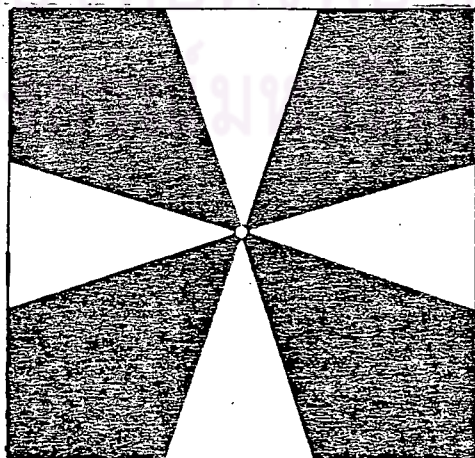


ขั้นตอนของการดำเนินการวิจัย

3.1 การวางแผนในการเก็บรวบรวมข้อมูลในสนาม

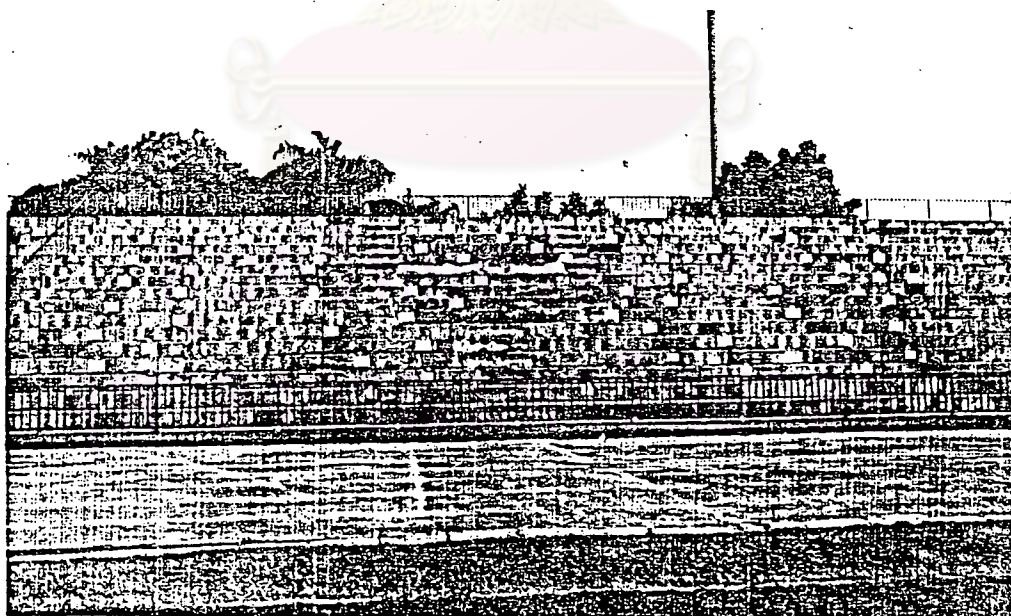
3.1.1 การสำรวจสังเขป เป็นการดำเนินการเพื่อเลือกหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสนามทดสอบ ลักษณะของพื้นที่จะต้องมีความลึกต่าง ๆ กันจากจุดถ่ายภาพ (Abdel-Aziz and Karara, 1974, Merchant, 1973) จากการสำรวจพบว่า ส่วนของอัครรรยของสนามกีฬาจุฬาลงกรณ์ มีความเหมาะสมที่จะใช้สร้างเป็นสนามทดสอบ เพราะอัครรรยมีลักษณะเป็นชั้นบันได มีความลึกต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ชั้นล่างสุดจนถึงชั้นบนสุด มีพื้นที่กว้างขวางพอ จุดทุกจุดบนอัครรรยสามารถเข้าถึงได้โดยง่าย เลือกใช้อัครรรยทางคานทิศตะวันออก เพื่อความสะดวกในการขนเครื่องมือ เครื่องใช้ น้ำผึ้งของสนามกีฬา (ขอสนับสนุนจากฝ่ายอาคารสถานที่ ฯ) มาใช้ประกอบการวางแผน เพื่อกำหนดจุดควบคุมหลัก กำหนดจุดควบคุมภาพถ่าย และเพื่อใช้สำหรับการวางแผนในการถ่ายภาพ

3.1.2 การวางแผนในการถ่ายภาพและการติดตั้งเป้า การสำรวจจากภาพถ่ายที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูง ก่อนการถ่ายภาพต้องทำการติดตั้งเป้าไว้ ณ ตำแหน่งที่เลือกเป็นจุดควบคุมภาพถ่าย (Swanson, 1966) ลักษณะของเป้า ดังรูป 3.1 มีขนาด 11×11 ซม. ข้อพิจารณาสำหรับการวางแผนในการถ่ายภาพ คือค่าอัตราส่วนระหว่างฐานต่อความลึก (base-depth ratio)



รูปที่ 3.1 ลักษณะของเป้าที่ใช้

ซึ่งเป็นตัวแสดงความมันทางเรขาคณิต (geometrical strength) ค่าของอัตราส่วนฐานต่อความลึกที่สูงกว่า จะให้ความมันทางเรขาคณิตมากกว่า ค่าของอัตราส่วนฐานต่อความลึกที่ต่ำกว่า การถ่ายภาพแบบแกนทะแยงเข้าหากัน (convergent photograph) จะให้ค่าของอัตราส่วนฐานต่อความลึกใหญ่และให้ค่าส่วนขนานสูง (วิชาและปรีชา, 2523) ในการวิจัยนี้ เลือกใช้วิธีการถ่ายภาพแบบแกนทะแยงเข้าหากัน การกำหนดจุดควบคุมภาพถ่ายบนสนามทดสอบ ใช้วิธีการกำหนดอย่างคร่าว ๆ บนฝั่งของสนามกีฬา โดยพิจารณาจากกรวยของการครอบคลุมรายละเอียดของกล้องถ่ายภาพ ณ ระยะโฟกัสอนันต์ (infinite focus) ให้มีจำนวนจุดกระจายอยู่ทั่ว ๆ บริเวณ ความลึกต่าง ๆ กัน หลังจากนั้นจึงหมายตำแหน่งของจุดควบคุมลงบนอัตรระย โดยเปรียบเทียบกับตำแหน่งที่กำหนดคร่าว ๆ บนฝั่งของสนามกีฬา ทำการติดตั้งเป้าโดยให้จุดศูนย์กลางของเป้าตรงกับจุดควบคุมที่หมายไว้ ติดหมายเลขกำกับไว้ใต้เป้าเรียงลำดับตั้งแต่หมายเลข 1 จนถึงจุดสุดท้าย คือจุดที่ 99 ดังรูป 3.2 มีขนาดกว้าง 24.8 เมตร และลึก 14.1 เมตร



รูปที่ 3.2 สนามทดสอบที่ได้ติดตั้งเป้าเรียบร้อยแล้ว

3.1.3 การวางแผนในการรังวัดเพื่อหาค่าพิกัดของจุดควบคุม จุดควบคุมในงานสำรวจจากภาพถ่าย หมายถึงจุดใด ๆ ที่ทราบค่าพิกัดในระบบของระวางวัตถุ (object-space) โดยวิธีการสำรวจรังวัดในสนาม จุดควบคุมสำหรับการสำรวจด้วยภาพถ่ายแบ่งออกได้เป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการจัดสร้างจุดควบคุมหลัก (basic control) ประกอบด้วยหมุดหลักฐานทางราบและหมุดระดับ ซึ่งจะใช้เป็นหมุดอ้างอิงต่อไปในการหาจุดควบคุมภาพถ่าย (Photo control) ขั้นตอนที่สอง เป็นการหาค่าแห่งในระวางวัตถุของจุดควบคุมภาพถ่าย โดยทำการรังวัดออกจากชายของจุดควบคุมหลัก (วิชาและปรีชา, 2523) ความละเอียดถูกต้องของจุดควบคุมภาพถ่าย จึงขึ้นอยู่กับความละเอียดถูกต้องของจุดควบคุมหลัก เนื่องจากจำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายมีจำนวนมาก (99 จุด) เพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการสร้างจุดควบคุมภาพถ่าย จึงเลือกใช้วิธีการงานชายด้านสามเหลี่ยม (trilateration) สำหรับจุดควบคุมภาพถ่ายทางราบ โดยวัดระยะโยงยัดไปจากจุดควบคุมหลัก และใช้วิธี Spirit leveling เพื่อหาค่ากำหนดสูงของจุดควบคุม

เพื่อให้ได้ค่าพิกัดของจุดควบคุมหลักทางราบมีความละเอียดถูกต้องสูง จึงเลือกใช้วิธีการผสมระหว่างงานชายสามเหลี่ยมและงานชายด้านสามเหลี่ยม (combined triangulation and trilateration) ซึ่งเป็นโครงข่ายที่แข็งแกร่งที่สุดในการใช้กำหนดจุดควบคุมหลักทางราบ (Davis, et al., 1981) เนื่องจากบริเวณที่ใช้เป็นสนามทดสอบ เป็นบริเวณแคบ ๆ สามารถใช้ระบบพิกัดฉากระนาบในระบบลอย ๆ ที่สมมติขึ้น (วิชาและปรีชา, 2523) ลักษณะของโครงข่ายสามเหลี่ยมที่เหมาะสม มุมภายในแต่ละมุมของโครงข่าย ควรมีค่าอยู่ระหว่าง $30^\circ - 120^\circ$ (Shahani, 1971) และลักษณะของโครงข่าย งานชายด้านสามเหลี่ยมมุมภายในสามเหลี่ยมมุมใด ๆ ควรมีค่าไม่น้อยกว่า 20° (Davis, et al., 1981) ลักษณะของโครงข่ายสามเหลี่ยมและโครงข่ายงานชายสามเหลี่ยม ไม่สามารถกำหนดให้อยู่ในชั้นใด ๆ ได้ เนื่องจากด้านของโครงข่ายที่สร้างขึ้น สันเกินไป ในการรังวัดเพื่อหาค่าพิกัดทางราบ เลือกใช้กฎเกณฑ์อนุโลมตามงานชั้นที่ 3 ระดับ 1 (Third order class I) รายละเอียดดูได้จาก Davis, et al. (1981) กำหนดโครงข่ายสามเหลี่ยมเป็นรูปสี่เหลี่ยมเสันทะแยงมุม (quadrilateral) ให้เป็นไปตามคุณลักษณะดังกล่าวข้างต้น โดยกำหนดคร่าว ๆ ลงบนผังของสนามกีฬา ดังรูป 3.3 และทำการผังหมุด ณ จุดที่ตรงกันลงบนพื้นสนาม ตามรูป 3.3 คือจุด A, B, C และ D ระบบแกนพิกัดเป็นไปตามรูป 3.3 ให้จุด A เป็นศูนย์กำเนิด (Origin) ของระบบพิกัดฉาก มีค่าพิกัด $x_A = 0.0 \text{ m}$, $y_A = 0.0 \text{ m}$ แกน x วางตัวไปตามแนวด้าน AB แกน y ตั้งฉากกับแกน x โดยมีทิศทางพุ่งเข้าหาสนามทดสอบ แกน z ของระบบพิกัดฉากสามมิติ ตั้งฉากกับแกน x และแกน y โดยมีทิศทางบวกตามกฎมือขวา

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลในสนาม

3.2.1 การถ่ายภาพ ใช้กล้องถ่ายภาพ Hasselblad 500 EL/M ประกอบกับมาตรวัดแสง Asahi Pentax ทำการถ่ายภาพ ณ ระยะโฟกัสต่าง ๆ โดยตั้งกล้องบนขาตั้ง (tripod) จากสถานีตั้งกล้อง 2 สถานี ใช้เลนส์ 2 ชนิด คือ

- Sonnar 1:4, $f = 150$ mm หมายเลข Nr. 6210713 และ

- Distagon 1:4 $f = 50$ mm หมายเลข Nr. 6189780

อุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพทั้งหมดเป็นของภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ กรรมวิธีในการดำเนินการถ่ายภาพ เป็นไปตามลำดับ ดังนี้

1. กำหนดสถานีตั้งกล้อง ณ ระยะโฟกัสต่าง ๆ โดยพิจารณาจากอัตราส่วนฐานต่อความลึก และการครอบคลุมรายละเอียด เริ่มถ่ายที่ระยะโฟกัสอนันต์ (infinite focus)
2. ใช้มาตรวัดแสงหาค่าของเอฟ-สตอป และความเร็วชัตเตอร์ที่ถูกต้อง
3. หาขนาดของการเปิดหน้ากล้องที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าที่ได้ตามข้อ 2 และความชัดลึกของวัตถุ

4. หาค่าแห่งประมาณของจุดถ่ายภาพ (exposure station) โดยโยงยึดจากจุดควบคุมภาพถ่าย หรือจุดควบคุมหลักที่อยู่ใกล้เคียง และวัดความสูงของกล้อง

5. ณ สถานีตั้งกล้องแต่ละสถานี ทำการถ่ายภาพของสนามทดสอบ สถานีละ 2 ภาพ โดยเมื่อถ่ายภาพแรกเสร็จแล้ว หมุนวงแหวนปรับโฟกัส (focussing ring) ให้เคลื่อนไป แล้วหมุนกลับมาเพื่อปรับให้ภาพชัดอย่างเดิม แล้วจึงถ่ายภาพที่สอง ทั้งนี้เพื่อต้องการตรวจสอบเสถียรภาพของกล้องในการปรับโฟกัส

การถ่ายภาพสนามทดสอบจะทำการถ่ายภาพจนกระทั่งถึงระยะโฟกัสที่ความชัดลึกของวัตถุจะอ่านวยให้ ทั้งนี้เพราะเมื่อระยะถ่ายภาพยิ่งไกลเข้าไป ความชัดลึกของวัตถุจะมีอันจำกัด ทำให้ความคมชัดบางส่วนของภาพเสียไป ซึ่งจะเป็นผลเสียต่อการวัดพิคตกภาพถ่าย รายละเอียดของการถ่ายภาพจากเลนส์ 2 ชนิด ณ ระยะโฟกัสต่าง ๆ แสดงอยู่ในตาราง 3.1

3.2.2 การวัดระยะและวัดมุม อุปกรณ์ที่ใช้ ดังรูป 3.4 ประกอบด้วยกล้องวัดมุม WLID T-2 พร้อมเป้า(target) เครื่องวัดระยะ WLID DI3S พร้อมเป้าปริซึม GDR 31 (ใช้สำหรับวัดระยะไกล) และเทอร์โมมิเตอร์ อุปกรณ์ทั้งหมดเป็นของภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ การวัดระยะและวัดมุมประกอบด้วย

ตาราง 3.1 การถ่ายภาพ ณ ระยะโฟกัสต่าง ๆ

Lens	Focusing dist(ft)	Camera base(m)	f-stop	shutter speed	Camera station I				Camera station II					Remark	
					Coordinates			Roll No.	Photo No.	Coordinates			Roll No.		Photo No.
					X	Y	Z			x	y	z			
Distagon 1:4, f = 50 mm. (Nr. 6189780)	∞	8	16	1/125	34.5	66.5	1.5	1	3	42.4	66.8	1.5	1	5	
								1	4				1	6	
	50	7	16	1/125	34.5	72.5	1.5	1	7	41.5	73.0	1.5	1	9	
								1	8				1	10	
	30	7	16	1/125	34.5	72.6	1.5	1	11	41.5	73.0	1.5	2	1	
								1	12				2	2	
	15	7	16	1/125	34.5	72.6	1.5	2	3	41.5	73.0	1.5	2	5	
								2	4				2	6	
Sonnar 1:4, f = 150 mm. (Nr. 6210713)	∞	9	16	1/125	43.5	52.5	1.5	3	3	54.5	53.0	1.5	3	5	
								3	4				3	6	
	100	9	16	1/125	42.5	59.0	1.5	3	7	51.5	59.5	1.5	3	9	
								3	8				3	10	
	50	6	16	1/125	45.0	64.0	1.5	3	11	51.5	64.5	1.5	4	1	
								3	12				4	2	
	30	5	16	1/125	43.0	68.0	1.5	4	3	48.0	67.8	1.5	4	5	
								4	4				4	6	

1. การวัดระยะและวัดมุมของโครงข่ายสามเหลี่ยม ตั้งเครื่องวัดระยะและวัดมุม ณ จุดควบคุมหลักทุก ๆ จุดของโครงข่ายสามเหลี่ยม (รูป 3.3) วัดระยะไปยังจุดต่าง ๆ พร้อมทั้งบันทึกการระยะที่วัดได้ ความมุมตั้งและอุณหภูมิขณะทำการรังวัด ณ จุดตั้งกล้องที่เดียวกัน ทำการวัดมุมภายในของโครงข่ายสามเหลี่ยมแต่ละมุมวัด 4 ศูนย์ด้วยวิธี direction method ตาราง 3.2 และ 3.3 เป็นตัวอย่าง การรังวัดจากสนาม ค่าของมุมและระยะของคานของโครงข่ายสามเหลี่ยม อยู่ในภาคผนวก ก 1 และ ก 2

2. การวัดระยะจากจุดควบคุมหลักไปยังจุดควบคุมภาพถ่าย ตั้งเครื่องมือวัดระยะ ณ จุดควบคุมหลัก แต่ละจุดทำการวัดระยะไปยังจุดควบคุมภาพถ่ายทุกจุดที่อยู่บนอัตราระยะ พร้อมทั้งบันทึกการระยะ มุมตั้ง และอุณหภูมิขณะทำการรังวัด การระยะที่วัดได้อยู่ในภาคผนวก ก 3

3.2.3 การถ่ายระดับด้วยกล้องระดับ โดยวิธีการ spirit leveling อุปกรณ์ที่ใช้ ดังรูปที่ 3.5 ประกอบด้วย กล้องระดับ WILD N3 เทปวัดระยะและเทอร์โมมิเตอร์ของภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ ฯ ไม่เล็งระดับอินวารพร้อมอุปกรณ์ครบชุด ใช้ของกรมแผนที่ทหาร ยึดกฎเกณฑ์ของงานระดับขั้นที่ 1 วิธีการทำระดับ คู่มือจาก กุซงค์ (2524) เริ่มออกจากจุด A (รูป 3.3) กำหนดให้จุด A มีกำหนดสูงเท่ากับ 0.000 m. ค่าของการทำระดับทั้งไปและกลับแสดงอยู่ในตารางภาคผนวก ก 4 ตารางที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการรังวัดการระดับ

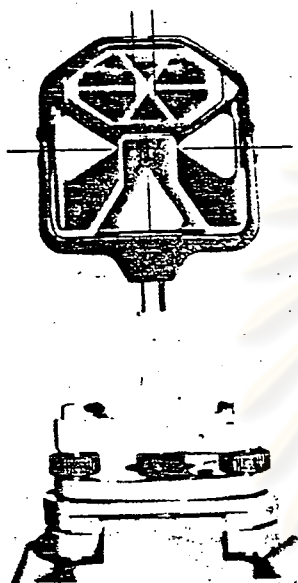
3.3 การเตรียมข้อมูล

เป็นการจัดเตรียมข้อมูลให้พร้อมก่อนที่จะนำไปใช้ในการแปลงข้อมูลเชิงวิเคราะห์ด้วยการวัดสอบในตัวตามหลักการและทฤษฎีที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.5 มีขั้นตอนการปฏิบัติ ดังนี้

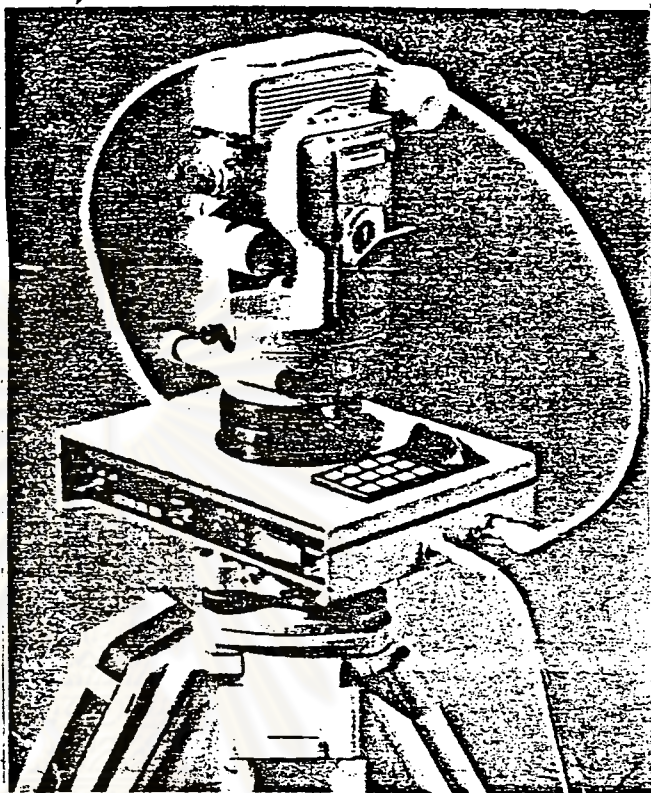
3.3.1 การรังวัดค่าพิคตภาพถ่าย ใช้เครื่องร่างแผนที่เชิงวิเคราะห์ Zeiss Planicom C100 ของกรมแผนที่ทหาร ดังรูป 3.6 วัดในลักษณะภาพเดี่ยว (monocular measurement) จาก negative ที่ได้จากการถ่ายในหัวข้อ 3.2.1 ขั้นตอนของการวัดประกอบด้วย

1. วาง negative ลงบน plate holder ในลักษณะ right reading เมื่อมองผ่านระบบมองภาพ (viewing system) โดยพยายามจัดให้ขอบของภาพขนานกับแกนใดแกนหนึ่ง ของเครื่องวัดพิคตภาพถ่ายโดยประมาณ

2. ปรับขนาดของจุดลอย (floating mark) กำลังส่องสว่างและกำลังขยายของเครื่องวัดพิคตให้พอเหมาะให้ได้ภาพคมชัดที่สุด

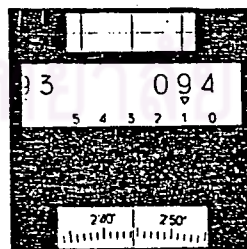
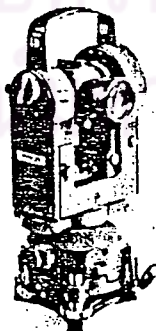


เป้าปริซึม GER 31



เครื่องวัดระยะ WILD DI3S

The Wild T2 Universal Theodolite. In addition to its high accuracy, it is simple to handle and has many accessories. An inverter knob brings required circle image into reading eyepiece. Horizontal circle appears yellow, vertical white. Coincidence setting for direct averaging of two diametrically-opposite circle readings. Reading is digital apart from the single seconds. Automatic index for vertical circle. The all-steel T2 is a theodolite for triangulation, precise traversing, astronomy, tacheometry, engineering, cadastral survey, setting out, mining, optical tooling. Detachable tribrach with optical plummet.



T2 Horizontal or vertical circle 94°12'44".3

รูปที่ 3.4 กลองวัดมุม WILD T2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่าพิกัดจากระนาบ

ตารางที่ 3.2 แสดงการวัดมุมราบของโครงข่ายสามเหลี่ยม

INS	OBJ	FACE	HOR. CIR.			MN. HOR. CIR.			HOR. ANGLE		MN. HOR. ANGLE	
A	D	L	00	00	23.4	00	00	23.1				
	C	L	60	24	49.9	60	24	47.7	60	24	24.6	
	B	L	94	04	18.0	94	04	15.9	94	03	52.8	
	B	R	274	04	13.8							
	C	R	240	24	45.4							
	D	R	180	00	22.8							
	D	R	225	00	17.0	225	00	17.0				
	C	R	285	24	39.8	285	24	40.4	60	24	23.4	
	B	R	319	04	05.1	319	04	05.3	94	03	48.3	
	B	L	139	04	05.4							
	C	L	105	24	41.0							
	D	L	45	00	17.0							
	D	L	90	00	23.0	90	00	22.6	60	24	22.9	
	C	L	150	24	47.0	150	24	45.5	94	03	51.0	
	B	L	184	04	15.0	184	04	13.6				
	B	R	4	04	12.2							
	C	R	330	24	44.0							
	D	R	270	00	22.2							
	D	R	315	00	21.4	315	00	21.5				
	C	R	15	24	43.0	15	24	43.6	60	24	22.1	60 24 23.3
	B	R	49	04	11.0	49	04	11.6	94	03	50.1	94 03 50.6
	B	L	229	04	12.2							
	C	L	195	24	44.2							
	D	L	135	00	21.6							
	C	L	00	00	24.0	00	00	24.6				
	B	L	33	39	50.4	33	39	51.1	33	39	26.5	
	B	R	213	39	51.8							
	C	R	180	00	25.2							
	C	R	225	00	23.4	225	00	24.6				
	B	R	258	39	51.2	258	39	52.1	33	39	27.5	
B	L	78	39	53.0								
C	L	45	00	25.8								
C	L	90	00	28.0	90	00	26.9					
B	L	123	39	57.0	123	39	55.0	33	39	28.1		
B	R	303	39	53.0								
C	R	270	00	25.8								
C	R	315	00	21.0	315	00	21.2					
B	R	248	39	46.2	348	39	46.6	33	39	25.4	33 39 26.9	
B	L	168	39	47.0								
C	L	135	00	21.4								

INS = ที่ตั้งกล้อง, OBJ = ที่หมาย(เป้า), HOR.CIR = ภาจานองสำรวจ, MN.HOR.CIR = ภาจานองสำรวจเฉลี่ย, HOR.ANGLE = มุมราบ, MN.HOR.ANGLE = มุมราบเฉลี่ย

ตาราง 3.3 แสดงการวัดระยะของโครงข่ายสามเหลี่ยม

INS	OBJ	FACE	VIR.CIR.	V.ANGLE	MEA.DIST	TEMP	REMARK
A	D	L	90 02 29.6				
		R	269 57 37.0	-0 02 26.3	42.654	29.5	
	C	L	90 02 06.8				
		R	269 58 00.4	-0 02 03.2	81.570	29.0	
B	B	L	90 02 20.0				
		R	269 57 37.1	-0 02 21.45	59.222	29.0	
	A	L	90 10 39.6				
		R	269 49 16.0	-0 10 41.8	59.227	29.0	
B	D	L	90 03 43.6				
		R	269 56 14.2	-0 03 44.7	75.386	29.0	
	C	L	90 07 42.4				
		R	269 52 14.0	-0 07 44.2	46.040	29.0	

INS = ที่ตั้งกล้อง OBJ = ที่หมายเล็ง VIR.CIR. = ค่าจนวนองศาตั้ง

V.ANGLE = ความมุด V. ANGLE = ค่ามุมมุด MEA.DIST = ค่าระยะที่วัดได้ TEMP = อุณหภูมิขณะรังวัด

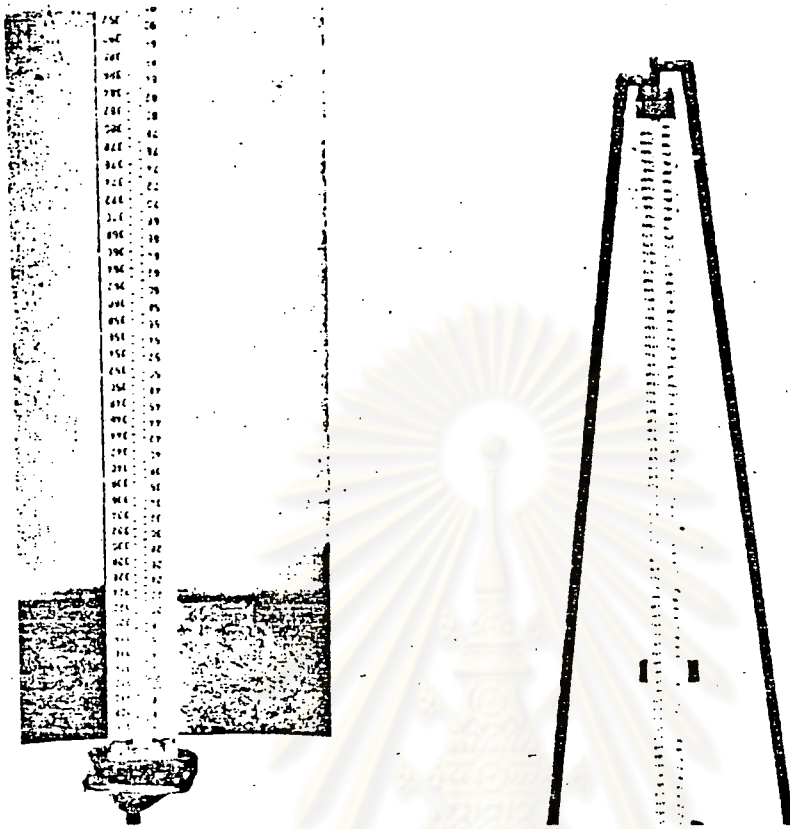
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 3.4 แสดงการทำระดับ

จาก BM..A. ถึง..99.... (ทำไป)

ชั้น ที่ตั้ง กล่อง	สายใยบน	ระยะ ม.	อ่านไม่หลัง		ความ ตาง	T E M P. C	อ่านไม่หน้า		ความ ตาง	สายใยบน	ระยะ ม.	หมายเหตุ
	สายใยกลาง		ชาย	ขวา			ชาย	ขวา		สายใยกลาง		
1	128.0	44.0	150485	452053	18	39	142464	444026	12	119.6	44.9	
	172.0		30155				30155			164.5		
			452035				444014					
จาก BM..99.ถึง..A..... (ทำกลับ)												
	121.7	44.6	144070	445624	4	39	152062	453611	1	130.0	44.0	
	166.3		30155				30155			174.0		
			445620				453612					

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ไม้เล็งระดับอินวาร

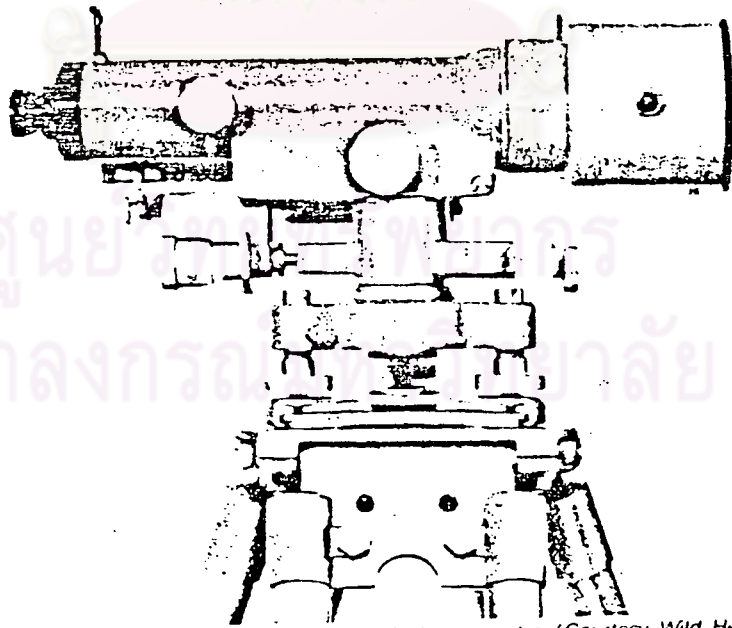
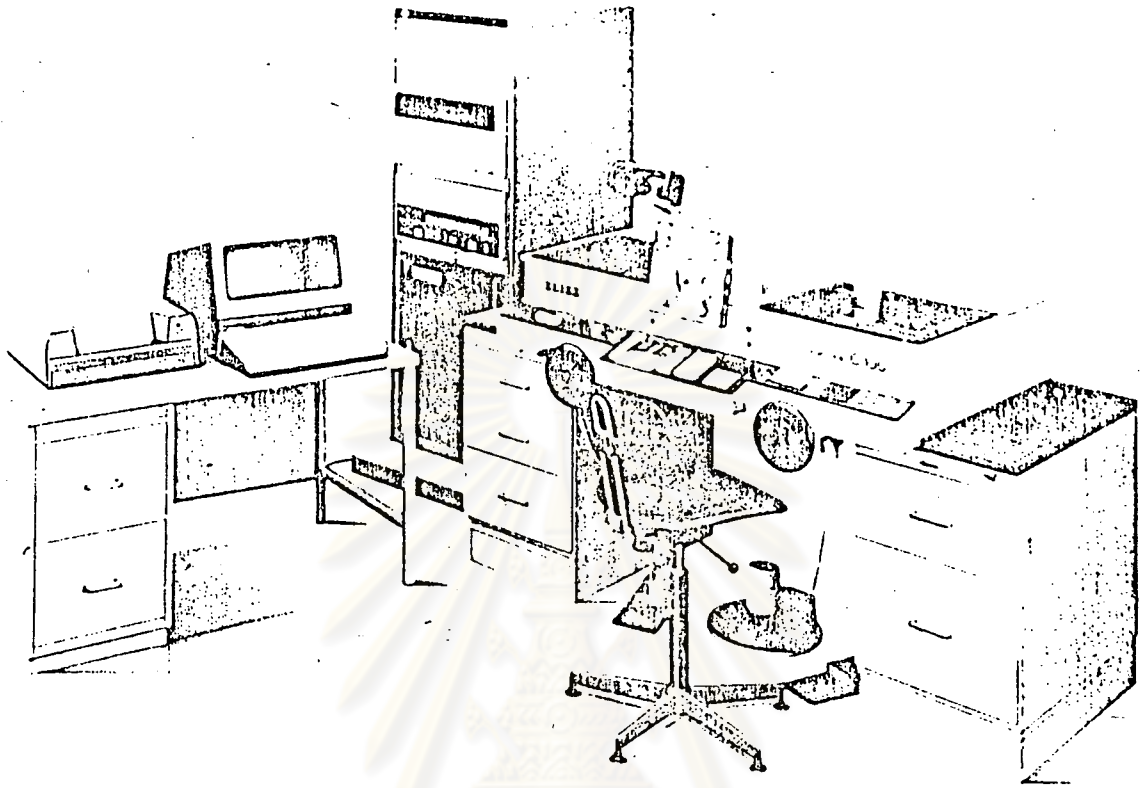


Fig. 5.19 Tilting geodetic level equipped with optical micrometer. (Courtesy Wild Heerbrugg Instruments, Inc.)

กล้องระดับ WILD N3

รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ใช้ในการทำระดับ



รูปที่ 3.6 Zeiss Planicom C 100

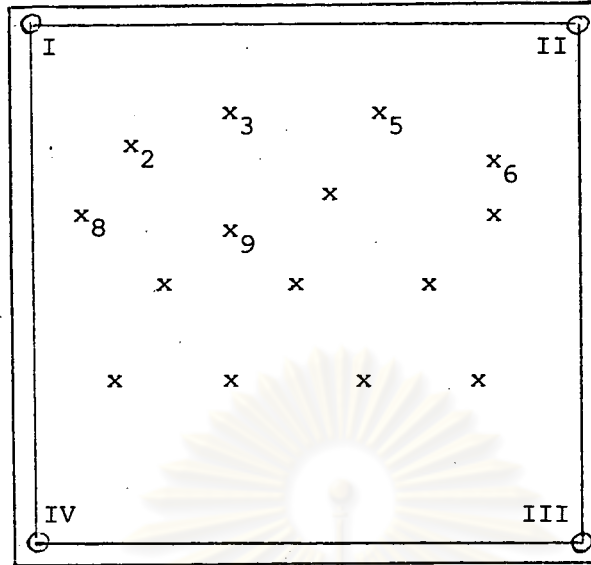
3. วัดพิกัดภาพฉายของจุดมุมภาพทั้ง 4 ตามรูป 3.7 คือจุด I, II, III และ IV

4. วัดพิกัดภาพฉาย โดยวางจุดลอยให้ตรงกับจุดศูนย์กลางของเป้าที่ปรากฏบนภาพฉาย เรียงตามหมายเลขที่ติดกำกับไว้ได้เป้า จากน้อยไปหามาก

5. ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 4 โดยวัดย้อนกลับจากเลขมากไปหาน้อย

6. ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 3

บันทึกค่าพิกัดที่ได้ตามข้อ 3, 4, 5, 6 ผ่านเครื่องพิมพ์ (printer) โดยบันทึกหมายเลขจุด ตามหมายเลขที่ติดกำกับไว้ได้เป้า และค่าพิกัด x, y ของแต่ละจุด ค่าพิกัดจากที่นำไปใช้ในการคำนวณตามสมการ (2.19) คือค่าเฉลี่ยของการวัดทั้งสองครั้ง ค่าประมาณพิกัดจุดมุมที่สำคัญ (x_0, y_0) หาได้จากค่าเฉลี่ยพิกัดของจุดมุมภาพทั้ง 4 ซึ่งจะได้อีกไว้ในหัวข้อต่อไป ตารางที่ 3.5 แสดงตัวอย่างของการวัดพิกัดภาพฉาย



รูปที่ 3.7 แสดงจุดมุมภาพและจุดควบคุมภาพถ่าย

ตารางที่ 3.5 แสดงการวัดค่าพิกัดภาพถ่าย

PHOTO.NO.3 Roll NO.1					
Point NO.	Forward		Backward		remark
	x (mm.)	y (mm.)	x (mm.)	y (mm.)	
I	139.436	106.290	139.433	106.282	
II	194.908	106.049	194.902	106.043	
III	194.674	50.369	194.674	50.372	
IV	139.212	50.626	139.216	50.634	
1	153.617	89.561	153.619	89.561	
2	165.517	89.814	165.513	89.814	
3	186.919	90.106	186.924	90.105	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
96	162.065	69.419	162.057	69.420	

3.3.2 การคำนวณปรับแก้เพื่อหาค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่าย
แบ่งชิ้นการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

3.3.2.1 การคำนวณปรับแก้เพื่อหาค่าพิกัดทางราบของจุดควบคุมหลัก

จากข้อมูลที่ได้ในสนามตามหัวข้อ 3.2.2 ซึ่งประกอบด้วยมุมภายใน และความยาวของด้านต่าง ๆ ของโครงข่ายสามเหลี่ยม ตามผนวก ก 1 และ ก 2 ระยะที่อ่านได้โดยตรงจากเครื่องวัดระยะจะเป็นระยะลาด โดยมีความคลาดเคลื่อนมีระบบอันเนื่องมาจากสภาพบรรยากาศแผ่อยู่ ระยะราบของด้านใด ๆ หาได้จากความสัมพันธ์

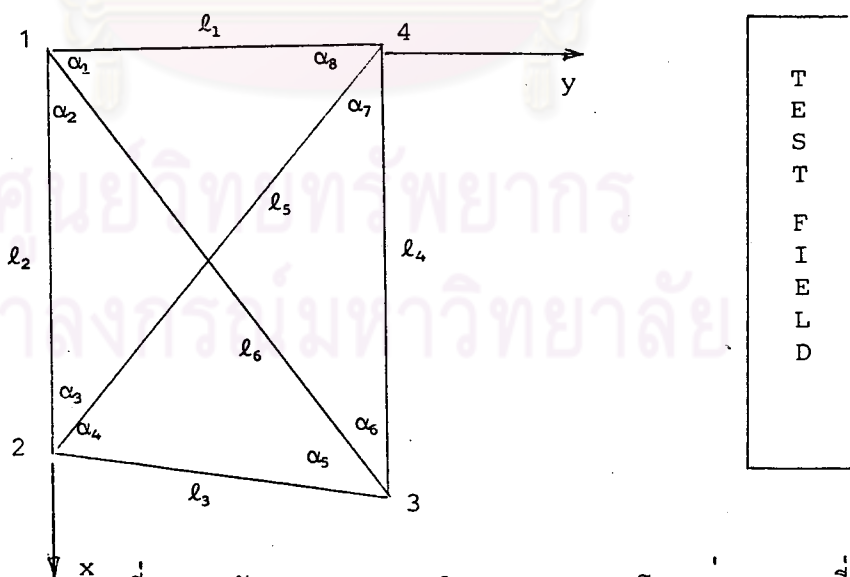
$$H = S \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

H คือระยะราบของด้านใด ๆ

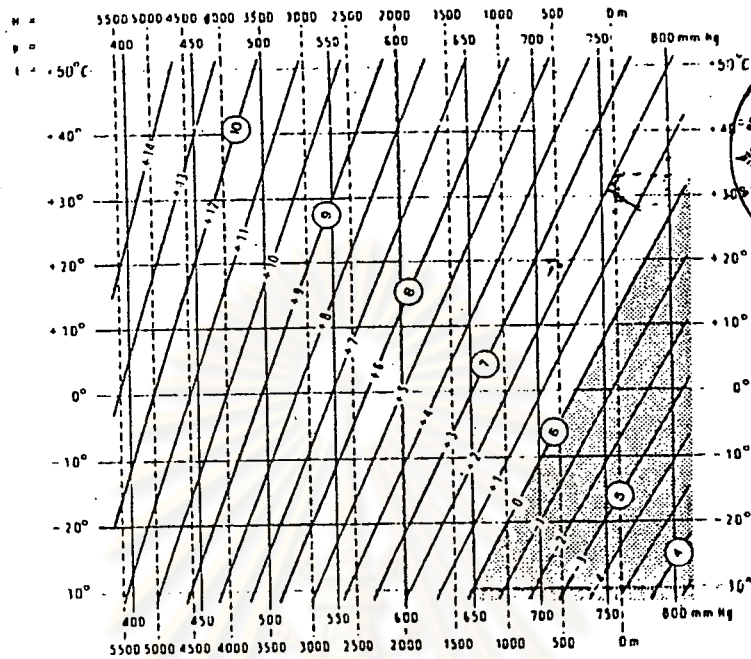
S คือระยะลาดที่แก้สภาพบรรยากาศแล้ว จำนวนแก้กันเนื่องจากสภาพบรรยากาศ หาได้จากตารางกราฟ ของคู่มือการใช้เครื่อง WILD DI 3S ดังรูป 3.9 โดยใช้ค่าอุณหภูมิและความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

θ คือค่ามุมตั้งที่วัดได้

ค่าของระยะราบที่คำนวณจากสมการ (3.1) อยู่ในตารางของภาคผนวก ก 2 ใช้วิธีการปรับแก้แบบผสมระหว่างโครงข่ายสามเหลี่ยมและโครงข่ายด้านสามเหลี่ยม (adjustment of combined triangulation and trilateration)(Davis, et al., 1981)



รูปที่ 3.8 ลักษณะของมุมภายในและระยะของโครงข่ายสามเหลี่ยมตามรูป 3.8 จุด 1,2,3,4 คือจุดปลาย (apexes) ของโครงข่ายสามเหลี่ยม $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_8$ เป็นค่าเฉลี่ยของมุมภายใน l_1, l_2, \dots, l_6 เป็นค่าเฉลี่ยของระยะราบของด้าน



Graph 1a Atmospheric correction graph for met. data in °C, mm Hg or metres above sea level. Thin lines and unringed numbers give atmospheric correction in-mm per 100 m or 1/100ths ft per 1000 ft. Thick lines and ringed numbers give measuring scale switch positions.

รูปที่ 3.9 กราฟสำหรับหาจำนวนแก้ไขเนื่องจากสภาพบรรยากาศ

จาก Davis, et al., (1981)

ถ้า AZ_{ij} คือค่าอะซิมุทของคานจากจุด i ไปจุด j โดยนับจากแกน y เวียนตามเข็มนาฬิกา x และ y คือค่าพิกัดจากระนาบของจุดใด ๆ สมการของมุม คือ

$$\alpha_1 = AZ_{13} - AZ_{14}$$

$$\alpha_2 = AZ_{12} - AZ_{13}$$

.....(3.2)

$$\alpha_8 = AZ_{41} - AZ_{42}$$

$$AZ_{ij} = \arctan \frac{-(x_j - x_i)}{(y_j - y_i)}$$

$$(i = 1, 4 : j = 1, 4)$$

สมการของระยะทางราบระหว่างจุดใด ๆ (d_{ij}) ที่ทราบค่าพิกัดจากระนาบของจุด

ปลายทั้งสอง คือ

$$d_{ij} = [(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2]^{1/2}$$

นั่นคือ

$$\begin{aligned}
 l_1 &= [(x_4 - x_1)^2 + (y_4 - y_1)^2]^{\frac{1}{2}} \\
 l_2 &= [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(3.3)
 \end{aligned}$$

$$l_6 = [(x_1 - x_3)^2 + (y_1 - y_3)^2]^{\frac{1}{2}}$$

สมการ (3.2) และ (3.3) เป็นสมการเชิงซ้อน แสดงให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้น

(วิชา, 2524)

$$V = AX + L \dots\dots\dots(3.4)$$

V คือ เวกเตอร์เศษคงเหลือของค่าสังเกตประกอบด้วยมุมทั้งหมด 8 มุม และระยะ
 14×1
 ของตาน 6 ตาน

A คือ สัมประสิทธิ์เมทริกซ์ ได้จากพาริเซี่ยลเคอริเวทีฟส์ ของสมการ (3.2) และ
 14×5
 (3.3) เทียบกับค่าพิกัดของจุดต่าง ๆ ของโครงข่ายค่าพิกัด x_A, y_A และ y_B (รูป 3.3) เป็น
 ค่าคงที่ จำนวนพารามิเตอร์ของการปรับแก้ ประกอบด้วย x_B, x_C, y_C, x_D และ y_D

L คือ เวกเตอร์ค่าแยงของสมการ (3.2) และ (3.3)
 14×1

X คือ เวกเตอร์ค่าตรวจแก้ของค่าประมาณ (x_0)
 5×1

โดยเทคนิคของลีสต์แควร์ (วิชา, 2524)

$$X = -N^{-1}U \dots\dots\dots(3.5)$$

$$N = A^T P A$$

$$U = A^T P L$$

P คือ เมทริกซ์น้ำหนักของค่าสังเกต

$$X_a = X_0 + X \dots\dots\dots(3.6)$$

จากสมการ(3.5)และ(3.6) จะได้ค่าพิกัดที่ปรับแก้แล้ว (x_a) ของจุดควบคุมหลัก
 น้ำหนักของค่าสังเกต

จาก Mikhail (1981)

$$P = \sigma_0^2 \Sigma^{-1}$$

14×14

Σ คือ เมทริกซ์ของความแปรปรวน

σ_{θ_t} ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการตั้งเป้าไม่ตรงทั้งหมด โดยใช้

optical plummet $\sigma_t = \pm 0.5 \text{ mm}$.

$$\sigma_{\theta_p} = \sigma_p / \sqrt{n} \dots\dots\dots(3.11)$$

$$\sigma_{\theta_r} = \sigma_r / \sqrt{n} \dots\dots\dots(3.12)$$

σ_{θ_p} และ σ_{θ_r} ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดมุมราบอันเนื่องจากการจับที่ทหมาย (pointing) และการอ่านค่าจนวนองศาราบ (reading) n คือจำนวนศูนย์ของการวัดมุมเท่ากับ 4 ศูนย์ จาก Mueller (1969)

$$\sigma_{\theta_p} = 2.5$$

$$\sigma_{\theta_r} = 2.5$$

เนื่องจากระยะของด้านต่าง ๆ ของโครงข่ายมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อแทนค่า σ_{θ_c} , σ_{θ_t} , σ_{θ_p} และ σ_{θ_r} จากสมการ (3.9), (3.10), (3.11) และ (3.12) ลงในสมการ (3.8)

จะได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ามุมราบใกล้เคียงกัน คือ $\pm 4''$

นั่นคือ σ_{θ} ของแต่ละมุมมีค่าเท่ากับ $4/206265 \text{ radian}$

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดระยะ σ_{s_i} (พล, 2526)

$$\sigma_{s_i} = [\sigma_{s_1}^2 + \sigma_{s_2}^2 + \sigma_{s_3}^2]^{1/2} / \sqrt{n} \dots\dots\dots(3.13)$$

σ_{s_1} คือความละเอียดของเครื่องมือสำหรับ WILD DI 3S

$$\sigma_{s_1} = 5 \text{ mm} + 5 \text{ ppm}$$

σ_{s_2} คือความคลาดเคลื่อนจากบุคคล = 5 mm.

σ_{s_3} คือความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุอื่น = 3 mm.

n คือจำนวนครั้งของการวัดระยะในโครงข่ายสามเหลี่ยมของจุดควบคุมหลัก โดยทำการวัด 2 ครั้ง ในทิศทางตรงกันข้าม

เนื่องจากระยะราบของด้านในโครงข่าย มีระยะสั้น นั่นคือ $\sigma_{s_1} = 5 \text{ mm}$.

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดระยะแต่ละด้านเมื่อแทนค่าลงในสมการ

$$\sigma_{s_i} = \pm 0.005 \quad \text{m.}$$

เมทริกซ์ความแปรปรวนของพารามิเตอร์ Σ_{xx} (Mikhail, 1981)

$$\Sigma_{xx} = \frac{\Lambda^2}{\sigma_0^2} N^{-1} \quad \dots\dots\dots(3.14)$$

$$\frac{\Lambda^2}{\sigma_0^2} = \frac{V^T P V}{r} \quad \dots\dots\dots(3.15)$$

r คือลำดับชั้นของความเป็นอิสระ (degree of freedom)

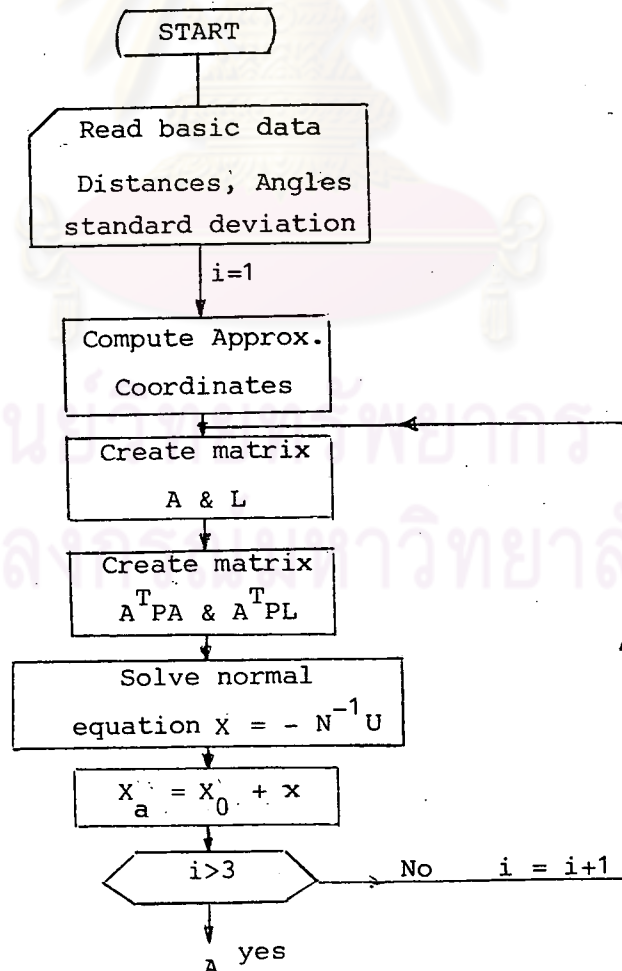
$$r = c - u$$

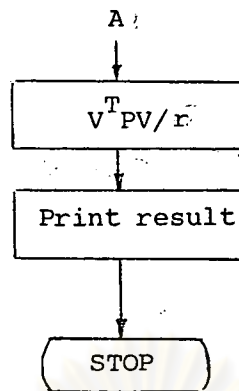
c คือจำนวนสมการคาสั่งเกิด = 14 สมการ

u คือจำนวนพารามิเตอร์ = 5

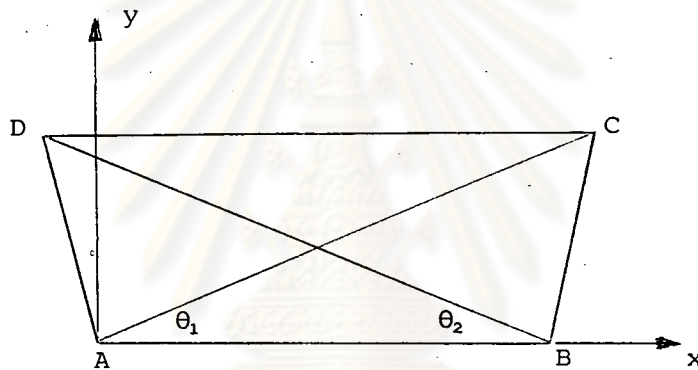
$$r = 14 - 5 = 9$$

การสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณปรับแก้ หาค่าพิกัดของจุดควบคุมหลัก มีผังงาน (flow chart) ตามลำดับชั้น ดังรูป (3.11)





รูปที่ 3.11 flow chart ของการปรับแก้ค่าพิกัดของจุดควบคุมหลัก
การคำนวณค่าประมาณของพิกัดในโครงข่ายของจุดควบคุมหลัก หาได้จากความสัมพันธ์
ทางตรีโกณมิติ ดังนี้



รูปที่ 3.12 การหาค่าประมาณของพิกัดของจุดควบคุมหลัก
จากรูป (3.12) จุด B อยู่บนแกน x ของระบบพิกัดฉากที่สมมติขึ้น

จุด A เป็นศูนย์กลางกำเนิดของระบบพิกัด. มีค่า $x_A = 0.000 \text{ m}$ $y_A = 0.000 \text{ m}$

นั่นคือ

$$x_B = \text{ระยะ AB}$$

$$y_B = 0.000 \text{ m}$$

$$x_C = x_A + AC \cdot \cos\theta_1$$

$$y_C = y_A + AC \cdot \sin\theta_1$$

$$x_D = x_B - BD \cdot \cos\theta_2$$

$$y_D = y_B + BD \cdot \sin\theta_2$$

ในการปรับแก้ทุกขั้นตอนของการวิจัยนี้ใช้คอมพิวเตอร์ของศูนย์สถิติการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ผลของการปรับแก้ โดยใช้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะ ดังกล่าว ได้ค่าความแปรปรวนของน้ำหนักหนึ่งหน่วย หลังการปรับแก้ ($\hat{\sigma}_0$) = 0.74 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำหนักของค่าสังเกตไม่เหมาะสม ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการเปลี่ยนค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะ ซึ่งเป็นผลรวมของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ มีค่าเท่ากับ 4 มม. ผลการปรับแก้ หลังจากการปรับค่าน้ำหนักโดยเปลี่ยนค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ได้ค่า $\hat{\sigma}_0$ = 1.07 ผลการปรับแก้ แสดงอยู่ในตาราง 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงผลการปรับแก้เพื่อหาค่าพิกัดของจุดควบคุมหลักหลังจากเปลี่ยนค่าน้ำหนัก

STATION	Coordinates & Standard deviation(m)				Residual	
	X	SD.X	Y	SD.Y	Angle (")	Distance (m)
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.4	0.006
B	59.222	0.001	0.000	0.000	-1.5	-0.002
C	67.897	0.002	45.208	0.001	1.2	-0.003
D	-3.002	0.001	42.541	0.001	-2.1	0.004
					-0.8	-0.005
					0.4	0.006
					2.8	
					1.2	

การทดสอบทางสถิติหลังการปรับแก้

$$\chi_r^2 = 9 \times 1.14/1 = 10.30$$

จากตาราง Chi-square $\chi_{0.05,9} = 16.92$

จากผลการทดสอบยอมรับการปรับแก้ ค่าที่ได้สามารถนำไปใช้กับการคำนวณในขั้น

ต่อไปได้

3.3.2.2 การคำนวณปรับแก้เพื่อหาค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่าย

ค่าระยะที่วัดจากจุดควบคุมหลักไปยังจุดบังคับภาพถ่ายบนอัจฉริย

ทำการแก้ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสภาพบรรยากาศและทอนให้เป็นระยะราบ ในลักษณะ

เช่นเดียวกันกับระยะราบของโครงข่ายสามเหลี่ยมที่ได้อีกแล้วในข้อ 3.3.2.1 ค่าระยะราบ

ดังกล่าวอยู่ในตารางของภาคผนวก ก 3

สมการของระยะอยู่ในลักษณะเดียวกันกับ สมการ (3.3) คือ

$$l_{ij} = [(x_j - xx_i)^2 + (y_j - yy_i)^2]^{1/2} \dots\dots\dots(3.16)$$

$$(i = 1,4 ; j = 1,99)$$

l_{ij} คือระยะทางราบระหว่างจุดควบคุมหลักจุดที่ i และจุดควบคุมภาพถ่ายจุดที่ j

สมการของค่าพิกัดของจุดควบคุมหลัก คือ

$$xx'_i = xx_i \dots\dots\dots(3.17)$$

$$yy'_i = yy_i$$

xx'_i, yy'_i คือค่าสังเกตของจุดควบคุมหลักได้จากการปรับแก้ในข้อ 3.3.2.1

xx_i, yy_i คือค่าพิกัดของจุดควบคุมหลักจุดที่

สมการเชิงเส้นของสมการ (3.16) และ (3.17) คือ

$$V_1 = A_1 X_1 + A_2 X_2 + L_1 \dots\dots\dots(3.18)$$

$$V_2 = \quad \quad \quad I X_2 + L_2$$

V_1 คือเวกเตอร์เศษคงเหลือค่าสังเกตของระยะที่วัดจากจุดควบคุมหลัก
396×1

A_1 คือสัมประสิทธิ์เมทริกซ์ ได้จากพาร์เซียลเดอริเวทีฟส์สมการ (3.16) เทียบ
396×198
กับค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่าย 99 จุด

A_2 คือค่าสัมประสิทธิ์เมทริกซ์ ได้จากพาร์เซียลเดอริเวทีฟส์สมการ (3.16)
396×8

เทียบกับค่าพิกัดของจุดควบคุมหลัก 4 จุด

X_1 คือเวกเตอร์ค่าตรวจแก้ของพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่าย
198×1

X_2 คือเวกเตอร์ค่าตรวจแก้ของค่าพิกัดของจุดควบคุมหลัก
8×1

L_1 คือเวกเตอร์ค่าแยงของสมการ (3.16)
396×1

V_2 คือเวกเตอร์เศษคงเหลือค่าสังเกตของพิกัดของจุดควบคุมหลัก
8×1

L_2 คือเวกเตอร์ค่าแยงของสมการ (3.17)
8×1

I คือยูนิตเมทริกซ์

$$\ddot{U} = \sum_{i=1}^{99} (A_{2i}^T P_{1i} L_{1i}) + L_2 P_2$$

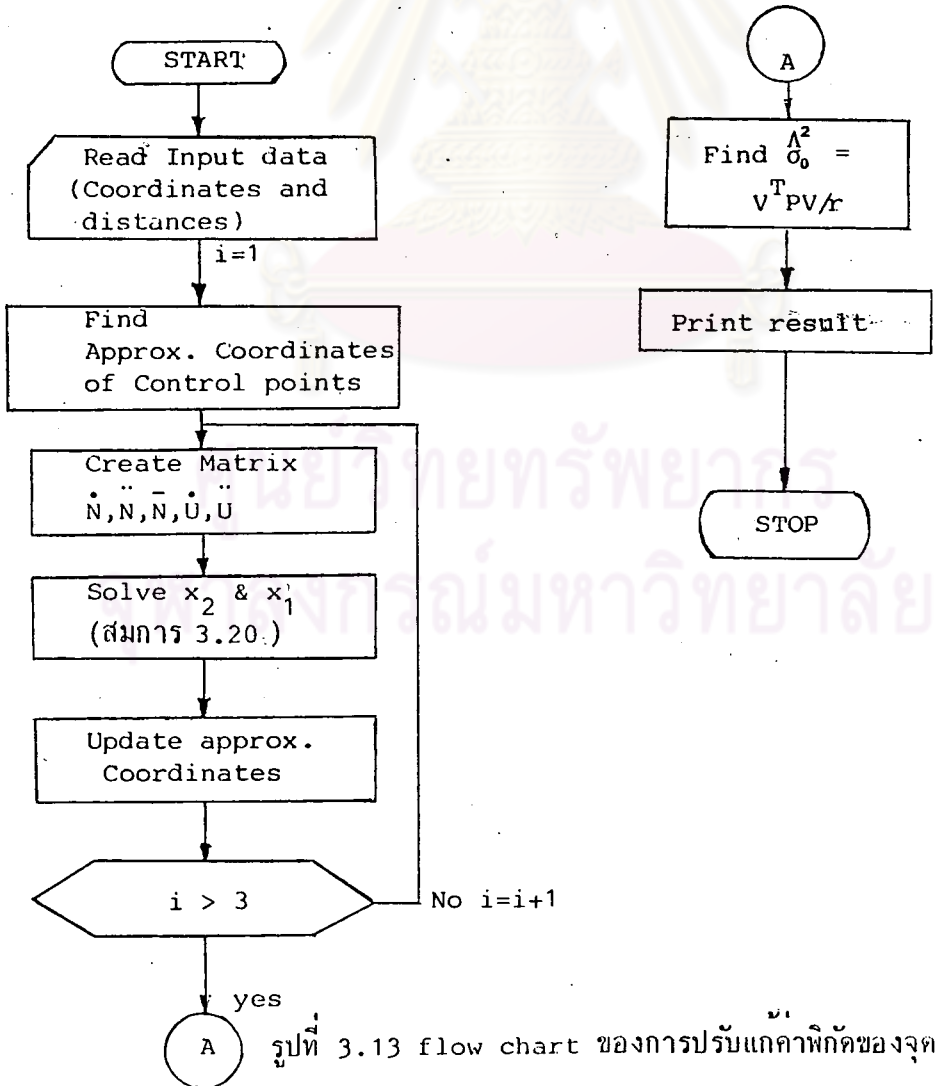
แก้สมการปรกติในลักษณะเดียวกันกับที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.5 โดยการหาเมทริกซ์ ส่วนกลับของ \ddot{N}

$$\begin{aligned} x_2 &= (\ddot{N} - \ddot{N}^T \ddot{N}^{-1} \ddot{N})^{-1} (-\ddot{U} + \ddot{N}^T \ddot{N}^{-1} \ddot{U}) \\ x_1 &= -\ddot{N}^{-1} (\ddot{U} + \ddot{N} x_2) \end{aligned} \dots\dots\dots (3.20)$$

ค่าเมทริกซ์ความแปรปรวนของจุดควบคุมหลัก = $\Lambda_0^2 (\ddot{N} - \ddot{N}^T \ddot{N}^{-1} \ddot{N})^{-1}$

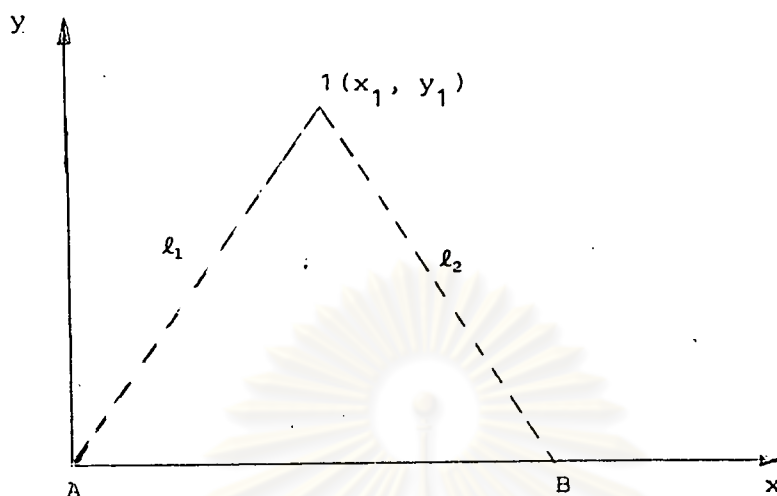
ค่าเมทริกซ์ความแปรปรวนของจุดควบคุมภาพถาย
 = $\Lambda_0^2 (\ddot{N}^{-1} + \ddot{N}^{-1} \ddot{N} (\ddot{N} - \ddot{N}^T \ddot{N}^{-1} \ddot{N}) \ddot{N}^T \ddot{N}^{-1})$

การสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้คำนวณค่าพิกัดทางราบของจุดบังคับ มีผังงาน (flow chart) ตามลำดับขั้น ดังรูป 3.13.



รูปที่ 3.13 flow chart ของการปรับแก้ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถาย

การหาค่าประมาณพิสัยของจุดควบคุมภาพถ่าย



รูปที่ 3.14 การหาค่าประมาณพิสัยของจุดควบคุม

จากรูป 3.14 A คือศูนย์กำเนิดของระบบพิกัดจากระนาบมีค่าพิกัด $x_A = 0.000$ m. $y_A = 0.000$ m. B เป็นจุดปลายของโครงข่ายสามเหลี่ยม จุด B อยู่บนแกน x ระยะระหว่าง $AB = 59.225$ m. (จากตารางของภาคผนวก ก2) พิกัดของจุด B $x_B = 59.225$ m., $y_B = 0.000$ m.

พิสัยประมาณของจุดใด ๆ คือ

$$l_1^2 = x_1^2 + y_1^2$$

$$l_2^2 = (x_1 - x_B)^2 + y_1^2$$

$$l_1^2 - l_2^2 = x_1^2 - x_1^2 + 2x_1x_B - x_B^2 + y_1^2 - y_1^2$$

$$x_1 = [(l_1^2 - l_2^2) + x_B^2] / 2x_B$$

$$y_1 = (l_1^2 - x_1^2)^{1/2}$$

ผลของการปรับแก้ค่าพิสัยของจุดควบคุม

1. ค่าพิสัยของจุดควบคุมหลัก ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเศษคงเหลือ แสดงอยู่ในตาราง 3.7
2. ค่าพิสัยของจุดควบคุมภาพถ่าย ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าเศษคงเหลือ แสดงอยู่ในตารางของภาคผนวก ก5 และ ก6
3. จากการปรับแก้ $\frac{\Lambda}{\sigma_0} = 1.00$

$$x_r = r \frac{\Lambda^2}{\sigma_0^2}$$

$$r = 198 ; \sigma_0 = 1$$

$$\chi_r^2 = 198$$

จากตาราง Chi-square $\chi_{0.05, 198}^2 = 233.94$

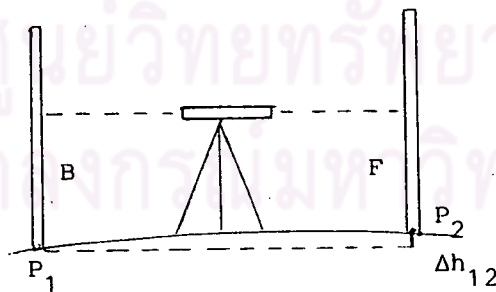
ผลการทดสอบทางสถิติ ยอมรับการปรับแก้ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพถ่าย สามารถนำไปใช้กับการคำนวณในขั้นต่อไปได้

ตารางที่ 3.7 ผลการปรับแก้เพื่อหาค่าพิกัดจากของจุดควบคุมภาพถ่าย

POINT	Adjusted coordinates		Residual of observed coord.	
	x(m)	y(m)	x(m)	y(m)
A	$0.000 \pm 0.686 \times 10^{-5}$	$0.000 \pm 0.686 \times 10^{-5}$	0.000	0.000
B	$59.222 \pm 0.125 \times 10^{-2}$	$0.000 \pm 0.686 \times 10^{-5}$	0.000	0.000
C	$67.900 \pm 0.120 \times 10^{-2}$	$45.206 \pm 0.834 \times 10^{-3}$	+0.002	-0.003
D	$-3.023 \pm 0.454 \times 10^{-3}$	$42.537 \pm 0.797 \times 10^{-3}$	-0.001	-0.004

3.3.2.3 การคำนวณเพื่อหาค่ากำหนดสูงของจุดควบคุมภาพถ่าย

โดยการหาระดับออกจากจุด A ตามรูป 3.3 เข้าไปหาจุดควบคุมต่าง ๆ ตามความสูงต่าง ๆ ระหว่างจุดใด ๆ คือผลต่างระหว่างค่าที่อ่านได้จากไม้หลังกับค่าที่อ่านได้จากไม้หน้า ดังรูป 3.15



รูปที่ 3.15 Spirit leveling

$$\Delta h_{12} = B - F \quad \dots \dots \dots (3.21)$$

เมื่อ B คือการระดับที่อ่านได้จากไม้หลัง (back sight)

F คือการระดับที่อ่านได้จากไม้หน้า (fore sight)

3.4 การแปลงข้อมูลเชิงวิเคราะห์ด้วยการวัดสอบในตัว

จากหลักการและทฤษฎีของการแปลงข้อมูลเชิงวิเคราะห์ด้วยการวัดสอบในตัว ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับการแปลงข้อมูล ๆ ประกอบด้วย

1. ค่าพิกัดของจุดภาพ (image coordinates) ได้จากค่าเฉลี่ยของการวัด 2 ครั้งของแต่ละจุดบนภาพถ่ายแต่ละภาพ ดังรายละเอียดที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3

2. ค่าพิกัดของจุดควบคุม (control points) ได้จากการคำนวณปรับแก้ในหัวข้อ

3.3 ประกอบด้วยพิกัดจากสามมิติของจุดควบคุมต่าง ๆ

3. ค่าประมาณของพารามิเตอร์ของการจัดภาพภายในของแต่ละภาพประกอบด้วย $x_0, y_0, c, A, B, K_1, K_2, K_3, P_1$, และ P_2

4. ค่าประมาณของพารามิเตอร์ของการจัดภาพภายนอก $x_0, y_0, z_0, \kappa, \phi$ และ ω ของแต่ละภาพ

จากรายละเอียดของข้อมูลเบื้องต้น ในข้อ 1 และข้อ 2 ได้เตรียมการไว้พร้อมแล้ว ส่วนข้อมูลในข้อ 3 และข้อ 4 บางส่วน (x_0, y_0, z_0) ได้หามาแล้วในขณะถ่ายภาพจำเป็นต้องการคำนวณมาให้ได้เพื่อที่จะนำไปใช้ในการแปลงข้อมูล ๆ ตามหลักการที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

3.4.1 การหาค่าประมาณของพารามิเตอร์

ค่าประมาณของพารามิเตอร์ คำนวณโดยวิธีการ single photo resection เพื่อหาค่า $x_0, y_0, c, x_0, y_0, z_0, \kappa, \phi$ และ ω ของแต่ละภาพโดยกำหนดให้พิกัดของจุดควบคุมมีค่าคงที่และค่าของ A, B, K_1, K_2, K_3, P_1 และ P_2 เป็นปริมาณที่มีค่าเชิงตัวเลขไม่มากนัก การคำนวณในขั้นนี้ไม่นำมาพิจารณา ใช้จำนวนจุด 10 จุด โดยเลือกจุดให้กระจายอยู่ทั่ว ๆ ภาพถ่าย

สมการเชิงเส้นของสมการสภาวะรวมเส้น (สมการ (2.7)) และสมการเชิงเส้นของสมการค่าสังเกตของพารามิเตอร์ของการจัดภาพภายในอยู่ในลักษณะเช่นเดียวกับสมการ (2.12) นั่นคือ

$$\bar{V} = \bar{A} \bar{X} + \bar{L} \quad \dots \dots \dots (3.25)$$

$$\bar{V} = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}, \quad \bar{A} = \begin{bmatrix} A_1 & A_2 \\ I & 0 \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \quad \bar{L} = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix}$$

ถ้า h_1 คือค่ากำหนดสูงของจุด P_1 และ h_2 คือค่ากำหนดสูงของจุด P_2 นั่นคือ

$$h_2 = h_1 + \Delta h_{12} \quad \dots\dots\dots (3.22)$$

กำหนดสูงของจุดอื่น ๆ ก็จะทำต่อเนื่องกันไปในลักษณะเดียวกับสมการ (3.21)

และ (3.22)

ค่าความสูงต่างระหว่างจุดใด ๆ คือค่าเฉลี่ยของค่าทำไปและทำกลับ

ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำหนดสูงของจุดใด ๆ

จากสมการ (3.22) โดยอาศัยกฎของการแพร่ จะได้

$$\sigma_{h_2}^2 = \sigma_{h_1}^2 + \sigma_{\Delta h_{12}}^2 \quad \dots\dots\dots (3.23)$$

เมื่อ $\sigma_{h_1}^2$ คือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำหนดสูงของจุด P_1

$\sigma_{h_2}^2$ คือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำหนดสูงของจุด P_2

$\sigma_{\Delta h_{12}}$ คือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของ Δh_{12}

จากวิธีการที่กำหนดขึ้น เริ่มทำระดับออกจากจุด A ดังรูป 3.3 โดยกำหนดให้จุด A มีค่ากำหนดสูง 0.000 m. และเป็นค่าที่ปลอดความคลาดเคลื่อน นั่นคือ

$$\sigma_{h_1}^2 = 0.000 \text{ m}^2$$

จาก Mikhail (1981)

$$\sigma_{\Delta h_{12}}^2 = 2D^2 (\sigma_{\alpha}^2 + \sigma_{\beta}^2) \quad \dots\dots\dots (3.24)$$

เมื่อ D คือระยะทางระหว่างกล้องเล็งระดับไปยังไม้หน้า หรือไม้หลัง (ในการตั้งกล้องเล็งระดับระยะระหว่างกล้องเล็งระดับไปยังไม้หน้าและไม้หลังเท่ากัน) มีหน่วยเป็นเมตร

σ_{α} คือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการปรับหลอดระดับมีค่าเท่ากับ 1"

σ_{β} คือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของการอ่านขีดส่วแบ่งบนไม้เล็งระดับ มี

ค่าเท่ากับ 0.001 mm./m.

ค่ากำหนดสูงจุดควบคุมทั้งหมดแสดงอยู่ในตารางของภาคผนวก ก4

v_1 คือ เวกเตอร์ค่าเชิงคงเหลือของค่าพิกัดภาพถ่าย
(20,1)

v_2 คือ เวกเตอร์ค่าเชิงคงเหลือของค่าสังเกต x_0, y_0, c
(3,1)

A_1 คือ สัมประสิทธิ์เมทริกซ์ได้จากพาร์เซียลเดอริเวทีฟส์ สมการ (2.7) เทียบกับ
(20,3)

x_0, y_0, c

A_2 คือ สัมประสิทธิ์เมทริกซ์ได้จากพาร์เซียลเดอริเวทีฟส์ สมการ (2.7) เทียบกับ
(20,6)

x_0, y_0, z_0, μ, ϕ และ ω

x_1 คือ เวกเตอร์ค่าตรวจแก้ค่าประมาณ x_0, y_0, c
(3,1)

x_2 คือ เวกเตอร์ค่าตรวจแก้ค่าประมาณ x_0, y_0, z_0, μ, ϕ และ ω
(6,1)

L_1 คือ เวกเตอร์ค่าแยงของสมการ (2.7)
(20,1)

L_2 คือ เวกเตอร์ค่าแยงของสมการค่าสังเกตของ x_0, y_0, c
(3,1)

ด้วยวิธีการลีสต์แควร์สมการปรกติ ของสมการ (3.25) คือ

$$\bar{x} = -\bar{n}^{-1}u \dots \dots \dots (3.26)$$

ถ้ากำหนดให้ \bar{x}_0 คือ เวกเตอร์ค่าประมาณ และ \bar{x}_a คือ เวกเตอร์ค่าปรับแก้ของพารามิเตอร์ จะได้

$$\bar{x}_a = \bar{x}_0 + \bar{x} \dots \dots \dots (3.27)$$

กำหนดให้ค่าสังเกตแต่ละค่า ไม่มีสหสัมพันธ์กันและเมทริกซ์น้ำหนักของค่าพิกัดภาพถ่ายเป็น unit weight ถ้าให้ P เป็นเมทริกซ์น้ำหนักของค่าสังเกต

$$P = \begin{bmatrix} w_1 & \emptyset \\ \emptyset & w_2 \end{bmatrix}$$

$$w_1 = \begin{bmatrix} 1 & \emptyset \\ \emptyset & 1 \end{bmatrix}, \quad w_2 = \begin{bmatrix} 1/\sigma_{x_0}^2 & \emptyset \\ \emptyset & 1/\sigma_{y_0}^2 \\ \emptyset & \emptyset & 1/\sigma_c^2 \end{bmatrix}$$

(20,20) (3,3)

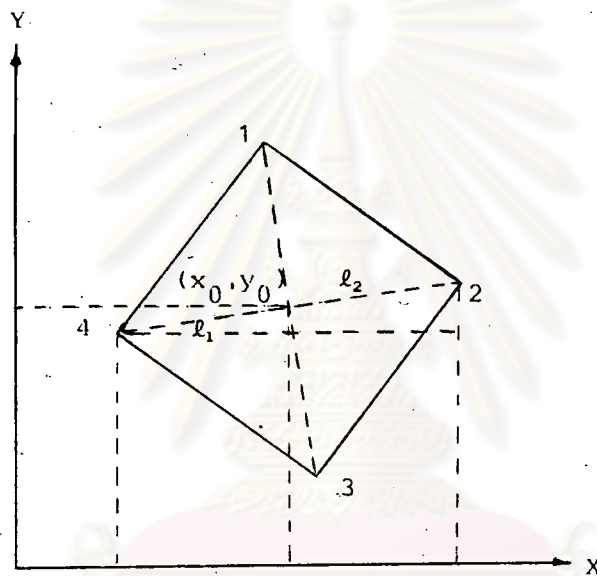
σ_{x_0} , σ_{y_0} และ σ_c คือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของ x_0, y_0, c ตามลำดับ

นั่นคือ

$$N_{(9,9)} = \begin{bmatrix} A_1^T A_1 + W_2 & A_1^T A_2 \\ A_2^T A_1 & A_2^T A_2 \end{bmatrix}; U_{(9,1)} = \begin{bmatrix} A_1^T L_1 + W_2 L_2 \\ A_2^T L_1 \end{bmatrix}$$

ค่าประมาณของพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการปรับแก้ประกอบด้วย

ก. ค่าประมาณพิกัดของจุดमुखยสำคัญ (x_0, y_0, c)



รูปที่ 3.16 แสดงการคำนวณพิกัดของจุดमुखยสำคัญ

ตามรูป (3.16) x, y คือแกนพิกัดของเครื่องวัดพิกัดภาพถ่าย

x_0, y_0 คือพิกัดของจุดमुखยสำคัญอยู่ในระบบแกนพิกัดของเครื่องวัดพิกัดภาพถ่าย

x_i, y_i ($i=1, 4$) คือพิกัดของจุดมุมภาพทั้ง 4 ที่วัดจากเครื่องวัดพิกัดภาพถ่าย

ถ้า l_1, l_2 ระยะทางจากจุดमुखยสำคัญไปยังจุด 4 และจุด 2

ภาพถ่ายที่ใช้ มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด $\approx 55 \times 55$ cm. ตำแหน่งของจุด मुखยสำคัญควรจะอยู่ ณ จุดตัดกันของเส้นทะแยงมุม ดังรูป (3.16) นั่นคือ $l_1 = l_2 = l$

จากรูปสามเหลี่ยมคล้าย

$$\frac{l}{2l} = \frac{(x_0 - x_4)}{(x_2 - x_4)}$$

$$x_0 = \frac{(x_2 + x_4)}{2}$$

(3.28 ก.)

ในทำนองเดียวกัน

$$y_0 = (y_2 + y_4)/2 \quad \dots\dots\dots(3.28 \text{ ข.})$$

จากสมการ (3.28 ก. และ ข.) ค่าพิกัดของจุดมูขยสำคัญ คำนวณจากจุดมุมภาพ จุดที่ 2 และ 4 ดังรูป (3.16) และสามารถคำนวณได้จากพิกัดของมุมภาพจุดที่ 1 และ 3 ค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณปรับแก้ในสมการ (3.26) คือค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ค่า

ค่าพิกัดของจุดมูขยสำคัญที่ได้ดังกล่าว ไม่ทราบว่ามีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่าไร จึงกำหนดให้ค่า $\sigma_{x_0}, \sigma_{y_0}$ มีค่าเท่ากันและเท่ากับ $\pm 0.100 \text{ mm.}$

ข. ค่าประมาณของระยะมูขยสำคัญ (c)

ใช้ค่า nominal focal length ที่ให้มากับเลนส์ที่ใช้ในการวัดสอบ คือ 50 mm. และ 150 mm. และกำหนดให้มีความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_c) = $\pm 0.100 \text{ mm.}$

ค. ค่าประมาณของตำแหน่งถ่ายภาพ (x_0, y_0, z_0)

ได้จากการรังวัดในสนามขณะถ่ายภาพ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 3.2.1

ง. ค่าประมาณของมุมหมุน (x, ϕ, ω)

ในการคำนวณขั้นนี้ กำหนดให้ค่าประมาณของ x, ϕ และ ω มีค่าเป็น 0

ใช้วิธีการสร้างสมการปรกติโดยตรง (สมการ(3.26)) รายละเอียดดูได้จาก Merchant (1973) คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการคำนวณซ้ำ (iteration) โดยกำหนดจำนวนครั้งในการคำนวณซ้ำไว้ 5 รอบ ภาพถ่ายแต่ละชุด ณ ระยะโฟกัสต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วยภาพถ่าย 4 ภาพ ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้ของแต่ละภาพประกอบด้วย $x_0, y_0, c, x_0, y_0, z_0, x, \phi$ และ ω จะนำไปใช้เป็นค่าประมาณในการแปลงข้อมูลเชิงวิเคราะห์ด้วยการวัดสอบในครั้งต่อไป ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป รูปที่ 3.17 แสดง flow chart ของการคำนวณด้วยวิธีการ Single photo resection

ในระยะเริ่มแรกของการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการแปลงข้อมูล ได้ทดลองหาค่าพารามิเตอร์ของการจัดภาพภายในและภายนอกทั้ง 16 ตัวของภาพถ่ายแต่ละภาพ ทำการคำนวณทีละภาพ โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ของการจัดภาพภายในและภายนอกเป็น free unknown parameters (ไม่ใช่ a priori constraints) จากการทดลองในครั้งแรกนี้ ไม่สามารถคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ได้ เวกเตอร์ค่าตรวจแก้ของพารามิเตอร์มีค่าสลับกันไปมา

ระหว่างค่าทางบวกและลบ ในแต่ละรอบของการคำนวณซ้ำ บางภาพเกิดปัญหาของ divergent หัก ๆ ที่ได้พยายามสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายให้อยู่ในระนาบที่ความลึกต่างกัน ในระยะต่อมา ได้ทดลองใช้วิธีการ single photo resection เพื่อคำนวณหาค่า $x_0, y_0, c, X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \varphi$ และ ω กำหนดให้ค่าพิกัดของจุดควบคุมเป็นค่าคงที่โดยไม่มีสมการค่าสังเกตของพารามิเตอร์ปรากฏเหตุการณ์ในลักษณะเดียวกันกับการทดลองในระยะเริ่มแรก สาเหตุของการเกิดเหตุการณ์ในลักษณะเช่นนี้ เนื่องมาจากการเกิดสหสัมพันธ์กันระหว่าง x_0, y_0, c และ X_0, Y_0, Z_0 ทำให้ระบบของสมการปรกติเกิด ill solution หรือถ้าระดับการเกิดสหสัมพันธ์สูงมากจะทำให้ระบบของสมการปรกติเกิด singular (Merchant, 1973, Moniwa, 1980) เหตุการณ์เหล่านี้สามารถแก้ไขได้ โดยบังคับให้พารามิเตอร์เปลี่ยนแปลงได้ในย่านจำกัด (a priori constraints) กล่าวคือ ถ้าต้องการให้ x_0, y_0, c เป็น free unknown parameter ต้องบังคับ X_0, Y_0, Z_0 ในทางกลับกัน ถ้าต้องการให้ X_0, Y_0, Z_0 เป็น free unknown parameter ต้องบังคับ x_0, y_0, c หลังจากได้เปลี่ยนวิธีการโดยการบังคับค่า x_0, y_0, c ตามสมการ (3.25) สามารถคำนวณหาค่า $x_0, y_0, c, X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \varphi$ และ ω ของทุก ๆ ภาพได้โดยง่าย

3.4.2 การแปลงข้อมูลเชิงวิเคราะห์ด้วยการวัดสอบในตัว

ใช้วิธีการปรับแก้ลดค่าด้วยลำแสงของ Photo-variant selfcalibration ดังรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.5 โดยการสร้างสมการปรกติโดยตรง รายละเอียดของวิธีการสร้างสมการปรกติโดยตรงหาได้จาก Amer (1975), Merchant (1973) และ Brown (1969) ข้อมูลที่นำมาใช้ในการปรับแก้ประกอบด้วย

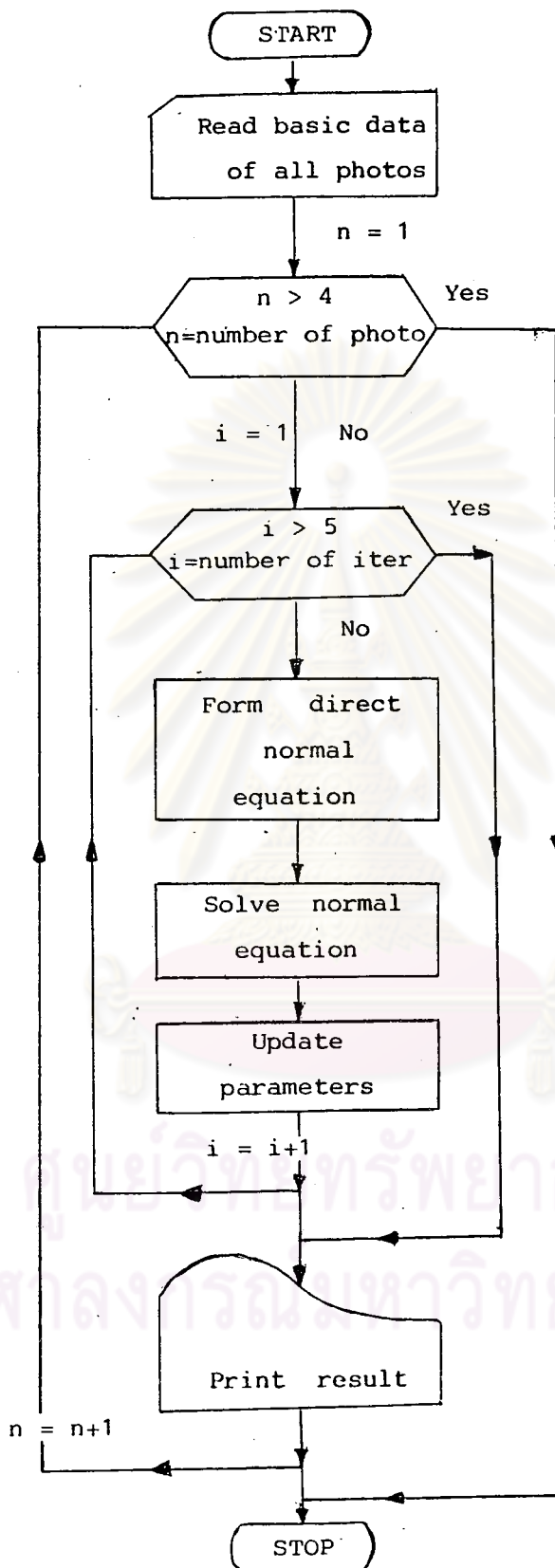
ก. ค่าประมาณพารามิเตอร์ของการจัดภาพภายในและภายนอก

ค่าพารามิเตอร์ของการจัดภาพภายในและภายนอกได้จากการคำนวณในหัวข้อ 3.4.1 ของแต่ละภาพ คือ $x_0, y_0, X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \varphi$ และ ω ค่า c ใช้ค่า nominal focal length ของเลนส์ทั้ง 2 ชนิด ค่าประมาณของ $A, B, K_1, K_2, K_3, P_1, P_2$ มีค่าเชิงตัวเลขไม่มากนัก สามารถกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0 เป็นค่าประมาณเริ่มต้นและกำหนดให้

$$\sigma_{x_0} = \sigma_{y_0} = \sigma_c = \pm 0.100 \text{ mm.}$$

ข. ค่าพิกัดภาพถ่ายและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าพิกัดภาพถ่ายใช้ค่าเฉลี่ยของการวัด 2 ครั้ง กำหนดให้ค่าพิกัดที่วัดจากเครื่องวัดพิกัดภาพถ่าย ไม่มีสหสัมพันธ์กัน และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากัน



รูปที่ 3.17 flow chart ของการคำนวณด้วยวิธี single photo resection

นั่นคือ $\sigma_x = \sigma_y = \pm 0.005 \text{ mm.}$ (Amer, 1975)

และกำหนดให้ $\sigma_0 = \pm 0.005 \text{ mm.}$

ก. ค่าพิกัดจากสามมิติและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของจุดควบคุม พิกัดของจุดควบคุมเป็นพิกัดจากสามมิติ ซึ่งได้จากการคำนวณปรับแก้ ในหัวข้อ 3.3.2.2 และ 3.3.2.3 พร้อมทั้งค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เนื่องจากจำนวนจุดควบคุมมีมาก และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพิกัดมีค่าใกล้เคียงกัน เพื่อความสะดวกในการแปลงข้อมูลจึงใช้ค่า average precision (วิชา 2524)

$$\begin{aligned} \text{average precision} &= \sqrt{\frac{\text{trace } \Sigma}{n}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \dots + \sigma_n^2} \end{aligned}$$

นั่นคือ $\sigma_x = \pm 0.004 \text{ m.}$

$\sigma_y = \pm 0.003 \text{ m.}$

$\sigma_z = \pm 0.001 \text{ m.}$

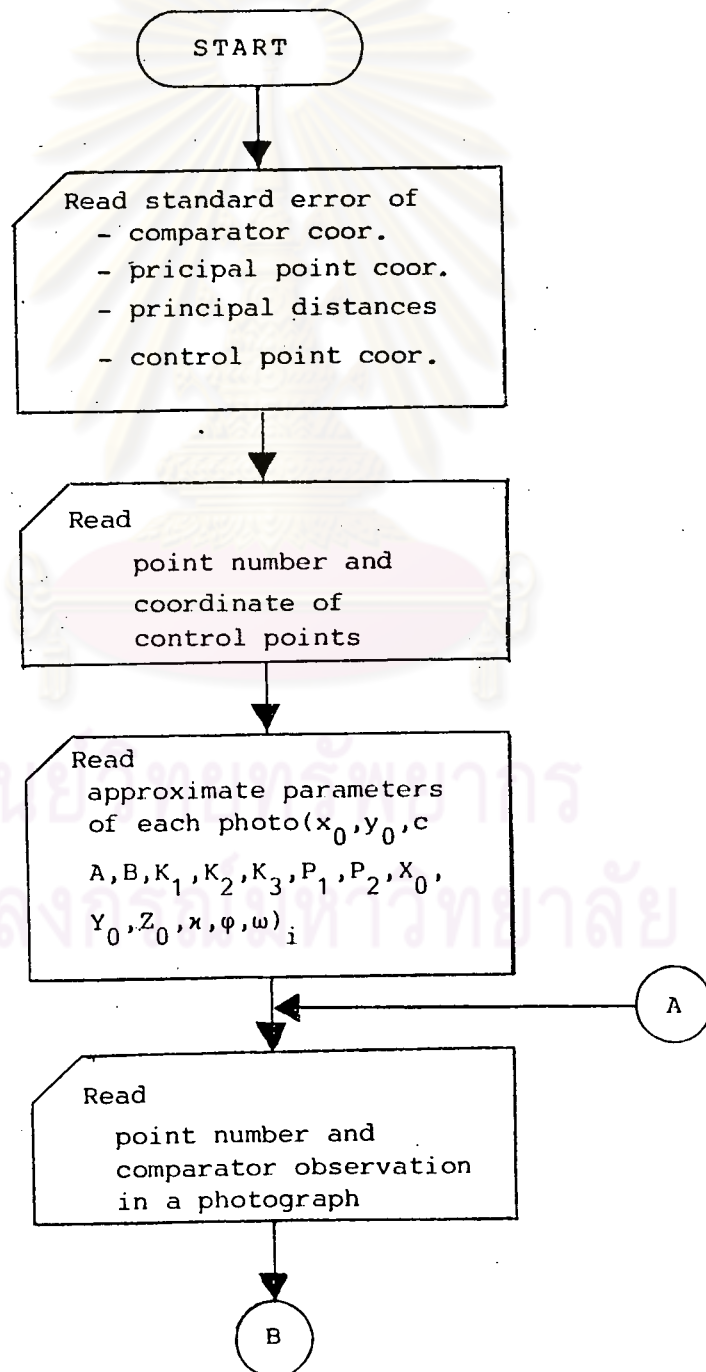
การแปลงข้อมูลตามหลักการที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.5 เป็นหลักการของกรณีทั่วไป กล่าวคือ พารามิเตอร์ของการจัดภาพภายในและภายนอกและพิกัดของจุดควบคุมเป็นค่าที่ทราบมาล่วงหน้าพร้อมกับค่าความแปรปรวนของมันในการแปลงข้อมูลของการทำวิจัยนี้ กำหนดให้ค่า x_0 , y_0 และค่า c เป็นค่าที่ทราบมาล่วงหน้าพร้อมกับค่าความแปรปรวน ($\sigma_{x_0} = \sigma_{y_0} = \sigma_c = \pm 0.100 \text{ mm}$) ทั้งนี้เพื่อขจัดปัญหาการเกิดสหสัมพันธ์กันระหว่าง x_0, y_0, c และ x_0, y_0, z_0 ค่าพารามิเตอร์ของการจัดภาพภายในและภายนอกตัวอื่น ๆ ($A, B, K_1, K_2, K_3, P_1, P_2, x_0, y_0, z_0, \kappa, \phi$ และ ω) กำหนดให้เป็น free unknown parameters โดยให้ค่าเมทริกซ์น้ำหนักของค่าเหล่านี้มีค่าเป็น 0 ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลดังนี้

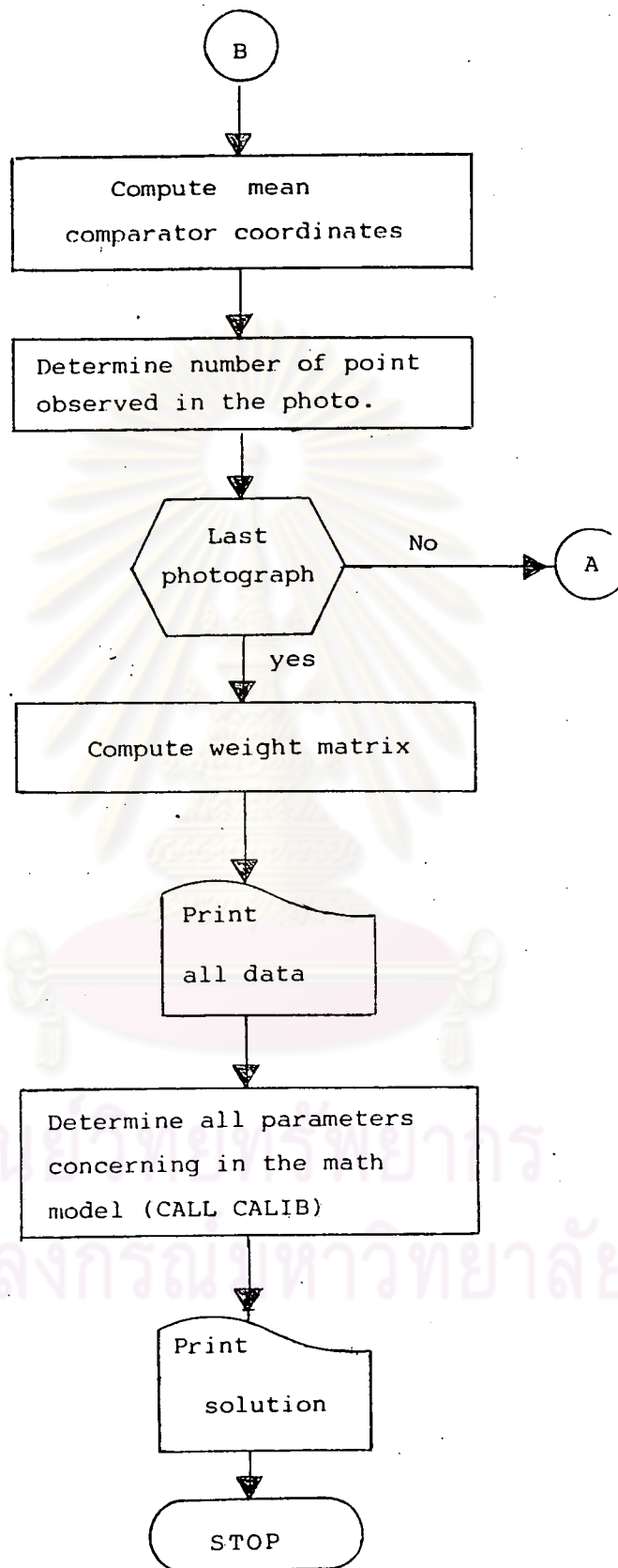
1. ไม่สามารถหาค่า $K_1, K_2, K_3, P_1, P_2, A$ และ B ของกล้อง Hasselblad 500 EL/M ได้ และค่าเหล่านี้อยู่ในลักษณะไม่มีเสถียรภาพ เปลี่ยนแปลงได้ ไม่คงที่แน่นอน ดังที่กล่าวมาแล้วในตอนต้น

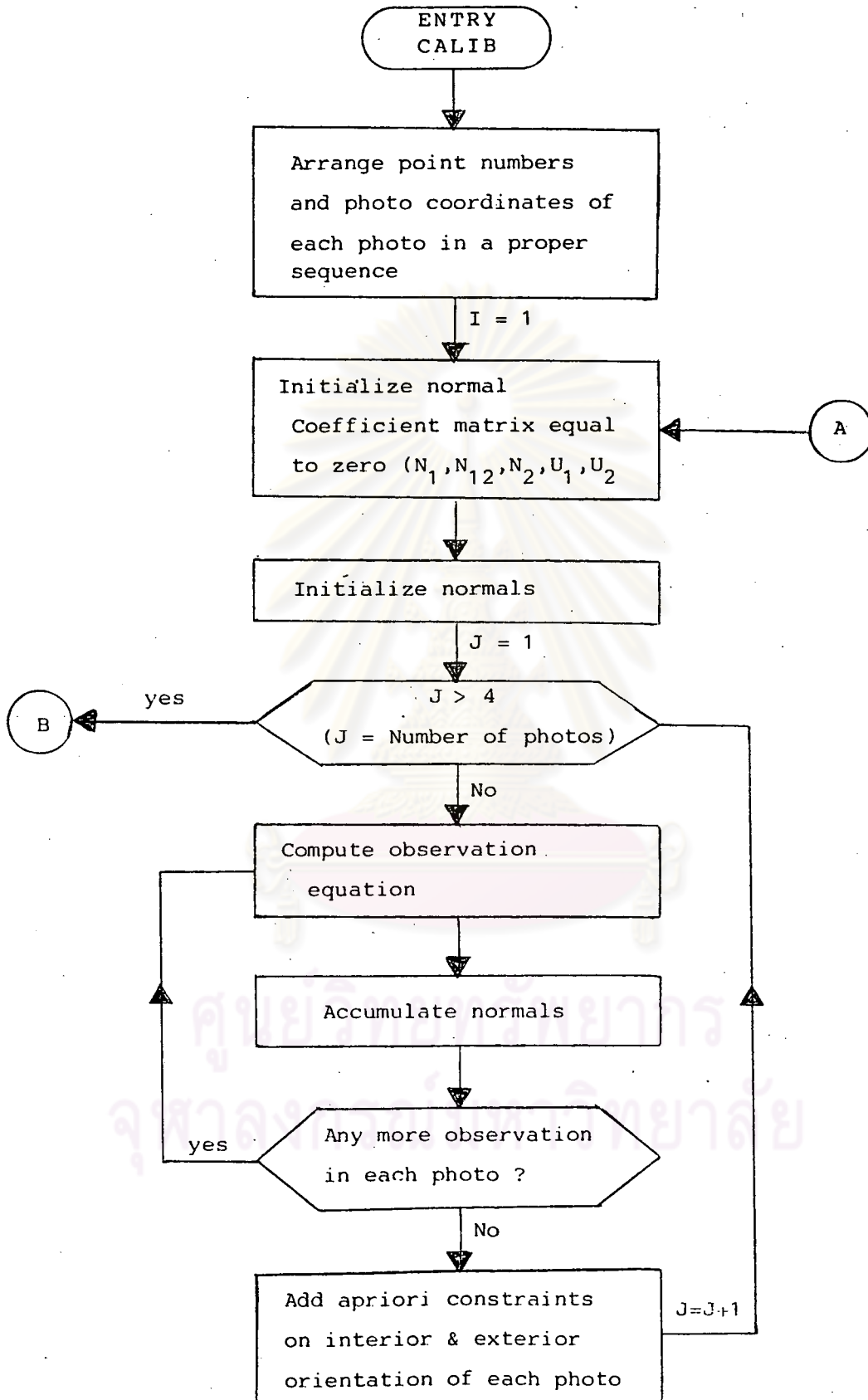
2. กล้องถ่ายภาพ Hasselblad เป็นชนิดแบบทั่วไป ไม่มีเครื่องช่วยในการหาทิศทางการวางตัวของกล้อง (orientation aid) ขณะถ่ายภาพ จึงไม่สามารถหาค่ามุมหมุน (κ, ϕ, ω) ได้อย่างแน่นอน นอกจากประมาณเอาเท่านั้น

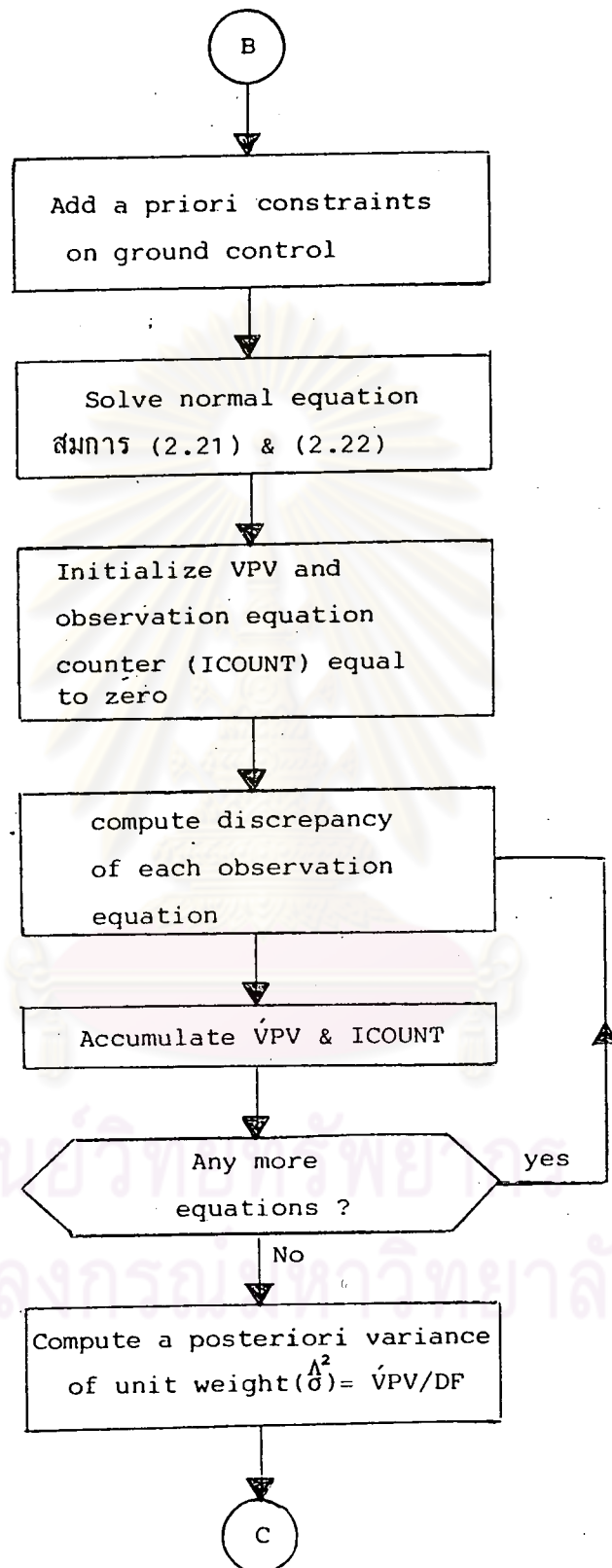
3. ในกรณีทำการถ่ายภาพอย่างรีบด่วน โดยใช้มือถือถือกล้อง(hand held)จึงไม่สามารถหาค่าพิกัดของจุดศูนย์กลางที่วัดขึ้นได้อย่างแน่นอน นอกจากหาได้โดยประมาณเท่านั้น

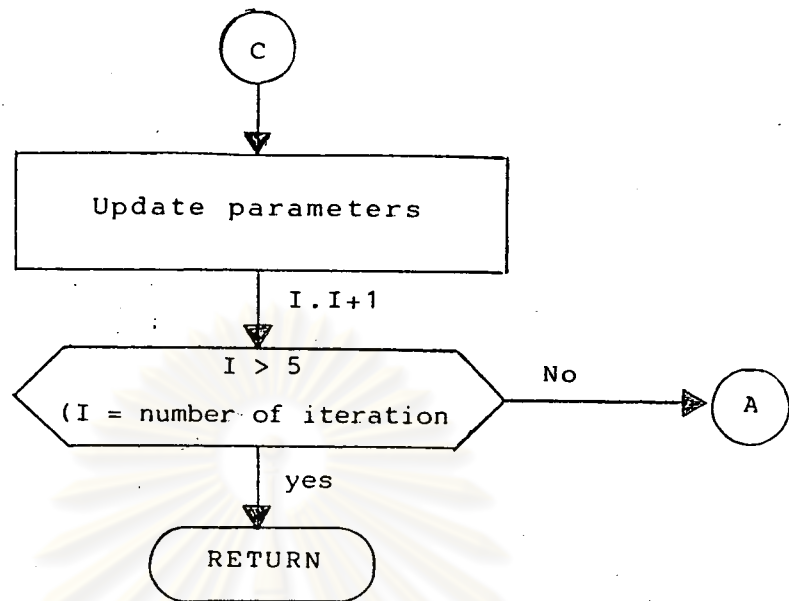
แต่ละชุดของภาพถ่าย ๗ ระยะโฟกัสต่าง ๆ ประกอบด้วยภาพถ่าย 4 ภาพ มีพารามิเตอร์ของการจัดภาพภายในและภายนอก 64 ตัว (16×4) นอกจากนี้ยังประกอบด้วย unknown coordinates ของจุดควบคุมและจุดตรวจสอบ (check points) ใช้วิธีการคำนวณซ้ำ โดยกำหนดจำนวนรอบของการคำนวณซ้ำไว้ 5 รอบ รูปที่ 3.18 แสดงถึง flow chart ของการแปลงข้อมูลฯ ผลของการแปลงข้อมูลแสดงไว้ในตารางของภาคผนวก ข.1











รูปที่ 3.18 flow chart ของการแปลงข้อมูล

การแสดงโค้งความเพี้ยนในรูปของกราฟ

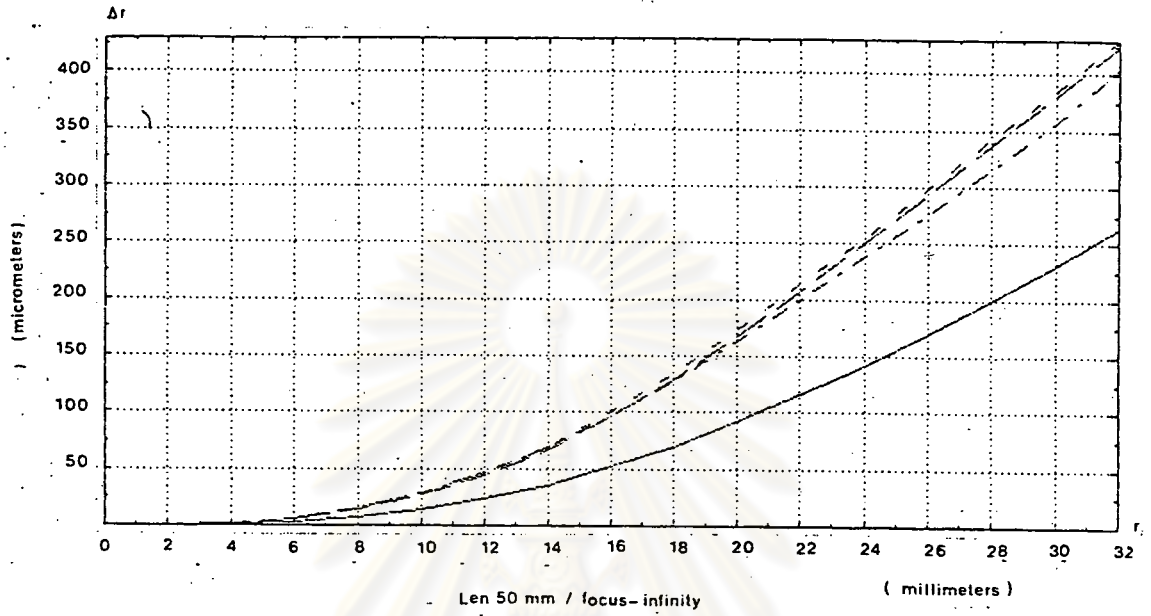
ก. โค้งความเพี้ยนตามแนวรัศมี

กำหนดให้แกน x เป็นระยะจากจุดमुखสำคัญ (r) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร แกน y เป็นค่าของความเพี้ยน (Δr) มีหน่วยเป็นไมโครเมตร (micrometer) วิธีการของการสร้างโค้งความเพี้ยนก่อนการปรับค่า c และหลังการปรับค่า c ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.7.1 ลักษณะของโค้งความเพี้ยนก่อนการปรับค่า c และหลังการปรับค่า c เป็นไปดังรูป 3.19 ก, ข, ค และ ง และรูป 3.20 ก, ข, ค และ ง ค่าพารามิเตอร์หลังการปรับค่า c อยู่ในตารางของภาคผนวก ข.2

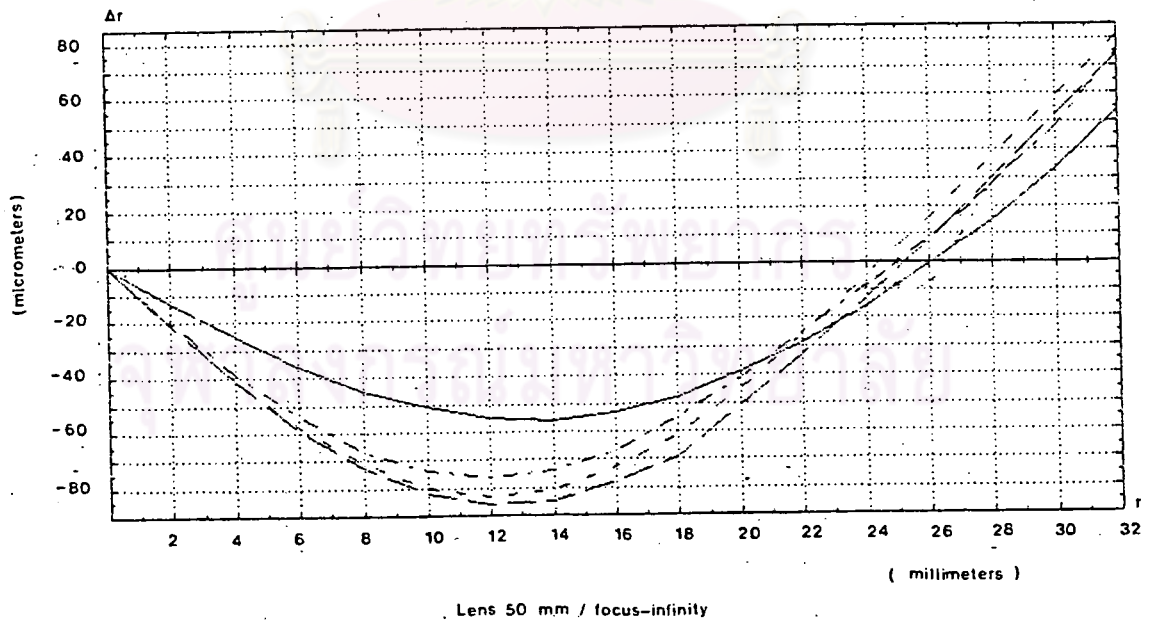
ข. โค้งความเพี้ยนตามแนวเส้นสัมผัส

จากหลักการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.7.2 ให้แกน x แทนระยะจากจุด मुखสำคัญ (r) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร แกน y เป็นค่าความเพี้ยนตามแนวเส้นสัมผัส มีหน่วยเป็นไมโครเมตร ลักษณะของโค้งความเพี้ยนตามแนวเส้นสัมผัส เป็นไปดังรูป 3.21 และ 3.22

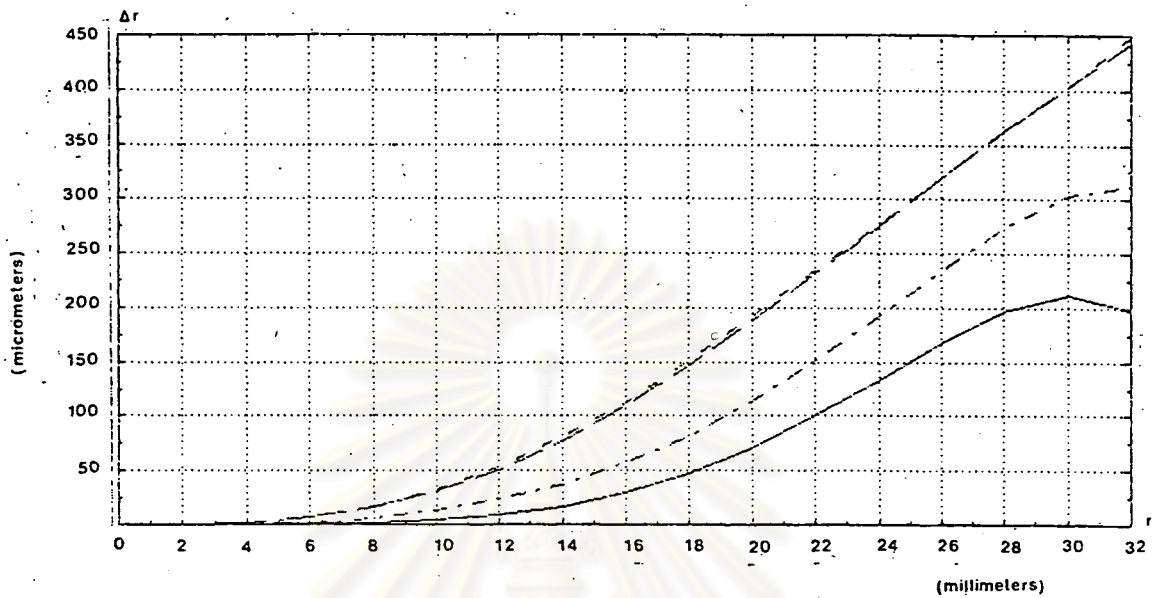
รูปที่ 3.19 โค้งความเห็นตามแนวรัศมีของเลนส์ 50 มม.



ก.1 ก่อนการปรับค่า c

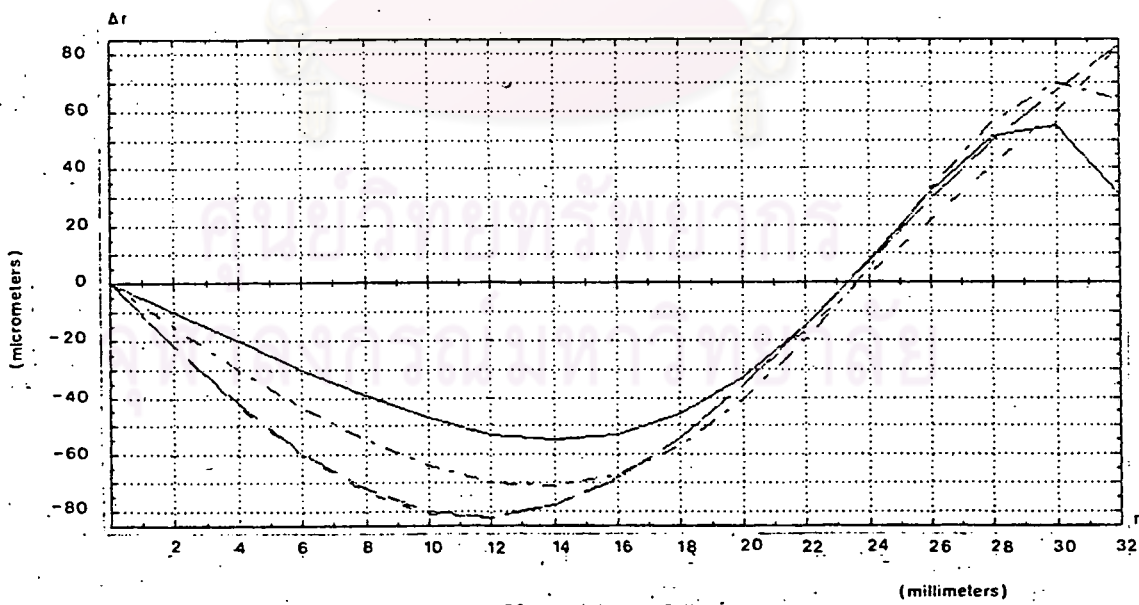


ก.2 หลังการปรับค่า c



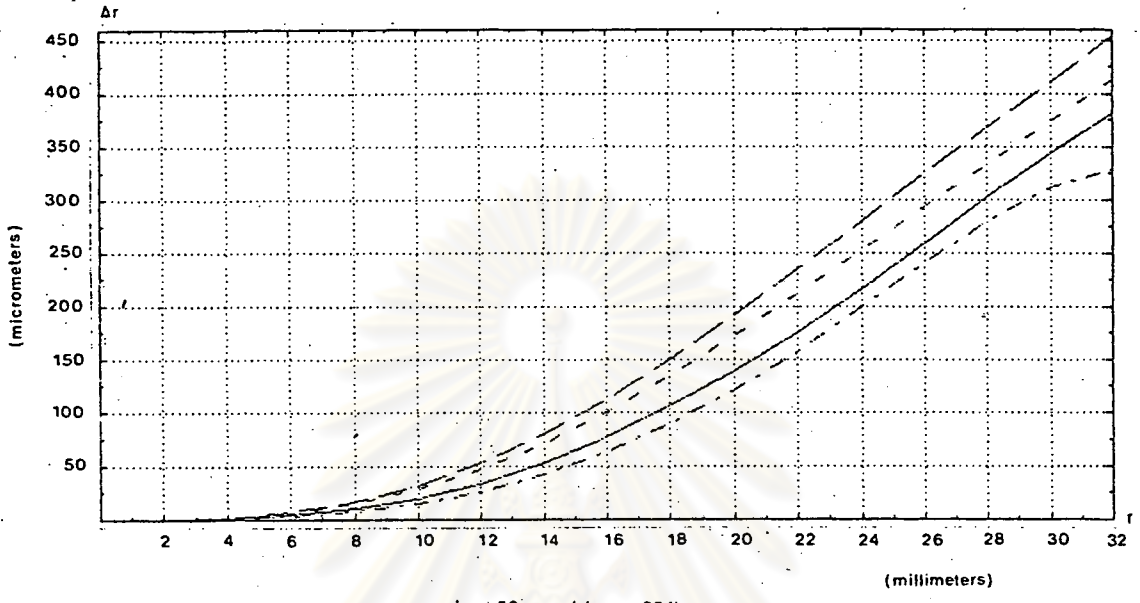
Lens 50 mm / focus 50 ft.

ข.1 ก่อนการปรับค่า c



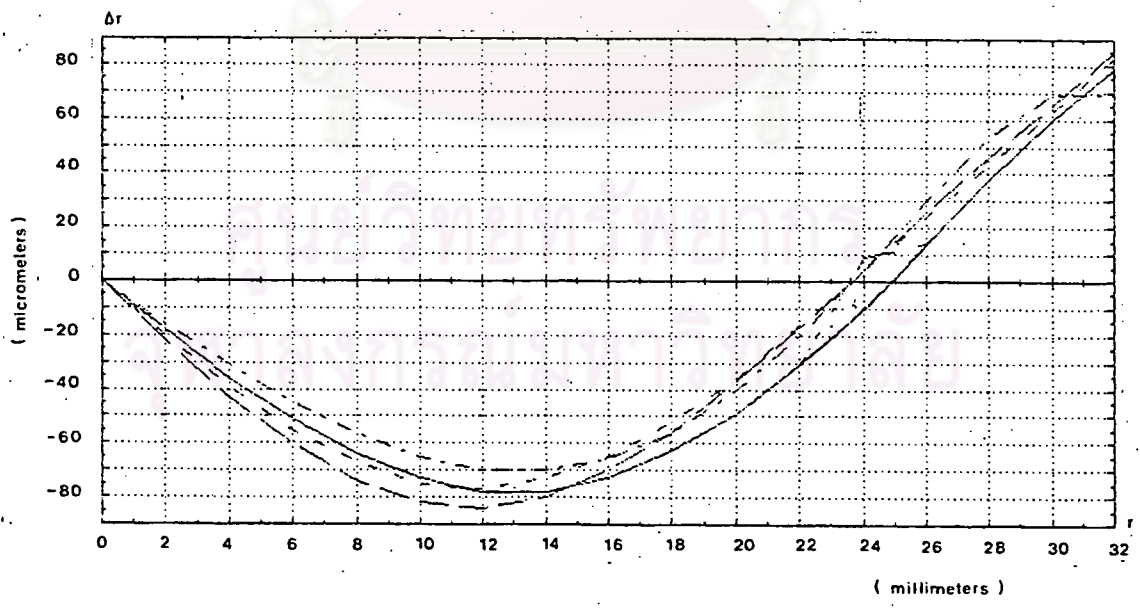
Len 50 mm / focus 50 ft.

ข.2 หลังการปรับค่า c



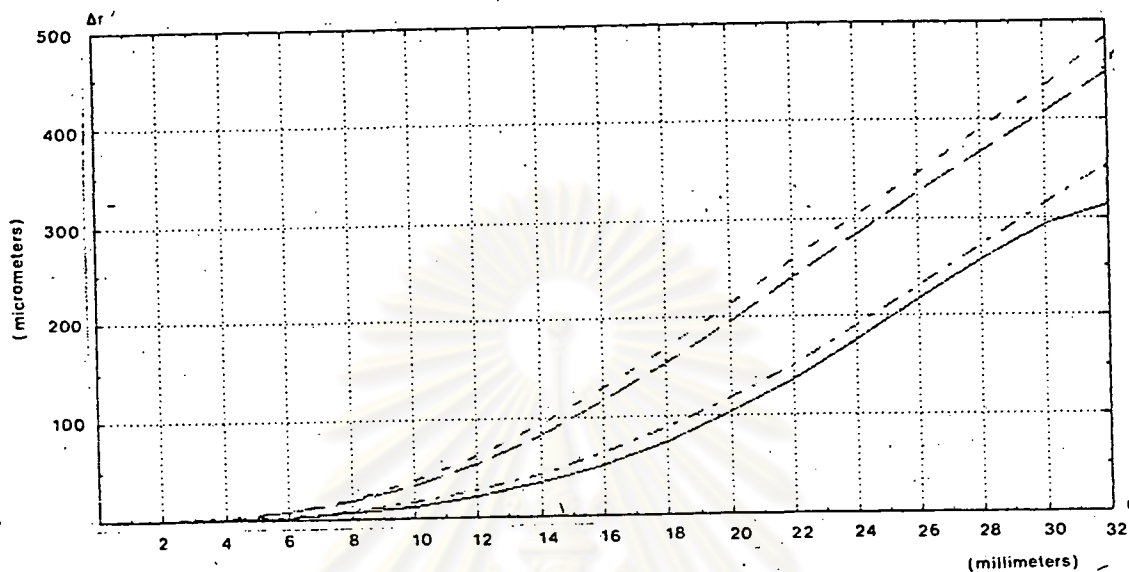
Len 50 mm / focus 30 ft.

ค.1 ก่อนการปรับค่า c



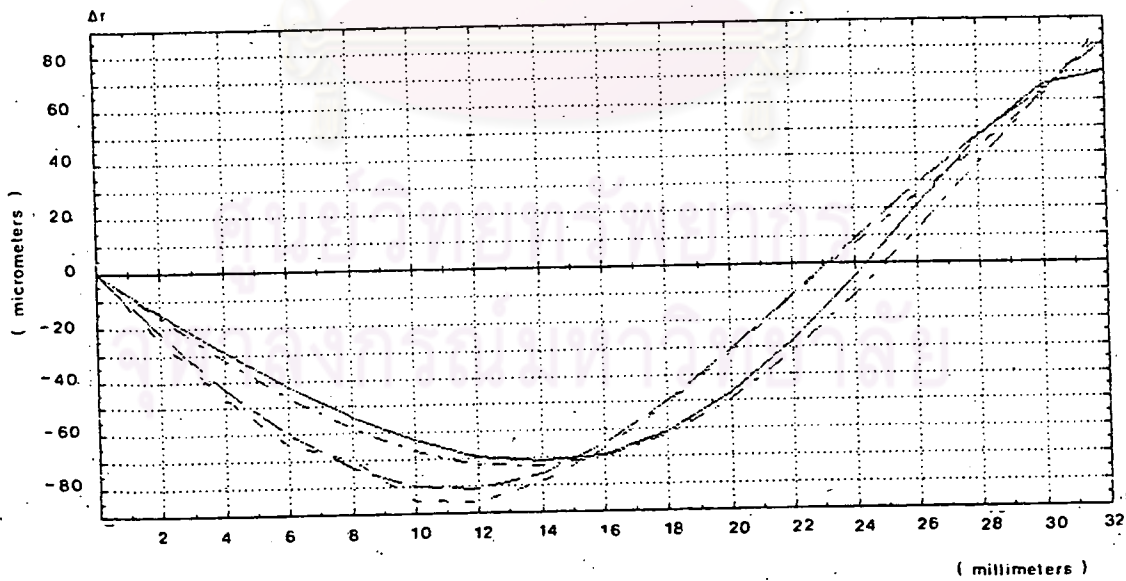
Len 50 mm / focus 30 ft.

ค.2 หลังการปรับค่า c



Lens 50 mm / focus 15 ft.

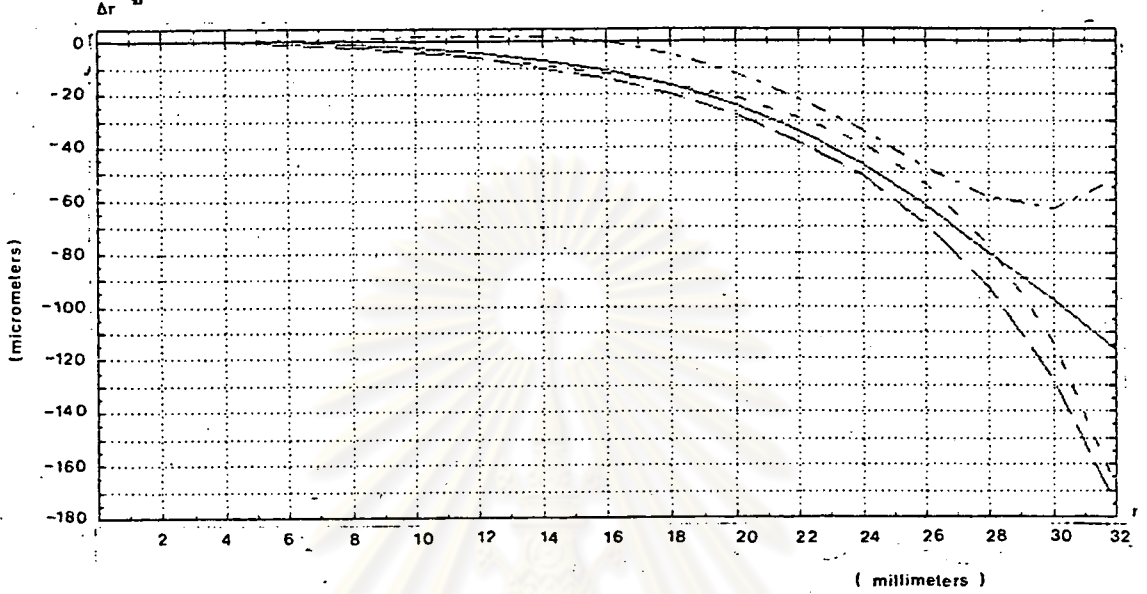
ง.1 ก่อนการปรับค่า c



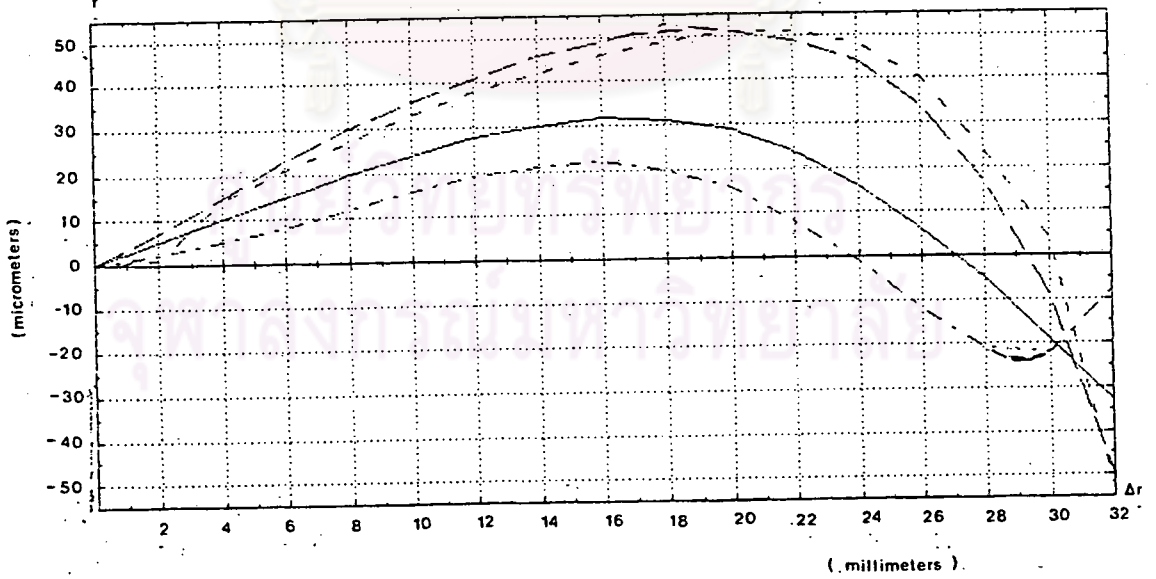
Lens 50 mm / focus 15 ft.

ง.2 หลังการปรับค่า c

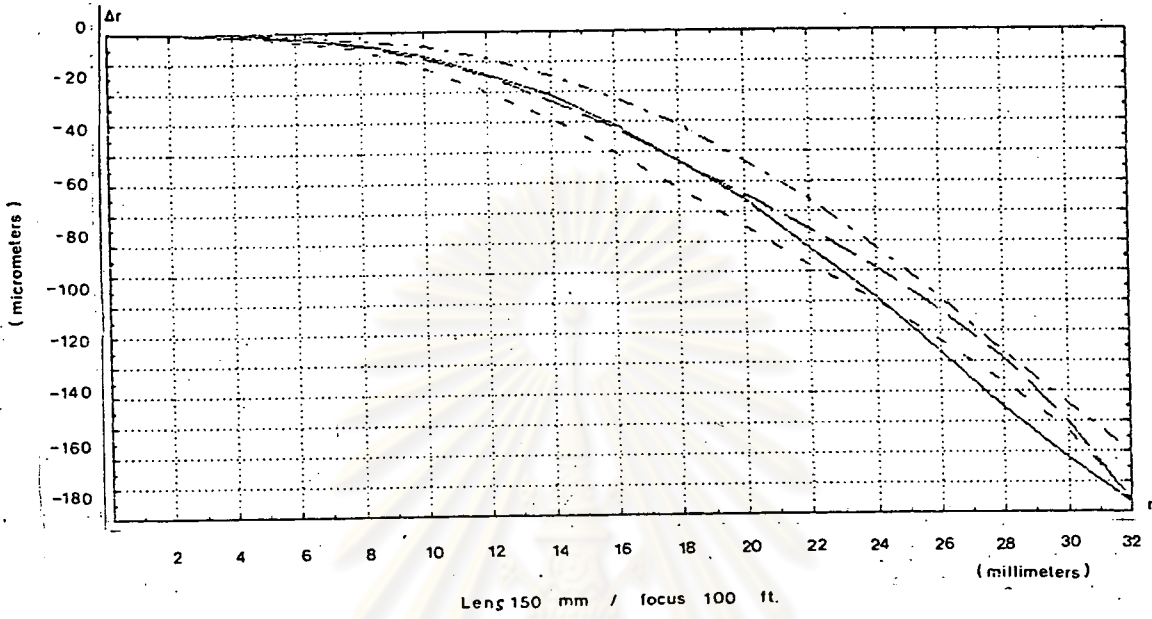
รูปที่ 3.20 โค้งความเพี้ยนตามแนวรัศมีของเลนส์ 150 มม.



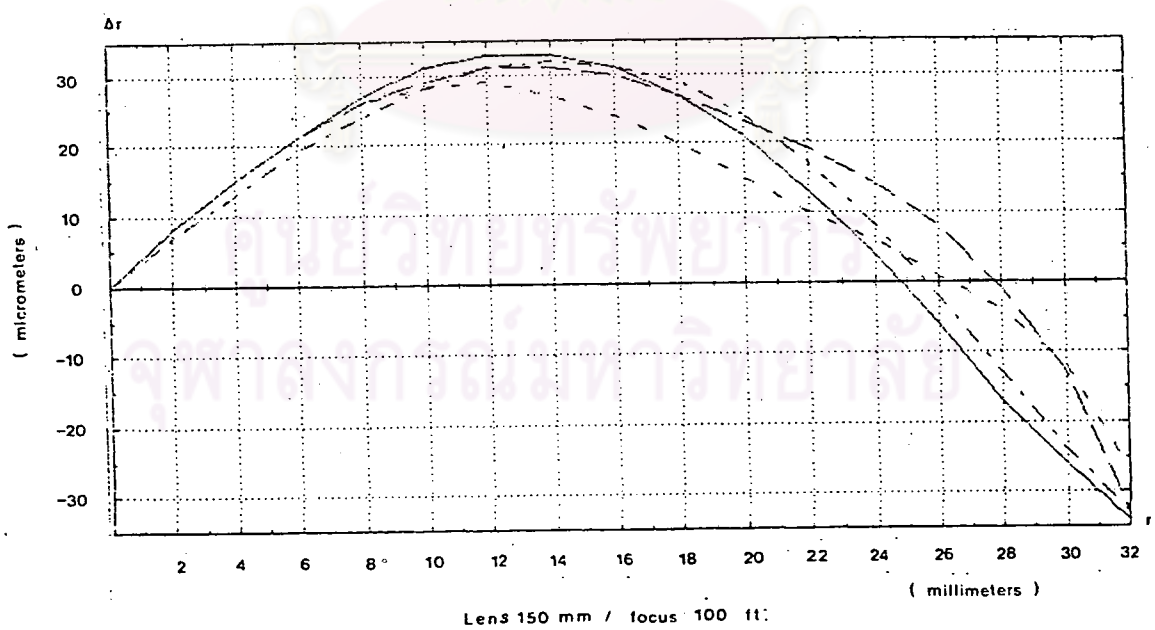
ก.1 ก่อนการปรับค่า c



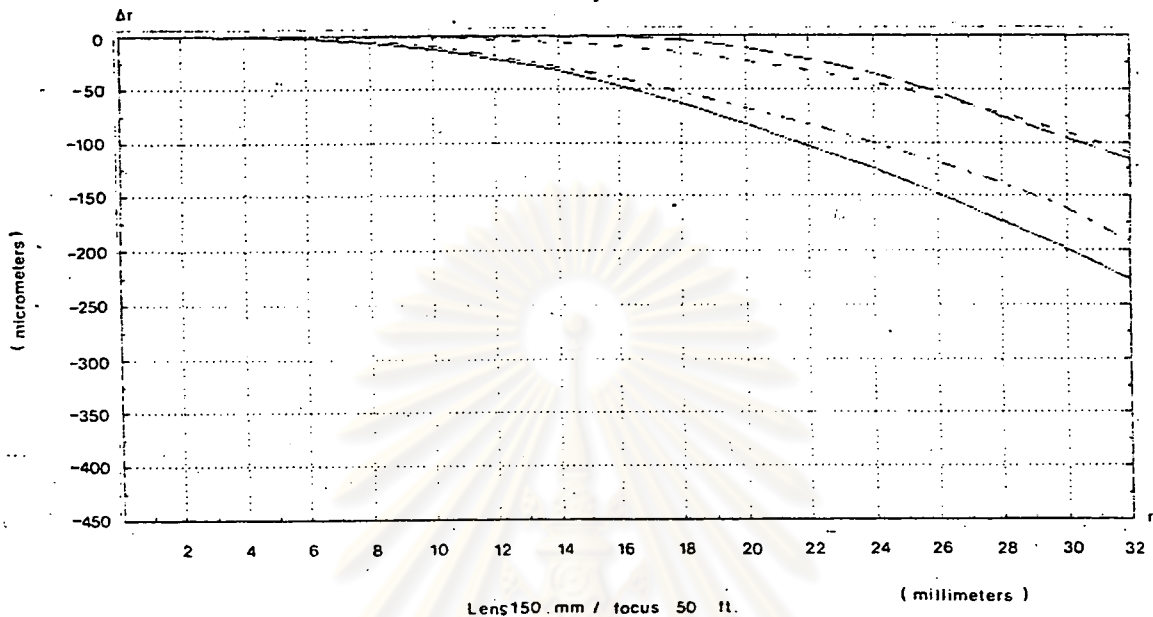
ก.2 หลังการปรับค่า c



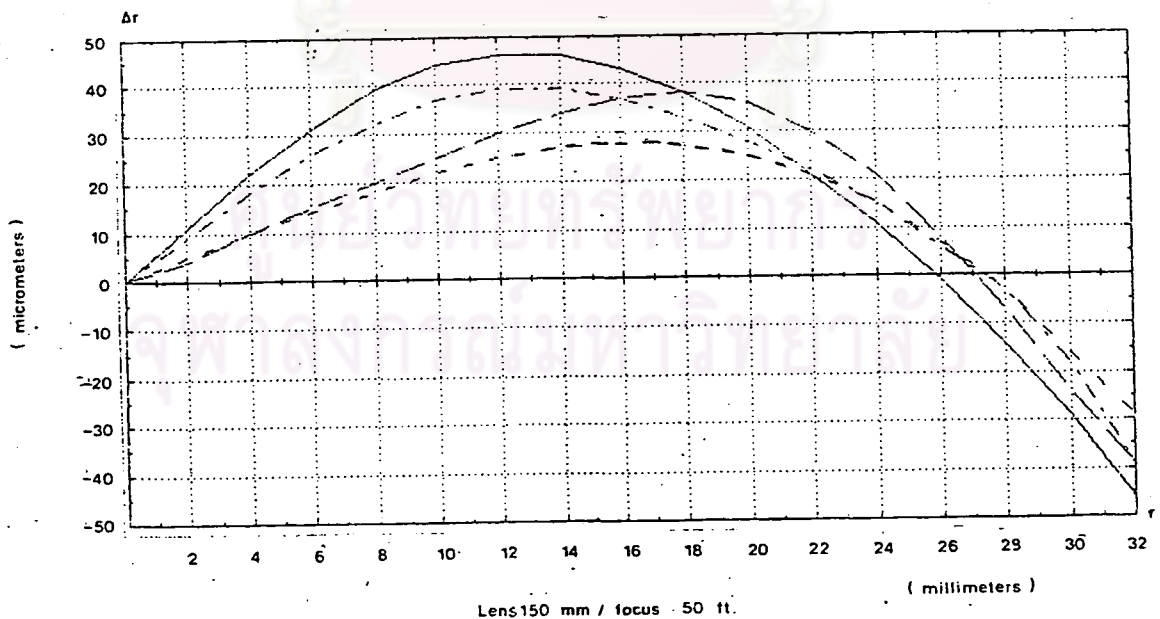
ข.1 ก่อนการปรับค่า c



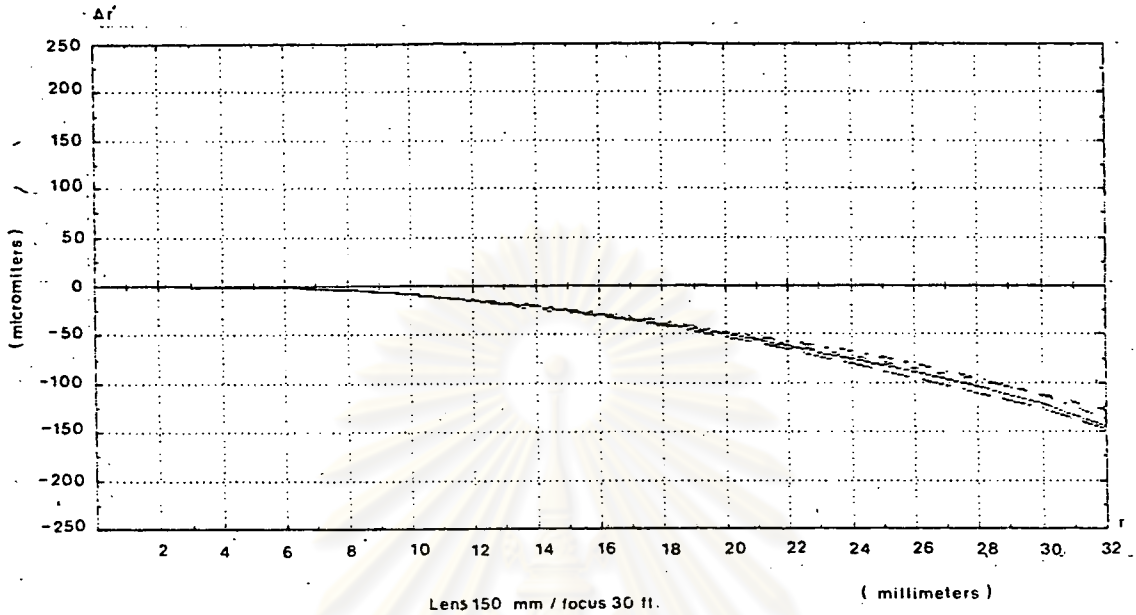
ข.2 หลังการปรับค่า c



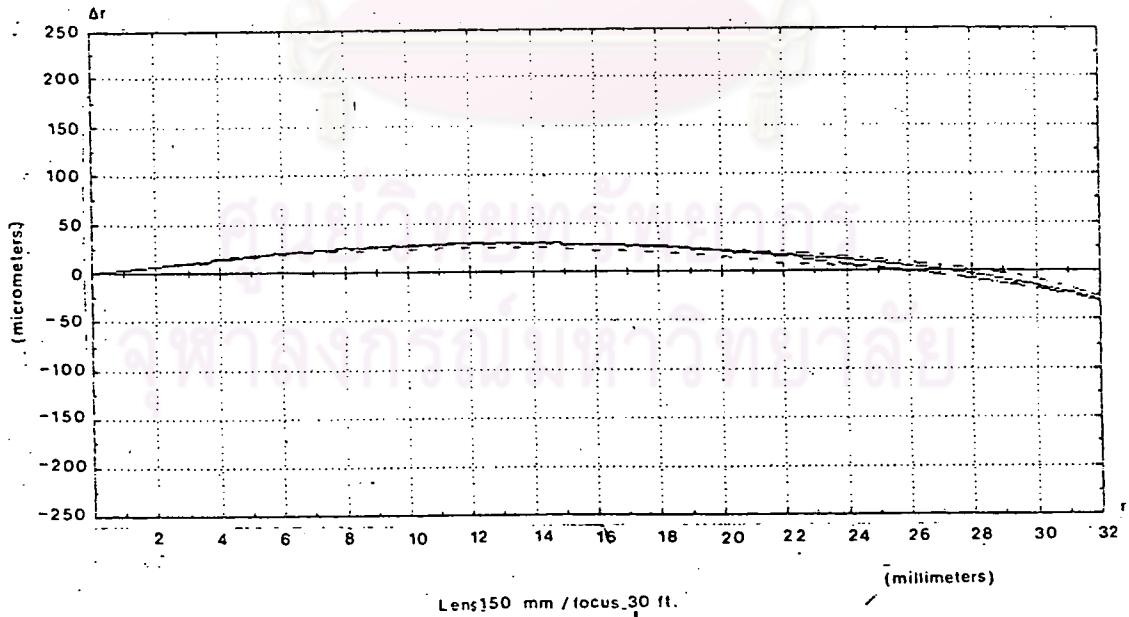
ค.1 ก่อนการปรับค่า c



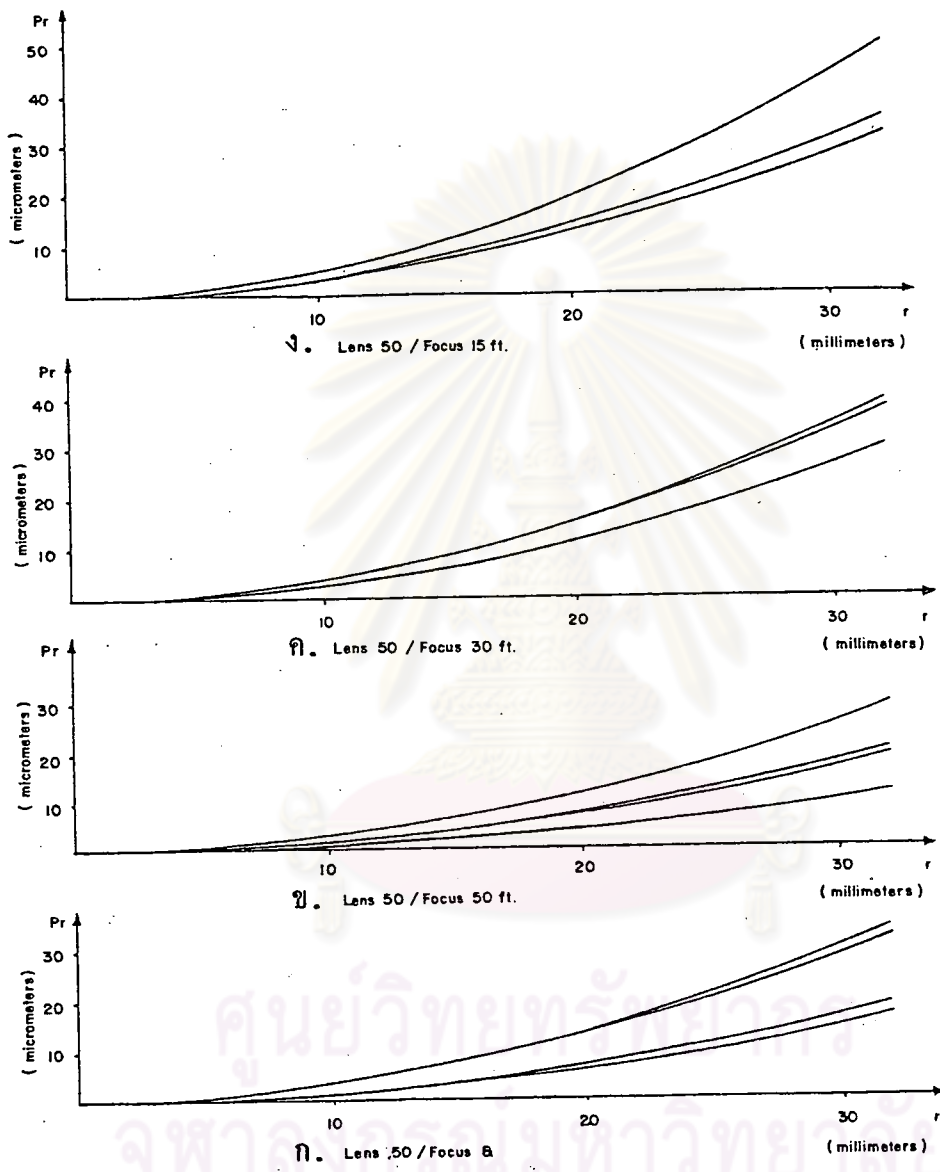
ค.2 หลังการปรับค่า c



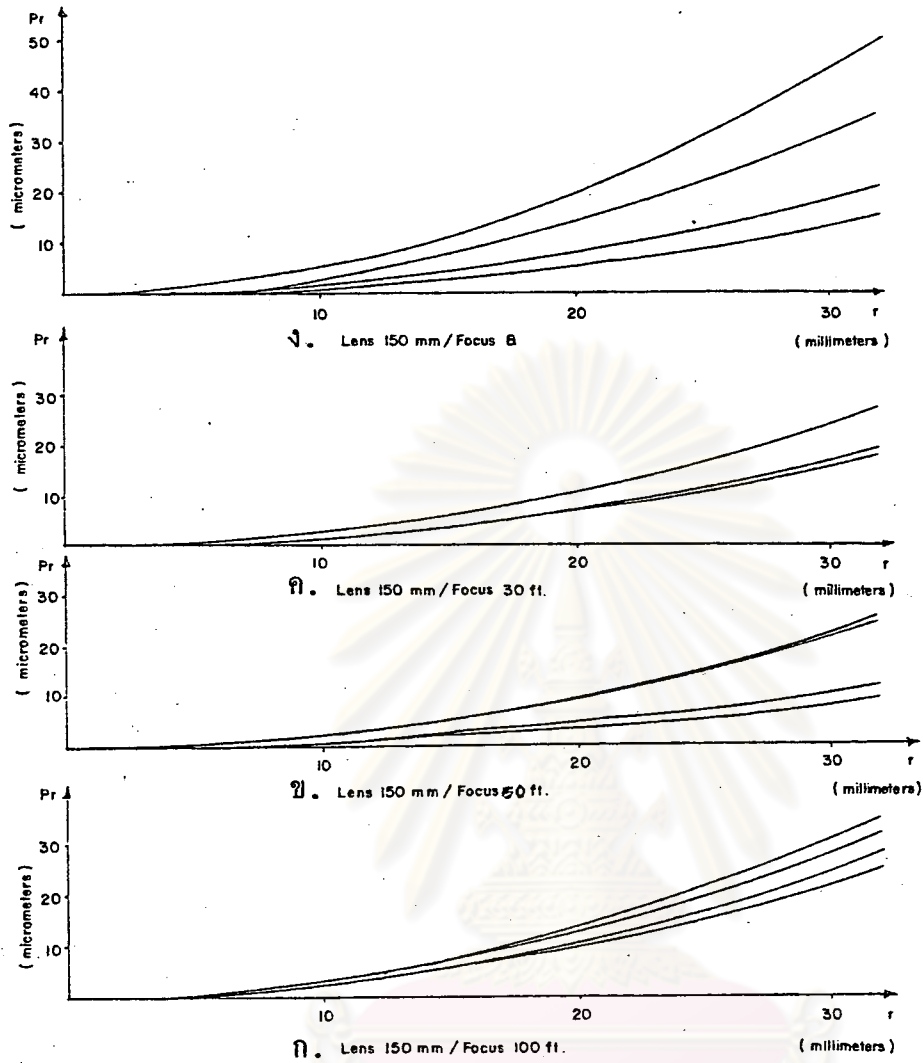
ง.1 ก่อนการปรับค่า c



ง.2 หลังการปรับค่า c



รูปที่ 3.21 โถงความเหินตามแนวเส้นสัมผัสของเลนส์ 50 มม.



รูปที่ 3.22 โค้งความเพี้ยนตามแนวเส้นสัมผัสของเลนส์ 150 มม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย