บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์กรณีศึกษา

ในงานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้จะมีปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง ดังนี้

- ความละเอียดของจุดภาพที่ใช้ในการเก็บข้อมูล
- ความถูกต้องของหมุดควบคุม
- กระบวนการวัดสอบกล้อง
- ชนิดของเป้า
- จำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย
- ความถูกต้องในการหมายตำแหน่งจุดภาพ
- มาตราส่วนภาพถ่ายหรือระยะถ่ายภาพ
- อัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึก

ดังนั้น การออกแบบกรณีศึกษาในการประยุกต์ใช้เลนส์ตาปลาในการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้เพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมจึงต้องทำการวิเคราะห์ปัจจัยดังกล่าวข้างต้น ได้ดังนี้

3.1.1 ความละเอียดของจุดภาพที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีกล้องเพียงเครื่องเดียวคือ กล้อง Nikon รุ่น Coolpix 5000 ซึ่งมีความละเอียดของจุดภาพ 3.4 ไมครอน ซึ่งมีความละเอียดเพียงพอในการนำมาใช้งาน ดังจะเห็นได้จากมีการนำไปใช้ในงานรังวัดบนภาพถ่ายระยะใกล้สำหรับการวัดละเอียดสูง (ชาติชาย, 2545)

3.1.2 ความถูกต้องของหมุดควบคุม

การสำรวจรังวัดในงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมโดยทั่วไปนั้นจะต้องมีความละเอียดถูกต้องประมาณ 1:50 หรือ ±10 มิลลิเมตร (Stanbridge, 2548) ดังนั้นความละเอียดถูกต้องของหมุดควบคุมจะต้องไม่เกินเกณฑ์ดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงทำการวัดพิกัดวัตถุของหมุดควบคุมด้วยกล้องประมวลผลรวม Leica รุ่น TCR 405 ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องของการอ่านค่ามุมเป็น 5" และความละเอียดถูกต้องของการวัดระยะทาง คือ 3 mm + 2 ppm จึงให้ความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่งอยู่ในระดับมิลลิเมตร

3.1.3 กระบวนการวัดสอบกล้อง

ในการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลาจะต้องทำการสวมเลนส์ตาปลาเข้ากับตัวกล้องซึ่งเป็นกล้องที่มิได้ออกแบบเพื่อการรังวัด (Non Metric Camera) ทำให้ค่าพารามิเตอร์ภายในและค่าพารามิเตอร์เสริมของกล้องที่สวมเลนส์ตาปลามีค่าไม่เสถียร ดังนั้นกระบวนการวัดสอบกล้องในตัว (Self-Camera Calibration) ด้วยกรรมวิธีกล้องอินเวอร์ส (Inverse Camera Method) ซึ่งเป็นกระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ของกล้องไปพร้อมกับกระบวนการรังวัดด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ จึงเป็นกระบวนการวัดสอบที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ และเพื่อสนับสนุนแนวคิดนี้ ในส่วนของผลการวิจัยจะทำการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของการถ่ายภาพในแต่ละครั้งเพื่อแสดงถึงความไม่เสถียร

3.1.4 ชนิดของเป้า

เป้าที่ใช้ในการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

3.1.4.1 เป้าโดยธรรมชาติ (Natural Target) หมายถึง เป้าที่เป็นลักษณะเด่นของวัตถุ เช่น มุมที่ชัดเจน การตัดกันของสีที่วัตถุที่ชัดเจน และตำแหน่งอื่นๆ ที่ชัดเจนในการหมายตำแหน่ง

3.1.4.2 เป้าที่สร้างขึ้น (Signalized Target) หมายถึง เป้าที่สร้างขึ้นบนวัตถุเพื่อใช้ในการหมายตำแหน่งที่ชัดเจน โดยการกำหนดขนาดของเป้าในงานวิจัยนี้จะมีขนาดต่างๆ กันไปเนื่องจากเลนส์ตาปลาสามารถถ่ายภาพได้กว้างมากจึงเห็นรายละเอียดในแต่ละบริเวณไม่เท่ากัน ขนาดของเป้าจึงกำหนดขึ้นโดยการถ่ายภาพแล้วทดสอบเปลี่ยนขนาดของเป้าไปเรื่อยๆ จนกว่าจะสามารถหมายตำแหน่งของเป้าได้อย่างชัดเจน ดังนั้นขนาดของเป้าที่บริเวณขอบของภาพจึงต้องมีขนาดใหญ่กว่าบริเวณกลางภาพ

ในการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้เพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม ควรมีกระบวนการที่สามารถวัดได้โดยที่ไม่ต้องไปสัมผัสกับวัตถุโดยตรง (Non-Touchable Metrology) เพื่อมิให้กระทบกระเทือนต่อวัตถุซึ่งเปราะบางและมีคุณค่า ดังนั้นการนำเป้าที่สร้างขึ้นไปติดบนสถาปัตยกรรมที่ทรงคุณค่านี้จึงเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นการออกแบบกรณีศึกษาเพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องในงานวิจัยนี้จึงต้องใช้สนามวัดสอบที่ใช้เป้าธรรมชาติ ยกเว้นการวิเคราะห์หาจำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายที่เหมาะสมกับแบบจำลองเลนส์ตาปลาจะใช้สนามวัดสอบที่ใช้เป้าสร้างขึ้นเพื่อให้ความถูกต้องในการหมายตำแหน่งจุดภาพมีความเสถียรมากที่สุด

3.1.5 จำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย

การออกแบบกรณีศึกษาเพื่อหาจำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายที่เหมาะสมกับแบบจำลองเลนส์ตาปลาในงานวิจัยนี้จะใช้สนามวัดสอบที่อยู่ในห้องทดลองและใช้เป้าที่สร้างขึ้นเพื่อให้สามารถกำหนดการกระจายตัวของเป้าและสามารถหมายตำแหน่งเป้าได้อย่างชัดเจน จำนวนจุดควบคุมที่น้อยที่สุดในการแก้ปัญหาแบบจำลองเลนส์ตาปลา คือ 7 จุด หรือ 14 สมการ แต่เพื่อให้สามารถหาความคลาดเคลื่อนด้วย

เทคนิคลีสท์สแควร์ (Least Square Adjustment) จะต้องใช้จุดควบคุมภาพถ่ายอย่างน้อย 8 จุด ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดกรณีศึกษาเพื่อหาจำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายที่เหมาะสมโดยเพิ่มจาก 8 จุดไปจนถึง 17 จุด ดังนี้

3.1.5.1 กรณีจำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย 8 จุด

3.1.5.2 กรณีจำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย 11 จุด

3.1.5.3 กรณีจำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย 14 จุด

3.1.5.4 กรณีจำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย 17 จุด

จุดควบคุมภาพถ่ายและจุดตรวจสอบจะกำหนดให้กระจายตัวให้ครอบคลุมทั้งภาพ และการวิเคราะห์เปรียบเทียบในแต่ละกรณีจะใช้การประมวลผลของกระบวนการวัดย้อนสำหรับภาพถ่ายเดี่ยว (Single Photo Resection) เพื่อหาเศษเหลือของจุดตรวจสอบจำนวน 44 จุด ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

ค่าเศษเหลือ = ค่าพิกัดภาพถ่ายที่วัดได้ – ค่าพิกัดภาพถ่ายที่คำนวณได้

3.1.6 ความถูกต้องในการหมายตำแหน่งจุดภาพ

การหมายตำแหน่งจุดภาพในการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้เพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมจะใช้การวัดด้วยมือ (Point Marking) เนื่องจากเป็นวิธีทั่วไปที่ใช้ในงานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ โดยการวัดด้วยมือนี้ให้ความละเอียดถูกต้อง 1/3 จุดภาพ (ชาติชาย, 2545) ดังนั้นโปรแกรมที่ใช้ในการหมายตำแหน่งจุดภาพจะต้องให้ความละเอียดอยู่ในเกณฑ์ดังกล่าว ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Erdas Imagine V.8.7

ในการวิเคราะห์ออกแบบกรณีศึกษาของความถูกต้องในการหมายตำแหน่งจุดภาพโดยการวัดด้วยมือนี้จะออกแบบเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบ 2 กรณี คือ

3.1.6.1 กรณีวัดครั้งเดียว คือ การหมายตำแหน่งจุดภาพของหมุดควบคุมภาพถ่ายเพียงครั้งเดียวแล้วนำค่าดังกล่าวมาประมวลผล

3.1.6.2 กรณีวัดและทดสอบค่าทางสถิติ คือ การหมายตำแหน่งจุดภาพของหมุดควบคุมภาพถ่ายจำนวน 5 ครั้ง แล้วนำค่าดังกล่าวมาทดสอบพิจารณาค่าต่างระหว่างค่าสังเกตกับค่าเฉลี่ยที่วัดได้ต้องอยู่ในเกณฑ์ไม่เกินกว่าระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 หากยังไม่อยู่ในเกณฑ์ต้องวัดใหม่จนกว่าจะได้

โดยเหตุที่แบ่งเป็น 2 กรณีดังกล่าวเพราะการหมายตำแหน่งจุดภาพในทางปฏิบัติของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมมีจำนวนมากจึงมักทำการวัดเพียงครั้งเดียวดังนั้นหากเป้าที่ไม่ชัดเจนพอโดยเฉพาะเป้าธรรมชาติอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการหมายตำแหน่งจุดภาพได้ จึงต้องทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างค่าความถูกต้องของการวัดครั้งเดียวกับการวัดและทดสอบค่าทางสถิติ

ห้องสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.7 มาตราส่วนภาพถ่ายหรือระยะถ่ายภาพ

การออกแบบกรณีศึกษาเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะถ่ายภาพซึ่งมีความสัมพันธ์กับมาตราส่วนภาพถ่ายจะกำหนดระยะถ่ายภาพที่ 2 เมตร และ 5 เมตร ซึ่งต่างกัน 2.5 เท่า โดยสาเหตุที่เริ่มระยะถ่ายภาพที่ 2 เมตร เพราะเมื่อทำการทดสอบถ่ายภาพที่ระยะต่ำกว่า 2 เมตร จะไม่สามารถหมายตำแหน่งพิกัดจุดภาพของเป้าในบางบริเวณได้อย่างชัดเจนเนื่องจากการบดบังกันของขอบวัตถุ และกำหนดระยะถ่ายภาพที่ 5 เมตร เพราะถือเป็นระยะไกลที่สุดในกรณีที่เกิดข้อจำกัดทางด้านพื้นที่และเลนส์ปกติก็สามารถถ่ายได้คลอบคลุมพื้นที่ขนาดกว่า 8x8 ตารางเมตร ดังนั้นระยะถ่ายภาพตั้งแต่ 5 เมตรขึ้นไปใช้เลนส์ปกติจะเหมาะสมกว่า จึงแบ่งกรณีศึกษาเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะถ่ายภาพได้ 2 กรณี ดังนี้

3.1.7.1 กรณีระยะถ่ายภาพ 2 เมตร

3.1.7.2 กรณีระยะถ่ายภาพ 5 เมตร

กรณีศึกษาเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบมาตราส่วนภาพถ่ายหรือระยะถ่ายภาพจะใช้ระยะฐานการถ่ายภาพเท่ากันใช้จุดควบคุมภาพถ่ายและจุดตรวจสอบเหมือนกัน เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเศษเหลือของทั้งกระบวนการวัดย้อนสำหรับภาพถ่ายเดี่ยว (Single Photo Resection) และการคำนวณพิกัดวัตถุของคู่ภาพ (Two Photo Intersection) ซึ่งค่าเศษเหลือของพิกัดวัตถุนั้นคำนวณได้ดังนี้

ค่าเศษเหลือ = ค่าพิกัดวัตถุจากกล้องประมวลผลรวม – ค่าพิกัดวัตถุที่คำนวณได้

จากการกำหนดระยะถ่ายภาพที่ 2 เมตร และ 5 เมตร ทำให้สามารถคำนวณมาตราส่วนภาพถ่ายและขนาดจุดภาพในระบบพิกัดวัตถุได้อย่างคร่าวๆ เพราะกล้องดิจิตอล Nikon Coolpix 5000 มีขนาดจุดภาพ 3.4 ไมครอน และมีความยาวโฟกัส (f) เท่ากับ 21.4 มิลลิเมตร แต่เมื่อสวมเลนส์ตาปลาความยาวโฟกัสจะลดลง(x0.21) เป็น 4.494 มิลลิเมตร ดังนั้นสามารถคำนวณมาตราส่วนภาพถ่ายและขนาดจุดภาพในระบบพิกัดวัตถุได้ แต่เนื่องจากเลนส์ตาปลามีมุมการวัดที่กว้างมาก และแสงมีการหักเหไม่เป็นเส้นตรง การคำนวณมาตราส่วนภาพถ่ายและขนาดจุดภาพในระบบพิกัดวัตถุนี้จึงเป็นเพียงค่าประมาณคร่าวๆ ที่เทียบกับตำแหน่งกลางภาพเท่านั้น

การคำนวณมาตราส่วนภาพถ่ายและขนาดจุดภาพอย่างคร่าวๆ ในระบบพิกัดวัตถุที่ระยะถ่ายภาพ 2 เมตร

$$\text{มาตราส่วนภาพถ่าย} = \frac{\text{ความยาวโฟกัส}}{\text{ระยะถ่ายภาพ}} = \frac{4.494\times10^{-3}}{2} = \frac{1}{445}$$

ขนาดจุดภาพในระบบพิกัดวัตถุ = $3.4\times10^{-3}\times445 = 1.51$ มิลลิเมตร

ในทำนองเดียวกันสามารถคำนวณมาตราส่วนภาพถ่ายและขนาดจุดภาพในระบบพิกัดวัตถุที่ระยะถ่ายภาพ 5 เมตรอย่างคร่าวๆ ได้ดังตารางนี้

ระยะถ่ายภาพ(m)	มาตราส่วนภาพถ่าย	ขนาดจุดภาพในระบบพิกัดวัตถุ (mm)
2	1:445	1.51
5	1:1113	3.78

ตารางที่ 3.1 ขนาดจุดภาพอย่างคร่าวๆ ในระบบพิกัดวัตถุเมื่อเทียบกับบริเวณกลางภาพ

3.1.8 อัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึก

การออกแบบกรณีศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึกในงานวิจัยนี้จะออกแบบโดยเปรียบเทียบอัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึกระหว่าง 0.5 และ 1 ซึ่งต่างกัน 1 เท่าและจะกำหนดให้ถ่ายภาพที่มาตราส่วนหรือระยะถ่ายภาพเดียวกันคือ 2 เมตร แต่ระยะฐานระหว่างสถานีถ่ายภาพต่างกันคือ 1 และ 2 เมตร ตามลำดับ แล้วหาค่าเศษเหลือของพิกัดวัตถุของจุดตรวจสอบเดียวกันจากการคำนวณพิกัดวัตถุของคู่ภาพ (Two Photo Intersection) ดังนั้น กรณีศึกษาของวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึก ได้แก่

3.1.8.1 กรณีอัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึกเท่ากับ 0.5

3.1.8.2 กรณีอัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึกเท่ากับ 1

3.2 สรุปการออกแบบกรณีศึกษา

จากปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปจัดกรณีศึกษาได้ 8 กรณี ดังตารางที่ 3.2 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- กรณี 1-4 เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบจำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย
- กรณี 5-6 เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการหมายตำแหน่งจุดภาพ
- กรณี 6-7 เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึก
- กรณี 7-8 เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบมาตราส่วนภาพถ่ายหรือระยะถ่ายภาพ

ผลลัพธ์ในแต่ละกรณีจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบจากค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบ โดยกรณี 1-4 มีจุดตรวจสอบจำนวน 47 จุด จากสนามวัดสอบในห้องทดลองซึ่งใช้เป้าที่สร้างขึ้น เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบจำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายที่เหมาะสมกับแบบจำลองเลนส์ตาปลา ซึ่งกรณี 1-4 สามารถแสดงองค์ประกอบของการถ่ายภาพและผลลัพธ์ที่ได้ ดังนี้

กรณี	ชนิดของเป้า	จำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย	การหมายตำแหน่งจุดภาพ	ระยะถ่ายภาพ	ผลลัพธ์
1	สร้างขึ้น	8	วัดและทดสอบค่าทางสถิติ	2	Resection
2	สร้างขึ้น	11	วัดและทดสอบค่าทางสถิติ	2	Resection
3	สร้างขึ้น	14	วัดและทดสอบค่าทางสถิติ	2	Resection
4	สร้างขึ้น	17	วัดและทดสอบค่าทางสถิติ	2	Resection

ตารางที่ 3.2 กรณี 1-4 วัดจากสนามวัดสอบในห้องทดลองเพื่อวิเคราะห์
จำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายที่เหมาะสมกับแบบจำลองเลนส์ตาปลา

ส่วนกรณี 5-8 มีจุดตรวจสอบจำนวน 107 จุด จากสนามวัดสอบเพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม ซึ่งใช้เป้าธรรมชาติ เพื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเลนส์ตาปลา อันได้แก่ วิธีการหมายตำแหน่งจุดภาพ ระยะถ่ายภาพ และอัตราส่วนระยะฐานต่อระยะถ่ายภาพ ซึ่งกรณี 5-8 สามารถแสดงองค์ประกอบของการถ่ายภาพและผลลัพธ์ที่ได้ ดังนี้

กรณี	ชนิดของเป้า	จำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย	การหมายตำแหน่งจุดภาพ	ระยะถ่ายภาพ	ระยะฐานระหว่างสถานี	ผลลัพธ์
5	ธรรมชาติ	14	วัดครั้งเดียว	2	1	Resection & Intersection
6	ธรรมชาติ	14	วัดและทดสอบค่าทางสถิติ	2	1	Resection & Intersection
7	ธรรมชาติ	14	วัดและทดสอบค่าทางสถิติ	2	2	Resection & Intersection
8	ธรรมชาติ	14	วัดและทดสอบค่าทางสถิติ	5	2	Resection & Intersection

ตารางที่ 3.3 กรณี 5-8 วัดจากสนามวัดสอบเพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมเพื่อวิเคราะห์
ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเลนส์ตาปลา

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 เลนส์ตาปลา Nikon รุ่น FC-E8 เป็นเลนส์ที่มีความกว้างมุมการถ่ายภาพ 183^0 ใช้สวมเข้ากับกล้อง Nikon Coolpix 5000 เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลภาพในงานวิจัยนี้

รูปที่ 3.1 ภาพเลนส์ตาปลา Nikon FC-E8 (Nikon Corp, 2001)

Focal length of the camera's lens reduced to x0.21
Provides approx. 183° view angle
5 elements in 4 groups
Dimensions (approx.): ø74 x 50mm (ø2.9 x 2.0 in.)
Weight (approx.): 205g (7.2 oz.)

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดจำเพาะเลนส์ตาปลา Nikon FC-E8 (Nikon Corp, 2001)

3.3.2 กล้องดิจิตอล Nikon Coolpix 5000 เป็นกล้องที่มิได้ออกแบบเพื่อใช้ในงานสำรวจด้วยภาพถ่าย (Non Metric Camera) โดยเป็นกล้องประเภท SLR ที่สามารถปรับเปลี่ยนหรือสวมเลนส์เพิ่มได้ ซึ่งมีความละเอียด 2,560 x 1,920 จุดภาพ และขนาดจุดภาพ 3.4 ไมครอน ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ โดยจะต้องนำเลนส์ตาปลามาสวมก่อนการถ่ายภาพแต่ละครั้ง

รูปที่ 3.2 ภาพกล้องดิจิตอล Nikon Coolpix 5000 (Nikon Corp, 2001)

Type:	Digital camera E5000
Effective pixels:	5.0 million
CCD:	2/3-inch type (5.24 million total pixels)
Image size:	2,560 x 1,920 pixels (4.92 million pixels), UXGA-size (1,600 x 1,200), SXGA-size (1,280 x 960), XGA-size (1,024 x 768), VGA-size (640 x 480) 3:2 (2,560 x 1,700) selectable
Lens:	3x Zoom-Nikkor; f=7.1–21.4 mm (35mm (135) format equivalent to 28–85mm) F2.8–4.8 with macro; 9 elements in 7 groups
Digital zoom:	Up to 4x
Autofocus:	Contrast-detect TTL AF; 5-Area Multi AF or Spot AF selectable
Focus modes:	1) Continuous AF mode (when using LCD monitor); 2) Single AF mode (when not using LCD monitor and/or selectable from shooting menu); 3) Manual
Focus range:	19.7 in. (50cm) to infinity (∞), 3/4 in. (2cm) to infinity (∞) in Macro mode
Optical viewfinder:	Real-image zoom viewfinder; diopter adjustment available
LCD monitor:	1.8-in., 110,000-dot, low-temp. polysilicon TFT LCD (LED backlight); brightness/hue adjustment
Storage System:	EXIF 2.1 file (uncompressed TIFF or compressed JPEG); Design rule for Camera File system (DCF); Digital Print Order Format (DPOF); QuickTime™ Motion JPEG (Movie)
Media:	CompactFlash™ (CF) Card Type I/II
Shooting modes:	Automatic mode (default); Custom mode (#1–#3) (combinations of mode settings can be memorized)
Shooting menu options:	1) White Balance, 2) Exposure Metering, 3) Continuous, 4) Best-Shot Selector (BSS), 5) Lens, 6) Image Adjustment (Auto/Normal/More Contrast/Less Contrast/Lighter/Darker/Monochrome), 7) Image Sharpening, 8) Digital Zoom (up to 4x), 9) Noise Reduction, 10) Clear Image, 11) Saturation Control
Capture modes:	1) Single; 2) Continuous H (3 fps, up to 3 frames); 3) Continuous L (1.5 fps, up to 8 frames); 4) High-speed Continuous (SXGA, XGA, VGA-size images; 3 fps); 5) Ultra High-speed Continuous (QVGA-size images; 30 fps; number of frames selectable, up to 100 frames); 6) Multi-Shot 16 (3 fps; 16 frames); 7) Movie with audio (QVGA-size images; 15 fps; up to 60 sec.)
Exposure metering:	4-mode TTL metering: 1) 256-segment Matrix; 2) Center-Weighted; 3) Spot; 4) Spot AF Area
Shutter:	Shutter Mechanical and charge-coupled electronic shutter; 1/4,000 to 8 sec. and Bulb (time limit: 60 sec.)
Aperture:	7-blade iris diaphragm; 10 steps in 1/3 EV increments
Exposure control:	1) Programmed Auto with Flexible Program; 2) Shutter-Priority Auto; 3) Aperture-Priority Auto; 4) Manual; Exposure Compensation (± 2 EV in 1/3 EV steps); Auto Exposure Bracketing (3 or 5 frames within ± 2 EV)
Exposure range:	EV -2.0 – +18.0 (W), EV -0.5 – +17.0 (T) (ISO 100 equivalent)
Sensitivity:	(approx.) ISO 100 equivalent; 100, 200, 400, 800; Auto (can be controlled in any exposure mode)
White balance:	1) Matrix Auto White Balance with TTL control; 2) 5-mode Manual with fine tuning (Fine/Incandescent/Fluorescent/ Cloudy/Speedlight); 3) Preset; 4) White Balance Bracketing
Self-timer:	10 sec. or 3 sec. duration
Built-in Speedlight Guide number:	30 ft./10 m. (when sensitivity is at ISO 100 equivalent)
Flash control:	Sensor flash system
Flash modes:	1) Auto Flash, 2) Flash Cancel, 3) Anytime Flash, 4) Slow Sync, 5) Red-Eye Reduction
Accessory shoe:	Standard ISO 518
External Speedlight:	Hotshoe connects to external Nikon Speedlight SB-50DX/28DX/29/27/26/25/24/23/22s; built-in Speedlight can be canceled when using external Speedlight(s)
Playback menu options:	1) 1 frame, 2) Thumbnail (4/9 segments), 3) Slide show, 4) Movie with audio, 5) Enlarged playback (up to 6x); Shooting information; Histogram indication and highlight point display; Hide and protect attributes can be set to each image; Focus confirmation indication
Interface:	USB 1.1 interface
I/O terminal:	Power input; Audio/Video output (NTSC or PAL selectable); Digital output terminal (USB/Remote Cord)
Power requirements:	One Rechargeable Li-ion Battery EN-EL1 (included); One 6V 2CR5/DL245 lithium battery (optional); Six 1.5V LR6 (AA-size alkaline), 1.5V Lithium, 1.5V NiMH or 1.2V NiCd batteries with Power pack (optional); AC adapter (optional)
Battery life:	Approx. 100 min. when using LCD monitor and Rechargeable Li-ion Battery EN-EL1 at normal temperature (68°F [20°C])
Dimensions (W x H x D):	Approx. 4.0 x 3.2 x 2.7 in. (101.5 x 81.5 x 67.5mm)
Weight (without battery):	Approx. 12.6 oz. (360g)
Accessories included:	Lens cap, Neck strap, A/V cable, 32MB CompactFlash™ Card, USB cable, Rechargeable Li-ion Battery EN-EL1, MH-51 Battery Charger, Nikon View 4 CD-ROM
Optional accessories:	Fisheye Converter FC-E8**, Wideangle Converter WC-E68*, Telephoto Converter TC-E2**, Telephoto Converter TC-E3ED***/**, Adapter rings: UR-E5, UR-E6, Lens hood HN-E5000, Power pack MB-E5000, Remote Cord MC-EU1
Bundled Software:	Canto Cumulus™ 5.0 Trial, iView MediaPro Trial (Macintosh only); Arcsoft Videoimpression™ 1.6, PhotoPrinter Pro® 2000, PhotoStudio® 2000, Panorama Maker® 2000, Genuine Fractals™ 2.0 LE
System requirements: for Macintosh	*Nikon View 4*: Macintosh OS: Mac OS 8.6, Mac OS 9.0, Mac OS 9.1; Models: iMac, iMac DV, Power Mac G3 (Blue & White), Power Mac G4 or later, iBook, PowerBook G3 or later, only models with built-in USB ports supported; RAM: 32 MB (64 MB or more recommended)
System requirements: for PC	*Nikon View 4*: Windows, CPU: MMX Pentium or better; RAM: 32 MB (64 MB or more recommended); Models: Only models with built-in USB ports supported; OS: Pre-installed versions of Windows 98/98 SE, Windows 2000, Windows Me
Product Number:	25501 UPC code 018208025016

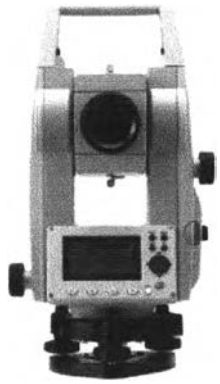
*Requires UR-E5 adapter ring
**Requires UR-E6 adapter ring
***Nikon recommends use of the TC-E3ED with digital zoom 1.3x or higher

QuickTime

All products indicated by trademark symbols are trademarked and/or registered by their respective companies. Specifications and equipment are subject to change without any notice or obligation on the part of the manufacturer. 10K01 ©2001 NIKON INC.

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดจำเพาะกล้องดิจิตอล Nikon Coolpix 5000 (Nikon Corp, 2001)

3.3.3 กล้องประมวลผลรวม Leica รุ่น TCR 405 เป็นกล้องประมวลผลรวมระบบไร้เป้าสะท้อนแสง (Reflectorless Total Station) ซึ่งมีความละเอียดถูกต้องของการอ่านค่ามุมเป็น 5" และความละเอียดถูกต้องของการวัดระยะทาง คือ 3 mm + 2 ppm ใช้ในการวัดค่าพิกัดวัตถุของเป้าที่เป็นจุดควบคุมภาพถ่ายและจุดตรวจสอบ



รูปภาพที่ 3.3 ภาพกล้องประมวลผลรวม Leica รุ่น TCR 405 (Leica Corp, 2003)

Technical Data	TC/TCR403 TCR403power*	TC/TCR405 TCR405power*	TC/TCR407 TCR407power*
Telescope			
Magnification		30 x	
Field of view		1°30' (26m at 1km)	
Min. target distance		1.7m	
Reticle		illuminated	
Angle measurements (Hz, V)			
Method		Absolute, continuous	
Display resolution		1" / 0.5 mgon / 0.01 mil	
Standard deviation (ISO 17123-3)	3" (1 mgon)	5" (1.5 mgon)	7" (2 mgon)
Compensator			
System		Electronic 2 axis oil compensator	
Working range		+/-4' (0.7 gon)	
Setting accuracy	1"	1.5"	2"
Distance measurement to prism (TC/TCR)		Laser class 1/I	
Measuring range with circular prism GPR1		3500 m (1 prism) / 5400 m (3 prisms) / 7000 m (long range)	
Measuring with reflective foil (60 mm x 60 mm)		250 m	
Accuracy (fine/quick/tracking)		2 mm + 2 ppm / 5 mm + 2 ppm / 5 mm + 2 ppm	
Time for a measurement (fine/quick/tracking)		< 1 s / < 0.5 s / < 0.3 s	
Distance measurement without reflector (TCR)		Laser class 2/II	
Measuring range with target plate (Kodak GRAY)		80 m (TCR400) / 170 m (TCR400power)*	
Standard deviation (ISO 17123-4) (short/tracking)		3 mm + 2 ppm / 5 mm + 2 ppm	
Time for a measurement (short/tracking)		(3s + 1s/10 m) / (1s + 0.3 s/10 m)	
Communication			
Internal data storage		10'000 Data blocks	
Interface		RS232	
Data formats		GSI / IDEX / ASCII / Freely definable formats	
Operation			
Display		Alpha numeric, 6 lines x 31 characters	
Keyboard		4 function keys; 2nd keyboard possible	
Laser plummet			
Type		Laser point, brightness adjustable in steps	
Accuracy		1.5 mm (2 sigma) @ 1.5 m instrument height	
Environmental conditions			
Temperature range (operation)		-20 °C to +50 °C	
Splash and dust proof (IEC 60529)		IP54	
Temperature range (storage)		-40 °C to +70 °C	
Dimensions and weights			
Length x width x height		151 mm x 203 mm x 316 mm	
Weigth (Instrument / Battery / Tripod)		4.2kg / 0.2kg / 0.6kg	
Power supply			
Battery type		NiMH / standard camcorder	
Voltage/capacity		6V/1800 mAh: GEB 111 / 6V/3600 mAh: GEB 121	
External feed		via interface (11.5..14V)	
Operating period with GEB121		approx. 6 hours	
Number of distance measurements with GEB121		approx. 9000	

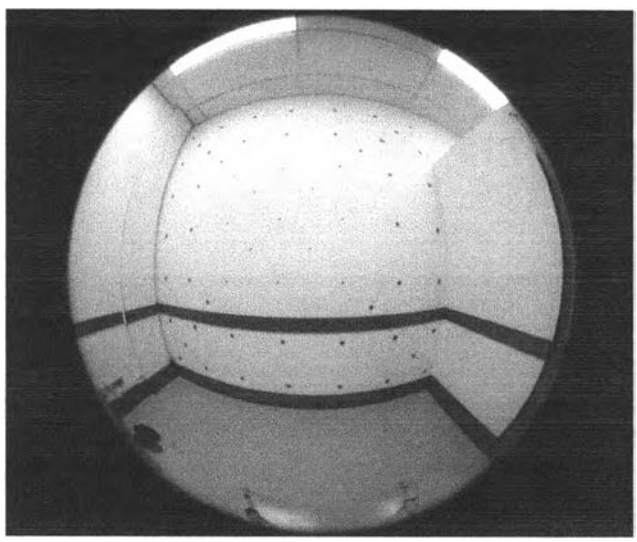
ตารางที่ 3.6 รายละเอียดจำเพาะกล้องประมวลผลรวม Leica รุ่น TCR 405 (Leica Corp, 2003)

3.4 การดำเนินงานเก็บข้อมูลสำหรับงานวิจัย

3.4.1 การเก็บข้อมูลภาพถ่าย

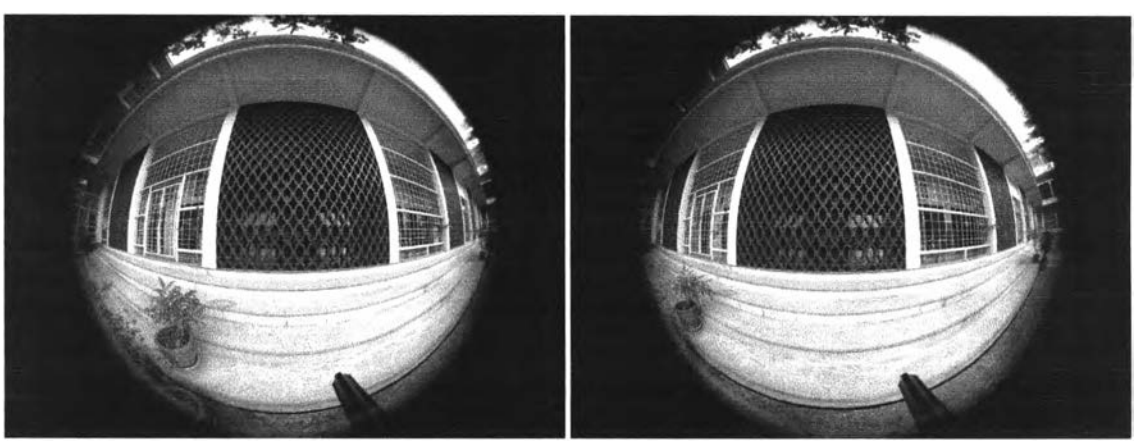
การถ่ายภาพในทุกกรณีศึกษาใช้กล้องดิจิตอล Nikon Coolpix 5000 ที่สวมเลนส์ตาปลา Nikon FC-E8 และใช้ขาตั้งกล้องในการถ่ายภาพ ซึ่งการถ่ายภาพนี้จะกำหนดโดยประมาณให้ทิศทางการถ่ายตั้งฉากกับวัตถุที่ทำการวัด

กรณี 1-4 ใช้ภาพถ่ายภาพเดียวกัน โดยทำการถ่ายภาพที่ระยะ 2 เมตร จากสนามวัดสอบในห้องทดลองที่ใช้เป้าที่สร้างขึ้น



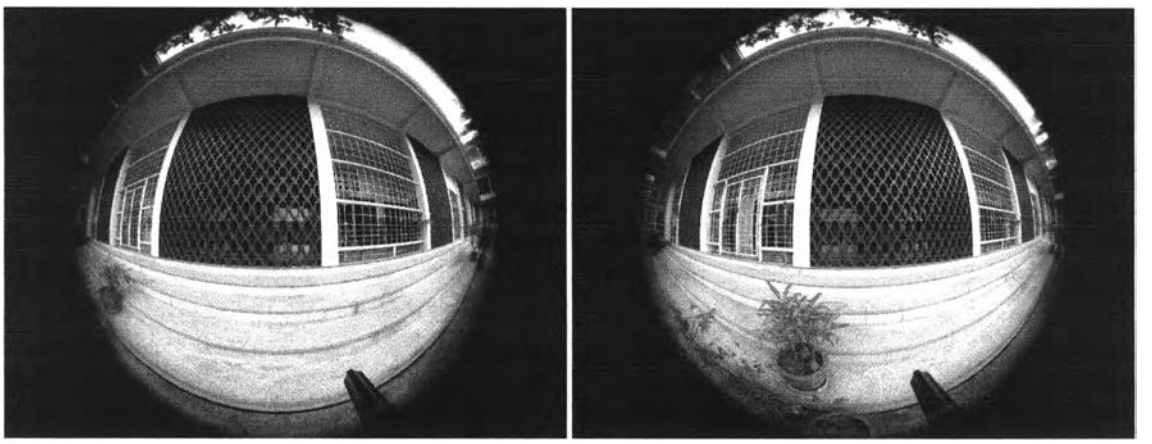
รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายกรณี 1-4

กรณี 5-8 จะถ่ายภาพจากสนามวัดสอบเพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมโดยกรณี 5-6 ใช้ภาพคู่เดียวกันคือถ่ายภาพที่ระยะถ่ายภาพ 2 เมตร และระยะฐานระหว่างสถานี 1 เมตร ดังรูป



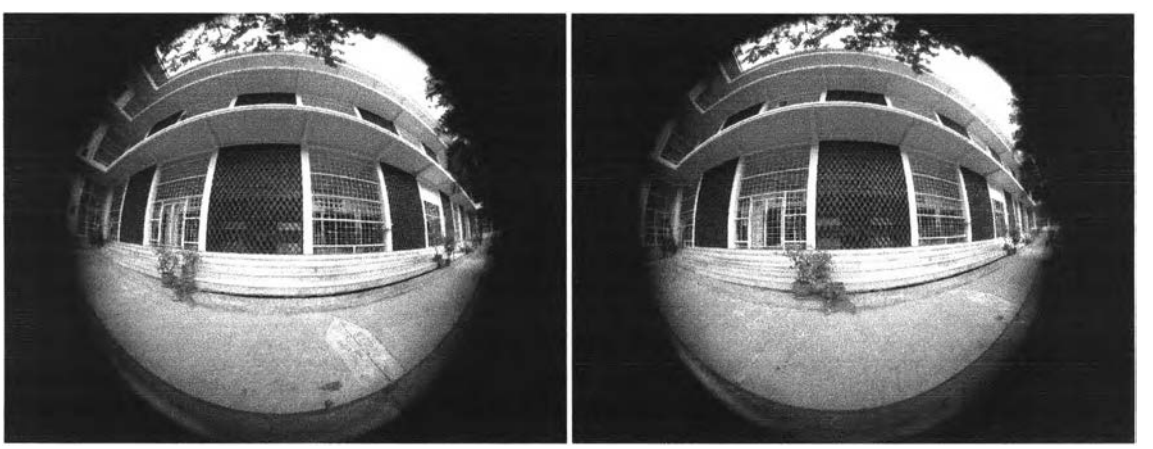
รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายกรณี 5-6 ภาพซ้ายและขวา ตามลำดับ

กรณี 7 ถ่ายภาพที่ระยะถ่ายภาพ 2 เมตร และระยะฐานระหว่างสถานี 2 เมตร จึงได้ภาพถ่าย 2 ภาพ ดังรูป



รูปที่ 3.6 ภาพถ่ายกรณี 7 ภาพซ้ายและขวา ตามลำดับ

กรณี 8 ถ่ายภาพที่ระยะถ่ายภาพ 5 เมตร และระยะฐานระหว่างสถานี 2 เมตร ดังรูป



รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายกรณี 8 ภาพซ้ายและขวา ตามลำดับ

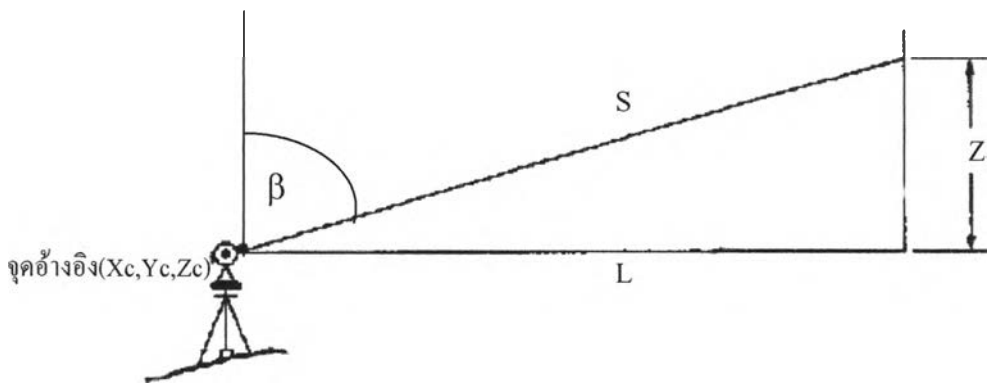
3.4.2 การวัดพิกัดวัตถุของเป้า

ในการวัดและคำนวณหาค่าพิกัดวัตถุของเป้าซึ่งเป็นจุดควบคุมภาพถ่ายและจุดตรวจสอบจะต้องมีกรรมวิธีการวัดที่ให้ความถูกต้องแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม นั่นคือ ±10 มิลลิเมตร ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์และประเมินความถูกต้องแม่นยำของการวัดพิกัดวัตถุของเป้า

3.4.2.1 กรรมวิธีการวัดพิกัดวัตถุของเป้า

ในงานวิจัยนี้ จะทำการหาพิกัดวัตถุของเป้าโดยการวัดมุมและระยะทางด้วยกล้องประมวลผลรวม Leica รุ่น TCR 405 ซึ่งเป็นกล้องประมวลผลรวมระบบไร้เป้าสะท้อนแสง (Reflectorless Total Station) ที่สามารถวัดระยะได้โดยไม่ต้องใช้เป้า ให้ค่าคลาดเคลื่อนของการวัดระยะ เท่ากับ 3 mm + 2 ppm และให้ค่าคลาดเคลื่อนทางมุมเท่ากับ 5" ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์เพียงพอต่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม

กำหนดให้พิกัดของกล้องประมวลผลเป็นจุดอ้างอิง แล้วทำการวัดมุมและระยะทางของเป้าทั้งหน้าซ้ายและหน้าขวาจำนวน 5 ชุด โดยสามารถคำนวณค่าพิกัดวัตถุของเป้าได้ดังนี้



รูปที่ 3.8 แสดงการวัดมุมดิ่งและระยะทางของพิกัดวัตถุของเป้าในทางดิ่ง

จากรูปที่ 3.8 สามารถคำนวณค่าพิกัดทางดิ่งของเป้าได้โดยใช้สมบัติทางตรีโกณมิติจะได้สมการดังนี้

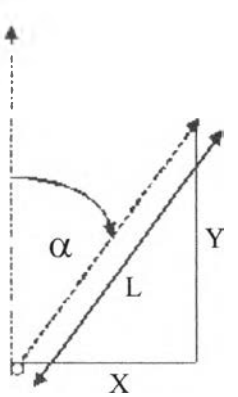
$$Z = S*\text{Cos}\,\beta \qquad (3.1)$$

กำหนด

Z คือ ค่าพิกัดทางดิ่งในระบบพิกัดวัตถุของเป้า

S คือ ระยะทางเอียงที่วัดได้จากกล้องถึงเป้ารังวัด

β คือ มุมดิ่งที่วัดได้จากแกนดิ่งของถึงเป้า



รูปที่ 3.9 แสดงการวัดมุมและระยะทางของพิกัดวัตถุของเป้าในทางราบ

จากรูปที่ 3.9 สามารถคำนวณค่าพิกัดทางราบของเป้าได้โดยใช้สมบัติทางตรีโกณมิติจะได้สมการดังนี้

$$X = L*\text{Sin}\,\alpha \qquad (3.2)$$

$$Y = L*\text{Cos}\,\alpha \qquad (3.3)$$

กำหนด

X คือ ค่าพิกัดทางแกน X ในระบบพิกัดวัตถุของเป้า

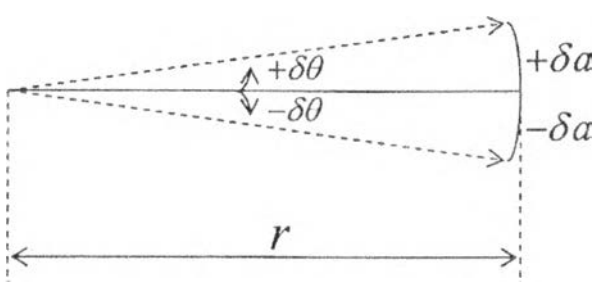
Y คือ ค่าพิกัดทางแกน Y ในระบบพิกัดวัตถุของเป้า

L คือ ระยะทางราบที่วัดได้จากกล้องถึงเป้ารังวัด

α คือ มุมราบที่วัดได้จากแกนอ้างอิงถึงเป้า

3.4.2.2 ค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากการวัดมุมและระยะทาง

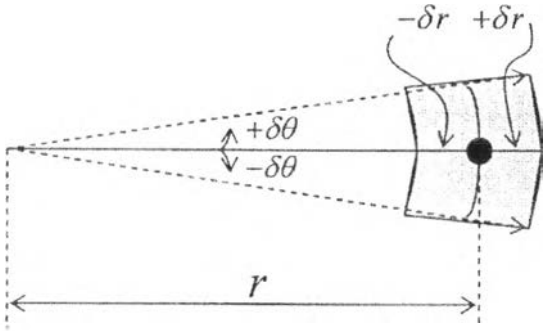
การวัดค่าพิกัดของเป้าในระบบพิกัดวัตถุจะเป็นระบบอ้างอิงที่ใช้ในการวัดสอบแบบจำลองเลนส์ตาปลาของงานวิจัยนี้เท่านั้น จะวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม Leica รุ่น TCR 405 ซึ่งเป็นกล้องประมวลผลรวมระบบไร้เป้าสะท้อนแสง (Reflectorless Total Station) ความละเอียดของการอ่านค่ามุมมีผลต่อความถูกต้องทางตำแหน่งซึ่งขึ้นกับระยะทางของการวัดจากกล้องถึงวัตถุ ดังรูป



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ความคลาดเคลื่อนทางมุมกับระยะทาง (วิชัย, 2547)

จากรูปที่ 3.10 ค่า r คือ ระยะทางของแขนของมุมที่วัดทิศทาง ค่า $\pm\delta\theta$ เป็นค่าคลาดเคลื่อนของการวัดมุมซึ่งเป็นได้ทั้งค่าบวกและค่าลบ จากความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างมุมที่รองรับส่วนโค้งและความยาวแขนของมุม a = θ r จะได้ว่าหากมีการวัดมุมผิดไป $\pm\delta\theta$ จะทำให้ตำแหน่งปลายแขนของมุมที่ต้องการจะผิดไปเท่ากับ $\pm\delta$ a = $\pm\delta\theta$ r (วิชัย, 2547)

เมื่อพิจารณาการวัดระยะทางที่มีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งเท่ากับ $\pm\delta$ r เพิ่มเข้ามาความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของจุดที่ได้จะอยู่ในกรอบระบายสี ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งจากมุมและระยะทาง (วิชัย, 2547)

3.4.2.3 การแพร่กระจายความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัด (วิชัย, 2547)

จากกฎการแพร่กระจายความคลาดเคลื่อน คือ

$$E = \pm\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial l_1}\right)^2 E_{l_1}{}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial l_2}\right)^2 E_{l_2}{}^2 + \ldots + \left(\frac{\partial f}{\partial l_n}\right)^2 E_{l_n}{}^2}$$

หาค่าคลาดเคลื่อนทางแกน Z จากสมการ (3.1) ได้ดังนี้

$$E_Z = \pm\sqrt{(\partial_S Z)^2 * E_S{}^2 + (\partial_\beta Z)^2 * E_\beta{}^2}$$

$$E_Z = \pm\sqrt{\cos^2(\beta)\, E_S{}^2 + S^2 \sin^2(\beta)\, E_\beta{}^2} \qquad (3.4)$$

หาค่าคลาดเคลื่อนทางแกน X จากสมการ (3.2) ได้ดังนี้

$$E_X = \pm\sqrt{(\partial_S X)^2 * E_S{}^2 + (\partial_\beta X)^2 * E_\beta{}^2 + (\partial_\alpha X)^2 * E_\alpha{}^2}$$

$$E_X = \pm\sqrt{\sin^2(\alpha)\sin^2(\beta)\, E_S{}^2 + S^2\cos^2(\alpha)\sin^2(\beta)\, E_\beta{}^2 + S^2\cos^2(\beta)\sin^2(\alpha)\, E_\alpha{}^2} \qquad (3.5)$$

หาค่าคลาดเคลื่อนทางแกน Y จากสมการ (3.3) ได้ดังนี้

$$E_Y = \pm\sqrt{(\partial_S Y)^2 * E_S{}^2 + (\partial_\beta Y)^2 * E_\beta{}^2 + (\partial_\alpha Y)^2 * E_\alpha{}^2}$$

$$E_Y = \pm\sqrt{\cos^2(\alpha)\sin^2(\beta)\, E_S{}^2 + S^2\sin^2(\alpha)\sin^2(\beta)\, E_\beta{}^2 + S^2\cos^2(\alpha)\cos^2(\beta)\, E_\alpha{}^2} \qquad (3.5)$$

จากสมการ (3.4) - (3.5) มาทำการคำนวณเพื่อหาค่าความละเอียดถูกต้องของการวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม Leica รุ่น TCR 405 ซึ่งเป็นกล้องประมวลผลรวมระบบไร้เป้าสะท้อนแสง (Reflectorless Total Station) ที่สามารถวัดระยะได้โดยไม่ต้องใช้เป้า ให้ค่าคลาดเคลื่อนของการวัดระยะ

เท่ากับ 3 mm + 2 ppm และให้ค่าคลาดเคลื่อนทางมุมเท่ากับ 5" คำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ยของการรังวัดจากสนามวัดสอบเพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมซึ่งมีค่าดังนี้

ค่าระยะทางเอียง (S) = 10 เมตร

ค่ามุมราบ (α) = 35°

ค่ามุมราบ (β) = 77°

นำค่าเฉลี่ยข้างต้นมาแทนค่าในสมการ (3.4) - (3.5) ร่วมกับความละเอียดถูกต้องของเครื่องมือเพื่อหาค่าความละเอียดถูกต้องเบื้องต้นในทางทฤษฎีได้ดังนี้

$E_X \approx$ 1.4 มิลลิเมตร

$E_Y \approx$ 2.2 มิลลิเมตร

$E_Z \approx$ 0.7 มิลลิเมตร

แต่ในการแปลงระบบพิกัดวัตถุเป็นระบบพิกัดกล้องนั้นแกน X, Y และ Z จะมีทิศทางเปลี่ยนเป็นแกน X, Z และ Y ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อเทียบกับระบบพิกัดกล้องจะได้ E_X, E_Y และ E_Z เท่ากับ 1.6, 0.7 และ 2.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งค่าความถูกต้องนี้ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เพียงพอต่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม

3.4.2.4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดพิกัดวัตถุของเป้า

ในการวัดพิกัดวัตถุของเป้าด้วยกล้องประมวลผลรวม จะทำการวัดพิกัดของเป้าแต่ละจุด จำนวน 5 ชุด แล้วพิจารณาหาค่าต่างระหว่างค่าสังเกตกับค่าเฉลี่ยที่วัดได้ให้อยู่ในระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 โดยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดพิกัดวัตถุของเป้าจะแสดงถึงความแม่นยำของการวัดในทิศทางต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัดพิกัดวัตถุจากสนามวัดสอบในห้องทดลองโดยแสดงในทิศทางของระบบพิกัดกล้องได้ดังนี้

	σ_x	σ_y	σ_z
Min	0.71	0.74	1.35
Max	1.02	1.03	1.94
Mean	0.89	0.90	1.76

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัดพิกัดวัตถุของเป้าจากสนามวัดสอบในห้องทดลองซึ่งใช้ในกรณี 1-4

จากตารางที่ 3.7 จะเห็นว่าความแม่นยำของการวัดในทิศทางราบของแกน x และ y เท่ากับ 0.89 และ 0.90 มิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนในทิศทางดิ่งของแกน z มีค่าประมาณ 2 เท่าของทิศทางราบ คือ 1.76 มิลลิเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัดพิกัดวัตถุจากสนามวัดสอบเพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมซึ่งใช้ในกรณี 5-8 สามารถสรุปได้ดังนี้

	σ_x	σ_y	σ_z
Min	0.75	0.73	1.31
Max	1.14	1.15	2.09
Mean	0.97	0.97	1.80

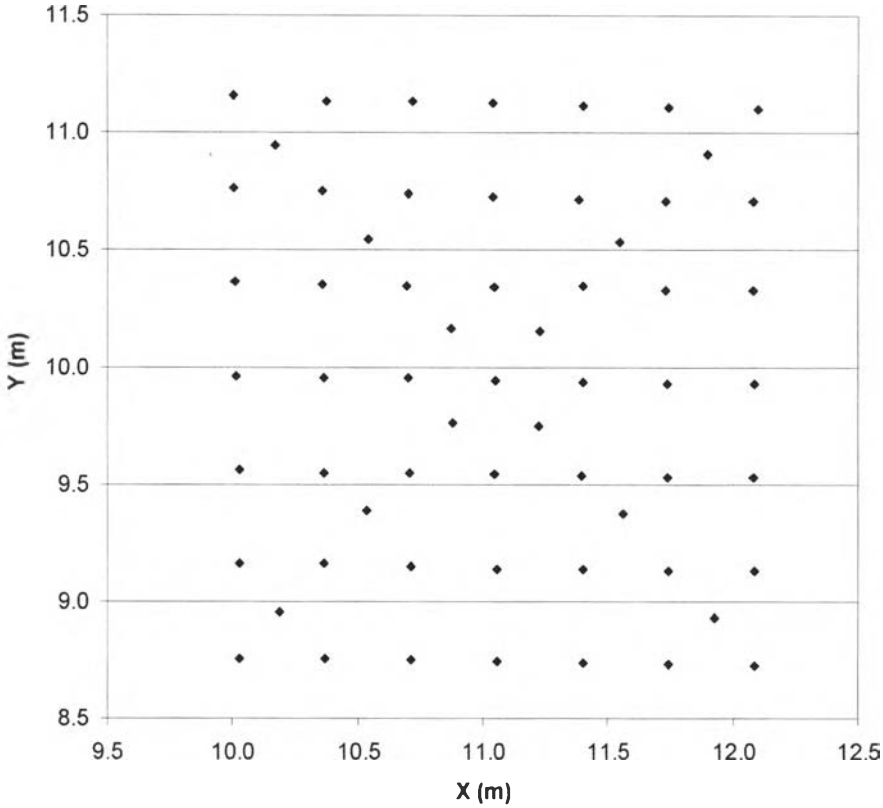
ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยของการวัดพิกัดวัตถุของเป้าจากสนามวัดสอบเพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมซึ่งใช้ในกรณี 5-8

จากตารางที่ 3.8 จะเห็นว่าความแม่นยำของการวัดในทิศทางราบของแกน x และ y เท่ากับ 0.97 มิลลิเมตร ส่วนในทิศทางดิ่งของแกน z มีค่าประมาณ 2 เท่าของทิศทางราบ คือ 1.80 มิลลิเมตร

3.4.2.3 ค่าพิกัดวัตถุของเป้า

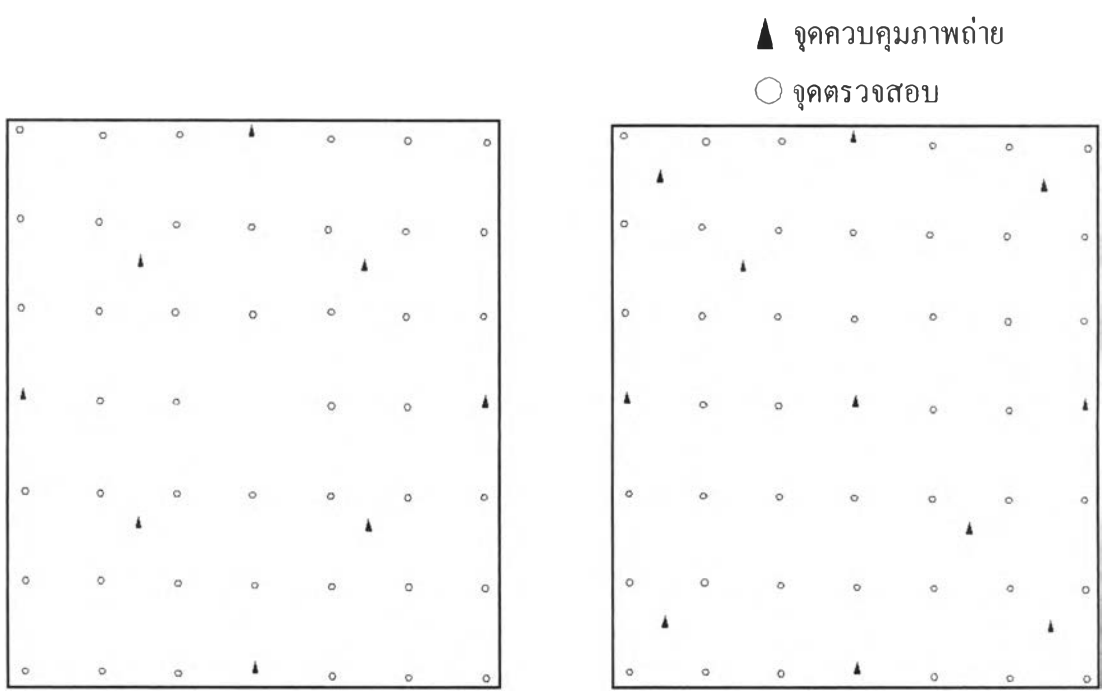
การวัดพิกัดวัตถุของเป้าสามารถแบ่งการวัดตามสนามวัดสอบได้ 2 สนาม ได้แก่

3.4.2.3.1 สนามวัดสอบในห้องทดลอง ใช้ในกรณี 1-4 มีเป้าที่สร้างขึ้นจำนวน 61 จุด แบ่งเป็น จุดควบคุมภาพถ่ายจำนวน 17 จุด และจุดตรวจสอบจำนวน 44 จุด

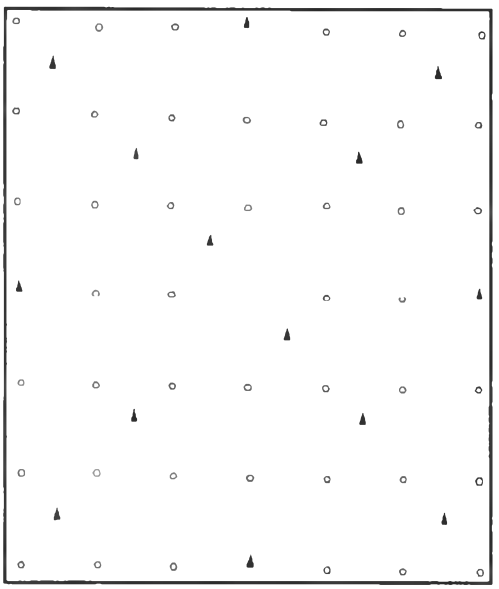


รูปที่ 3.12 ค่าพิกัดวัตถุทางราบของเป้าจากสนามวัดสอบในห้องทดลอง จำนวน 61 จุด

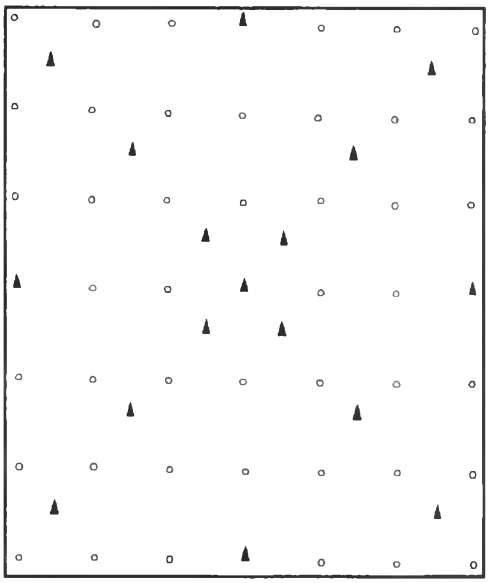
จุดควบคุมภาพถ่ายในกรณี1-4 มีจำนวน 8, 11, 14 และ17 จุด ตามลำดับ จะจัดให้กระจายตัวตามสนามวัดสอบ ส่วนจุดตรวจสอบจำนวน 44 จุด จะใช้ชุดเดียวกันทั้ง 4 กรณี



กรณี 1 กรณี 2



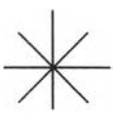
กรณี 3



กรณี 4

รูปที่ 3.13 การกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายกรณี 1-4

จากรูปที่ 3.13 แสดงการวางตัวของจุดควบคุมภาพโดยแต่ละกรณีจะกำหนดให้มีจุดควบคุมยึดอยู่บริเวณขอบภาพและให้มีแกนสมมาตรอย่างน้อย 2 แกน ดังนี้

กรณี 1 จุดควบคุมภาพถ่าย 8 จุด แกนสมมาตร 4 แกน คือ 

กรณี 2 จุดควบคุมภาพถ่าย 11 จุด แกนสมมาตร 2 แกน คือ

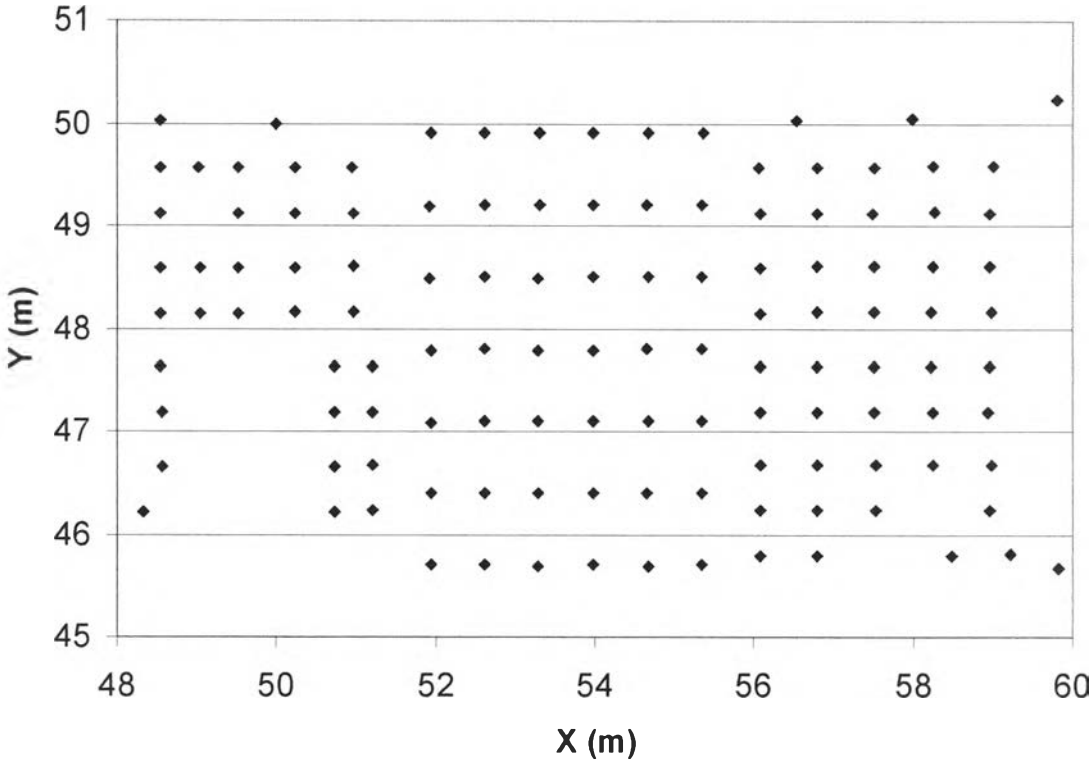
กรณี 3 จุดควบคุมภาพถ่าย 14 จุด แกนสมมาตร 2 แกน คือ

กรณี 4 จุดควบคุมภาพถ่าย 17 จุด แกนสมมาตร 4 แกน คือ

3.4.2.1 สนามวัดสอบเพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม

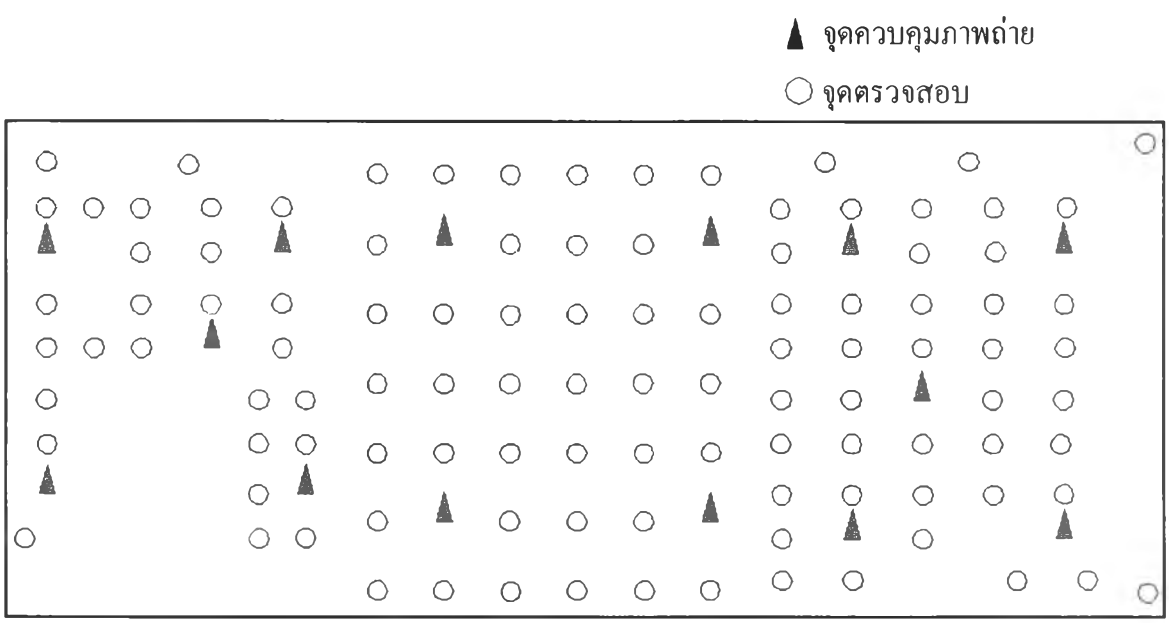
กรณี 5-8 ใช้เป้าที่มีลักษณะเป็นจุดเด่นและชี้ชัด (Well Identify Point) หรือเป้าธรรมชาติในระบบพิกัดวัตถุซึ่งเป็นระบบอ้างอิงที่ใช้ในการวัดสอบจากสนามวัดสอบเพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมในงานวิจัยนี้ จำนวน 121 จุด แบ่งเป็น จุดควบคุมภาพถ่ายจำนวน 14 จุด และจุดตรวจสอบจำนวน 107 จุด กระจายอยู่บนพื้นที่ประมาณ 6x12 ตารางเมตร

I2243452



รูปที่ 3.14 ค่าพิกัดวัตถุของเป้าจากสนามวัดสอบเพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมจำนวน 121 จุด

ค่าพิกัดวัตถุของจุดควบคุมภาพถ่ายและจุดตรวจสอบจากการวัดด้วยกล้องประมวลผลรวมนี้จะใช้ชุดเดียวกันในกรณี 5-8 เพื่อใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการประมวลผลแบบจำลองเลนส์ตาปลาเพื่อหาค่าเศษเหลือ



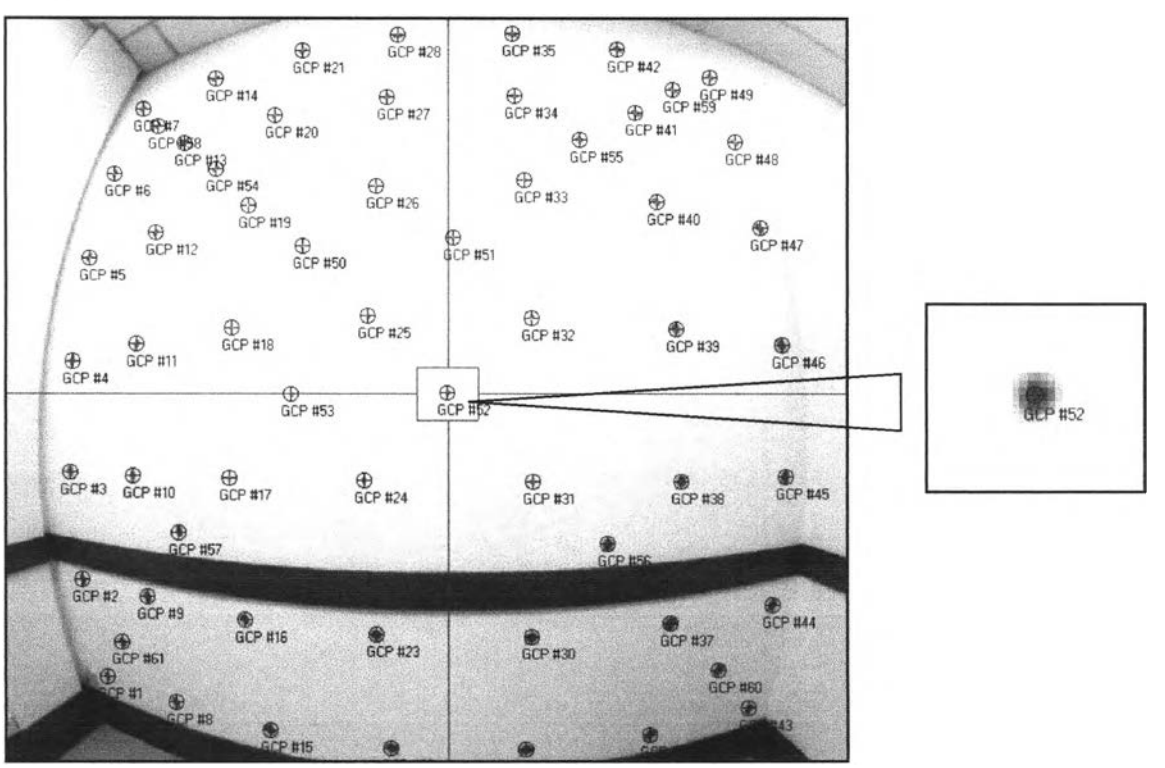
รูปที่ 3.15 การกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายและจุดตรวจสอบกรณี 5-8

จากรูปที่ 3.15 แสดงการวางตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายจำนวน 14 จุด ของกรณี 5-8 ที่กำหนดให้มีจุดควบคุมยึดอยู่บริเวณขอบพื้นที่รังวัดและพยายามให้มีแกนสมมาตร 2 แกน แต่เนื่องจากพื้นที่ของสนามวัดสอบมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและใช้เป้าธรรมชาติจึงได้แกนสมมาตรโดยประมาณเท่านั้น คือ ┼

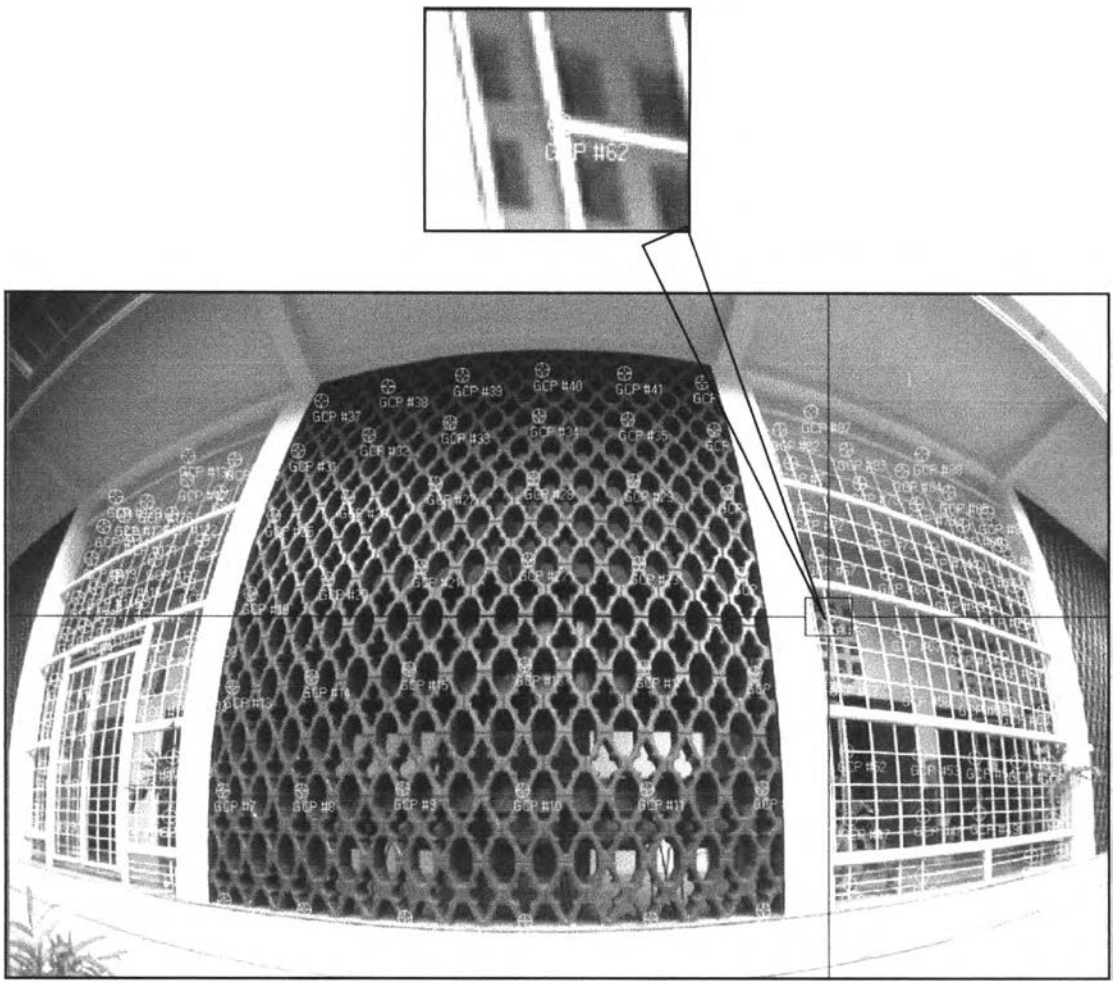
3.4.3 การวัดพิกัดภาพของเป้า

ในงานวิจัยนี้ทำการวัดพิกัดภาพของเป้าด้วยมือ (Point Marking) โดยใช้โปรแกรม Erdas Imagine V.8.7 ที่ให้ความละเอียดของการหมายตำแหน่งอยู่ในเกณฑ์การวัดด้วยมือที่ให้ความละเอียดถูกต้อง 1/3 จุดภาพ

กรณี 1-4 จะวัดพิกัดภาพของเป้าจากสนามวัดสอบในห้องทดลอง ส่วนกรณี 5-8 จะวัดพิกัดภาพของเป้าจากสนามวัดสอบเพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรรม โดยกรณีอื่นยกเว้นกรณี 5 ตามตารางที่ 3.3 จะวัดพิกัดภาพของเป้าจำนวน 5 ครั้งแล้วนำค่าดังกล่าวมาทดสอบพิจารณาค่าต่างระหว่างค่าสังเกตกับค่าเฉลี่ยที่วัดได้ต้องอยู่ในเกณฑ์ไม่เกินกว่าระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 หากยังไม่อยู่ในเกณฑ์ต้องวัดใหม่จนกว่าจะได้ ส่วนกรณี 5 จะทำการวัดพิกัดของเป้าที่เป็นจุดควบคุมภาพถ่ายเพียงครั้งเดียวเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบตามปัจจัยในหัวข้อ 3.1.6



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างการหมายตำแหน่งของเป้าจากสนามวัดสอบในห้องทดลอง



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างการหมายตำแหน่งของเป้าจากสนามวัดสอบเพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม