บทที่ 4

การคำนวณพิกัดตำแหน่ง

4.1 การรับสัญญาณดาวเทียม

งานกรมที่ดินเมื่อกำหนดจำนวนวงรอบ สถานีรับสัญญาณดาวเทียมในแต่ละวงรอบ จะค้นหารายละเอียดของทุกสถานี ตลอดจนการเดินทางถึงที่ตั้งสถานี การดำเนินงานขณะเข้าถึงสถานีที่ต้องการ จะประกอบอุปกรณ์และเครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียม พร้อมทั้งทดสอบระบบการทำงานของเครื่องมือ ใส่ข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ชื่อสถานี ค่าละติจูด ลองจิจูด และความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง ค่าพิกัดทั้ง 3 สามารถหาได้ 2 กรณี คือ

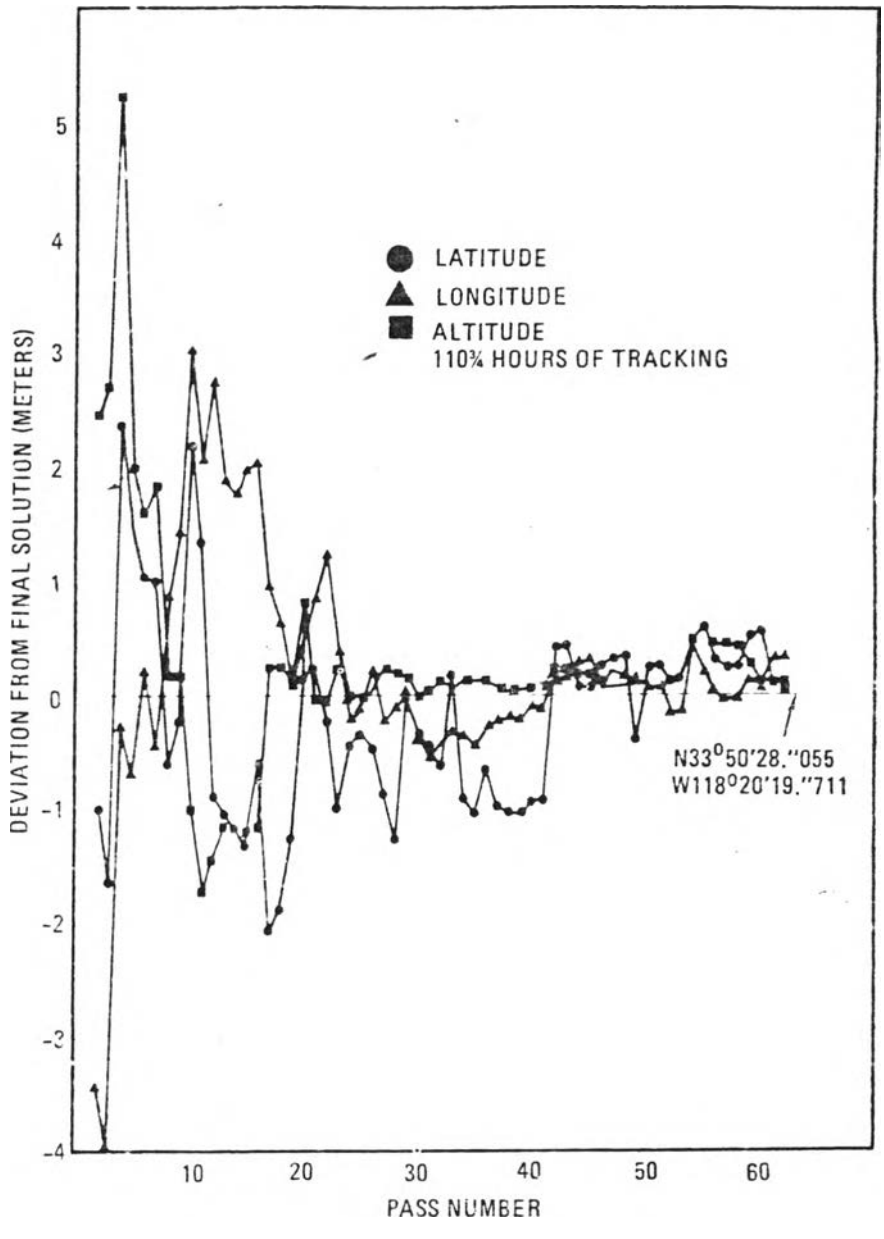
ก) เป็นหมุดกรมแผนที่ทหาร จะดำเนินการคัดค่าพิกัดและรายละเอียดของหมุดนั้นใช้ค่าพิกัดของกรมแผนที่ทหาร บนพื้นหลักฐานอินเดียน 2518

ข) เป็นสถานีใหม่ ใช้ค่าพิกัดจากแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ลำดับชุดที่ L 7017 ของกรมแผนที่ทหาร

ค่าพิกัดทางละติจูดและลองจิจูดเริ่มต้นในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม สามารถคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน 2 องศา บนพื้นหลักฐานดาวเทียม (Magnavox, 1982) โดยขณะรับสัญญาณข้อมูลที่ส่งจากดาวเทียมไปยังเครื่องรับ จะถูกคำนวณปรับแก้ให้ความคลาดเคลื่อนน้อยลงเรื่อย ๆ ดังตัวอย่างที่แสดงไว้ในรูป 4.1

4.2 การคำนวณปรับแก้และขั้นตอนดำเนินการของโปรแกรม MAGNET

วิธีการคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งบนพื้นหลักฐานดาวเทียม ใช้ข้อมูลจากการรับสัญญาณเป็นวงรอบโดยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ คำนวณค่าพิกัดแบบทรานสโลเคชั่นและแบบโครงข่าย แบ่งได้เป็น



รูปที่ 4.1 การสอบเข้าหาค่าที่ถูกต้องของพิกัดตำแหน่งใน 3 ทิศทาง (ที่จำนวน 62 เส้นวงโคจร) (Stansell, 1978)

4.2.1 การคำนวณพิกัดตำแหน่งบนพื้นหลักฐานดาวเทียมด้วยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมโปรแกรม MAGNET คำนวณปรับแก้พร้อมกันทั้งวงรอบ โดยวงรอบหนึ่งมีสถานีไม่เกิน 10 สถานี ผลการคำนวณเป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์ (Geodetic Coordinates ø, λ, h) และค่าพิกัดฉาก (Cartesian coordinates X, Y, Z) โดยมีศูนย์กลางรูปทรงรีอยู่ที่จุดศูนย์กลางโลก การคำนวณปรับแก้ใช้วิธีการคำนวณมีรายละเอียดดังนี้ (Magnavox, 1980)

(1) ใช้วิธีลีสท์สแควร์ แบบมี Weight

(2) ปรับแก้วงโคจรของดาวเทียม แบบ Semi-Short-Arc ใน 3 ทิศทางคือ ในแนววงโคจร (Along Track) แนวตั้งฉากกับวงโคจร (Cross Track) และในแนวรัศมี (Radial)

(3) ใช้ข้อมูลแบบอีฟิเมอริสส่งกระจาย

(4) ใช้วิธีลีสท์สแควร์ในการคำนวณหาระยะทางการวัดของเครื่องรับสัญญาณ โดยให้เศษคงเหลือเป็นศูนย์

(5) ตัดผลกระทบเรื่องเวลาของการรับสัญญาณออก

(6) ปรับแก้ให้เกิดความเชื่อมั่นกับความคลาดเคลื่อน + 0.30 เมตร ของพิกัดทางราบถึง 99 % (Three Sigma)

(7) ตรวจสอบการปรับแก้วงโคจรที่คำนวณได้ทางสถิติด้วยวิธี Chi-squared

(8) ผลกระทบจากบรรยากาศชั้น Troposphere ถ้ามีข้อมูลจากการวัดภายนอก สามารถนำเข้าร่วมในการคำนวณได้

(9) วิธีแก้ผลกระทบจากบรรยากาศชั้น Ionosphere ได้โดยคำนวณทันทีที่รับสัญญาณได้สมบูรณ์

(10) ไม่จำกัดจำนวนเส้นวงโคจรของดาวเทียม

(11) ใช้หลักการทางสถิติ แก้ไขทิศทางของเส้นวงโคจรที่ไม่สมดุลย์

(12) สามารถคำนวณเปลี่ยนพื้นหลักฐานตามต้องการได้ โดยใช้พารามิเตอร์ได้ถึง 7 ค่า และคำนวณแบบลีสท์สแควร์

(13) โปรแกรมนี้ใช้เฉพาะกับเครื่องมินิคอมพิวเตอร์

(14) สามารถคำนวณค่าความละเอียดถูกต้องทางสถิติได้

4.2.2 ขั้นตอนดำเนินการก่อนคำนวณหาพิกัดตำแหน่งคือ

เมื่อรับสัญญาณดาวเทียมทั้งวงรอบสมบูรณ์ จะรวบรวมเทปบันทึกข้อมูลของ 10 สถานี ไปคำนวณหาพิกัดตำแหน่ง ก่อนการคำนวณต้องจัดเตรียมข้อมูลทั้งหมดให้เป็นข้อมูลดาวเทียม แบ่งวิธีการได้เป็น

(1) อ่านเทปบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องอ่าน MEMTEC โดยแยกอ่านเป็นสถานี และเก็บข้อมูลที่อ่านได้เป็นสถานีเช่นกัน

(2) นำข้อมูลแต่ละสถานีรวมกันทั้งหมดเป็นข้อมูลเดียว (MAGNET.DAT) ข้อควรระวังในการปฏิบัติ คือจะต้องทราบว่าสถานีใดอยู่ก่อนหรือหลัง เพื่อกันความสับสนในการคำนวณ

(3) ใส่ค่า ละติจูด ลองจิจูด และความสูง ที่ได้จากการคำนวณวิธี Point Positioning ของเครื่องรับสัญญาณ

(4) ใส่ชื่อสถานี ค่า Root Mean Square (RMS) ที่ต้องการในที่นี้ใช้ 0.25 เมตร และกำหนดผลของการคำนวณในรูปแบบที่ต้องการ

4.2.3 วิธีคำนวณที่กรมที่ดินดำเนินการ

เมื่อรวมข้อมูลทั้งหมดเป็นข้อมูลเดียว จึงเริ่มคำนวณหาค่าพิกัดตำแหน่งบนพื้นหลักฐานดาวเทียม ทั้งแบบทรานสโลเคชั่นและแบบโครงข่าย รายละเอียดการคำนวณแต่ละวิธีคือ

ก) วิธีทรานสโลเคชั่น จะใช้สถานีแม่ที่เป็นหมุดโครงข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ของกรมแผนที่ทหาร มีค่าพิกัดพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 เป็นสถานีหลักให้สถานีที่เหลือภายในวงรอบคำนวณจับคู่ โดยค่าพิกัดของสถานีแม่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนสถานีอื่นค่าพิกัดจะถูกคำนวณปรับแก้ให้มีความสอดคล้องกับสถานีแม่ ถ้าค่าพิกัดสถานีแม่มีความคลาดเคลื่อน จะทำให้ค่าพิกัดของสถานีอื่นในวงรอบนั้นมีความคลาดเคลื่อนตามทั้งหมด รายละเอียดการหาความคลาดเคลื่อนของสถานีแม่อยู่ในหัวข้อที่ 3.4.3 และผลการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ก. เป็นการคำนวณเพื่อตรวจสอบค่าพิกัดหมุดกรมแผนที่ทหาร

ข) วิธีโครงข่าย จะคำนวณพร้อมกันทุกสถานีในวงรอบนั้น แต่ต้องไม่เกิน 10 สถานี ค่าพิกัดทุกสถานีจะถูกปรับแก้แบบอิสระ ถ้าสถานีใดมีความคลาดเคลื่อน ผลคำนวณที่ได้จะกระจายความคลาดเคลื่อนไปทุกสถานีและจะอยู่เฉพาะภายในวงรอบนั้น ๆ ผลการคำนวณแสดงอยู่ในภาคผนวก ข.

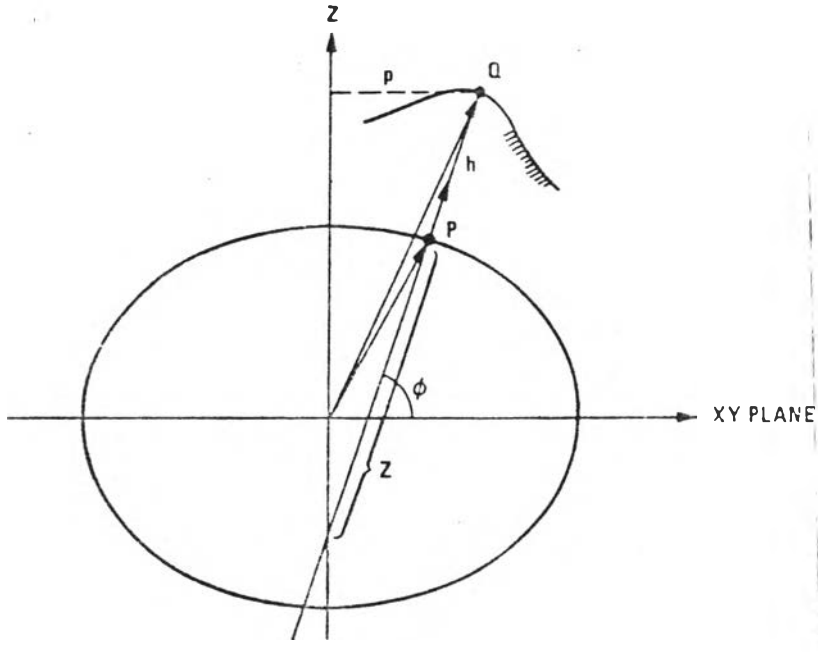
4.3 การคำนวณเปลี่ยนพื้นหลักฐาน

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ต้องใช้ค่าพิกัดระบบเดียวกัน คือระบบพิกัดฉาก (X, Y, Z) แต่ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 ของกรมแผนที่ทหารเป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์ (ø, λ, h) และระบบยูทีเอ็ม (N, E) ดังนั้นต้องแปลงค่าพิกัดของกรมแผนที่ทหารเป็นค่าพิกัดระบบพิกัดฉาก ตามรูป 4.2 พิจารณาที่จุด Q จะได้สมการเป็น

$$X_Q = (N + h) \cos ø \cos \lambda \qquad (4.1)$$

$$Y_Q = (N + h) \cos ø \sin \lambda \qquad (4.2)$$

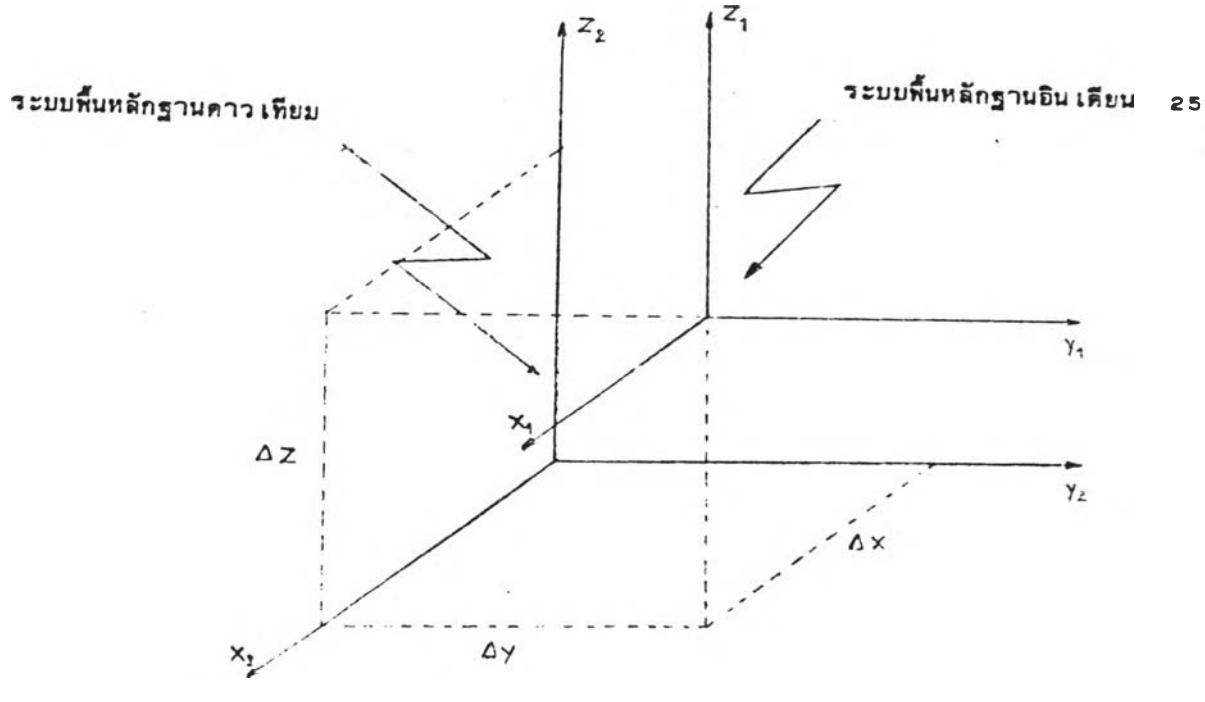
$$Z_Q = [N (1 - e^2) + h] \sin ø \qquad (4.3)$$



รูปที่ 4.2 การคำนวณหาค่าพิกัดที่จุด Q เมื่อรูปทรงรี (Rizos, 1982)

สำหรับประเทศไทย ทางด้านการแผนที่ใช้ค่าพิกัดจากกรมแผนที่ทหาร (กรมแผนที่ทหาร, 2527) ดังนั้นการคำนวณเปลี่ยนพื้นหลักฐานคือการเปลี่ยนจากพื้นหลักฐานดาวเทียม เป็นพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 แบ่งแนวทางการคำนวณหาพารามิเตอร์ของแต่ละวงรอบได้เป็น

ก) คำนวณหาพารามิเตอร์ 3 ค่า ต้องมีสถานีที่ทราบค่าพิกัดทั้งสองพื้นหลักฐานไม่น้อยกว่า 1 สถานี โดยถือว่าแกนทั้งสามของพื้นหลักฐานขนานกัน และมีสเกลแฟกเตอร์ในแต่ละแนวแกนต่างกันน้อยมากจนสามารถให้มีค่าเป็น 1 ดังรูป 4.3



รูปที่ 4.3 ตำแหน่งศูนย์กลางรูปทรงรีพื้นหลักฐานดาวเทียม และพื้นหลักฐานอินเดียน 2518

ดังนั้นการแปลงค่าพิกัดจากพื้นหลักฐาน [illegible] เป็นพื้นหลักฐานอินเดียน 2518 จึงมีพารามิเตอร์ในการแปลง 3 ค่า คือ ΔX, ΔY, ΔZ สามารถคำนวณได้จาก (Molodenski Badekas models)

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$$

เมื่อ X_1, Y_1, Z_1 ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 2518

X_2, Y_2, Z_2 ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานดาวเทียม

ΔX, ΔY, ΔZ ระยะห่างของแกนทั้ง 2 ระบบ ทางแกน X, Y และแกน Z ตามลำดับ

การคำนวณหาพารามิเตอร์ 3 ค่า จากข้อมูลของวงรอบที่ 9 ถึงวงรอบที่ 16 ทั้งแบบทรานสโลเคชั่นและแบบโครงข่าย แสดงในตารางที่ 4.1 จะพบว่าการคำนวณแบบทรานส-โลเคชั่น แบ่งเป็นสองกลุ่มคือ วงรอบที่ 9 ถึงวงรอบที่ 12 มีสถานีแม่เป็นหมุดของกรมแผนที่ทหาร หมายเลข 274 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางแกน X 0.551 เมตร แกน Y 0.653 เมตร และแกน Z 0.922 เมตร และวงรอบที่ 13 ถึงวงรอบที่ 16 มีสถานีแม่เป็นหมุดกรมแผนที่ทหาร หมายเลข 288 มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางแกน X 0.431 เมตร แกน Y 0.369 เมตร และแกน Z 0.445 เมตร นั่นคือ การคำนวณแบบทรานสโลเคชั่นจะมีค่าพารามิเตอร์เป็นกลุ่มตามจำนวนของสถานีแม่ และการคำนวณแบบโครงข่าย เป็นการนำค่าพิกัดของหมุดกรมแผนที่ทหารทุกหมุดในวงรอบนั้น มาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยเฉพาะวงรอบ เมื่อพิจารณาทุกวงรอบจะได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานทางแกน X 1.038 เมตร แกน Y 2.524 เมตร และแกน Z 1.503 เมตร นั่นคือ การคำนวณแบบโครงข่ายจะมีค่าพารามิเตอร์ ตามจำนวนวงรอบที่รับสัญญาณดาวเทียม

ข) คำนวณหาพารามิเตอร์ 7 ค่า ต้องมีสถานีที่ทราบค่าพิกัดทั้งสองพื้นหลักฐานไม่

น้อยกว่า 3 สถานีในแต่ละวงรอบ หลักการคำนวณเช่นเดียวกับการหาพารามิเตอร์ 3 ค่าแต่ถือว่าแกนพิกัดของทั้งสองระบบ ไม่ขนานกันและสเกลแฟกเตอร์ระหว่างระบบทั้งสองไม่เท่ากับ 1 สูตรพื้นฐานของการคำนวณคือ (Bursa-Wolf models)

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1 + \Delta) \begin{bmatrix} 1 & -\Omega_Z & \Omega_Y \\ \Omega_Z & 1 & -\Omega_X \\ -\Omega_Y & \Omega_X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$$

เมื่อ X_1, Y_1, Z_1 ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียน 2518

X_2, Y_2, Z_2 ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานดาวเทียม

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ระยะห่างของแกนทั้งสองระบบทางแกน X, Y, Z ตามลำดับ

Δ เป็นสเกลแฟกเตอร์ระหว่างแกนทั้งสองระบบ โดยสมมติให้มีค่าเท่ากัน

$\Omega_X, \Omega_Y, \Omega_Z$ มุมที่หมุนให้แกนทั้งสองระบบขนานกัน

การคำนวณหาพารามิเตอร์ 7 ค่า จากข้อมูลของวงรอบที่ 9 ถึงวงรอบที่ 16 โดยการคำนวณแบบโครงข่าย ใช้หลักการลีสท์สแควร์ของสมการการวัด ให้ผลดังแสดงในตาราง 4.2 จะพบว่าค่าพารามิเตอร์ของแต่ละวงรอบ มีการเปลี่ยนแปลงมาก เนื่องจากพื้นที่ของแต่ละวงรอบมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดของโลก ทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้มีความไม่แน่นอน จึงไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งาน

ตาราง 4.1 พารามิเตอร์ 3 ค่า ที่คำนวณเปลี่ยนพื้นหลักฐาน

วงรอบ	ทรานสโลเคชั่น (เมตร)			โครงข่าย (เมตร)		
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
9	-226.65	-843.37	-295.08	-226.33	-843.08	-295.31
10	-228.04	-844.12	-297.05	-227.45	-845.86	-297.60
11	-227.31	-842.35	-297.50	-227.38	-842.79	-297.89
12	-226.76	-842.87	-296.20	-226.86	-842.07	-295.78
13	-229.44	-837.54	-294.49	-229.57	-838.10	-294.67
14	-229.44	-838.48	-293.60	-229.24	-838.48	-293.59
15	-229.42	-838.40	-293.42	-229.05	-844.05	-294.09
16	-229.35	-838.17	-293.41	-228.01	-843.75	-294.24

I 10301575

ตาราง 4.2 พารามิเตอร์ 7 ค่า ที่คำนวณแต่ละวงรอบ

วงรอบที่	สเกลแฟกเตอร์ $\Delta(*10^{-5})$	มุมระหว่างระบบทั้ง 2 (ฟิลิบดา)			ระยะระหว่างศูนย์กำเนิดของระบบทั้งสอง (เมตร)		
		ΩX	ΩY	ΩZ	ΔX	ΔY	ΔZ
9	0.318	- 0.672	22.159	18.594	- 766.580	-1170.944	337.580
10	2.460	17.320	50.839	-16.858	434.983	-1275.274	1261.481
11	0.657	25.049	65.259	-32.408	921.829	-1169.607	1763.689
12	- 0.113	6.021	13.760	- 9.950	108.133	- 874.442	148.125
13	- 0.838	-69.059	-58.921	106.569	-3881.405	-1118.607	-1502.070
14	-24.078	-50.663	227.995	186.507	-6395.825	-2692.815	6294.508
15	1.341	12.163	4.226	-29.045	729.493	- 731.895	- 101.367
16	1.211	- 5.082	-14.750	1.102	- 288.772	- 800.348	- 778.647