



บทที่ 2

โครงข่ายวงรอบโครงการวิทยุโลก

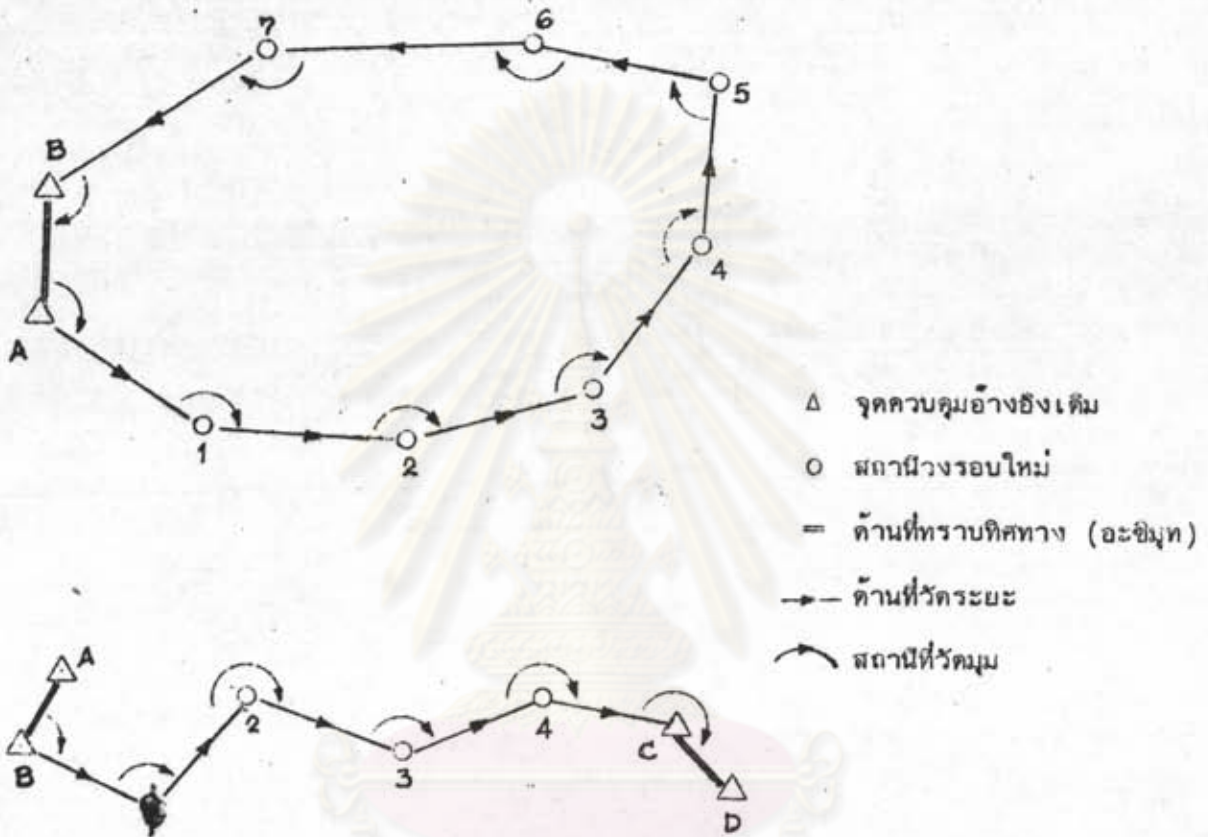
2.1 งานวงรอบ (Traverse)

งานวงรอบ หมายถึง งานรังวัดสำหรับคำนวณหาตำแหน่งทางราบสัมพัทธ์ของจุดต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกโดยการวัดมุมและความยาวของด้านสลับกันไปตลอดแนวเส้นตรงต่าง ๆ ที่เชื่อมต่อระหว่างจุดในลักษณะอนุกรม

งานวงรอบดังในรูป 2.1 ประกอบด้วยการวัดมุมราบและวัดระยะราบระหว่างสถานีประชิดกันของวงรอบปิด จุดควบคุมที่มีอยู่เดิมจะรวมอยู่ในบริเวณโครงข่ายด้วย การวัดมุมใช้กล้องทอโกไลต์ ระยะวัดด้วยเครื่องวัดระยะอิเล็กทรอนิกส์หรือแถบวัดระยะ ทิศทางของแขนวงรอบทุกแขน คำนวณจากจุดควบคุมที่มีอยู่กับมุมราบที่วัดได้ เมื่อทราบทิศทางแล้วคำนวณหาทิศทางของทุกจุดในระบบพิกัดเดียวกันกับค่าทิศทางของจุดควบคุมที่มีปรากฏอยู่เดิม โดยวิธีตรีโกณมิติ ในกรณีที่เดินวงรอบมีจำนวนมุมมากจำเป็นต้องมีการวัดอะซิมูทการศาสตร์ ตามเกณฑ์กำหนดของงานวงรอบเพื่อเป็นการควบคุมทิศทาง

ตำแหน่งทางราบอาจคำนวณ โดยใช้ระบบพิกัดพิกัดออคีดิก (Geodetic Coordinate System) ซึ่งแสดงด้วยค่าละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) หรืออาจคำนวณในระบบพิกัดฉากระนาบราบ (Plane Rectangular System) ข้อดีของระบบพิกัดพิกัดออคีดิกคือตำแหน่งสัมพัทธ์ของจุดที่อยู่ห่างกันมาก ๆ ไม่มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความโค้งของผิวโลก แต่การคำนวณทางคณิตศาสตร์ค่อนข้างจะยุ่งยาก ส่วนในระบบพิกัดฉากระนาบราบจะเกิดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความโค้งของผิวโลกเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงต้องกำหนดขอบเขตของระบบพิกัดประเภทนี้ เพื่อให้ความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ความถูกต้องที่ยอมรับ นอกจากนี้สำหรับงานโครงการขนาดเล็กรวมอาจใช้ระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดาที่สมมุติขึ้นได้ แต่ถ้าเป็นไปได้ควรหลีกเลี่ยงการใช้ระบบพิกัดที่สมมุติขึ้น เพราะระบบเช่นนี้ จะไม่สัมพันธ์กับค่าละติจูดและลองจิจูดจริง หรือไม่

สัมพันธ์กับระบบพิกัดสมบูรณอื่น ๆ



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างเส้นทางวงรอบ

2.1.1 การแบ่งชิ้นของงานวงรอบ

ความละเอียดถูกต้องของงานวงรอบขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือ บุคคลผู้ทำการวัด วิธีการวัดและสภาพพื้นฟ้าอากาศ งานแต่ละโครงการย่อมต้องการความละเอียดถูกต้องต่างกันตามวัตถุประสงค์ของงานนั้น จึงจำเป็นต้องแบ่งชิ้นของงานวงรอบ มีเกณฑ์กำหนด (Specification) ของงาน เพื่อให้ได้ความละเอียดตามจุดประสงค์ ในตารางที่ 2.1 แสดงถึงเกณฑ์กำหนดของงาน

วงรอบที่กรมแผนที่ทหารใช้อำศัยอยู่ สำหรับการแบ่งชั้นของงานวงรอบและเกณฑ์กำหนดดังนี้

งานวงรอบชั้นที่ 1 (First Order Traverse)

สำหรับงานรังวัดควบคุม เพื่อเสริมโครงข่ายสามเหลี่ยมหรือสร้างโครงข่ายควบคุมในพื้นที่ที่ไม่สามารถทำงานสามเหลี่ยมได้ ต้องออกงานและเข้าบรรจบหมุดหลักฐานชั้นที่ 1 ที่ปรับแก้แล้ว

การวัดมุมราบด้วยเครื่องมือวัดมุมที่มีความละเอียด 0.1" (Least Count) ให้ทำการวัดอย่างน้อย 12 ศูนย์ ผลต่างของแต่ละศูนย์กับค่าปานกลางไม่เกิน 3" การกำหนดตำแหน่งในทางตั้งให้กระทำด้วยงานระดับยี่อเมตริกไม่ต่ำกว่าชั้นที่ 3

การวัดระยะให้วัดด้วยเครื่องมือ Electro-optics อย่างน้อย 8 ชุด ความละเอียดของการวัดระยะไม่น้อยกว่า 1 ใน 50,000 ถ้าการวัดระยะใช้ลวดอินวาร (Invar Wire) ให้ใช้วิธีการวัดเช่นเดียวกับการวัดระยะเส้นฐานของงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 1 ความละเอียดของการวัดระยะต้องไม่น้อยกว่า 1 ใน 35,000

งานวงรอบชั้นที่ 2 (Second Order Traverse)

สำหรับงานรังวัดควบคุมเพื่อขยายพื้นที่ของข่ายสามเหลี่ยมชั้นที่หนึ่ง และสามเหลี่ยมชั้นที่สอง และขยายโครงข่ายวงรอบชั้นที่หนึ่ง ต้องออกงานและเข้าบรรจบหมุดหลักฐานชั้นที่หนึ่งหรือชั้นที่ 2 ที่ปรับแก้แล้ว

การวัดมุมราบด้วยเครื่องมือวัดมุมที่มีความละเอียด 0.1" (Least Count) ให้ทำการวัดอย่างน้อย 8 ศูนย์ ผลต่างของแต่ละศูนย์กับค่าปานกลางไม่เกิน 5" ถ้าใช้เครื่องมือวัดมุมที่มีความละเอียด 1" ให้ทำการรังวัดอย่างน้อย 12 ศูนย์ ผลต่างของแต่ละศูนย์กับค่าปานกลางไม่เกิน 6" การกำหนดตำแหน่งในทางตั้งให้กระทำด้วยระดับยี่อเมตริกไม่ต่ำกว่าชั้นที่ 3

การวัดระยะด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ให้รังวัดอย่างน้อย 4 ชุด ความละเอียดของการวัดระยะ ไม่น้อยกว่า 1 ใน 30,000 ถ้าวัดระยะด้วยลวดหรือเทปอินวาร์ วิธีการรังวัดให้ปฏิบัติเช่นเดียวกับการวัดระยะพื้นฐานของงานสามเหลี่ยมชั้นที่ 2 ความละเอียดของการวัดระยะ ไม่น้อยกว่า 1 ใน 15,000

งานวงรอบชั้นที่ 3 (Third Order Traverse)

ใช้สำหรับงานสำรวจแผนที่ภูมิประเทศและในกิจการทหาร จะต้องออกงานและเข้าบรรจบหมุดหลักฐานชั้นที่ 3 หรือชั้นสูงกว่าที่ปรับแก้แล้ว

การวัดมุมราบด้วยเครื่องมือวัดมุมที่มีความละเอียด 1" (Least Count) ให้ทำการรังวัดอย่างน้อย 2 ศูนย์ ผลต่างของแต่ละศูนย์กับค่าปานกลางไม่เกิน 10" การกำหนดตำแหน่งทางตั้งให้กระทำด้วยงานระดับยี่อเมตรชั้นที่ 3

การวัดระยะด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ให้รังวัดอย่างน้อย 2 ชุด ความละเอียดของการวัดระยะ ไม่น้อยกว่า 1 ใน 15,000 ถ้าการวัดระยะใช้เทปเหล็ก (Steel Tape) ชนิดยาว 50 เมตร หรือ 40 เมตร ให้วัดสอบด้วยเทปเหล็กชนิดยาว 100 ฟิต ความละเอียดในการวัดระยะ ไม่น้อยกว่า 1 ใน 7,500

นอกจากนี้ Federal Geodetic Control Committee (F.G.C.C.) ได้จัดทำมาตรฐานงานรังวัดควบคุมชั้น เอกสารนี้คือ "Classification, Standard of Accuracy, and General Specifications of Geodetic Control Surveys" ฉบับปี ค.ศ. 1974 ทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการดำเนินงานสำรวจรังวัดควบคุมภายในสหรัฐอเมริกา ดังในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3 สำหรับประเทศไทยยังมีได้นำมาตรฐานนี้มาใช้

2.1.2 ความคลาดเคลื่อนในงานวงรอบ

ในกระบวนการของการวัดปริมาณใด ๆ ตัวประกอบต่าง ๆ เช่น ชีตความสามารถของผู้วัด สภาพของเครื่องมือ วิธีการวัด และสภาพดินฟ้าอากาศ ทำให้ค่าที่วัดได้ไม่ตรงกับค่าจริง (True

Values) ไม่ว่าจะพยายามระมัดระวังเท่าใดก็ตาม ตัวประกอบเหล่านี้จะทำให้ค่าที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน (Errors) ไม่มากนักน้อย Mikhail (1976) ได้กล่าวถึงชนิดของความคลาดเคลื่อนสรุปได้คือ

1. ความคลาดเคลื่อนมีระบบ (Systematic Errors) เป็นความคลาดเคลื่อนในการวัดที่เป็นไปตามกฎทางคณิตศาสตร์หรือทางฟิสิกส์ ผลของความคลาดเคลื่อนมีระบบต่อการาคำนวณหาค่าของตัวแปรสุ่ม (Random Variables) นั้นจะมีผลโดยตรงต่อ Location Parameters ซึ่งในทางสถิติคือ ความลำเอียง (Biases) เมื่อนำค่าวัดซึ่งมีความคลาดเคลื่อนมีระบบติดอยู่ไปที่ค่าตัวแปรสุ่มจะกล่าวได้ว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยังไม่เหมาะสม

ความคลาดเคลื่อนมีระบบ มีผลในรูปแบบขึ้นอยู่กับค่าและเครื่องหมายของมัน ถ้าค่าและเครื่องหมายที่ตลอดกระบวนการของการวัดเรียกว่า ความคลาดเคลื่อนคงที่ (Constant Error) ความคลาดเคลื่อนมีระบบสามารถขจัดออกไปหรือลดลงให้เหลือน้อยที่สุด โดยอาศัยการวัดสอบเครื่องมือ กำหนดระเบียบวิธีการวัดและกรรมวิธีการเตรียมข้อมูลก่อนนำไปปรับแก้ (วิชา, 2524 หน้า 3-6)

2. ความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random Errors) หลังจากขจัดความคลาดเคลื่อนมีระบบออกไปแล้ว ความคลาดเคลื่อนที่เหลืออยู่เรียกว่า ความคลาดเคลื่อนสุ่ม (Random or Accidental Errors) ซึ่งมีขนาดเล็ก ขาดความเป็นระเบียบและไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนใด ๆ ที่จะควบคุมไม่ให้เกิดขึ้นได้ ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้จะเป็นไปตามทฤษฎีของความน่าจะเป็น (Theory of Probability) โอกาสที่จะเกิดขึ้นในทางบวกมีเท่า ๆ กับ ที่จะเกิดขึ้นในทางลบ

3. ความผิด (Blunders or Mistakes) ในทางสถิติไม่ถือเป็นตัวอย่าง (Samples) ของการแจกแจง จะต้องหาทางตรวจสอบและกำจัดออกไปจากค่าวัดด้วยกรรมวิธีที่เหมาะสม

ในงานวงจรอบ สาเหตุของความคลาดเคลื่อนมีระบบพอสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์กำหนดของงานวงรอบ

ชนิดของงาน	งานวัดระยะด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์			งานวัดระยะด้วยเทปหรือลวด		
	งานชั้นที่ 1	งานชั้นที่ 2	งานชั้นที่ 3	งานชั้นที่ 1	งานชั้นที่ 2	งานชั้นที่ 3
1. จำนวนเส้นวงรอบในระหว่างแนวที่มีการวัดอะซิมุต	15	25	50	15	25	50
2. จำนวนแก๊งของมุมวงรอบเมื่อตรวจสอบกับอะซิมุตไม่เกินมุมละ	1"	3"	5"	1"	3"	5"
3. ความละเอียดของการวัดระยะไม่น้อยกว่า	1 ใน 50,000	1 ใน 30,000	1 ใน 15,000	1 ใน 35,000	1 ใน 15,000	1 ใน 7,500
4. Probable Error ของผลการรังวัดดาราศาสตร์ไม่เกิน	0.5"	2.0"	5.0"	0.5"	2.0"	5.0"
5. ความคลาดบรรจบของพิกัดตำแหน่งหลังจากปรับแก้มุมอะซิมุตแล้ว	1 ใน 40,000	1 ใน 20,000	1 ใน 10,000	1 ใน 25,000	1 ใน 10,000	1 ใน 5,000

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานการจำแนกประเภทของงานรังวัดควบคุมป๊อเคติก
และจุดประสงค์หลักของงานแต่ละประเภท

งานรังวัดควบคุมทางราบ

การจำแนกประเภท	งานชั้นหนึ่ง	งานชั้นสอง		งานชั้นสาม	
		ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 1	ประเภท 2
มาตรฐานขั้นต่ำของความถูกต้องสัมพัทธ์ทางลิคิตตำแหน่งระหว่างจุดสองจุดใกล้เคียงที่เชื่อมโยงกันโดยตรง	1 ใน 100,000	1 ใน 50,000	1 ใน 20,000	1 ใน 10,000	1 ใน 5,000
จุดประสงค์ของงาน	<ul style="list-style-type: none"> - โครงข่ายควบคุมเอกแห่งชาติ - การรังวัดพื้นที่ในเขตมหานคร - การศึกษารังวัดทางวิทยาศาสตร์ 	<ul style="list-style-type: none"> - ข่ายควบคุมในพื้นที่ซึ่งเพิ่มความมั่นคงแก่โครงข่ายแห่งชาติ - ข่ายควบคุมเสริมในเขตมหานคร 	<ul style="list-style-type: none"> - ข่ายควบคุมในพื้นที่ซึ่งต่อเติมเข้ากับโครงข่ายแห่งชาติ 	<ul style="list-style-type: none"> - งานรังวัดควบคุมทั่วไปที่โยงยึดอยู่กับโครงข่ายควบคุมแห่งชาติ - งานรังวัดควบคุมเฉพาะใน 	

ตารางที่ 2.3 การจำแนกประเภทมาตรฐานความถูกต้องและเกณฑ์กำหนดทั่วไปของงานวงรอบ

การจำแนกประเภท	งานชั้นหนึ่ง	งานชั้นสอง		งานชั้นสาม	
		ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 1	ประเภท 2
ระยะห่างระหว่างสถานีหลัก	10-15 กม.	ไม่น้อยกว่า 4 กม. ยกเว้นในเขตมหานคร ไม่น้อยกว่า 0.3 กม.	ไม่น้อยกว่า 2 กม. ยกเว้นในเขตมหานคร ไม่น้อยกว่า 0.2 กม.	ไม่ต่ำกว่า 0.1 กม.	ตามต้องการ
การวัดมุม (หรือทิศทาง)					
- กล้องวัดมุม	0"2	0"2	0"2	1"0	1"0
- จำนวนชุดของการวัด	16	8 หรือ 12	6 หรือ 8	4	2
- เกณฑ์ปฏิเสธค่าการวัด	4"	4" หรือ 5"	4" หรือ 5"	5"	5"
การวัดระยะ					
- ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	1/600,000	1/300,000	1/120,000	1/60,000	1/30,000
การวัดมุมสูงไป-กลับ					
- จำนวนชุดของการวัดและพิสัยสูงสุดของค่าที่วัดได้	3 D/R-10"	3 D/R-10"	2 D/R-10"	2 D/R-10"	2 D/R-10"
- จำนวนสถานีระหว่างตำแหน่งที่วัดระดับความสูง	4-6	6-8	8-10	10-15	15-20

ตาราง 2.3 (ต่อ)

การจำแนกประเภท	งานชิ้นหนึ่ง	งานชิ้นสอง		งานชิ้นสาม	
		ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 1	ประเภท 2
อะซิทมัทดาราศาสตร์					
- จำนวนเส้นวงรอบในระหว่างแนวที่มีการวัดอะซิทมัท	5-6	10-12	15-20	20-25	30-40
- จำนวนชุดของการวัดในหนึ่งคืน	16	16	12	8	4
- จำนวนคืนที่ทำการวัด	2	2	1	1	1
- ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	0:45	0:45	1:5	3:0	8:0
- ความคลาดบรรจบของอะซิทมัท ณ แนวตรวจสอบไม่เกิน (ใช้ค่าตัวเป็นเกณฑ์)	1:0 ต่อสถานี หรือ $2'' \sqrt{N}^*$	1:5 ต่อสถานี หรือ $3'' \sqrt{N}^*$	2:0 ต่อสถานี หรือ $6'' \sqrt{N}$	3:0 ต่อสถานี หรือ $10'' \sqrt{N}$	8:0 ต่อสถานี หรือ $30'' \sqrt{N}$
ความคลาดบรรจบของมิติวัด ตำแหน่งหลังจากปรับแก้อะซิทมัทแล้ว (ใช้ค่าหัวเป็นเกณฑ์)	0.04 ม. \sqrt{K}^{**} หรือ 1/100,000	0.08 ม. \sqrt{K} หรือ 1/50,000	0.2 ม. \sqrt{K} หรือ 1/20,000	0.4 ม. \sqrt{K} หรือ 1/10,000	0.8 ม. \sqrt{K} หรือ 1/5,000

* N เป็นจำนวนสถานีต่อเนื่องที่ใช้ในการถ่ายหอดคะอะซิทมัท

** K คือระยะทางเป็นกิโลเมตร

011066

ก. ความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือ (Instrumental Errors) ในงานวางรอบ
มีเครื่องมือที่ใช้อยู่ 2 ชนิด คือ กล้องวัดมุมและเครื่องมือวัดระยะ (โซ่, เทป หรือเครื่องวัดระยะ
อิเล็กทรอนิกส์) ลักษณะของความคลาดเคลื่อนจะเกิดจาก

- ความไม่สมบูรณ์ของเครื่องมือ เนื่องจากการผลิตเช่น ซึคส่วนแบ่งบนจานองศาของ
กล้องวัดมุมไม่เท่ากันโดยตลอด ศูนย์กลางของจานองศาเบี่ยงไปจากศูนย์จริง หรือลักษณะของเครื่องมือ
วัดระยะที่สั้นหรือยาวกว่ามาตรฐาน เป็นต้น

- ไม่ได้วัดสอบ (Calibrate) เครื่องมือให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในการใช้งานเช่น
กล้องวัดมุมมีคอลลิเมชันเกินเกณฑ์ที่ยอมให้

- ความไม่ถูกต้องและความไม่มั่นคงของอุปกรณ์ประกอบเครื่องมือ เช่น ขากล้อง
(Tripod), ที่หมายเล็ง (Target) เป็นต้น

ข. ความคลาดเคลื่อนจากผู้วัด (Personal Errors) ผู้วัดมีส่วนสำคัญที่ทำให้ค่าวัด
มีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานวางรอบจึงต้องมีความเข้าใจในงาน ปฏิบัติให้เป็นไปตามวิธีการ
ที่กำหนดด้วยความระมัดระวังและรอบคอบ ความคลาดเคลื่อนจากผู้วัดได้แก่

- การตั้งเครื่องมือและที่หมายเล็งไม่ตรงกับตำแหน่งของหัวมุม

- การตั้งเครื่องมือไม่ได้ระดับ

- ขาดความปราณีตในการปรับและอ่านค่าบนจานองศา

- ขาดความปราณีตในการจับที่หมายเล็ง

ค. ความคลาดเคลื่อนจากธรรมชาติ (Natural Errors) สภาพภูมิประเทศ สภาพฟ้า-
อากาศ ก็มีส่วนทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในขณะทำการวัด ซึ่งต้องมีการจดบันทึกสภาพอากาศที่
จำเป็น และผู้ปฏิบัติงานต้องศึกษาให้เข้าใจว่า เครื่องมือที่ใช้มีจุดอ่อนอย่างไร เวลาใดที่เหมาะสม
ในการวัด

นอกจากนี้ Brinker ก็กล่าวสรุปไว้ในบทความเรื่อง "Basic Information that Land Surveyors Need to Know About Control Surveys" ใน A.C.S.M. 1978 ถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นในผลของการคำนวณวงรอบได้แก่

- ใช้จุดรั่วควบคุมที่มีความละเอียดต่ำเป็นหมุดออกงาน
- เมื่อวางจุดควบคุมใหม่ใช้จุดควบคุมอ้างอิงเดิมเพียงจุดเดียว
- ไม่ทอนค่ารั้วด้วย Sea Level Factor, Scale Factor และ Arc to Chord Correction

2.1.3 วิธีคำนวณงานวงรอบ

วิธีคำนวณเส้นวงรอบโดยทั่วไปมี 5 วิธี คือ (Brinker and Wolf, 1977, PP. 225-229)

1. วิธีที่กำหนดขึ้นเอง (Arbitrary Method) ไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอน ความคลาด-
บรรจบเชิงเส้นจะถูกกระจายไปตามการวิเคราะห์สภาพท้องถิ่นของผู้ปฏิบัติงาน
2. วิธีกฎทรานสิท (Transit Rule Method) เหมาะสำหรับงานวงรอบที่การวัด
มุมมีความละเอียดกว่าการวัดระยะเช่น การวงรอบสแตเดีย ในทางปฏิบัติไม่ค่อยนิยมใช้วิธีนี้ ค่า
ตรวจแก้ (Corrections) จะหาได้จาก

$$\frac{\text{ค่าตรวจแก้ทางละติจูดของ AB}}{\text{ค่าคลาดบรรจบทางละติจูด}} = \frac{\text{ละติจูดของ AB}}{\text{ผลรวม เลขคณิตของละติจูด}}$$

$$\frac{\text{ค่าตรวจแก้ทางดีพาร์ทเจอร์ของ AB}}{\text{ค่าคลาดบรรจบทางดีพาร์ทเจอร์}} = \frac{\text{ดีพาร์ทเจอร์ของ AB}}{\text{ผลรวม เลขคณิตของดีพาร์ทเจอร์}}$$

3. วิธีกฎเข็มทิศ (Compass Rule or Bowditch Rule) เหมาะสำหรับงาน
วงรอบที่การวัดมุมและการวัดระยะมีความละเอียดเท่ากัน ในทางปฏิบัติเป็นวิธีที่ใช้มาก ค่าตรวจแก้
หาได้จาก

$$\frac{\text{ค่าตรวจแก้ทางละติจูดของ AB}}{\text{ค่าคลาดบรรจบทางละติจูด}} = \frac{\text{ความยาวของ AB}}{\text{ผลรวมความยาวด้านในเส้นวงรอบ}}$$

$$\frac{\text{ค่าตรวจแก้ทางคิพาร์ทเจอร์ของ AB}}{\text{ค่าคลาดบรรจบทางคิพาร์ทเจอร์}} = \frac{\text{ความยาวของ AB}}{\text{ผลรวมความยาวด้านในเส้นวงรอบ}}$$

4. วิธีแครนคอลล (Crandall Method) ใช้ปรับแก้เส้นวงรอบที่การวัดระยะมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าการวัดมุม เช่น วงรอบสเตเดียม วิธีการคำนวณตามลำดับดังนี้

- หาความคลาดบรรจบทางมุม (Angular Error of Closure) และกระจายค่าตรวจแก้ทางมุมกับมุมที่วัดได้ทุกมุมเป็นจำนวนเท่า ๆ กัน
- ใช้มุมที่ตรวจแก้แล้วเป็นค่าคงตัวในการปรับแก้ระยะที่วัดได้โดยวิธีลีสต์สแควร์
- คำนวณหาค่าละติจูด, คิพาร์ทเจอร์และคิพัดจุดต่าง ๆ ในเส้นวงรอบ

5. วิธีลีสต์สแควร์ (Least Squares Method) เป็นการปรับแก้ทั้งมุมและระยะพร้อมกันโดยทำให้ผลรวมกำลังสองของเศษคงเหลือมีค่าน้อยที่สุด

2.1.4 การปรับแก้โครงข่ายงานวงรอบ (Adjustment of a Network of Traverses)

เมื่อพื้นที่สำรวจเป็นบริเวณกว้าง ต้องการวางจุดควบคุมให้มีความหนาแน่นพอกรอบของงาน (Frame work) จึงต้องประกอบเป็นโครงข่าย (Network) ซึ่งวงรอบหลาย ๆ เส้นจะบรรจบกัน ณ จุดร่วม (Junction Point หรือ Nodal Point) ต่าง ๆ วิธีปรับแก้โครงข่ายเพื่อให้จุดร่วมมีค่าความแปรปรวนน้อยที่สุด (Minimum Variance) และได้ค่าที่เป็นเอกภาพ (Unique) ก็คือ วิธีลีสต์สแควร์ (Olliver and Clendinning, 1978, P.90)

การปรับแก้โครงข่ายงานวงรอบอาจทำได้ 2 วิธีคือ

วิธีที่ 1

ปรับแก้พร้อมกันทั้งโครงข่าย มุมและระยะทุกค่าที่วัดได้ถือเป็นค่าสังเกต (Observations) ใช้ปรับแก้โครงข่ายที่ต้องการความละเอียดสูงเช่น โครงข่ายงานวงรอบชั้นที่ 1 หรือโครงข่าย...

งานวิจัยควบคุมแห่งชาติ (สหรัฐอเมริกา) เป็นต้น

วิธีที่ 2

ในกรณีที่ต้องการวางจุดควบคุมให้หนาแน่นและคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง และระยะระหว่างจุดในเส้นวงรอบเป็นระยะสั้น ในขั้นต้นต้องคำนวณหาความต่างของค่าฟังก์ชันระหว่างจุดร่วมแต่ละคู่ที่อยู่ต่อเนื่องกัน แล้วจึงใช้ค่าความต่างเหล่านั้นเป็นค่าสังเกตในการปรับแก้พร้อมกันทั้งโครงข่ายโดยวิธีลิสต์สแควร์ ลำดับต่อไปใช้ค่าฟังก์ชันของจุดร่วมที่ปรับแก้แล้วเป็นค่าบังคับในการคำนวณปรับแก้เส้นวงรอบที่อยู่ระหว่างจุดร่วม วิธีนี้เหมาะในทางปฏิบัติสำหรับงานชั้นรองลงมา เพราะสามารถลดจำนวนค่าสังเกตลงได้มาก ทำให้สมการปกติ (Normal Equations) มีขนาดเล็กลง

2.2 โครงข่ายวงรอบโครงการพิชิตโลกฝั่งขวา

การพัฒนาอู่มน้ำในระยะเวลาที่ 2 และระยะเวลาที่ 3 คือ โครงการชลประทานพิชิตโลก และโครงการชลประทานอุตรดิตถ์ เป็นโครงการที่ต่อเนื่องกันคลุมพื้นที่สองฝั่งแม่น้ำเกือบ 3 ล้านไร่ และระยะจากจังหวัดอุตรดิตถ์ลงมาถึงจังหวัดนครสวรรค์ประมาณ 300 กิโลเมตร เพื่อให้แผนที่โครงการเป็นระบบเดียวกันและมีความถูกต้องในเกณฑ์ที่น่าเชื่อถือ การวางโครงข่ายจึงแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1

งานสำรวจโครงข่ายควบคุมหลักเป็นงานที่ต้องการความละเอียดสูง การสำรวจค่าเงินการโดยกองสนามสำรวจทางเทคนิค กรมแผนที่ทหาร เมื่อปี พ.ศ. 2518 แยกงานเป็น 2 ส่วน คือ

1. งานวงรอบขั้นที่ 1 ออกงานจากหมุดสามเหลี่ยมขั้นที่หนึ่งที่เขาแม่แล จังหวัดอุตรดิตถ์ ท้าววงรอบผ่านสถานีวงรอบที่สร้างขึ้นใหม่ 8 สถานี แล้วเข้าบรรจบหมุดสามเหลี่ยมขั้นที่หนึ่ง

ที่เขาโอง จังหวัดนครสวรรค์ ระยะทางสายวงรอบ 290.566 กิโลเมตร การวัดมุมใช้กล้อง
 ซีโอโคไลต์ Wild T3 หมายเลข 91541 การวัดระยะใช้เครื่องวัดระยะ Geodimeter Model 8
 หมายเลข 80185 การวัดมุมและระยะเป็นไปตามข้อกำหนด คำนวณปรับแก้โดยวิธีลีสทส์แควร์
 ค่าพิกัดทางราบของสถานีวงรอบเป็นพิกัดภูมิศาสตร์ พื้นหลักฐานอ้างอิงใช้ Everest Spheroid
 แนวของโครงข่ายวงรอบแสดงในแผนที่ประกอบ รูปที่ 2.2 ค่าพิกัดและแนวทิศทางของเส้นวงรอบ
 แสดงในตารางที่ 2.4

2. งานวงรอบชั้นที่ 2 เนื่องจากสถานีวงรอบชั้นที่ 1 ส่วนใหญ่อยู่บนยอดเขาและ
 ห่างกันมาก ย่อมไม่สะดวกในการวางโครงข่ายคลุมพื้นที่โครงการ จึงสร้างหมุดหลักฐานถาวรไว้
 เป็นคู่ตามสถานีรถไฟ เริ่มจากสถานีบ้านบึง จังหวัดพิษณุโลก ลงไปทางใต้จนถึงสถานีชุมแสง
 จังหวัดนครสวรรค์ แล้วเดินวงรอบชั้นที่ 2 โดยออกงานและเข้าบรรจบหมุดงานวงรอบชั้นที่ 1
 แบ่งออกเป็นวงรอบ 5 เส้น รวมระยะทาง 208.560 กิโลเมตร มีหมุดหลักฐานถาวร 55 หมุด
 แนวของเส้นวงรอบและตำแหน่งของหมุดหลักฐานบางส่วนแสดงในแผนที่ประกอบ รูปที่ 2.3 การวัด
 มุมใช้กล้องซีโอโคไลต์ Wild T2 การวัดระยะใช้เครื่องวัดระยะ Geodimeter Model 8
 หมายเลข 80185 และเครื่องวัดระยะ Distomat DI-10 หมายเลข 4026 คำนวณในระบบพิกัด
 ภูมิศาสตร์ แล้วจึงแปลงพิกัดภูมิศาสตร์ของหมุดหลักฐานเป็นพิกัดฉากทรงกลม ดังในตารางที่ 2.5

ขั้นตอนที่ 2

งานโครงข่ายวงรอบคลุมพื้นที่โครงการ ดำเนินการสำรวจโดยกองสำรวจภูมิประเทศ
 กรมชลประทาน เริ่มงานในปี 2519 จนถึงปี 2523 รวมพื้นที่สำรวจ 4,650 ตารางกิโลเมตร เป็น
 พื้นที่ฝั่งขวาของโครงการประมาณ 2,400 ตารางกิโลเมตร (รวมทั้งพื้นที่โครงการสุโขทัย) โดยยึด
 ทางรถไฟสายเหนือเป็นเขตแบ่ง การวางโครงข่ายวงรอบได้ออกงานจากวงรอบชั้นที่ 2 ดังได้กล่าว
 ไว้ขั้นตอนที่ 1 และเข้าบรรจบหมุดหลักฐานชั้นที่ 2 เมื่อสภาพภูมิประเทศอำนวยให้ ส่วนวงรอบที่อยู่
 ห่างออกไปก็ออกและเข้าบรรจบกับเส้นวงรอบที่ทำก่อนคำนวณปรับแก้โดยวิธีลีสทส์แควร์ในระบบพิกัดฉาก

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าทิศทางดาวเรียงรอบชั้นที่ 1

ชื่อสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	อะซิมุทจากใต้	ระยะ (เมตร)
เขาแม่แล (สามเหลี่ยม)	17-37-33.0650	100-16-24.8720	61-08-01.7500	
เขากา	17-26-34.6458	99-55-42.5181	(241-01-47.4561)	41856.3254
เขาสมอคล้าย	17-09-17.6838	100-10-20.8507	320-49-50.0661	41094.0481
เขาสมอแดง	16-50-40.3249	100-24-18.1265	(144-14-36.0975)	42342.1860
ซากเหล็ก 1	16-29-14.1206	100-26-49.1101	353-32-18.2675	39787.4284
ซากเหล็ก 2	16-28-55.6223	100-25-34.0177	(173-33-01.5701)	2298.4798
เขารวก	16-13-33.9923	100-32-30.6838	75-40-50.4801	30904.9015
บางมูลนาก	16-01-40.7873	100-23-44.1070	(255-40-29.1702)	26930.9546
เขาทนมะเข	15-42-40.9435	100-20-33.5835	336-24-13.1802	35489.1917
เขาโยง (สามเหลี่ยม)	15-31-29.9118	100-08-28.7934	(189-10-55.2970)	29855.3292
			46-20-01.2770	
			(226-16-46.1451)	

หมายเหตุ ในช่องอะซิมุท ค่าในวงเล็บค่าอะซิมุทกลับ (Back Azimuth)

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าพิกัดจากในระบบ Cassini ของหมุดหลักฐานชั้นที่ 2

CONVERSION OF GEOGRAPHIC COORDINATE TO RECTANGULAR COORDINATE

PHITSANULOK-PROJECT ORIGIN LAT. 17 DEGREE
LONG. 101 DEGREE

STATION A	B	DISTANCE (METER)	GEOGRAPHIC COORDINATE				RECTANGULAR COORDINATE		
			LATITUDE(DMS)	LONGITUDE(DMS)	AZIMUTH A TO B	Y IN METER N(+) S(-)	X IN METER E(+) W(-)	AZIMUTH A TO B	
S-20	S-19	316.394	17 9 58.726	100 6 51.222	141 37 10.387	48619.279	-94225.230	141 52 51.612	
BMP.7	AZ.1	229.408	17 2 26.741	100 11 18.716	341 46 23.570	4609.926	-86376.970	342 0 39.710	
BMP.R10	AZ.1	609.517	17 2 48.374	100 11 2.278	137 10 50.024	5356.981	-86822.244	137 25 11.277	
BMP.169	AZ22314	181.173	17 1 47.494	100 12 15.632	341 33 32.183	3476.499	-84700.948	341 47 31.120	
BMP.169	AZ.2	161.661	17 1 42.852	100 12 18.202	151 57 40.160	3355.489	-84625.532	152 11 39.097	
BMP.908	AZ.3	86.805	16 57 8.825	100 14 8.017	145 30 53.571	-5103.344	-81411.077	145 44 16.052	
BMP.909	AZ.4	222.965	16 54 28.316	100 15 13.214	156 34 8.979	-10044.936	-79501.100	156 47 10.427	
BMP.1111	AZ.5	273.764	16 51 16.061	100 16 11.998	181 1 43.483	-15961.483	-77765.574	181 14 25.486	
AZ22288	AZ22286	317.751	16 49 28.201	100 16 9.449	181 23 12.532	-15276.869	-77871.269	181 35 53.959	
BMP.77	AZ.6	458.075	16 48 45.855	100 16 7.896	3 12 51.515	-10576.432	-77422.046	3 25 32.875	
BMP.910	AZ.7	219.486	16 44 49.296	100 16 2.691	179 6 39.454	-17849.756	-78102.980	179 19 19.424	
BMP.75-N	AZ.8	631.947	16 41 20.725	100 16 34.017	343 1 56.633	-34204.640	-77198.577	343 14 25.351	
BMP.75-N	BMP.75-0	120.572	16 41 16.968	100 16 35.187	163 17 36.923	-34300.255	-77198.577	163 30 5.341	

ตารางที่ 2.5 (ต่อ)

STATION A	STATION B	DISTANCE (METER)	GEOGRAPHIC COORDINATE			RECTANGULAR COORDINATE		
			LATITUDE(DMS)	LONGITUDE(DMS)	AZIMUTH A TO B	Y IN METER N(+) S(-)	X IN METER E(+) W(-)	AZIMUTH A TO B
BMP. 911	AZ. 9	424,534	16 36 28.542 16 36 15.887	100 17 15,649 100 17 21,387	156 22 59,758	-43250.725 -43640.339	-75997,284 -75928,612	156 35 12.738
BMP. 74	AZ. 10A	58.199	16 34 23,320 16 34 25,190	100 18 11,713 100 18 11,403	350 53 41,847	-47105.832 -47048.317	-74345.139 -74358,129	351 5 27.341
AZ 10A	AZ 10	279,711	16 34 25,190 16 34 16,699	100 18 11,403 100 18 14,797	158 55 2,660	-47048.317 -47309.675	-74358,129 -74258,430	159 6 58.264
BMP. 912	AZ. 11	330,958	16 30 37,096 16 30 26,420	100 20 0,527 100 20 1,977	172 31 57,758	-54070.732 -54399.045	-71146,783 -71104,874	172 43 19.687
ST. 55	ST. 56	792,138	16 27 22,500 16 27 31,632	100 20 44,239 100 21 9,213	69 14 53,620	-60056.667 -59778,343	-69870,067 -69128,461	66 26 0,594
SAKLEK. 1	SAKLEK. 2	2298,480	16 29 14,121 16 28 55,622	100 26 49,116 100 25 34,018	225 40 50,480	-56657.910 -57220,328	-59038,734 -61267,341	225 50 15,513
BMP. 913	AZ. 12	618,417	16 26 46,043 16 26 34,863	100 21 0,418 100 21 17,751	123 45 27,115	-61178,862 -61524,167	-69393,812 -68880,798	123 56 29,509
BMP. 971	AZ. 13	210,537	16 23 49,280 16 23 42,648	100 23 34,638 100 23 36,409	165 32 23,119	-66626,514 -66830,529	-64835,815 -64783,882	165 42 40,050
BMP. 970	AZ. 14	234,938	16 20 15,087 16 20 24,196	100 24 23,514 100 24 21,732	349 18 12,840	-73214,748 -72934,599	-63404,572 -63457,041	349 28 13,843
BMP. 969	AZ. 15	263,725	16 16 17,133 16 16 9,191	100 25 43,977 100 25 47,337	157 46 28,614	-80535,827 -80780,227	-61037,528 -60938,460	157 56 4,705
BMP. 968	AZ. 16	97,813	16 13 15,641 16 13 13,025	100 25 41,014 100 25 39,139	214 41 32,056	-86114,270 -86194,525	-61141,071 -61196,972	214 51 7,237
AZ. 16	AZ. 15	711,077	16 13 13,025 16 12 50,002	100 25 39,139 100 25 36,813	185 34 17,561	-86194,525 -86902,009	-61196,972 -61268,019	185 43 53,241
BMP. 967	AZ. 17	309,743	16 8 15,142 16 8 5,099	100 25 5,386 100 25 4,528	184 43 19,600	-95347,968 -95656,594	-62225,168 -62251,528	184 53 1,824
BMP. 966	AZ. 18	270,041	16 4 48,537 16 4 56,449	100 24 31,777 100 24 35,728	25 45 50,972	-101695,675 -101452,815	-63241,776 -63123,675	25 55 40,470
BMP. 965	AZ. 19	329,722	16 1 34,612 16 1 44,556	100 23 3,227 100 23 7,389	22 2 6,106	-107648,786 -107343,498	-65850,814 -65766,199	22 12 18,131
BMP. 964	AZ. 20	138,652	15 58 32,305 15 58 28,032	100 21 4,424 100 21 2,931	198 39 46,420	-113241,708 -113372,911	-69439,56 -69484,362	198 50 29,263
BMP. 963	AZ. 21	278,742	15 53 39,649 15 53 31,235	100 18 50,337 100 18 46,841	201 53 57,265	-122224,477 -122482,762	-73455,692 -73560,523	202 5 13,647

ระนาบราบธรรมดา โครงข่ายงานวงรอบพร้อมทั้งจุดร่วมของเส้นวงรอบ แสดงในรูปที่ 2.3 รวมระยะของเส้นวงรอบที่นำมาวิเคราะห์ 825.3 กิโลเมตร

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดมุม ใช้กล้องทริโอดไลท์ Wild T2 หมายเลข 148377 และหมายเลข 148398 การวัดระยะใช้เครื่องวัดระยะ Geodimeter Model 6A หมายเลข 61238 การวัดมุมวัด 4 ศูนย์ วิธีการวัดระยะและอื่น ๆ เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดของงานชั้นที่ 3

ในเขตพื้นที่โครงการได้สร้างหมุดหลักฐานถาวรเป็นหมุดคอนกรีต ผิวหน้าเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส กึ่งกลางมีหัวน๊อตกลม ผ่ากากบาท-ตรงกลาง ขนาดของหมุด $0.20 \times 0.20 \times 0.60$ เมตร สร้างไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสม สะดวกในการค้นหา มั่นคงแข็งแรง ยากต่อการทำลาย ความถี่ของหมุดให้มีหมุดคลุมพื้นที่ทุก 4-5 กิโลเมตร หมุดหลักฐานเหล่านี้สร้างไว้เพื่อประโยชน์ในการใช้เป็นหลักฐานอ้างอิงในงานสำรวจขั้นต่อไป จำนวนหมุดทั้งหมด 703 หมุด ส่วนที่อยู่ในข่ายของการวิเคราะห์ 274 หมุด

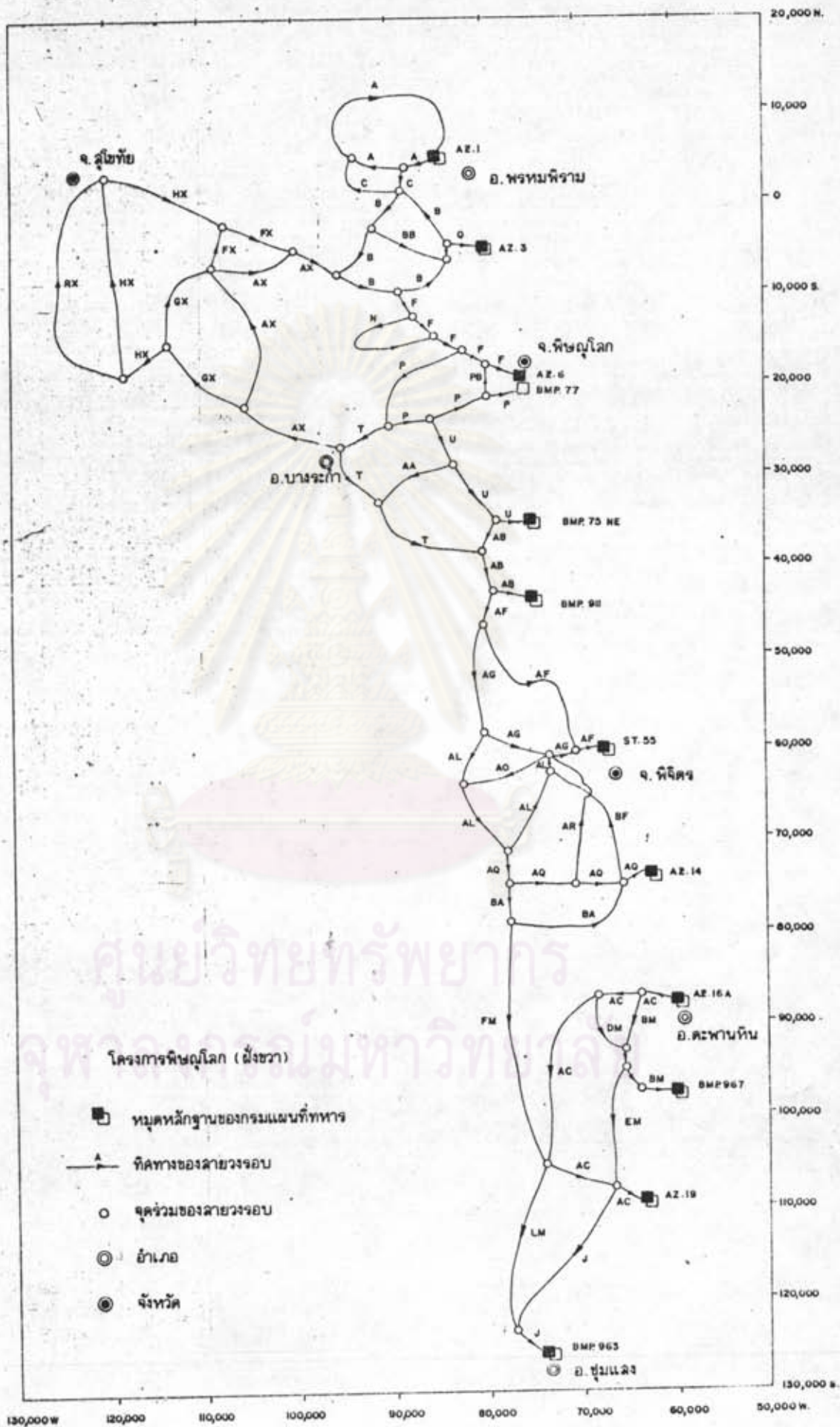
2.3 ระบบพิกัด (Coordinates System)

พิกัดตำแหน่งของหมุดหลักฐานหรือจุดควบคุม เป็นข้อมูลที่จำเป็นต่อการแผนที่และการอ้างอิงในโครงการวิศวกรรมต่าง ๆ ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ซึ่งแสดงด้วยละติจูดและลองจิจูด ไม่สะดวกในการใช้งานสำหรับแผนที่มาตราส่วนใหญ่ ระบบพิกัดที่เหมาะสมก็คือ ระบบพิกัดฉากระนาบ (Plane Rectangular Coordinates System) ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้ (จากบทความ "ตารางพิกัดแผนที่" โดย สมหวัง วิทยลักษณ์, 2523)

1. ศูนย์กำเนิด (Origin) แสดงตำแหน่งศูนย์พิกัดของระบบ ต้องทราบค่าละติจูดและลองจิจูด

2. ระบบการฉาย (Projection) เป็นการถ่ายทอดรายละเอียดจาก Datum Surface ไปสู่ Projection Surface ต้องมี Mapping Equations ที่แสดงความสัมพันธ์จำเพาะของการฉาย และต้องคำนึงถึงความเหมาะสมในการรักษารูปร่างตามตำแหน่งภูมิศาสตร์ของพื้นที่

รูปที่ 2.3 แผนผังโครงข่ายวงรอบควบคุมพื้นที่โครงการ



3. คุณสมบัติของระบบการฉาย ระบบการฉายใด ๆ จะมีคุณสมบัติรักษารูปร่างหรือมุม (Conformal), รักษาระยะ (Equidistant) หรือรักษาพื้นที่ (Equivalency) ได้ดีที่สุดในเพียงอย่างเดียว จึงต้องเลือกระบบการฉายให้ถูกจุดประสงค์

4. พื้นหลักฐานอ้างอิง (Reference Spheroid) พื้นผิวอ้างอิงที่ใช้ในการแผนที่ถือว่าเป็นทรวงทรงของวงรีหมุนรอบแกนตั้ง ซึ่งแกนตั้งของทรงรีทับกับแกนหมุนของโลก ประเทศไทยใช้ Everest Spheroid (1930) เป็นพื้นผิวอ้างอิง มีค่าพารามิเตอร์

- ความยาวกึ่งแกนยาว (a) = 6,377,276.3452 เมตร

- ส่วนยุบที่ขั้ว (f) = 1/300.8017

ระบบพิกัดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยมีดังนี้

2.3.1 ระบบพิกัด Cassini

จาก Clark (1963), Richardus and Adler (1974) และ Mueller (1979) ได้กล่าวถึงระบบพิกัดฉากทรงกลม (Orthogonal Spherical Coordinates System) พอสรุปสาระสำคัญได้ว่า

พิกัดฉากทรงกลม¹ เป็นการแสดงตำแหน่งบนผิวโลกโดยสมมติว่า โลกมีลักษณะเป็นทรงกลม² เมื่อกำหนดศูนย์กลางกำเนิดของระบบพิกัดขึ้น ตำแหน่งของจุดใด ๆ บนผิว

¹ เมื่อใช้พารามิเตอร์ของสเฟียรอยด์เรียกว่า Orthogonal Spheroidal Coordinates

² สำหรับขอบเขตขนาด 300 กม. × 300 กม. พื้นผิวสเฟียรอยด์สามารถแทนที่ด้วยทรงกลมที่มีความโค้งเท่ากับ Gaussian Mean Radius คือ $R_m = \sqrt{MN}$ (Mueller, 1979, P.117)

วงกลมใหญ่ที่ตั้งฉากกับแนวเมริเดียนกลางที่ O และ F จะตัดกันที่จุด Q บนเส้น
 อีควีเตอร์ ความยาวโค้ง PQ เท่ากับ 90°

CN' เป็นโค้งวงกลมเล็กที่ขนานกับเมริเดียนกลาง

γ คือ Convergence of Meridian ณ จุด C

α คือ Spherical Azimuth โดยนับจากแนว CN' ตามเข็มนาฬิกา

A คือ Geodetic Azimuth

เมื่อจะถ่ายทอดค่าพิกัดจากพื้นผิวทรงกลมลงบนพื้นผิวที่จะแทนแผนที่แบบแบน ก็ต้องอาศัย
 ระบบการฉาย (Projection) ที่มี Mapping Equations จำเพาะตามคุณสมบัติที่ต้องการ
 Mapping Equations ของระบบพิกัดฉาก Cassini คือ

$$x = X \quad (2-1)$$

$$y = Y \quad (2-2)$$

เมื่อ x, y เป็นค่าพิกัดบน Projection Surface

X, Y เป็นค่าพิกัดบน Datum Surface

Cassini Projection ใช้ทรงกระบอก (Cylinder) เป็น Projection
 Surface สัมผัสทรงกลมตามแนวเมริเดียนกลาง มีคุณสมบัติรักษาระยะ มาตรฐานตามแนวเมริเดียน
 กลางจะถูกตัดอยู่ห่างจากเมริเดียนออกไปมาตรฐานจะขยายใหญ่ขึ้น ณ จุดใด ๆ ความ
 เกลี้ยน (Distortions) จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 2 ตัว คือ ระยะห่างของจุดนั้น จากแนวเมริ-
 เดียนกลาง กับแนวทิศทาง (Direction) จากจุดนั้นไปยังอีกจุดหนึ่ง

ในระบบพิกัด Cassini เมื่อกำหนดให้

S เป็นระบอบ Projection Surface

S_0 เป็นระบอบ Spherical Surface

α เป็น Spherical Azimuth

β เป็น Grid Azimuth บนพื้นระนาบ

R_m เป็น Mean Radius of Curvature หรือ Gaussian Mean Radius

การทอนค่าจาก Spherical (Datum) Surface ไปสู่ Projection Surface
หาได้จาก (พิกัดขั้วระนาบ)

$$\frac{S}{S_0} = 1 + \frac{(X_2^2 + X_2 X_1 + X_1^2)}{6R_m^2} \cos^2 \alpha_1 \quad (2-3)$$

$$\frac{S}{S_0} = 1 + \frac{X_m^2}{2R_m^2} \cos^2 \alpha_1 \quad (2-4)$$

ซึ่งเรียกว่า "Scale Factor"

$$\begin{aligned} (\beta_1 - \alpha_1)^* &= - \frac{(X_2^2 + X_2 X_1 + X_1^2)}{6R_m^2 \sin 1''} \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 \\ &\quad - \frac{(Y_2 - Y_1)(2X_1 + X_2)}{6R_m^2 \sin 1''} \end{aligned} \quad (2-5)$$

$$(\beta_1 - \alpha_1)^* = - \frac{X_m^2}{2R_m^2 \sin 1''} \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 - \frac{(Y_2 - Y_1) X_m}{2R_m^2 \sin 1''} \quad (2-6)$$

* ค่า Arc to Chord Correction หรือ (t-T) Correction

เมื่อ x_1, y_1 และ x_2, y_2 เป็นค่าพิกัดฉากทรงกลมของจุด C_1 และจุด C_2 ตามลำดับ

- x_m เป็นค่าเฉลี่ยของ x_1 และ x_2

- α_1, β_1 เป็น Spherical Azimuth และ Plane Azimuth ที่พิจารณา ณ จุด C_1

ในรูปที่ 2.5 เมื่อทราบค่าพิกัดฉากทรงกลมของจุด C_1 , ระยะ S_0 , ละติจูด α_1 , พิกัดของจุด C_2 สามารถคำนวณหาได้จากสูตรต่อไปนี้ (Clark, 1963 PP.434-435)

$$y_2 = y_1 + S_0 \cos \alpha_1 + \frac{x_1^2 S_0 \cos \alpha_1}{2R_m^2} + \frac{x_1 S_0^2 \sin \alpha_1 \cos \alpha_1}{R_m^2} + \frac{S_0^3 \sin^2 \alpha_1 \cos \alpha_1}{3R_m^2} \quad (2-7)$$

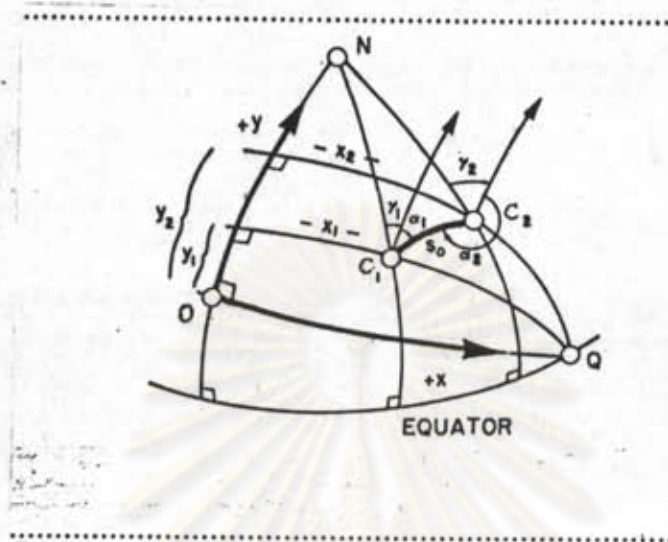
$$x_2 = x_1 + S_0 \sin \alpha_1 - \frac{S_0^3 \sin \alpha_1 \cos^2 \alpha_1}{2R_m^2} - \frac{x_1 S_0^2 \cos^2 \alpha_1}{2R_m^2} \quad (2-8)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 \pm 180^\circ - \frac{S_0 \cos \alpha_1 \cdot (x_1 + x_2)}{2R_m^2 \sin 1''} \quad (2-9)$$

ส่วนการคำนวณ Projection Surface จะได้จาก

$$y_2 = y_1 + S \cos \beta_1 \quad (2-10)$$

$$x_2 = x_1 + S \sin \beta_1 \quad (2-11)$$



รูปที่ 2.5 การคำนวณคิक्तทรงกลม

2.3.2 ระบบคิक्त Transverse Mercator

ระบบคิक्तชนิดนี้ใช้ทรงกระบอกขวางเป็นพื้น Projection ซึ่งอาจจะเป็นลักษณะ Tangent หรือ Secant กับ Datum Surface ก็ได้ ในการวิจัยนี้จะใช้ลักษณะสัมผัสกับสเฟีย-รอยคในแนวเมริเดียนกลาง Transverse Mercator Projection มีคุณสมบัติรักษารูปปร่าง หรือคงรูป (Conformal) มุมระหว่างเส้นต่าง ๆ บนระนาบโปรเจกชันจะมีค่าถูกต้องเหมือนของจริง และค่า Scale Factor ที่จุดใด ๆ บนโปรเจกชันไม่ขึ้นกับทิศทางจึงมีเพียงค่าเดียว ทำให้การคำนวณค่าความเพี้ยนต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนโปรเจกชันแบบคงรูปง่ายกว่าโปรเจกชันแบบอื่น

การแปลงค่าคิक्तภูมิศาสตร์เป็นค่าคิक्तทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์ และกลับกัน มีรายละเอียดในภาคผนวก ข. สำหรับระยะสั้น ค่า Scale Factor และ Arc to Chord Correction คำนวณได้จากสูตร

$$\frac{S}{S_0} = 1 + \frac{X_m^2}{2R_m^2} + \frac{X_m^4}{24R_m^4} \quad (2-12)$$

$$(\beta_1 - \alpha_1) = - \frac{(y_2 - y_1) (2x_1 + x_2)}{6R_m^2 \sin 1''} \quad (2-13)$$

$$(\beta_1 - \alpha_1) = - \frac{(y_2 - y_1) x_m}{2R_m^2 \sin 1''} \quad (2-14)$$

(สัญลักษณ์เช่นเดียวกับข้อ 2.3.1)

2.3.3 ความคลาดเคลื่อนทางมุมและระยะเมื่อคำนวณในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดา

ถ้าใช้ระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดา (Simple Plane Rectangular Coordinates System) ในการคำนวณงานวงรอบแทนการคำนวณในระบบ Cassini และระบบทรานส์เวอร์สเมอร์เคเตอร์แล้ว จะเกิดความเพี้ยนทางมุม (Angular Distortion) และความเพี้ยนทางระยะ (Distance Distortion) ดังตารางที่ 2.6 ซึ่งคำนวณโดยใช้สูตร (2-4), (2-6), (2-12) และ (2-14) ตามลำดับ

ระบบ Cassini

ความเพี้ยนขึ้นอยู่กับตำแหน่งและทิศทาง จากสูตร (2-4)

$$\frac{S}{S_0} = 1 + \frac{x_m^2}{2R_m^2} \cos^2 \alpha_1$$

ซึ่งความเพี้ยนทางระยะจะสูงสุดเมื่อมุมอะซิมุท α_1 เท่ากับ 0° หรือ 180° คือแนวเส้นอยู่ในแนวเหนือ-ใต้ และความเพี้ยนทางระยะจะน้อยที่สุดเมื่อ α_1 เท่ากับ 90° หรือ 270° คือ แนวเส้นอยู่ในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก

ในสูตร (2-6) จะเห็นว่าความเพี้ยนทางมุมจะสูงสุดเมื่อมุมอะซิมุท α_1 เท่ากับ 45° , 135° , 225° และ 315°

ตารางที่ 2.6

ความเพี้ยนทางมุมและทางระยะในระบบ Cassini และระบบ TM.

เมื่อคำนวณในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมตา (คำนวณที่ LAT. $17^{\circ}-00'$)

Distance From Central Meridian (X_m in Km.)	Maximum Distortion of Distance	(t-T) Correction* (")	
		Cassini**	TM.
10	1:809,601	0.16	0 ^o 03
20	1:202,265	0.56	0.05
30	1: 89,879	1.23	0.08
40	1: 50,558	2.14	0.10
50	1: 32,357	3.32	0.13
60	1: 22,469	4.74	0.15
70	1:16,508	6.43	0.18
80	1: 12,639	8.36	0.20
90	1: 9,986	10.56	0.23
100	1: 8,089	13.00	0.25
120	1: 5,617	18.67	0.31
140	1: 4,127	25.31	0.36
160	1: 3,159	33.05	0.41
180	1: 2,496	41.77	0.46
200	1: 2,022	51.50	0.51

* สำหรับจุด 2 จุด ที่มีความต่างทางแกน $Y = 1$ กิโลเมตร

** จะมิกำลังสุดเมื่อมุมอะซิมุตเท่ากับ 45° , 135° , 225° และ 315°

ระบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์

จากสูตร (2-12) ถ้าตัดเทอม $\frac{x^4}{24R^4}$ ซึ่งมีค่าน้อยมากออกไปจะเห็นได้ว่าความเพี้ยนทางระยะในระบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์ จะทำกับความเพี้ยนสูงสุดทางระยะในระบบ Cassini (Mueller and Ramsater, 1979, P.123)

2.4 ข้อสมมุติฐานและการคำนวณปรับแก้

ข้อสมมุติฐานเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของแบบจำลอง ซึ่งมีส่วนทำให้ผลของการปรับแก้เป็นที่น่าสนใจหรือไม่ ในบางครั้งเมื่อตรวจสอบพบข้อบกพร่องก็ต้องเปลี่ยนแปลงแบบจำลองให้เหมาะสมขึ้น สำหรับวิธีการคำนวณปรับแก้ต้องเลือกวิธีที่ทำให้ความคลาดเคลื่อนกระจายออกไปตามสัดส่วนของน้ำหนักของค่าวัดในแบบจำลองนั้น

ในการวิจัยนี้ ได้ตั้งข้อสมมุติฐานและวิธีการคำนวณปรับแก้ดังนี้

2.4.1 การปรับแก้ครั้งแรก

ก. สมมุติฐาน มีดังนี้

1. งานรังวัดในโครงการทั้งหมด เป็นงานรังวัดบนระนาบราบ
2. จุดควบคุมอ้างอิงเดิม* (หมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหาร) ถือว่าเป็นค่าที่ไม่มี ความคลาดเคลื่อน (Errorless Values)
3. ค่าพิสัยของจุดร่วมที่ได้จากการคำนวณวงรอบเส้นก่อน เมื่อเป็นตัวบังคับในการคำนวณวงรอบเส้นใหม่ถือว่าเป็นค่าที่ไม่มี ความคลาดเคลื่อน

* เป็นค่าพิสัยในระบบ Cassini มีศูนย์กำเนิดที่ละติจูด $17^\circ - 00'$ และลองจิจูด $101^\circ - 00'$

ข. วิธีคำนวณปรับแก้

1. เส้นวงรอบแต่ละเส้นคำนวณเป็นอิสระต่อกัน โดยวิธีกฎเข็มทิศในระบบพิกัดฉากธรรมดา

2. การคำนวณวงรอบเส้นใหม่ที่ออกงาน และ/หรือ เข้าบรรจบกับวงรอบเส้นก่อน ใช้ค่าพิกัดของจุดร่วมและแนวอะซิมูทที่ได้จากการคำนวณเส้นก่อนเป็นค่าบังคับ

2.4.2 การปรับแก้โดยวิธีสี่เหลี่ยม

เนื่องจากระบบโปรเจกชัน Cassini ไม่มีคุณสมบัติรักษามุมหรือรูปร่าง (Non-Conformal) และไม่สะดวกในการคำนวณ การคำนวณปรับแก้ครั้งแรก จึงคำนวณในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดา เพื่อให้เห็นข้อแตกต่างในการปรับแก้พร้อมกันทั้งโครงข่าย จึงได้คำนวณทั้งในระบบพิกัดฉากระนาบราบธรรมดาที่ใช้จุดอ้างอิงเดิมในระบบ Cassini กับคำนวณในระบบกริดทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์ ซึ่งระบบหลังนี้ เป็นโปรเจกชันที่มีคุณสมบัติรักษารูปร่าง ตารางที่ 2.7 แสดงค่าพิกัดของหมุดหลักฐานชั้นที่ 2 ที่ใช้เป็นจุดควบคุมอ้างอิง ในระบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์* จากการปรับแก้ทั้งสองระบบ จะได้ผลลัพธ์เพื่อนำไปเปรียบเทียบดูว่าระบบไหนจะดีกว่า

ก. สมมุติฐาน แต่ละระบบมีดังนี้

ระบบพิกัดฉากธรรมดา

- งานรังวัดในโครงการเป็นงานรังวัดบนระนาบราบ ค่าที่วัดได้จะไม่มีการทอนค่าใด ๆ

ระบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์

- งานรังวัดในโครงการ เป็นงานรังวัดบนผิวโค้ง ค่าวัดจะทอนลงผู้วัดสเฟียร์รอยด์และพื้นโปรเจกชัน

* ใช้ศูนย์กำเนิดที่ละติจูด $17^{\circ} - 00'$ ลองจิจูด $101^{\circ} - 00'$ และพื้นโปรเจกชันสัมผัสตรงกึ่งตามแนวเมริเดียนกลาง

ระบบพิกัดฉากธรรมดาระบบทรานสเวอร์สเมอร์เคเตอร์

- | | |
|--|---|
| <p>2. จุดควบคุมอ้างอิงเดิมไม่มีความคลากเคลื่อน</p> <p>3. ถือเอาค่าความต่างพิกัดของจุดร่วม (ΔN, ΔE) เป็นค่าสังเกต (Observations) ในแบบจำลอง</p> <p>4. น้ำหนัก (Weight) ของค่าสังเกตขึ้นอยู่กับมุมและระยะในแต่ละ Section</p> <p>5. ΔN และ ΔE ไม่มีสหสัมพันธ์ (Uncorrelated) ท่อกัน</p> | <p>2. เช่นเดียวกับกับระบบแรก</p> <p>3. เช่นเดียวกับกับระบบแรก</p> <p>4. เช่นเดียวกับกับระบบแรก</p> <p>5. เช่นเดียวกับกับระบบแรก</p> |
|--|---|

ข. วิธีคำนวณปรับแก้

1. ทั้งสองระบบคำนวณปรับแก้พร้อมกันทั้งโครงข่ายด้วยวิธีลีสทิงสแควร์ แบบสมการเงื่อนไข (Condition Equations) เพื่อหาค่าพิกัดของจุดร่วม

2. เพื่อเปรียบเทียบค่าพิกัดของจุดร่วมในแต่ละระบบได้ใช้วิธีคำนวณแตกต่างกัน วิธี โดยกำหนดจุดคงตัว (Fixed Points) ดังนี้

กรณีที่ 1 ค่าพิกัดของจุดอ้างอิงเดิม (กรมแผนที่ทหาร) ที่ใช้เป็นค่าบังคับมี 13 จุด

กรณีที่ 2 ค่าพิกัดที่ใช้เป็นค่าบังคับมี 2 จุด คือ หมุด AZ.1 (หมุดออกงานวงรอบเส้นแรก) กับหมุด EMP.963 (หมุดเข้าบรรจบวงรอบเส้นสุดท้าย)

กรณีที่ 3 ค่าพิกัดที่ใช้เป็นค่าบังคับมีเพียงจุดเดียวคือ หมุด AZ.1

ตารางที่ 2.7 ค่าพิกัดของหมุดหลักฐานชั้นที่ 2 ในระบบ TM.
(เฉพาะจุดที่ใช้เป็นค่าบังคับ)

สถานี		ระยะ (เมตร)	ค่าพิกัดฉาก		พิกัดระนาบ o ' "
A	B		Y N(+), S(-)	X E(+), W(-)	
BMP.RID	AZ.1	609.517	5356.981 4908.151	-86864.978 -86452.324	137-25-11.18
BMP.908	AZ.3	86.805	-5103.344 -5175.069	-81413.333 -81364.471	145-44-16.02
BMP.77	AZ.6	458.075	-20578.432 -20121.141	-77924.028 -77896.642	3-25-32.96
BMP.75-N	BMP.75-0	120.572	-34264.640 -34380.255	-77200.504 -77166.261	163-30-05.32
BMP.911	AZ.9	424.534	-43250.725 -43640.339	-75999.123 -75830.439	156-35-12.66
ST.-55	ST.-56	792.138	-60056.667 -59778.343	-69871.500 -69129.849	69-26-01.04
BMP.970	AZ.14	284.938	-73214.748 -72934.599	-63406.045 -63458.117	349-28-13.89
AZ.16	AZ.16A	711.007	-86194.525 -86902.009	-61197.941 -61268.991	185-43-53.13
BMP.967	AZ.17	309.743	-95347.968 -95656.594	-62226.186 -62252.547	184-53-01.75

* ระยะป้ออเทคติก

ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

สถานี		ระยะ * (เมตร)	ค่าพิกัดฉาก		กริดอะซิมุต o ' "
A	B		Y N(+), S(-)	X E(+), W(-)	
BMP.965	AZ.19	329.722	-107648.786	-65892.019	22-12-18.18
			-107343.498	-65767.397	
BMP.963	AZ.21	278.742	-122224.477	-73457.355	202-05-13.64
			-122282.762	-73562.193	



ศูนย์วิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* ระยะป๊อเด็ค