

วงรอบสำรวจในระบบพิกัดยูทีเอ็ม

วงรอบสำรวจในระบบ UTM นั้น จะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับวงรอบสำรวจทั่วไป ซึ่งมีความแตกต่างกันเพียงข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ โดยจะต้องเปลี่ยนข้อมูลในระบบ Geodetic Data หรือในระบบ Geographic data ไปเป็นระบบเส้นกริด หรือระบบพิกัดฉาก (Grid data) ดังนี้

1. เปลี่ยนพิกัดภูมิศาสตร์ของหมุดแรกออกและหมุดบรรจบ ให้เป็นพิกัดฉากเสียก่อน คือ เปลี่ยน Latitude (ϕ) ให้เป็น N และ Longitude (λ) ให้เป็น E หรือเปลี่ยนพิกัดฉากของหมุดแรกออกและให้ได้พิกัดภูมิศาสตร์เสียก่อน โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

ขั้นแรก คำนวณหาค่าคงที่ต่างๆ ในเอกสารนี้จะใช้รูปทรงรีอ้างอิงของ WGS-84 (1984) ดังนี้

$$a = 6,378,137 \quad (\text{exactly})$$

$$b = 6,356,752.31425$$

$$1/f = 298.257223563 \quad (\text{Flattening})$$

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = 6.69437999014132 \times 10^{-3} \quad (\text{First eccentricity})$$

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} = 6.73949674227643 \times 10^{-3} \quad (\text{Second eccentricity})$$

$$f = 3.35281066474748 \times 10^{-3}$$

$$n = \frac{a-b}{a+b} = 1.6792203863837 \times 10^{-3}$$

$$r = a(1-n)(1-n^2) \left(1 + \frac{9n^2}{4} + \frac{225n^4}{64} \right) = 6,367,449.14582342$$

$$U_1 = -\left(\frac{3n}{2} + \frac{9n^3}{16} \right) = -2.51882791611898 \times 10^{-3}$$

$$U_3 = \left(\frac{15n^2}{16} - \frac{15n^4}{32} \right) = 2.6435410598099 \times 10^{-6}$$

$$U_5 = -\left(\frac{35n^3}{48} \right) = -3.45262889884289 \times 10^{-9}$$

$$U_7 = \left(\frac{315n^4}{512} \right) = 4.89183032831161 \times 10^{-12}$$

$$U_0 = 2(U_1 - 2U_3 + 3U_5 - 4U_7) = -5.04825075138523 \times 10^{-3}$$

$$U_2 = 8(U_3 - 4U_5 + 10U_7) = 2.12592039496685 \times 10^{-5}$$

$$U_4 = 32(U_5 - 6U_7) = -1.11423356186008 \times 10^{-7}$$

$$U_6 = (128U_7) = 6.26154282023886 \times 10^{-10}$$

$$V_1 = \left(\frac{3n}{2} - \frac{27n^3}{32} \right) = 2.51882658439069 \times 10^{-3}$$

$$V_3 = \left(\frac{21n^2}{16} - \frac{55n^4}{32} \right) = 3.70094903562053 \times 10^{-6}$$

$$V_5 = \left(\frac{151n^3}{96} \right) = 7.84239992737171 \times 10^{-9}$$

$$\begin{aligned}
 V_7 &= \left(\frac{1097n^4}{512} \right) = 1.70359932385963 \times 10^{-11} \\
 V_0 &= 2(V_1 - 2V_3 + 3V_5 - 4V_7) = 502289629075051 \times 10^{-3} \\
 V_2 &= 8(V_3 - 4V_5 + 10V_7) = 2.93579983667475 \times 10^{-5} \\
 V_4 &= 32(V_5 - 6V_7) = 2.47685886974084 \times 10^{-7} \\
 V_6 &= (128V_7) = 2.18060713454033 \times 10^{-9}
 \end{aligned}$$

1.1 คำนวณหาพิกัดภูมิศาสตร์ (ϕ, λ) จากพิกัดยูทีเอ็ม (N, E) ของหมุดออก และหมุดบรรจบ มีลำดับดังนี้

หมุดแรกออก (Initial point)

คำนวณหาค่าละติจูด (Latitude หรือ ϕ)

$$\omega = \left\{ \frac{N + S_0}{K_0 r} \right\}^{rad} \dots\dots\dots \text{สำหรับซีกโลกเหนือค่า } S_0 = 0$$

$$= 0.654707778408909 \times \frac{180}{\pi}$$

$$= 37.5119925172168^\circ$$

$$\phi' = \left\{ \omega + \sin \omega \cos \omega (V_0 + V_2 \cos^2 \omega + V_4 \cos^4 \omega + V_6 \cos^6 \omega) \right\}^{rad} \text{ ค่าละติจูดจำลอง}$$

$$= 0.657142892974299 \times \frac{180}{\pi}$$

$$= 37.6515143044445^\circ = 37^\circ 38' 41.162''$$

$$\eta'^2 = e'^2 \cos^2 \phi' = 4.22467649851881 \times 10^{-3}$$

$$t' = \tan \phi' = 0.771536975880086$$

$$R' = \frac{K_0 a}{\sqrt{1 - e'^2 \sin^2 \phi'}} = 6,383,563.7540641 \text{ m.}$$

$$Q = \frac{E'}{R'}, \quad E' = E - E_0 \text{ หรือ } = E_0 - E \quad \text{เมื่อ } E_0 = 500,000 \text{ เมตร}$$

$$= 0.0174363503347385$$

$$B_2 = -\frac{1}{2} t'^2 (1 + \eta'^2) = -0.387398235004912$$

$$B_4 = -\frac{1}{12} (5 - 3t'^2 + \eta'^2 (1 - 9t'^2) - 4\eta'^4) = -0.5639439848491$$

$$B_6 = \frac{1}{360} (61 + 90t'^2 + 45t'^4 + \eta'^2 (46 - 252t'^2 - 90t'^4)) = 0.272748023129423$$

$$\phi = \left\{ \phi' + B_2 Q^2 + B_4 Q^4 + B_6 Q^6 \right\}^{rad}$$

$$= 0.657025133907982 \times \frac{180}{\pi}$$

$$= 37.6447672069452^\circ = 37^\circ 38' 41.16195''$$

$$= 37^\circ 38' 41.162'' \quad \text{(ละติจูดของหมุดแรกออก ใช้ความละเอียดที่ 0.001'')}$$

คำนวณหาค่าลองจิจูด (Longitude หรือ λ)

$$B_3 = -\frac{1}{6}(1+2t'^2+\eta'^2) = -0.365793881133149$$

$$B_5 = \frac{1}{120}(5+28t'^2+24t'^4+\eta'^2(6+8t'^2)) = 0.251810835507018$$

$$B_7 = -\frac{1}{5040}(61+622t'^2+1320t'^4+720t'^6) = -0.213229114985861$$

$$L = \left\{ Q \left| 1 + Q^2 (B_3 + Q^2 (B_5 + B_7 Q^2)) \right| \right\}^{rad} = 0.0174344116271249 \times \frac{180}{\pi}$$

$$= 0.998918204528068^\circ$$

$$\Delta\lambda = \frac{L}{\cos\phi'} = 1.26167335782389^\circ$$

$$\lambda = \lambda_0 \pm \Delta\lambda$$

ในซีกโลกตะวันออก เมื่อหมุดอยู่ทางซ้ายของ CM (λ_0) เครื่องหมายจะเป็น “-” และเป็นเครื่องหมาย “+” เมื่ออยู่ทางขวาของ CM (λ_0) ส่วนซีกโลกตะวันตก เครื่องหมายจะตรงกันข้าม ดังนั้น ค่าจากตัวอย่าง กำหนดให้งานอยู่ในโซนที่ 15 นั้นแสดงว่า ตำแหน่งอยู่ทางซีกโลกตะวันตก และหมุดอยู่ทางขวาของ CM นั่นคือ

$$\lambda = 93 \pm 1.26167335782389^\circ = 91^\circ 44' 17.97591''$$

$$= 91^\circ 44' 17.976''$$

(ลองจิจูดของหมุดแรกออก ใช้ความละเอียดที่ 0.001")

1.2 คำนวณหาส่วนประกอบที่เหลือคือ ค่ามุมเอียงกริด และตัวคูณมาตราส่วน ณ หมุดรังวัด

การคำนวณมุมเอียงกริด (Convergence from Grid Coordinate)

$$D_1 = t' = \tan\phi' = 0.771536975880086$$

$$D_3 = -\frac{1}{3}(1+t'^2-\eta'^2-2\eta'^4) = -0.530336310956212$$

$$D_5 = \frac{1}{15}(2+5t'^2+3t'^4) = 0.402625544180861$$

$$C = \Delta\alpha'' = \left\{ D_1 Q \left| 1 + Q^2 (D_3 + D_5 Q^2) \right| \right\}^{rad}$$

$$= 0.0134506204318135 \times \frac{180}{\pi} \times 3600''$$

$$= 2774.38961727125'' = 0^\circ 46' 14.38962''$$

$$= 0^\circ 46' 14.390''$$

(ค่ามุมเอียงข้าง ใช้ความละเอียดที่ 0.001")

การคำนวณหาตัวคูณมาตราส่วนประจำหมุดจากพิกัดฉาก (Point scale factor)

$$G_2 = \frac{1}{2}(1+\eta'^2) = 0.502112338249259$$

$$G_4 = \frac{1}{12}(1+5\eta'^2) = 0.0850936152077162$$

$$K_{Initial} = K_0 \left| 1 + G_2 Q^2 (1 + G_4 Q^2) \right| = 0.999752598248484$$

หมุดบรรจบ (Final point)

ก็คำนวณได้ในรูปแบบเดียวกันนี้ และได้ค่าต่างดังนี้

$$\phi = 37^\circ 41' 56.315''$$

$$C = \Delta\alpha'' = 0^\circ 46' 27.997''$$

$$\lambda = 91^\circ 44' 01.292''$$

$$K_{Final} = 0.999753496015185$$

2. กรณีที่ด้านของวงรอบมีความยาวเกินกว่า 1,600 เมตร จำเป็นต้องทำการแก้ (t-T) Correction ด้วย โดยสมการที่ใช้คำนวณหา (t-T) คือ

$$(t-T) = (-\Delta N)(2E' + E')(XVIII)(6.8755 \times 10^{-8})$$

เมื่อ

ΔN = ผลต่างของพิกัดเหนือของจุดทั้งสอง

$E' = E - 500,000$ หรือ $= 500,000 - E$

$$(XVIII) = \frac{1 + e'^2 \cos^2 \phi}{2N^2 K_0^2} \times 10^{12} \quad \dots\dots\dots \text{ในขณะที่ } N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}}$$

การคำนวณหา Grid Azimuth (t หรือ T) หาได้จากสมการต่อไปนี้

$$\text{Grid } A_z = \text{Geodetic } A_z \pm C$$

C เป็น บวก เมื่อแนวสำรวจอยู่ทางตะวันตกของ CM

C เป็น ลบ เมื่อแนวสำรวจอยู่ทางตะวันออกของ CM

3. ระยะทางที่รังวัดบนพื้นภูมิประเทศ กรณีใช้เทปวัดระยะ จะต้องได้รับการปรับแก้ค่าต่างๆ ดังนี้

3.1 ค่าแก้แรงดึง (correction for tension) เป็นการปรับแรงดึงเทปขณะรังวัดที่มีน้ำหนักไม่เท่ากัน

$$\text{ค่าแก้} = \frac{l(P_m - P_s)}{AE}$$

เมื่อ P_m = แรงดึงที่ใช้ตั้งขณะที่ทำการรังวัด P_s = แรงดึงมาตรฐาน
 l = ความยาวของเทปขณะวัด A = พื้นที่หน้าตัดของเส้นเทป
 E = Young's Modulus of Elasticity = $15.5 \times 10^4 \text{ MN/m}^2$

สำหรับ Young's Modulus of Elasticity ของเทปต่างๆ เป็นดังนี้

ระบบ	Steel Tape	Invar Tape
อังกฤษ	$E = 28 \text{ to } 30 \times 10^6 \text{ lbf/in}^2$	$E = 20 \text{ to } 22 \times 10^6 \text{ lbf/in}^2$
เมตริก	$E = 20 \text{ to } 22 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$	$E = 14 \text{ to } 14.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
SI unit	$E = 19.3 \text{ to } 20.7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$	$E = 13.8 \text{ to } 15.2 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

3.2 ค่าแก้การตกท้องข้าง (sag correction) เมื่อการรังวัดที่ปลายเทปทั้งสองข้างจะมีจุดรองรับ ทำให้บริเวณตอนกลางของเทปเกิดการแอ่นตัว แต่หากเราใช้แรงดึงที่เทียบกับเทปมาตรฐานก็อาจถือเป็นระยะที่ถูกต้องได้ ซึ่งก็ต้องตรวจสอบอนุกรมที่จุดรองรับทั้งสองข้างด้วย

$$\text{ค่าแก้} = -\frac{(Mg)^2 L}{24} \left[\frac{1}{P_m^2} - \frac{1}{P_s^2} \right]$$

เมื่อ L = ความยาวของเส้นเทปที่ใช้รังวัด
 M = น้ำหนักของเส้นเทปที่ใช้รังวัด
 g = แรงโน้มถ่วงของโลก = $9.80665 \text{ (ms}^{-2}\text{)}$
 P_m = แรงดึงที่ใช้ตั้งขณะที่ทำการรังวัด
 P_s = แรงดึงมาตรฐาน

3.3 ค่าแก้ความลาด (**correction for slope**) เนื่องจากการวัดระยะทางส่วนใหญ่ไม่ได้ทำการถ่ายระดับในขณะที่ทำการวัดระยะทางตอนนั้นๆ หรือถ่ายระดับแต่ละช่วง เราอาจต้องทำการถ่ายระดับระหว่างจุดปลายทั้งสองของเทป (หมดถึงหมด)

ค่าแก้กรณที่รู้ค่ามุมลาด และระยะลาด

$$\text{ค่าแก้} = -l(1 - \cos \theta)$$

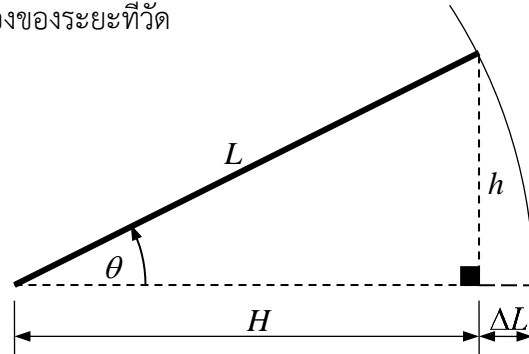
และหากเรารู้ระดับระหว่างปลายทั้งสองของระยะที่วัด

$$\text{ค่าแก้} = -\left\{l - \sqrt{l^2 - h^2}\right\}$$

เมื่อ l = ระยะลาดที่วัดได้

h = ค่าความต่างระดับ

θ = มุมสูงของแนวรังวัด



3.4 ค่าแก้อุณหภูมิ (**Correction for temperature**) ถ้าหากเราพบว่าอุณหภูมิขณะรังวัดมากกว่ามาตรฐานของเทป จะเป็นเหตุให้เทปมีความยาวมากกว่าเดิม ถ้าน้อยไปก็สั้นกว่าเดิม

$$\text{ค่าแก้} = \alpha \times l \times (T - T_s)$$

เมื่อ l = ระยะที่วัดได้

T = อุณหภูมิขณะทำการรังวัด

T_s = อุณหภูมิมาตรฐานที่ใช้กับเทปเส้นที่ใช้วัดในขณะนั้น

α = สัมประสิทธิ์การขยายตัวของเทป และได้มีการกำหนดค่าไว้ดังนี้

อุณหภูมิ	Steel Tape	Invar Tape
$1^\circ C$	10.6 to 12.2 ($\times 10^{-6}$)	5.4 to 7 ($\times 10^{-7}$)
$1^\circ F$	5.9 to 6.8	3 to 4

สำหรับการวัดระยะด้วยเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์ ก็ยังต้องมีการปรับแก้ในบางเรื่องเช่น ค่าแก้อันเนื่องมาจากความสูงของเครื่องมือที่ไม่เท่ากับ ความสูงของเป้า และการแก้ระยะก่อนการทอนลงบนพื้นผิว Spheroid เป็นต้น

4. ระยะทางที่รังวัดได้และปรับแก้แล้ว จะต้องทอนลงสู่ระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean Sea Level = MSL) โดยใช้สมการ

$$\text{Sea Level Coefficient (S.L.)} = \frac{R}{R + h}$$

เมื่อ

R คือ รัศมีเฉลี่ยของโลก ณ บริเวณที่วางรอบครอบคลุมทั้งหมด

หาได้จาก

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

เมื่อ $\phi_m = \frac{\phi_{Initial} + \phi_{Final}}{2} = \text{Latitude}$ เฉลี่ยของวงรอบ โดย

$\phi_{Initial}$ = ค่า Latitude ของหมุดออก

ϕ_{Final} = ค่า Latitude ของหมุดบรรจุ

5. ระยะที่ทอนลงระดับน้ำทะเลปานกลาง เราเรียกว่า ระยะยื่อเดติก (s) หรือ Geodetic Distance หรือ Spheroidal Distance (s) จะต้องนำไปคูณด้วย $S.F.$ ก็จะได้ระยะกริด

6. สำหรับหมุดวงรอบที่เป็นหมุดบนเส้น (Online) การคำนวณจะต้องนำมาพิจารณาประกอบด้วยเสมอ ส่วนหมุดที่เป็นหมุดโยงยึดหรือหมุดโด่ (Reference of Offset Point) ก็ให้แยกคำนวณต่างหาก แต่ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกับการคำนวณวงรอบ

7. สมการคำนวณหาระยะฉาก

$$\text{ทางตั้ง} = \Delta N = G \times \cos T$$

$$\text{ทางราบ} = \Delta E = G \times \sin T$$

เมื่อ

$$G = \text{ระยะกริด} = d \times K \times S.L.$$

$$d = \text{ระยะที่รังวัดได้}$$

$$K = \text{Scale Factor (S.F.)}$$

$$S.L. = \text{Sea Level Coefficient}$$

การคิดเครื่องหมาย

สำหรับ A_z จาก 0 – 180 ค่า ΔE จะเป็น บวก

A_z จาก 180 – 0 (360) ค่า ΔE จะเป็น ลบ

สำหรับ A_z จาก 90 – 270 ค่า ΔN จะเป็น ลบ

A_z จาก 270 – 90 ค่า ΔN จะเป็น บวก

และ A_z ที่ใช้คำนวณจะต้องเป็น Grid A_z จากเหนือ

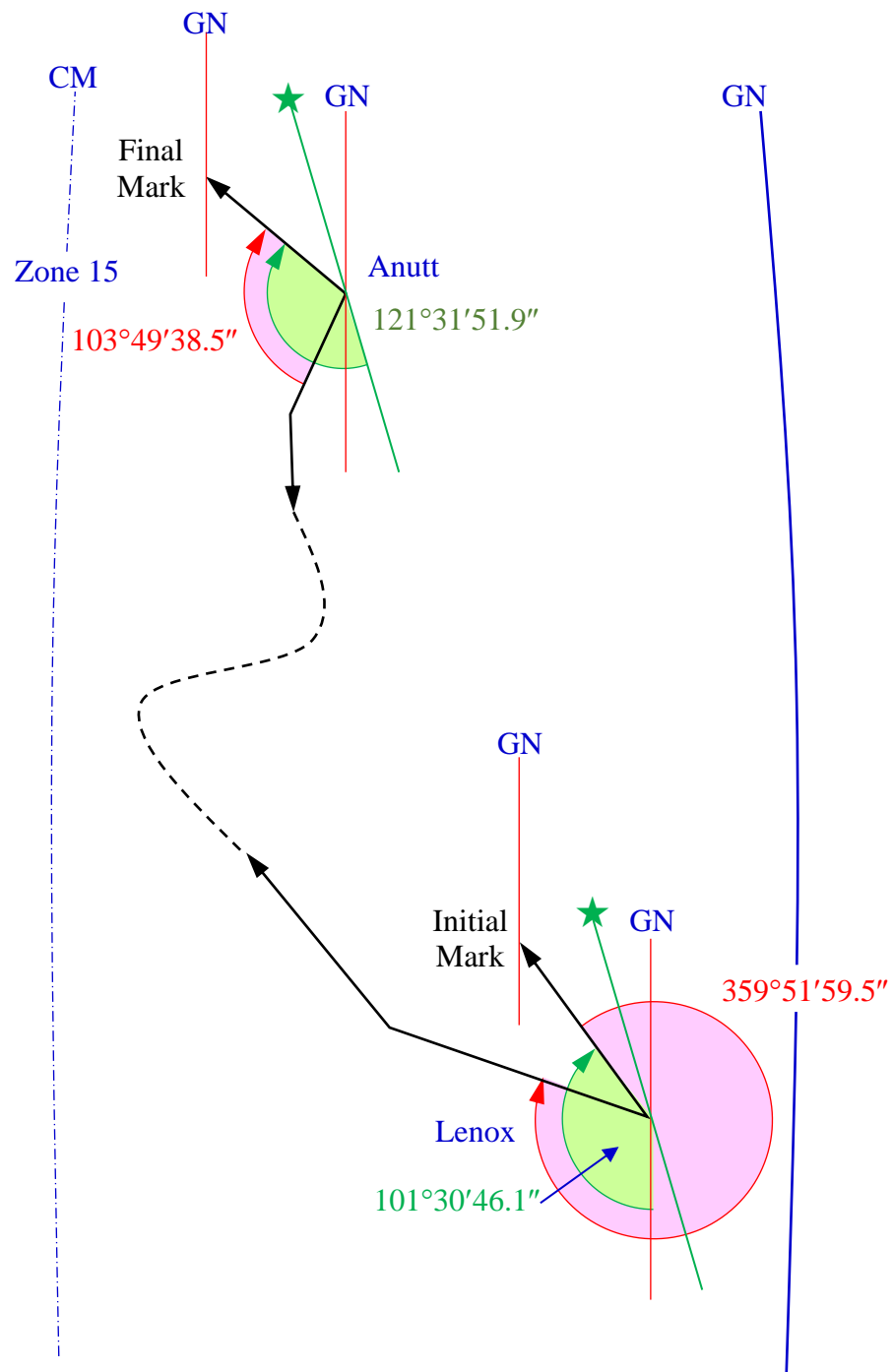
8. การคำนวณในระบบ UTM จะต้องใช้การรังวัด A_z ทางดาราศาสตร์เป็นหลัก และหมุดของวงรอบจะต้องเป็นส่วนหนึ่งของโครงข่ายสามเหลี่ยม หรือหมุดที่ทราบค่าตำแหน่งทางภูมิศาสตร์แล้วเท่านั้น

ตัวอย่างการคำนวณ

จกคำนวณวงรอบสำรวจในระบบ UTM จากข้อมูลสนามต่อไปนี้

หมุดรังวัด	มุมราบรังวัด			ระยะรังวัด (เมตร)	หมายเหตุ
	°	'	"		
Mark BS					
Lenox	359	51	59.5		
1				267.445	เป็นหมุด Online ระหว่างหมุด Lenox กับหมุด 2
2	188	34	34.8	228.796	
3	168	15	25.5	209.943	
4				362.615	เป็นหมุด Online ระหว่างหมุด 3 กับหมุด 5
5	189	43	02.8	183.213	
6	181	10	48.8	195.861	
7	196	36	34.0	373.047	
8	216	56	06.5	245.021	
9	201	49	55.5	182.234	
10	192	04	36.8	261.521	
11	185	55	52.8	366.013	
12	185	32	48.0	261.563	
13	157	38	42.5	481.453	
14	200	41	43.5	574.654	
15				354.675	เป็นหมุด Online ระหว่างหมุด 14 กับหมุด 16
16	187	42	20.0	185.892	
17	173	05	04.8	227.678	
18	176	57	53.5	538.015	
19	173	43	45.5	523.361	
20	178	21	38.2	289.152	
21	186	38	19.2	427.053	
22	209	55	33.0	336.675	
23	172	25	55.8	555.202	
24	166	08	29.8	242.959	
25	166	19	20.8	171.164	
Anutt	103	49	38.5	150.146	
Mark FS					

รูปแผนที่สังเขป



จากภาพ

ตำแหน่งของหมุด Lenox

N = 4,167,150.957 m. E = 611,306.054 m.

ตำแหน่งของหมุด Anutt

N = 4,173,171.126 m. E = 611,633.670 m.

ค่าระดับเฉลี่ยของทั้งวงรอบ 387.952 เมตร

รูป Spheroid อ้างอิงที่ใช้คำนวณ คือ WGS-84

ลำดับขั้นการคำนวณ

1. สร้างแบบฟอร์มช่วยคำนวณตามความต้องการ หรือใช้ตามที่หน่วยงานกำหนด (ดูอ้างอิงหน้า 15)
2. นำข้อมูลต่างๆ ที่ทราบและข้อมูลรังวัด มากรอกลงในแบบคำนวณตามคอลัมน์ จากข้อมูลตัวอย่าง คือ ชื่อหมุด มุมราบรังวัด ระยะรังวัดบนพื้นดิน ค่าพิกัดของหมุดออกและหมุดบรรจบ และรูป Spheroid ที่ใช้อ้างอิง เป็นต้น (ดูอ้างอิงหน้า 16)
3. คำนวณหาค่า Latitude (ϕ) Longitude (λ) Convergence (C) และ Point Scale Factor (K) จากค่าพิกัด UTM ของหมุดแรกออก (Lenox) และหมุดบรรจบ (Anutt) (ในที่นี้จะใช้สมการ NGS1989) ดังนี้

3.1 หา ϕ , λ , C และ K ของหมุด Lenox

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Spheroid	WGS-84	Advance - NGS 1989 - Page 328														
2	a	6378137	ϕ	0.003352811	U1	-0.002518828	V1	0.002518827	ω	37.51199252	0.654707778	B2	-0.387398235	B3	-0.365793881		
3	b	6356752.314	n	0.00167922	U3	2.64354E-06	V3	3.70095E-06	ψ	37.6515143	0.657142893	B4	-0.563943985	B5	0.251810836		
4	1/f	298.2572236	r	6367449.146	U5	-3.45263E-09	V5	7.8424E-09	R'	6383563.754		B6	0.272748023	B7	-0.213229115		
5	e2	0.00669438	Ko	0.9996	U7	4.89183E-12	V7	1.7036E-11	E'	111306.054		ϕ	0.657025134	L	0.998918205		
6	e2	0.006739497	E'	500000	U0	-0.005048251	V0	0.005022896	Q	0.01743635	0.000304026		37.64476721	λ	91.73832664		
7	N	4167150.957	CM	93	U2	2.12592E-05	V2	2.9358E-05	η	0.064997511	0.004224676		37		91		
8	E	611306.054			U4	-1.11423E-07	V4	2.47686E-07	t'	0.771536976	0.595269305		38.68603242		44.29959853		
9	Zone	15			U6	6.26154E-10	V6	2.18061E-09	$\Delta\lambda$	1.261673358 = (L/cos ϕ)			38		44		
10													41.16195		17.97591		
11	ϕ	37°38'41.162"	OK		D1	0.771536976	G2	0.502112338									
12	λ	91°44'17.976"	OK		D3	-0.530336311	G4	0.085093615									
13	C	0°46'14.390"	OK		D5	0.402625544											
14	K	0.999752598			C	2774.389617	K	0.999752598									
15						0.770663783											
16	Latitude	N				0											
17	Longitude	W				46.23982695											
18		-1				46											
19						14.38962											

ส่วนคำนวณหมุดแรกออก (Lenox)

3.2 หา ϕ , λ , C และ K ของหมุด Anutt

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Spheroid	WGS-84	Advance - NGS 1989 - Page 328														
2	a	6378137	ϕ	0.003352811	U1	-0.002518828	V1	0.002518827	ω	37.56618507	0.655653617	B2	-0.388154997	B3	-0.366571277		
3	b	6356752.314	n	0.00167922	U3	2.64354E-06	V3	3.70095E-06	ψ	37.70577645	0.658089946	B4	-0.564522675	B5	0.252912974		
4	1/f	298.2572236	r	6367449.146	U5	-3.45263E-09	V5	7.8424E-09	R'	6383583.382		B6	0.272978519	B7	-0.21462147		
5	e2	0.00669438	Ko	0.9996	U7	4.89183E-12	V7	1.7036E-11	E'	111633.67		ϕ	0.657971262	L	1.001854426		
6	e2	0.006739497	E'	500000	U0	-0.005048251	V0	0.005022896	Q	0.017487618	0.000305817		37.69897637	λ	91.73369224		
7	N	4173171.126	CM	93	U2	2.12592E-05	V2	2.9358E-05	η	0.06494999	0.004218501		37		91		
8	E	611633.670			U4	-1.11423E-07	V4	2.47686E-07	t'	0.773048886	0.59760458		41.93858235		44.02153418		
9	Zone	15			U6	6.26154E-10	V6	2.18061E-09	$\Delta\lambda$	1.266307764 = (L/cos ϕ)			41		44		
10						0.774443482							56.31494		1.29205		
11	ϕ	37°41'56.315"	OK		D1	0.773048886	G2	0.502109251									
12	λ	91°44'01.292"	OK		D3	-0.531116829	G4	0.085091042									
13	C	0°46'27.997"	OK		D5	0.403961107											
14	K	0.999753496			C	2787.996534	K	0.999753496									
15						0.774443482											
16	Latitude	N				0											
17	Longitude	W				46.4666089											
18		-1				46											
19						27.99653											

ส่วนคำนวณหมุดบรรจบ (Anutt)

ผลการคำนวณหาพิกัดภูมิศาสตร์ที่คำนวณได้ โดยสรุป

Sta Name	Latitude ϕ	Longitude λ	Convergence C	Scale Factor K
Lenox	37°38'41.162"	91°44'17.976"	0°46'14.390"	0.999752598
Anutt	37°41'56.315"	91°44'01.292"	0°46'27.997"	0.999753496

ผลการคำนวณในที่นี้ ใช้ผลการคำนวณจาก Microsoft Office Excel 2016

4. เนื่องจากงานคำนวณต้องใช้ A_z จากเหนือ แต่จากแผนที่สังเขป A_z ที่รังวัดมา เป็น A_z จากใต้ ดังนั้น

4.1 หา A_z จากเหนือของหมุดแรกออก Lenox (T_{LENOX})

เมื่อ A_z จาก Mark BS ไป Lenox เป็น A_z จากใต้ ดังนั้นจะต้องทำการ Back A_z เพื่อเปลี่ยนให้เป็น A_z จากเหนือ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Back } A_z \text{ จาก Lenox ไป Mark BS} &= \alpha_A - C \pm 180^\circ \\ &= 101^\circ 30' 46.1'' - 0^\circ 46' 14.390'' + 180^\circ \\ \therefore A_z \text{ จาก Lenox ไป Mark BS} &= 280^\circ 44' 31.710'' \quad (\text{จากใต้}) \\ \text{มุมราบรังวัด ณ หมุด 1 (ยังไม่ได้ปรับแก้)} &= \underline{359^\circ 51' 59.500''} + \\ \text{ผลรวมมุมราบ} &= 640^\circ 36' 31.210'' \\ &= \underline{540^\circ 00' 00.000''} - \\ A_z \text{ จาก Lenox ไป 1 (ยังไม่ได้ปรับแก้)} &= 100^\circ 44' 31.210'' \quad (\text{จากใต้}) \\ \text{เปลี่ยนเป็น } A_z \text{ จากเหนือ} &= \underline{180^\circ 00' 00.000''} + \\ \therefore A_z \text{ จาก Lenox ไป 1 (ยังไม่ได้ปรับแก้)} &= \underline{280^\circ 44' 31.210''} \quad (\text{จากเหนือ}) \end{aligned}$$

และทำการคำนวณหา A_z ของด้านต่างๆ จนถึงหมุดบรรจบ (ใช้วิธีการคำนวณ A_z เช่นเดียวกับวงรอบสำรวจทั่วไป) ซึ่งจะได้ค่า

$$\therefore A_z \text{ จาก Anutt ไป Mark FS (ยังไม่ได้ปรับแก้)} = \underline{300^\circ 44' 47.810''} \quad (\text{จากเหนือ})$$

4.2 หา A_z จากเหนือของหมุดบรรจบ Anutt (T_{ANUTT})

เมื่อ A_z จาก Mark FS ไป Anutt เป็น A_z จากใต้ ดังนั้นจะต้องทำการ Back A_z เพื่อเปลี่ยนให้เป็น A_z จากเหนือ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Back } A_z \text{ จาก Anutt ไป Mark FS} &= \alpha_B - C \pm 180^\circ \\ &= 121^\circ 31' 51.9'' - 0^\circ 46' 27.997'' + 180^\circ \\ \therefore A_z \text{ จาก Anutt ไป Mark BS} &= \underline{300^\circ 45' 23.903''} \quad (\text{ค่าคงที่ของหมุด}) \\ &\text{และเป็น } A_z \text{ ปิดของวงรอบนี้ด้วย} \end{aligned}$$

4.3 คำนวณหาความคลาดเคลื่อนทางมุมราบรังวัด ซึ่งจะได้

$$\begin{aligned} A_z \text{ จาก Anutt ไป Mark BS} &= 300^\circ 45' 23.767'' \quad (\text{ค่าคงที่}) \\ A_z \text{ จาก Anutt ไป Mark BS} &= \underline{300^\circ 44' 47.810''} \quad (\text{ค่าคำนวณจาก 4.1}) \\ \therefore \text{ความคลาดเคลื่อนทางมุม} &= \underline{+0^\circ 00' 36.093''} \\ \text{และค่าแก้ต่อหมุดคือ} &= \frac{36.093}{24} \approx \underline{+0^\circ 00' 01.504''/\text{หมุด}} \end{aligned}$$

ในตารางคำนวณใช้ค่า 1.504" เป็นค่าแก้ที่จะกรอกลงในตารางคำนวณทุกหมุด และเมื่อเรารวม 1.504" จำนวน 24 หมุด ผลรวมจะเป็น 36.906" ซึ่งมากกว่าที่ต้องการ ดังนั้นค่าแก้ จำเป็นต้องลดค่าแก้เหลือ 1.503" เพียง 3 หมุด และ 1.504" จำนวน 21 หมุด ผลรวมจึงจะถูกต้อง ตามรายการคำนวณ

สำหรับค่าจริงคือ 1.503875" นั้น ผู้คำนวณควรใช้ Memory ของเครื่องคำนวณเก็บค่า ไว้สำหรับใช้ในการคำนวณต่อไป เพื่อความถูกต้องและความละเอียดในการคำนวณถัดไป

อนึ่ง สำหรับในเอกสารนี้ ได้ใช้การคำนวณด้วยโปรแกรม Microsoft Office 2016 (Microsoft Excel) และใช้ทศนิยมทุกตำแหน่งที่คำนวณได้ ค่าแก้จึงออกมาเท่ากันหมด แต่หากรวมตามที่ปรากฏกฎอาจได้ค่าที่แตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ในที่นี้ใช้ความละเอียดทางมุมเพียง 0.001" เท่านั้น

สำหรับค่าแก้ที่คำนวณได้นี้ให้นำไปรอกลงในคอลัมน์ **ค่าแก้มุมราบ** (สำหรับหมวด Online เราจะไม่แก้ไข เนื่องจากไม่มีรายการรังวัดมุมราบ)

5. คำนวณหา A_z ประจำด้านโดยอาศัยหลักการเดียวกันกับการคำนวณมุมอาซิมุทตามปกติ และหากการปรับแก้ และคำนวณได้ถูกต้อง A_z ประจำด้านที่ชี้เข้ามุมบรรจบ จะต้องได้เท่ากับค่า A_z คงที่เสมอ

6. คำนวณหา **Scale Factor** เฉลี่ยของวงรอบ จาก **Point Scale Factor** ของมุมแรกออกและมุมเข้าบรรจบ ดังนี้

$$K_{avg} = \frac{K_{Initial} + K_{Final}}{2}$$

เมื่อ $K_{Initial}$ = ค่า **Scale Factor** ณ มุมแรกออก และจากการคำนวณหา
= 0.999752598 (จากตารางข้อ 3.1)

และ K_{Final} = ค่า **Scale Factor** ณ มุมเข้าบรรจบ และจากการคำนวณหา
= 0.999753496 (จากตารางข้อ 3.2)

ดังนั้น K_{avg} = 0.999753047

7. คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การทอน (**Sea Level Coefficient** หรือ **S.L.**) โดย

$$\text{Sea Level Coefficient (S.L.)} = \frac{R}{R + h}$$

เมื่อ

R ในที่นี้ใช้แทน รัศมีเฉลี่ยของโลก ณ บริเวณที่วงรอบครอบคลุม และสามารถคำนวณหาได้จากสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ $\phi_m = \frac{\phi_A + \phi_B}{2}$ = Latitude เฉลี่ยของวงรอบ โดย

ϕ_A = ค่า Latitude ของมุมออก
= 37°38'41.162"

ϕ_B = ค่า Latitude ของมุมบรรจบ
= 37°41'56.315"

ทำให้

$$\begin{aligned} \phi_m &= \frac{37^\circ 38' 41.162'' + 37^\circ 41' 56.315''}{2} \\ &= \underline{37^\circ 40' 18.738''} \end{aligned}$$

และเมื่อวงรอบกำหนดใช้ Spheroid ชื่อ WGS 1984 ดังนั้น

$$R = \sqrt{\frac{(6378137)^2(1-(6.69437999E-03))}{(1-(6.69437999E-03)(\sin^2 37^\circ 40' 18.738''))}}$$

$$\therefore R = \underline{6,372,685.852 \text{ m.}}$$

และ ความสูงเฉลี่ยของวงรอบ (หรือ h) คือ 387.952 m. จึงทำให้

$$\text{Sea Level Coefficient (S.L.)} = \frac{6372685852}{6372685852 + 387.952}$$

$$\text{Sea Level Coefficient (S.L.)} = \underline{0.999939126}$$

และทำให้ตัวคูณแก้ระยะทางคงที่มีค่าเป็น

$$(k \times S.L.) = 0.999753047 \times 0.999939126 \\ = \underline{0.999692189}$$

นำค่าที่ได้นี้ กรอกลงในคอลัมน์ ตัวคูณแก้ระยะ

8. คำนวณหาระยะบนเส้นกริดโดย

$$\text{ระยะบนเส้นกริด} = \text{ระยะราบรังวัด} \times \text{ตัวคูณแก้ระยะ}$$

9. คำนวณหาระยะฉากตั้งและราบ (ใช้หลักการเดียวกับการคำนวณวงรอบปกติ)

10. คำนวณหาผลรวมของระยะฉากตั้ง และราบ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าต่างของระยะฉากตั้งและราบระหว่าง พิกัดของหมุดแรกออกและหมุดบรรจบ โดยได้ผลลัพธ์ดังนี้

ในส่วนของค่าที่รังวัดมา

$$\text{ผลรวมของระยะฉากตั้งที่คำนวณ} = 6,020.315$$

$$\text{ผลรวมของระยะฉากราบที่คำนวณ} = 327.400$$

ในส่วนความต่างคงที่ของหมุดแรกออกและหมุดบรรจบ

$$\text{ผลต่าง} = \text{พิกัดหมุดบรรจบ} - \text{พิกัดหมุดแรกออก}$$

$$\text{ผลรวมของระยะฉากตั้งที่ถูกต้อง} = 6,020.161$$

$$\text{ผลรวมของระยะฉากราบที่ถูกต้อง} = 327.616$$

11. คำนวณหาค่า ΔN (ผลต่างของระยะฉากตั้ง) และ ΔE (ผลต่างของระยะฉากราบ) โดย

$$\text{ผลต่างระยะฉาก} = \text{ผลรวมระยะฉากที่ถูกต้อง} - \text{ผลรวมระยะฉากที่คำนวณ}$$

ดังนั้น

สถานีรังวัด	พิกัดเหนือ (N)	พิกัดตะวันออก (E)
Anutt	4,173,171.126	611,633.671
Lenox	<u>4,167,150.957</u>	<u>611,306.052</u>
∴ Fixed diff	6,020.161	327.616
∴ Computed diff	<u>6,020.315</u>	<u>327.400</u>
∴ Errors	<u>-0.146</u>	<u>+0.216</u>

เราสามารถคำนวณหา Linear Errors of Closure ได้ดังนี้

$$\text{Linear Errors of Closure} = \sqrt{\Delta N^2 + \Delta E^2} = \sqrt{0.146^2 + 0.216^2} \\ = \underline{0.261 \text{ m.}}$$

และคำนวณหาความละเอียดของงานได้ดังนี้

$$\text{Accuracy} = \frac{\text{Linear Errors of Closure}}{\text{Total Distance}} = \frac{0.261}{8195.351} \approx \frac{1}{31399.8} \rightarrow \frac{1}{30000}$$

แล้วนำค่าไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การยอมรับของงาน ว่าอยู่ในเกณฑ์หรือไม่ อย่างไร โดยพิจารณาข้อเสนอแนะของข้อกำหนดและดำเนินงานต่อไป สำหรับในที่นี้สัมฤทธิ์ให้ ยอมรับผลการรังวัดได้ตามเกณฑ์

12. การคำนวณแก้ระยะฉากก็จะอาศัยวิธีการของการคำนวณวงรอบ และที่นิยมใช้ก็คือ วิธีการ Compass Rule (หากเป็นงานวงรอบชั้น 1 และชั้น 2 ผู้รังวัดก็ต้องอาศัยวิธีการของ Least Square ในการปรับแก้ระยะฉากเท่านั้น)

สำหรับวิธีการ Compass Rule มีรายละเอียดดังนี้

การหาค่าแก้ของระยะฉากตั้ง

$$N^{corr} = \frac{\Delta N \times \ell}{\Sigma L}$$

และการหาค่าแก้ของระยะฉากราบ

$$E^{corr} = \frac{\Delta E \times \ell}{\Sigma L}$$

เมื่อ

$$N^{corr} = \text{ค่าแก้ระยะฉากตั้ง}$$

$$E^{corr} = \text{ค่าแก้ระยะฉากราบ}$$

$$\ell = \text{ระยะทางของด้านที่ใช้คำนวณหาระยะฉาก}$$

$$\Sigma L = \text{ผลรวมของระยะทางทั้งหมดของวงรอบ}$$

13. เมื่อแก้ระยะฉากเสร็จสิ้น ก็จะสามารถคำนวณหาพิกัดฉากของสถานีรังวัดต่างๆ ได้ ซึ่งก็ใช้หลักการเดียวกันกับการคำนวณวงรอบทั่วไปนั่นเอง ดังตัวอย่างที่แสดงไว้ในที่นี้

14. สรุปรายการคำนวณทั้งหมด (ดูอ้างอิงหน้า 17)

ข้อมูลอ้างอิงสำหรับการคำนวณค่าคงที่ต่างๆ

ข้อมูลขนาดทรงรีหมุนอ้างอิง (Reference Spheroid)

รูปทรงรีหมุนอ้างอิง	ความยาวครึ่ง แกนราบ (a)	ความยาวครึ่ง แกนตั้ง (b)	ส่วนกลับของ อัตราการยุบตัว ของขั้วโลก (1/f)	พื้นที่หรือบริเวณที่นำไปใช้
Maupertuis (1738)	6,397,300.00000	6,363,806.28300	191.000000000	France
Plessis (1817)	6,376,523.00000	6,355,862.93330	308.640000000	France
Everest (1830)	6,377,299.36500	6,356,098.35900	300.801725540	India
Everest 1830 Modified (1967)	6,377,304.06300	6,356,103.03900	300.801700000	West Malaysia & Singapore
Everest 1830 (1967 Definition)	6,377,298.55600	6,356,097.55000	300.801700000	Brunei & East Malaysia
Airy (1830)	6,377,563.39600	6,356,256.90900	299.324964600	Britain
Bessel (1841)	6,377,397.15500	6,356,078.96300	299.152812800	Europe, Japan
Clarke (1866)	6,378,206.40000	6,356,583.80000	294.978698200	North America
Clarke (1878)	6,378,190.00000	6,356,456.00000	293.465998000	North America
Clarke (1880)	6,378,249.14500	6,356,514.87000	293.465000000	France, Africa
Helmert (1906)	6,378,200.00000	6,356,818.17000	298.300000000	Egypt
Hayford (1910)	6,378,388.00000	6,356,911.94600	297.000000000	USA
International (1924)	6,378,388.00000	6,356,911.94600	297.000000000	Europe
Krassovsky (1940)	6,378,245.00000	6,356,863.01900	298.300000000	USSR, Russia, Romania
WGS66 (1966)	6,378,145.00000	6,356,759.76900	298.250000000	USA/DoD
Australian National (1966)	6,378,160.00000	6,356,774.71900	298.250000000	Australia
New International (1967)	6,378,157.50000	6,356,772.20000	298.249615390	
GRS-67 (1967)	6,378,160.00000	6,356,774.51600	298.247167427	
South American (1969)	6,378,160.00000	6,356,774.71900	298.250000000	South America
WGS-72 (1972)	6,378,135.00000	6,356,750.52000	298.260000000	USA/DoD
GRS-80 (1979)	6,378,137.00000	6,356,752.31410	298.257222101	Global ITRS
WGS-84 (1984)	6,378,137.00000	6,356,752.31420	298.257223563	Global GPS
IERS (1989)	6,378,136.00000	6,356,751.30200	298.257000000	
IERS (2003)	6,378,136.60000	6,356,751.90000	298.256420000	

ที่มา : https://en.wikipedia.org/wiki/Earth_ellipsoid

PROJECT		TOTAL ANGULAR CLOSURE		MEAN SCALE FACTOR		TRAVERSE ON THE UNIVERSAL TRAVERSE MERCATOR GRID (GEOGRAPHIC TRAVERSE)												
Test Traverse																		
LOCATION		NR OF ANGLE STATION		HEIGHT AVERAGES (METERS)		LENGTH OF TRAVERSE (METERS)		ZONE / CM		INITIALED AZIMUTH TO MARK.		FROM		N		W		
Ft. Leonard Wood, Missouri		24		387.952 m.		8,195.351 m.		15 /		101°30'46.100"		LENOX		4,167,150.957		611,306.054		
DATUM/ELLIPSOID ON		CONVERGENCY FROM FIRST		CONVERGENCY FROM FINAL		LINEAR CLOSURE RATIO		LINEAR ERROR		FINALED AZIMUTH TO MARK		TO		N		W		
WGS-84/WGS-84										121°31'51.900"		ANUTT		4,173,171.126		611,633.670		
STATION	OBSERVATION HORIZONTAL ANGLES				ADJUSTED AZIMUTH	AZIMUTH	CORRECTED FIELD DISTANCES (METERS)	SCLALE FACTOR X SEA LEVEL COEFFICIENT	GRID DISTANCES (METERS)	COSINE	SINE	UNADJUSTED				ADJUSTED GRID COORDINATES		STATION
	OBSERVED		Cr.									ΔN	Cr.	ΔE	Cr.	N	E	
LENOX Az.Mk.	°	'	"	"	°	'	"											
LENOX	359	51	59.5		101	30	46.100											LENOX
Sta#1 (HPT-315Z)	(Thru)						267	445										Sta#1 (HPT-315Z)
Sta#2	188	34	34.8				228	796										Sta#2
Sta#3	168	15	25.5				209	943										Sta#3
Sta#4 (HPT-315Y)	(Thru)						362	615										Sta#4 (HPT-315Y)
Sta#5	189	43	02.8				183	213										Sta#5
Sta#6	181	10	48.8				195	861										Sta#6
Sta#7	196	36	34.0				373	047										Sta#7
Sta#8	216	56	06.5				245	021										Sta#8
Sta#9 (HPT-315W)	201	49	55.5				182	234										Sta#9 (HPT-315W)
Sta#10	192	04	36.8				261	521										Sta#10
Sta#11	185	55	52.8				366	013										Sta#11
Sta#12	185	32	48.0				261	563										Sta#12
Sta#13 (CMA-339)	157	38	42.5				481	453										Sta#13 (CMA-339)
Sta#14 (CMA-338)	200	41	43.5				574	654										Sta#14 (CMA-338)
Sta#15 (HPT-315U)	(Thru)						354	675										Sta#15 (HPT-315U)
Sta#16	187	42	26.0				185	892										Sta#16
Sta#17	173	05	04.8				227	678										Sta#17
Sta#18	176	57	53.5				538	015										Sta#18
Sta#19	173	43	45.5				523	361										Sta#19
Sta#20	178	21	38.2				289	152										Sta#20
Sta#21	186	38	19.2				427	053										Sta#21
Sta#22	209	55	33.0				336	675										Sta#22
Sta#23	172	25	55.8				555	202										Sta#23
Sta#24	166	08	29.8				240	959										Sta#24
Sta#25	166	19	20.8				171	164										Sta#25
ANUTT	103	49	38.5				150	146										ANUTT
ANUTT Az.Mk.																		ANUTT
					Fixed =	300	45	23.903										
					Computed =	300	44	47.810										

