บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 คำนำ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทฤษฎีทางเรขาคณิตของเลนส์ตาปลาเพื่อนำเลนส์ตาปลามาประยุกต์ใช้ในการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้เพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม เพราะการวัดด้วยเลนส์ตาปลามีข้อได้เปรียบเลนส์ปกติในแง่ที่สามารถวัดในระยะใกล้และได้มุมการวัดที่คลอบคลุมมากๆ โดยการถ่ายภาพน้อยครั้ง แต่เนื่องจากเลนส์ตาปลายังมิได้ถูกนำมาใช้ในงานสำรวจด้วยภาพถ่ายอย่างกว้างขวาง จึงมีงานวิจัยและทฤษฎีของเลนส์ตาปลาโดยเฉพาะจำนวนน้อยมาก และยังไม่มีงานวิจัยที่สรุปผลความถูกต้องในระบบพิกัดวัตถุของการใช้เลนส์ตาปลาในงานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ (Close Range Photogrammetry) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาหาความถูกต้องและกรรมวิธีของการวัดด้วยเลนส์ตาปลาเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้เลนส์ตาปลาในงานสำรวจด้วยภาพระยะใกล้เพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม

จากการศึกษางานวิจัยและทฤษฎีทางเรขาคณิตต่างๆของเลนส์ตาปลาพบว่า เรขาคณิตการฉายรังสีแสงบนระนาบภาพของเลนส์ตาปลาเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดความแตกต่างจากเลนส์ปกติ ในต่างประเทศได้มีงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ทดสอบหาแบบจำลองการฉายที่เหมาะสมกับเลนส์ตาปลาที่ให้ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 จุดภาพ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกแบบจำลองการฉายของ (Ellen Schwalbe, 2005) ที่มีข้อได้เปรียบ คือ ใช้ได้กับเลนส์ตาปลาทุกรุ่นโดยให้ความละเอียดไม่เกิน 1 จุดภาพ (แบบจำลองการฉายในงานวิจัยอื่นมักใช้ได้กับเลนส์รุ่นเดียวเท่านั้น) นอกจากนี้ยังเป็นแบบจำลองที่ไม่ซับซ้อนจึงง่ายต่อการคำนวณ

เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเลนส์ตาปลามีความแตกต่างจากแบบจำลองของเลนส์ปกติเป็นอย่างมาก ดังนั้น โปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในงานสำรวจด้วยภาพถ่ายทั่วไปจึงไม่สามารถประมวลผลภาพถ่ายของเลนส์ตาปลาได้ ในงานวิจัยนี้จึงใช้โปรแกรม Mathematica V.5 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้เขียนการคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยเฉพาะ ในการเขียนการคำนวณด้วยเทคนิคลีสท์สแควร์ด้วยสมการค่าสังเกตุ ผลลัพธ์ที่ได้ในขั้นต้นจากกระบวนการวัดย้อนสำหรับภาพถ่ายเดี่ยว (Single Photo Resection) คือ ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองเลนส์ตาปลาในแต่ละกรณีศึกษา และขั้นตอนต่อไปคือการนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมาทำการคำนวณพิกัดวัตถุของคู่ภาพ (Two Photo Intersection) เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเศษเหลือของจุดตรวจสอบโดยแบ่งเป็น ค่าเศษเหลือของพิกัดภาพถ่ายและค่าเศษเหลือของพิกัดวัตถุ

การสำรวจรังวัดในงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมโดยทั่วไปนั้นจะมีความละเอียดถูกต้องประมาณ 1:50 หรือ ±10 มิลลิเมตร (Stanbridge, 2548) ดังนั้น ค่าคลาดเคลื่อนที่ได้จากรังวัดโดยใช้แบบจำลองเลนส์ตาปลาในงานวิจัยนี้จะต้องอยู่ในเกณฑ์ดังกล่าว การประเมินความถูกต้องจะวิเคราะห์โดยใช้ปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งในงานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้เพื่อสรุปผลในแง่ความถูกต้องและสรุปกรรมวิธีที่เหมาะสมของการประยุกต์ใช้เลนส์ตาปลาเพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม

5.2 สรุปผลตามปัจจัยที่เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้

5.2.1 ค่าพารามิเตอร์ภายใน

ค่าพารามิเตอร์ภายในของแบบจำลองเลนส์ตาปลาในงานวิจัยนี้(Ellen Schwalbe,2005) ได้แก่ รัศมีภาพถ่าย (R) และจุดมุขยสำคัญ (xh, yh) การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ภายในของแต่ละกรณีศึกษาพบว่า รัศมีภาพถ่าย (R) มีค่าตั้งแต่ 3.196 ถึง 3.339 มิลลิเมตร ส่วน xh มีค่าตั้งแต่ -0.069 ถึง 0.092 มิลลิเมตร และ yh มีค่าตั้งแต่ -0.105 ถึง 0.081 มิลลิเมตร นั่นคือ R, xh, yh มีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วงประมาณ 0.143, 0.188 และ 0.186 มิลลิเมตร ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่าค่าพารามิเตอร์ภายในของการถ่ายภาพในแต่ละครั้งจะมีค่าแตกต่างกันออกไปพอสมควร ดังนั้น การสำรวจด้วยภาพถ่ายโดยใช้แบบจำลองเลนส์ตาปลานี้ควรใช้กระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ของกล้องไปพร้อมกับกระบวนการรังวัดหรือกระบวนการวัดสอบกล้องในตัว (Self-Camera Calibration) ด้วยกรรมวิธีกล้องอินเวอร์ส (Inverse Camera Method)

5.2.2 จำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย

กรณี 1-4 เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบจำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเลนส์ตาปลาโดยทุกกรณีจะทำการกระจายตำแหน่งของจุดควบคุมภาพถ่ายให้ครอบคลุมพื้นที่รังวัดและมีแกนสมมาตรอย่างน้อยสองแกน ซึ่งมีจำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายคือ 8, 11, 14 และ 17 จุด ตามลำดับ จากผลลัพธ์ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ค่าเศษเหลือของพิกัดภาพของจุดตรวจสอบชุดเดียวกันทั้ง 4 กรณี พบว่า ค่าเศษเหลือเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ เป็น 0.93, 0.74, 0.64 และ0.62 จุดภาพ ตามลำดับ โดยกรณี 2 ลดลงจากกรณี 1 เท่ากับ 0.19 จุดภาพ กรณี 3 ลดลงจาก กรณี 2 เท่ากับ 0.10 จุดภาพ และกรณี 4 ลดลงจาก กรณี 3 เท่ากับ 0.02 จุดภาพ จึงวิเคราะห์ได้ว่าจำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายของกรณี 3 ซึ่งมีจำนวน 14 จุดให้ค่าเศษเหลือใกล้เคียงกับกรณี 4 ซึ่งมีจำนวน 17 จุด ดังนั้นจำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายที่เหมาะสมของเลนส์ตาปลาในงานวิจัยนี้คือ จำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายอย่างน้อย 14 จุด

5.2.3 วิธีการหมายตำแหน่งจุดภาพ

กรณี 5-6 เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการหมายตำแหน่งจุดภาพที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเลนส์ตาปลา ซึ่งแบ่งเป็นกรณีวัดครั้งเดียว และกรณีวัดและทดสอบค่าทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยเหตุที่แบ่งเป็น 2 กรณีดังกล่าวเพราะการหมายตำแหน่งจุดภาพในทางปฏิบัติของงานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้เพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมมักมีจุดที่ต้องทำการรังวัดจำนวนมาก จึงมักทำการวัดเพียงครั้งเดียวดังนั้นหากเป้าที่ไม่ชัดเจนพอโดยเฉพาะเป้าธรรมชาติอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากการหมายตำแหน่งจุดภาพได้ จึงต้องทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างค่าความถูกต้องของการวัดครั้งเดียวกับการวัดและทดสอบค่าทางสถิติ

ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่าเศษเหลือเฉลี่ยทางแกน X ของกรณี 5-6 เท่ากับ 2.0 และ 1.9 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าเศษเหลือเฉลี่ยทางแกน Y เท่ากับ 1.9 และ 1.8 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าเศษเหลือเฉลี่ยทางดิ่ง (Z) เท่ากับ 3.9 และ 3.7 มิลลิเมตร ตามลำดับ และค่าเศษเหลือเฉลี่ยทิศทางรวม เท่ากับ 4.9 และ 4.7 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ดังนั้น การหมายตำแหน่งจุดภาพด้วยวิธีการวัดและทดสอบค่าทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จะให้ค่าเศษเหลือน้อยกว่าการวัดครั้งเดียว ที่ระยะถ่ายภาพ 2 เมตรและระยะฐานการถ่ายภาพ 1 เมตร คือ ค่าเศษเหลือเฉลี่ยทางแกน X ลดลง 0.1 มิลลิเมตร ทางแกน Y ลดลง 0.1 มิลลิเมตร ทางแกน Z ลดลง 0.2 มิลลิเมตร และในทิศทางรวม ลดลง 0.2 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่าไม่มีนัยสำคัญในเกณฑ์ความถูกต้องของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม

5.2.4 อัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึก

กรณี 6-7 เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึก โดยทำการถ่ายภาพที่ระยะลึกเดียวกันคือ 2 เมตร แต่ระยะฐานต่างกันคือ 1 และ 2 เมตร ตามลำดับ ทำให้ได้อัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึกที่ต่างกัน 2 เท่า คือ 0.5 และ 1 ตามลำดับ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่าเศษเหลือเฉลี่ยทางแกน X ของกรณี 6-7 เท่ากับ 1.9 และ 1.7 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าเศษเหลือเฉลี่ยทางแกน Y เท่ากับ 1.8 และ 1.7 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่าเศษเหลือเฉลี่ยทางแกน Z เท่ากับ 3.7 และ 3.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ และค่าเศษเหลือเฉลี่ยทิศทางรวม เท่ากับ 4.7 และ 4.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ดังนั้น อัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึกที่เพิ่มขึ้น 2 เท่าจาก 0.5 เป็น 1 โดยถ่ายภาพที่ระยะ 2 เมตร ค่าเศษเหลือเฉลี่ยจะลดลง ดังนี้ ทางแกน X ลดลง 0.2 มิลลิเมตร ทางแกน Y ลดลง 0.1มิลลิเมตร ทางแกน Z ลดลง 0.1 มิลลิเมตร และในทิศทางรวมลดลง 0.2 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่าไม่มีนัยสำคัญในเกณฑ์ความถูกต้องของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม

5.2.5 มาตราส่วนภาพถ่ายหรือระยะถ่ายภาพ

กรณี 7-8 เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบมาตราส่วนภาพถ่ายหรือระยะถ่ายภาพที่ต่างกัน 2.5 เท่า นั่นคือทำการถ่ายภาพที่ระยะ 2 และ5 เมตร ตามลำดับ แต่ระยะฐานการถ่ายภาพเท่ากันคือ 2 เมตร การวิเคราะห์ผลลัพธ์นั้นจะใช้ทั้งค่าเศษเหลือของพิกัดภาพของจุดตรวจสอบจากหัวข้อ 4.3 และค่าเศษเหลือของพิกัดวัตถุของจุดตรวจสอบจากหัวข้อ 4.4.6

ค่าเศษเหลือเฉลี่ยของค่าพิกัดภาพของจุดตรวจสอบกรณี 7-8 (ภาพซ้าย) ในแกน x เท่ากับ 0.64 และ 0.76 จุดภาพ ตามลำดับ แกน y เท่ากับ 0.67 และ 0.74 จุดภาพ ตามลำดับ และในทิศทางรวมเท่ากับ 0.96 และ 1.09 จุดภาพ ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มระยะถ่ายภาพจาก 2 เมตร เป็น 5 เมตร ทำให้ค่าเศษเหลือเฉลี่ยของพิกัดภาพเพิ่มขึ้นทางแกน x เท่ากับ 0.12 จุดภาพ แกน y เพิ่มขึ้น 0.07 จุดภาพ และในทิศทางรวมเพิ่มขึ้น 0.13 จุดภาพ

ค่าเศษเหลือเฉลี่ยของค่าพิกัดวัตถุของจุดตรวจสอบกรณี 7-8 ในแกน X เท่ากับ 1.7 และ 3.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในแกน Y เท่ากับ 1.7 และ 3.0 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในแกน Z เท่ากับ 3.6 และ 6.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ และค่าเศษเหลือเฉลี่ยทิศทางรวม เท่ากับ 4.5 และ 7.7 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้นสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มระยะถ่ายภาพจาก 2 เมตร เป็น 5 เมตร ทำให้ค่าเศษเหลือเฉลี่ยของพิกัดวัตถุเพิ่มขึ้นทางแกน X เท่ากับ 1.4 มิลลิเมตร ทางแกน Y เท่ากับ 1.3 มิลลิเมตร ทางแกน Z เท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร และในทิศทางรวมเท่ากับ 3.2 มิลลิเมตร

สรุปได้ว่า ค่าเศษเหลือที่ปรากฏในระบบพิกัดภาพของระยะถ่ายภาพที่ต่างกันจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่าเศษเหลือในระบบพิกัดวัตถุจะมีค่าต่างกันค่อนข้างมาก อันเนื่องมาจากมาตราส่วนภาพถ่ายที่ต่างกันทำให้ความคลาดเคลื่อนของจุดภาพที่ปรากฏในระบบพิกัดวัตถุของแต่ละมาตราส่วนภาพถ่ายมีขนาดต่างกัน

5.3 สรุปผลความถูกต้องของการประยุกต์ใช้เลนส์ตาปลาในงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม

สรุปผลจากกรณี 5-8 เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องในเกณฑ์ของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมซึ่งต้องมีความละเอียดถูกต้อง 1:50 หรือ 10 มิลลิเมตร (Atkinson, 1980 และ Stanbridge,.2548) ได้ดังนี้

- กรณี 5 มีค่าเศษเหลือเฉลี่ยของพิกัดวัตถุของจุดตรวจสอบทางแกน X เท่ากับ 2.0 เมตร แกน Y เท่ากับ 1.9 เมตร แกน Z เท่ากับ 3.9 เมตรและในทิศทางรวมเท่ากับ 4.9 มิลลิเมตร โดยค่าเศษเหลือทางแกน X เท่ากับ 0.1 ถึง 4.3 มิลลิเมตร แกน Y เท่ากับ 0.1 ถึง 4.2 มิลลิเมตร แกน Z เท่ากับ 0.2 ถึง 8.5 มิลลิเมตร และทิศทางรวม เท่ากับ 0.7 ถึง 9.7 มิลลิเมตร

ในการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเศษเหลือในบริเวณต่างๆ ของสนามวัดสอบสามารถวิเคราะห์ค่าเศษเหลือของแต่ละพื้นที่โดยเทียบกับตำแหน่งกลางคู่ภาพ โดยค่าเศษเหลือเฉลี่ย

ของพื้นที่รัศมี 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 เมตร มีค่าเท่ากับ 2.0, 2.7, 4.0, 4.8, 6.3, 6.8, 7.7 และ 9.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้น กรณี 5 มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม

- กรณี 6 มีค่าเศษเหลือเฉลี่ยของพิกัดวัตถุของจุดตรวจสอบทางแกน X เท่ากับ 1.9 เมตร แกน Y เท่ากับ 1.8 เมตร แกน Z เท่ากับ 3.7 เมตรและในทิศทางรวมเท่ากับ 4.7 มิลลิเมตร โดยช่วงของค่าเศษเหลือทางแกน X เท่ากับ 0.1 ถึง 4.1 มิลลิเมตร แกน Y เท่ากับ 0.1 ถึง 4.2 มิลลิเมตร แกน Z เท่ากับ 0.2 ถึง 8.1 มิลลิเมตร และทิศทางรวม เท่ากับ 0.6 ถึง 9.6 มิลลิเมตร

ในการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเศษเหลือในบริเวณต่างๆ ของสนามวัดสอบสามารถวิเคราะห์ค่าเศษเหลือของแต่ละพื้นที่โดยเทียบกับตำแหน่งกลางคู่ภาพ โดยค่าเศษเหลือเฉลี่ยของพื้นที่รัศมี 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 เมตร มีค่าเท่ากับ 1.9, 2.6, 3.9, 4.6, 6.0, 6.4, 7.2 และ 9.1 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้น กรณี 6 มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม

- กรณี 7 มีค่าเศษเหลือเฉลี่ยของพิกัดวัตถุของจุดตรวจสอบทางแกน X เท่ากับ 1.7 เมตร แกน Y เท่ากับ 1.7 เมตร แกน Z เท่ากับ 3.6 เมตรและในทิศทางรวมเท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร โดยช่วงของค่าเศษเหลือทางแกน X เท่ากับ 0.02 ถึง 4.0 มิลลิเมตร แกน Y เท่ากับ 0.03 ถึง 4.1 มิลลิเมตร แกน Z เท่ากับ 0.1 ถึง 8.2 มิลลิเมตร และทิศทางรวม เท่ากับ 0.3 ถึง 9.4 มิลลิเมตร

ในการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเศษเหลือในบริเวณต่างๆ ของสนามวัดสอบสามารถวิเคราะห์ค่าเศษเหลือของแต่ละพื้นที่โดยเทียบกับตำแหน่งกลางคู่ภาพ โดยค่าเศษเหลือเฉลี่ยของพื้นที่รัศมี 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 เมตร มีค่าเท่ากับ 1.5, 1.7, 3.0, 4.6, 5.7, 7.1, 8.3 และ 9.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้น กรณี 7 มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม

- กรณี 8 มีค่าเศษเหลือเฉลี่ยของพิกัดวัตถุของจุดตรวจสอบทางแกน X เท่ากับ 3.1 เมตร แกน Y เท่ากับ 3.0 เมตร แกน Z เท่ากับ 6.1 เมตรและในทิศทางรวมเท่ากับ 7.7 มิลลิเมตร โดยช่วงของค่าเศษเหลือทางแกน X เท่ากับ 0.1 ถึง 5.2 มิลลิเมตร แกน Y เท่ากับ 0.1 ถึง 5.3 มิลลิเมตร แกน Z เท่ากับ 0.2 ถึง 10.6 มิลลิเมตร และทิศทางรวม เท่ากับ 1.7 ถึง 12.5 มิลลิเมตร

ในการวิเคราะห์หาความแตกต่างของค่าเศษเหลือในบริเวณต่างๆ ของสนามวัดสอบสามารถวิเคราะห์ค่าเศษเหลือของแต่ละพื้นที่โดยเทียบกับตำแหน่งกลางคู่ภาพ โดยค่าเศษเหลือเฉลี่ยของพื้นที่รัศมี 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 เมตร มีค่าเท่ากับ 5.2, 6.1, 6.5, 7.8, 8.8, 9.0, 10.5 และ 11.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดังนั้น กรณี 7 มีความถูกต้องไม่อยู่ในเกณฑ์ของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมเมื่อจุดตรวจสอบมีระยะห่างตั้งแต่ 6 เมตร เมื่อวัดจากจุดกลางคู่ภาพในทิศทางราบ

สรุป การวิเคราะห์จากเกณฑ์ของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมที่ต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 มิลลิเมตร พบว่า จุดตรวจสอบทุกจุดของกรณี 5-7 ซึ่งใช้ระยะถ่ายภาพ 2 เมตรให้ความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม โดยค่าเศษเหลือเฉลี่ยในทิศทางรวมมีขนาดใกล้เคียงกันคือ 4.9, 4.7 และ4.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีค่าใกล้เคียงกันจนไม่มีนัยสำคัญในงานวิจัยนี้ และความคลาดเคลื่อนทางดิ่งมีค่าประมาณ 2 เท่าของความคลาดเคลื่อนทางราบ ส่วนในกรณี 8 ซึ่งใช้ระยะถ่ายภาพ 5 เมตร ให้ค่าเศษเหลือเฉลี่ยในทิศทางรวมประมาณ 7.7 มิลลิเมตร แต่จุดตรวจสอบบางจุดที่ระยะห่างตั้งแต่ 6 เมตรขึ้นไป เมื่อวัดจากจุดกลางคู่ภาพในทิศทางราบ มีความถูกต้องไม่อยู่ในเกณฑ์ของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม ดังนั้นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองเลนส์ตาปลาในระบบพิกัดวัตถุมากที่สุดคือ มาตราส่วนภาพถ่ายหรือระยะถ่ายภาพ

5.4 สรุปกรรมวิธีที่เหมาะสมของการประยุกต์ใช้เลนส์ตาปลาในงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม

การประยุกต์ใช้เลนส์ตาปลาในงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม จะต้องทำการวัดโดยคำนึงถึงปัจจัยสำคัญดังต่อไปนี้

5.4.1 ระยะถ่ายภาพหรือมาตราส่วนภาพถ่าย

ในงานวิจัยนี้ขอแนะนำระยะถ่ายภาพที่ 2 เมตรจากตำแหน่งกลางบริเวณที่ต้องการรังวัด เนื่องจากเป็นระยะถ่ายภาพที่สามารถให้ค่าคลาดเคลื่อนจากการวัดจุดตรวจสอบทุกจุดจากพื้นที่ประมาณ 6*12 ตารางเมตรให้อยู่ในเกณฑ์งานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมได้ แต่เมื่อพิจารณาถึงแนวทางเบื้องต้นของการเก็บข้อมูลภาพเพื่องานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม พบว่า ในแต่ละคู่ภาพค่าความถูกต้องของจุดตรวจสอบจะลดลงตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นจากจุดกลางคู่ภาพ ซึ่งจากกรณี 8 พบว่าที่ระยะถ่ายภาพเท่ากับ 5 เมตร จะมีจุดตรวจสอบบางจุดในบริเวณส่วนริมของสนามวัดสอบที่ให้ความคลาดเคลื่อนเกิน 10 มิลลิเมตร ซึ่งจุดในบริเวณดังกล่าวจะมีระยะห่างตั้งแต่ 6 เมตรขึ้นไป เมื่อวัดจากตำแหน่งกลางคู่ภาพในทิศทางราบ หรือ ระยะตั้งแต่ 8 เมตรขึ้นไปในทิศทางรวม ดังนั้น สรุปได้ว่า ควรจะถ่ายภาพโดยให้ตำแหน่งของกล้องห่างจากจุดที่ต้องการรังวัดไม่เกิน 8 เมตร

5.4.2 จุดควบคุมภาพถ่าย

จำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายต่ำสุดที่สามารถประมวลผลแบบจำลองเลนส์ตาปลาได้ คือ 7 จุด แต่จากการวิจัย พบว่า จำนวนจุดควบคุมภาพถ่ายที่เหมาะสมในการประมวลผลเลนส์ตาปลาคือ อย่างน้อย 14 จุด โดยจัดเรียงให้ครอบคลุมบริเวณที่ทำการรังวัดอย่างสมมาตร

5.4.3 อัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึก

อัตราส่วนระยะฐานต่อระยะลึกที่เปรียบเทียบกันในงานวิจัยนี้ มีผลต่อความถูกต้องของจุดตรวจสอบน้อยมาก เมื่อเทียบกับเกณฑ์ของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมจึงถือว่าไม่มีนัยสำคัญ

5.4.4 วิธีการหมายตำแหน่งด้วยมือ

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการวัดครั้งเดียว กับวิธีการวัดและทดสอบค่าทางสถิติ มีผลต่อความถูกต้องของจุดตรวจสอบน้อยมาก เมื่อเทียบกับเกณฑ์ของงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรมจึงถือว่าไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นหากต้องการประหยัดเวลาแล้ว การวัดครั้งเดียวจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า อย่างไรก็ตาม วิธีการวัดและทดสอบค่าทางสถิติจะช่วยให้สามารถขจัดความผิดพลาด (mistake) ของการหมายตำแหน่งด้วยมือได้

5.4.5 กระบวนการวัดสอบกล้อง

ในการถ่ายภาพด้วยเลนส์ตาปลาจะต้องทำการสวมเลนส์ตาปลาเข้ากับตัวกล้องซึ่งเป็นกล้องที่มิได้ออกแบบเพื่อการรังวัด (Non Metric Camera) ทำให้ค่าพารามิเตอร์ภายในและค่าพารามิเตอร์เสริมของกล้องที่สวมเลนส์ตาปลามีค่าไม่เสถียร ดังนั้นจึงต้องใช้กระบวนการวัดสอบกล้องในตัว (Self-Camera Calibration) ด้วยกรรมวิธีกล้องอินเวอร์ส (Inverse Camera Method) ซึ่งเป็นกระบวนการหาค่าพารามิเตอร์ของกล้องไปพร้อมกับการรังวัด

สรุปกรรมวิธีที่แนะนำในการประยุกต์ใช้เลนส์ตาปลาในงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม คือ ทำการวัดสอบด้วยกระบวนการวัดสอบกล้องในตัวด้วยกรรมวิธีกล้องอินเวอร์ส ใช้ระยะถ่ายภาพ 2 เมตร และจุดควบคุมภาพถ่าย 14 จุด ดังในกรณี 7 ซึ่งจะให้ค่าความถูกต้องทางแกน X เท่ากับ 1.7 มิลลิเมตร แกน Y เท่ากับ 1.7 มิลลิเมตร แกน Z เท่ากับ 3.6 มิลลิเมตรและในทิศทางรวมเท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร

5.5 ปัญหาและอุปสรรคของงานวิจัย

5.5.1 ข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดระยะทางของเป้ามีค่าคลาดเคลื่อนการวัดประมาณ 3 mm ± 2 ppm

5.5.2 ข้อจำกัดของเครื่องมือที่ใช้ในการวัดมุมของเป้ามีค่าคลาดเคลื่อนการวัดประมาณ 5 ฟิลิปดา

5.5.3 กล้องและเลนส์ตาปลาที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีชุดเดียว จึงไม่สามารถทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับกล้องหรือเลนส์ตาปลารุ่นอื่นๆ ได้

5.6 ข้อเสนอแนะ

5.6.1 ควรมีการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้ในการประมวลผลจุดภาพจากเลนส์ตาปลาเพื่อใช้ในงานอนุรักษ์สถาปัตยกรรม

5.6.2 ควรมีการทดสอบเปรียบเทียบกล้องรุ่นอื่นๆ ที่มีความละเอียดที่สูงขึ้นเพื่อให้ความถูกต้องที่ดีขึ้น

5.6.3 ควรศึกษาต่อเนื่องในการพัฒนาโปรแกรมที่สามารถทำการดัดแก้ภาพออโท (Orthorectification) ของภาพถ่ายจากเลนส์ตาปลา

5.6.4 ควรมีการศึกษาใช้แบบจำลองของเลนส์ตาปลาในการสร้างโครงข่ายงานรังวัดด้วยภาพถ่าย โดยใช้ภาพถ่ายตั้งแต่ 2 ภาพขึ้นไป

5.6.5 ควรมีกระบวนการวัดพิกัดวัตถุของจุดตรวจสอบที่ให้ความละเอียดถูกต้องมากขึ้น

5.6.6 ควรมีการศึกษากรณีศึกษาอื่นๆ เพื่อหาข้อสรุปจากปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติม เพราะการใช้เลนส์ตาปลาในงานสำรวจด้วยภาพถ่ายถือเป็นระยะเริ่มต้นและยังมีประเด็นที่ต้องศึกษาเพิ่มเติมอีกมาก