

วงรอบภูมิศาสตร์

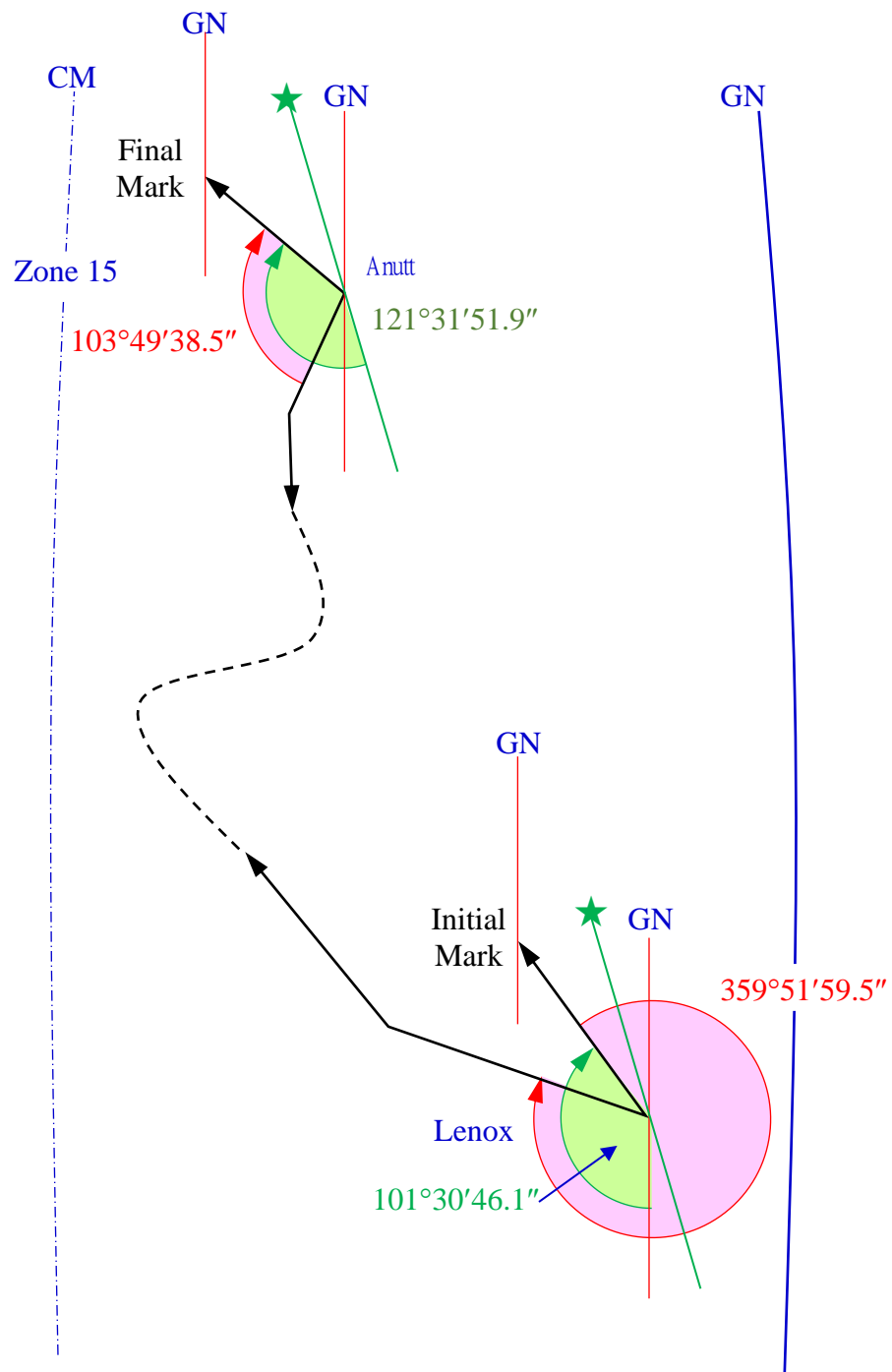
GEOGRAPHIC TRAVERSE

วงรอบภูมิศาสตร์ มีหลักการรังวัดเช่นเดียวกันกับวงรอบสำรวจทั่วไป แต่ข้อมูลที่น่ามาใช้ในการคำนวณ จะต้องมีการปรับแต่งค่าต่างๆ ให้เหมาะกับการคำนวณ เช่น ระยะทาง ต้องระยะบนพื้นระดับ MSL (ระยะรังวัด แต่ละด้านของวงรอบต้องไม่เกิน 1,000.000 เมตร ทำให้สามารถตัดเทอมที่สอง และเทอมหลังๆ ของสูตรคำนวณ บางสูตรออกได้) ค่าพิกัดฉาก ต้องเปลี่ยนเป็น ค่าพิกัดภูมิศาสตร์ ดังจะกล่าวถึงวิธีการคำนวณวงรอบจากตัวอย่าง การคำนวณดังนี้

ตัวอย่างงานคำนวณวงรอบสำรวจในระบบภูมิศาสตร์จากข้อมูลรังวัดที่ปรับแก้มาแล้วดังนี้

หมุดรังวัด	มุมราบรังวัด			ระยะรังวัด (เมตร)	หมายเหตุ
	°	'	"		
Mark BS					
Lenox	359	51	59.5		
Sta#1 (HPT-315Z)				267.445	เป็นหมุด Online ระหว่างหมุด Lenox กับหมุด 2
Sta#2	188	34	34.8	228.796	
Sta#3	168	15	25.5	209.943	
Sta#4 (HPT-315Y)				362.615	เป็นหมุด Online ระหว่างหมุด 3 กับหมุด 5
Sta#5	189	43	02.8	183.213	
Sta#6	181	10	48.8	195.861	
Sta#7	196	36	34.0	373.047	
Sta#8	216	56	06.5	245.021	
Sta#9 (HPT-315W)	201	49	55.5	182.234	
Sta#10	192	04	36.8	261.521	
Sta#11	185	55	52.8	366.013	
Sta#12	185	32	48.0	261.563	
Sta#13 (CMA-339)	157	38	42.5	481.453	
Sta#14 (CMA-338)	200	41	43.5	574.654	
Sta#15 (HPT-315U)				354.675	เป็นหมุด Online ระหว่างหมุด 14 กับหมุด 16
Sta#16	187	42	20.0	185.892	
Sta#17	173	05	04.8	227.678	
Sta#18	176	57	53.5	538.015	
Sta#19	173	43	45.5	523.361	
Sta#20	178	21	38.2	289.152	
Sta#21	186	38	19.2	427.053	
Sta#22	209	55	33.0	336.675	
Sta#23	172	25	55.8	555.202	
Sta#24	166	08	29.8	242.959	
Sta#25	166	19	20.8	171.164	
Anutt	103	49	38.5	150.146	
Mark FS					

รูปแผนที่สังเขป



จากภาพ

ตำแหน่งของหมุด Lenox

$$\phi = 37^{\circ}38'41.162'' \text{ N} \quad \lambda = 91^{\circ}44'17.976'' \text{ W}$$

ตำแหน่งของหมุด Anutt

$$\phi = 37^{\circ}41'56.315'' \text{ N} \quad \lambda = 91^{\circ}44'01.292'' \text{ W}$$

ค่าระดับเฉลี่ยของทั้งวงรอบ 387.952 เมตร

รูป Spheroid อ้างอิงที่ใช้คำนวณ คือ WGS-84

วิธีการคำนวณ ในตาราง

PROJECT		LENGTH OF TRAVERSE (MILES)		FIELD BOOK		PAGE		TO		GEOGRAPHIC TRAVERSE COMPUTATION (GEOGRAPHIC)												
LOCATION		LINEAR CLOSURE		ALLOWABLE ERRORS		ORDER		CONVERGENCE ON INITIATED STATION		FROM		LATITUDE		LONGITUDE		INITIAL AZIMUTH TO MARK						
REFERENCE SPHEROID / DATUM / ZONE		AZIMUTH CLOSURE		NUMBER OF STATION		CONVERGENCE ON FINAL STATION		TO		LATITUDE		LONGITUDE		FINAL AZIMUTH TO MARK								
STATION	OBSERVED HZ. ANGLES		Azimuth From South		ADJUSTMENT			AZIMUTH (GEO)		Distance (Feet)	COSINE	SINE	ΔNORTH	ΔEAST	FACTOR		Δφ"	Cr.	Δλ"	Geographic Coordinates		STATION
	°	'	"	°	'	"	Corv.	∠	TOT.						°	'				"	M	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17						
COMPUTED BY										DATE		CHECKED BY					DATE					

DSTC 2019

อธิบายการคำนวณจากตารางข้างบนนี้

col. 1 และ col. 17 สำหรับใส่ชื่อหมุดหรือสถานีรังวัด

col. 2 สำหรับกรอกค่ามุมราบที่ได้จากการรังวัด

col. 3 สำหรับใส่ค่ามุม Azimuth ที่คำนวณได้

การคำนวณในขั้นต้น จะคำนวณหา Az โดยยังไม่ต้องปรับแก้มุมรังวัด โดยใช้ที่ Field Az ณ จุดแรก ออก ต้องรู้ค่า Azimuth (Az) จริง ตลอดจนทราบค่า Latitude (φ) และ Longitude (λ) และต้องจำไว้เสมอว่า ในการคำนวณระบบพิกัดภูมิศาสตร์นี้ “ค่า Az ไป และกลับ จะต่างกันไม่เท่ากับ 180°”

ค่า Field Az ได้จากการเอาค่ามุมแต่ละมุมบวกด้วย Field Az ที่ขึ้นมา เช่น

$$\text{Field Az}_{2 \rightarrow 3} = \text{Field Az}_{1 \rightarrow 2} \pm 180^\circ + \text{มุมที่ 2} \quad \text{นั่นก็คือ}$$

$$\begin{aligned} \text{Lenox to Az Mark} &= 101^\circ 30' 46.100'' \\ &= \underline{180^\circ 00' 00.000''} \end{aligned}$$

$$\text{Back Az} = 280^\circ 30' 46.100''$$

$$\text{มุมราบที่ Lenox} = \underline{359^\circ 51' 59.500''}$$

$$= 641^\circ 22' 45.600''$$

$$= \underline{540^\circ 00' 00.000''}$$

$$\therefore \text{Az จาก Lenox ไป Sta. \#2} = \underline{101^\circ 22' 45.600''}$$

ให้ทำการคำนวณ Azimuth จนถึงด้านสุดท้าย คือ จากหมุด Anutt ไปยังหมุดตรงหน้า

Sta#21	186	38	19.2	202	52	04.300							
Sta#22	209	55	33.0	232	47	37.300							
Sta#23	172	25	55.8	225	13	33.100							
Sta#24	166	08	29.8	211	22	02.900							
Sta#25	166	19	20.8	197	41	23.700							
ANUTT	103	49	38.5	121	31	02.200			121	31	51.900	(Fixed Az.)	
FINAL MARK													
									Computed =	121	31	12.391	
									Azimuth Closure =	0	00	39.509	
									Number of Angle =			24	
									Error per Angle =			1.896	
									Correct per Angle =	+1.646x19	@	+1.647x5	

ในที่นี้ Az ด้านสุดท้ายที่คำนวณได้ คือ 121°31'02.200" ซึ่งค่าที่ได้นี้ จะต้องเอามารวมกับค่า Convergence ($\Delta\alpha''$) อยู่ด้วย และต้องคำนวณหา เพื่อนำมาแก้ไขต่อไป

col. 4 เป็นคอลัมน์ค่าแก้ทั้งหมด โดยจะแยกคอลัมน์ย่อยอีก 3 คอลัมน์ คือ

CONV. = Convergence หรือ Geodetic Convergence เป็นค่าแก้มุมเยื้องข้าง

สามารถคำนวณหาได้ โดยประมาณจากสูตร คือ

$$\Delta\alpha'' = C'' = \frac{s(\sin\alpha_{\text{Obs}})(\tan\phi_m)}{R_m(\sin 1'')}$$

877.388+750.595

เมื่อ s = ระยะทางของด้านที่คิดของวงรอบ (ในตัวอย่าง = 1,627.983 ฟุต)

α_{Obs} = Field Az ประจำด้าน (ในตัวอย่าง = 101°30'46.1")

ϕ_m = ค่า Latitude เฉลี่ยของวงรอบ (ในตัวอย่าง = 37°40'18.738")

$$= \frac{\phi_{\text{Lenox}} + \phi_{\text{Anutt}}}{2}$$

R_m = ค่ารัศมีเฉลี่ยที่คิดจาก ϕ_m (Clarke 1866)

ข้อควรระวัง หน่วยของระยะ ต้องเป็นหน่วยเดียวกัน ทั้ง R_m และ s

จากการคำนวณ ด้านแรก ได้ค่า $\Delta\alpha'' = 12.15684861''$

ส่วนการคิดเครื่องหมายของ $\Delta\alpha''$ ให้คิดดังนี้

- เมื่อด้านอยู่ทางตะวันตกของ สถานีรังวัดก่อนหน้า จะมีเครื่องหมายเป็น ลบ
- และจะมีเครื่องหมายเป็น บวก เมื่ออยู่ทางตะวันออก
- สำหรับขั้วโลกใต้จะคิดเครื่องหมายกลับกัน

ทำให้ค่าคำนวณ คือ $-12.15684861''$ (เราจะใช้ความละเอียดทางมุม 0.001" ก็ให้ความละเอียดเพียงพอกับงาน) แล้วรอกลงในตาราง คือ $-12.157''$

STATION	OBSERVED HZ. ANGLES			Azimuth From South			ADJUSTMENT			AZIMUTH (GEO)			α_m	
	°	'	"	°	'	"	Conv.	∠	TOT.	°	'	"		
INITIAL MARK				281	30	46.100	= Az. from Mark				101	30	46.100	
LENOX	359	51	59.5	101	22	45.600	- 12.157							
Sta#1 (HPT-315Z)														
Sta#2	188	34	34.8	109	57	20.400	- 04.931							
Sta#3	168	15	25.5	98	12	45.900	- 13.500							
Sta#4 (HPT-315Y)														
Sta#5	189	43	02.8	107	55	48.700	- 04.657							
Sta#6	181	10	48.8	109	06	37.500	- 08.808							

หลังจากได้ค่า $\Delta\alpha''$ ของแต่ละด้านของวงรอบแล้ว (สำหรับหมุดที่เป็น หมุดบนเส้นรังวัด หรือ หมุด Online ไม่ต้องคำนวณ แต่ให้รวมระยะทาง เป็นของด้านที่พิจารณา) ให้คำนวณหาผลรวมของ $\Delta\alpha''$ ตามเครื่องหมาย ในตัวอย่างผลรวมที่คำนวณได้ คือ +10.190" นั่นก็แสดงว่าผลที่เกิดขึ้นจากการรวมค่า $\Delta\alpha''$ ในแต่ละด้าน ทำให้ Field Az เพิ่มขึ้น +10.190" ด้วย

Sta#19	173: 43: 45.5	197: 52: 06.900	+ 02.217				
Sta#20	178: 21: 38.2	196: 13: 45.100	+ 02.983				
Sta#21	186: 38: 19.2	202: 52: 04.300	+ 03.269				
Sta#22	209: 55: 33.0	232: 47: 37.300	+ 11.050				
Sta#23	172: 25: 55.8	225: 13: 33.100	+ 04.310				
Sta#24	166: 08: 29.8	211: 22: 02.900	+ 02.226				
Sta#25	166: 19: 20.8	197: 41: 23.700	+ 01.140				
ANUTT	103: 49: 38.5	121: 31: 02.200			121: 31: 51.900	(Fixed Az.)	
FINAL MARK			Σ Conv. = + 10.191				

หาผลรวมของค่า CONV. ซึ่งในที่นี้ได้ค่าเท่ากับ +10.191"

และค่า Field Az จากสถานี Anutt ไปยัง Final Mark ที่คำนวณได้สุดท้าย จะมีค่า Convergence รวมอยู่ด้วย ซึ่งเราก็จะเอาค่า ผลรวมที่ได้ ไปรวมกับค่า Field Az ซึ่งก็จะได้ Computed Az ดังนี้

Sta#22	209: 55: 33.0	232: 47: 37.300	+ 11.050				
Sta#23	172: 25: 55.8	225: 13: 33.100	+ 04.310				
Sta#24	166: 08: 29.8	211: 22: 02.900	+ 02.226				
Sta#25	166: 19: 20.8	197: 41: 23.700	+ 01.140				
ANUTT	103: 49: 38.5	121: 31: 02.200			121: 31: 51.900	(Fixed Az.)	
FINAL MARK			Σ Conv. = + 10.191		Computed Az. = 121: 31: 12.391		
					Azimuth Closure = 0: 00: 39.509		
					Number of Angle = 24		
					Error per Angle = 1.896		
					Correct per Angle = +1.646x19 @ +1.647x5		

จากนั้น นำเอาค่า Fixed Az มาลบกับ Computed Az ก็จะได้ค่า Azimuth Closure

ดังนี้

Sta#22	209: 55: 33.0	232: 47: 37.300	+ 11.050				
Sta#23	172: 25: 55.8	225: 13: 33.100	+ 04.310				
Sta#24	166: 08: 29.8	211: 22: 02.900	+ 02.226				
Sta#25	166: 19: 20.8	197: 41: 23.700	+ 01.140				
ANUTT	103: 49: 38.5	121: 31: 02.200			121: 31: 51.900	(Fixed Az.)	
FINAL MARK			Σ Conv. = + 10.191		Computed Az. = 121: 31: 12.391		
					Azimuth Closure = 0: 00: 39.509		
					Number of Angle = 24		
					Error per Angle = 1.896		
					Correct per Angle = +1.646x19 @ +1.647x5		

นำค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้ ไปเทียบชั้นงานที่กำหนดว่า เข้าเกณฑ์ที่ยอมรับหรือไม่ ในที่นี้ ความผิดพลาดให้ของงานวงรอบ และอยู่ในเกณฑ์งานชั้น 3 เท่ากับ $\pm 12''\sqrt{N}$ (เมื่อ $N =$ จำนวนหมุดรังวัด = 24 หมุด) ถือว่าใช้ได้ ก็ให้ทำการคำนวณต่อไป โดยนำความคลาดเคลื่อนบรรจบทางมุมที่ได้คือ $+0^{\circ}00'39.509''$ และมีหมุดสำรวจที่รังวัดมุมรอบจำนวน 24 หมุดด้วยกัน โดยที่งานรังวัดจะให้ความละเอียดในการวัดเท่าๆ กันทุกหมุด เพื่อให้การปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนมีขนาดที่เท่าๆ กัน หรือใช้วิธีการเฉลี่ยความผิดพลาดได้ ดังนั้น การหาค่าแก้ต่อหมุด หรือต่อมุม ได้ดังนี้

$$\text{ค่าแก้} = \frac{\text{Azimuth Closure}}{\text{Obs.Angle Station}} = \frac{39.509''}{24} = 1.646208333''$$

แต่เนื่องจากใช้ความละเอียดเพียง $\pm 0.001''$ ทำให้แต่ละมุมต้องแก้ $+1.646''@19$ และบางมุม จะแก้เท่ากับ $+1.647''@5$ ให้นำค่าเหล่านี้มากรอกลงในคอลัมน์ค่าแก้ ซึ่งก็คือ คอลัมน์ที่มีสัญลักษณ์ “ \angle ” ดังนี้

STATION	OBSERVED HZ. ANGLES	Azimuth From South	ADJUSTMENT			AZIMUTH (GEO)	α_m
			Conv.	\angle	TOT.		
INITIAL MARK	° ' "	281 30 46.100	"	"	"	101 30 46.100	"
LENOX	359 51 59.5	101 22 45.600	- 12.157	+ 01.646			
Sta#1 (HPT-315Z)							
Sta#2	188 34 34.8	109 57 20.400	- 04.931	+ 01.646			
Sta#3	168 15 25.5	98 12 45.900	- 13.500	+ 01.646			
Sta#4 (HPT-315Y)							
Sta#5	189 43 02.8	107 55 48.700	- 04.657	+ 01.646			
Sta#6	181 10 48.8	109 06 37.500	- 08.808	+ 01.646			
Sta#7	196 36 34.0	125 43 11.500	- 04.971	+ 01.646			

ในลำดับต่อไปก็คำนวณหาผลรวมของค่าแก้ประจำด้าน (TOT.)

STATION	OBSERVED HZ. ANGLES	Azimuth From South	ADJUSTMENT			AZIMUTH (GEO)	α_m
			Conv.	\angle	TOT.		
INITIAL MARK	° ' "	281 30 46.100	"	"	"	101 30 46.100	"
LENOX	359 51 59.5	101 22 45.600	- 12.157	+ 01.646	+ 01.646		
Sta#1 (HPT-315Z)							
Sta#2	188 34 34.8	109 57 20.400	- 04.931	+ 01.646			
Sta#3	168 15 25.5	98 12 45.900	- 13.500	+ 01.646			
Sta#4 (HPT-315Y)							
Sta#5	189 43 02.8	107 55 48.700	- 04.657	+ 01.646			
Sta#6	181 10 48.8	109 06 37.500	- 08.808	+ 01.646			

จากภาพ การคำนวณหาผลรวมประจำด้าน มีหลักการดังนี้

ผลรวมของค่าแก้ด้านแรก เท่ากับ ค่าแก้มุมรอบรังวัด ของมุมแรกด้วย (ลูกศรสีแดง)

STATION	OBSERVED HZ. ANGLES	Azimuth From South	ADJUSTMENT			AZIMUTH (GEO)	α_m
			Conv.	\angle	TOT.		
INITIAL MARK	° ' "	281 30 46.100	"	"	"	101 30 46.100	"
LENOX	359 51 59.5	101 22 45.600	- 12.157	+ 01.646	+ 01.646		
Sta#1 (HPT-315Z)							
Sta#2	188 34 34.8	109 57 20.400	- 04.931	+ 01.646	- 08.865		
Sta#3	168 15 25.5	98 12 45.900	- 13.500	+ 01.646	- 12.150		
Sta#4 (HPT-315Y)							
Sta#5	189 43 02.8	107 55 48.700	- 04.657	+ 01.646	- 24.004		
Sta#6	181 10 48.8	109 06 37.500	- 08.808	+ 01.646	- 27.015		

ผลรวมของค่าแก้ด้านถัดไป เท่ากับ ผลรวมค่าแก้ด้านก่อน รวมกับค่าแก้มุมเยื้องข้าง แล้วรวมกับค่าแก้ของมุมนั้น (ลูกศรสีน้ำเงิน) $= +1.646 - 12.157 + 1.646 = -8.865$

และให้ปฏิบัติเช่นนี้ จนถึงหมดสุดท้าย และได้ค่าดังภาพข้างล่างนี้

Sta#	209	00	00.0	202	41	02.900	+ 04.310	+ 01.646	+ 37.086			
Sta#23	172	25	55.8	225	13	33.100	+ 04.310	+ 01.646	+ 37.086			
Sta#24	166	08	29.8	211	22	02.900	+ 02.226	+ 01.646	+ 43.042			
Sta#25	166	19	20.8	197	41	23.700	+ 01.140	+ 01.646	+ 46.914			
ANUTT	103	49	38.5	121	31	02.200		+ 01.646	+ 49.700	121	31	51.900 (Fixed Az.)
FINAL MARK							Σ Conv. = + 10.191					
								Computed Az. =	121 31 12.391			
								Azimuth Closure =	0 00 39.509			
								Number of Angle =	24			
								Error per Angle =	1.896			
								Correct per Angle =	+ 1.646x19 @ + 1.647x5			

col. 4 เป็นคอลัมน์ของค่า Geodetic Az ที่ได้รับการปรับแก้แล้วโดยรวมผลรวมของค่าแก้ประจำด้านกับค่า Field Az ดังนี้

STATION	OBSERVED HZ. ANGLES			Azimuth From South			ADJUSTMENT			AZIMUTH (GEO)			α_m	I
	°	'	"	°	'	"	Conv.	∠	TOT.	°	'	"		
INITIAL MARK				281	30	46.100	= Az. from Mark			101	30	46.100		
LENOX	359	51	59.5	101	22	45.600	- 12.157	+ 01.646	+ 01.646	101	22	47.246		
Sta#1 (HPT-315Z)										101	22	47.246		
Sta#2	188	34	34.8	109	57	20.400	- 04.931	+ 01.646	- 08.865	109	57	11.535		
Sta#3	168	15	25.5	98	12	45.900	- 13.500	+ 01.646	- 12.150	98	12	33.750		
Sta#4 (HPT-315Y)										98	12	33.750		
Sta#5	189	43	02.8	107	55	48.700	- 04.657	+ 01.646	- 24.004	107	55	24.696		

Sta#24	166	08	29.8	211	22	02.900	+ 02.226	+ 01.646	+ 43.042	211	22	43.942		
Sta#25	166	19	20.8	197	41	23.700	+ 01.140	+ 01.646	+ 46.914	197	42	10.614		
ANUTT	103	49	38.5	121	31	02.200		+ 01.646	+ 49.700	121	31	51.900 (Fixed Az.)		
FINAL MARK							Σ Conv. = + 10.191			Final Adjust Az. =	121 31 51.900 OK			
								Computed Az. =	121 31 12.391					
								Azimuth Closure =	0 00 39.509					
								Number of Angle =	24					
								Error per Angle =	1.896					
								Correct per Angle =	+ 1.646x19 @ + 1.647x5					

Sta. Lenox Adjustment Az = 101°22'45.600" + (+1.646")

= 101°22'47.246"

Sta.2 Adjustment Az = 109°57'20.400" + (-8.865")

= 109°57'11.535"

Sta.3 Adjustment Az = 98°12'45.900" + (-12.150")

= 98°12'33.750"

สำหรับค่า Azimuth หมุดบนเสี้ยนรังวัด หรือหมุด Online ให้คัดลอกค่ามุม Azimuth ลงมาได้เลย และจะคำนวณเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบทุกด้าน ซึ่งค่าแก้ทั้งหมด ณ สถานีรังวัดสุดท้ายเมื่อบวก Field Az กับค่าแก้แล้วจะเท่ากับ Fixed Az พอดี ซึ่งเท่ากับ 121°31'51.900" จึงถือว่าถูกต้อง

col. 6 เป็นคอลัมน์ค่า Mean Az (α_m) โดยมักจะนิยมใส่เฉพาะค่าของฟิลิปดา (") เท่านั้น ซึ่งหาได้โดยนำค่า Convergence ประจำด้านนั้นๆ หาร 2 หรือเฉลี่ยค่า แล้วนำมารวมกับค่า Geodetic Az อันเป็นค่าของ Geodetic Mean Az สุดท้ายที่จะนำไปคำนวณในลำดับต่อไป

$$\begin{aligned} \text{Geodetic Azimuth ของด้าน Mark to Lenox} &= 101^{\circ}22'47.246'' \\ \text{Mean of Convergence (Conv. } \div 2 = \frac{-12.157}{2}) &= \underline{\underline{-06.079''}} \\ \therefore \text{Geodetic Mean Azimuth } (\alpha_m) &= \underline{\underline{101^{\circ}22'41.167''}} \end{aligned}$$

STATION	OBSERVED HZ. ANGLES	Azimuth From South	ADJUSTMENT			AZIMUTH (GEO)	α_m	I
			Conv.	\angle	TOT.			
INITIAL MARK		281 30 46.100 = Az. from Mark				101 30 46.100		
LENOX	359 51 59.5	101 22 45.600	- 12.157	+ 01.646	+ 01.646	101 22 47.246	41.167	
Sta#1 (HPT-315Z)						101 22 47.246	41.167	
Sta#2	188 34 34.8	109 57 20.400	- 04.931	+ 01.646	- 08.865	109 57 11.535	09.069	
Sta#3	168 15 25.5	98 12 45.900	- 13.500	+ 01.646	- 12.150	98 12 33.750	27.000	
Sta#4 (HPT-315Y)						98 12 33.750	27.000	
Sta#5	189 43 02.8	107 55 48.700	- 04.657	+ 01.646	- 24.004	107 55 24.696	22.367	

col. 7 คือระยะทางรังวัดที่ได้รับการปรับแก้และทอนค่ามาเรียบร้อยแล้วตามวิธีการ

col. 8 และ 9 จะเป็นค่าของ cosine และ sine จากค่า Geodetic Mean Az โดยไม่ต้องคิดเครื่องหมายตามหลักทางตรีโกณมิติ แต่จะคิดเครื่องหมายว่าเป็น Δ Northing (ΔN) หรือ Δ Easting (ΔE) เท่านั้น ตามหลักการคำนวณวงรอบภูมิศาสตร์

col. 10 และ 11 เป็นค่าของ ΔN และ ΔE โดยมีหลักเกณฑ์ให้เครื่องหมาย ดังนี้

เมื่อคิด Az จากใต้ ในซีกโลกตะวันตก เหนือแนว Equator

- Az อยู่ระหว่าง 0° – 180° ค่าของ ΔE เป็น “+”
- Az อยู่ระหว่าง 90° – 270° ค่าของ ΔN เป็น “+”

เมื่อคิด Az จากใต้ ในซีกโลกตะวันออกเหนือแนว Equator

- Az อยู่ระหว่าง 0° – 180° ค่าของ ΔE เป็น “-”
- Az อยู่ระหว่าง 90° – 270° ค่าของ ΔE เป็น “+”

ค่าที่ได้นี้ สามารถคำนวณได้จาก การนำค่าของ Cosine Geodetic Mean Az คูณกับระยะทางประจำด้าน ก็จะได้ค่าทาง ΔN และค่า ΔE ก็คิดจากค่าของ Sine Geodetic Mean Az คูณกับระยะทางประจำด้านนั้นๆ เช่นเดียวกันกับวงรอบสำรวจทั่วไป

STATION	OBSERVED HZ. ANGLES	Azimuth From South	ADJUSTMENT			AZIMUTH (GEO)	α_m	Distance (Feet)	COSINE	SINE
			Conv.	\angle	TOT.					
INITIAL MARK		281 30 46.100 = Az. from Mark				101 30 46.100				
LENOX	359 51 59.5	101 22 45.600	- 12.157	+ 01.646	+ 01.646	101 22 47.246	41.167	877 388	0.1972 824	0.9803 467
Sta#1 (HPT-315Z)						101 22 47.246	41.167	750 595	0.1972 824	0.9803 467
Sta#2	188 34 34.8	109 57 20.400	- 04.931	+ 01.646	- 08.865	109 57 11.535	09.069	688 747	0.3412 410	0.9399 758
Sta#3	168 15 25.5	98 12 45.900	- 13.500	+ 01.646	- 12.150	98 12 33.750	27.000	1,189 605	0.1427 580	0.9897 576
Sta#4 (HPT-315Y)						98 12 33.750	27.000	601 053	0.1427 580	0.9897 576
Sta#5	189 43 02.8	107 55 48.700	- 04.657	+ 01.646	- 24.004	107 55 24.696	22.367	642 547	0.3077 363	0.9514 717
Sta#6	181 10 48.8	109 06 37.500	- 08.808	+ 01.646	- 27.015	109 06 10.485	06.081	1,223 829	0.3272 454	0.9449 394
Sta#7	106 26 24.0	106 42 14.500	- 04.074	+ 01.646	- 24.177	106 40 27.999	24.927	809 099	0.5096 709	0.8410 954

col. 12 เป็นค่าของตัวคูณแก้ระยะฉาก หรือ Factor โดยแยกเป็น 2 ค่าด้วยกัน คือ M และ P เพื่อนำไปคำนวณค่า $\Delta\phi$ และ $\Delta\lambda$ ใน col. 13 และ 14 ตามลำดับ เมื่อ

$$M = (R_m \sin 1'')^{-1} \dots\dots\dots \text{จะมีค่าเท่ากันทั้งวงรอบ}$$

$$P = (N_{\phi_x} \cos \phi_x \sin 1'')^{-1} \dots\dots\dots \text{จะเปลี่ยนไปตามค่าของ } \phi_x \text{ หมุดนั้นๆ}$$

โดยที่ ϕ จะคิดของสถานีรังวัดที่กำลังพิจารณา

col. 13 เป็นคอลัมน์ค่าความต่างทางตั้งหรือค่า Latitude ($\Delta\phi''$) โดยคำนวณจาก

$$\Delta\phi'' = M \times \Delta N$$

ST	FACTOR		$\Delta\phi''$	Cr.	$\Delta\lambda''$	Cr.	Geographic Coordinates		STATION
	M	P					ϕ N	λ W	
							° ' "	° ' "	INITIAL MARK
							(Fixed Lat.)	(Fixed Long.)	
0:144			+ 01:708				37 38 41.162	91 44 17.976	LENOX
5:843			+ 01:461						Sta#1 (HPT-315Z)
7:406			+ 02:319						Sta#2
7:421			+ 01:675						Sta#3
4:897			+ 00:847						Sta#4 (HPT-315Y)
1:365			+ 01:951						Sta#5
6:444			+ 03:951						Sta#6
2:602			+ 01:629						Sta#7

เมื่อคำนวณค่าประจำด้านจนครบแล้ว ทำการคำนวณหาผลรวมของ $\Delta\phi''$ ทั้งหมดตามเครื่องหมาย แล้วนำไปรวมกับค่า Latitude ของหมุดแรกออก ก็จะได้ Latitude ของหมุดบรรจบ ดังนี้

9:323			+ 10:040						Sta#21
0:848			+ 10:864						Sta#22
5:929			+ 05:537						Sta#23
2:392			+ 04:729						Sta#24
9:784			+ 04:629						Sta#25
							37 41 56.315	91 44 01.292	ANUTT
							(Fixed Lat.)	(Fixed Long.)	
			$\Sigma = + 194:747$						FINAL MARK

จากตารางตัวอย่างคำนวณผลรวมของ $\Delta\phi''$ ได้เท่ากับ +194.747" ดังนั้น

Latitude แรกออก ณ หมุด Lenox = 37°38'41.162"

ผลรวมของ $\Delta\phi''$ หรือ = +0°03'14.747"

Latitude บรรจบ ณ หมุด Anutt = 37°41'55.909"

Latitude จริง ของหมุด Anutt = 37°41'56.315"

∴ Error of closure = +0°00'00.406"

0:848			+ 10:864						Sta#22
5:929			+ 05:537						Sta#23
2:392			+ 04:729						Sta#24
9:784			+ 04:629						Sta#25
							37 41 56.315	91 44 01.292	ANUTT
							(Fixed Lat.)	(Fixed Long.)	
			$\Sigma = + 194:747$						FINAL MARK
							Computed = 37 41 55.909		
							Errors = 0 00 00.406		
							Errors of Closure in Distance = 0.0114 fts.		

นำเอาค่าความผิดที่ได้นี้ หารด้วย ค่า M-factor ก็จะได้ค่าความผิดทางระยะ ในที่นี้ได้เท่ากับ 0.0114 ฟุต จากนั้นนำไปคำนวณแก้ค่าความคลาดเคลื่อน โดยใช้วิธีการของ Compass Rule (หากต้องการความละเอียดให้มากขึ้น สามารถคำนวณแก้ด้วยวิธีการของ Least Square ก็ได้)

หลังจากคำนวณค่าแก้เรียบร้อยแล้ว ก็ให้คำนวณหาค่า Latitude ของหมุดรังวัดแต่ละหมุด ซึ่งหมุดสุดท้ายก็ต้องได้ตำแหน่งตามที่ Fixed เอาไว้ จึงจะถูกต้อง

T	FACTOR		$\Delta\phi''$	Cr.	$\Delta\lambda''$	Cr.	Geographic Coordinates		STATION
	M	P					ϕ N	λ W	
							° ' "	° ' "	INITIAL MARK
				+			(Fixed Lat.)	(Fixed Long.)	
144			+ 01 708	14			37 38 41.162	91 44 17.976	LENOX
843			+ 01 461	11			42.884		Sta#1 (HPT-315Z)
406			+ 02 319	10			44.356		Sta#2
421			+ 01 675	18			46.685		Sta#3
897			+ 00 847	9			48.378		Sta#4 (HPT-315Y)
658			+ 13 270	21			41 07.153		Sta#20
323			+ 10 040	17			20.444		Sta#21
848			+ 10 864	28			30.501		Sta#22
929			+ 05 537	12			41.393		Sta#23
392			+ 04 729	8			46.942		Sta#24
784			+ 04 629	7			51.679		Sta#25
							37 41 56.315	91 44 01.292	ANUTT
				+			(Fixed Lat.)	(Fixed Long.)	
			$\Sigma = + 194 747$	406					FINAL MARK

col. 14 เป็นค่าของความต่างทางราบ หรือ Longitude ($\Delta\lambda''$) คำนวณได้จาก

$$\Delta\lambda'' = P \times \Delta E$$

คำนวณหาค่า P ของแต่ละหมุดจากค่า ϕ หมุดนั้นๆ โดย

$$P = (N_{\phi_x} \cos \phi_x \sin 1'')^{-1}$$

เมื่อ

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

ซึ่งได้ผลการคำนวณดังนี้

T	FACTOR		$\Delta\phi''$	Cr.	$\Delta\lambda''$	Cr.	Geographic Coordinates		STATION
	M	P					ϕ N	λ W	
							° ' "	° ' "	INITIAL MARK
				+			(Fixed Lat.)	(Fixed Long.)	
144		0.012 4331	+ 01 708	14			37 38 41.162	91 44 17.976	LENOX
843		4332	+ 01 461	11			42.884		Sta#1 (HPT-315Z)
406		4333	+ 02 319	10			44.356		Sta#2
421		4334	+ 01 675	18			46.685		Sta#3
897		4335	+ 00 847	9			48.378		Sta#4 (HPT-315Y)
365		4335	+ 01 951	9			49.234		Sta#5
444		4336	+ 03 951	19			51.194		Sta#6
692		4338	+ 04 629	12			55.164		Sta#7

เสร็จแล้วคำนวณหา ความต่างทางราบ หรือ Longitude ($\Delta\lambda$) ก็จะได้ค่าดังนี้

ST	FACTOR		$\Delta\phi''$	Cr.	$\Delta\lambda''$	Cr.	Geographic Coordinates		STATION
	M	P					ϕ N	λ W	
							° ' "	° ' "	
				+			(Fixed Lat.)	(Fixed Long.)	INITIAL MARK
144		0.012 4331	+ 01:708	14	+ 10:694		37 38 41.162	91 44 17.976	LENOX
843		4332	+ 01:461	11	+ 09:149		42.884		Sta#1 (HPT-315Z)
406		4333	+ 02:319	10	+ 08:049		44.356		Sta#2
421		4334	+ 01:675	18	+ 14:639		46.685		Sta#3
897		4335	+ 00:847	9	+ 07:397		48.378		Sta#4 (HPT-315Y)
365		4335	+ 01:951	9	+ 07:601		49.234		Sta#5
444		4336	+ 03:951	19	+ 14:379		51.194		Sta#6
602		4338	+ 04:629	12	+ 08:115		55.164		Sta#7

เมื่อกำหนดค่าประจำด้านจนครบแล้ว ทำการคำนวณหาผลรวมของ $\Delta\lambda''$ ทั้งหมดตามเครื่องหมาย แล้วนำไปรวมกับค่า Longitude ของหมุดแรกออก ก็จะได้ Longitude ของหมุดบรรจบ ดังนี้

323		4405	+ 10:040	17	- 05:341		20.444		Sta#21
848		4410	+ 10:864	28	- 18:050		30.501		Sta#22
929		4415	+ 05:537	12	- 07:041		41.393		Sta#23
392		4417	+ 04:729	8	- 03:638		46.942		Sta#24
784		0.012 4420	+ 04:629	7	- 01:864		51.679		Sta#25
							37 41 56.315	91 44 01.292	ANUTT
				+			(Fixed Lat.)	(Fixed Long.)	
		$\Sigma = + 194:747$		406	- 16:676				FINAL MARK

จากตารางตัวอย่างคำนวณผลรวมของ $\Delta\lambda''$ ได้เท่ากับ +16.676" ดังนั้น

$$\text{Longitude แรกออก ณ หมุด Lenox} = 91^{\circ}44'17.976''$$

$$\text{ผลรวมของ } \Delta\lambda'' \text{ หรือ} = -0^{\circ}00'16.676''$$

$$\text{Longitude บรรจบ ณ หมุด Anutt} = 91^{\circ}44'01.300''$$

$$\text{Longitude จริง ของหมุด Anutt} = 37^{\circ}44'01.292''$$

$$\therefore \text{Error of closure} = -0^{\circ}00'00.008''$$

323		4405	+ 10:040	17	- 05:341		20.444		Sta#21
848		4410	+ 10:864	28	- 18:050		30.501		Sta#22
929		4415	+ 05:537	12	- 07:041		41.393		Sta#23
392		4417	+ 04:729	8	- 03:638		46.942		Sta#24
784		0.012 4420	+ 04:629	7	- 01:864		51.679		Sta#25
							37 41 56.315	91 44 01.292	ANUTT
				+			(Fixed Lat.)	(Fixed Long.)	
		$\Sigma = + 194:747$		406	- 16:676				FINAL MARK
							Computed = 37 41 55.909	91 44 01.300	
							Errors = 0 00 00.406	0 00 00.008	
							Errors of Closure in Distance = 0.0114 fts.	0.0002 fts.	

นำเอาค่าความผิดที่ได้นี้หารด้วยค่า P-factor เฉลี่ย ได้ค่าความผิดทางระยะ ในที่นี้ได้เท่ากับ 0.0002 ฟุต จากนั้นนำไปคำนวณแก้ค่าความคลาดเคลื่อน โดยใช้วิธีการของ Compass Rule (หากต้องการความละเอียดให้มากขึ้น สามารถคำนวณแก้ด้วยวิธีการของ Least Square ก็ได้)

หลังจากคำนวณค่าแก้ไขปรับร้อย ก็ให้คำนวณหาค่า **Longitude** ของหมุดรังวัดแต่ละหมุด ซึ่งหมุดสุดท้ายก็ต้องได้ตำแหน่งตามที่ **Fixed** เอาไว้ จึงจะถูกต้อง

จากนั้นคำนวณหา **Linear error of Closure** ก็จะหาแบบวิธีของการคำนวณวงรอบปกติ โดยคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Linear error of closure} &= \sqrt{(0.0114^2) + (0.0002^2)} \\ \text{ในที่นี้จะได้เท่ากับ} &= \underline{0.011} \text{ ฟุต} \\ \text{และ Error of closure ratio} &= \frac{\text{Linear error of Closure}}{\Sigma \text{ Distance of Traverse}} \\ \text{ในที่นี้จะได้เท่ากับ} &= \underline{1:2,350,000} \end{aligned}$$

สำหรับการคำนวณ **Side Shots** ก็จะคำนวณเช่นเดียวกันกับการคำนวณวงรอบ แต่ต่างกันที่ลดขั้นตอนการปรับแก้ในส่วนต่างๆ ลงไปคงมีแต่การคำนวณหา **Convergence** และค่าอื่นๆ เช่นเดียวกับการคำนวณวงรอบทุกประการ

ข้อมูลอ้างอิงสำหรับการคำนวณค่าคงที่ต่างๆ

ข้อมูลขนาดทรงรีหมุนอ้างอิง (Reference Spheroid)

รูปทรงรีหมุนอ้างอิง	ความยาวครึ่งแกนราบ (a)	ความยาวครึ่งแกนตั้ง (b)	ส่วนกลับของอัตรา การยุบตัวของขั้วโลก (1/f)	พื้นที่หรือบริเวณที่นำไปใช้
Maupeituis (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