



การสำรวจทางวิศวกรรม 1

วิชัย เยี่ยงวีรชน



การสำรวจทางวิศวกรรม 1

การสำรวจทางวิศวกรรม 1

วิชัย เยี่ยงวีรชน



สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2557

250.-

วิชัย เชียงวีรชน

การสำรวจทางวิศวกรรม 1 / วิชัย เชียงวีรชน

1. การสำรวจ. 2. การรังวัด.

526.9

ISBN 978-974-03-2960-2

สพจ. 1620/2



สรรคุณค่าวิชาการ สู่อสังคัม

www.ChulaPress.com

Knowledge to All

ลิขสิทธิ์ของสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 2,000 เล่ม พ.ศ. 2555

พิมพ์ครั้งที่ 2 จำนวน 2,000 เล่ม พ.ศ. 2557

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น

ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดทำหน่วย ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา ศาลาพระเกี้ยว โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

สยามสแควร์ โทร. 0-2218-9881-2 โทรสาร 0-2254-9495

ม.เนรศวร จ.พิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3023 โทรสาร 0-3739-3023

ม.พะเยา จ.พะเยา โทร. 0-5446-6799-800 โทรสาร 0-5446-6798

จัตุรัสจามจุรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0-2160-5301-2 โทรสาร 0-2160-5304

รัตนธิเบศร์ (แยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9 โทรสาร 0-2950-5405

Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร. 0-2255-4433 <http://www.chulabook.com>

และเครือข่าย

ร้านค้า, หนังสือเข้าชั้นเรียน ติดต่อแผนกขายส่ง สาขารัตนธิเบศร์ (แยกแคราย) โทร. 0-2950-5408-9

โทรสาร 0-2950-5405

กองบรรณาธิการ : กนิษฐา กิตติคุณ

พิสูจน์อักษร : วาสนา ชำเซ็น

ออกแบบปก : ชวินทร์ นามมุงคุณ

ออกแบบรูปเล่ม : รศ.วิชัย เชียงวีรชน

พิมพ์ที่ บริษัท วี. พรินท์ (1991) จำกัด โทร. 0-2451-3010 โทรสาร 0-2451-3014

คำนำ

การสำรวจเป็นศาสตร์หนึ่งที่มีความสำคัญในการได้มาซึ่งข้อมูลเชิงตำแหน่งของสิ่งต่าง ๆ บนพื้นที่ในรูปแบบของแผนที่ด้วยวิธีการภาคสนาม ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไปได้แก่ การวางแผนด้านต่าง ๆ การออกแบบทางสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม เป็นต้น ความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากแผนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบ และการกำหนดตำแหน่งที่ต้องการในขั้นตอนการก่อสร้าง ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมมีความต้องการทางด้านความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้น จึงทำให้มีความต้องการใช้ข้อมูลที่มีความถูกต้องสูงด้วย โดยเฉพาะขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งภาคสนามตามการออกแบบ ดังนั้น ผู้เขียนจึงได้เรียบเรียงหนังสือการสำรวจทางวิศวกรรม 1 เล่มนี้ขึ้นให้มีเนื้อหาทางด้านการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเชิงตำแหน่งที่เกิดขึ้นจากกรรมวิธีการวัดและเครื่องมือสำรวจที่ใช้ เพื่อควบคุมคุณภาพของการวัดตามมาตรฐานความถูกต้องแผนที่ ในทางกลับกันการกำหนดตำแหน่งภาคสนาม เมื่อกำหนดค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของผลลัพธ์ที่ต้องการ วิศวกรจะสามารถวิเคราะห์ย้อนกลับ เพื่อกำหนดกรรมวิธีและลักษณะสมบัติของเครื่องมือที่สามารถเลือกใช้ได้ตามการออกแบบนั้น รวมทั้งการตรวจสอบตามมาตรฐานความถูกต้องแผนที่ หนังสือเล่มนี้จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นหนังสือเรียนและอ้างอิงในการศึกษาวิเคราะห์ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม หากท่านใดพบว่ามีเนื้อหาใดขาด ตก บกพร่อง หรือผิดพลาด ทั้งที่หลงตา หรือเพราะความไม่รู้ไม่เข้าใจของผู้เขียน ผู้เขียนมีความยินดีน้อมรับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์จากผู้อ่านที่จะกรุณาแจ้งให้ทราบ โดยติดต่อผู้เขียนได้ทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ที่ vichai.y@chula.ac.th เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไขหนังสือเล่มนี้ให้มีคุณภาพและเป็นประโยชน์ต่อไป

ผู้เขียนขอขอบคุณโครงการสนับสนุนการเขียนตำรา/หนังสือ/คู่มือ ของคณาจารย์และบุคลากรสายสนับสนุน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนและตำราเรื่อง การสำรวจทางวิศวกรรม 1 เล่มนี้เป็นตำราเล่มที่ 25 ในโครงการสนับสนุนการเขียนตำรา/หนังสือ/คู่มือ ของคณาจารย์และบุคลากรสายสนับสนุน คณะวิศวกรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์วิชัย เยี่ยงวีรชน

ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สิงหาคม 2557

สารบัญ

คำนำ

สารบัญ

ก

บทที่ 1 บทนำการสำรวจ

1

1.1 นิยามการสำรวจ

1

1.2 ประวัติการสำรวจ

2

1.3 ประเภทการสำรวจ

3

1.4 ชั้นความถูกต้องงานสำรวจ

4

1.5 สันฐานโลก

5

1.6 การวัดในงานสำรวจ

7

1.7 หน่วยการวัด

8

1.8 เลขนัยสำคัญ

11

1.9 การประมาณค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือ

13

1.10 การปิดเศษตัวเลข

14

1.11 แบบฝึกหัด

14

บทที่ 2 ทฤษฎีการวัดและความคลาดเคลื่อน

15

2.1 การวัดและมาตรฐาน

15

2.2 การวัดโดยตรงและโดยอ้อม

15

2.3 ความคลาดเคลื่อนของการวัด

16

2.4 ค่าเฉลี่ย

20

2.5 ทฤษฎีการวัด

21

2.6 องค์ประกอบการวัด

22

2.7 ความแม่นยำและความถูกต้องของการวัด

22

2.8 ธรรมชาติทางสถิติของความคลาดเคลื่อนสุ่ม

23

2.9 การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนสุ่ม

26

2.10 การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนสุ่มกรณีต่าง ๆ แบบง่าย

31

2.11 น้ำหนักของการวัด

32

2.12 แบบฝึกหัด

34

บทที่ 3 การวัดระยะทาง	34
3.1 ค่าความถูกต้องของการวัดระยะทาง	34
3.2 วิธีการวัดระยะ	35
3.3 ประเภทของเทป	41
3.4 การวัดระยะด้วยเทป	42
3.5 ความคลาดเคลื่อนในการวัดระยะด้วยเทป	47
3.6 การตรวจแก้ความคลาดเคลื่อนมีระบบของการวัดระยะด้วยเทป	47
3.7 ความคลาดเคลื่อนสุ่มในการวัดระยะด้วยเทป	52
3.8 สรุปความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในการวัดระยะด้วยเทป	53
3.9 การใช้เทปในงานรังวัด	53
3.10 การรังวัดแผนที่ด้วยเทป	55
3.11 เครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์	58
3.12 ประเภทเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์	59
3.13 หลักการทำงานของเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์	62
3.14 ความคลาดเคลื่อนมีระบบของเครื่องวัดระยะ	64
3.15 การวัดระยะของเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์	68
3.16 การตรวจแก้ระยะเนื่องจากสภาพอากาศ	69
3.17 การประเมินความคลาดเคลื่อนการวัดระยะด้วยเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์	72
3.18 การประเมินความแม่นยำการวัดมุมตั้ง และความสูง สำหรับการทอนระยะราบ	73
3.19 แบบฝึกหัด	75
บทที่ 4 การระดับ	76
4.1 วิธีการหาค่าระดับความสูง	78
4.2 อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการหาค่าระดับด้วยกล้องระดับ	80
4.3 กล้องระดับ	81
4.4 ส่วนประกอบกล้องระดับ	81
4.5 การปรับระดับกล้อง	84
4.6 การอ่านไม้ระดับ	85
4.7 การหาค่าระดับความสูงด้วยกล้องระดับ	87
4.8 การระดับโดยวิธีหาค่าต่างระดับ	88
4.9 ข้อกำหนดชิ้นงานระดับ	90

4.10 การจดบันทึกข้อมูลสนาม	92
4.11 สภาวะกล้องระดับและการวัดสอบ	93
4.12 ผลกระทบการรังวัดระดับจากแนวเล็งเอียง	97
4.13 ความคลาดเคลื่อนในงานระดับ	98
4.14 ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในงานระดับ	99
4.15 ข้อระมัดระวังในการทำงานระดับ	100
4.16 ความโค้งของโลกและการหักเหของแสง	100
4.17 การประเมินความคลาดเคลื่อนสุ่มของการรังวัดระดับ	102
4.18 การประเมินความคลาดเคลื่อนของการรังวัดค่าต่างระดับ	104
4.19 การรังวัดระดับจุดต่างๆ	107
4.20 การประยุกต์ใช้งานระดับ	108
4.21 การรังวัดรูปตัดตามแนว	109
4.22 การรังวัดรูปตัดขวาง	111
4.23 การรังวัดไม้ระดับกลับหัว	113
4.24 การคำนวณปรับแก้ความคลาดเคลื่อนงานระดับ	114
4.25 การระดับแบบสอบกลับ	116
4.26 กล้องระดับความละเอียดสูง	118
4.27 กล้องระดับอิเล็กทรอนิกส์	119
4.28 ประเภทกล้องระดับอิเล็กทรอนิกส์	119
4.29 หลักการทำงานกล้องระดับอิเล็กทรอนิกส์	120
4.30 การวัดสอบแนวเล็งกล้องระดับอิเล็กทรอนิกส์	122
4.31 คุณสมบัติทั่วไปกล้องระดับอิเล็กทรอนิกส์	122
4.32 การประเมินความคลาดเคลื่อนการวัดระดับด้วยกล้องระดับอิเล็กทรอนิกส์	123
4.33 ข้อแนะนำในการรังวัดระดับด้วยกล้องระดับอิเล็กทรอนิกส์	124
4.34 แบบฝึกหัด	125
บทที่ 5 มุม แบริง และ แอซิมัท	127
5.1 ประเภทของการวัดมุม	127
5.2 การวัดมุมราบ	128
5.3 การวัดมุมตั้ง	129
5.4 ทิศของเส้น	130

5.5 ระบบการบอกทิศ	131
5.6 ความสัมพันธ์ทิศไปและกลับของเส้น	132
5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างทิศแบริงและแอซิมัท	133
5.8 การคำนวณทิศของเส้นจากค่ามุม	134
5.9 เข็มทิศ	137
5.10 ชนิดเข็มทิศ	138
5.11 มุมบ่ายเบนแม่เหล็ก	139
5.12 แรงดึงดูดท้องถิ่น	141
5.13 สาเหตุความคลาดเคลื่อนในการวัดด้วยเข็มทิศ	141
5.14 ระบบพิกัดบนระนาบและการคำนวณค่าพิกัด	142
5.15 แบบฝึกหัด	143

บทที่ 6 กล้องวัดมุมและโททอลสเตชัน 145

6.1 ความเข้าใจในการวัดมุมราบ	145
6.2 กล้องที่โอโดไลต์	146
6.3 การตั้งกล้องที่โอโดไลต์	148
6.4 การส่องกล้องที่โอโดไลต์	150
6.5 ตำแหน่งกล้องสำหรับการวัดทิศทาง	150
6.6 การวัดมุมราบ	151
6.7 การวัดมุมตั้ง	154
6.8 สภาวะทางเรขาคณิตของกล้องวัดมุม	154
6.9 การวัดสอบสภาวะกล้องวัดมุม	157
6.10 ความคลาดเคลื่อนของการวัดมุม	163
6.11 กล้องวัดมุมอิเล็กทรอนิกส์	163
6.12 ตำแหน่งการวัดทิศทางกล้องวัดมุมอิเล็กทรอนิกส์	166
6.13 กล้องโททอลสเตชัน	167
6.14 ประเภทของกล้องโท-ทอลสเตชัน	167
6.15 การวัดสอบกล้องโททอลสเตชัน	171
6.16 ตัวชี้วัดความเที่ยงกล้องชนิดสองแกน	171
6.17 ความถูกต้องในการวัดมุม	173
6.18 โปรแกรมพื้นฐานในกล้องโททอลสเตชัน	174

6.19 โปรแกรมการรังวัดอื่น ๆ	176
6.20 ข้อควรปฏิบัติในการใช้กล้องโททอลสเตชัน	177
6.21 การรังวัดอิเล็กทรอนิกส์แทคิโอเมทรี	177
6.22 ค่าความถูกต้องในการวัดมุม	179
6.23 ความคลาดเคลื่อนมุมจากการอ่านจานองศา	179
6.24 ความคลาดเคลื่อนมุมจากการเล็งเป้า	181
6.25 ความคลาดเคลื่อนมุมจากการอ่านจานองศาและเล็งเป้าของกล้องโททอลสเตชัน	182
6.26 ความคลาดเคลื่อนมุมจากการตั้งเป้า	182
6.27 ความคลาดเคลื่อนมุมจากการตั้งกล้อง	184
6.28 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของการวัดมุม	184
6.29 การวัดระยะวิธีแทคิโอเมทรี	186
6.30 การคำนวณค่าระดับจากการรังวัดสเตเดีย	188
6.31 การหาค่าคงตัวของกล้อง	189
6.32 ความถูกต้องของการวัดแบบสเตเดีย	189
6.33 การปฏิบัติงานสนาม	190
6.34 การรังวัดหาตำแหน่งพิกัดและความสูงด้วยวิธีการวัดมุม	191
6.35 การเล็งสกัดจากสองจุด	192
6.36 การเล็งสกัดย้อนจาก 3 จุด	194
6.37 ทฤษฎีงานระดับตรีโกณมิติ	197
6.38 การวัดมุมงานระดับตรีโกณมิติ	199
6.39 การคำนวณแก้ผลกระทบจากความโค้งผิวโลกและความหักเหของแสง	199
6.40 กรณีต่าง ๆ ของงานระดับตรีโกณมิติ	200
6.41 การวัดระดับตรีโกณมิติเพื่อหาความสูงของจุดที่เข้าไม่ถึง	204
6.42 การวัดระดับตรีโกณมิติด้วยกล้องโททอลสเตชัน	207
6.43 การใช้ประโยชน์กล้องวัดมุม	209
6.44 แบบฝึกหัด	212

บทที่ 7 งานวงรอบ 215

7.1 ความเข้าใจในการรังวัดพิกัดตำแหน่ง	215
7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมและระยะทาง	216
7.3 การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด	217

ฉ การสำรวจทางวิศวกรรม 1

7.4 ประเภทของวงรอบ	218
7.5 การวัดมุมวงรอบ	221
7.6 การเลือกสถานีวงรอบ	222
7.7 ข้อกำหนดงานรังวัดวงรอบ	223
7.8 การคำนวณตรวจแก้สภาวะทางมุมของวงรอบ	225
7.9 ระยะเหนือและระยะตะวันออก	227
7.10 การคำนวณตรวจสอบสภาวะทางระยะทางของวงรอบ	228
7.11 ความถูกต้องของงานวงรอบ	230
7.12 การคำนวณวงรอบ	230
7.13 การคำนวณด้วยกฎเข็มทิศ	231
7.14 การคำนวณด้วยกฎทราซิชิต	236
7.15 การคำนวณระยะและทิศเส้นวงรอบ	239
7.16 สรุปขั้นตอนการคำนวณงานวงรอบ	240
7.17 การหาตำแหน่งผิดพลาดของงานวงรอบ	240
7.18 การคำนวณพื้นที่วงรอบปิด	241
7.19 ความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะตะวันออกและระยะเหนือ	248
7.20 การประเมินค่าความคลาดเคลื่อนค่าแอซิมัท	250
7.21 การประเมินค่าความคลาดเคลื่อนบรรจบของวงรอบปิด	250
7.22 การประเมินค่าความคลาดเคลื่อนบรรจบของวงรอบเปิด	254
7.23 แบบฝึกหัด	258

บทที่ 8 เส้นชั้นความสูง 261

8.1 คำจำกัดความที่เกี่ยวข้อง	262
8.2 คุณลักษณะเส้นชั้นความสูง	262
8.3 ลักษณะเส้นชั้นความสูงตามภูมิประเทศต่าง ๆ	264
8.4 ลักษณะความลาดชัน	267
8.5 ค่าความลาดชัน	268
8.6 ประเภทเส้นชั้นความสูง	269
8.7 การกำหนดช่วงเส้นชั้นความสูง	270
8.8 การเขียนเส้นชั้นความสูง	270
8.9 การใช้ประโยชน์จากเส้นชั้นความสูง	273

8.10	แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข	275
8.11	ชนิดข้อมูลจุดระดับความสูง	277
8.12	การสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศเชิงเลข	278
8.13	แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศชนิดตารางกริด	279
8.14	สมการโพลีโนเมียลที่ใช้ในการแสดงพื้นผิว	282
8.15	แบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศชนิดสามเหลี่ยม	283
8.16	การเขียนเส้นชั้นความสูงจากแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ	286
8.17	การปรับความเรียบมนของเส้นชั้นความสูง	288
8.18	ลักษณะสำคัญในการสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ	289
8.19	การบูรณา-การเส้น Break Lines บนแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศแบบ TIN	290
8.20	แบบฝึกหัด	291
บทที่ 9	การรังวัดแผนที่ภูมิประเทศ	293
9.1	รายละเอียดแผนที่ภูมิประเทศ	293
9.2	มาตราส่วนแผนที่	294
9.3	ความถูกต้องแผนที่	295
9.4	ขั้นตอนการรังวัดแผนที่ภูมิประเทศ	299
9.5	การสำรวจสังเขป	299
9.6	การสำรวจรังวัดหมุดควบคุม	300
9.7	การสำรวจรังวัดเก็บรายละเอียด	304
9.8	การเขียนแผนที่ภูมิประเทศ	305
9.9	การตรวจสอบความถูกต้องข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ	309
9.10	สรุปขั้นตอนการดำเนินงาน	310
9.11	รายงานการสำรวจรังวัดแผนที่ภูมิประเทศ	310
9.12	แบบฝึกหัด	311
บทที่ 10	มาตรฐานความถูกต้องแผนที่	313
10.1	คำจำกัดความ	313
10.2	ตัวอย่างมาตรฐานแผนที่	315
10.3	The National Map Accuracy Standard (NMAS)	316

10.4 The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)	
Standard	317
10.5 The National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA)	318
10.6 FGDC-STD-007.3-1998	319
10.7 FGDC-STD-007.4-2002	319
10.8 Australian Map and Spatial Data Horizontal Accuracy Standard	320
10.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถูกต้องแผนที่ NMAS และ NSSDA	320
10.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถูกต้องแผนที่ ASPRS และ NSSDA	321
10.11 หลักการประเมินความถูกต้องแผนที่	321
10.12 เกณฑ์ความถูกต้องแผนที่	323
10.13 การคำนวณตัวชี้วัดความถูกต้องของจุดตรวจสอบตามมาตรฐาน NSSDA	325
10.14 การประเมินผลลัพธ์เทียบกับเกณฑ์ความถูกต้องแผนที่ขั้นต่ำ	329
10.15 การคัดกรองจุดตรวจสอบที่ผิดพลาด (Blunder Rejection)	329
10.16 แบบฝึกหัด	330
บรรณานุกรม	331
ดัชนี	333

บทที่ 1

บทนำการสำรวจรังวัด (Introduction to Surveying)

1.1 นิยามการสำรวจ

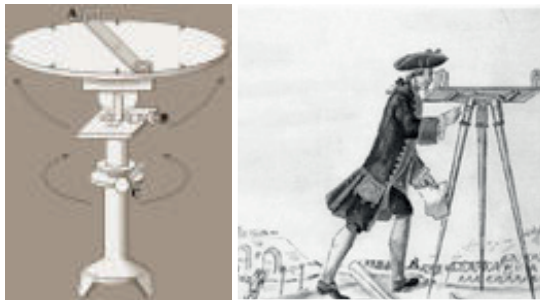
การสำรวจ (surveying) คือ ศาสตร์ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคนิคในการหาตำแหน่ง หรือการกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ ที่อยู่เหนือ บน และใต้ผิวโลก ด้วยวิธีการระบุตำแหน่งเชิงสัมพัทธ์ (relative positioning) หรือตำแหน่งเชิงสัมบูรณ์ (absolute positioning) โดยเทคโนโลยีที่ก้าวหน้าด้านต่าง ๆ ของการสำรวจในปัจจุบัน ทำให้การสำรวจเป็นศาสตร์ที่มีลักษณะพิเศษ มีความซับซ้อนและมีการประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ มากมาย ตั้งแต่การได้มาซึ่งข้อมูลเชิงตำแหน่ง (spatial data) รวมไปถึงการบริหารจัดการข้อมูลประกอบต่าง ๆ ที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับข้อมูลเชิงตำแหน่งนั้น ซึ่งข้อมูลประกอบเหล่านี้เรียกว่า ข้อมูลอรรถาธิบาย (attribute data) หรือข้อมูลชนิดไม่มีตำแหน่ง (non-spatial data) ด้วยระบบภูมิสารสนเทศ (Geographic Information System, GIS) ดังนั้น จึงใช้ชื่อ “Geomatics” หรือ “Geospatial Engineering” แทนคำ “Surveying” ในปัจจุบัน

คำ Geomatics ยังมิได้มีการบัญญัติศัพท์ที่เหมาะสมขึ้นเป็นภาษาไทย จึงจะใช้การทับศัพท์โดยตรงคือ “จีอเมติกส์” ซึ่งมีความหมายถึง การวัดสิ่งต่าง ๆ ของโลก (measurement of the earth) เป็นคำที่มีความหมายกว้างขวางรวมเอาแขนงวิชาการทุกด้านที่เกี่ยวข้องกับการวัดเพื่อจัดเก็บข้อมูล (data acquisitions) เช่น การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ (photogrammetry) การสำรวจระยะไกล (remote sensing) การรังวัดด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System, GNSS) การสำรวจภาคพื้นดิน (ground surveys) การสำรวจชลศาสตร์ (hydrographic surveys) เป็นต้น

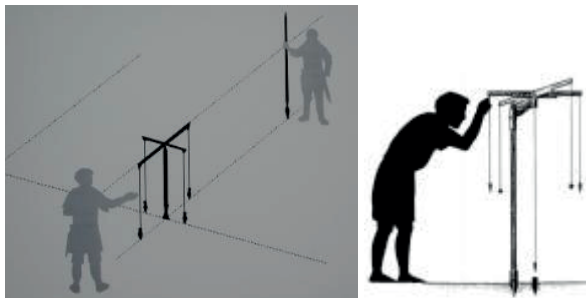
การสำรวจรังวัด หมายถึง การวัดหาค่าตำแหน่งพิกัดซึ่งเป็นค่าพิกัด 3 มิติ (x,y,h) หรืออย่างน้อยเป็นค่าพิกัดทางราบแบบ 2 มิติ (x,y) ซึ่งคำนวณได้จากข้อมูลที่รังวัดได้ในสนาม ได้แก่ ทิศทาง ระยะระหว่างจุดสองจุดและมุมระหว่างทิศทางแต่ละทิศ โดยการใช้เครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสม ซึ่งทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจรังวัดจะกล่าวในหนังสือเล่มนี้ อย่างไรก็ตาม ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีทั้งเครื่องมือและวิธีการใหม่ ๆ เกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ผู้ศึกษาต้องติดตามข่าวสารอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถเลือกใช้เครื่องมือและวิธีการที่เหมาะสมกับความถูกต้องที่ต้องการ

1.2 ประวัติการสำรวจ

เท่าที่ได้มีการบันทึกในประวัติศาสตร์ พบว่ามีการนำหลักการสำรวจมาใช้ตั้งแต่ 1,400 ปีก่อนคริสต์ศักราชโดยชาวอียิปต์ในการแบ่งแปลงที่ดินเพื่อการจัดเก็บภาษี และก่อนคริสต์ศักราช 120 ปี ชาวกรีกได้มีการคิดค้นศาสตร์ทางด้านตรีโกณมิติขึ้น เพื่อใช้ในการแบ่งแปลงที่ดินให้มีความถูกต้องที่ดีขึ้น มีการสร้างเครื่องมือสำรวจขึ้นมาชิ้นแรกเรียกว่า ไดออปทรา (dioptra, รูปที่ 1.1 (ก)) รวมทั้งได้มีการกำหนดขั้นตอนในการสำรวจ เพื่อใช้เป็นแนวทางเดียวกันในสมัยนั้น และได้มีการพัฒนาการสำรวจอย่างเห็นได้ชัดในสมัยโรมัน ผู้ที่เป็นที่รู้จักกันดีในต้นศตวรรษ คือ Frontinus ในยุคนี้ได้มีการผลิตเครื่องมือสำรวจสำหรับงานก่อสร้างที่เรียกว่า โกรมา (groma, รูปที่ 1.1 (ข))



(ก) Dioptra (ภาพจาก <http://www.catastro.gub.uy>)



(ข) Groma (ภาพจาก <http://mitglied.lycos.de>)

รูปที่ 1.1 เครื่องมือสำรวจ dioptra และ groma

ค.ศ. 1800 เป็นยุคที่มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านอุตสาหกรรม ความสำคัญของการกำหนดเขตที่ดิน การพัฒนาปรับปรุงระบบสาธารณูปโภค เช่น ทางรถไฟ คลองส่งน้ำ ถนน ฯลฯ มีมากขึ้น จึงทำให้การสำรวจมีบทบาทเพิ่มขึ้น และได้มีการพัฒนาเครื่องมือสำรวจที่ให้ความถูกต้องดีขึ้น ที่สำคัญได้มีการพัฒนาศาสตร์ของการสำรวจขึ้นเป็นระบบแบ่งเป็นการสำรวจบนพื้นระนาบ (plane surveying) และการสำรวจขั้นสูง (geodetic surveying) เกิดขึ้นด้วย

ปัจจุบันการสำรวจได้เข้ามาเกี่ยวข้องกับทุก ๆ สิ่งใกล้ตัวมนุษย์มากขึ้น เนื่องมาจากข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้กันในชีวิตประจำวันนั้น หากพิจารณาแล้วจะเห็นว่า จะมีความสัมพันธ์กับข้อมูลที่ต้องทราบตำแหน่งว่าอยู่ที่ใดด้วย ประกอบกับการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และสารสนเทศความสามารถทางด้านการประมวลผลภาพกราฟิก ทำให้ผลที่ได้จากการสำรวจได้ถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวาง จากเดิมที่ใช้ในงานวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมเพื่อการออกแบบและก่อสร้างแล้ว ยังถูกนำไปใช้ในการบริหารจัดการทั้งในภาพรวมทุกระดับเป็นระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ด้วย

1.3 ประเภทการสำรวจ

1.3.1 ลักษณะงานสำรวจ

โดยทั่วไปงานสำรวจจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามความละเอียดถูกต้องของการวัดและการคำนวณ คือ

1.3.1.1 งานสำรวจขั้นสูง (Geodetic Surveys)

เป็นงานสำรวจที่มีความละเอียดถูกต้องสูง และคำนึงถึงรูปร่างสัณฐานของโลกหรือความโค้งของผิวโลก (earth curvature) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย จะใช้กับพื้นที่ขนาดใหญ่ ดังนั้นการคำนวณต่าง ๆ จึงอยู่บนผิวโค้ง ซึ่งจะใช้ผิวทรงรี (ellipsoid) ที่เหมาะสมแทนสัณฐานของโลกในแต่ละพื้นที่

1.3.1.2 งานสำรวจบนพื้นระนาบ (Plane Surveys)

เป็นงานสำรวจที่ใช้สมมติฐานว่า พื้นที่ที่ทำการสำรวจเป็นพื้นระนาบ ดังนั้น การคำนวณจึงสามารถใช้สูตรทางเรขาคณิตบนพื้นระนาบในการคำนวณได้ ทำให้ง่ายต่อการทำงาน โดยจะใช้กับพื้นที่ขนาดเล็กซึ่งความโค้งของผิวโลกไม่มีผลกระทบ

1.3.2 ชนิดงานสำรวจ

งานสำรวจยังสามารถแบ่งชนิดของงานได้ตามเฉพาะเรื่อง ๆ ได้ ดังนี้

1.3.2.1 งานสำรวจรังวัดควบคุม (Control Surveys)

คือ งานสำรวจเพื่อการจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบ (horizontal control points) และหมุดหลักฐานทางตั้ง (vertical control points) หรือเป็นทั้งสองอย่าง (full control points) ใช้เป็นหมุดอ้างอิงสำหรับงานสำรวจอื่น ๆ

1.3.2.2 งานสำรวจภูมิประเทศ (Topographic Surveys)

คือ งานสำรวจเพื่อหาตำแหน่งของสิ่งต่าง ๆ บนผิวโลก ไม่ว่าจะเป็นสิ่งที่ปรากฏในธรรมชาติหรือสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ รวมทั้งค่าระดับความสูงของพื้นที่ และนำมาเขียนเป็นแผนที่ภูมิประเทศ (topographic map)

1.3.2.3 งานสำรวจแปลงที่ดิน (Cadastral Surveys)

คือ งานสำรวจเพื่อกำหนดแนวเขต หรือขอบเขตที่ดิน เพื่อจัดทำกรรมสิทธิ์ที่ดินตามกฎหมาย

1.3.2.4 งานสำรวจทางวิศวกรรม (Engineering Surveys)

คือ งานสำรวจที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านวิศวกรรมโครงการต่าง ๆ ได้แก่ การวางผัง การให้แนว การวางตำแหน่งสิ่งปลูกสร้างตามการออกแบบ รวมทั้งการสำรวจเก็บรายละเอียดสภาพความเป็นจริงหลังจากการดำเนินงานก่อสร้างเสร็จแล้ว เพื่อจัดทำแบบขั้นสุดท้ายที่เรียกว่า “แบบก่อสร้าง” (as-built drawings)

1.3.2.5 การสำรวจชลศาสตร์ (Hydrographic Surveys)

คือ งานสำรวจขอบเขตชายฝั่งทะเล ความลึกท้องน้ำต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นแม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ ทะเลและมหาสมุทร เพื่อจัดทำแผนที่ร่องน้ำใช้ในการเดินเรือ

1.3.2.6 การสำรวจเส้นทาง (Route Surveys)

คือ งานสำรวจเพื่อการออกแบบก่อสร้างประเภทเส้นทางต่าง ๆ เช่น ถนน คลองส่งน้ำ อุโมงค์ การวางท่อ เป็นต้น

1.3.2.7 การสำรวจเหมืองแร่ (Mine Surveys)

คือ งานสำรวจสำหรับการทำเหมือง ไม่ว่าจะเป็นเหมืองเปิดบนดิน หรือเหมืองใต้ดิน

1.3.2.8 การสำรวจงานอุตสาหกรรม (Industrial Surveys)

คือ งานสำรวจที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูงมากในการติดตั้งเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ หรือเครื่องจักรทางด้านอุตสาหกรรมเพื่อการผลิต

1.4 ชั้นความถูกต้องงานสำรวจ

คุณภาพของการรังวัดในงานสำรวจ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สามารถนำไปใช้งานตามที่ต้องการเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เมื่อก้าวถึงคุณภาพงานรังวัดโดยทั่วไปจะกล่าวถึง ความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (spatial

accuracy) โดยได้มีการแบ่งระดับความถูกต้องไว้ 3 ระดับชั้นงาน ซึ่งจะระบุถึงเครื่องมือ กรรมวิธี การตรวจสอบผลการรังวัดที่ต้องปฏิบัติตามชั้นงานที่ใช้สำหรับแต่ละประเภทงาน และผลสุดท้ายต้องตรวจสอบผลการรังวัดที่ได้ปฏิบัติตามข้อกำหนดแล้วนั้น ว่าอยู่ในเกณฑ์กำหนดของชั้นงานนั้นหรือไม่ ทั้งนี้ได้มีการกำหนดรายละเอียดชั้นงานตามมาตรฐานของหน่วยงาน Federal Geodetic Control Committee (FGCC) ได้แก่

1.4.1 ระดับชั้นงานหนึ่ง (First Order)

เป็นมาตรฐานสูงสุดที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของงานรังวัดในระดับโครงข่ายหมุดควบคุมทั้งทางราบและทางตั้ง (horizontal and vertical control network) ของประเทศ จังหวัด หรือเมือง รวมทั้งงานวิจัยด้านต่าง ๆ

1.4.2 ระดับชั้นงานสอง (Second Order)

เป็นมาตรฐานรองลงมาจากชั้นงานที่หนึ่งใช้ในการขยายหรือเพิ่มจำนวนหมุดควบคุมทางราบและทางตั้งจากหมุดชั้นงานที่หนึ่ง เพื่อใช้เป็นหมุดควบคุมสำหรับพื้นที่ที่เล็กกว่าเมือง

1.4.3 ระดับชั้นงานสาม (Third Order)

เป็นมาตรฐานที่ต่ำที่สุดซึ่งใช้สำหรับงานโครงการพื้นที่เล็ก ๆ หรืองานก่อสร้างทางสถาปัตยกรรมและวิศวกรรม

1.5 ลักษณะโลก (Earth Shape)

ลักษณะของโลกมีความสำคัญกับงานสำรวจที่ต้องทำความเข้าใจ จึงจะสามารถคำนวณตำแหน่งที่อยู่บนผิวโลกได้อย่างถูกต้อง เป็นที่ทราบกันว่า โลกมีลักษณะค่อนข้างเป็นรูปทรงกลมซึ่งแบนหรือยุบตัวบริเวณขั้วโลก และผิวโลกมีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอน สูง ๆ ต่ำ ไม่ราบเรียบ ความลาดชันไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น การที่จะระบุว่าโลกมีรูปร่างลักษณะเป็นอย่างไรนั้นกระทำได้ยาก สำหรับศาสตร์ทางด้านการสำรวจได้นิยามลักษณะของโลกไว้ 3 ลักษณะ (รูปที่ 1.2) คือ

1.5.1 ลักษณะโลกทางกายภาพ (Terrestrial Surface)

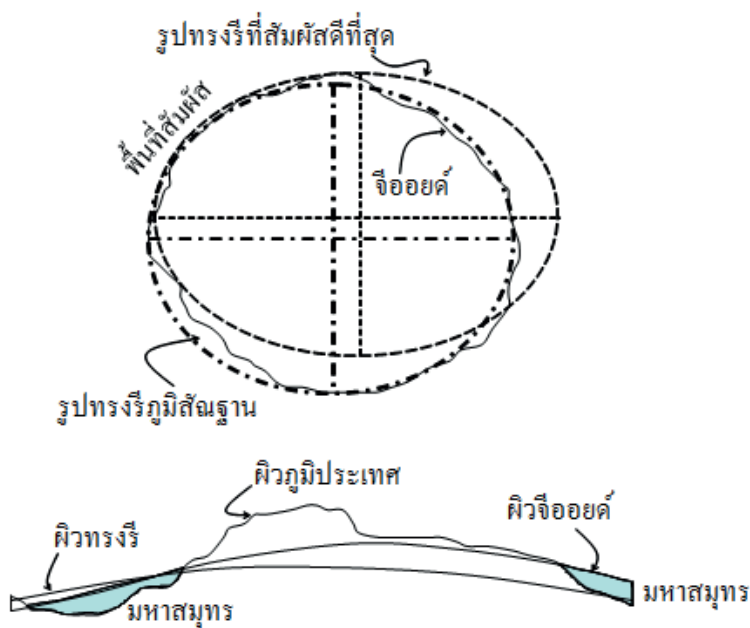
หมายถึง เส้นขอบเขตระหว่างผิวดินหรือผิวน้ำกับอากาศรอบผิวโลก เป็นลักษณะที่ปรากฏจริงของผิวโลก ไม่สามารถนิยามรูปร่างได้ด้วยรูปทรงทางเรขาคณิต หรือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1.5.2 สัณฐานโลกจีโออยด์ (Geoid)

คือ สัณฐานของโลกที่เกิดจากการจินตนาการพื้นผิวของน้ำทะเลมหาสมุทรแผ่ขยายต่อเนื่องเข้าไปในแผ่นดินเป็นพื้นผิวเดียวกันทั่วโลก โดยที่ทุก ๆ จุดบนพื้นผิวนั้นมีค่าศักย์ภาพแรงโน้มถ่วงเท่ากัน โดยจะใช้เป็นผิวของน้ำทะเลที่กำหนดค่าระดับเฉลี่ยเท่ากับ 0 เมตร ซึ่งผิวดังกล่าวยังคงมีลักษณะไม่ราบเรียบ แบบจำลองที่ได้จึงไม่สะดวกและยากที่จะใช้ในการคำนวณ

1.5.3 สัณฐานโลกรูปทรงรี (Ellipsoid)

คือ การใช้รูปทรงรีซึ่งมีรูปทรงใกล้เคียงกับจีโออยด์มากที่สุดเป็นสัณฐานของโลก รูปทรงรีนี้เกิดจากการหมุนของวงรีรอบแกนสั้น ทำให้สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณปริมาณต่าง ๆ ได้ เรียกว่า “พื้นหลักฐาน” (datum) มีการใช้กันแพร่หลายและมีหลายพื้นหลักฐานสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ



รูปที่ 1.2 สัณฐานของโลก

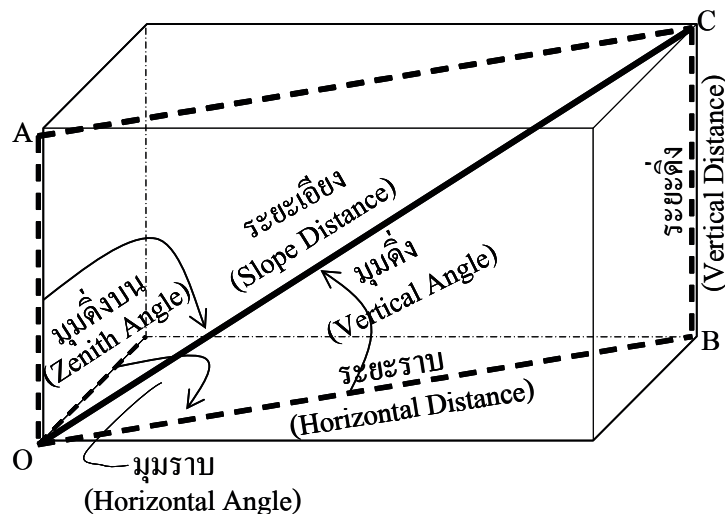
1.5.3.1 รูปทรงรีภูมิฐาน (Terrestrial Ellipsoid)

คือ รูปทรงรีพื้นหลักฐานที่ใช้อ้างอิงแทนลูกโลก ซึ่งจะมีจุดศูนย์กลางกำเนิดอยู่ที่จุดใจกลางโลก และแกนหมุนสมมาตรขนานกับแกนหมุนเฉลี่ยของโลก ดังนั้น ทุก ๆ จุดบนผิวโลกจะอยู่ในระบบอ้างอิงเดียวกัน

1.5.3.2 รูปทรงรีภูมิภาค (Best-fitting Ellipsoid)

คือ รูปทรงรีพื้นหลักฐานที่ใช้เฉพาะบริเวณหนึ่งในระดับภูมิภาคหรือระดับประเทศ โดยเป็นรูปทรงรีที่มีพื้นผิวใกล้เคียงกับพื้นผิวจริงในบริเวณนั้น ดังนั้น ตำแหน่งของจุดจะมีความสัมพันธ์กันเฉพาะพื้นที่ที่ใช้พื้นหลักฐานเดียวกันเท่านั้น การเชื่อมโยงไปยังพื้นหลักฐานอื่นทำได้ด้วยวิธีการแปลงพื้นหลักฐาน

1.6 การวัดในงานสำรวจ (Measurements in Surveying)



รูปที่ 1.3 การวัดในงานสำรวจ

รูปที่ 1.3 เมื่อจุด O เป็นตำแหน่งอ้างอิง และจุด C เป็นตำแหน่งที่สนใจ การวัดในงานสำรวจภาคสนาม ปริมาณที่วัดได้ประกอบด้วยปริมาณต่าง ๆ ดังนี้ คือ

- 1) ระยะเอียง (slope distance, OC)
- 2) ระยะราบ (horizontal distance, OB)
- 3) ระยะตั้ง (vertical distance, CB)
- 4) มุมราบ (horizontal angle)
- 5) มุมตั้ง (vertical angle)
- 6) มุมตั้งบน (zenith angle)

จากรูปจะเห็นว่า ปริมาณดังกล่าวแต่ละปริมาณจะมีลักษณะเป็นองค์ประกอบซึ่งกันและกัน คือสามารถคำนวณได้จากปริมาณอื่น โดยอาศัยความสัมพันธ์ทางตรีโกณมิติ

1.7 หน่วยการวัด (Units of Measurement)

ขนาดของปริมาณต่าง ๆ ที่วัดได้ดังกล่าวในหัวข้อที่ 5 จะมีหน่วยกำกับการทำงานทุกครั้ง การทำงานในปัจจุบันเป็นยุคของการทำงานร่วมกัน (collaborative working) ทำให้ต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกัน จึงจำเป็นที่ต้องทราบถึงระบบการวัดต่าง ๆ ที่ใช้กันทั่วโลก รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างระบบการวัด เพื่อการแปลงหน่วยเหล่านี้ไปมา ระบบหน่วยการวัดที่ใช้กันโดยทั่วไป ได้แก่

1.7.1 หน่วยความยาว (Length)

1.7.1.1 ระบบเมตริก (Metric System)

10 มิลลิเมตร (millimeters)	=	1 เซนติเมตร (centimeter)
10 เซนติเมตร (centimeters)	=	1 เดซิเมตร (decimeter)
10 เดซิเมตร (decimeters)	=	1 เมตร (meter)
10 เมตร (meters)	=	1 เดคาเมตร (decameter)
10 เดคาเมตร (decameters)	=	1 เฮกโตเมตร (hectometer)
10 เฮกโตเมตร (hectometers)	=	1 กิโลเมตร (kilometer)
1,000 เมตร (meters)	=	1 กิโลเมตร (kilometer)

1.7.1.2 ระบบอังกฤษ (Imperial System)

12 นิ้ว (inches)	=	1 ฟุต (foot)
3 ฟุต (feet)	=	1 หลา (yard)
22 หลา (yards)	=	1 เซน (chain)
10 เซน (chains)	=	1 เฟอลอง (furlong)
8 เฟอลอง (furlongs)	=	1 ไมล์ (mile)
5,280 ฟุต (feet)	=	1 ไมล์ (mile)
1,760 หลา (yards)	=	1 ไมล์ (mile)

1.7.1.3 ระบบไทย (Thai System)

2 กีบ	=	1 สอก
4 สอก	=	1 วา
20 วา	=	1 เส้น
400 เส้น	=	1 โยชน์

1.7.1.4 การเทียบหน่วย

1 นิ้ว (inch)	=	2.54 เซนติเมตร (centimeters)
1 ฟุต (foot)	=	30.48 เซนติเมตร (centimeters)
1 ไมล์ (mile)	=	1.609344 กิโลเมตร (kilometers)
1 วา	=	2 เมตร (meters)
1 เมตร (meter)	=	2 ศอก
1 กิโลเมตร (kilometer)	=	25 เส้น

1.7.2 หน่วยมุม (Angle)

1.7.2.1 ระบบองศา (Degree System)

ระบบองศา คือ การแบ่งช่วงรอบวงกลมที่มีจุดศูนย์กลางวงกลมเป็นจุดรองรับขนาดมุม โดยแบ่งออกเป็น 360 ช่วง เรียกช่วงละ 1 องศา (degree) และ 1 องศา แบ่งย่อยอีก 60 ช่วง เรียกช่วงละ 1 ลิปดา (minute) และแบ่งย่อยอีก 60 ช่วง เรียกช่วงละ 1 ฟลิปดา (second) การแสดงหน่วยระบบองศาสามารถแสดงได้ 2 วิธี คือ

1) ระบบเลขฐานสิบ (decimal system) เป็นการแสดงในรูปทศนิยมหน่วยองศาอย่างเดียว เช่น 28.23454325 องศา เป็นต้น

2) ระบบเลขฐานหกสิบ (sexagesimal system) เป็นการแสดงในรูปขององศา ลิปดา และ ฟลิปดา โดยที่หน่วยฟลิปดาจะเขียนเป็นเลขฐานสิบ เช่น $28^{\circ}14'04.36''$ จะเขียนในรูปเลขฐานหกสิบลักษณะของทศนิยม ได้เป็น 28.140436 ซึ่งมักจะใช้ในการแสดงผลในระบบโปรแกรม

1.7.2.2 ระบบเกรด (Centesimal System)

ระบบเกรด คือ การแบ่งช่วงรอบวงกลมทั้งหมด 400 ช่วง เรียกช่วงละ 1 เกรด หรือ กอน (gon) และแบ่งเป็นช่วงย่อยอีก 100 ช่วง เรียกว่า “Centesimal Minute” แต่ละช่วงยังแบ่งอีก 100 ช่วง เรียกว่า “Centesimal Second”

1.7.2.3 ระบบเรเดียน (Radian System)

ระบบเรเดียน คือ ระบบที่มุมรอบวงกลมที่มีค่าเท่ากับ 2π เรเดียน โดยที่

$$\pi = 3.1415926535897932$$

1.7.2.4 ระบบทางทหาร (Military System)

ระบบทางทหาร คือ ระบบที่มุมรอบวงกลมมีค่าเท่ากับ 6,400 มิล (mils)

1.7.2.5 การเทียบหน่วย

1 องศา (degree)	=	1.11111 กอน (gons)
1 พิลิปดา (second)	=	$\frac{1}{206265}$ เรเดียน (radians)

1.7.3 หน่วยพื้นที่ (Area)**1.7.3.1 ระบบเมตริก (Metric System)**

100 ตารางมิลลิเมตร (sq. mm)	=	1 ตารางเซนติเมตร (sq. cm)
10,000 ตารางเซนติเมตร (sq. cm)	=	1 ตารางเมตร (sq. meter)
100 ตารางเมตร (sq. meters)	=	1 เอเคอร์ (are)
100 เอเคอร์ (Ares)	=	1 เฮกตาร์ (hectare)
10,000 (sq. meters)	=	1 เฮกตาร์ (hectare)
100 เฮกตาร์ (hectares)	=	1 ตารางกิโลเมตร (sq. kilometer)
1,000,000 ตารางเมตร (sq. meters)	=	1 ตารางกิโลเมตร (sq. kilometer)

1.7.3.2 ระบบอังกฤษ (Imperial System)

144 ตารางนิ้ว (sq. inches)	=	1 ตารางฟุต (square foot)
9 ตารางฟุต (sq. feet)	=	1 ตารางหลา (square yard)
4,840 ตารางหลา (sq. yards)	=	1 เอเคอร์ (acre)
640 เอเคอร์ (acres)	=	1 ตารางไมล์ (square mile)

1.7.3.3 ระบบไทย (Thai System)

100 ตารางวา	=	1 งาน
4 งาน	=	1 ไร่

1.7.3.4 การเทียบหน่วย

1 ตารางวา	=	4 ตารางเมตร
1 ไร่	=	1,600 ตารางเมตร
625 ไร่	=	1 ตารางกิโลเมตร
1 ตารางเมตร	=	10.76 ตารางฟุต
1 ตารางกิโลเมตร	=	0.3861 ตารางไมล์
1 ตารางกิโลเมตร	=	247.1 เอเคอร์
1 ตารางไมล์	=	640 ตารางเมตร

1.7.4 หน่วยปริมาตร (Volume)

1.7.4.1 ระบบเมตริก (Metric System)

1,000 ลูกบาศก์มิลลิเมตร (cu. mm)	=	1 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cu. cm)
1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cu. cm)	=	1 ลูกบาศก์เดซิเมตร (cu. decimeter)
1,000 ลูกบาศก์เดซิเมตร (cu. decimeter)	=	1 ลูกบาศก์เมตร (cu. meter)
1,000,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cu. cm)	=	1 ลูกบาศก์เมตร (cu. meter)

1.7.4.2 ระบบอังกฤษ (Imperial System)

1,728 ลูกบาศก์นิ้ว (cu. inches)	=	1 ลูกบาศก์ฟุต (cubic foot)
27 ลูกบาศก์ฟุต (cu. feet)	=	1 ลูกบาศก์หลา (cubic yard)

1.7.4.3 การเทียบหน่วย

1 ลูกบาศก์เมตร	=	35.315 ลูกบาศก์ฟุต
1 ลูกบาศก์เมตร	=	1.30795 ลูกบาศก์หลา

1.8 เลขนัยสำคัญ (Significant Figures)

จำนวนเลขนัยสำคัญ คือ จำนวนหลักตัวเลขที่บอกถึงความละเอียดที่อ่านได้จากการวัดของเครื่องมือ ประกอบด้วยจำนวนหลักทั้งหมดของตัวเลขที่อ่านได้แน่นอนของเครื่องมือ โดยที่หลักสุดท้ายจะเป็นความละเอียดที่อ่านได้อย่างถูกต้อง ซึ่งเรียกว่า ค่าที่อ่านได้น้อยที่สุด (least count) รวมกับหลักของตัวเลขที่ได้จากการประมาณอีกหนึ่งหลัก ดังนั้น ตัวเลขหลักสุดท้ายจะเป็นตัวเลขที่มีความไม่แน่นอนของการวัด เช่น เมื่อบอกว่าการวัดมีความไม่แน่นอนอยู่ ± 0.002 เมตร นั้นหมายถึง เมื่อวัดปริมาณหนึ่งได้ 45.165 เมตร ค่าที่เป็นไปได้จะอยู่ระหว่างค่า 45.163 และ 45.167 เมตร ฉะนั้น ค่าที่อ่านได้น้อยที่สุดของเครื่องมือเท่ากับ 0.01 เมตร ซึ่งตัวเลขที่อ่านได้ถูกต้องจากเครื่องมือมี 4 หลัก คือ 45.16 และตัวเลขที่อ่านโดยประมาณหลักสุดท้าย 1 หลัก คือ 5 ดังนั้น จำนวนเลขนัยสำคัญมีค่าเท่ากับ 5 หลัก

1.8.1 กฎการหาจำนวนเลขนัยสำคัญ

การหาจำนวนเลขนัยสำคัญนั้นมีกฎในการพิจารณา 3 ข้อ คือ

- 1) เลขทุกตัวยกเว้นเลขศูนย์ (1,2,3,4,5,6,7,8,9) นับเป็นเลขนัยสำคัญเสมอ เช่น 8,495 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 หลัก

2) เลขศูนย์ที่อยู่ระหว่างเลขใด ๆ นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น 15.43005 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 7 หลัก

3) เลขศูนย์ที่อยู่หลังจุดทศนิยมและต่อท้ายจากเลขจำนวนเต็ม นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น 0.6000 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 4 หลัก

4) เลขศูนย์ทุกตัวที่หน้าจุดทศนิยมของเลขจำนวนใด ๆ และมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 10 นับเป็นเลขนัยสำคัญ เช่น 10.0 มีจำนวนเลขนัยสำคัญ 3 หลัก

ตัวเลขศูนย์ก่อนหน้าจุดทศนิยมของเลขใด ๆ ที่ไม่มีทศนิยม อาจสร้างความสับสนในการบอกเลขนัยสำคัญ เช่น 54,000 สามารถมีจำนวนเลขนัยสำคัญ เป็น 2, 3, 4 หรือ 5 ก็ได้ในความหมายของการวัด ดังนั้น ในการแสดงตัวเลขเหล่านี้มักจะเขียนในรูปแบบเลขคูณสิบยกกำลังทางวิทยาศาสตร์ ดังเช่น 5.4×10^4 มีจำนวนเลขนัยสำคัญเป็น 2 หากเขียน 5.4000×10^4 จะมีจำนวนเลขนัยสำคัญเป็น 5 เป็นต้น เพื่อให้สามารถสื่อถึงความละเอียดของเครื่องมือวัดที่ใช้วัดปริมาณนั้น

ตัวอย่างที่ 1.1 การหาเลขนัยสำคัญ

ชุดตัวเลข	จำนวนเลขนัยสำคัญ	พิจารณาจากกฎข้อ
48,123	5	1
3.905	4	1
900.06	5	1,2,4
0.0008 (= 8 E-4)	1	1,4
8.8000	5	1,3
701.04	6	1,2,3,4
2,000,000 (= 2 E+6)	1	1
10.0 (= 1.00 E+1)	3	1,3,4

1.8.2 ผลลัพธ์เลขนัยสำคัญจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์

การแสดงผลเลขนัยสำคัญที่ได้จากการคำนวณ จะใช้กับการแสดงผลลัพธ์สุดท้ายของการคำนวณเท่านั้น ในระหว่างการคำนวณปกติจะใช้ตัวเลขทั้งที่มีนัยสำคัญและไม่มีนัยสำคัญทั้งหมด แล้วจึงทำการปัดเศษของผลลัพธ์สุดท้ายให้มีจำนวนนัยสำคัญที่เหมาะสม ซึ่งมีหลักการคิด ดังนี้

1.8.2.1 เลขนัยสำคัญจากการคูณและการหาร

จำนวนเลขนัยสำคัญของเลขสองจำนวนคูณหรือหารกัน ผลลัพธ์ที่ได้จะมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ จำนวนเลขที่มีเลขนัยสำคัญน้อยที่สุดของการคูณหรือหารนั้น เช่น $3,454.23 \times 2.24 = 7,737.4752$ ผลลัพธ์ที่ได้นี้จะต้องแสดงให้มีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ 2.24 หรือ 3 หลัก คือ 7.74×10^3 โดยที่เขียนเป็น 7,740 ไม่ได้ เพราะจะทำให้เกิดความสับสนถึงความละเอียดถูกต้องของการวัดนั้นได้

1.8.2.2 เลขนัยสำคัญจากการบวกและการลบ

เมื่อเลขสองจำนวนบวกหรือลบกัน จำนวนทศนิยมของผลลัพธ์จะเท่ากับจำนวนทศนิยมของตัวเลขที่น้อยที่สุด เช่น $2.342 + 454.86 = 457.20$ ดังนั้น จำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ 5 หลัก

สิ่งที่เกิดขึ้นอยู่เสมอในงานคำนวณ คือ การแปลงหน่วยไปมา การคงจำนวนเลขนัยสำคัญให้คงเท่ากับปริมาณที่วัดได้ เช่น การแปลงระยะทาง 170 ฟุต $4\frac{3}{8}$ นิ้วให้เป็นหน่วยเมตร เริ่มด้วยการทำให้เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดคือ หน่วย $\frac{1}{8}$ นิ้ว เท่ากับ $(170 \times 12 \times 8) + (4 \times 8) + 3 = 16,355$ ซึ่งมีจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ 5 หลัก ดังนั้น การแปลงจะได้คำตอบเท่ากับ $\frac{16355}{8 \times 39.37} = 51.927$ เมตร ด้วยจำนวนเลขนัยสำคัญเท่ากับ 5 หลัก สำหรับตัวคูณแปลงหน่วย (39.37) ถือเป็นตัวเลขที่มีค่าคงที่แน่นอนจำนวนเลขนัยสำคัญสามารถใช้เท่าใดก็ได้

1.9 การประมาณค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือ (Instrument Uncertainty)

ตัวเลขที่ประมาณได้จากเครื่องมือซึ่งเป็นเลขนัยสำคัญหลักสุดท้ายที่อ่านได้จากเครื่องมือ จะมีความไม่แน่นอนหรือความแม่นยำในการประมาณเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าที่อ่านได้น้อยที่สุด (least count) เช่น การวัดระยะด้วยไม้บรรทัดซึ่งสามารถอ่านได้ละเอียด 1 มิลลิเมตร ฉะนั้น ค่าไม่แน่นอนของการประมาณหลักสุดท้ายจึงเท่ากับ ± 0.5 มิลลิเมตร สมมติว่าวัดระยะหนึ่งและอ่านละเอียดได้ 10.2 เซนติเมตร การกะประมาณหลักสุดท้าย จะมีค่าระหว่าง 10.2 และ 10.3 เซนติเมตร โดยที่ผู้วัดสามารถกะประมาณได้เท่ากับ 10.23 เซนติเมตร ขณะที่ความถูกต้องของการประมาณเท่ากับ ± 0.5 มิลลิเมตร นั้นหมายถึง การวัดนี้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 10.23 ± 0.05 เซนติเมตร

1.10 การปัดเศษตัวเลข (Rounding Off Numbers)

การปัดเศษ คือ การตัดตัวเลขออกให้มีจำนวนเลขน้อยลงเหลือเพียงพอที่ใช้ในการคำนวณ และแสดงผลตามจำนวนเลขน้อยลงที่สำคัญที่ได้ การปัดเศษตัวเลขมีหลักเกณฑ์ ดังนี้

- 1) เมื่อตัวเลขที่ต้องการปัดมีค่ามากกว่า 5 ให้ปัดขึ้น เช่น 4,857.2436 ปัดเป็น 4,857.244
- 2) เมื่อตัวเลขที่ต้องการปัดมีค่าน้อยกว่า 5 ให้ปัดลง เช่น 843.982 ปัดเป็น 843.98
- 3) เมื่อตัวเลขที่ต้องการปัดมีค่าเท่ากับ 5 ให้พิจารณาตัวเลขที่อยู่หน้า ดังนี้
 - เมื่อเป็นเลขคู่ ให้ปัดขึ้น เช่น 753.135 ปัดเป็น 753.14
 - เมื่อเป็นเลขคู่ ให้ปัดลง เช่น 45.4245 ปัดเป็น 45.424

1.11 แบบฝึกหัด

- 1) จงอธิบายความแตกต่างระหว่างงานสำรวจรังวัดขั้นสูงและงานสำรวจรังวัดบนพื้นระนาบ
- 2) สันฐานของโลกในศาสตร์ของการสำรวจรังวัดมีกี่ชนิดอะไรบ้าง จงอธิบาย
- 3) งานรังวัดขั้นสูงใช้สันฐานของโลกชนิดใดอ้างอิงในการคำนวณปริมาณต่าง ๆ
- 4) จงเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณต่าง ๆ ที่ต้องรังวัดในสนามของงานสำรวจ
 - 5) จำนวนเลขน้อยสำคัญมีความสำคัญอย่างไรต่อการแสดงผลในงานสำรวจ
 - 6) การปัดเศษในกรณีที่ตัวเลขมีค่าเท่ากับ 5 ปัดอย่างไร และมีเหตุผลใดเชิงสถิติจึงทำเช่นนั้น
 - 7) จงระบุจำนวนเลขน้อยสำคัญของเลขต่อไปนี้ 4.0500, 0.00235, 2.45×10^{-5} , 83500, 0.004002, 4.200×10^{-9} , 450, 540000000, 0.0202, 0.0900 พร้อมระบุข้อของกฎที่ใช้ในการพิจารณา
 - 8) สนามฟุตบอลวัดด้านยาวได้ 91.44 เมตร ด้านกว้างได้ 48.76 เมตร พื้นที่ที่คำนวณได้มีเลขน้อยสำคัญเท่าใด จงอธิบายเหตุผล
 - 9) จงคำนวณปริมาณต่อไปนี้ พร้อมเขียนผลลัพธ์ให้ถูกต้องตามหลักเลขน้อยสำคัญ
 - (1) 5.0 เมตร x 3.5 เมตร
 - (2) $V = 40.0 \text{ เมตร} / 8.9 \text{ วินาที}$
 - (3) $S = 4.53 \text{ เมตร} \times 1.341 \text{ เรเดียน}$
 - (4) $A = \pi(4.320 \text{ เมตร})^2$
 - 10) จงแปลงหน่วยความยาว 91.44 เมตร เป็นเซนติเมตรด้วยตัวคูณ 30.5 เซนติเมตรต่อเมตร เขียนคำตอบให้ถูกต้องตามเลขน้อยสำคัญ พร้อมอธิบายเหตุผล

บทที่ 2

ทฤษฎีการวัดและความคลาดเคลื่อน (Theory of Measurements and Errors)

การวัด (measurements) เป็นกรรมวิธีพื้นฐานของการได้มาซึ่งค่าสังเกต (observations) ของข้อมูลตามต้องการ ไม่ว่าจะเป็นงานทางด้านการออกแบบ การวิเคราะห์ ทั้งสายวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ข้อมูลที่ได้จากการวัดเหล่านี้ต้องมีการจัดการ การประเมิน และการตีความหมายก่อนนำไปใช้เสมอ เมื่อใดก็ตามที่มีการวัดเมื่อไหร่ย่อมมีความคลาดเคลื่อน (errors) เกิดขึ้นด้วยทุกครั้ง ดังนั้น จึงไม่มีการวัดครั้งใดที่ปราศจากความคลาดเคลื่อนอยู่ด้วย การประเมินค่าความถูกต้อง (accuracy) และค่าความแม่นยำ (precision) ของการวัดจึงจำเป็นต้องกระทำทุกครั้ง เพื่อให้ทราบถึงคุณภาพของข้อมูลก่อนนำไปใช้งาน

ความเข้าใจเกี่ยวกับค่าความถูกต้องของการวัดมีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการวัด ซึ่งต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับธรรมชาติ ชนิด และขนาด ของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้ในกระบวนการวัดแต่ละขั้นตอน รวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างความคลาดเคลื่อนแต่ละชนิดด้วย จึงจะสามารถวิเคราะห์ขนาดความคลาดเคลื่อนที่จะพึงมีในผลลัพธ์สุดท้ายได้

2.1 การวัดและมาตรฐาน (Measurements and Standards)

การวัดเป็นกระบวนการหาขนาด ปริมาณ ของสิ่งที่ต้องการด้วยการเทียบกับมาตรฐานอันหนึ่งที่ใช้ในการหาขนาดและปริมาณนั้น ๆ เช่น ความยาว น้ำหนัก ทิศทาง เวลา ปริมาตร ฯลฯ ตัวอย่างเช่น ความยาวมาตรฐาน 1 เมตร คือ ระยะทางที่แสงเดินทางได้ในสุญญากาศเป็นเวลา $1/299,792,458$ ของวินาที ซึ่งอาจจะทำการวัดเทียบกับสิ่งที่ใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงนั้น โดยตรงหรือโดยอ้อม (direct or indirect measurements) ก็ได้

2.2 การวัดโดยตรงและโดยอ้อม (Direct and Indirect Measurements)

การวัดโดยตรง (direct measurement) คือ การวัดปริมาณที่ต้องการโดยตรงเทียบกับอุปกรณ์ที่ใช้เป็นมาตรฐานของการวัดนั้น อุปกรณ์ดังกล่าวที่ใช้ถือเป็นเครื่องมือในการวัด เช่น การวัดความยาว