียนและแต่งตำรา “การประเมินแหล่งทรัพยากรธรณี – Geological Resources Evaluation”

นำเสนอความรู้เชิงธรณีวิทยาโครงสร้าง กับลักษณะของการกำเนิดทรัพยากรธรณี (ดิน ทราย หิน แร่) ได้อย่างเหมาะสม ทำให้เข้าใจเนื้อหาได้ง่าย และมีวิธีการหลากหลายรูปแบบในการประเมินแหล่งทรัพยากรธรณี ทั้งรูปในรูปแบบใช้สมการปกติ กับการใช้ความรู้เชิงเรขาคณิตกับกราฟิกและธรณีสัณติ

เนื้อหาในตำราเล่มนี้ นอกจากอธิบายทฤษฎีพื้นฐาน ยังมีการแสดงแนวทางการหาค่าผลลัพธ์ที่เป็นค่าขนาดพื้นที่หรือปริมาตรของแหล่งทรัพยากรธรณี ตลอดจนเสนอแนวทางในการสุ่มเก็บตัวอย่างสินแร่ที่มีความแปรปรวนสูงระหว่างค่าเกรดแรกกับค่าระยะทางที่สัมพันธ์กับชนิดของแหล่งทรัพยากรธรณี

ผู้อ่านที่เป็นนักศึกษาในหลายสาขา ทั้งสาขาธรณีวิทยา วิศวกรรมเหมืองแร่ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสำรวจ และช่างสำรวจ สามารถนำความรู้ที่อธิบายและกรณีตัวอย่างประกอบไปใช้กับงานประเมินแหล่งทรัพยากรธรณี เพื่อวิเคราะห์หามูลค่าเชิงพาณิชย์ของแหล่งในภาคสนามได้ถูกต้องใกล้เคียงจริงตามข้อมูลที่ได้จากการสำรวจและวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ

ดร. ปริญญ์ พุทธาภิบาล

อาจารย์ประจำ สาขาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

อดีตข้าราชการสำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี

คำนิยม

ศาสตราจารย์ ดร. สง่า ตังสวัสดิ์ ผู้เขียนและแต่งตำรา “การประเมินแหล่งทรัพยากรธรณี – Geological Resources Evaluation” มีประสบการณ์สูงในการสอนนิสิตในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กับนักศึกษาสาขาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ตำราเล่มนี้มีการประยุกต์ความรู้ในหลายสาขา ทฤษฎีและตัวอย่างนำไปใช้ในการประเมินแหล่งทรัพยากรธรณีได้อย่างดี รูปกับผังประกอบมีการจัดทำให้มีมาตราส่วนถูกต้องหรือใกล้เคียงมากที่สุด การแสดงเส้นกราฟเป็นพื้นหลังของรูปบางรูป กับรูปบล็อกสามมิติช่วยให้ผู้อ่านสังเกตง่าย เข้าใจสภาพจริงในสนามมากขึ้น

กรณีตัวอย่างในตำราเริ่มตั้งแต่ปัญหาพื้นฐาน จนถึงปัญหาที่ยุ่งยาก ผู้เขียนเสนอแนวทางที่เข้าใจง่ายต่อการคำนวณหาค่าผลลัพธ์ในรูปแบบปกติ และยังประยุกต์กับวิธีทางกราฟิกและธรณีสัณติ มาช่วยประเมินแหล่งทรัพยากรธรณี ซึ่งเหมาะสำหรับปัญหาที่ตัวแปรเสริมในภาคสนามมีความแปรปรวนสูง การผสมผสานระหว่างธรณีวิทยากับงานสำรวจ ช่วยในการแก้ปัญหาที่สลับซับซ้อนได้ดี ตัวอย่างการวางแผนการทำงานให้มีการจัดลำดับขั้นตอนที่เหมาะสมที่สุด ช่วยทำให้การวางแผนเปิดหน้างานมีประสิทธิภาพสูงและประหยัดค่าใช้จ่ายมากขึ้น

ผศ. ดร. สุนทร พุ่มจันทร์

อาจารย์ประจำ ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำนำ

ตำรา “การประเมินแหล่งทรัพยากรธรณี – Geological Resources Evaluation” เล่มนี้เป็นตำราที่ใช้ประกอบในการเรียนการสอน สำหรับรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจแหล่งทรัพยากรธรณีภาคสนาม กับรายวิชาที่เกี่ยวข้องกับการประเมินมูลค่าเชิงพาณิชย์ของแหล่งทรัพยากรธรณี เฉพาะส่วนที่เป็นแหล่งดิน แหล่งทราย แหล่งหิน และแหล่งแร่

ตำราเล่มนี้ มีการอธิบายเชิงทฤษฎีประกอบกับแนวทางการหาค่าผลลัพธ์เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษานอกจากใช้วิธีการวิเคราะห์พื้นฐาน ยังใช้วิธีการฟูกกับวิธีธรณีสัณติประกอบ อนึ่งต้นฉบับที่เป็นรูปผังกราฟ หรือรูปตัดดิ่ง มีการกำหนดมาตราส่วนเชิงเส้นไว้ แต่จำเป็นต้องมีการย่อขนาดลงจากเดิม เพื่อให้มีขนาดเหมาะสมกับการจัดทำเป็นตำราขนาด 16 หน้ายก ผู้อ่านควรวัดใหม่บนกระดาษของตำรา เช่น ถ้าวัดได้ 2.90 ซม. เท่ากับ 30 เมตร ให้ใช้ค่าที่วัดได้ใช้ในการคำนวณ ซึ่งเป็นค่าผลลัพธ์เช่นเดียวกันกับผู้เขียนคำนวณจากต้นฉบับเดิม

ผู้เขียนขอขอบคุณต่อ คุณปราโมทย์ นนทรักษ์ ที่ใช้เวลานานในการวาดรูปประกอบด้วยความอดทน อนึ่งประโยชน์และความดีอันพึงจะมีจากการเผยแพร่ตำราเล่มนี้ ผู้เขียนขออุทิศให้บุพการีผู้ล่วงลับ ครูอาจารย์ที่อบรมสั่งสอน ขอขอบคุณต่อคณาจารย์ในสาขาธรณีศาสตร์ นิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กับนักศึกษามหาวิทยาลัยมหิดล ที่เสนอแนะหัวข้อเหมาะสมกับการประเมินแหล่งทรัพยากรธรณี สุดท้ายขอขอบคุณ คุณรัชนิพรพรณ พญ. สลิล และคุณ สรिता ตั้งชวาล ที่ให้กำลังใจในระหว่างกรเขียนและแต่งตำรา

ศ. ดร. สง่า ตั้งชวาล

มหาวิทยาลัยมหิดล วิทยาเขตกาญจนบุรี กุมภาพันธุ์ 2562

สารบัญ

	หน้า
ปกใน	i
คำนิยม 3 ท่าน	iii
คำนำ	vi
สารบัญ	vii
บทที่ 1 ความรู้พื้นฐานในงานรังวัดภาคสนาม	3
1.1 การสำรวจรังวัดแหล่งทรัพยากรธรณี	4
1.2 หน่วยการรังวัด	6
1.2.1 หน่วยการวัดระยะ	7
1.2.2 หน่วยการวัดมุม	7
1.2.3 หน่วยการวัดพื้นที่	9
1.2.4 หน่วยการวัดปริมาตร	9
1.2.5 หน่วยการวัดน้ำหนัก	10
1.3 มาตราส่วน	12
1.3.1 ชนิดของมาตราส่วน	12
1.3.2 การขยายมาตราส่วน	15
1.4 ความรู้พื้นฐานของแผนที่	18
1.4.1 แผนที่ที่เกี่ยวข้อง	18
1.4.2 ความถูกต้องของการร่างแผนที่	22
1.4.3 สัญลักษณ์กับคำอธิบาย	23
1.4.4 รูปหรือภาพตัดขวาง	24
1.4.5 คอลัมน์ลำดับอายุหินทางธรณีวิทยา	29
1.5 การคำนวณเชิงตัวเลข	29
1.5.1 การบัดเลข	29
1.5.2 เลขนัยสำคัญ	30

	หน้า
1.5.3 มิติที่เกี่ยวข้อง	35
1.6 เนื้อหาที่สำคัญของบทที่ 1	38
แบบฝึกหัด บทที่ 1	39
บทที่ 2 พื้นฐานการประเมินและการสำรวจรังวัดด้วยเข็มทิศ	45
2.1 ความถูกต้องและแม่นยำ	45
2.2 หลักการเบื้องต้นของความน่าจะเป็น	47
2.2.1 ธรรมชาติของความคลาดเคลื่อนสุ่ม	48
2.2.2 ตัวแปรเสริมที่สำคัญของการแจกแจงปกติมาตรฐาน	49
2.3 ค่าความคลาดเคลื่อนที่พบบ่อย	55
2.3.1 ค่าคลาดเคลื่อนของการรังวัดที่มีความเชื่อถือได้เท่ากัน	56
2.3.2 ค่าคลาดเคลื่อนของการรังวัดที่มีความเชื่อถือได้แตกต่างกัน	59
2.3.3 ค่าปรับแก้ของการรังวัด	63
2.4 การกระจายค่าความคลาดเคลื่อนสุ่ม	68
2.4.1 การกระจายค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มในการบวกและลบ	68
2.4.2 การกระจายค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มในการรวมข้อมูลซ้ำกัน	69
2.4.3 การกระจายค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มในการคูณและหาร	70
2.4.4 การกระจายค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มในการคำนวณพื้นที่สามเหลี่ยม	72
2.4.5 การกระจายค่าความคลาดเคลื่อนสุ่มของค่าเฉลี่ย	75
2.5 ค่าปรับแก้ที่ใช้บ่อยในงานรังวัดระยะ	77
2.5.1 ค่าปรับแก้ตามความยาวมาตรฐาน	77
2.5.2 ค่าปรับแก้เนื่องจากอุณหภูมิ	79
2.5.3 ค่าปรับแก้เนื่องจากแรงดึง	81
2.5.4 ค่าปรับแก้เนื่องจากความลาด	84
2.5.5 ค่าปรับแก้เนื่องจากการหย่อน	86

	หน้า
2.6 การรังวัดด้วยเข็มทิศ	90
2.6.1 ทิศทางและทิศเหนือ	90
2.6.2 มุมบ่ายเบนหรือมุมเห	92
2.6.3 การระบุทิศแบบแบร็ง	92
2.6.4 ความสัมพันธ์ของมุมอาซิมุทกับมุมภาคทิศ	95
2.6.5 ทิศ (ชี้) ไปและทิศ (ย้อน) กลับทิศทางการรังวัด	97
2.6.6 ชนิดของมุมในงานสำรวจรังวัด	98
2.6.7 งานวงรอบ	101
2.6.8 งานวงรอบทั่วไป	102
2.6.9 งานวงรอบพิเศษ	104
2.6.10 เงื่อนไขของงานวงรอบ	106
2.6.11 การปรับแก้รูปวงรอบ	110
2.7 เนื้อหาที่สำคัญของบทที่ 2	124
แบบฝึกหัด บทที่ 2	125
บทที่ 3 การประเมินค่าขนาดพื้นที่ในภาคสนาม	133
3.1 วิธีสามเหลี่ยม	134
3.2 วิธีสี่เหลี่ยม	139
3.2.1 วิธีสี่เหลี่ยมจัตุรัส	139
3.2.2 วิธีตารางกริดจุด	142
3.3 วิธีเส้นขนาน	145
3.4 วิธีรูปเรขาคณิตสี่ด้าน	152
3.5 วิธีใช้รูปวงกลมกับรูปตัดวงกลม	153
3.6 วิธีหาค่าขนาดพื้นที่เส้นโค้งอื่น	153
3.7 วิธีการประเมินค่าใกล้เคียงของขนาดพื้นที่ระนาบ	153
3.7.1 วิธีกฎสี่เหลี่ยมคางหมูหรือทราเปซอยด์	154
3.7.2 วิธีกฎของซิมป์สัน	156

	หน้า
บทที่ 4 การประเมินค่าขนาดปริมาตรในภาคสนาม	265
4.1 มวลดิน มวลทราย และมวลหิน	266
4.2 วิธีหาค่าปริมาตรจากรูปตัดแนวขวาง	269
4.2.1 การหาค่าปริมาตรด้วยวิธีพื้นที่เฉลี่ย	269
4.2.2 การหาค่าปริมาตรด้วยวิธีพื้นที่หัวท้ายเฉลี่ย	270
4.2.3 การหาค่าปริมาตรด้วยวิธีปริสมอยต์	272
4.3 วิธีหาค่าปริมาตรจากรูปตัดแนวยาว	276
4.4 วิธีหาค่าปริมาตรจากบ่อขุดโดยใช้จุดระดับ	280
4.4.1 ปริมาตรดินหรือหินที่แบ่งฐานเป็นปริซึมฐานสี่เหลี่ยมจัตุรัส	281
4.4.2 ปริมาตรดินหรือหินที่แบ่งฐานเป็นปริซึมฐานสามเหลี่ยม	284
4.5 วิธีหาค่าปริมาตรจากรูปตัดระดับ	292
4.6 ขนาดปริมาตรดิน ทราย และหิน ในงานขุดเจาะและขนย้าย	296
4.6.1 การคำนวณค่าขนาดปริมาตรดินในการขุดสระเก็บน้ำ	298
4.6.2 การคำนวณค่าขนาดปริมาตรดินในการปรับระดับพื้น	314
4.6.3 การคำนวณค่าขนาดปริมาตรจากแผนที่หน้างานก่อสร้างหรือหน้าเหมือง	332
4.6.4 การคำนวณค่าขนาดปริมาตรมวลกองทรายหรือหางแร่ (มวลส่วนเกิน)	346
4.6.5 การคำนวณค่าขนาดปริมาตรดินหรือหินที่มีความลาด	352
4.7 การใช้วิธีกราฟิกหาค่าขนาดปริมาตรมวลหิน	360
4.8 เนื้อหาที่สำคัญของบทที่ 4	372
แบบฝึกหัด บทที่ 4	373

	หน้า
บทที่ 5 การสุ่มเก็บตัวอย่างสินแร่และการประเมินเกรดแร่	395
5.1 นิยามแร่กับสินแร่	395
5.2 นิยามแหล่ง (สิน) แร่	396
5.2.1 นิยามที่ขยายใช้กับปริมาณแร่สำรอง	400
5.2.2 นิยามที่ขยายใช้กับปริมาณทรัพยากรแร่	401
5.3 พารามิเตอร์ที่สำคัญของสินแร่	402
5.3.1 องค์ประกอบเชิงน้ำหนัก	402
5.3.2 เกรดแร่เศรษฐกิจหรือเกรดสินแร่	408
5.4 วิธีหาค่าเกรดเฉลี่ยของสินแร่	411
5.4.1 เทคนิคหลายรูปแบบในการหาค่าเกรดเฉลี่ย	411
5.4.2 เทคนิคในการวางแผนเปิดเหมือง	426
5.5 การสุ่มเก็บตัวอย่างสินแร่	428
5.5.1 ความโน้มเอียงในการสุ่มเก็บตัวอย่าง	429
5.5.2 การกำหนดระยะกับผังรูปแบบหลุมเจาะสุ่มเก็บตัวอย่าง	430
5.5.3 ชนิดของงานสุ่มเก็บตัวอย่าง	434
5.5.4 การคำนวณหาค่าเกรดเฉลี่ยจากการสุ่มเก็บตัวอย่าง	441
5.6 เนื้อหาที่สำคัญของบทที่ 5	458
แบบฝึกหัด บทที่ 5	459
บทที่ 6 การประเมินแหล่งแร่ (1)	469
6.1 กำเนิดของแร่กับการประเมินแหล่งแร่	469
6.2 วิธีประเมินแหล่งแร่หลายรูปแบบ	471
6.3 วิธีประเมินแหล่งแร่ที่ใช้วิธีสถิติบรรยาย	474
6.3.1 ความถูกต้องและช่วงขีดจำกัดความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ย	475
6.3.2 ความเชื่อถือได้ของการสุ่มเก็บตัวอย่างในสนาม	478

	หน้า
6.4 วิธีประเมินแหล่งแร่ที่มีความสัมพันธ์กับระยะทาง	481
6.4.1 การประเมินหาค่าเกรดที่เปลี่ยนแปลงอย่างสม่ำเสมอ	482
6.4.2 การประเมินเกรดแร่ที่แปรผกผันเป็นส่วนกลับค่ายกกำลังสอง ของระยะทาง	484
6.5 วิธีประเมินแหล่งแร่ตามค่าคุณภาพแร่จากหลุมเจาะ	486
6.5.1 การประเมินรวมตลอดช่วงความหนาสินแร่	486
6.5.2 การประเมินแบบคัดแยกชั้นสินแร่เท็จจริง	489
6.6 วิธีประเมินแหล่งแร่ที่ใช้ค่าน้ำหนักสินแร่	492
6.7 การประเมินแหล่งแร่ที่ใช้ผังหลุมเจาะ	499
6.7.1 การใช้พื้นที่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าปกติ	504
6.7.2 การใช้พื้นที่รูปหลายเหลี่ยม	508
6.7.3 การใช้พื้นที่รูปสามเหลี่ยม + รูปสี่เหลี่ยม	512
6.7.4 การใช้เส้นชั้นความหนาสินแร่	518
6.8 วิธีประเมินแหล่งแร่ที่ใช้รูปตัดของหลุมเจาะหลายหลุม	526
6.8.1 การประเมินสินแร่ใช้รูปตัดดิ่ง	527
6.8.2 การคำนวณรูปตัดดิ่งสินแร่ใช้กฎทราเปซอยด์	537
6.8.3 การคำนวณรูปตัดดิ่งสินแร่ใช้กฎซิมป์สัน	539
6.9 เนื้อหาที่สำคัญของบทที่ 6	543
แบบฝึกหัด บทที่ 6	544
 บทที่ 7 การประเมินแหล่งแร่ (2)	 557
7.1 การประเมินแหล่งแร่เชิงธรณีวิทยาโครงสร้างมวลสินแร่	557
7.2 การประเมินแหล่งแร่เชิงเศรษฐศาสตร์	574
7.2.1 การจัดลำดับขั้นตอนการผลิตที่เหมาะสมที่สุด	575
7.2.2 นิยามของพารามิเตอร์หลักเชิงเศรษฐศาสตร์สินแร่	576
7.2.3 เทคนิคการประเมินแหล่งแร่เชิงเศรษฐศาสตร์สินแร่	581

	หน้า
7.3 การประเมินแหล่งแร่ใช้วิธีธรณีสถิติ	596
7.3.1 ตัวแปรที่ไม่พึงพิงกับจำนวนสุ่มเก็บตัวอย่าง	597
7.3.2 เกณฑ์เพิ่มเติมของธรณีสถิติ	598
7.3.3 การประเมินหาค่าเชิงธรณีสถิติกับสร้างแนวไอแกรม	603
7.3.4 วิธีคริกกิงที่ใช้ในการประเมินค่าเกรดสินแร่	606
7.4 เนื้อหาที่สำคัญของบทที่ 7	617
แบบฝึกหัด บทที่ 7	618
 บรรณานุกรม	 637
 ดัชนี	 643
 Index	 653
 ประวัติผู้เขียน	 665

บทที่ 1

ความรู้พื้นฐานในงานรังวัดภาคสนาม

บทที่ 1

ความรู้พื้นฐานในงานรังวัดภาคสนาม

การสำรวจรังวัดภาคสนามแหล่งทรัพยากรธรณีธรรมชาติ (natural geological resources) เช่น การสำรวจแหล่งดิน แหล่งน้ำบาดาล แหล่งหิน แหล่งแร่ และแหล่งน้ำมันดิบกับแก๊สธรรมชาติ มีจุดประสงค์เพื่อได้ข้อมูลที่สำคัญเพื่อใช้ในการวางแผนประเมินแหล่งทรัพยากรธรณีบริเวณแหล่งนั้น

ข้อมูลภาคสนามเบื้องต้นที่นักธรณีวิทยากับวิศวกรต้องทำงานร่วมกัน ได้แก่ การใช้แผนที่ภูมิประเทศ แผนที่ธรณีวิทยา ภาพถ่ายทางอากาศ รวมทั้งแผนที่พิเศษที่มีมาตราส่วนเหมาะสมสำหรับหน้างานภาคสนาม เพื่อประเมินหาค่าขนาดพื้นที่มวลสาร ปริมาตรของมวลสารที่ต้องทำการขนย้าย ปริมาตรดิน-หินที่ต้องขุดออกเพื่อลดระดับ หรือปริมาตรดิน-หินมาถมเพื่อเพิ่มระดับ สุดท้ายเป็นการประเมินเพื่อหาค่าตัวเลขปริมาณสำรอง กับหาค่าในเชิงคุณภาพของแหล่งทรัพยากรธรณี ซึ่งเอกสารเล่มนี้เน้นวิธีการประเมินเฉพาะแหล่งแร่ แหล่งหิน แหล่งดิน และแหล่งทราย เท่านั้น (ไม่ได้ครอบคลุมถึงการประเมินแหล่งน้ำบาดาล แหล่งน้ำมันดิบ กับแหล่งแก๊สธรรมชาติ)

งานสำรวจภาคสนามมีการใช้อุปกรณ์และเครื่องมือหลากหลาย หัวข้อที่จะบรรยายในบทนี้เป็นงานสำรวจและวิธีการคำนวณพื้นฐาน ที่มีการใช้อุปกรณ์ธรรมดาทั่วไปในงานรังวัด เช่น ไซ สายวัด เข็มทิศ เครื่องคิดเลข ในส่วนของอุปกรณ์พิเศษที่มีสมรรถนะสูง ราคาแพง เช่น เครื่องวัดระยะด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ (electronic distance measurement) เครื่องวัดมุมด้วยกล้องทีโอดอลไลท์ (theodolite) ถ้าหากผู้ปฏิบัติงานสำรวจในภาคสนามมีโอกาสได้ใช้อุปกรณ์เหล่านี้ รวมทั้งใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ จะทำให้ประหยัดเวลาเสียค่าใช้จ่ายงานภาคสนามน้อยลง ได้ค่าตัวเลขผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

1.1 การสำรวจรังวัดแหล่งทรัพยากรธรณี (geological resources survey)

การสำรวจรังวัดแหล่งทรัพยากรธรณี มีหลายรูปแบบ ได้แก่ การสำรวจรังวัดแหล่งดิน แหล่งน้ำ บาดาล แหล่งหินก่อสร้าง รวมทั้งแหล่งแร่ กับแหล่งน้ำมันดิบ พื้นฐานของการปฏิบัติงานสำรวจแหล่งทรัพยากรเหล่านี้มีการทำรังวัดในรูปแบบที่ใกล้เคียงกัน โดยมีความเกี่ยวข้องกับการวัดระยะทางและมุม (distance and angle measurement) จนถึงการคำนวณหาค่าระดับความสูง (elevation) จุดต่าง ๆ บนพื้นผิวภูมิประเทศที่มีการอ้างอิงเทียบกับค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง หรือการหาลักษณะรูปร่างพื้นผิวดิน แนวทิศทางและความยาวของแนวเขตพื้นที่สัมปทาน

วิธีการรังวัดในภาคสนาม ถ้าจำแนกตามอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้มีหลายรูปแบบ ได้แก่ การรังวัดด้วยโซ่ (chain survey) การรังวัดด้วยเข็มทิศ (compass survey) การรังวัดด้วยกล้องวัดมุมหรือกล้องทรีโอดไลต์ (theodolite survey) การรังวัดด้วยวิธีสเตเดีย (stadia survey) การรังวัดด้วยโต๊ะแผนที่ (plane table survey) การรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศ (aerial photographic survey)

หลักการเบื้องต้นของการสำรวจรังวัด มีทั้งหมด 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการแบ่งพื้นที่ใหญ่ออกเป็นส่วนพื้นที่เล็กหลายส่วน เพื่อให้เกิดค่าคลาดเคลื่อน (error) สะสมน้อยที่สุด ส่วนที่สองเพื่อกำหนดตำแหน่งของจุดใหม่โดยใช้ข้อมูล (เช่นค่าระยะ ค่าระดับสูง กับค่ามุม) จากจุดสำรวจที่มีอยู่เดิม

นิยามวิธีการรังวัด

ศัพท์ต่อไปนี้ เป็นคำศัพท์พื้นฐานในงานรังวัด (surveying)

สเฟียรอยด์ (spheroid) เป็นพื้นผิวที่มีลักษณะใกล้เคียงกับรูปทรงกลม ใช้แทนพื้นฐานของพื้นผิวโลกในงานรังวัดบนพื้นราบ ประเทศไทยใช้ทรงรีของเซอร์เชาเอเวอร์เรส (Everest ellipsoid) ที่เกิด

จากการหมุนวงรี (ellipse) รอบแกนสั้น (minor axis) ที่ตรงกับแกนโลก ทั้งนี้พื้นฐานโลกที่แท้จริง มีชื่อเรียกว่า ยีออยด์ (geoid) แทนด้วยพื้นผิวระดับน้ำทะเลปานกลาง

ผิวระดับ (level surface) หมายถึง พื้นผิวที่มีทุกจุดตั้งฉากกับทิศทางของแรงดึงดูดของโลก สำหรับงานรังวัดพื้นที่ขนาดเล็กกำหนดให้ผิวระดับเป็นผิวระนาบราบ แต่ในงานรังวัดพื้นที่ขนาดใหญ่กำหนดให้ผิวระดับเป็นผิวระนาบโค้ง

ระนาบราบ (horizontal plane) หมายถึง ระนาบที่สัมผัสกับผิวระดับ หรือเป็นระนาบที่สถานีสำรวจ (station) อยู่ในแนวฉากกับแนวโค้ง สถานีหนึ่งมีได้เพียงระนาบเดียว

ระนาบตั้ง (vertical plane) หมายถึง ระนาบที่อยู่ในแนวตั้งโดยมีเส้นตั้งเป็นส่วนประกอบของระนาบ สถานีหนึ่งมีได้หลายระนาบ

แนวราบ (horizontal line) หมายถึง แนวที่สัมผัสกับผิวระดับ ในงานรังวัดแนวราบจัดเป็นเส้นตรง หรือเป็นแนวที่ฉากกับแนวตั้งที่สถานีหนึ่ง แนวราบที่จุดหนึ่งมีได้หลายแนว

แนวตั้ง (vertical line) หมายถึง แนวที่ฉากกับระนาบราบ (ในงานรังวัดแสดงโดยแนวสายตั้ง – plumb line) แนวตั้งนี้ใช้ในความหมายเฉพาะแนวแรงดึงดูดโลกที่สถานีรังวัดนั้น ทั้งนี้แนวตั้งของสถานีรังวัดต่าง ๆ อาจไม่ตัดกันที่จุดเดียว (จุดศูนย์ถ่วงโลก ไม่จำเป็นต้องตรงกับจุดศูนย์กลางสเฟียรรอยเสมอไป)

มุมราบ (horizontal angle) หมายถึง มุมที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรงสองเส้นที่อยู่ใน (บน) ระนาบราบเดียวกัน หรือเป็นมุมระหว่างระนาบตั้ง 2 ระนาบที่วัดบนพื้นผิวราบ

มุมตั้ง (vertical angle) หมายถึง มุมที่วัดในแนวตั้ง หรือเป็นมุมที่เกิดจากการตัดกันของเส้นตรงสองเส้นที่อยู่ใน (บน) ระนาบตั้งเดียวกัน ในงานรังวัดกำหนดให้เส้นตรงเส้นหนึ่งประกอบเป็นมุมตั้งตั้งอยู่ในแนวราบ

ระยะทาง (distance) หมายถึง ระยะตามแนวเส้นตรงระหว่างจุดสองจุด ในงานรังวัด ระยะทางบนแผนที่ กำหนดให้เป็นระยะที่วัดตามแนวราบ

ค่าระดับ (elevation) หมายถึง ระยะตั้งวัดจากฐานระดับถึงจุดที่ต้องการทราบค่าระดับ ความสูง

ค่าต่างระดับ (difference in elevation) หมายถึง ระยะตั้งระหว่างผิวระดับ 2 ผิว วัดจาก ฐานระดับถึงจุดที่ต้องการทราบค่าระดับความสูง

เส้นชั้นความสูง (contour line) หมายถึง แนวเส้นสมมุติที่ลากผ่านจุดบนพื้นผิวดิน (โลก) ที่มีค่าระดับเท่ากัน

อัตราลาดเอียงหรือความลาดเอียง (grade or gradient or slope angle) หมายถึง ความลาดภูมิประเทศ (slope) ที่คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ (อัตราร้อยละ) ใช้ค่าอัตราส่วนระยะตั้งต่อระยะราบ แล้วคูณด้วยร้อย เครื่องหมายเป็นบวกเมื่อเอียงขึ้น เครื่องหมายเป็นลบเมื่อเอียงลง แต่ในส่วนของ การแสดงเครื่องหมายความลาดเท (เอียง) ทางธรณีวิทยาของชั้นหินจะกลับทางกัน

1.2 หน่วยการรังวัด (survey units)

หน่วยการรังวัดที่ระบุในหัวข้อนี้ มีการรวบรวมมาจากเอกสารหลายแหล่ง ทั้งนี้แยกหัวข้อย่อย เป็นหน่วยที่เกี่ยวข้องและใช้กับการคำนวณและประเมินแหล่งทรัพยากรธรณีที่เกิดในธรรมชาติ (ของแข็ง กับของเหลว) ได้แก่ ค่าระยะ มุม พื้นที่ ปริมาตร และน้ำหนัก

1.2.1 หน่วยการวัดระยะ (distance measurement units)

หน่วยที่ใช้วัดระยะในหัวข้อย่อยนี้ มีทั้งการวัดระยะในหน่วยเมตริก (metric system) หน่วยอังกฤษ (English or imperial system) หน่วยในระบบ S. I. (Système International d'Unité's) กับหน่วยวัดระยะของประเทศไทย ทั้งนี้มีการเปรียบเทียบค่าการวัดไว้ด้วยเลขทศนิยมสูงสุดห้าตำแหน่ง

$$1,000 \text{ มิลลิเมตร} = 100 \text{ เซนติเมตร} = 1 \text{ เมตร}$$

$$1 \text{ นิ้ว} = 25.4 \text{ มิลลิเมตร} = 2.54 \text{ เซนติเมตร} = 0.0254 \text{ เมตร} = 8 \text{ หุน (ระยะไทย)}$$

$$1 \text{ ฟุต} = 30.48 \text{ เซนติเมตร} = 0.3048 \text{ เมตร} = 12 \text{ นิ้ว} = \frac{1}{3} \text{ หลา (yard)}$$

$$2 \text{ คืบ} = 1 \text{ ศอก}, \quad 4 \text{ ศอก} = 1 \text{ วา}, \quad 20 \text{ วา} = 1 \text{ เส้น}, \quad 400 \text{ เส้น} = 1 \text{ โยชน์}$$

$$1 \text{ กิโลเมตร} = 0.62137 \text{ ไมล์} = 1,000 \text{ เมตร} = 25 \text{ เส้น} = 500 \text{ วา}$$

$$1 \text{ ไมล์ (บนพื้นผิวดิน)} = 1.60934 \text{ กิโลเมตร} = 5,280 \text{ ฟุต} = 1,760 \text{ หลา} = 8 \text{ เฟอลอง}$$

$$(\text{furlong}) = 80 \text{ เซน (chain)}$$

$$1 \text{ ไมล์ทะเล (nautical mile)} = 1.85166 \text{ กิโลเมตร} = 6,075 \text{ ฟุต} = 2,025 \text{ หลา}$$

1.2.2 หน่วยการวัดมุม (angle measurement units)

หน่วยที่ใช้วัดมุมมีหลายระบบ ทำให้มีชื่อเรียกหน่วยแตกต่างกัน ดังนี้

ก. ระบบอังกฤษมีชื่อเรียกเฉพาะว่า Sexagesima system หน่วยมุมเป็นองศา (degree)

ลิปดา [Lipdah or minute (of arc)] พิลิปดา [Pilipdah or second (of arc)]

$$1 \text{ circumference (วงรอบ - โลก)} = 360^\circ$$

$$1 \text{ degree } (1^\circ) = 60 \text{ minute } (60') = 60 \times 60 \text{ second } (3,600'')$$

ข. ระบบฝรั่งเศส มีชื่อเรียกเฉพาะว่า Centesimal system หน่วยของมุมมีค่าเป็นเกรด

(grad or grade) เซนติเกรด (centigrade) และ เซนติ-เซนติเกรด (centi-centigrade)

$$1 \text{ circumference (วงรอบ-โลก)} = 400^g$$

$$1 \text{ grad or grade (1}^g) = 100 \text{ centigrades (100}^c) = 100 \times 100 \text{ centi-centigrades (10,000}^{cc})$$

ค. ระบบทางทหาร มีชื่อเรียกเฉพาะว่า Millie'me system (ภาษาฝรั่งเศส) หรือใช้ mil (military) system หรือ milliradian (คำภาษาไทยระบุบนแผนที่ภูมิประเทศ กรมแผนที่ทหาร กระทรวงกลาโหม คือ “มิลเลียม”) หน่วยของมุมเป็น มิลเลียมหรือมิล (mil) และเรเดียน (radian)

$$1 \text{ circumference (วงรอบ-โลก)} = 6,400^M$$

$$6,400 \text{ mils (6,400}^M) = 360^o = 2\pi \text{ radians } (\pi = 3.141592654)$$

$$1 \text{ radian} = 57^o 17' 44.8'' = 1,018.6 \text{ mils}$$

$$1 \text{ mil (1}^M) = 0.00098175 \text{ radian} = 0.05625^o = 3.375' = 202.5''$$

ง. ระบบ S.I. ระบบนี้หน่วยของมุมมีค่าเท่ากับหน่วยมุมของฝรั่งเศส แต่ใช้ชื่อหน่วย เป็น gon, centigon, milligon

$$1 \text{ circumference (วงรอบโลก)} = 400 \text{ gons (360}^o)$$

$$1 \text{ gon (กอน)} = 100 \text{ centigons (100 cgons)} = 1,000 \text{ milligons (1,000 mgons)}$$

$$\text{การเทียบหน่วย: } 1 \text{ องศา} = 1.11111 \text{ gons, } 1 \text{ ฟิลิปดา} = [1 \div 206,265] \text{ เรเดียน}$$

1.2.3 หน่วยการวัดพื้นที่ (area measurement units)

หน่วยที่ใช้วัดพื้นที่ในหัวข้อย่อยนี้ มีหลายหน่วย ได้แก่ หน่วยเมตริก หน่วยอังกฤษ หน่วย S.I. และหน่วยประเทศไทย มีการเปรียบเทียบค่าไว้ด้วยเลขทศนิยมสูงสุดห้าตำแหน่ง

$$1 \text{ ไร่} = 4 \text{ งาน} = 400 \text{ ตารางวา} = 1,600 \text{ ตารางเมตร} = 0.00160 \text{ ตร.กิโลเมตร}$$

$$= 17,222.25667 \text{ ตารางฟุต} = 16 \text{ แอเคอร์ (ares)} = 0.39537 \text{ เอเคอร์ (acre)}$$

$$1 \text{ แอเคอร์ (are)} = 0.0001 \text{ ตร.กิโลเมตร} = 100 \text{ ตารางเมตร} = 0.01 \text{ เฮกตาร์} = 0.0625 \text{ ไร่}$$

$$1 \text{ เอเคอร์ (acre)} = 0.004047 \text{ ตร.กม.} = 4,047 \text{ ตารางเมตร} = 43,560 \text{ ตร.ฟุต}$$

$$= 4,840 \text{ ตารางหลา} = 0.001563 \text{ ตารางไมล์} = 2.52927 \text{ ไร่}$$

$$1 \text{ ตารางเมตร} = 10.76391 \text{ ตารางฟุต} = 0.00010 \text{ เฮกตาร์ (hectare)} = 0.25 \text{ ตารางวา}$$

$$1 \text{ ตารางกิโลเมตร} = 1 \times 10^6 \text{ ตารางเมตร} = 100 \text{ เฮกตาร์} = 10,000 \text{ แอเคอร์} = 625 \text{ ไร่}$$

$$1 \text{ ตารางฟุต} = 0.09290 \text{ ตารางเมตร} = 0.11111 \text{ ตารางหลา} = 144 \text{ ตารางนิ้ว}$$

$$1 \text{ ตารางไมล์} = 2.58998 \text{ ตร.กิโลเมตร} = 2.58998 \times 10^6 \text{ ตารางเมตร} = 1,618.73750 \text{ ไร่}$$

$$= 640 \text{ เอเคอร์ (acres)} = 2.78784 \times 10^7 \text{ ตารางฟุต} = 3.09760 \times 10^6 \text{ ตารางหลา}$$

1.2.4 หน่วยการวัดปริมาตร (volume measurement units)

หน่วยที่ใช้วัดปริมาตรในหัวข้อย่อยนี้ มีหลายหน่วย ได้แก่ หน่วยเมตริก หน่วยอังกฤษ หน่วย S.I. มีการเปรียบเทียบค่าไว้ด้วยเลขทศนิยมสูงสุดห้าตำแหน่ง

1 ลบ.เมตร = 35.31467 ลบ.ฟุต = 1,000 ลิตร (liters or litres) = 264.17288 แกลลอน

อเมริกัน (U.S. gallon) = 219.96876 แกลลอนอังกฤษ (Imperial gallon)

1 ลิตร = 1,000 ลบ.เซนติเมตร (หรือ 1,000 cc.) = 0.001 ลบ.เมตร = 61.02374 ลบ.นิ้ว

= 0.03532 ลบ.ฟุต = 0.26417 แกลลอนอเมริกัน = 0.21997 แกลลอนอังกฤษ

1 แกลลอนอเมริกัน = 3.78541 ลิตร = 0.83267 แกลลอนอังกฤษ = 231 ลบ.นิ้ว

1 แกลลอนอังกฤษ = 4.54609 ลิตร = 1.20095 แกลลอนอเมริกัน = 277.41447 ลบ.นิ้ว

1 บาร์เรลอเมริกัน (U.S. barrel) ของน้ำมันดิบ (crude oil) = 42 แกลลอนอเมริกัน

= 34.97230 แกลลอนอังกฤษ = 158.98722 ลิตร

1 ลบ.ฟุต = 0.03704 ลบ.หลา = 1,728 ลบ.นิ้ว = 28,316.84659 ลบ.เซนติเมตร

= 0.028317 ลบ.เมตร = 28.31700 ลิตร

1 ควอท (quart) ของเหลว = 2 พินท์ (pints) = 0.25 U.S. gallon (ตามค่าหน่วย

ปริมาตรของเหลว) = 0.94636 ลิตร (อิงตาม U.S. gallon) = 1.13653 ลิตร

(อิงตาม Imperial gallon)

1.2.5 หน่วยการวัดน้ำหนัก (weight measurement units)

หน่วยที่ใช้วัดน้ำหนักในหัวข้อย่อยนี้ มีหลายหน่วย ได้แก่ หน่วยเมตริก หน่วยอังกฤษ หน่วย S.I. หน่วยของทองคำและอัญมณี กับหน่วยที่ใช้ในประเทศไทย (อิงตามหน่วยน้ำหนักจีน) มีการเปรียบเทียบค่าไว้ด้วยเลขทศนิยมสูงสุดห้าตำแหน่ง

1 กิโลกรัม = 0.001 เมตริกตัน (metric ton) = 1,000 กรัม = 2.20462 ปอนด์
= 9.80665 นิวตัน = 5,000 กะรัตอัญมณี (carats of gem) – แร่รัตนชาติที่เจียระไนแล้ว

1 ปอนด์ = 453.59291 กรัม = 0.45359 กิโลกรัม = 4.44822 นิวตัน = 16 Avoirdupois
ounces (อวอยดูปอยออนซ์) = 12 troy ounces of imperial unit (ทรอยออนซ์ของระบบอังกฤษ)

1 ทรอยออนซ์นานาชาติ (international troy ounce) = 480 เกรน (grains) = 31.10348 กรัม
= 20 เพนนีเวท (pennyweight, dwt)

1 อวอยดูปอยออนซ์ = 437.5 เกรน = 28.34952 กรัม

1 กรัม = 0.0010 กิโลกรัม = 5 กะรัตอัญมณี = 0.03527 Avoirdupois ounce = 0.03215
international troy ounce = 15.43236 เกรน

1 กะรัต (carat) อัญมณี = 0.2 กรัม = 20 เซนติกรัม (centi-grams) = 3.08647 เกรน (grains)

กะรัตทองคำ (karat of gold, k): ทองคำ 24 k = pure gold (99.9 % Au) ในประเทศไทย = 96.5 %
Au – 23.2 k), ทองคำ 18 k = 18/24 (เนื้อธาตุทองคำ 18/24 เป็นเนื้อธาตุประสมอื่น 6/24)

1 เพนนีเวท (pennyweight – dwt) = 1.55517 กรัม = 24 เกรน

1 บาททองคำ = 40 หนูน (น้ำหนักจีน) = 15.244 กรัม = 4 สลึง = 8 เฟื้อง

1 ตันสั้น (short ton) = 2,000 ปอนด์ = 907.18474 กิโลกรัม = 0.90718 เมตริกตัน
= 8.89644 กิโลนิวตัน

1 ตันยาว (long ton) = 2,240 ปอนด์ = 1,016.04619 กิโลกรัม = 1.01605 เมตริกตัน
= 9.96402 กิโลนิวตัน

1 ชั่ง (catty or chin – จีน) ที่ใช้กับแร่ดีบุกในประเทศไทย = 596.816 กรัม = 1/100 หาบจีน
(picul or tam) ส่วน 1 ชั่ง (kati or catti) ที่ใช้ในหมู่เกาะมลายูและหมู่เกาะอินเดีย = 604.79 กรัม

1.3 มาตราส่วน (scale)

มาตราส่วนมีการระบุไว้บนแผนที่ทุกชนิด ทั้งแผนที่ภูมิประเทศ แผนที่หน้างานก่อสร้าง แผนที่ธรณีวิทยา แผนที่น้ำบาดาล เป็นต้น จุดประสงค์เพื่อย่อระยะทางบนพื้นผิวดินของบริเวณสำรวจลงบนกระดาษแผนที่เพียงแผ่นเดียว

นิยาม **มาตราส่วนแผนที่ (map scale)** หมายถึง อัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างความยาวของเส้นฐานบนแผนที่ (หรือบนผัง) ต่อความยาวของเส้นฐานเดียวกันบนพื้นผิวของภูมิประเทศแสดงในรูปแบบอัตราส่วน (ระยะทางทั้งหมดเป็นระยะราบ) คือ

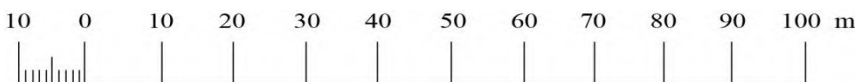
$$\text{มาตราส่วนแผนที่ (map scale)} = \frac{\text{ระยะทางเชิงเส้นบนแผนที่ (linear map distance)}}{\text{ระยะทางเชิงเส้นบนพื้นผิวดิน (linear ground distance)}}$$

1.3.1 ชนิดของมาตราส่วน (scale types)

ชนิดของมาตราส่วน ในงานทางธรณีวิทยาและวิศวกรรมศาสตร์ แบ่งออกเป็น

ก. มาตราส่วนเชิงวิศวกรรม (engineering scale)

มาตราส่วนประเภทนี้ใช้กับแผนที่หน้างานก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่ แบ่งออกเป็นการแบ่งช่องขีดแบบขยายทางด้านขวาของ 0 (ศูนย์) เป็นส่วน primary scale และแบบละเอียดทางด้านซ้ายของ 0 เป็นส่วน extension scale ดังแสดงในรูป 1.1



รูปที่ 1.1 มาตราส่วนเชิงวิศวกรรม อัตราส่วน 1 : 1,000

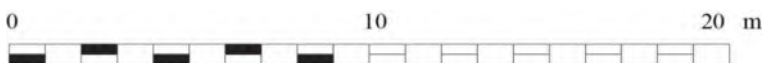
ข. มาตราส่วนเศษส่วน [representative fraction (R.F.) scale]

มาตราส่วนนี้อาจเรียกชื่อเป็นอย่างอื่น ได้แก่ fraction scale หรือ numerical scale ใช้กับแผนที่ทั่วไป เพื่อเปรียบเทียบค่าอัตราส่วน ระหว่างระยะทาง (ราบ) ที่วัดบนแผนที่ กับระยะทาง (ราบ) จริงบนภูมิประเทศ ลักษณะเป็นเศษส่วน กำหนดให้ ระยะทางบนแผนที่เท่ากับ 1 หน่วย

ตัวอย่าง มาตราส่วน 1 : 50,000 หรือเขียนเป็น $\frac{1}{50,000}$ โดยไม่ต้องมีหน่วยวัดระยะกำกับไว้ สามารถใช้กับหน่วยวัดระยะมาตราใดก็ได้ เช่น 1 เซนติเมตรต่อ 50,000 เซนติเมตร หรือใช้ 1 นิ้วต่อ 50,000 นิ้ว รวมทั้ง 1 เมตรต่อ 50,000 เมตร กับ 1 ฟุตต่อ 50,000 ฟุต

ค. มาตราส่วนเชิงกราฟิก (graphic scale)

มาตราส่วนเชิงกราฟิกหรือมาตราส่วนเชิงเส้น หมายถึง การแสดงมาตราส่วนเป็นภาพเชิงเส้นตรง และใช้มาตรเส้นตรงแบ่งเป็นระยะย่อยหลายส่วนตามความเหมาะสมของมาตราส่วนนั้น แต่ละส่วนจะมีตัวเลขกำกับไว้ ทำให้ทราบวาระยะแต่ละส่วนบนแผนที่แทนค่าระยะทางบนพื้นผิวดิน หน่วยที่ระบุระยะในมาตราส่วนเชิงกราฟิกมีหลายรูปแบบ เช่น ไมล์ เมตร ฟุต กิโลเมตร ในรูปที่ 1.2 ระยะ 2 ช่องกราฟิก [1 ซม.] = 2 เมตร หรือเป็นอัตราส่วน 1 : 200



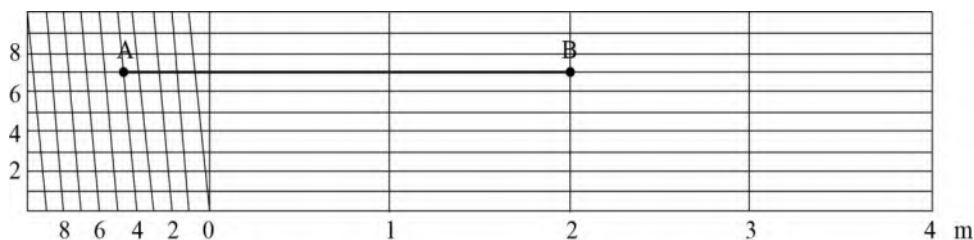
รูปที่ 1.2 มาตราส่วนเชิงกราฟิกหรือเชิงเส้น อัตราส่วน 1 : 200

ง. มาตราส่วนเชิงคำพูด (verbal scale)

เป็นมาตราส่วนแผนที่เชิงคำพูดปกติ และหน่วยวัดระยะทางแผนที่กับหน่วยวัดระยะทางบนภูมิประเทศไม่จำเป็นต้องเหมือนกัน ไม่เหมาะใช้คำนวณเพื่อหาระยะทางเหมือนกับมาตราส่วนชนิดอื่น ตัวอย่าง 1 นิ้ว เท่ากับ 100 เมตร หรือ 1 เซนติเมตร เท่ากับ 10 ฟุต

จ. มาตราส่วนเชิงเส้นเอียงหรือเส้นเอ้ (diagonal scale)

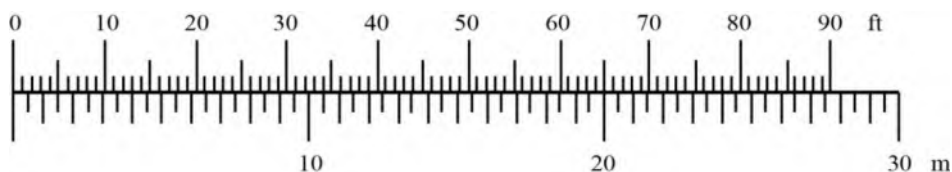
มาตราส่วนนี้คล้ายกับมาตราส่วนบนไม้โปรแทรกเตอร์ (protractor) ใช้หลักการของเรขาคณิต สร้างเส้นเอียงหรือเส้นเอ้ (diagonal line) เพื่อให้ได้ค่าความละเอียดในการวัดระยะทางบนแผนที่สูงขึ้น ตัวอย่างในรูป 1.3 ระยะ A-B คือ 2.47 เมตร ตัวเลขหลังจุดทศนิยมตำแหน่งที่หนึ่ง (เลข 4) อ่านบนช่องละเอียดด้านซ้ายของศูนย์ ส่วนตัวเลขที่สอง (เลข 7) อ่านได้โดยตรงบนเส้นเอ้แนวเฉียงที่ทำมุมป้าน (obtuse angle) กับเส้นระดับราบ



รูปที่ 1.3 มาตราส่วนเส้นเอียงหรือเส้นเอ้ (1 นิ้ว เท่ากับ 1 เมตร)

ฉ. มาตราส่วนเชิงเปรียบเทียบ (comparative scale)

มาตราส่วนนี้มีหน่วยระยะวัดในแนวเส้นตรงแตกต่างกัน 2 ด้านจากเส้นฐาน (base line) ใช้สำหรับแปลงหน่วยจากระบบหนึ่งไปยังอีกระบบหนึ่ง และมาตราส่วนทั้งสองด้าน ต้องมีค่าขนาดเดียวกัน



รูปที่ 1.4 มาตราส่วนเชิงเปรียบเทียบในแนวเส้นตรง (1 นิ้วต่อ 20 ฟุต)

ในรูป 1.4 เป็นมาตราส่วนเปรียบเทียบ มีค่าขนาดมาตราส่วน 1 นิ้ว เท่ากับ 20 ฟุต ด้านบนของเส้นฐานเป็นมาตราส่วนในระบบอังกฤษหน่วยระยะเป็นฟุต ด้านล่างของเส้นฐานเป็นมาตราส่วนในระบบเมตริกหน่วยระยะเป็นเมตร

1.3.2 การขยายมาตราส่วน (exaggeration scale)

การขยายมาตราส่วนปกติใช้กับรูปหรือภาพตัดขวาง (cross section) มีจุดประสงค์เพื่อให้ทราบรายละเอียดลักษณะสภาพภูมิประเทศ หรือสภาพโครงสร้างธรณีวิทยาของภาพตัดขวางในแนวตั้งชัดเจนมากขึ้น ระยะในแนวราบยังคงอิงกับมาตราส่วนเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง หน่วยที่แสดงเป็นจำนวนเท่าของการขยาย (times) ของระยะในแนวดิ่ง เขียนเป็นอัตราส่วน

$$\text{ค่าการขยายมาตราส่วน} = \frac{\text{มาตราส่วนแนวดิ่ง (vertical scale)}}{\text{มาตราส่วนในแนวราบ (horizontal scale)}}$$

ตัวอย่างที่ 1.1 การแปลงค่ามาตราส่วนแผนที่ (scale conversion on map)

แผนที่ภูมิประเทศ (topographic map) แหล่งสำรวจบริเวณหนึ่ง มีมาตราส่วนคำพูด (verbal scale) 1 นิ้วต่อ 1 กิโลเมตร จงแปลงค่าให้เป็นมาตราส่วนแบบเศษส่วน (R.F. scale)

ผลเฉลย

มาตราส่วนคำพูด ระยะ 1 นิ้วบนแผนที่ มีค่าเท่ากับ ระยะบนพื้นผิวภูมิประเทศ 1 กิโลเมตร ดังนั้นจึงแปลงค่าระยะทั้งสองให้เป็นหน่วยเมตริกเดียวกัน คือ เมตร

$$\text{ระยะบนแผนที่ 1 นิ้ว} = \frac{2.54 \text{ เซนติเมตร}}{100} = 0.0254 \text{ เมตร}$$

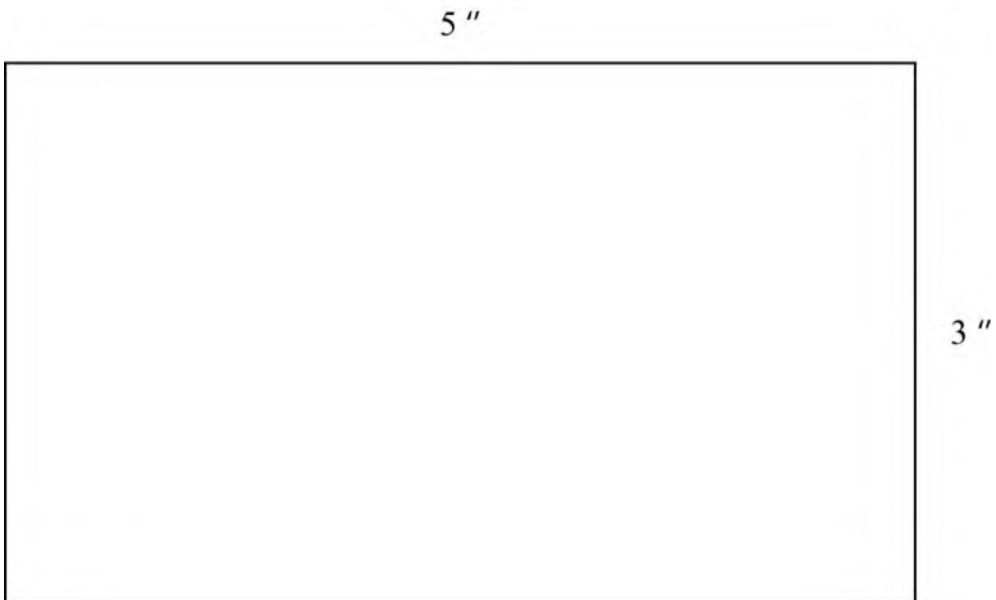
$$\text{ระยะบนพื้นผิวภูมิประเทศ 1 กิโลเมตร} = 1,000 \text{ เมตร}$$

$$\text{ดังนั้นได้อัตราส่วน} = \frac{0.0254 \text{ เมตร}}{1,000 \text{ เมตร}} = \frac{1}{39,370}$$

มาตราส่วนคำพูด 1 นิ้วต่อ 1 กิโลเมตร แปลงเป็นมาตราส่วนเศษส่วน ได้เท่ากับ 1 : 39,370

ตัวอย่างที่ 1.2 มาตราส่วนแผนที่และการขยาย (map scale and exaggeration)

ผังในรูป 1.5 กำหนดให้มีมาตราส่วน 1 นิ้ว เท่ากับ 1 ไมล์ และพื้นที่ผังเดิม เท่ากับ 5 × 3 ตารางนิ้ว



รูปที่ 1.5 ผังแผนที่เดิมที่มีขนาดพื้นที่ 5 × 3 ตารางนิ้ว

ถ้าหากต้องการขยายพื้นที่เดิมเป็นพื้นที่ใหม่ขนาด 10×6 ตารางนิ้ว จงหาค่ามาตราส่วนแบบเศษส่วน (ใช้ชื่อย่อว่า R.F. scale) ของแผนที่ใหม่ที่ขยายแล้ว (enlarged map)

ผลเฉลย

ขนาดผ้งของแผนที่เดิม 1 นิ้ว เท่ากับ 1 ไมล์ ดังนั้นหาค่าระยะ (ราบ) บนภูมิประเทศ เมื่อเทียบกับระยะ (ราบ) ที่กำหนดบนผ้ง

ระยะความยาว (length) 5 นิ้วบนผ้งแผนที่ เป็นค่าระยะจริงบนภูมิประเทศ $= 5 \times 12 \times 5,280$ นิ้ว หรือเท่ากับ 316,800 นิ้ว ดังนั้นหาค่าอัตราส่วนใหม่เชิงเส้นเมื่อมีการขยายค่าระยะความยาว เป็น 10 นิ้ว

$$\text{ค่าอัตราส่วนใหม่ของระยะความยาว} = \frac{10 \text{ นิ้ว}}{316,800 \text{ นิ้ว}} = \frac{1}{31,680}$$

ระยะความกว้าง (width) 3 นิ้วบนผ้งแผนที่ เป็นค่าระยะจริงบนภูมิประเทศ $= 3 \times 12 \times 5,280$ นิ้ว หรือเท่ากับ 190,080 นิ้ว ดังนั้นหาค่าอัตราส่วนใหม่เชิงเส้นเมื่อมีการขยายค่าระยะความยาว เป็น 6 นิ้ว

$$\text{ค่าอัตราส่วนใหม่ของระยะความยาว} = \frac{6 \text{ นิ้ว}}{190,080 \text{ นิ้ว}} = \frac{1}{31,680}$$

ดังนั้นค่าอัตราส่วนของผ้งแผนที่ใหม่จะเป็น $\frac{1}{31,680}$ หรือ 1 นิ้วเท่ากับ 0.5 ไมล์

1.1 ความรู้พื้นฐานของแผนที่ (basic knowledge on map)

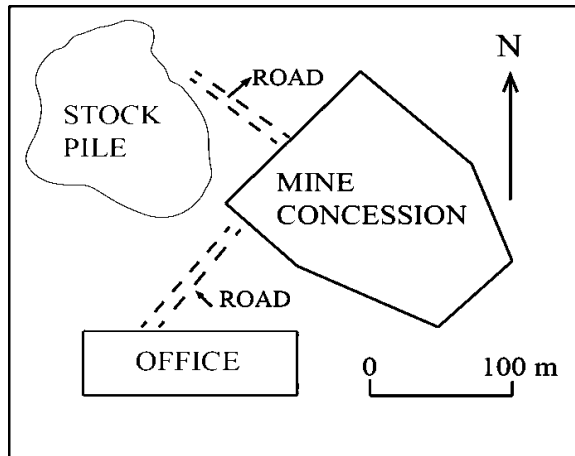
ความรู้พื้นฐานของแผนที่ ที่เกี่ยวข้องกับการประเมินแหล่งทรัพยากรธรณีที่เกิดในธรรมชาติ ได้แก่ ชนิดของแผนที่กับมาตราส่วน ความถูกต้องของแผนที่ สัญลักษณ์กับคำอธิบาย รูปหรือภาพตัดขวาง กับการจัดลำดับอายุหิน และโครงสร้างหินในภาคสนาม

1.4.1 แผนที่ที่เกี่ยวข้อง (related maps)

ในการประเมินแหล่งทรัพยากรธรณี ผู้ที่ใช้แผนที่ส่วนใหญ่ คือ ช่างรังวัด วิศวกรกับนักธรณีวิทยา แผนที่ที่บุคลากรเหล่านี้ใช้เป็นประจำ ได้แก่

ก. แผนที่แบนราบหรือแผนผัง (planimetric map)

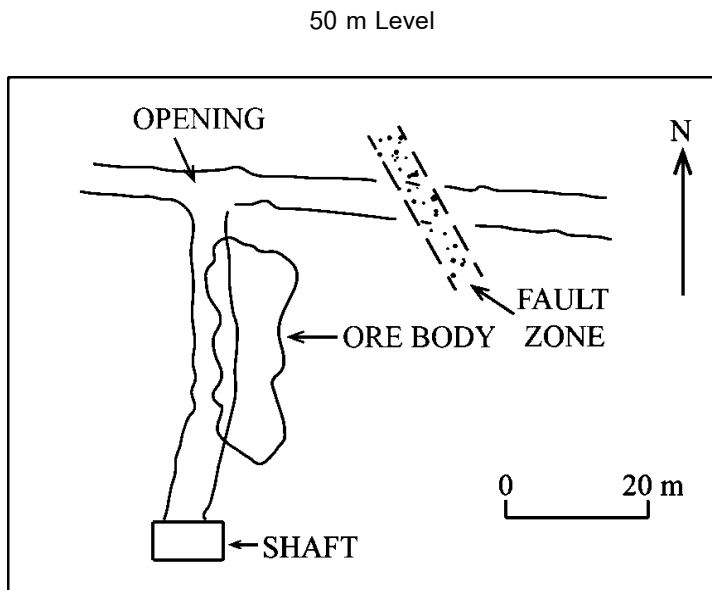
เป็นแผนที่แสดงพื้นผิวภูมิประเทศ (โลก) ในระดับราบไม่มีค่าความสูงต่ำที่แตกต่างกัน มีจุดประสงค์แสดงขอบเขตบริเวณที่ดิน หรือระบุตำแหน่งของสิ่งก่อสร้าง เช่น บ้าน ถนน ทางน้ำ บริเวณเขตสัมปทานเหมืองแร่ ปกติมีมาตราส่วนขนาดใหญ่ ได้แก่ 1 : 100, 1 : 500, 1 : 1,000



รูปที่ 1.6 แผนที่แบนราบหรือแผนผังที่ตั้งโครงการ มาตราส่วนต้นฉบับ 1 ซม. เท่ากับ 50 เมตร

ข. แผนที่ระดับใต้ดิน (underground level map)

เป็นแผนที่แสดงลักษณะที่สำคัญใต้ดิน หรือขอบเขตบริเวณเหมืองแร่หรืองานโครงการก่อสร้างที่อยู่ใต้พื้นผิวดิน มีค่าระดับความสูง (ความลึก) ระดับเดียว (same level or elevation) แผนที่ระดับมีขนาดมาตราส่วนใหญ่เช่นเดียวกับแผนที่ในงานก่อสร้างทั่วไป เริ่มขนาดตั้งแต่อัตราส่วน 1 : 1,000 ถึง 1 : 100

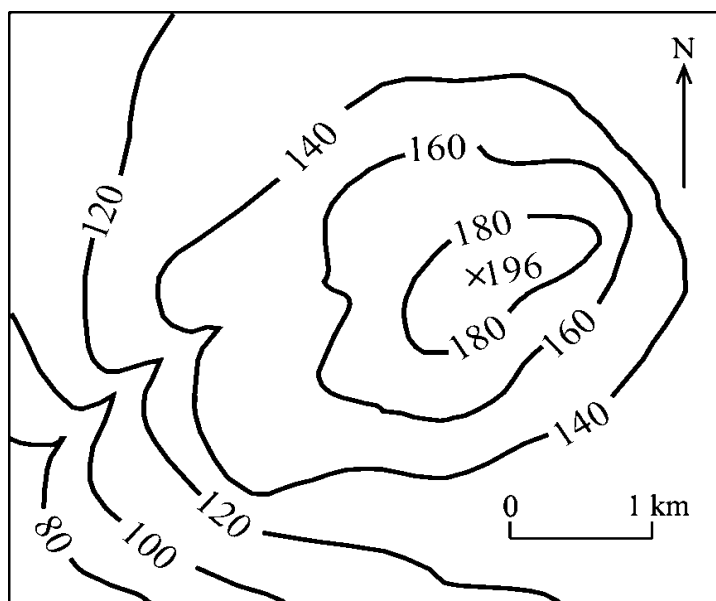


รูปที่ 1.7 แผนที่ระดับใต้ดินบริเวณที่ขุดแร่ในโครงการ มาตราส่วนต้นฉบับ 1 : 1,000
ค่าระดับความสูงมักแสดงไว้ด้านบนของแผนที่ (เป็นค่าคงที่)

ค. แผนที่ภูมิประเทศ (topographic map)

แผนที่ภูมิประเทศเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่สุดของนักสำรวจ แผนที่ภูมิประเทศแสดงให้เห็นรูปลักษณะของพื้นผิวดิน (โลก) เพื่อแสดงค่าความสูงต่ำที่แตกต่างกัน โดยการใช้อยู่ลักษณะที่เหมาะสม

เช่น เส้นชั้นความสูง (contour line) แสดงถึงทุกจุดหรือตำแหน่งบนเส้นเดียวกันนี้มีค่าระดับความสูงเท่ากัน ช่วงเส้นชั้น (contour interval) แสดงถึง ค่าความแตกต่างของค่าใดค่าหนึ่งระหว่างเส้นชั้นความสูง 2 เส้นที่อยู่ติดกัน เป็นค่าความแตกต่างของระดับความสูงในแผนที่ภูมิประเทศ ลักษณะรายละเอียดของแผนที่ภูมิประเทศมีมากกว่าแผนที่ผัง เช่น แสดงตำแหน่งเขื่อน สะพาน เหมือง กับเพิ่มรายละเอียดเบ็ดเตล็ด ระหว่างวัดมีโบสถ์ กับวัดไม่มีโบสถ์ ประเทศไทยใช้แผนที่ภูมิประเทศที่จัดทำโดยกรมแผนที่ทหาร กระทรวงกลาโหม มีมาตราส่วน 2 ชนิดหลัก คือ 1 : 50,000 กับ 1 : 250,000



รูปที่ 1.8 แผนที่ภูมิประเทศแสดงลักษณะภูมิประเทศที่เป็นเนินเขา
มาตราส่วนต้นฉบับ 1 : 50,000 ช่วงเส้นชั้น 20 เมตร

ง. แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ [aerial photographic (pictorial) map]

เป็นแผนที่ที่ได้จากการบินเหนือพื้นที่ และถ่ายภาพทางอากาศในลักษณะมองด้านบนลงมาเป็น top view จากนั้นใช้หลักการต่อภาพถ่ายแบบประติดประต่อในรูปแบบเฉพาะที่กำหนดเชิงวิชาการจนสามารถมองเป็นภาพ 3 มิติ แล้วถ่ายทอดข้อมูลเพื่อจัดทำเป็นแผนที่ภาพถ่าย มีประโยชน์ในการวางแผนสำรวจเส้นทาง ประเมินลักษณะเชิงโครงสร้างหิน แยกแยะระหว่างแหล่งน้ำกับแหล่งดิน แหล่งแร่หรือแหล่งหิน มาตรฐานแผนที่ภาพถ่ายปกติมีขนาดใหญ่กว่าแผนที่ภูมิประเทศ เช่น 1 : 25,000, 1 : 6,000 มีการจัดทำในหลายกระทรวง

จ. แผนที่การใช้ที่ดิน (land use map)

เป็นแผนที่แสดงลักษณะการใช้ที่ดินบริเวณนั้น โดยแยกพื้นที่ตามการใช้งานโดยใช้เครื่องหมายแสดงพื้นที่ที่แตกต่างกัน เช่น พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่อุตสาหกรรม พื้นที่ป่าสงวน พื้นที่แหล่งทรัพยากรธรรมชาติ มาตรฐานแผนที่การใช้ที่ดินมีขนาดเดียวกันกับแผนที่ภูมิประเทศ มีการจัดทำโดยหลายกระทรวง

ฉ. แผนที่โฉนดที่ดิน (land cadastral map)

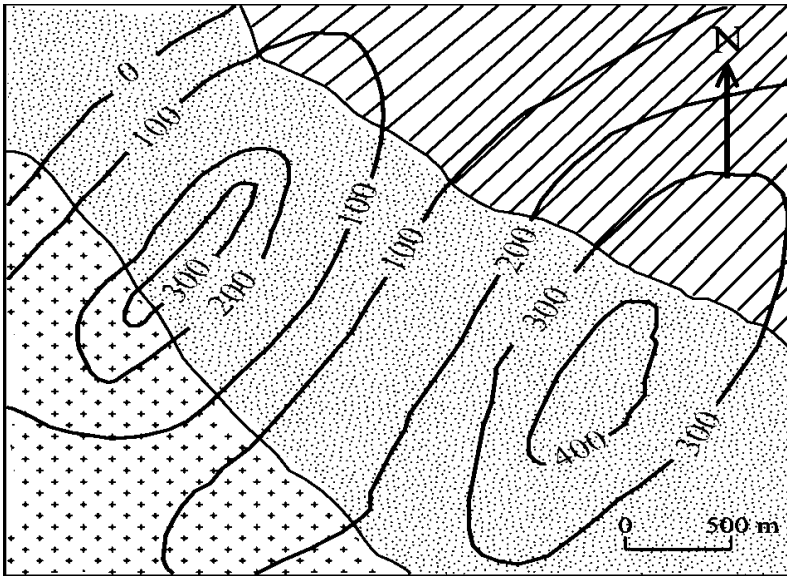
เป็นแผนที่แสดงกรรมสิทธิ์เกี่ยวกับโฉนดที่ดิน ตามแนวเขตที่ดินของผู้ถือยึดครอง มาตรฐานมีขนาดใหญ่ เช่น 1 : 500, 1 : 100 กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย เป็นผู้จัดทำแผนที่นี้

ช. แผนที่น้ำบาดาล (groundwater map)

เป็นแผนที่ที่ได้จากการนำข้อมูลลักษณะคุณภาพน้ำบาดาล มาจัดทำเป็นแผนที่เฉพาะ เพื่อแสดงปริมาณน้ำบาดาล ทิศทางการไหลของน้ำใต้ดิน และคุณภาพแหล่งน้ำบาดาลในบริเวณ มาตรฐานแผนที่น้ำบาดาลใกล้เคียงกับมาตรฐานแผนที่ภูมิประเทศแต่อาจไม่เท่ากัน เช่นมาตรฐาน 1 : 80,000 จัดทำโดย กรมทรัพยากรน้ำบาดาล กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ข. แผนที่ธรณีวิทยา (geological map)

เป็นแผนที่ที่ได้จากการนำข้อมูลชนิดหิน ลักษณะและโครงสร้างหิน มาจัดทำเป็นแผนที่แสดงขอบเขตและการแผ่กระจายของหิน ลักษณะเชิงโครงสร้างธรณีวิทยา คุณภาพแหล่งหิน การลำดับอายุชั้นหิน แผนที่ธรณีวิทยาใช้แผนที่ภูมิประเทศเป็นแผนที่พื้นฐาน (base map) แต่ในบางครั้งใช้แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศประกอบด้วย มีมาตราส่วนเดียวกันกับแผนที่ภูมิประเทศ จัดทำโดย กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 1.9 แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วนต้นฉบับ 1.5 ซม. เท่ากับ 500 เมตร เครื่องหมายเส้นขีด

ขวางเป็นหินทรายแบ่ง จุดเล็กเป็นหินเคลย์ กากบาทเป็นหินแกรนิต

1.4.2 ความถูกต้องของการร่างแผนที่ (accuracy in map draft)

ในการจัดทำแผนที่ปัจจุบันใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยพัฒนาแผนที่ต้นแบบ ความถูกต้องแม่นยำ (accuracy) จะสูงกว่าแผนที่ (ภูมิประเทศ) ที่จัดทำเมื่อประมาณ 40 ปีก่อนที่ใช้ช่างเขียนแบบ

ร่างแผนที่โดยใช้ปากกาเขียนแบบ (drawing pen) เมื่อแผนที่มีลักษณะเป็นแบบลายเส้นที่ใช้สัญลักษณ์เป็นจุดหรือเป็นเส้นตามมาตราส่วน ขนาดของจุดหรือเส้นไม่ควรเล็กกว่า 0.2 มิลลิเมตร จึงจะมองเห็นได้ ทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อน (error) ในการเขียนจุดหรือเขียนเส้นเท่ากับ 0.2 มิลลิเมตร เช่นเดียวกัน ดังนั้น ถ้าแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1 : 50,000 มีค่าคลาดเคลื่อนของแผนที่ที่ใช้แทนพื้นผิวภูมิประเทศ เท่ากับ $(0.2 / 1,000) \times (50,000) = 10$ เมตร แต่ถ้าแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1 : 10,000 จะมีค่าคลาดเคลื่อน เท่ากับ $(0.2 / 1,000) \times (10,000) = 2$ เมตร เท่านั้น

1.4.3 สัญลักษณ์กับคำอธิบาย (symbol and legend)

สัญลักษณ์กับคำอธิบายรูป หรือลักษณะเชิงเส้นแทนรายละเอียดบนแผนที่ (หลายชนิด) รูปแบบของสัญลักษณ์มีหลากหลาย (ดูรูปที่ 1.10) ได้แก่ การใช้ตัวย่อ ตัวอักษร ลักษณะเชิงเส้นในหลายรูปแบบ

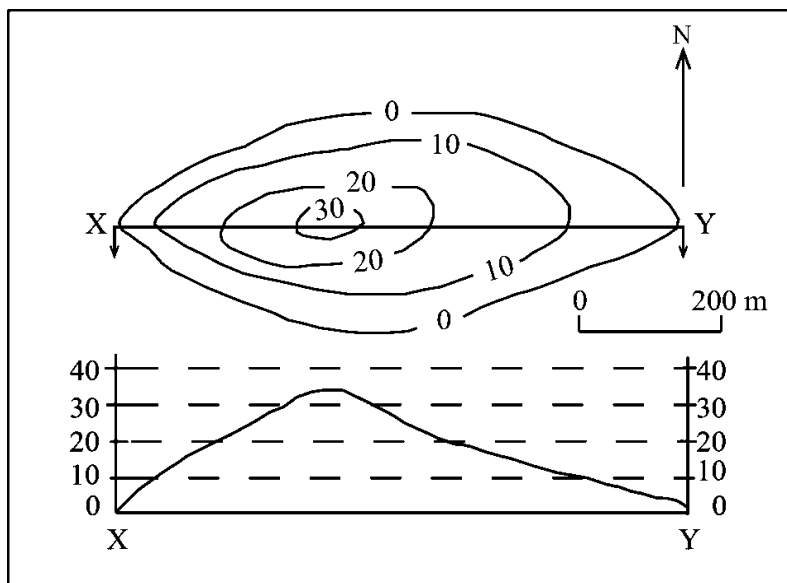
การใช้สัญลักษณ์หรือเครื่องหมาย เพื่อให้เป็นตัวแทนสิ่งก่อสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น แสดงขอบเขตบริเวณแหล่งก่อสร้าง เขตป่าไม้ เขตแหล่งน้ำ พื้นที่ลุ่ม พื้นที่เนินเขา ร่องน้ำ แม่น้ำ ดินอายุอ่อน ดินเชิงเขา ดินทะเล หินและโครงสร้างหิน แหล่งแร่ แหล่งหิน แหล่งน้ำมันดิบ

ROAD		BOUNDARY	
RAILROAD		BRIDGE	
STREAM		OPEN PIT	
DAM		STREAM	
BUILDING		LAKE	
MARSH		CONTOUR LINE	
BENCH MARK		FENCH	
ALLUVIAL		MUDSTONE	
SHALE		SANDSTONE	
GRANITE		SCHIST	
BED ATTITUDE		JOINT	
FOLD AXIS		FAULT	

รูปที่ 1.10 สัญลักษณ์กับคำอธิบาย ที่ใช้กับแผนที่หลากหลายชนิด แสดงสิ่งก่อสร้าง
เขตพื้นที่ โครงสร้างหิน ชนิดหิน ชนิดดิน สิ่งก่อสร้าง กับลักษณะอื่น ๆ

1.4.4 รูปหรือภาพตัดขวาง (cross section or profile)

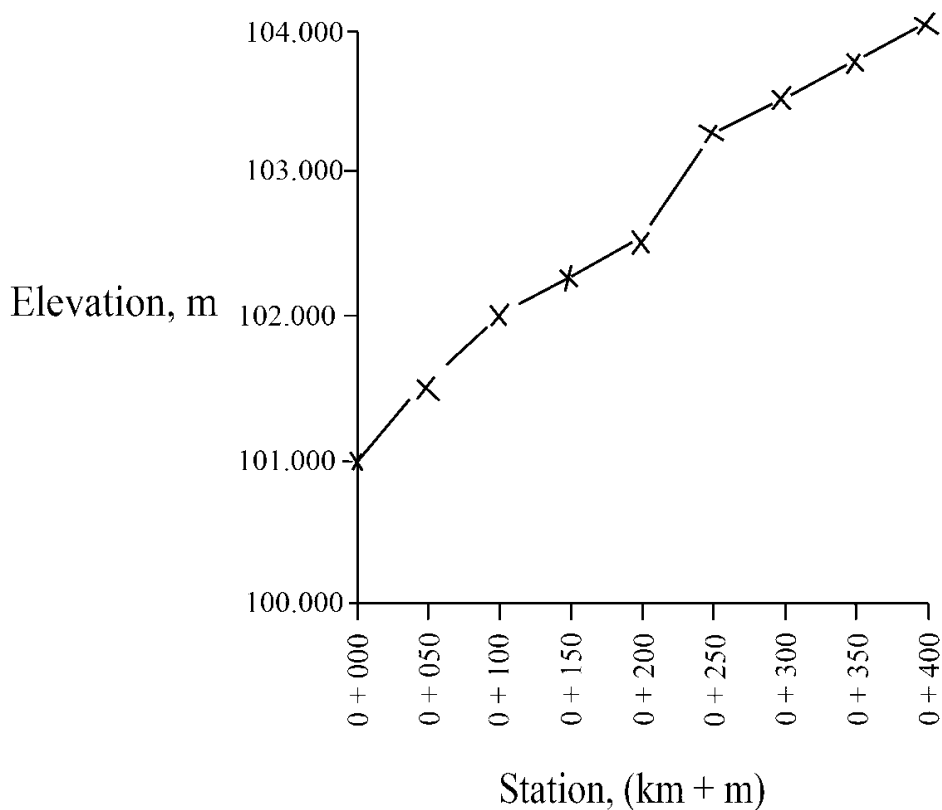
การเขียนรูปตัดขวางหรือภาพตัดขวาง เป็นการสร้างลักษณะพื้นผิวดิน ผิวหิน ให้มองเห็นเป็น
ภาพในแนวดิ่ง (ตั้งฉากกับแนวตัดบนแผนที่หรือแนวสำรวจ) การเลือกความลึกของฐานระดับขึ้นอยู่กับ
ความเหมาะสมและขนาดมาตราส่วนของแผนที่ (ขนาดเล็กหรือใหญ่) รูปหรือภาพตัดขวางที่มีความ
เกี่ยวข้องกับการประเมินแหล่งทรัพยากรธรณี มีดังนี้



รูปที่ 1.11 การเขียนรูปหรือภาพตัดขวางจากแนวตัดบนแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วนของแผนที่เท่ากับมาตราส่วนในแนวราบของรูปตัดขวาง นั่นคือ 1 : 10,000
มาตราส่วนในแนวดิ่งของรูปตัดขวางต้นฉบับ 1 ซม. เท่ากับ 20 เมตร

ก. รูปหรือภาพตัดขวางภูมิประเทศ [topographic cross section (or profile)]

เมื่อผู้สำรวจภูมิประเทศบริเวณแหล่งทรัพยากรธรณี ต้องการทราบข้อมูลที่แสดงลักษณะของพื้นผิวดินกับลักษณะใต้พื้นผิวดิน จึงกำหนดแนวตัดบนแผนที่ (ดูรูปที่ 1.11) แนวตัดอาจเป็นเส้นตรง เส้นหยัก หรือเส้นโค้งก็ได้ อย่างไรก็ตาม แนวตัดมักเป็นแนวที่ถูกเลือกเป็นตัวแทนของสภาพภูมิประเทศบริเวณนั้นที่สามารถแสดงลักษณะข้อมูลพื้นผิวโลกในแนวดิ่งมากที่สุด



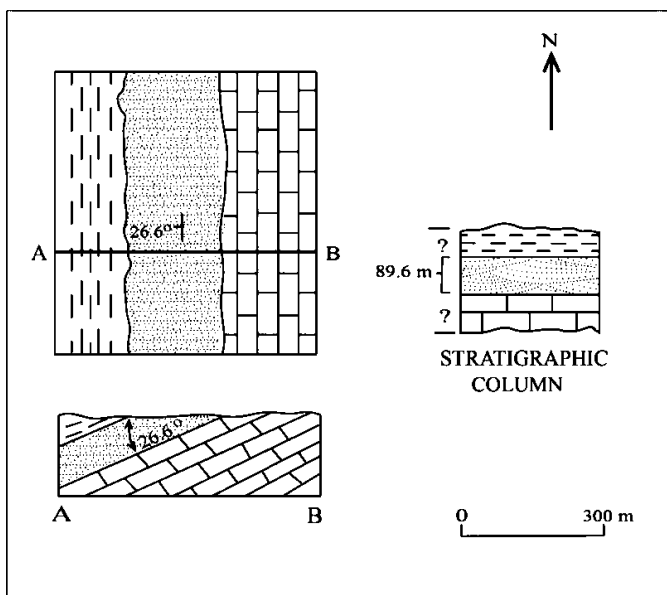
รูปที่ 1.12 รูปตัดตามแนวยาวที่แสดงลักษณะพื้นผิวดินที่เชื่อมต่อกับสถานีระดับ
กำหนดมาตราส่วนแกนราบกับแกนตั้งตามความเหมาะสม

ข. รูปหรือภาพตัดแนวยาวสถานีสำรวจ [longitudinal section (or profile) of stations]

เมื่อผู้สำรวจภูมิประเทศบริเวณแหล่งทรัพยากรธรณี ต้องการทราบข้อมูลที่แสดงลักษณะพื้นผิวดินกับลักษณะใต้พื้นผิวดินตามแนวสำรวจทำรังวัดระดับ (leveling survey) ที่ระบุค่าระดับความสูง (เลขทศนิยมอย่างน้อย 3 ตำแหน่ง) ของแต่ละสถานีระดับ (elevation station) กำหนดแนวตัดตามแนวยาว (longitudinal section) ที่เชื่อมต่อระหว่างสถานีระดับโดยให้แกนราบเป็นค่าระยะตำแหน่งสถานี และแกนตั้งเป็นค่าระดับความสูงที่สถานีต่าง ๆ (ดูรูปที่ 1.12)

ค. รูปหรือภาพตัดขวางทางธรณีวิทยา [geologic cross section (or profile)]

รูปตัดขวางหรือภาพตัดขวางทางธรณีวิทยา มีจุดประสงค์เพื่อแสดงสภาพการวางตัวหิน (หรือชั้นหิน) รวมทั้งลักษณะเชิงโครงสร้างหิน ปกติไม่ได้แสดงชั้นดินที่ปกคลุมหินอยู่ เพราะมีความหนาน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลหิน

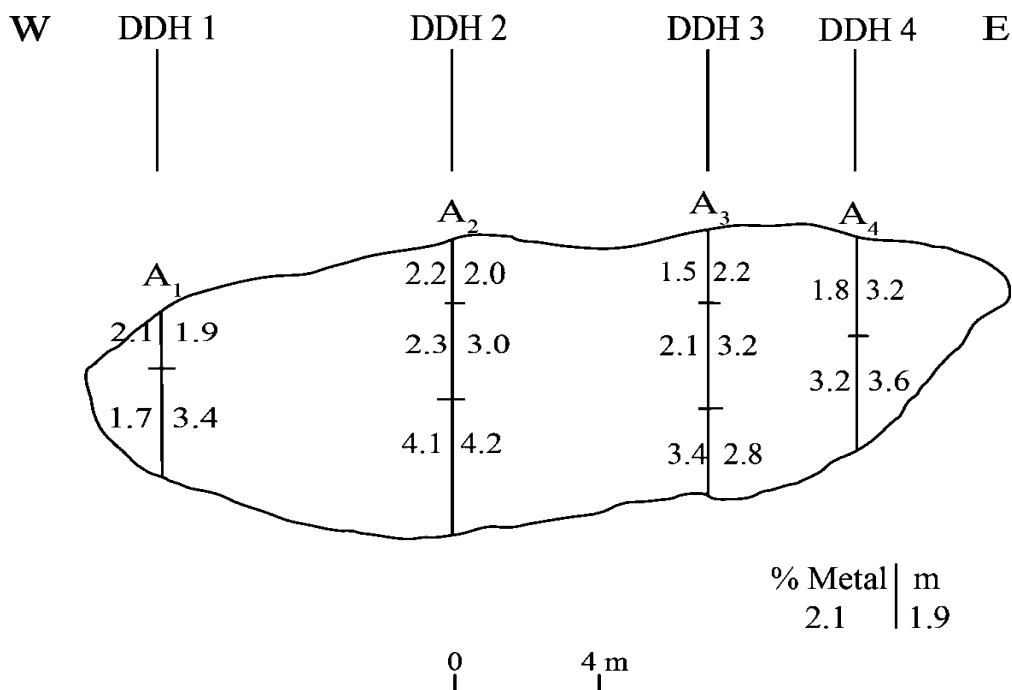


รูปที่ 1.13 แผนที่ธรณีวิทยาชั้นหินตะกอน แสดงสัญลักษณ์เชิงโครงสร้าง

รูปตัดขวางจากแนวที่กำหนด และคอลัมน์ลำดับอายุของหิน

มาตราส่วนแนวตั้งเท่ากับมาตราส่วนแนวนอน

ลักษณะพื้นผิวที่แสดงในรูปหรือภาพตัดขวางภูมิประเทศ มีรูปกับรายละเอียดสภาพหินและโครงสร้างหินที่แสดงอยู่ในรูปหรือภาพตัดแนวดิ่งที่อยู่ต่ำกว่าระดับพื้นผิวดินเดิม เปรียบเสมือนการวาดหรือถ่ายรูปโครงสร้างหินจากเนินเขาที่ถูกกระเบิดหรือหินถูกปาดออกไปสองข้างทางของถนนหลวง แต่ถ้าในบริเวณสำรวจมีหินโผล่ (outcrop) ให้เห็นในภาคสนามเพียงเล็กน้อย จำเป็นต้องคาดคะเนหรือแก้ไขโดยใช้ข้อมูลเพิ่มจากการสำรวจทางธรณีฟิสิกส์ หรือการเจาะสำรวจ



รูปที่ 1.14 รูปตัดขวางมวลสินแร่โลหะแนวตะวันตก-ตะวันออก มีหลุมเจาะสำรวจ
แนวตั้ง 4 หลุมเจาะ ตัวเลขด้านซ้ายแต่ละช่วงของเส้นหลุมเจาะ คือ จำนวน
เปอร์เซ็นต์ (ธาตุ) โลหะ ตัวเลขด้านขวาแต่ละช่วงเส้นหลุมเจาะ คือ ความลึก
(ความหนาดิ่ง) ของสินแร่ช่วงนั้น (เมตร) มาตรฐานแนวตั้งเท่ากับแนวราบ

ง. รูปหรือภาพตัดขวางมวลสินแร่ [cross section of orebody]

มวลสินแร่ (ore body) เป็นมวลของแร่ในแหล่งแร่ที่สามารถแยกหรือจำแนกเฉพาะส่วนที่มี
มูลค่าเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้แร่ที่สะสมในบริเวณแหล่งแร่นั้นดังกล่าว ไม่ว่าจะเป็นแร่โลหะ หรือแร่โลหะ
ถ้ามีปริมาณมากพอ และราคาขายอยู่ในระดับที่ทำเหมืองได้กำไร ก็จะมีการพัฒนาทำเหมืองแร่
ต่อไป รูปตัดขวางมวลสินแร่มีส่วนช่วยในการประเมินมูลค่าของแหล่ง (ดูรูปที่ 1.14) ทั้งนี้อาจมีการ
วิเคราะห์เชิงเคมี เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ธาตุหรือสารประกอบในแร่เศรษฐกิจ เพื่อช่วยตัดสินใจในช่วงการ
ประเมินผล

1.4.5 คอลัมน์ลำดับอายุหินทางธรณีวิทยา (geological stratigraphic column)

หลังจากที่มีการสำรวจได้ข้อมูลหินภาคสนามในบริเวณพื้นที่สำรวจเพียงพอ สามารถจัดทำแผนที่ธรณีวิทยาและทำรูปตัดขวาง ข้อมูลภาคสนามดังกล่าว ถูกนำมาใช้ในการเรียงลำดับอายุหิน (หรือชั้นหิน) และยังมีประโยชน์ที่ใช้ในการหาค่าความหนาจริง (true thickness) ซึ่งเป็นค่าความหนาที่วัดในแนวฉากระหว่างผิวระนาบด้านบนกับด้านล่างชั้นหินตะกอน ใช้เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณปริมาตร (หลังจากทราบค่าขนาดพื้นที่แล้ว)

การลำดับอายุของหิน เป็นไปตามกฎเกณฑ์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจุบันกับอดีต (law of uniformitarianism) ที่ระบุว่า ปัจจุบันย่อมเป็นกุญแจไขไปสู่อดีต (present is the key to the past) ตามหลักความจริงหินที่เกิดก่อนหรือมีอายุแก่สุดจะอยู่ในลำดับล่างสุด หินที่อยู่บนสุดจะมีอายุน้อยสุด (อ่อนสุด)

1.5 การคำนวณเชิงตัวเลข (numerical calculation)

งานสำรวจทำรังวัดกับการคำนวณปริมาณของแหล่งสำรอง จะมีความเกี่ยวข้องกับการคำนวณเชิงตัวเลข และหน่วยผลลัพธ์ต้องเป็นไปในลักษณะสอดคล้องกับสมการที่ใช้คำนวณ

1.5.1 การปัดเลข (rounding off numbers)

การปัดตัวเลขมีผลต่อความถูกต้องของค่าผลลัพธ์ งานสำรวจหรืองานคำนวณที่เกี่ยวข้องกับเลขที่มีตำแหน่งทศนิยมหลายตำแหน่งเกินไป ต้องมีการปัดเศษทศนิยมให้เหลือจำนวนตำแหน่งทศนิยมตามเลขนัยสำคัญ (significant figure) ที่ต้องการ หลักการทั่วไปมีดังนี้

1. ในกรณีที่ตำแหน่งเลขทศนิยมที่ต้องการปัดมีค่าน้อยกว่า 5 ให้ปัดลง หรือตัดออกได้ทันที เช่น 67.374 เป็น 67.37 หรือ 53.444 ให้ปัดเลขเป็น 53.44
2. ในกรณีที่ตำแหน่งเลขทศนิยมที่ต้องการปัด มีค่ามากกว่า 5 ให้ปัดตัวเลขที่อยู่ก่อนหน้าหนึ่งตำแหน่งขึ้น เช่น 67.376 เป็น 67.38 หรือ 53.447 ให้ปัดเลขเป็น 53.45
3. ในกรณีที่ตำแหน่งเลขทศนิยมที่ต้องการปัดมีค่าเท่ากับ 5 ให้สังเกตว่าเลขทศนิยมที่อยู่ก่อนหน้าหนึ่งตำแหน่งเป็นเลขคี่ (odd number) หรือเลขคู่ (even number) ถ้าเป็นเลขคี่จะปัดขึ้น ถ้าเป็นเลขคู่จะปัดลง เช่น 67.375 ให้ปัดเลขเป็น 67.38 หรือ 53.445 ปัดเป็น 53.44

1.5.2 เลขนัยสำคัญ (significant figures)

หลักการสำคัญของเลขนัยสำคัญ คือ จำนวนของเลขนัยสำคัญของค่าการวัดใด ๆ ควรมีจำนวนเท่ากับจำนวนหลักของตัวเลขที่วัดหรือระบุได้อย่างแน่นอน (certain) บวกกับเลขอีกหนึ่งหลักของเลขทศนิยมตัวสุดท้ายที่ได้จากการประมาณ (estimate) ตัวอย่าง เทปวัดระยะมีการแบ่งอย่างละเอียดถึง 0.01 เมตร (หนึ่งส่วนร้อยของเมตร) ถ้าผู้สำรวจจริงวัด อ่านได้ 4.436 เมตร แสดงว่า ตัวเลข 4.43 (สามตัวแรก) เป็นค่าที่อ่านได้อย่างแน่นอน ส่วนตัวเลข 6 (เลขสุดท้าย) ได้มาจากการประมาณค่าภายในช่วงเซนติเมตรบนเทปวัด ดังนั้นโดยสรุป ตัวเลข 4.436 เมตร มีจำนวนเลขนัยสำคัญสี่ตัว (หลัก)

เกณฑ์ในการพิจารณาเลขนัยสำคัญ (เพิ่มเติม) มีหลายอย่าง ดังนี้

1. เลขทุกตัวยกเว้นเลขศูนย์จัดเป็นเลขนัยสำคัญทุกตัว ยกตัวอย่างเลข 2,345 จัดเป็นเลขนัยสำคัญสี่หลัก แต่ถ้าเลขศูนย์ที่อยู่ระหว่างตัวเลขอื่นที่ไม่ใช่เลขศูนย์ให้นับเลขนัยสำคัญด้วย เช่น 1,005 มีเลขนัยสำคัญเท่ากับสี่หลักด้วย

2. เลขศูนย์ทุกตัวที่อยู่หน้าจุดทศนิยมของเลขจำนวนใด ๆ และมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 10 นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น 10.0 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 หลัก

3. สำหรับจำนวนตัวเลขที่มีค่าน้อยกว่าหนึ่ง เลขศูนย์ที่อยู่ติดกับจุดทศนิยมทั้งหมด จะไม่นับเป็นเลขนัยสำคัญ ทั้งนี้เพราะเลขศูนย์ที่อยู่ติดจุดทศนิยม มีหน้าที่แสดงจำนวนตำแหน่งทศนิยมเท่านั้น เช่น 0.00613 และ 0.00706 มีเลขนัยสำคัญ 3 หลักทั้งคู่

4. เลขศูนย์ที่อยู่หลังจุดทศนิยม และต่อท้ายจากเลขจำนวนเต็ม นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น 0.400 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 หลัก

5. ตัวเลขศูนย์ก่อนหน้าจุดทศนิยมของเลขใด ๆ (ตำแหน่งเลขอยู่ด้านซ้ายติดจุดทศนิยม) อาจสร้างความสับสนในการระบุจำนวนหลักเลขนัยสำคัญ เช่น 45,000 หรือเขียนเป็น 45,000. ทำให้เกิดปัญหาในการตีความ จำนวนเลขนัยสำคัญอาจเป็น 2, 3, 4, 5 หลัก (ตัว) ได้ ในเชิงปฏิบัติ ควรใช้การระบุเลขเชิงวิศวกรรม (engineering notation) โดยเขียนเลขในรูปแบบเลขคูณสิบยกกำลัง ดังนั้น 4.5×10^4 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 2 หลัก ในกรณี 4.5000×10^4 จะมีจำนวนเลขนัยสำคัญ 5 หลัก เป็นต้น

6. จำนวนตัวเลขนัยสำคัญของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ ฟังก์ชันตรีโกณมิติ (ค่า sine, cosine, tangent) ลอการิทึม (logarithm) ฟังก์ชันทั้งหมดดังกล่าวจะมีจำนวนตัวเลขนัยสำคัญของผลลัพธ์ เท่ากับ เลขนัยสำคัญของตัวเลขในฟังก์ชันนั้น

$$\cos 45^\circ = 0.7071 \quad (\text{ตัวเลขนัยสำคัญของ } 45^\circ \text{ คือ 2 หลัก}) \quad \text{ปัดเลขผลลัพธ์เป็น 0.71}$$

$$\log 33.7 = 1.5276 \quad (\text{ตัวเลขนัยสำคัญของ 33.7 คือ 3 หลัก}) \quad \text{ปัดเลขผลลัพธ์เป็น 1.53}$$

7. เลขยกกำลัง (exponent) ที่มีฐานเป็นตัวเลขแท้จริง (real number) มีเลขนัยสำคัญ เป็นจำนวน n หลัก (ตัว) ค่า n เท่ากับ $1, 2, 3, \dots, n$ ถ้าให้ a เป็นเลขตัวแรกของเลขฐาน และ b เป็นเลขชี้กำลังของ power function กำหนดให้มีจำนวนเลขนัยสำคัญของค่าผลลัพธ์ เท่ากับ $(n - 1)$ ถ้า $b \leq a$ แต่จะมีจำนวนเลขนัยสำคัญของค่าผลลัพธ์ เท่ากับ $(n - 2)$ ถ้า $b \leq 10 \times (a)$ ดูตัวอย่างที่แสดง

$(0.5531)^4 = 0.09359$ (พจน์ a ที่เป็นเลขนัยสำคัญตัวแรก = 5, b เป็นเลขยกกำลัง = 4, n เป็นเลขนัยสำคัญของ $0.5531 = 4$) เมื่อเทียบกับ $b \leq a$ ให้ปัดเลขผลลัพธ์เป็น 0.0936 [หรือมีจำนวน $(n - 1)$ ตัว = 3 ตัว]

$(0.4557)^5 = 0.019651$ (พจน์ a ที่เป็นเลขนัยสำคัญตัวแรก = 4, b เป็นเลขยกกำลัง = 5, n เป็นเลขนัยสำคัญของ $0.4557 = 4$) เมื่อเทียบกับ $b \leq 10 \times (a)$ ปัดเลขผลลัพธ์เป็น 0.020 [หรือมีจำนวน $(n - 2)$ ตัว = 2 ตัว]

8. การถอดรากของ root function กำหนดรากที่ r และให้ a เป็นเลขตัวหน้าสุดที่จะถอดราก (เลขจำนวนเต็มหรือเลขทศนิยม) ที่มีเลขนัยสำคัญจำนวน n หลัก (ตัว) ค่า n เท่ากับ $1, 2, 3, \dots, n$ เกณฑ์การกำหนดเลขนัยสำคัญของการถอดราก คือ

กำหนดให้เลขนัยสำคัญเป็นจำนวน n ตัว ถ้าหาก $(r) \times (a) > 10$ และให้เลขนัยสำคัญเป็นจำนวน $(n - 1)$ ตัว ถ้าหาก $(r) \times (a) < 10$ ตัวอย่างการถอดราก 2 รูปแบบ มีดังนี้

$(525)^{1/4} = (525)^{0.25} = 4.78674$ (พจน์ r เป็นราก = 4, a เป็นเลขตัวหน้าสุด = 5, n เป็นเลขนัยสำคัญ = 3) เมื่อเทียบกับ $(r) \times (a) > 10$ นั่นคือต้องปัดผลลัพธ์เป็น 4.79 (เลขนัยสำคัญ 3 หลักหรือให้เท่ากับค่า n)

$(36)^{1/2} = (36)^{0.5} = 6$ (พจน์ r เป็นราก = 2, a เป็นเลขตัวหน้าสุด = 3, n เป็นเลขนัยสำคัญ = 2) เมื่อเทียบกับ $(r) \times (a) < 10$ นั่นคือผลลัพธ์เป็น 6 [เลขนัยสำคัญ 1 หลักหรือให้เท่ากับค่า $(n - 1)$]

ตัวอย่างที่ 1.3 เลขนัยสำคัญและการปัดเลข (significant figures and rounding off)

ก. จากตารางที่ 1.1 ให้ระบุตัวเลขแต่ละตัว (ในคอลัมน์) มีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่าไร

ตารางที่ 1.1 ตัวเลข 2 กลุ่มที่ต้องการหาเลขนัยสำคัญ

ตัวเลขกลุ่ม 1	ตัวเลขกลุ่ม 2
2,425	35,978
800.04	4.9007
0.001 $= 1 \times 10^{-3}$	1,000,000 $= 1 \times 10^6$
10.0 $= 1 \times 10^1$	0.568

ข. จากการคำนวณตัวเลขด้านล่าง ให้ระบุผลลัพธ์กับปัดตัวเลขแต่ละตัว (ในหัวข้อย่อย) ให้สอดคล้องกับเกณฑ์ของการปัดเลข

- $[(160 \times 11 \times 4) + (2 \times 6) - 2] \div [6 \times 40.01] = \dots\dots\dots$
- $1.234 + 636.98 = \dots\dots\dots$
- $2,817.361 \times 1.23 = \dots\dots\dots$
- $11.642 + 700.4 - 44.22 = \dots\dots\dots$

ผลเฉลย

ข้อ ก. ใช้เกณฑ์การปัดตัวเลข ที่บรรยายไว้ในหัวข้อ 1.5.2 ได้ค่าผลเฉลยตามตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ผลเฉลยจำนวนเลขนัยสำคัญของ 2 กลุ่ม

ตัวเลขกลุ่ม 1	ผลเฉลย กลุ่ม 1 (หลัก)	ตัวเลขกลุ่ม 2	ผลเฉลย กลุ่ม 2 (หลัก)
2,425	4	35,978	5
800.04	5	4.9007	5
0.001 $= 1 \times 10^{-3}$	1	1,000,000 $= 1 \times 10^6$	1
10.0 $= 1 \times 10^1$	3	0.568	3

ข้อ ข. ตัวเลขผลลัพธ์กับปัดตัวเลขแต่ละตัว (ในหัวข้อย่อย) มีผลเฉลยดังนี้

1. $[(160 \times 11 \times 4) + (2 \times 6) - 2] \div [6 \times 40.01] = 29.36766 = 29.37$ (4 หลัก)
เพราะตัวเลขชุดที่เป็นเศษ คือ $[(160 \times 11 \times 4) + (2 \times 6) - 2] = 7,050$ (4 หลัก)
ตัวเลขผลลัพธ์จึงมี 4 หลักด้วย
2. $1.234 + 636.98 = 638.214 = 638.21$ (5 หลัก) เพราะตัวเลขทศนิยมน้อยที่สุด
คือ 636.98 ทำให้ได้เลขผลลัพธ์เป็นจำนวนตัวเลขทศนิยมเท่ากัน

3. $2,817.361 \times 1.23 = 3,465.3540 = 3,465.35$ (มีเลขนัยสำคัญ เท่ากับ 6 หลัก มีจำนวนเลขทศนิยมเหมือน 1.23)
4. $11.642 + 700.4 - 44.22 = 667.822 = 667.8$ (4 หลัก) เพราะมีเลขนัยสำคัญ เหมือนจำนวน 700.4)

1.5.3 มิติที่เกี่ยวข้อง (related dimensions)

การสำรวจจริงวัดและการประเมินแหล่งทรัพยากรธรรมชาติ ที่เกิดในธรรมชาติ ตัวแปรเสริม จำเป็นต้องมีการแปลงผัน (convert) สมการจากหน่วยหนึ่งไปยังอีกหน่วยหนึ่ง รวมทั้งต้องมีการหาความสัมพันธ์ตัวแปรเสริม (parameter) กับการประเมินผลเชิงมิติ (dimension) เพื่อกำหนดสภาวะที่เหมาะสม

ก. มิติตัวแปรเสริมเชิงกายภาพ (physical dimension of parameters)

มวลสารที่เป็น ดิน หิน แร่ สามารถกำหนดค่ามิติพื้นฐาน ออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ กลุ่มที่หนึ่ง เป็นมิติของมวล (mass) ระยะความยาว (length) และเวลา (time) ใช้สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษ เป็น M, L, T กลุ่มที่สอง เป็น มิติของแรง (force) ระยะความยาว (length) และเวลา (time) ใช้สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษ เป็น F, L, T

ยกตัวอย่าง ความยาว พื้นที่ ปริมาตร เวลา จะมีค่ามิติของทั้งสองกลุ่มเหมือนกัน คือ L, L^2, L^3, T ตามลำดับ ในกรณีของตัวแปรเสริมที่เป็น มวล แรง น้ำหนัก ความดัน ความหนาแน่น หน่วยน้ำหนัก จะมีค่ามิติของกลุ่มแรก เป็น $M, ML(T)^{-2}, ML(T)^{-2}, M(L)^{-1}(T)^{-2}, M(L)^{-3}, M(L)^{-2}(T)^{-2}$ ตามลำดับ แต่จะมีค่ามิติของกลุ่มที่สอง เป็น $F(L)^{-1}(T)^2, F, F, F(L)^{-2}, F(L)^{-4}(T)^2, F(L)^{-3}$ ตามลำดับ

ข. ประเภทสมการเชิงกายภาพ (physical types of equations)

สมการที่เกี่ยวข้องกับมวลสารที่เป็น ดิน หิน แร่ สามารถแยกออกเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

สมการแบบที่หนึ่ง เป็นสมการเอกพันธ์ (homogeneous equation) ชนิดหนึ่งที่มีมิติเหมือนกัน หรือเรียกชื่อเฉพาะของสมการประเภทนี้ว่า dimensional homogeneity จัดเป็นสมการที่ไม่มีค่าคงที่เชิงมิติ จึงสามารถใช้หน่วยในระบบใดก็ได้ ถ้าหากแทนค่าด้วยหน่วยในระบบเดียวกัน เมื่อลดมิติของพจน์ตัวแปรเสริมในสมการทั้งสองด้านจะมีมิติเหมือนกัน

สมการแบบที่สอง เป็นสมการเอกพันธ์จำกัดหน่วยหรือเรียกชื่อเฉพาะสมการนี้ว่า restricted homogeneity จัดเป็นสมการที่มีค่าคงที่เชิงมิติอย่างน้อยหนึ่งค่าหรือมากกว่าหนึ่งค่า สมการเอกพันธ์ประเภทนี้ใช้ได้ในหน่วยในระบบใดระบบหนึ่ง แต่ถ้าลดมิติของพจน์ตัวแปรเสริมทั้งสองด้านของสมการจะมีมิติเหมือนกัน

สมการแบบที่สาม เป็นสมการที่มีลักษณะไม่เอกพันธ์ (non-homogeneous equation) หรือเรียกชื่อว่า สมการวิวิธพันธุ์ เป็นสมการประกอบด้วยพจน์มากกว่าหนึ่งพจน์ตัวแปรเสริมในแต่ละด้านของสมการ มิติพื้นฐานของพจน์ตัวแปรเสริมไม่เหมือนกัน แต่สามารถเทียบเคียงมิติทั้งสองด้านของสมการได้สมดุลกัน

ตัวอย่างที่ 1.4 สมการฟิสิกส์พื้นฐาน (basic physics equation)

จากสมการ 3 ชุด (ก, ข, ค) ให้ระบุชนิดของสมการว่าเป็นแบบไหน โดยใช้วิธีพิสูจน์เชิงสมการเอกพันธ์

ก. $l \text{ (แอล)} = \frac{1}{2} (g) \times t^2$

ข. $l \text{ (แอล)} = (1.61) \times t^2$

$$\text{ค.} \quad (u + V) = \left[\frac{1}{2} (g) \times t^2 + (a) \times t \right]$$

กำหนดให้ พจน์ตัวแปรเสริม l (แอล) เป็นค่าความยาว พจน์ g เป็นค่าความเร่งจากแรงโน้มถ่วง พจน์ t เป็นเวลา พจน์ u เป็นค่าการเปลี่ยนตำแหน่งอนุภาค (displacement) พจน์ V เป็นค่าความเร็วอนุภาค และพจน์ a เป็นค่าความเร่ง

ผลเฉลย

สมการ ก. ที่ระบุแทนมิติได้ เท่ากับ มิติพื้นฐาน L ทั้งสองข้าง ถ้าหน่วยอยู่ในระบบ S.I. ค่าความยาวเป็น เมตร ส่วนหน่วยในระบบอังกฤษ ค่าความยาวเป็น ฟุต จึงสรุปเป็น สมการเอกพันธ์มิติเหมือนกัน (dimensional homogenous equation)

$$l = \frac{1}{2} (g) \times t^2$$

สมการ ข. ควรเป็นสมการเอกพันธ์จำกัดหน่วย (restricted homogeneous equation) มีค่าคงที่เชิงมิติของ 16.1 แทนหน่วยได้เพียงหน่วยในระบบเดียว สมมติให้อยู่ในระบบอังกฤษ

$$l \text{ (ft)} = 16.1 \text{ (ft/sec}^2\text{)} \times t^2 \text{ (sec}^2\text{)}$$

กรณีของสมการ ค. น่าจะเป็นสมการวิวิธพันธุ์ (non-homogeneous equation) เพราะตัวแปรเสริมที่ระบุทั้งสองด้านของสมการ พิจารณาแล้วไม่เหมือนกัน และถ้าลองตรวจสอบมิติพื้นฐานจะพบว่ามี 2 มิติ แยกออกเป็น มิติชุดแรกของพจน์ตัวแปรเสริมเป็น L ส่วนมิติชุดที่สองของพจน์ตัวแปรเสริมเป็น L/T สังเกตจากการเทียบเคียงมิติทั้งสองด้านของสมการมีความสมดุล

$$(u + V) = \left[\frac{1}{2} (g) \times t^2 + (a) \times t \right]$$

$$\text{displacement} + \text{velocity} = \text{length} + [(\text{acceleration}) \times (\text{time})]$$

$$L + [L/T] = L + [(L/T^2) \times (T)]$$

1.6 เนื้อหาที่สำคัญของบทที่ 1 (important issues for chapter 1)

ผู้เขียนมีจุดประสงค์เพื่อให้ความรู้เบื้องต้นของการสำรวจรังวัด ความรู้พื้นฐานของแผนที่ และวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขของแหล่งทรัพยากรธรณี สิ่งจำเป็นที่ต้องทราบ เช่น หน่วยที่ใช้ ชนิดของแผนที่ สัญลักษณ์กับมาตราส่วนของแผนที่ การคำนวณเชิงตัวเลข กับมิติที่เกี่ยวข้องทางวิทยาศาสตร์กายภาพ

วิธีการที่นำเสนอในบทนี้ ในสภาวะจริงภาคสนาม อาจต้องปรับแต่งให้เหมาะสม ยกตัวอย่าง การคำนวณปริมาตรของดินที่ต้องขนย้ายนำมาถมอีกแหล่ง การปัดเลขหรือระบุเลขนัยสำคัญยังคงกระทำในรูปแบบปกติตามหัวข้อ 1.5.1 กับ 1.5.2 แต่หลังจากที่ได้ค่าผลลัพธ์ขั้นสุดท้ายของปริมาตรดินที่ต้องขนย้ายไปถม การจะสรุปค่าตัวเลขต้องคำนึงถึงความน่าจะเป็นของการปฏิบัติงาน สมมุติว่าค่าปริมาตรดินขนย้ายที่คำนวณได้เท่ากับ 1.892×10^4 ลบ.เมตร ในเชิงปฏิบัติงานภาคสนาม จะไม่ปัดเลขลงเป็น 1.89×10^4 ลบ.เมตร แต่จะปัดขึ้นเป็น 1.90×10^4 ลบ.เมตร ด้วยเหตุผลว่า ถ้ามีดินขนไปถมเหลือยิ่งดีกว่าขาดดินไปถม และยังมีสาเหตุอีกอย่างหนึ่ง ก็คือ ดินที่ขนย้ายไปถมมีสภาวะหลวม เม็ดดินแยกจากกัน ค่าปริมาตรที่ใช้ตัวเลข 1.15 เท้าไปคูณค่าปริมาตรแน่น ตัวเลข 1.15 อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ เพราะดินมีหลายชนิด เช่นดินร่วน ดินร่วนปนทราย ดินทรายแป้ง เป็นต้น

แบบฝึกหัด บทที่ 1

1. โจทย์ข้อนี้เป็นการแปลงหน่วย ให้ใช้ค่าที่กำหนดในหัวข้อ 1.2 บทที่ 1

100 ฟุต =เมตร, 1,200 เซนติเมตร =นิ้ว

100 เอเคอร์ =ไร่, 100 ตร.กม. = ตร.ไมล์

1,000 ลิตร (น้ำมันดิบ) = บาร์เรล, 3 คอขวดของเหลว = ลิตร

1,000 ปอนด์ = เมตริกตัน, 300 กิโลกรัม = ตันสั้น

1.5 บาททองคำ = สลึง = กรัม, 50 กิโลกรัมตีสุก = ชั่งจีน

1.5 เรเดียน = องศา =mils, 6 กระรัตอัญมณี = เกรน

360 gons = องศา = milligons, 10 grades = องศา

2. จงแปลงมาตราส่วน ดังต่อไปนี้

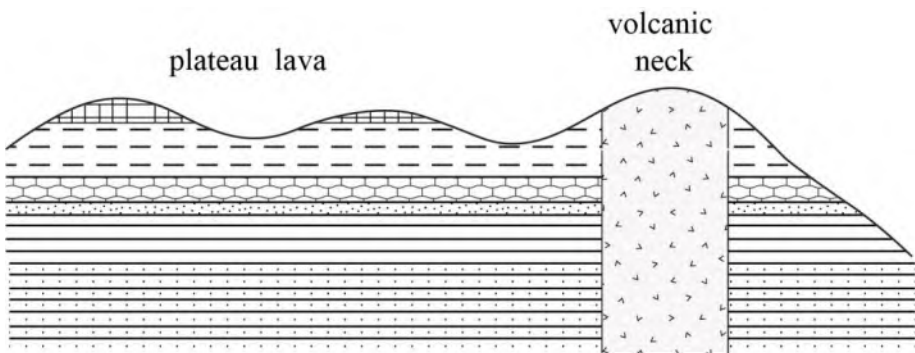
ก. แปลงมาตราส่วน 1 นิ้ว ต่อ 8 ไมล์ เป็นมาตราส่วนเศษส่วน (R.F.)

(คำตอบ 1 : 506,880)

ข. แปลงมาตราส่วน 1 : 250,000 เป็นมาตราส่วนคำพูด (verbal) ในระบบเมตริก
กับระบบอังกฤษ (คำตอบ ระบบเมตริก 1 เซนติเมตรเท่ากับ 2.5 กิโลเมตร ระบบอังกฤษ
1 นิ้วเท่ากับ 3.44 ไมล์)

ค. จงคำนวณและเขียนเป็นมาตราส่วนกราฟิก กำหนดให้ 1 เซนติเมตรเท่ากับ 100
เมตร ถ้าหากวัดระยะเชิงเส้นในภาคสนามได้ 85 เมตร

3. แผนที่มาตราส่วน 1 : 50,000 แผนที่นี้มีขนาดกว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร ถ้าทำการขยายพื้นที่ของแผนที่ฉบับนี้ให้มีค่าขนาด 2 เท่าของฉบับเดิม แผนที่ฉบับใหม่จะมีค่าขนาดความกว้าง กับขนาดความยาว เท่าไร และแผนที่จะมีมาตราส่วนใหม่ เท่าไร
(คำตอบฉบับใหม่กว้าง 14.14 เซนติเมตร ยาว 21.21 เซนติเมตร มาตราส่วนใหม่ 1 : 35,355)
4. จากการหัดตัวของแผนผังที่ดินแห่งหนึ่ง มาตราส่วนเดิมที่ระบุไว้เป็น 1 : 1,000 ทำให้ได้เส้นตรงที่เคยยาว 254 มม. เหลือความยาวเพียง 251 มม. เมื่อทำการวัดที่ดินบนแผนผังปัจจุบันได้ค่าขนาดพื้นที่ 278 (มม.)² จงหาค่าขนาดพื้นที่จริงของที่ดินนี้
5. เหมืองหิน (quarry) แห่งหนึ่งแนวเขตสัมปทาน (concession) เป็นผืนขนาด 120 × 180 มิลลิเมตร ถ้าหากผังเหมืองหินนี้มีมาตราส่วน 1 : 500 จงคำนวณหาค่าขนาดพื้นที่จริงเป็นไร่และตารางเมตร
(คำตอบ 3.375 ไร่ หรือ 5,400 ตร.เมตร)
6. รูปข้างล่างนี้ เป็นรูปหรือภาพตัดขวาง (cross section) ของกระบวนการกำเนิดหินภูเขาไฟที่มีหินหนืด (magma) แทรกตัดชั้นของหินตะกอนที่มีสภาพการวางตัว (attitude) อยู่ในแนวเกือบระดับราบ ให้อธิบายเพิ่มเติมของลักษณะการกำเนิดของหินอัคนี (igneous rock) และการไหลทับของลาวา (lava) บนหินตะกอนในบริเวณนี้โดยเรียงลำดับอายุ หินที่กำเนิดก่อน อธิบายก่อน หินที่มีอายุอ่อน (น้อย) อธิบายทีหลัง



7. ระบุเลขนัยสำคัญของตัวเลขดังต่อไปนี้ว่ามีจำนวนกี่หลัก (ตัว)
- ก. 0.003 (1 หลัก) ข. 0.020 (2 หลัก) ค. 300.04 (5 หลัก) ง. 120,000 (3, 4, 5, 6 หลัก)
- จ. 2.12×10^3 (3 หลัก) ฉ. 9.8000 (5 หลัก) ช. 3.924 (4 หลัก) ซ. 2,145 (4 หลัก)
8. ให้คำนวณหาผลลัพธ์ของโจทย์ข้อย่อยต่อไปนี้ คำตอบสุดท้ายต้องคำนึงถึงเลขนัยสำคัญ และการปัดเศษ
- ก. $2,420 - 45.234$ (คำตอบ 2,374)
- ข. $822.8 - 10.473$ (คำตอบ 812.3)
- ค. $651.32 + 491.54 + 2.345 + 86.78$ (คำตอบ 1,231.98)
- ง. 234.1×682.7 (คำตอบ 159,820 หรือ 1.598×10^5)
- จ. $18.621 \div 12$ (คำตอบ 1.6)
- ฉ. $46.3 \div (5)^{1/2}$ (คำตอบ 20.7)
- ช. $18.23 \text{ m} \times 6 \text{ mm/m}$ (คำตอบ 109.4 mm)
- ซ. $100.43 \times \sin 56.10^\circ$ (คำตอบ 83.36)
9. จากสมการความเร็วคลื่นปฐมภูมิ (primary wave) มีจำนวนตัวแปรเสริม (parameters) เกี่ยวข้อง 4 ค่า ได้แก่ ความเร็วคลื่นตามยาว (longitudinal wave velocity : V_p), ค่าของมอดุลัสอีลาสติก (elasticity modulus : E), อัตราส่วนโพซซอง (Poisson's ratio : ν) และ หน่วยของมวลหรือความหนาแน่น (unit mass or density : ρ)

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

ข้อ 9. (ต่อ)

จงทำตารางแสดงเมทริกซ์มิติ (dimension matrix) สมการความเร็วคลื่น ทั้งในมิติกลุ่ม (M, L, T)

กับกลุ่ม (F, L, T)

ยกตัวอย่าง พารามิเตอร์ V_p มีค่ามิติเป็น LT^{-1} ดังนั้น V_p ในกลุ่ม (M, L, T) มีค่ามิติ

$M = 0, L = 1, T = -1$ ในกลุ่ม (F, L, T) มีค่ามิติ $F = 0, L = 1, T = -1$

บทที่ 2

พื้นฐานการประเมินเชิงความน่าจะเป็น

บทที่ 2

พื้นฐานการประเมินเชิงความน่าจะเป็น

เมื่อนำค่าผลลัพธ์จากการสำรวจจริงวัด ไปใช้ในการคำนวณปริมาณของแหล่งสำรวจทรัพยากรธรณีที่เกิดในธรรมชาติ กระบวนการดังกล่าวทั้งการรังวัดกับการหาค่าคลาดเคลื่อนในภาคสนามและวิธีการปรับแก้ค่าตัวเลขในภาคสนาม จะมีความเกี่ยวข้องกับทฤษฎีเชิงความน่าจะเป็น (probability theory) ที่มีผลกระทบโดยตรงต่อความถูกต้องแม่นยำของค่าผลลัพธ์

2.1 ความถูกต้องและความแม่นยำ (accuracy and precision)

คำศัพท์ accuracy และ precision สองคำนี้มีความหมายแตกต่างกัน แต่ถ้าใช้คำศัพท์ทั้งสองคำนี้อย่างไม่ระมัดระวังจะเกิดความสับสนได้

ความถูกต้องหรือความละเอียด (accuracy) แสดงถึง ความถูกต้องที่เกิดขึ้นจากการตรวจรังวัดค่าระยะ (หรือค่าอื่น) ในภาคสนามได้ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุดที่ระดับไหน จึงขึ้นอยู่กับความประณีตของผู้วัดกับความละเอียดของเครื่องมือ ทั้งนี้ค่าความถูกต้องที่ได้มีผลโดยตรงต่อการคำนวณค่าปริมาณแหล่งสำรวจทรัพยากรธรณี

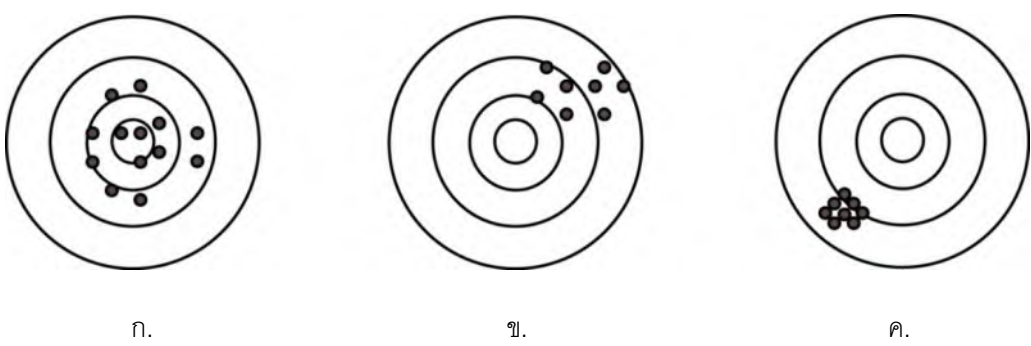
ความแม่นยำ (precision) แสดงถึง ระดับความสัมพันธ์ของความแม่นยำต่อค่าตัวเลขของการรังวัดสิ่งใดหลาย ๆ ครั้ง ถ้าค่าตัวเลขที่รังวัดได้แต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกันมาก ก็จัดว่ามีความแม่นยำในระดับสูง

เมื่อใช้อุปกรณ์พื้นฐานในภาคสนาม เช่น เทปวัดระยะ ในแต่ละครั้งอาจได้ค่าตัวเลขทั้งสองสิ่ง (accuracy กับ precision) มีโอกาสจัดอยู่ในระดับดีเหมือนกันหรือมีความแตกต่างกัน ยกตัวอย่าง ในการใช้เทปเหล็ก ที่มีค่าระบุหรือค่าที่วัดได้ (nominal value) ความยาว 50 เมตร ไปวัดระยะ แนวราบของระดับก่อสร้าง (grade elevation) ได้ค่าผลลัพธ์ของการรังวัด 3 ครั้ง เป็น 120.82, 120.79, 120.72 เมตรตามลำดับ ค่าตัวเลขทั้งสามค่าใกล้เคียงกันมาก นั่นคือการรังวัดทั้งสามครั้งนี้มีความแม่นยำ (precision) ในระดับสูง

ต่อมาเมื่อนำเทปเหล็กมาตรวจสอบกับเทปมาตรฐาน (standard tape) ในห้องปฏิบัติการ พบว่าเทปเหล็กม้วนที่นำไปวัดในภาคสนามมีค่าความยาวผิดมาตรฐาน ซึ่งเทปนี้มีค่าจริง 50.05 เมตร แสดงว่า ค่าตัวเลขที่รังวัดในภาคสนามได้ทั้งสามค่าไม่ถูกต้อง หรือ ความถูกต้อง (accuracy) ในระดับต่ำ ต้องมีการปรับแก้ค่ารังวัดระยะทั้งสามด้วยค่า +0.05 เมตร ที่ทุกระยะ 50 เมตร

ตัวอย่างที่ 2.1 ความถูกต้องและความแม่นยำ (accuracy and precision)

จากการทดลองยิงเป้าของนักกีฬายิงปืน พบว่า นักกีฬาทั้ง 3 คน มีผลของการยิงเป้าแตกต่างกันดังรูปข้างล่าง ให้ระบุระดับความถูกต้อง (accuracy) กับความแม่นยำ (precision)



รูปที่ 2.1 ผลลัพธ์ของการยิงเป้าของนักกีฬาทั้งสามคน
ก. คนแรก ข. คนที่สอง ค. คนที่สาม

ผลเฉลย

จากรูปป่าที่มีรอยกระสุน (วงกลมเล็กจุดดำ) สามารถระบุเป็นความหมายเชิงความถูกต้อง และแม่นยำ สำหรับนักกีฬาทั้งสามคน ได้ดังนี้

- รูป ก. ของนักกีฬาคนที่หนึ่ง มีความถูกต้อง (accuracy) ในระดับสูงหรือดี แต่มีความแม่นยำ (precision) ในระดับต่ำ
- รูป ข. ของนักกีฬาคนที่สอง มีความถูกต้อง (accuracy) ในระดับต่ำ กับมีความแม่นยำ (precision) ในระดับต่ำ
- รูป ค. ของนักกีฬาคนที่สาม มีความถูกต้อง (accuracy) ในระดับต่ำ แต่มีความแม่นยำ (precision) ระดับสูงหรือดี

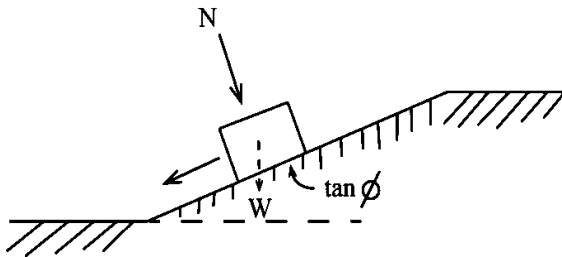
2.2 หลักการเบื้องต้นของความน่าจะเป็น (basic principles of probability)

ข้อมูลของการสำรวจภาคสนาม จะมีการแจกแจงข้อมูล (distribution) ที่มีความสัมพันธ์กับ ทฤษฎีความน่าจะเป็น (theory of probability) เช่น ถ้าหากนำเหรียญบาทมาโยนหัวหรือก้อย จำนวน 100 ครั้ง ในทางสถิติจะพบว่า ความน่าจะเป็นของเหรียญบาทที่ถูกโยนลงพื้น จะหงายเป็นหัว หรือก้อยเท่ากัน หรือเท่ากับ 0.5

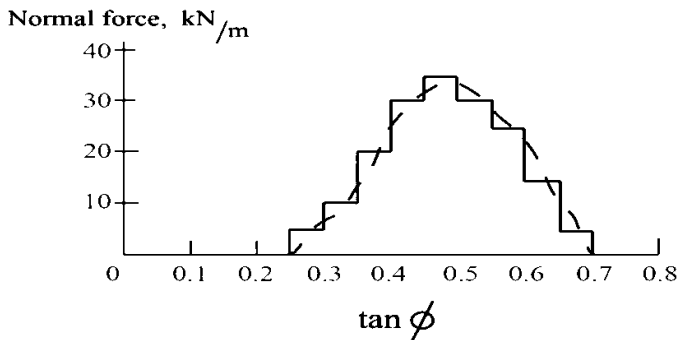
การเกิดความคลาดเคลื่อนในข้อมูลที่รังวัดภาคสนาม เป็นผลมาจากความไม่สมบูรณ์ของงาน รังวัดและอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้มีความบกพร่อง จึงต้องมีการใช้วิธีการที่เหมาะสมในการปรับแก้ หรือขจัดข้อมูลที่ไม่น่าเชื่อถือออกจากระบบ โดยอาศัยหลักการเชิงความน่าจะเป็นของการรังวัด

2.2.1 ธรรมชาติของความคลาดเคลื่อนสุ่ม (nature of random errors)

สำหรับบล็อกมวลหินที่วางบนระนาบลาดเอียง (ดูรูปที่ 2.2 ก.) ในการวิเคราะห์เชิงเสถียรภาพ น้ำหนักมวลบล็อกหินมีผลต่อการเลื่อนถล่ม (sliding) บนระนาบโดยตรง กับยังมีตัวแปรสุ่มที่สำคัญอีก 2 ค่า ได้แก่ ค่าขนาดแรงแนวฉาก (normal force: N) ที่แผ่กระจายต่อบล็อกมวลหิน และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานภายใน (coefficient of internal friction: $\tan \phi$) ตรงพื้นที่บริเวณฐานบล็อกหินที่สัมผัสกับระนาบความลาด



ก.



ข.

รูปที่ 2.2 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการเลื่อนถล่ม

ก. ต้นแบบที่มีบล็อกมวลหินวางตัวบนระนาบความลาด

ข. ความสัมพันธ์ของการแจกแจงฟังก์ชันแบบปกติมาตรฐาน

ถ้าทำการทดสอบหาค่าตัวแปรทั้งสองค่า กับหาค่าผลลัพธ์ของการเลื่อนถล่ม (sliding) เป็นจำนวนหลายครั้ง (ควรมากกว่า 10 ชุดการทดลอง) ด้วยวิธีการหาค่ากำลังเฉือนโดยตรงทั้งนี้ใช้อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ ที่มีชื่อเรียกว่า shear box test แล้วนำมาพลอตเปรียบเทียบด้วย ฮิสโทแกรมหรือกราฟแท่ง (histogram) ทำให้สามารถสรุปผลได้ว่า การแจกแจงค่า (หรือการกระจายค่า) ฟังก์ชันระหว่างค่าแรงแนวฉากที่แผ่กระจาย (normal distribution force) หน่วยเป็น กิโลนิวตันต่อเมตร (kN/m) กับค่าฟังก์ชันหรือสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในรูป $\tan \phi$ (ค่า ϕ = ค่ามุมความเสียดทานภายใน หน่วยเป็นองศา) เมื่อทำการโยงเส้นค่าเฉลี่ยความเสียดทาน ผลลัพธ์เป็นกราฟการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน (standard normal distribution) แสดงเป็นเส้นประในรูปที่ 2.2 ข. การแจกแจงนี้นำมาใช้เป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์เชิงสถิติความน่าจะเป็นสำหรับมวลสารที่กำหนดตามธรรมชาติ

2.2.2 ตัวแปรเสริมที่สำคัญของการแจกแจงปกติมาตรฐาน (important parameters of standard normal distributions)

ตัวแปรเสริมเชิงสถิติของการแจกแจงปกติมาตรฐาน นิยมใช้ในการประเมินแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญมีดังนี้

ก. ค่าเฉลี่ยเชิงคณิตศาสตร์ (arithmetic mean)

ถ้าหากในการสุ่มตัวอย่าง (random samples: x_i) เป็นจำนวน n ค่า ทั้งนี้ $i = 1, 2, 3, \dots, n-1, n$ (ค่า n ไม่ควรต่ำกว่า 10) และตัวอย่างที่ถูกสุ่มมีการแจกแจงแบบปกติมาตรฐาน จะได้ค่าเฉลี่ยเชิงคณิตศาสตร์ ($\bar{x}$, x บาร์) เป็น 2 รูปแบบ กรณีที่ใช้ค่า x_i (random samples) อย่างเดียวกับใช้ทั้งค่า x_i กับค่า f_i (frequency distribution of random samples: f_i)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(x_1 + x_2 + \cdots + x_n)}{n} \\
\bar{x} &= \frac{\sum_{i=1}^n [(f_i) \times (x_i)]}{n} \\
&= \frac{(f_1 x_1 + f_2 x_2 + \cdots + f_n x_n)}{n}
\end{aligned}$$

ข. ค่าเฉลี่ยคณิตศาสตร์เชิงถ่วงน้ำหนัก (weighted arithmetic mean)

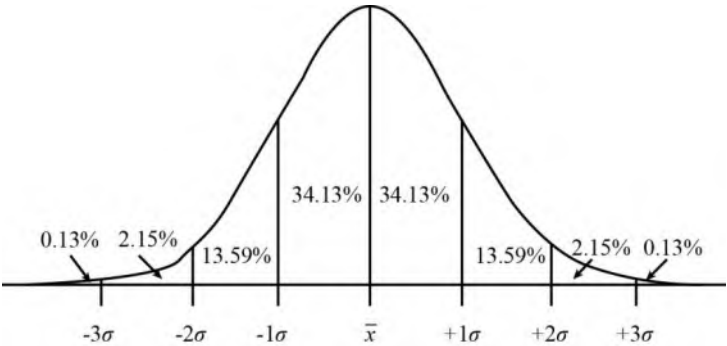
การประเมินแหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่เกิดในธรรมชาติค่าตัวแปรแต่ละชนิด ผลกระทบของตัวแปรเสริมต่อการประเมินไม่เท่ากัน จึงต้องใช้ค่าตัวประกอบถ่วงน้ำหนัก (weight factor : w_i) เป็นตัวคูณในการหาค่าเฉลี่ยเชิงถ่วงน้ำหนัก

$$\begin{aligned}
\bar{x} &= \frac{\sum_{i=1}^n [(w_i) \times (x_i)]}{n} \\
&= \frac{(w_1 x_1 + w_2 x_2 + \cdots + w_n x_n)}{n}
\end{aligned}$$

ค. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของฟังก์ชันการแจกแจงปกติมาตรฐาน เป็นค่าทางสถิติที่ใช้วัดความแม่นยำของข้อมูล ยิ่งค่าตัวเลขข้อมูลลุ่มใกล้ค่าเฉลี่ยมากเพียงใด ก็จะมีความแม่นยำมากขึ้น การคำนวณใช้การหาพื้นที่ใต้กราฟเส้นโค้งของการแจกแจงปกติมาตรฐาน เช่นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากค่าเฉลี่ย ± 1 , ± 2 , ± 3 พื้นที่ใต้เส้นโค้งมีค่าเท่ากับ 68.26 %, 95.44 % และ 99.74 % ตามลำดับ

สมการเชิงสถิติของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation: σ) อิงจากทฤษฎีของ least square ที่ใช้ค่าผลต่างของค่าที่รังวัดได้ในภาคสนามกับค่าเฉลี่ย มีชื่อเรียกค่าผลต่างนี้ว่า ค่าเศษเหลือ (residue) โดยที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือค่าคลาดเคลื่อน เกิดจากพจน์ผลบวกของกำลังสองของค่าเศษเหลือหารด้วยค่า $(n - 1)$ แล้วถอดรากกำลังสอง



รูปที่ 2.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ที่แสดงพื้นที่ใต้เส้นโค้งการแจกแจงปกติมาตรฐาน

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีสมการ 2 แบบ

ในกรณีที่ใช้กับค่าตัวอย่างสุ่ม (x_i) อย่างเดียว กับที่ใช้กับค่า x_i กับค่า f_i ได้แก่

$$\sigma = \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}\right]}$$

$$\sigma = \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^n \{ (f_i) \times (x_i - \bar{x})^2 \}}{(n-1)}\right]}$$

ง. ค่าความแปรปรวน (variance)

ค่าความแปรปรวน (variance) เป็นค่ากำลังสองของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และยังมีตัวแปรที่ใช้วัดความแปรปรวนของระบบมีชื่อว่า สัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variation : C.O.V.)

$$\text{Variance} = V = (\sigma)^2$$

$$\text{C.O.V.} = \frac{\{100 \times (\sigma)\}}{\bar{x}}$$

ตัวอย่างที่ 2.2 ตัวแปรเชิงสถิติพื้นฐาน (basic statistical variables)

แหล่งแร่ทองแดงแห่งหนึ่ง มีการสุ่มตัวอย่างแร่จากบล็อกของสินแร่ (ore block) ที่มีความหนาสม่ำเสมอ จำนวนตัวอย่างแร่สินแร่ทองแดงที่สุ่มวิเคราะห์เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์โลหะทองแดง (% Cu) มีทั้งหมด 80 ตัวอย่าง

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์โลหะทองแดง จำนวน 80 ตัวอย่าง

15.8	26.4	17.3	11.2	23.9	24.8	18.7	13.9	9.0	13.2
22.7	9.8	6.2	14.7	17.5	26.1	12.8	28.6	17.6	23.7
26.8	22.7	18.0	20.5	11.0	20.9	15.5	19.4	16.7	10.7
19.1	15.2	22.9	26.6	20.4	21.4	19.2	21.6	16.9	19.0
18.5	23.0	24.6	20.1	16.2	18.0	7.7	13.5	23.5	14.5
14.4	29.6	19.4	17.0	20.8	24.3	22.5	24.6	18.4	18.1
8.3	21.9	12.3	22.3	13.3	11.8	19.3	20.0	25.7	31.8
25.9	10.5	15.9	27.5	18.1	17.9	9.4	24.1	20.1	28.5

ค่าผลลัพธ์แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 จากการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์โลหะทองแดงดังกล่าว ให้หาค่าตัวแปรเชิงสถิติพื้นฐาน 3 ค่า ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variation)

ผลเฉลย

จากการใช้สมการที่ระบุในหัวข้อ 2.2.2 ได้ค่าตัวเลขผลลัพธ์ที่เป็นเปอร์เซ็นต์ของโลหะทองแดง (ที่ปัดเลขทศนิยมเหลือ 3 ตำแหน่งแล้ว) มีค่าเฉลี่ย 18.896 % Cu ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 5.656 % Cu ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน 29.934 % Cu

รายละเอียดการคำนวณ ทำการหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) เท่ากับ 18.89625 เปอร์เซ็นต์โลหะทองแดง (ใช้ทศนิยม 5 ตำแหน่ง) หาค่าผลต่างของค่าเฉลี่ยกับค่าผลวิเคราะห์ (ค่าเศษเหลือ) แล้วยกกำลังสอง แสดงเป็นตารางย่อยแยกออกเป็น 2 เซต โดยนับคอลัมน์ที่ 1-5 จำนวน 1 ตาราง (ตาราง 2.2) และ คอลัมน์ที่ 6-10 อีก 1 ตาราง (ตารางที่ 2.3)

ตารางที่ 2.2 ค่า $[x_i - \bar{x}]^2$ ของตัวเลขวิเคราะห์คอลัมน์ที่ 1-5

9.58676	56.30626	2.54801	59.23226	25.03751
14.46851	82.74176	161.19476	17.60851	1.94951
62.46926	14.46851	0.80326	2.57201	62.35076
0.04151	13.66226	16.03001	59.34776	2.26126
0.15701	16.84076	32.53276	1.44901	7.26976
20.21626	114.57026	0.25376	3.59576	3.62426
112.28051	9.02251	43.51051	11.58551	31.31801
49.05251	70.49701	8.97751	74.02451	0.63401