บทนำ

โรงเรียนแผนที่ กรมแผนที่ทหาร มีหน้าที่รับผิดชอบในการให้การศึกษา ฝึกอบรม วิทยาการเกี่ยวกับการสำรวจและการแผนที่ แก่ข้าราชการ พนักงานรัฐวิสาหกิจ และผู้สนใจทั่วไป ปัญหาประการหนึ่งคือผู้เข้ารับการศึกษาอบรมบางส่วนไม่มีพื้นฐานด้านการอ่าน การใช้แผนที่หรือรูปถ่ายทางอากาศมาก่อนเลย หรือไม่มีโอกาสได้ใช้แผนที่หรือรูปถ่ายทางอากาศบ่อยนักแม้จะเคยได้เข้ารับการฝึกอบรมมาบ้างแล้วก็ตาม เอกสารประกอบคำบรรยายในชั้นเรียนที่เคยมีก็อาจจะสั้นมากเกินกว่าที่จะทำความเข้าใจได้ภายหลัง

เพื่อให้ผู้ที่มีปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้มีเอกสารไว้สำหรับการทบทวนพื้นความรู้เกี่ยวกับหลักการเบื้องต้นในการอ่านแผนที่ และการใช้รูปถ่ายทางอากาศ ตลอดจนหลักการสำรวจเบื้องต้น โรงเรียนแผนที่ กรมแผนที่ทหาร จึงได้ขออนุญาตผู้บรรยายนำ เอกสารประกอบการบรรยายในวิชาต่างๆที่น่าสนใจรวบรวมไว้ด้วยกันดังนี้

- วิชาการอ่านแผนที่ โดย พ.อ. มนตรี อุณหฤกษ์
- วิชารูปถ่ายทางอากาศและภาพดาวเทียม โดย พ.อ. ปรัชญา นครเก่า
- วิชาการสำรวจ โดย พ.อ. หัสฎี วงศ์อิศเรศ
- วิชาแผนที่เชิงเลข โดย พ.อ. กนก วีรวงศ์

เนื่องจากเอกสารฉบับนี้รวบรวมจากเอกสารประกอบการบรรยายของผู้บรรยายหลายท่านโดยมิได้เปลี่ยนแปลงเนื้อหาสาระแต่อย่างใด ดังนั้นเลขลำดับหน้าของแต่ละวิชาหรือตอนจึงเป็นอิสระต่อกัน นั่นคือจะมีการขึ้นเลขหน้าใหม่ทุกครั้งที่เปลี่ยนวิชาหรือตอน

หวังเป็นอย่างยิ่งว่าเอกสารฉบับนี้คงอำนวยประโยชน์ตามสมควรแก่ท่านผู้สนใจได้ตามวัตถุประสงค์ข้างต้นและขอขอบคุณผู้บรรยายและผู้เกี่ยวข้องทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

พ.อ. วิรัช ยิ้มเจริญ
รองผู้บัญชาการ โรงเรียนแผนที่ กรมแผนที่ทหาร
๑ เมษายน ๒๕๔๘

ตอนที่ 1

เอกสารประกอบคำบรรยาย

วิชา การอ่านแผนที่

โดย

พ.อ. วิรัช ยิ้มเจริญ และ พ.อ. มนตรี อุณหฤกษ์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ ก

สารบัญตารางและแผนภูมิ ช

สารบัญภาพ ซ

บทที่ 1 กล่าวทั่วไป

1. คำจำกัดความ 1
2. ความสำคัญของแผนที่ 1
3. ประโยชน์ของแผนที่ 1
   3.1 ประโยชน์ทางด้านการเมือง 1
   3.2 ประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจ 2
   3.3 ประโยชน์ทางด้านการทหาร 3
4. การระวังรักษาแผนที่ 4
   4.1 การเก็บรักษาแผนที่ 4
   4.2 การใช้แผนที่ 4
   4.3 การพับแผนที่ 4
5. การแบ่งชนิดของแผนที่ 7
   5.1 แบ่งตามมาตราส่วน 7
   5.2 แบ่งตามประเภทแผนที่ 7
6. มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของแผนที่ 9
   6.1 การตรวจสอบมาตรฐานความละเอียดถูกต้องของแผนที่ 9
   6.2 มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของแผนที่ 10

บทที่ 2 วิวัฒนาการแผนที่ประเทศไทย 12

1. แผนที่ประเทศไทย 12
2. วิวัฒนาการแผนที่ประเทศไทย 12
   2.1 สมัยกรุงศรีอยุธยา (พ.ศ.1893 - พ.ศ.1912) 12
   2.2 สมัยกรุงศรีอยุธยา (พ.ศ.2179 - พ.ศ.2229) 12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 สมัยกรุงรัตนโกสินทร์ตอนต้น (พ.ศ.2325 – พ.ศ.2418) 13
2.4 สมัยปัจจุบัน (พ.ศ.2418 – ปัจจุบัน) 13
3. วิธีการผลิตแผนที่ 19
3.1 การผลิตแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศ 19
3.2 การแก้ไขแผนที่ 22
บทที่ 3 รายละเอียดขอบระวางและเครื่องหมาย 26
1. รายละเอียดขอบระวางแผนที่ทางทหาร 28
1.1 ชื่อระวาง 28
1.2 หมายเลขระวาง 28
1.3 ชื่อชุดและมาตราส่วน 29
1.4 หมายเลขลำดับชุด 29
1.5 หมายเลขครั้งที่การพิมพ์ 30
1.6 สารบัญแสดงแนวแบ่งเขต 30
1.7 สารบัญระวางติดต่อ 30
1.8 คำแนะนำเกี่ยวกับระดับสูง 30
1.9 แผนผังมุมเยื้อง 30
1.10 มาตราส่วนเส้นบรรทัด 30
1.11 ช่วงต่างเส้นชั้นความสูง 30
1.12 บันทึกหมายเหตุอื่น ๆ ปรากฏกึ่งกลางด้านล่างขอบระวาง 31
1.13 กรอบอ้างอิงค่ากริด 31
1.14 เครื่องหมายหน่วย 31
1.15 สัญลักษณ์ 31
1.16 ศัพทานุกรม 31
2. เครื่องหมายแผนที่ภูมิประเทศ 32
2.1 สัญลักษณ์แผนที่ 32
2.2 เครื่องหมายทหาร 33
2.3 สีกับสัญลักษณ์ 33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 การกำหนดตำแหน่ง 34

1. การกำหนดตำแหน่ง 34
2. พิกัดภูมิศาสตร์ 34
   2.1 ระยะเชิงมุม 34
   2.2 วงกลมที่เขียนรอบโลก 35
   2.3 การวัดระยะเชิงมุมของพิกัดภูมิศาสตร์ 36
   2.4 พิกัดภูมิศาสตร์บนแผนที่ 38
   2.5 การหาค่าพิกัดภูมิศาสตร์ 39
3. กริดทางทหาร 42
   3.1 ยูนิเวอร์แซลทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์กริด 42
   3.2 ยูนิเวอร์แซลโพลาร์สเตริโอกราฟฟิค 46
4. ระบบอ้างอิงพิกัดกริดทางทหาร 46
   4.1 เขตกริด 46
   4.2 อักษรประจำตาราง 6^{o} x 8^{o} 47
   4.3 จัตุรัส 100,000 เมตร 47
5. แผนที่เขตกริดคาบเกี่ยว 53
   5.1 แนวประสานเขตกริด 53
   5.2 บริเวณรอยต่อเขตกริด 53
6. เส้นกริดซ้อนเหลื่อม 54
   6.1 แผนที่ระวางครอบคลุมพื้นที่สองด้าน 54
   6.2 เส้นกริดซ้อนเหลื่อม 54
7. การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ระบบพิกัดมาตรฐานแบบใด ๆ 54
8. ยูนิเวอร์ซัล โพลาร์ สเตริโอ กราฟฟิค กริด 55

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 ทรวดทรงภูมิประเทศ 57

1. เส้นชั้นความสูง 59

1.1 เส้นชั้นความสูง 59

1.2 เส้นชั้นความสูงแสดงระยะตามแนวยืน 59

1.3 การหาค่าความสูงของจุดใด ๆ 59

1.4 ในแผนที่บริเวณที่ระยะห่างเส้นชั้นความสูงมีตามแนวราบมาก 61

1.5 นอกจากจะแสดงลักษณะความสูงต่ำ 61

1.6 ระยะห่างทางแนวนอนของเส้นชั้นความสูง 61

1.7 การหาความลาดจากเส้นชั้นความสูง 71

1.8 การเขียนรูปตัดขวางจากเส้นชั้นความสูง 73

2. แถบสี 74

3. เส้นลายขวานสับ 75

4. เงา 75

5. เส้นสัณฐาน 75

บทที่ 6 มาตราส่วนและระยะทาง 76

1. การแสดงมาตราส่วน 76

1.1 ระยะทางระหว่างจุดสองจุด 76

1.2 ระยะทางบนแผนที่ 76

1.3 กรณีแผนที่ไม่ปรากฏมาตราส่วน 76

1.4 แผนที่มาตราส่วนเล็กมาก 77

2. มาตราส่วนเส้นบรรทัด 77

2.1 การแสดงมาตราส่วนเส้นบรรทัด 77

2.2 การวัดหาระยะในภูมิประเทศ 78

2.3 กรณีระยะทางในภูมิประเทศแสดงบนแผนที่คดเคี้ยว 79

2.4 การวัดระยะจากมาตราส่วนเส้นบรรทัด 79

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3. ระยะทางและเวลา 80

4. การแปลงระยะทางหน่วยวัดระยะอื่น ๆ 81

บทที่ 7 ทิศทาง 82

1. วิธีกำหนดทิศทาง 82

1.1 หน่วยวัดองศา 82

1.2 บิลหน่วยวัดมุม 82

1.3 เกรด หน่วยวัดมุม 82

2. เส้นหลัก 82

2.1 ทิศเหนือจริง 83

2.2 ทิศเหนือแม่เหล็ก 83

2.3 ทิศเหนือกริด 83

3. มุมภาคทิศและมุมภาคทิศกลับ 83

3.1 ในการกำหนดทิศทาง 83

3.2 มุมภาคทิศกลับ 84

3.3 แอซิมัทแม่เหล็ก 85

3.4 แอซิมัทกริด 86

4. ไม้บรรทัดวัดมุม 86

4.1 ไม้บรรทัดวัดมุมสำหรับทหาร 88

4.2 การใช้ไม้บรรทัดวัดมุม 88

5. แผนผังมุมเยื้อง 89

5.1 มุมกริด – แม่เหล็ก 90

5.2 มุมเยื้องกริด 90

5.3 การแปลงค่ามุมภาคทิศ 90

6. มุมทิศ 91

6.1 จำนวนค่ามุมที่แสดงค่าทิศทาง 91

6.2 การอ่านค่ามุมทิศ 92

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

7. การเล็งสกัดตรงและการเล็งสกัดกลับ 92
7.1 การเล็งสกัดตรง 92
7.2 การเล็งสกัดกลับ 95
8. พิกัดขั้ว 98
9. การหาทิศทางและเวลาด้วยการสังเกตธรรมชาติ 99
9.1 การหาทิศทางและเวลาจากปลายเงา 100
9.2 การหาทิศทางเวลากลางคืน 101
บทที่ 8 การใช้แผนที่ 102
1. การใช้แผนที่ 102
1.1 การใช้แผนที่ในสำนักงาน 102
1.2 การใช้แผนที่ในภูมิประเทศ 102
2. การพิจารณาพื้นที่ปฏิบัติงาน 103

สารบัญตารางและแผนภูมิ

ตารางและแผนภูมิที่ **หน้า**

ตารางที่ 1 ตารางเกณฑ์ตรวจสอบพิกัดตำแหน่งทางราบ 11
ตารางที่ 2 ตารางลำดับเหตุการณ์วิวัฒนาการแผนที่ 14
แผนภูมิที่ 1 แผนภูมิแสดงการผลิตแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศ 21
แผนภูมิที่ 2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการแก้ไขแผนที่ภูมิประเทศโดยใช้รูปถ่ายทางอากาศ 23
แผนภูมิที่ 3 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการแก้ไขแผนที่ภูมิประเทศโดยใช้ระบบอัตโนมัติ 25

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่ 1 การพับแผนที่แบบหีบเพลง แบบที่ 1 5
ภาพที่ 2 การพับแผนที่แบบหีบเพลง แบบที่ 2 5
ภาพที่ 3 การพับแผนที่ใช้ในกรณีพิเศษ 6
ภาพที่ 4 แผนที่เมืองอยุธยา 12
ภาพที่ 5 แผนที่เดินทาง 13
ภาพที่ 6 รายละเอียดขอบระวาง 26
ภาพที่ 7 แผนที่ภูมิประเทศ 27
ภาพที่ 8 กำหนดหมายเลขระวางแผนที่ 28
ภาพที่ 9 สัญลักษณ์แผนที่ 32
ภาพที่ 10 ละติจูด 35
ภาพที่ 11 ลองจิจูด 36
ภาพที่ 12 ค่าละติจูดและค่าลองจิจูด 37
ภาพที่ 13 ค่าละติจูดและค่าลองจิจูด (มุมระวางแผนที่) 38
ภาพที่ 14 กรอบระวางแผนที่ 40
ภาพที่ 15 การวัดหาจำนวนละติจูด 41
ภาพที่ 16 การวัดหาจำนวนลองจิจูด 41
ภาพที่ 17 เขตกริด 43
ภาพที่ 18 เขตกริดของเส้นกริดยูทีเอ็ม 44
ภาพที่ 19 ค่าตะวันออกเท็จและค่าเหนือเท็จ 45
ภาพที่ 20 ระบบฉายแบบขั้วโลก 46
ภาพที่ 21 อักษรประจำแถบละติจูด 47
ภาพที่ 22 อักษรประจำจัตุรัส 100,000 เมตร 48
ภาพที่ 23 จัตุรัส 10,000 เมตร 49
ภาพที่ 24 จัตุรัส 1,000 เมตร 50
ภาพที่ 25 จัตุรัส 100 เมตร 51
ภาพที่ 26 แนวประสานเขตกริด 53

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 27 เส้นกริดซ้อนเหลื่อม 54
ภาพที่ 28 ยูพีเอสกริด 55
ภาพที่ 29 อักษรประจำเขตกริดพื้นที่ขั้วโลก 55
ภาพที่ 30 อักษรประจำตาราง 100,000 เมตร 56
ภาพที่ 31 ลักษณะภูมิประเทศ 58
ภาพที่ 32 เส้นชั้นความสูง 60
ภาพที่ 33 ลาดสม่ำเสมอ 61
ภาพที่ 34 ลาดชันสม่ำเสมอ 61
ภาพที่ 35 ลาดเว้า 62
ภาพที่ 36 ลาดนูน 63
ภาพที่ 37 ลูกเนิน (ภูเขา) 64
ภาพที่ 38 คอเขาหรืออานม้า 65
ภาพที่ 39 สันเขาและจมูกเขา 66
ภาพที่ 40 หน้าผาชันหรือหน้าผา 67
ภาพที่ 41 (1) เส้นชั้นความลึก (พื้นที่ตัดดิน) 68
ภาพที่ 42 (2) พื้นที่ตัดดิน (a) พื้นที่ถมดิน (b) 69
ภาพที่ 43 หุบเขา(ลำธาร) 70
ภาพที่ 44 ลาด 71
ภาพที่ 45 การหาอาการลาด 72
ภาพที่ 46 การเขียนรูปตัดขวางจากเส้นชั้นความสูง 73
ภาพที่ 47 มาตราส่วนเส้นบรรทัด 77
ภาพที่ 48 การวัดระยะทางตรง 78
ภาพที่ 49 การวัดระยะทางคดเคี้ยว 78
ภาพที่ 50 การวัดระยะจากไม้บรรทัดมาตราส่วน 79
ภาพที่ 51 การหาระยะละเอียดจากส่วนแบ่งย่อย (ส่วนขยาย) 80
ภาพที่ 52 ทิศเหนือ 83
ภาพที่ 53 มุมภาคทิศ 84

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 54 มุมภาคทิศกลับ 85
ภาพที่ 55 มุมภาคทิศเหนือแม่เหล็ก มุมภาคทิศเหนือกริด และมุมภาคทิศเหนือจริง 86
ภาพที่ 56 แบบไม้บรรทัดวัดมุม 87
ภาพที่ 57 ไม้บรรทัดวัดมุมสำหรับทหาร 88
ภาพที่ 58 แผนผังมุมเยื้อง 89
ภาพที่ 59 บากมุมภาคทิศ 90
ภาพที่ 60 ค่ามุมแบริ่ง 91
ภาพที่ 61 การเล็งสกัดตรงโดยใช้แผนที่ประกอบเข็มทิศ 93
ภาพที่ 62 การเล็งสกัดตรงโดยใช้ขอบไม้บรรทัด 94
ภาพที่ 63 การเล็งสกัดกลับโดยใช้แผนที่ประกอบเข็มทิศ 96
ภาพที่ 64 การเล็งสกัดกลับด้วยขอบไม้บรรทัด 97
ภาพที่ 65 วิธีการเล็งสกัดด้วยเส้นเล็งเส้นเดียว 98
ภาพที่ 66 พิกัดขั้ว 99
ภาพที่ 67 การหาทิศทางและเวลาจากปลายเงา 100
ภาพที่ 68 การหาทิศทางโดยอาศัยดาวเหนือ 101

บทที่ 1
กล่าวทั่วไป

1. คำจำกัดความ

1 A map is a graphic representation of a portion of the earth's surface drawn to scale, as seen from above. It uses colors, symbols, and labels to represent features found on the ground. (FM 3-25-26:2001:2-1)

2 แผนที่ คือ สิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นเป็นภาพลายเส้นแสดงลักษณะภูมิประเทศที่เห็นด้านบนบริเวณใดบริเวณหนึ่งหรือทั้งหมดด้วย สี ,สัญลักษณ์ และแถบแทนรายละเอียดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ หรือที่มนุษย์สร้างขึ้น ตามมาตราส่วนลงบนวัสดุแบนราบ

2. ความสำคัญของแผนที่

แผนที่เป็นเอกสารเชิงวิชาการแสดงความมีอยู่ของข้อมูล ที่ตั้ง ระยะห่างระหว่างรายละเอียดในภูมิประเทศ เช่น แหล่งที่อยู่อาศัย เส้นทางคมนาคมและการติดต่อ นอกจากนั้นยังแสดงลักษณะภูมิประเทศแบบต่างๆ ตลอดจนความสูงของสิ่งต่างๆตามธรรมชาติ และขอบเขตพืชพันธุ์

แผนที่จึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่มนุษย์สร้างขึ้นไว้ใช้เป็นเครื่องช่วยในการดำเนินงาน หรือประกอบกิจการต่าง ๆ อันเกี่ยวข้องกับการดำเนินชีวิตของมนุษย์ มนุษย์รู้จักใช้แผนที่ให้เป็นประโยชน์มาตั้งแต่สมัยโบราณประมาณ 2300 ปีก่อนพุทธกาล และก่อนที่มนุษย์จะรู้จักผลิตแผนที่ที่มีมาตรฐานขึ้นใช้เช่นปัจจุบัน ประโยชน์ของแผนที่ส่วนใหญ่ในยุคสมัยนั้น แสดงเส้นทางเดิน ถิ่นที่อยู่อาศัย แหล่งอาหารหรือการแสดงกรรมสิทธิ์การครอบครองพื้นที่แผนที่ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์กว้างขวางยิ่งขึ้น ตามวิวัฒนาการและความเจริญก้าวหน้าในการดำเนินชีวิตของมนุษย์เป็นลำดับมา สมัยปัจจุบันนี้อาจกล่าวได้ว่า แผนที่มีบทบาทอันสำคัญยิ่งเกี่ยวกับความมั่นคงและเจริญก้าวหน้าของชาติบ้านเมือง และแผนที่นั้นเป็นอุปกรณ์ชิ้นสำคัญที่จำเป็นต้องนำออกมาใช้ ดังตัวอย่างพอสังเขปต่อไปนี้

3. ประโยชน์ของแผนที่

3.1 ประโยชน์ทางด้านการเมือง

แผนที่มีส่วนเข้าไปเกี่ยวข้องกับกิจการของรัฐหลายสาขา ส่วนใหญ่และที่ปรากฏชัดเจน คือ งานด้านภูมิศาสตร์การเมือง งานด้านภูมิรัฐศาสตร์ นำมาพิจารณาในด้านส่วนประกอบคงที่ (Static Elements) หรือส่วนประกอบไม่คงที่ (Dynamic Elements) สำหรับภูมิรัฐศาสตร์ซึ่งเกี่ยวกับการปฏิบัติการของรัฐทางการเมือง และเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย คือ ความมั่นคงและความเจริญก้าวหน้าของประเทศชาติ นักภูมิรัฐศาสตร์จำเป็นต้องมีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ซึ่งจะขาดเสียมิได้ คือ "แผนที่" นักภูมิศาสตร์ชั้นสูง จะต้องมีความรู้ในกิจการแผนที่เป็นอย่างดี มีความสามารถในการอ่านแผนที่ จึงจะสามารถวิเคราะห์สภาพการณ์ทางภูมิรัฐศาสตร์ได้อย่างกว้างขวาง สามารถวางแผนดำเนินการเตรียมรับ หรือแก้ไขสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง สภาพทางภูมิรัฐศาสตร์จึงเกี่ยวข้องกับแผนที่มากที่สุด

แนวพรมแดนระหว่างประเทศ (International Boundary) นักภูมิรัฐศาสตร์ที่ขาดเข้าใจเรื่องแผนที่ ก็จะตกอยู่ในฐานะเป็นผู้เสียเปรียบ ดังกรณีเขาพระวิหาร ประเทศไทยต้องเสียดินแดน และโบราณสถานส่วนหนึ่งไปตามคำพิพากษาของศาลยุติธรรมระหว่างประเทศ (๑๕ มิถุนายน ค.ศ.๑๙๖๒) สาเหตุมาจากแผนที่ของคณะกรรมการปักปันเขตแดน ค.ศ.๑๙๐๔ ซึ่งฝรั่งเศสเป็นผู้จัดทำขึ้นฝ่ายเดียว ได้เขียนเอาปราสาทเขาพระวิหารไว้ในเขตของฝรั่งเศส หรือของเขมรในปัจจุบัน โดยตกแต่งแผนที่ให้ผิดไปจากความเป็นจริง เมื่อศาลยุติธรรมระหว่างประเทศจะตัดสินขั้นเด็ดขาด เขมร (โดยความช่วยเหลือของฝรั่งเศส) ได้นำแผนที่การปักปันเขตแดนชิ้นดังกล่าวขึ้นอ้างเป็นหลักฐานสำคัญ จึงทำให้ไทยแพ้คดีในที่สุด อาจเกิดจากคนไทยสมัยนั้นยังไม่มีความจัดเจนในเรื่องแผนที่นั่นเอง ซึ่งเป็นตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจน อีกกรณีหนึ่งคือการปักปันเขตแดนระหว่างไทยกับลาวตามแม่น้ำโขงไทยเป็นฝ่ายเสียเปรียบฝรั่งเศสอีก เนื่องด้วยฝรั่งเศสเป็นผู้ทำแผนที่ไว้ในสมัยปกครองลาว ก็เป็นเรื่องแผนที่ เพราะความไม่ชำนาญและความไม่เข้าใจในการทำแผนที่ ต่อมาเมื่อลาวได้สืบสิทธิ์ปกครองตนเอง จึงทำให้เกิดเหตุการณ์กระทบกระทั่งกับลาว ตามแนวพรมแดนตามแม่น้ำโขงอยู่เสมอ นอกจากแผนที่ยังเกี่ยวข้องกับทางการเมืองในด้านอื่น ๆ อีกเช่น การปราบปรามและป้องกันผู้ก่อการร้าย

3.2 ประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจ

กิจกรรมทางด้านเศรษฐกิจที่เป็นระบบและมีประสิทธิภาพนั้น แผนที่เป็นอุปกรณ์สำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของชาติเช่นกัน ต้องใช้แผนที่เป็นเครื่องมือในการวางแผนและการปฏิบัติงานทุกขั้นตอน ดังเช่น การดำเนินโครงการพัฒนาลุ่มน้ำโขง ของสภาเศรษฐกิจและสังคมองค์การสหประชาชาติ แผนที่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญ และจำเป็นเร่งด่วนอันดับแรกที่จะต้องผลิตขึ้นมาเพื่อการใช้งาน เริ่มตั้งแต่ในขั้นการวางแผนตลอดจนถึงขั้นปฏิบัติการตามแผน เพราะบริเวณดังกล่าวยังไม่มีแผนที่ที่มีคุณลักษณะเหมาะสมกับการดำเนินงาน แผนที่ที่จัดทำขึ้นตามโครงการนี้จัดเป็นอุปกรณ์สำคัญยิ่งของเจ้าหน้าที่วางแผนและปฏิบัติการให้บรรลุตามเป้าหมาย ขณะเดียวกันองค์การสหประชาชาติยังได้มีมติเสนอแนะให้รัฐบาลของประเทศสมาชิกองค์การสหประชาชาติจัดทำแผนที่มาตราส่วนต่าง ๆ ขึ้นใช้ในประเทศของตน โดยสหประชาชาติให้การสนับสนุนผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้คำแนะนำวิธีดำเนินการจัดทำแผนที่ พร้อมทั้งจัดให้มีการประชุมเกี่ยวกับกิจการแผนที่สำหรับภูมิภาคขึ้น โดยมุ่งหมายที่จะหาวิธีการในการพิจารณากิจการแผนที่ของภูมิภาคให้เข้าสู่มาตรฐาน และมีแผนที่ใช้งานอย่างเพียงพอต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของภูมิภาคนั้น ๆ ประเทศไทยซึ่งอยู่ในกลุ่มซึ่งได้รับผลประโยชน์จากโครงการพัฒนาเศรษฐกิจแห่งเอเชียและตะวันออกไกลของสหประชาชาติ ซึ่งรัฐบาลไทยได้อนุมัติให้กรมแผนที่ทหาร ดำเนินการจัดทำแผนที่ตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติด้วย

ตามที่กล่าวมา เป็นเพียงส่วนหนึ่งของความสำคัญของแผนที่ที่เข้าไปมีส่วนเกี่ยวข้องในทางเศรษฐกิจของชาติและยังมีกิจกรรมทางเศรษฐกิจอีกหลายอย่างที่จำเป็นต้องใช้แผนที่ เช่น การใช้ที่ดิน การอุตสาหกรรม การเกษตรกรรม งานสำรวจทุกชนิด หรือแม้แต่ในชีวิตประจำวัน แผนที่ก็มีส่วนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

3.3 ประโยชน์ทางด้านการทหาร

มีคำกล่าวในวงการทหารว่า **"แผนที่เป็นเครื่องมือรบชิ้นแรกของทหาร"** การพิจารณาวางแผนยุทธศาสตร์ทางการทหารของชาติ จำเป็นต้องแสวงหาข้อมูล ใช้ประกอบการพิจารณาก่อนการวางแผน ข้อมูลหรือข่าวสารเกี่ยวกับสภาพทางภูมิศาสตร์ และตำแหน่งของสิ่งแวดล้อมทางยุทธศาสตร์ต่าง ๆ มีความสำคัญและจำเป็น

แผนที่จึงเป็นเอกสารชิ้นแรกที่ต้องจัดทำ หรือจัดหาให้ได้มา โดยเฉพาะแผนที่สามารถให้ข่าวสาร เกี่ยวกับระยะทาง ตำแหน่งความสูง เส้นทาง ลักษณะภูมิประเทศที่สำคัญ และข้อมูลอื่น ๆ เกี่ยวกับภูมิประเทศ โดยละเอียดถูกต้องทั้งที่เกื้อกูลและขัดขวางต่อการปฏิบัติการ ทางด้านสงครามในปัจจุบันไม่จำกัดอยู่เฉพาะพื้นที่ที่เรารู้จักคุ้นเคยเท่านั้น แต่อาจจะเป็นยุทธบริเวณที่แผ่กว้างไพศาลตามส่วนต่าง ๆ ของโลกที่ผู้บังคับบัญชาไม่เคยมีประสบการณ์มาก่อน ผู้บังคับบัญชาหน่วยทหารจำเป็นต้องศึกษาพิจารณาภูมิประเทศที่หน่วยทหารจะเข้าปฏิบัติการ สิ่งซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งมีอยู่ในภูมิประเทศบริเวณที่จะปฏิบัติการ อาจเป็นได้ทั้งต่อการเกื้อหนุนและเป็นอุปสรรคในการปฏิบัติการ การวางแผนการรบ และการปฏิบัติการรบ จำเป็นต้องใช้แผนที่เป็นเครื่องมือประกอบการพิจารณา แผนที่จึงนับว่าเป็นเครื่องมือรบชิ้นแรกของผู้บังคับหน่วยทหารทุกระดับหน่วย นักการทหารบางท่านกล่าวไว้ว่า **"ทหารที่ทำการรบโดยปราศจากแผนที่จะมีสภาพเช่นเดียวกับทหารตาบอดทำการรบ"** ดังนั้นการดำเนินกิจการทหารจะขาดแผนที่มิได้เป็นอันขาด จากประวัติศาสตร์ของการพัฒนากิจการแผนที่ ปรากฏเห็นเด่นชัดว่าพัฒนาการทางวิชาการด้านแผนที่ส่วนใหญ่ เกิดจากความต้องการทางทหารเป็นแรงผลักดัน โดยกิจการแผนที่ทางทหารต้องสามารถผลิตขึ้นได้รวดเร็วทันต่อสถานการณ์ ข่าวสารที่แสดงไว้ในแผนที่ต้องทันสมัยอยู่เสมอ มีความละเอียดถูกต้อง เหมาะสม เชื่อถือได้ และมีปริมาณเพียงพอแก่การใช้งาน ความต้องการดังกล่าวเป็นผลผลักดันให้นักวิชาการ และผู้มีหน้าที่รับผิดชอบทำการค้นคว้าทดลอง หากรรมวิธีและทฤษฎีใหม่ ๆ ใช้ในการสำรวจหาข้อมูล และการผลิตแผนที่ อีกทั้งพยายามคิดค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์ทันสมัยมีประสิทธิภาพสูง มาใช้ในกิจการแผนที่อยู่เสมอ จะเห็นได้ว่าหน่วยงานที่รับผิดชอบในเรื่องแผนที่ จึงมักเป็นหน่วยงานที่มีส่วนรับผิดชอบต่อกิจการทางทหารเป็นส่วนใหญ่

4. การระวังรักษาแผนที่

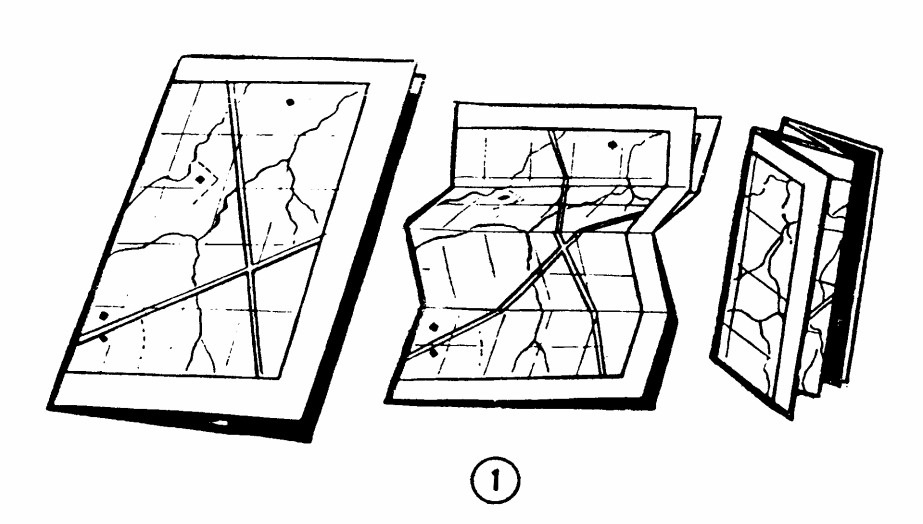
แผนที่ทำการพิมพ์ลงบนวัสดุฐานเป็นกระดาษชนิดพิเศษมีความเหนียวคงทนมากกว่ากระดาษทั่วไป อย่างไรก็ตามยังไม่สามารถคงทนอยู่ได้นานเมื่อได้รับความชื้น การใช้งานที่ไม่ถูกวิธี รวมทั้งการเก็บรักษาที่ขาดความระมัดระวัง วิธีการที่จะใช้แผนที่ให้มีอายุยาวนานขึ้นจึงขึ้นอยู่กับการระวังรักษา และการนำออกใช้งาน ควรพิจารณาใช้ความระมัดระวังตามสมควร

4.1 การเก็บรักษาแผนที่ ควรเก็บรักษาไว้ในสถานที่เหมาะสมมีอากาศถ่ายเทตามสมควร และห่างจากรบกวนจากสัตว์กัดแทะ ประกอบกับง่ายต่อการลุกไหม้เป็นเชื้อเพลิงอย่างดี สมควรมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ

4.2 การใช้แผนที่ ผู้ใช้แผนที่ควรใช้ความระมัดระวังเมื่อนำออกใช้งานแผนที่เปราะบางกับการใช้งานอย่างสมบุกสมบัน พึงระมัดระวังมิให้ฉีกขาดห่างไกลจากน้ำ โคลน ความชื้น หากเป็นไปได้ควรห่อหุ้มด้วยพลาสติกใส การขีดเขียนตรงลงบนแผนที่ด้วยเครื่องเขียนแข็ง คม และสีต่าง ๆ พึงหลีกเลี่ยง เนื่องจากจะทำให้ลบออกยาก เป็นรอยหรือฉีกขาด หรือสีปิดบังรายละเอียดสำคัญบางอย่างที่ปรากฏบนแผนที่ ควรเขียนด้วยเครื่องเขียนอย่างอ่อนลบออกง่ายไม่ให้เหลือร่องรอยการขีดเขียนปรากฏเหลือค้างไว้ เพราะหากแผนที่ตกอยู่ในมือของผู้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้อง จะทำเป็นประโยชน์กับผู้นั้นจากการพิจารณาพื้นที่ในความในใจในอนาคตและมีความสำคัญอาจถูกนำไปใช้ประโยชน์แทน ถึงแม้ว่าได้ลบเครื่องหมายเฉพาะงานออกแล้วก็ตาม และอาจไม่สามารถพิจารณาข่าวสารอื่น ๆ เพิ่มเติมขึ้น หนทางที่ดีที่สุดควรเขียนลงบนพลาสติกห่อหุ้มจะทำให้ยืดอายุการใช้งานให้ยาวนาน เมื่อหมดความจำเป็นใช้งานให้เก็บรักษาอย่างเหมาะสมหรือรีบนำส่งผู้รับผิดชอบทันที ในกรณีที่ผู้ใช้แผนที่ตกอยู่ในอันตรายให้ทำลายแผนที่ด้วยวิธีเผาให้หมดและทำลายกระจายเถ้าให้ละเอียด หากไม่มีโอกาสเผาทำลายให้ฉีกเป็นชิ้นขนาดเล็กที่สุด ทำการฝังกลบพร้อมกับกลบเกลื่อนร่องรอยฝังกลบให้เรียบร้อย หรือใช้วิธีโปรยชิ้นส่วนให้กระจายมากที่สุด

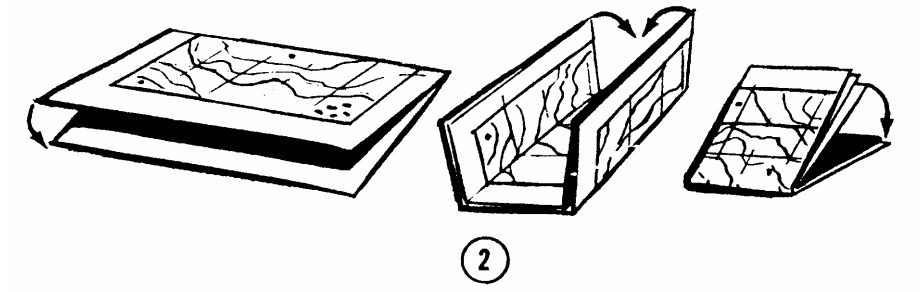
4.3 การพับแผนที่ เป็นวิธีการใช้แผนที่อย่างหนึ่งทำให้สะดวกกับการนำพาออกใช้งานในภูมิประเทศและง่ายกับการเก็บรักษาเนื่องจากมีขนาดเล็กลงไม่ต้องใช้พื้นที่การเก็บรักษากว้างขวาง รวมทั้งสะดวกต่อการพิจารณาโดยไม่ต้องคลี่กางแผนที่ออกทั้งแผ่น และควรใส่ไว้ในซองพลาสติกเพื่อการป้องกันอย่างดีนิยมพับแผนที่ดังนี้

4.3.1 การพับแผนที่แบบหีบเพลง



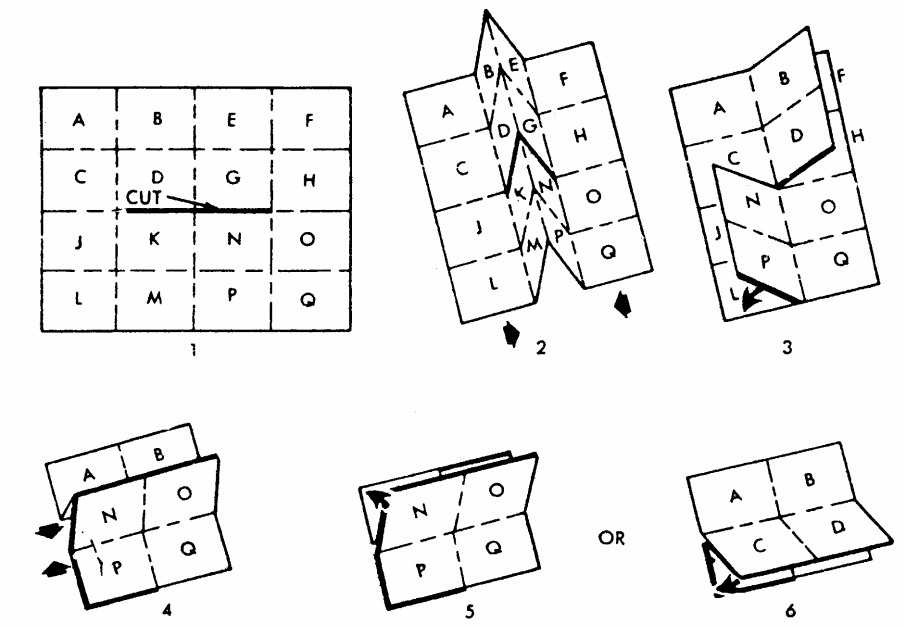
ภาพที่ 1 การพับแผนที่แบบหีบเพลง แบบที่ 1

4.3.2 การพับแผนที่แบบหีบเพลง



ภาพที่ 2 การพับแผนที่แบบหีบเพลง แบบที่ 2

4.3.3 การพับแผนที่ใช้ในกรณีพิเศษ กระทำได้โดยตัดแผนที่เป็นรอยตัดเป็นแนวด้วยมีดโกนและไม้บรรทัด วิธีการด้วยการแบ่งแผนที่เป็นตารางเท่ากันจำนวน 16 ช่องเรียงลำดับ A ถึง Q จากตารางแถวบนถึงด้านล่างใช้เป็นตารางสังเกต การตัดระหว่างตาราง D,G,K,N เพียง 2 ตาราง และนับตามวิธีการตามลำดับขั้นดังรูปที่ 1-3 เมื่อพับเรียบร้อยแล้วควรติดไว้ในแฟ้มโดยใช้กาวทาด้านหลังของตาราง A,F,L และ Q ติดที่ปกด้านในแฟ้มโดยทั้ง 4 ตารางติดเป็นผืนเดียวกัน การพับวิธีนี้อาจทำให้แผนที่เสียหาย ควรทดลองพับจากกระดาษอื่น ๆ ก่อน



ภาพที่ 3 การพับแผนที่ใช้ในกรณีพิเศษ

4.3.4 แผนที่ประเทศไทยที่ต่างประเทศมีการครอบครองเช่น สหรัฐอเมริกา หากนำไปแจกจ่ายให้กับประเทศอื่น จะต้องได้รับคำยินยอมจากประเทศไทยเสียก่อน

4.3.5 แผนที่บางระวาง กำหนดชั้นความลับของประเภทเอกสารไว้ การดำเนินการใด ๆ ต่อแผนที่พึงปฏิบัติตามระเบียบการรักษาความปลอดภัยแห่งชาติ พ.ศ.2517 ว่าด้วยการรักษาความปลอดภัยเอกสารด้วย

5. การแบ่งชนิดของแผนที่

กรมแผนที่ทหารมีหน้าที่รับผิดชอบการผลิต แก้ไข และปรับปรุงความทันสมัยของแผนที่บก เพื่อสนับสนุนส่วนราชการทั้งทหาร พลเรือน รัฐวิสาหกิจ และเอกชน ปัจจุบันผลผลิตหลักเป็นแผนที่มูลฐาน (Base Map) ทั้งในรูปแผนที่ภูมิประเทศเชิงเส้น(Topographic Line Map) และเชิงเลข(Digital Map) 2 มาตราส่วน คือ มาตาส่วน 1:50,000 ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศจำนวน 830 ระวาง และมาตราส่วน 1:250,000 ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศจำนวน 52 ระวาง นอกจากนี้ยังผลิตแผนที่อื่นๆตามคำร้องขอเช่น แผนที่ตัวเมือง (City Map) แผนที่ภาพถ่าย (Photo Map) แผนที่เฉพาะวิชา(Thematic Map) เป็นต้น สำหรับแผนที่อุทกศาสตร์เป็นความรับผิดชอบของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ เนื่องจากแผนที่ที่ใช้ในกิจการทหารมีหลากหลาย จึงจัดแบ่งแผนที่ออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ แบ่งตามมาตราส่วน(Scale) และแบ่งตามประเภทการใช้งาน(Type) (FM-3-25-26:2544:2-3)

5.1 แบ่งตามมาตราส่วน (Scale) แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด

5.1.1 แผนที่มาตราส่วนเล็ก (Small Scale Map) ได้แก่แผนที่ที่มีมาตราส่วน 1:1,000,000และเล็กกว่า ใช้งานวางแผนทั่วไปและการวางแผนทางยุทธศาสตร์ แผนที่มาตราส่วนนี้ครอบคลุมพื้นที่อย่างกว้างขวาง แต่แสดงรายละเอียดไม่มากนักแผนที่มาตราส่วนเล็กมาตรฐานคือ แผนที่มาตราส่วน 1:1,000,000

5.1.2 แผนที่มาตราส่วนปานกลาง (Medium Scale Map) ได้แก่แผนที่ที่มีมาตราส่วนใหญ่กว่า 1:1,000,000 แต่เล็กกว่า 1:75,000 ใช้งานวางแผนทางยุทธวิธี แผนที่มาตราส่วนนี้มีรายละเอียดปานกลาง เหมาะสมนำมาใช้วิเคราะห์ภูมิประเทศร่วมกับแผนที่มาตราส่วนใหญ่ แผนที่มาตราส่วนปานกลางมาตรฐานคือแผนที่มาตราส่วน 1:250,000 แต่แผนที่มาตราส่วน 1:100,000 ก็ถูกนำมาใช้กันหลากหลายเช่นกัน

5.1.3 แผนที่มาตราส่วนใหญ่ (Large Scale Map) ได้แก่แผนที่ที่มีมาตราส่วน 1:75,000 และใหญ่กว่า ใช้งานปฏิบัติการทางยุทธวิธีและงานส่งกำลังบำรุง เป็นแผนที่ที่ทหารระดับผู้นำหน่วยขนาดเล็กและระดับผู้ปฏิบัตินำมาใช้ในการปฏิบัติงานจริง แผนที่มาตราส่วนใหญ่มาตรฐานคือแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 แต่บางพื้นที่ใช้มาตราส่วน 1:25,000 แทน

5.2 แบ่งตามประเภทแผนที่ (Type) แบ่งออกได้เป็น 8 ชนิด ได้แก่

5.2.1 แผนที่แบบแบน (Planimetric Map) ได้แก่แผนที่ที่แสดงตำแหน่งของรายละเอียดเฉพาะทางราบเท่านั้น เช่น ค่าละติจูดและค่าลองจิจูด ค่าระยะเหนือและค่าระยะตะวันออก(Northing and Easting) เป็นต้น บางครั้งเรียกแผนที่ชนิดว่า แผนที่เชิงเส้น(Line Map)

5.2.2 แผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map) ได้แก่ แผนที่ที่แสดงรายละเอียดทั้ง 3 มิติ คือทั้งทางราบและทางดิ่ง ตำแหน่งทางดิ่งหรือระดับสูงแสดงโดยใช้เส้นชั้นความสูง(Contour Line)ที่วัดจากพื้นหลักฐานทางดิ่ง(vertical datum plane)คือ ระดับทะเลปานกลาง(Mean Sea Level : MSL)

5.2.3 แผนที่ภาพถ่าย (Photo Map)ได้แก่แผนที่ที่มีรายละเอียดบนแผนที่เป็นรูปถ่ายทางอากาศ โดยเพิ่มเติมข้อมูลที่จำเป็น ได้แก่ ระบบเส้นกริด รายละเอียดขอบระวาง ชื่อภูมิศาสตร์ หมายเลขเส้นทาง ความสูง เส้นแบ่งเขต มาตราส่วนโดยประมาณ และทิศทาง เป็นต้น

5.2.4 แผนที่ยุทธการร่วม (Joint Operations Graphic) รูปแบบ แผนที่ชนิดนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วนปานกลางมาตรฐาน 1:250,000 นำมาใช้ในกิจการทหาร โดยการเพิ่มเติมข้อมูลที่จำเป็นต่อการยุทธร่วมทางอากาศ-พื้นดิน กรอบแผนที่ด้านเหนือและตะวันออกจะขยายขนาดตัวแผนที่ออกไปอีกเพื่อความสะดวกในการต่อแผนที่ ซึ่งมีการผลิตในรูปแบบสำหรับการยุทธร่วมทางอากาศเรียกว่า Joint Operation Graphic (Air)และสำหรับการยุทธร่วมทางพื้นดินเรียกว่า Joint Operation Graphic (Ground) ข้อมูลภูมิประเทศของแผนที่ทั้งสองรูปแบบมีข้อแตกต่างกันได้แก่การแสดงเส้นชั้นความสูง กล่าวคือแผนที่ยุทธการร่วม(อากาศ)แสดงเส้นชั้นเป็นหน่วยฟุต แต่แผนที่ยุทธการร่วม(พื้นดิน)แสดงเส้นชั้นเป็นหน่วยเมตร การแสดงความสูงต่ำใช้แถบสีช่วยทำให้การอ่านลักษณะภูมิประเทศกระทำได้ง่ายขึ้น แผนที่ทั้งสองรูปแบบเน้นการมีสนามบินโดยแสดงไว้ด้วยสีม่วง ทั้งนี้แผนที่ยุทธการร่วม(อากาศ)จะมีข้อมูลสิ่งกีดขวางทางอากาศเพื่อช่วยในการนำร่องทางอากาศด้วย

5.2.5 ภาพถ่ายต่อ (Photo Mosaic) เป็นการผลิตด้วยการนำรูปถ่ายทางอากาศมาเรียงต่อเชื่อมกันนำมาใช้ในกรณีที่มีเวลาไม่มากพอที่จะผลิตแผนที่ตามมาตรฐาน ทั้งนี้ความถูกต้องของแผนที่ขึ้นกับวิธีการที่ใช้ในการผลิตภาพถ่ายและคุณภาพของการต่อภาพ

5.2.6 รูปจำลองภูมิประเทศ (Terrain Model) รูปจำลองภูมิประเทศตามมาตราส่วนของภูมิประเทศสามารถแสดงรายละเอียดต่างๆ และรูปจำลองภูมิประเทศมาตราส่วนใหญ่จะสามารถแสดงรูปร่างสิ่งก่อสร้างทางอุตสาหกรรมหรือวัฒนธรรมได้ เพื่อการนำเสนอในการวางแผนหรือบรรยายสรุปภารกิจทางทหาร เช่นการยกพลขึ้นบก

5.2.7 แผนที่ตัวเมืองทางทหาร (Military City Map) เป็นแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1:5,000-1:12,500 แสดงรายละเอียดภายในตัวเมือง เช่น ถนน ชื่อถนน อาคารสำคัญ และองค์ประกอบสำคัญอื่น ๆ และเป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติการทางทหารในพื้นที่ชุมชน โดยมาตราส่วนแผนที่ขึ้นอยู่กับความสำคัญและขนาดของตัวเมือง ความหนาแน่นของรายละเอียด ตลอดจนข้อมูลด้านการข่าว

5.2.8 แผนที่พิเศษ (Special Map) ผลิตขึ้นตามวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง เช่น การจราจร การติดต่อสื่อสาร และการเคลื่อนพล เป็นต้น การผลิตแผนที่มักกระทำโดยการพิมพ์ข้อมูลซ้อนลงบนแผนที่มาตราส่วน 1:100,000-1:1,000,000 ทั้งนี้เพราะแผนที่เดิมมีข้อมูลไม่มากพอหรือไม่ตรงความมุ่งหมาย รายละเอียดที่ลงเพิ่มเติมมีมากมายขอยกเป็นตัวอย่างคือ รายละเอียดภูมิประเทศ ลักษณะทางน้ำ พืชพันธุ์ ภูมิอากาศ ชายฝั่งและหาดทรายที่ใช้ขึ้นฝั่งได้ ถนนและสะพาน ทางรถไฟ

พื้นที่ชุมชน ไฟฟ้า พลังงานน้ำมัน แหล่งน้ำผิวดิน แหล่งน้ำใต้ดิน แหล่งวัตถุดิบธรรมชาติเพื่อการก่อสร้าง เส้นทางการเคลื่อนที่ในภูมิประเทศ พื้นที่เหมาะสมสำหรับสนามบิน พื้นที่โดดร่ม เป็นต้น

6. มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของแผนที่

แผนที่ควรเขียนขึ้นมาให้มีความละเอียดถูกต้องตามควรแก่การใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วนใหญ่ทั้งหลายควรมีความเข้มงวดในเรื่องความละเอียดถูกต้องเป็นพิเศษ ทั้งนี้เพราะเป็นแผนที่ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เช่น วิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรม หาและกำหนดแนวเส้นแบ่งเขต เลือกแนวเส้นทางที่เหมาะสม กำหนดขอบเขตพื้นที่ต่าง ๆ และใช้เป็นแผนที่ต้นแบบในการย่อ และ Generalize เพื่อการทำแผนที่มาตราส่วนเล็กกว่าขึ้นใหม่ให้เหมาะสมกับงานเฉพาะกิจต่าง ๆ ซึ่งหากมีการกำหนดเกณฑ์มาตราฐานสำหรับแผนที่เหล่านี้ให้มีระเบียบวิธีที่สะดวกสำหรับการตรวจสอบคุณภาพ และแสดงข้อความระบุคุณภาพและมาตรฐานอย่างชัดเจนไว้บนแผนที่นั้น ดังเช่นกรณีที่กระทำต่อผลผลิตอุตสาหกรรมบางอย่าง ผู้ใช้แผนที่จะได้ประโยชน์มากขึ้นเพราะจะสามารถประเมินได้ว่า แผนที่ใดมีคุณภาพมีความละเอียดถูกต้องเพียงพอแก่การใช้งานของตน การตรวจสอบและประเมินคุณภาพแผนที่ดังกล่าว จะช่วยส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการทำแผนที่อย่างมีระเบียบแบบแผน ส่งเป็นลูกโซ่ถึงการพัฒนาประเทศโดยส่วนรวมต่อไป

6.1 การตรวจสอบมาตรฐานความละเอียดถูกต้องของแผนที่

การตรวจสอบมาตรฐานความละเอียดถูกต้องของแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วนใหญ่ที่จะกล่าวถึงนี้ พิจารณาจากลักษณะคุณสมบัติของแผนที่ซึ่งจัดทำขึ้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยอาศัยแนวทางการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องของตำแหน่งที่เด่นชัดต่าง ๆ บนแผนที่ เพื่อเป็นข้อมูลใช้ประเมินแผนที่ได้มาตรฐานหรือไม่ หากเป็นแผนที่ที่ได้มาตรฐาน อาจมีการจัดลำดับชั้นคุณภาพ โดยแบ่งออกเป็นประเภท 1,2 เพื่อบ่งบอกระดับความน่าเชื่อถือของแผนที่ให้ละเอียดยิ่งขึ้น

ตำแหน่งเด่นชัดบนแผนที่ ใช้เป็นหลักฐานในการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องของแผนที่เพื่อการประเมินผล ได้แก่ ตำแหน่งของหมุดหลักฐานระดับ หมุดรังวัดควบคุม หมุดหลักเขตแปลงที่ดิน จุดตัดระหว่างถนนสองสาย จุดสูงสุดและต่ำสุดในภูมิประเทศ มุมอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง ฯลฯ ค่าพิกัดที่ถูกต้อง (หรือละเอียดถูกต้องดี) ของจุดต่าง ๆ เหล่านี้ อาจได้จากการรังวัดด้วยวิธีต่าง ๆ ซึ่งอาจดำเนินการไปแล้ว หรือรังวัดตรวจสอบใหม่ หรืออาจได้จากแผนที่มาตรฐานส่วนใหญ่อื่น ๆ ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องสูงกว่าก็ได้ เมื่อนำพิกัดที่ได้จากการรังวัดแผนที่มาเปรียบเทียบกับค่าที่ถูกต้องจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ณ จุดเหล่านั้น ขนาดของความคลาดเคลื่อน และจำนวนจุดที่ใช้ตรวจสอบ จะเป็นข้อมูลหลักในตัดสินว่าแผนที่นั้น มีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดขึ้นหรือไม่

6.2 มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของแผนที่

วิธีกำหนดเกณฑ์มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของแผนที่ ที่ใช้อย่างแพร่หลาย มีอยู่ 2 ลักษณะแตกต่างกัน ดังนี้

6.2.1 กำหนดพิกัดสูงสุดของค่าความคลาดเคลื่อนในการเปรียบเทียบระหว่างตำแหน่งจากแผนที่กับตำแหน่งที่แท้จริง และระบุเกณฑ์อัตราส่วนจำนวนจุดที่ผ่านการตรวจสอบต่อจำนวนจุดทั้งหมดที่ใช้ตรวจสอบ เช่น จำนวนจุดไม่ต่ำกว่า 90% ของจุดทั้งหมดที่ใช้ตรวจสอบ ต้องมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งทางราบไม่เกินระยะ 0.5 มม. บนแผนที่

6.2.2 กำหนดค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation or Root mean square error) ที่คำนวณได้จากการตรวจสอบตำแหน่งของจุดต่าง ๆ ทั้งหมด เช่น ความคลาดเคลื่อนตำแหน่งทางราบของจุดต่าง ๆ ต้องมีความเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกินเกณฑ์ 0.3 มม. บนแผนที่

การระบุเกณฑ์กำหนดความคลาดเคลื่อนของพิกัดทางแนวดิ่ง (ค่าความสูง) อาจใช้ค่าช่วงเส้นชั้นความสูงบนแผนที่ที่พิจารณาเป็นหลัก เช่น จำนวนจุดไม่ต่ำกว่า 90% ของจุดทั้งหมดที่ตรวจสอบ ต้องมีความคลาดเคลื่อนของค่าความสูงไม่เกิน ½ ของช่วงชั้นความสูงบนแผนที่นั้น หรือถ้าใช้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นเกณฑ์ อาจระบุว่า ความคลาดเคลื่อนของค่าความสูงของจุดต่าง ๆ ที่ใช้ตรวจสอบ ต้องมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่เกิน 0.5 เมตร สำหรับแผนที่มาตราส่วน 1:2,000 ซึ่งใช้ระยะห่างชั้นความสูง 1 เมตร เป็นต้น

เกณฑ์มาตรฐานทั้งสองดังกล่าว ไม่มีเงื่อนไขอื่นใดเพิ่มเติมอย่างเพียงพอ ที่จะบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างกันและกันได้ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าเกณฑ์มาตรฐานแต่ละแบบ ต่างก็เป็นวิธีอิสระที่ไม่ขึ้นแก่กัน เมื่อนำมาใช้เป็นเครื่องประเมินคุณภาพแผนที่ จึงไม่ควรคาดหวังว่าทั้งสองวิธีจะให้ผลลงรอยกันเสมอไป (รายละเอียดในข้อ 6.2.2 ไม่ขอนำเสนอในเอกสารนี้ โดยเน้นผลจากเกณฑ์มาตรฐาน ข้อ 6.2.1 ที่นิยมใช้กันทั่วไป)

6.2.3 มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของแผนที่ของสหรัฐอเมริกา (US Government National Map Accuracy Standard)

มาตรฐานที่กำหนดขึ้น (ดูรายละเอียดในหัวข้อ 6.2) โดยใช้เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนแตกต่างกันตามมาตราส่วนแผนที่ดังนี้

ตารางที่ 1 เกณฑ์ตรวจสอบพิกัดตำแหน่งทางราบ

มาตราส่วนแผนที่	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
1/20,000 หรือใหญ่กว่า	1/30 นิ้ว (ประมาณ 0.8 มม.)
เล็กกว่า 1/20,000	1/50 นิ้ว (ประมาณ 0.5 มม.)

สำหรับเกณฑ์การตรวจสอบพิกัดตามแนวดิ่ง ใช้วิธีการกำหนดแบบเดียงกัน โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน เป็นครึ่งหนึ่งของช่วงชั้นความสูงของแผนที่ที่นำมาตรวจสอบ ทั้งนี้เกณฑ์มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของแผนที่โดยรวมดังกล่าว กรมแผนที่ทหารใช้ตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา

ผลการตรวจสอบและการนำไปใช้งาน

มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของแผนที่ตามที่ยกมากล่าว มีเงื่อนไขการตรวจสอบที่จำกัดอยู่เพียงความชัดเจนของตำแหน่งจุดต่าง ๆ บนแผนที่ที่ทำการรังวัดพิกัดกับตำแหน่งในภูมิประเทศเพื่อตรวจสอบตามเกณฑ์มาตรฐานเหล่านั้น ทั้งนี้ยังสามารถกระทำได้กับต้นร่างแผนที่ลายเส้น ซึ่งปกติเป็นต้นร่างแผนที่ได้โดยการเขียนจากเครื่องเขียนแผนที่จากภาพถ่ายทางอากาศ

ในกรณีแรกที่ตรวจสอบบนแผ่นต้นร่างแผนที่ ถือเป็นปฏิบัติการควบคุมคุณภาพ และประเมินผลการทำงานก่อนที่จะถึงขั้นการพิมพ์แผนที่ออกมาเป็นจำนวนมาก ผลการตรวจสอบอาจนำไปสู่การแก้ไขเปลี่ยนแปลงต้นร่างแผนที่นั้น ถ้าตรวจพบว่าความละเอียดถูกต้องไม่ถึงมาตรฐานที่ต้องการ

กรณีที่สอง ซึ่งตรวจสอบบนแผนที่ที่ทำเสร็จแล้ว เป็นการประเมินคุณภาพแผนที่โดยผลการประเมินอาจไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแก้ไขแผนที่นั้น อาจเป็นการตรวจสอบระดับความน่าเชื่อถือของแผนที่ก่อนตัดสินใจนำไปใช้งาน

เนื่องจากกระบวนการตรวจสอบความละเอียดถูกต้อง ของแผนที่เป็นวิธีการที่ผู้ใช้แผนที่ส่วนใหญ่ไม่สามารถปฏิบัติได้เอง อาจเนื่องจากขาดเครื่องมือที่เหมาะสม หรือขาดข้อมูลที่น่าเชื่อถือสำหรับใช้อ้างอิงเปรียบเทียบ ดังนั้น ในทางปฏิบัติผู้ใช้แผนที่ทั่วไป จึงไม่ค่อยได้เอาใจใส่ในเรื่องมาตรฐานของแผนที่มากนัก ยกเว้นกรณีที่ต้องจัดทำแผนที่ขึ้นใช้เองตามปกติ ผู้ที่มีขีดความสามารถตรวจสอบแผนที่ได้สะดวกที่สุด คือผู้ดำเนินการจัดทำแผนที่ขึ้นเอง หากองค์กรผู้ผลิตแผนที่ยึดถือเกณฑ์มาตรฐานการผลิตแผนที่อย่างใดอย่างหนึ่งเป็นหลักในการทำงาน มีระเบียบในการปฏิบัติและควบคุมให้ได้ผลงานตามเกณฑ์ที่ยึดถืออย่างเคร่งครัด การผลิตแผนที่ได้ตามมาตรฐานก็ควรพิมพ์ข้อความระบุคุณภาพนั้นไว้บนแผนที่ใช้ชัดเจน ผู้ใช้แผนที่จะได้ประโยชน์จากแผนที่จากแผนที่นั้นมากขึ้น เพราะสามารถคาดคะเนระดับความน่าเชื่อถือของแผนที่นั้นได้ อนึ่ง มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของแผนที่ซึ่งได้กล่าวในที่นี้ ไม่ครอบคลุมถึงรายละเอียดเชิงคุณภาพ เพราะวิธีการระบุเกณฑ์มาตรฐานในส่วนของข้อมูลเชิงคุณภาพ เป็นเรื่องละเอียดอ่อน และมีปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวข้องหลายประการ

บทที่ 2
วิวัฒนาการแผนที่ประเทศไทย

1. แผนที่ประเทศไทย

แผนที่ประเทศไทยเก่าแก่ที่เคยปรากฏอยู่บนแผนที่โลกของปโตเลมี ปี พ.ศ.693 (คริสต์ศตวรรษที่ 2) บริเวณที่ตั้งของประเทศไทยปัจจุบันเรียกว่า Aurea Khersonesus หมายถึง แหลมทอง (Golden Peninsula) แต่รูปร่างผิดความจริงจากปัจจุบันมาก พอเห็นเป็นเค้าโครงเท่านั้น ในสมัยต่อมา มีรายละเอียดบริเวณแหลมทองมากขึ้น ด้วยความเจริญด้านการคมนาคมการติดต่อค้าขายมากขึ้น ทำให้วิธีการทำแผนที่เจริญตามมาด้วย

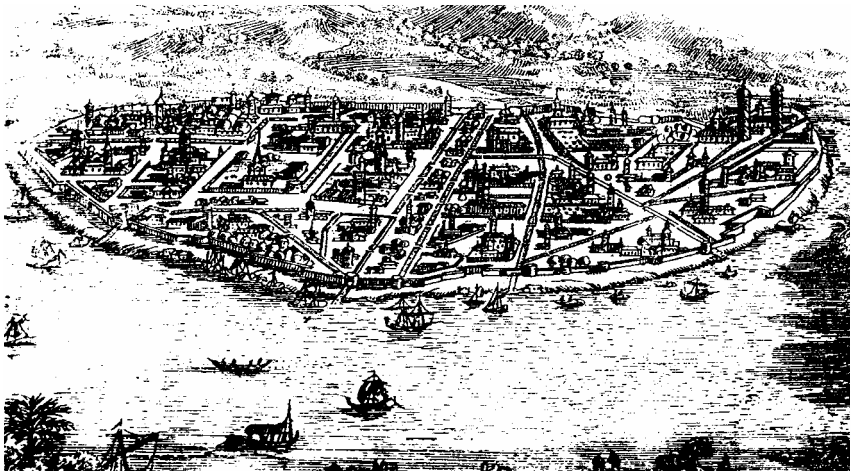
2. วิวัฒนาการแผนที่ประเทศไทย

2.1 สมัยกรุงศรีอยุธยา (พ.ศ.1893-พ.ศ.1912)

แผนที่ภายในประเทศที่เก่าแก่ที่สุดคือ แผนที่ยุทธศาสตร์สมัยพระบาทสมเด็จพระรามาธิบดีที่ 1 กรุงศรีอยุธยา

2.2 สมัยกรุงศรีอยุธยา (พ.ศ.2179 – พ.ศ.2229)

รัชสมัยสมเด็จพระเจ้าปราสาททองชาวฮอลันดาได้เขียนรูปเมืองอยุธยาลักษณะกึ่งทัศนียภาพกึ่งผังเมือง แสดงถนน คลอง และอาคารต่าง ๆ รวมถึงรูปแสดงเมืองต่าง ๆ ตั้งแต่อ่าวไทยถึงกรุงศรีอยุธยา (พ.ศ.2179) ต่อมารัชสมัยของสมเด็จพระนารายณ์มหาราช เป็นสมัยที่มีการติดต่อการค้ากับต่างประเทศได้มีการเขียนแผนที่ เช่น แผนที่ผังเมืองอยุธยา ลพบุรี และบริเวณกรุงเทพ ฯ หรือบางกอก (พ.ศ.2229) กับมีผลผลิตของแผนที่อีกหลายระวาง เช่น แผนที่แม่น้ำเจ้าพระยาตอนใต้ แผนที่ป้อมเมืองธนบุรี และตลอดกาลสมัย



ภาพที่ 4 แผนที่เมืองอยุธยา

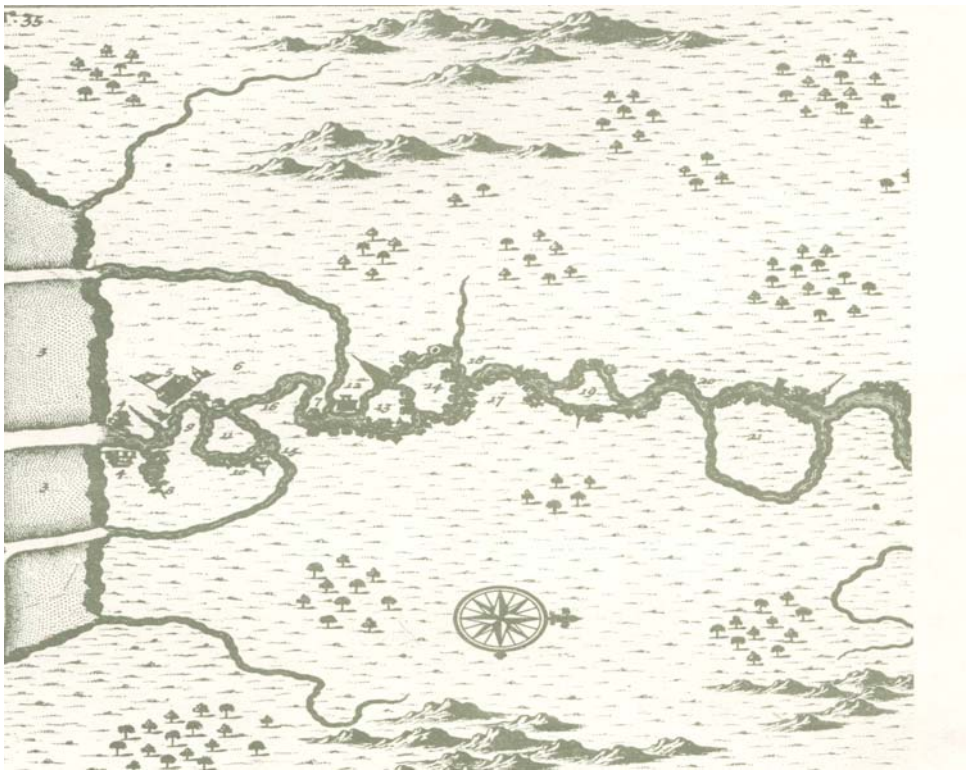
2.3 สมัยกรุงรัตนโกสินทร์ตอนต้น (พ.ศ.2325 – พ.ศ.2418) มีการจัดทำแผนที่ทางยุทธศาสตร์ เพื่อการเคลื่อนทัพป้องกันการรุกรานของข้าศึกที่มาจากทางด้าน จ.กาญจนบุรี เป็นแผนที่ที่เขียนมีรายละเอียดอ้างอิงค่อนข้างสมบูรณ์

การทำแผนที่ของประเทศเริ่มขึ้นอย่างจริงจังในสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว (พ.ศ.2418) ทรงโปรดเกล้า ฯ ให้จัดตั้งกองผลิตแผนที่ขึ้นตามคำแนะนำของนายเฮนรี อาลาบาสเตอร์ (Henry Alabaster) ที่ปรึกษาส่วนพระองค์ โดยมุ่งประโยชน์ใช้ตัดถนนสายต่าง ๆ ในกรุงเทพ ฯ การวางสายโทรเลขจากกรุงเทพ ฯ ไปพระตะบอง และทำแผนที่ปากอ่าวเพื่อการเดินเรือ ต่อมาทรงตั้งกองอุทกศาสตร์ โรงเรียนแผนที่และกรมแผนที่ขึ้นตามลำดับ

สมัยรัชกาลที่ 6 ทรงให้สถาปนางานแผนที่ทางทะเลเป็นกรมอิสระเรียกว่า “กรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ” สำหรับกรมแผนที่เดิมได้เปลี่ยนมาเป็น กรมแผนที่ทหาร ในปี พ.ศ.2506

2.4 สมัยปัจจุบัน (พ.ศ.2418 – ปัจจุบัน)

การสำรวจทำแผนที่และการก่อตั้งหน่วยงานผลิตแผนที่ ทั้งแผนที่บก แผนที่ทะเล และแผนที่เพื่อการออกโฉนด หรือแผนที่รายละเอียดที่ดิน (Cadastral Map) พอสรุปได้ตามลำดับเหตุการณ์ดังตารางต่อไปนี้



ภาพที่ 5 แผนที่เดินทาง

ระยะเวลา	ลำดับเหตุการณ์	กิจกรรมและผลงาน
พ.ศ.2418	พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวได้โปรดเกล้า ฯ ให้จัดตั้งกองทำแผนที่ นาวาโท เอ.เจ.ลอฟตัส เป็นหัวหน้าดำเนินงาน	- ทำแผนที่ถนนเจริญกรุงและถนนอื่น ๆ ในกรุงเทพ ฯ - ทำแผนที่วางสายโทรเลขตั้งแต่กรุงเทพ ฯ ไปยังพระตะบอง - ทำแผนที่บริเวณปากอ่าวไทยเพื่อประโยชน์ทางการเดินเรือและป้องกันข้าศึก - สอนนักเรียนที่จะรับราชการในกรมแผนที่ จำนวน 50 คน
ปี พ.ศ.2418 – 2426 พ.ศ.2426	ตั้งกองแผนที่ทะเล ต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็นกองอุทกศาสตร์ ตั้งโรงเรียนแผนที่	- สอนวิชาคำนวณชั้นสูง ดาราศาสตร์ และทำการสำรวจแผนที่
3 กันยายน พ.ศ.2428 (ร.ศ.104)	ตั้งกรมทำแผนที่ สังกัดกรมทหารมหาดเล็กรักษาพระองค์ พระวิภาคภูวดล (มิสเตอร์ เจม แมคคาธี) เป็นเจ้ากรม	- รวบรวมข้อมูลผลิตแผนที่ประเทศไทยตามหลักวิชาการทำแผนที่ นำไปพิมพ์ที่กรุงลอนดอน พ.ศ.2430
พ.ศ.2435	กรมทำแผนที่ย้ายสังกัดไปขึ้นกับกระทรวงเกษตราธิการ และมีกองทำแผนที่มณฑล ดังนี้ - กองทำแผนที่มณฑลพิษณุโลก - กองทำแผนที่มณฑลนครศรีธรรมราช - กองทำแผนที่มณฑลพายัพ	- กองทำแผนที่มณฑลขึ้นตรงกับกรมทำแผนที่ในกรุงเทพ ฯ พร้อมกับตั้งโรงเรียนแผนที่เพื่อสอนวิชาแผนที่ตามมณฑลต่าง ๆ ด้วย - สำรวจภูมิประเทศเพื่อประโยชน์ในด้านเกษตรกรรม และเพื่อการออกโฉนดตราจองให้แก่ผู้ถือกรรสิทธิ์ที่ดิน

ระยะเวลา	ลำดับเหตุการณ์	กิจกรรมและผลงาน
พ.ศ.2444	ตั้งกรมทะเบียนที่ดิน กระทรวงเกษตราธิการ	- เริ่มสำรวจและทำแผนที่โฉนดเป็นครั้งแรก
พ.ศ.2449	พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวได้โปรดเกล้า ฯ ให้จัดตั้งโรงเรียนนายเรือ เมื่อวันที่ 20 พฤศจิกายน	- บรรจุวิชาอุทกศาสตร์ (Hydrography) อยู่ในหลักสูตรของโรงเรียนนายเรือ
พ.ศ.2452	กรมทำแผนที่ย้ายสังกัดไปขึ้นตรงต่อกรมเสนาธิการทหารบก กระทรวงกลาโหม เมื่อ 1 ตุลาคม พ.ศ.2452	
พ.ศ.2452-2461	เปลี่ยนแปลงการจัดหน่วย กรมทำแผนที่และเรียกชื่อ กรมแผนที่	- ระหว่าง พ.ศ.2452 – 2506 เปลี่ยนแปลงชื่อหน่วยหลายครั้ง ได้แก่กรมทำแผนที่ กรมแผนที่และกรมแผนที่ทหารบก
พ.ศ.2453	โอนกองรังวัดรายละเอียดแผนกสำรวจกรมแผนที่ไปขึ้นกับกระทรวงเกษตราธิการ (กองนี้ได้เปลี่ยนสภาพเป็นกรมรังวัดที่ดินในเวลาต่อมา)	
พ.ศ.2455		- เริ่มสำรวจทำแผนที่ทางทะเล - กองทัพเรือจ้างนายทหารเรือเดนมาร์ก ชื่อ นาวาโท ปริตทอม เซ็น กับ นาวาโท แมกนัส บอย เซ็น เป็นหัวหน้าสำรวจและครูสอนนักเรียนนายเรือ
พ.ศ.2456		- กองสำรวจแผนที่ทะเลได้ทำการสำรวจบริเวณสันดอนปากน้ำเจ้าพระยา และบริเวณปากน้ำจันทบุรี ส่งไปเขียนและพิมพ์ที่ประเทศเดนมาร์ค เป็นแผนที่เดินเรือชุดแรก

ระยะเวลา	ลำดับเหตุการณ์	กิจกรรมและผลงาน
พ.ศ.2458		-เมื่อเดินทางกลับมาได้นำความรู้มาใช้ ประโยชน์และสั่งสอนผู้อื่น เป็นผลให้เราสามารถพิมพ์แผนที่เดินเรือขึ้นใช้เองได้
พ.ศ.2462	กรมแผนที่ เปลี่ยนชื่อเป็นกรมแผนที่ทหารบก	-เปลี่ยนแปลงการจัดหน่วย
พ.ศ.2464	พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ได้โปรดเกล้า ฯ ให้สถาปนางานแผนที่ทะเลขึ้นเป็นกรมอิสระ เรียกว่า “กรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ” ขึ้นตรงต่อกระทรวงทหารเรือ ตั้งแต่วันที่ 16 มกราคม โดยมี พลเรือจัตวา ปริตร ทอมเซ็น เป็นเจ้ากรม	
พ.ศ.2466		-เริ่มงานสมุทรศาสตร์
พ.ศ.2468	นายซัดตัน (Sutton) อาจารย์วิชาภูมิศาสตร์โรงเรียนสวนกุหลาบ ร่วมมือกับกรมแผนที่ทหารบก	-ทำแผนที่เย็บเล่มขึ้นเป็นครั้งแรก
พ.ศ.2473		- ได้ทำลองทำแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศ บริเวณจังหวัดสุรินทร์
พ.ศ.2475	รวมกรมรังวัดที่ดินกับกรมราชโลหกิจ เป็นกรมที่ดินและโลหกิจสังกัดกระทรวงมหาดไทย	
พ.ศ.2476	ย้ายกรมที่ดินไปสังกัดกระทรวงเศรษฐการ	
พ.ศ.2478	กรมที่ดิน ย้ายกลับไปสังกัดกระทรวงเกษตราธิการ	
19 ส.ค. 2484	กรมที่ดิน ย้ายกลับไปสังกัดกระทรวงมหาดไทย	

ระยะเวลา	ลำดับเหตุการณ์	กิจกรรมและผลงาน
พ.ศ.2493	ตั้งองค์การทำแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศประกอบด้วยผู้แทนจากกระทรวง กรมต่าง ๆ ผู้เกี่ยวข้องกับการใช้แผนที่ อาทิ กระทรวงมหาดไทย กระทรวงเกษตร และกระทรวงคมนาคม เป็นต้น เปลี่ยนชื่อกรมอุทกศาสตร์ทหารเรือเป็น “กรมอุทกศาสตร์” สังกัดกองทัพเรือ กรมอุทกศาสตร์	- วางโครงการทำแผนที่จากรูปถ่าย- - สำรวจน่านน้ำไทยเพื่อทำแผนที่เดินเรือจำหน่ายอุปกรณ์และควบคุมการเดินเรือ ออกประกาศชาวเรือและทำหน้าที่รักษาเวลามาตรฐานแห่งประเทศไทย
พ.ศ.2494	องค์การทำแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศปรับเปลี่ยนเป็นกรมแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศ สังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม	
พ.ศ.2495		- ประเทศไทยได้รับความช่วยเหลือจากประเทศสหรัฐอเมริกา ในโครงการจัดทำแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน 1:50,000 ขึ้นใหม่ทั่วประเทศ - ผลิตแผนที่ชุด L 708 มาตราส่วน 1:50,000 จำนวน 1,127 ระวาง (ทำเสร็จเมื่อ พ.ศ.2512)
พ.ศ.2497	รวมกรมแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศเข้ากับกรมแผนที่ทหารบก กระทรวงกลาโหม	

ระยะเวลา	ลำดับเหตุการณ์	กิจกรรมและผลงาน
พ.ศ.2506	โอนกรมแผนที่ทหารบก ขึ้นสังกัดกองบัญชาการทหารสูงสุด เปลี่ยนชื่อเป็น “กรมแผนที่ทหาร”	- ดำเนินการและผลิตแผนที่บกภายในประเทศออกเผยแพร่ ตลอดจนผลิตเจ้าหน้าที่สำรวจ และช่างแผนที่ให้แก่ส่วนราชการ ผลผลิตที่ได้จนถึงปัจจุบัน - ปรับปรุงแผนที่ชุด L 708 (ขนาดระวาง 10'x 15') เป็นชุด L 7017 (ขนาด 15'x 15') รวม 830 ระวาง - จัดทำและปรับปรุงแก้ไขแผนที่มาตราส่วน ต่าง ๆ เช่น 1: 250,000 1:50,000 1: 25,000 1:5,000 1:4,000 และแผนที่เฉพาะวิชา (Thematic Maps) สนับสนุนส่วนราชการทหาร พลเรือน และจำหน่ายเอกชน (เฉพาะบางชนิด) รวมถึงสนับสนุนงานแผนที่ในโครงการพระราชดำริ - จัดทำแผนที่มูลฐานเชิงเลขมาตรฐาน 1:50,000 ชุด L 7018 ครอบคลุมทั่วประเทศ จำนวน 830 ระวาง (โครงการ 5 ปี 2541 – 2545)

3. วิธีการผลิตแผนที่

3.1 การผลิตแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศ

งานแผนที่ในปัจจุบันเป็นงานที่คำนึงถึงความละเอียดถูกต้องสูงได้มาตรฐานสากลจึงเป็นสาขาหนึ่งของงานวิศวกรรม การผลิตแผนที่มาตราส่วนใหญ่ยังคงใช้กล้องถ่ายรูปทางอากาศ เนื่องจากให้คุณภาพทางเรขาคณิตของรูปถ่ายดี ซึ่งปัจจุบันและในอนาคต การถ่ายภาพทางอากาศ เพื่อการทำแผนที่ กำลังจะถูกทดแทนด้วยระบบการสำรวจข้อมูลระยะไกล (Remote Sensing) ทั้งที่ติดตั้งระบบบนอากาศยาน ยานอวกาศ และดาวเทียม เช่น การกวาดคลื่นที่สะท้อนจากพิภพ การบันทึกจากระบบเรดาห์ จากคลื่นความร้อน เมื่อเทคโนโลยีเหล่านี้ได้พัฒนาในด้านความละเอียดของภาพ (Resolution) และความถูกต้องในทางตำแหน่งมากขึ้น (Accuracy) ในที่นี้จะได้กล่าวถึงขั้นตอนการผลิตแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศ ซึ่งมีวิวัฒนาการมากว่า 40 ปี

3.1.1 การบินถ่ายรูปทางอากาศ นิยมใช้กล้องถ่ายรูปทางอากาศที่ให้ขนาดภาพ 9 นิ้ว x 9 นิ้ว หรือ 23 ซม. X 23 ซม. และเป็นกล้องถ่ายภาพทางอากาศทางดิ่ง (Vertical Aerial Camera) ติดตั้งประจำอากาศยานด้วยการเจาะใต้ท้องเครื่องบิน ให้เลนส์กล้องรับภาพ และวางแกนกล้องในแนวดิ่ง การถ่ายภาพกำหนดให้การครอบคลุมภาพมีส่วนเหลื่อมทับด้านหน้า (Over lap) และเหลื่อมทับด้านข้าง (Side lap) ระหว่างแนวบิน ซึ่งรูปถ่ายในลักษณะนี้ จะสามารถสร้างภาพหุ่นทรวดทรง หรือรูปจำลองสามมิติ (Stereo model) ได้

3.1.2 การผลิตรูปถ่ายทางอากาศ กล้องถ่ายรูปทางอากาศที่บรรจุด้วยฟิล์ม จากการเปิดหน้ากล้องถ่ายรูปจะบันทึกภาพภูมิประเทศ เมื่อนำไปล้างเรียกว่า เนกาตีฟ (Negative film) หากนำไปอัดประกอบ (Contact) กับกระดาษอัดรูป หรือแผ่นฟิล์มเคลือบน้ำยาไวแสง จะได้ลักษณะของภาพที่ถูกต้องคือถ้าเป็นภาพขาว – ดำ ส่วนที่ปรากฏสีขาวเป็นสีขาว สีดำเป็นสีดำ (แตกต่างกับเนกาตีฟที่มีลักษณะตรงข้าม) เรียกว่า พอซิตีฟ (Positive) เป็นลักษณะของรูปถ่ายทางอากาศ (Aerial Photograph) และไดอาพอซิตีฟ (Diapositive) ตามลำดับ

3.1.3 การจำแนกรายละเอียดในสนาม (Field Classification) การนำรูปถ่ายทางอากาศไปพิสูจน์ทราบรายละเอียดในรูปถ่ายทางอากาศที่ปรากฏเป็นอะไรในภูมิประเทศ เช่น ทางน้ำ ถนน ฯ พร้อมชื่อหรือนามศัพท์

3.1.4 การสำรวจจุดบังคับรูปถ่ายทางอากาศ ก่อนการนำรูปถ่ายทางอากาศลักษณะไดอาพอซิตีฟไปสร้างภาพทรวดทรง หรือสร้างรูปจำลองสามมิติในเครื่องมือเขียนแผนที่ จำเป็นต้องกำหนดรู้ตำแหน่งภาพที่ปรากฏประกอบด้วยพิกัดทางราบอย่างน้อย 2 จุด และทางดิ่งอย่างน้อย 3 จุด หรือแต่ละคู่รูปถ่ายคู่ภาพสามมิติ (stereopair) เพื่อการบังคับรูปจำลองสามมิติ ให้มีขนาดหรือมาตราส่วน และระดับสูงที่ถูกต้องเหมือนภูมิประเทศจริง จุดเหล่านี้จะต้องทำการสำรวจด้วยกล้องรังวัดมุม และกล้องรังวัดระดับในภูมิประเทศ ในปัจจุบันได้นำการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม (GPS : Global Positioning System) มาทดแทน จุดที่ได้รับการกำหนดค่าพิกัดทางราบและทางดิ่งแล้วเหล่านี้เรียกว่าจุดบังคับรูปถ่ายทางอากาศ (Photo Control Point)

3.1.5 การขยายจุดบังคับรูปถ่ายทางอากาศ (Aerial Triangulation) จากงานสำรวจจุดบังคับรูปถ่าย (ข้อ 4.) หากพื้นที่งานถูกปกคลุมด้วยรูปถ่ายจำนวนมาก อาจมีจำนวนถึง 2 จุด พิกัดทางราบ X (จำนวนรูปถ่าย – 1) และ 3 จุด พิกัดทางดิ่ง X (จำนวนรูปถ่าย – 1) ซึ่งงานสำรวจในภูมิประเทศนี้ใช้งบประมาณจำนวนสูง อาจจะเกือบครึ่งหนึ่งของงบประมาณโครงการ จึงให้มีการตัดทอนเหลือเพียงบางจุดของงานทั้งหมด ไม่เกินร้อยละ 10 ส่วนที่เหลือจากการสำรวจในภูมิประเทศจะใช้วิธีการสร้างรูปจำลองขึ้นมาควบคุมด้วยจุดบังคับบางจุด แล้วทำการรังวัดจุดบังคับรูปถ่ายเพิ่มเติมให้ครบที่กำหนดไว้ จากผืนรูปจำลองต่อเนื่องเป็นการปฏิบัติงานในสำนักงานเรียกว่า “การขยายจุดบังคับรูปถ่ายทางอากาศ”

3.1.6 การเขียนแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศ (Plotting)

รูปถ่ายทางอากาศจะนำไปสร้างรูปจำลองสามมิติให้ปรากฏขึ้นในเครื่องมือเขียนแผนที่ โดยใช้ค่าพิกัดจุดบังคับรูปถ่ายทางอากาศ ปรับรูปจำลองให้ถูกต้องเสียก่อนแล้วจึงคัดลอกรายละเอียดที่ปรากฏเขียนเป็นลายเส้น ทางน้ำ ถนน เส้นชั้น ความสูง อาคารต่าง ๆ ทั้งนี้นำงานจำแนกรายละเอียดในสนาม (ข้อ 3.)มาประกอบการเขียนโดยตลอด

3.17 การประกอบระวางแผนที่ ผลจากการเขียนแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศนำไปสร้างเอกสารการพิมพ์เป็นเนกาตีฟสำหรับงานการพิมพ์ต่อไป ขั้นตอนนี้ เป็นงานของช่างฝีมือ และสิ้นเปลือง เช่น การทำแผ่นเนกาตีฟของเส้นชั้นความสูงที่มีรายละเอียดประกอบมากมาย อาจต้องใช้ระยะเวลาการเขียนขูด 8 – 12 สัปดาห์ ต่อ 1 แผ่น สำหรับผู้ปฏิบัติงาน 1 คน

ดังนั้นการใช้ระบบคอมพิวเตอร์มาทดแทนในส่วนนี้ จะทำให้ดำเนินการได้รวดเร็ว และไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ปฏิบัติที่มีความชำนาญสูงเช่นที่ผ่านมา

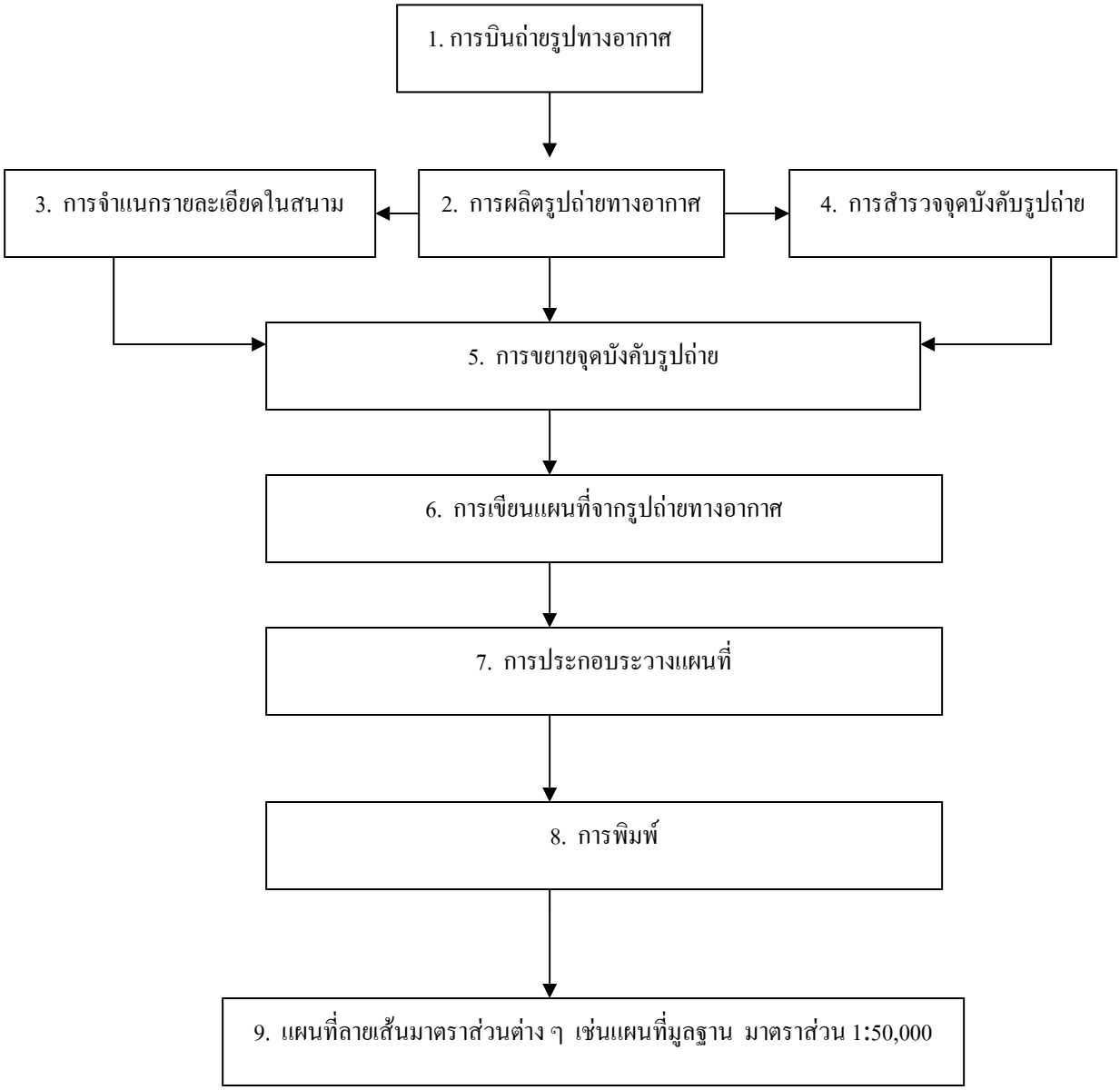
3.1.8 การพิมพ์

การทำแผนที่ลายเส้น (Line Maps) โดยนำเอกสารการพิมพ์มาจัดทำแผ่นแม่พิมพ์ (Printing Plate) แยกสีของการพิมพ์ระบบการพิมพ์หน้าราบ (OFFSET) ได้แก่ สีดำ สีแดง สีน้ำเงิน สีเขียว สีน้ำตาล ตามลักษณะของรายละเอียด เช่น

- สีดำและสีแดงจัดพิมพ์รายละเอียดสิ่งก่อสร้าง ชื่อ กรอบระวาง เส้นกริด ฯ
- สีน้ำเงินจัดพิมพ์รายละเอียดทางน้ำ
- สีเขียวใบไม้จัดพิมพ์รายละเอียดพฤกษชาติ เช่น ป่าไม้ สวน ไร่
- สีน้ำตาลจัดพิมพ์รายละเอียดแสดงความสูง จำพวกเส้นชั้นความสูง จุดความสูงที่ยังมิได้ตรวจสอบ

ดำเนินการพิมพ์บนกระดาษที่มีคุณสมบัติเฉพาะสำหรับงานแผนที่ (มีความคงตัว และไม่แปรสภาพง่ายเมื่อสัมผัสความชื้น ฯ)

<u>หมายเหตุ</u> การจัดทำแผนที่ภาพถ่าย (Photo Map) ซึ่งเป็นแผนที่รูปถ่ายทางอากาศลักษณะรูปถ่ายดัดแก้ (Rectified Photo) หรือรูปถ่ายออร์โธ (Ortho Photo) จะดำเนินการในขั้นตอนที่ 6. และผลิตออกมาเป็นแผนที่ภาพถ่าย

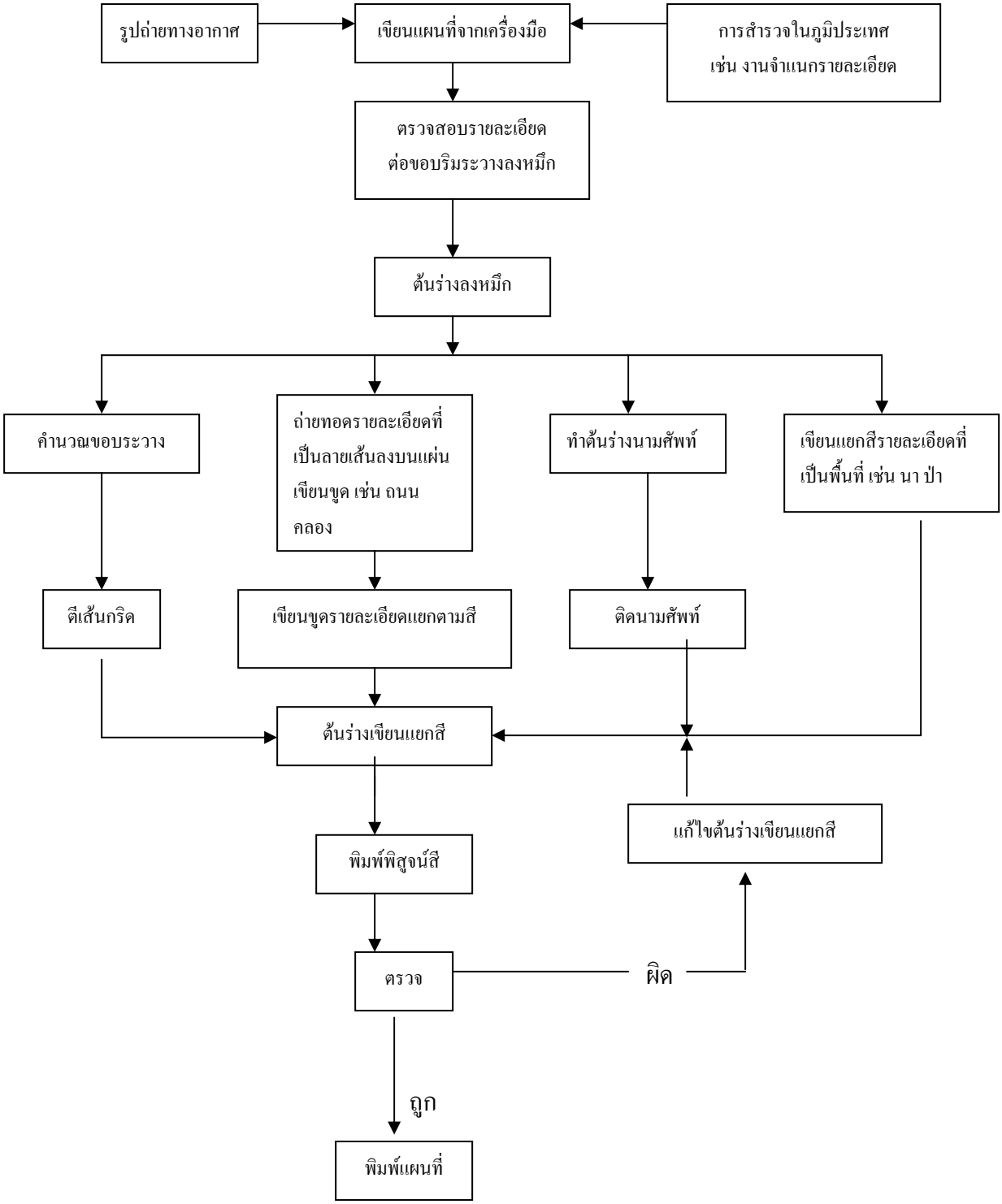


แผนภูมิที่ 1 : แสดงการผลิตแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศ

ต่อมาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาและมีบทบาทในการผลิตแผนที่เพิ่มมากขึ้น จึงได้ถูกนำมาใช้ทดแทนแรงงานเจ้าหน้าที่ชำนาญการ (skilled operator and draft man) โดยเฉพาะตั้งแต่ขั้นตอนที่ 5. ถึงขั้นตอนที่ 9. ผลผลิตที่ได้เป็นแผนที่เชิงเลข (Digital Maps) ซึ่งสามารถแสดงให้เห็นได้ในจอคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า Soft Copy หรือพิมพ์ออกเป็นแผนที่ลายเส้นที่เรียกว่า Hard Copy นอกจากนี้เมื่อ Digital Map ได้ถูกนำไปจัดทำในรูปของฐานข้อมูล (Data Base) สามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวางซึ่งจัดทำได้รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลแผนที่ในอนาคต ทั้งนี้อาจจะเปรียบเทียบขั้นตอนได้จากรูป (พ.อ.ทวีวัฒน์ ธรรมบำรุง : 2536:51-52)

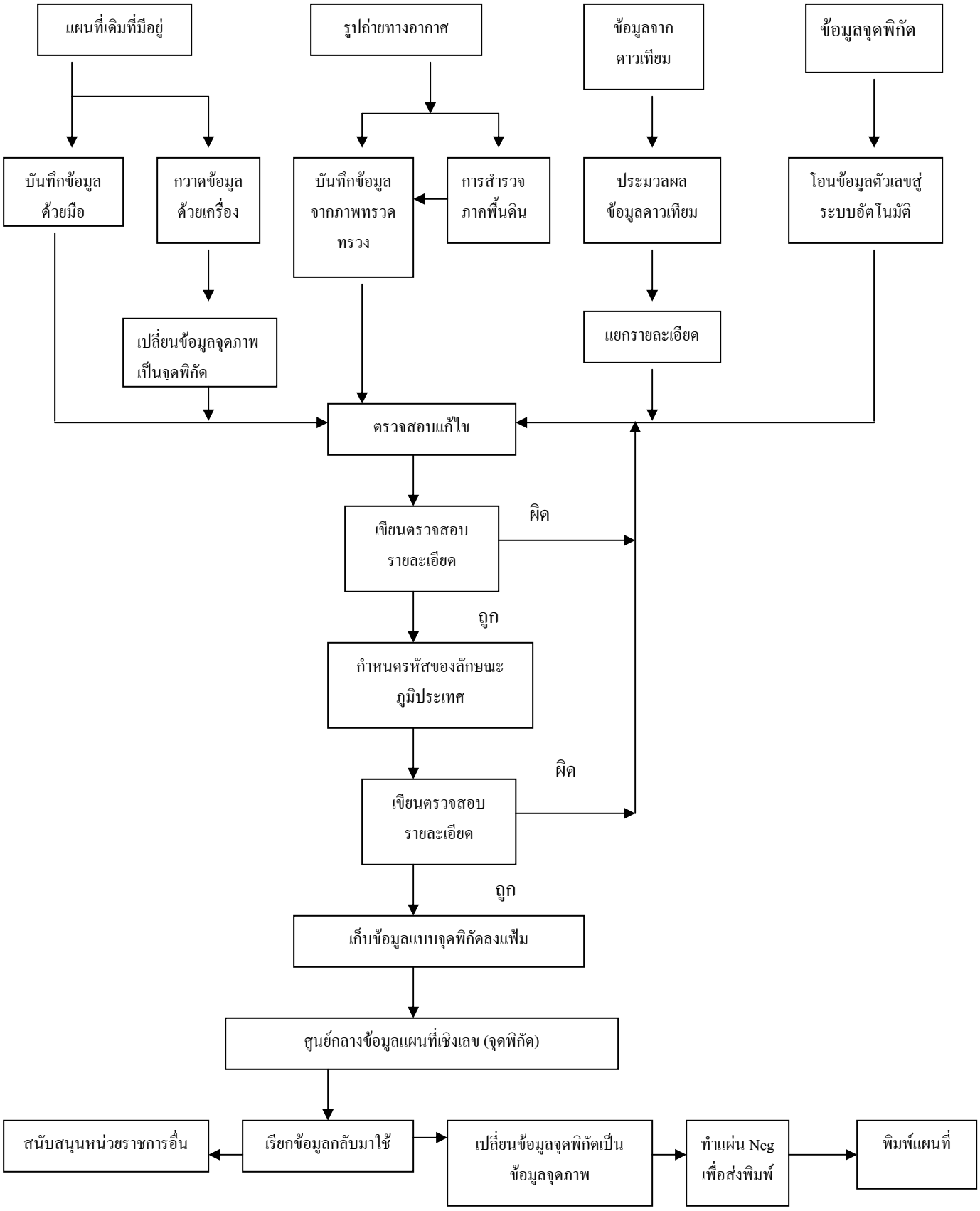
3.2 การแก้ไขแผนที่ (Map Revision)

ลำดับการผลิตแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศเริ่มต้นตั้งแต่การบินถ่ายรูปทางอากาศ การสำรวจจุดบังคับรูปถ่าย การสำรวจจำแนกรายละเอียดในภูมิประเทศ การเขียนแผนที่ การประกอบระวางเพื่อจัดทำเอกสารการพิมพ์ และสุดท้ายคือการพิมพ์ ในโครงการที่มีพื้นที่กว้างขวาง การดำเนินการอาจใช้ระยะเวลาผลิตมากถึง 3 ปี ดังนั้นเมื่อแผนที่แผ่นแรกออกจากแท่นพิมพ์ ความทันสมัยของรายละเอียดในแผนที่จะขาดหาย ดังนั้นเมื่อถึงระยะเวลาหนึ่งจึงมีความจำเป็นต้องทำการแก้ไขแผนที่ การแก้ไขแผนที่อาจจะดำเนินการเป็นวงรอบของเวลาเช่น 5 ปี หรือตามความจำเป็นของการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของรายละเอียด อาทิ การเจริญเติบโตของเขตเมือง ที่มีอาคาร ถนน ฯ เพิ่มขึ้น การแก้ไข จึงเป็นการเพิ่มเติมรายละเอียดลงในแผนที่เดิม หรือลงบนแผ่นบริวาร (Overlay) หากรายละเอียดในแผนที่มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าร้อยละ 70 มักจะดำเนินการจัดทำใหม่ ตามแผนภูมิที่ 2



แผนภูมิที่ 2 : ขั้นตอนการแก้ไขแผนที่ภูมิประเทศโดยใช้รูปถ่ายทางอากาศ

ในกรณีที่ข้อมูลแผนที่ถูกจัดทำโดยใช้ระบบแผนที่อัตโนมัติ (Automated Mapping) ซึ่งจะได้ผลผลิตเป็นแผนที่เชิงเลข (Digital Map) ข้อมูลแผนที่ในรูปของ Soft Copy ในฐานข้อมูล จะถูกนำมาประมวลผลเข้ากับข้อมูลรายละเอียดใหม่เพิ่มเติม ข้อมูลเพิ่มขึ้นใหม่อาจได้จากรูปถ่ายทางอากาศล่าสุด ข้อมูลจากภาพดาวเทียม ข้อมูลจากกล้องรังวัดที่มีการบันทึกตำแหน่งรายละเอียดในระบบคอมพิวเตอร์ รูปแบบข้อมูลจุดพิกัด เป็นต้น กรณีนี้การแก้ไขแผนที่กระทำได้รวดเร็วในการเพิ่มเติมข้อมูลใหม่เข้า และประมวลผลจนถึงผลผลิตขั้นสุดท้ายเป็นแผนที่เชิงเลขที่แก้ไขแล้ว ตามแผนภูมิที่ 3

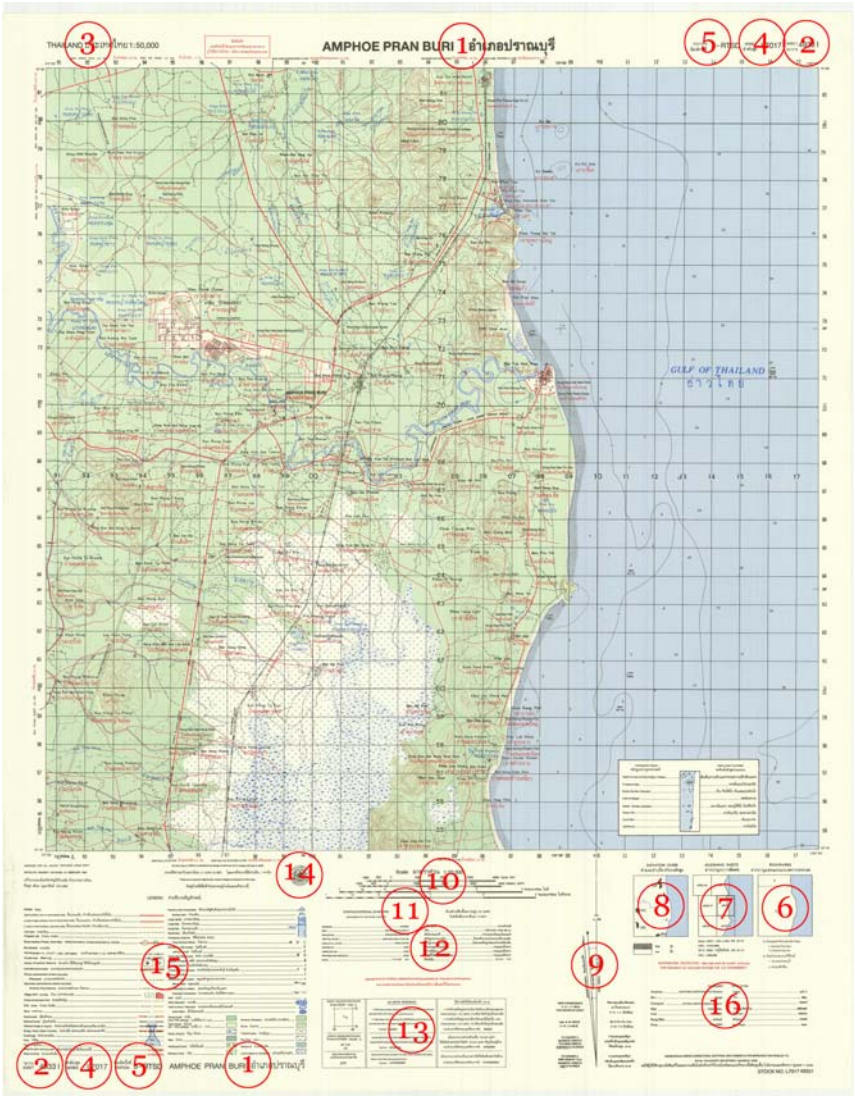


แผนภูมิที่ 3 : ขั้นตอนการแก้ไขแผนที่ภูมิประเทศโดยใช้ระบบอัตโนมัติ

บทที่ 3

รายละเอียดขอบระวางและเครื่องหมาย

แผนที่เป็นอุปกรณ์อย่างหนึ่งเช่นเดียวกับอุปกรณ์หรือเครื่องมือเครื่องใช้อื่น ๆ มีคำแนะนำการใช้จากผู้ผลิตให้ได้ศึกษา คำแนะนำสำหรับแผนที่ปรากฏโดยรอบกรอบระวางเรียกว่า รายละเอียดขอบระวาง (Marginal Information) และเครื่องหมาย (Symbols) **ผู้ใช้แผนที่ควรต้องศึกษาเป็นลำดับแรกอย่างรอบครอบก่อนเสมอ**ซึ่งแผนที่มาตราส่วนต่าง ๆ จัดพิมพ์รายละเอียดขอบระวางแสดงไว้แตกต่างกัน เพื่อการใช้แผนที่มาตราส่วนที่แตกต่างออกไปและนอกเหนือจากแผนที่ใช้ประจำให้ถูกต้องตรงตามวัตถุประสงค์การทำแผนที่



ภาพที่ 6 รายละเอียดขอบระวางแผนที่

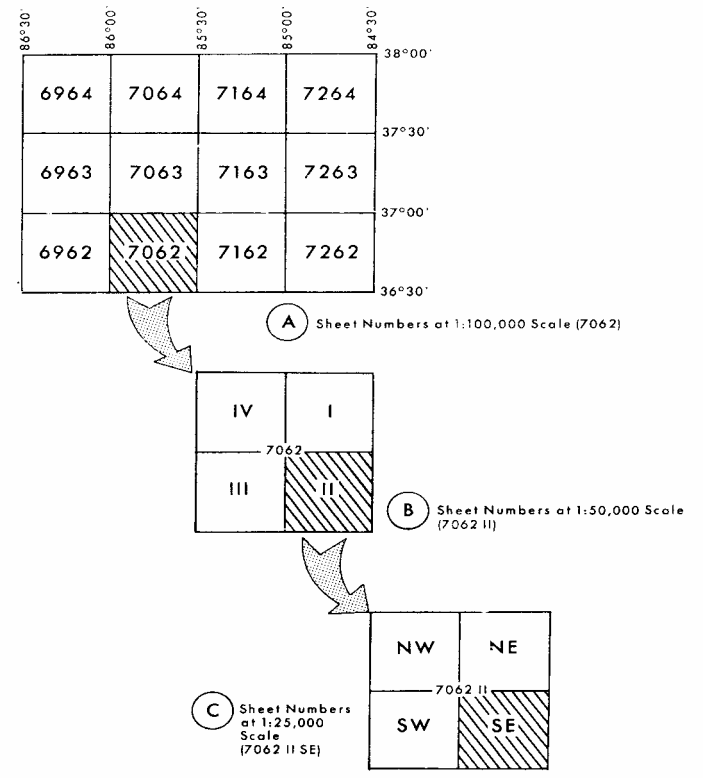
ภาพที่ 7 แผนที่ภูมิประเทศ

1. รายละเอียดขอบระวางแผนที่ทางทหาร

รูปแผนที่ตัวอย่างหน้า 26 แสดงแผนที่ขนาดย่อจากแผนที่มาตราส่วน 1: 50,000 หมายเลขลำดับชุด L 7017 หมายเลขระวาง 4933 I ชื่อระวางอำเภอปราณบุรี (ระวางเดียวกับแผนที่แนบท้าย) ตัวเลขปรากฏในวงกลมแสดงแทนตำแหน่งการเรียกชื่อรายละเอียดขอบระวางและเครื่องหมายตามลำดับดังปรากฏต่อไปนี้

1.1 **ชื่อระวาง** (Sheet Name) ปรากฏกึ่งกลางระวางด้านบนและด้านล่างซ้ายขอบแผนที่ ได้แก่ “อำเภอปราณบุรี Amphoe Pran Buri” การตั้งชื่อระวาง ตั้งตามชื่อภูมิศาสตร์ที่เป็นสถานที่ตามที่แผ่นที่ระวางนั้นครอบคลุม หรือตั้งชื่อตามรายละเอียดทางวัฒนธรรมขนาดใหญ่ อาทิเช่น ชุมชุนหรือชื่อเมืองขนาดใหญ่

1.**2 หมายเลขระวาง** (Sheet Number) ปรากฏด้านบนขวาและด้านล่างซ้ายขอบระวาง อำนวยความสะดวกในการจัดเก็บและแสดงในกรอบสี่เหลี่ยมกึ่งกลางของสารบาญระวางติดต่อตรงขอบด้านล่างขวาได้แก่ “4933 I” ใช้เป็นหมายเลขในการค้นหาระวางข้างเคียงเชื่อมต่อเพื่อการใช้วางแผนที่มีการปฏิบัติต่อเนื่องในพื้นที่กว้างขวางมากกว่าแผนที่ระวางนั้นครอบคลุมถึง สำหรับแผนที่มาตราส่วน 1:100,000 หรือใหญ่กว่า หมายเลขระวางนี้จัดเป็นมูลฐานอ้างอิงใช้กำหนดปรับจำนวนระวางแผนที่มาตราส่วน 1: 100,000 , 1:50,000 และ 1: 25,000



ภาพที่ 8 กำหนดหมายเลขระวางแผนที่

1.3 ชื่อชุดและมาตราส่วน (Sheet Name And Scale) ปรากฏขอบบนด้านซ้ายได้แก่ “ประเทศไทย มาตราส่วน 1:50,000” กำหนดขึ้นตามการปกครองหลักที่รู้จักเป็นสากล สำหรับมาตราส่วนปรากฏกึ่งกลางด้านล่างขอบระวางอีกตำแหน่งหนึ่งแสดงไว้ในลักษณะสัดส่วนเป็นอัตราส่วนระหว่างระยะทางบนแผนที่ (M.D.) กับระยะทางในภูมิประเทศหรือผิวโลก (G.D.) ได้แก่ 1:50,000

1.4 หมายเลขลำดับชุด (Series Number) ปรากฏขอบบนด้านขวาและขอบล่างด้านซ้ายได้แก่ “L 7017” เพื่อการใช้ค้นหาแผนที่ชุดอื่น ๆ ในกรณีต้องการใช้แผนที่มากกว่า 1 ชุด หมายเลขลำดับชุดประกอบด้วยตัวอักษรหรือตัวเลขอย่างใดอย่างหนึ่งตามตัวอย่าง อักษร “L” และตามด้วยตัวเลขจำนวน 4 ตำแหน่ง เช่น “7017” “องค์ประกอบ” ทั้งนี้เป็นตัวอักษรและเป็นตัวเลขแทนความหมายดังนี้

1.4.1 องค์ประกอบที่ 1 เป็นได้ทั้งตัวอักษรหรือตัวเลข กรณีเป็นตัวอักษรหมายถึง บริเวณภูมิภาคใดภูมิภาคหนึ่งและกรณีเป็นตัวเลขหมายถึงเลขชุดประจำพิภพ

1.4.2 องค์ประกอบที่ 2 เป็นตัวเลขเสมอได้แก่ “7” ใช้แทนมาตราส่วนแผนที่ตามกลุ่มมาตราส่วนดังนี้

ก) ตัวเลข 1 หมายถึง มาตราส่วน 1: 5,000,000 และเล็กกว่า

ข) ตัวเลข 2 หมายถึง มาตราส่วนระหว่าง 1:5,000,000 ถึง 1:2,000,000

ค) ตัวเลข 3 หมายถึง มาตราส่วนระหว่าง 1:2,000,000 ถึง 1: 510,000

ง) ตัวเลข 4 หมายถึง มาตราส่วนระหว่าง 1: 510,000 ถึง 1: 255,000

จ) ตัวเลข 5 หมายถึง มาตราส่วนระหว่าง 1:255,000 ถึง 150,000

ฉ) ตัวเลข 6 หมายถึง มาตราส่วนระหว่าง 1: 150,000 ถึง 1: 70,000

ช) ตัวเลข 7 หมายถึง มาตราส่วนระหว่าง 1:70,000 ถึง 1: 35,000

ซ) ตัวเลข 8 หมายถึง มาตราส่วนใหญ่กว่า 1:35,000 โดยไม่รวมแผนที่ตัวเมือง

ฌ) ตัวเลข 9 แสดงเป็นแผนที่ผังเมือง เช่น L 9013

1.4.3 องค์ประกอบที่ 3 เป็นตัวเลขได้แก่ “0” แสดงพื้นที่ส่วนย่อยเกิดจากการแบ่งพื้นที่ภูมิภาคใหญ่ (องค์ประกอบที่ 1) ออกเป็นส่วนย่อย

1.4.4 องค์ประกอบที่ 4 เป็นตัวเลขแสดงลำดับการผลิตแผนที่ชุดแผนที่ครอบคลุมพื้นที่ในภูมิภาคใหญ่พื้นที่เดียวกัน มาตราส่วนเดียวกันมีลำดับเลขเพิ่มขึ้นทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นแผนที่ชุดใหม่เช่น “17”

สรุปหมายเลขลำดับตามลักษณะองค์ประกอบดังนี้

ตัวอักษร L แทนภูมิภาคใหญ่

ตัวเลข 7 แทนมาตราส่วนในกลุ่ม มาตราส่วน 1:50,000

ตัวเลข 0 แทนพื้นที่ส่วนย่อยของภูมิภาคใหญ่ที่ประเทศไทยตั้งอยู่

ตัวเลข 17 แทนลำดับการผลิตแผนที่ โดยแผนที่ประเทศไทยชุดต่อไปจะนำตัวเลข “18” มาทดแทน

1.4.5 องค์ประกอบที่ 5 ในกรณีที่มีการเพิ่มเติมการทำแผนที่เป็นแผนที่ภาพถ่าย และเป็นแผนที่ที่จัดทำขึ้นใช้ในความมุ่งหมายพิเศษ แสดงด้วยตัวอักษร “S” สีดำ

1.5 หมายเลขครั้งที่การพิมพ์ (Edition Number) ปรากฏด้านบนขวา และด้านล่างซ้ายขอบระวางแสดงจำนวนครั้งที่การพิมพ์เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับครั้งที่การพิมพ์ก่อนหน้า อาจปรากฏข้อความสถานที่จัดพิมพ์ประกอบได้แก่ “2-RTSD” และข้อความสถานที่จัดพิมพ์เหนือสัญลักษณ์ขอบล่างด้านซ้ายแสดงข้อมูลบ่งบอกเวลาการจัดทำแผนที่แสดงความทันสมัยของ
แผนที่

1.6 สารบัญแสดงแนวแบ่งเขต (Index To Boundary) ปรากฏภายในกรอบแผนที่ขนาดย่อ ด้านล่างขวาขอบระวางแสดงลักษณะเส้นของการปกครองท้องที่ เขตอำเภอ เขตจังหวัด และ/หรือ เขตประเทศ เป็นเขตความรับผิดชอบในการปกครองพื้นที่โดยสังเขปตรงกับบนแผนที่

1.7 สารบัญระวางติดต่อ (Adjoining Sheets Diagram) ปรากฏในกรอบแผนที่ แผนภาพ ขนาดย่อด้านล่างขวา แสดงหมายเลขระวางมาตราส่วนเดียวกัน เป็นรูปสี่เหลี่ยมแทนระวางแผนที่ต่อเนื่อง ด้านล่างกรอบแผนภาพแสดงข้อความมาตราส่วนแผนที่ระวางที่ใช้งาน ซึ่งปรากฏในแผนที่มาตราส่วน 1:250,000 ไว้ด้วย

1.8 คำแนะนำเกี่ยวกับระดับสูง (Elevation Guide) ปรากฏด้านล่างขวาแสดงลักษณะความสูงของภูมิประเทศเป็นภาพย่อ ลักษณะพื้นที่ภูมิประเทศของแผนที่ระวางนั้นที่แถบสีระดับสูง จุดความสูง และทางน้ำหลัก อำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้แผนที่ในการพิจารณาพื้นที่สูงข่มอย่างรวดเร็วแทนการค้นหาแผนที่ รวมทั้งทิศทางการไหลของน้ำ

1.9 แผนผังมุมเยื้อง (Declination Diagram) ปรากฏด้านล่างขอบแผนที่ แสดงแนวทิศเหนือ ซึ่งเป็นทิศหลัก ได้แก่ทิศเหนือกริด ทิศเหนือแม่เหล็ก และทิศเหนือภูมิศาสตร์ (ทิศเหนือจริง) แสดงความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เพื่อนำไปใช้ในการปรับแก้มุมแอซิมัท (Azimuth) เช่น จากแอซิมัทกริดเป็นแอซิมัทแม่เหล็กหรือกลับกัน หรือจากแอซิมัทชนิดหนึ่งเป็นแอซิมัทอีกชนิดหนึ่งตามต้องการ

1.10 มาตราส่วนเส้นบรรทัด (Bar Scale) ปรากฏกึ่งกลางด้านล่างลักษณะดังเช่นไม้บรรทัดใช้วัดระยะหรือเปรียบเทียบระยะโดยเปลี่ยนระยะบนแผนที่เป็นระยะในภูมิประเทศ จัดสร้างขึ้นให้สัมพันธ์กับมาตราส่วน แสดงหน่วยวัดระยะ 3 แบบ หรือมากกว่า อาทิ หลา เมตร ไมล์ และไมล์ทะเล

1.11 ช่วงต่างเส้นชั้นความสูง (Contour Interval Note) เป็นข้อความปรากฏกึ่งกลางด้านล่างขอบระวางใต้มาตราส่วนเส้นบรรทัด เป็นระยะตามแนวเส้นดิ่งระหว่างเส้นชั้นความสูงรองสองเส้นหน่วยเป็นเมตร หากปรากฏมีเส้นชันความสูงแทรกจะแสดงตัวเลขประกอบไว้ด้วย

1.12 บันทึกหมายเหตุอื่น ๆ ปรากฏกึ่งกลางด้านล่างขอบระวาง

1.12.1 หมายเหตุ รูปสัณฐาน (Spheroid Note) แสดงชนิดของรูปสัณฐานของโลกที่ใช้ในการจัดทำแผนที่ฉบับนั้น ๆ

1.12.2 หมายเหตุ เกี่ยวกับเส้นกริด (Grid Note) แสดงข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ระบบกริดและระยะห่างระหว่างเส้นกริด พร้อมกับแจ้งหมายเลขเขตกริด

1.12.3 หมายเหตุ การฉายแบบ (Projection Note) ระบบการฉายแบบครอบของแผนที่หรือเส้นโครงแผนที่ เป็นชนิดรักษามุม (Conformal Type) ทำให้พื้นที่ขนาดเล็กจะมีรูปร่างถูกต้อง ค่ามุมที่รังวัดใกล้เคียงค่าที่ถูกต้อง และตัวประกอบมาตราส่วน (Scale Factor) มีค่าทิศทางของจุดเท่ากัน

1.12.4 หมายเหตุ หลักฐานทางดิ่ง (Vertical Datum Note) แสดงพื้นฐานทางดิ่งหรือพื้นหลักฐานควบคุมทางดิ่งอ้างอิงกับผิวระดับทะเลปานกลาง : รทก. (Mean Sea Level : MSL) ค่าระดับสูงของจุดต่าง ๆ สถานที่ต่าง ๆ อ้างอิงจากพื้นฐานนี้

1.12.5 หมายเหตุ หลักฐานทางราบ (Horizontal Datum Note) แสดงพื้นหลักฐานทางราบหรือพื้นหลักฐานควบคุมทางราบในการกำหนดจุดยีออเดติคอ้างอิง ที่เป็นหมุดหลักเริ่มแรกสำหรับการสำรวจจุดบังคับทางราบ ผู้ใช้แผนที่ควรตรวจสอบหมายเหตุพื้นหลักฐานทางราบ โดยเฉพาะแผนที่ระวางข้างเคียง ต้องเป็นพื้นหลักฐานแบบเดียวกัน ทั้งนี้หากเกิดความแตกต่างของพื้นหลักฐานจะทำให้ค่าพิกัดยูทีเอ็มของจุดเดียวกันเกิดความแตกต่างของระยะทางประมาณ 900 เมตร

1.12.6 หมายเหตุ การพิมพ์ (Printing Note) แสดงสถานที่พิมพ์แผนที่และวันที่ทำการพิมพ์

1.13 กรอบอ้างอิงค่ากริด (Grid Reference Box) ปรากฏกึ่งกลางด้านล่างขอบระวางบรรจุคำแนะนำการอ่านพิกัดกริด และคำแนะนำสำหรับการอ้างอิงการใช้เส้นกริด

1.14 เครื่องหมายหน่วย (Unit Imprint and Symbol) ปรากฏด้านล่างซ้ายเป็นรูปเครื่องหมายหน่วยจัดพิมพ์ ผู้ผลิตแผนที่เป็นข้อมูลในการประเมินค่าความน่าเชื่อถือแผนที่ที่ผลิต

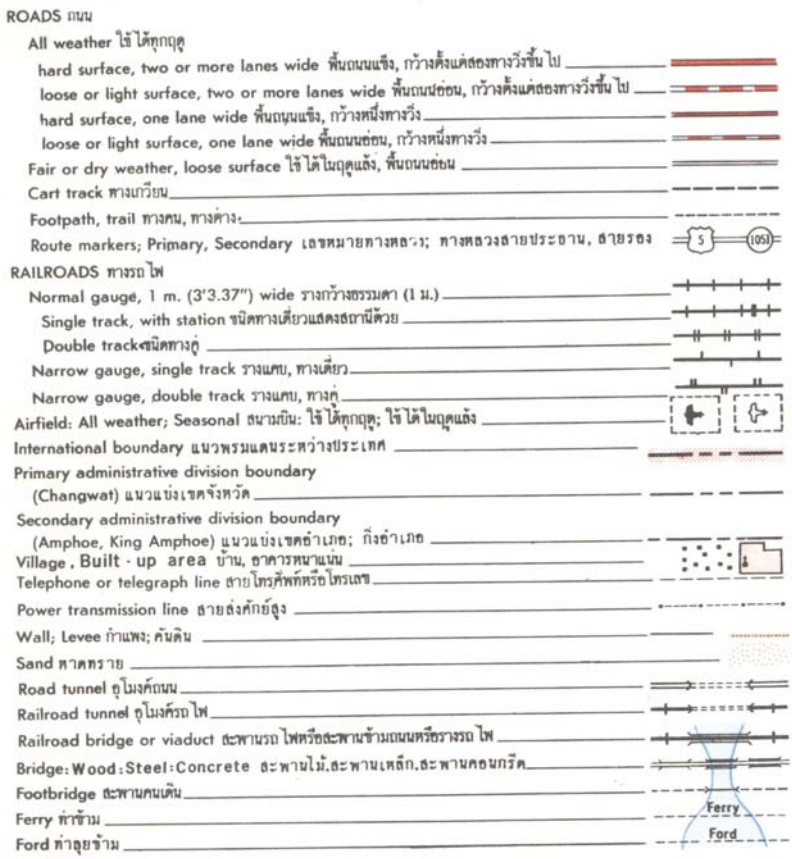
1.15 สัญลักษณ์ (Legend) ปรากฏด้านล่างซ้ายขอบระวางเป็นข้อความอธิบายการใช้ลักษณะเครื่องหมายและสี แทนรายละเอียดที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและที่มนุษย์สร้างขึ้นที่นำไปใช้แสดงบนแผนที่เพื่อให้ผู้ใช้แผนที่ทราบว่า เครื่องหมายที่ปรากฏบนแผนที่นั้นใช้รูปแทนรายละเอียดด้วยรูปอะไรมีความหมายอย่างไร ซึ่งสัญลักษณ์เหล่านี้เป็นสากล โดยแผนที่แต่ละแบบจะใช้สัญลักษณ์แตกต่างกัน

1.16 ศัพทานุกรม (Glossary) ปรากฏด้านล่างขอบระวางแผนที่ แสดงความหมายนามศัพท์จากภาษาพื้นเมืองเป็นภาษาอังกฤษ

2. เครื่องหมายแผนที่ภูมิประเทศ

2.1 สัญลักษณ์แผนที่

วัตถุประสงค์หลักการใช้แผนที่ ต้องการช่วยให้ผู้ใช้แผนที่มองเห็นแผนที่ที่มีรายละเอียดตรงกับความเป็นจริงกับบนผิวโลก โดยแนวทางอุดมคติรายละเอียดในพื้นที่ตามที่แผนที่นั้นครอบคลุมต้องจัดแสดงรายละเอียดไว้บนแผนที่ทั้งหมด แต่ความเป็นจริงแผนที่ไม่สามารถแสดงได้ตรงตามความจริง ที่ปรากฏบนผิวโลก บางสิ่งอาจไม่มีความสำคัญ บางอย่างอาจมีขนาดเล็ก หากนำมาย่อขนาดตามมาตราส่วนจะมีขนาดเล็กจนไม่สามารถจำรูปลักษณ์ได้ ทำให้ต้องใช้เครื่องหมายหรือสัญลักษณ์แทนรูปลักษณ์สิ่งต่าง ๆ โดยกำหนดให้มีความเป็นสากล คล้ายคลึงหรือมีเอกลักษณ์บางอย่างประกอบเท่าที่จะเป็นได้ และสามารถมองภาพจากที่สูงเข้าใจได้



ภาพที่ 9 สัญลักษณ์แผนที่

2.2 เครื่องหมายทหาร

โดยนัยเดียวกันกับสัญลักษณ์แผนที่ความต้องการของบุคลากรทางทหาร มีความประสงค์ใช้เครื่องหมายแสดง ขนาด ชนิด ที่ตั้ง นามหน่วย การเคลื่อนย้ายตลอดถึงกิจกรรรมทางทหารอื่น ๆ เครื่องหมายรายละเอียดเหล่านี้ เรียกว่า “เครื่องหมายทางทหาร” ปกติไม่แสดงไว้เป็นการถาวรบนแผนที่ เนื่องจากเป็นการแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนย้าย และการรักษาความปลอดภัยหน่วยทหาร จึงนิยมนำไปแสดงไว้บนแผนที่พิเศษ หรือแผ่นบริวาร ผู้ใช้แผนที่จะเป็นผู้เขียนเครื่องหมายทางทหารเหล่านั้นด้วยตนเอง เพื่อการรักษาความปลอดภัย

2.3 สีกับสัญลักษณ์

รายละเอียดภายในขอบระวางแผนที่ใช้สัญลักษณ์ช่วยในการอ่านลักษณะรายละเอียดภูมิประเทศ และเพื่อให้สะดวกในการอ่านแผนที่ ผู้ทำแผนที่พยายามใช้สีประกอบเครื่องหมายให้กับความแตกต่างกันให้เห็นอย่างชัดเจน และใช้สีกับสิ่งที่เป็นรายละเอียดตามสีในธรรมชาติ การให้ความหมายของสัญลักษณ์อาจแตกต่างกันตามประเภทของแผนที่ มาตราส่วนและแหล่งกำเนิด สัญลักษณ์ที่ใช้บนแผนที่แต่ละประเภทเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะเห็นความแตกต่างที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน สีแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วนใหญ่ใช้สีของสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

2.3.1 สีดำ แสดงแทนรายละเอียดสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น รวมทั้งรายละเอียดที่มีความสำคัญทางวัฒนธรรม

2.3.2 สีแดง แสดงรายละเอียดถนนสายหลัก และลักษณะภูมิประเทศพิเศษ

. 2.3.3 สีน้ำเงิน แสดงรายละเอียดแหล่งน้ำ อาทิ แม่น้ำ ทะเล ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ ลำธาร และบึง

2.3.4 สีเขียว แสดงรายละเอียดพืชพันธ์ไม้ อาทิ ป่า สวน ไร่ ความแตกต่างขอบเขตใช้ความแตกของระดับสีแทนความหนาแน่นของพืชพันธ์

2.3.5 สีน้ำตาล แสดงรายละเอียดทรวดทรงภูมิประเทศที่มีระดับสูง (ความสูง – ต่ำ) อาทิ ภูเขา ดินตัด ดินถม

2.3.6 สีอื่น ๆ บางโอกาสมีรายละเอียดอื่น ๆ อาจใช้สีนอกเหนือจากที่กล่าว แต่ได้กำหนดเป็นกฎ แน่นอนโดยต้องแจ้งให้ผู้ใช้แผนที่ทราบไว้ที่ขอบระวางแผนที่

ขนาดของสัญลักษณ์บางอย่างอาจมีขนาดใหญ่มากกว่าสมควรตามความจริงเนื่องจากวิถีการย่อขนาดตามมาตราส่วน กรณีเช่นนี้ถ้าสามารถกระทำได้ตำแหน่งของสัญลักษณ์ที่ถูกต้องควรเป็นที่จุดศูนย์กลางของสัญลักษณ์ เป็นจุดที่แท้จริงมากที่สุด แต่ก็มีข้อยกเว้นบ้างในกรณีรายละเอียดใกล้เคียงถนนสายหลักมีขนาดของถนนบนแผนที่ขนาดใหญ่ สัญลักษณ์ที่อยู่ใกล้ขอบถนนจะต้องเลื่อนห่างออกจากตำแหน่งแท้จริงเพื่อการคงไว้ซึ่งความสัมพันธ์ของรายละเอียดทั้งสอง

บทที่ 4

การกำหนดตำแหน่ง

1. การกำหนดตำแหน่ง

การบอกที่อยู่หรือที่นัดหมายใช้สื่อซึ่งกันและกันอย่างถูกต้องนั้น ระหว่างผู้สื่อต้องมีความรู้เกี่ยวกับตำแหน่งนัดพบ ความจำเป็นจึงต้องมีวิธีการกำหนดสถานที่ให้ชัดเจนแต่เป็นเรื่องที่กระทำได้ยาก ปกตินิยมใช้ชื่อเฉพาะของบริเวณที่รู้จักกันดีเป็นจุดอ้างอิงเป็นเครื่องนำทาง การที่จะใช้ได้เป็นผลดีจะเกิดขึ้นเฉพาะตัวเมืองที่มีเส้นทางขนาดใหญ่ สำหรับกิจการทหารต้องการทราบตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อใช้อาวุธยิงตรงและยิงจำลอง การสนับสนุนการยุทธทางอากาศและพื้นดิน การรักษาพยาบาลที่ตรงต่อที่หมายเพื่อการบรรลุความสำเร็จของภารกิจ ซึ่งองค์ประกอบของการบอกตำแหน่งครบถ้วนสมบูรณ์มีลักษณะดังนี้

1.1 ผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องเป็นผู้รู้รายละเอียดเกี่ยวกับพื้นที่และที่ตั้งมาก่อน

1.2 ใช้ได้เช่นเดียวกันกับพื้นที่ขนาดใหญ่

1.3 ใช้ได้กับแผนที่ทุกมาตราส่วน

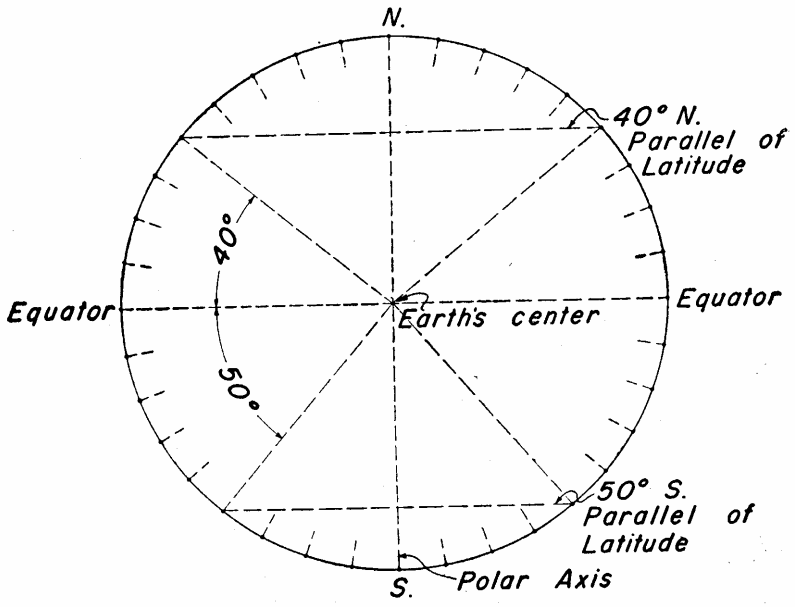
1.4 ไม่ต้องใช้ชื่อเฉพาะในพื้นที่พิจารณาเป็นเครื่องอ้างอิง

1.5 ทหารทุกคนสามารถเข้าใจและใช้ตรงกันได้

2. พิกัดภูมิศาสตร์

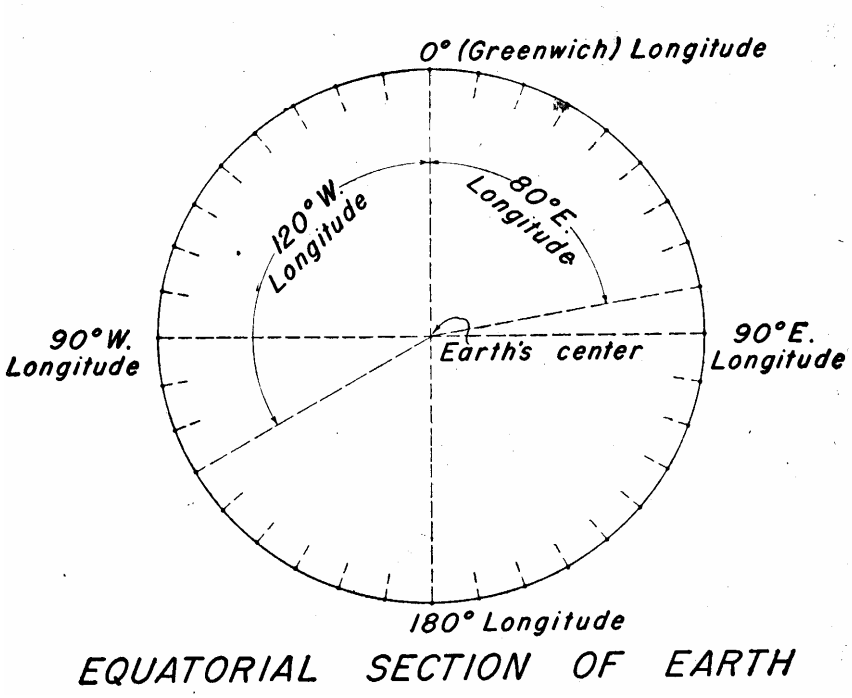
พิกัดภูมิศาสตร์เป็นระบบพิกัดเก่าแก่ระบบหนึ่งประกอบด้วยชุดวงกลมสองลักษณะลากตัดกันเป็นรูปตาข่ายครอบคลุมทั่วโลก ได้แก่ ชุดวงกลมที่ลากขนานกับเส้นศูนย์สูตร (เส้นกึ่งกลางโลกแบ่งโลกเป็นซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้) ในแนวทิศตะวันออก – ทิศตะวันตก เรียกว่าเส้นขนานละติจูดหรือเส้นขนาน (วางตัวในแนวนอน) และชุดวงกลมลากตัดและตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรโดยผ่านขั้วโลกเหนือ – ขั้วโลกใต้ เรียกว่า เส้นเมริเดียน (วางตัวในแนวตั้ง)

2.1 ระยะเชิงมุมในทิศทางเหนือ – ใต้ ของเส้นศูนย์สูตร คือ ละติจูด (LATITUDE) ของจุดนั้น วงกลมรอบโลกที่ขนานกับเส้นศูนย์สูตร เรียกว่า “เส้นรุ้ง : เส้นขนานละติจูด : เส้นขนาน (Parallel of Latitude or Parallel)” การอ่านค่าของเส้นละติจูด หรือการนับค่าระยะห่างใช้หน่วยค่ามุม ˚ องศา ' ลิปดา " ฟิลิปดา ประกอบทิศทางเหนือ (N) หรือใต้ (S) จากเส้นศูนย์สูตรมีค่าตั้งแต่ 0 - 90



ภาพที่ 10 ละติจูด

2.2 วงกลมที่เขียนรอบโลกให้ผ่านขั้วโลกเหนือ ขั้วโลกใต้ โดยตัดและตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตร เรียกว่า “เส้นแวง” หรือ “เส้นเมริเดียน” (Meridian) ซึ่งกำหนดให้เส้นเมริเดียนที่ผ่านเมืองกรีนิช ประเทศอังกฤษ เป็นเส้นแวงหลัก หรือเส้นเมริเดียนหลัก (Prime Meridian) บางครั้งเรียกว่า เมริเดียนกรีนิช (Greenwich Meridian) ระยะเชิงมุมไปทางทิศตะวันออกและทางทิศตะวันตกของเส้นเมริเดียนหลัก เป็นค่าเชิงมุมของเส้นแวงหรือเส้นเมริเดียนนั้น ๆ การอ่านค่าเชิงมุมประจำเส้นเมริเดียน หรือการนับระยะห่างใช้หน่วยค่ามุม ˚ องศา ´ ลิปดา ˝ พิลิปดา ประกอบทิศทางตะวันออก (E) หรือตะวันตก (W) จากเส้นเมริเดียนหลัก มีค่าตั้งแต่ 0˚ - 180˚



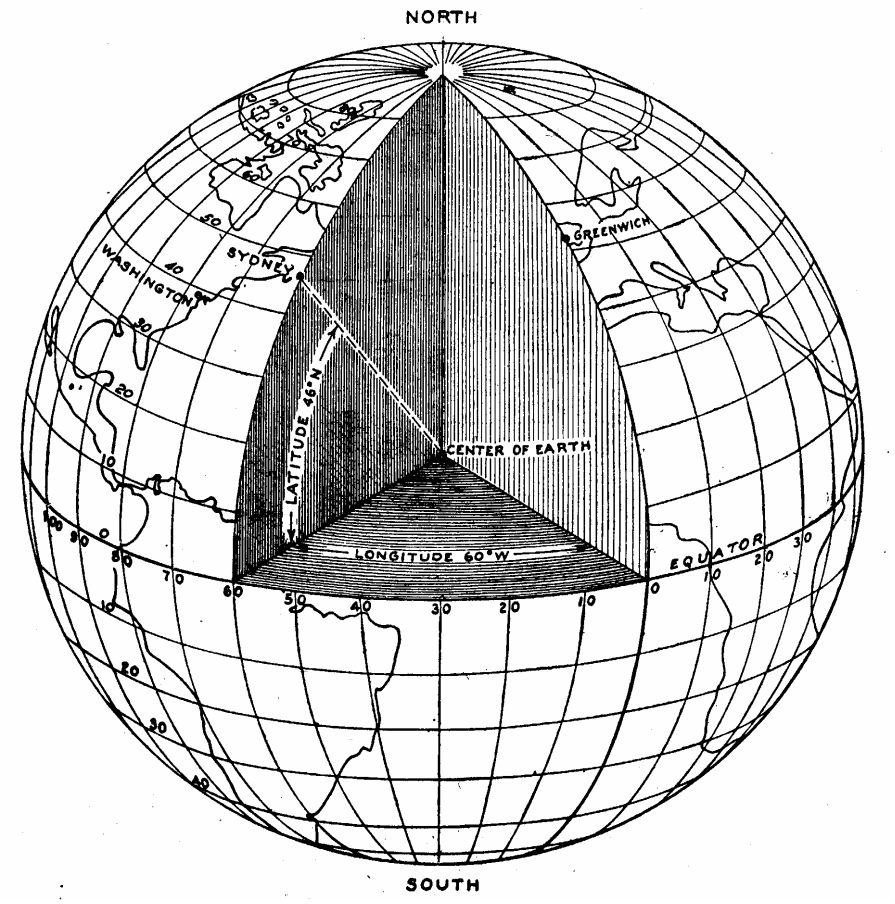
ภาพที่ 11 ลองจิจูด

2.3 การวัดระยะเชิงมุมของพิกัดภูมิศาสตร์ หน่วยนับค่าเชิงมุมโดยการแบ่งวงกลมเป็นจำนวน 360 ส่วน ๆ ละ 1˙ จำนวน 1˙ แบ่งส่วนเป็น 60 ' และจำนวน 1 ' แบ่งส่วนเป็น 60 "

การกำหนดค่ามุมประจำเป็นละติจูด กำหนดค่าประจำเป็นเส้นศูนย์สูตร 0˙ ค่าละติจูดเพิ่มจำนวนค่าขึ้นจนถึงขั้วโลกทั้งสองที่จุดขั้วโลกมีค่า 90˙ N และ 90˙ S ซึ่ง N หรือ S เป็นทิศทางของซีกโลกที่จุดพิจารณาตั้งอยู่

เส้นศูนย์สูตรถูกแบ่งด้วยเส้นเมริเดียนจำนวน 360 เส้น จากจุดตัดของเส้นเมริเดียนหลักกับเส้นศูนย์สูตร เป็นจุดศูนย์กำเนิดพิกัดภูมิศาสตร์จากจุดศูนย์กำเนิดนี้แบ่งระยะทางไปด้านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกตามเส้นศูนย์สูตรโดยการนับค่าต่อเนื่องถึงเส้นเมริเดียน 180˙ เส้นเมริเดียน เหล่านี้เพิ่มจำนวนค่ามากขึ้นสิ้นสุดที่ 180˙ E และ 180˙ W ซึ่ง E หรือ W เป็นทิศทางของซีกโลกที่จุดพิจารณาจุดเดียวกับจุดพิจาณาค่าละติจูดตั้งอยู่

นอกจากดังกล่าวนี้ ค่าพิกัดภูมิศาสตร์จะมีประโยชน์เพิ่มขึ้นกว่าการเป็นค่าพิกัดของจุดพิจารณาด้วยการนำระยะค่าเชิงมุมเปรียบเทียบกับหน่วยวัดระยะที่คุ้นเคย ทั้งนี้ระยะเชิงมุมขนาด 1 องศา ระหว่างจุดสองจุดบนเส้นศูนย์สูตร 1 องศา เป็นระยะทางเทียบเท่า 111 กิโลเมตร และค่าระยะทางจะลดน้อยลงเมื่อเพิ่มค่าละติจูดบนวงกลมขนานจากเส้นศูนย์สูตรจนถึงขั้วโลกทั้งสองที่ระยะทางจะลดลงเป็น 0 เมตร ในส่วนค่าเชิงมุมขนาด 1 " ซึ่งเป็นค่าเชิงมุมที่ละเอียดที่สุดจะเทียบได้กับระยะ 30 เมตร (100 ฟุต) ซึ่งถ้าพิจารณาเปรียบเทียบที่ละติจูด 30˚ N หรือ 30˚ S ระยะทางครอบคลุมมีความยาวเพียง 24 เมตร (78 ฟุต)



ภาพที่ 12 ค่าละติจูดและค่าลองจิจูด

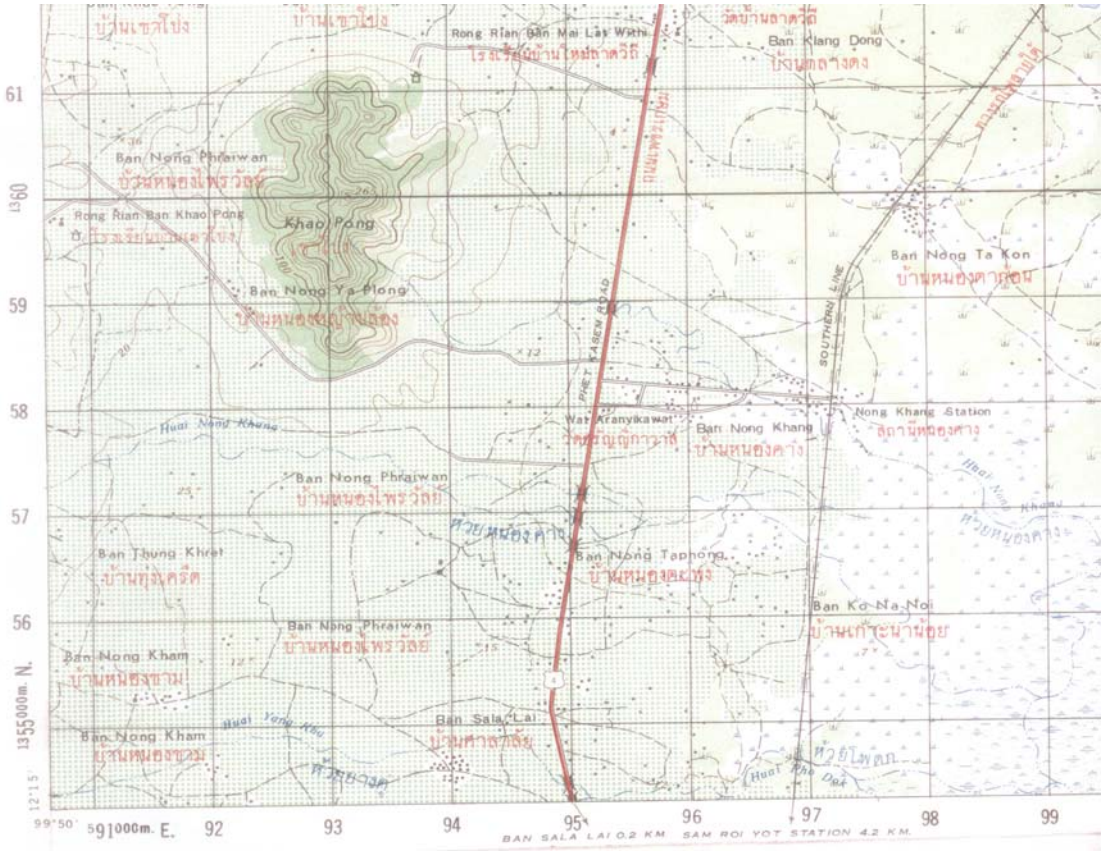
2.4 พิกัดภูมิศาสตร์บนแผนที่ทหารบางมาตราส่วนปรากฏเพียงการกำหนดตำแหน่งโดยอ้างอิงกับอีกจุดหนึ่งเท่านั้น เส้นที่ล้อมรอบพื้นที่สี่ด้านเป็นกรอบแผนที่แสดงเส้นละติจูด 1 คู่ และเส้นเมริเดียน 1 คู่ ลากตัดกันเป็นมุมซึ่งค่าละติจูดและค่าลองจิจูดปรากฏให้เห็นที่มุมทั้งสี่นี้ ดังแผนที่แนบท้าย ค่าละติจูดประจำเส้นละติจูดด้านล่างมีค่าละติจูดน้อยกว่าค่าประจำเส้นละติจูดด้านบน เนื่องจากเป็นค่าละติจูดที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรมากกว่า สำหรับค่าลองจิจูดประจำเส้นเมริเดียนบนด้านซ้ายมีค่าลองจิจูดน้อยกว่าค่าประจำเส้นเมริเดียนด้านขวา เนื่องจากเป็น เส้นเมริเดียนใกล้เส้นเมริเดียนหลักมากกว่าเส้นเมริเดียนด้านขวา ดังนี้

พิกัดภูมิศาสตร์มุมล่างด้านซ้าย คือละติจูด 12° 15′ ลองจิจูด 99° 50′

พิกัดภูมิศาสตร์มุมล่างด้านขวา คือ ละติจูด 12° 15′ ลองจิจูด 100° 05′

พิกัดภูมิศาสตร์มุมบนด้านซ้าย คือ ละติจูด 12° 30′ ลองจิจูด 99° 50′

พิกัดภูมิศาสตร์มุมบนด้านขวา คือ ละติจูด 12° 30′ ลองจิจูด 100° 05′



ภาพที่ 13 ค่าละติจูดและค่าลองจิจูด (มุมระวางแผนที่)

แสดงว่าค่าละติจูดของเส้นละติจูดด้านล่างแผนที่คือ 12° 15′ N และค่าละติจูดของเส้นละติจูดด้านบนแผนที่คือ 12° 30′ N สำหรับค่าลองจิจูดของเส้นเมริเดียนด้านซ้ายแผนที่คือ 99° 50′ E และค่าละติจูดของเส้นเมริเดียนด้านขวาแผนที่คือ 100° 05′ E ซึ่งมีระยะห่างเพิ่มขึ้น 15′ เท่ากัน ดังนั้น การครอบคลุมพื้นที่ของแผนที่ทางทหาร ชุด L 7017 มาตราส่วน 1: 50,000 ครอบคลุมพื้นที่ในภูมิประเทศเท่ากับ 15′ X 15′ หรือเป็นระยะทางประมาณ 27 กิโลเมตร X 27 กิโลเมตร (1′ ครอบคลุมระยะทาง 1.8 กม.)

ตามความยาวของกรอบแผนที่ทั้งสี่ด้านปรากฏขีดย่อยตามกรอบระยะห่างทุก ๆ 5′ ที่ความยาวเพิ่มขึ้นจากมุมล่างด้านซ้าย โดยกรอบด้านล่างและด้านบนปรากฏขีดย่อยของค่าลองจิจูดและกรอบด้านซ้ายและด้านขวาปรากฏขีดย่อยของค่าละติจูด ขีดย่อยนี้ใช้เป็นเครื่องหมายสำหรับตอบสนองความต้องการการอ่านพิกัดภูมิศาสตร์ในการครอบคลุมพื้นที่ขนาดที่น้อยลงให้ละเอียดมากขึ้น ทั้งนี้ภายในกรอบแผนที่หรือกรอบระวางแผนที่แสดงรูปกากบาด (+) ไว้สี่จุดซึ่งเกิดจากการลากเส้นเชื่อมต่อขีดย่อยตรงข้ามกันและกัน

การพิจารณาทิศทางจากแผนที่ตรงมุมล่างด้านซ้ายเพื่อต้องการทราบทิศทางของเส้นละติจูดและเส้นเมริเดียนให้พิจารณาจากค่าประจำเส้นกริดนอนต่อจากเส้นกรอบด้านล่างปรากฏจำนวนค่าระยะทางเป็นเมตรจากศูนย์กำเนิดเท็จประกอบ N หรือ S และค่าประจำเส้นกริดตั้งต่อจากเส้นกรอบด้านซ้ายปรากฏจำนวนค่าระยะทางเป็นเมตรจากจุดศูนย์กำเนิดเท็จเป็น E หรือ W ในที่นี้คือ N และ E เป็นเครื่องหมายบ่งชี้ซีกโลกที่แผนที่ระวางนี้ครอบคลุมอยู่และมีลักษณะเช่นเดียวกันทุกระวางแผนที่

2.5 การหาค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ณ จุดใด ๆ ที่ต้องการความละเอียดมากกว่าที่กำหนดไว้บนแผนที่มีวิธีการดังนี้

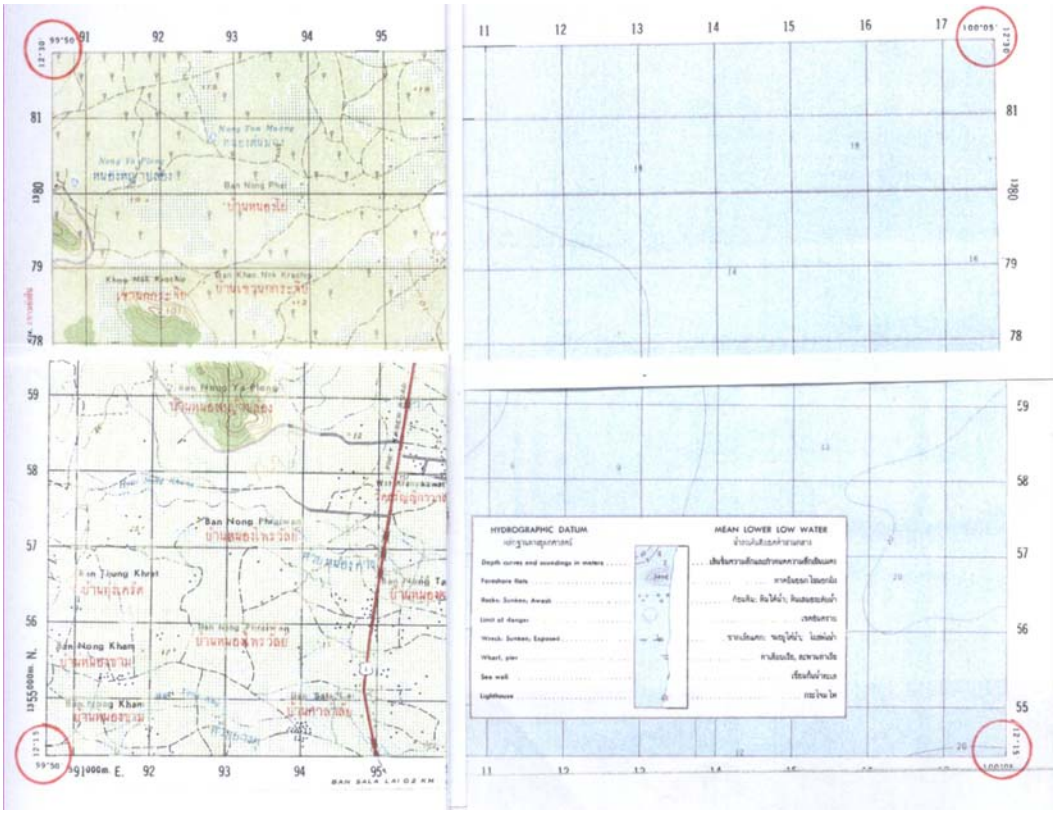
2.5.1 จัดทำไม้บรรทัดแบ่งส่วน 300 ส่วน โดยใช้ความยาวไม้บรรทัดให้ขีดส่วนหนึ่งของขีดหลัก 0 กับ 300 ส่วน ความยาวมากกว่า 18 เซนติเมตร ซึ่ง 300 ส่วนเป็นความยาวจำนวน 5′ ของระยะระหว่างคู่ละติจูดและลองจิจูด

2.5.2 ลากเส้นตรงเชื่อมต่อขีดย่อยเป็นกรอบล้อมรอบพื้นที่จุดพิจารณาตั้งอยู่

2.5.3 หาค่าละติจูดและค่าลองจิจูดทั้งสองคู่ ดังนี้

ละติจูด 12° 20′ 00″ N และ 12° 25′ 00″ N

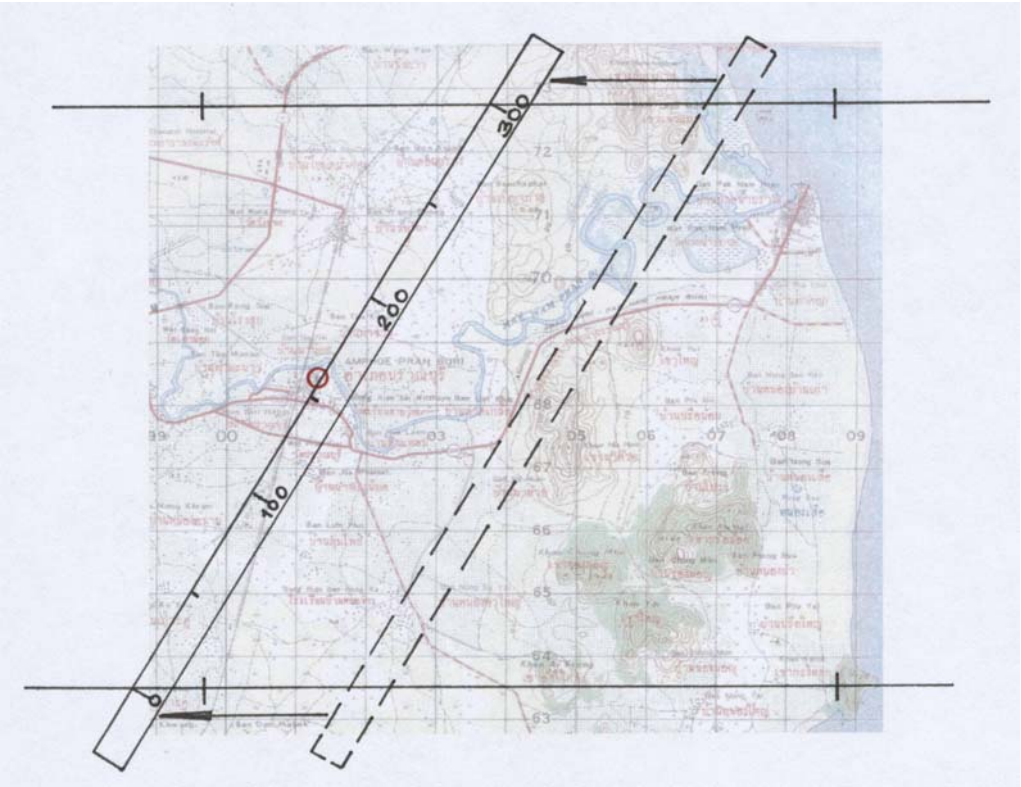
ลองจิจูด 99° 55′ 00″ E และ 100° 00′ 00″ E



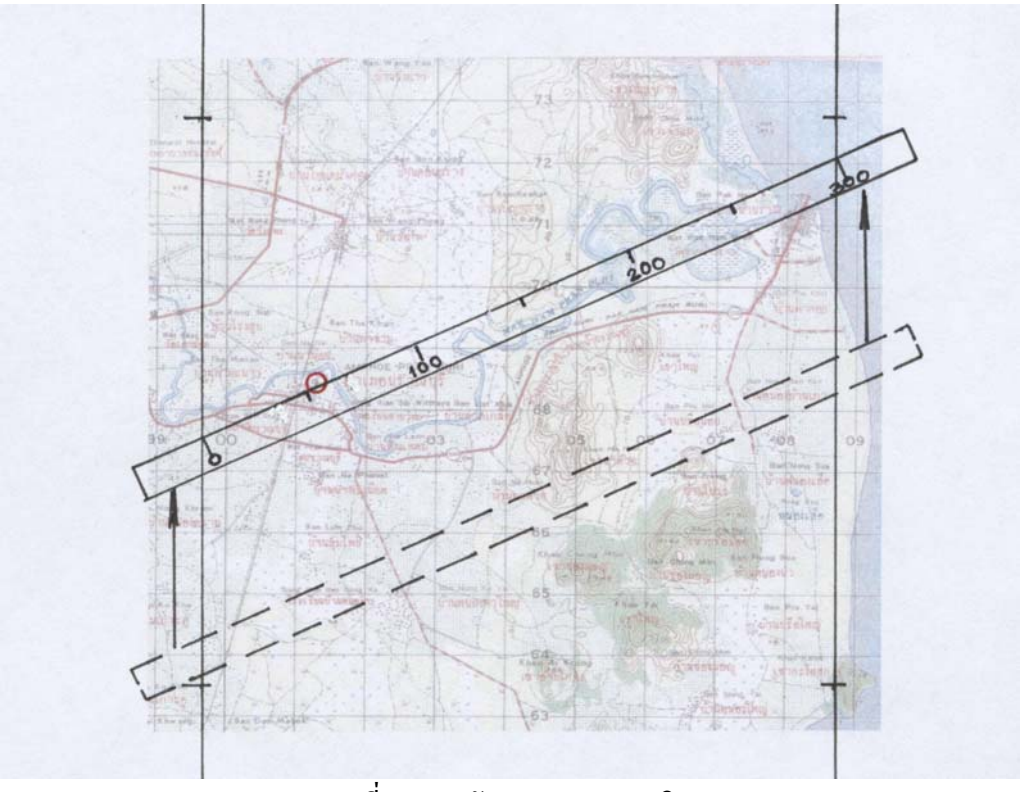
ภาพที่ 14 กรอบระวางแผนที่

2.5.4 วางไม้บรรทัดให้ขีดส่วนแบ่งหลัก 0 และ 300 วางทับเส้นละติจูดหรือเส้นเมริเดียนค่าน้อยและค่ามากตามลำดับ สำหรับซีกโลกเหนือและซีกโลกตะวันออกให้เอียงไม้บรรทัดระหว่างคู่เส้นละติจูดและระหว่างคู่เส้นเมริเดียนไปด้านขวา

2.5.5 เลื่อนไม้บรรทัดระหว่างคู่เส้นละติจูดซ้าย – ขวา และระหว่างคู่เส้นเมริเดียนขึ้นลงให้ด้านข้างไม้บรรทัดด้านขีดส่วนแบ่ง 0-300 ทับตรงจุดต้องการทราบค่าพิกัดละติจูด – ลองจิจูด อย่างละเอียด



ภาพที่ 15 การวัดหาจำนวนละติจูด



ภาพที่ 16 การวัดหาจำนวนลองจิจูด

2.5.6 นำจำนวนค่าที่วัดได้จากไม้บรรทัดเปลี่ยนเป็นจำนวนลิปดาและพิลิปดาตามลำดับ โดยใช้จำนวนที่วัดได้หารด้วย 60 ผลลัพธ์ จำนวนเต็มและทศนิยมของค่าลิปดา สำหรับจำนวนทศนิยมให้นำค่าไปคูณด้วย 60 ผลลัพธ์คือค่าของพิลิปดา เช่น 75 ÷ 60 = 1.25 ลิปดา (1.25 – 1 = 0.25 ลิปดา)

0.25 x 60 = 15.0 พิลิปดา

2.5.7 นำผลจากการคำนวณข้อ 2.5.6 เพิ่มจำนวนละติจูดหรือลองจิจูดค่าน้อยแล้วแต่กรณี ผลลัพธ์เป็นจำนวนค่าละติจูดหรือค่าลองจิจูด พร้อมกำกับด้วย N หรือ E ของจุดต้องการทราบค่าพิกัดภูมิศาสตร์ละเอียดเพิ่มขึ้น

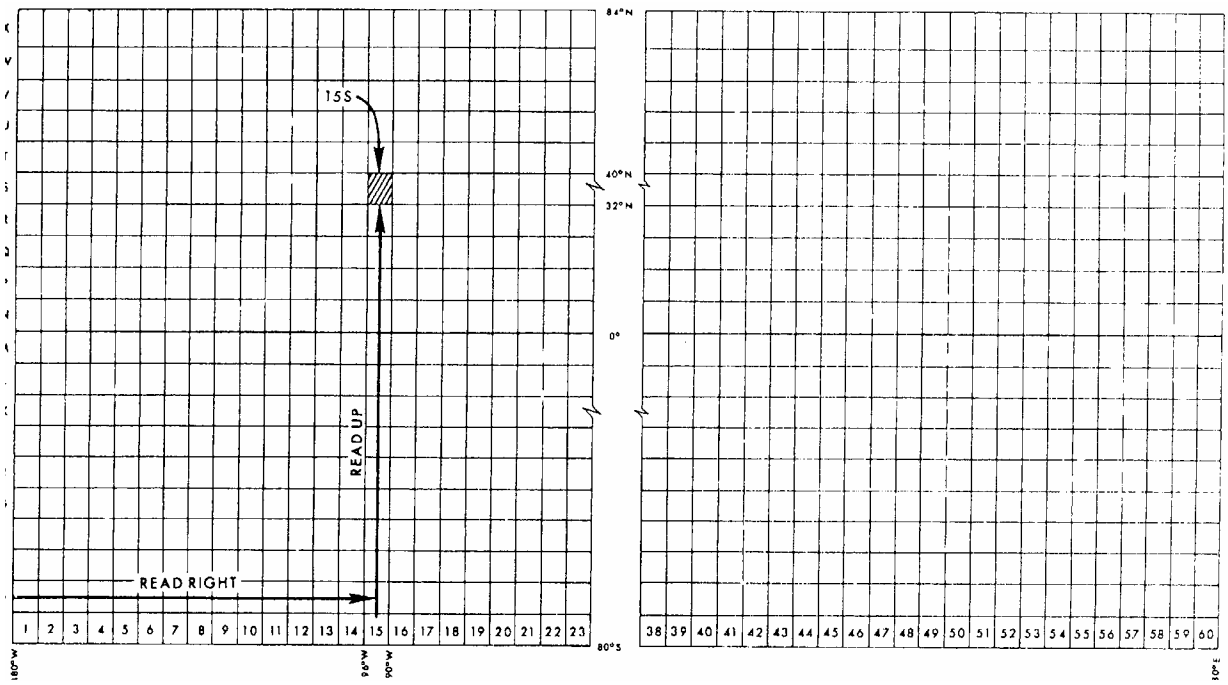
3. กริดทางทหาร (Military Grid)

การฉายแสงแบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์ สำหรับการนำมาใช้ผลิตแผนที่ทางทหาร มาตราส่วนใหญ่ปรากฏผลจากการตรวจสอบเส้นเมริเดียนแผนที่โค้งเข้าหากัน และรูปสี่เหลี่ยมกรอบของเส้นโครงที่เกิดจากการตัดกัน ของเส้นละติจูดและเส้นเมริเดียนเกิดเป็นขนาดแตกต่างกัน ทำให้เกิดความยุ่งยากในการกำหนดตำแหน่งและทิศทาง ดังนั้นเพื่อให้การกำหนดตำแหน่งกระทำได้ง่ายขึ้นจึงนำระบบตารางสี่เหลี่ยมด้านขนานมุมฉากทำการฉายแบบเส้นโครงแผนที่ ถึงแม้ว่าขนาดและรายละเอียดของตารางจัตุรัสบนแผนที่จะเปลี่ยนแปลงแตกต่างไปแต่ยังคงรักษาคุณสมบัติพื้นฐานของระบบกริดทางทหารไว้ ได้แก่

- ลักษณะตารางสี่เหลี่ยมด้านขนานมุมฉาก
- ตารางต่าง ๆ ปรากฏรวมอยู่ในการฉายตารางภูมิศาสตร์
- สามารถวัดค่าได้ทั้งค่าเชิงมุมและระยะทาง

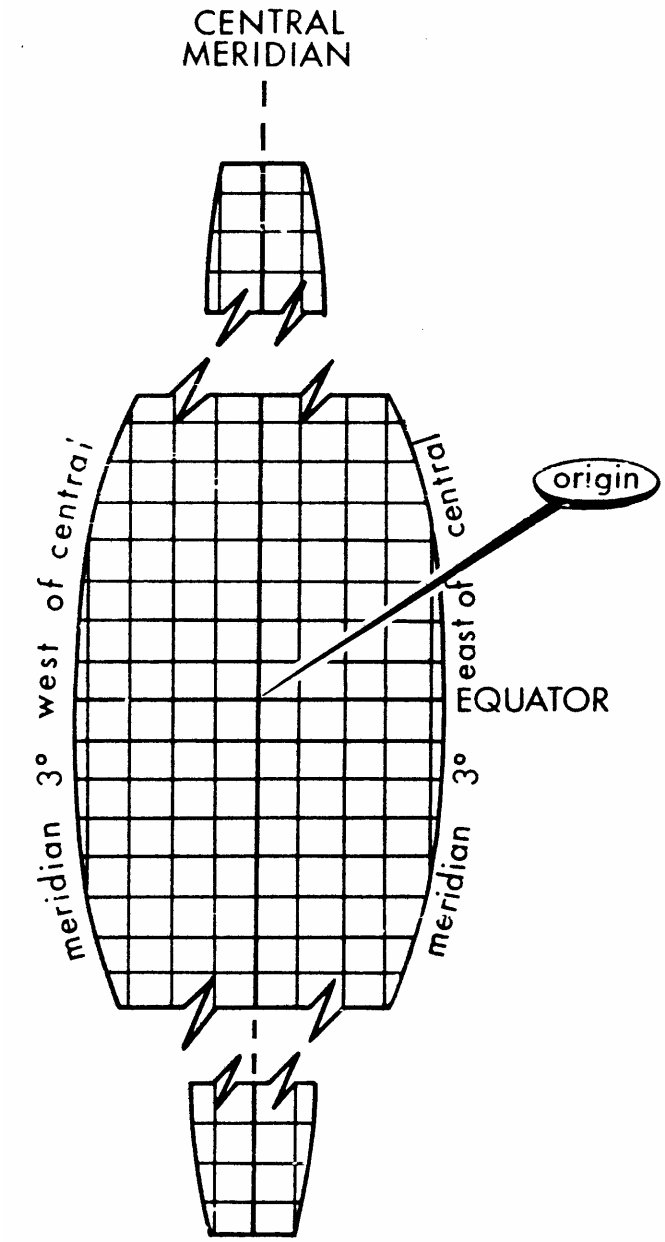
3.1 ยูนิเวอร์แซล ทรานสเวอร์ส เมอร์เคเตอร์ กริด (UTM Grid : Universal Trasverse Mercater Grid) ตารางแบบยูทีเอ็มกริดนี้ถูกถอดแบบให้ครอบคลุมส่วนต่าง ๆ ของโลกระหว่างละติจูด 84˙ N ถึง 80^0 S มีรูปแบบดังนี้

3.1.1 แบ่งส่วนต่าง ๆ ของโลกออกตามแนวเส้นศูนย์สูตรความกว้างส่วนละ 6 องศา รวม 60 เขตกริด (Grid Zone) ความยาวตามเส้นเมริเดียน อาจเรียกว่า แถบลองจิจูด (Longitude Belt) แต่ละเขตกริดมีเมริเดียนย่านกลาง (CM : Central Meridian) กึ่งกลางเขตกริด ตัดตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรเกิดเป็นจุดศูนย์กำเนิดหรือจุดเริ่มต้นของแต่ละเขตกริดและมีลักษณะเช่นเดียวกันทุกเขตกริด



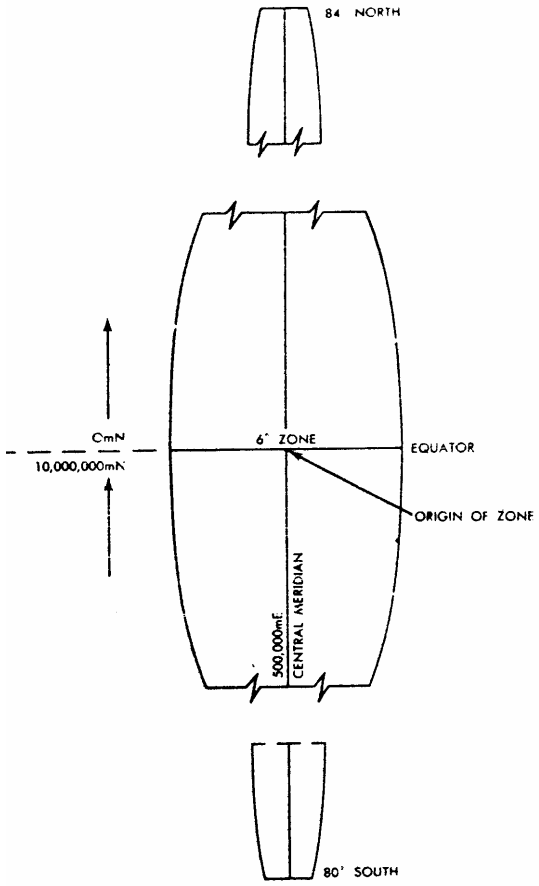
ภาพที่ 17 เขตกริด

ค่าระยะหน่วยเป็นเมตรวัดออกจากจุดศูนย์กำเนิดนี้ โดยวัดจากเส้นเมริเดียนย่านกลางไปตามเส้นศูนย์สูตรหรือขนานกับเส้นศูนย์สูตรและวัดไปตามเส้นเมริเดียนย่านกลางหรือขนานกับเส้นเมริเดียนผ่านกลาง ซึ่งเส้นกริดต่าง ๆ จะลากขนานกับเส้นเมริเดียนย่านกลางหรือขนานกับเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นระยะเส้นกริดตั้งวัดไปตามเส้นศูนย์สูตรหรือเส้นขนานเส้นศูนย์สูตร และระยะเส้นกริดนอนวัดไปตามเส้นเมริเดียนย่านกลางหรือเส้นขนานเส้นเมริเดียนย่านกลาง



ภาพที่ 18 เขตกริดของเส้นกริดยูทีเอ็ม

3.1.2 เพื่อเป็นการอำนวยความสะดวกในการอ่านค่าพิกัด จึงกำหนดค่าประจำจุดศูนย์กำเนิดให้มีค่ามากพอสำหรับพื้นที่เขตกริด และมีค่าบวกเสมอ ค่าที่กำหนดนี้เรียกว่า ค่าเท็จ (False ‘ Values) เท่ากับ 500,000 เมตร และค่าเหนือเท็จ (False Northing) เท่ากับ 0 เมตร สำหรับการวัดระยะเพื่อกำหนดพิกัดสำหรับซีกโลกเหนือและค่าตะวันออกเท็จเท่ากับ 500,000 เมตร และค่าเหนือเท็จ 10,000,000 เมตร สำหรับการวัดระยะเพื่อกำหนดพิกัดสำหรับซีกโลกใต้ วิธีการอ่านพิกัด ใช้วิธีการอ่านไป “ด้านขวา (Right)” และอ่านขึ้น “ด้านบน (UP)” หรือ Read Right Up เสมอ กล่าวคือ เริ่มอ่านค่าด้านตะวันตก หรือด้านซ้าย ไปด้านตะวันออกหรือด้านขวา และอ่านค่าด้านใต้หรือด้านล่างไปด้านเหนือ หรือด้านบนแต่ทั้งสองกรณีนี้ต้องไม่เกินจุดที่พิจารณา เช่นนี้เสมอ

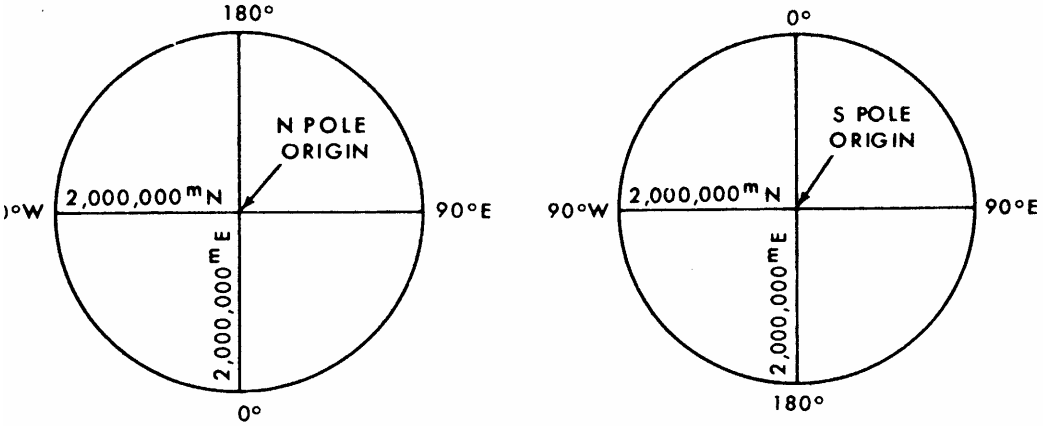


ภาพที่ 19 ค่าตะวันออกเท็จและค่าเหนือเท็จ

3.2 ยูนิเวอร์ซัลโพลาร์สเตริโอกราฟฟิค (UPS : Universal Polar Stereo Graphic) เป็นตารางสี่เหลี่ยมมุมฉากแสดงภูมิภาคขั้วโลกได้จากการฉายแบบ Polar Stereographic

3.2.1 ขั้วโลกเหนือ ทำการฉายแบบจากละติจูด 80˙ N ถึง 90˙ N ลักษณะเป็นวงกลม กำหนดให้ขั้วโลกเหนือ (ละติจูด 90˙ N) เป็นจุดศูนย์กำเนิดหรือจุดเริ่มต้นเกิดขึ้นจากเส้นเมริเดียน ค่าลองจิจูด 0˙ - 180˙ ตัดกับเส้นเมริเดียน 90˙ W - 90˙ E โดยกำหนดค่าพิกัดเท็จมีคาตะวันออกเท็จ 2,000,000 เมตร และมีค่าเหนือเท็จ 2,000,000 เมตร พร้อมกับกำหนดซีกขั้วโลกไปด้าน 90˙ W เป็นซีกตะวันตกและ90˙ E เป็นซีกตะวันออก

3.2.2 ขั้วโลกใต้ กำหนดเช่นเดียวกับขั้วโลกเหนือทั้งการกำหนดจุดศูนย์กำเนิด กำหนดซีกขั้วโลกและค่าศูนย์กำเนิดเท็จ เพียงแต่จุดศูนย์กำเนิดเป็นจุดขั้วโลกใต้

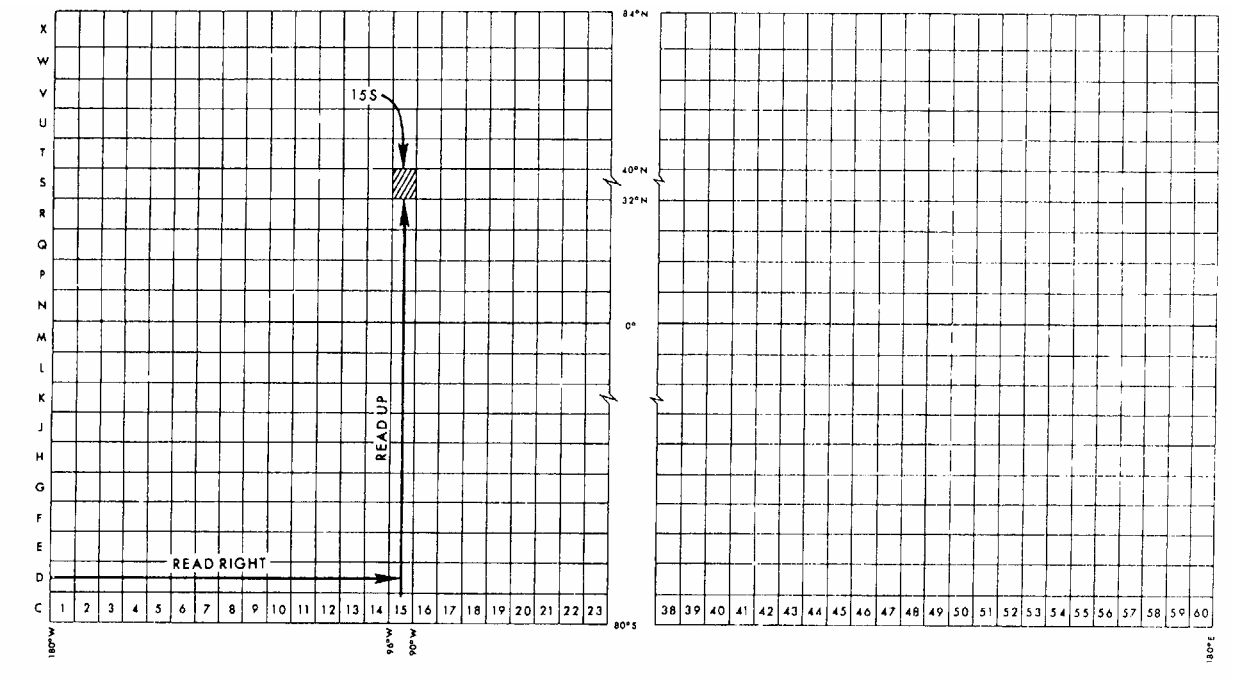


ภาพที่ 20 ระบบฉายแบบขั้วโลก

4. ระบบอ้างอิงพิกัดกริดทางทหาร (Military Grid Reference System)

4.1 เขตกริด (Grid Zone) เป็นแบบ UTM Grid โดยเริ่มต้นจากลองจิจูด 180˙ W ถึง 174˙ W เป็นเขตกริดที่ 1 ความกว้าง 6 ˙ ลองจิจูด ความยาว 84˙ N - 80˙ S และอีกจำนวน 59 เขตกริดมีลักษณะเช่นเดียวกัน รวมทั้งสิ้น 60 เขตกริด พร้อมกำหนดตัวเลขประจำเขตกริด 1-60 ซึ่งเขตกริดที่ 30 ตั้งอยู่ระหว่างลองจิจูด 6˙ W - 0˙ W และเขตกริดที่ 60 เป็นเขตกริดสุดท้ายตั้งอยู่ระหว่างลองจิจูด 174˙ E - 180˙ E สำหรับประเทศไทยจะตั้งอยู่ระหว่างลองจิจูด 96˙ E กับ 105˙ E จึงตั้งอยู่ในเขตกริดที่ 47 ระหว่างเมริเดียน 96˙ E ถึง 102˙ E โดยเส้นเมริเดียนย่านกลางคือ ลองจิจูด 99˙ E กับ เขตกริดที่ 48 ระหว่างเมริเดียน 102˙ E ถึง 108˙ E เส้นเมริเดียนย่านกลางคือ 105˙ E (ภาพที่ 17) เช่น 47

4.2 อักษรประจำตาราง 6˙ X 8˙ เขตกริดตามข้อ 4.1 มีความกว้างขวางมากจึงแบ่งในทางนอนของเขตกริดด้านเหนือและด้านใต้เส้นศูนย์สูตรหรือเรียกว่าแถบละติจูด (Latitude Belt) ให้มีขนาดความยาว 8˙ ยกเว้นส่วนบนสุดของเขตกริด ขนาดความยาว 12˙ เพียง 1 แถบ ทั้งนี้ส่วนเหนือเส้นศูนย์สูตรแบ่งเป็นจำนวน 10 แถบ ขนาด 8˙ จำนวน 9 แถบ และ 12˙ จำนวน 1 แถบ (ระหว่างละติจูด 72˙ N - 84˙ N) ส่วนใต้เส้นศูนย์สูตรแบ่งเป็นจำนวน 10 แถบขนาด 8˙ ถึง 80˙ S รวมเป็นส่วนแบ่งด้านแนวนอนจำนวน 20 แถบ แต่ละแถบกำหนดตัวอักษรภาษาอังกฤษประจำแถบ โดยเริ่มจากตัวอักษร C ประจำแถบที่ 1 ระหว่างละติจูด 80˙ S - 72˙ S แถบที่ 11 เป็นตัวอักษร N ระหว่างละติจูด 0˙ - 8˙ N และกำหนดอักษรประจำถึงอักษร X ยกเว้น I กับ O สำหรับประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างละติจูด 6˙ N - 22˙ N จึงตั้งอยู่ภายในแถบ N,P และ Q ตามลำดับ ขนาดตารางที่เกิดขึ้นจากผลข้อ 1 และข้อ 2 นี้เกิดเป็นตารางขนาด 6˙ X 8˙ ยกเว้นตารางสุดท้ายได้แก่ ตาราง X ขนาดตาราง 6˙ X 12˙ สำหรับการอ่านประกอบด้วยตัวเลขประจำเขตกริด 1- 60 และอักษรประจำตาราง 6˙ X 8˙ หรือ 6˙ X 12˙ แล้วแต่กรณี เช่น P



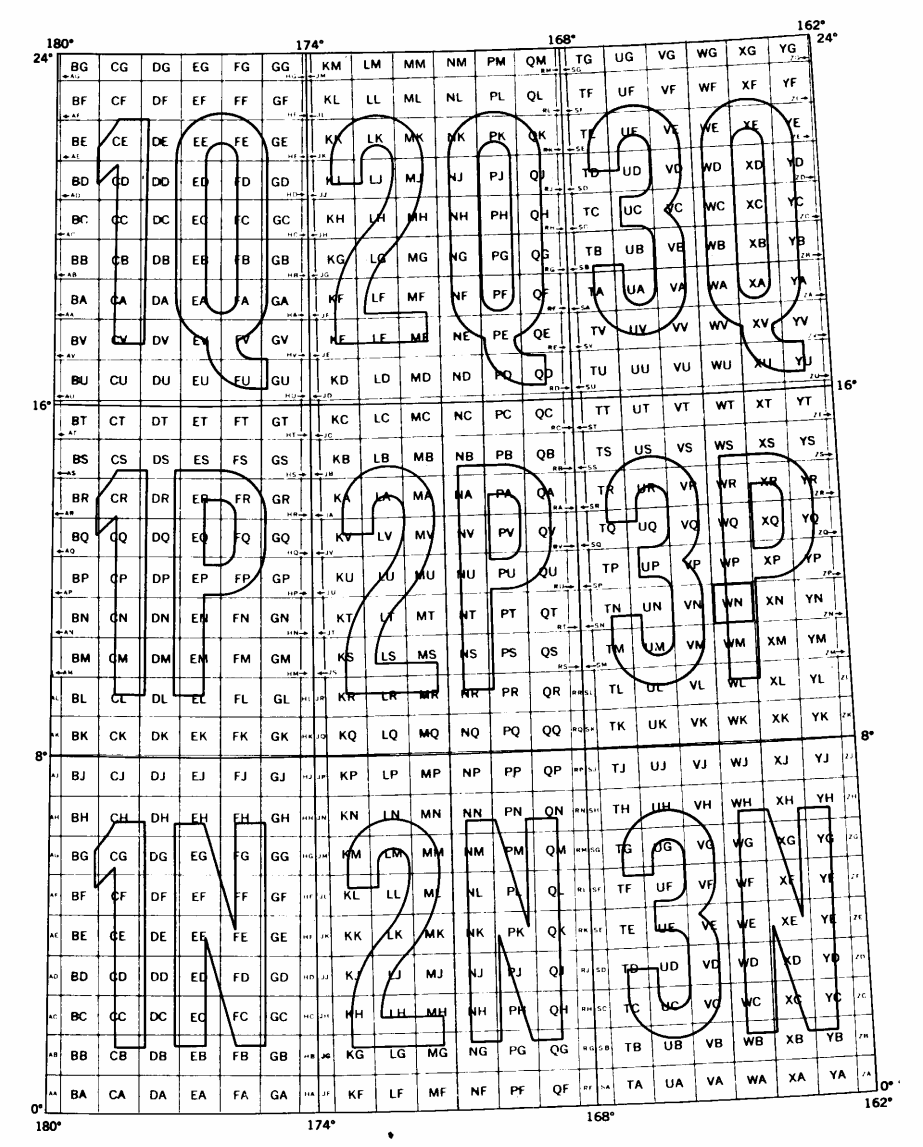
ภาพที่ 21 อักษรประจำแถบละติจูด

4.3 จัตุรัส 100,000 เมตร ระหว่างเส้นละติจูด 84˙ N และ 80˙ พื้นที่ขนาด 6˙ X 8˙ หรือ 6˙ X 12˙ ถูกแบ่งย่อยเป็นตารางจัตุรัส 100,000 เมตร ทั่วทั้งพื้นที่โลก การกำหนดชื่อกำหนดด้วยตัวอักษรประจำจำนวน 2

ตัว อักษรตัวแรกเป็นตัวอักษรประจำแถบในแนวตั้ง (เหนือ – ใต้) ตัวที่ 2 เป็นอักษรประจำแถบในแนบนอน (ตะวันตก – ตะวันออก)

4.3.1 การจัดแบ่งตาราง

ก) เริ่มจากเส้นเมริเดียนย่านกลางไปด้านตะวันตกจำนวน 4 แถบ และด้านตะวันออกจำนวน 4 แถบ ความกว้าง 100,000 เมตร รวม 6 แถบ ส่วนแถบริมเขตกริดทั้งสองขนาดความกว้างน้อยกว่า 100,000 เมตรใช้ตัวอักษร A – Z (ยกเว้น I กับ O) กำกับประจำแถบรวม 24 แถบ จำนวน 3 เขตกริด ซ้ำกันเช่นนี้ทุก 3 เขตกริด

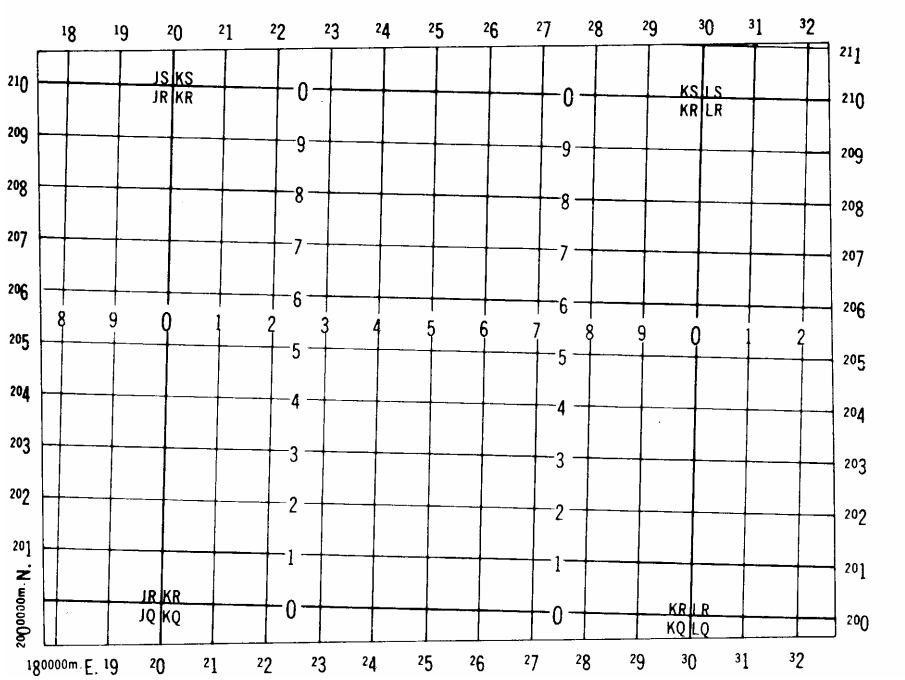


ภาพที่ 22 อักษรประจำจัตุรัส 100,000 ม.

ข) จากเส้นศูนย์สูตรแบ่งไปด้านเหนือจำนวนประมาณ 93 แถบ – 94 แถบ และแบ่งไปด้านใต้จำนวนประมาณ 88 แถบ การกำหนดอักษรประจำแนวนอนกำหนดให้เขตกริดที่เริ่มต้นด้วยอักษร A ยกเว้น I

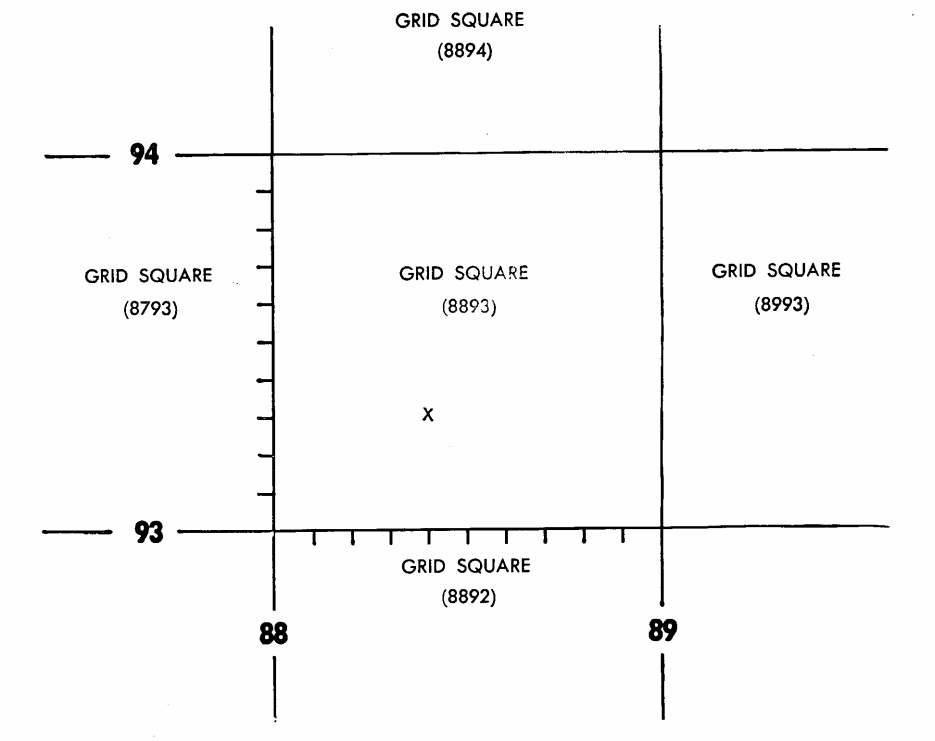
กับ O จนถึงอักษร Z สำหรับเขตกริดคู่กำหนดเริ่มต้นด้วยอักษร F ยกเว้น I กับ O จนถึงอักษร Z ซ้ำกันเช่นนี้ ซ้ำกันทุก ๆ 24 แถบ

4.3.2 การอ่านค่าจัตุรัส 100,000 กม. (100 กม.) คงใช้วิธีการอ่านไป “ด้านขวา” และอ่านขึ้น “ด้านบน”"ประกอบด้วยตัวอักษรสองตัว อักษรตัวที่หนึ่งเป็นอักษรประจำแถบ 100,000 ม. แถบตั้งและอักษรตัวที่สองเป็นอักษรประจำแถบ 100,000 ม แถบนอน เช่น PP



ภาพที่ 23 จัตุรัส 10,000 ม.

4.3.3 การอ่านค่าจัตุรัส 10,000 ม. (10 กม.) ในตาราง 100,000 ม. จัดแบ่งเส้นกรอบให้มีส่วนละเอียดจำนวน 10 ส่วนเท่ากันทั้งด้านกรอบด้านตั้งและกรอบด้านนอน ความกว้าง 10,000 ม. และความยาว 10,000 ม. เรียกว่า จัตุรัส 10,000 ม. เส้นกริดที่มีระยะห่าง 10,000 ม. นี้จะแสดงค่าระยะกริดด้วยตัวเลขหลักหมื่นเพียงตัวเดียวเท่านั้น ทั้งเส้นด้านตั้งและเส้นด้านนอน การอ่านค่าพิกัด ใช้วิธีอ่านไป “ด้านซ้าย” และอ่านขึ้น “ด้านบน” เช่น 06 เป็นความละเอียดจากการอ่านค่าพิกัดมีค่าละเอียด 10,000 ม.



ภาพที่ 24 จัตุรัส 1,000 ม. ความละเอียดใกล้เคียง 1,000 ม.

4.3.4 การอ่านค่าจัตุรัส 1,000 ม. (1 กม.) ในตาราง 10,000 ม. จัดแบ่งเส้นกรอบให้มีส่วนละเอียดจำนวน 10 ส่วนเท่ากันสำหรับแผนที่มาตราส่วนใหญ่ดังเช่นแผนที่แนบท้ายจัดทำไว้เป็นเส้นทึบหนาทุก ๆ 10,000 ม (10 กม) ทั้งด้านแถบตั้งและด้านแถบนอน พร้อมกับแสดงส่วนแบ่งและเอียดระยะทาง 1,000 ม. ด้วยเส้นทึบบางและปลายของเส้นกริดทั้งสองข้างแสดงค่าประจำเส้นกริดไว้ด้วย โดยเส้นกริดเริ่มแรกด้านแถบตั้งและด้านแถบนอนของระวางแผนที่แสดงตัวเลขค่าตรงเส้นกริดตามจำนวนควรเป็นจริงทุกหลัก คือ 591000 m.E และ 1355000 m.N. สำหรับเส้นกริดเส้นนับลำดับต่อไปแสดงด้วยหมู่ตัวเลขเพียงสองตัวเฉพาะตัวเลขหลักหมื่นและตัวเลขหลักพันเท่านั้น เป็นตัวเลขขนาดใหญ่เพิ่มค่าระยะทางเส้นละ 1,000 ม. มากขึ้นเมื่อมีระยะทางห่างจากมุมด้านซ้ายเพิ่มขึ้น ตัวเลขประจำเส้นกริดตั้งและเส้นกริดนอนดังกล่าวนี้มีความสำคัญมากสำหรับผู้ใช้แผนที่ ด้วยเป็นค่าที่ต้องใช้เสมอในการอ่านค่าพิกัดกริดทุกครั้ง สำหรับตัวเลข 0 ของ 3 ตำแหน่งหลัง จะใช้เพื่อการอ่านค่าสมบูรณ์ที่เป็นค่าเท็จของเส้นกริดนั้น ๆ และการอ่านค่าพิกัดใช้วิธีอ่านไป “ด้านซ้าย” และอ่านขึ้น “ด้านบน” เช่น 0168 และความละเอียดจากการอ่านค่าพิกัดมีค่า 1,000 ม

4.3.5 จากการกำหนดและการอ่านพิกัด จากข้อ 1. – 4. โดยสรุปใช้วีการอ่านค่าพิกัดอ่านไป “ด้านซ้าย” และอ่านขึ้น “ด้านบน” ประกอบเป็นชุดพิกัดความละเอียดใกล้เคียง 1,000 เมตร ดังปรากฏแสดงไว้บนแผนได้แก่ 48PPP0168 จำนวน 6 องค์ประกอบ คือ

องค์ประกอบที่ 1 ตัวเลขเขตกริด ได้แก่ 47

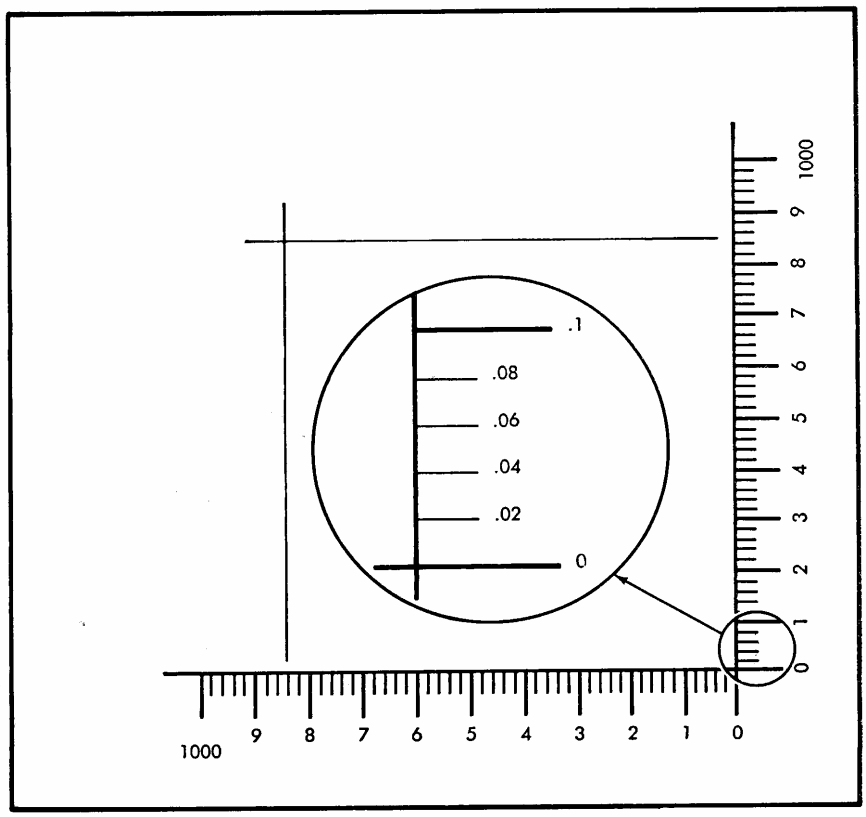
องค์ประกอบที่ 2 ตัวอักษรประจำตาราง 6˙ x 8˙ (หรือ 6˙ x 12˙) ได้แก่ P

องค์ประกอบที่ 3 อักษรประจำจัตุรัส 100,000 เมตรแถบตั้ง ได้แก่ P

องค์ประกอบที่ 4 อักษรประจำจัตุรัส 100,000 เมตรแถบนอน ได้แก่ P

องค์ประกอบที่ 5 ตัวเลขประจำเส้นกริดตั้ง (หลักหมื่น และหลักพันเมตร) ได้แก่ 01

องค์ประกอบที่ 6 ตัวเลขประจำเส้นกริดนอน (หลักหมื่นและหลักพันเมตร) ได้แก่ 68



ภาพที่ 25 จัตุรัส 100 เมตร

4.3.6 ความละเอียดค่าพิกัดตามที่กล่าวนี้ในการปฏิบัติงานบางกรณีความละเอียดยังไม่พอเพียงเพื่อเป็นการจำกัดขอบเขตของพื้นที่ให้มีขนาดเล็กลง และมีระยะทางใกล้เคียงจุดที่พิจารณามากยิ่งขึ้น เพื่อผลการปฏิบัติอย่างแม่นตรงได้นำวิธีการแบ่งส่วนละเอียดของจัตุรัส 1,000 ม. จัดแบ่งเป็น 10 ส่วน ตามกรอบที่เป็นเส้นกริดแนวตั้งและแนวนอนใช้อ่านค่าพิกัดของจุดพิจารณาที่มีความละเอียดใกล้เคียง 100 เมตร ซึ่งตารางที่จัดแบ่งส่วนเหล่านี้ใน 1 ตารางกริด (จัตุรัส 1,000 เมตร) ประกอบด้วยตาราง 100 ม จำนวน 100 ตาราง ค่าพิกัดจะประกอบด้วยจำนวนองค์ประกอบมากขึ้นได้แก่ 47PPP012684

ในกรณีเช่นเดียวกันเมื่อต้องการความละเอียดของค่าพิกัดที่มีระยะทางใกล้จุดพิจารณามากยิ่งขึ้น จำเป็นต้องแบ่งจัตุรัส 100 เมตร เป็นจำนวน 100 ตาราง และ/หรือ แบ่งจัตุรัส 10 เมตร เป็นจำนวน 100 ตาราง เช่นกัน ค่าระยะทางจะเพิ่มจำนวนความละเอียดใกล้เคียง 10 เมตรและ 1 เมตร ตามลำดับ แต่การแบ่งละเอียดเพิ่มขึ้นในกรณีนี้การใช้แผนที่ในการกำหนดพิกัดพึงพิจารณาใช้แผนที่มาตราส่วนมากขึ้นประกอบได้แก่ แผนที่มาตราส่วน 1:25,000 ที่มีการครอบคลุมพื้นที่บริเวณที่จุดพิจารณาตั้งอยู่ค่าพิกัดที่อานได้ได้แก่

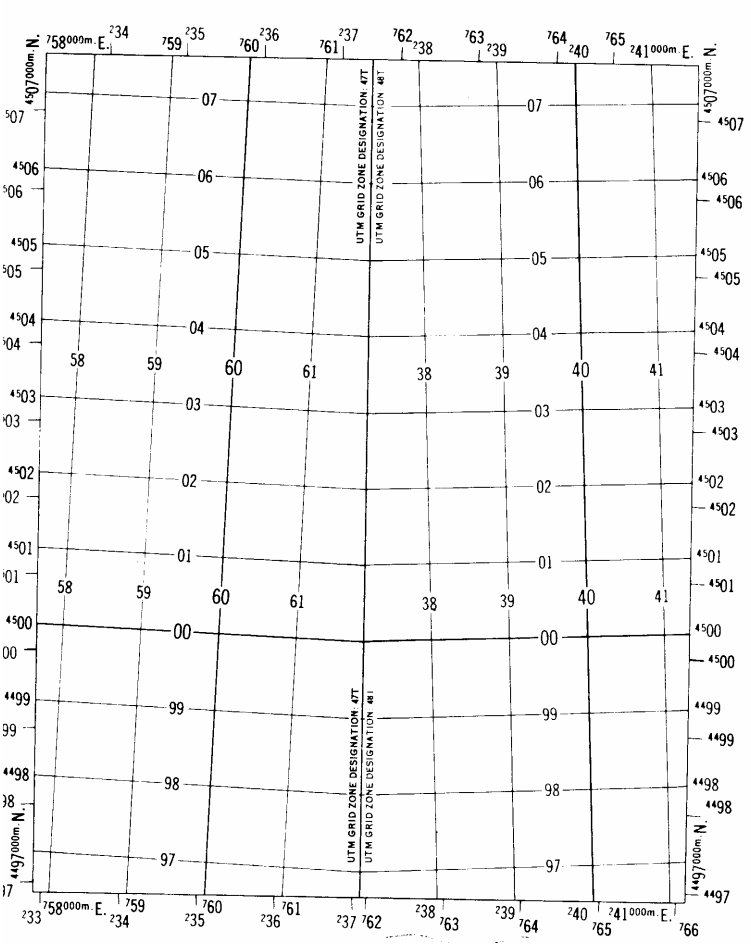
47PPP01256845 ความละเอียดใกล้เคียง 10 ม.

หรือ 47PPP0125268453 ความละเอียดใกล้เคียง 1 ม.

ทั้งนี้ค่าพิกัดความละเอียดใกล้เคียง 10 ม. นำมาใช้ในการปฏิบัติของทหารปืนใหญ่ ซึ่งเป็นค่าพิกัดที่มีความละเอียดเพียงพอมากที่สุดสำหรับการปฏิบัติการทางทหาร

5. แผนที่เขตกริดคาบเกี่ยว

5.1 แนวประสานเขตกริด แผนที่ระวางหนึ่งอาจปรากฏเขตกริดมากกว่า 1 เขตกริดอาจพบได้ชัดเจนบนแผนที่มาตราส่วนใหญ่และแผนที่มาตราส่วนเล็ก เช่น แผนที่มาตราส่วน 1: 250,000

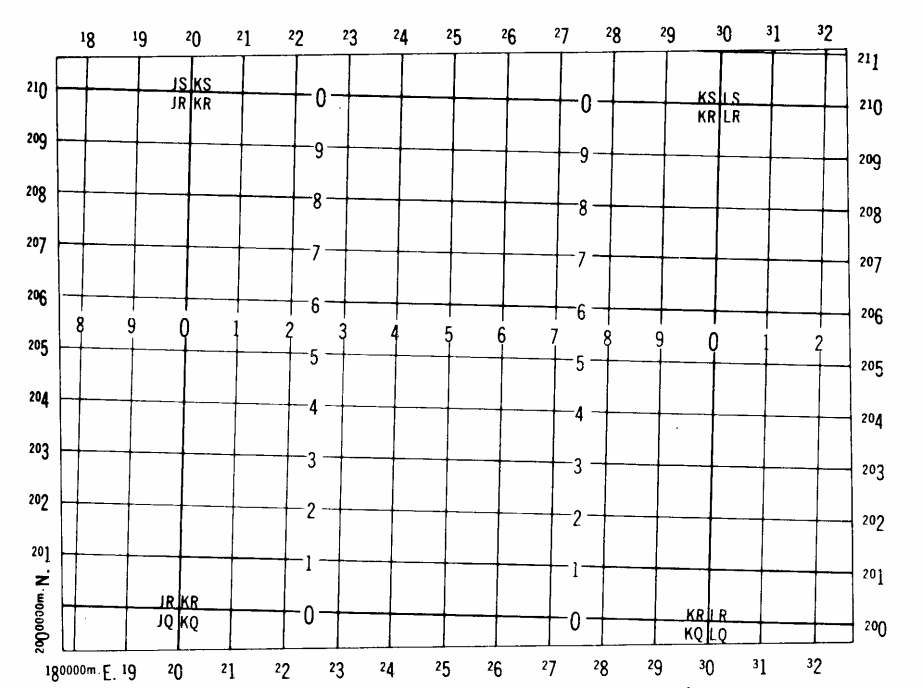


ภาพที่ 26 แนวประสานเขตกริด

5.2 บริเวณรอยต่อเขตกริด เส้นกริดตั้งของเขตกริดสอบเข้าหากันแสดงด้วยเส้น เส้นทึบ แต่ละด้านของเส้นทึบรอยต่อเขตกริด ปรากฏหมายเลขประจำเขตกริดกำกับ

6. เส้นกริดซ้อนเหลื่อม

6.1 แผนที่ระวางครอบคลุมพื้นที่สองด้านแนวประสานเขตกริดระยะห่างประมาณ 40 กม. แผนที่ระวางนั้นจะแสดงลักษณะเส้นกริดซ้อนเกย เหลื่อมทับกันและกันแต่ได้จัดแสดงด้วยสีปรากฏแตกต่างออกจากเส้นกริดหลัก (สีดำ) ของแผนที่ระวางที่ใช้พิจารณา ซึ่งมีความสำคัญสำหรับการปฏิบัติการทางทหารในพื้นที่กว้างขวางเขตกริดโดยเฉพาะการควบคุมการยิงปืนใหญ่ และการสำรวจต่าง ๆ

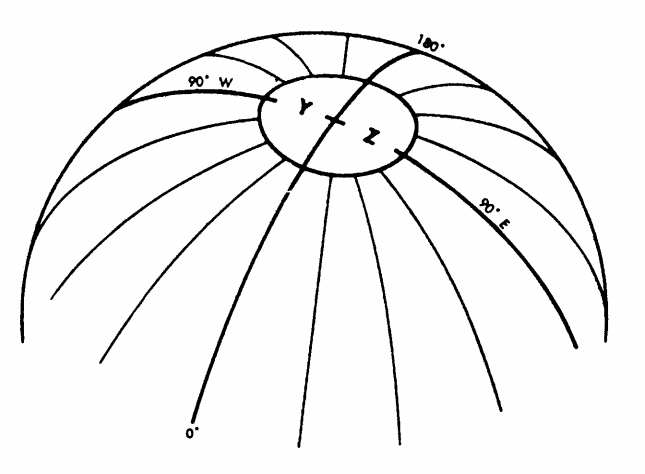


ภาพที่ 27 เส้นกริดซ้อนเหลื่อม

6.2 เส้นกริดซ้อนเหลื่อมแสดงไว้ด้วยขีดย่อยบนเส้นกรอบทั้งสี่ด้าน และทุกระยะ 5 ขีดย่อยกำกับด้วยตัวเลข เมื่อประสงค์ต้องใช้ให้ลากเส้นตรงต่อระหว่างขีดย่อยตรงข้ามค่าเดียวกันจะเกิดเป็นเส้นกริดซ้อนเหลื่อม

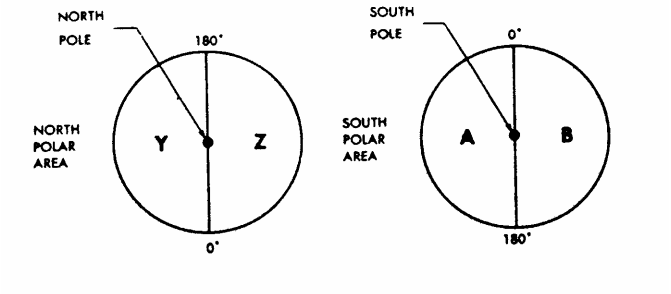
7. การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ระบบพิกัดมาตรฐานแบบใด ๆ ในความเป็นระบบทำให้ฝ่ายตรงข้ามที่สามารถแปลข่าวสารที่เกี่ยวข้องกับค่าพิกัดได้ ก็สามารถทราบระบบรหัสและอาจแปลข่าวอื่น ๆ ต่อไปได้อีก ดังนั้นผู้ใช้แผนที่ควรปกปิดความลับให้ดีที่สุด

8. ยูนิเวอร์ซัล โพลาร์ สเตริโอ กราฟฟิค กริด (UPS. Grid : Universal Polar Stereo Graphic Grid)



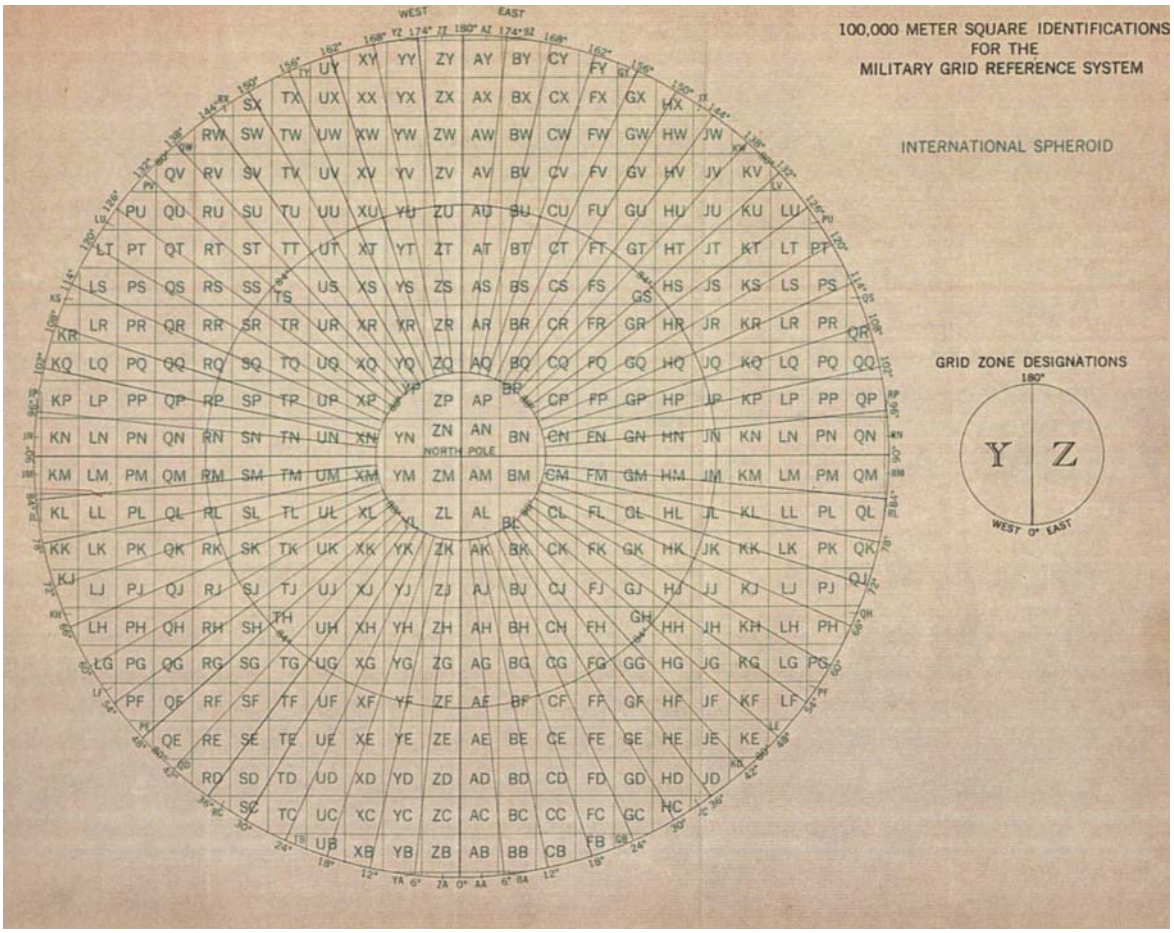
ภาพที่ 28 ยูพีเอส กริด

สำหรับระบบพิกัดทางทหารบริเวณขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ใช้ระบบกำหนดตำแหน่งแบบ UPS Grid ซึ่งแบ่งส่วนขั้วโลกแต่ละซีกด้วยเส้นเมริเดียนค่าลองจิจูด 0˙ กับ 180˙ ตัดกับเส้นเมริเดียนค่าลองจิจูด 90˙ W กับ 90˙ E ที่จุดขั้วโลกและกำหนดให้จุดขั้วโลกเป็นจุดศูนย์กำเนิดเท็จ ค่าตะวันออกเท็จตามเส้นเมริเดียน 0˙ กับ 180˙ มีค่า 2,000,000 ม และค่าเหนือเท็จตามแนวเส้นเมริเดียน 90˙ W กับ 90˙ E มีค่า 2,000,000 ม เช่นเดียวกันโดยจะไม่ทำให้ค่าพิกัดมีเครื่องหมายลบ



ภาพที่ 29 อักษรประจำเขตกริดพื้นที่ขั้วโลก

บริเวณขั้วโลกเหนือ ขั้วโลกใต้ นำอักษร A,B, Y และ Z มาใช้กำกับ บริเวณขั้วโลกใต้ พื้นที่ซีกตะวันตกใช้อักษร A พื้นที่ซีกตะวันออกใช้อักษร B สำหรับบริเวณขั้วโลกเหนือ พื้นที่ซีกตะวันตกใช้อักษร Y กับพื้นที่ซีกตะวันออกใช้อักษร Z ในการอ่านค่าพิกัดกริดตาราง 100,000 ม เป็นอักษร 2 ตัว และสามารถอ่านค่าพิกัดจำนวนตัวเลขตามความละเอียดใกล้เคียงความต้องการลักษณะเช่นเดียวกับ UTM Grid ซึ่งสามารถใช้ทั้งสองระบบร่วมกันได้



ภาพที่ 30 อักษรประจำตาราง 100,000 เมตร

บทที่ 5
ทรวดทรงภูมิประเทศ

ลักษณะความสูงต่ำพื้นผิวภูมิประเทศ (Relief) ที่แสดงไว้บนแผนที่ภูมิประเทศ มีรูปแบบแสดงให้เห็นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความมุ่งหมาย ชนิด และมาตราส่วนแผนที่ ปัจจุบันงานการถ่ายรูปและการพิมพ์ได้วิวัฒนาการก้าวหน้าเป็นอันมาก ช่วยให้สามารถผลิตแผนที่รูปถ่ายแบบแผ่นแบนเรียบ ซึ่งผู้ใช้สามารถมองเห็นลักษณะความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศได้อย่างชัดเจนคล้ายภาพถ่าย ๓ มิติ แผนที่ดังกล่าวช่วยให้ผู้มีความรู้ อันต่ำสามารถอ่านและเข้าใจลักษณะภูมิประเทศได้

สำหรับแผนที่ภูมิประเทศแบบลายเส้น มีหลักการแสดงและวิธีการพิจารณาลักษณะความสูงต่ำและรูปแบบของพื้นผิวภูมิประเทศดังนี้

ภาพที่ 31 ลักษณะภูมิประเทศ

1. เส้นชั้นความสูง (Contour Lines)

1.1 เส้นชั้นความสูง คือ เส้นที่แสดงไว้ในแผนที่ โดยสมมติเป็นเส้นที่ลากผ่านจุดบนพื้นผิวพิภพที่มีค่าระดับความสูงเท่ากัน

1.2 เส้นชั้นความสูง แสดงระยะตามแนวยืน เหนือหรือใต้พื้นหลักฐานการระดับกำหนด เส้นชั้นความสูงเส้นที่มีค่าเป็นศูนย์อยู่ที่ระดับทะเลปานกลาง (ใช้ระดับน้ำทะเลปานกลางเป็นพื้นฐานการระดับ) ดังนั้น เส้นชั้นความสูงที่มีค่าเป็นบวกจึงเป็นเส้นชั้นความสูงที่แสดงค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง และเส้นชั้นความสูงที่มีค่าเป็นลบเป็นเส้นชั้นความสูงที่แสดงค่าความสูงใต้ระดับทะเลปานกลาง ระยะตามแนวยืนระหว่างเส้นชั้นความสูงเรียกว่า “ช่วงห่างเส้นชั้นความสูง” (Contour interval) ค่าช่วงห่างเส้นชั้นความสูงในแผนที่จะแจ้งไว้ในรายการรายละเอียดขอบระวาง แผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วนใหญ่จะพิมพ์เส้นชั้นความสูงเป็นสีน้ำตาล และทุก ๆ เส้นที่ห้าจะหนากว่าปกติ เรียกว่า “เส้นชั้นความสูงหลัก” (index contour) เส้นชั้นความสูงเส้นบางระหว่างเส้นชั้นความสูงหลักเรียกว่า “เส้นชั้นความสูงรอง” (intermediate contour) และมีตัวเลข แสดงค่ากำกับห่างกันทุก ๆ ๑๐๐ เมตร

1.3 การหาค่าความสูงของจุดใด ๆ ในแผนที่ที่แสดงความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศด้วยเส้นชั้นความสูง กระทำได้ดังนี้

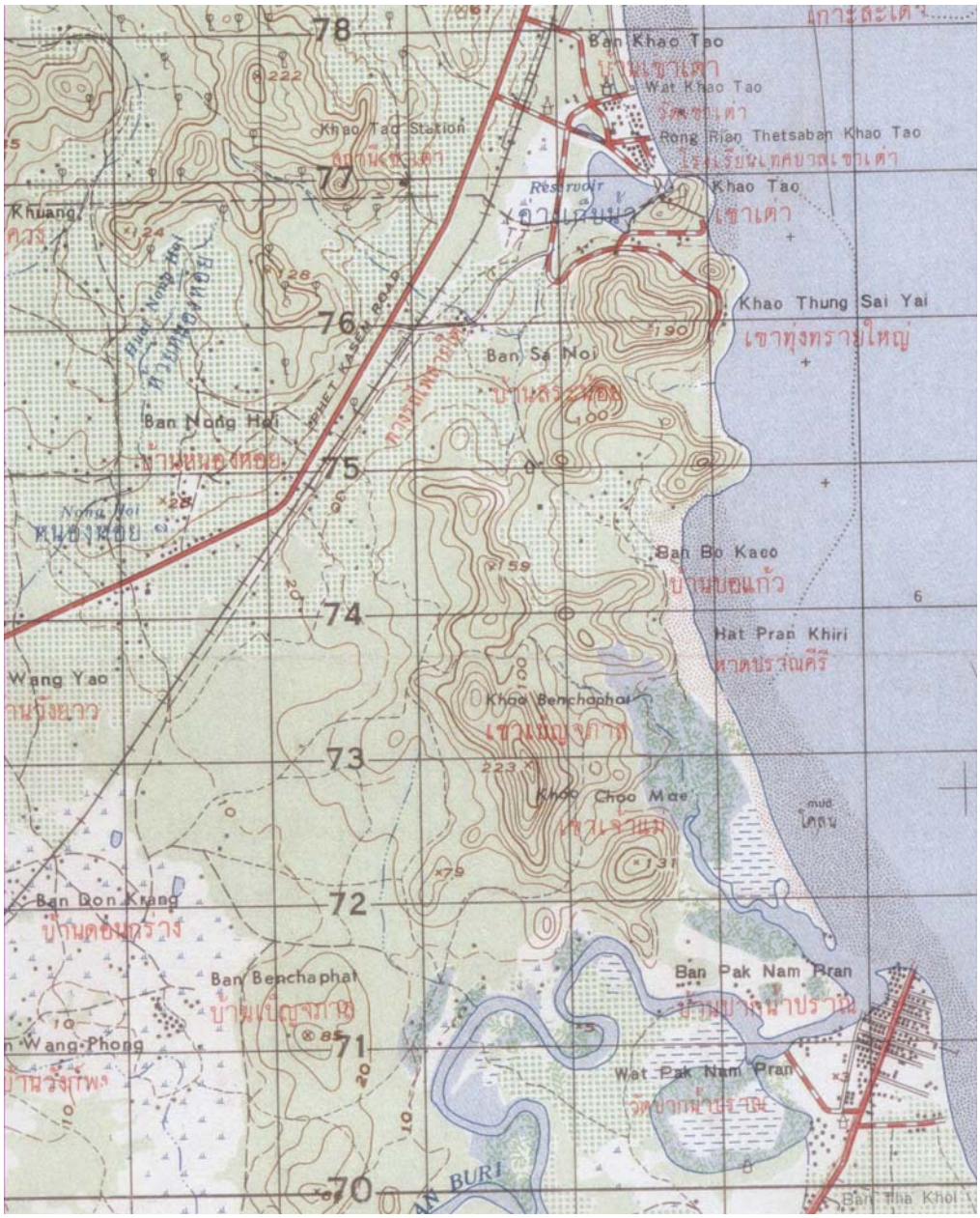
1.3.1 หาค่าช่วงห่างเส้นชั้นความสูงที่รายการรายละเอียดขอบระวางของแผนที่

1.3.2 หาค่าประจำเส้นชั้นความสูงหลักที่อยู่ใกล้จุดที่จะหาค่านั้น

1.3.3 พิจารณาทิศทางของลาดจากเส้นชั้นความสูงหลักไปสู่จุดที่จะหาค่าว่าลาดขึ้นหรือลาดลง

1.3.4 นับจำนวนเส้นชั้นความสูงจากเส้นชั้นความสูงหลักไปยังเส้นชั้นความสูงเส้นที่ใกล้จุดที่จะหาค่ามากที่สุด นำเอาจำนวนเส้นชั้นความสูงคูณค่าช่วงห่างเส้นชั้นความสูง (๒๐ เมตร) จะได้ค่าความสูงต่างระหว่างเส้นชั้นความสูงหลักกับเส้นชั้นความสูงเส้นที่ใกล้ที่สุด

1.3.5 ประมาณค่าความสูงต่างระหว่างเส้นชั้นความสูงเส้นสุดท้ายใกล้กับจุดที่จะหาค่า



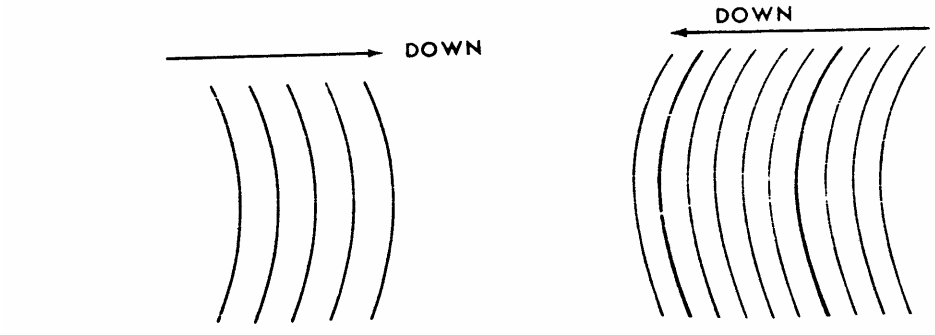
ภาพที่ 32 เส้นชั้นความสูง

1.3.6 นำค่าความสูงต่างที่หาได้ตามข้อ 1.3.4 และข้อ 1.3.5 ไปบวกเข้ากับค่าประจำเส้นชั้นความสูงหลักที่หาไว้แล้วตามข้อ 1.3.2 กรณีที่ลาดจากเส้นชั้นความสูงหลักไปยังจุดที่จะหาค่าเป็นลาดขึ้น แต่ถ้าลาดจากเส้นชั้นความสูงหลักไปยังจุดที่จะหาค่าเป็นลาดลงให้นำค่าที่หาได้ตามข้อ 1.3.4 และข้อ 1.3.5 ไปลบออกจากค่าประจำเส้นชั้นความสูงหลักที่หาไว้ในข้อ 1.3.2 ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าความสูงของจุดนั้นนับจากระดับทะเลปานกลาง

1.4 ในแผนที่บริเวณที่ระยะห่างเส้นชั้นความสูงมีตามแนวราบมาก เช่น บริเวณที่มีมุมของลาดน้อยหรือบริเวณที่ใกล้จะเป็นพื้นราบ ย่อมเป็นการยากที่จะประมาณค่าความสูงของจุดต่าง ๆ ให้ใกล้เคียงความจริงได้ ในกรณีเช่นนี้ผู้ผลิตแผนที่นิยมเขียน "เส้นชั้นแทรก" (_Supplementary contours) เพิ่มขึ้นไว้ในบริเวณนั้น เส้นชั้นแทรกที่เขียนขึ้นจะมีลักษณะเป็นเส้นประสีน้ำตาล แสดงค่า ครึ่งหนึ่งของช่วงห่างเส้นชั้นความสูง

1.5 นอกจากจะแสดงลักษณะความสูงต่ำ พื้นผิวภูมิประเทศด้วยเส้นชั้นความสูงแล้ว ในแผนที่ระวางเดียวกันนั้นอาจมีหมุดหลักฐาน การระดับหรือจุดที่บอกค่าระดับสูงอยู่ในบางบริเวณด้วย ตามปกติแสดงจุดที่บอกค่าระดับสูงไว้ตามยอดภูเขา ยอดเนิน คอเขา จมูกเขา ทางแยก และบริเวณที่เส้นชั้นความสูงอยู่ห่างกันมาก ๆ ฯลฯ

1.6 ระยะห่างทางแนวนอนของเส้นชั้นความสูงและรูปแบบของเส้นชั้นความสูง แสดงให้เห็นถึงลักษณะความสูงต่ำและรูปแบบของพื้นผิวภูมิประเทศ เช่น



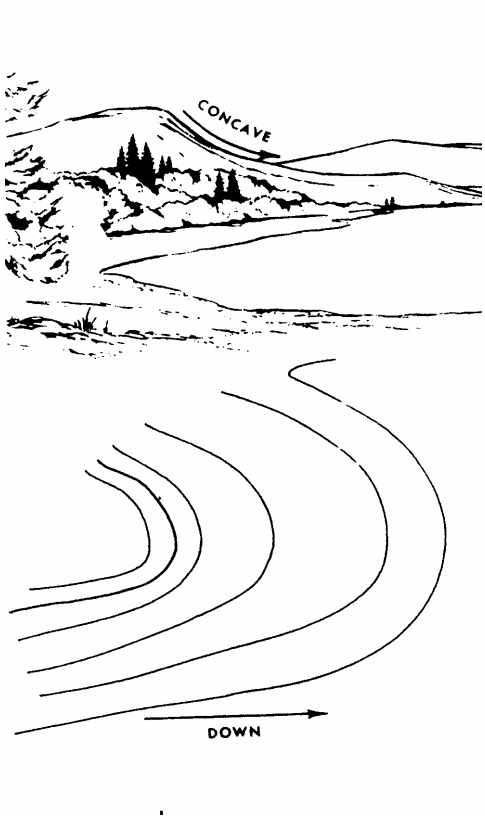
ภาพที่ 33 ลาดสม่ำเสมอ

ภาพที่ 34 ลาดชันสม่ำเสมอ

1.6.1 เส้นชั้นความสูงที่มีระยะห่างกันมากและมีขนาดระยะห่างเท่า ๆ กัน แสดงว่าบริเวณนั้นเป็นพื้นที่ลาดน้อย ๆ และสม่ำเสมอ (ภาพที่ 33)

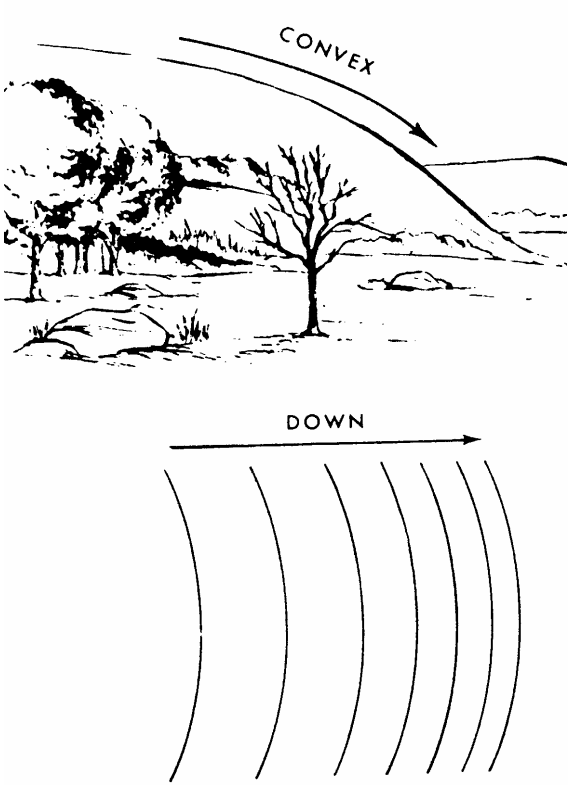
1.6.2 เส้นชั้นความสูงที่มีระยะชิดกันและมีระยะห่างเท่า ๆ กันแสดงว่าบริเวณนั้นเป็นพื้นที่ลาดชันและสม่ำเสมอ (ภาพที่ 34)

1.6.3 เส้นชั้นความสูงที่มีระยะชิดกันในตอนบนและห่างมากขึ้น ๆ ในตอนล่างแสดงว่าพื้นที่บริเวณนั้นเป็นพื้นที่ลาดแบบลาดเว้า (ภาพที่ 35)



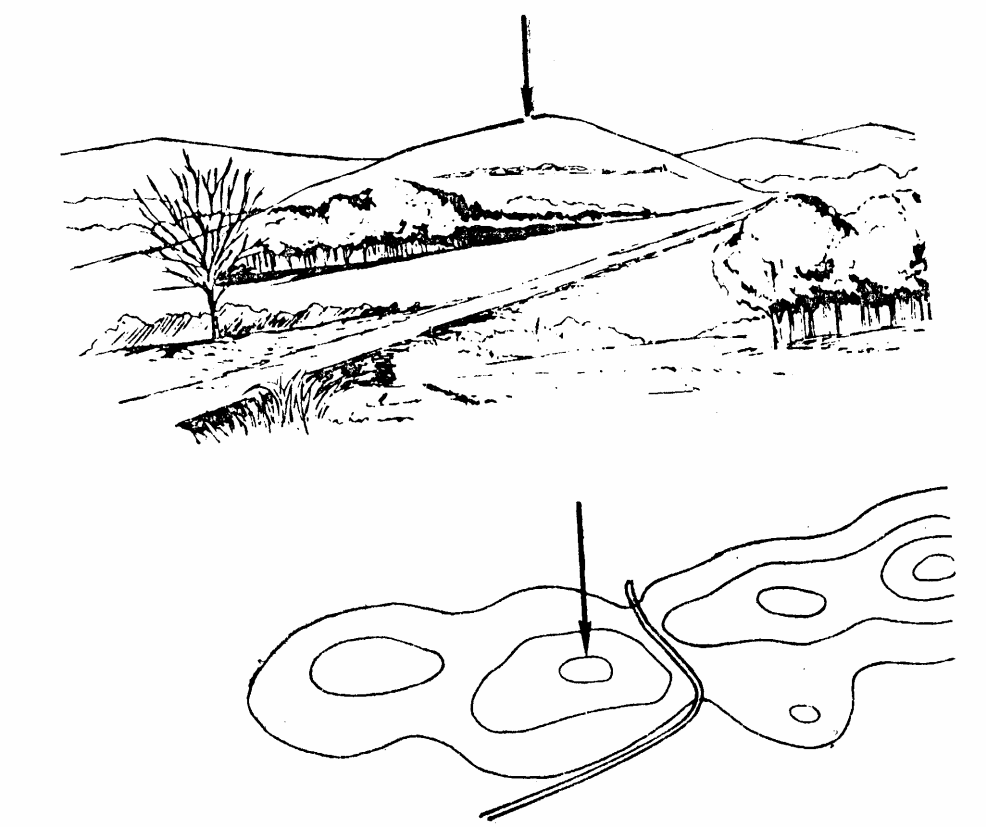
ภาพที่ 35 ลาดเว้า

1.6.4 เส้นชั้นความสูงที่มีระยะห่างกันในตอนบนและชิดกันมากขึ้น ๆ ในตอนล่างแสดงว่าพื้นที่บริเวณนั้นเป็นพื้นที่ลาดแบบลาดนูน (ภาพที่ 36)



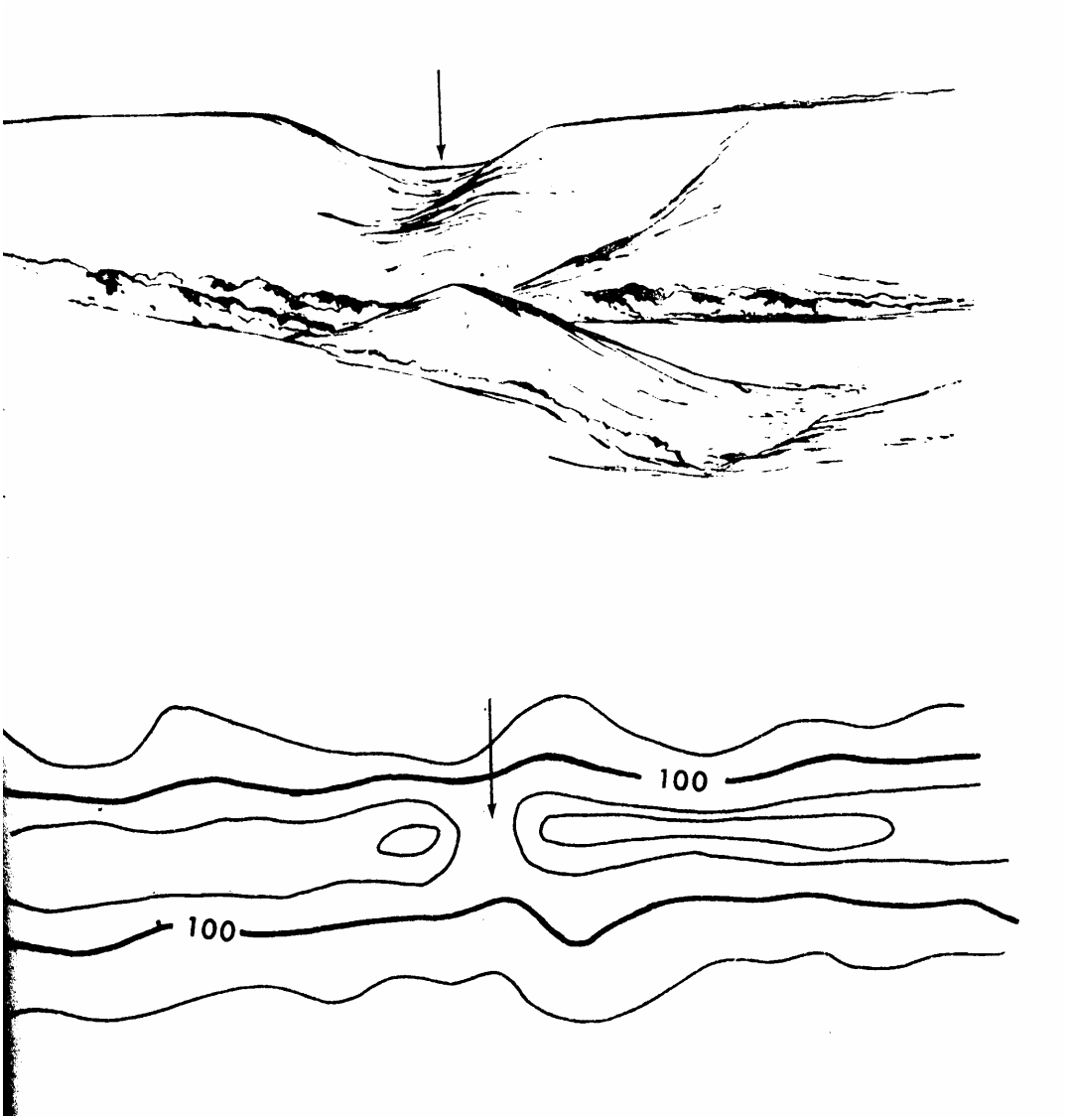
ภาพที่ 36 ลาดนูน

1.6.5 เส้นชั้นความสูงที่วางเข้าบรรจบกันแสดงว่าบริเวณนั้นเป็นภูเขาหรือลูกเนิน (ภาพที่ 37)



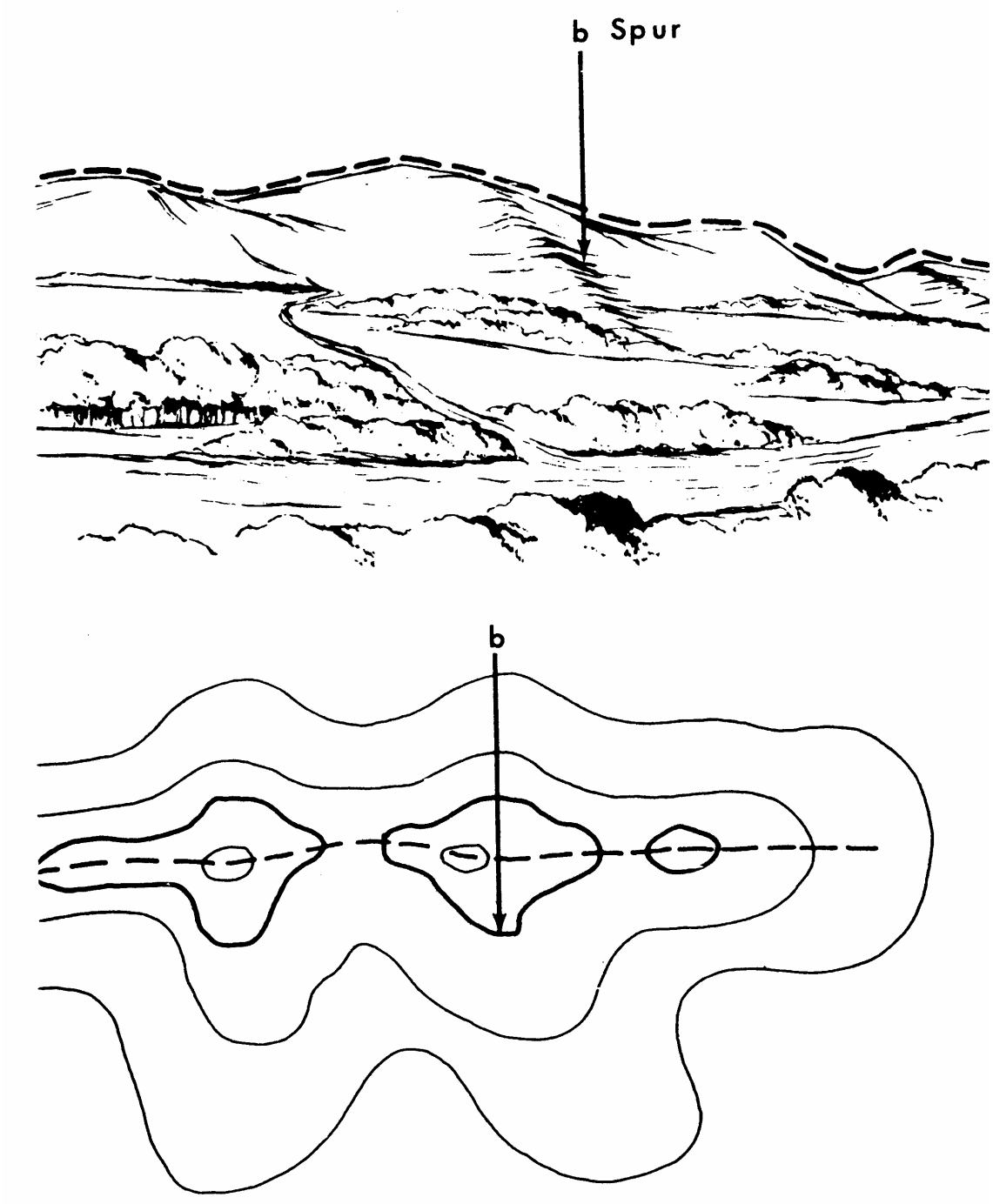
ภาพที่ 37 ลูกเนิน (ภูเขา)

1.6.6 เส้นชั้นความสูงที่วงรอบยอดภูเขาสองยอดจะแสดงให้เห็นตำแหน่งของคอเขา คอเขา คือ ส่วนที่ต่ำสุดของแนวเส้นเขาซึ่งอยู่ระหว่างยอดเขาสองยอด (ภาพที่ 38) หรือเรียกว่าอานม้า



ภาพที่ 38 คอเขา หรือ อานม้า

1.6.7 เส้นชั้นความสูงที่มีลักษณะคล้ายรูปตัวยู (U) ซ้อน ๆ กันแสดงว่าบริเวณนั้นเป็นสันเนินหรือสันเขา ส่วนบนของรูปตัวยูจะชี้ไปในทิศทางที่มีความสูงมากกว่า (ภาพที่ 39)

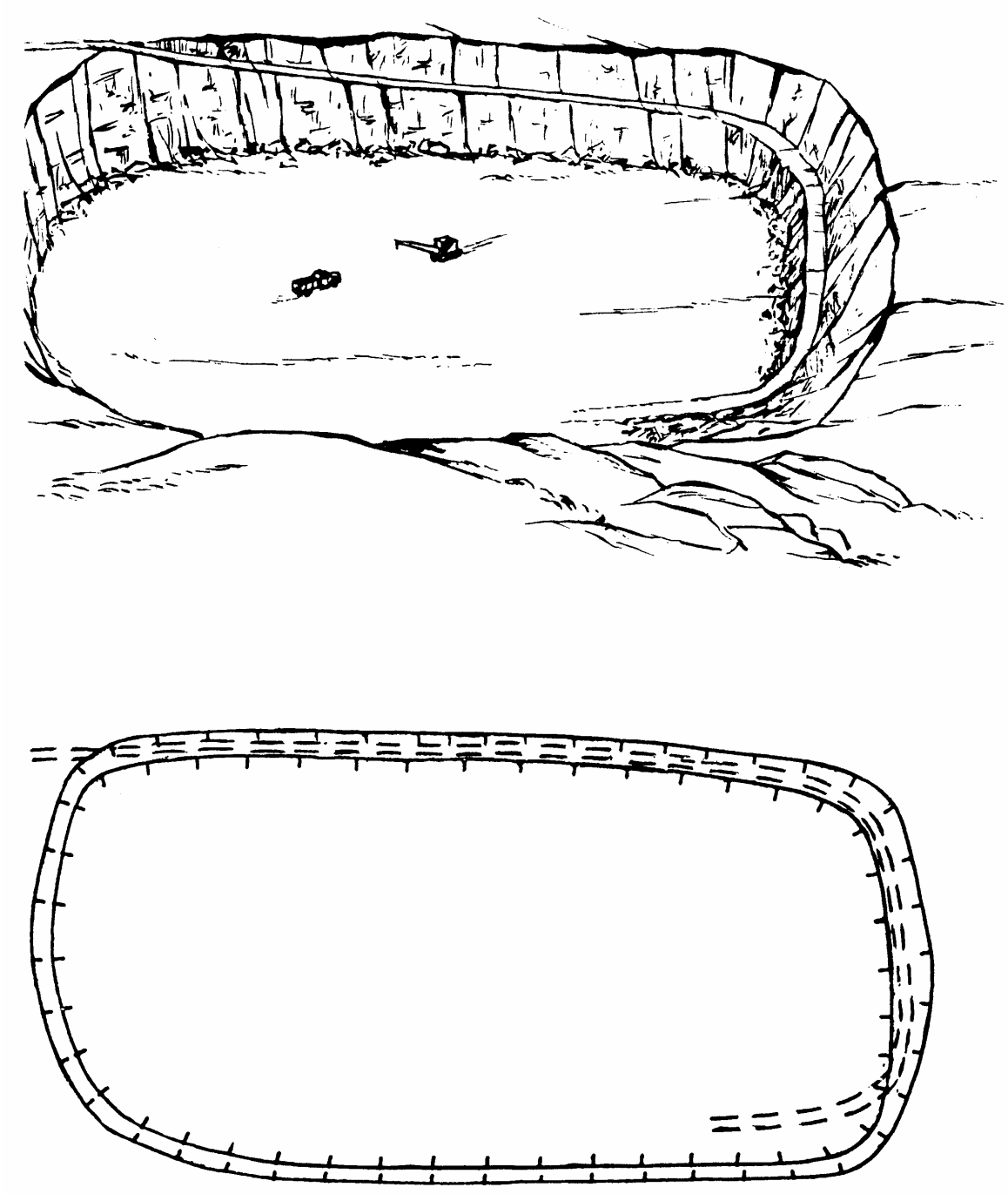


ภาพที่ 39 สันเขา และจมูกเขา

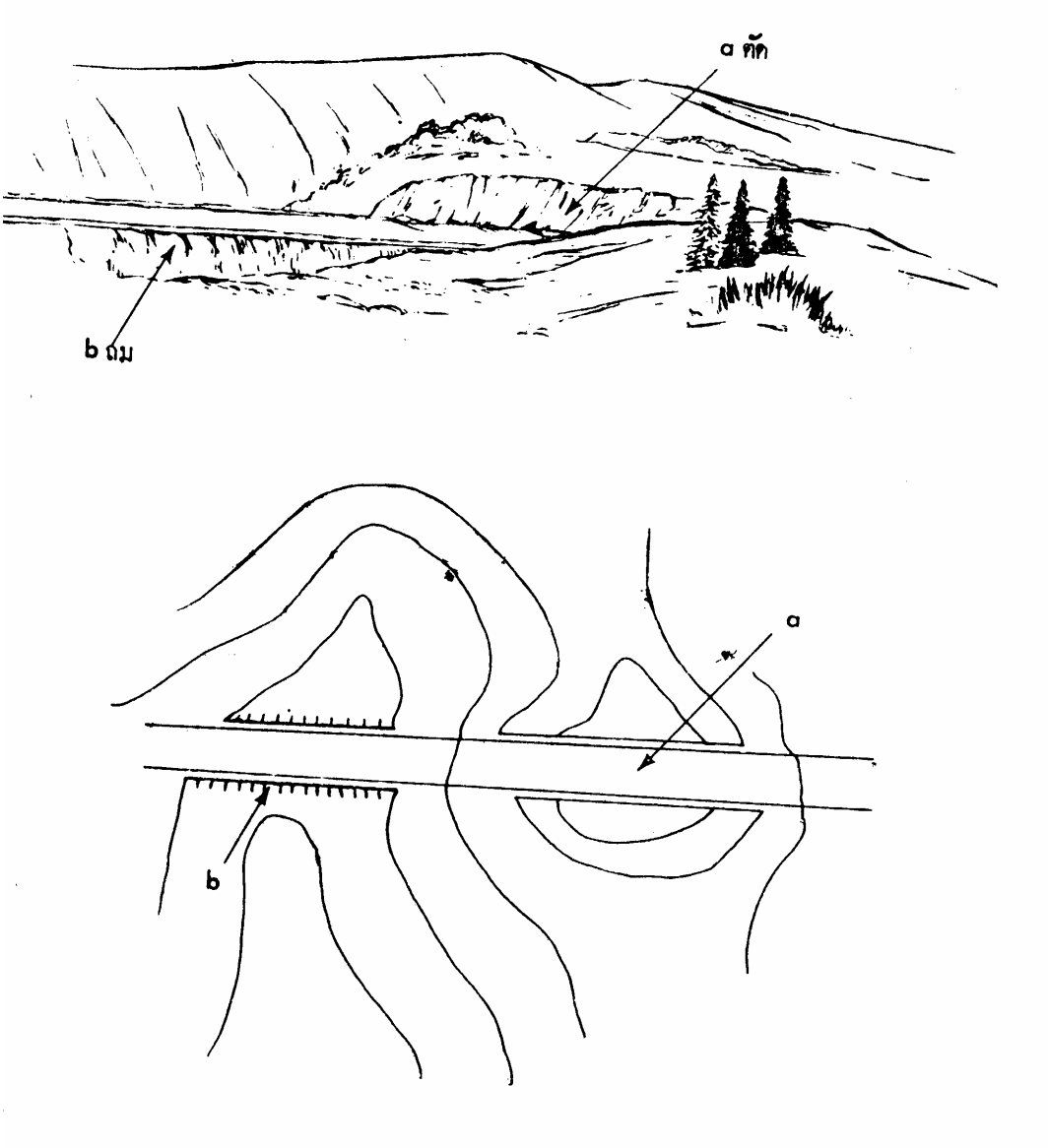
1.6.8 เส้นชั้นความสูงบริเวณใด ที่มีลักษณะซ้อนกันเป็นเส้นเดียวแสดงว่าบริเวณนั้นเป็นหน้าผาชัน (ภาพที่ 40) หรือหน้าผา

ภาพที่ 40 หน้าผาชัน หรือหน้าผา

1.6.9 เส้นชั้นความสูงที่วงบรรจบกันและมีท่อนเส้นสั้น ๆ ขีดไว้ตั้งฉากเส้นชั้นนั้นเรียกว่า “Depression Contour” ใช้แสดงบริเวณที่ยุบต่ำลง ปลายท่อนเส้นจะชี้ไปยังพื้นที่ที่ต่ำกว่า (ภาพที่ 41 หรือบริเวณพื้นที่ถมดินตัดดิน ภาพที่ 42)



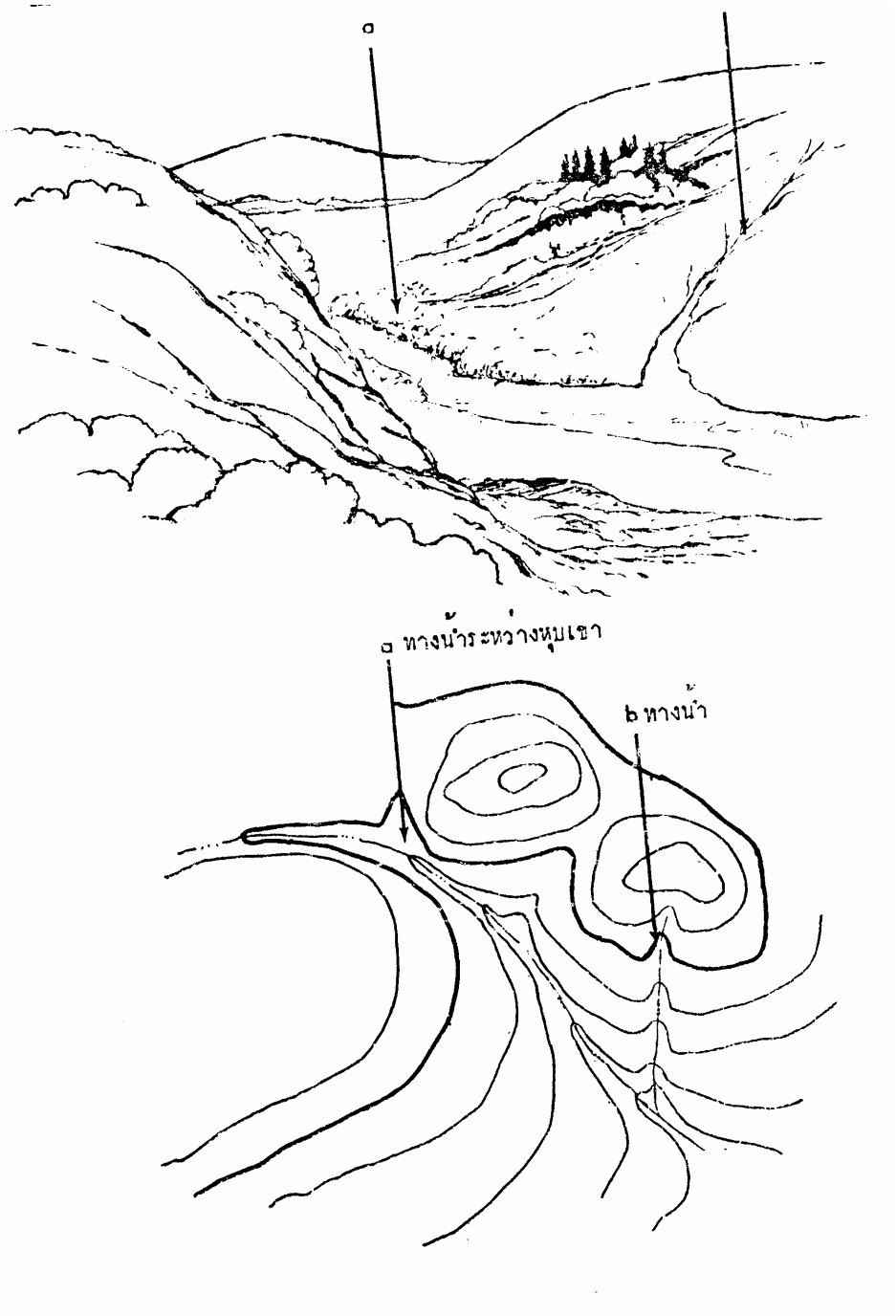
ภาพที่ 41 เส้นชั้นความลึก (พื้นที่ตัดดิน)



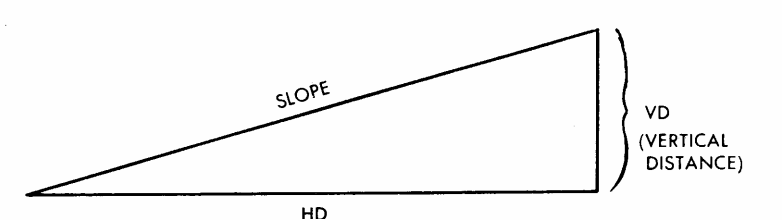
ภาพที่ 42 พื้นที่ตัดดิน (a) พื้นที่ถมดิน (b)

1.6.10 เส้นชั้นความสูงที่มีลักษณะเป็นรูปคล้ายตัววี (V) ซ้อน ๆ กัน แสดงว่าบริเวณนั้นเป็นทางน้ำไหล กันตัววีจะชี้ไปในทิศทางที่มีความสูงมากกว่า

เส้นชั้นความสูงที่ประมาณขนานกับลำธารมีระยะชิด ๆ กันหลายเส้น เส้นที่อยู่ห่างลำธารออกไปมีค่าความสูงมากกว่าและมีระยะห่างกันมากขึ้นแสดงว่าบริเวณนั้นเป็นหุบเขา



ภาพที่ 43 หุบเขา (ลำธาร)



ภาพที่ 44 ลาด

1.7 การหาความลาดจากเส้นชั้นความสูง

1.7.1 ลาด คือ การเอียงของพื้นผิวภูมิประเทศที่ทำให้เกิดขนาดง่ามมุมขึ้นกับพื้นระดับความลาด หรืออัตราส่วนของความต่างในทางระดับระหว่างจุด ๒ จุด กับระยะตามแนวนอน ระหว่างจุดสองจุดนั้น หรือ

1.7.2 ความลาด = $\frac{\text{ระยะตามแนวยืน}}{\text{ระยะตามแนวนอน}}$

ระยะตามแนวนอนระหว่างจุดสองจุดที่พิจารณาความลาด สามารถหาได้ด้วยการวัดระยะระหว่างจุด ๒ จุดนั้นบนแผนที่ด้วยไม้บรรทัด แล้วแปลงเป็นระยะจริงในภูมิประเทศ หรืออ่านพิกัดของจุดทั้งสองแล้วคำนวณหาระยะก็ได้

ระยะตามแนวยืนสามารถหาได้ด้วยการอ่านค่าจากเส้นชั้นความสูงของจุดทั้งสอง (จุดต้นและจุดปลายลาดที่พิจารณา) ตามวิธีหาค่าความสูงของจุดโดยอาศัยเส้นชั้นความสูงซึ่งได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น นำมาหักลบกันก็จะได้ความสูงต่างหรือระยะตามแนวยืน ทั้งนี้ระยะตามแนวนอนและระยะตามแนวยืนต้องเป็นหน่วยเดียวกัน

1.7.3 อาการลาดเอียงแสดงได้ ๓ วิธี คือ

ก) อาการลาดคิดเป็นอัตราส่วนต่อ ๑ หน่วยของระดับสูงเปลี่ยน

อาการลาด = $\frac{\text{ระยะตามแนวยืนหนึ่งหน่วย}}{\text{ระยะตามแนวนอน}}$

ข) อาการลาดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

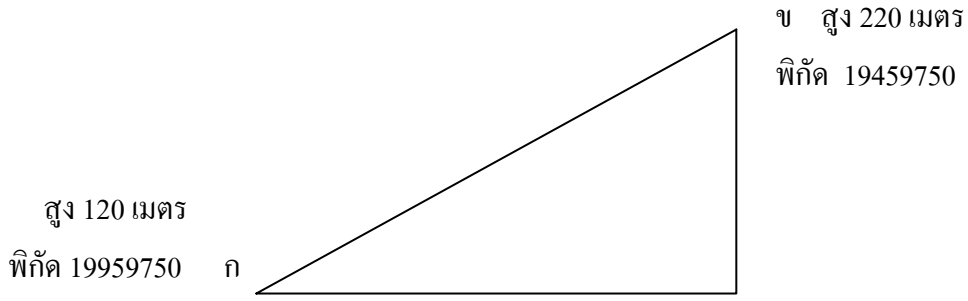
อาการลาด = $\frac{\text{ระยะตามแนวยืน}}{\text{ระยะตามแนวนอน}}$ x ๑๐๐

ค) อาการลาดคิดเป็นมุม

$$\text{อาการลาด} = \frac{\text{ระยะตามแนวยืน}}{\text{ระยะตามแนวนอน}} \times ๑,๐๐๐ \text{ มิลส์}$$

$$\text{หรือ} \quad \text{ความลาด} = \frac{\text{ระยะตามแนวยืน}}{\text{ระยะตามแนวนอน}} \times ๕๗.๓ \text{ องศา}$$

ตัวอย่าง หาความลาดระหว่างจุด ก และจุด ข ซึ่งปรากฏอยู่ในแผนที่มาตราส่วน ๑/๕๐,๐๐๐ จุด ก. อยู่ที่พิกัด ๑๙๙๕๙๗๕๐ และอยู่บนเส้นชั้นความสูง ๑๒๐ เมตรพอดี จุด ข. อยู่ที่พิกัด ๑๙๔๕๙๗๕๐ และอยู่บนเส้นชั้นความสูง ๒๒๐ เมตรพอดี



ภาพที่ 45 การหาอาการลาด

ระยะตามแนวนอนระหว่างจุด ก. กับจุด ข. = ๑๙๙๕ – ๑๙๔๕ = ๕๐ = ๕๐๐ เมตร

ระยะตามแนวยืนระหว่างจุด ก. กับจุด ข. = ๒๒๐ – ๑๒๐ = ๑๐๐ เมตร

$$\text{อาการลาด} = \frac{\text{ระยะตามแนวยืน}}{\text{ระยะตามแนวนอน}}$$

$$\text{อาการลาดคิดเป็นอัตราส่วนต่อ ๑ หน่วยที่ระดับสูงเปลี่ยน} = \frac{๑๐๐}{๕๐๐} = \frac{๑}{๕}$$

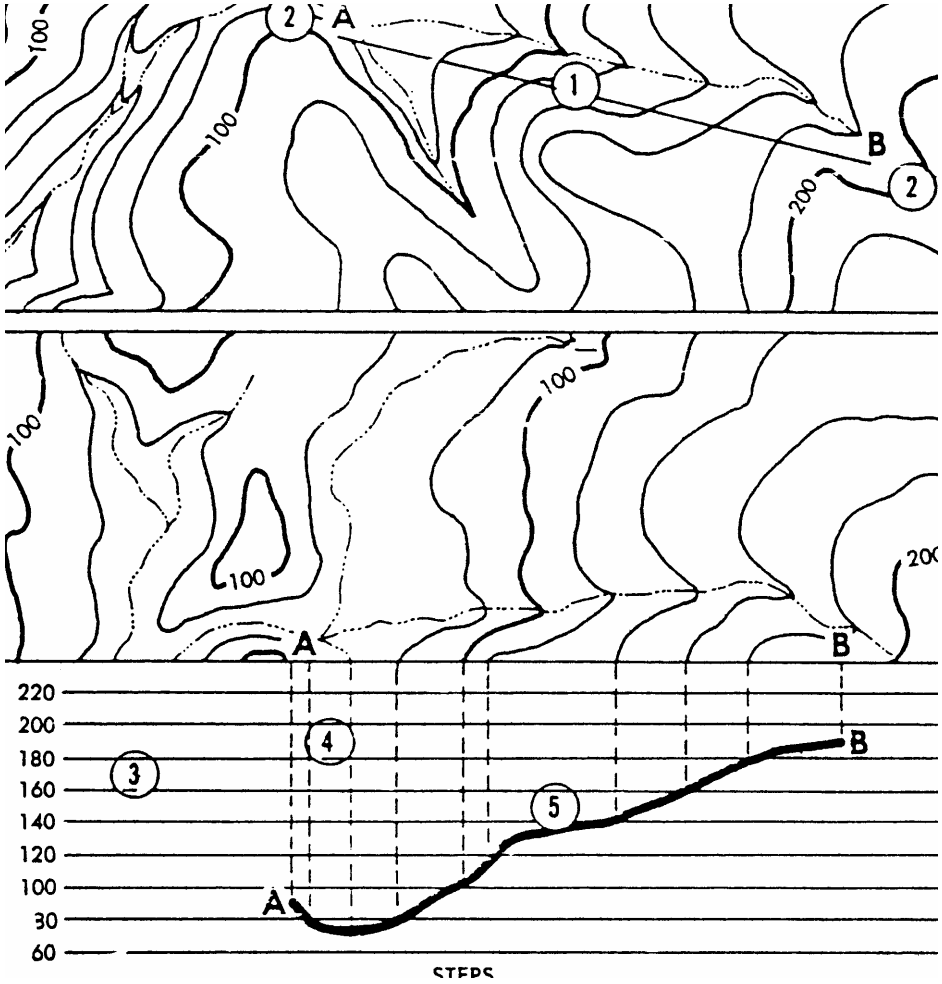
อาการลาดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ = (๑๐๐ /๕๐๐) x ๑๐๐ = ๒๐%

อาการลาดคิดเป็นมุม = (๑๐๐/๕๐๐) x ๑,๐๐๐ = ๒๐๐ มิลล์

หรือ = (๑๐๐/๕๐๐) x ๕๗.๓ = ๑๑.๔๖ องศา

1.8 การเขียนรูปตัดขวางจากเส้นชั้นความสูง

การพิจารณาลักษณะความสูงต่ำของพื้นผิวพิภพจากเส้นชั้นความสูงย่อมเป็นการเพียงพอสำหรับการศึกษาลักษณะภูมิประเทศ แต่ในบางโอกาสอาจต้องการทราบรูปตัดขวางของภูมิประเทศตามแนวใดแนวหนึ่ง เพื่อประโยชน์ในการประมาณการบางเรื่อง เช่น การประมาณการเกี่ยวกับการก่อสร้างถนนเป็นต้น วิธีสร้างรูปตัดขวางจากแผนที่ที่แสดงลักษณะความสูงต่ำของผิวพิภพด้วยเส้นชั้นความสูงกระทำได้โดยประมาณดังนี้



ภาพที่ 46 การเขียนรูปตัดขวางจากเส้นชั้นความสูง

1.8.1 ขีดแนวเส้นตรงลงบนแผนที่จากจุดที่กำหนดจุดหนึ่งตามแนวที่ต้องการเขียนรูปตัดขวาง

1.8.2 หาค่าเส้นชั้นความสูงตามแนวซึ่งจะเขียนรูปตัดขวางตัดผ่านทั้งเส้นสูงสุดและเส้นต่ำสุด พร้อมกับเพิ่มค่าเส้นชนิดความสูงสูงสุดขึ้นและลดค่าเส้นต่ำสุดลงอีก ๑ ช่วงห่าง

1.8.3 สร้างเส้นตรงขนานกันตามแนวนอนขนานเส้นตรงข้อ 1 ให้มีระยะห่างเท่า ๆ กัน ทุกเส้นจำนวนเส้นตรงขนานดังกล่าวต้องมีจำนวนมากกว่าจำนวนเส้นชั้นความสูง ระยะห่างระหว่างเส้น ในแนวดิ่งนิยมขยายอัตราส่วนให้ใหญ่ขึ้นเกินจริง ส่วนอัตราส่วนในแนวนอนคงให้เท่ากับแผนที่

1.8.4 ลงตัวเลขค่าระดับสูงของเส้นชั้นความสูงกำกับเส้นตรงขนานทุกเส้น

1.8.5 นำกระดาษที่สร้างเส้นตรงขนานเสร็จแล้วนั้นไปวางทาบลงบนแผนที่จัดให้แนวเส้นตรงขนาน ๆ กับแนวตัดขวางที่ขีดไว้บนแผนที่

1.8.6 จากจุดที่แนวเส้นตัดขวางตัดผ่านเส้นชั้นความสูงทุกจุด ลากเส้นตั้งฉากลงมาจรดเส้นขนานในกระดาษที่มีตัวเลขบอกค่าความสูงตรงกับค่าความสูงของเส้นชั้นความสูงนั้น ๆ

1.8.7 เมื่อลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างจุดต่าง ๆ ที่เส้นตั้งฉากซึ่งลากมาพบเส้นขนานที่มีค่าระดับสูงเท่ากัน จะได้รูปตัดขวางตามต้องการ การลากเส้นเชื่อมต่อจุดต่าง ๆ ในขั้นนี้จะต้องพิจารณาลักษณะภูมิประเทศ ในแผนที่ตามแนวเส้นตัดขวางนั้นประกอบ เพื่อให้เส้นที่ลากขึ้นแต่ละช่วงสอดคล้องกับค่าระดับสูงของพื้นผิวภูมิประเทศตามแนวที่เส้นตัดขวางลากผ่าน

2. แถบสี (Layer Tinting)

ในแผนที่มาตราส่วนเล็กที่พิมพ์หลายสีนิยมใช้แถบสีแสดงระดับความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศโดยกำหนดแถบสีต่าง ๆ ตามช่วงของระดับสูง เช่น บนภาคพื้นดินใช้สีเขียวแก่กับช่วงระดับสูงต่ำสุด สูงขึ้นไปใช้สีเขียวอ่อน สีเหลือง สีเหลืองแก่ สีส้ม และสีแดง ฯลฯ ตามลำดับ ในทะเลหรือมหาสมุทรบริเวณที่ตื้นที่สุดใช้สีขาว ลึกลงไปใช้สีน้ำเงินอ่อน และเพิ่มความเข้มของสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นตามระดับความลึกที่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงสีน้ำเงินเข้มที่สุด ที่ความลึกมากที่สุด การใช้สีแสดงระดับสูงอาจใช้สีแตกต่างไปจากที่กล่าวมาแล้ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับนักออกแบบแผนที่ที่จะคิดค้นสีขึ้นใช้ให้ผู้ใช้แผนที่มองเห็นระดับสูงต่ำของผิวภูมิประเทศ สอดคล้องกับที่เป็นจริงตามธรรมชาติ อย่างไรก็ตามการใช้แถบสีแสดงระดับสูงนี้ ผู้ใช้แผนที่จะทราบระดับสูงประมาณเป็นช่วง ๆ เท่านั้น ไม่สามารถหาค่าระดับสูงได้ใกล้เคียงความจริงและไม่สามารถหาลาดได้นอกจากจะเป็นแผนที่ที่ใช้แถบสีประกอบเส้นชั้นความสูง ในแผนที่ใช้แถบสีแสดงความสูงมีคำอธิบายแสดงในรายละเอียดนอกขอบระวางแสดงความสูงแต่ละช่วงระดับ

3. เส้นลายขวานสับ (Hachures)

แผนที่ขนาดมาตราส่วนเล็กมากนิยมใช้เส้นลายขวานสับแสดงภาพของภูเขามาตั้งแต่สมัยโบราณจนกระทั่งถึงปัจจุบัน ลักษณะของเส้นลายขวานสับ เป็นขีดสั้น ๆ ปลายข้างหนึ่งหนาอีกข้างหนึ่งบาง คล้ายลอยปลายคมขวาน ลายขวานสับจะใช้ร่วมกันเรียงเป็นแถว เป็นวงซ้อนกัน ตามลักษณะภูมิประเทศปลายด้านบางของลายขวานสับจะชี้ลง ลายขวานสับถ้าใช้แสดงภูเขาหรือลูกเนินเป็นวง ความถี่ของลายขวานสับจะมีมากบริเวณใกล้ยอดเขาและค่อย ๆ ห่างออกสำหรับวงที่มีระดับต่ำลงมาตามลำดับ

4. เงา (Shaded Relief) การให้เงาเป็นวิธีการหนึ่งของการแสดงลักษณะความสูงต่ำของพื้นผิวภูมิประเทศ หลักการให้เงา ถือหลักแสงส่องมาจากทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือด้านที่อยู่ตรงข้างกับทิศทางแสงส่องจะเกิดเงาสีดำ ความแตกต่างของความเข้มของเงาจะช่วยให้เห็นลักษณะความสูงต่ำที่แตกต่างกัน ที่สูงชันเงาจะเข้มมาก ถ้าเป็นที่ลาดเงาจะมีสีจาง

5. เส้นสัณฐาน (Form Lines) เป็นเส้นที่เขียนขึ้นตามรูปลักษณะของลูกเนินหรือภูเขา มองดูคล้ายเส้นชั้นความสูง แต่เส้นรูปลักษณะไม่ได้ลากผ่านจุดที่มีความสูงเท่ากัน ไม่มีค่าสัมพันธ์กับพื้นหลักฐานการระดับใด ๆ แม้จะพยายามเขียน โดยมีแนวความคิดว่าให้ขนานกับพื้นระดับทะเลปานกลางก็ตาม แต่ก็เป็นไปโดยประมาณเท่านั้น จึงไม่สามารถจะหาค่าความสูงใด ๆ จากเส้นรูปลักษณะประโยชน์เพียงให้นึกภาพความสูงต่ำของลักษณะภูมิประเทศบริเวณนั้นเท่านั้น

บทที่ 6

มาตราส่วนและระยะทาง

แผนที่แสดงลักษณะรูปลายเส้นแทนลักษณะภูมิประเทศด้วยมาตราส่วนเป็นสัดส่วนกับระยะทางในภูมิประเทศ ผู้ใช้แผนที่ผู้มีความเข้าใจนำมาตราส่วนแปลงจากระยะบนแผนที่เป็นระยะในภูมิประเทศหรือกลับกันได้ ทั้งนี้ระยะที่เป็นอัตราสวนกันนี้มีหน่วยวัดระยะอันเดียวกันของมาตราวัดระยะแต่ละแบบ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการวางแผนและการปฏิบัติการ

1. การแสดงมาตราส่วน

มาตราส่วนเป็นเครื่องมือบ่งชี้ความสัมพันธ์ของการวัดระยะบนแผนที่ตรงกับระยะในภูมิประเทศ มาตราส่วนแสดงไว้ในรูปเศษส่วน เรียกว่า อัตราส่วนหรือมาตราส่วน แผนที่ (RF : Representation Fraction) ปกติอัตราส่วนแสดงไว้เป็นจำนวน 1 หน่วยวัดระยะ เช่น 1 : 50,000 คือจำนวน 1 หน่วย วัดระยะบนแผนที่เท่ากับจำนวน 50,000 หน่วยวัดระยะเดียวกันในภูมิประเทศ

1.1 ระยะทางระหว่างจุดสองจุดบนแผนที่ตรงกับระยะทางระหว่างจุดสองจุดในภูมิประเทศ ย่อมเท่ากับผลคูณของระยะทางบนแผนที่กับจำนวนอัตราส่วน เช่น

แผนที่มาตราส่วน 1: 50,000

RF = 1/50,000

ระยะทางในภูมิประเทศคือ 5 x 50,000 = 250,000 หน่วย

1.2 ระยะทางบนแผนที่ส่วนใหญ่ใช้หน่วยวัดระยะ “เมตร” ในมาตราเมตริคเป็นมาตรฐาน มาตราส่วนที่แสดงด้วยอัตราส่วนใช้หน่วยวัดระยะ “เมตร” ด้วยดังนี้

1 เมตร = 100 เซนติเมตร

1000 เมตร = 1 กิโลเมตร

10 กิโลเมตร = 10,000 เมตร

1.3 กรณีแผนที่ไม่ปรากฏมาตราส่วน หรือเป็นแผนที่ร่างสามารถวัดระยะทาง แผนที่เหล่านั้นเพื่อการหามาตราส่วนดังนี้

1.3.1 การเปรียบเทียบระยะในภูมิประเทศ

ก) วัดระยะระหว่างจุดสองจุดบนแผนที่ (MD : Map Distance)

ข) วัดระยะราบในภูมิประเทศ (GD : Ground Distance) ระหว่างจุดสองจุดตรงกับข้อ 1

ค) เปรียบเทียบอัตราส่วนหามาตราส่วนดังนี้

RF = 1/X = MD./GD.

ง) ระยะทางทั้งบนแผนที่และภูมิประเทศ เมื่อต้องการทราบระยะทางในหน่วยวัดระยะเดียวกันให้ใช้วิธีการทอนระยะในภูมิประเทศเป็นหน่วยเดียวกันเสียก่อน จึงจะนำไปคำนวณหามาตราส่วน

1.3.2 การหามาตราส่วนด้วยการเปรียบเทียบแผนที่

ก) เลือกวัดระยะระหว่างจุดสองจุดบนแผนที่ไม่ทราบมาตราส่วน

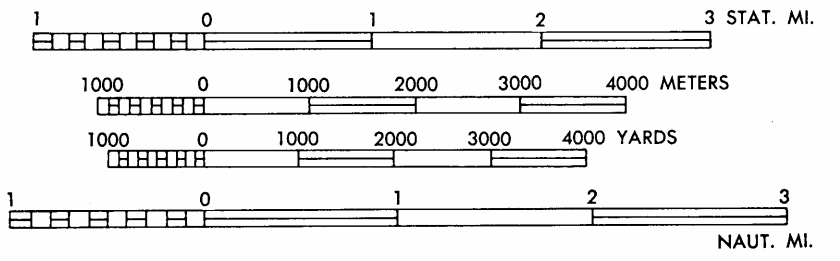
ข) กำหนดจุดสองจุดที่ตรงกันกับที่เลือก ข้อ ก) ลงบนแผนที่ปรากฏมาตราส่วน

ค) ใช้สูตร RF = MD/CD หาระยะทางในภูมิประเทศ

ง) นำผลจากข้อ ค) คำนวณหามาตราส่วนของแผนที่หรือแผนที่ร่างไม่ทราบมาตราส่วน

1.4 แผนที่มาตราส่วนเล็กมากมีผลต่อความถูกต้องของระยะที่วัดได้เป็นอย่างมาก แผนที่มาตราส่วนยิ่งเล็กลงสัญลักษณ์บางอย่างบนแผนที่อาจมีขนาดใหญ่เกินความเป็นจริง และการขาดความประณีตหรือวัดระยะผิดพลาด ความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เพราะจะต้องนำระยะที่วัดได้คูณกับค่าจำนวนส่วนของมาตราส่วนนั่นเอง

2. มาตราส่วนเส้นบรรทัด การหาระยะในภูมิประเทศได้จากการใช้มาตราส่วนเส้นบรรทัดเป็นระยะตามหน่วยวัดระยะต่าง ๆ ตามต้องการที่จัดสร้างแสดงไว้เป็นรูปเส้นบรรทัด โดยจัดสร้างไว้ให้สัมพันธ์ตามมาตราส่วนแผนที่

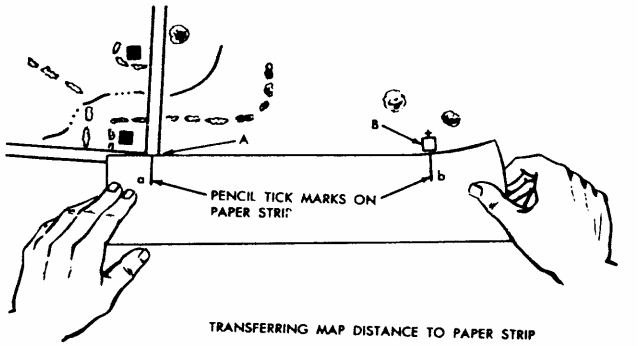


ภาพที่ 47 มาตราส่วนเส้นบรรทัด

2.1 การแสดงมาตราส่วนเส้นบรรทัด แบ่งเป็น 2 ส่วน โดยปรากฏขีดหลัก (ตัวเลข 0) เป็นจุดเริ่มต้นการวัดระยะ

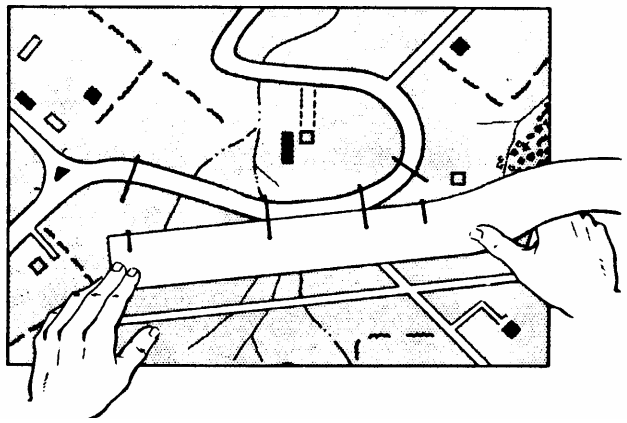
2.1.1 ด้านซ้ายขีดตัวเลข 0 เป็นจำนวนแบ่งส่วนละเอียดจำนวน 1 หน่วยของจำนวน 10 หน่วยระยะหลัก

2.1.2 ด้านขวาขีดตัวเลข 0 เป็นจำนวน 1 ส่วน ระยะหลักหน่วยวัดระยะต่าง ๆ



ภาพที่ 48 วัดระยะทางตรง

2.2 การวัดหาระยะในภูมิประเทศระยะทางตรงระหว่างจุดสองจุดปรากฏบนแผนที่ ให้นำขอบกระดาษตรงวางสัมผัสจุดทั้งสองนั้น พร้อมกับทำขีดย่อยหมายระยะบนกระดาษวัดนำกระดาษไปทาบบนบรรทัดมาตราส่วนตามหน่วยวัดระยะต้องการ กรณีระยะระหว่างขีดย่อยหมายระยะยาวกว่าหน่วยวัดระยะหลักจำเป็นต้องวัดส่วนเกินด้วยจำนวนส่วนแบ่งย่อยด้านซ้าย ขีดตัวเลข 0 (ส่วนขยาย) โดยใช้ขีดย่อยบนกระดาษด้านขวากับจำนวนเต็มขีดหลักให้ปลายด้านซ้ายมือกระดาษทาบทับขีดส่วนแบ่งย่อยนับจำนวนขีดแบ่งย่อยด้านซ้ายมือขีดตัวเลข 0 บรรทัดมาตราส่วนและแปลงเป็นจำนวนระยะละเอียดของขีดระยะหลักนำไปเพิ่มระยะจำนวนขีดระยะทางหลัก

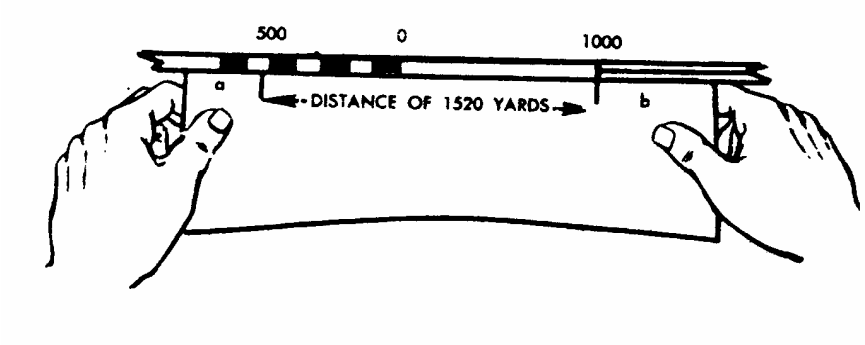


ภาพที่ 49 วัดระยะทางคดเคี้ยว

2.3 กรณีระยะทางในภูมิประเทศแสดงบนแผนที่คดเคี้ยวให้ใช้กระดาษขอบตรงวางทาบเส้นทางนั้น ๆ เริ่มตั้งแต่ขีดย่อยบนกระดาษด้านซ้ายเป็นจุดเริ่มวัดระยะทางหมุนไปตามความคดเคี้ยวของเส้นทาง ด้วยการหมุนกระดาษทาบโดยใช้ปลายดินสอกดกระดาษให้เป็นจุดหมุนวัดเส้นทางไปเรื่อย ๆ จนตลอดเส้นทาง จึงนำไปวัดเทียบกับมาตราส่วนเส้นบรรทัดเช่นเดียวกับข้อ 2.2

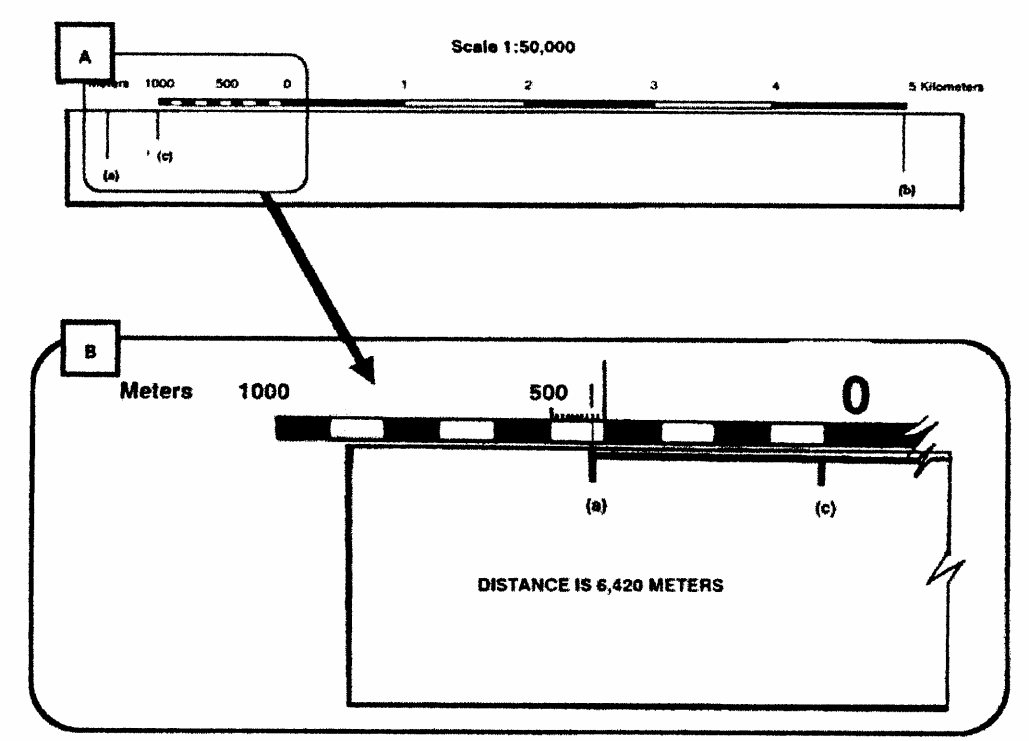
2.3.1 กรณีปรากฏจำนวนระยะทางไปยังอีกจุดหนึ่งที่ขอบระวางแผนที่ จะต้องทำการวัดระยะจากจุดแรกบนแผนที่ถึงกรอบระวางเสียก่อน พร้อมกับเปลี่ยนระยะที่ได้ให้มีหน่วยเดียวกันกับระยะทางที่ปรากฏบอกไว้ไปยังอีกจุดหนึ่ง จึงจะเป็นระยะทางตามต้องการ

2.3.2 ระยะทางใช้หน่วยวัดเป็น กม. การวัดระยะบนแผนที่ใช้หน่วยวัดระยะเมตรแทนได้



ภาพที่ 50 การวัดระยะจากไม้บรรทัดมาตราส่วน

2.4 การวัดระยะจากมาตราส่วนเส้นบรรทัด การวัดระยะทางในภูมิประเทศด้วยมาตราส่วนเส้นบรรทัดในข้อ 2.3 มีความละเอียด 1 หน่วย ของระยะเต็มซึ่งส่วนขยายนี้อาจมีความละเอียดไม่พอเพียงความต้องการ ผู้ใช้บรรทัดมาตราส่วนพึงทำความเข้าใจในส่วนแบ่งย่อยด้านซ้ายขีดด้วยตัวเลข 0 แต่ละส่วนสามารถแบ่งให้ละเอียดอีกระดับหนึ่งเป็นจำนวน 10 ส่วน เช่นกับหน่วยวัดระยะแบ่งย่อยให้เล็กมากขึ้นดังนี้



ภาพที่ 51 การหาระยะละเอียดจากส่วนแบ่งย่อย (ส่วนขยาย)

2.4.1 แบ่งระยะส่วนขยาย 1 ส่วน เป็นจำนวน 10 ส่วน

2.4.2 วางทาบแผ่นกระดาษวัดระยะจากจำนวนเต็มหลักระยะทางขีดด้านขวากับระยะเต็ม และส่วนระยะทางมากกว่าขีดตัวเลข 0 จะทาบทับขีดย่อย

2.4.3 ระยะทางส่วนเกินขีดขยายถึงปลายกระดาษวัดระยะทางตรงกับภายในส่วนขยายต่อไปด้านซ้าย

2.4.4 ภายในส่วนขยายสุดท้ายที่ปลายกระดาษวัดระยะจำนวนหน่วยของจำนวน 10 หน่วยส่วนขยาย

2.4.5 นำระยะทั้งหมดมารวมกันผลลัพธ์ คือระยะทางละเอียดที่สุด

3. ระยะทางและเวลา เป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งของการปฏิบัติการทางทหาร ถ้ามีแผนที่ระวางที่ครอบคลุม พื้นที่ปฏิบัติการนั้นสามารถสร้างมาตราส่วนเส้นบรรทัดสำหรับใช้เดินทางซึ่งเกี่ยวข้องกับระยะทาง - เวลา กับแผนที่นั้นได้ ดังนี้

กำหนดให้ R = อัตราเร็วในการเดินทาง

D = ระยะทาง 3

T = เวลา

ดังนั้น T = D/R

เช่น ขบวนเดินเท้าเดินทางด้วยอัตราเร็วเฉลี่ย 4 กม. ต่อ ชม การเดินทางระยะทาง 12 กม. ใช้เวลาเดินทางกี่ชม.

จากสูตร T = D/R

แทนค่า T = 12/4

= 3 ชม.

3.1 การสร้างมาตราส่วนเส้นบรรทัดสำหรับเดินทาง เกี่ยวข้องกับเวลา – ระยะทาง ด้วยการลากเส้นตรงแทนความยาว 12 กม. ซึ่งเป็นค่า GD

3.2 แบ่งเส้นทางข้อ 1 เป็น 3 ส่วน โดยจำนวน 1 ส่วนเท่ากับระยะทาง 4 กม. หรือเท่ากับระยะทางที่เดินด้วยเท้าได้ใน 1 ชม.

3.3 แบ่งด้านซ้ายของขีดตัวเอง 0 เป็นมาตราส่วนขยายความยาวเท่ากับ 1 ชม.

3.4 แบ่งส่วนย่อย (ส่วนขยาย) เป็นช่องตามความต้องการ

3.4.1 ความละเอียด 10 นาที แบ่งจำนวน 6 ส่วน

3.4.2 ความละเอียด 5 นาที แบ่งจำนวน 12 ส่วน

3.4.3 ความละเอียด 1 นาที แบ่งจำนวน 60 ส่วน

ใช้บรรทัดมาตราส่วนเส้นบรรทัดนี้วัดระยะทางบนแผนที่จะเป็นเส้นทางตรงหรือคดเคี้ยวจะให้ขนาดของความถูกต้องสูง

4. การแปลงระยะทางหน่วยวัดระยะอื่น ๆ

4.1 แปลงจำนวนกิโลเมตรเป็นไมล์ให้คูณด้วย 0.62

4.2 แปลงจำนวนไมล์เป็นกิโลเมตรให้หารด้วย 0.62

4.3 การแปลงนิ้วให้เป็นเมตรใช้ค่า 39.37 นิ้ว = 1 เมตร

บทที่ 7
ทิศทาง

การปฏิบัติงานในภูมิประเทศ การกำหนดตำแหน่งสถานที่อย่างถูกต้องจำเป็นในขณะนั้น ทิศทางเป็นเครื่องมือสำคัญในการปฏิบัติงานแต่ละวัน ปกติสามารถบอกทิศทางในทันทีด้วยการกำหนดทิศทางจากการใช้ความสัมพันธ์จากผู้บอกกล่าว สำหรับความต้องการจากการปฏิบัติงาน ทิศทางจำเป็นต้องมีความถูกต้องและแม่นตรงมากกว่าการสื่อดังกล่าวเบื้องต้น ในภูมิประเทศต้องการรายละเอียดที่มีความเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานนั้นรวมถึงการเดินทาง และการใช้แผนที่เพื่อกำหนดตำแหน่งของผู้ปฏิบัติงานในภูมิประเทศเหล่านั้นด้วย อีกทั้งสามารถนำไปใช้ได้กับทุกพื้นที่และมีหน่วยวัดจากการเปลี่ยนทิศทางของแนว ใช้รวมกันได้ด้วย

1. วิธีกำหนดทิศทาง

การกำหนดทิศทางที่ถูกต้องเป็นแบบเดียวกัน และใช้ได้ในทุกส่วนของโลกใช้หน่วยการวัดค่ามุมตามปกติเพื่อบอกทิศทางดังนี้

1.1 หน่วยวัดองศา ใช้วัดมุมอย่างแพร่หลาย แบ่งวงกลมเป็นส่วนย่อย จำนวนมุม 360 ส่วน ส่วนละ 1 องศา หน่วยวัดคือองศา ลิปดา และพิลิปดา โดยจำนวน 1 ° แบ่งส่วนย่อย จำนวน 60 ′ และจำนวน 1 ′ แบ่งส่วนย่อย จำนวน 60 ″

1.2 มิล หน่วยวัดมุมย่อมาจาก มิลเลียม ใช้อักษร m แบ่งวงกลมเป็นส่วนย่อย จำนวนมุม 6,400 ส่วน ส่วนละ 1 มิลเลียม ที่จุดศูนย์กลางของวงกลม ความสัมพันธ์ระหว่างมุมหน่วยองศากับหน่วยมิลเลียมได้แก่ 360 ° เท่ากับ 6,400 มิล หรือ 1 ° เท่ากับ 17.78 มิล การแปลงหน่วยวัดมุมองศาเป็นมิลเลียมให้คูณจำนวนองศาด้วย 17.78 ทั้งนี้ 180 ° เท่ากับ 3,200 มิล

1.3 เกรด หน่วยวัดมุมอีกแบบหนึ่ง เป็นหน่วยเมตริก พบได้ในการวัดในแผนที่บางประเทศ โดยแบ่งวงกลมเป็นส่วนย่อย จำนวนมุม 400 เกรด ดังนั้น จำนวนมุม 90 ° เท่ากับ 100 เกรด จำนวนมุม 1 เกรด แบ่งส่วนย่อย จำนวน 100 เซนติเกรด และจำนวนมุม 1 เซ็นติเกรด แบ่งส่วนย่อย จำนวน 100 มิลลิเกรด

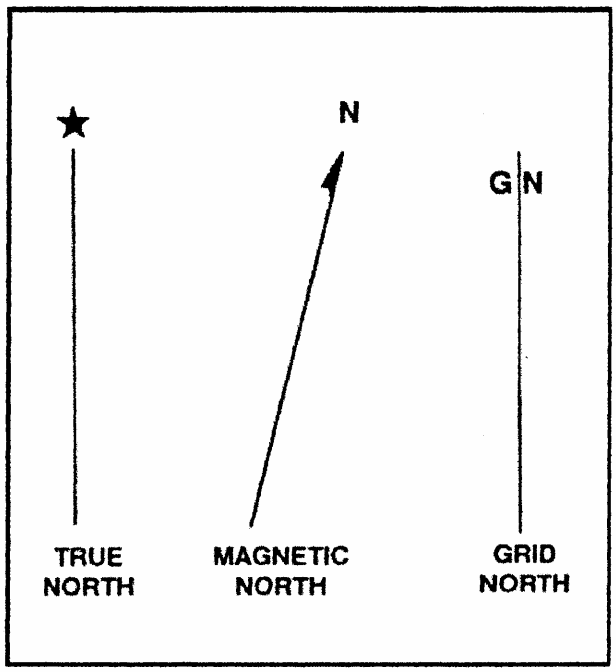
2. เส้นหลัก

การวัดค่าสิ่งใด ๆ ต้องมีจุดเริ่มต้นหรือวัดจากศูนย์เสมอ การกำหนดทิศทางคงลักษณะเช่นเดียวกัน การกำหนดทิศทาง ค่าหน่วยทิศทางต้องเริ่มต้นจากศูนย์ ซึ่งเป็นจุดอ้างอิงที่กำหนดเป็นพื้นฐานหรือแนวอ้างอิง หรือเส้นหลัก เส้นอ้างอิงหรือเส้นหลักบนแผนที่ปรากฏ 3 แบบ ได้แก่ เส้นทิศเหนือจริง (ทิศเหนือภูมิศาสตร์) เส้นทิศเหนือแม่เหล็กและเส้นทิศเหนือกริด ทั้งนี้เส้นทิศเหนือแม่เหล็กและเส้นทิศเหนือกริดนิยมใช้กันเป็นส่วนมาก โดยเส้นทิศเหนือแม่เหล็กใช้เข็มทิศประกอบการพิจารณาและเส้นทิศเหนือกริดใช้แผนที่ทางทหารประกอบการปฏิบัติงาน

2.1 ทิศเหนือจริง ทิศเหนือของแนวเส้นที่ลากผ่านจุดต่าง ๆ บนผิวโลกตรงไปยังขั้วโลกเหนือ เส้นตรงนี้เป็นเส้นลองจิจูด เรียกว่า แนวเส้นทิศเหนือจริงแสดงแทนด้วยสัญลักษณ์รูปดวงดาว

2.2 ทิศเหนือแม่เหล็ก แนวทิศเหนือของขั้วแม่เหล็ก ปรากฏที่ปลายเข็มทิศขณะหยุดนิ่ง แนวเส้นทิศเหนือแม่เหล็ก แสดงด้วยสัญลักษณ์หัวลูกศรครึ่งซีก

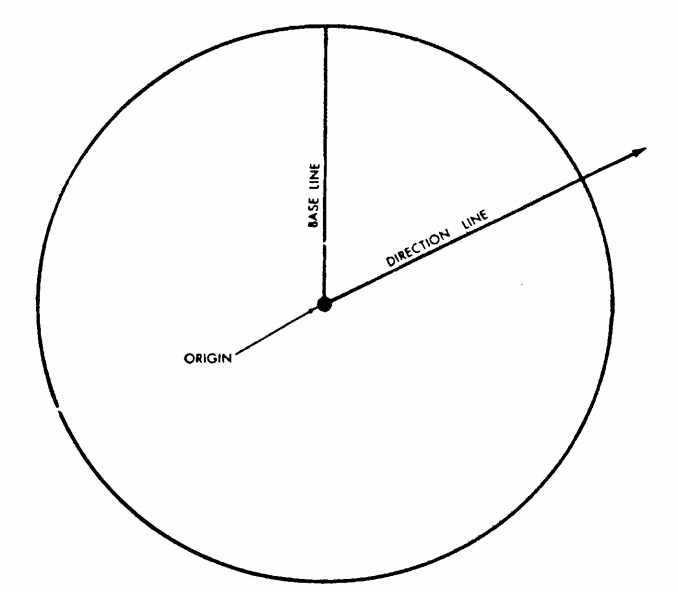
2.3 ทิศเหนือกริด ทิศเหนือเครื่องหมายแสดงตามแนวเส้นกริดตั้งบนแผนที่ แนวเส้นทิศเหนือกริดแสดงด้วยสัญลักษณ์อักษร GN หรืออักษร Y



ภาพที่ 52 ทิศเหนือ

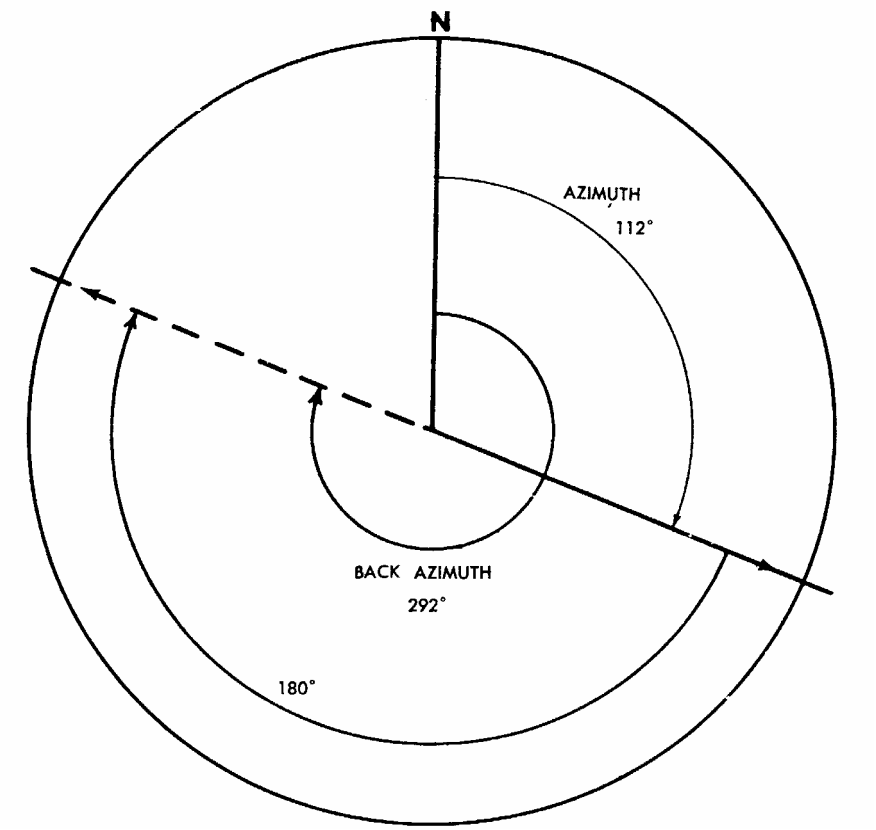
3. มุมภาคทิศและมุมภาคทิศกลับ (AZIMUTH AND BACK AZIMUTH)

3.1 ในการกำหนดทิศทาง มุมราบวัดวนตามเข็มนาฬิกาจากเส้นทิศเหนือหลัก ถึงแนวเส้นตรงผ่านอีกจุดหนึ่งเป็นมุมที่จุดศูนย์กลางของวงกลม เมื่อทำการวัดขนาดของมุมระหว่างแนวเส้นทิศเหนือกริดเหนือ หรือแนวเส้นทิศเหนือแม่เหล็ก หรือแนวเส้นทิศเหนือจริง ถึงแนวเส้นตรงของอีกจุดหนึ่งนั้น เรียกว่า มุมภาคทิศเหนือของแนวเส้นทิศเหนือหลักนั้น ๆ ซึ่งการวัดค่ามุมตรงจุดใด ๆ ที่ทำให้เกิดมุมถือว่าจุดนั้นเป็นจุดศูนย์กลางของวงกลมมุมภาคทิศ



ภาพที่ 53 มุมภาคทิศ

3.2 มุมภาคทิศกลับ ทิศทางตรงข้ามกับมุมภาคทิศ เป็นมุมภาคทิศกลับของมุมภาคทิศค่าของมุมภาคทิศกลับแตกต่างกับมุมภาคทิศ จำนวน 180 องศา ทั้งนี้ค่าของมุมภาคทิศกลับเพิ่มขึ้น 180˚ เมื่อค่าของมุมภาคทิศน้อยกว่า 180˚ และมีค่าลดลงเมื่อค่าของมุมภาคทิศมากกว่า 180˚ ในการหาค่ามุมภาคทิศกลับกระทำได้โดยนำ 180˚ บวกเพิ่มกับค่ามุมภาคทิศที่มีค่าน้อยกว่า 180˚ หรือลบกับค่ามุมภาคทิศที่มีค่ามากกว่า 180˚ นั่นเอง สำหรับการวัดมุมมีหน่วยเป็นองศา แต่การวัดมุมแบบมิลเลียมใช้ 3,200 มิลเลียม เพิ่มหรือลดแล้วแต่กรณีของมุมภาคทิศที่วัดได้จากจำนวนค่ามุมมิลเลียม



ภาพที่ 54 มุมภาคทิศกลับ

วัดค่ามุมภาคทิศ 115˙

ค่ามุมภาคทิศกลับ 115˙ + 180˙ = 295˙

หรือ วัดค่ามุมภาคทิศ 337˙

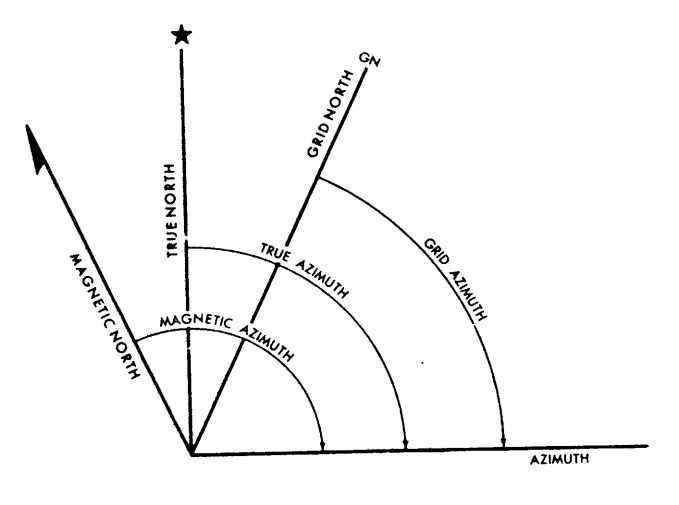
ค่ามุมภาคทิศกลับ 337˙ - 180˙ = 157˙

3.3 แอซิมัทแม่เหล็ก

ค่ามุมภาคทิศแม่เหล็ก เกิดจากการใช้อุปกรณ์แม่เหล็กได้แก่ เข็มทิศ ทำการวัดขนาดมุม ค่ามุมนับจากทิศเหนือเข็มทิศ ถึงแนวที่ผ่านจุดใด ๆ เข็มทิศเส้นเซติคแบ่งย่อยค่ามุมของวงกลมทั้งองศาและมิลเลียม

3.4 แอซิมัทกริด

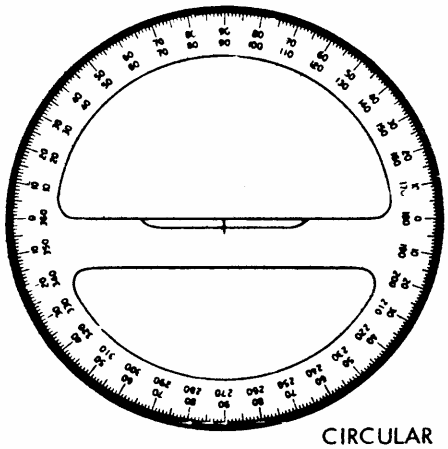
ค่ามุมภาคทิศกริด เกิดจากการใช้อุปกรณ์วัดมุมได้แก่ ไม้บรรทัดวัดมุมทำการวัดขนาดมุม ค่ามุมนับจากเส้นกริดตั้งบนแผนที่ของจุดหนึ่ง ๆ หรือจากแนวขนานเส้นกริดตั้งถึงแนวที่ผ่านจุดอีกจุดหนึ่ง นิยมวัดค่ามุมด้วยหน่วยองศา



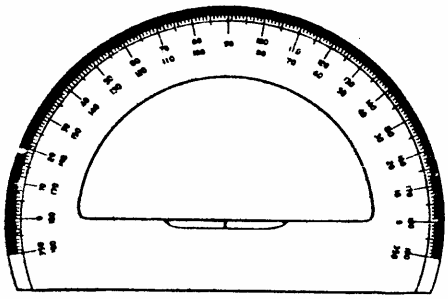
ภาพที่ 55 มุมภาคทิศเหนือแม่เหล็ก มุมภาคทิศเหนือกริดและมุมภาคทิศเหนือจริง

4. ไม้บรรทัดวัดมุม

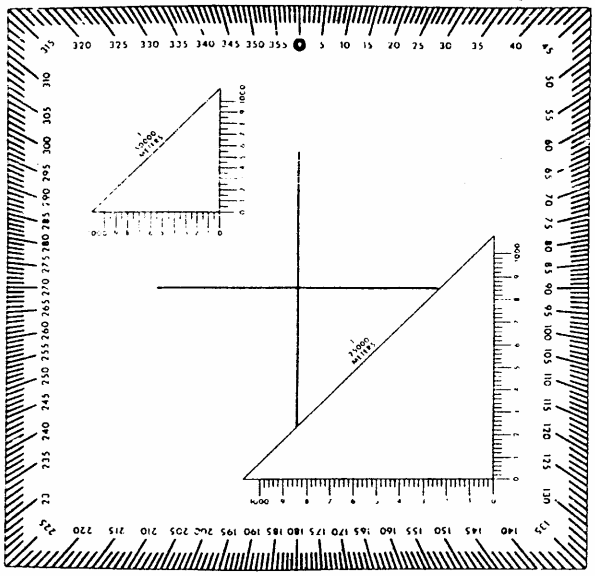
เครื่องมือวัดค่ามุมมีหลายชนิดแตกต่างกัน อาทิ แบบวงกลม แบบครึ่งวงกลม แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสและแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก เครื่องมือวัดค่ามุมเหล่านี้ หน่วยการวัดมุมแสดงให้เห็นบริเวณกรอบพร้อมเครื่องหมายขีดหลัก โดยแบบวงกลมแสดงขีดหลัก ณ จุดศูนย์กลาง



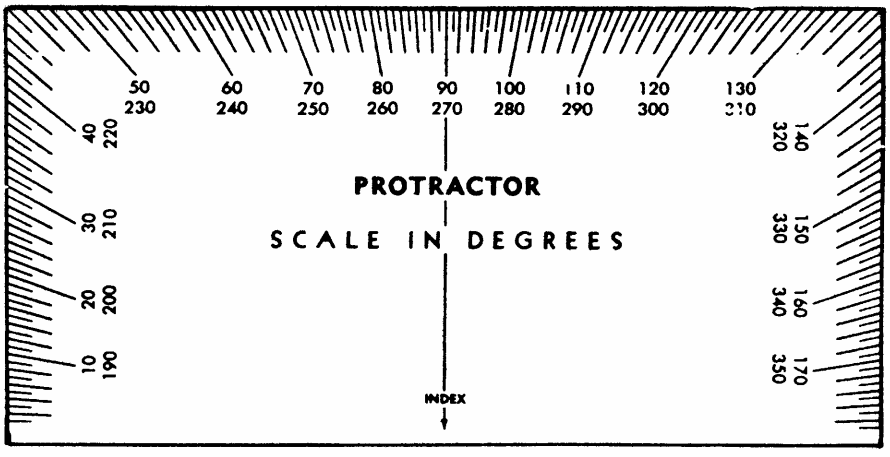
CIRCULAR



SEMICIRCULAR



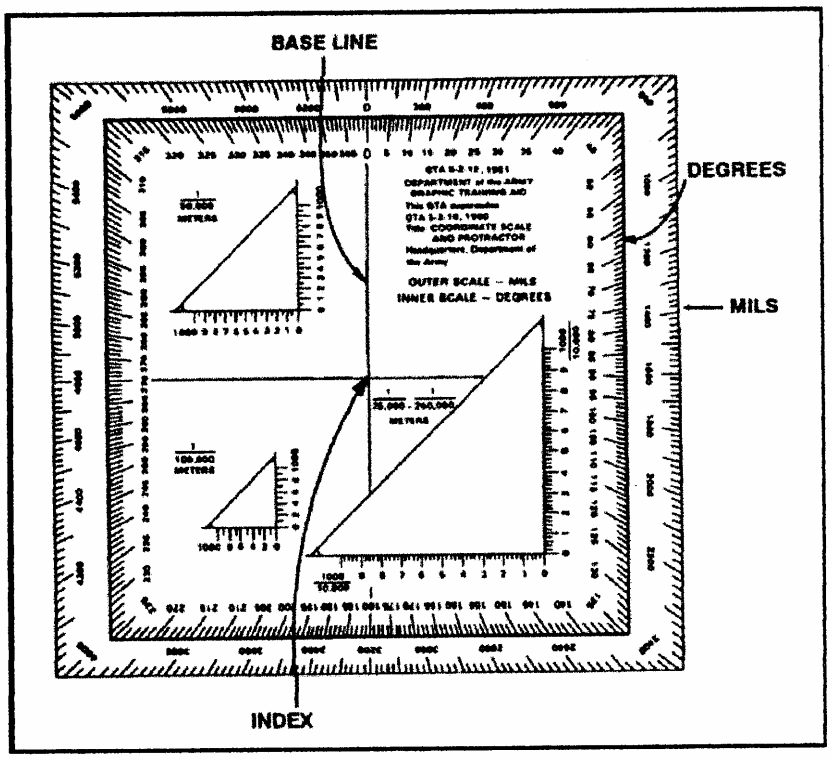
SQUARE



RECTANGULAR

ภาพที่ 56 แบบไม้บรรทัดวัดมุม

4.1 ไม้บรรทัดวัดมุมสำหรับทหาร ขีดส่วนแบ่งย่อยค่ามุมปรากฏค่าสองหน่วยมุม ได้แก่ องศา (วงใน) และมิลเลียม (วงนอก) ซึ่งแสดงค่ามุมราบ หน่วยองศา ปรากฏค่ามุม 0˚ ถึง 360˚ และหน่วยมิลเลียมปรากฏค่ามุม 0 มิล ถึง 6,400 มิล โดยมีค่าเริ่ม 0 และค่าบรรจบ 360˚ กับ 6,400 มิล ตรงขีดเริ่ม 0 จุดเดียวกัน



ภาพที่ 57 ไม้บรรทัดวัดมุมสำหรับทหาร

4.2 การใช้ไม้บรรทัดวัดมุม วางไม้บรรทัดให้แนวเส้นหลักขนานแนวเส้นกริดตั้ง (เหนือ-ใต้) หรือขีดหลัก 0˚ หรือ 360˚ วางไปด้านบนหรือด้านเหนือบนแผนที่ซึ่งขีด 90˚ จะอยู่ด้านขวา

4.2.1 การหาค่ามุมภาคทิศเหนือกริดหรือมุมภาคทิศกริด

ก) ลากเส้นตรงเชื่อมโยงจุดสองจุด

ข) วางไม้บรรทัดวัดมุมให้จุดหลักทับจุดหนึ่ง ณ ที่เส้นเชื่อมโยงจุดทั้งสองตัดกับเส้นกริดตั้ง

ค) รักษาลักษณะตามข้อ ข) พร้อมกับจัดไม้บรรทัดวัดมุมให้เส้นขีด 0˚ - 180˚ ทับบนเส้นกริดตั้ง

ง) อ่านค่ามุมบนไม้บรรทัดวัดมุมจากตัวเลขขีดย่อยจำนวนองศาตรงกับแนวเส้นตรงเชื่อมโยงจุดสองจุดนั้น คือ ค่ามุมภาคทิศกริด

4.2.2 การเขียนทิศทางมุมภาคทิศจากจุดที่ทราบตำแหน่งบนแผนที่

1) เปลี่ยนค่ามุมภาคทิศแม่เหล็กเป็นมุมภาคทิศกริด

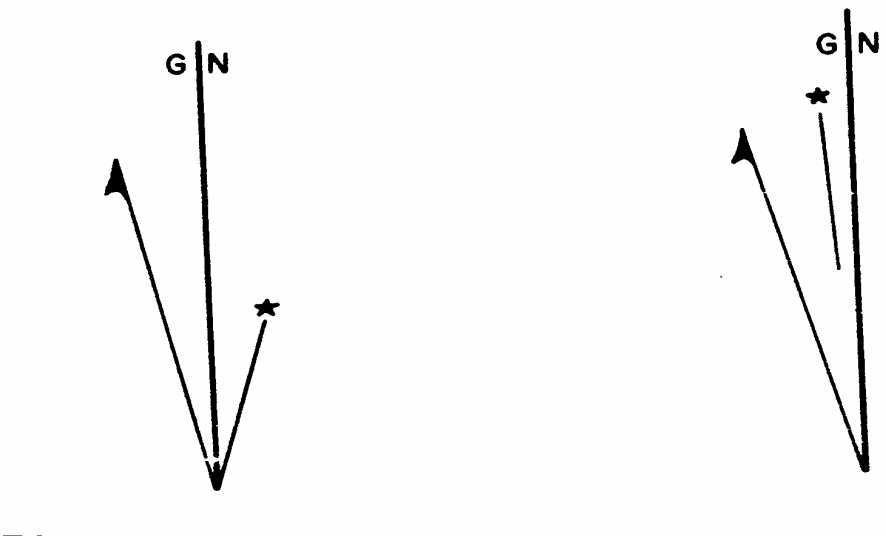
2) วางไม้บรรทัดวัดมุมบนแผนที่ให้จุดหลักทับกึ่งกลางรายละเอียดที่ทราบตำแหน่งและจัดให้เส้นหลักขนานกับแนวเส้นกริดตั้ง

3) เขียนจุดที่ทราบค่ามุมภาคทิศกริดลงบนแผนที่ตรงจำนวนมุมบนบรรทัดวัดมุม

4) ลากเส้นตรงเชื่อมโยงจุดทั้งสองเส้นตรงนี้คือ ทิศทางภาคทิศกริด

5. แผนผังมุมเยื้อง

ความแตกต่างทางมุมระหว่างทิศเหนือสองแบบคือ มุมเยื้องในการใช้แผนที่ประกอบเข็มทิศย่อมมีทิศเหนือกริด และทิศเหนือแม่เหล็ก ใช้ในการพิจารณา แผนผังมุมเยื้องแสดงความสัมพันธ์ด้วยขนาดค่ามุมระหว่างทิศเหนือทั้งสอง ทั้งนี้บนแผนที่แสดงค่าบากมุมระหว่างแนวทิศเหนือกริด ทิศเหนือแม่เหล็กและทิศเหนือจริงโดยเป็นค่ามุมของแผนที่แต่ละระวาง แต่ละมาตราส่วน ใช้สำหรับการแปลงค่ามุมภาคทิศที่ทราบค่าเป็นค่ามุมภาคทิศตามต้องการและแผนที่มาตราส่วนปานกลางจัดแสดงแผนผังมุมเยื้องพร้อมหมายเหตุไว้ในรายรายละเอียดของระวาง

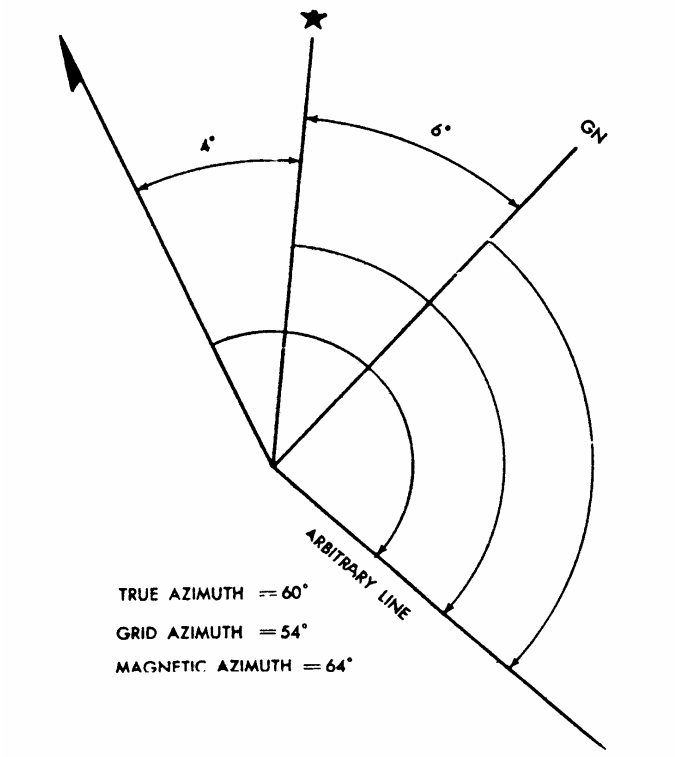


ภาพที่58 แผนผังมุมเยื้อง

5.1 มุมกริด – แม่เหล็ก หรือ G-M แสดงขนาดบากมุมด้วยเส้นประระหว่างทิศเหนือกริดกับทิศเหนือแม่เหล็ก ค่ามุม G-M และปี พ.ศ. ..... ที่ทำการวัดค่าแสดงเป็นจำนวนเต็มองศา หรือครึ่งองศา พร้อมค่ามิลเลียมจำนวนใกล้เคียงเต็มสิบไว้ในวงเล็บ เพื่อผู้อ่านแผนที่หรือต้นหนประสงค์แปลงค่ามุมภาคทิศระหว่างแผนที่กับในภูมิประเทศด้วยขนาดความแตกต่างของมุมเยื้อง

5.2 มุมเยื้องกริด (Grid Convergence) ขนาดมุมเยื้องระหว่างแนวทิศเหนือจริงกับแนวทิศเหนือกริดปรากฏที่กึ่งกลางระวางแผนที่ระวางนั้น ขนาดมุมเยื้องแสดงด้วยเส้นประและจำนวนค่ามุมใกล้เคียงเต็มลิปดา พร้อมจำนวนค่ามิลเลียมไว้ในวงเล็ง

5.3 การแปลงค่ามุมภาคทิศ มีความจำเป็นบ่อยครั้งต้องแปลงค่ามุมภาคทิศ เนื่องด้วย การใช้เข็มทิศวัดค่ามุมภาคทิศเป็นค่ามุมภาคทิศแม่เหล็ก เมื่อทำการกรุยจุดหรือขีดเส้นเล็งตามค่ามุมที่วัดได้ลงบนแผนที่จำเป็นต้องแปลงค่ามุมภาคทิศแม่เหล็กให้เป็นมุมภาคทิศกริดก่อนเสมอ และในทางกลับกันเมื่อต้องการใช้ค่าใช้ค่ามุมเยื้องกริดแม่เหล็กในการเล็งด้วยเข็มทิศเพื่อกำหนดทิศทางในภูมิประเทศต้องแปลงค่ามุมภาคทิศกริดที่วัดได้จากแผนที่มาใช้ในการแปลงค่ามุมต่อไปนี้



ภาพที่ 59 บากมุมภาคทิศ

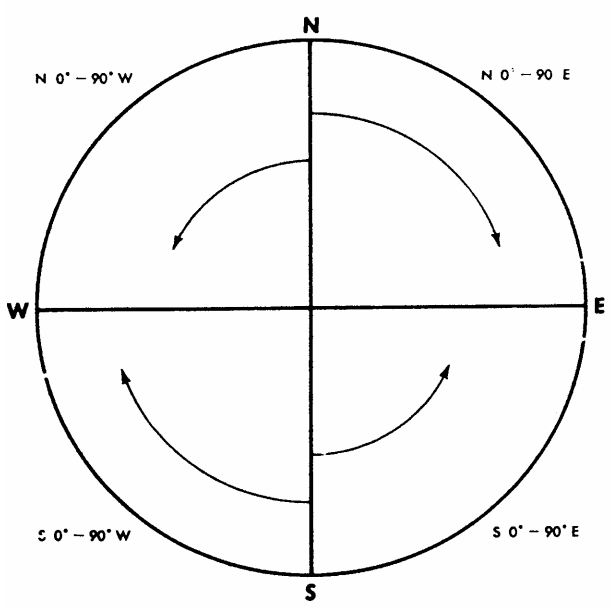
5.3.1 จากภาพที่ 58

5.3.2 ที่จุดยอดมุมแผนภาพมุมเยื้องลากเส้นสมมุติกว้าง 90˚ กับแนวทิศเหนือเส้นสมมุติคือเส้นที่ทำให้เกิดค่ามุมภาคทิศ การอ่านค่ามุมภาคทิศชนิดใดก็ตาม เส้นสมมุติที่ทำให้เกิดค่ามุมภาคทิศคงอยู่ที่เดิม แต่ค่าของมุมเปลี่ยนไปเกิดจากแนวทิศเหนือซึ่งใช้อ่านค่ามุมภาคทิศนั้นอยู่ในแนวแตกต่างกันตามขนาดค่ามุมเยื้อง

5.3.3 เมื่อลากโค้งแสดงมุมภาคทิศจากแนวทิศเหนือ แต่ละชนิดไปยังเส้นสมมุติจะเห็นว่าบากมุมใดเป็นมุมภาคทิศชนิดใดอย่างชัดเจน

6. มุมทิศ (Bearing)

6.1 จำนวนค่ามุมที่แสดงค่าทิศทางการวัดเวียนทั้งตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา โดยเริ่มวัดค่ามุมจากแนวเส้นเหนือ - ใต้ เป็นทิศหลักค่ามุมไม่เกิน 90˚ หรือ 1 ใน 4 ส่วน ของวงกลม หรือจตุรางคดล (Quadrant) เรียกว่า มุมทิศ หรือแบริ่ง



ภาพที่ 60 ค่ามุมแบริ่ง

6.2 การอ่านค่ามุมทิศ ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน ดังนี้

6.2.1 แนวทิศหลัก ทิศเหนือ หรือทิศใต้ 1 ทิศทางเท่านั้น

6.2.2 ค่ามุมตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกาจากแนวทิศเหนือหรือทิศใต้ค่ามุมมีค่าไม่เกิน 90 ˚

6.2.3 ทิศทางของด้านหมุนเวียนไปด้านทิศตะวันออกหรือทิศตะวันตก

7. การเล็งสกัดตรงและการเล็งสกัดกลับ

7.1 การเล็งสกัดตรง (INTERSECTION)

การกำหนดตำแหน่งของจุดที่หมายซึ่งยังไม่ทราบค่าพิกัดแน่นอนบนแผนที่และเป็นจุดอันตรายสามารถกระทำได้โดยการเข้าประจำจุดที่ทราบตำแหน่งแน่นอนแล้วอย่างน้อย 2 จุด

แต่ถ้าต้องการความถูกต้องของตำแหน่งหรือพิกัดเพิ่มขึ้นสามารถเข้าประจำจุดจำนวน 3 จุด ด้วยการเล็งสกัดตรงกระทำได้ 2 วิธี คือ วิธีใช้แผนที่ประกอบเข็มทิศและวิธีใช้ขอบไม้บรรทัด

7.1.1 วิธีใช้แผนที่ประกอบเข็มทิศ

ก) วางแผนที่ให้ถูกทิศ

ข) กำหนดหมายพิกัดที่อยู่ตนเองลงบนแผนที่ทั้ง 2 จุด หรือ 3 จุด ที่ทราบพิกัด

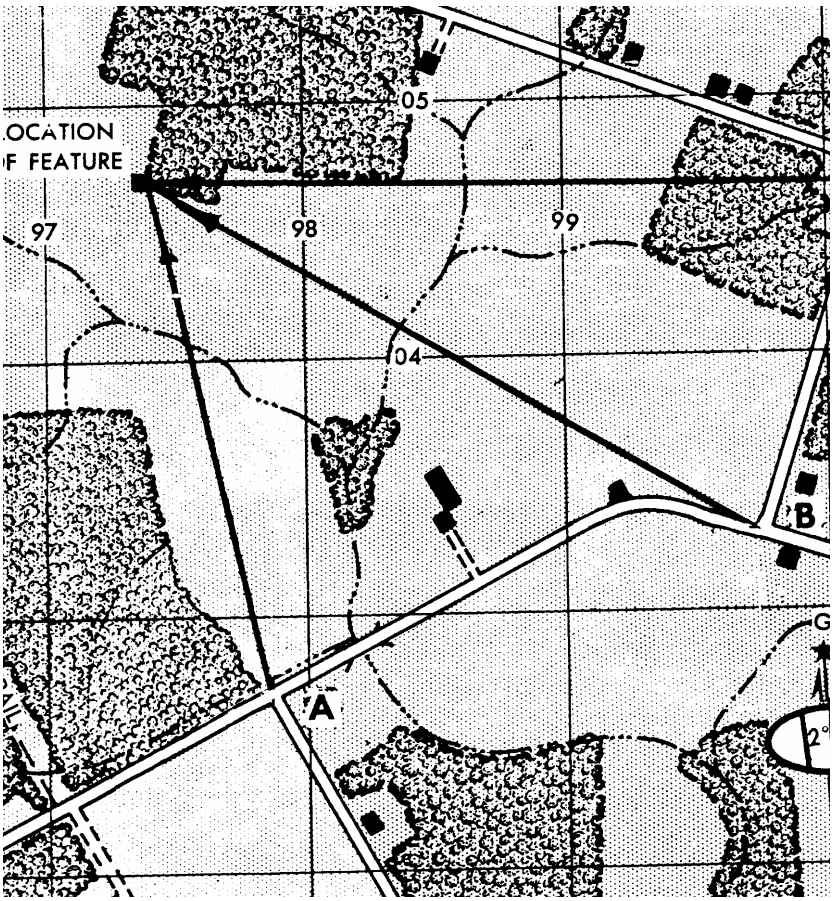
ค) วัดหาค่ามุมภาคทิศแม่เหล็กด้วยเข็มทิศไปยังจุดที่ไม่ทราบพิกัด

ง) ลากเส้นตรงจากจุดที่อยู่ตนเองไปยังที่จุดไม่ทราบพิกัดด้วยขนาดมุมภาคทิศแม่เหล็กที่ได้รับการแปลงค่าเป็นมุมภาคทิศกริดแล้ว

จ) ย้ายไปยังจุดที่ 2 หรือจุดที่ 3 ในภูมิประเทศที่ตรงกันบนแผนที่ ซึ่งต้องมองเห็นที่หมายไม่ทราบพิกัดด้วย กระทำเช่นเดียวกับข้อ ก)

ฉ) วัดหาค่ามุมภาคทิศแม่เหล็ก เช่นเดียวกับข้อ ค) ซึ่งการเล็ง ณ จุดที่ 3 เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของตำแหน่งที่เส้นเล็งจาก 2 จุด ตัดกัน

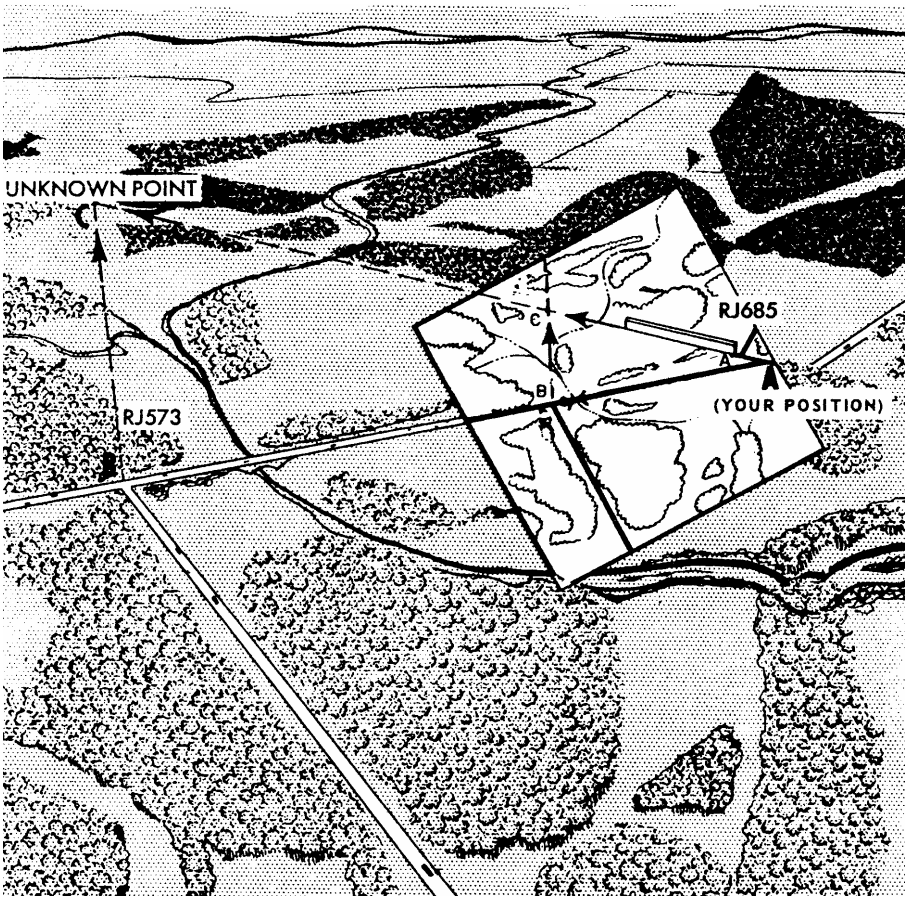
ช) ตำแหน่งที่เส้นเล็งทั้งหลายตัดกันคือ ตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าพิกัดบนแผนที่และตรงกับในภูมิประเทศในกรณีเส้นเล็งตัดกันเป็นรูปสามเหลี่ยมแสดงว่าการเล็งเกิดความคลาดเคลื่อน เรียกว่า “สามเหลี่ยมแห่งความคลาดเคลื่อน” และสามเหลี่ยมแห่งความคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่มากต้องทำการเล็งสกัดซ้ำ



ภาพที่ 61 การเล็งสกัดตรงโดยใช้แผนที่ประกอบเข็มทิศ

7.1.2 วิธีใช้ขอบไม้บรรทัด

การใช้ขอบไม้บรรทัดทำการเล็งสกัดใช้ในกรณีไม่สามารถใช้เข็มทิศเล็งสกัดได้ จากสาเหตุสิ่งแวดล้อมมีสภาพเป็นสนามแม่เหล็ก



ภาพที่ 62 การเล็งสกัดตรงโดยใช้ขอบไม้บรรทัด

ก) วางแผนที่ให้ถูกทิศโดยการเปรียบเทียบรายละเอียดบนแผนที่ ให้ตรงกับในภูมิประเทศ

ข) กำหนดหมายพิกัดที่อยู่ตนเองลงบนแผนที่

ค) วางไม้บรรทัดมีขอบลงบนแผนที่ใช้ปลายด้านจุดที่ทราบพิกัดเป็นจุดหมุน พร้อมกับหมุนกวาดไม้บรรทัดไปบนแผนที่จนกระทั่งแนวไม้บรรทัดทับจุดที่ต้องการทราบพิกัด

ง) ลากเส้นตรงตามขอบไม้บรรทัดจากจุดที่ทราบพิกัดบนแผนที่ที่ใช้เป็นจุดหมุนไปจุดที่หมาย

จ) ย้ายไปยังจุดที่ 2 และจุดที่ 3 และดำเนินการตามข้อ ก) ถึงข้อ ง) โดยจุดที่ 3 เป็นแนวเล็งตรวจสอบ

ฉ) จุดตัดกันของเส้นเล็งคือตำแหน่งของจุดที่ต้องการทราบพิกัด

7.2 การเล็งสกัดกลับ (RESECTION)

การกำหนดตำแหน่งตนเองซึ่งยังไม่ทราบพิกัดแน่นอนลงบนแผนที่ โดยการเล็งไปยังจุดที่รู้พิกัด 2 จุด หรือ 3 จุด ด้วยการวัดมุมภาคทิศกริด เรียกว่า การเล็งสกัดกลับ สามารถกระทำได้ 2 วิธี เช่นเดียวกับการเล็งสกัดตรง

7.2.1 วิธีใช้แผนที่ประกอบเข็มทิศ

ก) วางแผนที่ให้ถูกทิศด้วยเข็มทิศ

ข) กำหนดตำแหน่งจุดที่ทราบระยะทางระหว่างจุดในภูมิประเทศจำนวน 2 จุดหรือ 3 จุด พร้อมกับลงตำแหน่งบนแผนที่ที่ตรงกับในภูมิประเทศ

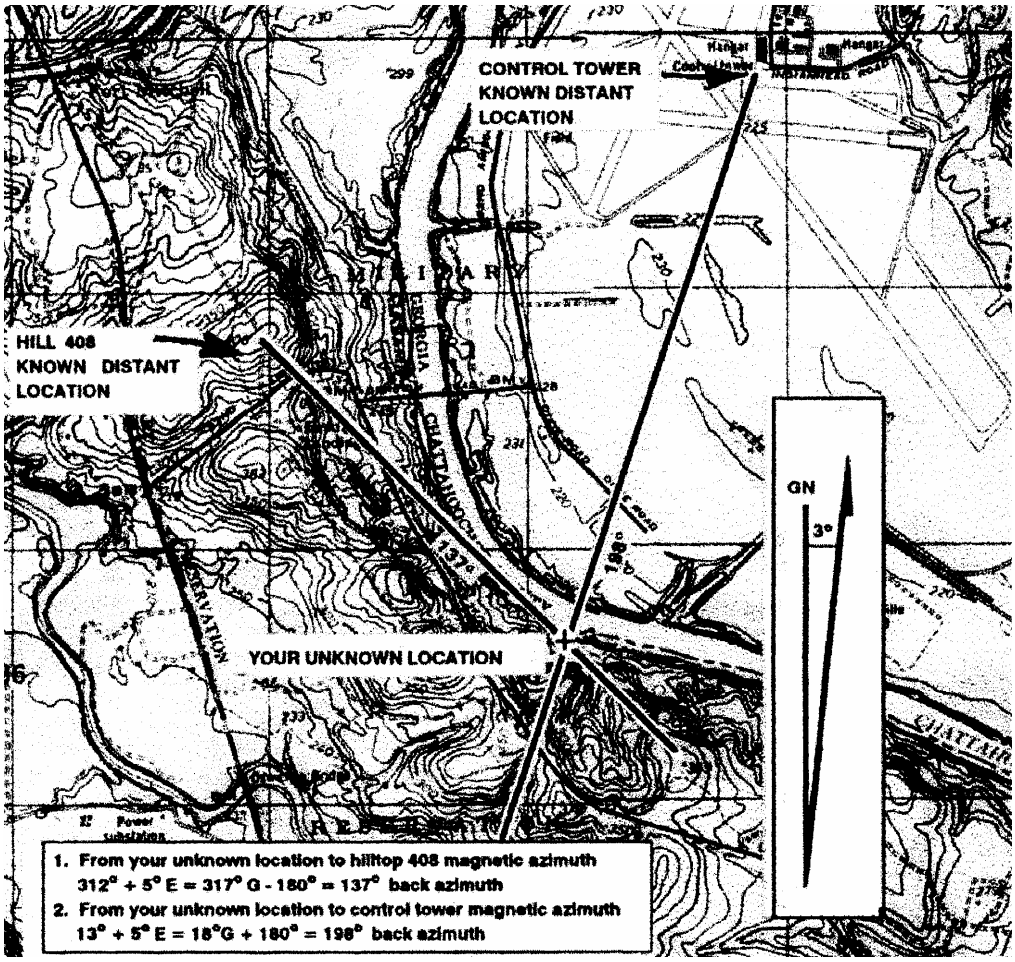
ค) วัดหาค่ามุมภาคทิศแม่เหล็กจากจุดหนึ่งในภูมิประเทศที่ทราบพิกัดบนแผนที่

ง) แปลงค่ามุมภาคทิศแม่เหล็กเป็นมุมภาคทิศกริด

จ) แปลงค่ามุมภาคทิศกริด เป็นมุมภาคทิศกลับ และใช้ไม้บรรทัดวัดมุมวัดค่ามุมเพื่อลากเส้นตรงจากจุดที่ทราบพิกัดจากจุดที่ทราบพิกัดจุดหนึ่งสวนทิศทางมุมภาคทิศด้วยขนาดค่ามุมภาคทิศกลับมายังจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด

ฉ) ย้ายไปยังจุดที่ 2 หรือจุดที่ 3 ที่มีระยะทางห่างออกไปตามที่ทราบแล้ว และดำเนินการเช่นเดียวกับข้อ ก) – ข้อ จ)

ช) แนวเส้นเล็งสกัดตรงบนแผนที่ตัดกันที่จุดหนึ่ง เป็นจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด



ภาพที่ 63 การเล็งสกัดกลับโดยใช้แผนที่ประกอบเข็มทิศ

7.2.2 วิธีใช้ขอบไม้บรรทัด

ก) วางแผนที่บนพื้นราบให้ถูกทิศ

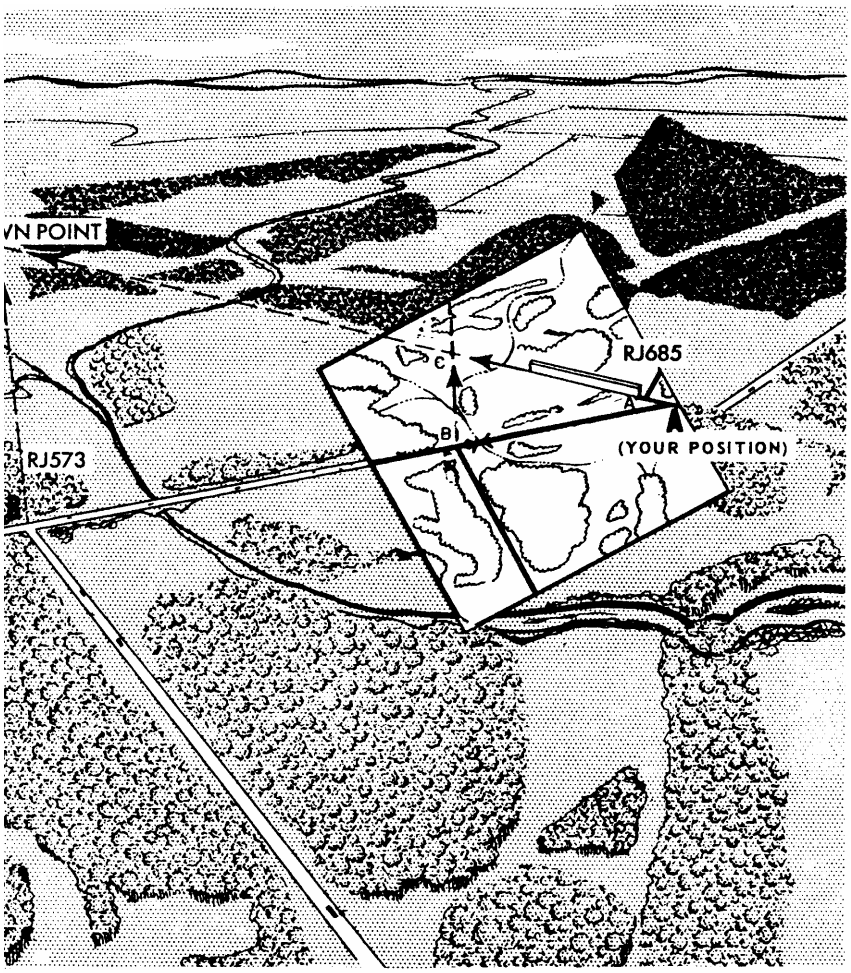
ข) กำหนดตำแหน่งจุดที่ทราบระยะทางระหว่างจุดในภูมิประเทศหรือรายละเอียดสำคัญปรากฏบนพื้นดินภูมิประเทศตรงกับบนแผนที่

ค) วางขอบไม้บรรทัดบนแผนที่ใช้ขอบทาบทับจุดที่ทราบตำแหน่งตรงกับในภูมิประเทศด้านหน้าของจุดหนึ่ง ๆ

ง) ลากเส้นตรงจากจุดที่ทราบพิกัดย้อนทิศทางมาหาตำแหน่งที่ต้องการทราบพิกัด

จ) กระทำการตามข้อ ค) และข้อ ง) โดยเล็งด้วยขอบไม้บรรทัดไปยังจุดที่ 2 หรือจุดที่ 3

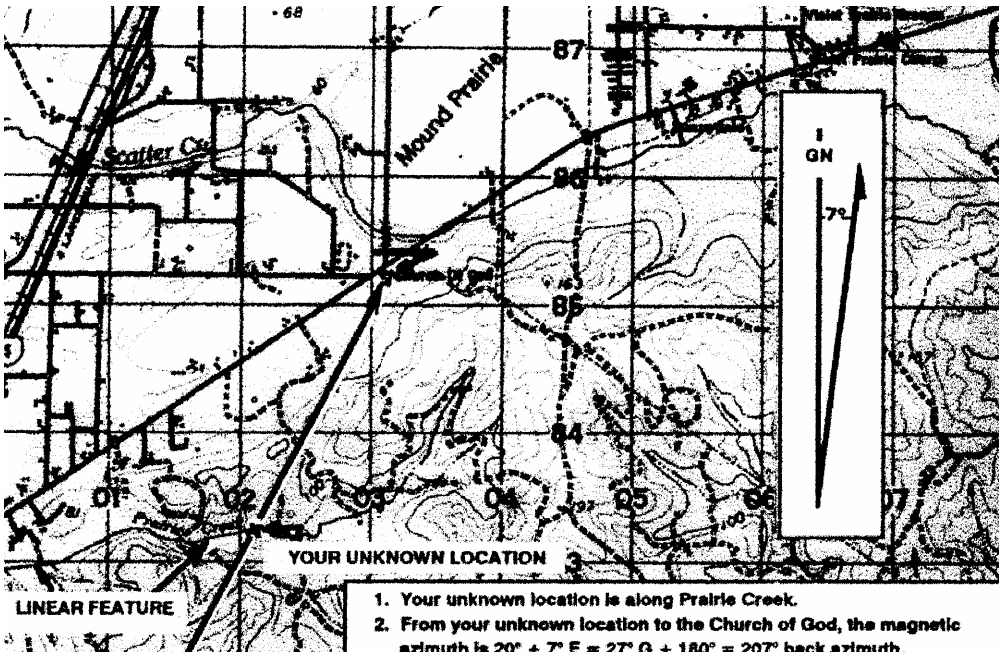
ฉ) แนวเส้นเล็งสกัดตรงบนแผนที่คือ ตำแหน่งที่อยู่ตนเองที่ต้องการทราบพิกัด ค่าพิกัด ณ ตำแหน่งที่อยู่ตนเองอ่านค่าพิกัดให้มีความละเอียดตามต้องการตามวิธีการอ่านค่าพิกัดในการกำหนดตำแหน่ง



ภาพที่ 64 การเล็งสกัดกลับด้วยขอบไม้บรรทัด

7.2.3 การเล็งสกัดกลับด้วยเส้นเล็งเส้นเดียว

การปฏิบัติงานในภูมิประเทศ การเล็งสกัดกลับเป็นวิธีการกำหนดตำแหน่งตนเองบนแผนที่ ทุกครั้งในการปฏิบัติงานจึงต้องทราบที่อยู่ตนเองก่อนเสมอ บางครั้งคราว ผู้ปฏิบัติงานไม่สามารถเข้าประจำจุดที่เลือกไว้ได้ทั้งสองจุดจึงต้องเปลี่ยนวิธีการเป็นการอาศัยจุดเข้าประจำจุดเพียง 1 จุด ทั้งนี้ผู้ปฏิบัติงานต้องทราบว่าตนเองเข้าประจำจุดบนแนวเส้นรายละเอียดเช่น ถนน คลอง หรือลำธารในภูมิประเทศซึ่งเป็นตำแหน่งที่ไม่ทราบค่าพิกัดบนแผนที่ แต่มีรายละเอียดตรงกัน



ภาพที่ 65 วิธีการเล็งสกัดด้วยเส้นเล็งเส้นเดียว

ก) วางแผนที่ให้ถูกทิศด้วยเข็มทิศบนภูมิประเทศที่ตนเองอยู่บนรายละเอียดที่เป็นแนวเส้นที่ยังไม่ทราบพิกัด

ข) พิจารณาจุดเด่นชัดที่สำคัญในภูมิประเทศและปรากฏบนแผนที่ตรงกัน

ค) วัดหาค่ามุมภาคทิศแม่เหล็กจากจุดเด่นชัดในข้อ ข) จากที่ทราบตำแหน่ง

ง) แปลงค่ามุมภาคทิศแม่เหล็กเป็นค่ามุมภาคทิศกริด

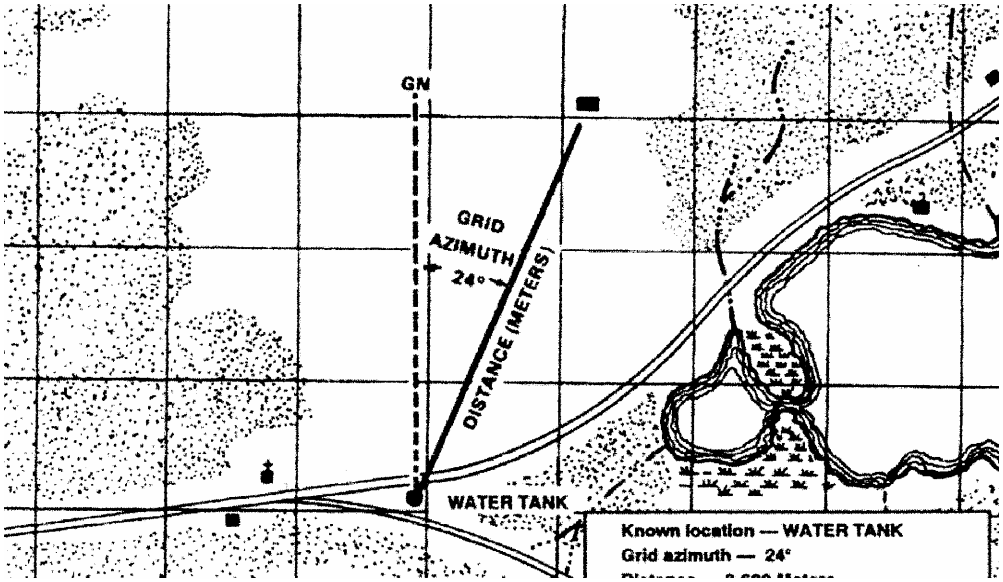
จ) แปลงค่ามุมภาคทิศกริด ข้อ ง) เป็นค่ามุมภาคทิศกลับ และใช้ไม้บรรทัดวัดมุมลากเส้นตรงตามจำนวนค่ามุมภาคทิศกลับลงบนแผนที่จากจุดที่ทราบตำแหน่งย้อนมายังจุดที่ต้องการทราบตำแหน่ง

ฉ) ตำแหน่งของผู้ปฏิบัติงาน หรือจุดตัดของเส้นตรงที่ลากขึ้นตัดกับรายละเอียดที่เป็นแนวเส้น

ช) อ่านค่าพิกัดตรงจุดตัดบนแผนที่ ข้อ ฉ) ความละเอียดค่าพิกัดตามวิธีการอ่านค่าพิกัดในการกำหนดตำแหน่งตามต้องการ

8. พิกัดขั้ว (Polar Coordinate)

นอกจากการหาตำแหน่งตนเองในภูมิประเทศตามวิธีการกล่าวผ่านมา อาจเลือกใช้วิธีการพิกัดขั้วในการหาตำแหน่งอีกวิธีการหนึ่ง โดยมีวิธีการคล้ายคลึงกับการเล็งสกัดเส้นเดียวโดยอาศัยการอ่านค่ามุมภาคทิศจากจุดที่ทราบพิกัดเป็นมุมภาคทิศแม่เหล็กหรือมุมภาคทิศกริดอย่างใดอย่างหนึ่งประกอบระยะทางจำนวนเมตรจากจุดที่ทราบพิกัดถึงจุดที่ยังไม่ทราบพิกัด ซึ่งการวัดระยะอย่างละเอียดจะให้ค่าของตำแหน่งถูกต้องมากขึ้น และค่าพิกัดของจุดต้องการทราบพิกัดมีค่าที่ถูกต้องตรงกับรายละเอียดที่ต้องการ

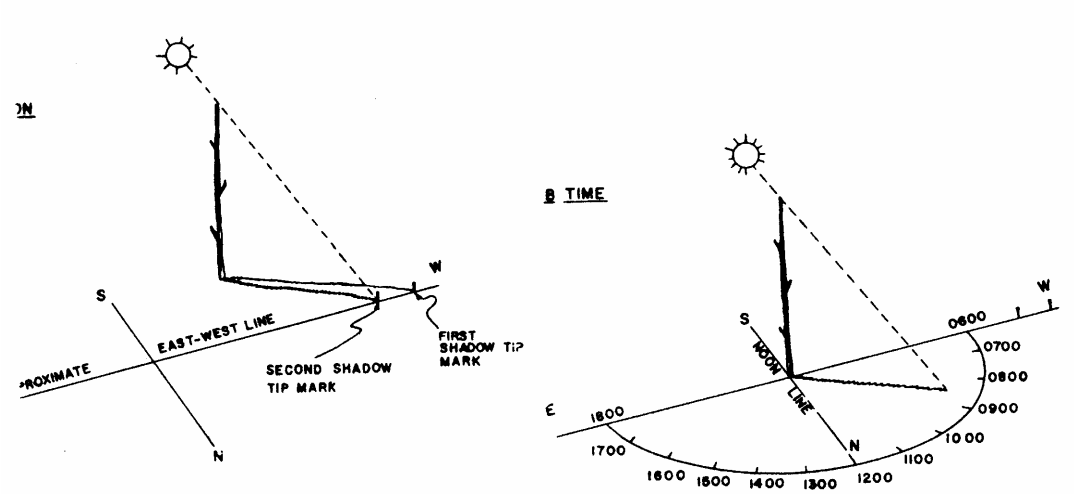


ภาพที่ 66 พิกัดขั้ว

9. การหาทิศทางและเวลาด้วยการสังเกตธรรมชาติ

การกำหนดทิศทางนอกเหนือจากการใช้เข็มทิศอาจใช้วิธีสังเกตธรรมชาติซึ่งอาจเกิดจากประสบการณ์กระบวนการคิด หรือการถ่ายทอดความรู้เฉพาะถิ่น ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของระยะเวลากลางวันหรือกลางคืน

9.1 การหาทิศทางและเวลาจากปลายเงา



But where

ภาพที่ 67 การหาทิศทางและเวลาจากปลายเงา

9.1.1 ปักกิ่งไม้ความยาวประมาณ 4 ฟุตบนพื้นดิน เพื่อการสังเกตเงาปลายกิ่งไม้ได้ชัดเจน และให้หมายปลายเงาไม้ด้วยกิ่งไม้หรือก้อนหิน

9.1.2 รอเวลาประมาณ 10 นาที เพื่อให้เงาปลายไม้เปลี่ยนตำแหน่งจากข้อ 9.1.1 ระยะปลายเงาไม้ห่างจากที่เดิมประมาณ 2-3 นิ้ว ปลายเงาไม้ที่ปรากฏมีทิศทางขึ้นอยู่กับฤดูกาลให้หมายปลายเงาไม้ไว้ด้วยโดยปลายเงาไม้ครั้งที่ 1 จะสั้นกว่าครั้งแรกเล็กน้อย

9.1.3 ลากเส้นตรงเชื่อมโยงปลายเงาไม้ทั้งสองครั้งแนวเส้นตรงนี้เป็นแนวทิศตะวันออก ทิศตะวันตกโดยประมาณ

9.1.4 ลากเส้นตั้งฉากกับแนวเส้นตรงตามข้อ 9.1.3 จะเป็นแนวทิศเหนือ ทิศใต้ โดยประมาณอันจะเป็นเครื่องมือช่วยในการกำหนดแนวทิศอื่น ๆ ที่ต้องการเดินทางได้

9.1.5 สำหรับการหาเวลา ให้ดำเนินการต่อจากข้อ 9.1.3 ดังนี้

ก) ปักกิ่งไม้บนพื้นดินกึ่งกลางแนวปลายเงาไม้ข้อ 9.1.1 และข้อ 9.1.2

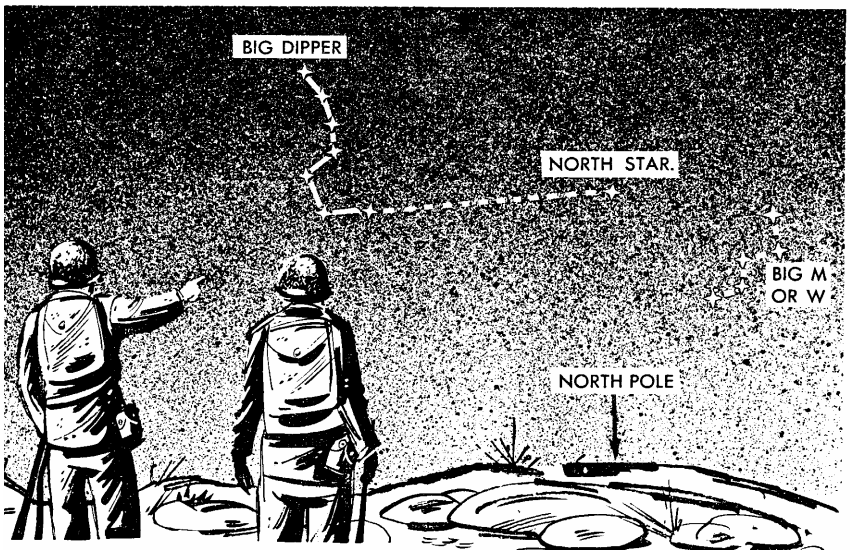
ข) กำหนดปลายเงาไม้จุดแรกด้านปลายเงาไม้ชี้ทิศตะวันตกเป็นจุดเริ่มเวลา 0600 น. และปลายเงาไม้จุดที่สองปลายเงาไม้ชี้ทิศตะวันออกเป็นจุดเวลา 1800 น.

ค) แนวเส้นตั้งฉาก ณ จุดกึ่งกลางเส้นลากต่อปลายเงาไม้เป็นจุดเวลา 1200 น.

ง) ลากโค้งของวงกลมและแบ่งส่วนโค้งจำนวน 12 ส่วน จำนวน 6 ส่วนด้านตะวันตกของเส้นตั้งฉากเป็นระยะเวลาเช้าและด้านตะวันออกเป็นระยะเวลาบ่าย

จ) เงาปลายไม้ขณะที่ต้องการทราบเวลาจะชี้ตรงส่วนแบ่งเวลาที่กำหนดตามข้อ ง) เวลาที่อ่านได้นี้คือเวลานาฬิกาแสงแดดทำให้ทราบเวลาโดยประมาณได้

9.2 การหาทิศทางเวลากลางคืน



ภาพที่ 68 การหาทิศทางโดยอาศัยดาวเหนือ

ตามธรรมชาติของดาวจะโคจรไปบนท้องฟ้าจากด้านทิศตะวันออก และลับขอบฟ้าทางด้านทิศตะวันตก สำหรับดาวเหนือหรือดาวโพลาริสเป็นดาวที่เคลื่อนที่ไม่ลับพื้นขอบฟ้า เป็นดาวประจำขั้วท้องฟ้าเหนือซึ่งผู้ปฏิบัติบริเวณซีกโลกเหนือจะสังเกตได้ชัดเจน

9.2.1 พิจารณากลุ่มดาวหมีใหญ่ (ดาวจระเข้ใหญ่) ประกอบกับกลุ่มดาวตัวเอ็ม (ตัว W หรือดาวกา)

9.2.2 ดาวเหนือปรากฏระหว่างกลุ่มดาวทั้งสอง เป็นดาวเดี่ยวมีแสงสว่างสุกใส ตำแหน่งใกล้ขั้วท้องฟ้ามากที่สุด หรืออนุโลมเป็นขั้วท้องฟ้าเหนือ ซึ่งเป็นเครื่องบ่งชี้ทิศทางได้แก่ ทิศเหนือ

บทที่ 8
การใช้แผนที่

ผู้ปฏิบัติงานในภูมิประเทศใช้แผนที่เพื่อการบอกตำแหน่งเป็นสำคัญ สำหรับรายละเอียดสิ่งแวดล้อม , ผู้ใช้แผนที่นำมาพิจารณาเพื่อการพัฒนา การป้องกันตนเองหรือการวางแผนยุทธศาสตร์ด้านต่าง ๆ การใช้แผนที่จำเป็นต้องเลือกมาตราส่วนแผนที่ตามลักษณะงานที่ปฏิบัติ ได้แก่ งานการวางแผน และงานการปฏิบัติงานการวางแผน ส่วนใหญ่เป็นงานในสำนักงานโดยพื้นที่วางแผนมีขนาดแตกต่างกันตามระดับชั้นความสำคัญ นิยมใช้แผนที่มาตราส่วนปานกลางหรือมาตราส่วนเล็ก

งานการปฏิบัติส่วนใหญ่เป็นงานในภูมิประเทศ แผนที่ใช้ในการปฏิบัติจึงต้องปรากฏรายละเอียดครบถ้วนเป็นจริงตรงกับในภูมิประเทศ แผนที่ที่สามารถแสดงรายละเอียดครบถ้วน ชัดเจน จึงนิยมใช้แผนที่มาตราส่วนใหญ่

1. การใช้แผนที่

1.1 การใช้แผนที่ในสำนักงาน แผนที่ทุกประเภทถูกจัดพิมพ์แสดงลักษณะภูมิประเทศลงบนกระดาษและผู้ใช้แผนที่จะใช้แผนที่ด้วยความเคยชินโดยใช้อุปกรณ์เครื่องเขียนและสีเขียนลงบนแผนที่ทำให้แผนที่ชำรุดและรายละเอียดสำคัญถูกปิดบัง การปฏิบัติต่อแผนที่อย่างเหมาะสมได้แก่ การห่อหุ้มด้วยวัสดุโปร่งแสง โปร่งใสและผนึกให้ติดแน่นกับแผนที่ การใช้เครื่องเขียนต่าง ๆ ให้เขียนลงบนวัสดุห่อหุ้ม

1.1.1 กำหนดจุดสำคัญที่ต้องการพิจารณาตามพิกัดตำแหน่ง ตามวิธีการกำหนดตำแหน่งด้วยพิกัดภูมิศาสตร์หรือพิกัดกริด ความละเอียดค่าพิกัดตามความต้องการ

1.1.2 หาตำแหน่งจุดต่าง ๆ เพิ่มเติมจากรายงาน หรือบันทึกที่จัดทำกรณีบอกตำแหน่งด้วยพิกัดให้ดำเนินการกำหนดค่าพิกัดลงบนแผนที่ให้มีความละเอียดเท่าเทียมตามรายงานหรือบันทึก

1.1.3 การกำหนดขอบเขตพื้นที่ พิจารณาจากลักษณะภูมิประเทศปรากฏเด่นชัดบนแผนที่ อาทิ ยอดภูเขา จุดตัดถนน แม่น้ำ ลำคลอง หรือรายละเอียดสิ่งก่อสร้างเด่นชัด

1.1.4 คำนวณหาขนาดเนื้อที่ภายในขอบเขตพื้นที่ตามกำหนดในข้อ 1.1.3 เป็นจำนวนตารางกิโลเมตร หรือจำนวนไร่ เพื่อการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบ

1.1.5 กำหนดที่ตั้งหน่วยปฏิบัติงานตามภารกิจที่มอบหมายให้ปฏิบัติเพื่อการควบคุมและการติดตามผลการปฏิบัติ

1.1.6 ใช้แผนที่มีรายละเอียดปรากฏตามข้อ 1.1.1 ถึง ข้อ 1.1.5 ประกอบเอกสารในการสั่งการให้หน่วยระดับรองปฏิบัติต่อไป

1.2 การใช้แผนที่ในภูมิประเทศ ผู้ปฏิบัติงานในภูมิประเทศนิยมใช้แผนที่มาตราส่วนใหญ่แสดงการครอบคลุมพื้นที่ปฏิบัติงานของตนเองในข้อ 1.1.5

1.2.1 การเข้าประจำจุดของหน่วย

ก) เข้าประจำจุดที่กำหนดไว้ตามการวางแผนในพื้นที่รับผิดชอบ

ข) วางแผนที่ให้ถูกทิศด้วยเข็มทิศ

ค) เลือกภูมิประเทศสำคัญ หรือสูงเด่นในภูมิประเทศที่ปรากฏตรงกับบนแผนที่ จำนวน 2 จุด หรือ 3 จุด

ง) ใช้เข็มทิศเล็งสกัดวัดค่ามุมภาคทิศแม่เหล็ก

จ) แปลงค่ามุมภาคทิศแม่เหล็กเป็นค่ามุมภาคทิศกริด

ฉ) แปลงค่ามุมภาคทิศกริดเป็นค่ามุมภาคทิศกลับ

ช) ลากเส้นตรงบนแผนที่ จากจุดที่ทราบพิกัดจุดแรกตามขนาดค่ามุมภาคทิศกลับ

ซ) จากการเข้าประจำจุดที่ 2 หรือจุดที่ 3 ให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ ข) ถึง ข้อ ช)

ฌ) จุดตัดของเส้นเล็งสกัด คือ จุดที่ต้องการทราบพิกัดที่ตั้งของหน่วยปฏิบัติงาน

ญ) ค่าพิกัดบนแผนที่อ่านค่าพิกัดตามความละเอียดที่ต้องการ

ฏ) ย้ายเข้าประจำจุดตามแผนกำหนด พร้อมกับรายงานที่ตั้งให้หน่วยผู้ควบคุมการปฏิบัติงานทราบ

1.2.2 การเข้าประจำการของบุคคล

ก) เข้าประจำจุดที่ได้รับมอบหมาย

ข) ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ ข) ถึงข้อ ญ) ที่ผ่านมา

ค) รายงานตำแหน่งด้วยค่าพิกัดที่มีความละเอียดตามที่อ่านได้จากวิธีกำหนดตำแหน่งในแผนที่ทันที

ง) กรณีพื้นที่ปฏิบัติงานแตกต่างเขตกริดควรพิจารณาการรายงานตำแหน่งประกอบหมายเลขเขตกริดให้สมบูรณ์

2. การพิจารณาพื้นที่ปฏิบัติงาน

พื้นที่โดยรอบตำแหน่งที่ตั้งผู้ปฏิบัติงานต้องศึกษาลักษณะภูมิประเทศบนแผนที่ให้เข้าใจ เนื่องจากรายละเอียดภูมิประเทศอาจเกื้อกูลหรือเป็นอุปสรรคในการปฏิบัติงานของบุคคลหรือของหน่วย

2.1 วางแผนที่ให้ถูกทิศ

2.2 พิจารณาพื้นที่ภูมิประเทศจากแผนที่ในกรณีเป็นประโยชน์เกื้อกูลพร้อมกับบันทึกรายละเอียด

2.3 พิจารณาพื้นที่ภูมิประเทศจากแผนที่ในกรณีเป็นโทษ เป็นอุปสรรคการปฏิบัติงานพร้อมกับบันทึกรายละเอียด

2.4 พิจารณาพื้นที่สูงเด่น การปกคลุมของพืชพันธ์ ประเภทพืชพันธ์ การอยู่อาศัย ทิศทางการไหลของน้ำ แหล่งน้ำ ฯลฯ

2.5 ทำการตรวจสอบภูมิประเทศพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏขณะนั้นโดยบ่งบอกด้วยตำแหน่งที่ตั้งตามพิกัดและบันทึกผลการตรวจสอบ

2.6 รายงานผลการตรวจสอบภูมิประเทศจากข้อ 2.5

2.7 ปฏิบัติงานตามภารกิจที่ได้รับมอบหมาย

ตอนที่ 2

เอกสารประกอบคำบรรยาย

วิชารูปถ่ายทางอากาศ

และภาพดาวเทียม

โดย

พ.อ. ปรัชญา นครเก่า

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	ก
สารบัญภาพ	ค
บทที่ 1 กล่าวทั่วไป	
1. คำจำกัดความ	1
2. ประวัติการถ่ายรูปทางอากาศ	1
3. การบินถ่ายรูปทางอากาศในประเทศไทย	3
บทที่ 2 การถ่ายรูปทางอากาศเพื่อใช้สำรวจและทำแผนที่	
1. กล่าวนำ	5
2. หัวข้อเรื่องที่จำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับรูปถ่ายทางอากาศ	
2.1 แหล่งกำเนิดแสงและการส่องสว่าง (The light Source and Illumination)	5
2.2 วัตถุที่ต้องการถ่ายรูป (The Objects)	6
2.3 อิทธิพลของชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Influences)	7
2.4 แว่นกรองแสง (Filters)	8
2.5 เลนส์ของกล้องถ่ายรูปทางอากาศ (The Survey Camera ‘s Lens)	9
2.6 การเคลื่อนที่ของจุดภาพ (Image Movement)	10
2.7 น้ำยาบันทึกภาพ (Photographic Emulsion)	11
บทที่ 3 องค์ประกอบเพื่อให้ได้มาซึ่งรูปถ่ายทางอากาศที่ใช้ในการสำรวจและทำแผนที่	
1. กล่าวนำ	13
2. ชนิดของรูปถ่ายทางอากาศ	13
3. ชนิดของกล้องถ่ายรูปถ่ายทางอากาศ	14
4. องค์ประกอบเพื่อให้ได้มาซึ่งรูปถ่ายทางอากาศที่ใช้ในการสำรวจ และทำแผนที่	
4.1. กล้องถ่ายรูปทางอากาศ	14
4.2. ข้อกำหนดทางโฟโตแกรมเมตรี	14
บทที่ 4 การคำนวณมาตราส่วนรูปถ่ายทางอากาศ	
1. ความหมายของมาตราส่วน	15
2. วิธีการหามาตราส่วนของรูปถ่ายทางดิ่ง	16
2.1 วัดระยะความยาวระหว่างจุด 2 จุด	16

สารบัญ

หน้า

2.2 วัดขนาดความยาวของรายละเอียดในภาพที่เห็นเด่นชัด 16

2.3 เมื่อทราบระยะความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายรูปทางอากาศ และความสูงบิน 16

บทที่ 5 รายละเอียดข้อมูลบนขอบรูปถ่ายทางอากาศ

1.กล่าวนำ 17

2. รายละเอียดข้อมูลบนขอบรูปถ่ายทางอากาศ 17

บทที่ 6 การใช้ประโยชน์รูปถ่ายทางอากาศในกิจการสำรวจ

1.การใช้ประโยชน์รูปถ่ายทางอากาศในกิจการสำรวจและทำแผนที่

1.1 ใช้ผลิตแผนที่มาตรฐาน 18

1.2 สร้างภาพต่อจากภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Mosaic) 18

1.3 ใช้ในงานภาพออร์โธโฟโต (Orthophotograph) 19

1.4 ใช้ทำภาพแปลง (Rectified Photo) 19

1.5 จัดทำแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ 20

1.6 ใช้มองเป็นภาพสามมิติได้ 20

2.กล้องมองภาพสามมิติ 21

บทที่ 7 การนำภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ประโยชน์ในทางแผนที่

1.กรมแผนที่ทหารกับการนำภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ประโยชน์ในทางแผนที่ 23

2. รายละเอียดคุณสมบัติดาวเทียม SPOT 23

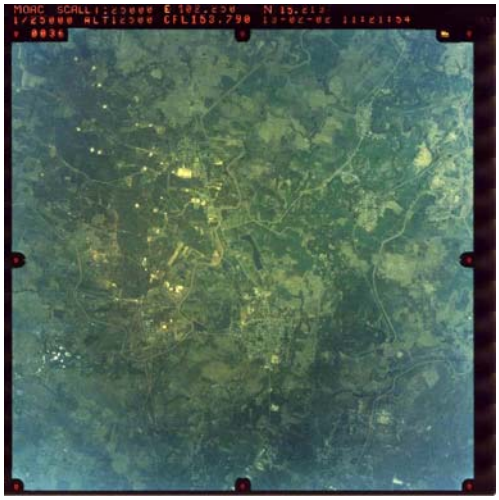
สารบาญรูป

ลำดับ	รูป		หน้า
๑	๑-๑	รูปถ่ายทางอากาศ	๑
๒	๒-๑	การบินถ่ายรูปทางอากาศ	๕
๓	๓-๑	กล้องถ่ายรูปทางอากาศ	๑๔
๔	๕-๑	แสดงข้อมูลขอบรูปถ่ายทางอากาศ	๑๗
๕	๖-๑	การมองภาพสามมิติ	๒๐
๖	๗-๑	ตัวอย่างภาพดาวเทียม IKONOS	๒๓
๗	๗-๒	ตัวอย่างภาพดาวเทียม IKONOS	๒๓
๘	๗-๓	ตัวอย่างภาพดาวเทียม SPOT	๒๔
๙	๗-๔	ภาพดาวเทียม SPOT	๒๔

บทที่ 1
กล่าวทั่วไป

1. คำจำกัดความ

รูปถ่ายทางอากาศ หมายถึง รูปถ่ายของภูมิประเทศที่ได้จากการถ่ายภาพทางอากาศด้วยวิธีนำกล้องถ่ายรูป ฯขึ้นไปกับอากาศยาน แล้วทำการเปิดหน้ากล้องถ่ายรูปวัตถุที่ต้องการโดยให้แสงสะท้อนผ่านเข้าสู่เลนส์ผ่านไปจนถึงพื้นรับภาพ ซึ่งมีฟิล์มฉาบน้ำยาไวแสงวางอยู่บนพื้นรับภาพ แสงจะทำให้เกิดการปรากฏภาพบนฟิล์ม ซึ่งเรียกว่า ภาพแฝง (Latent Image) เมื่อนำฟิล์มไปล้างน้ำยาล้างรูปตามกรรมวิธีแล้วก็จะได้เป็นเนกาตีฟ (Negative) นำ Negative ไปอัดพิมพ์ภาพ (Print) ลงบนแผ่นกระดาษนำไปล้างน้ำยาล้างรูปก็จะได้เป็นรูปถ่ายทางอากาศ



ภาพที่ 1 รูปถ่ายทางอากาศ

2. ประวัติการถ่ายรูปทางอากาศ

การถ่ายรูปทางอากาศเพื่อมาทำประโยชน์ต่าง ฯมีแนวความคิดมาจาก การถ่ายรูปบนพื้นดิน การถ่ายรูปบนที่สูงเช่นยอดตึก ยอดเขา บอลลูน และจากเครื่องบิน จนถึงปัจจุบันเราสามารถใช้ดาวเทียมเพื่อผลิตภาพถ่ายระยะไกล (Remote Sensing) มาใช้ประโยชน์ได้หลากหลายสาขางาน ประวัติการพัฒนาความก้าวหน้าทางการถ่ายรูปทางอากาศ เริ่มมาจากทวีปยุโรป และพัฒนาเข้าไปในอเมริกาเหนือตามลำดับดังนี้

อริสโตเติล (Aristotle) นักค้นคว้าสมัยนั้น (350 ปี ก่อน ค.ศ.) ได้ให้ทฤษฎีการเกิดภาพด้วยการใช้กระจกเงา

ในปี ศตวรรษที่ 18 Dr. Brook Taylor ได้ทำหลักฐานเป็นตำราว่าด้วยการเขียนภาพทิวทัศน์ เส้นตรง (Linear Perspective) แล้วนำมาปรับปรุงเป็นแผนที่โดย J.H. Lambert

ปี พ.ศ. 2382 (ค.ศ. 1839) Louis Daguere ได้พัฒนาวิธีการถ่ายรูปของเขาจนเป็นที่นิยม ซึ่งต่อมาในราวปี 2383 (1840) Mr.Arago ได้นำรูปถ่ายมาดัดแปลง ใช้ทำแผนที่

ในปี พ.ศ. 2401 (1858) Col Aime Laussedat แห่งกองทัพบกฝรั่งเศส ได้พยายามนำผลงาน ของ Louis Daguere ไปใช้โดยติดกับว่าว เพื่อถ่ายรูปทางอากาศของภูมิประเทศ ก็พบอุปสรรคเกี่ยวกับการบังคับทิศทางและน้ำหนัก

ในปี พ.ศ. 2398 (1855) Felix Nardar (ชาวฝรั่งเศส) ได้ใช้กล้องถ่ายภาพ และวิธีการถ่ายรูป Darguere ระบบ Collodion Wet Plate บรรทุกโดย Balloon ซึ่งสามารถบังคับทิศทางได้ ถ่ายภาพภูมิประเทศที่เมือง Petete Bi Cetre ใกล้เมือง Paris ได้สำเร็จในระยะสูงประมาณ 80 เมตร ปี พ.ศ. 2401 (1858) และประสบผลสำเร็จอีก ในปี 2403 (1860) โดยถ่ายภาพเหนือกรุงปารีส มีความสูงประมาณ 500 เมตร ใช้บอลลูนที่บังคับได้เช่นกัน จึงสรุปได้ว่า Felix Nardar เป็นผู้ถ่ายรูปทางอากาศโดย Balloon สำเร็จเป็นคนแรก

การถ่ายรูปทางอากาศ โดย Balloon ของฝรั่งเศส ไม่ได้นำรูปมาทำแผนที่โดยตรง แต่ใช้ในการสำรวจพื้นที่สร้างคลังอาวุธ

การใช้รูปถ่ายจาก Balloon บังคับได้เอามาทำแผนที่ น่าจะเป็นสหรัฐอเมริกาชาติแรกเมื่อปี 2416 (1873) จากนั้นก็พัฒนาเข้าไปสู่สหราชอาณาจักร และแคนาดา ตามลำดับ

การปฏิบัติงานถ่ายรูปทางอากาศโดยใช้ Balloon ได้ใช้กันมาตลอดเวลานานซึ่งส่วนมากจะประสบผลสำเร็จ จะมีปัญหาบ้างก็เรื่องการบรรทุกอุปกรณ์การถ่ายรูปซึ่งทำได้น้อยเสียเวลามากและการควบคุมทิศทาง ความสูงได้ไม่แน่นอน จนกระทั่งในปี 2445(1902) พี่น้องตระกูล Wright ได้คิดค้นประดิษฐ์เครื่องบินขึ้นมาใช้เป็นผลสำเร็จ ก็มีผู้นำเอาสิ่งประดิษฐ์กรรมใหม่นี้มาใช้ในกิจการถ่ายรูปทางอากาศเป็นครั้งแรกในปี 2452ที่เมือง Centocelli ประเทศอิตาลี โดย MR. Wilbur Wright แต่ยังมิได้นำมาใช้เพื่อทำแผนที่

ประมาณปี พ.ศ.2456(1913) ซึ่งได้มีการนำรูปถ่ายทางอากาศจากเครื่องบินมาทำแผนที่ภูมิประเทศ นับว่าเป็นการพัฒนาการทำแผนที่จากภาคพื้นดิน เป็นการใช้ภาพถ่ายทางอากาศเป็นครั้งแรก

ในช่วงระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 ภาพถ่ายทางอากาศอำนวยประโยชน์แก่การรบอย่างกว้างขวาง เป็นการหาข่าว , การทราบผลการโจมตีทางอากาศ ทำให้ได้ประโยชน์ ได้เปรียบแก่ผู้ใช้เป็นอันมาก

สำหรับในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 มีการนำรูปถ่ายมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง เครื่องมือทันสมัยขึ้น การดำเนินการได้รวดเร็ว เอื้ออำนวยประโยชน์ให้ทั้งทางทหาร และกิจการพลเรือนอย่างมาก

หลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 แล้ว กิจการทางรูปถ่ายทางอากาศได้เจริญรุดหน้าไปมากทั้งทางเครื่องมือ และวิธีการดำเนินการ

ความก้าวหน้าทางเครื่องมือ

1. เครื่องบิน เฮลิคอปเตอร์ ซึ่งพัฒนาให้มีความเร็วสูงขึ้น มีการทรงตัวดี ปฏิบัติงานได้นาน มีความปลอดภัย
2. กล้องถ่ายรูปทางอากาศ มีหลายแบบ เช่น มุมกล้องธรรมดา มุมกล้องกว้าง และมุมกล้อง
3. เครื่องช่วยเดินอากาศ ซึ่งทำกำหนดทิศทางและตำแหน่ง
4. ฟิล์มมีหลายชนิด เช่น Panchromatic, Color , Infrared

ความก้าวหน้าทางวิธีการดำเนินการ

1. บินถ่ายรูปโดยเครื่องบิน เฮลิคอปเตอร์
2. ถ่ายรูปโดยระบบ Remote Sensing จากดาวเทียม ซึ่งเป็นวิทยาการก้าวหน้ามาก สามารถบันทึกภาพได้ทุกขณะ ทุกสภาพอากาศ และทุกเวลา

ทั้งหมดนี้เป็นข้อสรุปการวิวัฒนาการ การถ่ายรูปทางอากาศจากอดีตจนถึงปัจจุบัน

3.การบินถ่ายรูปทางอากาศในประเทศไทย

การบินถ่ายรูปทางอากาศของไทยเรานั้นมีมานานพอสมควรซึ่งปฏิบัติงานโดยกองทัพอากาศ แต่มิได้เอามาใช้แผนที่ ส่วนใหญ่จะใช้ในภารกิจลาดตระเวนหาข่าว

สำหรับแนวความคิดริเริ่มนำเอารูปถ่ายทางอากาศมาพัฒนาการทำแผนที่นั้นน่าจะเป็นของ พล.ท. พระยาศัลวิธานนิเทศ เพราะท่านได้ศึกษาและดูงานด้านนี้มาแล้วจากต่างประเทศ

งานทำแผนที่จากรูปถ่ายเริ่มขึ้นในปี พ.ศ.2467 ในเขตมณฑลพิษณุโลก โดยใช้รูปถ่ายจากกรมอากาศยาน ต่อมาในปีเดียวกันได้มีการบินถ่ายรูปทางอากาศเพื่อทำแผนที่ให้กับกองทัพภาคที่ 2 ด้วยกล้องถ่ายรูปมีความยาวโฟกัส 26 ซม.บรรจุด้วยฟิล์มกระจกครั้งละ 12 รูป มีขนาด 18 ซ.ม. X 24 ซ.ม.ถ่ายรูปมาตราส่วน 1 : 10,000

ในปี 2468 ได้มีการบินถ่ายรูปบริเวณตอนเหนือของกรุงเทพ ฯ เพื่อนำมาแก้ไขแผนที่

ในปี 2472 จึงเริ่มดำเนินการบินถ่ายรูปทางอากาศ เพื่อทำแผนที่ภูมิประเทศบริเวณมณฑลนครราชสีมา ในเขตจังหวัดสุรินทร์ โดยใช้กล้องบรรจุฟิล์มถ่ายได้ครั้งละ 100 รูป ทำการบินทั้งแนวเหนือ-ใต้ และตะวันตก - ตะวันออก มาตราส่วน 1 : 15,000 ใช้กล้อง F – 8 Eagle Film Camera จากประเทศอังกฤษ สำหรับการดำเนินการขั้นตอนทำแผนที่นั้น ได้ปฏิบัติตามวิธีการของกรมเสนาธิการทหารบกอังกฤษ แผนกภูมิศาสตร์ตั้งแต่ปี 2447 จนเสร็จเป็น ต้นร่างแผนที่ และพิมพ์ขึ้นหลังปี 2480 จากนั้นก็มิได้ดำเนินการต่อ เพราะขาดอุปกรณ์และบุคลากร

ต่อมาได้มีการประสานงานกับสหรัฐอเมริกาขอให้การสนับสนุนการบินถ่ายรูปทางอากาศทั่วประเทศโดยสหรัฐให้การสนับสนุนโดยว่าจ้างบริษัท World Wide Surveys โดยได้เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี 2495 เป็นต้นมาและจบโครงการใช้เวลาร่วม 15 ปี ใช้กล้องถ่ายรูป Fairchild มาตราส่วนรูปถ่าย ฯ ประมาณ 1 : 40,000 แต่การปฏิบัติงานครั้งนี้สามารถถ่ายรูปฯได้ตั้งแต่ภาคเหนือไปจนถึง ละติจูดที่ 11° 45 ' เท่านั้น ส่วนที่เหลือจนถึงชายแดนมาเลเซียได้ขอรับการสนับสนุนจากรัฐบาลสหราชอาณาจักรบินถ่ายรูปทางอากาศให้โดยใช้เครื่องบินแคนเบอรา ใช้กล้องถ่ายรูปมีความยาวโฟกัสต่าง ๆ กันคือขนาด 6 นิ้ว, 20 นิ้ว และ 36 นิ้ว มาตราส่วน 1 : 60,000 (เฉพาะกล้องโฟกัส 6 นิ้ว) ดำเนินการเสร็จในปี 2505 กรมแผนที่ทหารได้ใช้รูปถ่ายเหล่านี้เป็นข้อมูลแก้ไขรายละเอียดแผนที่ ทำให้ มีความถูกต้องมากขึ้น

ในปี 2497 กรมแผนที่ทหารบก รับโอนกรมการแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศมารวมกับกรมแผนที่ทหารบก พร้อมเครื่องบินหนึ่งเครื่องคือ Percival Prince และกล้องถ่ายรูปทางอากาศ WILD RC 5 A หนึ่งกล้อง นับเป็นจุดเริ่มต้นด้านการบินถ่ายรูปทางอากาศของกรมแผนที่ทหาร

กรมแผนที่ทหารได้พัฒนาการบินถ่ายรูปทางอากาศมาอย่างต่อเนื่องรวมทั้งเครื่องมือเครื่องอุปกรณ์ประกอบการบินถ่ายรูปทางอากาศ ตลอดจนบุคลากรทุกสาขาจนสามารถปฏิบัติงานให้กรมแผนที่ อย่างมีประสิทธิภาพรวมทั้งสามารถสนับสนุนภารกิจของหน่วยราชการอื่น ๆ ได้รับผลสำเร็จอย่างดียิ่ง สำหรับปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ก็มีไม่น้อยเหมือนกัน จนกระทั่งปี 2536 ผู้บังคับบัญชาชั้นสูงได้มีแนวความคิดในการรวมหน่วยการบินไว้ด้วยกันเพื่อการประหยัดงบประมาณ จึงได้โอนกิจการและภารกิจการบินถ่ายรูปทางอากาศ ไปให้กับกองทัพอากาศ

อย่างไรก็ตามด้วยเหตุผลการปฏิบัติงานด้านเทคนิค และวิชาการทำแผนที่แล้ว การโอนภารกิจการบินถ่ายรูปทางอากาศไปให้กองทัพอากาศปฏิบัติได้ผลดีไม่เท่าที่ควร ขาดความคล่องตัว จึงได้โอนความรับผิดชอบและ ภารกิจกลับคืนมายังกองบัญชาการทหารสูงสุดอีกวาระหนึ่งในปี 2534 โดยมอบให้กรมแผนที่ทหารเป็นผู้ปฏิบัติเช่นเดิม

.....

บทที่ 2
การถ่ายรูปทางอากาศที่ใช้เพื่อการสำรวจทำแผนที่

1.กล่าวนำ

การถ่ายรูปทางอากาศคือการบันทึกภาพสิ่งต่าง ฯ ในภูมิประเทศด้วยกล้องซึ่งติดตั้งอยู่บนยานพาหนะในอากาศ อันได้แก่ ว่าว บอลลูน เครื่องบิน และกล้องที่อยู่บนที่สูง และในปัจจุบันการถ่ายรูปก็ครอบคลุมไปถึงการถ่ายพื้นผิวโลกระยะไกล ถ่ายรูปพื้นผิวดาวนพเคราะห์ ตลอดจนวัตถุฟ้าในอวกาศ โดยใช้พาหนะเช่นจรวด ดาวเทียม ภาพถ่ายเหล่านี้นำมาใช้ประโยชน์อย่างมากมายทั้งทางพลเรือนและทหาร ลักษณะของการถ่ายรูปจะแตกต่างกันไป ดังนี้

1. การถ่ายรูปจากในอากาศสู่พื้นภูมิประเทศ (Air to Ground)
2. การถ่ายรูปจากในอากาศสู่พื้นที่ในอากาศ (Air to Air)
3. การถ่ายรูปจากภาคพื้นภูมิประเทศสู่อากาศ (Ground to Air)

และสำหรับการถ่ายรูปทางอากาศเพื่อนำมาใช้ทำแผนที่ภูมิประเทศ เป็นวิธีการถ่ายภาพจากในอากาศสู่พื้นภูมิประเทศ

ภาพที่ 2 การบินถ่ายรูปทางอากาศ

2. หัวข้อเรื่องต่าง ฯ ที่จำเป็นต้องศึกษาซึ่งเกี่ยวข้องกับรูปถ่ายทางอากาศ

1. แหล่งกำเนิดแสงและการส่องสว่าง (The light Source and Illumination)
2. วัตถุที่ต้องการถ่ายรูป (The Objects)
3. อิทธิพลของชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Influences)
4. แว่นกรองแสง (Filters)
5. เลนส์ของกล้องถ่ายรูปทางอากาศ (The Survey Camera ‘s Lens)
6. ความคลาดเคลื่อนของภาพ (Image Movement)
7. ตัวน้ำยาเคมีเกี่ยวกับการถ่ายรูปและวัสดุ (Photographic Emulsion)

2.1 แหล่งกำเนิดแสงและการส่องสว่าง (The light source and illumination)

แหล่งกำเนิดของแสงเกิดขึ้นได้ 2 ทาง คือ

2.1.1 แหล่งกำเนิดทางธรรมชาติ ซึ่งได้แก่แสงจากดวงอาทิตย์ จากดาวฤกษ์ และแสงสะท้อนจากดวงจันทร์

2.1.2 แหล่งกำเนิดจากการประดิษฐ์ ซึ่งได้แก่พลังงานแสงสว่างจากไฟฟ้า พลังแสงจากความร้อน

ในเรื่องการถ่ายรูปทางอากาศนี้จะศึกษาแหล่งกำเนิดแสงเฉพาะอันเกิดจากธรรมชาติเท่านั้น โดยเฉพาะจากดวงอาทิตย์ซึ่งมีการกระจายแสงไปรอบทิศทางแผ่ขยายมายังโลก ทำให้โลกมีแสงสว่าง (Illumination) พร้อมความร้อน (Heat) แสงมีความเร็ว 176,000 ไมล์ต่อวินาที ถูกส่งออกไปจากแหล่งกำเนิดด้วยวิธีแพร่กระจาย (Radiation) พร้อมกับส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic ray) มาในรูปของคลื่นแสงต่าง ๆ คลื่นแสงเหล่านี้จะวัดได้เป็นความยาวในลักษณะคลื่นสั้นและคลื่นยาว ซึ่งจะออกมาในรูปแบบของ Electromagnetic Spectrum

Electromagnetic Spectrum สามารถแบ่งออกเป็นพลังงานต่าง ๆตาม Frequency และ Wavelength ดังนี้

แบ่งตาม Frequency

1). Cosmic Rays	มีความยาวช่วงคลื่นโดยประมาณ ระหว่าง	10^{-6}	ถึง	10^{-5}	มิลลิไมครอน	
2) Gamma Rays	”	”		10^{-4}	10^{-2}	” ”
3) X – Rays	”	”		10^{-2}	1	” ”
4) Ultraviolet Rays	”	”		10	10^{2}	” ”
5) Visible Rays	”	”		10^{3}		” ”
6) Infrared Rays	”	”		10^{4}	10^{5}	” ”
7) Heat Rays	”	”		10^{6}	10^{9}	” ”
8. Radio Rays	”	”		10^{10}	10^{13}	” ”

2.2. วัตถุ (Objects)

วัตถุต่างๆ ที่เราสามารถมองเห็นหรือถ่ายรูปมันได้เพราะว่าวัตถุนั้นได้รับแสงกระทบแล้วสะท้อนกลับออกไปเข้าตาหรือผ่านเข้าเลนซ์กล้องถ่ายรูปขณะนั้น วัตถุต่างๆ จะสะท้อนแสงที่ได้รับออกไปในทิศทางต่างๆ กัน และอาจจะดูดไว้บางส่วน

ลักษณะพื้นผิวของโลกเรานี้อาจจะแบ่งสภาพความแตกต่างออกไปตามหลักการถ่ายรูปทางอากาศได้ 3 พวก

พวกที่หนึ่ง ได้แก่บริเวณที่ว่างเปล่ามิได้ปลูกพืชและบริเวณพื้นดินธรรมดา (Out Crops and Soil)

พวกที่สอง ได้แก่บริเวณปลูกพืชและต้นไม้ (Vegetable)

พวกที่สาม ได้แก่บริเวณพื้นน้ำ และบริเวณที่มนุษย์สร้างขึ้น (Water Surfaces and Human Made Area)

พวกที่หนึ่ง ได้แก่ทะเลทราย, บริเวณหิน, หินปูน, ดินดำ, บริเวณสภาพที่เกิดจากการทับถมของซากดิน, หิน(Inorganic matter) และสภาพที่เกิดจากการทับถมของซากสัตว์, ต้นไม้ (Organic matter) รวมไปถึงพวกถนนหนทางที่ก่อสร้างด้วย ดิน หินและคอนกรีตด้วย จากผลการทดลองการสะท้อนแสงกลับจากพื้นผิวพวก, หินปูน, ดินแคลเซียมประมาณ 50% ของแสงที่ตกกระทบ และสะท้อนกลับน้อยประมาณ 5 – 10 % ได้แก่พวกพื้นผิวดินดำ (Black Earth) ดินซากสัตว์ และต้นไม้ (Humans Soil)

พวกที่สอง ได้แก่พื้นที่ทำการเพาะปลูกพืชไร่ พืชสวนตลอดจนบริเวณป่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติทั้งหลาย พืชต้นไม้ใบไม้สีเขียวจะมีพวกคลอโรฟิลล์มาก (Chlorophyll) เกือบตลอดช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้จะมีการสะท้อนกลับของแสงน้อยมากประมาณ 10 % อย่างมากประมาณ 15% ในบริเวณช่วงคลื่นแสงสีเหลือง

ช่วงคลื่นแสงที่เลยช่วง Visible Light ออกไปจะเป็นช่วงคลื่น Infrared ซึ่งสามารถสะท้อนแสงกลับได้ดีในพื้นที่ที่เป็นต้นไม้ ช่วงแสง Infrared นี้ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าแต่การสะท้อนของแสงช่วงนี้จะสามารถบันทึกไว้ได้โดยวัสดุไวแสงประเภท Infrared sensitive เช่น Infrared Film หรือ Infrared Sensors

จากการทดลองปฏิบัติมาแล้วการบันทึกภาพป่าไม้ด้วย Infrared Film แล้วผลการบันทึกภาพจะชัดเจนมากกว่าภาพที่ถูกบันทึกไว้ด้วย Panchromatic film แม้กระทั่งจากสายตามนุษย์

นั่นคือผลของการได้เปรียบในเชิงการถ่ายรูปทางอากาศในบริเวณที่เป็นป่าดงดิบในเขตร้อนจะได้ผลการบันทึกภาพที่ชัดเจนและมีความเข้มแตกต่างดีกว่าการบันทึกภาพด้วย Panchromatic Film ถ้าหากใช้ Infrared Film (ช่วงแสงช่วง Visible Light จะสะท้อนแสงไม่ได้ดีต่อไปใบไม้สีเขียว แต่ช่วง Infrared สะท้อนแสงดี)

พวกที่สาม ได้แก่บริเวณพื้นที่ที่ปกคลุมไปด้วยน้ำ เช่นแม่น้ำ ทะเล และมหาสมุทร

พื้นผิวที่ปกคลุมด้วยน้ำเมื่อแสงจากดวงอาทิตย์มากระทบบางส่วนของแสงจะถูกดูดไว้และบางส่วนก็จะสะท้อนกลับอย่างกระจัดกระจายโดยเฉพาะอย่างยิ่งแสง Visible light จะสะท้อนแสงในช่วงสีเขียวได้ดีมาก (น้ำ) และจะดูดแสงไว้อย่างมากในช่วง Infrared ซึ่งเป็นผลให้การถ่ายรูปด้วย Infrared Film เอื้ออำนวยให้สามารถพิจารณาขอบเขตของพื้นที่แฉะ และแห้งได้อย่างดี แยกพืชกับหนองน้ำ ตลอดจนหาขอบเขตชายฝั่งได้ถูกต้องชัดเจน

ในหลักการเดียวกันสามารถใช้แยกความเข้มของภาพที่บันทึกบริเวณป่า และสิ่งก่อสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น ตึกอาคาร ถนนหิน หรือถนนคอนกรีตทางด่วน

2.3. อิทธิพลของชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Influence)

แสงที่ส่งออกมาจากดวงอาทิตย์สู่ผิวพื้นโลกนั้นมันจะต้องผ่านชั้นบรรยากาศที่มีอากาศบริสุทธิ์ผสมอยู่กับฝุ่นละอองและละอองไอน้ำอยู่ทั่วๆ ไปมวลสารนี้ปนกันอยู่ในชั้นบรรยากาศนี้เรียก “Aerosol” ในกลุ่มมวลสาร แอโรโซล นี้จะมีพวกละอองฝุ่นซึ่งอาจจะเป็นส่วนของทราย ส่วนของดินมีขนาดใหญ่, เล็กต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะเหนือบริเวณพื้นที่ที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมฝุ่นละอองควัน เขม่าจะมีมากเป็นพิเศษ ฝุ่นละอองควันเหล่านี้จะมีสีสรรค์หลากหลายอย่างต่างกันไปตามทฤษฎีการหักเหของแสงที่กระทบส่วนมากจะออก เป็นสีเทาน้ำตาลตามที่เราเห็นกันอยู่ในช่วงฤดูการของมันสภาพเช่นนี้เราเรียกว่าสภาพอากาศที่มีหมอกแดด (Haze) ถ้ามีมากก็จะเป็นปัญหาแก่การบินถ่ายรูปทางอากาศ

หมอกแดด (Haze) เป็นตัวปัญหาในการบินถ่ายรูปทางอากาศเกี่ยวกับนักบินและต้นหนถ่ายรูปเป็นอย่างมาก เนื่องจากชั้นหมอกแดดจะทำให้การมองดูภูมิประเทศที่จะทำการถ่ายรูปฯ ไม่ชัดและมองไกลไม่เห็น ถ้าบินไปในทิศทางสวนดวงอาทิตย์ยิ่งมืดมัวมากขึ้น

เมฆ เมฆก็เป็นสิ่งหนึ่งที่เป็นอุปสรรคในการบินถ่ายรูปทางอากาศ ถ้าหากว่าการถ่ายรูปฯ บริเวณใดก็ตามมีเมฆปรากฏอยู่เกิน 3 % ของพื้นที่ก็ไม่สามารถจะนำมาใช้ปฏิบัติงานทำแผนที่ได้ เพราะเมฆจะปิดบังรายละเอียดในภูมิประเทศ โดยเฉพาะบริเวณจุดศูนย์กลางภาพถ่ายฯ

มุมสูงของดวงอาทิตย์ แสงจากดวงอาทิตย์จะทำให้เกิดเงาของวัตถุที่จะทำการถ่ายรูปทางอากาศ บริเวณที่เป็นเงาจะไม่ปรากฏรายละเอียดให้เห็นในรูปถ่ายฯ

ลม ลมตามชั้นบรรยากาศต่างๆ มีความแรงมากพอที่จะพาให้เครื่องบินเซออกนอกทิศทางที่ต้องการบิน ถ้าไม่มีการแก้ไขจะทำให้ได้ภาพถ่ายบริเวณไม่ตรงกับบริเวณที่ต้องการ ฉะนั้น เจ้าหน้าที่จะต้องคำนวณหาอาการเซ และปรับแก้จนบินได้ตามทิศทางที่ต้องการ (เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างนักบินและต้นหนถ่ายรูปทางอากาศ)

ละอองน้ำ (Mist) คือไอน้ำในอากาศรวมตัวกันเป็นอนูเล็กๆ บังแสงจากดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดการแผ่กระจายของแสงสีน้ำเงินรอบๆ ตัวมัน แต่ส่งผ่านสีแดง

หมอก (Fog) คือละอองไอน้ำในอากาศรวมตัวกันกับควันหรือฝุ่นละอองละเอียด ส่วนใหญ่จะเกิดในย่านอุตสาหกรรมและย่านชุมชนหนาแน่น

2.4 แว่นกรองแสง (Filter)

แว่นกรองแสง (Filter) คือชิ้นส่วนของวัสดุชนิดหนึ่งซึ่งผลิตจากวัตถุโปร่งใส เช่น แก้ว, พลาสติก, วางไว้ระหว่างฟิล์มถ่ายรูปกับแสงสะท้อนซึ่งมาจากวัตถุผ่านเข้าไปจนถึงแผ่นน้ำยาไวแสง (Film) ในกล้องถ่ายรูป คุณสมบัติของมันจะดูดแสงสีที่ไม่ต้องการไว้ ส่งผ่านแสงสีที่ต้องการให้ไปถึงแผ่นน้ำยาไวแสงในกล้อง

ความมุ่งหมายในการใช้แว่นกรองแสง เพื่อแก้ความไม่สมบูรณ์ความไวของแสงสีที่กระทำต่อ Film เพื่อทำให้แสงสีมีความสว่างเท่าๆ กันเพื่อปรับให้แสงสว่างมีระดับเท่ากันหรือเรียกว่าแว่นกรองแสง

แก้ความเข้มของภาพถ่ายให้เท่ากัน (contrast) เพื่อต้องการถ่ายรูปด้วยแสงสีชนิดเดียวกัน หรือมีแสงสีน้อยชนิด เช่น การถ่ายรูป film Infrared ใช้ Filter ตัดแสงที่มองเห็น (Visible Lights) บางส่วนออกไปเหลือแต่สีเหลือง และแดงหรือเฉพาะสีแดงเท่านั้นเพื่อปรับเปลี่ยนอุณหภูมิสีในการถ่ายรูปด้วย Film สีซึ่งเรียกว่า Color Compensating Filter เพื่อถ่ายภาพชนิดที่บังคับให้แสงเข้าไปเท่ากัน ทิศทางเดียวกัน มีคลื่นความสั่นเท่ากัน ด้วยเพื่อป้องกันการขูดขีดของ Lens กล้องถ่ายภาพ

2.5. เลนส์ของกล้องถ่ายรูปทางอากาศ (The Survey Camera's Lens)

Lens ในกล้องถ่ายรูปมีหน้าที่นำ และบังคับแสงสว่างให้เข้าไปในกล้องเพื่อสัมผัสกับพื้นรับภาพด้วยจำนวนเล็กที่สุดที่จะเป็นไปได้ เพื่อทำให้เกิดภาพ (Form of Image)

"ถ้าจำนวนลำแสงนี้เล็กมากเท่าใดก็จะทำให้การเกิดภาพชัดคมมากขึ้นเท่านั้น" นี้เป็นความหวังอันสูงสุดของนักถ่ายภาพ แต่มันเป็นไปได้ยาก เพราะตามสภาพของ Lens แล้วถึงอย่างไรก็ต้องมีความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่หลายชนิด (Aberrations)

"Lens ของกล้องถ่ายภาพทางอากาศที่ดีจะต้องไม่ทำให้คุณภาพของย่านแสงสะท้อนจากภูมิประเทศเปลี่ยนแปลงไป

สิ่งที่เกิดขึ้นกับ Lens ทั่วๆ ไป และมีอิทธิพลทำให้ Lens เสียคุณลักษณะที่ดีไป คือ

2.5.1 ความเข้มของแสงน้อยไปเพราะอาการ Flare ซึ่งหมายถึงแสงสะท้อนจากภูมิประเทศมาผ่านเลนซ์ก่อนจะเข้าไปถึงพื้นรับภาพนั้น แสงจะมีการสะท้อนกลับ เนื่องจากพื้นผิวเรียบมันของ Lens ถึงแม้จะมีไม่มากนักก็ทิ้งไม่ได้ ทางบริษัทผู้ผลิต Lens จะต้องแก้ไขด้วยการเคลือบผิวเลนซ์ด้วยน้ำยากันแสงสะท้อน (Anti-Reflection)

2.5.2 ความเข้มของแสงน้อยลงไปตามขอบภาพ บริเวณตรงกลางจะมีความสว่างสูง โดยเฉพาะพวกกล้อง W.A. และ S.W.A. จะทำให้เกิดการบันทึกภาพ Over หรือ Under Exposed ได้ตามตำแหน่งภาพ อาการเช่นนี้จะต้องมีการแก้ไขแสงจากบริษัทผู้ผลิต คือทำให้การได้รับแสงของพื้นรับภาพเฉลี่ยเท่าๆ กันโดยใช้ Filter Anti - Vignetting หรือในทางปฏิบัติก็เลือกใช้ Film ที่มี Contrast น้อย เปิดหน้ากล้องให้ Over เล็กน้อย

เลนซ์ที่สมบูรณ์จริงๆ จะต้องมีคุณสมบัติรักษารูปทรงของวัตถุที่บันทึกให้คงสภาพเดิมเสมอ คือ ถ่ายรูปจุดภาพจะต้องคงรูปเป็นจุด ถ่ายรูปเส้นตรงภาพต้องคงสภาพเป็นเส้นตรงไม่โค้ง รูปสี่เหลี่ยมก็ควรจะได้ภาพเป็นรูปสี่เหลี่ยมตรงไม่โย้เย้

วิธีการผลิตเลนส์ให้มีคุณภาพเช่นนั้นทำได้ยาก เพราะ Lens ทุกชนิดมันจะมีความคลาดเคลื่อนติดอยู่ที่สำคัญ ๆ ควรพิจารณาคือ

2.5.3 ความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากเลนส์ (Aberration) มี 2 ชนิด

1) Chromatic Aberration

ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เกิดจากเมื่อลำแสงสีผ่าน Lens แล้ว มีจุดโฟกัสบนแกนไม่ตรงกัน ต่างกันไปตามลักษณะของแสงสี น้ำเงิน, เขียว, แดง ทำให้การเกิดภาพบนฟิล์มไม่มีความชัด สภาพเช่นนี้ต้องแก้ไขด้วยการใช้ Filter Lens วางไว้หลังของกล้อง เพื่อปรับการรวมจุดโฟกัสของแสงสีใกล้กันมากที่สุด

2) Spherical Aberration

ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เกิดจากแสงสะท้อนจากภูมิประเทศ (วัตถุ) ผ่านเข้ากล้องแล้วเกิดจุดตัดของโฟกัสบนแกนไม่ตรงกัน แสงที่ผ่านใกล้แกนเลนซ์จะโฟกัสใกล้เลนส์ แสงที่ผ่านไกลแกนเลนส์จะโฟกัสใกล้เลนส์ ทำให้การฟอร์มภาพไม่ชัดเจน เกิดอาการพร่ามัว การแก้ไขต้องพยายามเปิดหน้ากล้องให้มีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้

เลนซ์ซึ่งประกอบเป็นชุดสำหรับการถ่ายรูปทางอากาศแบ่งได้ตามขนาดมุมกล้องครอบคลุมพื้นที่ และใช้เป็นตัวกำหนดชนิดของกล้องถ่ายรูปทางอากาศด้วย คือ

1) เลนส์ของกล้องถ่ายรูปทางอากาศชนิดมุมแคบ (Narrow Angle) จะมีขนาดง่ามมุมรับภาพของเลนส์น้อยกว่า 60° ระยะความยาวโฟกัสประมาณ 209.5 – 305 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) เหมาะสำหรับบินถ่ายรูปทำแผนที่บริเวณในตัวเมืองที่มีอาคารหนาแน่น และสูง

2) เลนส์ของกล้องถ่ายรูปทางอากาศชนิดมุมธรรมดา 60° - 75° (Normal Angle) จะมีขนาดง่ามมุมรับภาพของเลนซ์ระยะความยาวโฟกัสประมาณ 170- 210 มิลลิเมตร (8 1/4 นิ้ว) เหมาะสำหรับการบินถ่ายรูประดับต่ำ ช่วยลดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งอันเนื่องมาจากความสูงของภูมิประเทศไม่เท่ากัน (Relief Displacement)

3) เลนส์ของกล้องถ่ายรูปทางอากาศชนิดมุมกว้าง (Wide Angle) จะมีขนาดง่ามมุมรับภาพของเลนซ์อยู่ระหว่าง 75° - 100° ระยะความยาวโฟกัสประมาณ 100-153 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) เหมาะสำหรับบินถ่ายรูปฯ เอามาแก้ไขแผนที่ เพราะคลุมพื้นที่ได้มากกว่า N.A. ในระดับสูงเท่ากัน

4) เลนซ์กล้องถ่ายรูปทางอากาศชนิดมุมกว้างมาก (Super Wide Angle) จะมีขนาดง่ามมุมรับภาพของเลนซ์อยู่ในระหว่างตั้งแต่ 100° ขึ้นไป ระยะความยาวโฟกัสประมาณ 55-89 มิลลิเมตร (3 1/2 นิ้ว) เหมาะสำหรับการบินถ่ายรูปบริเวณที่ราบกว้างใหญ่มาก ข้อเสีย ถ้าเป็นพื้นที่ที่มีภูเขาสูง หรือมีรายละเอียดก่อสร้างในภูมิประเทศสูงมาก จะทำให้รายละเอียดบางส่วนถูกปิดบัง ซึ่งเรียกว่า Dead Area

2.6 การเคลื่อนที่ของจุดภาพ (Image movement)

คือ การไหวของจุดภาพ อันเนื่องมาจากการถ่ายภาพของวัตถุที่มีการเคลื่อนไหว หรือกล้องที่มีการเคลื่อนที่ ภาพที่ได้จะมีการเพี้ยนไม่ชัดเจน การแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยต้องปรับ shutter ให้มีความเร็วพอเพียงที่จะหยุดการเคลื่อนไหวนั้น ทั้งนี้ต้องมีความสัมพันธ์กับการเลือกใช้ความกว้างของรูชัตเตอร์ และความไวแสงของฟิล์มที่ใช้ ปัจจุบันได้มีการสร้างระบบชดเชยการเคลื่อนของจุดภาพ

(Forward motion compensation) โดยติดตั้งไว้ในระบบกล้อง หากการเคลื่อนของจุดภาพมีไม่มากเกินเกณฑ์ของระบบกล้องแล้วก็จะไม่มีเกี่ยวกับเรื่องนี้อีกต่อไป

2.7 น้ำยาบันทึกภาพ (Photographic Emulsion)

ในเรื่องการบินถ่ายรูปทางอากาศนี้ได้เน้นถึงความสำคัญของเลนส์มากที่สุด เพราะเป็นส่วนที่ลำแสง จะเดินทางเข้าไปทำปฏิกิริยากับวัสดุอาบน้ำยาไวแสงบนพื้นรับภาพ ถึงขั้นนี้ก็ต้องพิจารณากว้างออกไปอีกว่าข้อมูล ที่ได้รับการบันทึกไว้บนพื้นรับภาพนั้นจะได้รายละเอียดมากน้อยเพียงใด มันจะขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำยาที่ฉาบบน แผ่นฟิล์มหรือบนพื้นรับภาพนั้น ๆ รายละเอียดที่ถูกบันทึกไว้นี้จะต้องมีครบถ้วนมากที่สุดแม้รูปถ่ายนั้นจะมีมาตราส่วน ขนาดเล็กเท่าไร ส่วนที่ให้คุณสมบัติอันนี้ก็ได้แก่ น้ำยาบันทึกภาพ (Photographic Emulsion) มีชนิดต่าง ๆ ดังนี้

-น้ำยาบันทึกภาพ (Photographic Emulsion) ที่ไวต่อแสงอุลตราไวโอเลต และน้ำเงินเท่านั้น

-น้ำยาบันทึกภาพที่มีความไวต่อแสงช่วงที่มองเห็น(Visible Light)ทั้งหมดเราเรียกว่าPanchromatic

-น้ำยาบันทึกภาพที่มีความไวต่อช่วงแสง อุลตราไวโอเลต , สีน้ำเงินและโดยเฉพาะช่วงแสงอินฟราเรดเราเรียกว่า Infrared Film การปฏิบัติงานในห้องต้องมืดสนิทใช้ Safe Lightไม่ได้เลย

-น้ำยาบันทึกภาพที่มีความไวต่อสีธรรมชาติมากหรือน้อยก็ตามเรียกว่า Color Films

2.7.1 สิ่งที่ควรพิจารณาเป็นข้อสำคัญ คือ

1) ถ่ายรูปทางอากาศเพื่อทำแผนที่ทั่วไป ควรใช้ฟิล์ม Panchromatic

2) ถ่ายรูปทางอากาศเพื่อการสำรวจในกิจการป่าไม้, สำรวจบริเวณเขตพื้นที่น้ำ ควรใช้ฟิล์ม Infrared

3) ถ่ายรูปทางอากาศเฉพาะกรณีต้องการดูความแตกต่างของภูมิประเทศในรูปของสีธรรมชาติ ก็ใช้ฟิล์ม Color

ฟิล์ม (Film) คือ วัตถุใสอ่อนตัวโค้งงอได้ใช้สำหรับฉาบน้ำยาไวแสง (Sensitive Emulsion) บันทึกภาพเมื่อได้รับแสงสะท้อนจากวัตถุนั้น วัตถุนี้ว่าพื้นฟิล์ม (Film Base) ซึ่งต้องมีคุณสมบัติ คือ มีความยืดหดตัวน้อย มีความคงทน เหนียว, ไม่เปราะ ติดไฟยาก ซึ่งในปัจจุบันพื้นฟิล์มที่จะมีคุณลักษณะดังกล่าวแล้วได้แก่พวก Topographic Aerial Film และพวกโพลีเอสเตอร์ เบส (Polyester Base)

2.7.2 ชนิดของฟิล์ม โดยทั่วไป ฟิล์มจะแบ่งตามมาตรฐานที่ยอมรับกันได้ 4 ชนิด คือ

1) ฟิล์มม้วน (Roll Films) ฟิล์มชนิดนี้จะมีกระดาษกันแสงปิดทับไว้โดยม้วนอยู่บนแกน Spool ชนิดโลหะหรือไม้

2) ฟิล์มขนาดเล็กเจาะรูที่ขอบ (Perforated Film) เป็นฟิล์มขนาด 35 มม. ถึง 70 มม.เจาะรูที่ขอบเพื่อช่วยให้การเคลื่อนตัวของฟิล์มดีขึ้น

3. ฟิล์มแผ่น (Sheet Film, Flat Film, Cut Film) ฟิล์มชนิดนี้จะมีตัวพื้นรองรับหนากว่าฟิล์มชนิดอื่น ๆ จัดแผ่นเล็กใหญ่ตามขนาดบรรจุในกรอบ ลักษณะด้านน้ำยา และด้านหลังของฟิล์มรู้สึกแตกต่างกันได้ด้วยการสัมผัส

4. ฟิล์มกล่อง (Film Packs) ฟิล์มชนิดนี้ตัดเป็นชิ้น ๆ เล็กใหญ่ตามขนาดบรรจุเป็นกล่อง ๆ แยกชิ้นใช้ต่างหาก สามารถนำไปล้างได้เลยไม่ต้องรอเหมาะแก่การใช้งาน มีราคาค่อนข้างแพง ฟิล์มที่ใช้เซลลูลอยด์เป็นพื้นฐานรองรับต้องมีความใส มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว

การล้างฟิล์ม (Negative Developers)

การล้างฟิล์ม คือ วิธีการกระทำให้น้ำยาเคมีเกิดการปฏิกิริยากับฟิล์ม เพื่อเปลี่ยนภาพแฝง (Latent Image) ซึ่งเกิดจากการถ่ายภาพให้เกิดเป็นรูปถ่ายที่มองเห็นเป็นภาพจริง โดยน้ำยาล้างฟิล์มจะไปเปลี่ยนให้เมทพาลิคซิลเวอร์เป็นสีดำปรากฏติดอยู่กับพื้นรองรับซึ่งกระทำโดยแสง ส่วนที่ไม่ถูกแสงก็จะหลุดออกไป น้ำยาล้างฟิล์ม (Developers) ส่วนมากจะผลิตมาในรูปสำเร็จเป็นผง เมื่อจะใช้ก็นำไปผสมน้ำตามอัตราส่วนที่กำหนด

ส่วนผสมของน้ำยา Developers นี้จะมีตัวยาเคมีประกอบกันดังนี้.-

1) ตัวกระทำ (Agent Developers) เป็นตัวน้ำยาที่มีผลการกระทำโดยตรงที่ จะเปลี่ยนส่วนที่เป็น Silver ในน้ำยาฉาบฟิล์มให้เป็นสีดำเกาะติดกับพื้นรองรับ และประกอบกันเป็นภาพที่ถ่ายมา

2) ตัวรักษาสภาพน้ำยา (Preservative) ส่วนนี้จะเป็นตัวน้ำยาที่ช่วยรักษาให้น้ำยา คงสภาพอยู่ได้นานไม่เสื่อม หรือหมดสภาพเร็วเกินไป

3) ตัวน้ำยา Alkall ตัวยาชนิดนี้เป็นด่าง เป็นส่วนผสมที่ทำให้น้ำยาล้างฟิล์มทำงานได้คล่องตัวหรือเต็มความสามารถของน้ำยาล้างฟิล์ม

4) ตัวรักษาเวลาการปรากฏภาพ (Restrainer) ตัวน้ำยานี้จะเป็นตัวหน่วงเวลาการปรากฏรูปของฟิล์มให้ช้าลง โดยปรากฏภาพขึ้นทีละน้อย ๆ และป้องกันการ Fog ของ Film ในขณะที่ทำการล้าง

- Galgon เป็นตัวช่วยมิให้น้ำยาเกาะกันเป็นเม็ด ถ้าหากน้ำที่ผสมเป็นน้ำกระด้าง

- Wetting Agent เป็นตัวน้ำยาที่ทำให้น้ำยา Developers ผสมกันเป็นเนื้อเดียว ป้องกันมิให้เกิดฟองเกาะเนกาตีฟ

บทที่ 3
องค์ประกอบเพื่อให้ได้มาซึ่งรูปถ่ายทางอากาศที่ใช้ในการสำรวจและทำแผนที่

1. กล่าวนำ

รูปถ่ายทางอากาศในที่นี้หมายถึง รูปถ่ายที่ได้มาจากการใช้กล้องที่มีเลนซ์ได้ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนแล้ว ใช้แสงธรรมชาติในช่วงที่มองเห็น (Visible Spectrum) บันทึกด้วยน้ำยาไวแสงพวกซิลเวอร์โบรไมด์ ภาพถ่ายพวกนี้มีความมุ่งหมายเพื่อเอามาศึกษาสภาพพื้นผิวภูมิประเทศของโลก โดยเฉพาะเพื่อการสำรวจทำแผนที่ การสำรวจเพื่องานรังวัดอื่นๆ และการใช้เพื่อศึกษาในการตีความ

2. ชนิดของรูปถ่ายทางอากาศ

รูปถ่ายทางอากาศที่เรานำมาใช้ในการสำรวจเพื่อกิจการต่างๆ เหล่านี้ แบ่งได้เป็น

1. รูปถ่ายทางอากาศชนิดภาพดิ่ง
2. รูปถ่ายทางอากาศชนิดภาพเฉียง

2.1 รูปถ่ายทางอากาศชนิดภาพดิ่ง แบ่งได้เป็น

2.1.1 รูปถ่ายทางอากาศชนิดภาพดิ่งจริง (True Vertical) รูปถ่ายฯ ชนิดนี้ขณะเปิดหน้ากล้องถ่ายรูปนั้นแกนกล้องต้องทับกับแนวเส้นดิ่งจากกล้องสู่ภูมิประเทศ

2.1.2 รูปถ่ายทางอากาศชนิดภาพใกล้ดิ่ง (Near Vertical) รูปถ่ายฯ ชนิดนี้ขณะเปิดหน้ากล้องถ่ายรูปนั้นแกนของกล้องจะเอนทำมุมกับเส้นดิ่ง จากกล้องสู่ภูมิประเทศได้ไม่เกิน 3 °

เราจะพบว่ารูปถ่ายฯ ตามข้อ 1.1 นั้น เป็นไปได้ยากเป็นเรื่องความคาดหวังเท่านั้น จริงๆ แล้ว รูปถ่ายทางอากาศที่เรานำมาใช้ในการสำรวจรังวัดทั้งหลายนั้นเป็นภาพตามข้อ 1.2 ซึ่งเราพิจารณายอมรับว่าเป็นภาพที่ดิ่งจริง มีสภาพคล้ายแผนที่

ขนาดของรูปถ่ายทางอากาศส่วนมากจะมีรูปร่างเป็นสีเหลี่ยมจัตุรัส หรือสีเหลี่ยมผืนผ้า สุดแต่ชนิดของกล้อง ที่นิยมกันมากจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 9“x9“ หรือ 23 ซ.ม. x 23 ซ.ม. ขนาดอื่นๆ ก็มี 4 1/2 นิ้ว x 4 1/2 นิ้ว และ 4 1/2 นิ้ว x 9 นิ้ว เป็นต้น

2.2 รูปถ่ายทางอากาศชนิดภาพเฉียง แบ่งได้เป็น

2.2.1 รูปถ่ายทางอากาศภาพเฉียงต่ำ (Low Oblique) เป็นภาพถ่ายที่ได้มาจากขณะเปิดหน้ากล้องถ่ายรูปบนแท่นของกล้องทำมุมกับแนวเส้นดิ่งจากกล้องสู่ภูมิประเทศเกิน 3 ° แต่ไม่ปรากฏเส้นขอบฟ้าในภาพถ่ายนั้นๆ

2.2.2 รูปถ่ายทางอากาศภาพเฉียงสูง (High oblique) เป็นภาพถ่ายฯ ที่ได้มาจากขณะเปิดหน้ากล้องถ่ายรูปนั้นแกนของกล้องทำมุมกับแนวเส้นดิ่งจากกล้องสู่ภูมิประเทศเกิน 3 ° และปรากฏเส้นขอบฟ้าในภาพถ่ายนั้นด้วย

3.ชนิดกล้องถ่ายรูปทางอากาศ

กล้องถ่ายรูปทางอากาศสามารถแบ่งเป็นแบบต่าง ๆ ได้ดังนี้

3.1 กล้องถ่ายรูปทางอากาศแบบกรอบ (Frame camera)

3.1.1 แบบเลนส์เดียว (Single lens frame cameras)

3.1.2 แบบหลายเลนส์ (Multi lens frame cameras)

3.2 กล้องถ่ายรูปทางอากาศแบบแถบ หรือแบบถ่ายต่อเนื่องเป็นแนว (Strip cameras)

3.3 กล้องถ่ายรูปทางอากาศแบบจอกว้าง (Panoramic cameras)

3.4 กล้องถ่ายรูปทางอากาศชนิด Infrared

3.5 กล้องถ่ายรูปทางอากาศแบบชนิด Microwave

4.องค์ประกอบเพื่อให้ได้มาซึ่งรูปถ่ายทางอากาศที่ใช้ในการสำรวจและทำแผนที่

การถ่ายรูปทางอากาศที่ใช้ในการสำรวจและทำแผนที่ มีองค์ประกอบดังนี้

4.1 กล้องถ่ายรูปทางอากาศทีใช้ในการสำรวจและทำแผนที่ นั้น เป็นกล้องถ่ายรูปทางอากาศแบบกรอบชนิดเลนส์เดี่ยว (Single Lens Frame Camera) มีขนาด frame 9 นิ้ว x 9 นิ้ว หรือ23 ซ.ม.X 23 ซ.ม. เลนส์มีคุณสมบัติทางเรขาคณิตสูง มีขนาดความกว้างและง่ามมุมรับภาพตามชนิดของงานที่จะใช้

ภาพที่ 3 กล้องถ่ายรูปทางอากาศ

4.2 มีข้อกำหนดทางโฟโตแกรมเมตรี ได้แก่

4.2.1 เป็นรูปถ่ายทางอากาศชนิดภาพใกล้ดิ่ง (Near Vertical) ซึ่งรูปถ่ายชนิดนี้ขณะเปิดหน้ากล้องถ่ายรูปนั้น แกนของกล้องจะทำมุมเอนจากเส้นดิ่ง จากกล้องสู่ภูมิประเทศได้ไม่เกิน 3 องศา

4.2.2 เป็นรูปถ่ายที่มีส่วนเหลื่อมตามแนวบิน (Forward overlap) ร้อยละ 60 $\pm$ 4 และมีส่วนเหลื่อมระหว่างแนวบิน (Side lap) ร้อยละ 30 $\pm$ 4

4.2.3 เป็นรูปถ่ายที่ทำการถ่ายในวันที่มีอากาศเปิด ไม่มีเมฆหรือหมอกหนาปรากฏในรูปถ่าย ในกรณีจำเป็นให้มีเมฆได้ไม่เกินร้อยละ 2 ของแนวบินหรือขอบเขตงาน และไม่เกินร้อยละ 5 ในแต่ละรูป อีกทั้งจะต้องไม่อยู่ในตำแหน่งกลางรูปถ่ายของแต่ละรูปด้วย

4.2.4 รูปถ่ายมีมุมเฉ (Crab) ได้ไม่เกิน ร้อยละ 5

4.2.5 ในรูปถ่ายที่เหลื่อมกันทุกๆ สามรูปที่ต่อเนื่องกันในแนวบินเดียวกัน ส่วนเหลือมในแนวตั้งฉากกับแนวบินระหว่างรูปถ่ายทั้งสามรูปจะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของขนาดรูปถ่าย

4.2.6 เป็นรูปที่ทำการถ่ายในขณะที่มุมสูงของพระอาทิตย์ไม่ต่ำ 25 องศา

4.2.7 เป็นรูปถ่ายที่ไม่มีภาพสะท้อนของดวงอาทิตย์ (Sun reflection) ในพื้นน้ำ

4.2.8 เป็นรูปถ่ายที่มีความไหวของภาพ (Image motion) ไม่เกิน 20 ไมครอน

4.2.9 ในแต่ละแนวบินจะต้องทำการถ่ายรูปให้มีจุดมุขยสำคัญ (Principal point) ก่อนเข้าและออกจากพื้นที่โครงการเป็นจำนวน 3 รูป

4.2.10 ความคลาดเคลื่อนทางสูงบินตามแนวบินแต่ละแนวจะต้องอยู่ในเกณฑ์ดังนี้

- ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของความสูงตามแนวบินจะต้องไม่แตกต่างไปจากความสูงที่กำหนดให้ร้อยละ 3

-แต่ละรูปถ่ายภายในแนวบินเดียวกันจะต้องมีค่าความสูงแตกต่างจากค่าความสูงที่กำหนดไม่เกิน 60 เมตร

-ความแตกต่างระหว่างความสูงบินของแต่ละรูปถ่าย ในแนวบินเดียวกันต้องไม่เกินครึ่งหนึ่งของ $\sqrt{H}$ (เมื่อ H คือ ระยะความสูงบินมีหน่วยเป็นเมตร) ที่กำหนดให้ทำการบินเหนือพื้นที่โครงการ

บทที่ 4

การคำนวณมาตราส่วนรูปถ่ายทางอากาศ

1.ความหมายของมาตราส่วน

มาตราส่วนของรูปถ่ายทางอากาศในที่นี้ หมายถึงรูปถ่ายทางอากาศทางดิ่งหรือใกล้ดิ่งเท่านั้น ซึ่งจะหามาตราส่วนโดยประมาณได้ โดยใช้อัตราส่วนสัมพันธ์กันระหว่างระยะเส้นตรงบนรูปถ่ายกับระยะเส้นตรงในภูมิประเทศที่ตรงกัน มาตราส่วนรูปถ่ายทางอากาศนี้จะแตกต่างกันไปตามสภาพความสูงต่ำของภูมิประเทศ ดังนั้นมาตราส่วนรูปถ่ายทางอากาศจึงเป็นมาตราส่วนเฉลี่ย ณ ความสูงที่หาค่าเฉลี่ยได้

2.วิธีการหามาตราส่วนของรูปถ่ายทางดิ่ง

2.1 วัดระยะความยาวระหว่างจุด 2 จุด บนรูปถ่าย และในแผนที่ซึ่งตรงกันในแนวยาวที่สุดเป็นเส้นตรงจะได้

$$\text{มาตราส่วนรูปถ่าย} = \frac{\text{ระยะบนรูปถ่าย}}{\text{ระยะบนแผนที่}}$$

2.2 วัดขนาดความยาวของรายละเอียดในภาพที่เห็นเด่นชัด แล้วนำมาเทียบกับของจริงเช่น

2.2.1 ขนาดความยาวของรถไฟ, รถยนต์, บ้าน หรือตึกอาคารที่ทำงาน

2.2.2 ระยะห่างระหว่างหลักไมล์หรือหลักกิโลเมตรบนถนน

2.2.3 ความกว้างของถนน Highway

$$\text{มาตราส่วนรูปถ่าย} = \frac{\text{ขนาดของรายละเอียดที่วัดได้จากรูปฯ}}{\text{ขนาดของรายละเอียดที่เป็นจริง}}$$

2.3 ถ้าเราทราบระยะความยาวโฟกัสของกล้องถ่ายรูปทางอากาศ และความสูงบินขณะถ่ายรูปเหนือภูมิประเทศนั้น ๆ ก็สามารถคำนวณได้ คือ

$$\text{มาตราส่วนรูปถ่าย} = \frac{f}{H}$$

โดย F = ระยะโฟกัสของกล้องถ่ายรูป

H = ความสูงบินเหนือภูมิประเทศ

บทที่ 5

รายละเอียดข้อมูลบนขอบรูปถ่ายทางอากาศ

1.กล่าวนำ

รายละเอียดข้อมูลบนขอบรูปถ่ายทางอากาศ (Film Annotation)

กล้องถ่ายภาพทางอากาศเพื่องานแผนที่ในปัจจุบันเกือบทั้งหมดจะมีระบบบันทึกข้อมูลติดตั้งอยู่ด้วย จะบันทึกข้อมูลที่จำเป็นลงไปบนภาพถ่ายโดยอัตโนมัติ ข้อมูลทั่วๆ ไปได้แก่ วันที่ ระดับบิน ค่าความยาวโฟกัสวัดสอบ (Calibrated focal length) ของกล้อง หมายเลขของภาพถ่าย หมายเลขของงาน เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะอยู่เป็นกลุ่มและจะถูกถ่ายลงไปบนฟิล์มขณะถ่ายภาพได้อย่างอัตโนมัติระบบดังกล่าวนี้ให้ความสะดวกซึ่งประหยัดเวลาและป้องกันความผิดพลาดในการใช้ภาพถ่ายภายหลัง

2. รายละเอียดขอบรูปถ่ายทางอากาศ

รายละเอียดขอบรูปถ่ายทางอากาศ ประกอบด้วย

2.1 วัน เดือน ปี เวลา ที่ทำการถ่ายรูป ฯ

2.2 ค่าความสูงบิน

2.3 ค่าความยาวโฟกัสของเลนส์กล้อง

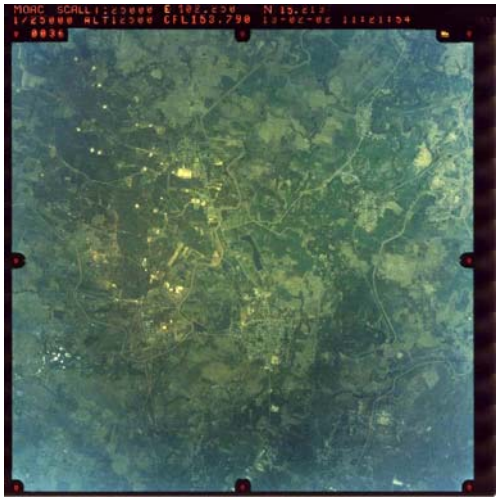
2.4 หมายเลขภาพถ่าย

2.5 ชื่อโครงการ หน่วยงาน

2.6 ฟองระดับ

2.7 เครื่องหมายหาจุดศูนย์กลางภาพถ่าย (Fiducial Marks)

2.8 ค่าพิกัดภูมิศาสตร์



ภาพที่4 แสดงข้อมูลขอบรูปถ่ายทางอากาศ

บทที่ 6
การใช้ประโยชน์รูปถ่ายทางอากาศในกิจการสำรวจและทำแผนที่

1.การใช้ประโยชน์รูปถ่ายทางอากาศในกิจการสำรวจและทำแผนที่

สามารถจำแนกเป็นหัวข้อต่าง ๆได้ดังนี้

1. ใช้ผลิตแผนที่มาตรฐาน
2. ใช้สร้างภาพต่อจากภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Mosaic)
3. ใช้ในงานภาพออร์โธโฟโต (Ortho Photograph)
4. ใช้ทำภาพแปลง (Rectified Photo)
5. จัดทำแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ
6. ใช้มองเป็นภาพสามมิติได้

1.1 ใช้ผลิตแผนที่มาตรฐาน

แผนที่มาตรฐานเป็นแผนที่ที่มีกระบวนการผลิต การควบคุมคุณภาพ และควบคุมมาตรฐานเป็นไปตามเกณฑ์ที่ผู้ใช้กำหนด แผนที่ที่ กรมแผนที่ทหารผลิต มีเกณฑ์มาตรฐานอาศัยมาตรฐานของหน่วยงานแผนที่สหรัฐ หรือ NIMAเป็นหลัก แผนที่มาตรฐานที่ผลิตจากรูปถ่ายทางอากาศ ในปัจจุบันการทำแผนที่มีการดำเนินการโดยใช้ระบบเชิงเลขเกือบทั้งหมด สำหรับรายละเอียดกระบวนการผลิตได้แยกบรรยายไว้ในวิชาอื่นโดยตรงแล้ว

1.2 ใช้สร้างภาพต่อจากภาพถ่ายทางอากาศ (Aerial Mosaic)

ภาพต่อจากภาพถ่ายทางอากาศ เป็นการประกอบภาพถ่ายที่มีส่วนซ้อนจำนวนสองภาพขึ้นไปเข้าด้วยกันเพื่อทำเป็นภาพถ่ายของพื้นที่ต่อเนื่องภาพเดียว ประกอบขึ้นโดยการตัดและต่อชิ้นส่วนของภาพถ่ายเข้าด้วยกัน โดยระวังให้ภาพของจุดร่วมประสานกันดีที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ตามแนวรอยต่อระหว่างภาพประชิด ภาพต่อส่วนมากนิยมทำจากภาพถ่ายทางอากาศแบบภาพดิ่ง ภาพถ่ายเฉียงและภาพถ่ายภาคพื้นดินก็เคยถูกนำมาใช้ ภาพต่อที่สร้างขึ้นอย่างดีจะมีลักษณะทั่วไปเหมือนภาพถ่ายขนาดใหญ่

ข้อเสียที่สำคัญอย่างหนึ่งของภาพต่อคือไม่ได้เป็นสิ่งแทนความสัมพันธ์ทางราบของพื้นที่โดยแท้จริง หากทว่าเป็นสิ่งที่ประกอบขึ้นจากภาพถ่ายเดี่ยวๆ จำนวนมาก แต่ละภาพก็มีความคลาดของจุดภาพและความต่างของมาตราส่วนอยู่ ความคลาดของจุดภาพและความต่างมาตราส่วนที่สำคัญที่สุดเกิดจากการแปรเปลี่ยนระดับของภูมิประเทศ ความเอียงของแกนกล้องและการแปรเปลี่ยนระดับบิน ความเพี้ยนบางส่วนเป็นผลเนื่องมาจากการหดหรือยืดของกระดาษอัดภาพ ความเพี้ยนขนาดเล็กๆ ซึ่งอาจจะไม่ต้องคำนึงถึงในงานภาพต่อคือที่เกิดจากการหดหรือยืดตัวของฟิล์มหรือความไม่สมบูรณ์ของเลนส์กล้อง

เนื่องจากมีข้อดีหลายประการ ภาพต่อจึงเป็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ภาพต่อมีคุณลักษณะที่ค่อนข้างเหมาะสำหรับงานวางแผน ทั้งงานวางแผนการใช้ที่ดิน (Land Use Planning) และวางแผนสำหรับโครงงานทางด้านวิศวกรรม (Planning for Engineering Projects) ภาพต่อซึ่งแสดงรายละเอียดพร้อมมูลสามารถจัดทำได้อย่างรวดเร็วและประหยัด รายละเอียดสำคัญๆ ทั้งหลายในพื้นที่ ซึ่งจะมีผลต่อโครงการสามารถศึกษาตีความได้จากภาพต่อและเพื่อนำไปพิจารณา โครงงานรองก็สามารถศึกษาได้ด้วยความสะดวก ทั้งนี้รวมไปถึงการพิจารณาชนิดของดิน รูปแบบการระบายน้ำ ลักษณะธรณีวิทยา การใช้ที่ดินและค่ากรรมสิทธิ์ที่ดินและอื่นๆ ผลของการศึกษารายละเอียดเหล่านี้จะทำให้ได้โครงการที่ดีที่สุดในบั้นปลาย

ภาพต่อยังมีประโยชน์ในสายงานอื่นๆ อีกมาก เช่นใช้ศึกษารายละเอียดทางธรณีวิทยา ใช้สำรวจทรัพยากรธรรมชาติ บันทึกการเติบโตของเมืองและสถาบันใหญ่ๆ บันทึกภารกิจการก่อสร้างที่ช่วงเวลาต่างๆ บันทึกแนวเขตกรรมสิทธิ์ที่ดิน ฯลฯ ภาพต่อใช้แทนแผนที่อาณาเขต (Planimetric Map Substitutes) สำหรับโครงการทางวิศวกรรมต่างๆ อาทิเช่น กรมทางหลวง (Highway Departments)

1.3 ใช้ในงานภาพออร์โธโฟโต (Ortho Photograph)

ภาพออร์โธโฟโต คือภาพถ่ายที่แสดงตำแหน่งของวัตถุจริงตามการฉายโดยตั้งฉากดังนั้นภาพออโธโฟโตจึงมีเรขาคณิตเช่นเดียวกันกับแผนที่อาเขตที่เขียนด้วยลายเส้นและสัญญลักษณ์แสดงตำแหน่งของวัตถุตามการฉายตั้งฉาก ภาพออโธโฟโตมีข้อแตกต่างที่สำคัญจากแผนที่คือภาพออโธโฟโตประกอบขึ้นจากจุดภาพของพื้นที่ ส่วนแผนที่เขียนด้วยลายเส้นและสัญลักษณ์เพื่อแสดงพื้นที่ เนื่องจากออร์โธโฟโตมีความถูกต้องทางราบจึงสามารถทำการวัดระยะมุม ตำแหน่งและพื้นที่ได้โดยตรงโดยไม่ต้องมีการตรวจแก้ความคลาดของจุดภาพ แต่จะกระทำเช่นนี้บนภาพถ่ายผ่านศูนย์ทิวทัศน์ (Perspective Photo) ไม่ได้

1.4 ใช้ทำภาพแปลง (Rectified Photo)

การแปลงภาพ (Rectification) คือ การทำให้เกิดภาพดิ่งสมดุล (ภาพแปลง Rectification Photos) จากเนกาทีฟของภาพเอียง เครื่องมือที่ใช้แปลงภาพเรียกว่า เครื่องแปลงภาพ (Rectifier) ตามทฤษฎีแล้วภาพแปลงคือภาพดิ่งจริง และไม่มีความคลาดเนื่องจากความเอียงเลย แต่ยังมีความคลาดเนื่องจากความต่างระดับของภูมิประเทศอยู่ ในการแปลงภาพต้องการจุดควบคุมทางราบ และจุดควบคุมทางดิ่งจำนวนเท่ากับที่ต้องการในการคำนวณหาความเอียงของภาพถ่าย

เครื่องแปลงภาพทำงานโดยหลักการของเครื่องอัดภาพแบบฉาย ขณะที่แปลงภาพอาจจะมีการ ปรับมาตราส่วนไปด้วย ดังนั้นมาตราส่วนเฉลี่ยของภาพในแถบหรือบล็อก จะเท่ากันแม้ว่าขณะถ่ายภาพระดับบินจะต่างกันบ้าง การปรับนี้ทำได้โดยการเปลี่ยนระยะฉายเพื่อให้เกิดสภาพตามทฤษฎีเหมือนกับว่าระดับบินคงที่เหนือระดับอ้างอิงทุกภาพ ภาพแปลงและภาพปรับมาตราส่วนมักใช้สำหรับงานภาพต่อควบคุม ภาพแปลงของพื้นที่ราบบางครั้งก็ใช้เป็นแผนที่ภาพถ่าย (Photo Map) ด้วย ภาพถ่ายเหล่านี้มักจะไม่มีความคลาด

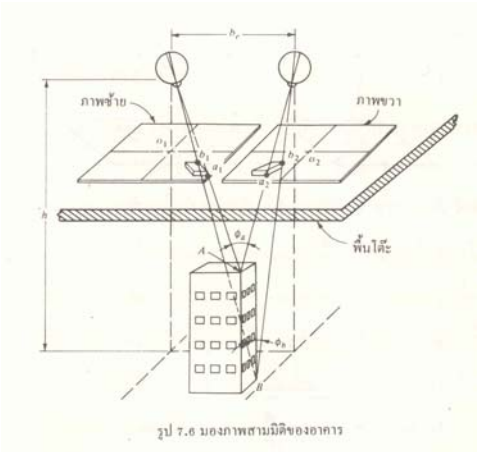
เนื่องจากความต่างระดับอยู่แล้ว และเมื่อความคลาดเนื่องจากความเอียงถูกกำจัดหมดไปทำให้มาตราส่วนของภาพเกือบจะเท่ากันตลอด

1.5 ใช้ทำแผนที่รูปถ่ายทางอากาศ

ได้จากการนำรูปถ่ายทางอากาศที่ได้ดำเนินกรรมวิธีเพื่อขจัดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของรายละเอียดภาพอันเนื่องมาจากความสูงต่ำของภูมิประเทศแล้ว มากำหนดเส้นขอบ เส้นกริด ลงรายละเอียดตัวอักษร สัญลักษณ์ เส้น สีต่าง ให้มีความสมบูรณ์คล้ายแผนที่ นำมาใช้ประโยชน์แทนแผนที่ได้

1.6 ใช้มองเป็นภาพสามมิติได้

การรับรู้ระยะลึกหรือระยะใกล้ของวัตถุต่าง ๆ โดยการมองด้วยตาของมนุษย์สามารถกำหนดด้วยวิธีต่าง ๆ 2 แบบ คือ การมองแบบภาพคู่ซ้อน (Stereoscopic) และ การมองแบบภาพเดี่ยว (Monoscopic) บุคคลที่มีการมองเห็นเป็นปกติ (สามารถมองเห็นด้วยตาทั้งสองข้างพร้อมกัน) เรียกได้ว่ามีการมองเห็นแบบ มองสายตา (Binocular Vision) การรับรู้ระยะลึกได้จากการมองสองตา เรียกว่ามีการมองเห็นแบบสามมิติ (Stereoscopic Viewing) การรับรู้ระยะลึกด้วยการมองตาเดียวให้ความรู้สึกในเรื่องระยะทางได้เพียงหยาบ ๆ ในขณะที่การมองสามมิติจะสามารถรับรู้ระยะลึกได้ถูกต้องแม่นยำขึ้นมาก ในการมองสองตาเมื่อโฟกัสไปยังจุดจุดหนึ่ง แกนทัศน์ทั้งสองข้างจะเบนเข้าหากันและตัดกันที่จุดนั้นด้วยมุมด้วยมุมที่ เรียกว่า มุมเหลื่อม (Parallactic Angle) เมื่อวัตถุอยู่ใกล้เข้ามามุมเหลื่อมจะใหญ่ขึ้น และเมื่อวัตถุอยู่ไกลออกไปมุมเหลื่อมก็จะเล็กลง สมองจะรับรู้ทันทีโดยอัตโนมัติถึงความสัมพันธ์ของระยะ ด้วยมุมเหลื่อม $\varnothing_A$และ $\varnothing_B$ ระยะลึกจะรับรู้ได้จากระยะใกล้สุดที่บุคคลทั่วไป สามารถรับรู้ความลึกจากการมองสามมิติคือระยะประมาณ 10 นิ้ว ระยะไกลสุดที่สามารถจะรับรู้ความลึกได้ด้วยการมองสามมิติยังไม่เป็นที่ทราบแน่นอนนัก แม้ว่าสำหรับบุคคลทั่วไปโดยเฉลี่ยแล้วจะอยู่ที่ระยะประมาณ 2,000 ฟุตไกลเกินกว่านี้ มุมเหลื่อมจะเล็กมาก และค่ามุมที่เปลี่ยนเพื่อการรับรู้ความลึกไม่สามารถที่แยกได้



รูป ๗.๑ มองภาพสามมิติของอาคาร

ภาพที่ 5 การมองภาพสามมิติ

ปรากฏการณ์ที่จะให้เกิดมองเห็นสามมิติหรือภาพทรวดทรงโดยการใช้จุดภาพของวัตถุสามารถกระทำวิธีได้โดยการของภาพถ่าย สมมติว่าภาพถ่ายทางอากาศคู่หนึ่ง ถ่ายที่ตำแหน่งถ่ายภาพ L1 และ L2 โดยมีภาพของอาคารปรากฏบนภาพ ระดับบินเหนือพื้นดินเท่ากับ H' และระยะระหว่างตำแหน่งถ่ายภาพเท่ากับ B เรียกว่าฐานถ่ายภาพในอากาศ (Air Base) จุด A และ B ที่ยอดและที่ฐานของอาคารปรากฏเป็นจุด a1 และ b1 ในภาพซ้าย และ a2 และ b2 ในภาพขวา ถ้านำภาพทั้งสองมาวางบนโต๊ะแล้วมองโดยที่ตาซ้ายมองเฉพาะภาพซ้ายและตาขวามองเฉพาะภาพขวา จะเห็นอาคารในลักษณะสามมิติจากตาเป็นระยะ h สมองรับรู้ความสูงของอาคารจากความลึกของจุด A และ B ตามค่ามุมเหลื่อม $\varnothing a$ และ $\varnothing b$ ตามลำดับ เมื่อตามมองผ่านบริเวณพื้นที่ส่วนซ้อน (Overlap area)ทั้งหมด สมองจะเกิดการรับรู้สภาพสามมิติ อย่างต่อเนื่องไปทั่วทั้งบริเวณ ความรู้สึกนี้เกิดจากการเปลี่ยนของมุมเหลื่อมเมื่อมองไปยังจุดจำนวนอนันต์ที่ประกอบกันขึ้นเป็นพื้นที่นั้น รูปจำลองที่มองเห็นนี้เรียกว่า รูปจำลองสามมิติ (Stereoscopic Model or Stereo model) และภาพถ่ายคู่นี้เรียกว่า ภาพคู่ซ้อนหรือคู่ภาพสามมิติ

2. กล้องมองภาพสามมิติ (Stereoscopes)

มีกล้องมองภาพภาพสามมิติหลายชนิดให้เลือกใช้งานที่มีจุดประสงค์ต่างๆ กัน แต่ทุกชนิดใช้หลักการเหมือนกัน กล้องมองภาพสามมิติแบบ เลนส์ หรือแบบกระเป๋า (Lens or pocket stereoscope) ซึ่งเป็นแบบราคาถูกที่สุด และใช้กันทั่วไปประกอบด้วยเลนส์นูนธรรมดาสองอันติดอยู่บนกรอบ ระยะระหว่างเลนส์ปรับให้พอดีกับความห่างของตาผู้ใช้ได้ ขาของกรอบพับเก็บหรือถอดออกได้เพื่อความสะดวกในการเก็บและถือติดตัวทำให้กล้องมองภาพสามมิติกระเป๋าเหมาะสำหรับใช้ในสนาม ขาของกล้องมองภาพสามมิติแบบกระเป๋าจะสั้นกว่าระยะโฟกัสของเลนส์ที่ใช้เล็กน้อย เมื่อวางกล้องดังกล่าวเหนือภาพแล้วรังสีแสงจากจุดภาพจะได้เบนเข้าหากันเล็กน้อยเมื่อแสงผ่านเลนส์ สภาพสามมิติที่สมองรับรู้ด้วยการอาศัยลำแสงตีบเข้าเล็กน้อยจะเหมือนกับมองวัตถุที่ระยะไกลออกไป นอกจากนี้เลนส์ยังทำหน้าที่ขยายขนาดภาพด้วย จึงทำให้เห็นรายละเอียดชัดขึ้น

ในการใช้กล้องมองภาพสามมิติแบบกระเป๋า จะวางภาพให้ห่างกันน้อยกว่าระยะฐานของตาเล็กน้อย ปกติห่างกันประมาณ 2 นิ้ว สำหรับภาพถ่ายที่ใช้กันอยู่ขนาด 9x9 นิ้ว เมื่อถ่ายโดยมีระยะซ้อนร้อยละ 60 พื้นที่ส่วนซ้อน (Overlap area) จะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 5.4 นิ้ว แยกภาพถ่ายออกห่างกัน 2 นิ้ว เพื่อมองสามมิติด้วยกล้องมองภาพสามมิติแบบกระเป๋า จะปรากฏว่ามีพื้นที่ส่วนหนึ่งที่ภาพบนทับภาพล่าง คือพื้นที่แลเงาเป็นตาราง ทำให้ไม่สามารถเห็นสามมิติได้ ปัญหานี้แก้ได้โดยค่อยๆ ม้วนภาพบนไม่ให้บังส่วนที่จะมองให้เห็นสามมิติ

กล้องมองภาพสามมิติ กระจกเงา (Mirror stereoscope) จะสามารถแยกภาพถ่ายออกจากกันได้อย่างสมบูรณ์ในเวลามองสามมิติ ทำให้ขจัดปัญหาภาพบังกันและสามารถมองเห็นทั้งรูปจำลองพร้อมกันได้ในทีเดียว หลักการทำงานของกล้องมองภาพสามมิติแบบกระจกเงา เครื่องมือประกอบด้วยกระจกปีก (Wing

mirror) อันใหญ่สองอัน และกระจกช่องมอง (Eyepiece mirror) เล็กๆ สองอัน กระจกทุกตัวติดทำมุม 45° กับแนวราบ แสงจากจุดภาพ จะสะท้อนจากกระจกตามหลักของการสะท้อนเข้าสู่ตาทำให้เกิดมุมเหลื่อม $\varnothing_a$ ด้วยมุมเหลื่อมนี้สมองจะรับรู้ถึงความลึก รูปจำลองสามมิติจะปรากฏขึ้นข้างใต้กระจกช่องมอง

การมองสามมิติจะถูกต้องและดูได้อย่างสบายตา เมื่อเส้นฐานของตา เส้นเชื่อมจุดกึ่งกลางเลนส์ และเส้นแนวบินขนานกัน ดังนั้นหลังจากตรวจและวางภาพไม่ให้เกิดสามมิติหกกลับแล้ว ควรหมายเส้นแนวบินลงบนภาพถ่ายทั้งสอง กรณีภาพถ่ายดิ่งเส้นแนวบินคือเส้นเชื่อมจุดศูนย์กลางของภาพซ้ายถึงจุดศูนย์กลางของภาพขวา ในการลากเส้นเชื่อมจุดดัชนีภาพถ่าย จากนั้นจึงหมายจุดมุขยสำคัญสังยุค (Conjugate principal unit) (ตำแหน่งของจุดมุขยสำคัญของคู่ภาพคู่ซ้อนที่อยู่ติดกัน) จุดมุขยสำคัญสังยุคจะหมายได้ดีพอสมควรด้วยการพิจารณาภาพของสิ่งแวดล้อมรอบๆ จุดมุขยสำคัญ แล้วหาตำแหน่งของจุดในบริเวณสิ่งแวดล้อมเดียวกันของภาพคู่ซ้อนภาพถัดไป เมื่อแน่ใจว่าเป็นจุดเดียวกันแล้วจึงหมายจุดมุขยสำคัญสังยุคลงไป

ขั้นต่อไปของการจัดภาพเพื่อการมองสามมิติ คือใช้แถบกาวผนึกภาพซ้ายบนโต๊ะจากนั้นจัดภาพขวาให้จุดแสดงแนวบินสี่จุด อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน แล้วจึงมองผ่านกล้องมองภาพสามมิติและค่อยๆ เลื่อนภาพขวาเข้าหรือออกจนเห็นเป็นสามมิติชัดเจนและสบายตา ปกติแล้วระยะห่างระหว่างจุดภาพจุดเดียวกันของสองภาพจะประมาณ 1 นิ้ว เมื่อใช้กล้องมองภาพสามมิติแบบกระเป๋า และประมาณ 10 นิ้ว เมื่อใช้กล้องแบบกระจกเงา

ดังได้กล่าวมาแล้ว การมองภาพสามมิติจะมองได้อย่างสบายตาเมื่อเส้นเชื่อมจุดศูนย์กลางเลนส์ของกล้องมองภาพสามมิติขนานกับเส้นแนวบิน ดังนั้นหลังจากจัดภาพเข้าที่แล้ว ผู้ส่องจัดกล้องมองภาพสามมิติด้วยการขยับกล้องเล็กน้อยจนมองเห็นสามมิติชัดเจนและสบายตาควรส่องผ่านตรงจุดศูนย์กลางของเลนส์เพื่อรักษาให้เส้นฐานของตาขนานกับเส้นแนวบิน

บทที่ 7

การนำภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ประโยชน์ในทางแผนที่

1. กรมแผนที่ทหารกับการนำภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ประโยชน์ในทางแผนที่

กรมแผนที่ทหารได้ทดลองใช้ภาพจากดาวเทียม SPOT แก้ไขแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 ให้ทันสมัย ซึ่งเป็นโครงการหนึ่งภายใต้ความช่วยเหลือจากองค์การ CIDA (Canadian International Development Agency) ในการนำข้อมูลจากดาวเทียม SPOT ที่มีรายละเอียดสูงถึง 10 × 10 ตารางเมตร มาทดลองใช้ในการแก้ไขแผนที่ ซึ่งผลการทดลองสามารถนำมาใช้งานในทางปฏิบัติเพื่อแก้ไขรายละเอียดทางราบได้ดี ในปัจจุบันกรมแผนที่ทหาร ได้ดำเนินการแก้ไขแผนที่มาตราส่วน 1 : 50,000 โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม SPOT ไปแล้วเพื่อการใช้ประโยชน์ในระดับหนึ่งประมาณ 258 ระวาง นอกจากนี้ ยังนำมาใช้ในการแก้ไขแผนที่มาตราส่วน 1 : 250,000 สนับสนุนส่วนราชการต่าง ๆ อีกจำนวน17 ระวาง ในเขต จ.ภาคใต้

ความก้าวหน้าในการใช้ภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อนำมาแก้ไขแผนที่นั้น ในปัจจุบันภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS มีคุณสมบัติที่ให้รายละเอียดสูงถึง 5 × 5 ตารางเมตร การทดลองนำมาใช้ขณะนี้อยู่ระหว่างการทดสอบ

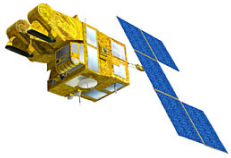
ภาพที่ 6 และ 7 แสดงตัวอย่างภาพดาวเทียม IKONOS

2. รายละเอียดคุณสมบัติดาวเทียม SPOT

ดาวเทียมSPOT (Le Systeme Probatoire d 'Observation de laTerre) อยู่ในความรับผิดชอบของสถาบันอวกาศแห่งชาติฝรั่งเศส (Centre National d ' Etudes Spatial : CNES) ร่วมกับประเทศในกลุ่มยุโรป อุปกรณ์ เก็บข้อมูลของ SPOT ประกอบด้วย High Resolution Visible (HRV)Scanners จำนวน 2 กล้อง คือ ระบบหลายช่วงคลื่น(Multi-spectral Mode) มี 3 ช่วงคลื่น ให้รายละเอียด 20×20 ตารางเมตร และระบบช่วงคลื่นเดียว (Panchromatic) ให้รายละเอียด 10 × 10 ตารางเมตร แนวกวาดภาพมีขนาด 60 กิโลเมตร และสมรรถนะของ HRV ที่สำคัญประการหนึ่ง คือ สามารถถ่ายภาพแนวเฉียงได้ถึง 27% นำมาศึกษาในลักษณะ3 มิติ ซึ่งให้รายละเอียดความลึกและความสูงของวัตถุ อันเป็นประโยชน์สำหรับ

การวิเคราะห์ในเชิงรายละเอียด ได้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ข้อมูลจาก SPOT นำไปใช้ศึกษาการสำรวจพื้นที่และแยกชนิดของป่า รวมทั้งไฟป่า, การทำ แผนที่การใช้ที่ดิน, ธรณีวิทยา , อุทกวิทยา , แหล่งน้ำ, สมุทรศาสตร์และชายฝั่ง, การพังทลายและการตกตะกอน ; ตลอดจนติดตามการประเมินผลสิ่งแวดล้อมและมลภาวะ, การขยายตัวเมือง, และการตั้งถิ่นฐาน ดาวเทียม SPOT-2 ได้ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจร เมื่อวันที่ 22 มกราคม 2533 ในปัจจุบันมีการปล่อยดาวเทียม SPOT ไปแล้วจนถึง SPOT - 5 ซึ่งดาวเทียม SPOT- 5 ให้ความละเอียดถูกต้อง ได้ดีกว่า 10 X10 ตารางเมตร

ภาพที่ 8 ตัวอย่างภาพดาวเทียม SPOT



ภาพที่ 9 ดาวเทียม SPOT

……..

ตอนที่ ๓

เอกสารประกอบคำบรรยาย

วิชาการสำรวจ

โดย

พ.อ.หัสฎี วงศ์อิศเรศ

สารบัญ

หน้า

สารบัญ ก

สารบัญตาราง ง

สารบัญภาพ จ

บทที่ 1 คำจำกัดความเบื้องต้น

1. ระบบพิกัด 1

1.1 ระบบพิกัดดาราศาสตร์ 1

1.2 ระบบพิกัดจีออเดติก 2

1.3 ระบบพิกัดฉาก (3 มิติ) 3

1.4 ระบบพิกัด UTM 4

1.5 ระบบอ้างอิงภูมิศาสตร์โลก 9

1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดจีออเดติก กับระบบ พิกัดฉาก 12

1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดจีออเดติก กับระบบพิกัด UTM 13

2. พื้นหลักฐานทางราบ 16

3. ประวัติพื้นหลักฐานทางราบของประเทศไทย 16

3.1 พื้นหลักฐานราชบุรี 16

3.2 พื้นหลักฐานอินเดียน 1954 17

3.3 พื้นหลักฐานอินเดียน 1975 18

4. พื้นหลักฐานทางดิ่ง 18

5. ประวัติพื้นหลักฐานทางดิ่งของประเทศไทย 19

บทที่ 2 วิวัฒนาการของการสำรวจ

1. การสำรวจทางภาคพื้นดิน 20

1.1 การสำรวจทางราบ 20

1.2 การสำรวจทางดิ่ง 21

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 2 วิวัฒนาการของการสำรวจ (ต่อ)

2. การสำรวจด้วยดาวเทียม 21

2.1 สถานีรังวัดติดตามภาคพื้น 22

2.2 ดาวเทียมรังวัดความสูง 25

2.3 การรังวัดติดตามดาวเทียมด้วยดาวเทียม 25

บทที่ 3 การสำรวจภาคพื้นดิน

1. การสำรวจทางราบ 26

1.1 โต๊ะแผนที่ 26

1.2 วงรอบ 30

1.3 การสามเหลี่ยม 33

2. การสำรวจทางดิ่ง 36

2.1 การทำระดับตรีโกณ 36

2.2 การระดับ 38

บทที่ 4 การกำหนดตำแหน่งด้วยวิธีดอปเปลอร์

1. ระบบดาวเทียมทรานสิต 45

2. สูตรพื้นฐานในการรวมจำนวนคลื่นสัญญาณดาวเทียม 49

2.1 ระบบเวลา 51

2.2 ค่าตัวแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ 54

2.3 ค่าตัวแก้ชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ 55

3. ประเภทของการกำหนดตำแหน่งด้วยวิธีดอปเปลอร์ 57

3.1 การกำหนดตำแหน่งแบบอิสระ 57

3.2 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพันธ์ 59

บทที่ 5 การกำหนดตำแหน่งด้วยระบบจีพีเอส

1. องค์ประกอบของระบบจีพีเอส 60

1.1 ส่วนอวกาศ 60

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 การกำหนดตำแหน่งด้วยระบบจีพีเอส (ต่อ)

1.2 ส่วนผู้ใช้ 62

1.3 ส่วนควบคุม 62

2. แนวความคิดของระบบจีพีเอส 63

2.1 หลักการของสามเหลี่ยมดาวเทียม 63

2.2 การรังวัดระยะจากดาวเทียม 65

2.3 การรังวัดเวลา 67

2.4 วงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียม 68

2.5 ความคลาดเคลื่อนและการขจัดความคลาดเคลื่อน 69

3. แนวความคิดของระบบ DGPS 72

4. เทคนิคการรังวัดของระบบจีพีเอส 76

4.1 การรังวัดแบบสัมบูรณ์ 76

4.2 การรังวัดแบบสัมพันธ์ 79

บทที่ 6 โครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียม จีพีเอส 2531

1. จุดศูนย์กำเนิดพื้นหลักฐาน 83

2. วิธีการรังวัดและการคำนวณ 83

3. การคำนวณปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียมGPS 84

4. ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 กับ WGS 1984 84

5. การแปลงพื้นหลักฐาน WGS 1984 เป็นพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 85

6. สรุปปัญหาการแปลงค่าพิกัดพื้นหลักฐาน 86

7. แนวทางการแก้ปัญหา 86

8. เปรียบเทียบความต่างค่าพิกัด 88

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบที่ยอมให้เกิดขึ้นของแต่ละชั้นงานสำรวจ 35
ตารางที่ 2 ข้อกำหนดของงานระดับปี 1974 42
ตารางที่ 3 แสดงความถูกต้องของการกำหนดตำแหน่งโดยวิธีดอปเปลอร์ 59
ตารางที่ 4 ความต่างพิกัดระหว่างพื้นหลักฐาน WGS 84 - อินเดียน 1975 89
ตารางที่ 5 สรุปพื้นหลักฐานในประเทศไทย 90
ตารางที่ 6 สรุปค่าตัวแปรพื้นหลักฐานในประเทศไทย 91

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่ 1 แสดงระบบพิกัดดาราศาสตร์ 1
ภาพที่ 2 แสดงระบบพิกัดจีออเดติก 2
ภาพที่ 3 แสดงระบบพิกัดฉาก 3
ภาพที่ 4 แสดงการตัดของ Transverse Mercator 5
ภาพที่ 5 แสดงการกำหนดโซนของกริด 7
ภาพที่ 6 แสดงตัวอย่างจัตุรัส 100,000 เมตร 8
ภาพที่ 7 การกำหนดระบบอ้างอิงภูมิศาสตร์โลก 11
ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดฉากและระบบพิกัดยีออเดซี 12
ภาพที่ 9 อุปกรณ์ประกอบโต๊ะแผนที่ 26
ภาพที่ 10 วิธีการทำแผนที่ด้วยโต๊ะแบบ Traversing 28
ภาพที่ 11 วิธีการทำแผนที่ด้วยโต๊ะแบบ Radiation 29
ภาพที่ 12 วิธีการทำแผนที่ด้วยโต๊ะแบบ Intersection 29
ภาพที่ 13 ลักษณะของวงรอบปิด 32
ภาพที่ 14 ลักษณะวงรอบเปิด 32
ภาพที่ 15 รูปโครงข่ายสามเหลี่ยม แบบ Single Triangle 34
ภาพที่ 16 รูปโครงข่ายสามเหลี่ยม แบบ Braced Quadrilateral 34
ภาพที่ 17 รูปโครงข่ายสามเหลี่ยม แบบ Polygon 34
ภาพที่ 18 การทำระดับตรีโกณแบบ Base of an Object Accessible 36
ภาพที่ 19 การทำระดับตรีโกณแบบ Reciprocal Observation 37
ภาพที่ 20 แสดงองค์ประกอบของการระดับ 39
ภาพที่ 21 แสดงการทำระดับด้วยกล้องระดับ 44
ภาพที่ 22 ลักษณะของดาวเทียมทรานสิตรุ่น Oscar 46
ภาพที่ 23 วงโคจรของดาวเทียมทรานสิต 46
ภาพที่ 24 ลักษณะของดาวเทียมทรานสิตรุ่น Nova 47
ภาพที่ 25 แสดงการรวมจำนวนต่างความถี่ 49
ภาพที่ 26 ลักษณะของดาวเทียมระบบจีพีเอส 60
ภาพที่ 27 วงโคจรดาวเทียมระบบจีพีเอส 61

สารบัญภาพ(ต่อ)

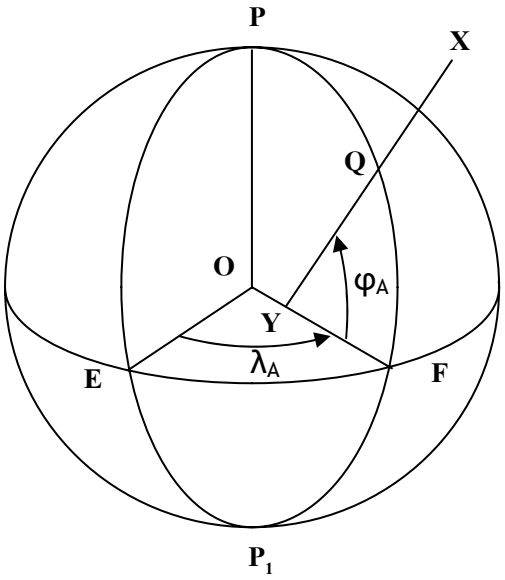
ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่ 28 ตำแหน่งของจุดที่ได้จากการรังวัด 1 ระยะ 64
ภาพที่ 29 ตำแหน่งของจุดที่ได้จากการรังวัด 2 ระยะ 64
ภาพที่ 30 การตัดกันของทรงกลมทั้งสาม 65
ภาพที่ 31 พื้นที่รอยตัดของดาวเทียมที่วงโคจรอยู่ใกล้กัน 70
ภาพที่ 32 พื้นที่รอยตัดของดาวเทียมที่วงโคจรอยู่ห่างกัน 71
ภาพที่ 33 การรังวัดระยะคลื่นรหัสและคลื่นพาห์ 76
ภาพที่ 34 การรังวัดดอปเปลอร์ 78
ภาพที่ 35 การรังวัดแบบ Single Difference 80
ภาพที่ 36 การรังวัดแบบ Double Difference 81
ภาพที่ 37 การรังวัดแบบ Triple Difference 82

บทที่ 1
คำจำกัดความเบื้องต้น

1. ระบบพิกัด (Coordinates System)

1.1 ระบบพิกัดดาราศาสตร์ (Astronomic Coordinates System) (DMA,1983)



ภาพที่ 1 แสดงระบบพิกัดดาราศาสตร์

จากภาพที่ 1 จุด O เป็นจุดศูนย์กลางของโลก และมี Q เป็นจุดอยู่บนพิภพ

1.1.1 แกน PP_1 เป็นแกนแห่งอาการหมุนของโลก

1.1.2 แกน OE เป็นเส้นตรงบนพื้นอีเควเตอร์ ที่เกิดจากการตัดกันของพื้นอีเควเตอร์กับพื้นเมอริเดียนของกรีนีช

1.1.3 แกน OF เป็นเส้นตรงบนพื้นอีเควเตอร์ ที่เกิดจากการตัดกันของพื้นอีเควเตอร์กับพื้นเมอริเดียนของจุด Q

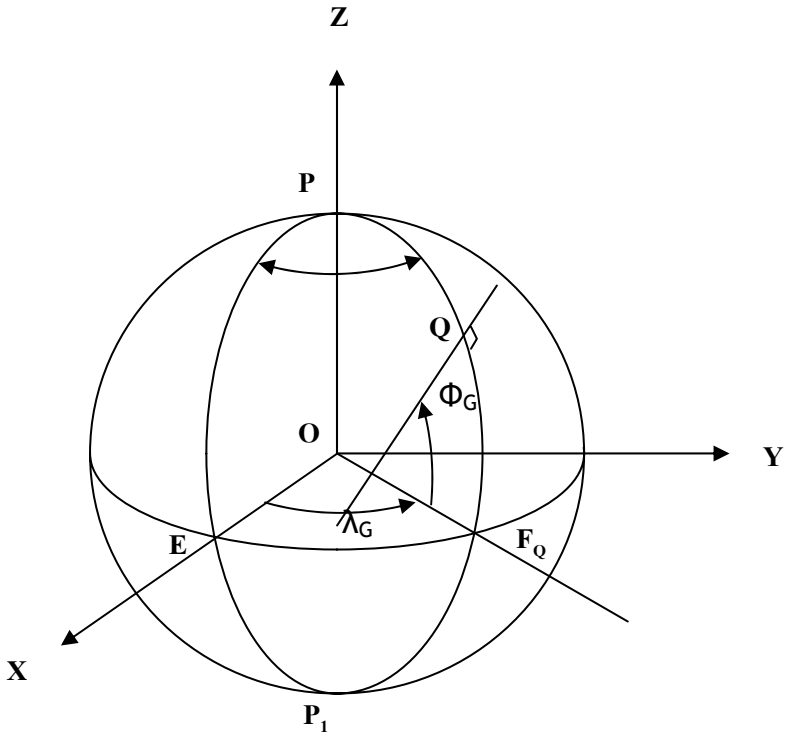
1.1.4 เส้นดิ่ง XY ลากผ่านจุด Q และตั้งฉากกับพิภพ

ดังนั้น ค่าพิกัดดาราศาสตร์ (φ_A , λ_A) ของจุด Q มีค่าดังนี้

1.1.5 ลองจิจูดดาราศาสตร์ (λ_A) ของจุด Q คือมุมระหว่างเมอริเดียนของกรีนีซ กับเมอริเดียนฟ้าที่ผ่านจุด Q หรือ คือความต่างเวลาของดาวดวงเดียวกันขณะเคลื่อนที่ผ่านเมอริเดียนของกรีนีซกับขณะเมื่อเคลื่อนที่ผ่านเมอริเดียนของจุด Q

1.1.6 ละติจูดดาราศาสตร์ (φ_A) ของจุด Q คือมุมที่เกิดจากแนวเส้นดิ่งของจุด Q กระทำกับพื้นอีเควเตอร์ หรือ คือระยะสูงของดาวเหนือเมื่อเทียบกับพื้นระนาบของจุด Q

1.2 ระบบพิกัดจีออเดติก (Geodetic Coordinates System) (Rapp ,1979)



ภาพที่ 2 แสดงระบบพิกัดจีออเดติก

จากภาพที่ 2 ทรงรีแห่งอาการหมุน มี O เป็นจุดศูนย์กลางของทรงรีและมี Q เป็นจุดบนทรงรี กำหนดให้

1.2.1 แกน OZ เป็นแกนแห่งอาการหมุนของทรงรี

1.2.2 แกน OX เป็นเส้นตรงที่เกิดจากการตัดกันของพื้นอีเควเตอร์กับพื้นเมอริเดียนหลัก PEP_1

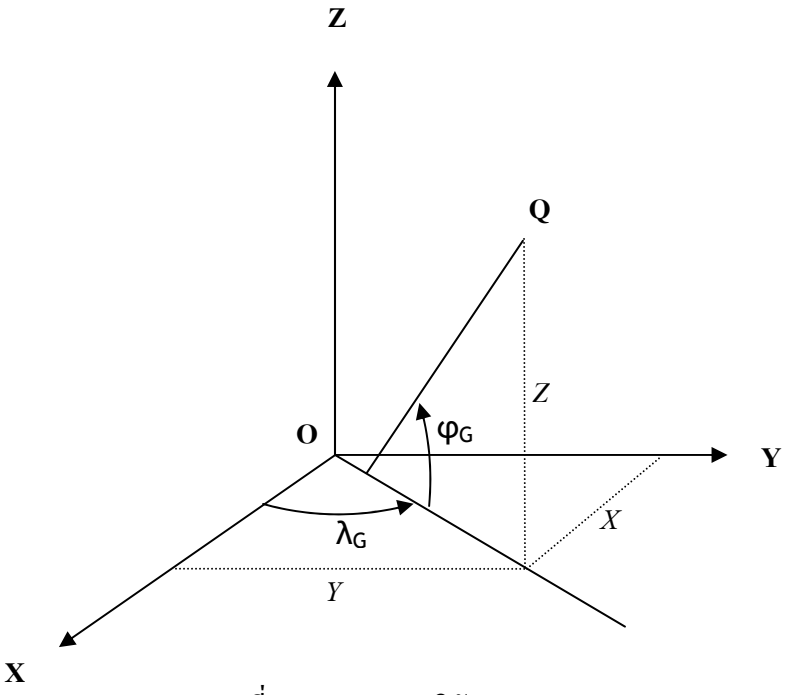
1.2.3 แกน OY เป็นเส้นตรงบนพื้นอีเควเตอร์ และตั้งฉากกับแกน OX

ดังนั้น ค่าพิกัดจีออเดติก (φ_G , λ_G) ของจุด Q มีค่าดังนี้

1.2.4 ลองจิจูดจีออเดติก (λ_G) ของจุด Q คือระยะทางมุมนับจากเมอริเดียนหลัก PEP_1 ถึงเมอริเดียนที่ผ่านจุด Q นั้น มีค่าตั้งแต่ 0°-180° ตะวันออก หรือ 0°-180° ตะวันตก นั่นคือจุดใดๆบนเมอริเดียนเดียวกันจะมีค่าลองจิจูดจีออเดติก (λ_G) เท่ากัน

1.2.5 ละติจูดจีออเดติก (φ_G) ของจุด Q คือมุมที่เกิดจากแนวเส้นตั้งฉากของจุด Q กระทำกับทรงรี ตัดกับพื้นอีเควเตอร์มีค่าตั้งแต่ 0°-90° เหนือ หรือ 0°-90° ใต้

1.3 ระบบพิกัดฉาก (3 มิติ) (Rectangular Coordinates System) (Rapp,1979)



ภาพที่ 3 แสดงระบบพิกัดฉาก

จากภาพที่ 3 ระบบพิกัดฉากมี O เป็นจุดศูนย์กลางของพิภพ และQเป็นจุดบนทรงรี กำหนดให้

1.3.1 แกน OZ เป็นแกนแห่งอาการหมุนของพิภพ

1.3.2 แกน OX เป็นเส้นตรงบนพื้นอีเควเตอร์ ที่เกิดจากการตัดกันของพื้นอีเควเตอร์กับพื้นเมอริเดียนของกรีนีช

1.3.3 แกน OY เป็นเส้นตรงบนพื้นอีเควเตอร์ และตั้งฉากกับแกน OX

ดังนั้น ค่าพิกัดฉาก (X,Y,Z) ของจุด Q มีค่าดังนี้

1.3.4 ค่า X คือระยะทางตามแกน OX ของจุด Q เริ่มนับจากจุด O

1.3.5 ค่า Y คือระยะทางตามแกน OY ของจุด Q เริ่มนับจากจุด O

1.3.6 ค่า Z คือระยะทางตามแกน OZ ของจุด Q เริ่มนับจากจุด O

1.4 ระบบพิกัด UTM (Universal Transverse Mercator)

ระบบ UTM กริด มีคุณลักษณะโดยย่อดังนี้

1.4.1 ใช้ร่วมกับโปรเจคชั่นแบบ Transverse Mercator (Gauss Kruger) โดยแบ่งพิภพออกเป็นโซนละ 6° ตามลองจิจูด โซนที่ 1 อยู่ระหว่างลองจิจูด 180° ตะวันตก กับลองจิจูด 174°ตะวันตก นับต่อเนื่องไปทางตะวันออกรอบพิภพรวม 60 โซน ซึ่งโซนที่ 60 จะอยู่ระหว่างลองจิจูด 174°ตะวันออก กับลองจิจูด 180°ตะวันออก

1.4.2 ระบบพิกัด UTM กริด คลุมบริเวณตั้งแต่ละติจูด 80°ใต้ ถึงละติจูด 84°เหนือ

1.4.3 หน่วยที่ใช้ในการวัดเป็นเมตร โดยมีจุดศูนย์กำเนิดอยู่ที่จุดตัดกันระหว่างเส้นศูนย์สูตรกับเส้นเมริเดียนย่านกลาง (Central Meridian) ของแต่ละโซน

1.4.4 ค่าพิกัดมี 2 ค่า คือ

- พิกัดทางเหนือ (Northing) ใช้อักษรย่อว่า N
- พิกัดทางตะวันออก (Easting) ใช้อักษรย่อว่า E

1.4.5 ค่าพิกัดของจุดศูนย์กำเนิดของแต่ละโซนเป็นค่าพิกัดสมมติ เพื่อหลีกเลี่ยงค่าพิกัดที่เป็น ลบ โดยกำหนดให้

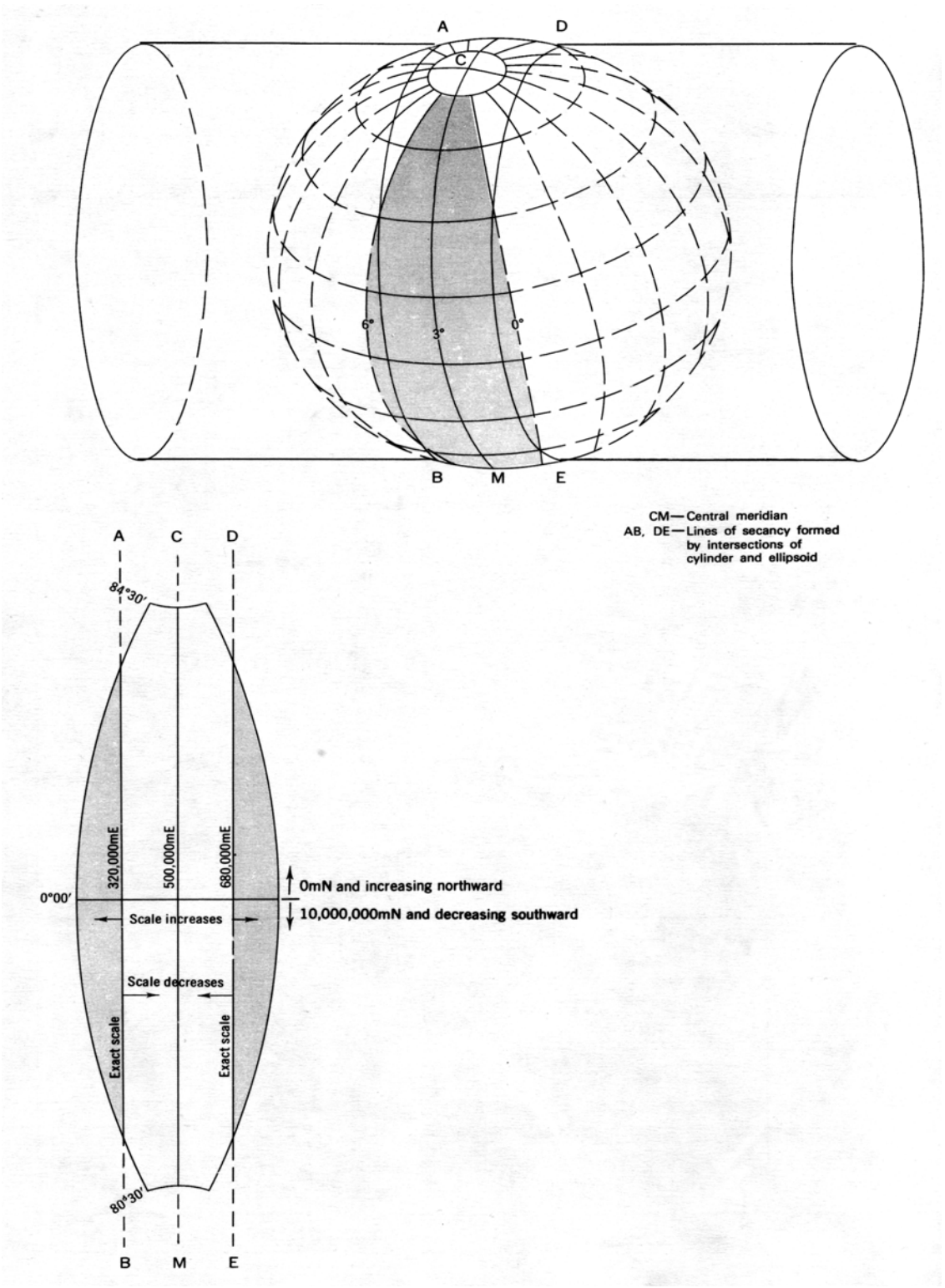
- พิกัดของจุดศูนย์กำเนิดของแต่ละโซนทางซีกโลกเหนือ

False northing	=	0	เมตร
False easting	=	500,000	เมตร

- พิกัดของจุดศูนย์กำเนิดของแต่ละโซนทางซีกโลกใต้

False northing	=	10,000,000	เมตร
False easting	=	500,000	เมตร

1.4.6 แต่ละโซนมีขนาดพื้นที่เท่ากัน แผนที่ที่คลุมบริเวณของแต่ละโซนมีขนาดเท่ากัน สำหรับแผนที่มาตราส่วนใหญ่จะมีส่วนเหลื่อมล้ำกันออกไปสองข้างรอยต่อโซนข้างละ 30 ลิปดา หรือ 25 ไมล์ เพื่อประโยชน์ในงานสำรวจด้านวิศวกรรมและการตรวจการยิงของปืนใหญ่



ภาพที่ 4 แสดงการตัดของ Transverse Mercator

1.4.7 เส้นกริดในทางตั้งจะขนานกับเมริเดียนย่านกลางของแต่ละโซน ส่วนเส้นกริดทางแนวนอนจะขนานกับเส้นศูนย์สูตร

1.4.8 การกำหนดโซนของกริด (Grid Zone Designation)

ระหว่างละติจูด 80°ใต้กับละติจูด 84°เหนือ แบ่งออกเป็น 20 ส่วน ๆ ละ 8° เฉพาะส่วนบนสุดเท่านั้นที่มีขนาด 12° แต่ละส่วนใช้อักษรกำกับ เริ่มจากอักษร C ที่เป็นส่วนใต้สุด (ระหว่างละติจูด 80°-72°ใต้) ขึ้นไปตามลำดับถึงอักษร X ยกเว้นอักษร I กับ O

ระหว่างลองจิจูด 180°ตะวันตก เวียนไปทางตะวันออกถึงลองจิจูด 180°ตะวันออก แบ่งออกเป็น 60 ส่วน ๆ ละ 6° แต่ละส่วนใช้ตัวเลขกำกับ เริ่มส่วนที่ 1 ระหว่างลองจิจูด 180 °ตะวันตก นับไปทางตะวันออก จนถึงส่วนที่ 60 ซึ่ง เป็นส่วนสุดท้ายอยู่ระหว่างลองจิจูด 174° ตะวันออกกับ 180 °ตะวันออก (ลองจิจูด 180 °ตะวันออกเป็นเส้นเดียวกัน)

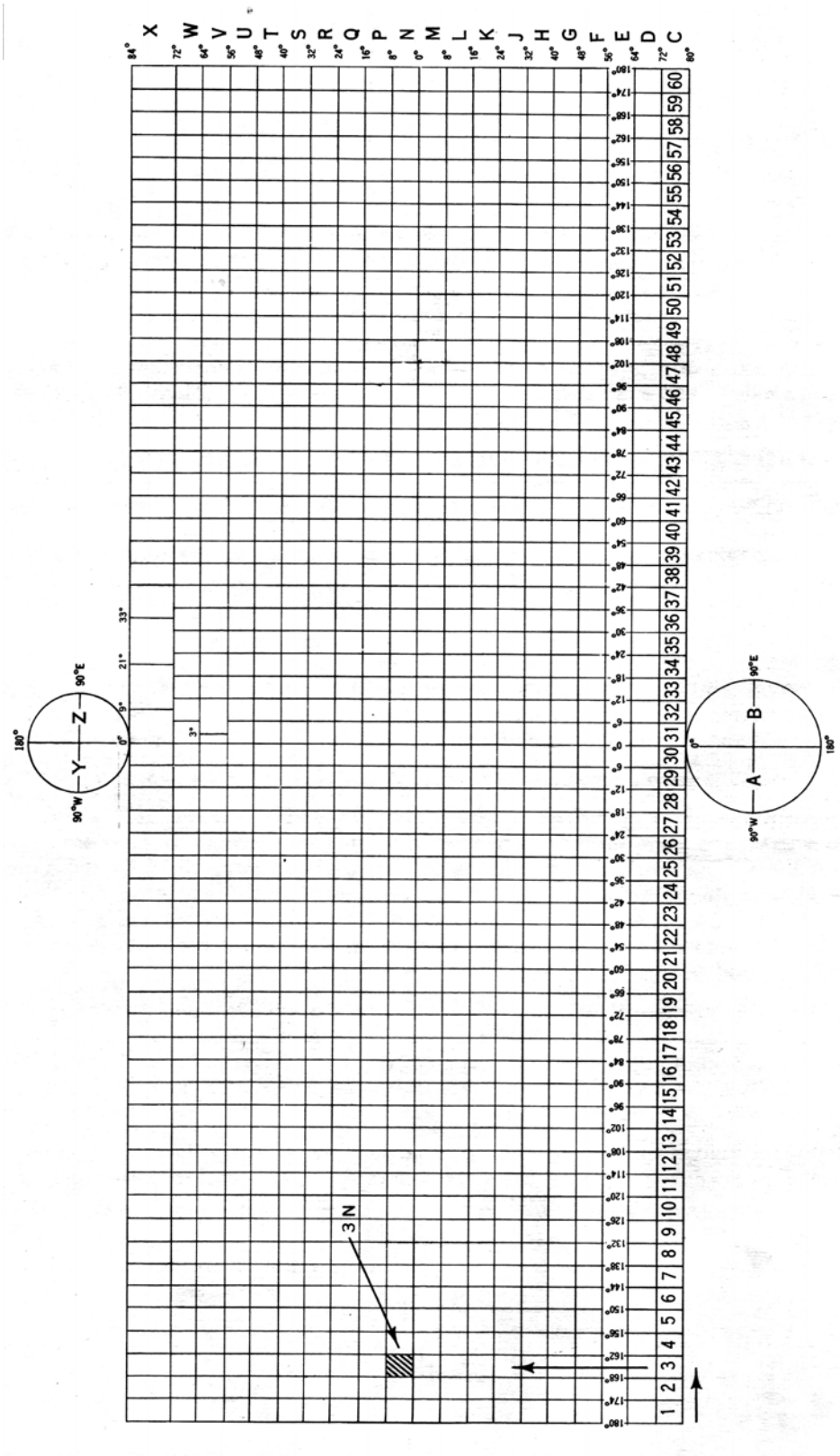
การแบ่งตามวิธีนี้ทำให้เกิดเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่กันด้วยเส้นละติจูดห่างกัน 8 °และลองจิจูดห่างกัน 6 องศา การอ่านค่าประจำโซนถือหลักการอ่านไปทางขวาแล้วขึ้นบน (Read Right Up) ค่าประจำแต่ละโซนจึงเป็นตัวเลขนำหน้าตัวอักษร เช่น 3P หรือ 60N เป็นต้น

1.4.9 การกำหนดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส 100,000 เมตร

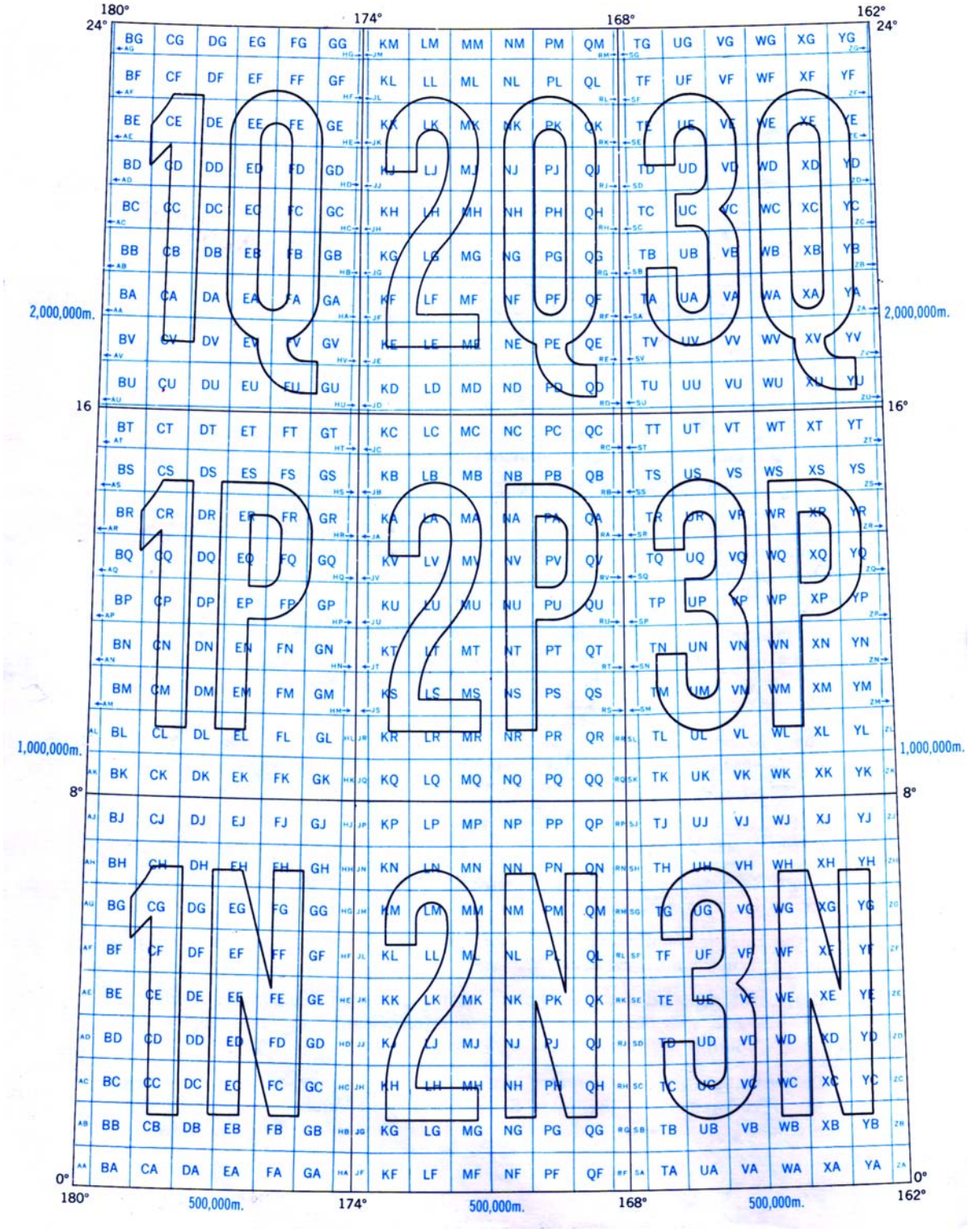
เริ่มจากลองจิจูด180°ตะวันตก นับตามเส้นศูนย์สูตรไปทางตะวันออกทุกระยะ 100,000 เมตร ให้อักษรกำกับ เริ่มจากอักษร A ถึง Z ยกเว้นอักษร I กับ O จะมีชุดตัวอักษรซ้ำกันทุก ๆ 18° หรือ 3 โซน

ตามแนวเหนือ – ใต้ ซีกโลกภาคเหนือเฉพาะโซนหมายเลขคี่ เริ่มจากเส้นศูนย์สูตรขึ้นไปทุก ๆ ระยะ 100,000 เมตร ให้ตัวอักษรกำกับเริ่มจากอักษร A ขึ้นไปตามลำดับถึงตัวอักษร V ยกเว้นอักษร I กับ O ส่วนโซนหมายเลขคู่เริ่มนับจากอักษร F ไปตามลำดับถึงตัวอักษร V ยกเว้นอักษร I กับ O และตามด้วยอักษร A ถึง Z ต่อไป

การแบ่งตามวิธีนี้ทำให้เกิดสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้านยาว 100,000 เมตรขึ้น การอ่านคงถือหลักอ่านไปทางขวาแล้วขึ้นบนเช่นเดียวกัน ดังนั้น ค่ากำกับจัตุรัสแสนเมตร จึงเป็นอักษรสองตัวเรียงกัน เช่น UP หรือ BV….เป็นต้น



ภาพที่ 5 แสดงการกำหนดโซนของกริด



ภาพที่ 6 แสดงตัวอย่างจัตุรัส 100,000 เมตร

1.4.10 การบอกค่าพิกัดกริดของระบบ UTM กริดที่สมบูรณ์จะต้องบอกตามลำดับดังต่อไปนี้

ก) บอกให้ทราบชื่อโซนของกริด (Grid Zone Designation) เช่น 3P

ข) บอกให้ทราบชื่อรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสแสนเมตร (100,000 meter square identification) เช่น MN

ค) บอกค่าพิกัดกริดของจุดที่พิจารณา ตามขนาดความละเอียดที่ต้องการ เช่น 24, 2142, 218427, 21834279 …….

การเขียนค่าพิกัดกริดที่สมบูรณ์ใช้วิธีการเขียนเรียงต่อเนื่องกันไปตามลำดับเริ่มตั้งชื่อโซนแล้วต่อด้วย ชื่อจัตุรัสแสนเมตรและค่าตัวเลขของ E และ N ดังตัวอย่างต่อไปนี้

3P	กำหนดอยู่ในรูปสี่เหลี่ยมขนาด 6 x 8 องศา	
3PMN	กำหนดอยู่ในรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้านยาว	100,000 เมตร
3PMN24	กำหนดอยู่ในรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้านยาว	10,000 เมตร
3PMN2142	กำหนดอยู่ในรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้านยาว	1,000 เมตร
3PMN218427	กำหนดอยู่ในรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้านยาว	100 เมตร
3PMN21834279	กำหนดอยู่ในรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้านยาว	10 เมตร

1.5 ระบบอ้างอิงภูมิศาสตร์โลก (The World Geographic Reference System)

ระบบอ้างอิงภูมิศาสตร์โลก (GEOREF) เป็นระบบที่ใช้เพื่อการรายงานตำแหน่ง ซึ่งระบบอ้างอิงภูมิศาสตร์โลกนี้มิใช่ระบบพิกัดกริดทางทหาร (Military Grid) และไม่ใช่ระบบที่จะนำมาทดแทนระบบพิกัดกริดทางทหารที่มีอยู่ ระบบอ้างอิงภูมิศาสตร์โลกเป็นวิธีการกำหนดพื้นที่ เพื่อใช้สำหรับการรายงานพิกัดระหว่างพันธมิตรด้วยกัน สำหรับการป้องกันภัยทางอากาศ และการปฏิบัติการยุทธวิธีทางอากาศ พิกัดจะแสดงในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการรายงานและการกำหนดตำแหน่งลงบนแผนที่หรือแผนผังที่อ้างอิงพิกัด ละติจูด และลองจิจูด ซึ่งมีกรีนีชเป็นเมอริเดียนหลัก โดยไม่มีการอ้างอิงการฉายแผนที่ระบบใด

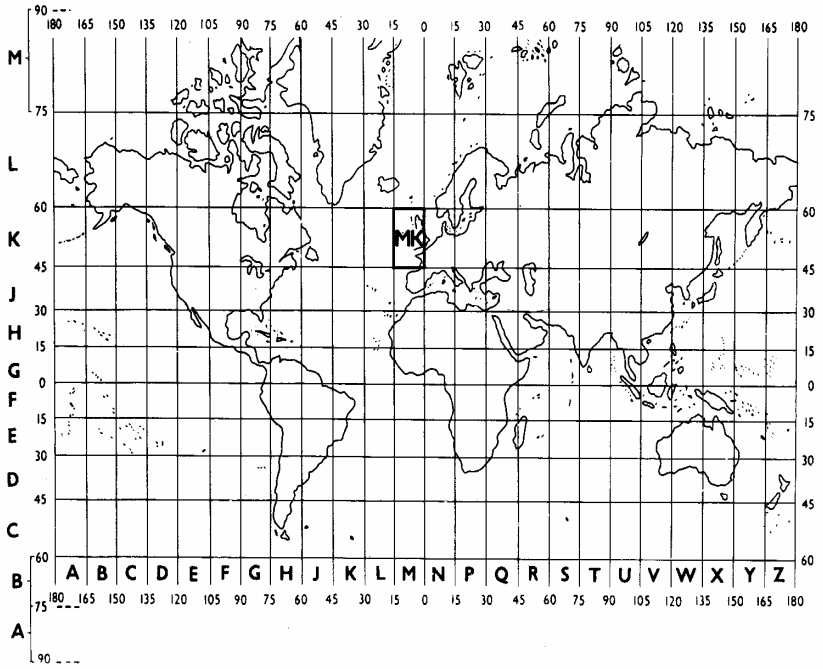
ระบบอ้างอิงภูมิศาสตร์โลก จะแบ่งพื้นผิวพิภพเป็นรูปจัตุรัส ซึ่งมีด้านที่กำหนดให้เป็นระยะเชิงมุมของละติจูดและลองจิจูด การกำหนดชื่อรูปจัตุรัสจะใช้รหัสตัวอักษรที่เป็นระบบแบบง่าย ๆ

ระบบอ้างอิงภูมิศาสตร์โลก จะแบ่งโซนตามแนวลองจิจูดเป็น 24 โซน แต่ละโซนกว้าง 15° โดยเรียงไปทางตะวันออก เริ่มจาก ลองจิจูด 180° ตะวันตกไปจนครบรอบโลก 360°

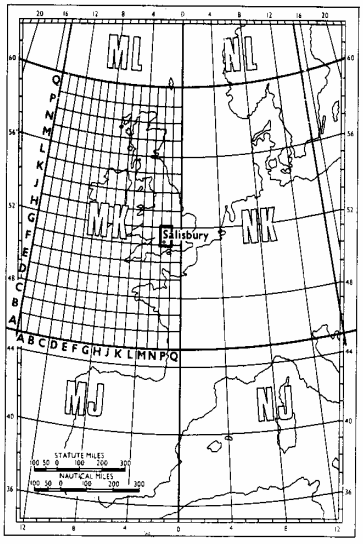
โดยกำหนดตัวอักษรประจำโซนเริ่มจาก A ถึง Z ยกเว้น I และ O และแบ่งเป็น 12 แถบ ตามแนวละติจูด แต่ละแถบกว้าง 15° เช่นเดียวกัน และเริ่มจากขั้วโลกใต้ขึ้นไปทางเหนือ การกำหนดอักษรประจำแถบ เริ่มจาก A ถึง M ยกเว้น I รหัสอักษรเหล่านี้จะแบ่งพื้นผิวพิภพออกเป็น 288 รูปจัตุรัส ขนาด 15° โดยแต่ละรูปจัตุรัสจะถูกกำหนดโดยตัวอักษร 2 ตัว อักษรตัวแรกจะบอกตำแหน่งโซนตามแนวลองจิจูด และอักษรตัวที่ 2 คือแถบตามแนวละติจูด ดังนั้นส่วนที่ใหญ่ที่สุดของ สหราชอาณาจักรก็คือ รูปจัตุรัส 15° MK ตามภาพที่ 7

แต่ละรูปจัตุรัส 15° จะถูกแบ่งเป็น 15 โซน ตามแนวลองจิจูด แต่ละโซนกว้าง 1° โดยเรียงลำดับจากตะวันตกไปตะวันออกในแต่ละโซน 15° การกำหนดชื่อ เริ่มจาก A ถึง Q ยกเว้น I และ O และแต่ละรูป จัตุรัส 15° จะแบ่งเป็น 15 แถบ ขนาด 1° ตามแนวละติจูด จากเส้นขนานใต้ขึ้นเหนือของแต่ละรูปจัตุรัส แต่ละแถบกำหนดอักษรประจำ จาก A ถึง Q ยกเว้น I และ O ดังนั้น การกำหนดจัตุรัสขนาด 1° ใด ๆ บนพื้นพิภพ สามารถกำหนดได้โดยการใช้อักษร 4 ตัว เช่น Salisbury ก็จะอยู่ในจัตุรัส 1° ชื่อ MK PG ตามภาพที่ 7

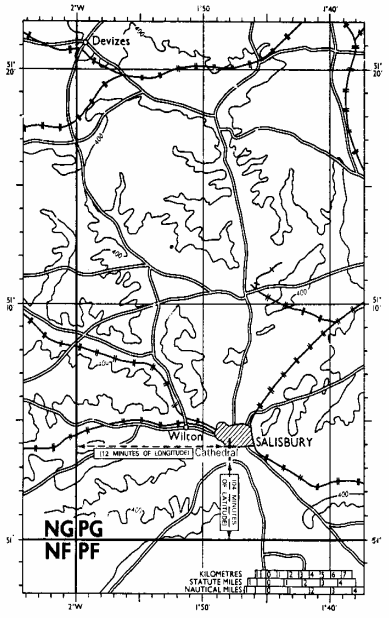
แต่ละรูปจัตุรัส 1° จะแบ่งออกเป็น 60′ ตามแนวลองจิจูด โดยนับจากลองจิจูดด้านตะวันตกไปทางตะวันออก และแบ่งเป็น 60′ ตามแนวละติจูด โดยนับจากเส้นขนานใต้ขึ้นไปทางเหนือ ทิศทางการกำหนดตัวเลขนี้ใช้กับทุกรูปจัตุรัส 1° ไม่ว่าจะอยู่ทางตะวันตกหรือตะวันออก หรืออยู่ทางใต้หรือเหนือของโลก ระบบของการอ้างอิงนี้สามารถกำหนดตำแหน่งของจุดใดๆ ได้ถูกต้องทั้งทางละติจูดและลองจิจูด ดีกว่า 2 กิโลเมตร โดยการอ้างอิงตัวอักษร 4 ตัว และตัวเลข 4 ตัว โดยตัวอักษร 4 ตัว จะบอกรูปจัตุรัส 1° ส่วนตัวเลข 2 ตัวแรก คือจำนวนลิปดาของลองจิจูด โดยแสดงว่าจุดอยู่ทางตะวันออกของลองจิจูดตะวันตกของแต่ละรูปจัตุรัส 1° และตัวเลข 2 ตัวสุดท้าย คือ จำนวนลิปดาของละติจูด โดยบอกว่าจุดดังกล่าวอยู่เหนือเส้นละติจูดล่างไปทางเหนือของแต่ละรูปจัตุรัส 1° ถ้าจำนวนลิปดามีค่าน้อยกว่า 10 ลิปดา ตัวเลขตัวแรกให้เป็นเลขศูนย์ ตัวอย่างเช่น 04 ดังนั้น ค่าพิกัดอ้างอิงภูมิศาสตร์โลกของ Salisbury Cathedral คือ MK PG 12 04 ตามภาพที่ 7



GEOREF system of 15° quadrangle identification letters.



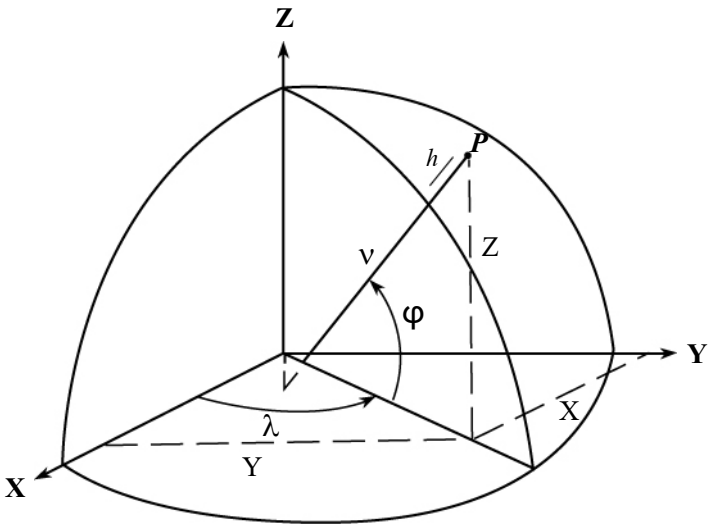
GEOREF one degree quadrangle identification letters.



GEOREF map reference.

ภาพที่ 7 การกำหนดระบบอ้างอิงภูมิศาสตร์โลก

1.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดจีออเดติก กับระบบพิกัดฉาก



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดฉากและระบบพิกัดยีออเดซี

1.6.1 การแปลงค่าระบบพิกัดยีออเดซี เป็นระบบพิกัดฉาก

$X = (R_N + h)\cos\varphi \cos\lambda$

$Y = (R_N + h)\cos\varphi \sin\lambda$

$Z = [(R_N + (1 - e^2) + h] \sin\varphi$

1.6.2 การแปลงค่าระบบพิกัดฉากเป็นระบบพิกัดยีออเดซี

$\tan\lambda = Y/X$

$\tan\varphi = (Z + e^2 R_N \sin\varphi) / (X^2 + Y^2)^{½}$

$h = \{ X / (\cos\varphi \cos\lambda) \} - R_N$

$\nu = \dfrac{a}{(1 - e^2 \sin\varphi)^{½}}$

เมื่อ

แกน X = รอยตัดระหว่างพื้นอิเควเตอร์ของทรงรี กับเมอริเดียนแรกเริ่มของทรงรี ซึ่งจะขนานและมีค่าเป็นบวกในทิศทางไปยังเมอริเดียนแรกเริ่ม(กรีนิชเมอริเดียน)

แกน Y = วางอยู่บนพื้นอิเควเตอร์ และตั้งฉากกับแกน X ไปทางทิศตะวันออก

แกน Z = เป็นแกนร่วมกันกับแกนสั้นทรงรี

φ = ละติจูดจีออเดติก คือ มุมระหว่างพื้นอิเควเตอร์กับเส้นตรงที่ลากจากแกนสั้นทรงรีไปตั้งฉากกับจุดนั้น

λ = ลองจิจูดจีออเดติก คือ มุมระหว่างพื้นเมอริเดียนของกรีนิชกับพื้นเมริเดียนของจุดนั้น (นับจากกรีนิชไปทางตะวันออกมีค่าเป็นบวก)

h = ระยะของจุดนั้น นับตามเส้นที่ลากจากเส้นแกนสั้นรูปทรงรีไปตั้งฉากกับจุดนั้น โดยนับจากรูปทรงรีถึงจุดนั้น หรือมีค่าเท่ากับผลบวกของความสูงของจีออยด์ (geoid height, geoid undulation , N) กับความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางถึงจุดนั้น (height above mean sea levels, H)

R_N = รัศมีของส่วนโค้งในแนวเมอริเดียนแรกเริ่ม

e = การเยื้องศูนย์กลางของวงรี (Eccentricity)

1.7 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดจีออเดติก กับระบบพิกัด UTM

1.7.1 การแปลงพิกัดจีออเดติกเป็นพิกัด UTM

$S\varphi$ = Meridian Arc Distance on Spheroid

$$= a(1-e^2)\left[A(\varphi) - \frac{B}{2}\sin 2\varphi + \frac{C}{4}\sin 4\varphi - \frac{D}{6}\sin 6\varphi + \frac{E}{8}\sin 8\varphi - \frac{F}{10}\sin 10\varphi \right]$$

a = 6377276.3452 ม. b = 6356075.413 ม.

$$A = 1 + \frac{3}{4}e^2 + \frac{45}{64}e^4 + \frac{175}{256}e^6 + \frac{11025}{16384}e^8 + \frac{43659}{65536}e^{10} = 1.005009566697$$

$$B = \frac{3}{4}e^2 + \frac{15}{16}e^4 + \frac{525}{512}e^6 + \frac{2205}{2048}e^8 + \frac{72765}{65536}e^{10} = 0.005019994251$$

$$C = \frac{15}{64}e^4 + \frac{105}{256}e^6 + \frac{2205}{4096}e^8 + \frac{10395}{16384}e^{10} = 1.044781083\ E\text{-}05$$

$$D = \frac{35}{512}e^6 + \frac{315}{2084}e^8 + \frac{31185}{131072}e^{10} = 2.029474771\ E\text{-}08$$

$$E = \frac{315}{16384}e^8 + \frac{3465}{65536}e^{10} = 3.800630558\ E\text{-}11$$

$$F = \frac{639}{1310722}e^{10} = 6.813329809\ E\text{-}14$$

$$e^2 = (a^2 - b^2)/a^2$$

$$\Delta S = c\,K_o/2v.t.\,(\cos\varphi\,\Delta\lambda)^2\,[\,1 + \frac{1}{12}(\cos\varphi\,\Delta\lambda)^2\,\{5 - t^2 + \eta^2(9 + 4\eta^2) + 2(\cos\varphi\,\Delta\lambda)^2[1 + t^2(-1 + \frac{1}{60}t^2)]\}\,]$$

$$E' = c\,K_o / v\cos\varphi\Delta\lambda\,\{1 + \frac{1}{6}(\cos\varphi\,\Delta\lambda)^2\,\{1 - t^2 + \eta^2 + \frac{1}{20}(\cos\varphi\,\Delta\lambda)^2[5 + t^2(-18 + t^2)]\}\}$$

c = polar radius = a^2/b

k_o = CM. Scale Factor = 0.9996

e'^2 = $(a^2 - b^2)/b^2$

η^2 = $e'^2\cos^2\varphi$

v = $(1 + \eta^2)^{1/2}$

t = $\tan\varphi$

$\Delta\lambda$ = $\lambda - \lambda_o$ (Radian Positive East)

λ_o = Longitude of Central Meridian

$N = S\varphi * k_o + \Delta S$

$E = 500000 + E'$ East of Central Meridian.

$= 500000 + E'$ West of Central Meridian.

1.7.2 การแปลงพิกัด UTM เป็นพิกัดจีออเดติก

$$\varphi = \varphi' + b_2x^2 + b_4x^4 + b_6x^6$$

$$\Delta\lambda = b_1x + b_3x^3 + b_5x^5$$

φ' = Foot Point Latitude

= $u + P_2\sin 2u + P_4\sin 4u + P_6\sin 6u$

$u = (1+n) * y / a_O / K_O / a$

$n = (a-b)/(a+b)$

$a_O = 1 + n^2/ + n^4/64$

$K_O = 0.9996$

a = semi major axis

y = Northing

$P_2 = \frac{3}{2} n - \frac{27}{32} n^3 + \frac{269}{512} n^5 = 0.002497484505$

$P_4 = \frac{21}{16} n^2 - \frac{55}{32} n^4 = 3.638498302 \text{ E-06}$

$P_6 = \frac{151}{96} n^3 - \frac{417}{128} n^5 = 7.260054524 \text{ E-09}$

$b_1 = (K_O N)^{-1} \text{Sec}\varphi'$

N = radius of curvature in the prime vertical

$= a / (1 - e^2 \sin^2\varphi)^{1/2} \ldots;\ldots e^2 = (a^2 - b^2)/a^2$

$b_2 = -\frac{1}{2} b_1^2 \sin\varphi' \cos\varphi' (1 + e'^2 \cos^2\varphi')$

$e'^2 = (a^2 - b^2) / b^2$

$b_3 = -\frac{1}{6} b_1^3 (2 - \cos^2\varphi' + e'^2 \cos^4\varphi')$

$b_4 = -\frac{1}{12} b_1^2 b_2 (3 + (2 - 9e'^2) \cos^2\varphi' + 10e'^2 \cos^4\varphi' - 4e'^4 \cos^6\varphi')$

$b_5 = \frac{1}{120} b_1^5 (24 - 20\cos^2\varphi' + (1 + 8e'^2) \cos^4\varphi' - 2e'^2 \cos^6\varphi')$

$b_6 = \frac{1}{360} b_1^4 b_2 (45 + 16\cos^4\varphi')$

φ = Geodetic Latitude

$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_o$

$\lambda = \lambda_o \pm \Delta\lambda$

2. พื้นหลักฐานทางราบ (Horizontal Datum) (DMA , 1981)

คือกลุ่มตัวเลข หรือปริมาณที่เกี่ยวกับขนาดและรูปร่างของโลก หรือคือกลุ่มของปริมาณซึ่งเป็นค่าอ้างอิงหรือเป็นฐานให้กับกลุ่มปริมาณอื่น การกำหนดพื้นหลักฐานทางราบกำหนดได้โดยค่า 5 องค์ประกอบคือ

2.1 การกำหนดค่าละติจูด ลองจิจูด และความสูงจีออยด์ ให้กับจุดศูนย์กำเนิดพื้นหลักฐาน (Datum Origin) ซึ่งการกำหนดค่าที่ถูกต้องให้กับค่าทั้งสามจะต้องกำหนดค่าความเฉของเส้นดิ่ง (Deflection of the Vertical) ด้วย ส่วนค่าอาซิมุทจีออเดติกถือเป็นองค์ประกอบหนึ่ง แต่เนื่องจากค่าอาซิมุทจีออเดติก กับค่าลองจิจูดจีออเดติกนั้น มีความสัมพันธ์กันอยู่แล้วในสมการลาปล๊าส จึงไม่มีความจำเป็นต้องกำหนดค่าอาซิมุทจีออเดติก ณ จุดศูนย์กำเนิดด้วย

2.2 การกำหนดค่า 2 องค์ประกอบที่เหลือ คือค่ากึ่งแกนยาว และค่าอัตราการยุบที่ขั้วของทรงรีอ้างอิง ซึ่ง ณ จุดศูนย์กำเนิดจะกำหนดให้ค่าความเฉของเส้นดิ่ง และความสูงจีออยด์ มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งหมายถึงทรงรีอ้างอิงและพื้นผิวพิภพจะสัมผัสกัน ณ จุดศูนย์กำเนิดนั่นเอง แต่จะมีความห่างระหว่างพื้นผิวทั้งสองเพิ่มขึ้นตามระยะทางจากจุดศูนย์กำเนิด ซึ่งความห่างดังกล่าวจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของทรงรีอ้างอิงจะมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของโลกเพียงใด

3 ประวัติพื้นหลักฐานทางราบของประเทศไทย (อภิชาติ , 2518)

3.1 พื้นหลักฐานราชบุรี

พื้นหลักฐานราชบุรีเป็นพื้นหลักฐานแรกเริ่มที่ได้นำมาใช้ในการคำนวณค่าพิกัดทางราบของหมุดหลักฐานทุกชนิด โดยเริ่มจากกรมแผนที่ประเทศอินเดียได้กำหนดจุดศูนย์กำเนิดและทรงรีเอเวอร์เรสท์ (Everest Ellipsoid) ที่ภูเขากะเลียนเปอร์ และได้ทำการรังวัดโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ขยายออกไปทั่วภูมิภาคผ่านพม่าจนถึงเขตแดนไทย ที่เขาหลวง จ.ราชบุรีซึ่งได้คำนวณปรับแก้แล้วเสร็จเมื่อ พ.ศ.2442 และต่อมาในปี พ.ศ.2450 กรมแผนที่ไทยในสมัยนั้นได้รังวัดโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 เชื่อมโยงกับหมุดหลักฐานที่เขาหลวง กับทำการวัดเส้นฐานราชบุรี และวัดอาซิมุทดาราศาสตร์จากเขาแง้มไปยังเขางู หลังจากนั้นได้รังวัดขยายโครงข่ายออกไปทั่วประเทศ พร้อมกับคำนวณปรับแก้โครงข่ายต่อเนื่องกันไป โดยใช้ค่าคงที่แรกออกดังนี้

ละติจูด $13^{\circ}43'30''.34$ เหนือ

ลองจิจูด $99^{\circ}32'22''.94$ ตะวันออก

อาซิมุทเขาแง้ม-เขางู $179^{\circ}44'34''.308$

ผลจากการปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ตั้งแต่ พ.ศ.2450-2497 ค่าพิกัดของหมุดหลักฐานที่ได้เรียกว่า "Ratchaburi Datum" ซึ่งก็มีความหมายเพียงว่า ประเทศไทยใช้ค่าพิกัดเขาหลวงราชบุรี เป็นพิกัดแรกออกให้กับการคำนวณพิกัดตำแหน่งทั่วประเทศไทย

3.2 พื้นหลักฐานอินเดียน 1954

ต่อมาในปี พ.ศ.2459 หน่วยบริการแผนที่ กองทัพบก สหรัฐอเมริกา (US Army Map Service) ได้มอบหมายให้หน่วยงาน US. Coast and Geodetic ทำการคำนวณปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมในอินเดีย และพม่าใหม่โดยใช้ข้อมูลเดิมที่มีอยู่ และข้อมูลใหม่จากการรังวัดดาราศาสตร์และเส้นฐานเพิ่มขึ้น และให้จุดที่กะเลียนเปอร์เป็นจุดกำเนิด ผลของการคำนวณปรับแก้ครั้งนี้เรียกว่า Indian 1916 Datum (พ.ศ.2459) ซึ่งเป็นผลให้ค่าพิกัดที่เขาหลวงเปลี่ยนไปดังนี้คือ

จุดศูนย์กำเนิดพื้นหลักฐาน: เขากะเลียนเปอร์ (ประเทศอินเดีย)

ละติจูด $13^{\circ}43'28''.690$ เหนือ

ลองจิจูด $99^{\circ}32'21''.520$ ตะวันออก

ทรงรีอ้างอิง เอเวอร์เรสท์

ในปี พ.ศ.2495 รัฐบาลไทยกับรัฐบาลสหรัฐอเมริกา ได้ทำสัญญาความตกลงร่วมกันในโครงการ ทำแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1 : 50,000 จากรูปถ่ายทางอากาศตามข้อเสนอของสหรัฐอเมริกา ส่วนหนึ่งของโครงการนี้คือ การวางหมุดหลักฐานทางภาคพื้นดินให้เพียงพอ เพื่อให้ค่าพิกัดยีออเดซีของประเทศไทยมีความน่าเชื่อถือ โดยนับต่อเนื่องจากจุดศูนย์กำเนิดที่กะเลียนเปอร์ ประเทศอินเดีย หน่วยงานบริการ แผนที่กองทัพบกสหรัฐอเมริกา จึงได้ดำเนินการคำนวณปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ในประเทศใหม่ทั้งหมด โดยใช้หมุดหลักฐานสามเหลี่ยมบริเวณชายแดนไทยพม่า จำนวน 10 หมุด เป็นค่าคงที่ในการคำนวณปรับแก้ และถือว่าหมุดเหล่านี้ไม่มีความคลาดเคลื่อน (ค่าพิกัดทั้ง 10 หมุดนี้เป็นผลมาจาก "Indian 1916 Datum") และคำนวณแล้วเสร็จในปี 2497 เราเรียกผลการปรับแก้ครั้งนี้ว่า "Indian 1954 Datum" พื้นหลักฐานอินเดียน 1954 มีองค์ประกอบดังนี้

จุดศูนย์กำเนิดพื้นหลักฐาน เขากะเลียนเปอร์ (ประเทศอินเดีย)

ละติจูด $24^{\circ}07'11''.26$ เหนือ

ลองจิจูด $77^{\circ}39'11''.57$ ตะวันออก

อาซิมุทเขากะเลียนเปอร์-สุรันตัล $190^{\circ}27'05''.1$

ทรงรีอ้างอิง เอเวอร์เรสท์

3.3 พื้นหลักฐานอินเดียน 1975

ในปี พ.ศ.2518 องค์กรแผนที่กระทรวงกลาโหม สหรัฐอเมริกา (Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center) ได้ทำการปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ทั้งของประเทศไทยและประเทศพม่า โดยนำมาทำการปรับแก้พร้อมกันใหม่อีกครั้งหนึ่ง เพื่อต้องการผลลัพธ์ของค่าพิกัดที่ถูกต้องที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยเอาค่าที่รวบรวมได้ภายหลังจากการปรับแก้ ปี 2497 เข้ารวมกับค่าที่มีอยู่เดิมด้วย ความมุ่งหมายของการปรับแก้ครั้งนี้เพื่อให้ได้พื้นหลักฐานอ้างอิงสำหรับการสำรวจที่มีความสูงต่างจากระดับน้ำทะเลปานกลางน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ทั้งนี้เพราะที่แล้วมาการอ้างอิงพื้นหลักฐานของกรมแผนที่ทหารในทางปฏิบัตินั้น ได้อ้างอิงกับความสูงน้ำทะเลปานกลาง มิใช่ทรงรีทั้งที่ตามหลักแล้วการคำนวณทั้งหมดจะอ้างอิงการคำนวณบนทรงรี เนื่องจากมีรูปทรงเป็นเรขาคณิตสามารถใช้เป็นพื้นหลักฐานในการคำนวณงานที่ต้องการความละเอียดสูงได้ คืองานสำรวจทางยีออเดซี ยกเว้นงานชั้นรองลงมาซึ่งไม่ต้องการความละเอียดถูกต้องมากนัก คือ งานสำรวจบนพื้นระนาบ (Plane Surveys)

ในการปรับแก้ครั้งนี้ได้เลือกหมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 หมายเลข 91 (เขาสะแกกรัง) จ.อุทัยธานี ให้เป็นหมุดหลักมีค่าพิกัดคงที่ และยังได้กำหนดให้เป็นจุดศูนย์กำเนิดของพื้นหลักฐานใหม่ และเรียกชื่อพื้นหลักฐานใหม่นี้ว่า "พื้นหลักฐานอินเดียน 1975" ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

จุดศูนย์กำเนิดพื้นหลักฐาน เขาสะแกกรัง จ.อุทัยธานี

ละติจูด $15^{\circ}22'56''.0487$ เหนือ

ลองจิจูด $100^{\circ}00'59''.1906$ ตะวันออก

ความสูงพื้นจีออยด์ -22.46 เมตร

ทรงรีอ้างอิง เอเวอร์เรสท์

4 พื้นหลักฐานทางดิ่ง

เช่นเดียวกับการสำรวจทางราบที่อ้างอิงกับจุดกำเนิดพื้นหลักฐานทางราบ การสำรวจทางดิ่งก็เช่นเดียวกันที่ต้องอ้างอิงกับตัวเลข หรือปริมาณเริ่มต้น ซึ่งก็คือพื้นหลักฐานทางดิ่งนั่นเอง ดังที่ทราบกันแล้วว่า การสำรวจทางดิ่งเพื่อหาค่ากำหนดสูง (Elevation) จะอ้างอิงกับพื้นผิวจีออยด์ หรือพื้นผิวระดับทะเลปานกลาง หรือพื้นผิวระดับน้ำต่ำสุดปานกลาง เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการสำรวจค่าความต่างระดับ และการสำรวจค่าระดับตรีโกณ จะต้องได้รับการปรับแกนดิ่งให้ขนานกับแนวดิ่งของแต่ละจุดที่ตั้งเครื่องมือ

5 ประวัติพื้นหลักฐานทางดิ่งของประเทศไทย

ประวัติการสำรวจทางดิ่งในประเทศไทย (ภุชงษ์, 2525) การบอกตำแหน่งของจุดใดๆ บนพื้นผิวพิภพจะประกอบไปด้วยพิกัดทางราบ และพิกัดทางดิ่ง งานรังวัดควบคุมทางราบ เช่น ข่ายสามเหลี่ยมหรือวงรอบชั้นที่ 1 หมุดหลักฐานส่วนใหญ่จะถูกสร้างในภูมิประเทศที่เป็นภูเขาหรือตำบลห่างไกล จากถนนสายหลัก แต่งานรังวัดควบคุมทางดิ่ง (ระดับชั้นที่ 1) สายงานระดับส่วนใหญ่จะเป็นไปตามถนนสายหลัก จากหลักการและวิธีการที่แตกต่างกันนี้มักเป็นไปไม่ได้ที่จะให้หมุดหลักฐานส่วนใหญ่รู้ค่าพิกัดทั้งทางราบและค่าระดับชั้น 1 พร้อมกัน

ในการเริ่มต้นของงานรังวัดควบคุม ควรที่จะให้หมุดระดับอยู่ใกล้หรือเป็นหมุดเดียวกันกับหมุดหลักฐานของโครงข่ายสามเหลี่ยมหรือวงรอบ เพื่อที่จะได้ขยายค่าระดับประมาณโดยวิธีการระดับตรีโกณมิติไปยังหมุดอื่นๆ ภายในโครงข่ายสามเหลี่ยมและจำเป็นต้องตรวจสอบหรือเข้าบรรจบกับหมุดระดับในช่วงระยะทางที่เหมาะสม จากหลักฐานประวัติงานระดับชั้นที่ 1 บรรดาเส้นฐานของโครงข่ายสามเหลี่ยมจะมีค่าระดับชั้น 1 อยู่ทุกจุด และบางจุดจะมีสายการระดับผ่านด้วย

กรมแผนที่ทหารได้เริ่มทำงานระดับชั้นที่ 1 ในปี พ.ศ.2454 โดยโยงค่าระดับน้ำทะเลปานกลาง จากตำบลเกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยได้ใช้เครื่องมือระดับพิเศษแบบ U.S. Coast and Geodetic Survey จนถึงปี พ.ศ.2508 จึงเปลี่ยนเป็นใช้กล้องระดับ N-3 ของบริษัท Wild จากปี พ.ศ.2454 ถึง พ.ศ.2528 สามารถวางหมุดระดับแบบถาวรได้ 1,803 หมุด และแบบชั่วคราวได้ 8,923 หมุดทั่วประเทศไทย เช่นเดียวกับพื้นหลักฐานทางราบทั้งหลายที่มีความแตกต่างกันอยู่ แต่ค่าความแตกต่างระหว่างพื้นหลักฐานทางดิ่งที่อ้างอิงกับระดับทะเลปานกลาง จะมีค่าไม่เกิน 2 เมตร

บทที่ 2
วิวัฒนาการของการสำรวจ

การสำรวจรังวัดเพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ทางตำแหน่งของจุดต่างๆบนพิภพแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ (DMA , 1976)

1. การสำรวจทางภาคพื้นดิน (Ground Surveys)

1.1 การสำรวจทางราบ (Horizontal Surveys)

คือการสำรวจทางภาคพื้นดิน เพื่อที่จะให้ได้ค่าพิกัดทางราบของจุดบนพื้นดินของแต่ละระบบพิกัดนั้น โดยจะทำการรังวัดค่า มุม ระยะทาง พิกัดทางดาราศาสตร์ และอาซิมุทดาราศาสตร์ ซึ่งค่าเหล่านี้จะเป็นค่าที่สำรวจได้ในภูมิประเทศ ดังนั้นจึงต้องมีการทอนค่าเหล่านี้ลงบนพื้นทรงรี (Ellipsoid) โดยวิธีทางคณิตศาสตร์

การสำรวจรังวัดในภูมิประเทศจะกระทำในรูปของโครงข่าย โดยทำการรังวัดค่าต่างๆ ออกจากหมุดที่ทราบค่าแล้ว 1 หรือ 2 หมุดไปยังหมุดที่ไม่ทราบค่าในรูปของโครงข่ายสามเหลี่ยม ซึ่งความคลาดเคลื่อนจากการรังวัดจะถูกเฉลี่ยไปทั้งโครงข่าย และความถูกต้องทางค่าพิกัดของหมุดที่ไม่ทราบค่าจะขึ้นอยู่กับความละเอียดของการรังวัด

วิธีการสำรวจทางราบได้แก่ ข่ายสามเหลี่ยมวัดมุม (Triangulation) ข่ายสามเหลี่ยมวัดด้าน (Trilateration) และวงรอบ (Traverse) หรือจะใช้วิธีผสมจากที่กล่าวมาแล้วก็ได้ สำหรับงานรังวัดทางด้านดาราศาสตร์ เพื่อหาค่าพิกัดและอาซิมุททางดาราศาสตร์ เกี่ยวข้องกับวิธีการสำรวจเหล่านี้ คือ เพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่จะใช้ในการควบคุมอาการหมุนของโครงข่าย โดยการหาค่าความเฉของเส้นดิ่ง (Deflection of the Vertical) และหาค่าความสูงต่างของระดับน้ำทะเลปานกลางกับทรงรีเพื่อใช้ในการทอนค่าที่รังวัดได้จากพื้นผิวระดับน้ำทะเลปานกลาง (Geoid) ลงบนทรงรี

ความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่สำรวจ ความถูกต้องจากการสำรวจ และงบประมาณของการสำรวจแต่ละวิธีนั้นจะต้องสอดคล้องกับจำนวนหมุดพิกัดดาราศาสตร์และอาซิมุทดาราศาสตร์ที่จะต้องสำรวจ การสำรวจแต่ละวิธีสามารถปรับปรุงเพื่อให้ได้ความถูกต้อง (Accuracy) ตามต้องการ โดยปรับปรุงที่วิธีการสำรวจและเครื่องมือที่ใช้ ความถูกต้องของการสำรวจ

ถูกแบ่งโดย ชั้น (Order) ของการสำรวจ เช่น ชั้นที่ 1 , 2 และ 3 เป็นต้น และในแต่ละชั้นจะถูกแบ่งย่อยไปอีกตามความละเอียด (Precision) เป็นระดับ (Class) เช่น ระดับที่ 1 หรือ 2 เป็นต้น

1.2 การสำรวจทางดิ่ง (Vertical Surveys)

การสำรวจทางดิ่งของจุดบนพื้นผิวพิภพจะทำให้ทราบความสูงของจุดนั้นจากพื้นหลักฐานอ้างอิงทางดิ่ง ซึ่งโดยทั่วไปก็คือ พื้นผิวระดับน้ำทะเลปานกลาง สำหรับการรังวัดในสนามนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 อย่าง คือ การรังวัดทางอ้อม เช่น การวัดความกดอากาศ การรังวัดมุมดิ่งโดยอาศัยหลักการตรีโกณมิติ ส่วนการรังวัดโดยตรง ได้แก่ การระดับอาศัยหลอดระดับซึ่งเป็นที่รู้กันคือการหาความสูงต่างต่อเนื่องกันไป

1.2.1 การระดับอาศัยหลอดระดับ (Spirit Leveling) จะให้ความถูกต้องสูงสุดในกรณีที่ใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดแม่นยำดี, รังวัดในระยะไม่ไกลนัก, ความห่างระหว่างไม้เล็งระดับหน้า-หลัง กับกล้องห่างเท่าๆ กัน และพื้นที่ราบเรียบ

1.2.2 การระดับตรีโกณมิติ (Trigonometric Leveling) กระทำได้โดยการรังวัดมุมระหว่างแนวดิ่งของจุดตั้งกล้อง กับแนวเล็งที่หมาย พร้อมทั้งระยะระหว่างจุดทั้งสอง การทำระดับตรีโกณมิติจะให้ความถูกต้องน้อยกว่าการระดับอาศัยหลอดระดับ ความผิดพลาดของการระดับอาศัยหลอดระดับจะมีเพียงไม่ถึง 1 เมตร ทั้งที่การทำระดับตรีโกณมิติอาจผิดพลาดทีละหลายๆ เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและระยะทาง

1.2.3 การวัดระดับโดยความกดอากาศ (Barometric Leveling) เป็นวิธีการที่ให้ความละเอียดถูกต้องน้อยที่สุดในการหาค่าระดับความสูง กระทำโดยการอ่านค่าความกดอากาศของแต่ละจุด แล้วคำนวณหาค่าความต่าง วิธีนี้ส่วนใหญ่จะใช้ในการสำรวจเบื้องต้น เมื่อมีเวลาน้อยแต่ต้องการหาความสูงหลายๆ จุด อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จะมีความผิดพลาดประมาณ 20 เมตร หรืออาจจะมากกว่า

2 การสำรวจด้วยดาวเทียม (Satellite Survey)

การสำรวจด้วยดาวเทียม หมายถึงกระบวนการรังวัดข้อมูลเชิงปริมาณและการใช้ข้อมูลนั้นเพื่อการคำนวณหาค่าพิกัดของดาวเทียม ณ ขณะเวลานั้นและในอนาคต ซึ่งค่าพิกัดของดาวเทียมในอนาคตเรียกว่า “วงโคจรดาวเทียม”

การรังวัดเพื่อหาค่าพิกัดดาวเทียมสามารถดำเนินการได้หลายวิธี โดยสามารถใช้ระบบหรืออุปกรณ์ได้หลากหลายเช่น ระบบเรดาร์ กล้องถ่ายรูป อุปกรณ์รังวัดภาคพื้น หรือเครื่องมือที่ติดตั้ง

บนดาวเทียม เพื่อทำการรวบรวมข้อมูลการรังวัดติดตามดาวเทียมและคำนวณตำแหน่งดาวเทียม ซึ่งมีวิวัฒนาการ อยู่ 3 ขั้นตอนคือ (Heller & Le Schack 1981:4-33)

ขั้นตอนแรก คือ สถานีรังวัดติดตามภาคพื้น ซึ่งได้รับการจัดตั้งขึ้นทั่วโลก ในระยะแรกของโครงการอวกาศ เพื่อทำการรังวัด รวบรวมข้อมูล และทำการคำนวณตำแหน่งดาวเทียมในอวกาศ ข้อมูลที่รังวัดได้จะถูกประมวลผลและปรับแก้ เพื่อหาค่าวงโคจรของดาวเทียมให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลการรังวัดให้มากที่สุด โดยอาจใช้วิธี Least Square หรือ Kalman Filtering ข้อมูลที่รังวัดได้อาจอยู่ในรูปแบบของการรังวัดระยะ มุม หรือทั้งระยะและมุม

ขั้นตอนที่สอง คือการติดตั้งเครื่องรังวัดความสูงบนดาวเทียม เพื่อใช้รังวัดความสูงดิ่งระหว่างดาวเทียมกับพื้นพิภพ เครื่องรังวัดความสูงมีประโยชน์หลายประการ เช่นการรังวัดเพื่อกำหนดรูปร่างของโลก (Geodesy) และการศึกษาด้านสมุทรศาสตร์ แต่วัตถุประสงค์หนึ่งของเครื่องรังวัดความสูงก็คือ การรังวัดเพื่อหาค่าวงโคจรดาวเทียมนั่นเอง

ขั้นตอนที่สาม คือการรังวัดติดตามดาวเทียมด้วยดาวเทียมโดยแนวความคิดนี้จะใช้ดาวเทียมทำการรังวัดติดตามดาวเทียมด้วยกันเองเพื่อเพิ่มความเป็นไปได้สำหรับการประมวลผลหาค่าวงโคจรดาวเทียมให้ดียิ่งขึ้น และสามารถพิสูจน์ทราบค่าพื้นผิวภูมิศักยะได้ด้วย

2.1 สถานีรังวัดติดตามภาคพื้น

ระบบรังวัดติดตามภาคพื้นได้รับการติดตั้งตามตำแหน่งต่างๆทั่วโลกเพื่อที่จะทำการรังวัดดาวเทียมที่อยู่ในอวกาศ ข้อมูลที่รวบรวมได้จากระบบรังวัดติดตามภาคพื้น จะเป็นข้อมูลเริ่มต้นสำหรับการประมวลผลหาค่าวงโคจรดาวเทียม เพื่อคำนวณตำแหน่งดาวเทียมล่วงหน้า และเพื่อพัฒนาภูมิศักยะโมเดล ข้อมูลรังวัดเหล่านี้ยังถูกใช้คำนวณเพื่อหาค่าพิกัดอย่างละเอียดของสถานีติดตามต่างๆด้วย

สถานีรังวัดติดตามดาวเทียม แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ Active และ Passive สถานีรังวัดติดตามภาคพื้นแบบ Active จะทำการส่งสัญญาณไปยังดาวเทียมและสัญญาณเหล่านั้นจะถูกส่งกลับ หรือสะท้อนกลับมายังสถานีรังวัดติดตามภาคพื้นเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป สถานีรังวัดติดตามภาคพื้นแบบ Passive จะไม่ส่งสัญญาณแต่จะรับสัญญาณจากดาวเทียมแบบ Active

2.1.1 ประเภทของข้อมูลที่ทำการรังวัดโดยสถานีภาคพื้นดิน

ก) การรังวัดระยะระหว่างสถานีรังวัดติดตามภาคพื้นกับดาวเทียมด้วยระบบเรดาร์ หรือเลเซอร์ โดยการส่งสัญญาณจากสถานีรังวัดติดตามภาคพื้น ไปยังดาวเทียมและรับสัญญาณที่ส่งไปกลับมาจากดาวเทียม ซึ่งก็คือการรังวัดเวลาในการเดินทาง 1 รอบนั่นเอง

ข) การรังวัดอัตราการเปลี่ยนของระยะ โดยการรังวัดอัตราการเปลี่ยน Doppler Shift ของสัญญาณที่รังวัดได้ วิธีนี้สามารถใช้ได้ทั้งกับสถานีรังวัดติดตามภาคพื้นแบบ Active และ Passive

ค) การรังวัดเชิงมุม การรังวัดเชิงมุมของดาวเทียมอ้างอิงกับพิกัดของสถานีติดตามภาคพื้น สามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น ทำการรังวัดมุมของดาวเทียมบนภาพถ่ายโดยการรังวัดอ้างอิงกับดวงดาว หรือโดยทำการรังวัดสัญญาณเรดาร์ขณะเมื่อมีสัญญาณแรงสุด ณ สถานีรังวัดติดตามภาคพื้นที่ทราบค่าพิกัดแล้ว ซึ่งทำให้สามารถรังวัดค่าเชิงมุมได้ นอกจากนั้นยังสามารถใช้เทคนิค Interferometry ในการรังวัดเชิงมุมได้ด้วย

ง) การรังวัดเวลา เนื่องจากการแปลข้อมูลที่รังวัดได้ โดยระบบรังวัดติดตามภาคพื้นจำเป็นต้องอาศัยการรังวัดเวลาที่มีความละเอียดสูง และต้องมีความสัมพันธ์กับข้อมูลเหล่านั้น ด้วยเหตุนี้สถานีรังวัดติดตามภาคพื้นจึงได้ติดตั้งนาฬิกาที่มีความละเอียดถูกต้องสูงไว้ด้วย

2.1.2 ประเภทของระบบรังวัดติดตามภาคพื้น

ก) ระบบเรดาร์ (C-Band) เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณเรดาร์ (Active) ไปยังดาวเทียม ด้วยความถี่ 5.4 – 5.9 กิกะเฮิทซ์ ซึ่งข้อมูลการรังวัดจะได้จากการสะท้อนกลับของสัญญาณเรดาร์เมื่อกระทบกับพื้นผิวของวัตถุ หรือเมื่อดาวเทียมได้รับสัญญาณเรดาห์ของสถานีรังวัดติดตามภาคพื้นแล้วทำการส่งสัญญาณเรดาร์นั้นกลับมายังสถานีรังวัดติดตามภาคพื้น ด้วยความถี่ที่เปลี่ยนไปเล็กน้อยเพื่อป้องกันการรบกวนของสัญญาณ ระบบเรดาร์ (C–Band) จะให้ความละเอียดถูกต้องของการรังวัดข้อมูล ดังนี้

การรังวัดระยะ มีความละเอียดถูกต้อง 1 - 10 เมตร

การรังวัดอัตราการเปลี่ยนของระยะ มีความละเอียดถูกต้อง0.5 – 3.0 เซนติเมตร./ วินาที

การรังวัดเชิงมุม มีความละเอียดถูกต้อง 5 ลิปดา

ข) ระบบดอปเปลอร์ เป็นระบบรังวัดติดตามภาคพื้นแบบ Passive ระบบ ดอปเปลอร์นี้ใช้กับ NNSS (Navy Navigation Satellite System) โดยดาวเทียมจะทำการส่งสัญญาณความถี่ 2 ช่วงคลื่น เพื่อขจัดปัญหาการหักเหของคลื่นในชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ คือ ช่วงคลื่น 150 เมกกะเฮิรตซ์ และ 400 เมกกะเฮิรตซ์ สถานีรังวัดติดตามภาคพื้นจะทำการรังวัดความถี่ที่เปลี่ยนไปของสัญญาณที่รับได้จากดาวเทียม การรังวัดความถี่ของคลื่นที่เปลี่ยนไปจะใช้ในการ

คำนวณหาอัตราการเปลี่ยนทางระยะของดาวเทียมอ้างอิงกับสถานีรังวัดติดตามภาคพื้น ความละเอียดถูกต้องของระบบมีค่าประมาณ 1 เซนติเมตร / วินาที

ค) ระบบเลเซอร์ เป็นระบบรังวัดระยะแบบ Active นอกจากจะใช้ระบบเลเซอร์สำหรับรังวัดระยะทางถึงดวงจันทร์แล้ว ระบบเลเซอร์ยังใช้ในการรังวัดติดตามดาวเทียมซึ่งอยู่ในความควบคุมของ NASA เช่นเดียวกันกับระบบรังวัดระยะดวงจันทร์ด้วยเลเซอร์ ดาวเทียมที่จะทำการรังวัดระยะด้วยเลเซอร์จะต้องติดตั้งอุปกรณ์ลูกบาศก์ ซึ่งได้รับการออกแบบให้มีพื้นผิวที่มีความสามารถในการสะท้อนแสงเลเซอร์กลับมายังสถานีรังวัดติดตามภาคพื้นได้สูงสุด ระบบเลเซอร์สามารถให้ข้อมูลการรังวัดได้เฉพาะระยะทาง แต่มีความละเอียดถูกต้องสูง เช่นในปัจจุบันมีค่าความละเอียดถูกต้องประมาณ 5 เซนติเมตร ถึง 1 เมตร และคาดว่าจะได้รับการพัฒนาให้มีความละเอียดถูกต้องประมาณ 1 - 3 ซม. ในโอกาสต่อไป แต่การปฏิบัติงานด้วยระบบเลเซอร์มีข้อจำกัดด้วยเรื่องของสภาพอากาศ

ง) ระบบรังวัดติดตามแบบทัศน์ เป็นระบบรังวัดติดตามภาคพื้นแบบ Passive ซึ่งได้รับการติดตั้งในระยะแรกของระบบรังวัดติดตามดาวเทียม โดยพื้นฐานจะใช้กล้องถ่ายภาพที่ได้รับการออกแบบให้มีระยะโฟกัสยาวเป็นพิเศษ

จ) ระบบรังวัดติดตามร่วม (S–Band) เป็นระบบรังวัดติดตามแบบ Active ที่ได้รับการพัฒนาโดย NASA ปฏิบัติงานด้วยความถี่ 2.2 กิกะเฮิรตซ์ และ 2.3 กิกะเฮิรตซ์ สามารถทำการรังวัดระยะ อัตราเปลี่ยนทางระยะ และตำแหน่งเชิงมุม ระบบนี้ได้รับการพัฒนาเพื่อใช้กับโครงการอพอลโล สาเหตุที่เรียกระบบรังวัดติดตามร่วม เนื่องจากสัญญาณที่รังวัดได้โดยระบบรังวัดติดตามภาคพื้น นอกจากจะประกอบด้วยการรังวัดระยะ และการรังวัดความคลาดเคลื่อนของความถี่แล้วยังประกอบด้วยการรับ-ส่งคำสั่ง และข้อมูลการรังวัดติดตามยานอวกาศระยะไกลอีกด้วย ดาวเทียมที่จะถูกรังวัดติดตามด้วยระบบรังวัดติดตามร่วม (S–Band) จะต้องได้รับการติดตั้ง Transponders สำหรับรับสัญญาณที่ถูกส่งมาจากสถานีรังวัดติดตามภาคพื้น แล้วทำการเปลี่ยนความถี่นั้นเพื่อส่งกลับไปยังสถานีรังวัดติดตามภาคพื้น นอกจากนั้น Transponders ยังทำการถอดรหัสข้อมูลคำสั่งที่ได้รับ และดำเนินการส่งข้อมูลการรังวัดระยะไกลกลับมาอีกด้วย ความละเอียดถูกต้องของระบบรังวัดติดตามร่วมมีดังนี้

การรังวัดระยะ มีความละเอียดถูกต้อง 5 - 10 เมตร.

การรังวัดอัตราเปลี่ยนระยะ มีความละเอียดถูกต้อง 0.2 มิลลิเมตร/วินาที

การรังวัดมุม มีความละเอียดถูกต้อง 5 - 10 ลิปดา

2.2 ดาวเทียมรังวัดความสูง

เครื่องวัดความสูงด้วยดาวเทียมระบบเรดาร์ เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการติดตั้งบนดาวเทียมใช้สำหรับรังวัดความสูงระหว่างดาวเทียมกับพื้นผิวพิภพ การรังวัดความสูงกระทำโดยการรังวัดเวลาที่เรดาห์ใช้ในการเดินทางจากดาวเทียม ไปกระทบพื้นผิวพิภพและสะท้อนกลับมาสู่ดาวเทียมอีกครั้ง ปัจจุบันเครื่องวัดความสูงด้วยดาวเทียมระบบเรดาร์ มีอุปกรณ์ส่งคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่13.9 กิกะเฮิทซ์ และอุปกรณ์ประเภทอื่นที่มีใช้งานได้แก่ ระบบแสงเลเซอร์ เป็นต้น แต่ใช้ในภารกิจที่ต่างกัน เครื่องวัดความสูงด้วยดาวเทียมระบบเรดาร์ถูกติดตั้งให้กับ Skylab, Geos -3 และSeasat – 1 ประโยชน์ของข้อมูลจากเครื่องวัดความสูงด้วยดาวเทียมระบบเรดาร์มีมากมาย เช่นการประมวลเพื่อหาค่า จีออยด์, ความเฉของเส้นดิ่ง ภูมิศักยะโมเดลบริเวณทะเล การทำแผนที่กระแสน้ำ การศึกษาน้ำขึ้นน้ำลง และคลื่น การตรวจสอบภูมิประเทศใต้ทะเล และการทำแผนที่ภูมิประเทศบนบก

2.3 การรังวัดติดตามดาวเทียมด้วยดาวเทียม

เป็นการรังวัดระยะและอัตราการเปลี่ยนของระยะระหว่างดาวเทียมกับดาวเทียม ซึ่งมีการปฏิบัติงานเปรียบเทียบได้กับสถานีรังวัดติดตามภาคพื้น ข้อมูลจากการรังวัดติดตามดาวเทียมด้วยดาวเทียม ได้แก่ การคำนวณค่าวงโคจรดาวเทียม การติดต่อสื่อสารและการคำนวณหาค่าแรงโน้มถ่วงพิภพ การรังวัดติดตามดาวเทียมด้วยดาวเทียม มีสาเหตุมาจากสถานีรังวัดติดตามภาคพื้นสามารถทำการรังวัดติดตามดาวเทียมวงโคจรต่ำ ได้เพียงบางส่วนของวงโคจรเท่านั้น ดังนั้นถ้าต้องการจะรังวัดติดตามดาวเทียมวงโคจรต่ำ ให้ได้ตลอดวงโคจรก็จำเป็นต้องติดตั้งสถานีรังวัดติดตามภาคพื้นเป็นจำนวนมาก และด้วยประสบการณ์จากโครงการอพอลโล NASA พบข้อจำกัดของสภาพภูมิประเทศและนโยบายทางการเมือง ทำให้ไม่สามารถติดตั้งสถานีรังวัดติดตามภาคพื้นได้ทั้งหมด จำต้องติดตั้งสถานีรังวัดติดตามบนเรือ และเครื่องบิน จึงทำให้เกิดแนวความคิดในการใช้ดาวเทียมรังวัดติดตามดาวเทียมด้วยกันเอง โดยการใช้ดาวเทียมที่มีวงโคจรสูง (ดาวเทียมประจำที่) ซึ่งมีพื้นที่ครอบคลุมกว้างขวางทำให้มีจำนวนที่จะต้องติดตั้งน้อยกว่าจำนวนสถานีรังวัดติดตามภาคพื้นสำหรับการรังวัดติดตามดาวเทียมระยะต่ำ

ระบบดาวเทียมที่ใช้รังวัดติดตามดาวเทียม ได้แก่ดาวเทียมวงโคจรสูง ATS – 6 ทำการรังวัดติดตามยานอวกาศ ได้แก่ อพอลโล, ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา Nimbus – 5 และ Geos – 3 ซึ่งให้ความละเอียดถูกต้องของการรังวัดอัตราการเปลี่ยนของระยะ 0.2 มิลลิเมตร/วินาที และทำการประมาณ ค่าแกรวิตี้ อะนอมะลีได้ประมาณ 5 องศา และโครงการต่อไปของระบบดาวเทียมรังวัดติดตามดาวเทียม คือ NAVSTAR

บทที่ 3
การสำรวจภาคพื้นดิน

1. การสำรวจทางราบ

1.1. โต๊ะแผนที่ (Plane Table)

โต๊ะแผนที่เป็นเครื่องมือสำรวจที่เก่าแก่ที่สุดในด้านการสำรวจ ซึ่งใช้มานานก่อนเครื่องมืออย่างอื่น ปัจจุบันโต๊ะแผนที่ได้พัฒนาให้ทันสมัยมากยิ่งขึ้น แต่สำหรับในเมืองไทยไม่เป็นที่นิยมกันในด้านการสำรวจ เพราะทำงานได้ช้ามีความยุ่งยากพอสมควร

1.1.1 อุปกรณ์ประกอบของโต๊ะแผนที่ ดังภาพที่ 9 ดังนี้

ก) กระดานเขียนซึ่งปกติมีขนาด 24 × 31 นิ้ว พร้อมขาโต๊ะ (1)

ข) กระดาษวางบนกระดานเขียน (2)

ค) บรรทัดเล็ง (3)

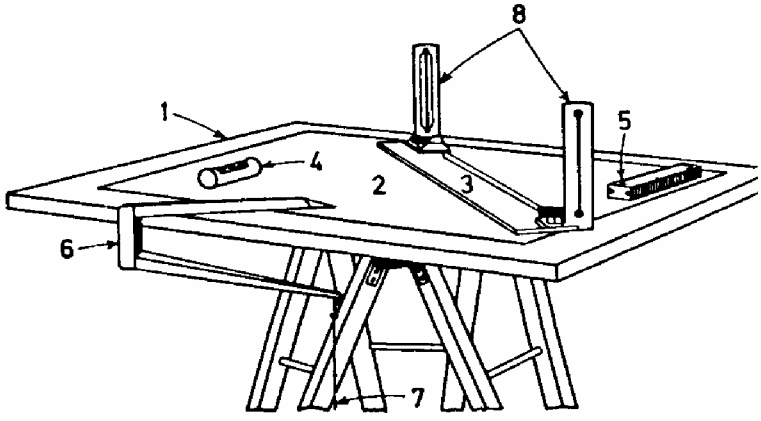
ง) หลอดระดับสำหรับตั้งโต๊ะ (4)

จ) เข็มทิศกล่อง (5)

ฉ) ขาดิ่ง (6)

ช) เชือกดิ่งพร้อมลูกดิ่ง (7)

ฌ) เครื่องเล็ง (8)



ภาพที่ 9 อุปกรณ์ประกอบโต๊ะแผนที่

1.1.2 การตั้งโต๊ะแผนที่ทำได้ดังนี้คือ

ก) ตั้งขาโต๊ะคร่อมหมุดหลักฐาน

ข) ติดกระดานกับขาโต๊ะโดยใช้สกรูขาโต๊ะ

ค) ทิ้งดิ่งและตั้งดิ่งให้ตรงหมุดหลักฐาน

ง) หมุนโต๊ะให้ขอบกระดานขนานกับควงระดับคู่ใดคู่หนึ่ง วางหลอดระดับให้ขนานกับขอบกระดานนั้น

จ) ปรับให้ระดับอยู่กึ่งกลาง แล้วหมุนกระดานโต๊ะให้อีกด้านหนึ่งขนานกับควงระดับคู่แรก แล้วปรับระดับให้ได้ระดับอีกครั้ง

ฉ) ทำการตรวจสอบอีกครั้ง ว่าขณะนี้กระดานโต๊ะอยู่ในแนวระดับอย่างถูกต้อง

ช) ตั้งแนวทิศบนโต๊ะแผนที่ให้ถูกต้องโดยใช้เข็มทิศ

ฌ) กำหนดหมุดแรกออกลงกระดาษบนโต๊ะ หมุนโต๊ะส่องธงหลังหรือจะขยับเฉพาะบรรทัดเล็งหรือกล้องเล็งส่องธงหลังก็ได้ แต่บรรทัดเล็งจะต้องผ่านจุดแรกออกพอดี ถ้าไม่พอดีก็ต้องขยับบรรทัดเล็งใหม่ ขณะนี้โต๊ะจะเคลื่อนที่ไม่ได้ เมื่อเล็งตรงที่หมายแล้วก็ขีดแนววงรอบ วัดระยะ แปลงระยะเป็นระยะในแผนที่ตามมาตรส่วนที่ต้องการ

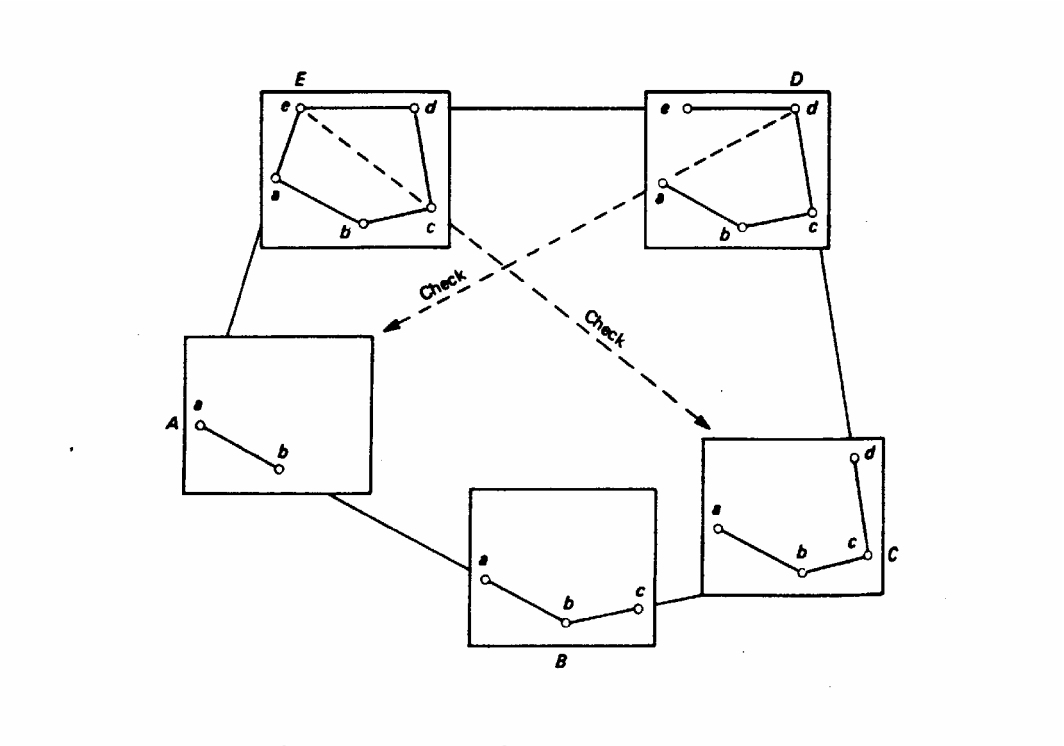
ญ) เล็งบรรทัดเล็งไปธงหน้า วัดระยะ แปลงระยะเป็นระยะในแผนที่มาตราส่วนที่ต้องการ

ฎ) ย้ายโต๊ะไปตั้งหมุดอื่นต่อไปกระทำเช่นเดียวกัน

1.1.3 วิธีการทำแผนที่ด้วยโต๊ะแผนที่นั้นจะใช้ตามลักษณะความยากง่ายของภูมิประเทศ ความรวดเร็วในการทำงาน ความละเอียดของงานที่ต้องการ รายละเอียดต่างๆ วิธีการทำแผนที่ด้วยโต๊ะแผนที่มีอยู่ 5 วิธีคือ

ก) การทำวงรอบ (Traversing Method) วิธีนี้ใช้เมื่อแนวเขตเป็นที่โล่งสะดวกในการตั้งโต๊ะบนหมุดหลักฐานทุกหมุดวิธีนี้สามารถที่จะแก้ความผิดที่เกิดขึ้นจากการเล็งการวัดระยะได้ ดังภาพที่ 10

- สมมติให้ A เป็นจุดแรกออก ซึ่งตรงกับ a บนกระดาษหรือบนแผนที่ เล็งแนวไปที่ B วัดระยะ AB ซึ่งจะเท่ากับระยะ ab ในแผนที่
- ย้ายกล้องไปตั้งที่จุด B เล็งแนวไปที่ A ให้แนว ab ตรงกับแนว AB (ที่จริงขนานกันเพราะบรรทัดเล็งมีความกว้าง)



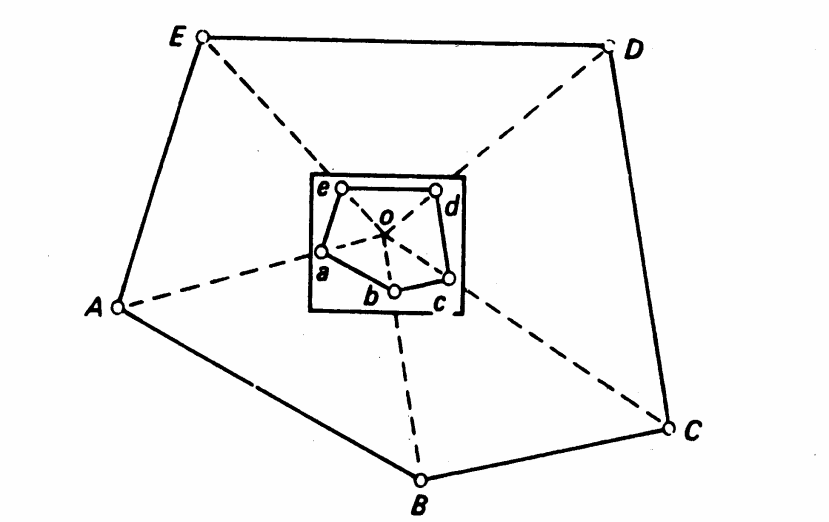
ภาพที่ 10 วิธีการทำแผนที่ด้วยโต๊ะแบบ Traversing

- เมื่อแนว ab ตรงกับ AB แล้ว เล็งแนวโดยใช้บรรทัดเล็งหรือกล้องไปยังจุด C นำระยะ BC ที่วัดได้มาเข้ามาตราส่วนก็จะได้ bc ในแผนที่

- ทำดังนี้ไปเรื่อย ๆ จนเข้าบรรจบหมุด A ถ้าไม่เข้าบรรจบแสดงว่ามีความผิดพลาดจะต้องทำการแก้ต่อไป

- ในขณะที่ทำการเล็งแนวทำวงรอบจะเล็งแนวเก็บรายละเอียดไปพร้อมกันก็ได้ ถ้าหากว่าไม่ต้องการความละเอียดมากนัก

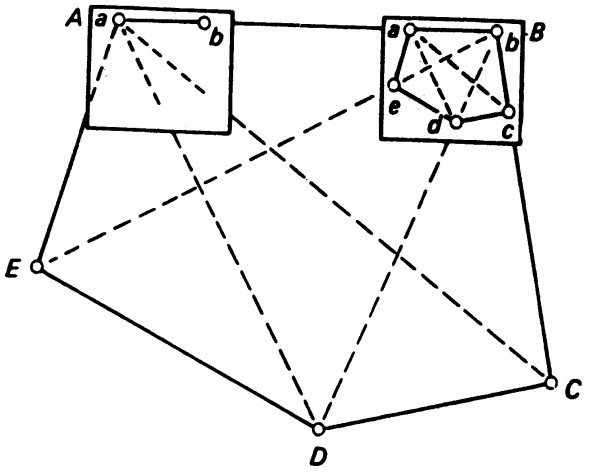
ข) Radiation Method วิธีนี้ใช้กับแนวเขตที่ไม่สามารถตั้งโต๊ะได้ เช่น วิธีที่ 1 ก็เลยใช้วิธีส่องออกไปเป็นรัศมี ดังภาพที่ 11 ระยะจะวัดด้วยวิธี stadia ถ้าใช้กล้องเล็งในขณะเดียวกันก็สามารถหาค่าระดับได้ด้วย ถ้าหากต้องการทำ Contour การใช้ Indian Clinometer บางชนิดจะสามารถหาค่าระดับประมาณได้โดยเอาระยะที่วัดได้คูณด้วยค่า Tangent วิธีนี้ให้ความละเอียดไม่มากนัก เพราะไม่สามารถตรวจสอบได้ นอกจากว่าไม่มีอุปสรรคจึงจะสามารถตรวจสอบได้ เช่น วัดด้าน AB ในสนามและ ab ในแผนที่ว่าถูกต้องตามมาตราส่วนหรือไม่



ภาพที่ 11วิธีการทำแผนที่ด้วยโต๊ะแบบ Radiation

ค) การเล็งสกัด(Intersection หรือGraphical Triangulation Method)

วิธีนี้จะใช้ในการเก็บรายละเอียดที่ไม่สามารถวัดระยะเข้าไปได้ เช่น รายละเอียดที่อยู่คนละฝั่งของลำน้ำ



ภาพที่ 12 วิธีการทำแผนที่ด้วยโต๊ะแบบ Intersection

วิธีนี้ถ้ามีรายละเอียดมากเส้นแนวเล็งจะสับสนเพราะทุกเส้นต่างก็ตัดกัน ถ้าตัดกันมากจะทำให้ไม่ทราบว่าจุดตัดของรายละเอียดคือจุดไหนแน่ ใน ภาพที่ 12 ต้องการเก็บจุด E, D, C จึงทำการตั้งโต๊ะที่จุด A และ B ครั้งแรกตั้งที่จุด A เล็งแนว AE, AD, AC ระยะไม่ทราบ ย้ายโต๊ะไปตั้งที่จุด B เล็งแนว BE, BD, BC แนวเล็งจาก A และ B ตัดกันที่ไหนจุดนั้นคือ E, D, C ตามต้องการ

1.2 วงรอบ (Traverse)

1.2.1 การวงรอบจะประกอบด้วยเส้นตรงหลายเส้นที่ต่อเนื่องกันไปและที่จุดสุดท้ายของเส้นตรงแต่ละด้านจะมีหมุดวงรอบ ซึ่งเป็นหมุดถาวรหรือชั่วคราวแล้วแต่งานที่ต้องสำรวจ บางทีหมุดวงรอบเรียกว่า หมุดบังคับทางราบ (Horizontal Control) ระยะทางระหว่างหมุดวงรอบจะต้องทำการรังวัดด้วยเทปเหล็กแบบไปกลับ หรือทำการรังวัดด้วยเครื่องมือรังวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Distance Measurement = EDM) ที่หมุดของวงรอบแต่ละหมุดนั้น จะเป็นจุดเปลี่ยนทิศทาง เพราะฉะนั้นจะต้องทำการรังวัดมุมด้วยเครื่องมือวัดมุม เช่น เข็มทิศ หรือ กล้องวัดมุม (Theodolite) สำหรับงานวงรอบที่มีความละเอียดจะต้องทำการรังวัดทางดาราศาสตร์ด้วย

ดังนั้นการปฏิบัติงานวงรอบ คือการรังวัดระยะระหว่างหมุดวงรอบ และการรังวัดมุมของแต่ละหมุดวงรอบโดยมีด้านของแต่ละระยะหน้าและหลังเป็นองค์ประกอบของมุม การรังวัดระยะ และมุมดังกล่าวโดยปกติจะกระทำต่อเนื่องกันไป เริ่มจากหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว และสิ้นสุด ณ หมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วเช่นกัน

1.2.2 จุดประสงค์การทำวงรอบมีดังนี้

ก) สร้างหมุดบังคับแผนที่เพื่อการสำรวจกรรมสิทธิ์ที่ดิน

ข) สร้างหมุดบังคับทางราบ เพื่อการสำรวจและทำแผนที่ภูมิประเทศ

ค) ทำการสำรวจเพื่อการออกแบบและก่อสร้าง ทางหลวง ทางรถไฟ วางแนวท่อ และงานทั่วไป

ง) ใช้ในการสร้างจุดบังคับ (Ground Control) เพื่อการทำแผนที่จากรูปถ่ายทางอากาศ และนอกจากนี้ การวงรอบยังใช้โยงยึดหมุดของสามเหลี่ยมเพื่อให้ค่าพิกัดสัมพันธ์กัน

1.2.3 วิธีการทำวงรอบมีหลายวิธีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ วัตถุประสงค์ ความละเอียดที่ต้องการ ประเภทของเครื่องมือที่มีอยู่ และวิธีการปฏิบัติงาน แต่หลักการของแต่ละวิธีจะเหมือนกัน วิธีการทำวงรอบสามารถแบ่งได้ดังนี้

ก) การทำวงรอบด้วยเข็มทิศ (Compass Traverse) เครื่องมือที่ใช้จะเป็นเข็มทิศ หรือ Compass Theodolite เช่น WILD T0 การรังวัดมุมจะอาศัยทิศเหนือแม่เหล็ก ค่าที่ได้ออกมาจะเป็น Azimuth แม่เหล็ก

ข) การทำวงรอบด้วยกล้อง Theodolite วิธีนี้จะใช้กล้อง Theodolite วัดง่ามมุมต่อเนื่องกันไป จะเป็นมุมภายนอกหรือภายในก็แล้วแต่ทิศทางการทำวงรอบ หรือกล่าวอีก

อย่างหนึ่งก็คือ ถ้าผู้สำรวจเดินไปข้างหน้า มุมที่จะต้องวัดคือมุมทางซ้ายมือนั่นเอง ส่วนระยะจะวัดด้วยเทป หรือวัดด้วย EDM ก็ได้

ค) การทำวงรอบด้วยวิธี Tacheometry วิธีนี้ถ้าใช้กล้อง Theodolite ธรรมดาก็จะใช้วิธี Stadia หรือถ้าใช้กล้อง Tacheometer เช่น กล้อง WILD RDS ผลก็ได้เหมือนกัน นอกจากนี้ยังมี Invar Bar การใช้วิธีนี้ก็เพื่อที่จะให้ผลการสำรวจได้เสร็จสิ้นอย่างรวดเร็ว เหมาะแก่การทำ Site Survey งานเกษตรกรรม ฟาร์ม แผนที่ภูมิประเทศ

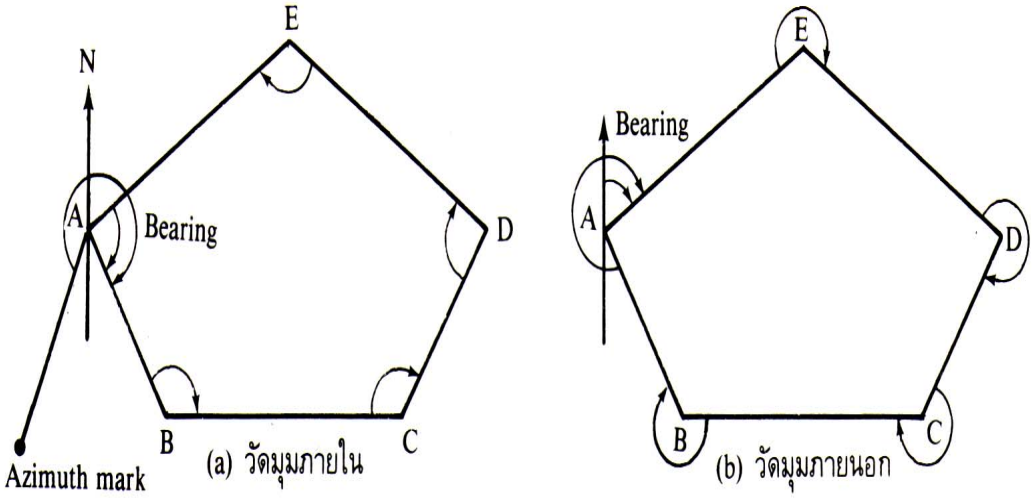
ง) การทำวงรอบโดยการใช้ Electronic Tacheometer วิธีนี้จะให้ความละเอียดมาก เพราะเครื่องมือที่ใช้นั้นเขาสร้างให้ระบบการรังวัดระยะรวมกับ Digital Theodolite สามารถอ่านระยะดิ่ง ระยะราบและค่ามุมออกมาเป็นตัวเลขทันที

จ) การทำวงรอบโดยระบบ Electronic Total Station เครื่องมือที่ใช้นี้จะคล้ายกับข้อ ง) แต่ตัวกล้องมีระบบ Microprocessor และเครื่องรังวัดระยะมีทั้งชนิดติดตั้งคงที่และชนิดถอดออกได้ การวัดมุมจะวัดหน้าเดียวเพราะมีระบบเฉลี่ยความผิดในตัว เครื่องสามารถต่อ Electronic Field Book หรือ Data Terminal ได้ ซึ่งสามารถเก็บได้เป็น 1,000 หมุด รวมทั้งสามารถเก็บรายละเอียดได้ด้วย ผลงานสามารถ On Line กับ Computer ได้เลย หรือจะส่งข้อมูลทางโทรศัพท์ก็ได้

ฉ) การทำวงรอบโดยระบบ Inertial Position System เครื่องมือจะติดตั้งบนรถยนต์ หรือเฮลิคอปเตอร์ ข้อมูลที่ได้จะทราบทั้งพิกัดในแนวราบและค่าระดับ สามารถนำมาออกแบบได้ เช่น การสำรวจการวางแนวท่อ วางแนวสายไฟฟ้าแรงสูง ถนน เขื่อน เป็นต้น

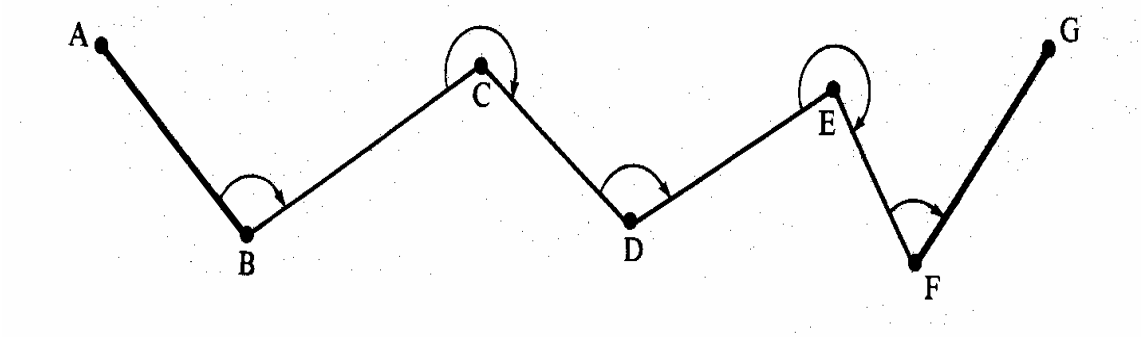
1.2.4 ลักษณะของวงรอบแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

ก) วงรอบปิด (Closed Traverse) เป็นวงรอบที่ทำเป็นวงจร หมุดเริ่มต้นและบรรจบจะเป็นหมุดเดียวกัน และจุดออกจะต้องเป็นหมุดหลักฐานคู่หรือหมุดที่มีค่าพิกัดและมีหมุดอ้างอิง (Azimuth mark) วงรอบปิดสามารถจะตรวจสอบมุมที่ทำการรังวัดได้ และคำนวณพิกัดฉากตรวจสอบความผิดของการรังวัดมุมและระยะได้ การส่องกล้องจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การรังวัดมุมภายนอก และการรังวัดมุมภายใน หรือการรังวัดมุมซ้ายมือ ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ลักษณะของวงรอบปิด

ข) วงรอบเปิด (Open Traverse) เป็นการทำวงรอบออกจากหมุดหลักฐานคู่หนึ่งซึ่งเป็นวงรอบเดิม ที่รู้ค่าพิกัดทั้งสองหมุด แล้วทำไปเข้าบรรจบหมุดหลักฐานอีกคู่หนึ่งที่ทราบค่าพิกัดเช่นเดียวกัน จากการตรวจสอบมุมและคำนวณพิกัดจะสามารถตรวจสอบความผิดที่เกิดขึ้นได้ AB และ FG เป็นหมุดหลักฐานคู่ หรืออาจจะเป็นหมุดของการสามเหลี่ยมก็ได้



ภาพที่ 14 ลักษณะวงรอบเปิด

หมายเหตุ การทำวงรอบถ้าไม่ได้ออกจากหมุดที่ทราบค่าพิกัดหรือกำหนดเองเราเรียกวงรอบนี้ว่า “วงรอบลอย”

1.3 การสามเหลี่ยม (Triangulation)

การสามเหลี่ยมเป็นวิธีการสำรวจวิธีหนึ่งที่ใช้กับพื้นที่กว้างขวางระดับประเทศ ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถทำวิธีอื่นได้ การทำสามเหลี่ยมเป็นการกำหนดหมุดบังคับแผนที่ทั่วประเทศ เพื่อใช้ในการออกงานชั้นรองมาเช่น งานวงรอบ

ในกรณีที่ต้องการกำหนดหมุดบังคับเพื่อการสำรวจแม่น้ำ ทะเลสาบ แนวชายฝั่ง และการสำรวจเพื่องานก่อสร้างก็จะใช้การสามเหลี่ยมนี้ช่วย ส่วนการสำรวจจะต้องการความละเอียดมากน้อยแค่ไหนก็แล้วแต่ความต้องการ ถ้าต้องการความละเอียดมากก็ใช้งานสามเหลี่ยมชั้นที่มีความละเอียด การสามเหลี่ยมแบ่งออกเป็น

1.3.1 ประเภทของการสามเหลี่ยม

ก) Triangulation Network (โครงข่ายสามเหลี่ยมมุม) ประกอบด้วยสามเหลี่ยมหลายรูปต่อเนื่องและซ้อนกันไปตลอดทั้งโครงข่ายและจะต้องทำการรังวัดมุมทุกมุม รวมทั้งมุมสูงด้วย ด้านต่างๆ จะสามารถคำนวณหาได้ รวมทั้งค่าระดับซึ่งจะใช้การทำระดับตรีโกณชั้น 1 ร่วมด้วย และจุดต่างๆ ของสามเหลี่ยมจะนำมาคำนวณหาค่าพิกัดฉากและพิกัดภูมิศาสตร์ได้ หัวใจของโครงข่ายชนิดนี้คือการวัดมุมทุกมุมให้ละเอียดที่สุดตามข้อกำหนดของการสามเหลี่ยมในแต่ละชั้นงาน

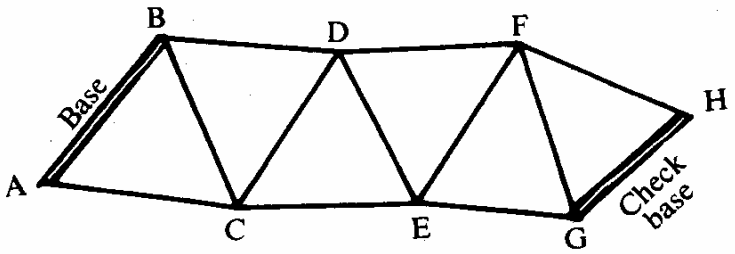
ข) Trilateration Network (โครงข่ายสามเหลี่ยมด้าน) ประกอบด้วยสามเหลี่ยมหลายรูปต่อเนื่องกันไปตลอดทั้งโครงข่าย และจะต้องทำการรังวัดด้านทุกด้าน แต่จะมีการรังวัดมุมและรังวัดทิศทางไม่กี่มุม เช่น การหาทิศเหนือจริง

ในปัจจุบันนี้เนื่องจากเครื่อง EDM. สามารถวัดได้ไกลและถูกต้อง จึงสามารถทำงานได้ตั้งแต่ชั้นหยาบจนถึง ชั้นที่มีความละเอียดสูง การใช้ Trilateration เกิดขึ้นเนื่องจากการประดิษฐ์ EDM. ดังกล่าว และสามารถศึกษาการแก้ค่าระยะต่าง ๆ ของ EDM.

ถ้าต้องการความละเอียดหรือความแข็งแรงของโครงข่ายมากขึ้น ก็สามารถที่จะใช้วิธีการของ Triangulation รวมกับวิธีการของ Trilateration ได้ การใช้การสามเหลี่ยมถ้าเป็นงานสำรวจภูมิประเทศที่ครอบคลุมพื้นที่ไม่มาก สามารถใช้สามเหลี่ยมเบื้องต้นได้แต่ถ้าเป็นงานก่อสร้างที่ต้องการความละเอียด เช่น สะพานขนาดใหญ่ ท่อน้ำมัน ขอบเขตประเทศ จะต้องใช้การสามเหลี่ยมที่มีความละเอียดมากขึ้น

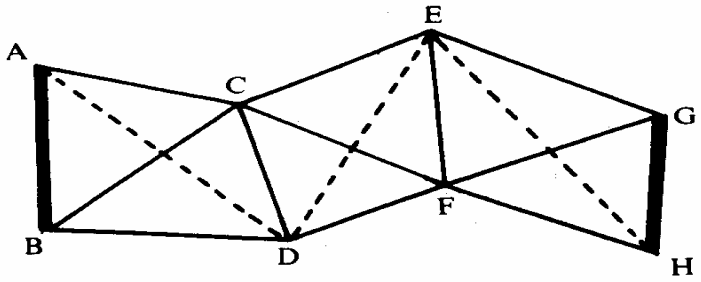
1.3.2 โครงข่ายสามเหลี่ยมจะประกอบด้วยรูปต่างๆ ดังนี้

ก) Single Triangle เป็นโครงข่ายที่ประกอบด้วยสามเหลี่ยมรูปเดียวติดต่อกันไป ซึ่งการวัดจะวัดมุมออกจาก Base หรือเส้นฐาน ไปเข้าบรรจบกับเส้นฐานอีกเส้นหนึ่งซึ่งเรียกว่า Check base



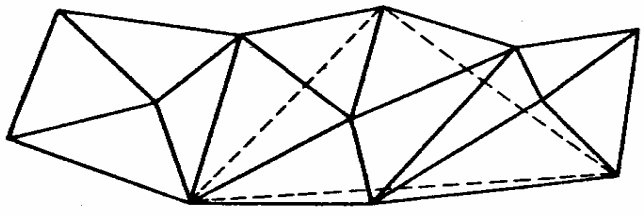
ภาพที่ 15 รูปโครงข่ายสามเหลี่ยม แบบ Single Triangle

ข) Braced Quadrilateral หมายถึงโครงข่ายสามเหลี่ยมที่ประกอบด้วย Single triangle หลายรูปซ้อนกันอยู่ โครงข่ายชนิดนี้จะให้ความละเอียดมากกว่าชนิดแรก แต่มีค่าใช้จ่ายมากกว่า



ภาพที่ 16 รูปโครงข่ายสามเหลี่ยม แบบ Braced Quadrilateral

ค) Polygon หมายถึงโครงข่ายสามเหลี่ยมที่ประกอบไปด้วยรูปหลายเหลี่ยม สามเหลี่ยมประเภทนี้ให้ค่าละเอียดสูงสุด สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก แต่ก็คลุมพื้นที่ได้มาก



ภาพที่ 17 รูปโครงข่ายสามเหลี่ยม แบบ Polygon

ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบที่ยอมให้เกิดขึ้นของแต่ละชั้นงานสำรวจ

ชั้นที่	1		2		3		4	
ระดับที่	1	2	1	2	1	2		
วิธีสำรวจ	ความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบที่ยอมให้ทางระยะระหว่างจุดและกำหนดสูง							
ข่ายสามเหลี่ยมวัดมุม								
ข่ายสามเหลี่ยมวัดด้าน	10PPM	-	20PPM	50PPM	100PPM	200PPM	200 -	500PPM
วงรอบ	<2PPm	-	-	-	-	-	-	-
การระดับอาศัยหลอดระดับ	3มม./k	5มม./k	6มม./k	8มม./k	12มม./k	>12มม./k		
การระดับตรีโกณมิติ	-	-	-	-	-	-	-	-
การรังวัด	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัด							
ทิศทางทางราบ	0".6	-	1".0	2".0	3".0	5".0	>5".0	
มุมทางดิ่ง	-	-	-	-	-	2"	-	2".0
เครื่องวัดระยะอิเล็คทรอนิคส์								
คลื่นไมโครเวฟ	5PPM	-	5PPM	10PPM	20PPM	50PPM	>50PPM	
คลื่นแสง	2PPM	-	2PPM	-	-	-	-	
คลื่นแสงเลเซอร์	1PPM	-	1.3PPM	-	-	-	-	
ละติจูดดาราศาสตร์	0".5	-	1".0	1".5	2".0	2".5	-	
ลองติจูดดาราศาสตร์	0".5	-	1".0	1".5	2".0	2".5	-	
อาซิมุทดาราศาสตร์	1".0	-	1".5	2".5	3".5	5".0	>5"0	

2. การสำรวจทางดิ่ง

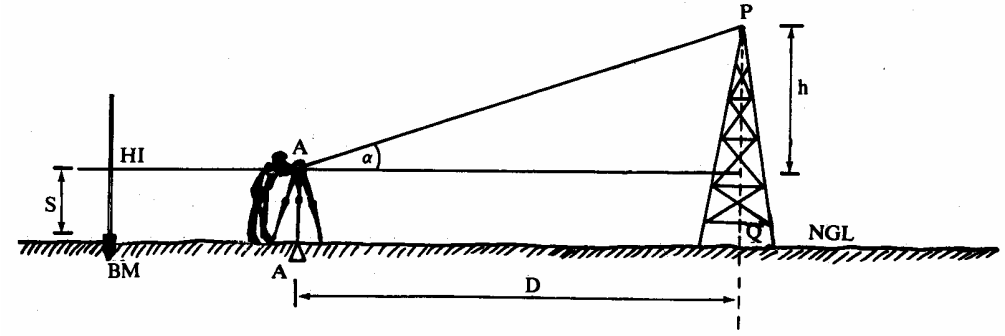
2.1 การทำระดับตรีโกณ (Trigonometric Leveling)

การทำระดับตรีโกณเป็นสาขาหนึ่งในงานระดับ (Indirect Leveling) เพื่อหาความสัมพันธ์ทางระดับของจุดต่างๆ โดยการวัดระยะและมุมสูงด้วยกล้อง Theodolite แล้วนำมาคำนวณหาค่าระดับตามวิธีของวิชา Plane Trigonometry ระยะที่วัดด้วยเทปจะถือว่าวัดอยู่ในแนวราบ (Horizontal) วัตถุประสงค์ที่ใช้วิธีนี้ในการหาค่าระดับก็เพราะว่า ไม่สามารถที่จะใช้วิธีอื่นได้ เช่น การรังวัดค่าระดับด้วยกล้องระดับ หรือการหาค่าระดับของจุดที่รังวัดระยะไม่ได้ในบริเวณภูเขา

วิธีการทำระดับตรีโกณมีหลายวิธีด้วยกันคือ

2.1.1 Base of an Object Accessible

คือระยะทางจากจุดตั้งกล้องไปยังวัตถุที่เราต้องการหาความสูงนั้นสามารถวัดระยะได้ อาจจะเป็นระยะราบ หรือระยะลาดก็ได้ แล้วนำมาคำนวณหาค่าระดับ



ภาพที่ 18 การทำระดับตรีโกณแบบ Base of an Object Accessible

กำหนดให้

PQ = ความสูงของเสาวิทยุ

h = ความสูงของวัตถุที่อยู่เหนือ HI

S = ค่า BS บน BM ที่รู้ค่า

α = มุมสูงที่วัดได้

D = ระยะราบจากกล้องไปยังจุดที่ต้องการทราบค่าระดับ

จากตรีโกณเราจะได้ว่า $h = D \tan\alpha$

$\therefore$ Elevation ของจุด P = BM + S +h

= HI + D tan α

ถ้าระยะทางระหว่างกล้องกับวัตถุไกลมาก จะต้องทำการแก้ค่าความโค้งของโลกและการหักเหของแสง เพราะฉะนั้นจะได้ว่า

Elevation ของจุด P = HI $\pm$ D tan α $\pm$ 0.0673 D^2

ถ้าตั้งกล้องที่จุด BM ที่รู้ค่าแล้วเราวัดความสูงของกล้อง แล้วนำไปบวกกับค่า BM ก็จะได้ค่า HI การวัดความสูงของกล้องทำได้หลายวิธีคือ

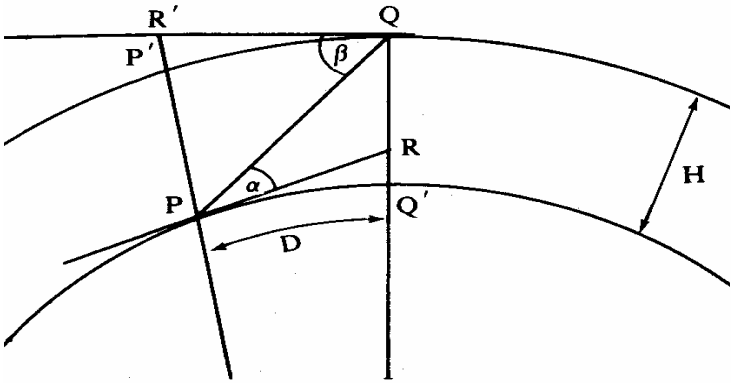
ก) วัดโดยใช้เทป

ข) อ่านค่า Rod ทาง Objective

ค) โดยการส่องกล้อง

2.1.2 Reciprocal Observation

วิธีนี้เป็นการส่องกล้องแบบสวนกลับ โดยการตั้งกล้องที่จุดทราบค่าระดับและจุดที่ไม่ทราบค่าระดับ การส่องกล้องแบบสวนกลับจะช่วยให้สามารถขจัดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการหักเหของแสงและความโค้งของโลกได้ วิธีนี้ให้ความละเอียดมากกว่าวิธีที่ 1



ภาพที่ 19 การทำระดับตรีโกณแบบ Reciprocal Observation

กำหนดให้

P = เป็นจุดที่ทราบค่าระดับแล้ว และเป็นจุดตั้งกล้อง และ ที่หมาย

Q = เป็นจุดที่ต้องการทราบค่า และเป็นจุดตั้งกล้อง และ ที่หมาย

α = มุมสูงที่วัดที่จุด P

β = มุมสูงที่วัดที่จุด Q

D = ระยะราบระหว่าง PQ , PR $\approx$ PQ′

QRP = มุมฉาก

$\therefore$ QR = PR tan QPR = D tanα

ในกรณีที่ระยะทางยาวมากจะต้องแก้ความโค้งของโลกและการหักเหของแสง เพราะฉะนั้นค่าแก้สำหรับความโค้งของโลก และการหักเหของแสงจะเท่ากับ $RQ' = R'P' = 0.0673\ D^2$

ดังนั้นผลต่างระดับ (H) ระหว่าง P กับ Q จะได้

$$H = QR + RQ'$$

$$= D\tan\alpha + 0.0673\ D^2 \quad (1)$$

ที่จุด Q PR' = QR' tan PQR' แต่ QR' = PQ' = D

$$\therefore PR' = D\tan\beta$$

$$\therefore H = PR' - R'P'$$

$$= D\tan\beta - 0.0673\ D^2 \quad (2)$$

(1) + (2) จะได้ $2H = D(\tan\beta + \tan\alpha)$

$$\therefore H = D/2(\tan\beta + \tan\alpha)$$

2.2. การระดับ (Leveling)

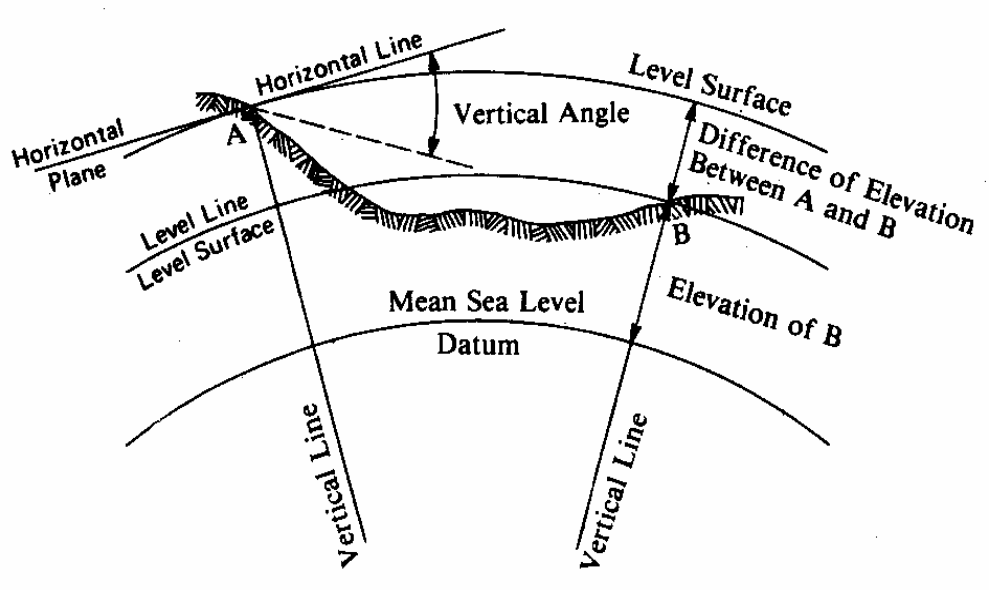
การระดับเป็นการหาความสัมพันธ์ของความสูงหรือหาค่าระดับ (Elevation) ของจุดต่าง ๆ หรือวัตถุใด ๆ บนพื้นโลกซึ่งการหานั้นจะอยู่ในแนวระนาบดิ่ง (Vertical Plane)

2.2.1 นิยามศัพท์

ก) ค่าระดับ (Elevation) ค่าระดับของจุดใดๆ บนผิวโลกเป็นค่าที่นับในแนวดิ่งที่อยู่บนหรืออยู่ใต้พื้นระดับ หรือโค้งของพื้นระดับ ซึ่งทุกจุดบนพื้นระดับจะตั้งได้ฉากกับแนวดิ่ง

ข) พื้นระดับ (Level Surface) เป็นพื้นระดับที่โค้งขนานไปกับผิวของโลกอาจจะเป็นพื้นระดับจริงหรือระดับสมมุติก็ได้ พื้นระดับใช้ในการอ้างอิงค่าระดับของจุดต่างๆ

ค) พื้นหลักฐานการระดับ (Leveling Datum) หมายถึงพื้นฐานการระดับได้จากการวัดระดับทะเลปานกลาง (Mean Sea Level = MSL หรือ ร.ท.ก.) เป็นเวลาประมาณ 19 ปี ค่าระดับทะเลปานกลางถือว่ามีค่าระดับเท่ากับ 0 หรืออาจเกิดจากการสมมุติ



ภาพที่ 20 แสดงองค์ประกอบของการระดับ

ง) เส้นระดับ (Level Line) เป็นเส้นระดับที่อยู่ในพื้นระดับ จุดทุกจุดบนเส้นระดับจะมีค่าระดับเท่ากัน โดยแนวดิ่งจะตั้งฉากกับเส้นระดับ

จ) ระนาบราบ (Horizontal Plane) เป็นระนาบราบที่สัมผัสกับพื้นระดับ และจะตั้งได้ฉากกับทิศทางของแรงดึงดูดของโลก ซึ่งเราถือว่าเป็นแนวดิ่ง (Plumb Line)

ฉ) แนวราบหรือเส้นราบ (Horizontal Line) เป็นเส้นใด ๆ ที่อยู่ในระนาบราบ และจะเป็นเส้นที่สัมผัสกับเส้นระดับ (Level Line) เส้นนี้จะเป็นแนวตรง

ช) แนวดิ่งหรือเส้นดิ่ง (Vertical Line) เป็นเส้นดิ่งที่จุดใด ๆ จะเป็นเส้นปกติของเส้นระดับ และจะตั้งได้ฉากกับแนวราบ เส้นดิ่งเป็นแนวทิศทางการดึงดูดของโลก เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Plumb Line คือแนวของลูกดิ่งนั่นเอง

ฌ) ระนาบดิ่ง (Vertical Plane) เป็นระนาบที่บรรจุแนวดิ่งที่อยู่ในระนาบเดียวกัน

ญ) เส้นพื้นฐานการระดับ (Datum Line) เป็นแนวเส้นที่อยู่ในพื้นหลักฐานการระดับ ถ้าเป็นระนาบของพื้นฐานการระดับเราเรียกว่า Datum Surface

ฎ) มุมสูง (Vertical Angle) เป็นง่ามมุมที่เกิดขึ้นระหว่างระนาบราบและระนาบเอียงตัดกัน มุมสูงจะนำไปคำนวณหาค่าระดับ

2.2.2 การหาค่าความสูงต่างระดับ (Difference in Elevation) กระทำได้คือ

ก) Direct Method หรือ Spirit Leveling หมายถึง การรังวัดระดับโดยตรงในทางดิ่ง วิธีนี้จะใช้กล้องระดับ อ่านค่าความต่างระดับโดยตรง เป็นวิธีที่ให้ความละเอียดมากกว่าทุกวิธี

ข) Indirect Method เป็นวิธีการหาค่าความต่างระดับในทางอ้อม โดยอาศัยหลักการของวิชาตรีโกณ ซึ่งจะใช้กล้อง Theodolite วัดมุมสูง และวัดระยะราบด้วยเทปวัดระยะ เราเรียกว่า Trigonometric Leveling

ค) Barometric Leveling วิธีนี้ใช้หลักการของความกดของอากาศ ซึ่งแตกต่างกันระหว่างจุดสองจุด ซึ่งจากการใช้ Barometer จะทำให้ทราบความสูงจากระดับทะเลได้

2.2.3 ลักษณะของแกนกล้อง

ก) แนวเล็ง (Line of Sight หรือ Line of Collimation) คือเส้นที่ผ่านจุดตัดของสายใยและจุดศูนย์ Optic ของเลนซ์ Objective

ข) แกนกล้อง (Axis of the Telescope) คือแนวที่ผ่านจุดศูนย์ Optic ของเลนซ์ Objective และเลนซ์ Eyepiece

ค) แกนหลอดระดับ (Axis of the Level Tube หรือ Bubble Tube) คือแนวเส้นตรงที่สัมผัสกับจุดที่สูงสุดของส่วนโค้งของหลอดระดับ แกนนี้จะอยู่ในแนวระดับ เมื่อฟองระดับอยู่กึ่งกลางพอดี

ง) แกนดิ่ง (Vertical Axis) แกนดิ่งของกล้องคือแกนที่ผ่านแกนหมุนของกล้อง (Axis of Rotation)

2.2.4 ลักษณะอันพึงประสงค์ของกล้องระดับ

ก) แนวเล็งและแกนกล้องจะต้องเป็นอันหนึ่งอันเดียวกัน

ข) แกนกล้องต้องตั้งได้ฉากกับแกนดิ่ง

ค) แกนกล้องต้องขนานกับแกนหลอดระดับ

ง) แกนหลอดระดับจะต้องอยู่ในแนวราบ (Horizontal Line)

2.2.5 เครื่องมือ (Instrument)

ก) กล้องระดับเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาค่าความสูงต่างของจุดต่างๆที่เราต้องการทราบและสามารถที่จะนำไปคำนวณหาค่าระดับของจุดนั้นจากระดับทะเลปานกลาง (ร.ท.ก. หรือ Mean Sea Level = MSL) กล้องระดับมีหลายชนิดและหลายลักษณะ ซึ่งเมื่อมีการกำหนดข้อกำหนดของงานระดับขึ้นใหม่ ทำให้บริษัทผู้ผลิตผลิตกล้องขึ้นมาเพื่อให้เหมาะกับงานชนิดนั้น ทั้งนี้เพื่อให้ผลงานออกมาดีและประหยัด เพราะฉะนั้นผู้ใช้จะต้องใช้กล้องให้ถูกกับงาน ซึ่งจะทำให้ความผิดที่เกิดขึ้นอยู่ใต้ข้อกำหนด ซึ่งข้อกำหนดนี้จะกำหนดชนิดของกล้องและ Staff ให้เหมาะสมกับงานชั้นนั้น และระยะการส่อง Staff

ข) ไม้เล็งระดับ (Staff) มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Rod บริษัทผู้ผลิตจะผลิตขึ้นตามลักษณะของงานต่าง ๆ และตามมาตรการวัดระยะ เช่น เป็นฟุตและเป็นเมตร แนวโน้มของกล้องส่วนใหญ่จะเป็นกล้องหัวตรง เนื่องจากได้มีการคิดระบบ Prism กลับภาพเป็นหัวตรงได้ เพราะถ้าใช้ Lens เป็นตัวกลับภาพจะได้ภาพเสมือน ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดได้ Staff จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- ชนิดธรรมดา ซึ่งทำด้วยไม้ยาว 3-4 เมตร จะแบ่งออกเป็น Staff ที่ใช้ในงาน Topographic Map และ Staff ที่ใช้กับงานวัดระยะด้วยกล้อง เรียกว่า Tacheometric Staff
- Invar Staff หมายถึง Staff ที่ทำด้วยโลหะอินวาร์ ซึ่งมีการขยายตัวน้อยที่สุด ประมาณ 1.3 micron ต่อเมตร ต่อ 1 $^{\circ}$C ลักษณะของ Staff ชนิดนี้ก็คือ ตรงกลางจะเป็นแผ่นโลหะอินวาร์ ซึ่งมีสกรูปรับแก้ความตึงให้ได้มาตรฐาน ตัวเลขทั้งสองข้างเป็นตัวเลขที่มีหน่วยเป็นเซนติเมตร หรือเป็นเมตรก็แล้วแต่ชนิดของ Staff สำหรับของ WILD มีหน่วยเป็นเซนติเมตร จะบอกทีละ 2 เซนติเมตร ผลต่างของตัวเลขทางซ้ายและทางขวามือเท่ากับ 301.55 เซนติเมตร

2.2.6 ข้อกำหนดในการทำระดับของอเมริกา เนื่องจากปัจจุบันนี้ได้มีการกำหนดความผิดที่ยอมให้ และข้อกำหนดในการปฏิบัติงานการถ่ายระดับใหม่โดยหน่วยงานในสหรัฐ คือ Federal Geodetic Committee (FGCC) ซึ่งเป็นผู้กำหนดข้อกำหนดต่างๆ ต่อมาได้ให้องค์การต่าง ๆ เป็นผู้พิจารณาคือ American Society of Civil Engineers, American Congress on Surveying and Mapping และ American Geophysical Union ซึ่งได้กำหนดขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1974 ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยได้ใช้ตามข้อกำหนดใหม่นี้ เช่น กรมแผนที่ทหาร เป็นการกำหนดข้อกำหนดครั้งที่ 3 ครั้งแรกในปี ค.ศ.1933 ครั้งที่สองในปี 1958

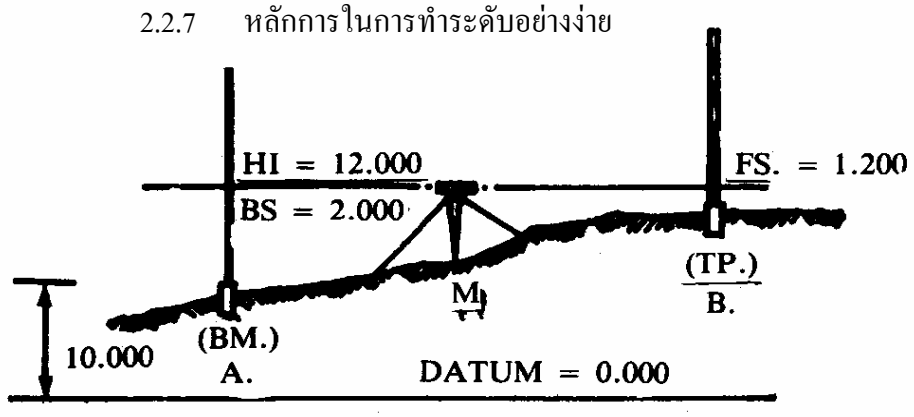
ตารางที่ 2 ข้อกำหนดของงานระดับปี 1974

Classification	งานชั้นที่1 (First Order)	งานชั้นที่สอง (Second Order)		งานชั้นที่3 (Third Order)
	Class I Class II	Class I	Class II	
1. หลักการใช้ มาตรฐานขั้นต่ำ ; ความละเอียดมากอาจจะใช้กับงานสำรวจที่มีวัตถุประสงค์พิเศษ	-ใช้ทำโครงข่ายระดับของงานระดับชาติและพื้นที่ในเมือง -การหา Geopotential values -การสำรวจการทรุดตัวของพื้นที่โครงการงานวิศวกรรมที่สำคัญ	-ใช้ทำหมุดบังคับทางดิ่ง ชั้นสองของประเทศ และพื้นที่ในเมือง -โครงการวิศวกรรมขนาดใหญ่ตลอดจนสำรวจการทรุดตัว	-ใช้กับงานวิศวกรรมในท้องถิ่น -งานทำแผนที่ภูมิประเทศ และเพื่อใช้ทำงานชั้น 3 การปรับจะต้องปรับเข้ากับโครงข่ายของประเทศ	-ใช้ในงานเฉพาะท้องถิ่นอาจจะไม่ปรับเข้าโครงข่ายของประเทศ -ใช้ในงานวิศวกรรมขนาดเล็ก ทำแผนที่ภูมิประเทศที่ใช้มาตราส่วนเล็ก การศึกษาการระบายน้ำ
2. ความยาวของสายการระดับ -โครงข่ายทั่วประเทศ -การทำหมุดบังคับในเมือง	Net A : 100-300 กม. Class I. Net B : 50-100 กม. Class II. 2-8 กม.	0.5-1 กม.	ตามต้องการ	ตามต้องการ
3. ระยะของหมุด BM	1-3 กม.	1-3 กม.	ไม่เกิน 3 กม.	ไม่เกิน 3 กม.
4. Gravity Requirement	0.2×10^{-3} gpu	-	-	-
5. มาตรฐานของเครื่องมือ	Automatic หรือ Tilting Level ประกอบParallel Plate Micrometers, และ Invar staff	Automaticหรือ Tilting Level ประกอบOptical micrometer หรือทำระดับ 3สายใย ประกอบกับ Invar staff	Geodetic Level และ Invar staff	Geodetic level และ Staff ธรรมดา

6. วิธีการปฏิบัติในสนาม	ถ่ายแบบไปกลับ (Double Run) ในแต่ละตอนการระดับ (Section)	ถ่ายแบบไปกลับในแต่ละตอนการระดับ	ถ่ายแบบไปกลับหรือเฉพาะไป (Single Run)	ถ่ายแบบไปกลับหรือเฉพาะไป (Single Run)
- ความยาวของตอนการระดับ	1-2 กม.	1-2 กม.	1-3 กม. สำหรับถ่ายไปกลับ	1-3 กม. สำหรับถ่ายไปกลับ
- ระยะจากกล้องไปยัง staff	class I 50 ม. class II 60 ม.	60 ม.	70 ม.	90 ม.
- ความแตกต่างของระยะทาง BS และ FS				
- ในการตั้งกล้องแต่ละครั้ง	class I 2 ม. class II 5 ม.	5 ม.	10 ม.	10 ม.
- ในแต่ละตอนการระดับ	class I 4 ม. class II 10 ม.	10 ม.	10 ม.	10 ม.
7. ความยาวของสายการระดับที่ยอมให้ระหว่างหมุดเข้าบรรจบ	Net A 300 กม. Net B 100 กม.	50 ม.	-50 กม. ถ่าย ไปกลับ -25 กม. เฉพาะถ่ายไป	-25 กม. ถ่าย-ไปกลับ -10 กม. เฉพาะถ่ายไป
8. ความผิดพลาดในการเข้าบรรจบ				
- ตอนการระดับ ระหว่างถ่ายไป-ถ่ายกลับ	class I 3 มม$\sqrt{K}$ class II 4 มม$\sqrt{K}$	6 มม$\sqrt{K}$	8 มม$\sqrt{K}$	12 มม$\sqrt{K}$.
- สายการระดับหรือวงรอบปิด	class I 4 มม$\sqrt{K}$ class II 5 มม$\sqrt{K}$	6 มม$\sqrt{K}$	8 มม$\sqrt{K}$	12 มม$\sqrt{K}$.

หมายเหตุ K มีหน่วยเป็นกม.

2.2.7 หลักการในการทำระดับอย่างง่าย



ภาพที่ 21 แสดงการทำระดับด้วยกล้องระดับ

ในรูปถ้าเราต้องการทราบค่าความต่างระดับระหว่างจุด 2 จุด คือจุด A และจุด B สามารถกระทำได้โดยการตั้งกล้องที่หมุด M และตั้ง Staff ที่จุด A และ B ตั้งระดับกล้องปรับภาพ Staff สายใยให้ชัดเจน อ่านค่า Staff ที่ A ก่อน ซึ่งเราเรียกว่า ค่า BS หรือค่า Back Sight ในที่นี้ได้เท่ากับ 2.000 แล้วส่อง FS หรือ Fore Sight ในที่นี้ได้ค่าเท่ากับ 1.200

$\therefore$ ค่าต่างระดับ AB = BS – FS

= 2.000 – 1.200

= + 0.800

ถ้าต้องการทราบค่า Elevation ของจุด B จากระดับน้ำทะเลก็จะสามารถหาได้ดังนี้

HI = ค่าระดับ BM + BS

= 10 + 2.000

= 12.000

$\therefore$ ค่าระดับของจุด B = HI – FS

= 12.000 – 1.200

= 10.800 ม.

$\therefore$ สรุป Elevation B = BM + (BS – FS)

หรือ Elevation B = HI – FS

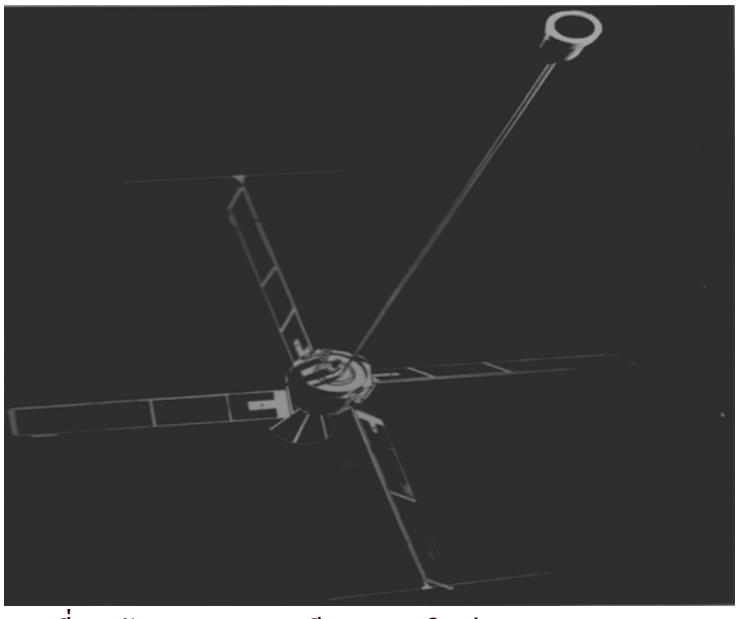
บทที่ 4
การกำหนดตำแหน่งด้วยวิธีดอปเปลอร์

ระบบดาวเทียมทรานสิทเกิดขึ้นเนื่องมาจาก Drs. William H. Guier กับ George C. Weiffenbach ซึ่งทำงาน ณ สถาบันวิจัยฟิสิกส์ประยุกต์ แห่งมหาวิทยาลัย Johns Hopkins ได้สังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของความถี่ (Doppler Frequency Shift) ของสัญญาณวิทยุที่รับได้จากดาวเทียมรัสเซีย ชื่อ Sputnik I จึงได้พัฒนาวิธีการคำนวณหาวงโคจรทั้งหมดของดาวเทียมเองโดยการรังวัดค่าดอปเปลอร์จากสัญญาณดาวเทียม ที่สถานีรังวัดติดตามภาคพื้นรับได้ จากความสำเร็จนี้ Drs.Frank T. McClure และ Richard B. Kershner ซึ่งทำงานที่เดียวกันได้กล่าวว่าในทางกลับกันเราสามารถคำนวณหาตำแหน่งบนพื้นดินได้โดยการรังวัดดอปเปลอร์ที่ส่งมาจากดาวเทียม ซึ่งเราทราบวงโคจรที่แน่นอนแล้ว (Stansell 1978 :1)

และต่อมาเนื่องจากความต้องการของเรือดำน้ำ Polaris ของสหรัฐอเมริกาที่ต้องการทราบตำแหน่งที่ถูกต้องของตนเองในการเดินเรือ ระบบดาวเทียมทรานสิตจึงได้รับทุนในการพัฒนาและวิจัย ในเดือนธันวาคม 2501 ภายใต้การนำของ Drs. Kershner ซึ่งภารกิจคือ พัฒนาระบบดาวเทียมที่เหมาะสมและศึกษาแรงโน้มถ่วงของพิภพ เพื่อที่จะหาวงโคจรสำหรับดาวเทียมและทำการพัฒนาเครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียมเพื่อใช้ในการเดินเรือ และอีก 6 ปีต่อมาคือ ในเดือนมกราคม พ.ศ.2507 ระบบดาวเทียมทรานสิต ก็ได้เริ่มปฏิบัติงานและได้ถูกนำมาใช้ในทางการค้าเมื่อเดือน กรกฎาคม พ.ศ.2510 และตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา ระบบดาวเทียมทรานสิตก็ได้ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง รวมทั้งในประเทศไทยได้ใช้วิธีการดอปเปลอร์ในการสำรวจหาค่าพิกัดในงานต่างๆ เช่น การหาค่าพิกัดแปลงหลุมน้ำมันในทะเล และการวางแนวท่อแก๊สจากอ่าวไทย ซึ่งไม่สามารถใช้วิธีการสำรวจธรรมดาได้

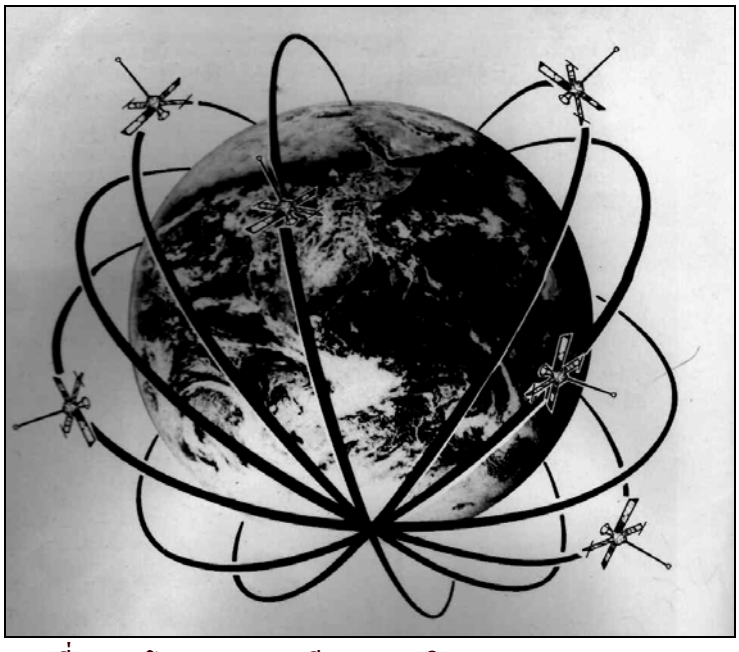
1. ระบบดาวเทียมทรานสิท

ระบบดาวเทียมทรานสิทได้เริ่มปฏิบัติการเมื่อปี พ.ศ.2507 โดยดาวเทียมทรานสิทในรุ่นแรกเรียกว่า Oscar มีลักษณะดังภาพที่ 22 จะมีแผงปีก 4 อัน สำหรับรับพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อชาร์ตแบตเตอรี่ภายในดาวเทียม และจะทำการส่งสัญญาณมายังโลกด้วยเสาอากาศแบบ Lamp Shade ซึ่งจะห้อยลงมายังโลกเสมอ



ภาพที่ 22 ลักษณะของดาวเทียมทรานสิต รุ่น Oscar

ดาวเทียมทรานสิท จะมีวงโคจรผ่านขั้วโลกเหนือ-ขั้วโลกใต้เสมอ (Polar Orbit) เป็นรูปรังนก ดังภาพที่ 23 ด้วยความสูงประมาณ 1,075 กิโลเมตร โดยโคจรรอบโลก 1 รอบ จะใช้เวลา 107 นาที (Anonymous 1984:1)



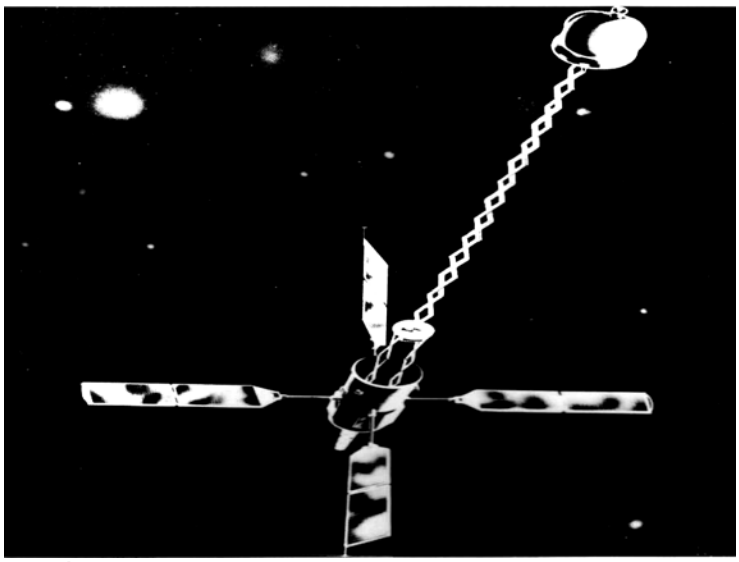
ภาพที่ 23 วงโคจรของดาวเทียมทรานสิท

ดาวเทียมทรานสิทถูกควบคุมโดย Navy Astronautics Group Headquartered ที่ Point Mugu, California ซึ่งมีสถานีรังวัดติดตามอยู่ที่ Prospect รัฐ Maine, Rosemount รัฐ Minnesota และที่ Wahiawa รัฐ Hawaii

ทุกครั้งที่ดาวเทียมทรานสิตโคจรผ่านสถานีรังวัดติดตามภาคพื้น สถานีรังวัดติดตามจะได้รับสัญญาณความถี่ 150 และ 400 เมกกะเฮิรตซ์ ที่ดาวเทียมส่งลงมา และสถานีติดตามดาวเทียมจะทำการรังวัดการเปลี่ยนไปของความถี่อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของดาวเทียม และทำการบันทึกความถี่เหล่านี้เอาไว้ในฟังก์ชั่นของเวลา ข้อมูลนี้จะถูกส่งไปคำนวณที่ Point Mugu ซึ่งเป็นที่ใช้คำนวณหาวงโคจรของดาวเทียมแต่ละดวง รวมทั้งพยากรณ์วงโคจรล่วงหน้าได้อีกด้วย

ที่ศูนย์คำนวณจะทำการรวบรวมข้อมูลวงโคจร เพื่อที่จะส่งไปยังสถานีส่งข้อมูลไปยังดาวเทียมที่ Point Mugu หรือที่ Rosemount ซึ่งสถานีเหล่านี้สถานีใดสถานีหนึ่งจะทำการส่งข้อมูลไปยังดาวเทียม โดยที่ดาวเทียมแต่ละดวงจะได้รับข้อมูลใหม่ทุก 12 ชั่วโมง ถึงแม้ว่าตัวดาวเทียมจะมีความสามารถในการจำถึง 16 ชั่วโมงก็ตาม

ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ประยุกต์ (APL) ได้ทำการพัฒนาดาวเทียมทรานสิตรุ่นใหม่ภายใต้โครงการ TIP (Transit Improvement Program) และได้ทำการส่งดาวเทียมทดลองขึ้นไป 2 ชนิด เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้น และทางกองทัพเรือได้ตัดสินใจเลือกดาวเทียมทรานสิตรุ่นใหม่โดยให้ชื่อว่า Nova มีลักษณะดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 ลักษณะของดาวเทียมทรานสิต รุ่น Nova

ดาวเทียมทรานสิท รุ่น Nova จะทำการส่งข้อมูลสัญญาณเหมือนรุ่น Oscar ดังนั้น สำหรับผู้ใช้เครื่องรับสัญญาณภาคพื้น จึงไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงเครื่องรับสัญญาณเลย เพียง แต่ดาวเทียมทรานสิท รุ่น Nova จะมีคุณลักษณะพิเศษที่เพิ่มขึ้นจากรุ่น Oscar ดังนี้คือ

ดาวเทียมทรานสิท รุ่น Nova มีระบบขจัดความคลาดเคลื่อนของวงโคจรอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ ซึ่งเป็นผลให้วงโคจรมีความถูกต้องนานเป็นสัปดาห์ แทนที่จะเพียงแค่ 24 ชั่วโมงอย่างรุ่น Oscar ทำให้การนำข้อมูลจากดาวเทียมรุ่น Nova มาคำนวณได้รวดเร็วขึ้น และถูกต้องยิ่งขึ้น

ดาวเทียม Nova จะถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์บนดาวเทียมเอง ซึ่งสามารถตั้งโปรแกรมจากสถานีภาคพื้น และการขยายความสามารถในการจำของคอมพิวเตอร์ ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถพยากรณ์วงโคจรของตนเองได้ล่วงหน้าถึง 10 วัน โดยไม่ต้องการข้อมูลจากภาคพื้นดิน

ดาวเทียม Nova จะมีข้อมูลแบบใหม่ซึ่งเครื่องรับสัญญาณปัจจุบันสามารถรับได้แต่ข้อมูลนี้ยังไม่ได้ประกาศให้รู้กัน และข้อมูลนี้จะให้ความละเอียดถูกต้องมากยิ่งขึ้นเกี่ยวกับวงโคจรของดาวเทียม

ระดับสัญญาณจากดาวเทียม Nova จะมีความแรงเพิ่มขึ้นประมาณ 2 เท่า คือ เป็น 3 dB และการส่งสัญญาณจะกระทำโดยเสาอากาศด้านซ้าย ซึ่งจะส่งความถี่ 2 ความถี่ คือ 150 และ 400 เมกกะเฮิทซ์ไปพร้อมๆ กัน ถ้าเป็น Oscar จะส่งความถึง 150 และ 400 เมกกะเฮิทส์ ด้วยเสาอากาศซ้ายและขวา ตามลำดับ

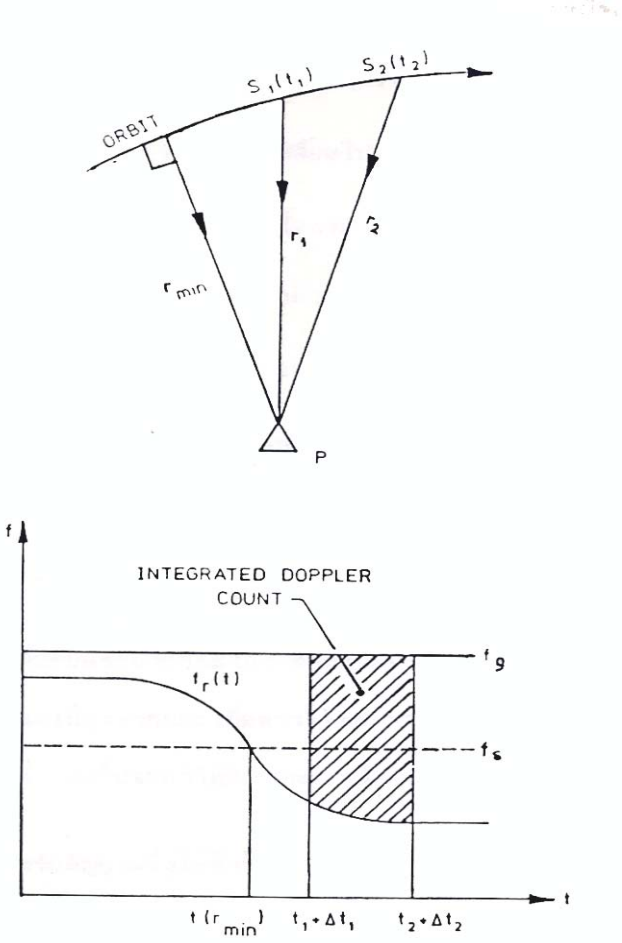
การควบคุมนาฬิกาที่ละเอียดขึ้นโดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการแกว่งไกว ซึ่งจะละเอียดถึง 1×10^{-12} วินาที

การส่งข้อมูลเวลาที่ละเอียดถูกต้องจะส่งไปพร้อมกับคลื่นสัญญาณความถี่สูง ซึ่งจะผสมไปกับความถี่ 150 และ 400 เมกกะเฮิทซ์ จะให้ประโยชน์ที่ได้รับคือสามารถส่งสัญญาณ โดยเสาอากาศเพียงอันเดียวสามารถหาค่าแก้การหักเหของคลื่นความถี่ โดยการอาศัยสัดส่วนความต่างการสูญเสียเวลาของทั้งหมดกับสัดส่วนของคลื่นความถี่ทั้งสอง และประโยชน์ข้อสุดท้ายคือทำให้เครื่องรับสัญญาณภาคพื้นสามารถตัดสัญญาณแทรกจากดาวเทียมดวงอื่นได้

อย่างไรก็ตาม ระบบดาวเทียมทรานสิทได้ถูกใช้จนกระทั่งปี 2536 หลังจากนั้นได้มีการนำเอา ดาวเทียมระบบ GPS (Global Positioning System) เข้ามาทดแทน

2. สูตรพื้นฐานในการรวมจำนวนคลื่นสัญญาณดาวเทียม

การรังวัดระยะทางระหว่างดาวเทียมกับสถานีที่ทำการรังวัดนั้นสามารถกระทำได้โดยการวัดระยะต่างของระยะทาง ขณะเมื่อดาวเทียมเคลื่อนที่ไปแต่จุดที่ทำการรังวัดอยู่กับที่ ซึ่งความถี่ที่เปลี่ยนไปจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างจุดทั้งสองที่เปลี่ยนไปตามเวลาโดยดาวเทียมจะทำการส่งข้อมูลให้สถานีภาคพื้นดินอย่างต่อเนื่องโดยแบ่งเป็นช่วงละ 2 นาที และจะเริ่มส่งและสิ้นสุดการส่งสัญญาณทุก 2 นาที ซึ่งข้อมูลที่ส่งทั้งหมดประกอบด้วยตำแหน่งของดาวเทียม เวลาทุก 2 นาที และความถี่ 2 ช่วง คือ 399.968 และ 149.988 เมกกะเฮิทซ์ เครื่องมือรับสัญญาณภาคพื้นดินจะทำการนับจำนวนคลื่นที่ส่งลงมาในรูปของความต่างระหว่างความถี่ที่ส่งลงมากับความถี่ที่ตั้งไว้ในเครื่องรับสัญญาณ คือ 400 และ 150 เมกกะเฮิทซ์ ซึ่งจะต่างกันประมาณ 32 และ 12 กิโลเฮิทซ์ ตามลำดับ ในการนับจะทำการรวมความต่างความถี่ต่อหน่วยเวลา ตามข้อมูลที่ส่งมาทุก 2 นาที ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 แสดงการรวมจำนวนต่างความถี่

P : ตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณบนโลก

S_1 : ตำแหน่งของดาวเทียมครั้งแรกขณะเมื่อเวลา t_1

S_2 : ตำแหน่งของดาวเทียมครั้งที่สองขณะเมื่อเวลา t_2

r_1, r_2 : ระยะจาก S_1 และ S_2 ถึง P

$\Delta t_1, \Delta t_2$: เวลาของสัญญาณที่สูญเสียไปนับจากเมื่อส่งจากดาวเทียมถึง P

f_S : ความถี่ที่ส่งจากดาวเทียม คือ 399.968 เมกกะเฮิทซ์

f_r : ความถี่ที่เปลี่ยนไปที่เครื่องรับสัญญาณรับได้

f_g : ความถี่เครื่องรับสัญญาณที่ตั้งไว้ คือ 400 เมกกะเฮิทซ์

f_d : จำนวนต่างความถี่ที่รับได้กับความถี่ของดาวเทียม ($f_r - f_s$)

$f_g - f_r$: จำนวนต่างความถี่ที่รับได้กับความถี่เครื่องรับสัญญาณ

c : ความเร็วของการแผ่กระจายของคลื่นไมโครเวฟในสูญญากาศ

N : ผลรวมค่าดอปเปลอร์

จากภาพที่ 25 ดาวเทียมได้ทำการปล่อยสัญญาณคงที่ คือ f_s ขณะเมื่อเวลา t_1 และ t_2 โดยส่งผ่านชั้นบรรยากาศมาถึงเครื่องรับสัญญาณภาคพื้นดิน เมื่อเวลา $t_1 + \Delta t_1$ และ $t_2 + \Delta t_2$ แต่เนื่องจากขณะเมื่อดาวเทียมทำการส่งสัญญาณจะเคลื่อนที่ไปด้วย แต่จุดที่รับสัญญาณจะอยู่กับที่ ดังนั้นจะทำให้สัญญาณนี้เปลี่ยนไปอย่างต่อเนื่อง คือ f_r

เครื่องรับสัญญาณซึ่งได้ตั้งความถี่มาตรฐานไว้คือ f_g จะทำการนับจำนวนคลื่นในช่วงเวลา $t_1 + \Delta t_1$ ถึง $t_2 + \Delta t_2$ ในเทอมของ $f_g - f_r$ ซึ่งก็คือความต่างของความถี่ที่เครื่องรับสัญญาณตั้งไว้กับความถี่ของดาวเทียมที่เปลี่ยนไป ซึ่งก็คือค่า N ดังสมการต่อไปนี้

$$N = \int_{t_1 + \Delta t_1}^{t_2 + \Delta t_2} (f_g - f_r)\, dt \qquad (1)$$

ซึ่งสามารถจัดได้เป็น

$$N = f_g (t_2 - t_1) + f_g (\Delta t_2 - \Delta t_1) - \int_{t_1 + \Delta t_1}^{t_2 + \Delta t_2} f_r\, dt \qquad (2)$$

แต่จำนวนคลื่นซึ่งรับได้ระหว่างเวลา $t_1 + \Delta t_1$ ถึง $t_2 + \Delta t_2$ จะต้องเท่ากับจำนวนคลื่นที่ส่งออกมาเมื่อเวลา t_1 ถึง t_2 ดังนั้น

$$\int_{t_2+\Delta t_2}^{t_1+\Delta t_1} f_r\,dt = \int_{t_2}^{t_1} f_s\,dt = f_s\,(t_2 - t_1) \quad (3)$$

แทนค่าสมการ (3) ลงใน (2) จะได้ว่า

$$N = f_g\,(t_2 - t_1) + f_g\,(\Delta t_2 - \Delta t_1) - f_s\,(t_2 - t_1) \quad (4)$$

หรือ

$$N = (f_g - f_s)\,(t_2 - t_1) + f_g\,(\Delta t_2 - \Delta t_1) \quad (5)$$

แต่

$$\Delta t_2 - \Delta t_1 = \frac{r_2}{c} - \frac{r_1}{c} = \frac{r_2 - r_1}{c} \quad (6)$$

ดังนั้น

$$N = (f_g - f_s)\,(t_2 - t_1) + f_g\,\{(r_2 - r_1)/c\} \quad (7)$$

สมการ (7) นี้จะเป็นสูตรในการรวมจำนวนต่างความถี่สำหรับเครื่องรับสัญญาณที่ไม่มีตัวรักษาเวลาเป็นของตัวเอง จะใช้สัญญาณเวลาจากดาวเทียมเป็นจุดเริ่มและสิ้นสุดการนับส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องรับสัญญาณที่ใช้ในกิจการเดินเรือ ค่าพิกัดที่ได้จะไม่ค่อยถูกต้องนัก ส่วน งานสำรวจทางยีออเดซีจะใช้เครื่องรับสัญญาณชนิดที่มีตัวรักษาเวลาของตนเองในการกำหนดจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดการนับ

2.1 ระบบเวลา

ระบบเวลาที่ใช้ในการนับรวมค่าความต่างความถี่มี 2 ระบบ คือ ระบบเวลาของดาวเทียม และระบบเวลาของเครื่องรับสัญญาณ

เวลาจากดาวเทียม การรวมความต่างความถี่จะกระทำในช่วงเวลา $t_2 - t_1$ เมื่อ t_2 และ t_1 จะอ้างอิงถึงตำแหน่งของดาวเทียมที่ S_2 และ S_1 สำหรับดาวเทียมเพื่อการเดินเรือนั้นจะส่งสัญญาณเวลาทุก 2 นาทีของเวลามาตรฐานที่กรีนิช ซึ่งเครื่องรับสัญญาณสามารถรับรู้ได้ จากข้อมูลที่ส่งลงมาช่วงละ 2 นาที จะประกอบด้วยสัญญาณ 25 ช่วงๆ ละ 4.601016 วินาที และช่วงที่ 26 นาน 4.974603 วินาที รวมเป็นสัญญาณข้อมูลทั้งหมด 2 นาที หรือ 6103 บิท โดย 25 ช่วงแรก ช่วงละ 234 บิท กับช่วงสุดท้าย 253 บิท

โดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะใช้สัญญาณเวลาที่ส่งลงมาทุกนาทีพร้อมกับข้อมูลในช่วงเวลา 2 นาทีนั้น เป็นจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดการนับ

เวลาจากเครื่องรับสัญญาณ ในกรณีนี้สำหรับเครื่อง JMR ได้กำหนดคาบเวลาโดยใช้ตัวแกว่งไกวของเครื่องเอง โดยกำหนดให้คาบเวลาของ 1 บิท เท่ากับ

$$7{,}865{,}000/f_g \qquad (8)$$

เมื่อ f_g เป็นความถี่ของตัวแกว่งไกว คือ 400 เมกกะเฮิทซ์ และจำนวนจากสัญญาณดาวเทียมทั้งหมดคือ 6103 บิท ไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นคาบเวลา 4.6 วินาทีของเครื่องรับสัญญาณจะเท่ากับ

$$234\,(7{,}865{,}000) / 400{,}000{,}000 = 4.601025 \text{ วินาที} \qquad (9)$$

จากสมการ (1) การรวมความต่างความถี่จะทำในช่วงเวลา คือ

$$\begin{aligned} \tau_2 - \tau_1 &= (t_2 + \Delta t_2) - (t_1 + \Delta t_1) \\ &= (t_2 - t_1) + (\Delta t_2 - \Delta t_1) \end{aligned} \qquad (10)$$

เมื่อ $t_2 - t_1$ อ้างอิงถึงคาบเวลา 4.601016 วินาที ของสัญญาณเวลาดาวเทียม อย่างไรก็ตาม ความถูกต้องของสัญญาณเวลาจากดาวเทียมไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของตัวแกว่งไกวภายในดาวเทียมเท่านั้น (ซึ่งความถี่เท่ากับ 399.968 เมกกะเฮิทซ์ หรืออาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับสัญญาณดาวเทียมที่ส่งลงมา) แต่ยังขึ้นอยู่กับการเดินทางของคลื่นสัญญาณผ่านชั้นบรรยากาศของโลกด้วย ถึงแม้จะแก้ค่านี้ไปแล้วก็ตามยังมีความคลาดเคลื่อนอื่นอยู่อีกคือ

ความไม่คงที่ของช่วงเวลาจากดาวเทียมที่รับได้ ณ เสาอากาศอันเนื่องมาจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ

ความไม่คงที่ของช่วงเวลาจากดาวเทียมขณะเมื่อเครื่องรับสัญญาณติดตามดาวเทียมอันเนื่องมาจากการเดินของคลื่นจากเสาอากาศมายังเครื่องรับสัญญาณ

และการเสียเวลาเนื่องจากการเริ่มต้นนับและสิ้นสุดการนับจะกระทำเมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากลบเป็นบวก คือขณะเมื่อศูนย์เท่านั้น และเวลาที่เสียนี้จะไม่เท่ากัน

เพื่อขจัดปัญหาเหล่านี้เครื่องรับสัญญาณจากดาวเทียมชนิดที่ใช้ในการสำรวจทางยีออเดซี จึงได้ใช้ระบบเวลาของตนเองโดยใช้ตัวแกว่งไกวของเครื่องฯเอง ซึ่งตัวแกว่งไกวนี้ไม่เพียงแต่จะทำหน้าที่กำเนิดความถี่เท่านั้น ยังใช้กำหนดเวลาในการนับด้วย

ดังนั้นในกรณีที่เครื่องรับสัญญาณใช้ระบบเวลาของตนเอง สูตรในการรวมค่าความต่างความถี่จึงเปลี่ยนดังนี้

กำหนดให้ $(\tau_2 - \tau_1)$เป็นคาบเวลาในการนับของระบบเวลาจากเครื่องรับสัญญาณอ้างอิงกับ 4.601025 วินาที ในสูตร (9) จะได้ว่า

$$N = \int_{\tau_1}^{\tau_2} (f_g - f_r)\,dt \qquad (11)$$

เมื่อ

$$\tau_2 - \tau_1 = (t_2 - t_1) + (\Delta t_2 - \Delta t_1)$$

เนื่องจาก

$$t_2 - t_1 = 4.601016$$

แต่

$$t_2 = \tau_2 - \Delta t_2 \qquad (12)$$

และ

$$t_1 = \tau_1 - \Delta t_1$$

ดังนั้น

$$N = \int_{t_1+\Delta t_1}^{t_2+\Delta t_2} \{ (f_g - f_s) - (f_r - f_s) \}\,dt$$

$$= (f_g - f_s)(\tau_2 - \tau_1) - \int_{t_1+\Delta t_1}^{t_2+\Delta t_2} (f_r - f_s)\,dt \qquad (13)$$

จาก (3) จะทำให้

$$N = (f_g - f_s)(\tau_2 - \tau_1) - \{ f_s(t_2 - t_1) - f_s [(t_2 + \Delta t_2) - (t_1 + \Delta t_1)] \}$$

$$= (f_g - f_s)(\tau_2 - \tau_1) + f_s(\Delta t_2 - \Delta t_1) \qquad (14)$$

ใช้สมการ

$$N = (f_g - f_s)(\tau_2 - \tau_1) + f_s\{(r_2 - r_1)/c\} \qquad (15)$$

สรุป $(\tau_2 - \tau_1)$ คือ ช่วงเวลานับความต่างความถี่กำหนดขึ้นโดยใช้สมการ (8) และ (9) สำหรับเครื่องรับสัญญาณที่ใช้ระบบเวลาของตนเอง โดยการเริ่มต้นนับครั้งแรกจะเกิดขึ้นโดยใช้สัญญาณเวลาจากดาวเทียมจนตลอดวงโคจรนั้น ส่วนในครั้งต่อๆ ไป จะเริ่มนับโดยใช้เวลาจากตัวแกว่งไกวของเครื่องเอง

จากสมการพื้นฐานในการรวมความต่างช่วงคลื่นสมการ (7) และ (15) นั้น (Ashkenazi และ Rough, 1977) ค่า N คือค่าที่รังวัดได้จากเครื่องรับสัญญาณ, $f_g - f_s$ จะเป็นค่าคงที่คือ 32 กิโลเฮิทซ์, ค่า c คือค่าความเร็วของแสง, $t_2 - t_1$ คือเวลาที่ได้จากข้อมูลที่ส่งมาจากดาวเทียมมีค่า 2 นาที และ $(r_2 - r_1)$ คือค่าความต่างระยะทางซึ่งไม่ทราบค่า

ค่า $(r_2 - r_1)$ ที่ได้จาก (7) และ (15) จะนำไปคำนวณในสมการสังเกตระยะต่าง (Range Rate Observation Equations) ซึ่งจะสัมพันธ์กับพิกัดของดาวเทียมกับพิกัดของจุดศูนย์กลางที่ตั้งเสาอากาศรับสัญญาณ โดยเราสามารถทราบค่าพิกัดของดาวเทียมได้จากข้อมูลที่ส่งลงมาจากดาวเทียม ส่วนพิกัดของจุดที่ตั้งเสาอากาศนั้นเป็นพิกัดประมาณที่ทราบใส่เข้าไปในเครื่องสัญญาณ หาได้โดยการอ่านจากแผนที่หรือจากการรังวัดทางดาราศาสตร์ได้ ซึ่งจะกล่าวต่อไป แต่ค่า $(r_2 - r_1)$ ที่คำนวณจาก (7) และ (15) นั้น ค่า N จะต้องแก้ด้วยการหักเหของคลื่นในอากาศ (Refractions) เสียก่อน เนื่องจากขณะเมื่อช่วงคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกจะถูกบีบให้สั้นเข้า ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ซึ่งมีอยู่สองขั้นตอนคือ ค่าตัวแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric Correction) และค่าตัวแก้ชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ (Tropospheric Correction)

2.2 ค่าตัวแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อยู่สูงจากผิวโลกที่ระดับความสูง 40 ถึง 400 กิโลเมตร ประกอบด้วยประจุไฟฟ้าบวก ซึ่งเกิดจากช่วงคลื่นอุลตร้าไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ เราสามารถแสดงค่าตัวแก้ได้ในเทอมของ N_{OBS}(ค่ารังวัดจำนวนคลื่นรวม) กับ N_{VAC} (จำนวนคลื่นรวมในสูญญากาศ) ซึ่งจะต้องแทนค่าใน (7) และ (15) เพื่อหาค่า $(r_2 - r_1)$ ได้ดังนี้ (Ashkenazi และ Rough, 1977)

$$\Delta N = N_{VAC} - N_{OBS} = \frac{a_1}{f_g} + \frac{a_2}{f^2_g} + \text{.....}, \qquad (16)$$

เมื่อ f_g คือค่าความถี่คงที่ของเครื่องรับสัญญาณ และa_1 คือค่าตัวแปรอิสระของ f_g

ดังนั้นจากการรังวัดคลื่นรวมใน 2 ความถี่ คือ 400 และ 150 เมกกะเฮิทซ์ เราสามารถทำการประยุกต์ทั้ง 2 ความถี่เข้าด้วยกัน (ไม่ว่าจะโดยวิธีอิเล็คทรอนิคส์ หรือวิธีคำนวณ) สามารถจะประยุกต์ค่าตัวแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เฉพาะอนุกรมอันดับ 1 ในสมการ (16) และไม่คำนึงถึงอนุกรมอันดับต่อไป จะได้ว่า

$$N^{400}_{VAC} - N^{400}_{OBS} = \frac{a_1}{f_{400}} \qquad (17)$$

และ

$$\frac{3}{8}N_{VAC}^{400} - N_{OBS}^{150} = \frac{a_1}{f_{150}} = \frac{8}{3}\frac{a_1}{f_{400}} \quad (18)$$

เมื่อ N_{OBS}^{400} และ N_{OBS}^{150} คือ ค่ารังวัดจำนวนคลื่นรวมของ 2 ความถี่ คือ f_{400} และ f_{150} ตามลำดับ ซึ่งคือความถี่ของเครื่องรับสัญญาณ ส่วน N_{VAC}^{400} คือค่าคลื่นรวมในสูญญากาศที่ต้องการให้คูณสมการ (17) ด้วย 8/3 แล้วแทนค่าใน (18) จะได้ คือ

$$N_{VAC}^{400} = \frac{24}{55}\left(\frac{8}{3}N_{OBS}^{400} - N_{OBS}^{150}\right) \quad (19)$$

ซึ่งในเครื่องรับสัญญาณ JMR จะกำหนดให้ N_{HIGH} ก็คือ N_{OBS}^{400} และ N_{LOW} มีค่าเท่ากับ $\frac{8}{3}N_{OBS}^{150}$ (Ashkenazi และ Rough, 1977) ดังนั้นจาก (9) จะได้ว่า

$$N_{VAC} = \frac{24}{55}\left(\frac{8}{3}N_{HIGH} - \frac{3}{8}N_{LOW}\right) \quad (20)$$

หรือ

$$N_{VAC} = \frac{64}{55}N_{HIGH} - \frac{9}{55}N_{LOW} \quad (21)$$

เป็นที่ประมาณว่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการหักเหในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ หลังจากแก้ด้วยสมการ (21) แล้ว จะมีค่าเหลืออยู่น้อยกว่า 1% ของทั้งหมด โดยสามารถตัดทิ้งได้ถ้าทำการรังวัดตอนกลางคืน

2.3. ค่าตัวแก้ชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์

สำหรับค่าตัวแก้จำนวนรวมคลื่นสัญญาณดาวเทียมอันเนื่องมาจากการหักเหของช่วงคลื่นในชั้นบรรยาศโทรโปสเฟียร์จะยุ่งยากกว่าชั้นบรรยาศไอโอโนสเฟียร์

ชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์จะส่งผลกระทบต่อการเดินทางผ่านของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องมาจากองค์ประกอบของชั้นบรรยากาศ ความไม่เป็นเนื้อเดียวกันของชั้นบรรยากาศและการแผ่กระจาย ซึ่งมีวิธีคำนวณหาค่าการหักเหในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์อยู่หลายวิธี ส่วนใหญ่จะประยุกต์มาจากสูตรของ Hopfield ให้เป็นรูปแบบที่ง่ายต่อการคำนวณ

ตัวอย่างสูตรของ Hopfield คือ

$$N_{VAC} = N_{IONOS} - f_{g/c}(\Delta S_{d_2} + \Delta S_{w_2} - \Delta S_{d_1} - \Delta S_{w_1}) \quad (22)$$

เมื่อ

N_{VAC} คือ ค่า N ที่แก้ด้วยตัวแก้ชั้นบรรยากาศทั้งสองแล้ว

N_{IONOS} คือ ค่า N ที่แก้ด้วยตัวแก้ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แล้ว ได้จากสมการ (21) และ

$$\Delta S_d = k_d / \mathrm{Sin}\,(E^2 + \varphi_d^2)^{½} \quad (23)$$

$$\Delta S_w = k_w / \mathrm{Sin}\,(E^2 + \varphi_w^2)^{½} \quad (24)$$

เมื่อ

E = มุมสูง

$\varphi_d = 2.5^\circ$

$\varphi_w = 1.5^\circ$

และ

$$k_d = 77.6 \frac{P_O}{T_O} \frac{(h_d - h_O)}{5} \times 10^{-6} \text{ เมตร} \quad (25)$$

$$k_w = 77.6(4810) \frac{e}{T_O^2} \frac{(h_w - h_O)}{5} \times 10^{-6} \text{ เมตร} \quad (26)$$

เมื่อ

$$h_d = 40136 + 148.72\ (T_O - 273.16) \quad (27)$$

$$h_w = 11000 \quad (28)$$

T_O = อุณหภูมิพื้นผิวโลก

P_O = ความกดอากาศ

e = ความดันไอน้ำ

h_O = ความสูงในแนวดิ่ง

เมื่อทำการหาค่าผลรวมความต่างความถี่ที่แก้แล้วได้เรียบร้อยก็นำไปคำนวณในสมการ (7) หรือสมการ (15) เพื่อหาค่า ($r_2 - r_1$) ต่อไป แล้วนำไปแทนค่าในสมการ สังเกตระยะต่างเพื่อคำนวณหาพิกัดของจุดที่ตั้งเสาอากาศ แต่เราจะต้องทราบค่าพิกัดของดาวเทียมเสียก่อน โดยการถอดรหัสจากสัญญาณดาวเทียมที่ส่งลงมา

3. ประเภทของการกำหนดตำแหน่งด้วยวิธีดอปเปลอร์

การกำหนดตำแหน่งโดยวิธีดอปเปลอร์สามารถกระทำได้หลายวิธี และสามารถทำการจำแนกได้ 2 แบบ คือการกำหนดตำแหน่งแบบอิสระ (Absolute Positioning) และการกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) (Hoar 1982 :25)

3.1 การกำหนดตำแหน่งแบบอิสระ

เป็นวิธีการรวบรวมข้อมูลวงโคจรดาวเทียม เพื่อที่จะหาค่าพิกัดของจุดบนโลกเพียงจุดเดียว โดยอ้างอิงถึงระบบพิกัดดาวเทียมที่จุดศูนย์กลางของโลก ซึ่งค่าวงโคจรของดาวเทียมที่ใช้ในการคำนวณแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ วงโคจรที่ละเอียด (Precise Ephemeris) และวงโคจรที่รับจากสัญญาณดาวเทียม (Broadcast Ephemeris) ซึ่งจะให้ความถูกต้องที่แตกต่างกัน และระบบพิกัดอ้างอิงที่แตกต่างกัน

3.1.1 วงโคจรที่รับจากสัญญาณดาวเทียม สัญญาณที่ดาวเทียมทรานสิทแต่ละดวงทำการส่งสัญญาณลงมาจะประกอบด้วยกลุ่มของตัวเลข ซึ่งบ่งบอกถึงวงโคจรของดาวเทียม และตำแหน่งของดาวเทียมตลอดวงโคจรนั้นในแต่ละขณะเวลานั้น องค์ประกอบวงโคจรดาวเทียมที่ส่งสัญญาณลงมานั้นได้ถูกพยากรณ์ไว้ล่วงหน้าแล้ว โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการรังวัดติดตามดาวเทียมจาก 4 สถานี ซึ่งทั้ง 4 สถานีอยู่ในสหรัฐอเมริกาเอง คือ ตั้งอยู่ที่ Hawaii, California, Minnesota และ Maine ภายใต้การควบคุมของ Navy Astronautics Group (NAG) ซึ่งมีหน้าที่รับผิดชอบระบบดาวเทียมทรานสิท สถานีทั้ง4เมื่อทำการรับสัญญาณจากดาวเทียมแล้วจะทำการส่งสัญญาณไปยังศูนย์คำนวณ ซึ่งตั้งอยู่ที่ Point Mugu, California วงโคจรของดาวเทียมจะได้รับการคำนวณใหม่ทุกวัน โดยใช้ข้อมูลจาก 36 ชั่วโมงที่แล้ว และคำนวณล่วงหน้าไปอีก 36 ชั่วโมง แล้วทำการส่งค่าวงโคจรไปยังดาวเทียมแต่ละดวงวันละ 2 ครั้ง โดยอย่างน้อยที่สุดทุก 13 ชม. เนื่องจากดาวเทียม ทรานสิทรุ่น Oscar สามารถเก็บความจำได้เพียงแค่ 16 ชั่วโมง และจากข้อจำกัดนี้จึงเป็นเหตุผลให้ภายใน 1 วันจะต้องมีการส่งข้อมูล 2 ครั้งต่อวัน แต่สำหรับดาวเทียมทรานสิทรุ่นใหม่คือ Nova สามารถเก็บข้อมูลล่วงหน้าได้ถึง 10 วัน แต่ก็ยังต้องทำการคำนวณเพื่อดาวเทียมทรานสิท OSCAR

องค์ประกอบวงโคจรที่ถูกส่งสัญญาณลงมา จะใช้โมเดลภูมิศักยะ WGS 72 และระบบพิกัด NWL 10 D ทั้งสองถูกเรียกรวมกันว่า ระบบ NWL 10 D

องค์ประกอบวงโคจรที่ถูกส่งสัญญาณลงมา จะอยู่ในรูปของวงโคจรที่ถูกรบกวน (Disturbed Orbit) ซึ่งประกอบด้วยค่าตัวแปรที่คงที่ ที่รับจากสัญญาณที่สถานีรังวัดติดตาม

ภาคพื้นส่งขึ้นไปเปลี่ยน และค่าตัวแก้อีก 3 ตัว ซึ่งจะถูกเปลี่ยนทุก 2 และ 4 นาที ค่าตัวแก้เหล่านี้จะให้ค่าพิกัดของดาวเทียมสัมพันธ์กับวงโคจรเรียบ (Smooth Orbit)

3.1.2 วงโคจรอย่างละเอียด ดาวเทียมทรานสิททุกดวงจะถูกติดตามโดยระบบ TRANET คือระบบซึ่งใช้สถานีรังวัดติดตามดาวเทียมทั้งหมด 20 สถานีทั่วโลก ทำการติดตามรับสัญญาณดาวเทียมทรานสิท ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งไปยังศูนย์คำนวณที่ Naval Surface Weapons Center (NSWC) ข้อมูลวงโคจรอย่างละเอียดจะถูกคำนวณสำหรับดาวเทียม 1 ถึง 2 ดวง ทุกวัน ติดต่อกันโดยใช้ข้อมูลจาก 48 ชั่วโมงที่แล้ว

ระบบรังวัดติดตามดาวเทียม และการคำนวณวงโคจรอย่างละเอียดได้รับการสนับสนุนด้านการเงินจาก (Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center (DMAHTC) นอกจากนั้น DMAHTC ยังควบคุมการแจกจ่ายค่าวงโคจรอย่างละเอียดโดยจะให้การสนับสนุนเฉพาะ หน่วยงานราชการ (เช่น ผท.ทหาร) ไม่ใช่เพื่อการค้า ส่วนระบบพิกัดของค่าวงโคจรละเอียด เป็นระบบพิกัด NSWC 9E-2 โมเดลภูมิศักยะ NSWC 10E-1 ทรงรี NWL8E

ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างข้อมูลวงโคจรอย่างละเอียด และข้อมูลวงโคจรจากสัญญาณดาวเทียม คือ

ก) วงโคจรจากสัญญาณดาวเทียมสามารถใช้คำนวณค่าพิกัดได้เลยในขณะนั้น แต่ข้อมูลวงโคจรอย่างละเอียดต้องรอเวลาหลายสัปดาห์จึงจะสามารถใช้ได้

ข) วงโคจรจากสัญญาณดาวเทียมจะได้จากการรังวัดติดตามดาวเทียมของสถานีรังวัดติดตาม 4 สถานี ในสหรัฐฯ แต่วงโคจรอย่างละเอียดได้จากสถานีรังวัดติดตามทั้งหมด 20 สถานีทั่วโลก

ค) วงโคจรจากสัญญาณดาวเทียมได้จากการพยากรณ์ แต่วงโคจรอย่างละเอียดได้จากการรังวัดติดตามวงโคจรดาวเทียมโดยตรงจากสถานีรังวัดติดตามภาคพื้น

ง) วงโคจรทั้ง 2 ประเภทอ้างอิงโมเดลภูมิศักยะที่แตกต่างกันและมีระบบพิกัดที่แตกต่างกัน

จ) ความละเอียดถูกต้องของวงโคจรจากสัญญาณดาวเทียม มีค่า 20 ถึง 30 เมตร แต่วงโคจรอย่างละเอียดมีความละเอียดถูกต้อง 1.50 เมตร (Hoar 1982 :40)

3.2 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพันธ์

เป็นวิธีการรับสัญญาณดาวเทียมอย่างต่อเนื่อง พร้อมกันตั้งแต่ 2 สถานีขึ้นไป กระบวนการคำนวณจะให้ความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งของจุดแบบสัมพันธ์ได้ดีกว่าวิธีการกำหนดตำแหน่งแบบอิสระ

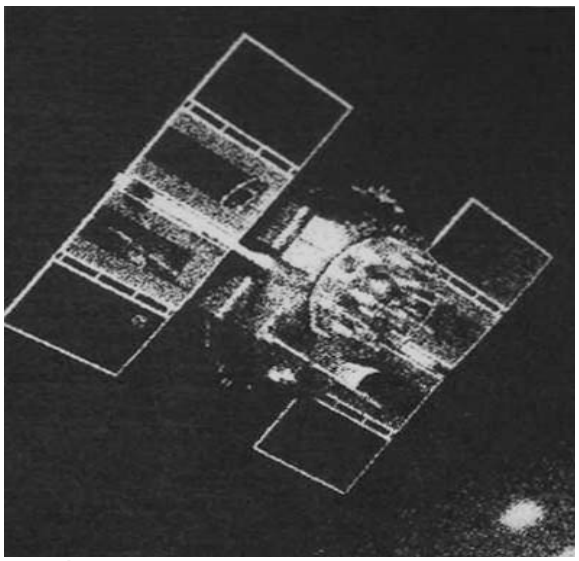
ความถูกต้อง (Accuracy) ของการกำหนดตำแหน่งโดยวิธีดอปเปลอร์ จากรายงานของ DMAHTC เรื่อง "Report of DOD Geoceiver Test Program" ได้ทำการทดสอบความถูกต้องของการกำหนดตำแหน่งโดยวิธีดอปเปลอร์ไว้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงความถูกต้องของการกำหนดตำแหน่งโดยวิธีดอปเปลอร์

รายละเอียด	กำหนดตำแหน่งแบบอิสระ 90% linear error	การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ 90% linear error
ความถูกต้อง	1.5 เมตร	0.5 เมตร + 2 ppm. ของระยะทาง
ความมั่นคง	$\pm$1.0 เมตร ถึง $\pm$1.5 เมตร	0.5 เมตร +15 ppm. ของระยะทาง
ข้อจำกัด	- วงโคจรอย่างละเอียด	- วงโคจรที่ละเอียด
	- จำนวนวงโคจร >35 วงโคจร	- จำนวนวงโคจร > 20 วงโคจร
	- กลุ่มข้อมูลต้องสมดุลย์	- กลุ่มข้อมูลสมดุลย์
	- ไม่นับมุมสูง < 10°	- ไม่นับมุมสูง < 10°
	- ค่าเบี่ยงเบนต้อง < 3 sigma	- ค่าเบี่ยงเบนต้อง < 3 sigma
	- ใช้เวลาของเครื่องรับสัญญาณ	- ใช้เวลาของเครื่องรับสัญญาณ

บทที่ 5
การกำหนดตำแหน่งด้วยระบบจีพีเอส

คือระบบการนำร่องโดยใช้เวลาและระยะ NAVSTAR (Navigation System using Time and Ranging) เพื่อการกำหนดตำแหน่งของโลก GPS (Global Positioning System) เป็นระบบการกำหนดตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียมเป็นหลัก ดำเนินการโดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐ โครงการนี้ได้เริ่มในปี 1973 โดยรวมโครงการรังวัดเวลาของกองทัพเรือสหรัฐกับโครงการ 61 B ของกองทัพอากาศสหรัฐเข้าด้วยกัน ซึ่งทั้งสองโครงการนี้ได้เริ่มงานตั้งแต่กลางปี 1960 วัตถุประสงค์ของโครงการ NAVSTAR ก็เพื่อพัฒนาระบบนำร่องโดยการรังวัดระยะแบบ Passive ลักษณะของดาวเทียมระบบจีพีเอสดังภาพที่26



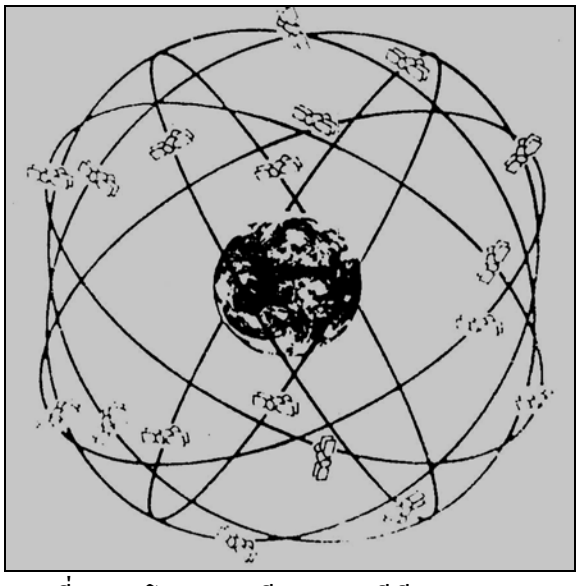
ภาพที่ 26 ลักษณะของดาวเทียมระบบจีพีเอส

1. องค์ประกอบของระบบจีพีเอส

ระบบจีพีเอสแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ (Scherrer 1985 :85-030)

1.1 ส่วนอวกาศ

ดาวเทียม NAVSTAR จะทำการส่งสัญญาณเวลา องค์ประกอบค่าพิกัดดาวเทียม และข้อมูลข่าวสารอื่น เช่นสถานภาพของดาวเทียม ซึ่งการส่งสัญญาณจะดำเนินการโดยคลื่นพาห์จำนวน 2 ความถี่ โดยกลุ่มวงโคจรดาวเทียมจีพีเอสมีลักษณะดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 วงโคจรดาวเทียมระบบจีพีเอส

1.1.1 ส่วนอวกาศประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 24 ดวง มีรายละเอียดดังนี้

ก) ชื่อ ดาวเทียม NAVSTAR

ข) บริษัทผู้ผลิต Rockwell International

ค) ความสูง 20,200 กิโลเมตร

ง) นำหนัก 1,900 ปอนด์

จ) ความกว้าง 17 ฟุต รวมแผง solar

ฉ) 1 รอบวงโคจร 12 ชั่วโมง

ช) วงโคจรทำมุม 55 องศากับพื้นอีเควเตอร์

ฌ) อายุการใช้งาน 7.5 ปี

ญ) ปัจจุบัน มี 24 ดวง Block II

ฎ) อนาคต มี 21 ดวง Block IIrs

1.1.2 ดาวเทียมระบบ GPS จะทำการส่งคลื่นรหัส C/A code และคลื่นรหัส P code มากับคลื่นพาห์ 2 ความถี่ คือ

ก) คลื่นพาห์ L1 ความถี่ 1575.42 เมกกะเฮิทซ์ ปรุงแต่งด้วยคลื่นรหัส C/A code ความถี่ 1.023 เมกกะเฮิทซ์ และคลื่นรหัส P code ความถี่ 10.23 เมกกะเฮิทซ์

ข) คลื่นพาห์ L2 ความถี่ 1227.60 เมกกะเฮิทซ์ ปรุงแต่งด้วยคลื่นรหัส P code ความถี่ 10.23 เมกกะเฮิทซ์

คลื่นรหัส C/A code และ P code จะทำมุมซึ่งกันและกัน 90 องศา โดยคลื่นรหัส C/A code จะส่งสัญญาณซ้ำ ทุก 10^{-6} วินาที ส่วนคลื่นรหัส C code จะซ้ำ ทุก 267 วัน ดาวเทียมแต่ละดวงมีคลื่นรหัส P code ของตนเองและจะเปลี่ยนทุก 7 วัน

คลื่นรหัส P code จะใช้ได้เฉพาะกองทัพบกสหรัฐเท่านั้น ส่วนคลื่นรหัส C/A code พลเรือนสามารถใช้ได้ นอกจากนั้นคลื่นรหัสจะส่งข้อมูลทุก 50 ลูกคลื่นต่อวินาที ซึ่งเป็นข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบที่ใช้ในการคำนวณหาค่าพิกัดดาวเทียม

1.2 ส่วนผู้ใช้

หมายถึง เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสที่ใช้ในการรังวัดสัญญาณดาวเทียม แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1.2.1 เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสแบบพกพาเพื่อการนำร่อง สามารถอ่านค่าพิกัดได้ทันที มีขนาดเล็กกะทัดรัด ราคาถูก แต่ความละเอียดถูกต้องต่ำ

1.2.2 เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสแบบติดตั้ง เพื่อใช้ในงานสำรวจที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูง โดยทำการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสไว้ แล้วนำมาประมวลผลร่วมกับอีกเครื่องฯในภายหลัง เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสประเภทนี้มักจะมีขนาดใหญ่และมีราคาแพง

1.3 ส่วนควบคุม

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รังวัดติดตามดาวเทียม โดยการตรวจสอบสถานะภาพการปฏิบัติงาน และวงโคจรที่แท้จริงของดาวเทียมในอวกาศ โดยสถานีควบคุมหลักจะทำการประมวลผลข้อมูล แล้วส่งค่าตัวแก้วงโคจรของดาวเทียมแต่ละดวงและค่าตัวแก้เวลาให้แก่ดาวเทียมแต่ละดวงโดยตรง เมื่อดาวเทียมได้ทำการปรับปรุงค่าที่ถูกต้องแล้วก็จะทำการส่งสัญญาณนั้นมาให้เครื่องหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ต่อไป

ส่วนควบคุมประกอบด้วย สถานีควบคุมหลักตั้งอยู่ที่ Colorado Springs โดยจะทำการเชื่อมโยงระบบโดยตรงกับสถานีรังวัดเวลากองทัพเรือสหรัฐฯ สถานีรังวัดติดตามดาวเทียมอีก 4 สถานีตั้งอยู่ที่ Hawaii , Ascension Island , Diego Carcia และ Kwajalein

สถานีรังวัดติดตามภาคพื้นเป็นสถานีที่ทราบค่าพิกัดแล้ว มีภารกิจในการส่งข้อมูล ของดาวเทียมที่รับได้ไปยังสถานีควบคุมหลัก เพื่อทำการคำนวณวงโคจรดาวเทียมและพยากรณ์วงโคจรดาวเทียมไว้ล่วงหน้าพร้อมด้วยค่าตัวแก้นาฬิกาสำหรับดาวเทียมแต่ละดวง และทำการส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยังดาวเทียมแต่ละดวงโดยสถานีส่งข้อมูล 3 สถานี

2. แนวความคิดของระบบจีพีเอส

หลายปีที่ผ่านมาได้มีการใช้เทคโนโลยีต่างๆ เพื่อพยายามทำให้วิธีการหาค่าพิกัดนั้นง่ายขึ้น แต่ก็ยังคงพบกับข้อจำกัดต่างๆ จนในที่สุดกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกาได้ตัดสินใจว่า ถึงเวลาแล้วที่กองทัพบกสหรัฐจะต้องมีระบบที่สามารถหาค่าพิกัดได้ทั่วโลก และจะต้องมีความละเอียดถูกต้องสูงที่สุด โดยกระทรวงกลาโหมได้รับการสนับสนุนงบประมาณ 12 พันล้านเหรียญดอลลาร์สหรัฐ เพื่อใช้ในการเริ่มโครงการนี้ และเป็นที่มาของระบบจีพีเอ้ (GPS System) ซึ่งได้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญต่อระบบการนำร่องทั่วโลก

ระบบจีพีเอสในระยะแรกเริ่ม คือรูปแบบของการใช้สัญญาณวิทยุเพื่อการนำร่องทั่วโลก โดยใช้กลุ่มดาวเทียมจำนวน 24 ดวง และสถานีรังวัดติดตามดาวเทียม ระบบจีพีเอสอาศัยดาวเทียมเป็นจุดอ้างอิงในการคำนวณหาค่าพิกัดบนโลกที่มีความละเอียดถูกต้องเป็นเมตร แต่ด้วยความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี ทำให้เราสามารถทำการรังวัดหาค่าพิกัดที่มีความละเอียดถูกต้องถึงระดับเซนติเมตรด้วยเครื่องมือหาค่าพิกัดจีพีเอสที่มีขนาดกะทัดรัด ราคาถูก และเป็นเทคโนโลยีที่คนทั่วไปสามารถใช้ได้ง่าย และในปัจจุบันระบบจีพีเอสได้ถูกนำไปใช้กับรถยนต์ เรือ เครื่องบิน เครื่องมือก่อสร้าง เครื่องมือเกษตร หรือแม้แต่คอมพิวเตอร์แบบพกพา และในไม่ช้าระบบกำหนดตำแหน่งของโลกก็จะกลายเป็นสิ่งพื้นฐานเหมือนโทรศัพท์

ระบบจีพีเอส แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน คือ (Trimble Navigation Limited , Internet)

1 หลักการของสามเหลี่ยมดาวเทียม

2 การรังวัดระยะจากดาวเทียม

3 การรังวัดเวลา

4 วงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียม

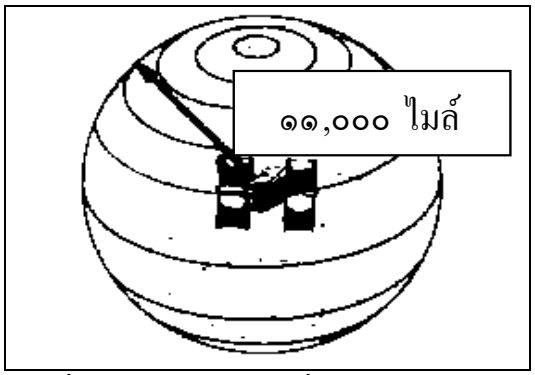
5 ความคลาดเคลื่อนและการขจัดความคลาดเคลื่อน

2.1 หลักการของสามเหลี่ยมดาวเทียม

แนวความคิดทั้งหมดของระบบกำหนดตำแหน่งของโลก ด้วยระบบจีพีเอสโดยใช้ดาวเทียมในอวกาศเป็นจุดอ้างอิงเพื่อกำหนดตำแหน่งบนโลกดูแล้วอาจจะเป็นไปไม่ได้ แต่ด้วยการรังวัดระยะที่ถูกต้องจากดาวเทียมหลายดวง ซึ่งทำให้เราสามารถสร้างเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีตำแหน่งของเราบนโลกเป็นจุดตัดของรูปสามเหลี่ยม จึงทำให้เราสามารถทราบค่าพิกัดของเราได้

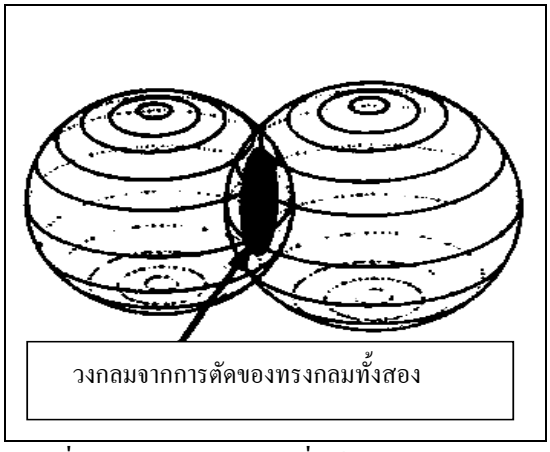
หลักทางคณิตศาสตร์ของวิธีการหาค่าพิกัดบนโลก โดยการรังวัดดาวเทียมในอวกาศจำนวน 3 ดวง คือ (Hern 1989 : 15)

2.1.1 สมมติว่าเราได้ทำการรังวัดระยะไปยังดาวเทียมดวงที่หนึ่ง ได้ระยะทาง 11,000 ไมล์ นั่นคือเราจะอยู่ห่างจากดาวเทียมดวงนั้น เป็นระยะทาง 11,000 ไมล์ และตำแหน่งที่จะเป็นไปได้ก็คือ ทุกจุดในอวกาศที่อยู่บนพื้นผิวทรงกลมที่มีดาวเทียมดวงที่หนึ่งเป็นจุดศูนย์กลาง และมีรัศมี 11,000 ไมล์ ดังภาพที่ 28



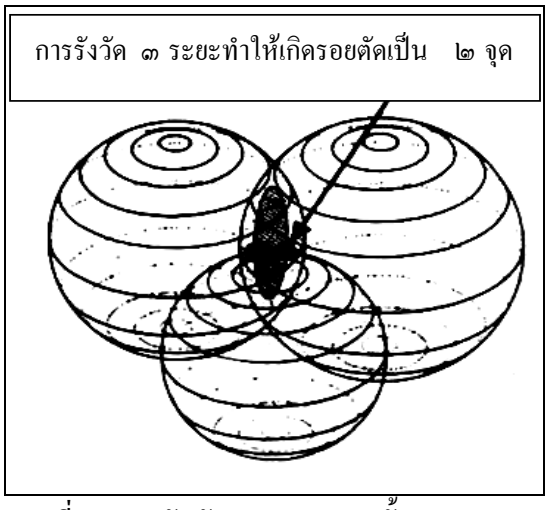
ภาพที่ 28 ตำแหน่งของจุดที่ได้จากการรังวัด 1 ระยะ

2.1.2 สมมติระยะทางจากดาวเทียมดวงที่ 2 เท่ากับ 12,000 ไมล์ นั่นหมายถึงนอกจากเราจะอยู่บนพื้นผิวของทรงกลมที่ 1 แล้ว เรายังคงอยู่บนพื้นผิวของทรงกลมที่ 2 ด้วย ซึ่งมีรัศมี 12,000 ไมล์ หรือถ้าจะพิจารณาให้แคบเข้า นั่นก็คือเราอยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่งบนวงกลมที่ทรงกลมทั้งสองตัดกันนั่นเอง ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 ตำแหน่งของจุดที่ได้จากการรังวัด 2 ระยะ

2.1.3 ถ้าเราทำการรังวัดระยะจากดาวเทียมดวงที่ 3 ได้เท่ากับ 13,000 ไมล์ ก็จะทำให้การหาตำแหน่งของเราแคบเข้าไปอีกนั่นคือ จุด 2 จุด ซึ่งทรงกลมรัศมี 13,000 ไมล์ตัดวงกลมที่เกิดจากการตัดกันของทรงกลม 2 ทรงกลมแรก ดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 การตัดกันของทรงกลมทั้งสาม

ดังนั้นโดยวิธีการรังวัดระยะจากดาวเทียม 3 ดวง เราสามารถทราบตำแหน่งของเราคือจุดสองจุดในอวกาศ การตัดสินใจว่าจุดใดเป็นตำแหน่งที่ถูกต้อง กระทำได้โดยการรังวัดดาวเทียมดวงที่ 4 แต่โดยปกติแล้วการเปรียบเทียบจุดทั้งสองจะมีคำตอบในตัวเองอยู่แล้ว กล่าวคือจุดที่มีค่าพิกัดอยู่ไกลจากโลกมาก หรือกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เป็นไปไม่ได้ คือจุดที่ไม่ถูกต้องสามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นส่วนประมวลผลของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจะมีเทคนิคที่สามารถทำการตรวจสอบได้ต่างกันไป

นอกจากนั้นเราสามารถทำการหาค่าพิกัดโดยอาศัยการรังวัดระยะจากดาวเทียมระบบ จีพีเอสเพียง 2 ดวงได้ ถ้าเราทราบค่าความสูงของเรา ดังนั้นเราสามารถใช้โลกของเราเป็นทรงกลมดวงที่ 3 ที่มีรัศมีเท่ากับลูกโลกสมมติรวมกับความสูงที่เราทราบค่าแล้ว เราเรียกว่า การรังวัดแบบ 2 มิติ

2.2 การรังวัดระยะจากดาวเทียม

การรังวัดระยะจากดาวเทียมในอวกาศ กระทำได้โดยการรังวัดเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสบนโลก

หลักทางคณิตศาสตร์โดยทั่วไประยะทางเท่ากับความเร็วคูณด้วยเวลา แต่ในระบบจีพีเอสเราทำการรังวัดสัญญาณวิทยุ ดังนั้นความเร็วของแสงโดยประมาณเท่ากับ 186,000 ไมล์ต่อวินาที ซึ่งปัญหาอยู่ที่การรังวัดเวลาที่สัญญาณวิทยุใช้ในการเดินทาง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สั้นมาก เช่นถ้าในกรณีที่ดาวเทียมอยู่เหนือผู้รังวัด จำนวนเวลาที่สัญญาณวิทยุใช้ในการเดินทางจะมีค่าประมาณ 0.06 วินาที เราจึงจำเป็นต้องใช้นาฬิกาที่มีความละเอียดถูกต้องสูงในการรังวัด และยิ่งไปกว่านั้นถ้าเรามีนาฬิกาที่มีความละเอียดถูกต้องสูงแล้ว เราจะสามารถทำการรังวัดเวลาที่สัญญาณวิทยุใช้ในการเดินทางได้อย่างไร

สมมติถ้าเราสามารถหาวิธีทำให้ดาวเทียมและเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเริ่มเล่นดนตรีได้พร้อมกันอย่างแม่นยำเวลา 1200 ถ้าเสียงดนตรีจากดาวเทียมเดินทางมาถึงโลกได้ และถ้าเรายืนอยู่ ณ ที่ตั้งเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส เราจะได้ยินเสียงดนตรีนั้นแตกต่างกันจากแหล่งกำเนิดทั้งสอง นั่นคือเสียงดนตรีที่ได้ยินจะไม่พร้อมกัน โดยเสียงดนตรีที่มาจากดาวเทียมจะช้ากว่าเล็กน้อย เนื่องจากสัญญาณวิทยุจะใช้เวลาในการเดินทางเป็นระยะทางมากกว่า 11,000 ไมล์ และถ้าเราต้องการจะทราบว่าสัญญาณวิทยุจากดาวเทียมช้าไปเท่าไร เราอาจจะให้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเริ่มเล่นดนตรีช้าลงจนกระทั่งรู้สึกว่าเสียงดนตรีจากแหล่งทั้งสองพร้อมกัน เวลาที่เราจะต้องใช้เพื่อเลื่อนเวลาการเล่นดนตรีของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส จะมีค่าเท่ากับเวลาที่เสียงดนตรีจากดาวเทียมใช้ในการเดินทางมายังเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสนั่นเอง ดังนั้นเราเพียงนำเวลานั้นมาคูณด้วยความเร็วแสง เราก็จะได้ระยะทางจากดาวเทียม ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วเสียงดนตรีที่เปิดเล่นจากทั้งสองแหล่งเราเรียกว่า “Pseudo Random Code ;PRC”

PRC เป็นพื้นฐานของระบบจีพีเอส ซึ่งในทางฟิสิกส์ถือได้ว่าเป็นเพียงแค่รหัสเชิงเลขที่ซับซ้อน หรือเป็นค่าเปิดและปิดสัญญาณอย่างต่อเนื่อง การเปิดและปิดสัญญาณนั้นไม่แน่นอนจนดูเหมือนเป็นคลื่นรบกวนทางอีเล็กทรอนิกส์แบบสุ่ม นั้นคือที่มาของชื่อ “Pseudo Random Code”

ข้อดีของความซับซ้อนของคลื่น PRC ก็คือช่วยให้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสมั่นใจได้ว่าจะไม่เกิดความผิดพลาดในการเทียบสัญญาณกับคลื่นประเภทอื่นเนื่องจากรูปแบบของ PRC จะซับซ้อนมากจนไม่มีคลื่นประเภทอื่นใดจะเหมือนได้ และเนื่องจากดาวเทียมแต่ละดวงมี PRC ของตนเองไม่เหมือนกันจึงประกันได้ว่าเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจะไม่ผิดพลาดไปรับสัญญาณดาวเทียมดวงอื่นอีกด้วย ดังนั้นดาวเทียมทั้งหมดสามารถใช้ความถี่เดียวกันโดยไม่รบกวนซึ่งกันและกัน และยังทำให้ระบบจีพีเอสยากต่อการถูกรบกวนในขณะที่ทำการรังวัดเวลาที่ใช้ในทางเดินของสัญญาณจีพีเอสโดยจะทำการเปรียบเทียบ PRC ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส กับ PRC ที่ได้รับจากดาวเทียมซึ่ง

ถูกสร้างขึ้นในเวลาเดียวกัน และในความขณะเดียวกัน PRC ยังทำให้กระทรวงกลาโหมสหรัฐสามารถควบคุมการเข้าถึงระบบได้อีกด้วย

2.2.1 สรุปข้อดีของ PRC คือ

ก) เปรียบเทียบสัญญาณของดาวเทียมกับของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเพื่อวัตถุประสงค์ในการรังวัดเวลา

ข) รหัสช่วยให้ระบบจีพีเอสสามารถปฏิบัติการด้วยสัญญาณดาวเทียมกำลังส่งต่ำและด้วยจานรับสัญญาณขนาดเล็กได้

ค) รหัสทำให้กระทรวงกลาโหมสหรัฐควบคุมการเข้าถึงระบบจีพีเอส ได้

ง) รหัสทำให้ดาวเทียมสามารถปฏิบัติงานได้ด้วยความถี่เดียว

2.2.2 PRC แบ่งเป็น 2 ประเภทคือ (Hern 1989 : 55)

ก) C/A code (Clear / Acquisition code) เป็นรหัสมาตรฐานของระบบจีพีเอสจะถูกส่งสัญญาณซ้ำทุก 1,023 ลูกคลื่น และจะถูกปรุงคลื่น (Modulated) กับคลื่นพาห์ (Carrier Phase) ของระบบจีพีเอสที่ความถี่ 1.023 เมกกะเฮิทซ์ C/A code เป็นรหัสที่ใช้ในทางพลเรือน แต่ในภาวะสงครามค่าความละเอียดถูกต้องจะถูกควบคุมโดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐโดยการเปิดใช้ S/A (Selective Availability) ซึ่งเป็นวิธีการสร้างความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมอย่างมีนัยสำคัญ

ข) P-code (Precise or Protected code) เป็นรหัสแบบสุ่มที่มีระยะเวลาการส่งสัญญาณซ้ำยาวมาก และจะถูกปรุงคลื่นผสมกับคลื่นพาห์ของระบบจีพีเอส ที่ความถี่ 10.23 เมกกะเฮิทซ์ และจะซ้ำทุก 267 วัน โดยดาวเทียมแต่ละดวงจะมีรหัส P-code ของตนเอง และจะถูกเปลี่ยนทุก 7 วัน

P-code จะมีความถูกต้องมากกว่า C/A code และให้ใช้ได้เฉพาะในกิจการทหาร โดยการเข้ารหัส (encrypted) และมีโอกาสน้อยมากที่จะถูกรบกวน

2.3 การรังวัดเวลา

เนื่องจากการรังวัดเวลาในการเดินทางของสัญญาณวิทยุเป็นส่วนสำคัญของระบบจีพีเอส ดังนั้นนาฬิกาที่จะใช้ในการรังวัดเวลาจะต้องมีความละเอียดถูกต้องสูง นาฬิกาจับเวลาธรรมดาไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากถ้าเรารังวัดเวลาได้ละเอียดเพียง 1 ใน 1,000 ส่วนของวินาที เมื่อเทียบกับความเร็วแสงแล้ว จะมีความผิดพลาดถึง 200 ไมล์ สำหรับดาวเทียมจะมีระบบเวลาที่ค่อนข้างจะสมบูรณ์แบบเพราะมีนาฬิกาอะตอมมิกที่มีความละเอียดถูกต้องสูง แต่สำหรับเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส

ไม่สามารถติดตั้งนาฬิกาอะตอมมิกได้ เนื่องจากจะทำให้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสมีราคาสูงจนไม่มีผู้ใดสามารถซื้อได้ แต่เนื่องจากความจำเป็นที่จะต้องทำการเทียบสัญญาณ PRC เพื่อคำนวณเวลาในการเดินทางของสัญญาณดาวเทียมและเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสด้วยกัน ดังนั้นเพื่อให้ระบบจีพีเอสสามารถปฏิบัติงานได้ จึงมีการออกแบบระบบจีพีเอสทางเทคนิคเพิ่ม เพื่อให้นาฬิกาของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสมีประสิทธิภาพสูงเทียบเท่านาฬิกาอะตอมมิก เทคนิคนั้นก็คือ การรังวัดสัญญาณดาวเทียมดวงที่ 4 เพิ่มเติมถึงแม้ว่าการรังวัดดาวเทียม 3 ดวง จะทำให้เราทราบค่าพิกัด 3 มิติ ของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสแล้วก็ตาม

ถ้าเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสมีนาฬิกาที่สมบูรณ์แบบ จะทำให้ระยะห่างจากดาวเทียมที่รังวัดได้ทั้งหมดไปตัดกันที่จุดเดียวกัน ซึ่งคือพิกัดของเรานั่นเอง แต่เนื่องด้วยนาฬิกาที่ไม่สมบูรณ์แบบนัก การรังวัดดาวเทียมดวงที่ 4 สามารถทำการตรวจสอบซ้ำได้ ซึ่งจุดตัดจะไม่ตรงกับจุดตัดของดาวเทียม 3 ดวงแรก นั่นคือมีความไม่ถูกต้องของการรังวัด หรือการเทียบสัญญาณเวลายูนิเวอร์สไม่สมบูรณ์แบบ เนื่องจากความต่างจากเวลายูนิเวอร์สจะส่งผลต่อการรังวัดของเราทั้งหมด ในขณะที่เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสต้องการค่าตัวแก้ ที่สามารถหักออกจากการรังวัดเวลา ที่จะทำให้เกิดการตัดเพียงจุดเดียว

ค่าตัวแก้จะทำให้นาฬิกาของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส เทียบกับระบบเวลายูนิเวอร์สได้ นั่นคือทำให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่านาฬิกาอะตอมมิก และเมื่อทราบค่าตัวแก้แล้วทำการประยุกต์เข้ากับผลการรังวัดที่เหลือ ก็จะทำให้เราสามารถหาค่าพิกัดที่มีความละเอียดถูกต้องสูงได้ เหตุผลข้อนี้ทำให้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจำเป็นต้องมีช่องสัญญาณอย่างน้อย 4 ช่อง จึงจะสามารถทำการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสได้พร้อมกันอย่างน้อย 4 ดวง ด้วยคุณสมบัติของ PRC ซึ่งช่วยในการเทียบสัญญาณเวลาและด้วยการรังวัดสัญญาณดาวเทียมเพิ่มสามารถช่วยให้เราเทียบสัญญาณเวลายูนิเวอร์สได้ ทำให้เราทราบค่าที่เราต้องการสำหรับการรังวัดระยะจากดาวเทียมในอวกาศมายังผู้ใช้ได้

2.4 วงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียม

จากการศึกษาที่ผ่านมาเราตั้งสมมติฐานว่าเรารู้ตำแหน่งที่แท้จริงของดาวเทียมในอวกาศและเราได้ใช้ตำแหน่งนั้นเป็นจุดอ้างอิง แต่จริงๆแล้วเราจะรู้ได้อย่างไรว่าดาวเทียมมีพิกัดอยู่ ณ ตำแหน่งใดในขณะเมื่อดาวเทียมดังกล่าวลอยอยู่สูง 11,000 ไมล์ ห่างไกลออกไปในอวกาศ ด้วยความสูง 11,000 ไมล์ ในกรณีนี้ถือว่าเป็นข้อดี เนื่องจากความสูงทำให้ปราศจากบรรยากาศและนั่นหมายถึงการคำนวณวงโคจรดาวเทียมจะอาศัยเพียงคณิตศาสตร์แบบง่ายๆ กองทัพอากาศสหรัฐจะทำการขับเคลื่อนดาวเทียมแต่ละดวงให้อยู่ในวงโคจรที่ละเอียด (Precise Orbit) โดยให้สอดคล้องกับแผนหลัก สำหรับ

เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสบนภาคพื้นจะมีปฏิทินดาวเทียม (Almanac) ซึ่งถูกบักทึกไว้ในคอมพิวเตอร์ เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจึงสามารถคำนวณได้ว่าดาวเทียมแต่ละดวงอยู่ ณ ตำแหน่งใดในท้องฟ้าในแต่ละขณะเวลา

วงโคจรขั้นต้นของดาวเทียมเองค่อนข้างถูกต้องแน่นอน แต่เพื่อความสมบูรณ์แบบ กระทรวงกลาโหมสหรัฐจะทำการรังวัดติดตามกลุ่มดาวเทียมจีพีเอสอย่างถาวร โดยใช้เรดาร์ที่มีความถูกต้องสูงทำการตรวจสอบความสูง ตำแหน่งและความเร็วของดาวเทียมแต่ละดวงที่ถูกต้องแน่นอน ค่าความคลาดเคลื่อนที่ทำการตรวจสอบเรียกว่า ความคลาดเคลื่อนของวงโคจร (Ephemeris Errors) เพราะมันจะส่งผลต่อวงโคจรของดาวเทียมเอง (Orbit or Ephemeris) ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเป็นผลมาจากแรงดึงดูดจากดวงจันทร์กับดวงอาทิตย์ และการแพร่ของคลื่นรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อดาวเทียม โดยทั่วไปแล้วความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมีขนาดเล็กน้อย

เนื่องจากกระทรวงกลาโหมสหรัฐได้ทำการรังวัดหาตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียม และทำการส่งข้อมูลดังกล่าวไปให้ดาวเทียม และดาวเทียมเองจะทำการรวบรวมและส่งสัญญาณข้อมูลค่าตัวแก้ใหม่นี้มาพร้อมกับสัญญาณเวลาที่ดาวเทียมส่งสัญญาณลงมายังโลก ดังนั้นสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส นอกจากจะมี PRC เพื่อใช้สำหรับการกำหนดระบบเวลาแล้ว ยังมีข่าวสารการนำร่องพร้อมข้อมูลวงโคจรอีกด้วย ด้วยการกำหนดระบบเวลาที่สมบูรณ์ และตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียม เราจะสามารถทำการคำนวณตำแหน่งที่ถูกต้องได้ แต่ยังคงมีปัญหาอีกบ้างเล็กน้อย

2.5 ความคลาดเคลื่อนและการขจัดความคลาดเคลื่อน

ที่ผ่านมาเราได้ทำการคำนวณหาค่าพิกัดบนโลก โดยอาศัยระบบจีพีเอสแบบง่ายๆ โดยสมมติว่าทุกอย่างเกิดขึ้นในสุญญากาศ แต่ในความเป็นจริงแล้วจะมีผลกระทบอีกมากมายที่เกิดขึ้นกับสัญญาณดาวเทียมทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น เพื่อที่จะขจัดความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจะต้องสามารถตรวจสอบความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้

2.5.1 ค่าความคลาดเคลื่อนประเภทต่างๆ

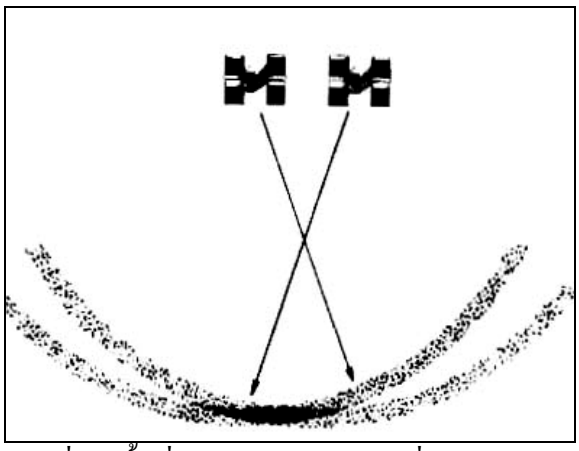
ก) ความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจาก สภาพชั้นบรรยากาศของโลก เนื่องจากความเร็วของคลื่นที่ใช้ในการคำนวณระยะทางระหว่างเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสกับดาวเทียมจะมีค่าคงที่เฉพาะเมื่อคลื่นเดินทางผ่านสภาพสูญญากาศ แต่เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านอนุภาคในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (ความสูง 50–200 กิโลเมตร) และเมื่อเคลื่อนที่ผ่านไอน้ำของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (ต่ำกว่า 20 กิโลเมตร) คลื่นจะเกิดอาการถดถอย (Delay) นั่นคือความเร็วของคลื่นจะช้าลงคล้ายกับนาฬิกาเสีย ซึ่งการขจัดความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมี 2 หนทางปฏิบัติ คือ

หนทางที่ 1 สร้างโมเดลของอาการถดถอยสัมพันธ์กับสภาพบรรยากาศของแต่ละวัน เพื่อแก้ความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ แต่ปัญหาคือสภาพบรรยากาศของแต่ละวันไม่แน่นอน

หนทางที่ 2 การเปรียบเทียบสัดส่วนของสัญญาณความถี่ 2 ความถี่สัมพันธ์กับสัดส่วนของความคลาดเคลื่อน เพื่อแก้ความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งการรังวัดสัญญาณ 2 ความถี่นี้เป็นเพียงหลักการ และจะได้ผลเฉพาะเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสแบบ 2 ความถี่

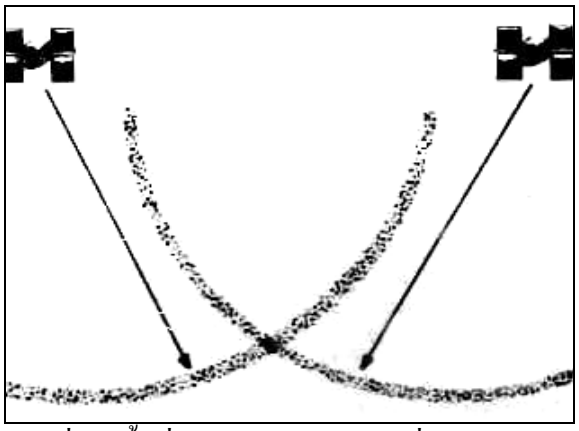
ข) นอกจากความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากอาการถดถอย ของคลื่นสัญญาณจีพีเอสขณะเมื่อเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆก่อนที่จะลงมาถึงพื้นดินแล้ว ยังมีโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนอย่างอื่นได้อีก นั่นคือการสะท้อนของสัญญาณจีพีเอสเมื่อตกกระทบกับอาคาร สิ่งก่อสร้าง หรือสิ่งกำบังต่างๆ ก่อนที่จะเดินทางไปถึงเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส ซึ่งเรียกว่า “Multipath Error” ซึ่งเครื่องหาพิกัดจีพีเอสที่ดีจะมีเทคนิคในการขจัดความคลาดเคลื่อนนี้ให้น้อยลงได้

ค) ความคลาดเคลื่อนของระบบจีพีเอส เนื่องจากเรขาคณิตของวงโคจรดาวเทียม (Geometric Dilution of Precision ; GDOP) เกิดจากการรังวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่มีวงโคจรใกล้กันมาคำนวณหาระยะทางและหาจุดตัด ซึ่งจะทำให้เกิดรอยตัวที่ใหญ่ นั่นคือพื้นที่ความเป็นไปได้ของค่าพิกัดที่คำนวณได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูง ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 พื้นที่รอยตัดของดาวเทียมที่วงโคจรอยู่ใกล้กัน

ในทางกลับกันถ้านำสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่มีวงโคจรเกือบตั้งฉากกันมาคำนวณรอยตัดของระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจะปรากฏรอยตัดเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก นั่นคือค่าพิกัดที่คำนวณได้จะมีความละเอียดถูกต้องสูง ดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 พื้นที่รอยตัดของดาวเทียมที่วงโคจรอยู่ห่างกัน

2.5.2 การขจัดความคลาดเคลื่อน

ก) ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากเรขาคณิตของดาวเทียม ขจัดได้โดยให้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสคำนวณค่า GDOP และ PDOP โดยเลือกกลุ่มดาวเทียมเฉพาะที่คำนวณแล้วจะให้ค่าความละเอียดถูกต้องของพิกัดสูง

ข) ความคลาดเคลื่อนที่สามารถขจัดให้เหลือน้อยลงได้ ด้วยการรับสัญญาณดาวเทียมพร้อมกัน ได้แก่

-ความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลก

-ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกา ทั้งของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสและของดาวเทียม

-ความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม

ค) ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก ขณะเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สามารถขจัดได้โดยการใช้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสแบบ 2 ความถี่ ทำการรับสัญญาณดาวเทียมทั้ง 2 ความถี่

3 แนวความคิดของระบบ DGPS

ต่อไปนี้จะกล่าวถึงแนวความคิดธรรมดาแต่สามารถเพิ่มค่าความละเอียดถูกต้องให้กับค่าพิกัดที่ได้จากเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสได้อย่างไม่น่าเชื่อ คือระบบ DGPS ซึ่งจะได้กล่าวเกี่ยวกับความสำคัญ การทำงาน ค่าตัวแก้ แนวทางการใช้ และแนวความคิดชั้นสูงของระบบ DGPS

วัตถุประสงค์ขั้นต้นของระบบจีพีเอส คือต้องการพัฒนาให้เป็นระบบนำร่องที่มีความละเอียดถูกต้องสูงที่สุด เพื่อการประยุกต์ใช้ประโยชน์ในกิจการด้านต่างๆ ที่มีความละเอียดถูกต้องแตกต่างกันไป แต่ระบบจีพีเอสได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองความต้องการค่าพิกัดที่มีความละเอียดถูกต้องที่สูงยิ่งขึ้น จึงทำให้เกิด Differential GPS ; DGPS

ความละเอียดถูกต้องของ DGPS ขณะเคลื่อนที่จะให้ความละเอียดถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ 1-2 เมตร แต่เมื่ออยู่กับที่จะอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่า และจากการพัฒนาความละเอียดถูกต้องที่สูงขึ้นทำให้เกิดประโยชน์อย่างยิ่งต่อระบบจีพีเอส นั่นคือนอกจากจะสามารถใช้ประโยชน์เพื่อการนำร่อง เรือ และเครื่องบินได้รอบโลกแล้ว ยังเป็นระบบการรังวัดเพื่อกำหนดตำแหน่งของสิ่งต่างๆทั่วจักรวาลได้ด้วย

การปฏิบัติงานระบบ DGPS จะต้องใช้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจำนวน 2 เครื่อง โดยเครื่องหนึ่งตั้งอยู่กับที่ อีกเครื่องหนึ่งจะเคลื่อนที่ไปเพื่อทำการรังวัดหาค่าพิกัดของจุดต่างๆ แต่ปัญหาของ DGPS คือ ระบบเวลาที่เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสรับจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อคำนวณหาค่าพิกัดที่ตั้งของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสนั้น ระบบเวลาดังกล่าวยังคงมีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากอาการถดถอยของคลื่นอยู่ และเนื่องจากระบบเวลานั้นถูกนำมาใช้เพื่อทำการคำนวณหาค่าพิกัดจึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นกับค่าพิกัดด้วย

เนื่องจากอัตราส่วนโค้งของระยะห่างระหว่างดาวเทียมของระบบจีพีเอส ซึ่งห่างกันมากในอวกาศ และเมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส 2 เครื่อง ขณะเคลื่อนที่เพื่อปฏิบัติงานแบบ DGPS บนโลกแล้วจะไม่มีนัยสำคัญเลย ดังนั้นถ้าเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสทำงานอยู่ใกล้กันเป็นระยะประมาณ 200– 300 กิโลเมตร สัญญาณที่ส่งมาถึงเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสทั้ง 2 จะถือเสมือนหนึ่งว่าคลื่นได้เดินทางสภาพบรรยากาศเพียงส่วนเล็ก และถือว่ามีสภาพบรรยากาศเหมือนกัน ดังนั้นจึงถือเสมือนหนึ่งว่ามีความคลาดเคลื่อนเหมือนกันด้วย

แนวความคิดของ DGPS ก็คือการใช้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเครื่องหนึ่งทำการรังวัดหาค่าความคลาดเคลื่อนของระบบเวลา แล้วจัดส่งค่าตัวแก้ดังกล่าวไปยังเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสอีกเครื่องหนึ่งที่กำลังปฏิบัติงานอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเครื่องแรก ดังนั้นความคลาดเคลื่อนที่ถือเสมือนว่าเหมือนกันทั้งสองเครื่อง ก็จะถูกขจัดออกไปจากระบบจีพีเอส ถึงแม้ว่าในกรณีที่

กระทรวงกลาโหมสหรัฐมีเจตนาที่จะเพิ่มความคลาดเคลื่อนแบบ S/A (Trimble Navigation Limited , Internet)

แนวความคิดของ DGPS คือการตั้งเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสหลัก ณ ตำแหน่งที่ทราบค่าพิกัดแล้ว ให้ทำการรับสัญญาณจีพีเอสพร้อมกันกับเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสอีกเครื่องหนึ่ง แต่ขั้นตอนการคำนวณของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสหลัก แทนที่จะใช้สัญญาณเวลาทำการคำนวณหาค่าพิกัดในทางตรงข้ามกลับใช้ค่าพิกัดที่ทราบค่าแล้วทำการคำนวณหาเวลาที่สัญญาณจีพีเอสใช้ในการเดินทาง แล้วทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณเวลาที่รับได้จริงจะได้ค่าความต่าง ซึ่งก็คือค่าตัวแก้ความคลาดเคลื่อนนั่นเอง และจากนั้นเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสหลักจะทำการส่งค่าตัวแก้ความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ไปให้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสอีกเครื่องหนึ่งให้ใช้ค่าตัวแก้ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวกับสัญญาณเวลาที่รับได้จากดาวเทียมเพื่อคำนวณหาค่าพิกัดต่อไป

เนื่องจากเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสหลัก จะไม่สามารถรู้ได้เลยว่าดาวเทียมที่อยู่บนท้องฟ้าดวงใดจะถูกทำการรังวัดโดยเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสอีกเครื่องหนึ่ง เพื่อทำการคำนวณหาค่าพิกัด ดังนั้นเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสหลักจะทำการคำนวณหาค่าตัวแก้ของดาวเทียมทุกดวงบนท้องฟ้าแล้วทำการเข้ารหัสข้อมูลเหล่านั้นไว้ในรูปแบบมาตรฐานเพื่อส่งสัญญาณรหัสไปยังเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเครื่องอื่น

ในระยะแรกของ DGPS สถานีหลักจะถูกตั้งขึ้นโดยบริษัทเอกชนที่มีโครงการใหญ่และต้องการความละเอียดถูกต้องสูง เช่น การสำรวจขุดเจาะบ่อน้ำมัน แต่งานดังกล่าวต้องถือได้ว่าเป็นงานพื้นฐานธรรมดา คือการซื้อเครื่องมือ จัดตั้งสถานีหลัก และติดตั้งระบบติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสหลัก กับเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเคลื่อนที่ แต่ปัจจุบันได้มีหน่วยงานของรัฐ ทำการบริการส่งสัญญาณค่าตัวแก้ความคลาดเคลื่อนฟรีสำหรับบุคคลทั่วไป โดยมักจะทำการส่งสัญญาณวิทยุ (Beacon) ความยาวช่วงคลื่น 300 เมกกะเฮิทซ์ ซึ่งเป็นช่วงคลื่นเพื่อการพาณิชย์

การใช้ประโยชน์ DGPS กับงานสาขาต่างๆ บางครั้งก็ไม่ต้องใช้ระบบการติดต่อสื่อสารทางวิทยุ เนื่องจากภารกิจนั้นไม่มีความจำเป็นที่จะต้องทราบค่าพิกัดในทันทีทันใด เช่นเราอาจจะทำการบันทึกเส้นทางของถนนที่ก่อสร้างใหม่สำหรับการแก้ไขแผนที่ในโอกาสต่อไป โดยการนำข้อมูลที่บันทึกไว้มาประมวลผลร่วมกับค่าตัวแก้ที่บันทึกไว้โดยเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสสถานีหลัก ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้รับการตรวจสอบแล้ว ดังนั้นเราจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ระบบวิทยุเหมือนกับการปฏิบัติงานในระบบ Real Time DGPS นอกจากนั้นถ้าเราไม่สามารถหาเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสสถานี

หลักได้ เราอาจใช้ทางเลือกอื่นได้โดยการใช้ค่าตัวแก้ที่บริการโดยสถาบันการศึกษาในระบบอินเตอร์เน็ต

มีอีกรูปแบบหนึ่งของ DGPS ซึ่งเรียกว่า “Inverted DGPS” ซึ่งช่วยให้ประหยัดในการประยุกต์ใช้ DGPS กับระบบติดตาม เช่น สมมติว่าเรามีรถยนต์โดยสารอยู่จำนวนมากและเราต้องการรู้ว่ารถยนต์เหล่านั้นอยู่ ณ ตำแหน่งใดของถนนบนแผนที่ และอาจจะอยากรู้ด้วยว่ารถยนต์จอดอยู่ด้านใดของถนนนั่นคือ เราอยากได้ระบบหาค่าพิกัดที่มีความละเอียดถูกต้องสูงแต่ไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบ DGPS ประเภทสำเร็จภาพที่มีราคาแพงให้กับรถยนต์โดยสารทุกคัน ด้วยระบบ “Inverted DGPS” รถยนต์โดยสารทุกคันจะได้รับการติดตั้งเพียงเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสแบบ มาตรฐานเท่านั้นและเครื่องส่งสัญญาณวิทยุ โดยทำการส่งค่าพิกัดมาตรฐานกลับไปยังสำนักงานติดตาม เพื่อให้สำนักงานติดตามทำการแก้ค่าพิกัดดังกล่าวด้วยค่าตัวแก้ จะเห็นได้ว่าทั้งระบบต้องการคอมพิวเตอร์เพียงตัวเดียวเพื่อใช้ในการคำนวณ เครื่องส่งสัญญาณวิทยุเพียงเครื่องเดียวสำหรับส่งสัญญาณข้อมูลพิกัดที่มีความละเอียดถูกต้องสูงให้รถยนต์โดยสารทั้งหลาย โดยเสียค่าใช้จ่ายของสถานีหลักเพียงสถานีเดียว

แนวโน้มของระบบ DGPS ในไม่ช้านี้จะช่วยให้เราทราบค่าพิกัดได้ละเอียดถูกต้องดีกว่าขนาดของนิ้วมือของเราอย่างแน่นอน ลองจินตนาการถึงความเป็นไปได้ในการทำงานก่อสร้างโดยเครื่องมือต่างๆอย่างอัตโนมัติ โดยอาศัยข้อมูลแบบแปลนของถนนในระบบ CAD จะทำให้งานก่อสร้างถนนสำเร็จได้โดยไม่ต้องมีการรังวัดเพิ่มเติมด้วยมนุษย์อีกเลย หรือระบบนำร่องอัตโนมัติของรถยนต์จะสามารถนำเราผ่านเมืองไปได้ โดยที่เรานั่งอ่านหนังสือพิมพ์อยู่ที่เบาะหลัง เพื่อที่จะทำความเข้าใจกับระบบ GPS ประเภทนี้ เราจำเป็นต้องมีความรู้เล็กน้อยเกี่ยวกับสัญญาณของระบบ DGPS เสียก่อน

ระบบ DGPS ประกอบด้วยเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส 2 เครื่องที่อยู่ใกล้กัน สมมติว่าประมาณ 200–300 กิโลเมตร สัญญาณของระบบจีพีเอสที่เดินทางมาถึงเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสทั้งสองจะเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศส่วนเล็กๆ เดียวกันและถือเสมือนว่าเป็นหนึ่งเดียวกัน

คลื่นรหัส (Code Phase) และคลื่นพาห์ (Carrier Phase) ในกรณีของการรังวัดระบบเวลา ความถี่ของคลื่นพาห์สามารถทำให้ความละเอียดถูกต้องของระบบ GPS ดีขึ้นได้ เนื่องจากในการรังวัดระบบเวลา เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจะทำการพิจารณาหาจำนวนเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางมาจากดาวเทียม โดยการเปรียบเทียบลักษณะเฉพาะของรหัส PRC ที่เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสสร้างขึ้นกับรหัส PRC ที่ส่งมากับสัญญาณดาวเทียม โดยเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจะทำการเลื่อนรหัสของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเองทีละเล็กน้อยในรูปของเวลา จนกระทั่งสอดคล้องกับรหัสจากดาวเทียม และปริมาณของการเลื่อนรหัสจะมีค่าเท่ากับเวลาในการเดินทางของสัญญาณดาวเทียม

ปัญหาก็คือ 1 ช่วงคลื่นของรหัส PRC มีขนาดกว้างมากถึงแม้ว่าเราจะทำการปรับจนสอดคล้องกันแล้วก็ยังคงปรากฏจำนวนลาดเอียงอยู่อีกมาก ถ้าเรามาลองพิจารณาความหมายการเปรียบเทียบรหัสของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส กับรหัสจากดาวเทียมถึงความสอดคล้องกันในความหมายทางตรรกะ ความสอดคล้องจะเกิดขึ้นเมื่อรหัสจากเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเป็นบวกและรหัสจากดาวเทียมก็เป็นบวกด้วย หรือเมื่อรหัสจากเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเป็นลบและรหัสจากดาวเทียมก็เป็นลบด้วย ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่าขณะเมื่อรหัส PRC สอดคล้องกันแล้วจะยังคงมีการเหลื่อมกันอยู่อีกเล็กน้อย ปัญหานี้จะเกิดขึ้นกับเฉพาะคลื่นรหัสเท่านั้น เช่นถ้าเราทำการเปรียบเทียบรหัส PRC ขณะที่มีความกว้างเป็น 10^{-6} วินาที เมื่อเทียบกับความเร็วแสงแล้ว 10^{-6} วินาที จะทำให้เกิดความผิดลาดประมาณ 300 เมตร แต่ถึงกระนั้นคลื่นรหัสของ GPS ก็ยังพอใช้งานได้เนื่องจากเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเอง ได้รับการออกแบบมาให้มีความสามารถในการหาวิธีการเปรียบเทียบคลื่นรหัสได้จนเกือบสมบูรณ์แบบ จนเหลือความคลาดเคลื่อนประมาณร้อยละ 2 ของทั้งหมดก็คือ 3-6 เมตรนั่งเอง

เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสที่ใช้ในงานสำรวจ จะเริ่มต้นการปฏิบัติงานด้วยการเปรียบเทียบรหัส PRC เพื่อหาเวลาที่คลื่นสัญญาณจีพีเอสใช้ในการเดินทางแล้วทำการคำนวณหาระยะทางระหว่างเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสกับดาวเทียมและทำการประมวลผลหาค่าพิกัดโดยประมาณแล้วจึงทำการรังวัดคลื่นพาห์ของรหัสนั้นในขณะที่คลื่นพาห์จะมีความถี่สูงกว่า ดังนั้นจึงให้ความละเอียดถูกต้องมากกว่า ถ้าเราเปรียบคลื่นพาห์กับวิทยุรถยนต์ เมื่อเราตั้งความถี่ 94.7 เมกกะเฮิทซ์ จะเห็นได้ชัดเจนว่าเราจะไม่สามารถได้ยินเสียง 94.7 ล้านลูกคลื่นต่อวินาที แต่เราจะได้ยินเสียงเพลงที่ถูกปรุงแต่งมากับความถี่ 94.7 เมกกะเฮิทซ์ ดังนั้นถ้าเราได้ยินใครพูดในวิทยุนั้น หมายถึงว่าเรากำลังได้ยินคลื่นพาห์ความถี่ 94.7 เมกกะเฮิทซ์ กำลังแปรเปลี่ยนด้วยอัตรา 400 ลูกคลื่นต่อวินาที

ในระบบของจีพีเอสก็เช่นเดียวกันรหัส PRC จะมีความถี่ประมาณ 1 เมกกะเฮิทซ์ ในขณะที่คลื่นพาห์จะมีความถี่เป็นกิกะเฮิรตซ์ หรือมากกว่าประมาณ 1,000 เท่า ที่ความเร็วแสง 15.7 กิกะเฮิรตซ์ สัญญาณจีพีเอสจะมีความยาวคลื่นประมาณ 20 เซนติเมตร ดังนั้นโดยหลักการแล้วคลื่นพาห์จะให้ความละเอียดถูกต้องในการอ้างอิงได้ดีกว่ารหัส PRC และถ้าเราสามารถทำการเปรียบเทียบคลื่นให้สอดคล้องกันได้ จนเหลือความคลาดเคลื่อนเพียงร้อยละ 1 เหมือนกับที่เราทำได้กับคลื่นรหัส PRC แล้ว เราก็จะได้ความละเอียดถูกต้องจากการรังวัดคลื่นพาห์ ประมาณ 3 หรือ 4 มิลลิเมตร

ในทางปฏิบัติการนับจำนวนลูกคลื่นที่แน่นอนระหว่างเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส กับดาวเทียม โดยการนับจำนวนคลื่นพาห์นั้นกระทำได้ยากเพราะเป็นคลื่นที่มีลักษณะเหมือนกันหมด แต่ในทางกลับกันรหัส PRC ซึ่งมีลักษณะที่ซับซ้อนจะสามารถช่วยให้การนับคลื่นพาห์เป็นเรื่องง่าย ดังนั้น

แนวทางของการรังวัดคลื่นพาห์ของสัญญาณจีพีเอส ก็คือใช้เทคนิคการรังวัดคลื่นรหัส PRC ช่วยให้การนับจำนวนคลื่นพาห์ให้ใกล้เคียงขึ้น นั่นคือถ้าสามารถรังวัดคลื่นรหัส PRC ได้ความละเอียดถูกต้องถึง 1 เมตร ก็จะเท่ากับความยาวของช่วงคลื่นพาห์ประมาณ 2-3 ช่วงคลื่น ซึ่งเรียกว่าค่าคลุมเครือของคลื่นพาห์ (Carrier Phase Ambiguity) ที่จะต้องทำการพิจารณาเพื่อหาตำแหน่งของเวลาขณะเมื่อถูกส่งออกมาจากดาวเทียม โดยปัจจุบันสามารถอาศัยเทคโนโลยีสมัยใหม่ด้านคอมพิวเตอร์ช่วยในการพิจารณาได้

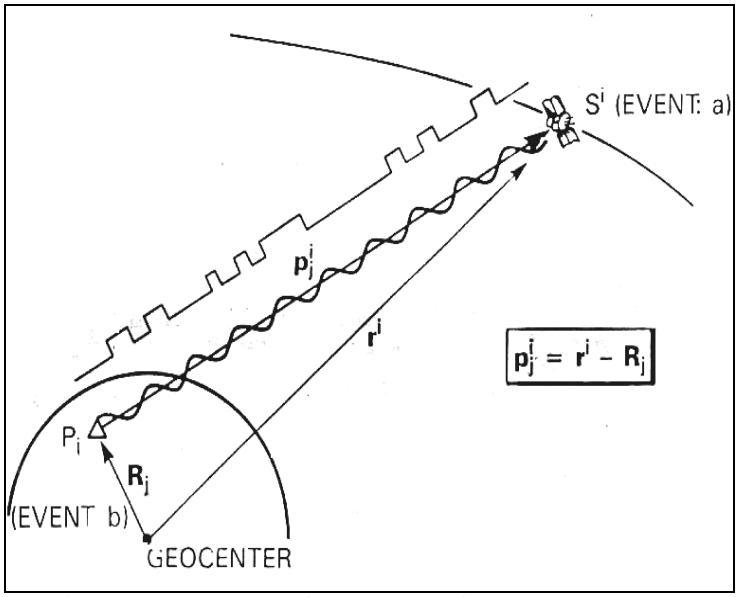
4 เทคนิคการรังวัดของระบบจีพีเอส

เทคนิคการรังวัดของระบบจีพีเอสแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

4.1 การรังวัดแบบสัมบูรณ์

การรังวัดแบบสัมบูรณ์ คือ การรังวัดโดยใช้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเพียงเครื่องเดียวทำการรังวัดคลื่นรหัส C/A code หรือคลื่นพาห์ของดาวเทียมเป็นจำนวนอย่างน้อย 3-4 ดวงพร้อมกัน จะทำให้สามารถอ่านค่าพิกัดจากเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสได้ทันที แต่มีความละเอียดถูกต้องต่ำประมาณ 6–300 เมตร การรังวัดแบบสัมบูรณ์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

4.1.1 การรังวัดระยะคลื่นรหัสและคลื่นพาห์ (Scherrer 1985 :85-013) ลักษณะดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 การรังวัดระยะคลื่นรหัสและคลื่นพาห์

คำจำกัดความ

องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียมจะเขียนไว้เป็นตัวยก

องค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับภาคพื้นจะเขียนไว้เป็นตัวห้อย

R_j คือ เวคเตอร์ของสถานีภาคพื้น

r^i คือ เวคเตอร์ดาวเทียม

P^i_j ระยะทางระหว่างดาวเทียม i กับสถานีภาคพื้น j

$\Delta t^i(a)$ คือ ตัวแก้เวลาดาวเทียมเมื่อขณะเวลา “a”

$\Delta t_j(b)$ คือ ตัวแก้เวลาเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสขณะเวลา “b”

การรังวัดระยะคลื่นรหัสสามารถดำเนินการได้โดยการใช้รหัสเท่านั้น เนื่องจากรหัสเท่านั้นจึงจะแสดงเวลาที่ถูกส่งออกจากดาวเทียมและเวลาที่เครื่องหาค่าพิกัดได้รับ

เรารู้เวลาขณะเหตุการณ์ “a” เมื่อสัญญาณถูกส่งออกจากดาวเทียมและเวลาขณะเหตุการณ์ “b” เมื่อเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสรับสัญญาณได้ เราสามารถคำนวณหาระยะคลื่นรหัสได้

$$\tilde{P}^i_j = c\,[\, t_j(b) - t^i(a)\,]$$

ทำการหาความสัมพันธ์ของเวลาทั้งสองที่ต่างกันโดยเทียบกับเวลาอ้างอิงจีพีเอสจะได้ว่า

$$\tilde{P}^i_j = c\,[\, b - \Delta t_j(b) - (a - \Delta t^i(a))\,] = c\,[\, b - a\,] + c\,[\, \Delta t^i(a) - \Delta t_j(b)\,]$$

เนื่องจาก $P^i_j = c\,[\, b-a\,]$ ซึ่งเป็นระยะทางตรงระหว่างสถานีภาคพื้นกับดาวเทียม

จะได้ว่า $P^i_j = |\, r^i - R_j\,|$

ดังนั้น $\tilde{P}^i_j = |\, r^i - R_j\,| + c\,[\, \Delta t^i(a) - \Delta t_j(b)\,]$

Φ^i_j คือจำนวนลูกคลื่นจากดาวเทียม i^{th} ถูกรังวัดด้วยเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส j^{th}

$$\Phi^i_j = \frac{F^i_j \tilde{P}^i_j}{C} = \frac{F^i_j\,[\, t_j(b) - t^i(a)\,]}{C}$$

F^i_j คือ ความถี่ของสัญญาณจากดาวเทียม i^{th} ทำการรังวัดด้วยเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส j^{th}

ทำการหาความสัมพันธ์ของระบบเวลาทั้งสองที่ต่างกัน โดยเทียบกับเวลาอ้างอิงจีพีเอสจะได้ว่า

$$\Phi^i_j = F^i_j\,[\, (b - \Delta t_j(b) - (a - \Delta t^i(a))\,] = F^i_j\,(b-a) + F^i_j\,[\, \Delta t^i(a) - \Delta t_j(b)\,]$$

$$b\text{-}a = \frac{P^i_j}{C} = \frac{|r\text{-}R|}{C}$$

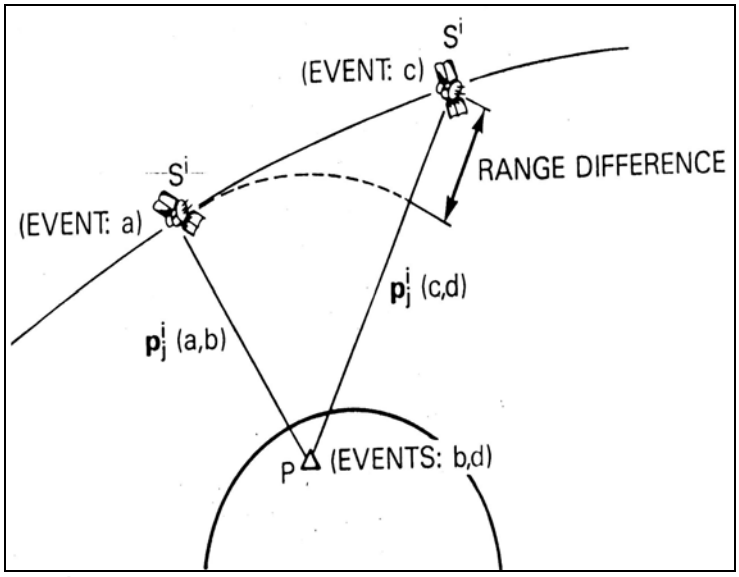
ดังนั้น $$\varnothing^i_j = F^i_j \frac{|r-R|}{C} + F^i_j [\Delta t^i(a) - \Delta T_j(b)]$$

คลื่นพาห์เป็นคลื่นที่ยังมิได้ปรุง จึงไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับเวลาอยู่ด้วย ฉะนั้นจึงเป็นไปไม่ได้ที่จะทำการพิจารณาหาเวลาของการรังวัดได้ หรืออาจกล่าวได้ว่า เราไม่ทราบว่าลูกคลื่นลูกใดเป็นลูกแรกที่ถูกส่งมาจากดาวเทียม และถ้าการนับจำนวนลูกคลื่นขาดช่วง เราจะเรียกว่า “Cycle Slip”

4.1.2 การรังวัดดอปเปลอร์

เนื่องจากความถี่ที่เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสรับได้จะต่างจากความถี่ ขณะเมื่อถูกส่งออกจากดาวเทียมและมีอัตราการเปลี่ยนคงที่ เนื่องจากความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างเครื่องส่งสัญญาณบนดาวเทียมกับเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส ซึ่งเรียกว่า “Doppler Effect”

ปริมาณความถี่ที่เปลี่ยนไป คือค่าผลรวมของความต่างความถี่ของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ เทียบกับความถี่คงที่ของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส ในห้วงเวลาระยะเวลาที่ทำการรังวัดสัญญาณนั้น ดูภาพที่ 34



ภาพที่ 34 การรังวัดดอปเปลอร์

สูตรพื้นฐานของการนับปริมาณความถี่ที่เปลี่ยนไป

$$N^i_j(b,d) = \int_{T_j(b)}^{T_j(d)} (F_j - F^i_j)\, dT_j = F_j [\, T_j(d) - T_j(b)] - \int_{T_j(b)}^{T_j(d)} F^i_j\, dT_j$$

เมื่อ F_j คือ ความถี่ที่สร้างขึ้นโดยเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส

F^i_j คือ ความถี่จากดาวเทียม i ถูกรังวัดโดยเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส j

เนื่องจากจำนวนลูกคลื่นของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา ระหว่างเวลา $t^i(a)$ และ $t^i(c)$ จะต้องเท่ากับจำนวนลูกคลื่นที่ส่งออกมา และรับได้ระหว่างเวลา $T_j(b)$ และ $T_j(d)$

ดังนั้นเราจะเขียนได้ว่า

$$\int_{T_j(b)}^{T_j(d)} F^i_j\, dT_j = \int_{t^i(a)}^{t^i(c)} f^i\, dt^i$$

เมื่อ f^i คือ ความถี่ของสัญญาณที่ส่งออกมาโดยดาวเทียม i

ดังนั้น $N^i_j(b,d) = F_j[\, T_j(d) - T_j(b)\,] - f^i\,[\, t^i(c) - t^i(a)\,]$

อาศัยความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ในรูปของเวลาจะได้ว่า

$$T_j(b) = t^i(a) + \frac{\tilde{P}^i_j(a,b)}{C}$$

$$T_j(d) = t^i(c) + \frac{\tilde{P}^i_j(c,d)}{C}$$

ดังนั้นเราจึงแทนค่า T_j ด้วย T^i ได้ดังนี้

$$N^i_j(b,d) = (F_j - f^i)\,[\, t^i(c) - t^i(a)\,] + \frac{F_j}{C}[\, \tilde{P}^i_j(c,d) - \tilde{P}^i_j(a,b)\,]$$

เมื่อ $\tilde{P}^i_j$ คือ ระยะคลื่นรหัสระหว่างดาวเทียมกับเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส

4.2 การรังวัดแบบสัมพันธ์

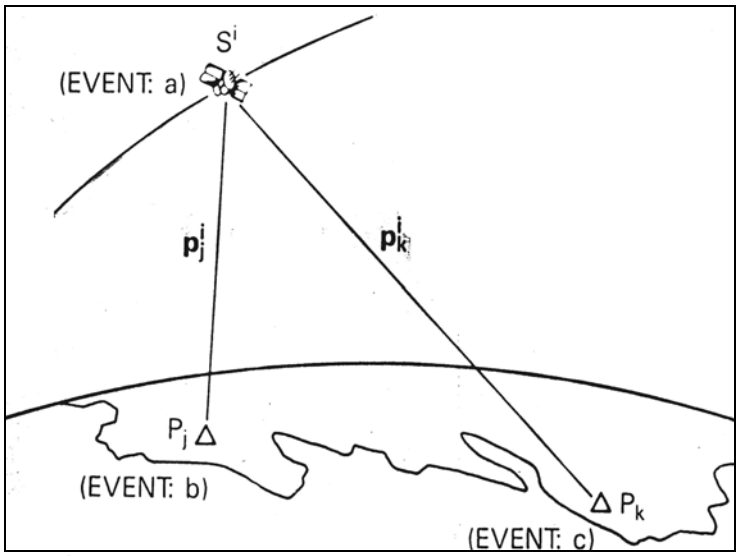
เป็นการรังวัดโดยใช้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจำนวน 2 เครื่องขึ้นไป ทำการรังวัดคลื่นรหัสและคลื่นพาห์ของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสจำนวน 4 ดวงขึ้นไป โดยทำการรังวัดพร้อมกันและต่อเนื่องเป็นช่วงเวลาหนึ่ง โดยความนานในแต่ละช่วงเวลาที่จะทำการรังวัดสัญญาณขึ้นอยู่กับ

จำนวนดาวเทียมที่ทำการรังวัด จำนวนความถี่ที่รังวัด ระยะทางและคุณลักษณะทางเรขาคณิตของกลุ่มดาวเทียม เป็นต้น

หลักพื้นฐานของการรังวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส คือการรังวัดคลื่นสัญญาณนั่นเอง ซึ่งถือว่าเป็นค่าความต่างศูนย์ และเราสามารถนำคลื่นที่รังวัดได้ไปประมวลผลร่วมกับคลื่นจากสัญญาณดาวเทียมดวงอื่น และจากเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเครื่องอื่น แบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ Single Difference , Double Difference และ Triple Difference

4.2.1 การรังวัดแบบ Single Difference สามารถแบ่งรูปแบบการรังวัดได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

ก) แบบความต่างระหว่างเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส การรังวัดความต่างแบบนี้เป็นการจัดรูปแบบของการรังวัด โดยเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจำนวน 2 เครื่อง ทำการรังวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสพร้อมกันจำนวน 1 ดวง ดังภาพที่ 35 ซึ่งเป็นวิธีการที่จะช่วยขจัดผลกระทบของความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากความไม่มั่นคงของนาฬิกาดาวเทียม



ภาพที่ 35 การรังวัดแบบ Single Difference

ข) แบบความต่างระหว่างดาวเทียม การรังวัดความต่างแบบนี้เป็นการจัดรูปแบบของการรังวัดโดยใช่เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส จำนวน 1 เครื่อง ทำการรังวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส จำนวน 2 ดวง ในกรณีนี้เราสามารถจะทำการขจัดผลกระทบของความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากความไม่มั่นคงของนาฬิกาเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส

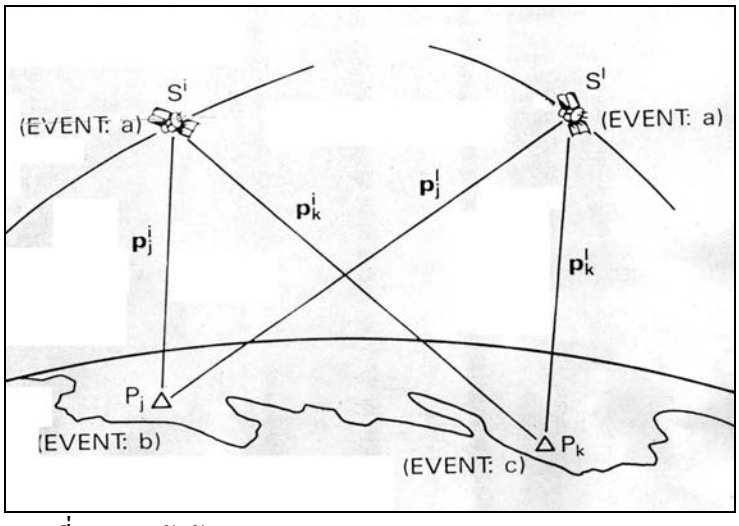
ทฤษฎี

$$\Delta\varnothing^{i}_{jk} = \varnothing^{i}_{k} - \varnothing^{i}_{j} - 2n\pi$$

แทนค่า $\Delta\varnothing$ จากการรังวัดคลื่นพาห์จะได้ว่า

$$\Delta\varnothing^{i}_{jk} = \frac{F^{i}_{k}}{C}|r^{i}-R_{k}| - \frac{F^{i}_{j}}{C}|r^{i}-R_{j}| + \frac{F^{i}_{j}}{C}\Delta T_{j}(b) - \frac{F^{i}_{k}}{C}\Delta T_{k}(c) - 2n\pi$$

4.2.2 การรังวัดแบบ Double Difference คือการจัดรูปแบบความต่างของแบบการรังวัดความต่างระหว่างเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจำนวน 2 ความต่าง กับแบบการรังวัดความต่างระหว่างดาวเทียม จำนวน 2 ความต่างของช่วงเวลาการรังวัดเดียวกัน ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 การรังวัดแบบ Double Difference

การรังวัดแบบนี้จะช่วยขจัดผลกระทบอันเนื่องมาจากความไม่มั่นคง ของนาฬิกาทั้งของดาวเทียมและเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส

นอกจากนั้นการรังวัดแบบ Double Difference ยังสามารถช่วยขจัดความคลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และ ไอโอโนสเฟียร์ เพราะเราทำการรังวัดพร้อมกันจึงถือว่าคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศเดียวกัน

ทฤษฎี $\Delta\varnothing^{il}_{jk} = \Delta\varnothing^{i}_{jk} - \Delta\varnothing^{l}_{jk} - 2n\pi$

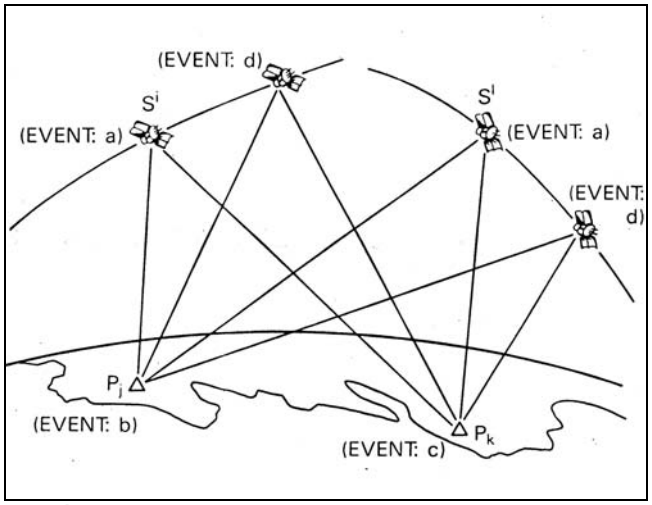
แทนค่า $\Delta\varnothing$ จากการรังวัดคลื่นพาห์จะได้ว่า

$$\Delta\varnothing^{il}_{jk} = \frac{F^{i}_{k}}{C}|r^{i}-R_{k}| - \frac{F^{i}_{j}}{C}|r^{i}-R_{j}| - \frac{F^{i}_{k}}{C}|r^{l}-R_{k}| + \frac{F^{i}_{j}}{C}|r^{l}-R_{j}| - 2n\pi$$

4.2.3 การรังวัดแบบ Triple Difference คือการรังวัดรูปแบบความต่างของการรังวัดแบบ Double Difference จำนวน 2 ความต่าง หรือเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มดาวเทียมกับเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสกลุ่มเดียวกัน แต่ต่างเวลากัน ดังภาพที่ 37

ถ้าทำการจัดรูปแบบความต่างของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส 1 เครื่องกับดาวเทียม 1 ดวง ข้อมูลคนละเวลากันเราเรียกว่าความต่างเวลาซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการรังวัดดอปเปลอร์ของระบบ Transit ดังนั้นการรังวัดแบบ Triple Difference เปรียบการรังวัดแบบ ดอปเปลอร์จากการรังวัดคลื่นจีพีเอสแบบ Double Difference

การรังวัดแบบ Triple Difference จะช่วยขจัดค่าคลุมเครือของจำนวนลูกคลื่นได้ แต่การคำนวณแบบ Double Difference ที่ทำการวัดค่าคลุมเครือ (Ambiguity Term) จะให้ความละเอียดถูกต้องของเส้นฐาน (Base Line) ดีกว่าแบบ Triple Difference



ภาพที่ 37 การรังวัดแบบ Triple Difference

บทที่ 6
โครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียม จีพีเอส 2531

1. จุดศูนย์กำเนิดพื้นหลักฐาน

การกำหนดจุดศูนย์กำเนิดของพื้นหลักฐานสำหรับการรังวัดดาวเทียม GPS เพื่อการคำนวณแบบ differential นั้น มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ค่าพิกัดของพื้นหลักฐาน WGS 1984 เป็นค่าพิกัดคงที่แรกออกที่ถูกต้องที่สุด และจะต้องเป็นค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดแบบ Absolute ซึ่งในปี พ.ศ.2531 ค่าพิกัด WGS 1984 ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงได้จากการรังวัดกลุ่มดาวเทียม ทรานสิท ซึ่งอาศัยเทคนิคการรังวัดแบบดอปเปลอร์ และใช้ Precise Ephemeris ในการคำนวณแบบ Absolute ซึ่งจะให้ค่า Accuracy ประมาณ 1.5 เมตร (90% Linear Error) ดังนั้น จึงได้กำหนดให้หมุดหลักฐานดาวเทียมดอปเปลอร์หมายเลข 10084 (เขาสะแกกรัง) ซึ่งเป็นหมุดหลักฐานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 หมายเลข 91 เป็นศูนย์กำเนิดพื้นหลักฐานของโครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียม จีพีเอส 2531

หมุดหลักฐานดาวเทียม GPS ซึ่งมีค่าพิกัดแรกออกดังนี้

ละติจูด	$15^\circ 23' 01''.547$	เหนือ
ลองจิจูด	$100^\circ 00' 47''.506$	ตะวันออก
กำหนดสูง (h)	111.647	เมตร
ทรงรีอ้างอิง	WGS84	

2. วิธีการรังวัดและการคำนวณ

การขยายโครงข่ายหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียม GPS ของประเทศไทย โดยใช้เครื่องมือแบบ Dual Frequency จำนวน 5 เครื่อง ทำการรังวัดดาวเทียม GPS อย่างน้อยที่สุด 5 ดวง ในเวลาเดียวกัน โดยจะทำการรังวัดพร้อมกันทุกเครื่อง หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณข้อมูลการรังวัดทั้งหมด 10 Vectors โดยมีเกณฑ์การตรวจสอบดังนี้

2.1 การตรวจสอบค่า Precision ของแต่ละ Vector จากข้อมูลทุก ๆ 15 วินาที เป็นจำนวน 1.5 - 2 ชั่วโมง ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ของแต่ละ Vector จะต้องมีค่าน้อยกว่า 1 เซนติเมตร

2.2 การตรวจสอบค่า Accuracy ของแต่ละ Session โดยนำ Vector ทั้ง 10 Vectors มาทำการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนบรรจบ (Loop Closure) จะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ระหว่าง 0.01 PPM-0.05 PPM

2.3 การควบคุมการบิดเบี้ยวทางทิศทาง และความแตกต่างทางเสกลของ Baseline หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ การควบคุมหรือตรวจสอบความเป็นอันหนึ่งอันเดียวกันของโครงข่าย สามารถทำการตรวจสอบและควบคุมได้โดยการทำการรังวัดซ้ำ Vector ของแต่ละ Session ที่ต่อเนื่องกันทุก Vector แล้วทำการตรวจสอบค่าความต่างของ Vector จะต้องไม่เกิน 15 เซนติเมตร

3. การคำนวณปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียม GPS

ในปี พ.ศ.2537 ได้ทำการคำนวณปรับแก้หมุดหลักฐานดาวเทียม GPS พร้อมกันทั้งประเทศ จากข้อมูลจำนวนทั้งสิ้น 124 Sessions, 310 สถานี, 1,240 Vectors, 3,420 Observations โดยใช้โปรแกรม Trimnet P ผลปรากฏว่าค่า Error Ellipse ที่มากที่สุดมีค่าไม่เกิน 3 เซนติเมตร โดยที่การคำนวณทั้งหมด กระทำบนพื้นหลักฐาน WGS 84

4. ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 กับ WGS 1984

พื้นหลักฐานอินเดียน 1975 เป็นผลมาจากการปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 พร้อมกันทั้งประเทศ โดยค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดดาวเทียมดอปเปลอร์ จำนวน 9 สถานีทั่วประเทศไทยเป็นหลักในการคำนวณปรับแก้ ดังนั้นความบิดเบี้ยวของพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 จึงมีค่าประมาณ 3 เมตร (max-min) เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นหลักฐาน WGS 84 โดยการเปรียบเทียบค่าพิกัดของหมุดสามเหลี่ยมและค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดดอปเปลอร์บนหมุดหลักฐานสามเหลี่ยมนั้น นั่นคือในปี พ.ศ.2531 ประเทศไทยมีโครงข่ายหมุดหลักฐานอยู่ 2 ประเภทคือ โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 (พื้นหลักฐาน อินเดียน 1975) ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนของโครงข่ายประมาณ 3 เมตร กับโครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS (พื้นหลักฐาน WGS 1984) ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนของโครงข่ายประมาณ 3 เซนติเมตร

เนื่องจากการวางโครงข่ายหมุดหลักฐานในปัจจุบันได้ดำเนินการโดยการรังวัดดาวเทียมGPS ซึ่งรวดเร็ว ประหยัด และถูกต้องมากกว่าการรังวัดด้วยวิธีการสามเหลี่ยม แต่ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS นั้นจะเป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS 84 ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการแปลงค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS 84 เป็นพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 โดยจะต้องพยายามรักษาไว้ซึ่งความละเอียดถูกต้องที่มีอยู่เดิม (ประมาณ 3 เซนติเมตร)

5. การแปลงพื้นหลักฐาน WGS 1984 เป็นพื้นหลักฐานอินเดียน 1975

การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างพื้นหลักฐาน WGS 1984 กับพื้นฐานอินเดียน 1975 สามารถดำเนินการ ได้ 3 วิธีคือ การทำ Datum Transformation, การสร้าง The Best Fit Surface และการทำ Re-computation ซึ่งแต่ละวิธีการมีข้อพิจารณาแตกต่างกันไป ดังนี้

5.1 การทำ Datum Transformation (7 ตัวแปร) จำเป็นต้องทราบค่าพิกัดทั้ง 2 พื้นหลักฐานบนหมุดเดียวกันเสียก่อน นั่นคือพื้นฐานอินเดียน 1975 และพื้นหลักฐาน WGS 1984 โดยมีข้อแม้ว่าค่าพิกัดจะต้องเป็นค่าที่ได้จากการรังวัดแบบอิสระ แต่การทำ Datum Transformation จะมีข้อเสียตรงที่จะทำให้เกิดค่า Distortion เพิ่มขึ้นประมาณ 3-4 เท่าตัว เมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนที่มีอยู่เดิมในโครงข่าย กล่าวคือเมื่อทำการแปลงค่าพิกัดพื้นหลักฐาน WGS 1984 จากโครงข่าย GPS เป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 แล้วจะทำให้เกิดค่า Accumulative Error หลังจากทำการแปลงค่าพิกัดแล้วประมาณ 10-12 เมตร นั่นคือวิธีการนี้จะเป็นการ Degrade โครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS จากเดิมที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเพียง 3 เซนติเมตร บนพื้นหลักฐาน WGS 84 เป็น 10-12 เมตร บนพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 หลังจากการทำ Datum Transformation แล้ว

5.2 การสร้าง The Best Fit Surface เช่นเดียวกัน วิธีการนี้จำเป็นต้องทราบค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานทั้ง 2 ณ หมุดหลักฐานเดียวกัน และค่าพิกัดดังกล่าวต้องได้จากการรังวัดแบบอิสระเช่นกัน แต่วิธีการนี้จะคำนวณถึงค่าความสัมพันธ์ระหว่างพื้นหลักฐานทั้ง 2 เพียง 3 ตัวแปร คือ ΔX , ΔY และ ΔZ สมมติว่าหมุดหลักฐานดังกล่าวมีอยู่ 9 สถานี ให้ทำการสร้างสมการความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปร ทั้ง 9 สถานี อาจจะใช้หลักการของ Multiple Regression ก็ได้ ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการแปลงค่าพิกัดได้ ขึ้นอยู่กับความคลาดเคลื่อนของแต่ละโครงข่ายที่มีอยู่เดิม แต่ก็ยังคงเป็นการ Degrade โครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS เมื่อคำนึงถึงค่า Accumulative Error

5.3 การทำ Re-computation วิธีการนี้จะต้องทำการรังวัดโครงข่าย GPS บนหมุดหลักฐานเดิมด้วยเหมือนกัน แล้วนำค่ารังวัดโครงข่ายสามเหลี่ยมหรือวงรอบมาทำการคำนวณใหม่ โดยใช้ค่าพิกัด WGS 1984 เป็นค่าคงที่ แล้วทำการคำนวณปรับแก้โครงข่ายเดิม ข้อเสียคือ จะเป็นการแปลงค่าพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 เป็น พื้นหลักฐาน WGS 1984 แต่ข้อดีคือเป็นการ Upgrade โครงข่ายเดิมให้ดีขึ้นเท่ากับโครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS

6. สรุปปัญหาการแปลงค่าพิกัดพื้นหลักฐาน

จะเห็นได้ว่าการแปลงค่าพิกัดพื้นหลักฐาน WGS 1984 เป็นพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 นั้น แต่ละวิธีการก็จะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน และสาเหตุที่ทำให้การแปลงค่าพิกัดทั้ง 3 วิธีนั้น มีค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นก็คือ

6.1 ค่าความคลาดเคลื่อนที่สะสมอยู่ในพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 เดิมที่มีอยู่ประมาณ 3 เมตร ดังที่กล่าวมาแล้ว นั่นคือสาเหตุที่ทำให้การแปลงค่าพิกัดด้วยวิธีการทำ Datum Transformation และ การสร้าง The Best Fit Surface มีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

6.2 วิธีการดำเนินการ เช่นการทำ Datum Transformation โดยทฤษฎีเองแล้ว จะทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น อันเนื่องจาก Distortion ของความพยายามที่จะทำกลุ่มข้อมูลของค่าพิกัด ซึ่งถ้าจะเปรียบไปแล้วก็คือ Surface อันหนึ่งให้กลายเป็นกลุ่มข้อมูลของค่าพิกัดอีกอันหนึ่งหรืออีก Surface หนึ่ง ย่อมจะทำให้เกิดค่าความบิดเบี้ยวขึ้น

7. แนวทางการแก้ปัญหา

7.1 การแก้ปัญหาความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดที่แฝงอยู่ในพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 โดยการกำหนดพื้นหลักฐานขึ้นมาใหม่ ซึ่งไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่เลย และจะต้องมีค่าพิกัดใกล้เคียงกับพื้นหลักฐานเดิม เพื่อไม่ให้กระทบกระเทือนต่อแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ที่มีอยู่เดิม ซึ่งสามารถดำเนินการได้ดังนี้

7.1.1 กำหนดพื้นหลักฐานใหม่ ให้มีจุดศูนย์กำเนิดพื้นหลักฐานอยู่ที่หมุดหลักฐานงานสามเหลี่ยม ชั้นที่ 1 หมายเลข 91 (เขาสะแกกรัง) จังหวัดอุทัยธานี

7.1.2 ทรงรีอ้างอิงคือ ทรงรีเอเวอร์เรสท์ และมีขนาดเท่าเดิม คือ

ค่ากึ่งแกนยาว = 6,377,276.3452 เมตร

ค่ากึ่งแกนสั้น = 6,356,075.413 เมตร

7.1.3 จุดศูนย์กลางของทรงรีอ้างอิง เอเวอร์เรสท์ ห่างจากจุดศูนย์กลางของ WGS 84เมื่อเปรียบเทียบในระบบพิกัด Cartesian Coordinate มีค่าดังนี้

ΔX = 206 เมตร

ΔY = 837 เมตร

ΔZ = 295 เมตร

7.1.4 พิกัดแรกออกของจุดศูนย์กำเนิดพื้นหลักฐานใหม่มีค่าพิกัดในเทอมของพื้นหลักฐาน WGS 84 ซึ่งได้จากการรังวัดดาวเทียมดอปเปลอร์ คือ

ละติจูด $15^{\circ}23'01''.547$ เหนือ

ลองจิจูด $100^{\circ}00'47''.506$ ตะวันออก

กำหนดสูง (h) 111.647 เมตร

ทรงรีอ้างอิง WGS84

ดังนั้นค่าพิกัดของหมุดหลักฐานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 หมายเลข 91 (เขาสะแกกรัง) จะมีค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานใหม่ คือ

ละติจูด $15^{\circ}22'56''.048$ เหนือ

ลองจิจูด $100^{\circ}00'59''.190$ ตะวันออก

กำหนดสูง (h) 111.647 เมตร

7.2 การแก้ปัญหาความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการแปลงค่าพิกัดจะหมดไป เนื่องมาจากการกำหนดพื้นหลักฐานขึ้นมาใหม่ และการกำหนดจุดศูนย์กลางทรงรี ตามข้อ 7.1.3 เท่ากับเป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดทั้งสอง โดยที่การคำนวณแปลงค่าระหว่างระบบพิกัดทั้งสองสามารถกระทำได้ดังนี้.-

$X_{84} + \Delta X = X_{31}$

$Y_{84} + \Delta Y = Y_{31}$

$Z_{84} + \Delta Z = Z_{31}$

(X_{84}, Y_{84}, Z_{84}) คือ ค่าพิกัดฉากบนพื้นหลักฐาน WGS 84

$(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$ คือ ค่าความต่างพิกัด

$\Delta X = 206$ เมตร

$\Delta Y = 837$ เมตร

$\Delta Z = 295$ เมตร

(X_{31}, Y_{31}, Z_{31}) คือ ค่าพิกัดฉากบนพื้นหลักฐานใหม่

จากสูตรการแปลงค่าพิกัดดังกล่าวสามารถทำการคำนวณค่า Accumulative Errors ได้ดังนี้.-

$\sigma_{31}^{2} = \sigma_{84}^{2} + \sigma_{\Delta}^{2}$

แต่เนื่องจากกำหนดให้ Δ X, Δ Y, และ Δ Z เป็นค่าคงที่ หรือความต่างระหว่างระบบพิกัดทั้งสอง

ดังนั้น $\sigma_{\Delta} = 0$

นั่นคือ $\sigma_{31} = \sigma_{84}$

หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่มีอยู่บนพื้นหลักฐาน โครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS ที่มีอยู่ 3 เซนติเมตร เมื่อแปลงเป็นค่าพื้นหลักฐานใหม่แล้วก็จะมีค่าความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ เท่าเดิม คือ 3 เซนติเมตร

7.3 เพื่อเป็นการ Upgrade โครงข่ายสามเหลี่ยมและวงรอบที่มีอยู่เดิม หลังจากที่ทำการแปลงค่าพิกัดโครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS เป็นค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานใหม่แล้ว เนื่องจากโครงข่าย GPS ได้ทำการรังวัดบนหมุดหลักฐานเดิมด้วย ดังนั้น เห็นควรทำการ Re-compute โครงข่ายสามเหลี่ยมและวงรอบเดิม โดยการนำค่ารังวัดมาคำนวณปรับแก้ใหม่ โดยใช้ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานใหม่ที่รังวัดบนหมุดหลักฐานสามเหลี่ยมและวงรอบ เป็นค่า Fixed ในการคำนวณปรับแก้ นั่นคือจะทำให้โครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ลดค่าความคลาดเคลื่อนที่แฝงอยู่จากเดิม 3 เมตร ลดลงเหลือประมาณ 3 เซนติเมตร ภายหลังจากที่ได้ทำการคำนวณปรับแก้แล้ว

8. เปรียบเทียบความต่างค่าพิกัด

ภายหลังจากที่ได้ทำการขยายโครงข่ายหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS โดยบางสถานีได้ทำการรังวัดบนหมุดสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 เพื่อประโยชน์ในการดำเนินการในข้อ 7.3 และเพื่อเป็นการเตรียมการสำหรับการแก้ไขแผนที่ 1:50,000 จากพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 เป็นพื้นหลักฐานWGS 1984 จึงได้ทำการเปรียบเทียบความต่างพิกัดทั้ง 2 ในรูปของพิกัด UTM ซึ่งสรุปได้ ดังนี้

8.1	โซน 47	Δ N	มีค่าประมาณ	303 เมตร
		Δ E	มีค่าประมาณ	-334 เมตร
8.2	โซน 48	Δ N	มีค่าประมาณ	314 เมตร
		Δ E	มีค่าประมาณ	-416 เมตร

ตารางที่ 4 ความต่างพิกัดระหว่างพื้นหลักฐาน WGS 84 - อินเดียน 1975

โซน 47

NO.	TRIG No	Δ N	Δ E
1	97	303.570	-334.161
2	100	303.509	-334.073
3	103	303.478	-333.998
4	134	303.506	-334.255
5	147	303.437	-334.282
6	229	303.569	-334.298
7	234	303.508	-334.310
8	84	303.486	-334.225

โซน 48

NO.	TRIG.No	Δ N	Δ E
1	126	313.653	-416.791
2	193	314.052	-415.421
3	203	314.619	-415.817
4	206	314.731	-415.919
5	209	315.123	-415.899
6	216	314.980	-415.684
7	220	314.901	-416.887
8	226	315.423	-417.149
9	273	313.607	-416.308
10	279	313.767	-415.955

ตารางที่ 5 สรุปพื้นหลักฐานในประเทศไทย

ลำดับ	พื้นหลักฐาน	จุดศูนย์กำเนิด	ละติจูด ลองจิจูด	ความสูง จีออยด์(เมตร)	ทรงรีอ้างอิง
1	ราชบุรี	เขาหลวง จ.ราชบุรี	$13^{\circ}43' 30''.34$ $99^{\circ}32' 22''.94$	ศูนย์	เอเวอร์เรสท์
2	อินเดียน 1954	เขากะเลียนเปอร์ อินเดีย	$24^{\circ}07' 11''.26$ $77^{\circ}39' 11''.57$	ศูนย์	เอเวอร์เรสท์
3	อินเดียน 1975	เขาสะแกกรัง จ.อุทัยธานี	$15^{\circ}22'56''.0487$ $100^{\circ}00' 59''.1906$	- 20.46	เอเวอร์เรสท์

ตารางที่ 6 สรุปค่าตัวแปรพื้นหลักฐานในประเทศไทย

ลำดับ	สถานี/พื้นหลักฐาน/พิกัด	ค่าตัวแปร	สถานี/พื้นหลักฐาน/พิกัด	ผู้ดำเนินการ/พ.ศ.
1	เขาสะแกกรัง/WGS 84 15°23′01″.54761 100°00′47″.50649 111.647 เมตร	3 ตัวแปร Δ X=-206 Δ Y=-837 Δ Z=-295	เขาสะแกกรัง/อินเดียน 1975 15°22′56″.0487 100°00′59″.1906 120.98 เมตร	DMA/2531
2	เขาสะแกกรัง/WGS 84 15°23′01″.54063 100°00′47″.53085 107.887 เมตร	3 ตัวแปร Δ X=-210 Δ Y=-814 Δ Z=-289	เขาสะแกกรัง/อินเดียน 15°22′56″.0288 100°00′59″.2130	DMAHTC/2539
3	เขาสะแกกรัง/ITRF 94 15°23′01″.539621 100°00′47″.542029 107.7135 เมตร	7 ตัวแปร ΔX=-203.884 ΔY= 832.969 ΔZ= 293.969 κ=-0.0038 φ= 0.0579 Ω= 0.0781 SF=-0.017	เขาสะแกกรัง/อินเดียน - - -	IFAG/2539 <u>หมายเหตุ</u> 3 ตัวแปร ΔX = -205.788 ΔY = -833.213 ΔZ = -293.720
4	เขาสะแกกรัง/ITERF 94 15°23′01″.539621 100°00′47″.542029 107.7135 เมตร	ΔX - 204.7 ΔY - 836.8 ΔY - 294.7	เขาสะแกกรัง/อินเดียน 15°22′56″.05346 100°00′59″.18206 115.111 เมตร	รศ.ดร.ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ /2541
5	เขาสะแกกรัง/WGS 84 15°23′01″.54063 100°00′47″.53085 107.887 เมตร	ΔX - 205.550 ΔY - 833.479 ΔZ - 293.647	เขาสะแกกรัง/อินเดียน 1975 15°22′56″.0487 100°00′59″.1906 120.98 เมตร	กรมแผนที่ทหาร /2541

ตอนที่ ๔

เอกสารประกอบคำบรรยาย

วิชาแผนที่เชิงเลข

โดย

พ.อ. กนก วีรวงศ์

แผนที่เชิงเลข (Digital map)

1. กล่าวนำ

ความหมายอย่างง่ายๆ ของแผนที่เชิงเลข ก็คือแผนที่ที่อยู่ในคอมพิวเตอร์ เมื่อพิจารณาคำว่าแผนที่เชิงเลข อย่างตรงตัวอาจเห็นว่าไม่น่าเกี่ยวข้องกับคอมพิวเตอร์เท่าใดนัก แผนที่เชิงเลขถ่ายทอดมาจากคำภาษาอังกฤษว่า Digital map ในที่นี้คำว่า Digital แสดงถึงการเก็บข้อมูลของคอมพิวเตอร์ที่จะบันทึกอยู่ในรูปตัวเลขไม่ว่าจะเป็นข้อความ รูปภาพ หรือข้อมูลอื่นใด ดังนั้น Digital map ก็คือแผนที่ที่อยู่ในคอมพิวเตอร์โดยเก็บไว้ในรูปตัวเลขนั่นเอง นอกจากคำว่า Digital map แล้วในบางแห่งมีการใช้คำว่า Electronic map ในความหมายเดียวกัน

เมื่อแผนที่ถูกเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ก็สามารถนำออกมาแสดงผลบนจอภาพโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสม โปรแกรมสำหรับการแสดงแผนที่บนจอภาพนั้นโดยทั่วไปแล้วมีขีดความสามารถในการแสดงผลแผนที่โดยการขยายให้มีขนาดใหญ่หรือย่อให้เล็กลงตามต้องการได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือสามารถแสดงผลที่มาตราส่วนใดก็ได้ คำว่ามาตราส่วนในที่นี้หมายถึงระยะบนแผนที่ต่อระยะบนภูมิประเทศ แผนที่กระดาษมีมาตราส่วนคงที่ ยกตัวอย่างในกรณีของแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 นั้น ถนนที่มีความยาว 1 กิโลเมตรในภูมิประเทศจริง จะมีความยาวเท่ากับ 2 เซนติเมตรบนแผนที่ แต่สำหรับแผนที่เชิงเลขแล้วถนนเส้นเดียวกันนั้นสามารถแสดงผลออกบนจอภาพหรือจะพิมพ์ออกมาให้มีความยาวเท่าใดก็ได้ อย่างไรก็ตามการอ้างถึงแผนที่เชิงเลขก็ยังนิยมกล่าวถึงมาตราส่วนอยู่เนื่องจากเป็นที่เข้าใจกันทั่วไป คำว่ามาตราส่วนของแผนที่นอกจากจะแสดงถึงอัตราส่วนระหว่างระยะบนแผนที่กับระยะในภูมิประเทศแล้วยังมีความหมายเป็นนัยบ่งถึงชนิดของข้อมูลที่เก็บในแผนที่และความละเอียดถูกต้องของแผนที่ด้วย ตามปรกติแผนที่มาตราส่วนต่างๆ จะเก็บข้อมูลไม่เหมือนกัน ยกตัวอย่างเช่นเมื่อกล่าวถึงแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ส่วนใหญ่มักจะทราบว่าเป็นแผนที่ที่มีข้อมูลและมีความละเอียดถูกต้องในระดับหนึ่ง สำหรับแผนที่มาตราส่วน 1:250,000 ก็จะมีข้อมูลและความละเอียดถูกต้องที่ต่างจากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000

2. วิวัฒนาการของแผนที่

แผนที่ที่เก่าแก่ที่สุดเท่าที่มีการค้นพบคือแผนที่ของชาวบาบิโลเนียนทำขึ้นด้วยดินเหนียวเมื่อเกือบสองพันปีก่อนพุทธกาล สันนิษฐานว่าสร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับการเก็บภาษี หลังจากนั้นก็มีเปลี่ยนแปลงวัสดุที่ใช้ทำแผนที่ไปตามเทคโนโลยีในแต่ละยุคสมัย รูปแบบของแผนที่ที่แพร่หลายมากที่สุดก็คือแผนที่ที่พิมพ์บนแผ่นกระดาษ การทำแผนที่แบบเดิมต้องใช้เครื่องมือเฉพาะโดยมีกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อน ต้องใช้ความรู้ความสามารถสูง และใช้เวลามาก เมื่อต้องการแก้ไขแผนที่ให้ทันสมัยก็มักจะต้องเริ่มกระบวนการทำแผนที่ขึ้นมาใหม่ตั้งแต่ต้น

ต่อมาได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาเป็นเครื่องช่วยในกระบวนการทำแผนที่ทำให้เกิดความอ่อนตัวและมีความละเอียดถูกต้องสูงขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลพลอยได้ก็คือมีข้อมูลแผนที่เก็บอยู่ในคอมพิวเตอร์หรือที่เรียกว่า แผนที่เชิงเลข เมื่อต้องการแก้ไขแผนที่ให้ทันสมัยก็สามารถนำข้อมูลแผนที่เชิงเลขเดิมมาเพิ่มเติมแก้ไขข้อมูลเฉพาะที่มีการเปลี่ยนแปลงไปเท่านั้นไม่ต้องเริ่มกระบวนการเพื่อทำแผนที่ใหม่ทั้งหมดจึงเป็นการลดขั้นตอนและประหยัดเวลาลงได้

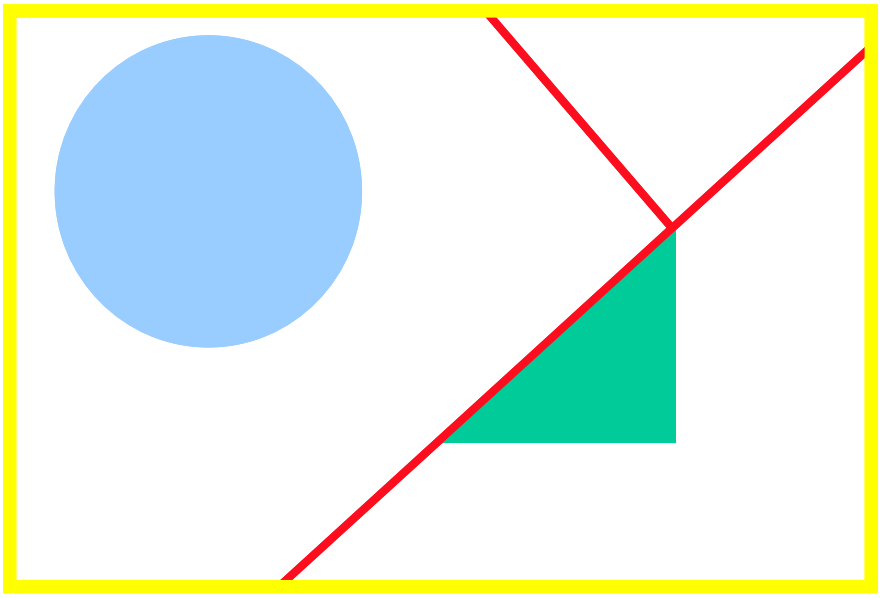
สาเหตุที่กล่าวว่าแผนที่เชิงเลขเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการทำแผนที่กระดาษเนื่องจากวัตถุประสงค์หลักของการทำแผนที่ในสมัยก่อนนั้นก็เพื่อผลิตแผนที่สำหรับการพิมพ์บนแผ่นกระดาษ ข้อมูลแผนที่เชิงเลขอันประกอบด้วยสัญลักษณ์ต่างๆ ทั้งที่เป็นจุด เส้น รูปหลายเหลี่ยม และตัวอักษรนั้นถูกบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์โดยคำนึงถึงความสะดวกในการพิมพ์ออกมาบนกระดาษเป็นหลัก

ในขณะคอมพิวเตอร์ได้กลายเป็นส่วนสำคัญของการทำแผนที่นั้น คอมพิวเตอร์ก็ได้กลายเป็นเครื่องมือสำคัญในการใช้แผนที่ด้วย ดังจะเห็นได้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic information system หรือ GIS) ซึ่งมีข้อมูลแผนที่ถือว่าเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบนี้ แต่แผนที่เชิงเลขที่ใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์นั้นจะต้องเป็นแผนที่เชิงเลขที่มีข้อมูลอื่นเพิ่มเติมเข้าไปด้วยเพื่อให้สามารถใช้ในการวิเคราะห์ได้ ข้อมูลที่เพิ่มเติมเข้าไปนี้เรียกว่าข้อมูลเชิงคำบรรยาย (Attribute data) เมื่อนำข้อมูลแผนที่เชิงเลขมาใส่ข้อมูลเชิงคำบรรยายเข้าไปจึงจะเป็นข้อมูลแผนที่เชิงเลขที่สามารถนำไปใช้การวิเคราะห์โดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปมักเรียกข้อมูลแผนที่เชิงเลขที่ไม่มีข้อมูลเชิงคำบรรยายประกอบว่าข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างข้อมูลแผนที่เชิงเลขที่ไม่มีข้อมูลเชิงคำบรรยายกับข้อมูลแผนที่เชิงเลขที่มีข้อมูลเชิงคำบรรยายประกอบ

3. การแบ่งประเภทของแผนที่เชิงเลข

แผนที่เชิงเลขที่เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่นิยมจำแนกตามรูปแบบการเก็บข้อมูลอย่างกว้างๆ ออกเป็นแผนที่เชิงเลขแบบจุดพิกัด (Vector data) และแผนที่เชิงเลขแบบจุดภาพ (Raster data) การเก็บข้อมูลทั้งสองประเภทมีข้อดีข้อเสียและความเหมาะสมในการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน

เพื่อให้สะดวกต่อการอธิบายความหมายของข้อมูลแผนที่เชิงเลขทั้งสองชนิด จะสมมติแผนที่อย่างง่ายขึ้นมาระวางหนึ่ง (ตามภาพที่ 1) มีบ่อน้ำ (สีฟ้า) อยู่ทางมุมบนซ้าย มีถนน (สีแดง) เส้นแรกอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ ถนนอีกเส้นหนึ่งแยกออกจากถนนเส้นแรกไปในแนวตะวันตกเฉียงเหนือ และมีที่นา (สีเขียว) รูปสามเหลี่ยมติดกับถนนเส้นแรก



ภาพที่ 1 แผนที่สมมติ

ในการเก็บข้อมูลแผนที่เชิงเลขแบบจุดพิกัด จะมีการจำแนกข้อมูลในแผนที่ออกตามลักษณะเรขาคณิตว่าเป็น เส้น (Line) จุด (Point) หรือรูปหลายเหลี่ยม (Polygon) แล้วบันทึกรายละเอียดที่จำเป็นเช่น ชนิด สี และตำแหน่งเป็นต้น ของข้อมูลแต่ชิ้นลงไป ยกตัวอย่างในกรณีของแผนที่สมมติตามภาพที่ 1 ข้อมูลแผนที่ทั้งหมดจะถูกจำแนกออกตามลักษณะแล้วบันทึกลงไปเป็นแฟ้มข้อมูลคอมพิวเตอร์ การบันทึกข้อมูลจากแผนที่สมมติในที่นี้จะกำหนดให้เริ่มจากข้อมูลชิ้นแรกคือบ่อน้ำ โดยบันทึกข้อมูลว่าเป็นวงกลมสีฟ้ารัศมี 6 หน่วยมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่พิกัด (9, 15) ส่วนข้อมูลชิ้นที่สองคือถนน บันทึกว่าเป็นเส้นตรงสีแดงมีจุดเริ่มต้นอยู่ที่พิกัด (12, 0) และจุดปลายอยู่ที่พิกัด (39, 21) ข้อมูลชิ้นต่อไปเป็นถนนเช่นเดียวกัน บันทึกว่าเป็นเส้นตรงสีแดง จุดเริ่มต้นที่พิกัด (30, 14) จุดปลายอยู่ที่พิกัด (21, 22) ข้อมูลชิ้นที่สี่อันเป็นชิ้นสุดท้ายคือที่นา บันทึกว่าเป็นสามเหลี่ยมสีเขียว มีจุดยอดอยู่ที่พิกัด (19, 5.5), (30, 5.5) และ (30, 14) ภาพที่ 2 แสดงการบันทึกข้อมูลแผนที่เชิงเลขแบบจุดพิกัด

1. วงกลม:สีฟ้า:6:(9, 15);

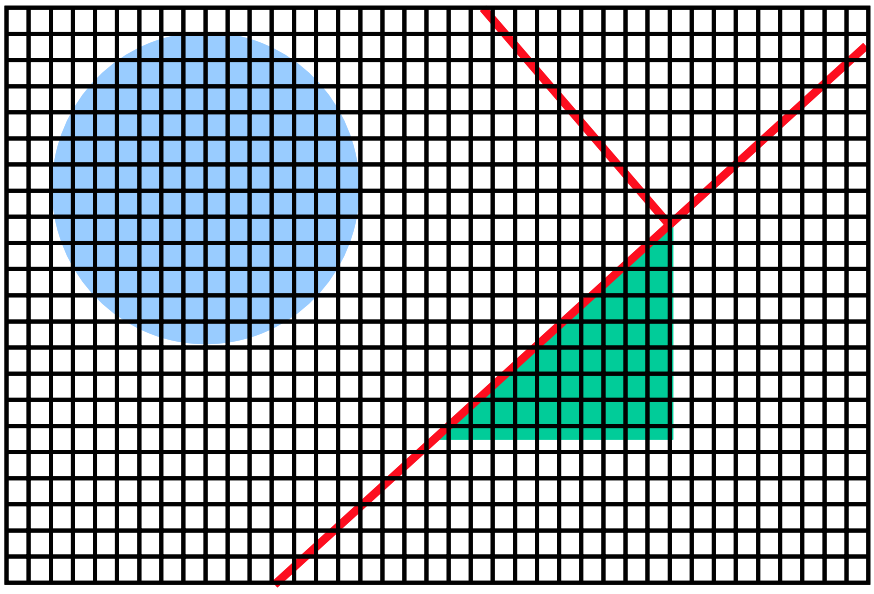
2. เส้น:สีแดง: (12, 0), (39, 21);

3. เส้น:สีแดง: (30, 14), (21, 22);

4. สามเหลี่ยม:สีเขียว: (19, 5.5), (30, 5.5), (30, 14);

ภาพที่ 2 การเก็บข้อมูลแผนที่เชิงเลขแบบจุดพิกัด

หลังจากที่ได้บันทึกข้อมูลไปแล้ว ถ้าต้องการนำข้อมูลที่บันทึกไว้มาแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมสำหรับแสดงผลก็สามารถทำได้โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เปิดแฟ้มข้อมูลที่บันทึกไว้แล้วอ่านข้อมูลมาทีละชิ้นเมื่ออ่านได้ครบจึงนำมาแสดงผลก็จะเกิดเป็นภาพของแผนที่บนจอคอมพิวเตอร์ ส่วนการพิมพ์แผนที่ก็สามารถกระทำในลักษณะที่คล้ายๆ กับการแสดงผลบนจอภาพ สำหรับการแก้ไขเพิ่มเติมแผนที่จะกระทำได้โดยการนำแฟ้มข้อมูลที่บันทึกไว้มาแก้ไขเพิ่มเติม เช่น ถ้าต่อมาปรากฏว่ามีการขยายขนาดของบ่อน้ำเดิมให้มีรัศมีเพิ่มขึ้นอีก 2 เมตร เป็น 8 เมตรก็สามารถแก้ไขค่ารัศมีของบ่อน้ำจาก 6 เป็น 8 ได้โดยสะดวก หรือถ้ามีถนนเพิ่มเติมขึ้นมาก็สามารถเพิ่มรายการที่ 5 เข้าไป (ในภาพที่ 2) เพื่อบันทึกข้อมูลของถนนเส้นใหม่นั้นได้ เมื่อพิจารณาในเรื่องเนื้อที่สำหรับเก็บแฟ้มข้อมูลจะเห็นได้ว่าขนาดของแฟ้มข้อมูลจะขึ้นอยู่กับปริมาณรายละเอียดที่มีอยู่ในแผนที่ ถ้ามีรายละเอียดมาก ยกตัวอย่างเช่น แผนที่ขนาด 5 กิโลเมตร × 5 กิโลเมตรของเมืองที่มีถนนและรายละเอียดอื่นๆ จำนวนมาก จำเป็นต้องใช้เนื้อที่สำหรับบันทึกในแฟ้มข้อมูลมาก แต่ถ้าเป็นแผนที่ที่ครอบคลุมพื้นที่เท่ากันแต่เป็นบริเวณนอกเมือง มีถนนและรายละเอียดอื่นๆ น้อย ก็ใช้เนื้อที่สำหรับบันทึกข้อมูลน้อย



ภาพที่ 3 การแบ่งแผนที่ออกเป็นตารางย่อย

ตัวอย่างวิธีการบันทึกข้อมูลที่ยกมาข้างต้นเป็นตัวอย่างง่ายๆ เพื่อให้สามารถเข้าใจถึงหลักการของการเก็บข้อมูลแผนที่เชิงเลขแบบจุดพิกัด ในการปฏิบัติงานจริงจะมีการบันทึกข้อมูลที่มีความซับซ้อนกว่านี้โดยมีรายละเอียดปลีกย่อยแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ของการปฏิบัติงานและเครื่องมือที่ใช้ รูปแบบการบันทึกข้อมูลที่นิยมในท้องตลาดได้แก่ DGN, DWG, DXF

เป็นต้น โดยทั่วไปแล้วข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบหนึ่งสามารถแปลงไปสู่อีกรูปแบบหนึ่งได้แต่อาจมีข้อมูลตกหล่นบ้าง

การเก็บข้อมูลแผนที่เชิงเลขแบบจุดภาพจะเหมือนกับการเก็บภาพถ่ายไว้ในคอมพิวเตอร์ โดยแบ่งแผนที่ออกเป็นตารางตามภาพที่ 3 แต่ละช่องในตารางเรียกว่าจุดภาพหรือ Pixel (มาจากคำว่า Picture element) ข้อมูลแผนที่จะถูกเก็บตามสี (หรือคุณสมบัติ) ของแต่ละจุดภาพ ยกตัวอย่างกรณีของแผนที่สมมติที่มีพื้นสีขาว บ่อน้ำสีฟ้า ถนนสีแดง และที่นาสีเขียวตามภาพที่ 1 นั้น ในการบันทึกข้อมูล ลำดับแรกเพื่อความสะดวกในการอธิบายจะขอแบ่งแผนที่ออกเป็นตารางให้มีขนาด 22 แถวและ 38 ช่อง ลำดับต่อไปจะบันทึกค่าของสีในแต่ละช่องเรียงกันตั้งแต่ช่องแรกในแถวแรกจนถึงช่องสุดท้ายในแถวสุดท้ายไว้ในแฟ้มข้อมูลคอมพิวเตอร์คือ (ดูภาพที่ 4) แถวที่ 1 ช่องแรกมีสีขาวก็จะบันทึก “ขาว” ช่องที่สองมีสีขาวก็จะบันทึก “ขาว” เช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงช่องที่ 22 ที่มีถนนสีแดงผ่านจะบันทึก “แดง” เช่นเดียวกับช่องที่ 23 ส่วนช่องต่อไปเป็นสีขาวทั้งหมดก็จะบันทึก “ขาว” ไปจนสุดแถว พอขึ้นแถวที่ 2 บันทึกเป็น “ขาว” ใน 6 ช่องแรกที่เป็นสีขาว ช่องที่ 7 มีสีฟ้ามากกว่าสีขาวก็จะบันทึกเป็น “ฟ้า” ไปจนถึงช่องที่ 12 จากนั้นเป็นสีขาวจนถึงช่องที่ 21 ส่วนช่องที่ 22 และ 23 นั้นเป็นสีแดง จากช่องที่ 24 ไปจนถึงช่องที่ 37 บันทึกเป็น “ขาว” จนช่องสุดท้ายของแถวที่ 2 คือช่องที่ 38 บันทึกเป็น “แดง” ทำเช่นนี้ต่อไปทุกแถวจนครบ 22 แถวลงในแฟ้มข้อมูลคอมพิวเตอร์ สังเกตว่าเนื้อที่สำหรับการบันทึกข้อมูลแบบนี้ในแฟ้มข้อมูลคอมพิวเตอร์จะขึ้นอยู่กับจำนวนแถวและช่อง ไม่ว่าแผนที่จะมีรายละเอียดมากน้อยเพียงใด

1. ขาว ขาว … แดง แดง ... ขาว ขาว;

2. ขาว ขาว ... ฟ้า ฟ้า … แดง แดง …ขาว ขาว … แดง;

…

12. ขาว ขาว … ฟ้า … ฟ้า ขาว ขาว … แดง แดง เขียว เขียว เขียว ขาว… ขาว;

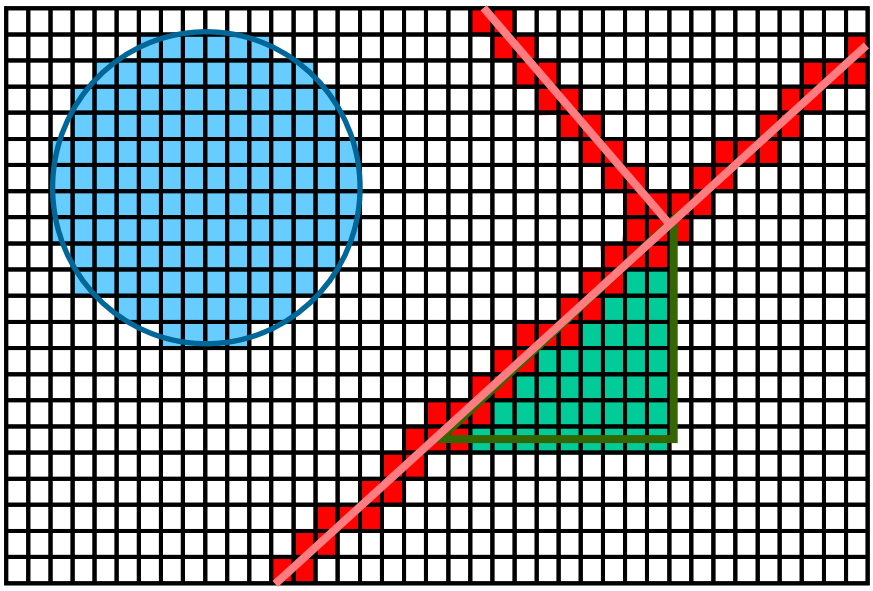
…

22. ขาว ขาว … แดง แดง ... ขาว ขาว;

ภาพที่ 4 การเก็บข้อมูลแผนที่เชิงเลขแบบจุดภาพ

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นว่าในการบันทึกข้อมูลบางครั้งต้องมีการตัดสินว่าจะบันทึกช่องนั้นเป็นสีอะไร ดังในกรณีของการบันทึกข้อมูลวงกลมสีฟ้าที่เริ่มต้นในแถวที่ 2 เมื่อพิจารณาช่องที่ 5

ปรากฏว่ามีทั้งสีขาวและสีฟ้า แต่สีฟ้ามีอัตราส่วนน้อยกว่าสีขาว ในตัวอย่างที่จึงบันทึกว่าช่องนี้มีสีขาว ส่วนช่องที่ 6 มีสีฟ้ามากกว่าสีขาวจึงบันทึกว่าเป็นสีฟ้า เมื่อนำข้อมูลที่บันทึกไว้มาแสดงผลเช่น การแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์นั้น ก็จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์อ่านแฟ้มข้อมูลที่บันทึกไว้แล้วแสดงผลออกมาดังภาพที่ 5 จะเห็นว่าผลที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนไปจากข้อมูลเดิม บ่อน้ำสีฟ้าที่เคยเป็นวงกลมนั้นไม่เป็นวงกลมอีกต่อไป (เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Aliasing) ถ้าต้องการให้ได้ผลที่ใกล้เคียงกับข้อมูลเดิมมากยิ่งขึ้นก็จะต้องแบ่งช่องให้มีขนาดเล็กลง ในเรื่องการแก้ไขเพิ่มเติมข้อมูลแผนที่เชิงเลขแบบจุดภาพเป็นเรื่องที่ค่อนข้างลำบากเพราะเป็นการเก็บข้อมูลเป็นจุดภาพไม่ได้เก็บตามลักษณะเรขาคณิตของข้อมูล ยกตัวอย่างเช่น การเพิ่มขนาดของบ่อน้ำจะต้องนำข้อมูลมาเปลี่ยนสีของจุดภาพต่างๆ ให้สอดคล้องกับขนาดของบ่อน้ำที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อบันทึกข้อมูลแผนที่ลงในแฟ้มข้อมูลแล้วไม่เหมาะสมที่จะนำแฟ้มข้อมูลกลับมาแก้ไขเพิ่มเติม



ภาพที่ 5 ผลการบันทึกข้อมูลแผนที่เชิงเลขแบบจุดภาพ

ในการปฏิบัติงานจริงคงจะไม่มีการตีตาราง ใช้คนตีความแล้วบันทึกข้อมูลดังตัวอย่างที่ยกมา โดยทั่วไปจะใช้เครื่องมือหรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการบันทึกข้อมูล ที่มักพบเห็นกันตามปรกติก็คือการนำแผนที่กระดาษหรือภาพถ่ายที่มีอยู่ไปเข้าเครื่องกราดภาพ (Scanner) เพื่อบันทึกข้อมูลเป็นแผนที่เชิงเลขเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ การบันทึกข้อมูลที่กราดได้จะมีความซับซ้อนมากกว่าตัวอย่างที่ยกมา ทั้งเทคนิคการบันทึกและรายละเอียดปลีกย่อยอื่นๆ ที่บันทึกลงไปในแฟ้มข้อมูลด้วย ทำให้มีรูปแบบการบันทึกอยู่มากมายเช่น JPEG, TIFF, GeoTIFF, GIF เป็นต้น การบันทึกข้อมูลวิธีนี้นอกจากจะใช้กับแผนที่หรือภาพถ่ายแล้วยังสามารถใช้กับข้อมูลชนิดอื่นได้อีก

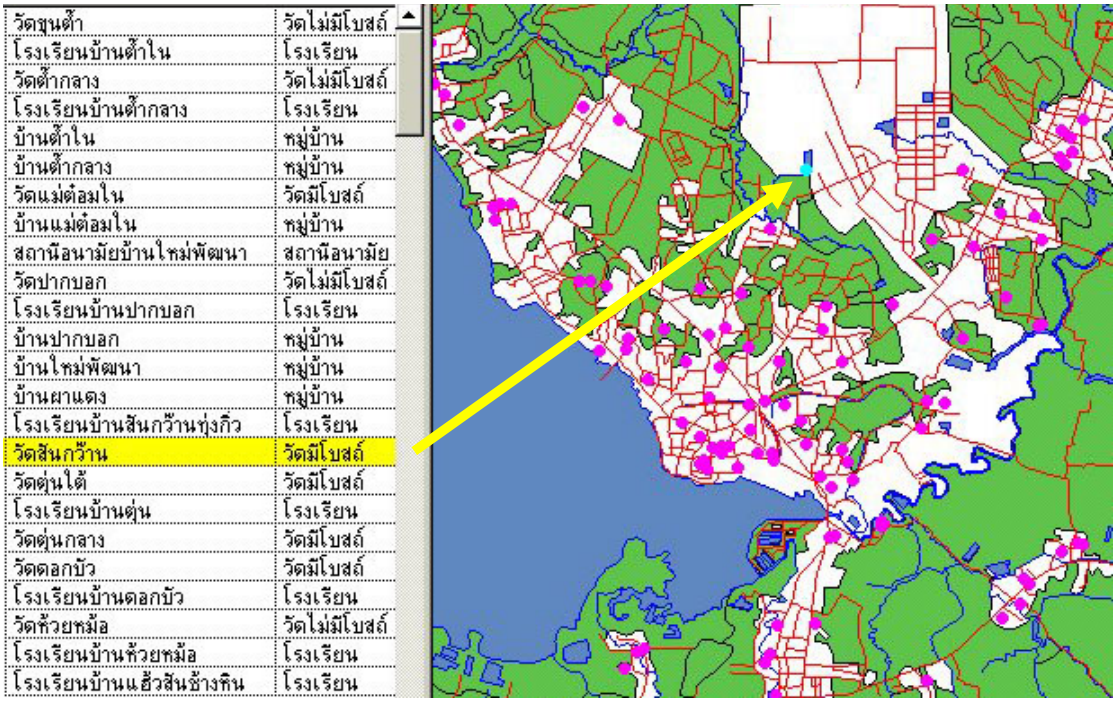
ด้วยเช่นการเก็บข้อมูลความสูงของภูมิประเทศ โดยแทนที่จะเก็บบันทึกเป็นสีก็จะบันทึกเป็นค่าความสูงของแต่ละจุดโดยมีระยะห่างคงที่ดังเช่นข้อมูล Digital Terrain Elevation Data Level 2 (DTED2) ของหน่วยงานทำแผนที่สหรัฐที่นิยมใช้ควบคู่กับแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 เป็นการเก็บค่าความสูงในพื้นที่ขนาด 1 องศา × 1 องศาโดยบันทึกค่าความสูงของจุดห่างกัน 1 พิลิปดาหรือประมาณ 30 ม.

เมื่อพิจารณาการเก็บข้อมูลแผนที่เชิงเลขแบบจุดภาพจะพบว่าการเก็บข้อมูลจะไม่เกี่ยวข้องกับค่าพิกัด แต่ในการปฏิบัติงานที่ต้องใช้แผนที่เชิงเลขส่วนใหญ่มักมีความจำเป็นต้องอ้างอิงค่าพิกัด ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแก้เพื่อใส่ค่าพิกัด (Geometric correction หรือ Georeferencing) ให้กับข้อมูลแผนที่เชิงเลขแบบจุดภาพซึ่งสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือบันทึกข้อมูลค่าพิกัดไว้ในแฟ้มข้อมูลหนึ่งแยกจากแผนที่เชิงเลข เวลาใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะต้องเปิดแฟ้มข้อมูลทั้งสองขึ้นมาพร้อมๆ กัน ส่วนอีกวิธีหนึ่งจะบันทึกข้อมูลค่าพิกัดรวมลงไปในแฟ้มข้อมูลที่เก็บข้อมูลแผนที่เชิงเลขแบบจุดภาพได้ (ดังเช่นรูปแบบ GeoTIFF) วิธีนี้จะมีแฟ้มข้อมูลเพียงแฟ้มเดียวทำให้มีความสะดวกในการจัดการข้อมูล

แผนที่เชิงเลขแบบจุดพิกัดและแผนที่เชิงเลขแบบจุดภาพมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ถ้าพิจารณาด้านความต้องการพื้นที่ในการเก็บข้อมูลจะเห็นว่าแผนที่เชิงเลขแบบจุดพิกัดมีโครงสร้างการเก็บข้อมูลที่ค่อนข้างซับซ้อน ต้องการเนื้อที่ในการเก็บข้อมูลตามปริมาณรายละเอียดที่มีอยู่ในแผนที่ ข้อมูลมีความละเอียดถูกต้องสูงและสามารถแก้ไขเพิ่มเติมข้อมูลได้ง่าย ส่วนแผนที่เชิงเลขแบบจุดภาพจะมีโครงสร้างการเก็บข้อมูลที่ง่ายไม่ยุ่งยาก ใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลคงที่ แต่ถ้าต้องการเก็บข้อมูลให้มีความละเอียดถูกต้องสูงจะต้องใช้เนื้อที่ในการเก็บข้อมูลมาก การแก้ไขเพิ่มเติมข้อมูลมีความยุ่งยากมาก

4. ข้อมูลแผนที่เชิงเลขประกอบคำบรรยาย

ข้อมูลที่ยกมาเป็นตัวอย่างในหัวข้อที่แล้วเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่เท่านั้น ข้อมูลแบบนี้ยังไม่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลแผนที่เชิงเลขที่จะนำไปใช้วิเคราะห์อย่างได้ผลดีจะต้องมีข้อมูลเชิงคำบรรยายประกอบด้วย ข้อมูลแผนที่เชิงเลขประกอบคำบรรยายนี้มีผู้นิยมเรียกว่า แผนที่ที่มีความฉลาด หรือ Smart map จากภาพที่ 6 จะเห็นว่าจุดสีฟ้าที่เห็นในข้อมูลเชิงพื้นที่นั้นมีคำบรรยายว่าเป็นวัดสันกว๊านซึ่งเป็นวัดที่มีโบสถ์ การใส่ข้อมูลเชิงคำบรรยายที่ประกอบเข้ากับข้อมูลเชิงพื้นที่สามารถทำได้มากเท่าที่ต้องการ



ภาพที่ 6 ข้อมูลแผนที่เชิงเลขประกอบคำบรรยาย

ในกรณีของวัดที่แสดงในภาพ นอกจากจะมีข้อมูลว่าเป็นวัดที่มีโบสถ์หรือไม่มีโบสถ์แล้ว ยังอาจใส่ข้อมูลอื่นเช่น ชื่อเจ้าอาวาส จำนวนพระเณร ปีที่ตั้งวัด เป็นต้น เพิ่มเติมเข้าไปได้อีก ยิ่งมีข้อมูลเชิงคำบรรยายมากขึ้นก็จะทำให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ละเอียดเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใส่ข้อมูลที่ไม่จำเป็นก็จะเป็นการเปลืองเนื้อที่ ตามปรกติข้อมูลเชิงคำบรรยายทั้งหมดจะถูกจัดเก็บในฐานข้อมูล โดยมีดัชนีที่เป็นตัวชี้ว่าข้อมูลเชิงคำบรรยายนั้นๆ เชื่อมต่อกับข้อมูลเชิงพื้นที่ชิ้นไหน

ข้อมูลแผนที่เชิงเลขประกอบคำบรรยายเมื่อนำมาใช้ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์อย่างถูกต้องจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ปัจจุบันจึงได้มีการนำแผนที่เชิงเลขไปใช้งานในด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย