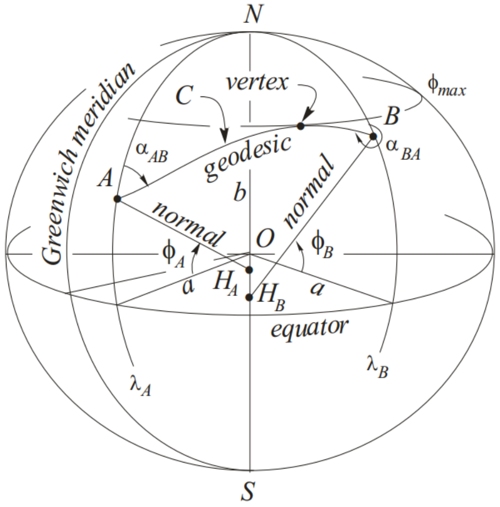
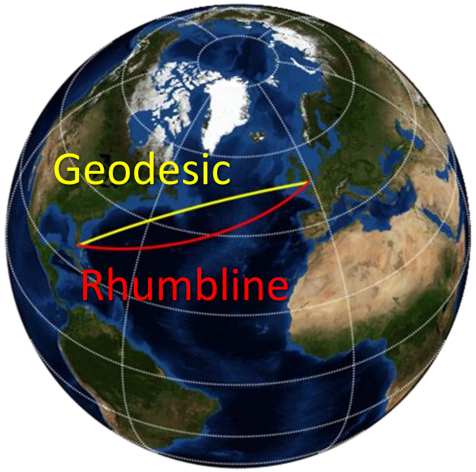
Geodesic Line





- Orthodrome or Geodesic Line เป็นเส้นบนทรงรีซึ่งมีระยะทางที่สั้นสุดระหว่างจุดสองจุดบนผิวทรงรี
- การคำนวณมีความซับซ้อน ต้องใช้โปรแกรมช่วยคำนวณ เช่น Geographiclib
  - Boundary Value Problem

ค่ากึ่งแกนเอก ค่าการแบน ตำแหน่งต้นทาง ตำแหน่งปลายทาง

```
PS C:\Users\ASUS> GeodSolve -i -e 6378137 1/298.257223563 --input-string "13.69 100.7501 35.772 140.3929"
51.07518946 68.54860347 4649897.972
```

Lat1 Lon1 Lat2 Lon2

faz ต้นทาง faz ปลายทาง ระยะทาง

  - Initial Value Problem

ค่ากึ่งแกนเอก ค่าการแบน ตำแหน่งต้นทาง แอซิมัทต้นทาง ระยะทาง

```
PS C:\Users\ASUS> GeodSolve -e 6378137 1/298.257223563 --input-string "13.69 100.7501 51.07518946 4649897.972"
35.77200000 140.39290000 68.54860347
```

lat ปลายทาง lon ปลายทาง ระยะทาง

- ประเด็นที่พอศึกษาได้คือเรื่องของ จุดยอดที่เส้นจีออเดซิกไปถึง (Vertex on the Geodesic) ผ่านการคำนวณละติจูดของจุดยอด ด้วยสมการเชิงวิเคราะห์ของพ่อแฟนต้า

$$cos^2\varphi_{max} = \frac{C_c^2(1-e^2)}{a^2 - C_c^2 e^2}$$

Vertex on the Geodesic

- ตำแหน่งทั้งหลายบนเส้นจีออเดซิกจะมีค่าคงตัวของแคร์โร (Clairaut's Constant) เท่ากัน

$$N(\varphi)cos\varphi sin\alpha = CONSTANT = C_c$$

Radius Curvature In Prime Vertical   Latitude   Forward Azimuth

Semi Major Axis

$$N(\varphi) = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$

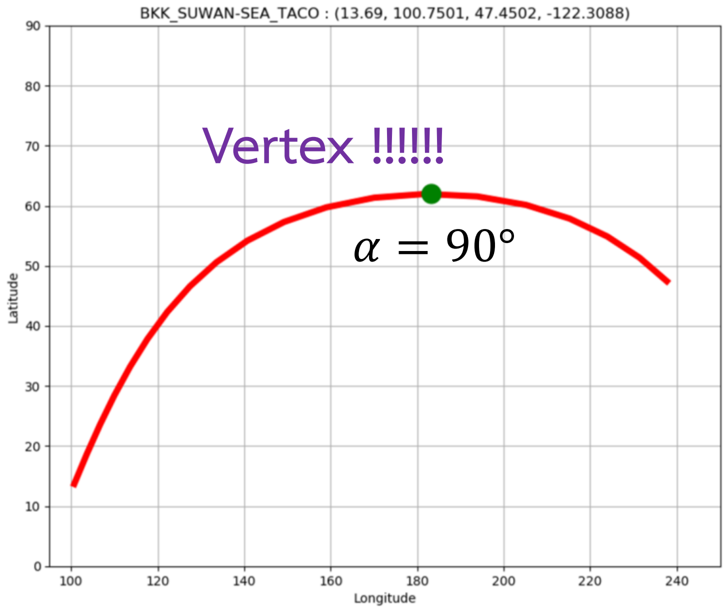
First Eccentricity

- ณ จุดยอดของเส้นจีออเดซิก เป็นตำแหน่งซึ่ง Forward Azimuth เป็น 90 หรือ 270 องศา
- การคำนวณละติจูดของตำแหน่งของจุดยอด
  - การวนซ้ำ (Iteration)

$$\varphi_{i+1} = cos^{-1}\left(\frac{C_c}{N(\varphi_{max})_i}\right)$$

  - การใช้สมการเชิงวิเคราะห์ของพ่อแฟนต้า (Analytical Formula) นักปรัชญาชาวสามย่านในตำนาน

$$cos^2\varphi_{max} = \frac{C_c^2(1 - e^2)}{a^2 - C_c^2 e^2}$$

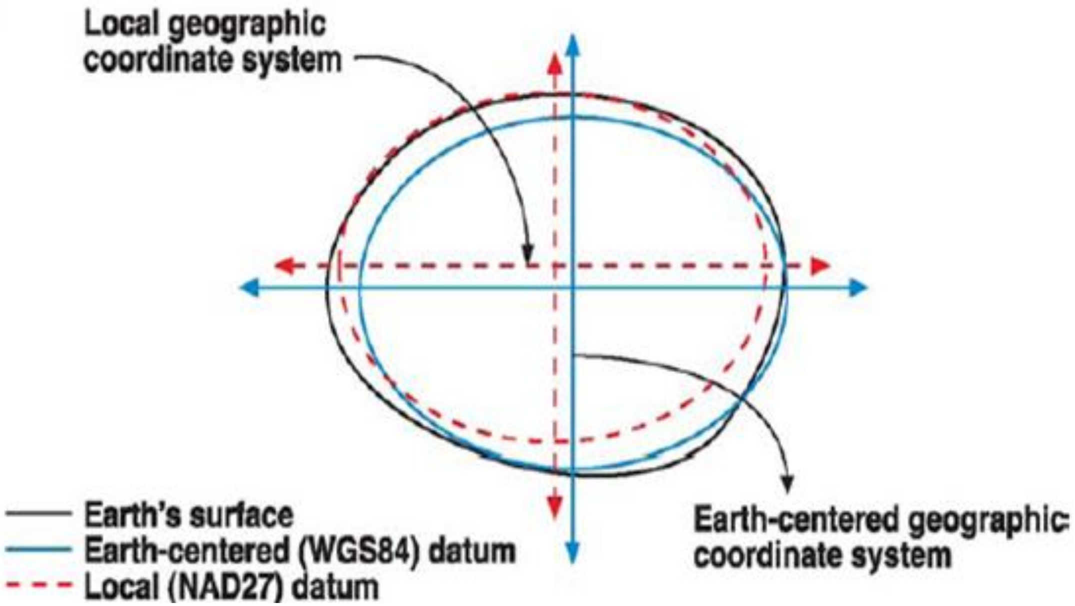


Geodetic Datum

- พื้นหลักฐาน (Datum) เป็นทรงรี (Ellipsoid) ที่ปรับให้เข้ากันได้กับพื้นโลก
  - Local Datum : INDIAN 1916, INDIAN 1954,
    INDIAN 1975 (Everest 1830 Ellipsoid)
  - Global Datum : WGS84 (Global GPS)
    GRS80 (Global ITRS)

$$f = \frac{a-b}{a} \qquad e = \sqrt{2f - f^2}$$

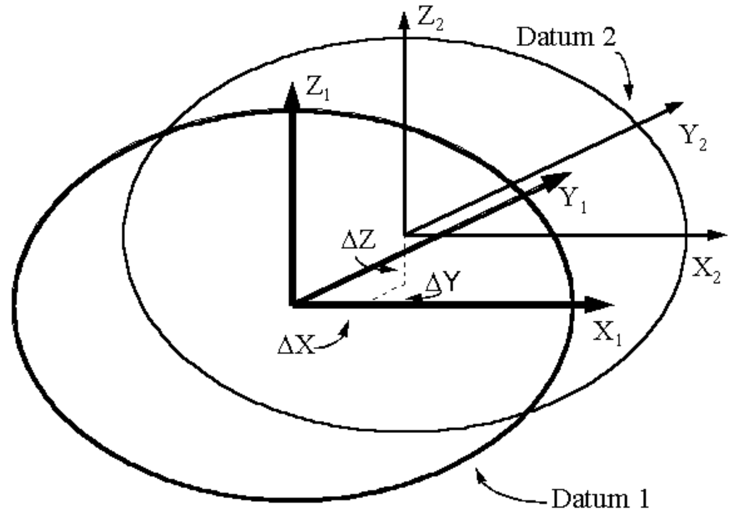
Ellipse	Semi-Major Axis (meters)	1/Flattening
Airy 1830	6377563.396	299.3249646
Bessel 1841	6377397.155	299.1528128
Clarke 1866	6378206.4	294.9786982
Clarke 1880	6378249.145	293.465
Everest 1830	6377276.345	300.8017
Fischer 1960 (Mercury)	6378166.0	298.3
Fischer 1968	6378150.0	298.3
G R S 1967	6378160.0	298.247167427
G R S 1975	6378140.0	298.257
G R S 1980	6378137.0	298.257222101
Hough 1956	6378270.0	297.0
International	6378388.0	297.0
Krassovsky 1940	6378245.0	298.3
South American 1969	6378160.0	298.25
WGS 60	6378165.0	298.3
WGS 66	6378145.0	298.25
WGS 72	6378135.0	298.26
WGS 84	6378137.0	298.257223563



Datum Transformation

- ประเด็นศึกษาเกี่ยวกับพื้นหลักฐานคือการคำนวณแปลงพิกัดระหว่างพื้นหลักฐาน INDIAN 1975 กับ WGS 1984 โดยใช้แบบจำลอง BURSA – WOLF อย่างง่าย พิจารณาแค่ DATUM SHIFT (Translation)

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{WGS84} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ID75} + \boxed{\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{to\_wgs84}}$$



- ลำดับการทำ Datum Transformation

INDIAN 1975

GEODETIC (Lat, Lon, h) $\xrightarrow{\textit{Helmert Proj.}}$ CARTESIAN (X, Y, Z)

Datum Shift

GEODETIC (Lat, Lon, h) $\xleftarrow{\textit{Vermeille}}$ CARTESIAN (X, Y, Z)

WGS 1984

แบบหมายหมุดหลักฐาน QR Code

โครงการ *ปรับปรุงโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบและทางดิ่งในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ระยะที่ 1 จ.ชัยนาท*		Sheet 5039 III No. 424
หมุด	*GNSS.007*	*GNSS.007A*
WGS-84	Lat. 15°09'26.20830"N (N) Long. 100°10'50.84163"E (E)	Lat. 15°09'29.76148"N (N) Long. 100°10'49.37451"E (E)
Zone 47	Ellipsoidal Height -11.798 (m)	Ellipsoidal Height -9.915 (m)
UTM. 84	N. 1,676,063.814 (m) E. 626,858.214 (m)	N. 1,676,172.766 (m) E. 626,813.837 (m)
	PARAMETER ΔX = 204.4798 m. ΔY=837.8940 m. ΔZ=294.7765 m.	
IND.1975	Lat. 15°09'20.65008"N (N) Long. 100°11'02.54582"E (E)	Lat. 15°09'24.20357"N (N) Long. 100°11'01.07857"E (E)
Zone 47	Ellipsoidal Height 0.021 (m) ระดับ 21.19601 ม.(รทก.)	Ellipsoidal Height -1.856 (m) ระดับ 23.07391 ม.(รทก.)
UTM.	N. 1,675,760.836 (m) E. 627,191.057 (m)	N. 1,675,869.787 (m) E. 627,146.680 (m)
Azimuth	จากหมุด *GNSS.007* ถึงหมุด *GNSS.007A*	337 ° 50 ′ 18.54 ″ ระยะ(กริด) 117.642 ม.
ผู้สำรวจ (พิกัด)	*สืบสาย - ประพัทธ์* วันที่ *เมษายน 2561*	ผู้สำรวจ (ระดับ) *ประพัทธ์ - จง* วันที่ *เมษายน 2561*

GNSS 007

<u>*GNSS.007*</u> เป็นหมุดหลักฐานแผ่นแสตนเลสขนาด 12x12 ซม.ตรงกลางเป็นนอตหัวกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 ซม.สลักอักษรและ QR Code กำกับไว้ หล่อฝังไว้บริเวณลานสนามหน้าศาลสถานทางเข้าที่ทำการสำนักชลประทานที่ 12 เขื่อนเจ้าพระยา อ.เมือง จ.ชัยนาท

N

Introduction to Geoid

- Gravity Acceleration = Gravitational Acceleration + Centrifugal Acceleration
- ศักย์ของ Gravity Acceleration เรียกว่า Gravity potential มีการรังวัดค่านี้ไปสร้างแบบจำลองความโน้มถ่วงของโลกผ่าน Spherical Harmonics เพื่อนำมาพัฒนาเป็น Geoid Model ของโลกต่อไป

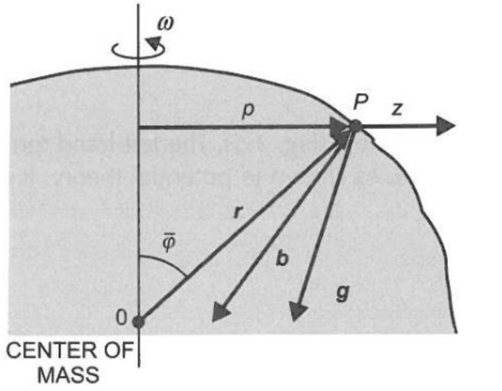
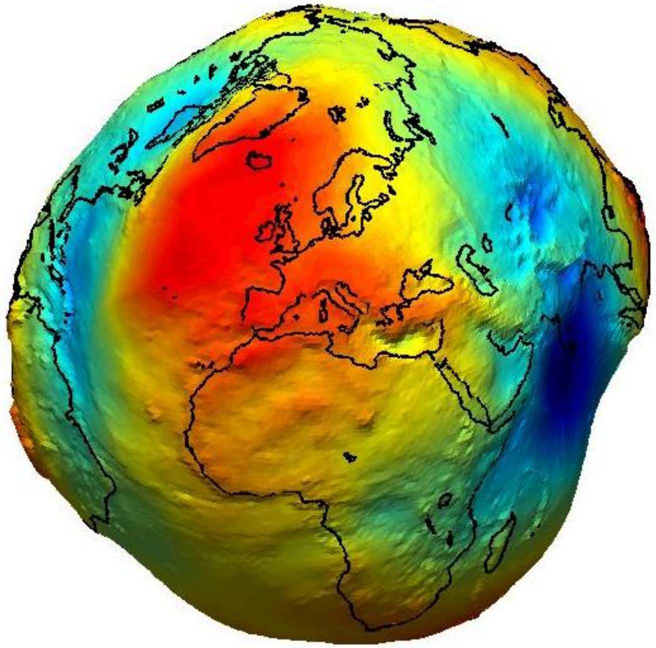
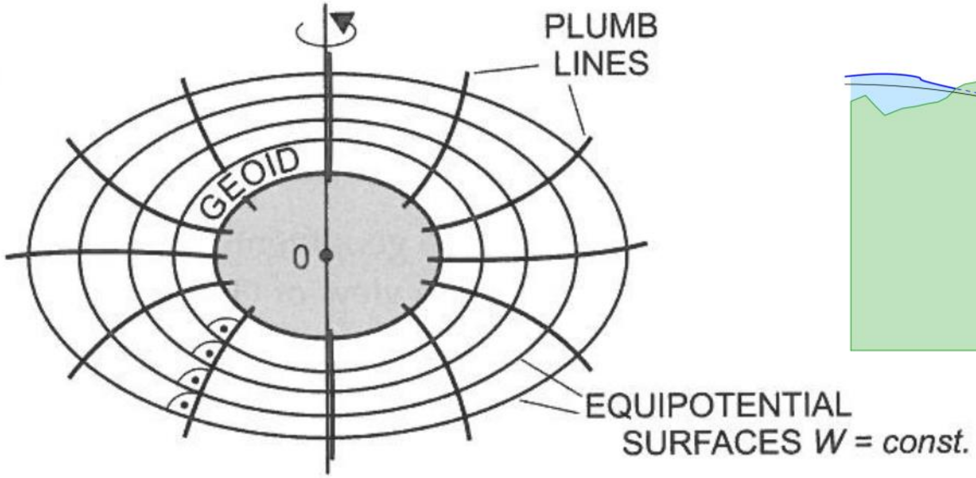
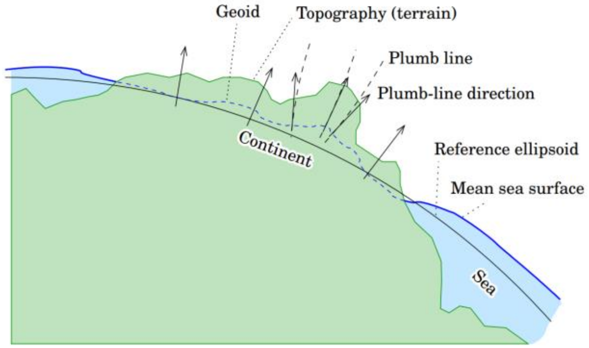


Fig. 3.6: Gravitation, centrifugal acceleration, and gravity.



- Geoid is equipotential surface of the earth's gravity field coinciding with the mean sea level of the oceans.





Introduction to Geoid Undulation (N)

- Normal Gravity on the Ellipsoid เป็นสมการคำนวณ Gravity ที่ Latitude ต่างๆ

$$\gamma = \gamma(\varphi) \qquad \gamma = grad\ U \qquad \gamma_0 = \frac{a\gamma_a \cos^2\varphi + b\gamma_b \sin^2\varphi}{\sqrt{a^2\cos^2\varphi + b^2\sin^2\varphi}}.$$

Somigliana (1929)

- Observed Gravity มาจากการรังวัด Gravity ในภาคสนาม $g = grad\ W$

- Disturbing potential $T = W - U$ --> เมื่ออยู่บน Geoid $N = \frac{T_0}{\gamma_0}$

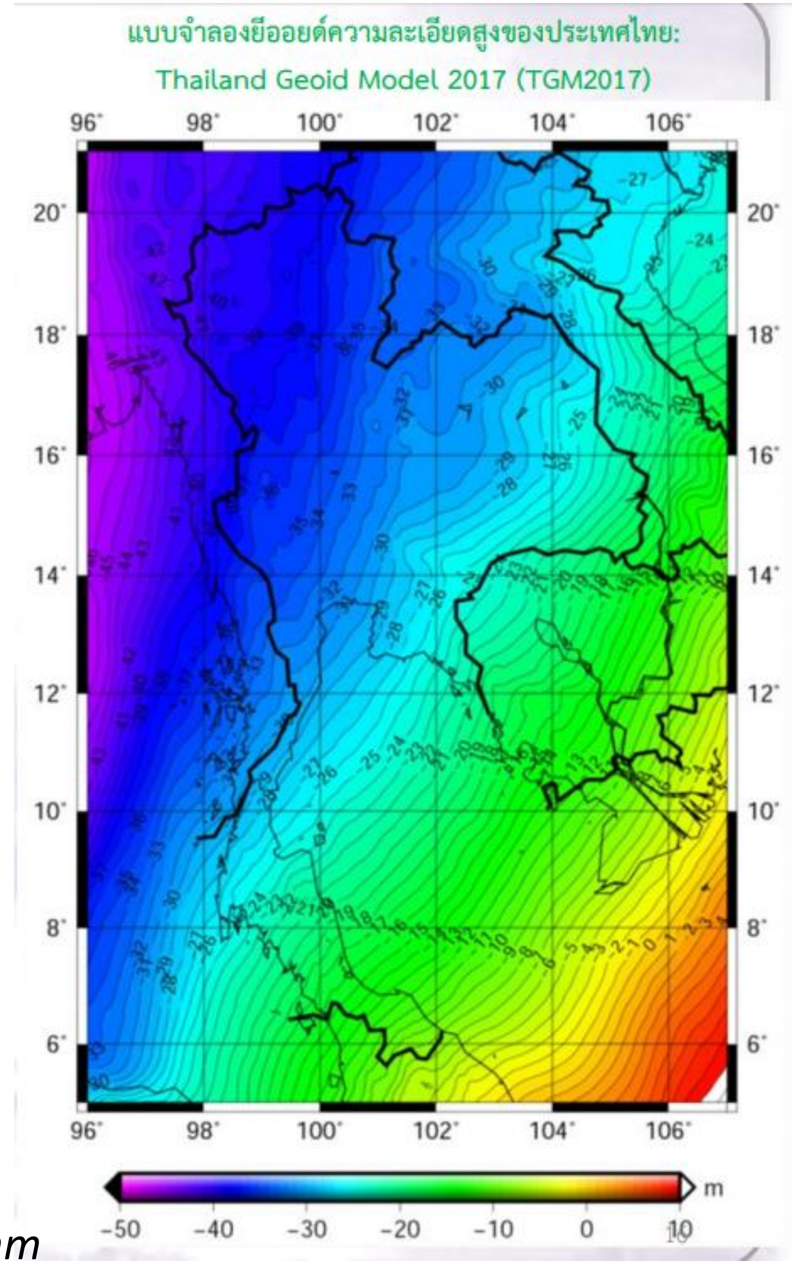
(Bruns Equation)

- Gravity anomaly $\Delta g = g - \gamma$ --> $N = \frac{R}{4\pi\gamma}\iint S(\varphi)\Delta g d\sigma$

(Stokes Equations)

- Geoid Model
  - Local Geoid Model --> TGM2017, …
  - Global Geoid Model --> EGM1996, EGM2008, …

$$N_{EGM}(\phi,\lambda) = \frac{G\delta M}{r_e\gamma_0} - \frac{\delta W}{\gamma_0} + \frac{GM}{r_e\gamma_0}\sum_{n=2}^{L}\left(\frac{a}{r_e}\right)^n \sum_{m=0}^{n} Y_{nm}(\phi,\lambda)$$



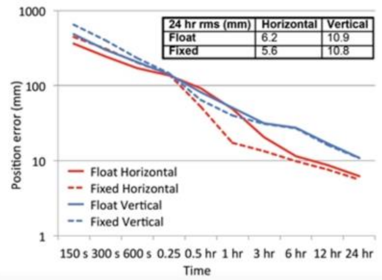
TGM-2017 acc. 42 mm

Height System

Orthometric Height Accuracy

TABLE 3.1 Accuracy Specifications for Vertical Control in Canada and the United States.

Order of Accuracy (Canada)	Order of Accuracy (USA)	Allowable Discrepancy between Independent Forward and Backward Leveling Runs between Benchmarks
Special order	First-order, Class I	$\pm 3\,\text{mm}\sqrt{L}$
First order	First-order, Class II	$\pm 4\,\text{mm}\sqrt{L}$
Second order	Second-order, Class II	$\pm 8\,\text{mm}\sqrt{L}$ (USA Class I: $\pm 6\,\text{mm}\sqrt{L}$)
Third order		$\pm 24\,\text{mm}\sqrt{L}$ (USA third order $\pm 12\,\text{mm}\sqrt{L}$)
Fourth order		$\pm 120\,\text{mm}\sqrt{L}$



PPP Height Accuracy

- ความสัมพันธ์ของความสูง (ค่าระดับ) จากการรังวัดสองเทคนิค
  - Orthometric Height (H) ค่าระดับเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ได้จากการเดินระดับด้วยกล้องระดับ + ไม้ Staff
  - Ellipsoidal Height (h) ค่าระดับเหนือทรงรี ได้จากการรังวัด GNSS
  - สมการการแปลงระบบความสูงทำผ่าน Geoid Undulation (N) อาจได้จาก Geoid Model ภายในพื้นที่สำรวจ

$$h = H + N$$

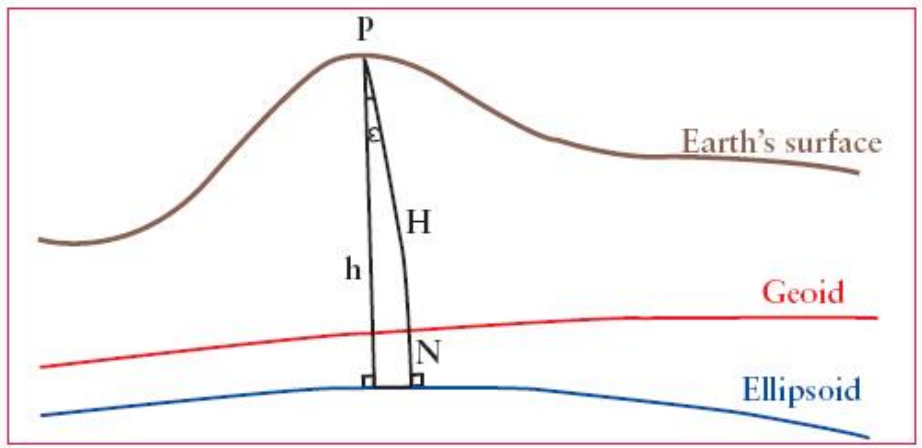


Fig 1. Geoid – Ellipsoid Relationship

- การเรียกใช้ GeoidEval เพื่อคำนวณค่า N กับ H จาก Geoid Model

ชื่อ geoid model ตำแหน่งที่สนใจ

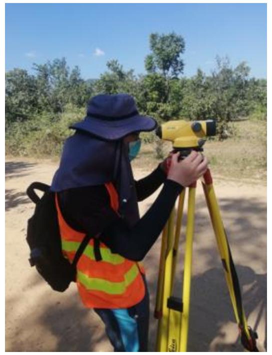
```
PS C:\Users\ASUS> GeoidEval -n tgm2017-1 --input-string "13.7 100.5"
-30.4559
```

Geoid Undulation ชื่อ geoid model ตำแหน่งที่สนใจ ค่าระดับเหนือทรงรี

```
PS C:\Users\ASUS> GeoidEval -n tgm2017-1 --haetomsl --input-string "13.7 100.5 -30"
13.7 100.5 0.4559
```

สั่งแปลง h --> H

ตำแหน่งที่สนใจ ค่าระดับเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง



Map Projection : UTM

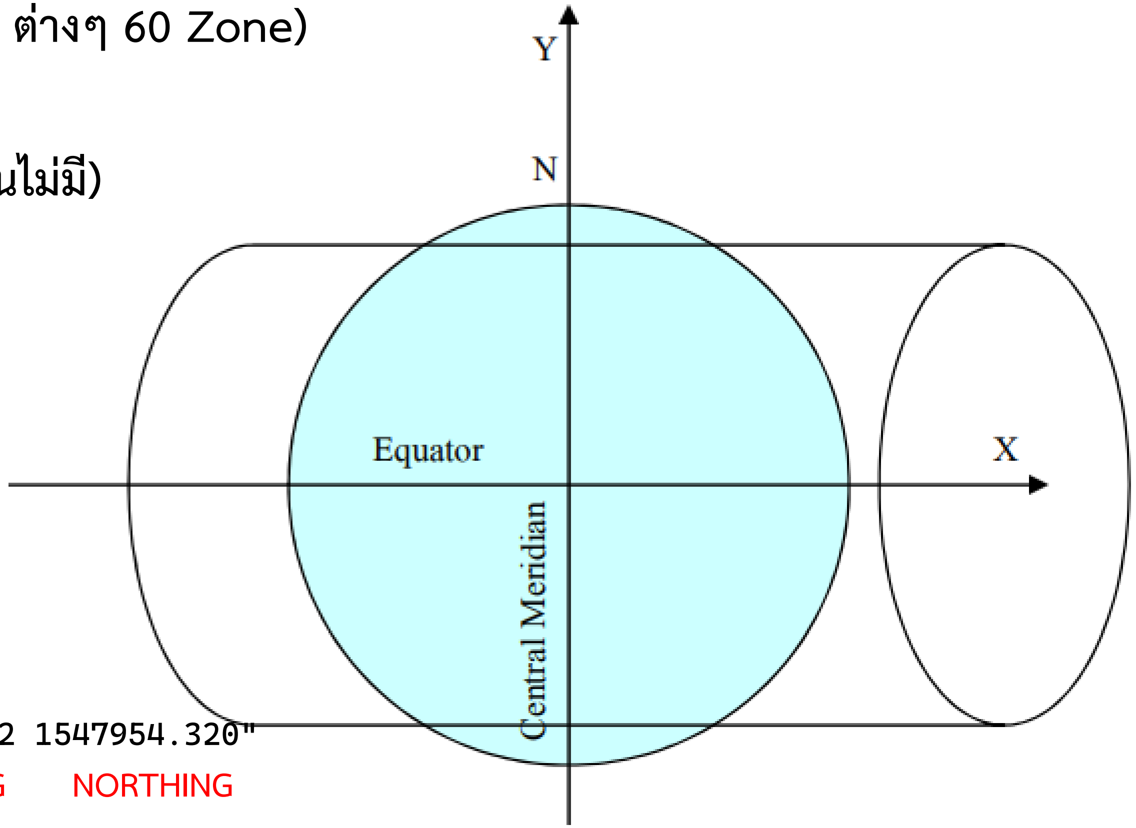
Mapping Equations

$$X = f_1(\varphi, \lambda)$$
$$Y = f_2(\varphi, \lambda)$$

GEODETIC ↔ MAP

(Lat, Lon, h) (X, Y, h)

- การฉายแผนที่เป็นกระบวนการถ่ายทอดรายละเอียดบนผิวโลกลงไปยังระนาบแผนที่
- การฉายแผนที่ซึ่งเป็นที่นิยม คือ Universal Transverse Mercator (UTM)
  - Datum Surface – Local Datum (แบ่งไปตาม Zone ต่างๆ 60 Zone)
  - Projection Surface – Cylinder
  - Coincidence – Secant (บริเวณรอยตัด ความผิดเพี้ยนไม่มี)
  - Orientation – Transverse (กรณีขั้วโลกไปใช้ UPS)
  - Property – Conformal



- การแปลงพิกัด UTM ทำได้จากโปรแกรม Geoconvert

แปลงไป UTM
Lat Lon

```
PS C:\Users\ASUS> Geoconvert -u -p 3 --input-string "14 100"
47n 607995.652 1547954.320
```

คำตอบทศนิยม 3 ตำแหน่ง

Zone ซีกโลก EASTING NORTHING

```
PS C:\Users\ASUS> Geoconvert -g --input-string "47n 607995.652 1547954.320"
14.00000 100.00000
```

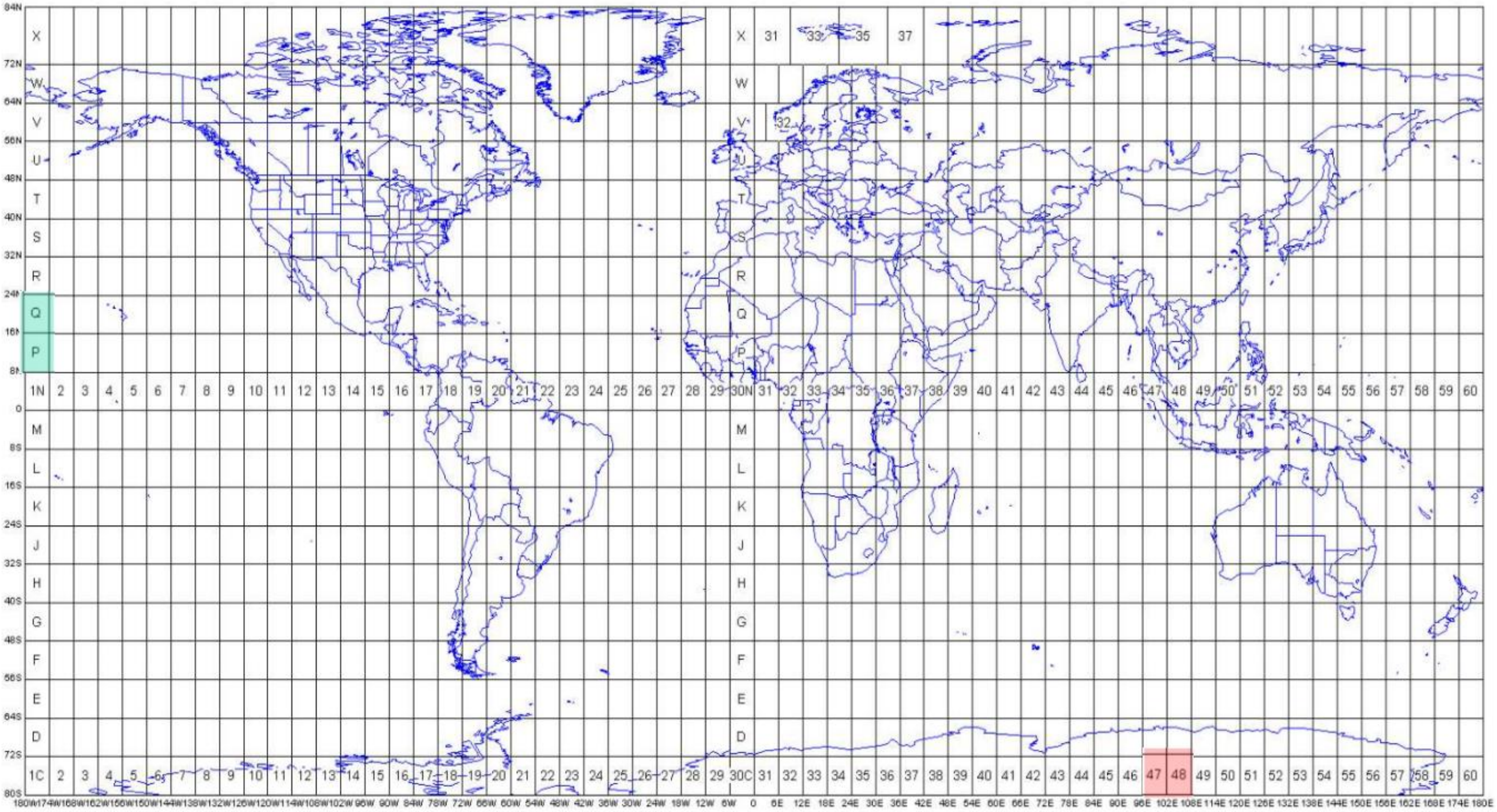
Lat Lon

แปลงไป Geodetic

Zone ซีกโลก EASTING NORTHING

Map Projection : UTM (ต่อ)

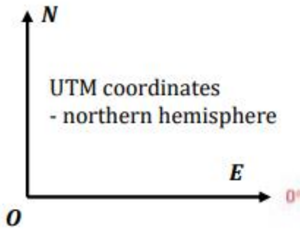
การแบ่ง Zone จนเกิด Grid : Grid Zone Designator (GZD)

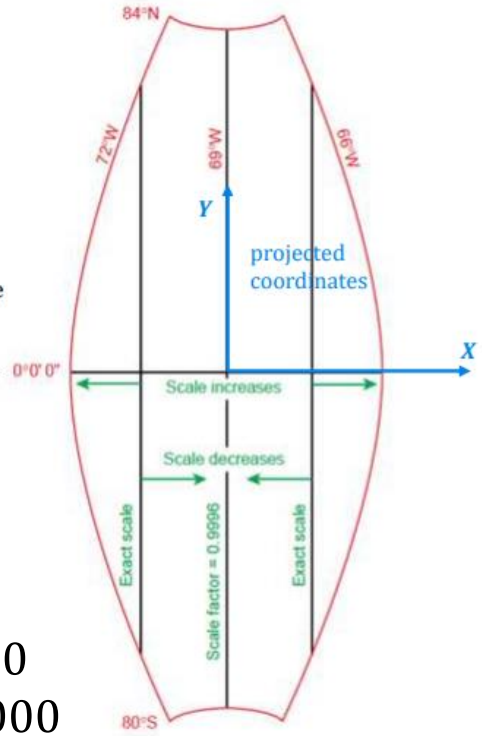


Map Projection : UTM (ต่อ)

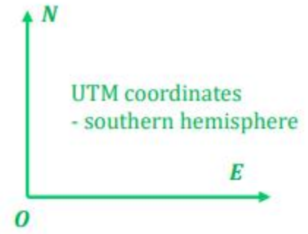
Scale Factor เป็นสัดส่วนของความยาวเส้นนั้นบนแผนที่ต่อความยาวเส้นนั้นบนผิวโลก 0.9996 … 1.00xx

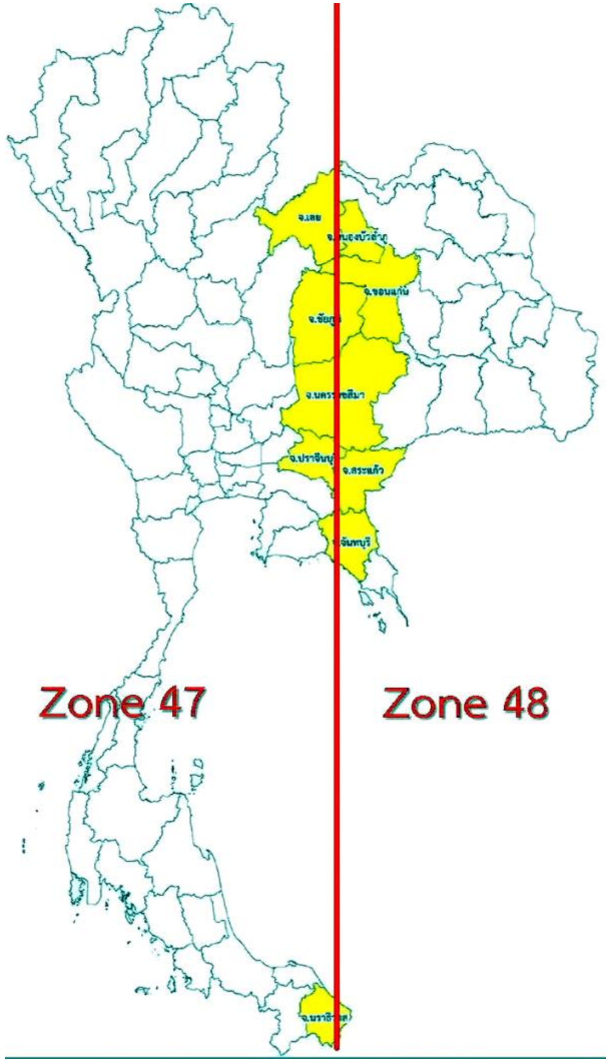
$$E = X + 500{,}000$$
$$N = Y$$

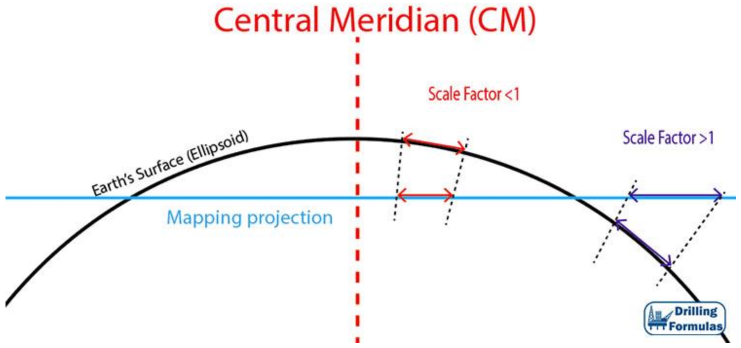




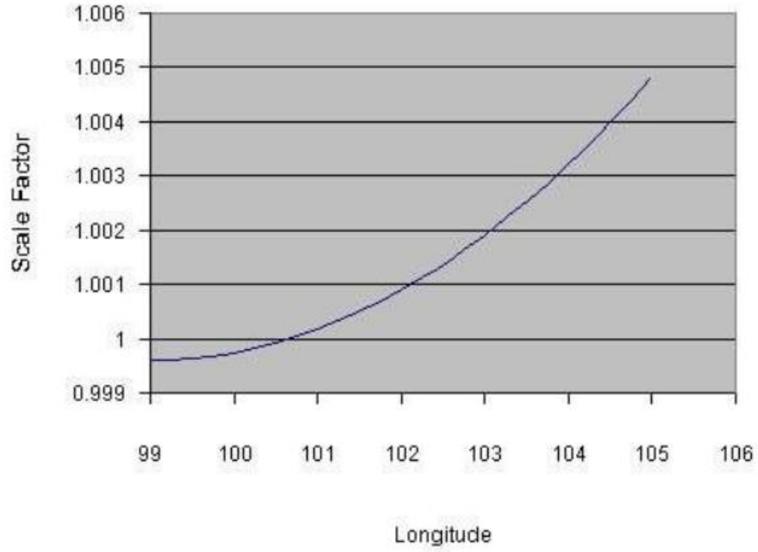
$$E = X + 500{,}000$$
$$N = Y + 10{,}000{,}000$$







Zone 47 Latitude 14 degree



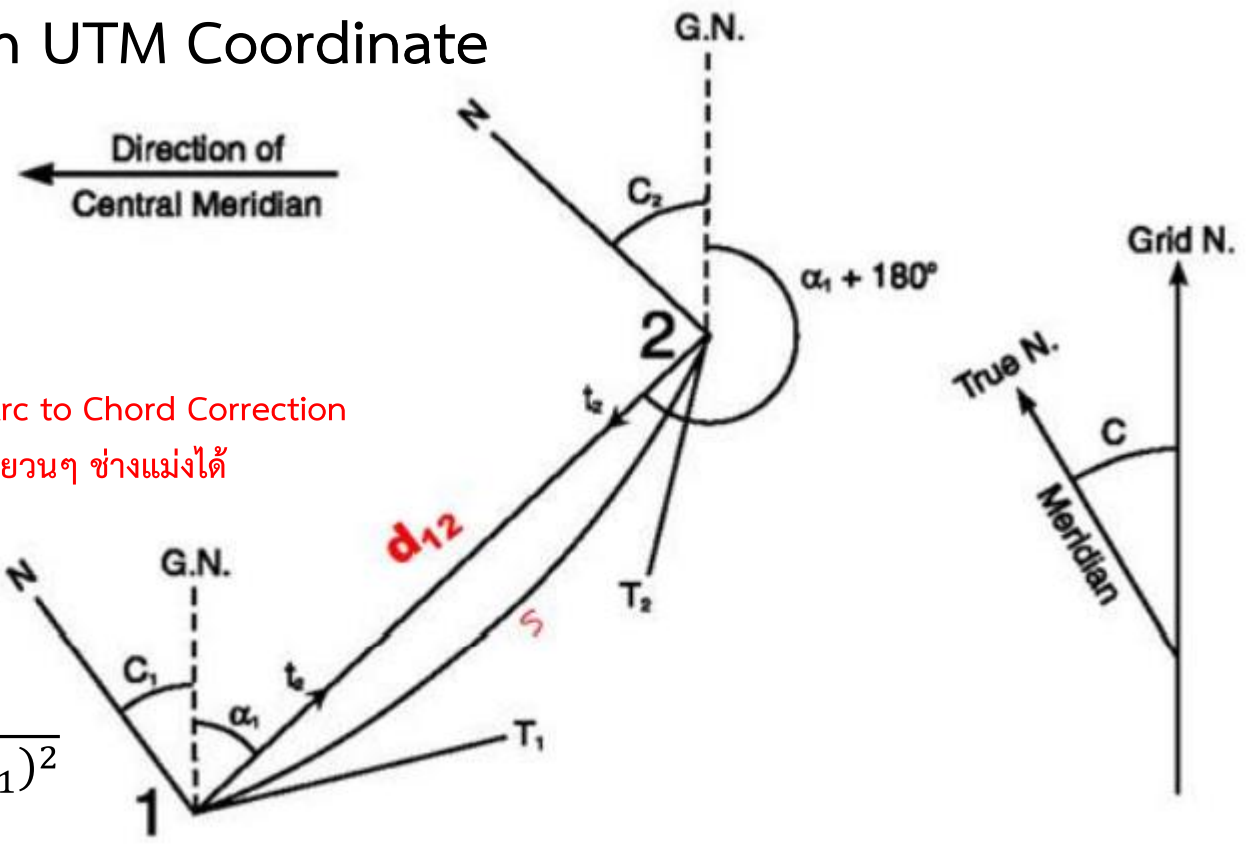
Distance and Azimuth Calculation from UTM Coordinate

กำหนดพิกัดสองจุด $A(E_1, N_1)$ $B(E_2, N_2)$

- Direction --> Azimuth
  - Grid Azimuth $tan(\alpha_1) = \dfrac{E_2 - E_1}{N_2 - N_1}$
  - True Azimuth $T_1 = \alpha_1 + C_1 + (t_1 - T_1)$

Convergence of Meridian

Arc to Chord Correction
หยวนๆ ช่างแม่งได้



- Distance
  - Grid Distance $d = \sqrt{(E_2 - E_1)^2 + (N_2 - N_1)^2}$
  - True Distance

$$D = \frac{d}{k}$$

Scale Factor

SF จุด A

$$k = \frac{1}{2}(k_1 + k_2)$$

SF จุด B

Short Dist

$$k = \frac{1}{6}(k_1 + 4k_{mid} + k_2)$$

SF จุดกลาง

Long Dist

PS C:\Users\ASUS> Geoconvert -c --input-string "47n 607995 1547954"
0.24194 0.9997443

Convergence of Meridian

Scale Factor

Introduction to LDP

- ค่ารังวัดที่ได้จากภาคสนาม จำเป็นต้องลดทอนลงมาสู่ระนาบแผนที่ UTM เพื่อทำการคำนวณต่อไป
    - UTM Distortion จะเยอะ เมื่อห่างจากแนวที่ทรงกระบอกตัดผิวโลกไปมาก
    - ตัวที่ต้องลดทอนเป็นอย่างยิ่ง คือ ระยะทาง

- ทางออกหนึ่งคือเปลี่ยนการฉายแผนที่จาก UTM เป็น Low Distortion Projection ปรับพารามิเตอร์การฉายให้เหมาะสมกับพื้นที่งาน SF ในแบบ ppm น้อยมากจนลืมได้

Gaussian Radius

$$R = \sqrt{MN}$$

$$HSF = \frac{R}{R+h}$$

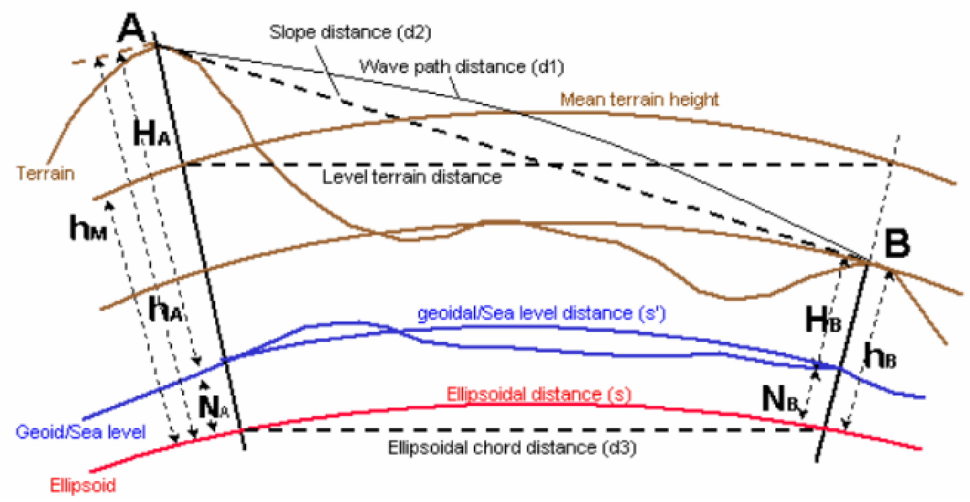
Height Scale Factor

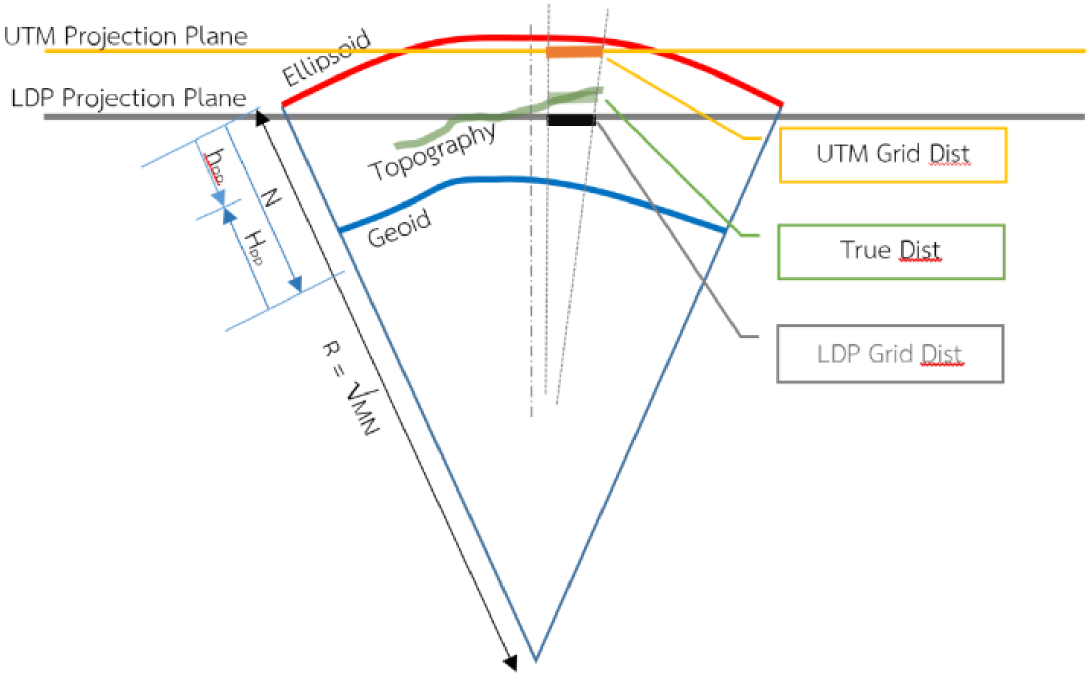
Combine Scale Factor

Line Scale Factor

$$CSF_{ppm} = LSF_{ppm} + HSF_{ppm}$$

$$GD = CSF \cdot TD$$





Geodetic Traverse

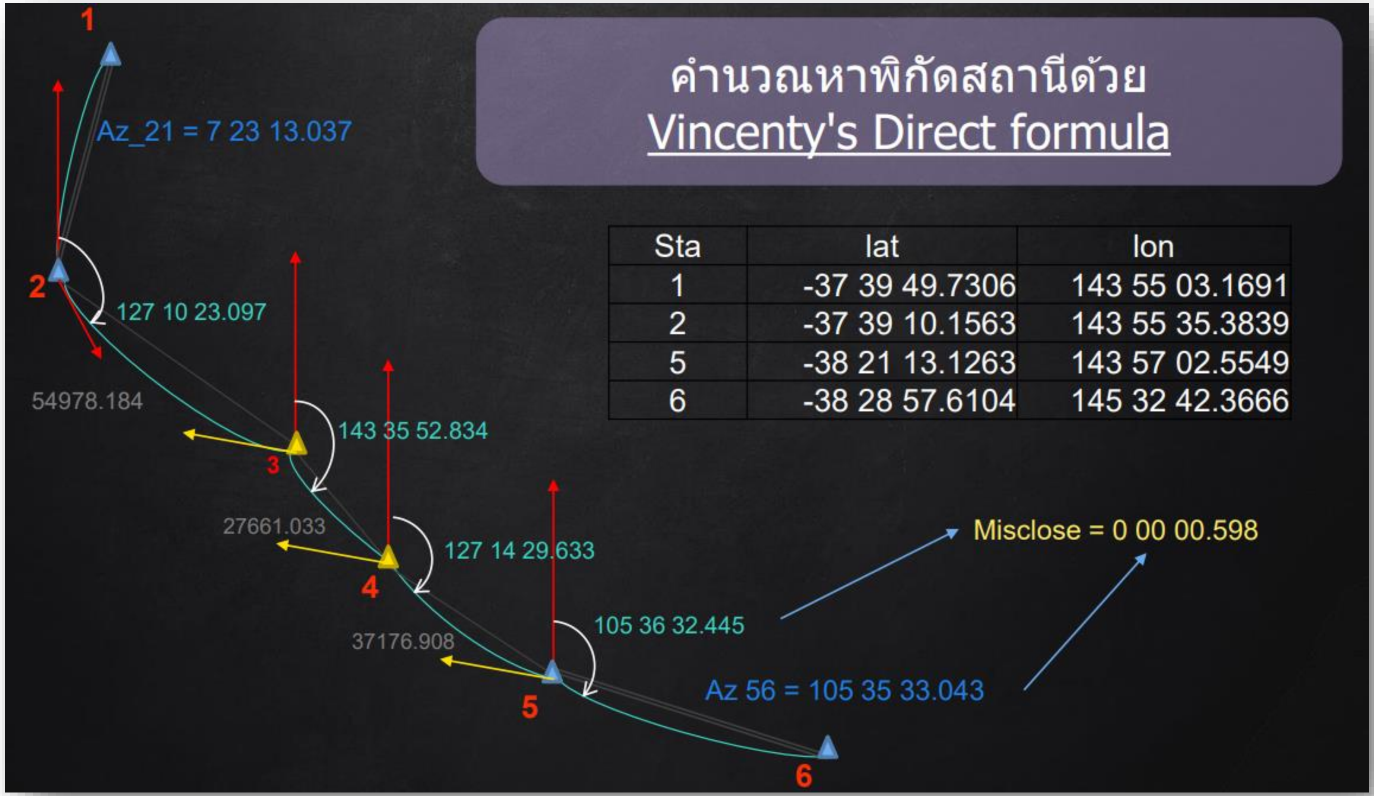
- การปรับแก้วงรอบ ด้วยกฎเข็มทิศ เรานำค่ารังวัดในภาคสนามไปคำนวณบนพิกัดแผนที่เลย อาจสร้างความผิดเพี้ยนได้ ต้องปรับด้วย Scale Factor แล้วปรับแก้
- แนวทางอื่นมีเช่นการใช้ Low Distortion Projection
- สำหรับวงรอบที่ความยาวมาก

Cr. Geodetic Surveying – Dr. Chaiyut Charoenphon

แนะให้ลดทอนค่ารังวัดไปบนทรงรี
แล้วคำนวณวงรอบบนทรงรี

วงรอบปิดแบบไม่บรรจบที่เดิม เริ่มจากหมุดคู่ไล่รังวัดจนบรรจบที่หมุดคู่อีกฝั่ง

มุมราบที่วัดนำไปคำนวณแอซิมัทวงรอบ ประกอบกับระยะทางที่วัด สามารถคำนวณพิกัดหมุดต่อไปได้ --> Direct Problem (IVP)

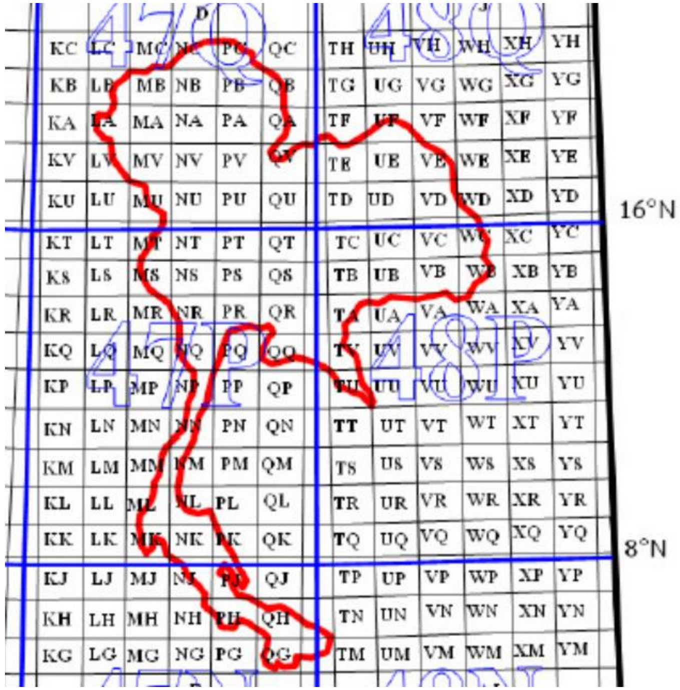


Coordinate Reduction

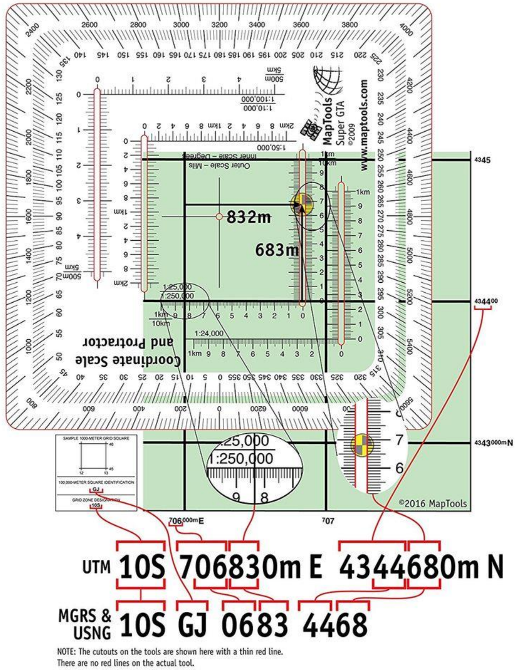
แนวทางการลดการเขียนพิกัดยาวๆ ให้สั้นๆ เป็น CODE กระทัดรัด ละเอียดตามสั่ง

MGRS : MILLITARY GRID REFERENCE SYSTEM

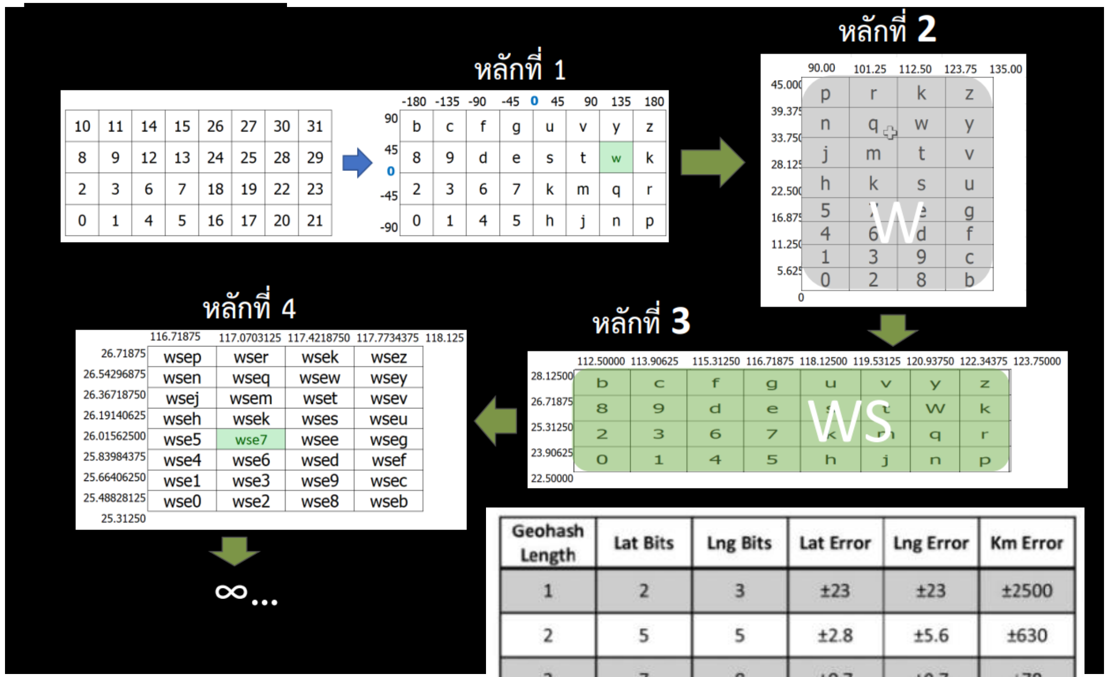
- แต่ละ Zone มีการสร้าง ช่องกริดเป็นจัตุรัสแสน เมตร มีอักษรประจำตัว แล้วทำการดึงค่าพิกัดมา รายงานตามความละเอียดที่ต้องการ

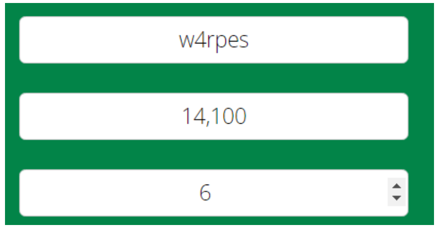


จัตุรัสแสนเมตร



GEOHASH





Geohash Length	Lat Bits	Lng Bits	Lat Error	Lng Error	Km Error
1	2	3	±23	±23	±2500
2	5	5	±2.8	±5.6	±630
3	7	8	±0.7	±0.7	±78
4	10	10	±0.087	±0.18	±20
5	12	13	±0.022	±0.022	±2.4
6	15	15	±0.0027	±0.0055	±0.61
7	17	18	±0.00068	±0.00068	±0.076
8	20	20	±0.000085	±0.00017	±0.019