

รายงานการวิจัย

การสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัล

3D Modeling of Archaeology with Digital Photograph

นายณรงค์ พูนพจน์มาศ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

ราชมนครกรุงเทพมหานคร

งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2552

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมนครกรุงเทพมหานคร

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัล เป็นโครงการภายใต้การอุดหนุนงานวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2552 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สาขางานวิจัยประยุกต์ โครงการวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดีภายใต้ความร่วมมือของหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยฯ ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานตลอดมา ในที่นี้ขอขอบคุณส่วนงานวิชาการ พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติพระนคร กรุงเทพมหานคร ที่อำนวยความสะดวกในการบันทึกข้อมูลภาพถ่าย



บทคัดย่อ

การสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัลดำเนินงานภายใต้หลักการของการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ อาศัยภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอนอีโอเอส 50 ดี กับเลนส์ความยาวโฟกัสคงที่ขนาด 20 มิลลิเมตรด้วยความละเอียดของจุดภาพ 4752 x 3168 จุดภาพ (15 ล้านจุดภาพ) และประมวลผลแบบจำลองสามมิติด้วยโปรแกรม PhotoModeler Scanner® โบราณวัตถุชนิดรูปหินสลักจำนวน 5 ชิ้นงานจัดแสดงในส่วนทางเดินภายในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติพระนคร กรุงเทพมหานคร ประกอบด้วย กลีบขมุนนปรางค์สลักรูปพระพุทธรูปปางมารวิชัย กลีบขมุนนปรางค์สลักรูปพระอิศวรทรงโคหนที กลีบขมุนนปรางค์สลักรูปพระยมทรงกระบือ ชิ้นส่วนหน้าบัน และเศียรนาคตามลำดับ

ดำเนินการจากการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล การกำหนดขนาดของจุดสัญญาณเหมาะสม การหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่าย และการสร้างแบบจำลองสามมิติ ในการประมวลผลแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุทั้ง 5 ชิ้นงานได้ทำการกำหนดรูปแบบและเงื่อนไขของการประมวลผลที่แตกต่างกันรวมเป็น 20 แบบจำลอง โดยความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำสุดและสูงสุดของการหาค่าการวางตัวเป็น 0.12 และ 0.58 จุดภาพตามลำดับ ในที่นี้สามารถสร้างแบบจำลองสามมิติที่มีรายละเอียดสมบูรณ์ในแบบจำลองที่ 1 และแบบจำลองที่ 3

ผลจากการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุที่มีรายละเอียดสมบูรณ์จำนวน 2 ชิ้นงาน เมื่อทำการพิจารณาหาสาเหตุสำหรับโบราณวัตถุชิ้นงานที่ไม่สามารถสร้างแบบจำลองได้ไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจน หากเมื่อพิจารณาเงื่อนไขของการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ต้องมีการจับคู่จุดบนภาพถ่าย ความชัดของภาพอาจเป็นเหตุเป็นผลที่ทำให้ไม่สามารถดำเนินการจับคู่จุดบนภาพถ่ายได้ถูกต้อง

Abstract

3 D model processing of the ancient object by digital photo techniques based on the close range photogrammetry principle. Using the photos take from digital camera CANON EOS50D with 20mm constant focal length lens, 4752x3168 of image resolution, 15 Effective Mega pixel and “Photo Modeler Scanner” 3D model processing software. Five pieces of engraved-stone ancient object which are displayed in Phanakorn National Museum composed of Antefix with Buddha, Antefix with Isana, Antefix with Yama on his Vihecle, Fragment of Pediment and Naga Head respectively.

Operation start form Camera Calibration that using for data recording, specifying the optimum signal size, determining the photos exterior orientation and 3D-modeling creation. 3D modeling processing of the five ancient objects has been specified in 20 different patterns and conditions in which orientation minimum and maximum RMS errors are 0.12 and 0.58 pixel respectively. Hereby; 3D model number 1 and number 3 processing have complete detail.

As a result of the complete detail model processing of the two objects, after considering for the unable to process the object cannot find the distinct differentiation. When considering 3D model processing that need to pair point on that photos, image sharpness might be the reason why cannot pair the correct points on the images.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 หลักการ ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ภาพถ่ายดิจิทัล	6
2.2 เงื่อนไขสถานะร่วมเส้น (Colinearity Condition)	6
2.3 การปรับแก้บล็อกถ่วงแสง (Bundle Block Adjustment)	9
2.4 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	19
3.1 การวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัล	20
3.2 การออกแบบจุดสัญญาณภาพถ่าย	23
3.3 การสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุ	25
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน โครงการวิจัย	42
4.1 ผลการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัล	42
4.2 ผลการออกแบบขนาดของจุดสัญญาณภาพถ่าย	44
4.3 แบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุ	46

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลโครงการวิจัยและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการวิจัย	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	69
บรรณานุกรม	71
ภาคผนวก ก	72
ภาคผนวก ข	95
ภาคผนวก ค	169



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 หลักการฉายของภาพถ่าย	6
รูปที่ 2.2 เงื่อนไขสภาวะร่วมเส้น	7
รูปที่ 2.3 ระบบพิกัดฉากภาพถ่ายซึ่งถูกหมุนให้ขนานกับระบบพิกัดจริง	8
รูปที่ 2.4 บล็อกลำแสงของภาพถ่ายระยะใกล้	10
รูปที่ 2.5 กล้องถ่ายภาพ Rollei d7	10
รูปที่ 2.6 ภาพร่างงานศิลปะบนเพดานโบสถ์จากภาพถ่าย	11
รูปที่ 2.7 ภาพถ่ายของวัตถุที่ทำการฉายตำแหน่ง	12
รูปที่ 2.8 ภาพแสดงจุดรั้งวัดบนพื้นผิวของวัตถุ	12
รูปที่ 2.9 ภาพแสดงพื้นที่บริเวณ Santo Domingo del Silos	13
รูปที่ 2.10 แบบจำลองสามมิติบริเวณโบสถ์ Santo Domingo del Silos	14
รูปที่ 2.11 ตำแหน่งและการวางตัวของารวัดสอบกล้องถ่ายภาพ	15
รูปที่ 2.12 ภาพถ่ายของโบสถ์ในย่าน Calgary Canada	15
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดสัญญาณและภาพของจุดสัญญาณ	17
รูปที่ 3.1 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล แคนนอน อีโอเอส 50 ดี	20
รูปที่ 3.2 แผ่นวัดสอบสำหรับ โปรแกรม PhotoModeler®	22
รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายแผ่นวัดสอบเพื่อการประมวลผลค่าองค์ประกอบภายใน	23
รูปที่ 3.4 จุดสัญญาณชนิดวงแหวนที่สามารถค้นหาแบบอัตโนมัติ	24
รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายกลับขุ่นปรารภค์สถัพระพุทธรูปปางมารวิชัย	26
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งบันทึกภาพถ่ายเพื่อการสร้างแบบจำลองของโบราณวัตถุ	27
รูปที่ 3.7 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 1 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 4 ภาพ	28
รูปที่ 3.8 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 1 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 9 ภาพ	28
รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายกลับขุ่นปรารภค์สถัรูปพระอิศวรทรงโคนนที	29
รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายของจุดรั้งวัดร่วมของแบบจำลองสามมิติที่ 2	30
รูปที่ 3.11 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 2 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพ	31
รูปที่ 3.12 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 2 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 11 ภาพ	31
รูปที่ 3.13 ภาพถ่ายกลับขุ่นปรารภค์สถัรูปพระยมทรงกระบือ	32
รูปที่ 3.14 ภาพถ่ายของจุดรั้งวัดร่วมของแบบจำลองสามมิติที่ 3	33

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.15 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 3 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพ	34
รูปที่ 3.16 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 3 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 8 ภาพ	34
รูปที่ 3.17 ภาพถ่ายขึ้นส่วนหน้าบ้าน	35
รูปที่ 3.18 ภาพถ่ายของจุดรังวัดร่วมของแบบจำลองสามมิติที่ 4	36
รูปที่ 3.19 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 4 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพ	37
รูปที่ 3.20 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 4 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 10 ภาพ	37
รูปที่ 3.21 ภาพถ่ายขึ้นส่วนเสียนาค	38
รูปที่ 3.22 ภาพถ่ายของจุดรังวัดร่วมของแบบจำลองสามมิติที่ 5	39
รูปที่ 3.23 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 4 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพ	40
รูปที่ 3.24 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 4 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 10 ภาพ	40
รูปที่ 4.1 จุดสัญญาณลักษณะวงแหวนขนาดจุดศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร	44
รูปที่ 4.2 แบบจำลองสามมิติที่ 1 แสดงส่วนพื้นผิวเสมือนจริง	49
รูปที่ 4.3 แบบจำลองสามมิติที่ 1 แสดงส่วนมุมมองด้านข้าง	49
รูปที่ 4.4 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 2	50
รูปที่ 4.5 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1	51
รูปที่ 4.6 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 2	51
รูปที่ 4.7 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1	53
รูปที่ 4.8 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 2	53
รูปที่ 4.9 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1	55
รูปที่ 4.10 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 2	55
รูปที่ 4.11 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1	57
รูปที่ 4.12 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 2	57
รูปที่ 4.13 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1	58
รูปที่ 4.14 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 2	59
รูปที่ 4.15 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 4 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1	60
รูปที่ 4.16 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 4 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1	61

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.17 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 5 รูปแบบที่ 1 เส้นใจที่ 1	62
รูปที่ 4.18 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 5 รูปแบบที่ 2 เส้นใจที่ 1	63
รูปที่ ก.1 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 1	73
รูปที่ ก.2 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 2	73
รูปที่ ก.3 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 3	74
รูปที่ ก.4 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 4	74
รูปที่ ก.5 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 5	75
รูปที่ ก.6 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 6	75
รูปที่ ก.7 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 7	76
รูปที่ ก.8 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 8	76
รูปที่ ก.9 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 1	77
รูปที่ ก.10 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 2	77
รูปที่ ก.11 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 3	78
รูปที่ ก.12 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 4	78
รูปที่ ก.13 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 5	79
รูปที่ ก.14 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 6	79
รูปที่ ก.15 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 7	80
รูปที่ ก.16 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 8	80
รูปที่ ก.17 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 9	81
รูปที่ ก.18 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 10	81
รูปที่ ก.19 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 11	82
รูปที่ ก.20 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 ตำแหน่งที่ 1	82
รูปที่ ก.21 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 ตำแหน่งที่ 2	83
รูปที่ ก.22 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 ตำแหน่งที่ 3	83
รูปที่ ก.23 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 ตำแหน่งที่ 4	84
รูปที่ ก.24 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 ตำแหน่งที่ 5	84

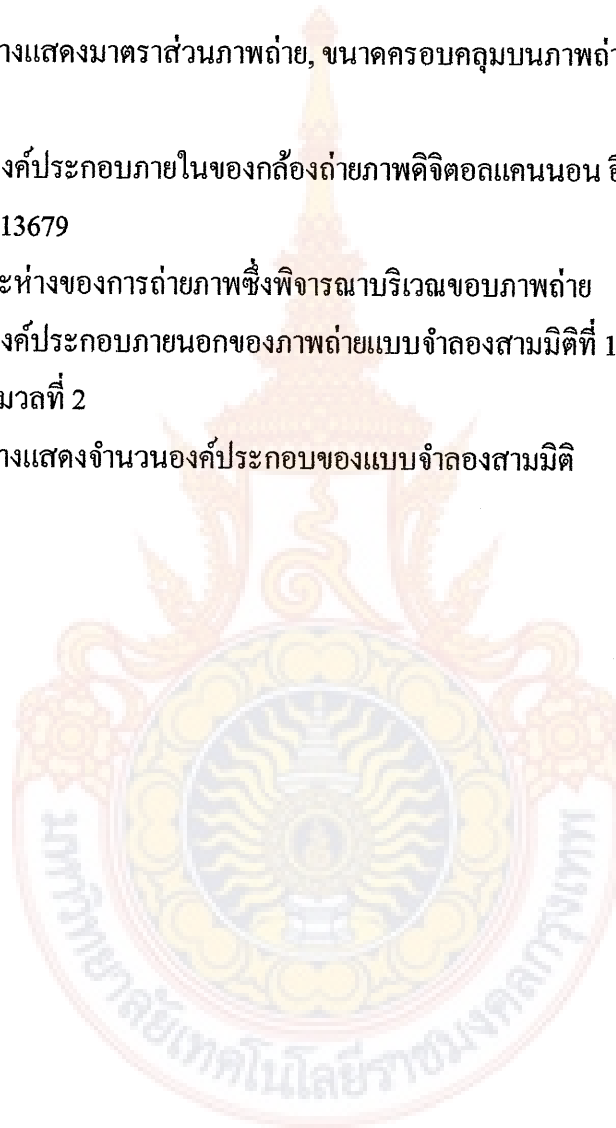
สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ ค.7 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 1	173
รูปที่ ค.8 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 2	173
รูปที่ ค.9 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 3	174
รูปที่ ค.10 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 4	174
รูปที่ ค.11 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 5	175
รูปที่ ค.12 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 6	175
รูปที่ ค.13 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 7	176
รูปที่ ค.14 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 8	176



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติทั่วไปของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล แคนนอน อีโอเอส 50 ดี	21
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงมาตราส่วนภาพถ่าย, ขนาดครอบคลุมบนภาพถ่าย, และขนาดวัตถุต่อจุดภาพ	24
ตารางที่ 4.1 ค่าองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส 50 ดี หมายเลข 0510313679	43
ตารางที่ 4.2 ระยะห่างของการถ่ายภาพซึ่งพิจารณาบริเวณขอบภาพถ่าย	45
ตารางที่ 4.3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 1 รูปแบบการประมวลที่ 2	47
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงจำนวนองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติ	68



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันข้อมูลเกี่ยวกับโบราณวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างทางประวัติศาสตร์ไม่มีการเก็บข้อมูลในส่วน of แบบจำลองสามมิติที่มีความเสมือนจริง ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปโบราณวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างทางประวัติศาสตร์ก็มีความเสื่อมสลายไปตามสภาวะทางธรรมชาติ โดยการอนุรักษ์หรือบำรุงรักษาไม่มีข้อมูลที่เป็นข้อมูลเสมือนจริงในเชิงวิศวกรรม ที่สามารถทำการรังวัดและแสดงผลได้อย่างมีความถูกต้องในระดับที่กำหนดได้ ตามที่องค์กรเพื่อการศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Educational Scientific and Cultural Organization: UNESCO) ได้แสดงบทบาทของการอนุรักษ์ศิลปะและมรดกทางวัฒนธรรมในรูปแบบดิจิทัลตามเอกสารเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม 2003 ภายใต้เนื้อหาของ Charter on the Preservation of the Digital Heritage

โดยที่การสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลมาสร้างแบบจำลองสามมิติจากวัตถุที่ไม่มีข้อมูลการสร้างหรือแบบของการสร้าง ทำให้ทราบถึงมิติและรูปร่างที่แน่นอนของแบบจำลอง อีกทั้งยังเป็นข้อมูลที่สามารถแสดงผลได้บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต กระบวนการทำงานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติ อาศัยขั้นตอนการวัดสเกลกล้องถ่ายภาพ การกำหนดจุดควบคุมภาพถ่าย การรังวัดจุดรวมบนภาพถ่าย เพื่อประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายเป็นค่าพิกัดสามมิติ

การแสดงผลข้อมูลของพื้นผิวใช้หลักการทางคอมพิวเตอร์กราฟฟิคในการนำเสนอรูปแบบของพื้นผิวโบราณวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างทางประวัติศาสตร์ในลักษณะที่เสมือนจริง ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทำงานดังกล่าวข้างต้นสามารถสร้างข้อมูลดิจิทัลในส่วนที่มีการบันทึกมาก่อนเพื่อประโยชน์ในด้านการอนุรักษ์ศิลปะและมรดกทางวัฒนธรรม อีกทั้งด้วยต้นทุนของการสร้างแบบจำลองด้วยวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายยังเป็นวิธีการที่มีต้นทุนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ ที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกัน

ลักษณะของการทำงานเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยภาพถ่ายระยะใกล้แตกต่างกันไปตามเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นด้วยกระบวนการประมวลผลแบบจำลอง ซึ่งโบราณวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างทางประวัติศาสตร์อาจมีลักษณะของการทำงานที่ไม่อาจเป็นไปได้เหมือนการทำงานบนวัตถุอื่นภายใต้เงื่อนไขดังกล่าว ทำให้ลักษณะของการทำงานรังวัดภาพถ่ายเปลี่ยนแปลงไปบ้างตามสถานการณ์ และส่งผลต่อระดับความถูกต้องของแบบจำลองสามมิติที่สร้างขึ้นเช่นกัน จึงมีความจำเป็นต้องอาศัยงานวิจัยเพื่อสร้างกระบวนการและเงื่อนไขของการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างทางประวัติศาสตร์ที่ใช้เพื่อการอนุรักษ์ ในการกำหนดลักษณะของการสร้างแบบจำลองสามมิติของวัตถุดังกล่าวให้มีความถูกต้องระดับมิลลิเมตรได้ในโอกาสต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุภายใต้เงื่อนไขของงานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ซึ่งมีต้นทุนต่ำ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการกำหนดเงื่อนไขการสร้างตัวแปรของการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุ
- 1.2.3 เพื่อจัดทำแบบจำลองสามมิติรูปแบบดิจิทัลของโบราณวัตถุภายใต้ความถูกต้องทางตำแหน่งระดับมิลลิเมตร

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ลักษณะการวิจัยเป็นการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุประเภทหินสลักภายในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติพระนคร โดยการกำหนดขอบเขตทั่วไปของงานสำรวจด้วยภาพถ่ายดิจิทัลระยะใกล้ดังนี้

- 1.3.1 ข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบทั่วไปที่มีความละเอียดคุณภาพระดับ 8 -10 ล้านจุดภาพหรือละเอียดกว่า
- 1.3.2 ประมวลผลแบบจำลองสามมิติดิจิทัลด้วยโปรแกรม PhotoModeler® และ PhotoModeler Scanner®
- 1.3.3 แบบจำลองทดสอบเป็นภาพสแลกหินขนาดไม่เกิน 1 x 1 เมตร

1.3.4 โบราณวัตถุที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติอยู่ภายในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติ
พระนคร

1.3.5 ความถูกต้องของแบบจำลองสามมิติอยู่ในระดับมิลลิเมตร

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินโครงการวิจัยของการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่าย
ดิจิทัลเป็นการประยุกต์ใช้งานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้เพื่อใช้สร้างแบบจำลองสามมิติดังกล่าว
ดำเนินงานตามขั้นตอนดังนี้

- 1.4.1 ศึกษาเกี่ยวกับงานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ที่เกี่ยวกับงานด้านโบราณคดี
- 1.4.2 ศึกษาการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ประมวลผลแบบจำลองสามมิติ
- 1.4.3 ศึกษาเงื่อนไขทั่วไปของการสร้างแบบจำลองสามมิติ
- 1.4.4 วัดสอบกล้องถ่ายภาพเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายใน
- 1.4.5 กำหนดเงื่อนไขแวดล้อมเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยภาพถ่าย
- 1.4.6 เก็บข้อมูลภาพถ่ายของภาพสลักหินปูนดำที่ใช้ในการทดสอบ
- 1.4.7 ประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของภาพสลักหินปูนดำที่ใช้
ในการทดสอบ
- 1.4.8 ปรับปรุงเงื่อนไขการสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยภาพถ่ายสำหรับภาพสลักหินปูนดำ
เพื่อให้มีความถูกต้องระดับมิลลิเมตร
- 1.4.9 เก็บข้อมูลภาพถ่ายของโบราณวัตถุที่มีลักษณะเดียวกับแบบจำลองที่ใช้ในการ
ทดสอบ
- 1.4.10 ประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติ
- 1.4.11 แสดงผลแบบจำลองในลักษณะที่เสมือนจริง
- 1.4.12 ประเมินผลโครงการวิจัย
- 1.4.13 สรุปโครงการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 มีกระบวนการการสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยภาพถ่ายของโบราณวัตถุภายใต้
เงื่อนไขของเครื่องมือที่ต้นทุนต่ำหรือมีอยู่แล้ว

- 1.5.2 มีแบบจำลองดิจิทัลสามมิติของโบราณวัตถุเสมือนจริงเพื่อการอนุรักษ์
- 1.5.3 นำไปสู่การเก็บบันทึกข้อมูลโบราณวัตถุในรูปแบบของแบบจำลองสามมิติเพื่อการอนุรักษ์
- 1.5.4 มีรูปแบบการกำหนดเงื่อนไขของตัวแปรเพื่อการสร้างแบบจำลองโบราณวัตถุที่เฉพาะเจาะจง
- 1.5.5 มีรูปแบบของการนำเสนอแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุในลักษณะเสมือนจริง



บทที่ 2

หลักการ ทฤษฎีและ วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

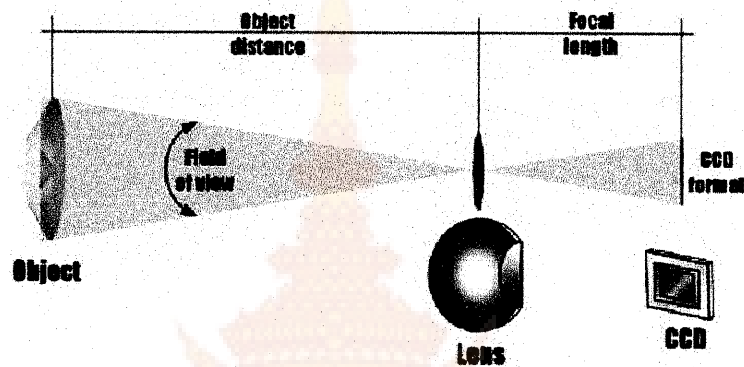
สำหรับหลักการ ทฤษฎีและ วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัลประกอบด้วยเรขาคณิตของภาพถ่ายดิจิทัล เงื่อนไขของสภาวะร่วมเส้น การปรับแก้บล็อกแสง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนของการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุ โดยรวมแล้วลักษณะทั่วไปของการสร้างแบบจำลองสามมิติของสิ่งใดๆ อาศัยภาพถ่ายดิจิทัลจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ทราบค่าองค์ประกอบภายในซึ่งได้แก่ $(f, x_0, y_0, k_1, k_2, k_3, p_1, p_2, p_3)$ ความยาวโฟกัส ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ขนาดภาพ ความละเอียดจุดภาพ ความบิดเบี้ยวของเลนส์ เป็นต้น การวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัลเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายในอาศัยภาพถ่ายจำนวนหนึ่งเพื่อสร้างสภาวะร่วมเส้นสำหรับการปรับแก้บล็อกแสงเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายในที่ต้องการ

การเก็บรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลภายใต้เงื่อนไขของสภาวะร่วมเส้นทำให้สามารถทำการคำนวณเพื่อหาองค์ประกอบภายนอกของการถ่ายภาพใดๆ ได้ องค์ประกอบภายนอกของการถ่ายภาพนั้นประกอบด้วย $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, K)$ ตำแหน่งถ่ายภาพซึ่งพิจารณาที่กึ่งกลางของเลนส์ที่เป็นจุดรวมแสง และการวางตัวเชิงมุมของแกนพิกัดภาพถ่ายในสามมิติ ซึ่งทั้งหมดสามารถประมวลผลได้จากการปรับแก้บล็อกแสงของการถ่ายภาพที่ต้องอาศัยจุดควบคุมภาพถ่ายจำนวนหนึ่งเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติ

สำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุจากภาพถ่ายดิจิทัล เมื่อทำการพิจารณาถึงพื้นผิวของวัตถุที่กำหนดตามขอบเขตของงานวิจัย ชิ้นของโบราณวัตถุเป็นพื้นผิวที่มีความต่อเนื่องและไม่เป็นรูปแบบของรูปทรงเรขาคณิตที่ชัดเจน ในการรังวัดภาพถ่ายเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยเงื่อนไขที่ต้องทำการกำหนดจุดบนภาพถ่ายเพื่อเป็นการรังวัด การดำเนินงานในลักษณะดังกล่าวเป็นไปได้ยากและทำให้ผลลัพธ์ที่มีความคลาดเคลื่อนสูง ดังนั้นโปรแกรมประมวลผลจะทำการประมวลผลภาพด้วยเงื่อนไขของการจับคู่ (Image Matching) แทนการรังวัดจุดภาพด้วยบุคคล อาจมีความแตกต่างกันภายใต้ผลของการประมวลผลของโปรแกรมตามเงื่อนไขดังกล่าว แต่เป็นการกำหนดจุดรังวัดที่ให้ความถี่ของจำนวนจุดรังวัดมีมากบนพื้นผิวโบราณวัตถุซึ่งมีความต่อเนื่องและทำให้แบบจำลองสามมิติเสมือนจริง

2.1 ภาพถ่ายดิจิทัล

โดยหลักการการฉายเป็นระบบผ่านจุดศูนย์กลางในระวางภาพถ่าย คือลำแสงจากแหล่งกำเนิดเดินทางเป็นเส้นตรงตกกระทบบัววัตถุและสะท้อนเข้าหาฉากรับภาพ ซีซีดี จะทำการแปลงข้อมูลความเข้มของแสงและสีให้เป็นข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลที่แสดงด้วยตัวเลข



รูปที่ 2.1 หลักการฉายของภาพถ่าย

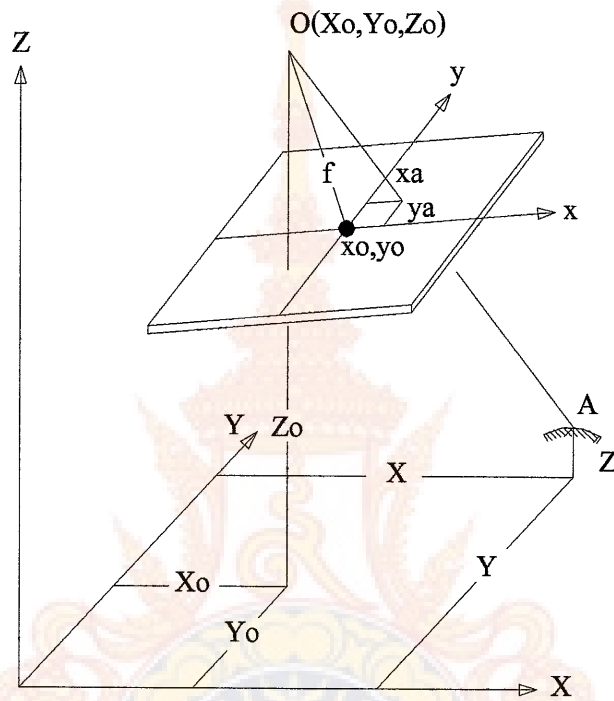
ตำแหน่งต่างๆบนภาพถ่ายดิจิทัลแสดงด้วยค่าของแถวและหลัก(Row and Column) ที่เรียงกันของชิ้นส่วน ซีซีดี ซึ่งเป็นข้อมูลรังวัดบนภาพถ่ายสำหรับการประมวลผลเพื่อหาค่าของพิกัดสามมิติของแบบจำลอง

2.2 เงื่อนไขสภาวะร่วมเส้น (Colinearity Condition)

สภาวะร่วมเส้นเกิดขึ้นตามเงื่อนไขที่ตำแหน่งเปิดถ่าย(Exposure Station) ของภาพถ่ายวัตถุ และภาพของวัตถุอยู่บนแนวของเส้นตรงเดียวกันตามรูปที่ 2.2 โดยที่เส้นตรงที่กล่าวนี้คือแนวของแสงที่เดินทางจากวัตถุไปปรากฏบนภาพนั่นเอง สมการที่ใช้บรรยายเงื่อนไขนี้เรียกว่าสมการสภาวะร่วมเส้น (Colinearity Condition Equations)

จากองค์ประกอบของการหมุนระบบพิกัดทั้งสามแกน ตำแหน่งของจุดภาพ a มีค่าพิกัดเป็น (x_a, y_a, f) ซึ่งลักษณะการหมุนเพื่อให้แกนของระบบพิกัดภาพถ่ายขนานกับแกนของระบบพิกัดอ้างอิงเขียนได้ดังสมการที่ 2.1

$$\begin{aligned}
 x_a &= r_{11}x'_a + r_{12}y'_a + r_{13}z'_a \\
 y_a &= r_{21}x'_a + r_{22}y'_a + r_{23}z'_a \\
 z_a &= r_{31}x'_a + r_{32}y'_a + r_{33}z'_a
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$



รูปที่ 2.2 เส้นไขว้สถานะร่วมเส้น

สมการเส้นไขว้ของสถานะร่วมเส้นได้จากหลักการของสามเหลี่ยมคล้ายดังรูปที่ 2.2 สามารถเขียนสมการที่ 2.2 ได้เป็น

$$\frac{x'_a}{X_A - X_O} = \frac{y'_a}{Y_A - Y_O} = \frac{z'_a}{Z_A - Z_O}
 \tag{2.2}$$

$$x'_a = \left(\frac{X_A - X_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a
 \tag{2.3}$$

$$y'_a = \left(\frac{Y_A - Y_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a
 \tag{2.4}$$

$$z'_a = \left(\frac{Z_A - Z_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a
 \tag{2.5}$$

แทนค่าสมการที่ 2.1 ด้วยสมการที่ 2.3, 2.4, และ 2.5 ได้ว่า

$$x_a = r_{11} \left(\frac{X_A - X_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a + r_{12} \left(\frac{Y_A - Y_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a + r_{13} \left(\frac{Z_A - Z_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a \quad (2.6)$$

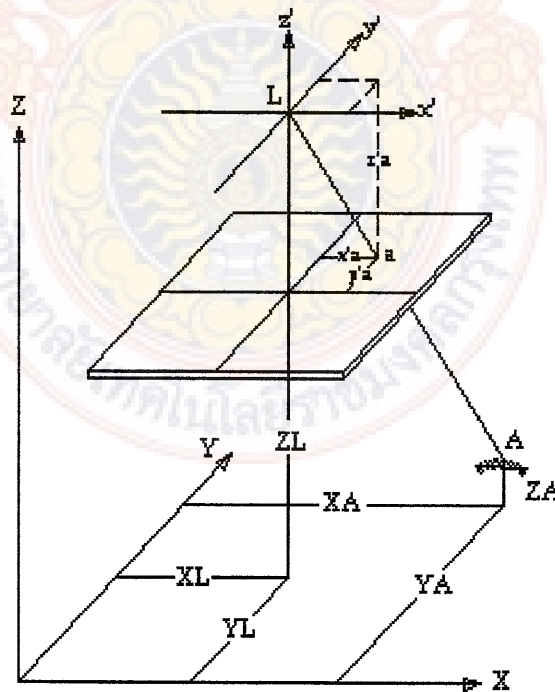
$$y_a = r_{21} \left(\frac{X_A - X_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a + r_{22} \left(\frac{Y_A - Y_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a + r_{23} \left(\frac{Z_A - Z_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a \quad (2.7)$$

$$z_a = r_{31} \left(\frac{X_A - X_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a + r_{32} \left(\frac{Y_A - Y_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a + r_{33} \left(\frac{Z_A - Z_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a \quad (2.8)$$

เทอมของ $z'_a/(Z_A - Z_O)$ จากสมการข้างต้น และแทนค่าของ z'_a ด้วยค่าของ f จะทำให้ได้สมการเงื่อนไขสถานะร่วมเส้นดังนี้

$$x_a = -f \left[\frac{r_{11}(X_A - X_O) + r_{12}(Y_A - Y_O) + r_{13}(Z_A - Z_O)}{r_{31}(X_A - X_O) + r_{32}(Y_A - Y_O) + r_{33}(Z_A - Z_O)} \right] \quad (2.9)$$

$$y_a = -f \left[\frac{r_{21}(X_A - X_O) + r_{22}(Y_A - Y_O) + r_{23}(Z_A - Z_O)}{r_{31}(X_A - X_O) + r_{32}(Y_A - Y_O) + r_{33}(Z_A - Z_O)} \right] \quad (2.10)$$



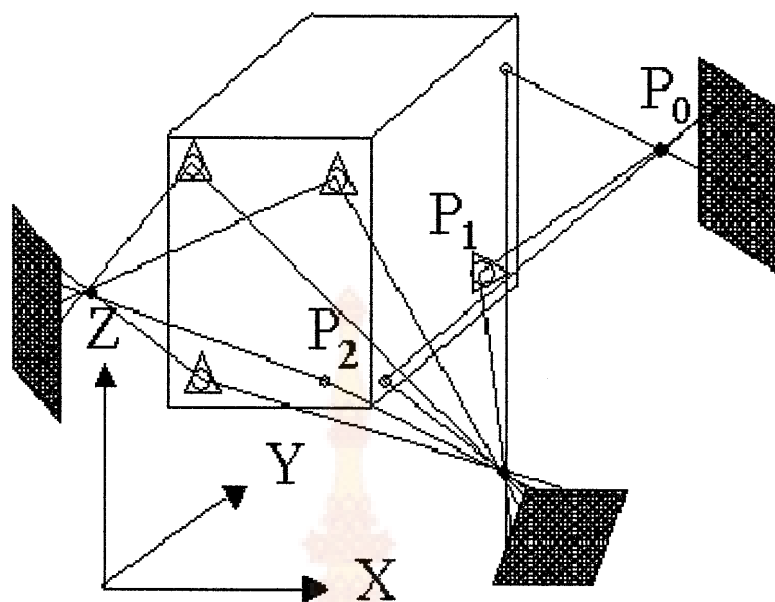
รูปที่ 2.3 ระบบพิกัดฉากภาพถ่ายซึ่งถูกหมุนให้ขนานกับระบบพิกัดจริง

2.3 การปรับแก้บล็อกลำแสง (Bundle Block Adjustment)

จากสมการสถานะร่วมเส้นสามารถสร้างชุดของสมการตำแหน่งรังวัดบนภาพถ่ายที่ทับซ้อนกันต่อเนื่องไปเรื่อยๆ โดยที่ข้อมูลจากการรังวัดร่วม(Tie Point) บนภาพถ่ายเพื่อคำนวณหาค่าพิกัดจริงในสามมิติของวัตถุ (X, Y, Z) รวมทั้งค่าของการจัดองค์ประกอบภายนอก $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa)$ และสำหรับจุดควบคุมสมการที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการหาค่าขององค์ประกอบภายนอกเพียงอย่างเดียว รูปแบบของสมการสถานะร่วมเส้นจำนวนมากของทั้งจุดรังวัดร่วมและจุดควบคุมถูกประมวลผลโดยอาศัยวิธีการคำนวณปรับแก้ (Least Square Adjustment Computation)

สำหรับการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้แล้ว การปรับแก้บล็อกลำแสงเป็นลักษณะเดียวกับวิธีการของภาพถ่ายทางอากาศเพียงแต่มุมที่ตัดกันของลำแสงโดยมากมักเป็นมุมแคบ ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมมองของภาพถ่ายนั้น เนื่องจากเงื่อนไขของการถ่ายภาพจากระยะใกล้โดยปกติมักไม่กำหนดตำแหน่งถ่ายภาพที่แน่นอนแตกต่างจากภาพถ่ายทางอากาศที่ต้องการส่วนซ้อนคงที่ จึงทำให้การกำหนดจุดร่วมและจุดควบคุมเปลี่ยนแปลงไปตามรูปร่างของวัตถุที่ต้องการรังวัด โดยปกติมักให้การรังวัดจุดร่วมปรากฏบนภาพถ่ายสามภาพ ในการปรับแก้บล็อกลำแสงอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณทั้งปัญหาของภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายระยะใกล้ สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งแสดงด้วยเมตริกซ์ของโคแฟกเตอร์ (Cofactor Matrices) ของตัวแปรที่ทำการปรับแก้มีค่าเป็นส่วนกลับของเมตริกซ์ของสมการปกติ (Normal Equation Matrix)

$$Q_{x_u} = I \cdot Q_x \cdot I = N^{-1} \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.4 บล็อกลำแสงของภาพถ่ายระยะใกล้

2.4 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

J Peipe, M Stephani (2003)

ศึกษาเกี่ยวกับศักยภาพของกล้องถ่ายภาพแบบรีมोट Rollei d7 จำนวนจุดภาพประมาณ 5 ล้านจุดภาพดังรูปที่ 2.5 ในการทดสอบการประยุกต์ใช้งานด้านสถาปัตยกรรมโดยการถ่ายภาพภายในผนังโบสถ์ทรงโดม ซึ่งมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 เมตรและสูง 4.4 เมตร เพื่อสร้างภาพถ่ายที่เป็นภาพถ่ายออร์โธและภาพถ่ายปรับแก้ความเอียงด้วยกระบวนการทางการสำรวจด้วยภาพถ่าย และสามารถนำภาพถ่ายดังกล่าวมาสร้างเป็นภาพเขียนที่มีลักษณะของการฉายในลักษณะเดียวกับแผนที่



รูปที่ 2.5 กล้องถ่ายภาพ Rollei d7

ผลลัพธ์ของการรังวัดภาพถ่ายสามารถสรุปได้ว่า กล้องถ่ายภาพ Rollei d7 เหมาะสมที่จะใช้ทั้งในงานด้านอุตสาหกรรมและด้านสถาปัตยกรรมตามตัวอย่างภาพออร์โธดังรูปที่ 2.6 เสถียรภาพขององค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หากไม่มีการวัดสอบกล้องถ่ายภาพ ประกอบกับความละเอียดของภาพถ่ายสูงขึ้นและควายาวโฟกัสสั้นลงทำให้ได้ภาพถ่ายมุมกว้างซึ่งจะมีผลต่อความถูกต้องของการแสดงผลวัตถุภาพ



รูปที่ 2.6 ภาพร่างงานศิลปะบนเพดานโบสถ์จากภาพถ่าย

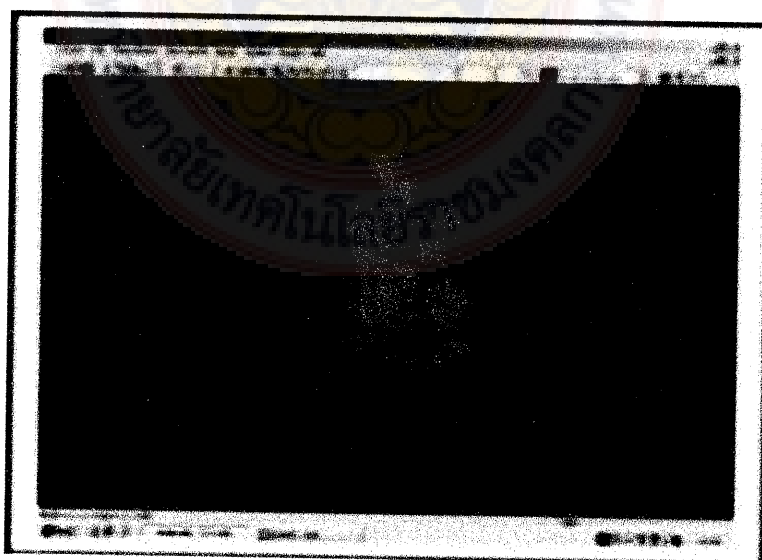
S Kulur, F Yilmazturk, (2005)

ศึกษาเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองเสมือนจริงของวัตถุโบราณขนาดเล็กเพื่อจัดเก็บเป็นพิพิธภัณฑ์เสมือนจริงบนเว็บไซต์ โดยให้ความสำคัญของข้อมูลวัตถุทั้งทางด้านตำแหน่งและการแสดงผลของพื้นผิววัตถุ เลือกรวิธีการสร้างด้วยกระบวนการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ซึ่งใช้ต้นทุนต่ำกว่าการใช้เครื่อง Laser Scanner ที่มีราคาสูง ข้อมูลภาพถ่ายบันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพ Olympus C-5050 ที่ทำการวัดสอบกล้องเพื่อความน่าเชื่อถือและความถูกต้องของภาพถ่าย



รูปที่ 2.7 ภาพถ่ายของวัตถุที่ทำการฉายตำแหน่ง

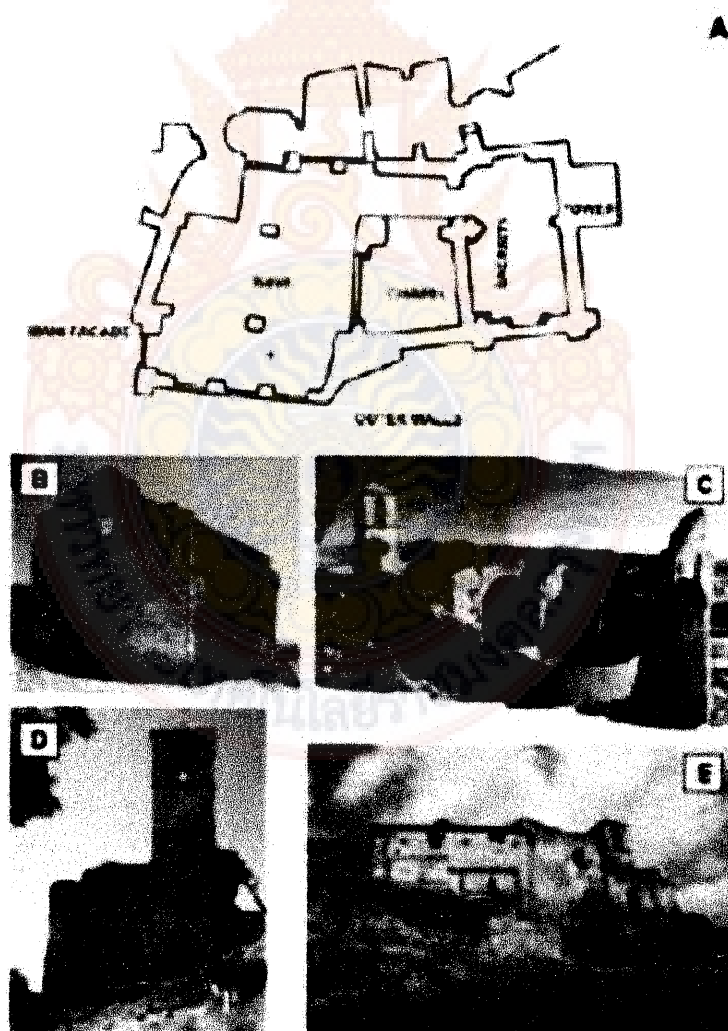
ทำการประมวลผลภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Australis ซึ่งเป็นโปรแกรมเพื่อการศึกษาในด้านการสำรวจด้วยภาพถ่าย คำนวณหาองค์ประกอบภายนอกของการถ่ายภาพและการคำนวณบล็อกลำแสงของภาพถ่ายซึ่งถ่ายภาพให้มีส่วนซ้อนกัน ผลลัพธ์ของแบบจำลองสามมิติอาศัยโปรแกรม RapidForm เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของแบบจำลองสามมิติให้มีองค์ประกอบเกี่ยวกับพื้นผิวที่เสมือนจริงยิ่งขึ้น ผลลัพธ์สุดท้ายได้แบบจำลองสามมิติที่มีความน่าเชื่อถือทั้งในส่วนรายละเอียดและส่วนของตำแหน่งแต่ก็ต้องใช้เวลาในการประมวลผลข้อมูลในระบบนาน แสดงแบบจำลองพื้นผิวดังรูปที่ 2.8 กระบวนการของการทำงานลักษณะนี้สามารถนำไปใช้ในการสร้างฟิสิกส์เสมือนจริงที่มีความน่าเชื่อถือในการวัด



รูปที่ 2.8 ภาพแสดงจุดรั้งวัดบนพื้นผิวของวัตถุ

J Cardenal, E Mata, P Castro, J Delgado, M A Hernandez, J L Perez, M Ramos, M Torres, (2004)

ทำการศึกษาการประเมินเกี่ยวกับการใช้กล้องถ่ายภาพแบบทั่วไป (Canon D30) เพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านโบราณสถานและด้านสถาปัตยกรรม โดยใช้กล้องถ่ายภาพแบบมืออาชีพ ที่ความละเอียด 3.2 ล้านจุดภาพ ในการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายเกี่ยวกับสถานที่ที่เป็นมรดกทาง วัฒนธรรมเพื่อประยุกต์ในงานรังวัดด้วยภาพถ่าย ที่มีความถูกต้องของการวัดสอบกล้องถ่ายภาพ ระดับ Sub-pixel ความถูกต้องที่ได้อยู่ระหว่าง 1/20,000 ถึง 1/30,000 แต่ในกรณีที่ทำการศึกษา นี้มีความถูกต้องน้อยกว่า เนื่องจากการเลือกจุดรังวัดด้วยมือจากจุดภาพที่เป็นตำแหน่งใน ธรรมชาติซึ่งก็พอเพียงสำหรับงานประยุกต์ใช้ด้านโบราณสถานและด้านสถาปัตยกรรมตามรูปที่ 2.9 และ 2.10



รูปที่ 2.9 ภาพแสดงพื้นที่บริเวณ Santo Domingo del Silos

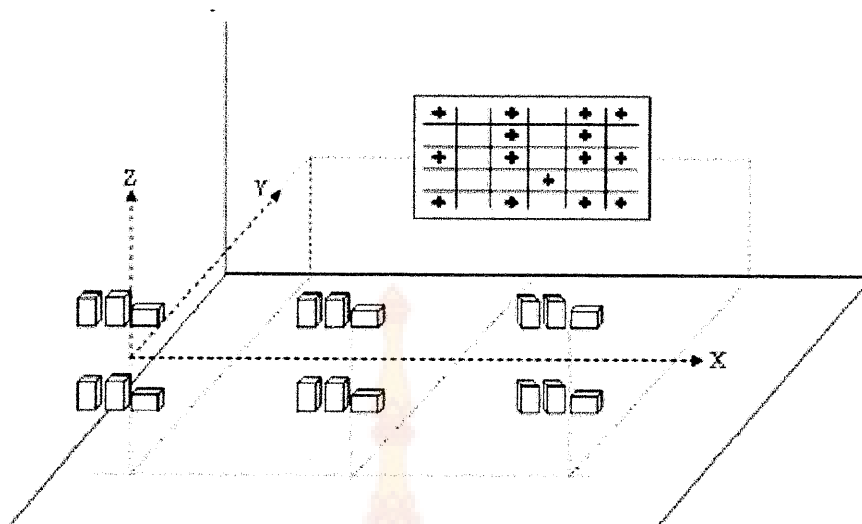
สรุปได้ว่ากล้องถ่ายภาพ Canon D30 มีประสิทธิภาพในการบันทึกข้อมูลสำหรับงานด้านโบราณสถานและด้านสถาปัตยกรรมในระดับต่ำถึงปานกลาง จากการทำงานได้ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่าง 5-10 มิลลิเมตร ที่ระยะเปิดถ่าย 15 เมตรในกรณีการรังวัดคูภาพ และยังสามารถสร้างแบบจำลองสามมิติ ภาพถ่ายออร์โธ ภาพถ่ายปรับแก้ความเอียง ซึ่งต้องมีจุดควบคุมประกอบด้วย ในอนาคตสามารถทำการวัดสอบกล้องถ่ายภาพด้วยตัวแปรอื่นๆ เพิ่มเติมรวมถึงการทดสอบที่ระยะห่างออกไป หรือประเมินผลในลักษณะที่คล้ายกันสำหรับกล้องถ่ายภาพอื่นที่มีความละเอียดสูงขึ้น



รูปที่ 2.10 แบบจำลองสามมิติบริเวณ โบสถ์ Santo Domingo del Silos

A F Habib, M S Ghanma, R I Al-Ruzouq, E M Kim,(2004)

ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบทั่วไปที่มีราคาถูกเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติของอาคารทางประวัติศาสตร์ โดยอาศัยวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายที่ให้ความถูกต้อง น่าเชื่อถือ ในการวัดภาพถ่าย ซึ่งกล้องถ่ายภาพที่ใช้งานจำเป็นต้องทำการวัดสอบเพื่อหาองค์ประกอบภายในตัวกล้องก่อนการบันทึกข้อมูลภาพถ่าย



รูปที่ 2.11 ตำแหน่งและการวางตัวของกล้องถ่ายภาพ

และได้ทำการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบสถ์ในย่าน Calgary Canada ดังรูปที่ 2.1 กระบวนการวัดสอปใช้แนวของจุดที่มีค่าแน่นอนบนระนาบสองมิติในแนวตั้งและแนวนอนจำนวน 50 แนว และจุดรังวัดจำนวน 21 จุด และจุดรังวัดมีลักษณะเป็นกากบาทในแนวทแยง ผลของการวัดสอปแสดงถึงเสถียรภาพในองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพ ซึ่งสามารถจะใช้กับงานสร้างแบบจำลองสามมิติได้



รูปที่ 2.12 ภาพถ่ายของโบสถ์ในย่าน Calgary Canada

การสร้างแบบจำลองสามมิติใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัล SONY DSC F-707 ที่มีความละเอียด
 จดภาพประมาณ 5 ล้านจุดภาพ ทำการวัดสอบด้วยวิธีการข้างต้นและถ่ายภาพจำนวน 39 ภาพใน
 ลักษณะที่ทแยงเข้าหากัน จำนวนจุดรังวัด 115 จุดบนส่วนด้านหน้าของโบสถ์ทำการรังวัดและ
 คำนวณปรับแก้เพื่อหาค่าพิกัดสามมิติ ผลลัพธ์ที่แสดงในรูปของ CAD และพื้นผิวสามารถแสดง
 ลักษณะของแบบจำลองสามมิติ

Jurgen Dold , (1996)

วิจัยศึกษาอิทธิพลของจุดสัญญาณ (Target) ขนาดใหญ่สำหรับผลลัพธ์ของการปรับแก้ทาง
 ภาพถ่าย เพื่อต้องการประมาณขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของจุดสัญญาณวงกลมสำหรับการรังวัด
 ทางภาพถ่ายความละเอียดสูง ในการรังวัดด้วยภาพถ่ายขนาดของจุดสัญญาณที่เล็กที่สุดและใหญ่
 ที่สุดมีผลต่อความถูกต้องทางตำแหน่ง โดยทางทฤษฎีต้องการให้จุดสัญญาณปรากฏบนภาพขนาด
 3 จุดภาพ ในทางปฏิบัติมักให้เป็น 5 จุดภาพหรือมากกว่านั้น การประมาณขนาดของจุดสัญญาณ
 เป็นดังนี้

$$d \cdot \left(\frac{h}{c} \right) = (pn * ps) \left(\frac{h}{c} \right) = D \quad (2.12)$$

$$(5 * ps) \left(\frac{h}{c} \right) \leq D_{\min}$$

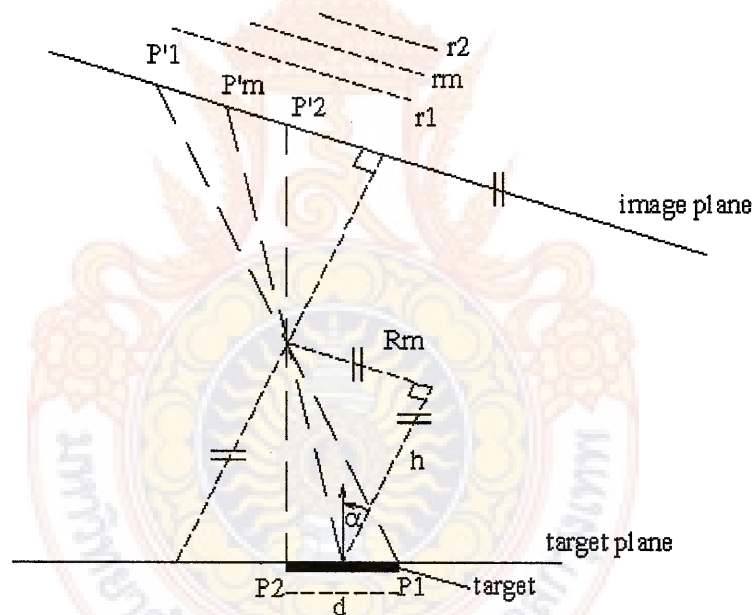
เมื่อ ps เป็นขนาดจริงของจุดภาพ , pn เป็นจำนวนจุดภาพที่ต้องการให้ปรากฏบน
 ภาพถ่าย , h เป็นระยะห่างของการเปิดถ่าย , c เป็นความยาวโฟกัส สำหรับจุดสัญญาณขนาดใหญ่
 จะพิจารณาอิทธิพลของการที่ตำแหน่งศูนย์กลางจริงกับตำแหน่งศูนย์กลางของการรังวัดบนภาพถ่าย
 ที่เกิดจากการเอียงของระนาบภาพถ่ายทำให้จุดสัญญาณเป็นรูปวงรีโดยที่ระยะดังกล่าวแสดงดัง
 สมการ

$$\varepsilon = r_m - \frac{(r_1 - r_2)}{2}$$

$$\varepsilon = r_m - \frac{c}{2} \left(\frac{R_m + \frac{d}{2} \cdot \sin(90 - \alpha)}{h - \frac{d}{2} \cdot \cos(90 - \alpha)} + \frac{R_m - \frac{d}{2} \cdot \sin(90 - \alpha)}{h + \frac{d}{2} \cdot \cos(90 - \alpha)} \right) \quad (2.13)$$

เมื่อ

- ε เป็นระยะออฟเซตระหว่างศูนย์กลางจริงกับศูนย์กลางรังวัด
- d ขนาดศูนย์กลางของจุดสัญญาณ
- r_1 รัศมีบนภาพถ่าย ณ ตำแหน่ง P'_1
- r_2 รัศมีบนภาพถ่าย ณ ตำแหน่ง P'_2
- r_m รัศมีบนภาพถ่าย ณ ตำแหน่ง P'_m (ศูนย์กลางจริง)
- α ทิศทางของการถ่ายภาพ
- R_m ระยะระหว่างศูนย์กลางจุดสัญญาณกับแกนทัศนของกล้องถ่ายภาพ
- h ระยะระหว่างตำแหน่งถ่ายภาพกับจุดสัญญาณ
- c ความยาวโฟกัส



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดสัญญาณและภาพของจุดสัญญาณ

การตรวจสอบอิทธิพลจากขนาดของจุดสัญญาณที่มีต่อการคำนวณปรับแก้ทางภาพถ่าย ได้จากการกำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของจุดสัญญาณวงกลมเป็น 5 , 10 , 15 และ 20 มิลลิเมตร บันทึกภาพด้วยกล้องถ่ายภาพโกดักดีซีเอส ขนาดเลนส์ 15 และ 25 มิลลิเมตร กับกล้องถ่ายภาพโกดักดีซีเอส 460 ด้วยเลนส์ขนาด 18 มิลลิเมตร ระยะห่างของการเปิดถ่ายภาพเป็น 2 และ 5 เมตร พิจารณาค่าออฟเซตของศูนย์กลางจริงบนระนาบเดียวกับศูนย์กลางที่ปรากฏบนภาพถ่ายซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทำการรังวัดค่าพิกัดภาพถ่าย

กำหนดโครงข่ายของภาพถ่ายประกอบด้วยภาพจำนวน 20 ภาพ สำหรับ 5 ตำแหน่ง
ถ่ายภาพ จุดที่ใช้รังวัดจำนวน 51 จุดมีลักษณะดังนี้ (25 จุดที่ระยะห่าง 4.6 เมตร , 25 จุดที่ระยะห่าง
2.6 เมตร , 1 จุดที่ระยะห่าง 1.6 เมตร) โดยการปรับแก้โครงข่ายแบบอิสระ (Free Network
Adjustment) ที่มีการกำหนดค่าวัดสอบกล้องถ่ายภาพและแบบที่ไม่มีการกำหนดค่าวัดสอบกล้อง
ถ่ายภาพ

ผลของการปรับแก้แสดงให้เห็นว่าระยะห่างของศูนย์กลางจริงกับศูนย์กลางรังวัดมี
ค่าประมาณ 20 ไมครอน ในกรณีที่ไม่มีการวัดสอบกล้องถ่ายภาพและมีค่าประมาณ 10 ไมครอน
ในกรณีที่มีการวัดสอบกล้องถ่ายภาพ กล่าวโดยสรุปว่าขนาดของจุดสัญญาณที่เหมาะสมโดยไม่
ต้องการให้เกิดผลกระทบทางตำแหน่งเนื่องจากขนาดของจุดสัญญาณควรเป็นขนาดที่เล็กสุด ยิ่ง
ขนาดของจุดสัญญาณใหญ่อิทธิพลที่เกิดขึ้นย่อมมากไปด้วย



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัลนั้นเป็นการประยุกต์ใช้งานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ อาศัยการรังวัดบนภาพถ่ายดิจิทัลซึ่งได้จากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ทราบค่าองค์ประกอบภายในหรือเรขาคณิตภายในตัวกล้องจากการวัดสอบกล้อง (Camera Calibration) การออกแบบขนาดจุดสัญญาณ (Signal Target) บนภาพถ่าย การสร้างเงื่อนไขของจุดรังวัดเพื่อหาองค์ประกอบภายนอกของการถ่ายภาพ การประมวลผลภาพถ่ายเพื่อพิจารณาให้ความถูกต้องของการสร้างแบบจำลองสามมิติอยู่ในระดับมิลลิเมตรหรือดีกว่า และการประมวลผลแบบจำลองสามมิติจากภาพถ่ายด้วยเงื่อนไขของการประมวลผลภาพ

การวัดสอบกล้องเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายในตัวกล้องอาศัยชุดของภาพถ่ายแผ่นวัดสอบ (Calibration Plate) จำนวนหนึ่งซึ่งเป็นจุดที่มีความน่าเชื่อถือและชัดเจน โดยค่าองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลจะทำการประมวลผลชุดภาพถ่ายแผ่นวัดสอบด้วยโปรแกรม PhotoModeler® เพื่อนำค่าองค์ประกอบดังกล่าวไปใช้ในการประมวลผลเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอกของการถ่ายภาพโบราณวัตถุต่อไป

การออกแบบจุดสัญญาณเป็นการคำนวณหาของขนาดที่เหมาะสมสำหรับการใช้เป็นจุดรังวัดบนภาพถ่าย ซึ่งต้องมีขนาดไม่ใหญ่หรือเล็กเกินกว่าที่ต้องการเพื่อให้การทำงานรังวัดบนภาพถ่ายระยะใกล้ของโบราณวัตถุนั้นมีประสิทธิภาพ ขนาดและรูปแบบของจุดสัญญาณเกี่ยวข้องโดยตรงกับขนาดของวัตถุที่ทำการรังวัด ความยาวโฟกัสของเลนส์ มุมทัศนียภาพที่ครอบคลุมภาพ รวมถึงมาตราส่วนภาพถ่าย

การสร้างเงื่อนไขเพื่อการประมวลผลหาค่าองค์ประกอบภายนอกของการถ่ายภาพ เป็นการจัดสถานะแวดล้อมเพื่อให้การคำนวณบล็อกค่าแสงของชุดภาพถ่ายสามารถทำการคำนวณค่าองค์ประกอบภายนอกได้ พิจารณาจุดรังวัดร่วมบนคู่ภาพใดๆ มีความจำเป็นที่ต้องให้มีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าน้อยกว่าจำนวนข้อมูลรังวัด ซึ่งต้องคำนึงถึงความต้องการให้ความถูกต้องของการประมวลผลเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอกอยู่ในระดับมิลลิเมตรหรือดีกว่า

สำหรับการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุซึ่งอาศัยเงื่อนไขของสภาวะร่วมเส้นของการรังวัดคู่ภาพใดๆ เป็นการประมวลผลจุดที่รังวัดบนพื้นผิวของโบราณวัตถุที่มีความต่อเนื่องของรายละเอียดใช้เงื่อนไขของการประมวลผลภาพ โดยใช้การจับคู่ (Image Matching) จุดภาพที่เหมือนกันบนคู่ภาพเป็นจุดรังวัดของภาพถ่ายนั้น ซึ่งความถูกต้องหรือเงื่อนไขที่ใช้ในการประมวลผลการจับคู่ภาพมีผลต่อแบบจำลองสามมิติโดยตรง

3.1 การวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัล

3.1.1 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล

การดำเนินงานวิจัยการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัลครั้งนี้ใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส รุ่น 50 ดี แสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบกึ่งอาชีพที่สามารถถอดเปลี่ยนเลนส์ได้ตามความต้องการใช้งาน โดยที่กล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส 50 ดี ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานรังวัดด้วยภาพถ่าย จำเป็นต้องทำการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัลดังกล่าวก่อนนำไปใช้งาน



รูปที่ 3.1 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล แคนนอน อีโอเอส 50 ดี

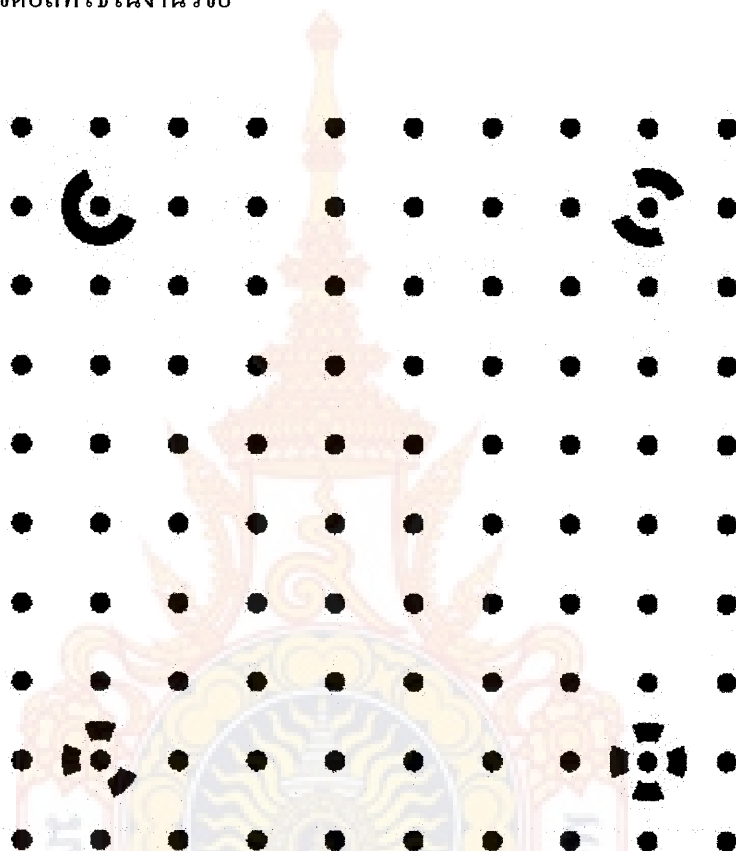
คุณสมบัติโดยทั่วไปของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล แคนนอน อีโอเอส 50 ดี แสดงดังตารางที่ 3.1 สำหรับงานวิจัยการสร้างแบบจำลองของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัลนี้เลือกใช้เลนส์ที่มีความยาวโฟกัสคงที่ขนาด 20 มิลลิเมตรประกอบในการถ่ายภาพ และกำหนดค่าความละเอียดของภาพถ่ายเป็น 4752 x 3168 จุดภาพหรือประมาณ 15 ล้านจุดภาพ

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติทั่วไปของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล แคนนอน อีโอเอส 50 ดี

วัสดุตัวกล้อง	แมกนีสิอัลลอยด์
ประเภทเซนเซอร์	ซีมอส ขนาด 22.3 x 14.9 มิลลิเมตร ความละเอียดจุดภาพ 15.1 ล้านจุดภาพ อัตราส่วน 3:2
ขนาดภาพ	4752 x 3168 4356 x 2304 2353 x 1568
ความไวแสง	อัตโนมัติ ไอเอสโอ 100 – 1600 ไอเอสโอ 100 - 3200
ความเร็วชัตเตอร์	30 – 1/8,000 วินาที
รูปแบบไฟล์	RAW JPEG RAW + JPEG
เลนส์	ประกอบเลนส์แคนนอนประเภท EF
การปรับภาพชัดอัตโนมัติ	9 จุด ทีทีแอล
ระยะปรับชัดอัตโนมัติ	ถึง 8 เมตร
จอแสดงผล	3 นิ้ว ทีเอฟทีแอลซีดี 920,000 จุดภาพ ความสว่าง 7 ระดับ แสดงมุมมองกว้าง 160°
หน่วยความทรงจำ	ประเภทซีเอฟ I หรือ II
ขนาด	146 x 108 x 74 มิลลิเมตร
น้ำหนัก	822 กรัม รวมแบตเตอรี่

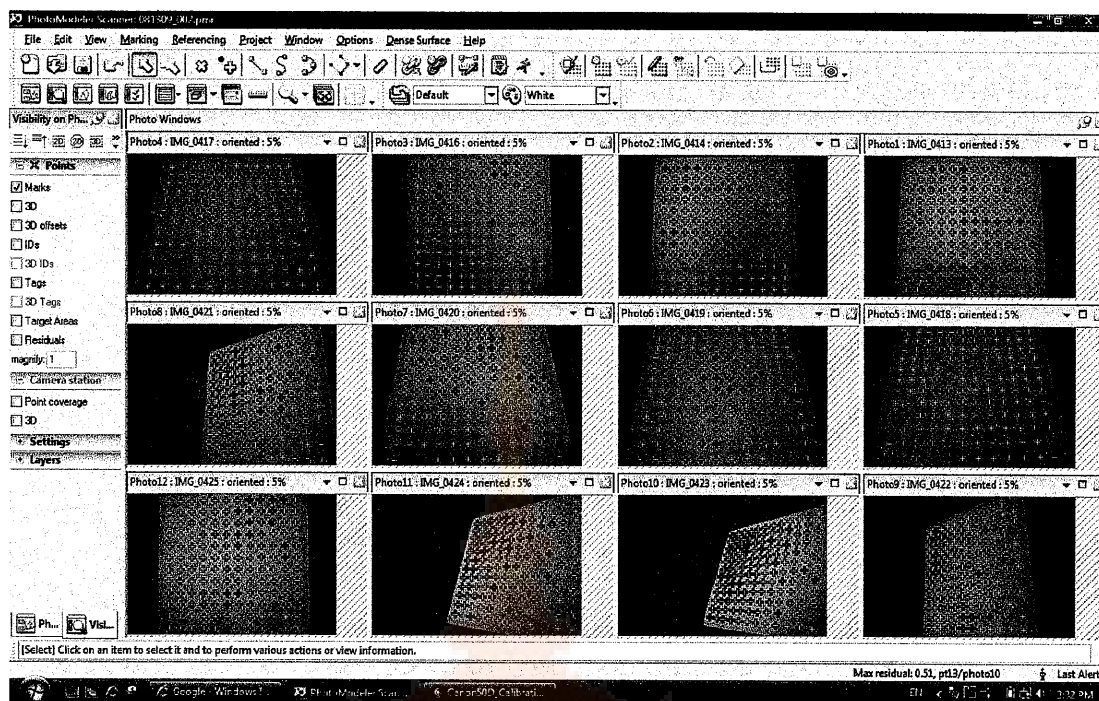
3.1.2 การหาค่าองค์ประกอบภายในกล้องถ่ายภาพดิจิทัล

การหาค่าองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล แคนนอน อีโอเอส 50 ดี กับเลนส์ความยาวโฟกัส 20 มิลลิเมตร วัดสอบด้วยการถ่ายภาพแผ่นวัดสอบดังรูปที่ 3.2 สำหรับโปรแกรม PhotoModeler® ในมุมมองต่างๆ จำนวน 12 ภาพเพื่อใช้ในการประมวลผลหาค่าองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 3.2 แผ่นวัดสอบสำหรับโปรแกรม PhotoModeler®

ในการถ่ายภาพแผ่นวัดสอบเงื่อนไขสำคัญได้แก่การบันทึกภาพถ่ายแผ่นวัดสอบให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของภาพอย่างน้อยร้อยละ 80 เพื่อให้การรังวัดจุดควบคุมบนภาพถ่ายมีการกระจายของตำแหน่งครอบคลุมทั่วทั้งภาพ ลักษณะของการถ่ายภาพแผ่นวัดสอบแสดงดังรูปที่ 3.3 เป็นภาพถ่ายของแผ่นวัดสอบในมุมมองต่างๆ ซึ่งพิจารณาสวนซ้อนและพื้นที่ที่ครอบคลุม โดยการประมวลผลองค์ประกอบภายในโปรแกรมจะทำการกำหนดตำแหน่งจุดควบคุมทั้ง 4 จุดตามสัญลักษณ์ ตำแหน่งของจุดรังวัดร่วมบนภาพถ่ายอื่นๆ อาศัยหลักการกำหนดจุดด้วยค่าน้ำหนักของระดับสีภายในกลุ่มของจุดนั้น



รูปที่ 3.3 ภาพถ่ายแผ่นวัดสอบเพื่อการประมวลผลค่าองค์ประกอบภายใน

ค่าองค์ประกอบภายในที่คำนวณหาประกอบด้วย ความยาวโฟกัส ขนาดของภาพถ่าย ตำแหน่งของจุดศูนย์กลาง ความบิดเบี้ยวของเลนส์ ซึ่งค่าต่างๆ จะเป็นของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล แคนนอน อีโอเอส 50 ดี หมายเลข 0510313679 เป็นค่าเฉพาะของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลหมายเลขดังกล่าวเท่านั้น โดยจะเป็นค่าตัวแปรที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อหาองค์ประกอบภายนอกต่อไป และไม่สามารถใช้ในการอ้างอิงใดๆ ของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบเดียวกันอื่นๆ ได้

3.2 การออกแบบจุดสัญญาณภาพถ่าย

จากคุณสมบัติทั่วไปของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส 50 ดี สามารถทำการคำนวณตามหลักการเรขาคณิตพื้นฐานของงานสำรวจด้วยภาพถ่ายเพื่อประมาณมาตราส่วน พื้นที่ครอบคลุมของภาพถ่าย ขนาดของจุดภาพ ตามตารางที่ 3.2 เพื่อใช้ประมาณค่าของขนาดเล็กสุดจุดสัญญาณเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยเบื้องต้นประมาณด้วยการกำหนดระยะห่างของการถ่ายภาพที่ระยะเท่ากับ 1, 1.5, 2, 2.5, และ 3 เมตรตามลำดับภายใต้มุมทัศนียภาพประมาณ 66°

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงมาตราส่วนภาพถ่าย, ขนาดกรอบคลุมบนภาพถ่าย,
และขนาดวัตถุต่อจุดภาพ

ระยะห่างวัตถุ (เมตร)	ตัวคูณ มาตราส่วน	ขนาดกรอบคลุมวัตถุ (เมตร)		ขนาดวัตถุต่อจุดภาพ (มิลลิเมตร)	
		กว้าง	สูง	กว้าง	สูง
1	47.30	1.076	0.717	0.226	0.226
1.5	70.96	1.614	1.076	0.340	0.340
2	94.61	2.152	1.435	0.453	0.453
2.5	118.26	2.690	1.793	0.566	0.566
3	141.91	3.228	2.152	0.679	0.679

ขนาดเล็กที่สุดของจุดสัญญาณในอุดมคติเท่ากับ 1 จุดภาพซึ่งจะทำให้การกำหนดตำแหน่งถูกต้อง ซึ่งไม่สามารถเป็นไปได้โดยตามทฤษฎีแล้วกำหนดขนาดของจุดสัญญาณเป็น 3 x 3 จุดภาพแต่ในทางปฏิบัติถูกแนะนำให้ใช้เป็น 5 x 5 จุดภาพ (Jurgen Dold , 1996) รูปแบบของจุดสัญญาณที่เลือกใช้เป็นลักษณะวงแหวนสามารถค้นหาแบบอัตโนมัติ (RAD Targets: Ringed Automatically Detected Targets) ภายได้โปรแกรมประมวลผล PhotoModeler Scanner® แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 จุดสัญญาณชนิดวงแหวนที่สามารถค้นหาแบบอัตโนมัติ

การประเมินขนาดของจุดสัญญาณเกี่ยวข้องกับมาตราส่วนภาพถ่ายซึ่งจะขึ้นอยู่กับขนาดของโบราณวัตถุที่จะถ่ายภาพเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติ เมื่อทำการกำหนดขนาดของโบราณวัตถุเบื้องต้นไม่เกิน 1 x 1 เมตรไว้ล่วงหน้าแล้ว ระยะห่างของการถ่ายภาพโดยประมาณเป็น 1.5 เมตร และมีมาตราส่วนภาพถ่าย 1/71 ขนาดของจุดภาพต่อหนึ่งจุดเท่ากับ 0.34 x 0.34 มิลลิเมตรดังนั้นถ้าพิจารณาขนาดจุดสัญญาณในทางปฏิบัติแล้วขนาด 5 x 5 จุดภาพจะมีขนาดจริงประมาณ 1.5 มิลลิเมตร

3.3 การสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุ

โบราณวัตถุที่ดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติภายใต้งานวิจัยเป็นโบราณวัตถุที่จัดแสดงไว้ในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติพระนคร กรุงเทพมหานคร พิจารณาเลือกโบราณวัตถุเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติเป็นจำนวน 5 แบบจำลอง ลักษณะโดยทั่วไปเป็นรูปสลักหินที่มีความแตกต่างกันในส่วนของมิติความลึกและขนาด

แบบจำลองสามมิติที่ 1 เป็นกليبขนุนปรางค์สลักรูปพระพุทธรูปปางมารวิชัย (Antefix with Buddha) ศิลปะลพบุรีพุทธศตวรรษที่ 18 – 19 ได้มาจากเมืองเก่าจังหวัดสุโขทัย แบบจำลองสามมิติที่ 2 เป็นกليبขนุนปรางค์สลักรูปพระอิศวรทรงโคหนที (Antefix with Isana) ศิลปะเขมรพุทธศตวรรษที่ 16 – 17 ได้มาจากจังหวัดศรีสะเกษ แบบจำลองสามมิติที่ 3 เป็นกليبขนุนปรางค์สลักรูปพระยมทรงกระบือ (Antefix with Yama on his Vihecle) ศิลปะเขมรแบบบาปวนพุทธศตวรรษที่ 16 – 17 ได้มาจากอำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ แบบจำลองสามมิติที่ 4 เป็นชิ้นส่วนหน้าบัน (Fragment of Pediment) ศิลปะเขมรแบบบาปวนพุทธศตวรรษที่ 18 นายสมชาย อามัสเสถียร มอบให้เมื่อ พ.ศ. 2531 และแบบจำลองสามมิติที่ 5 เป็นเศียรนาค (Naga Head) ศิลปะเขมรแบบบาปวนอายุราวกลางพุทธศตวรรษที่ 16 – 17 ไม่ทราบที่มา เพื่อดำเนินการกำหนดเงื่อนไขสำหรับการหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายและประมวลผลภาพถ่ายในการสร้างพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติต่อไป

3.3.1 แบบจำลองสามมิติที่ 1 กليبขนุนปรางค์สลักพระพุทธรูปปางมารวิชัย

กليبขนุนเป็นชิ้นส่วนซึ่งใช้ในการตกแต่งปรางค์หรือปราสาทหินสำหรับกليبขนุนปรางค์สลักพระพุทธรูปปางมารวิชัย จัดแสดงอยู่ในส่วนทางเดินภายในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติพระนครมีลักษณะดังรูปที่ 3.5 และทำการบันทึกภาพเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ โดยกำหนดเงื่อนไขให้มีจุดสัญญาณโดยรอบจำนวน 80 จุดเป็นพื้นหลังเพื่อใช้ในการหาค่าองค์ประกอบภายนอกของชุดภาพถ่าย

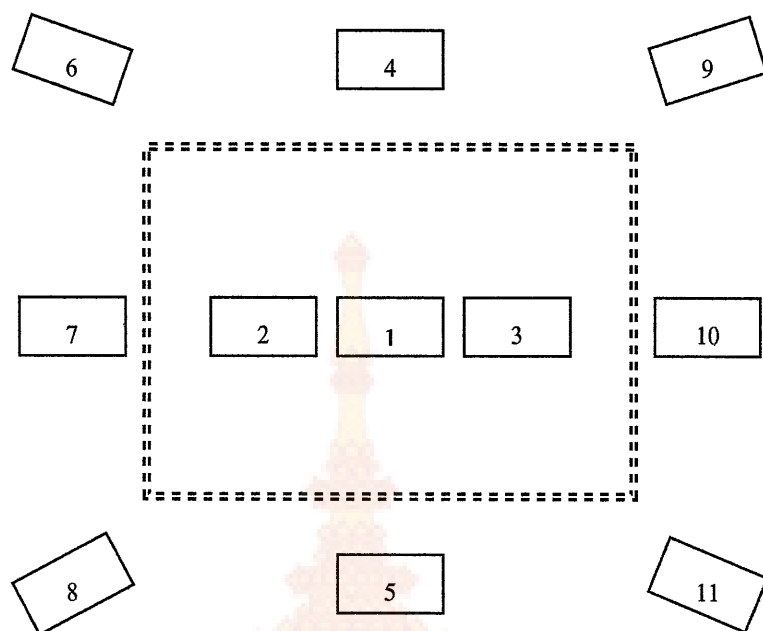


รูปที่ 3.5 ภาพถ่ายกليبขนุนปรางค์สลักพระพุทธรูปปางมารวิชัย

3.3.1.1 การหาค่าประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 1

ค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายทุกๆ ภาพซึ่งใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1 กليبขนุนปรางค์สลักพระพุทธรูปปางมารวิชัย สามารถกำหนดเงื่อนไขของจุดรั้วร่วมบนชุดภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประมวลผลบล็อกแสง สำหรับงานวิจัยการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัลนี้อาศัยจุดรั้วร่วมบนภาพถ่ายจำนวน 80 จุด จากจุดสัญญาณที่พิจารณาขนาดที่เหมาะสมเป็นพื้นหลัง ในการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลในงานวิจัยร่วมกับขาตั้งเพื่อความมั่นคงในการถ่ายภาพ เลือกการถ่ายภาพด้วยความไวแสงไอเอสไอ 100 และขนาดรูรับแสง 22 โดยให้ความเร็วชัตเตอร์เป็นอัตโนมัติตามความสัมพันธ์ของปริมาณแสงกับขนาดรูรับแสง

ลักษณะของการถ่ายภาพจะถ่ายให้มีส่วนทับซ้อนของโบราณวัตถุทั้งชิ้นในมุมมองที่แตกต่างกัน ตำแหน่งและทิศทางในการถ่ายภาพ โบราณวัตถุเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยภาพถ่ายดิจิทัลนั้นแสดงดังรูปที่ 3.6 โดยมีจำนวนภาพถ่ายอยู่ระหว่าง 9 – 11 ภาพสำหรับแบบจำลองโบราณวัตถุแต่ละชิ้น ข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1 แสดงดังภาคผนวก ก.

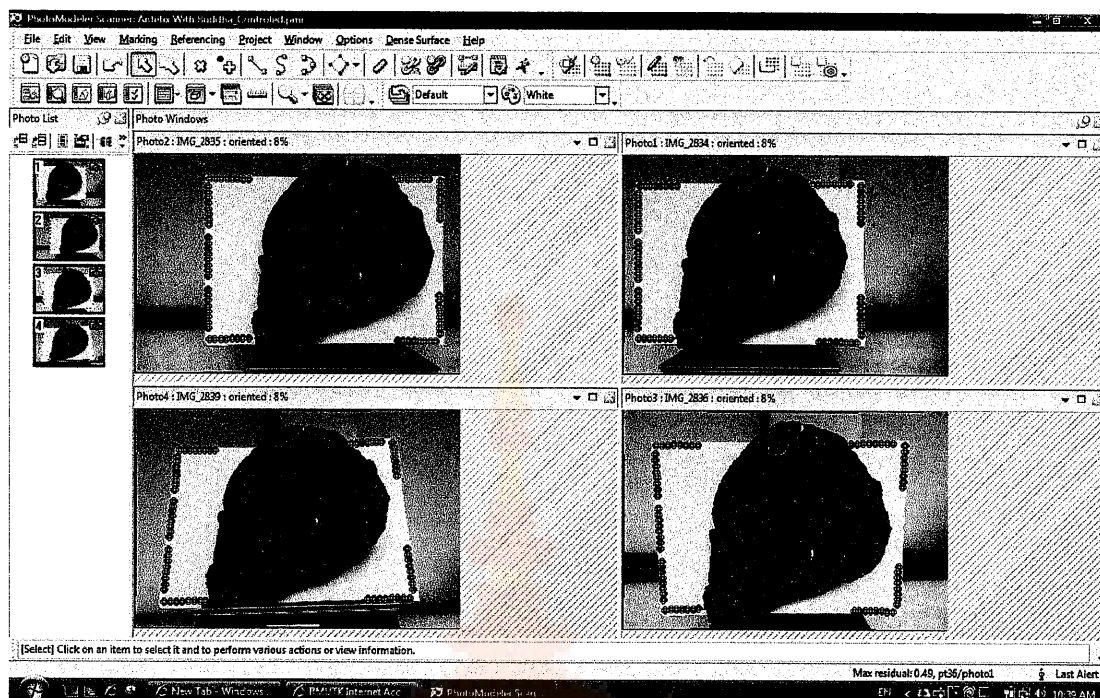


รูปที่ 3.6 ตำแหน่งบันทึกภาพถ่ายเพื่อการสร้างแบบจำลองของโบราณวัตถุ

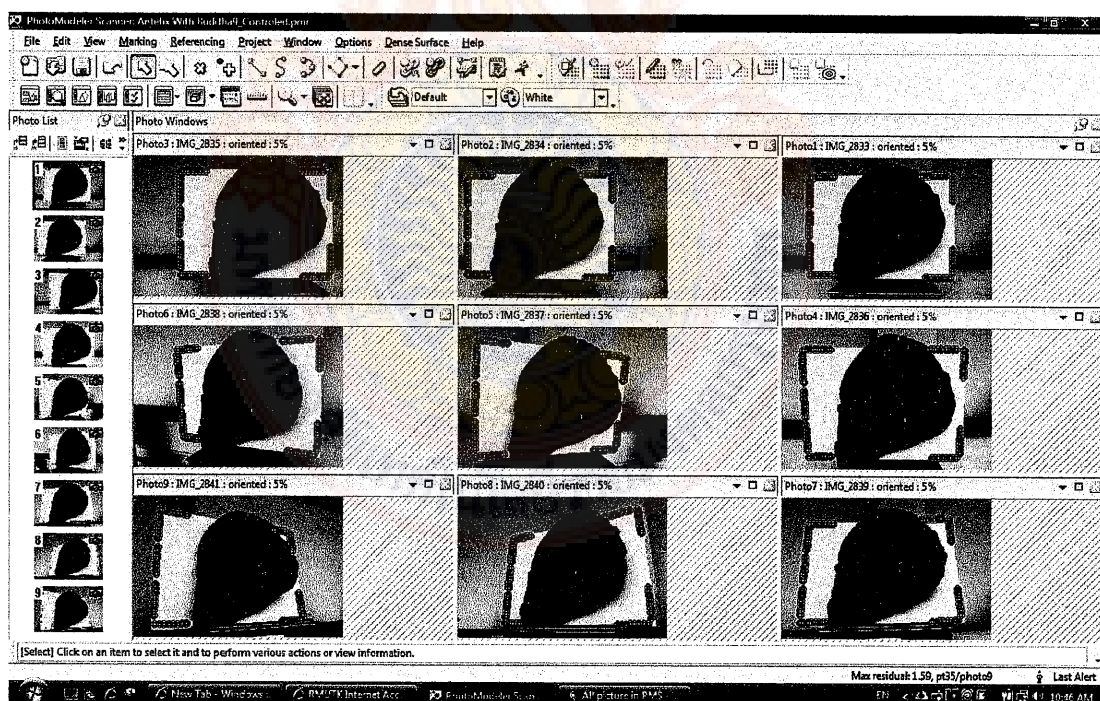
3.3.1.2 การประมวลผลการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1

จากข้อมูลภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 1 จำนวน 9 ภาพนำมาประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 1 โบราณวัตถุกลีบขนุนปรางค์สัถกพระพุทธรูปปางมารวิชัย แยกการประมวลผลออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ทำการประมวลผลเบื้องต้นโดยอาศัยภาพถ่ายจำนวน 4 ภาพแสดงดังรูปที่ 3.7 เพื่อการตรวจสอบเงื่อนไขได้รวดเร็วและใช้เวลาในการประมวลผลแบบจำลองสามมิติไม่มากนัก และการประมวลผลภาพถ่ายทั้งหมดจำนวน 9 ภาพของแบบจำลองสามมิติแสดงดังรูปที่ 3.8

เงื่อนไขการประมวลผลแบบจำลองสามมิติทั้ง 2 ลักษณะอาศัยเงื่อนไขของการประมวลผลการจับคู่ภาพถ่ายแต่ละชุดเบื้องต้นกำหนดค่าตัวแปรตามการทำงานของโปรแกรม โดยกำหนดค่าของรัศมีกลุ่มของภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 11 จุดภาพ เพื่อให้การประมวลผลตำแหน่งของจุดในคู่ภาพใดๆ เป็นไปแบบอัตโนมัติ หลังจากนั้นจึงทำการประมวลผลอีกครั้งโดยพิจารณาค่าของรัศมีกลุ่มของภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 25 จุดภาพ ทำการเปรียบเทียบผลของการแสดงผลแบบจำลองสามมิติที่ต้องการ



รูปที่ 3.7 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 1 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 4 ภาพ



รูปที่ 3.8 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 1 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 9 ภาพ

3.3.2 แบบจำลองสามมิติที่ 2 กลีบขนุนปรารงค์สถักรูปพระอิศวรทรงโคนนทิ

แบบจำลองสามมิติที่ 2 กลีบขนุนปรารงค์สถักรูปพระอิศวรทรงโคนนทิสิลปะเขมร พุทธศตวรรษที่ 16 – 17 ได้มาจากจังหวัดศรีสะเกษ เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในการตกแต่งตัวปราสาทหรือสถาปัตยกรรมลักษณะเป็นหินทรายสลักผิววนลึนน้ำตาลเข้ม จัดแสดงอยู่ในส่วนทางเดินภายในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติพระนครมีลักษณะดังรูปที่ 3.9 และทำการบันทึกภาพเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ โดยกำหนดเงื่อนไขให้มีจุดสัญญาณโดยรอบจำนวน 80 จุดเป็นพื้นหลังเพื่อใช้ในการหาค่าองค์ประกอบภายนอกของชุดภาพถ่าย



รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายกลีบขนุนปรารงค์สถักรูปพระอิศวรทรงโคนนทิ

3.3.2.1 การหาองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 2

ค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายทุกๆ ภาพซึ่งใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 2 กลีบขนุนปรารงค์สถักรูปพระอิศวรทรงโคนนทิ สามารถกำหนดเงื่อนไขของจุดรังวัดร่วมบนชุดภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประมวลผลบล็อกค่าแสง สำหรับงานวิจัยการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัลนี้อาศัยจุดรังวัดร่วมบนภาพถ่ายจำนวน 80 จุด จากจุดสัญญาณที่พิจารณาขนาดที่เหมาะสมเป็นพื้นหลัง ในการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลในงานวิจัยร่วมกับขาตั้งเพื่อความมั่นคงในการถ่ายภาพ เลือกการถ่ายภาพด้วย

ความไวแสงไอเอสโอ 100 และขนาดรูรับแสง 22 โดยให้ความเร็วชัตเตอร์เป็นอัตโนมัติตามความสัมพันธ์ของปริมาณแสงกับขนาดรูรับแสง ลักษณะของการถ่ายภาพเป็นภาพถ่ายที่มีส่วนทับซ้อนกันในมุมมองที่แตกต่างกันตามรูปที่ 3.6 ข้อมูลภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 2 กลีบบนุนปรางค์สถักรูปพระอิศวรทรงโคนนที่แสดงในภาคผนวก ก. ตัวอย่างภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 2 เมื่อกำหนดจุดรั้งวัดร่วมจากจุดสัญญาณจำนวน 80 จุดแสดงดังรูปที่ 3.10



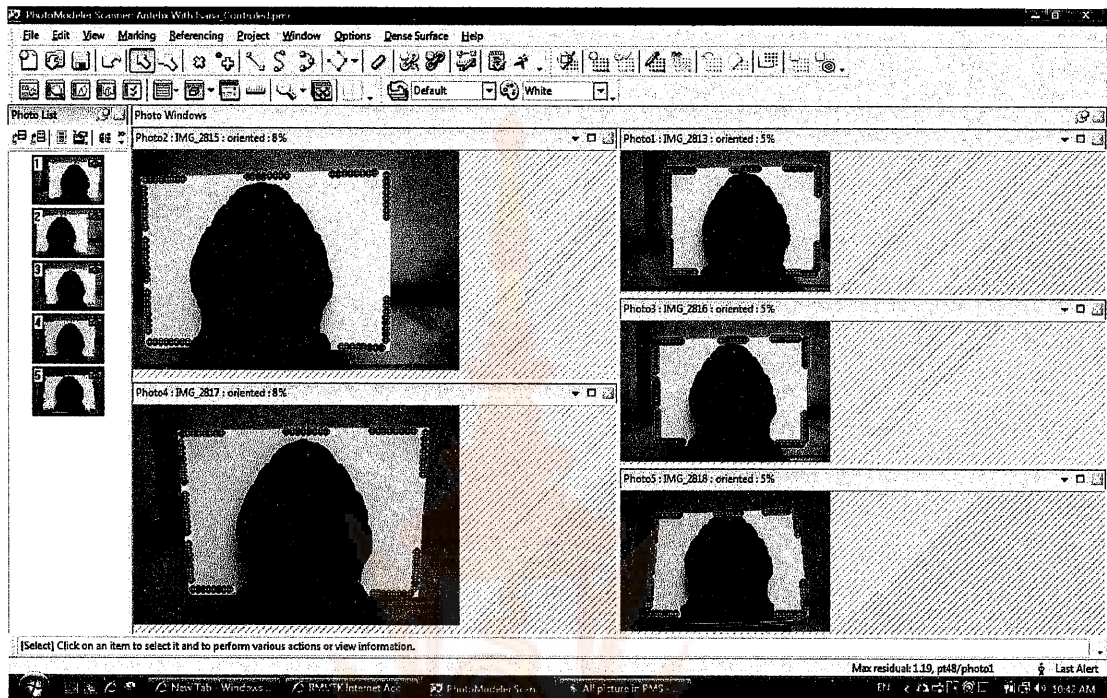
รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายของจุดรั้งวัดร่วมของแบบจำลองสามมิติที่ 2

3.3.2.2 การประมวลผลการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 2

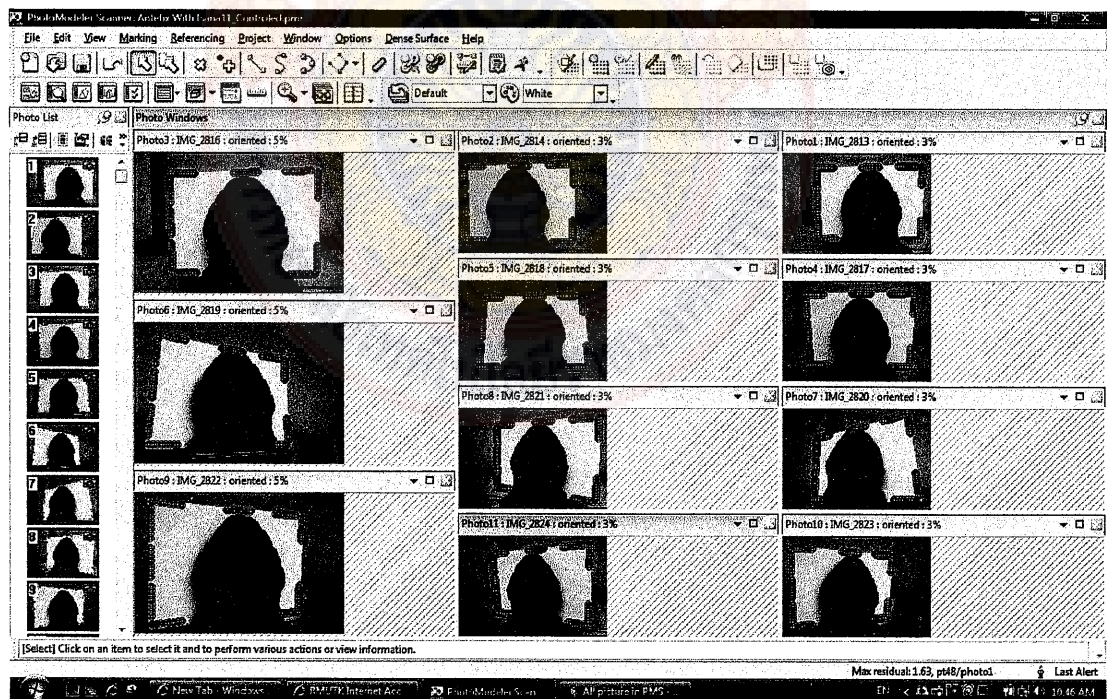
จากข้อมูลภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 2 จำนวน 9 ภาพนำมาประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 2 โบราณวัตถุกลีบบนุนปรางค์สถักรูปพระอิศวรทรงโคนนที่ แยกการประมวลผลออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ทำการประมวลผลเบื้องต้นโดยอาศัยภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพแสดงดังรูปที่ 3.11 เพื่อการตรวจสอบเงื่อนไขได้รวดเร็วและใช้เวลาในการประมวลผลแบบจำลองสามมิติไม่มากนัก และการประมวลผลภาพถ่ายทั้งหมดจำนวน 11 ภาพของแบบจำลองสามมิติแสดงดังรูปที่ 3.12

เงื่อนไขการประมวลผลแบบจำลองสามมิติทั้ง 2 ลักษณะอาศัยเงื่อนไขของการประมวลผลการจับคู่ภาพถ่ายแต่ละชุดเบื้องต้นกำหนดค่าตัวแปรตามการทำงานของโปรแกรม โดยกำหนดค่าของรัศมีกลุ่มของภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 11 จุดภาพเพื่อให้การประมวลผลตำแหน่งของจุดในคู่ภาพใดๆ เป็นไปแบบอัตโนมัติ หลังจากนั้นจึงทำการประมวลผลอีกครั้งโดย

พิจารณาค่าของรัศมีกลุ่มของภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 25 จุดภาพ ทำการเปรียบเทียบผลของการแสดงผลแบบจำลองสามมิติที่ต้องการ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น



รูปที่ 3.11 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 2 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพ



รูปที่ 3.12 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 2 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 11 ภาพ

3.3.3 แบบจำลองสามมิติที่ 3 กลีบขนุนปราสาทสลักรูปพระยมทรงกระบือ

แบบจำลองสามมิติที่ 3 กลีบขนุนปราสาทสลักรูปพระยมทรงกระบือ ศิลปะเขมรแบบบาปวน พุทธศตวรรษที่ 16 – 17 ได้มาจากอำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในการตกแต่งตัวปราสาทหรือสถาปัตยกรรมลักษณะเป็นหินทรายสลักผิวูนสีน้ำตาล จัดแสดงอยู่ในส่วนทางเดินภายในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติพระนครมีลักษณะดังรูปที่ 3.13 และทำการบันทึกภาพเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ โดยกำหนดเงื่อนไขให้มีจุดสัญญาณโดยรอบจำนวน 80 จุด เป็นพื้นหลังเพื่อใช้ในการหาค่าองค์ประกอบภายนอกของชุดภาพถ่าย



รูปที่ 3.13 ภาพถ่ายกลีบขนุนปราสาทสลักรูปพระยมทรงกระบือ

3.3.3.1 การหาองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3

ค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายทุกๆ ภาพซึ่งใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 3 กลีบขนุนปราสาทสลักรูปพระยมทรงกระบือ สามารถกำหนดเงื่อนไขของจุดรั้วร่วมบนชุดภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประมวลผลสื่อกลางแสง สำหรับงานวิจัยการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัลนี้อาศัยจุดรั้วร่วมบนภาพถ่ายจำนวน 80 จุด จากจุดสัญญาณที่พิจารณาขนาดที่เหมาะสมเป็นพื้นหลัง ในการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลในงานวิจัยร่วมกับขาตั้งเพื่อความมั่นคงในการถ่ายภาพ เลือกการถ่ายภาพด้วย

ความไวแสงไอเอสโอ 100 และขนาดรูรับแสง 22 โดยให้ความเร็วชัตเตอร์เป็นอัตโนมัติตามความสัมพันธ์ของปริมาณแสงกับขนาดรูรับแสง ลักษณะของการถ่ายภาพเป็นภาพถ่ายที่มีส่วนทับซ้อนกันในมุมมองที่แตกต่างกันตามรูปที่ 3.6 ข้อมูลภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 3 กลีบบขนุนปรางค์สถักรูปพระยมทรงกระบือแสดงในภาคผนวก ก. ตัวอย่างภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 2 เมื่อกำหนดจุดรั้งวัดร่วมจากจุดสัญญาณจำนวน 80 จุดแสดงดังรูปที่ 3.14



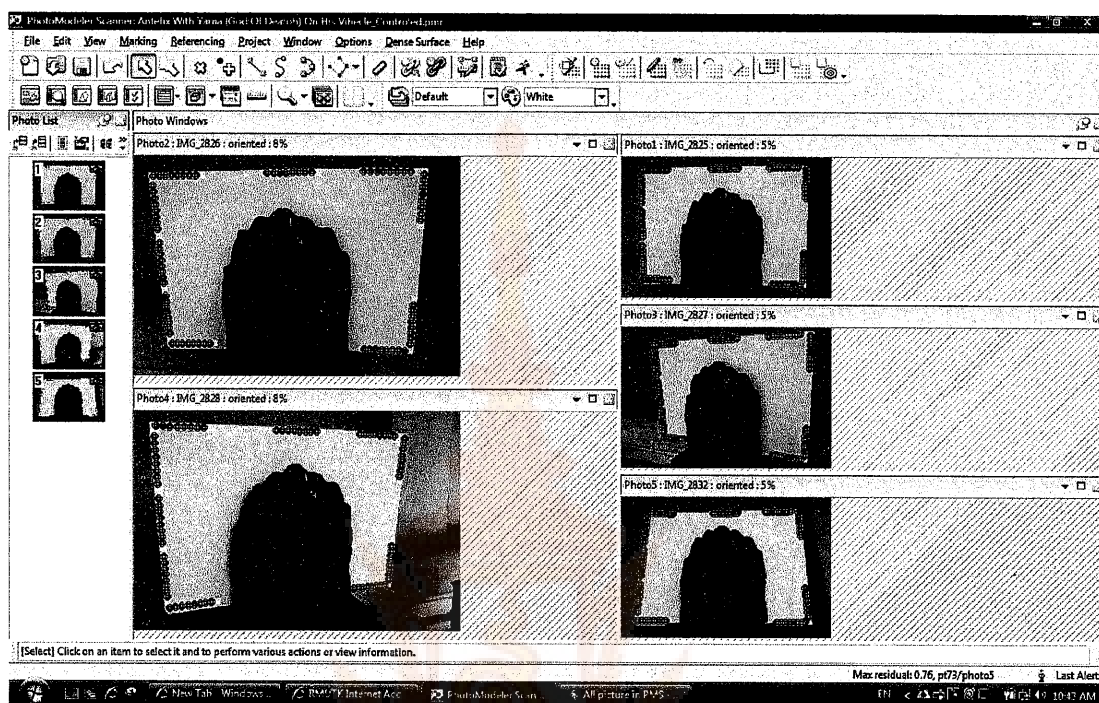
รูปที่ 3.14 ภาพถ่ายของจุดรั้งวัดร่วมของแบบจำลองสามมิติที่ 3

3.3.3.2 การประมวลผลการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 3

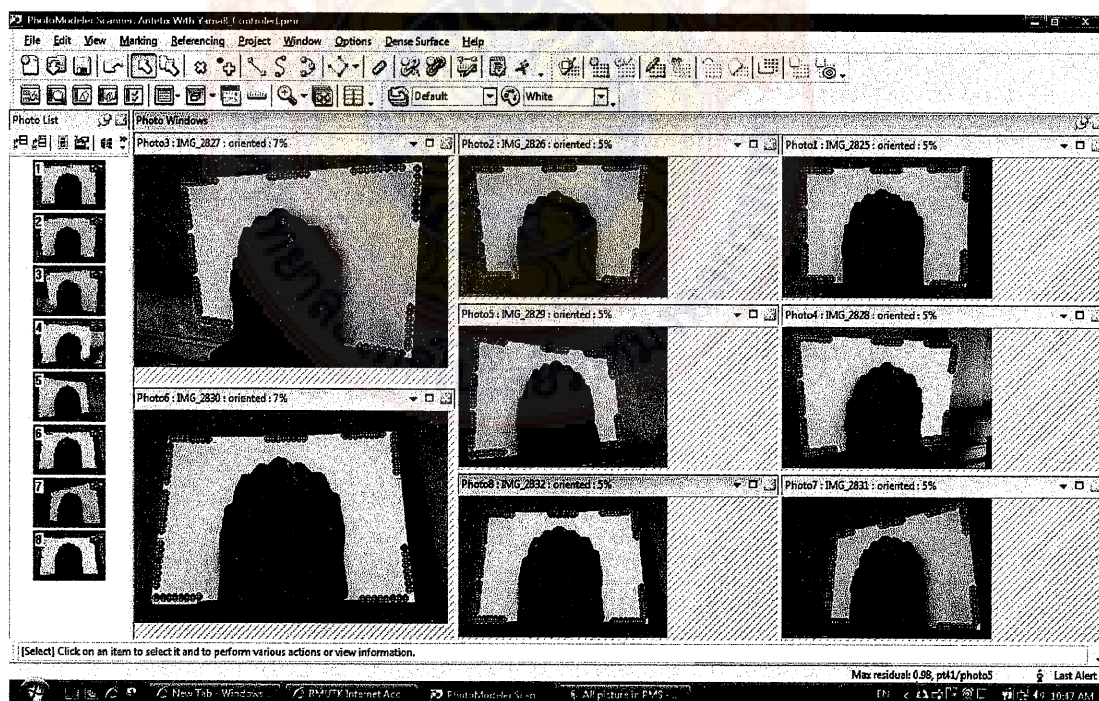
จากข้อมูลภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 3 จำนวน 8 ภาพนำมาประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 3 โบราณวัตถุกลีบบขนุนปรางค์สถักรูปพระยมทรงกระบือ แยกการประมวลผลออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ทำการประมวลผลเบื้องต้นโดยอาศัยภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพแสดงดังรูปที่ 3.15 เพื่อการตรวจสอบเงื่อนไขได้รวดเร็วและใช้เวลาในการประมวลผลแบบจำลองสามมิติไม่มากนัก และการประมวลผลภาพถ่ายทั้งหมดจำนวน 8 ภาพของแบบจำลองสามมิติแสดงดังรูปที่ 3.16

เงื่อนไขการประมวลผลแบบจำลองสามมิติทั้ง 2 ลักษณะอาศัยเงื่อนไขของการประมวลผลการจับคู่ภาพถ่ายแต่ละชุดเบื้องต้นกำหนดค่าตัวแปรตามการทำงานของโปรแกรม โดยกำหนดค่าของรัศมีกลุ่มของภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 11 จุดภาพเพื่อให้การประมวลผลตำแหน่งของจุดในคู่ภาพใดๆ เป็นไปแบบอัตโนมัติ หลังจากนั้นจึงทำการประมวลผลอีกครั้งโดย

พิจารณาค่าของรัศมีกลุ่มของภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 25 จุดภาพ ทำการเปรียบเทียบผลของการแสดงผลแบบจำลองสามมิติที่ต้องการ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น



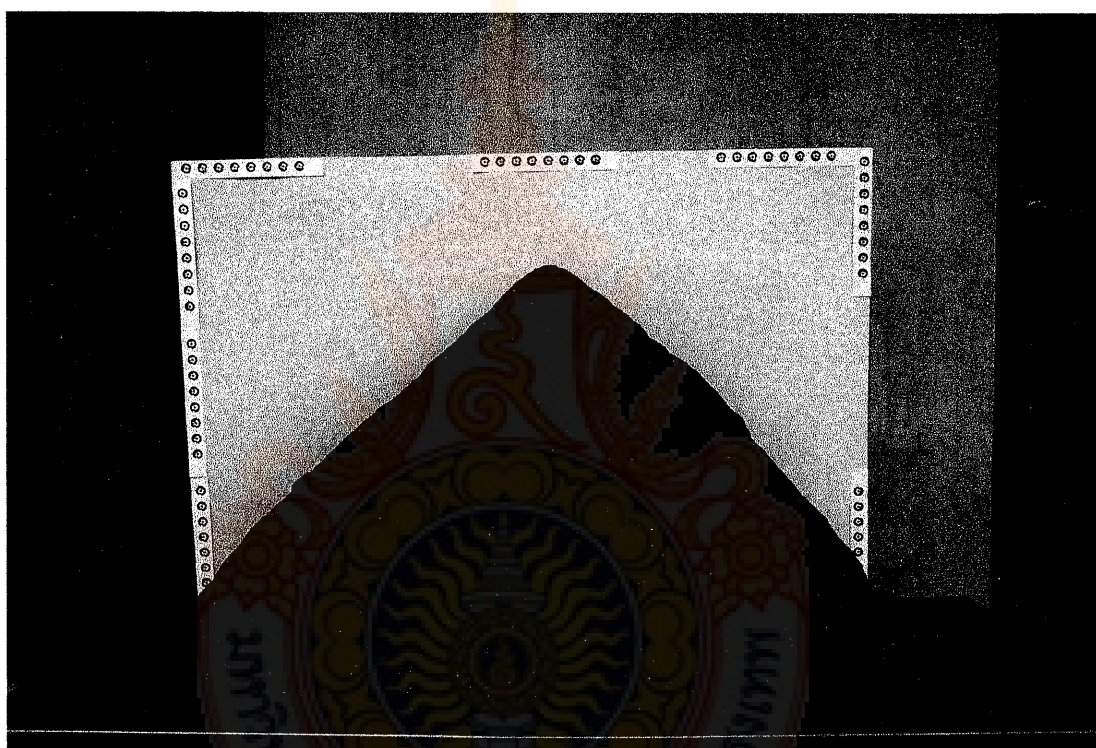
รูปที่ 3.15 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 3 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพ



รูปที่ 3.16 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 3 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 8 ภาพ

3.3.4 แบบจำลองสามมิติที่ 4 ชั้นส่วนหน้าบัน

แบบจำลองสามมิติที่ 4 ชั้นส่วนหน้าบัน ศิลปะเขมรแบบบาเยน พุทธศตวรรษที่ 18 นายสมชาย อามัต์เสถียร มอบให้เมื่อ พ.ศ. 2531 เป็นชั้นส่วนที่ใช้ในการตกแต่งด้วยปราสาทหรือสถาปัตยกรรมลักษณะเป็นหินทรายสลักผิวปูนสีน้ำตาลแดง จัดแสดงอยู่ในส่วนทางเดินภายในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติพระนครมีลักษณะดังรูปที่ 3.17 และทำการบันทึกภาพเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ โดยกำหนดเงื่อนไขให้มีจุดสัญญาณโดยรอบจำนวน 80 จุดเป็นพื้นหลังเพื่อใช้ในการหาค่าองค์ประกอบภายนอกของชุดภาพถ่าย

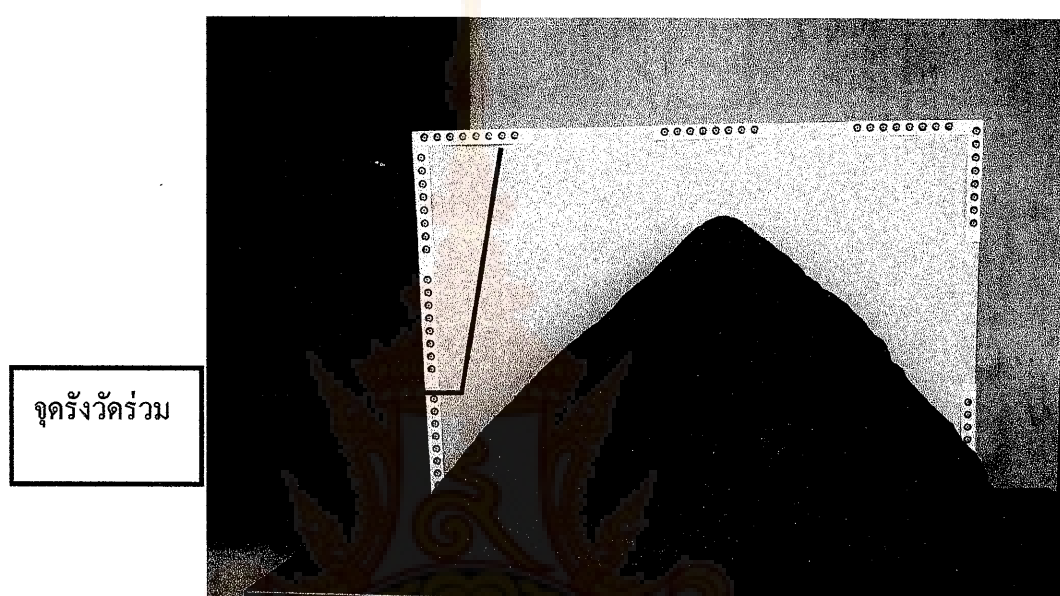


รูปที่ 3.17 ภาพถ่ายชั้นส่วนหน้าบัน

3.3.4.1 การหาองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 4

ค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายทุกภาพซึ่งใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 4 ชั้นส่วนหน้าบัน ศิลปะเขมรแบบบาเยน พุทธศตวรรษที่ 18 สามารถกำหนดเงื่อนไขของจุดรั้ววัดร่วมบนชุดภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประมวลผลเลือกค่าแสง สำหรับงานวิจัยการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัลนี้อาศัยจุดรั้ววัดร่วมบนภาพถ่ายจำนวน 80 จุด จากจุดสัญญาณที่พิจารณาขนาดที่เหมาะสมเป็นพื้นหลัง ในการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลในงานวิจัยร่วมกับขาตั้งเพื่อความมั่นคงในการถ่ายภาพ เลือกการถ่ายภาพ

ด้วยความไวแสงไอเอสโอ 100 และขนาดรูรับแสง 22 โดยให้ความเร็วชัตเตอร์เป็นอัตโนมัติตามความสัมพันธ์ของปริมาณแสงกับขนาดรูรับแสง ลักษณะของการถ่ายภาพเป็นภาพถ่ายที่มีส่วนทับซ้อนกันในมุมมองที่แตกต่างกันตามรูปที่ 3.6 ข้อมูลภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 4 ชั้นส่วนหน้าบันทึลปะเจมรแบบบายนพุทธศตวรรษที่ 18 แสดงในภาคผนวก ก. ตัวอย่างภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 4 เมื่อกำหนดจุดรั้งวัดร่วมจากจุดสัญญาณจำนวน 80 จุดแสดงดังรูปที่ 3.18



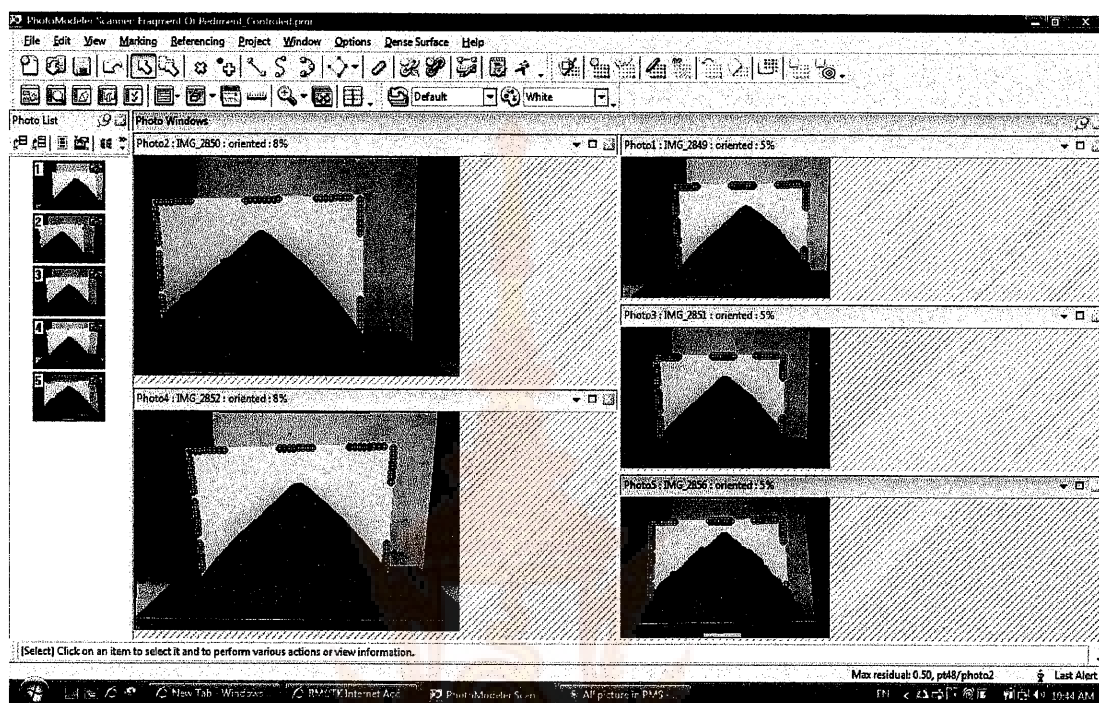
รูปที่ 3.18 ภาพถ่ายของจุดรั้งวัดร่วมของแบบจำลองสามมิติที่ 4

3.3.4.2 การประมวลผลการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 4

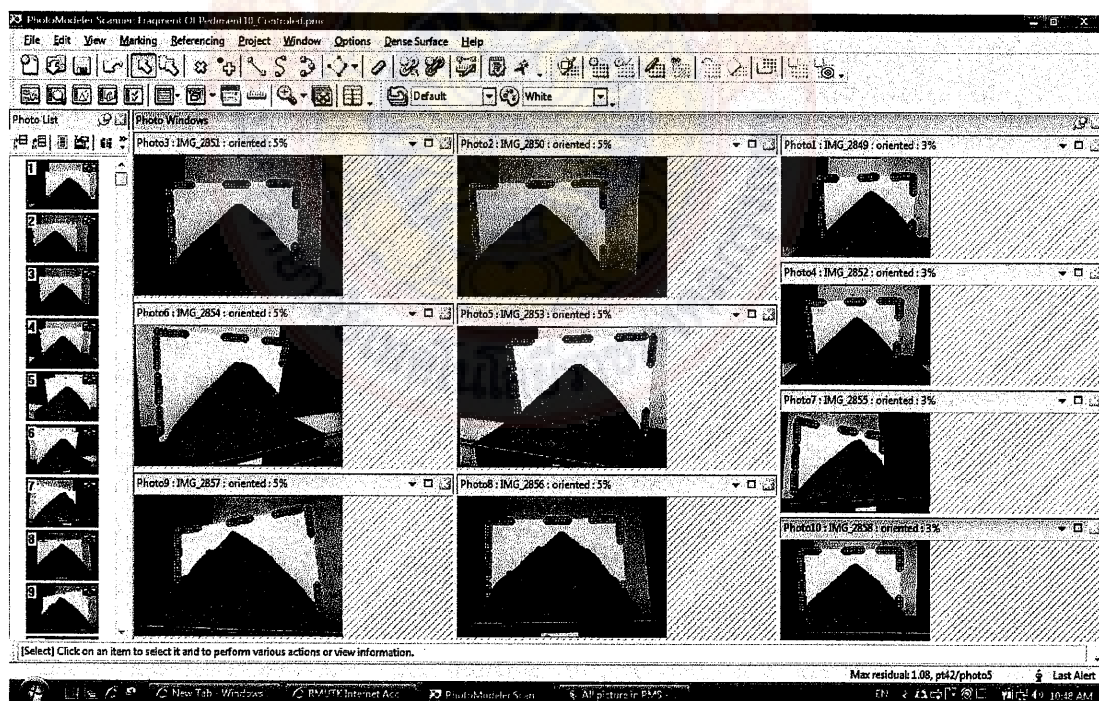
จากข้อมูลภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 4 จำนวน 8 ภาพนำมาประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 4 โบราณวัตถุชิ้นส่วนหน้าบันทึลปะเจมรแบบบายนพุทธศตวรรษที่ 18 แยกการประมวลผลออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ทำการประมวลผลเบื้องต้นโดยอาศัยภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพแสดงดังรูปที่ 3.19 เพื่อการตรวจสอบเงื่อนไขได้รวดเร็วและใช้เวลาในการประมวลผลแบบจำลองสามมิติไม่มากนัก และการประมวลผลภาพถ่ายทั้งหมดจำนวน 10 ภาพของแบบจำลองสามมิติแสดงดังรูปที่ 3.20

เงื่อนไขการประมวลผลแบบจำลองสามมิติทั้ง 2 ลักษณะอาศัยเงื่อนไขของการประมวลผลการจับคู่ภาพถ่ายแต่ละชุดเบื้องต้นกำหนดค่าตัวแปรตามการทำงานของโปรแกรม โดยกำหนดค่าของรัศมีกลุ่มของภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 11 จุดภาพเพื่อให้การประมวลผลตำแหน่งของจุดในคู่ภาพใดๆเป็นไปแบบอัตโนมัติ หลังจากนั้นจึงทำการประมวลผลอีกครั้งโดย

พิจารณาค่าของรัศมีกลุ่มของภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 25 จุดภาพ ทำการเปรียบเทียบผลของการแสดงผลแบบจำลองสามมิติที่ต้องการ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น



รูปที่ 3.19 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 4 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพ



รูปที่ 3.20 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 4 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 10 ภาพ

3.3.5 แบบจำลองสามมิติที่ 5 ชิ้นส่วนเศียรนาค

แบบจำลองสามมิติที่ 5 ชิ้นส่วนเศียรนาค ศิลปะเขมรแบบบาปวน อายุราวกลางพุทธศตวรรษที่ 16 – 17 เป็นชิ้นส่วนที่ใช้ในการตกแต่งตัวปราสาทหรือสถาปัตยกรรมลักษณะเป็นหินทรายสลักผิวฐานสีน้ำตาลแดง จัดแสดงอยู่ในส่วนทางเดินภายในพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติพระนครมีลักษณะดังรูปที่ 3.21 และทำการบันทึกภาพเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ โดยกำหนดเงื่อนไขให้มีจุดสัญญาณ โดยรอบจำนวน 80 จุดเป็นพื้นหลังเพื่อใช้ในการหาค่าองค์ประกอบภายนอกของชุดภาพถ่าย



รูปที่ 3.21 ภาพถ่ายชิ้นส่วนเศียรนาค

3.3.5.1 การหาค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 5

ค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายทุกภาพซึ่งใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 5 ชิ้นส่วนเศียรนาค ศิลปะเขมรแบบบาปวนอายุราวกลางพุทธศตวรรษที่ 16 – 17 สามารถกำหนดเงื่อนไขของจุดรั้ววัดร่วมบนชุดภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อประมวลผลบล็อกค่าแสง สำหรับงานวิจัยการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัลนี้อาศัยจุดรั้ววัดร่วมบนภาพถ่ายจำนวน 80 จุด จากจุดสัญญาณที่พิจารณาขนาดที่เหมาะสมเป็นพื้นหลัง ในการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลในงานวิจัยร่วมกับขาตั้งเพื่อความมั่นคงในการ

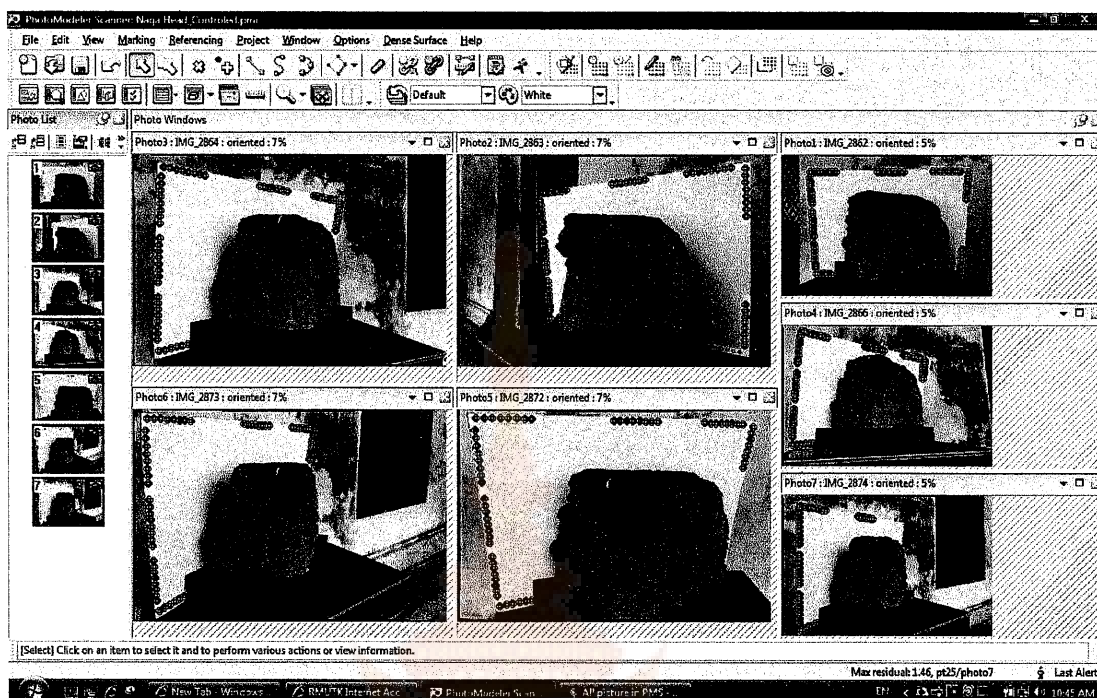
ถ่ายภาพ เลือกการถ่ายภาพด้วยความไวแสงไอเอสโอ 100 และขนาดรูรับแสง 22 โดยให้ความเร็วชัตเตอร์เป็นอัตโนมัติตามความสัมพันธ์ของปริมาณแสงกับขนาดรูรับแสง ลักษณะของการถ่ายภาพเป็นภาพถ่ายที่มีส่วนทับซ้อนกันในมุมมองที่แตกต่างกันตามรูปที่ 3.6 ข้อมูลภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 5 ชิ้นส่วนเศียรนาคศิลปะเขมรแบบบาปวนอายุราวกลางพุทธศตวรรษที่ 16 – 17 แสดงในภาคผนวก ก. ตัวอย่างภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 5 เมื่อกำหนดจุดรังวัดรวมจากจุดสัญญาณจำนวน 80 จุดแสดงดังรูปที่ 3.22



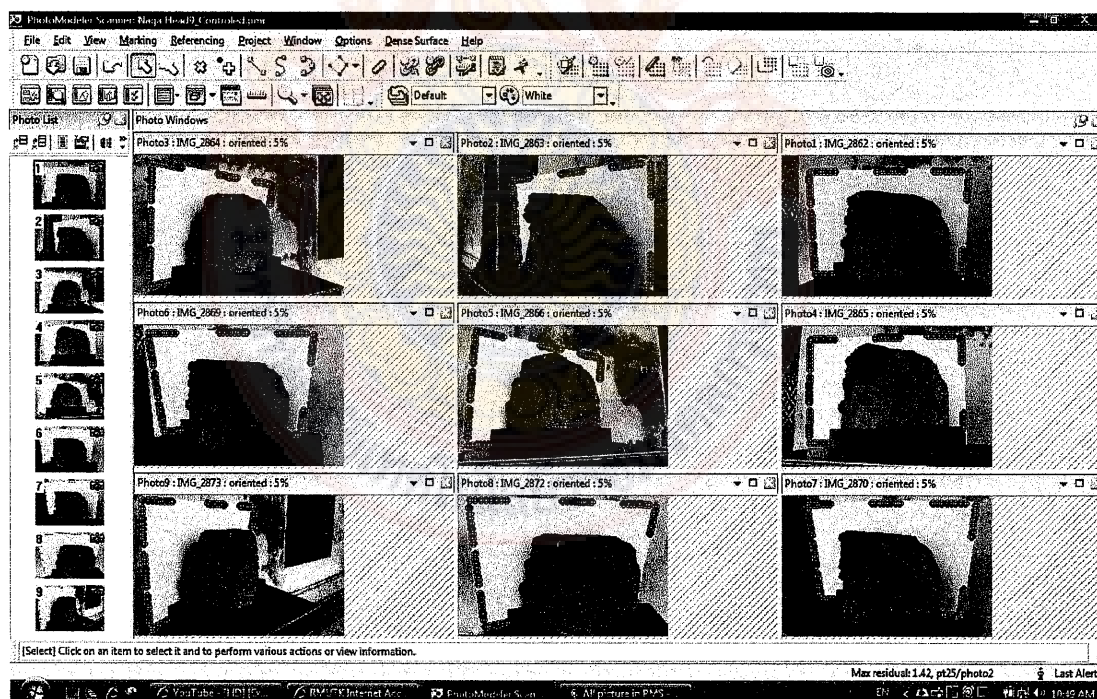
รูปที่ 3.22 ภาพถ่ายของจุดรังวัดรวมของแบบจำลองสามมิติที่ 5

3.3.5.2 การประมวลผลการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 5

จากข้อมูลภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 5 จำนวน 9 ภาพนำมาประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 5 โบราณวัตถุชิ้นส่วนเศียรนาคศิลปะเขมรแบบบาปวนอายุราวกลางพุทธศตวรรษที่ 16 – 17 แยกการประมวลผลออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ทำการประมวลผลเบื้องต้นโดยอาศัยภาพถ่ายจำนวน 7 ภาพ แสดงดังรูปที่ 3.23 เพื่อการตรวจสอบเงื่อนไขได้รวดเร็วและใช้เวลาในการประมวลผลแบบจำลองสามมิติไม่มากนัก และการประมวลผลภาพถ่ายทั้งหมดจำนวน 9 ภาพของแบบจำลองสามมิติแสดงดังรูปที่ 3.24 โดยความแตกต่างที่สำคัญของแบบจำลองสามมิติที่ 5 ชิ้นส่วนเศียรนาคศิลปะเขมรแบบบาปวนอายุราวกลางพุทธศตวรรษที่ 16 – 17 นั้นเป็นชิ้นงานที่มีลักษณะของมิติมากกว่าชิ้นงานอื่นๆ ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะการถ่ายภาพที่กำหนดไว้เบื้องต้นดังแสดงในรูปที่ 3.6 ทำให้ลำบาก



รูปที่ 3.23 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 5 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 7 ภาพ



รูปที่ 3.24 การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 5 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 9 ภาพ

เงื่อนไขการประมวลผลแบบจำลองสามมิติทั้ง 2 ลักษณะอาศัยเงื่อนไขของการประมวลผลการจับคู่ภาพถ่ายแต่ละชุดเบื้องต้นกำหนดค่าตัวแปรตามการทำงานของโปรแกรม โดยกำหนดค่าของรัศมีกลุ่มของภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 11 จุดภาพเพื่อให้การประมวลผลตำแหน่งของจุดในคู่ภาพใดๆเป็นไปแบบอัตโนมัติ หลังจากนั้นจึงทำการประมวลผลอีกครั้งโดยพิจารณาค่าของรัศมีกลุ่มของภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 25 จุดภาพ ทำการเปรียบเทียบผลของการแสดงผลแบบจำลองสามมิติที่ต้องการ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น

ในการทำการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุทั้ง 5 ชิ้นงาน ไม่ได้มีการจัดสภาวะของแสงในขณะที่ทำการบันทึกภาพ ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดทางพื้นที่และเงื่อนไขของน้ำหนักรูปร่างของชิ้นงาน อาจส่งผลต่อการประมวลผลแบบจำลองสามมิติโดยเงื่อนไขของการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลในลักษณะการจับคู่ อีกปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งคือการไม่สามารถทำการถ่ายภาพบริเวณส่วนด้านหลังของชิ้นงานได้เนื่องด้วยการจัดแสดงชิ้นงานโบราณวัตถุประเภทนี้แสดงอยู่ในส่วนของทางเดินชิดด้านใดด้านหนึ่ง การเคลื่อนย้ายชิ้นงานแต่ละชิ้นทำได้ยากเนื่องจากเป็นชิ้นงานที่มีน้ำหนักมากและอาจเกิดความเสียหายขณะทำการเคลื่อนย้ายด้วยเช่นกัน

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานโครงการวิจัย

จากการดำเนินงานโครงการวิจัยการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัล อาศัยข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลจากกล้องถ่ายภาพแคนนอนรุ่น 50 ดี ความละเอียดจุดภาพเท่ากับ 15 ล้านจุดภาพ (4752 x 3168) ประกอบกับเลนส์ที่มีระยะโฟกัสคงที่ขนาด 20 มิลลิเมตร โดยดำเนินการวัดสอบกล้องถ่ายภาพเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายในก่อนการใช้นั้นที่ข้อมูลภาพถ่ายภาคสนาม สำหรับการออกแบบจุดสัญญาณที่ใช้ในการรังวัดภาพถ่ายพิจารณาออกแบบเป็นลักษณะวงแหวนสามารถค้นหาแบบอัตโนมัติซึ่งกำหนดขนาดตามมาตราส่วนภาพถ่าย เพื่อให้ได้ขนาดของจุดสัญญาณที่เหมาะสมในการประมวลผลเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายแต่ละภาพ

การสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุจากภาพถ่ายดิจิทัลดำเนินการประมวลผลเริ่มต้นด้วยการหาองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายแต่ละภาพจากการกำหนดตำแหน่งจุดรังวัดร่วมบนภาพถ่าย จากการรังวัดจุดสัญญาณซึ่งกำหนดเงื่อนไขแวดล้อมไว้โดยรอบโบราณวัตถุจำนวน 80 จุด แล้วจึงเริ่มดำเนินการประมวลผลแบบจำลองสามมิติโดยเงื่อนไขของการรังวัดจุดภาพบนภาพถ่ายแบบอัตโนมัติ อาศัยการประมวลผลภาพถ่ายดิจิทัลด้วยเงื่อนไขการจับคู่ภาพถ่ายและทำการกำหนดขนาดของรัศมีกลุ่มจุดภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 11 และ 25 จุดภาพตามลำดับ โดยผลของการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุจากภาพถ่ายดิจิทัลเป็นดังนี้

4.1 ผลการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัล

กล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอนรุ่น 50 ดี ประกอบเลนส์ที่มีระยะโฟกัสคงที่ขนาด 20 มิลลิเมตร จากการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัลโดยประมวลผลจากภาพถ่ายแผ่นวัดสอบในมุมมองต่างๆดังรูปที่ 3.3 แสดงผลการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส 50 ดี หมายเลข 0510313679 ตามตารางที่ 4.1 ซึ่งค่าตัวแปรตามตารางดังกล่าวใช้ในการประมวลผลแบบจำลองสามมิติต่อไป

ตารางที่ 4.1 ค่าองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส 50 ดี

หมายเลข 0510313679

ความยาวโฟกัส	$21.047893 \pm 9.3 \times 10^{-4}$ มิลลิเมตร
ตำแหน่งมุขยสำคัญทางแกน X	$11.340414 \pm 6.6 \times 10^{-4}$ มิลลิเมตร
ตำแหน่งมุขยสำคัญทางแกน Y	$7.569498 \pm 9.5 \times 10^{-4}$ มิลลิเมตร
ขนาดภาพด้านกว้าง	$22.746046 \pm 1.4 \times 10^{-4}$ มิลลิเมตร
ขนาดภาพด้านยาว	$15.163800 \pm 1.948 \times 10^{-4}$ มิลลิเมตร
สัมประสิทธิ์ความบิดเบี้ยวของเลนส์ในแนวรัศมี ตัวแปร K1	1.948×10^{-4} มิลลิเมตร $\pm 3.0 \times 10^{-7}$ มิลลิเมตร
สัมประสิทธิ์ความบิดเบี้ยวของเลนส์ในแนวรัศมี ตัวแปร K2	-3.637×10^{-7} มิลลิเมตร $\pm 1.8 \times 10^{-9}$ มิลลิเมตร
สัมประสิทธิ์ความบิดเบี้ยวของเลนส์ในแนวรัศมี ตัวแปร K3	0.00 มิลลิเมตร ± 0.00 มิลลิเมตร
สัมประสิทธิ์ความบิดเบี้ยวของเลนส์ในแนวเส้นสัมผัส ตัวแปร P1	1.991×10^{-5} มิลลิเมตร $\pm 4.8 \times 10^{-7}$ มิลลิเมตร
สัมประสิทธิ์ความบิดเบี้ยวของเลนส์ในแนวเส้นสัมผัส ตัวแปร P2	3.596×10^{-5} มิลลิเมตร $\pm 6.0 \times 10^{-7}$ มิลลิเมตร
จำนวนภาพถ่ายที่ใช้ในการปรับแก้	12 ภาพ
ร้อยละของพื้นที่ซึ่งครอบคลุมบนภาพถ่าย	82%
ความคลาดเคลื่อนรวมในการกำหนดตำแหน่งจุด	0.107 จุดภาพ
ความคลาดเคลื่อนสูงสุดในการกำหนดตำแหน่งจุด จุดที่ 13 บนภาพที่ 10	0.506 จุดภาพ
ความคลาดเคลื่อนต่ำสุดในการกำหนดตำแหน่งจุด จุดที่ 76 บนภาพที่ 1	0.092 จุดภาพ
ความคลาดเคลื่อนโดยรวมสูงสุด ที่จุด 13	0.261 จุดภาพ
ความคลาดเคลื่อนโดยรวมต่ำสุด ที่จุด 102	0.054 จุดภาพ
ความคลาดเคลื่อนโดยรวมเชิงเส้น	3.44×10^{-5} เมตร

ผลของการหาค่าองค์ประกอบภายในกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส 50 ดี หมายเลข 0510313679 จะใช้ในการคำนวณเบื้องต้นในการออกแบบขนาดของจุดสัญญาณ รวมถึงการประเมินเกี่ยวกับมาตราส่วนภาพถ่าย และขนาดของจุดภาพ และยังเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายก่อนการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุต่อไป

4.2 ผลการออกแบบขนาดของจุดสัญญาณภาพถ่าย

จุดสัญญาณเป็นตำแหน่งที่ใช้ในการกำหนดจุดรังวัดบนภาพถ่ายเพื่อการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับใช้ในการคำนวณหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่าย โดยอาศัยสมการเงื่อนไขสภาวะร่วมเส้นในการประมวลผลค่าดังกล่าว ขนาดของจุดสัญญาณเป็นลักษณะวงแหวนสามารถค้นหาแบบอัตโนมัติซึ่งทำการพิจารณาศูนย์กลางของจุดสัญญาณ จากขนาดจุดสัญญาณที่เล็กสุดในทางปฏิบัติเป็น 5×5 จุดภาพ เบื้องต้นทำการกำหนดขนาดของจุดสัญญาณปรากฏขนาด 10×10 จุดภาพที่ระยะห่างถ่ายภาพประมาณ 1.5 เมตร ซึ่งจะทำให้ครอบคลุมพื้นที่ของวัตถุที่ต้องการสร้างแบบจำลองสามมิติเป็นขนาด 1.6×1.0 เมตร ลักษณะของจุดสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 จุดสัญญาณลักษณะวงแหวนขนาดจุดศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร

จากการประเมินระยะห่างของการถ่ายภาพที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุจำนวนทั้งหมด 5 แบบจำลอง โดยทำการพิจารณาระยะทางจากศูนย์กลางของเลนส์หรือตำแหน่งเปิดถ่ายภาพกับตำแหน่งของจุดรั้งวัดบริเวณมุมทั้งสี่ของภาพถ่าย ผลของระยะห่างของการถ่ายภาพแสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งมีค่าของระยะห่างอยู่ระหว่าง 1.2 – 1.6 เมตร สำหรับขนาดเล็กสุดของจุดสัญญาณที่ระยะห่างของการถ่ายภาพเป็น 1.6 เมตรมีตัวคูณมาตราส่วนเท่ากับ 76.017 และมีขนาดจุดภาพเท่ากับ 0.364 มิลลิเมตร ภาพถ่ายจะปรากฏจุดสัญญาณขนาดเล็กสุดเท่ากับ 8 x 8 จุดภาพ ในที่นี้มีขนาดใหญ่กว่า 5 x 5 จุดภาพซึ่งสามารถใช้งานได้

ตารางที่ 4.2 ระยะห่างของการถ่ายภาพซึ่งพิจารณาบริเวณขอบภาพถ่าย

แบบจำลองสามมิติ	จำนวนภาพถ่าย	ระยะห่างของการถ่ายภาพ (เมตร)			
		ตำแหน่งจุดที่ 25	ตำแหน่งจุดที่ 40	ตำแหน่งจุดที่ 49	ตำแหน่งจุดที่ 57
กลีบขนุนปราสาทสักรูป	4	1.364	1.359	1.279	1.260
พระพุทธรูปปางมารวิชัย	9	1.365	1.359	1.279	1.260
กลีบขนุนปราสาทสักรูปพระ	5	1.394	1.389	1.372	1.355
อิศวรทรงโคนนที	11	1.396	1.391	1.373	1.356
กลีบขนุนปราสาทสักรูปพระยม	5	1.324	1.256	1.300	1.214
ทรงกระบือ	8	1.324	1.256	1.301	1.215
ชิ้นส่วนหน้าบัน	5	1.595	1.600	1.538	1.542
	10	1.597	1.602	1.539	1.542
เศียรนาค	7	1.400	1.386	1.316	1.282
	9	1.400	1.392	1.316	1.282

ที่ระยะห่างของการถ่ายภาพเท่ากับ 1.2 เมตร มีค่าตัวคูณมาตราส่วนเป็น 57.01 และส่งผลให้ขนาดจุดภาพเท่ากับ 0.273 มิลลิเมตรต่อจุดภาพ เมื่อขนาดของจุดสัญญาณที่ใช้ในการกำหนด

ตำแหน่งเพื่อทำการรังวัดบนภาพถ่ายมีขนาด 3 มิลลิเมตร ขนาดของกลุ่มจุดภาพจะมีขนาดเท่ากับ 11 x 11 จุดภาพ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่ากลุ่มจุดภาพ 5 x 5 จุดภาพ

4.3 แบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุ

การดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัลในโครงการวิจัยนี้ ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลภาพถ่ายเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุจำนวน 5 แบบจำลองรายละเอียดดังหัวข้อที่ 3.3 โดยแบ่งการจัดการประมวลผลเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายจากการรังวัดจุดสัญญาณจำนวน 80 จุดและการสร้างพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติจากการประมวลผลภาพในลักษณะการจับคู่ภาพถ่ายนั้น ลักษณะการประมวลผลเบื้องต้นในแต่ละแบบจำลองจะเลือกใช้ภาพถ่ายเบื้องต้นจำนวน 4 – 5 ภาพเป็นรูปแบบที่ 1 เพื่อให้การประมวลผลทำได้รวดเร็ว และการประมวลผลรูปแบบที่ 2 จะทำการสร้างแบบจำลองสามมิติโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจำนวน 9 – 11 ภาพ

จากรูปแบบของการประมวลผลทั้ง 2 รูปแบบจะถูกกำหนดเงื่อนไขในการสร้างพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติออกเป็น เงื่อนไขที่ 1 ทำการกำหนดค่ารัศมีของกลุ่มจุดภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 11 จุดภาพ และเงื่อนไขที่ 2 ทำการกำหนดค่ารัศมีของกลุ่มจุดภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 25 จุดภาพซึ่งสำหรับการประมวลผลรูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 2 จำเป็นต้องอาศัยเวลาในการประมวลผลแบบจำลองสามมิติค่อนข้างมาก

4.3.1 ผลการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1 กลีบขนุนปรางค์สลักพระพุทธรูปปางมารวิชัย

ในการดำเนินงานการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1 กลีบขนุนปรางค์สลักพระพุทธรูปปางมารวิชัยแบ่งส่วนของการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ ส่วนที่หนึ่ง การดำเนินการหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายดิจิทัลโดยดำเนินการทั้งรูปแบบการประมวลผลที่ 1 และ 2 ส่วนที่สองเป็นส่วนที่ดำเนินการสร้างพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติจะทำการกำหนดเงื่อนไขค่ารัศมีของกลุ่มจุดภาพที่ใช้ในการจับคู่เป็น 2 เงื่อนไขเช่นกัน ซึ่งมีผลของการดำเนินการดังนี้

4.3.1.1 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 1

องค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายดิจิทัลลอตาศัยการคำนวณด้วยเงื่อนไขสภาวะ
ร่วมเส้นของจุดรังวัดภาพถ่ายจำนวนหนึ่ง ซึ่งในงานวิจัยอาศัยจุดสัญญาณจำนวน 80 จุดในการหา
ค่าองค์ประกอบภายนอกดังกล่าว ผลการประมวลผลเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอก
ประกอบด้วยค่าตำแหน่งถ่ายภาพและค่าการวางตัวในสามมิติที่แสดงด้วยค่ามุมหมุนในสามแกนซึ่ง
ได้แก่ค่ามุมโอเมกา พี และแคปปา ซึ่งผลของการหาค่าองค์ประกอบภายนอกแสดงดังตารางที่
4.3 ของภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 1

ตารางที่ 4.3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 1
รูปแบบการประมวลที่ 2

เพิ่มข้อมูล	IMG_2833
ตัวอย่างภาพ	
รูปแบบการประมวลผล	1
ตำแหน่งที่	1
ความยาว (จุดภาพ)	4752
ความกว้าง (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.190 (จุดภาพ)
ตำแหน่งทางแกน X (มม)	-7.878
ตำแหน่งทางแกน Y (มม)	3.959

ตารางที่ 4.3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 1
รูปแบบการประมวลที่ 2 (ต่อ)

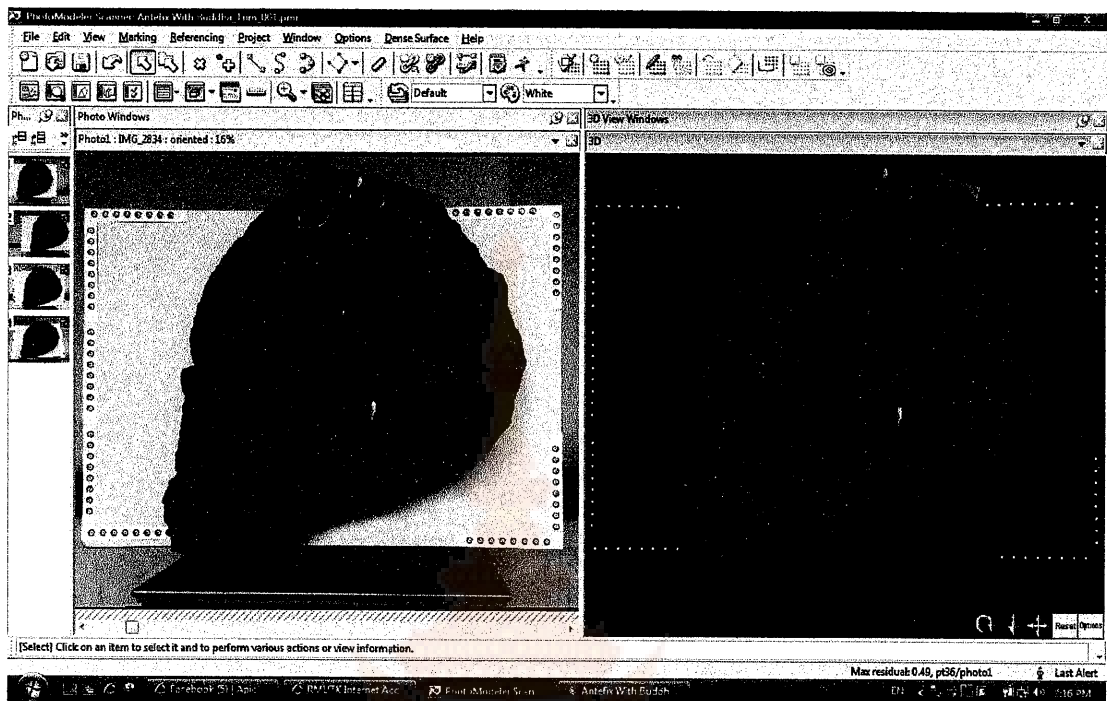
ตำแหน่งทางแกน Z (มม)	1.005
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุมโอเมกา (องศา)	-0.1500231
มุมฟี (องศา)	-0.2638306
มุมเคปปา (องศา)	0.0552302
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.342 (จุดภาพ)

ผลการดำเนินการสำหรับการหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองที่ 1 แสดงในภาคผนวก ข โดยจำแนกเป็นภาพถ่ายที่ใช้ในการประมวลผลรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ตามลำดับ

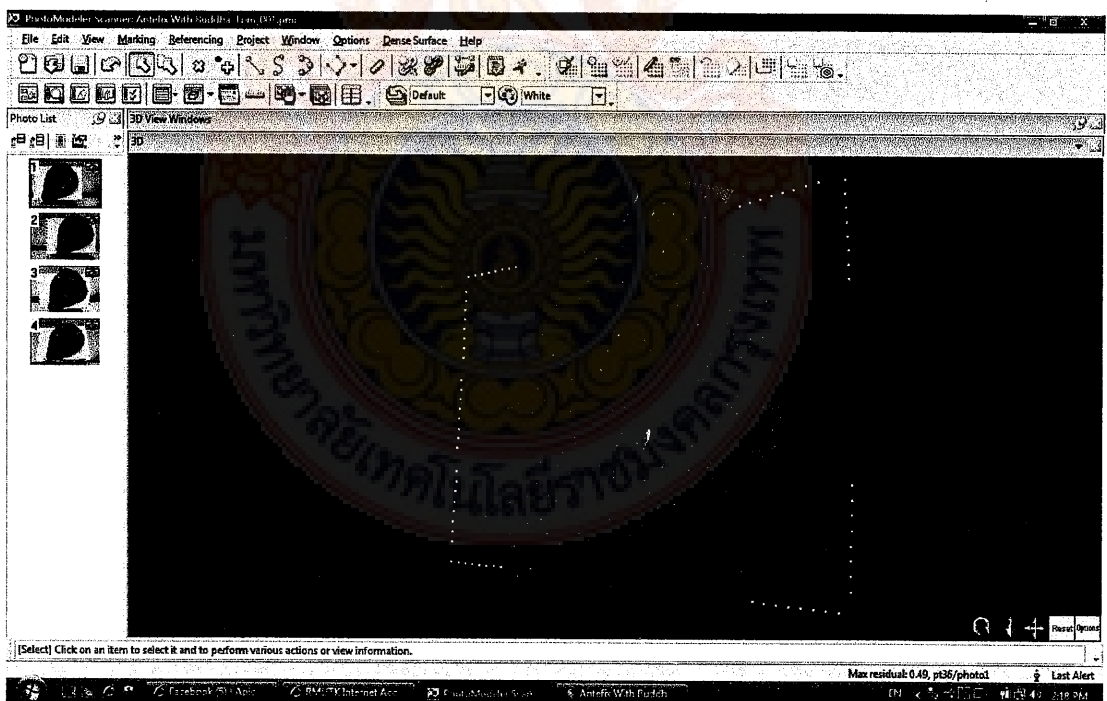
4.3.1.2 ผลการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1

ในการดำเนินการประมวลผลเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1 ดำเนินการทั้งรูปแบบที่ 1 ซึ่งอาศัยภาพถ่ายจำนวน 4 ภาพและการประมวลผลรูปแบบที่ 2 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 9 ภาพ โดยในการประมวลผลทั้ง 2 รูปแบบทำการกำหนดเงื่อนไขการค้นหาตำแหน่งเดียวกันบนรูปภาพด้วยการประมวลผลภาพในลักษณะการจับคู่เป็น 2 เงื่อนไข

ผลของการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 9,151 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 9,832 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้ววัดเป็น 3 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 4 ภาพและทำการพิจารณาเป็นรูปภาพจำนวน 6 รูปภาพ ใช้เวลาในการประมวลผล 4 นาที 10 วินาทีและเมื่อแสดงในรูปของแบบจำลองสามมิติที่ 1 เป็นดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 โดยรูปภาพแสดงลักษณะของแบบจำลองสามมิติของกليبขุ่นปรายค์สถักพระพุทธรูปปางมารวิชัยที่มีรายละเอียดซึ่งสามารถหาปริมาณต่างๆจากค่าพิกัดของจุดบนพื้นผิว และมีลักษณะของพื้นผิวก่อนข้างเสมือนจริงขาดเพียงบางส่วนตามขอบของแบบจำลอง เนื่องจากไม่ได้พิจารณาถ่ายภาพในบริเวณดังกล่าวเนื่องจากข้อจำกัดด้านสถานที่ตั้ง

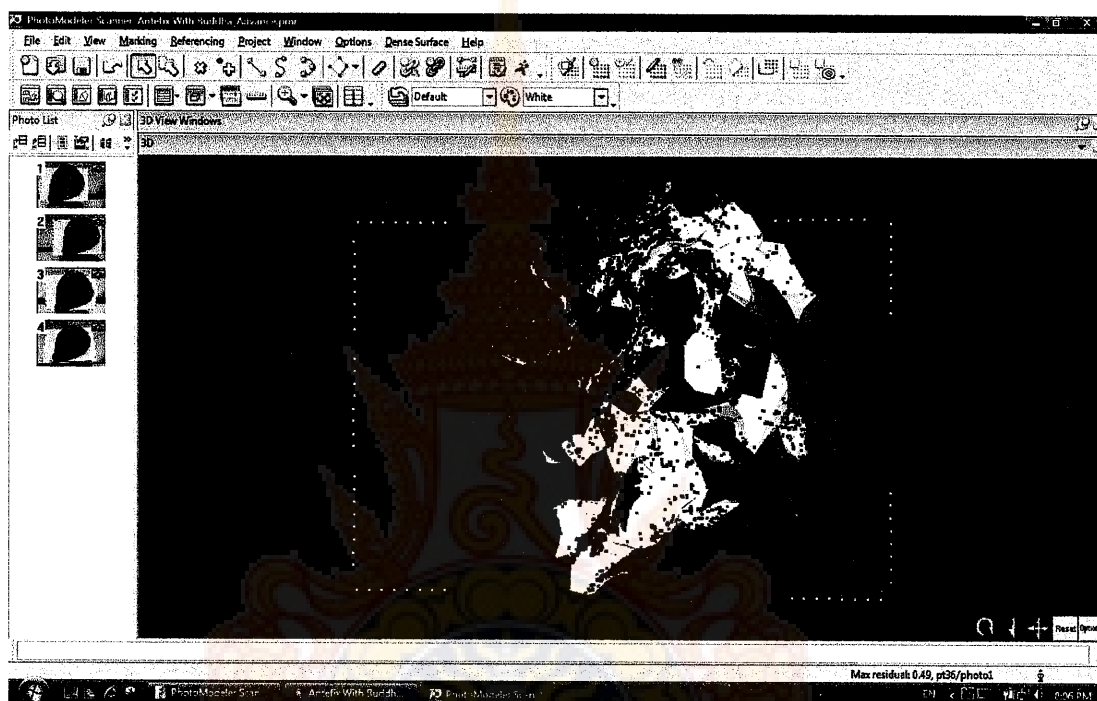


รูปที่ 4.2 แบบจำลองสามมิติที่ 1 แสดงส่วนพื้นผิวเหมือนจริง



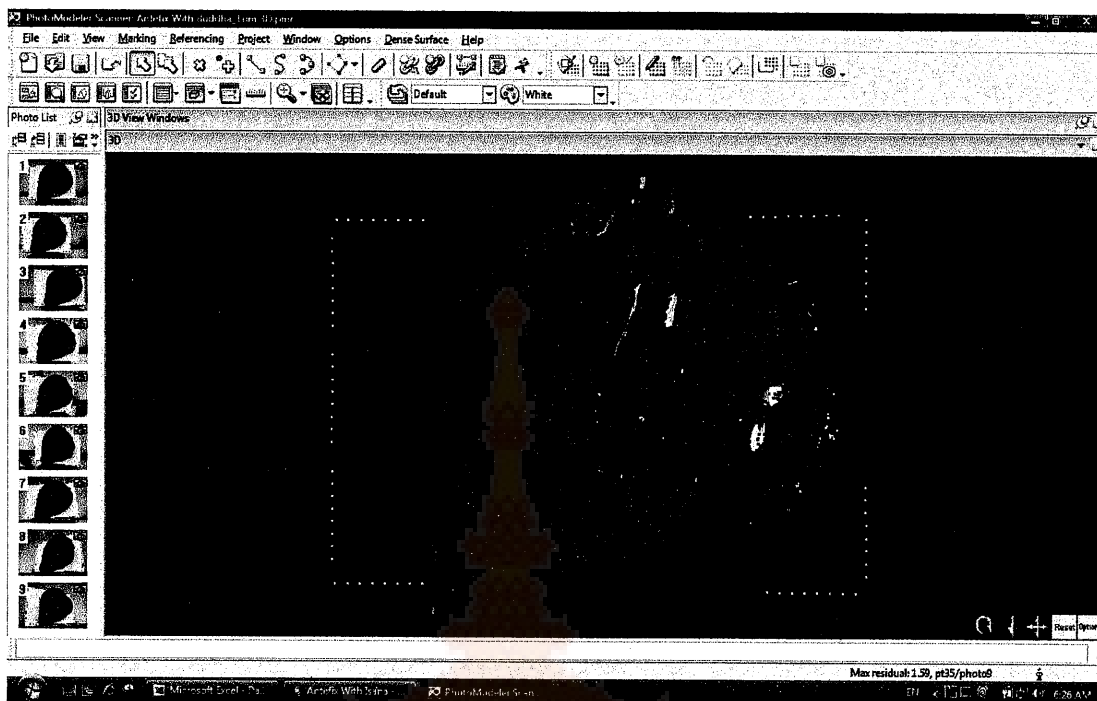
รูปที่ 4.3 แบบจำลองสามมิติที่ 1 แสดงส่วนมุมมองด้านข้าง

สำหรับการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 2 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 28,445 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 25,689 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้วเป็น 3 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 4 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 6 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 4 ชั่วโมง 2 นาที 5 วินาที แต่มีรูปลักษณะของแบบจำลองสามมิติไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 4.4

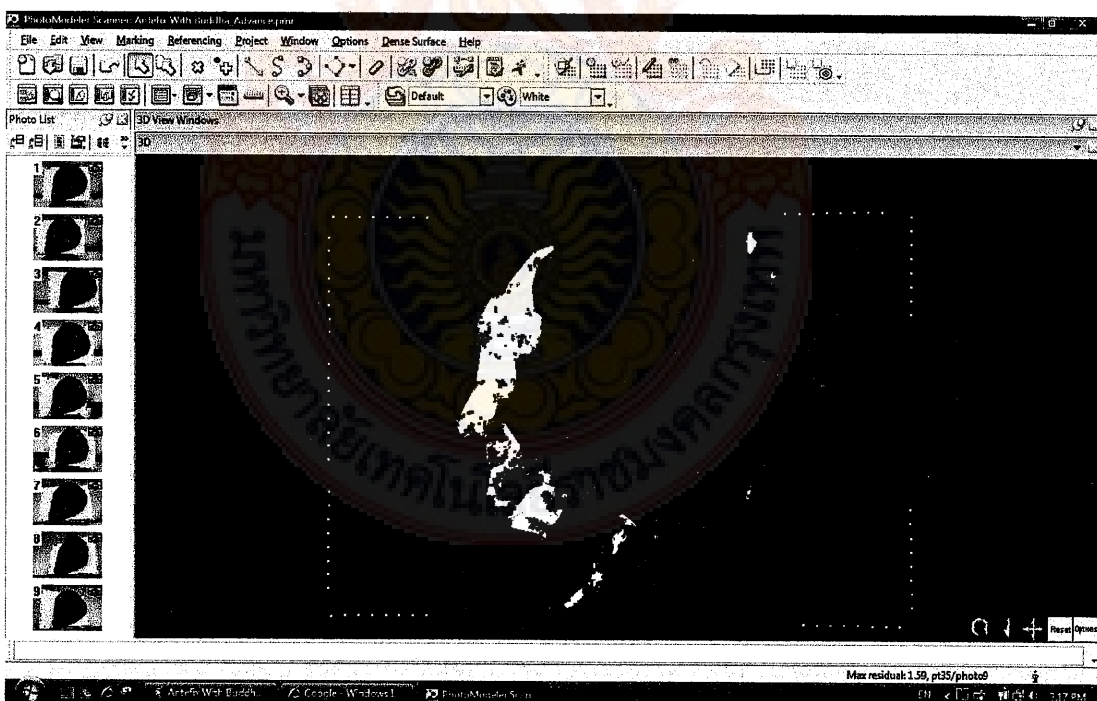


รูปที่ 4.4 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 2

การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 8,908,104 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 9,977,213 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้วเป็น 15 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 9 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 36 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 7 ชั่วโมง 29 นาที 21 วินาที แต่มีรูปลักษณะของแบบจำลองสามมิติที่ไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 4.5 แต่มีลักษณะใกล้เคียงมากกว่าการประมวลผลในรูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 2



รูปที่ 4.5 ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1



รูปที่ 4.6 ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 2

ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 2 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 86,046 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 71,274 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรัศมีเป็น 15 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 9 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 36 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 25 ชั่วโมง 12 นาที 46 วินาที แต่มีรูปลักษณะของแบบจำลองสามมิติที่ไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 4.6

4.3.2 ผลการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 2 กลีบขนุนปรางค์สลักรูปพระอิศวรทรงโคณนที

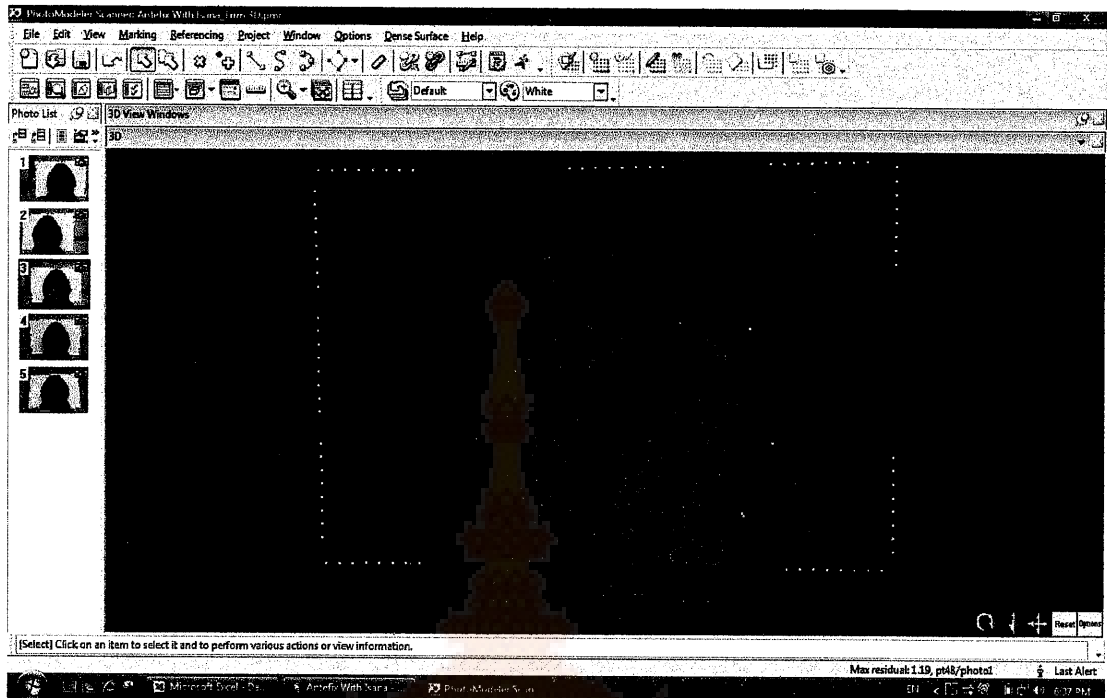
ในการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 2 จะดำเนินงานในลักษณะเดียวกับการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1 โดยการแบ่งส่วนของการทำงานออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่หนึ่งการดำเนินการหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายดิจิทัลโดยดำเนินการเหมือนกันทั้งรูปแบบการประมวลผลที่ 1 และ 2 ส่วนที่สองเป็นส่วนที่ดำเนินการสร้างพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติจะทำการกำหนดเงื่อนไขค่ารัศมีของกลุ่มจุดภาพที่ใช้ในการจับคู่เป็น 2 เงื่อนไข

4.3.2.1 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 2

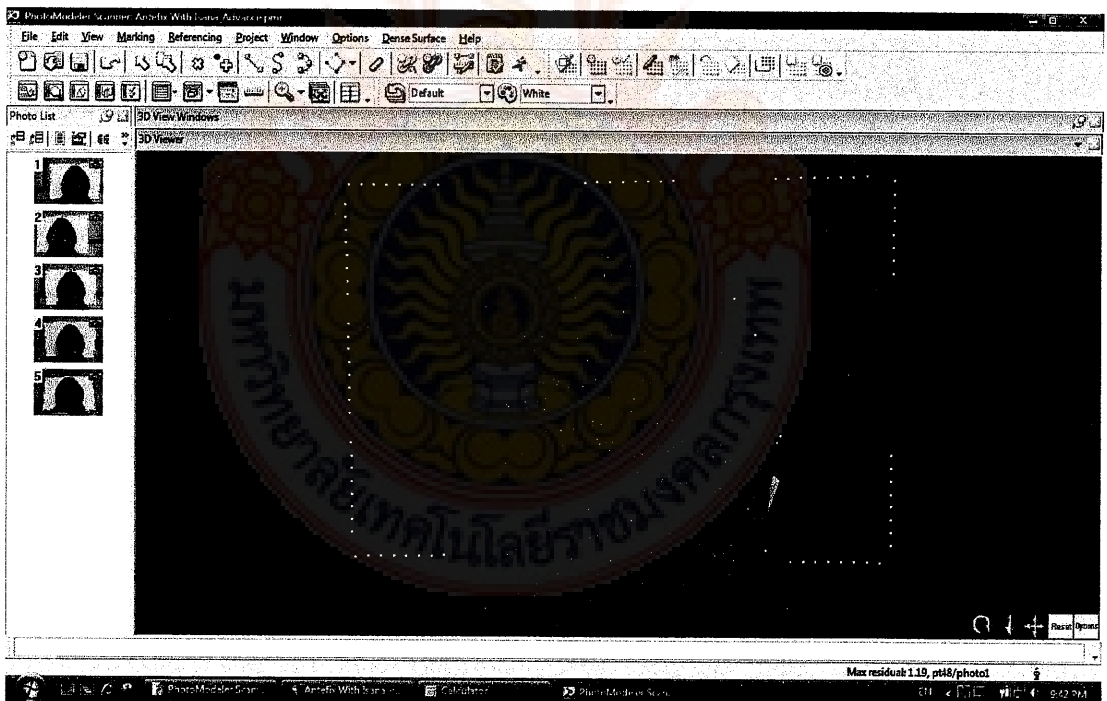
ค่าองค์ประกอบภายนอกจากการรังวัดจุดสัญญาณจำนวน 80 จุดบนภาพถ่ายที่ใช้ในการประมวลผลทั้ง 2 รูปแบบนั้นสามารถทำการประมวลผลได้มีผลแสดงตามภาคผนวก ข โดยการประมวลผลรูปแบบที่ 1 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพในการประมวลผลและรูปแบบที่ 2 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 11 ภาพ

4.3.2.2 ผลการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 2

ผลของการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 3,392 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 2,899 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรัศมีเป็น 4 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 10 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผล 3 นาที 29 วินาทีและเมื่อแสดงในรูปของแบบจำลองสามมิติที่ 2 เป็นดังรูปที่ 4.7 ทั้งนี้แบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1 นั้นไม่สามารถแสดงในรูปแบบเสมือนจริงได้ หรือกล่าวได้ว่าไม่สามารถทำการสร้างแบบจำลองสามมิติจากข้อมูลที่ประมวลผลดังกล่าวได้



รูปที่ 4.7 ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1



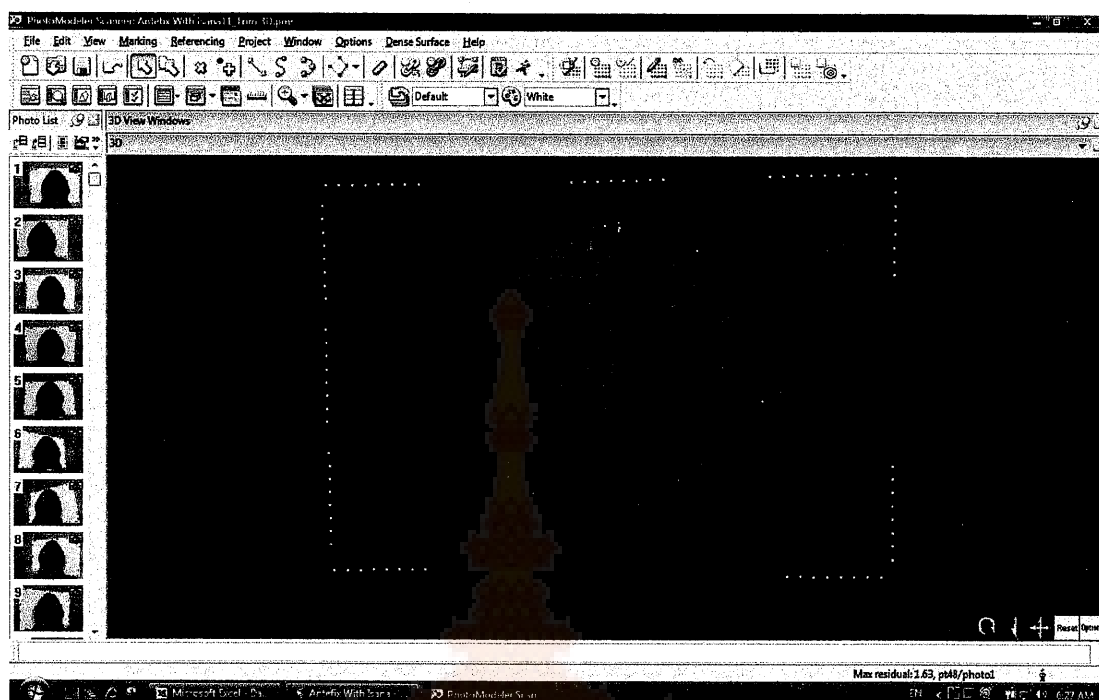
รูปที่ 4.8 ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 2

สำหรับการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 2 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 1,572 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 1,282 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้วเป็น 4 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 10 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 5 นาที 14 วินาที แต่มีรูปลักษณะของแบบจำลองสามมิติไม่สมบูรณ์มีลักษณะเหมือนเพียงบางส่วนดังรูปที่ 4.8

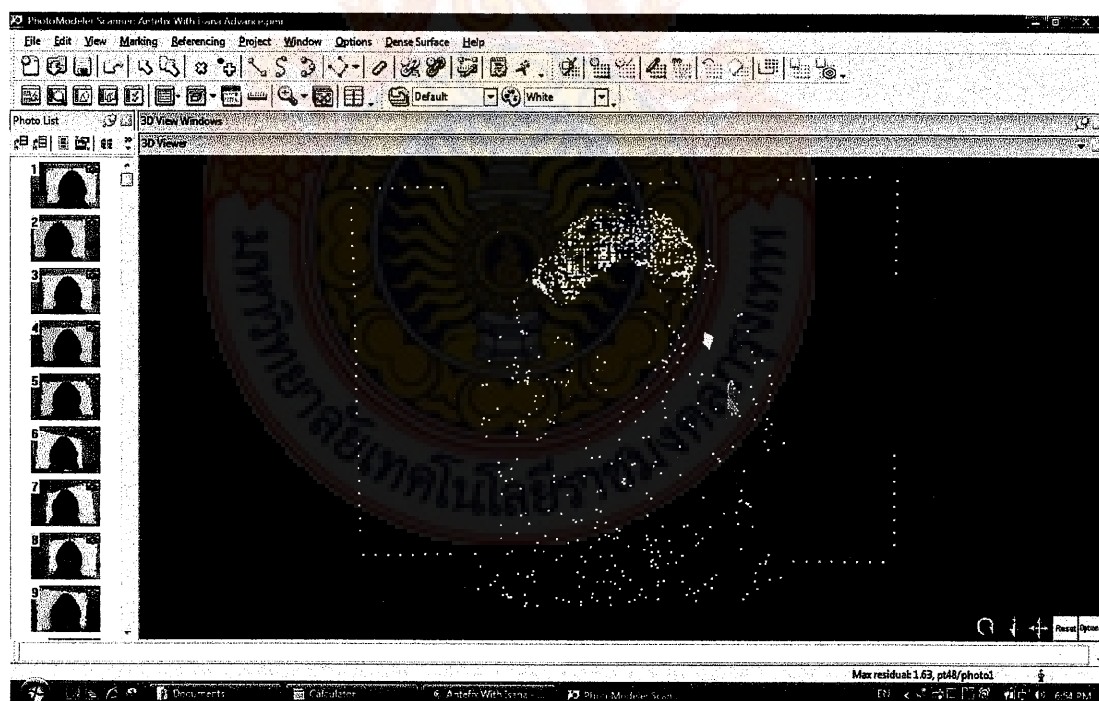
การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 11,660 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 12,045 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้วเป็น 10 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 11 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 55 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 10 นาที 22 วินาที แต่มีรูปลักษณะของแบบจำลองสามมิติที่ไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 4.9

ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 2 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 1,486 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 1,212 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้วเป็น 10 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 11 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 55 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 46 นาที 17 วินาที แต่มีรูปลักษณะของแบบจำลองสามมิติที่ไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 4.10

จากลักษณะของแบบจำลองสามมิติที่ไม่สามารถแสดงผลให้เสมือนจริง เมื่อพิจารณาจากจำนวนจุดบนแบบจำลองสามมิติที่ถูกสร้างขึ้น ไม่สัมพันธ์กันโดยตรงกับลักษณะของการสร้างแบบจำลองสามมิติ ซึ่งหมายความว่าสิ่งที่สามารถจับคู่จุดภาพได้จำนวนมากไปเป็นการยืนยันว่าแบบจำลองสามมิติถูกสร้างได้อย่างเสมือนจริง ถ้าพิจารณาจากรูปและจำนวนกลุ่มจุดจะแสดงให้เห็นว่ามีการจับคู่จุดภาพที่มีลักษณะกระจายในตำแหน่งที่ไม่ถูกต้อง โดยที่ความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเกิดขึ้นจำนวนมากจนทำให้การแสดงผลไม่สามารถทำให้เสมือนจริงได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดมาข้างต้นจึงทำการทดสอบในแบบจำลองสามมิติที่ 3 ต่อไป



รูปที่ 4.9 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1



รูปที่ 4.10 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 2

4.3.3 ผลการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 3 กลีบขนุนปราสาทสลักรูปพระยมทรงกระบือ

ในการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 3 จะดำเนินงานในลักษณะเดียวกับการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1 โดยการแบ่งส่วนของการทำงานออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่หนึ่งการดำเนินการหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายดิจิทัลโดยดำเนินการเหมือนกันทั้งรูปแบบการประมวลผลที่ 1 และ 2 ส่วนที่สองเป็นส่วนที่ดำเนินการสร้างพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติจะทำการกำหนดเงื่อนไขค่ารัศมีของกลุ่มจุดภาพที่ใช้ในการจับคู่เป็น 2 เงื่อนไข

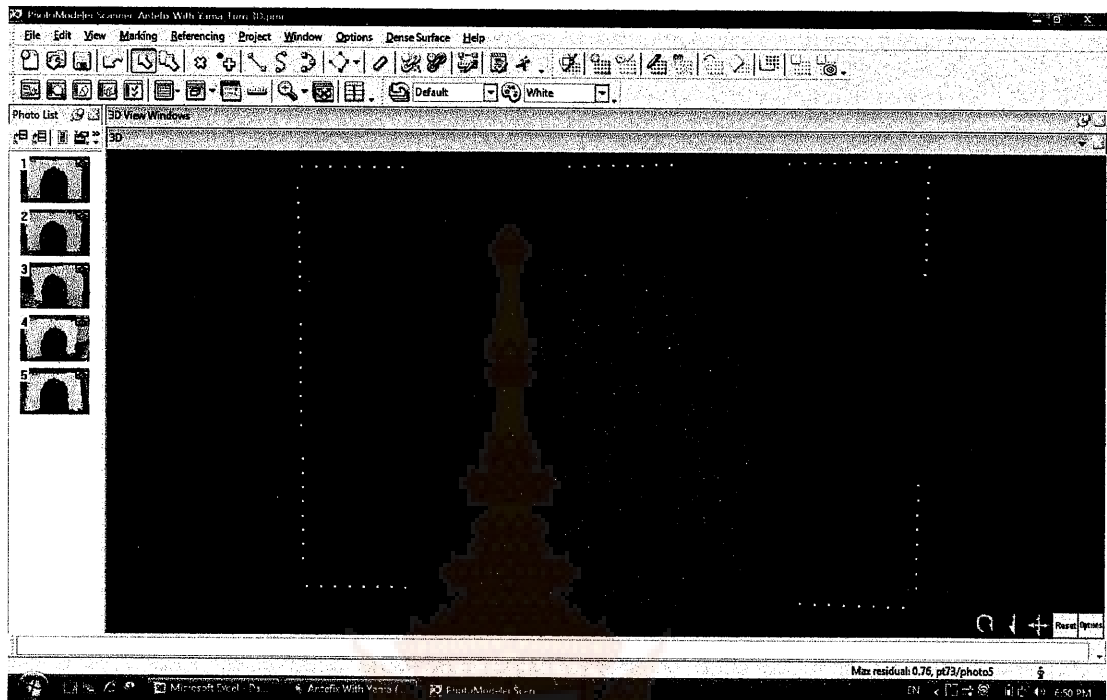
4.3.3.1 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3

ค่าองค์ประกอบภายนอกจากการรังวัดจุดสัญญาณจำนวน 80 จุดบนภาพถ่ายที่ใช้ในการประมวลผลทั้ง 2 รูปแบบนั้นสามารถทำการประมวลผลได้มีผลแสดงตามภาคผนวก ข โดยการประมวลผลรูปแบบที่ 1 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพในการประมวลผลและรูปแบบที่ 2 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 8 ภาพ

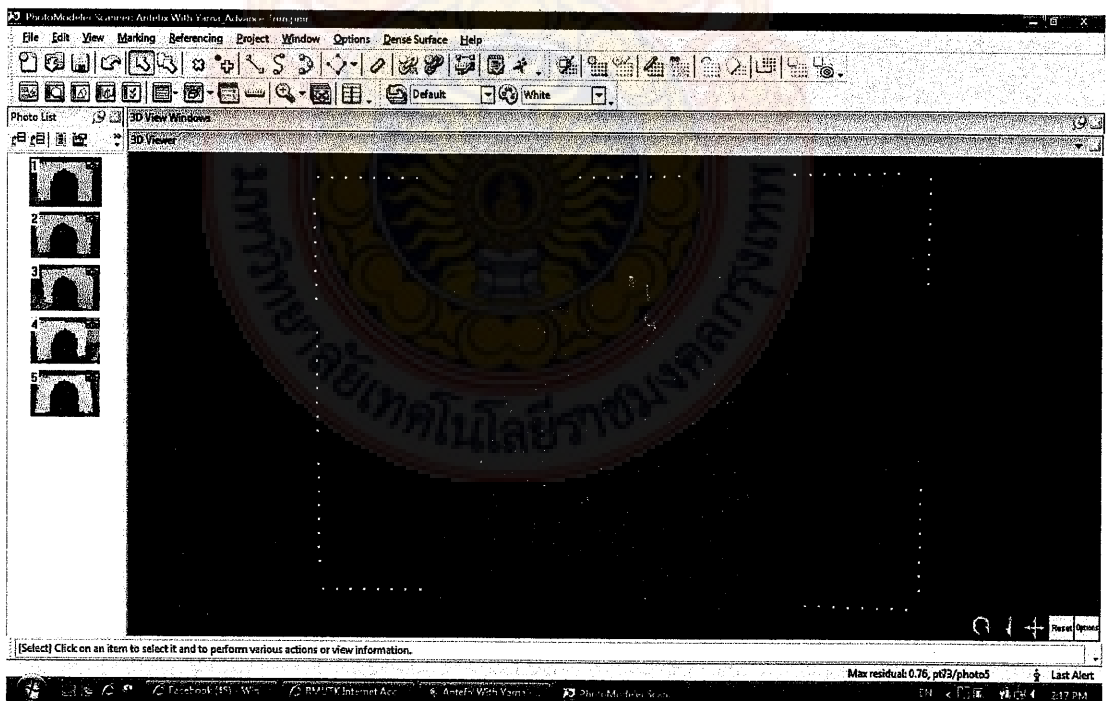
4.3.3.2 ผลการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 3

ผลของการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 42,611 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 51,882 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรังวัดเป็น 4 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 10 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผล 4 นาที 13 วินาทีและเมื่อแสดงในรูปของแบบจำลองสามมิติที่ 3 เป็นดังรูปที่ 4.11 ทั้งนี้แบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1 นั้นไม่สามารถแสดงในรูปแบบเสมือนจริงได้

สำหรับการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 2 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 7,156 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 6,652 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรังวัดเป็น 4 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 10 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 19 นาที 43 วินาที แต่มีรูปลักษณะของแบบจำลองสามมิติสมบูรณ์มีลักษณะเหมือนจริงแต่ขาดรายละเอียดในส่วนด้านล่างเล็กน้อยดังรูปที่ 4.12



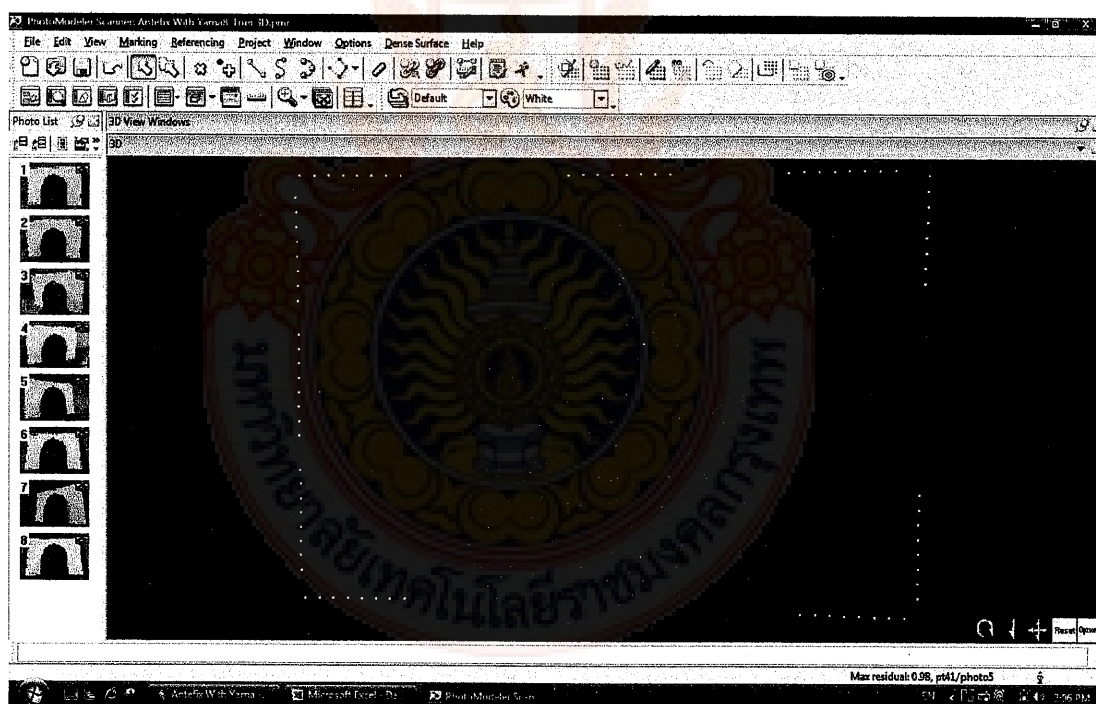
รูปที่ 4.11 ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1



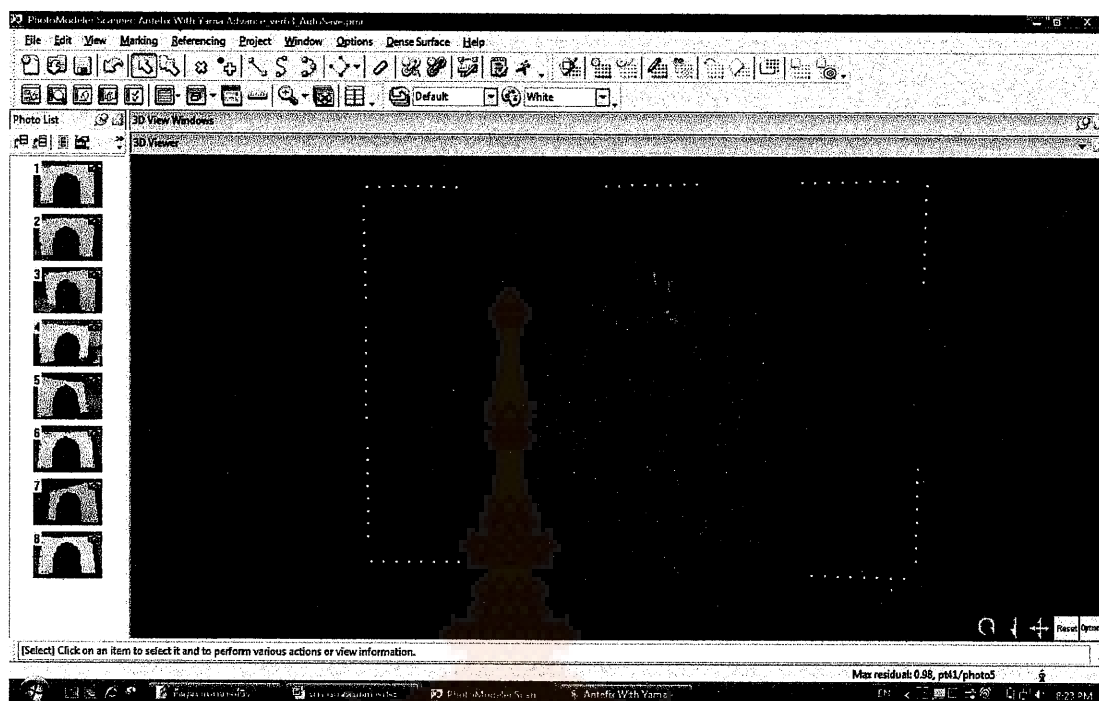
รูปที่ 4.12 ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 2

การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 72,762 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 83,131 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้ววัดเป็น 7 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 8 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 28 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 7 นาที 23 วินาที แต่มีรูปลักษณะของแบบจำลองสามมิติที่ไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 4.13

ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 2 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 607,622 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 622,109 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้ววัดเป็น 7 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 8 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 28 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 38 นาที 26 วินาที แต่มีรูปลักษณะของแบบจำลองสามมิติที่ค่อนข้างสมบูรณ์ขาดรายละเอียดในบางส่วนเล็กน้อยดังรูปที่ 4.14 และแสดงให้เห็นลักษณะของทรวดทรงที่ชัดเจน



รูปที่ 4.13 ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1



รูปที่ 4.14 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 2

4.3.4 ผลการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 4 ชิ้นส่วนหน้าบ้าน

ในการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 4 จะดำเนินงานในลักษณะเดียวกับการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1 โดยการแบ่งส่วนของการทำงานออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่หนึ่งการดำเนินการหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายดิจิทัลโดยดำเนินการเหมือนกันทั้งรูปแบบการประมวลผลที่ 1 และ 2 ส่วนที่สองเป็นส่วนที่ดำเนินการสร้างพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติจะทำการกำหนดเงื่อนไขค่ารัศมีของกลุ่มจุดภาพที่ใช้ในการจับคู่เป็น 2 เงื่อนไข

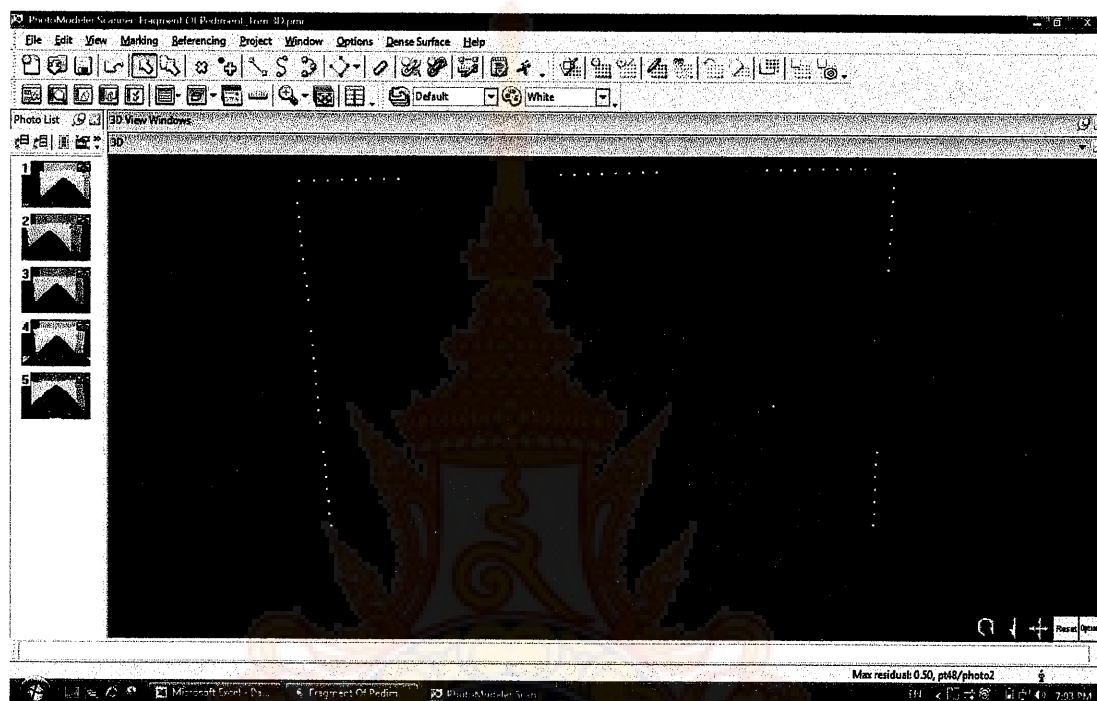
4.3.4.1 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 4

ค่าองค์ประกอบภายนอกจากการรังวัดจุดสัญญาณจำนวน 80 จุดบนภาพถ่ายที่ใช้ในการประมวลผลทั้ง 2 รูปแบบนั้นสามารถทำการประมวลผลได้มีผลแสดงตามภาคผนวก ข โดยการประมวลผลรูปแบบที่ 1 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพในการประมวลผลและรูปแบบที่ 2 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 10 ภาพ

4.3.4.2 ผลการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 4

ผลของการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 4 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 2,494 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 2,251 พื้นผิว

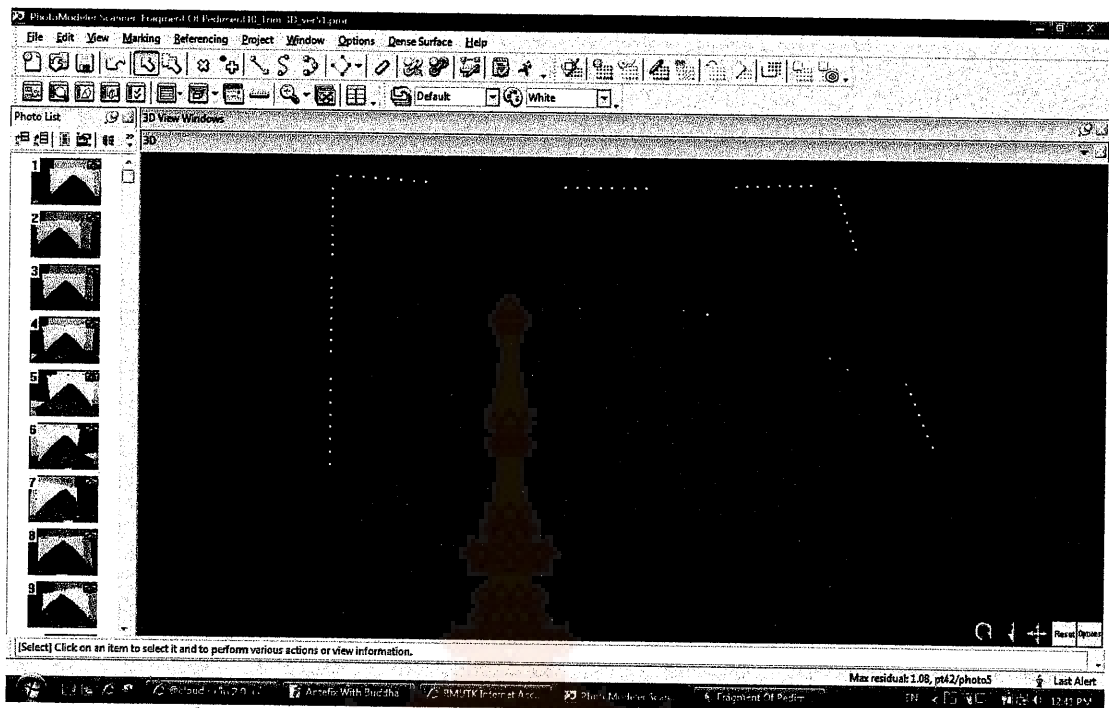
ตามจำนวนกลุ่มจุดรั้งวัดเป็น 4 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 10 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผล 4 นาที 1 วินาทีและเมื่อแสดงในรูปของแบบจำลองสามมิติที่ 4 เป็นดังรูปที่ 4.15 ทั้งนี้แบบจำลองสามมิติที่ 4 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1 นั้นไม่สามารถแสดงในรูปแบบเสมือนจริงได้



รูปที่ 4.15 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 4 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1

สำหรับการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 4 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 2 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 0 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 0 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้งวัดเป็น 0 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 5 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 10 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 11 นาที 47 วินาที ซึ่งผลที่ได้แสดงถึงการประมวลผลดังกล่าวไม่สามารถดำเนินการได้

การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 4 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 3,401 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 2,616 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้งวัดเป็น 17 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 10 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 45 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 2 ชั่วโมง 25 นาที 44 วินาที แต่มีอุปลักษณะของแบบจำลองสามมิติที่ไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 4 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1

ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 4 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 2 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 12 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 0 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้ววัดเป็น 1 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 10 ภาพและทำการพิจารณาเป็นรูปภาพจำนวน 45 รูปภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง 4 นาที 33 วินาที แต่มีรูปลักษณะของแบบจำลองสามมิติไม่สมบูรณ์หรือไม่สามารถสร้างพื้นผิวได้

4.3.5 ผลการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 5 เสียรนาค

ในการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 5 จะดำเนินงานในลักษณะเดียวกับการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1 โดยการแบ่งส่วนของการทำงานออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่หนึ่งการดำเนินการหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายดิจิทัลโดยดำเนินการเหมือนกันทั้งรูปแบบการประมวลผลที่ 1 และ 2 ส่วนที่สองเป็นส่วนที่ดำเนินการสร้างพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติจะทำการกำหนดเงื่อนไขค่ารัศมีของกลุ่มจุดภาพที่ใช้ในการจับคู่เป็น 2 เงื่อนไข

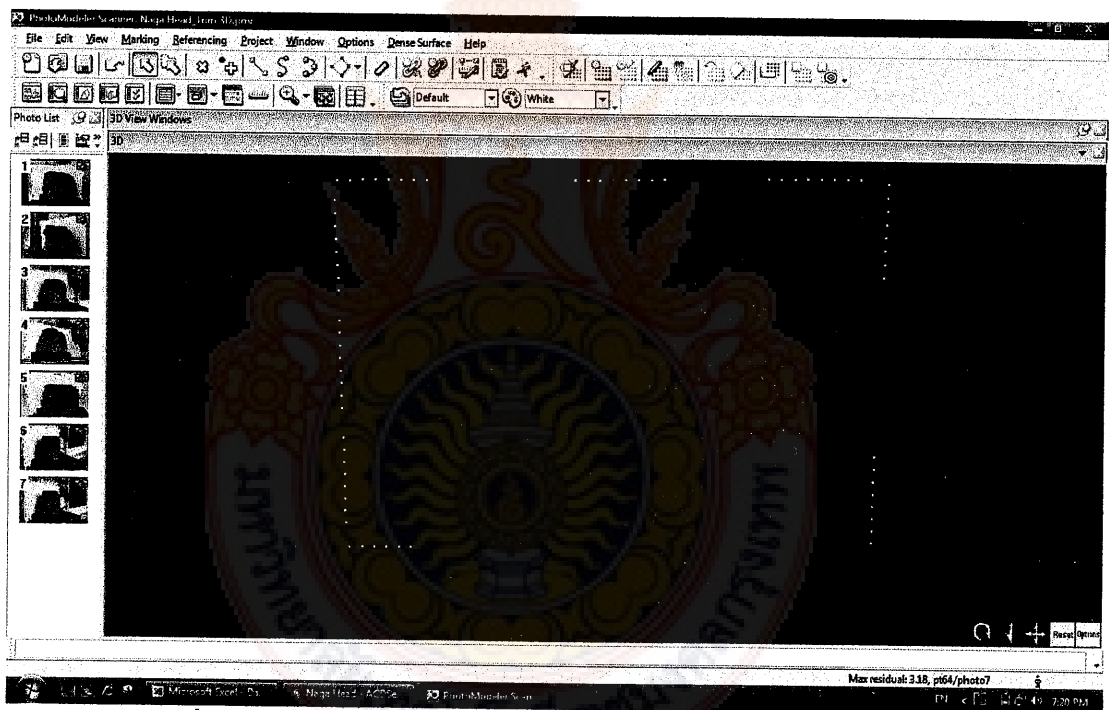
4.3.5.1 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 5

ค่าองค์ประกอบภายนอกจากการรั้ววัดจุดสัญญาณจำนวน 80 จุดบนภาพถ่ายที่ใช้ในการประมวลผลทั้ง 2 รูปแบบนั้นสามารถทำการประมวลผลได้มีผลแสดงตามภาคผนวก ข โดย

การประมวลผลรูปแบบที่ 1 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 7 ภาพในการประมวลผลและรูปแบบที่ 2 ใช้ภาพถ่ายจำนวน 9 ภาพ

4.3.5.2 ผลการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 5

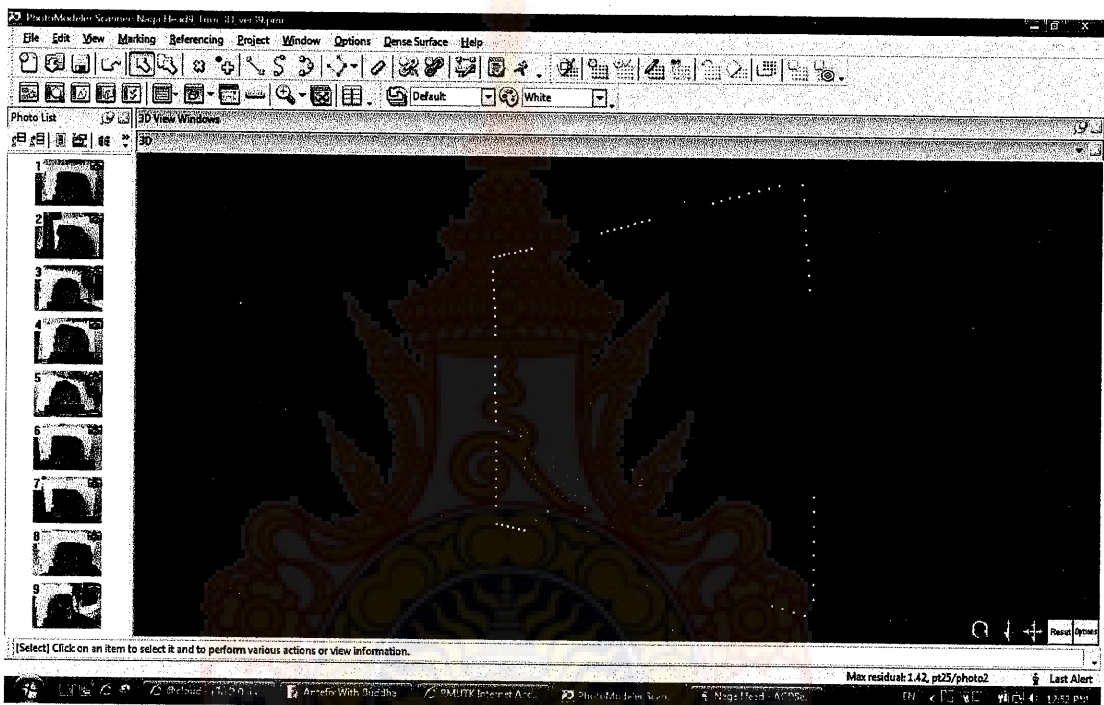
ผลของการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 5 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 1,407 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 1,275 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้ววัดเป็น 6 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 7 ภาพและทำการพิจารณาเป็นรูปภาพจำนวน 21 รูปภาพ ใช้เวลาในการประมวลผล 8 นาที 42 วินาทีและเมื่อแสดงในรูปของแบบจำลองสามมิติที่ 5 เป็นดังรูปที่ 4.17 ทั้งนี้แบบจำลองสามมิติที่ 5 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1 นั้นไม่สามารถแสดงในรูปแบบเสมือนจริงได้



รูปที่ 4.17 ผลการประมวลแบบจำลองสามมิติที่ 5 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1

สำหรับการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 5 รูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 2 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 26 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 0 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้ววัดเป็น 1 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 7 ภาพและทำการพิจารณาเป็นรูปภาพจำนวน 21 รูปภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง 11 นาที 57 วินาที ซึ่งผลที่ได้แสดงถึงการประมวลผลดังกล่าวไม่สามารถดำเนินการได้

การประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 5 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 1,364 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 881 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้ววัดเป็น 8 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 9 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 36 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 10 นาที 5 วินาที แต่มีรูปลักษณะของแบบจำลองสามมิติที่ไม่สมบูรณ์ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 5 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 1

ผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ 5 รูปแบบที่ 2 เงื่อนไขที่ 2 สามารถแสดงจำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติเท่ากับ 308 จุด ซึ่งใช้ในการสร้างพื้นผิวจำนวน 205 พื้นผิวตามจำนวนกลุ่มจุดรั้ววัดเป็น 6 กลุ่มจากภาพถ่ายจำนวน 9 ภาพและทำการพิจารณาเป็นคู่ภาพจำนวน 36 คู่ภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลทั้งสิ้น 44 นาที 40 วินาที แต่มีรูปลักษณะของแบบจำลองสามมิติไม่สมบูรณ์หรือไม่สามารถสร้างพื้นผิวได้

จากการประมวลผลแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุทั้ง 5 แบบจำลองสามารถแสดงลักษณะของแบบจำลองสามมิติที่เสมือนจริงได้เพียง 2 แบบจำลองเท่านั้น คือแบบจำลองสามมิติที่ 1 กลีบขนุนปราสาทศีลขุมพระพุทธรูปปางมารวิชัยซึ่งประมวลผลรูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 1 และ

แบบจำลองสามมิติที่ 3 กลีบขนุนปราสาทสลักรูปพระขมทรงกระบือซึ่งประมวลผลในรูปแบบที่ 1
เงื่อนไขที่ 2 รูปแสดงผลการประมวลผลแบบจำลองสามมิติทั้ง 2 แสดงในภาคผนวก ค ทั้งนี้
แบบจำลองสามมิติที่ 2 กลีบขนุนปราสาทสลักรูปพระอิศวรทรงโคนนทรีที่ประมวลผลในรูปแบบที่ 1
เงื่อนไขที่ 2 นั้นสามารถแสดงได้ในบางส่วนของรายละเอียด ซึ่งถ้าทำการพิจารณาเงื่อนไข
เกี่ยวกับจำนวนจุดที่ได้จากการประมวลผลจับคู่ภาพ และจำนวนพื้นผิวที่สร้างขึ้นในแบบจำลอง
สามมิติในลำดับต่อไป



บทที่ 5

สรุปผลโครงการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การดำเนินงานภายใต้โครงการวิจัยเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัล จากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบทั่วไปโดยในโครงการวิจัยใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส รุ่น 50 ดี ประกอบกับเลนส์ขนาดความยาวโฟกัส 20 มิลลิเมตร ซึ่งมีความละเอียดของภาพถ่ายเป็น 4752×3168 จุดภาพหรือประมาณ 15 ล้านจุดภาพ ที่ต้องมีการตรวจสอบกล้องก่อนการใช้ในการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายของโบราณวัตถุจำนวน 5 ชิ้นงาน จัดแสดงอยู่ภายในส่วนทางเดินของพิพิธภัณฑสถานแห่งชาติพระนคร กรุงเทพมหานคร

โบราณวัตถุชิ้นงานที่ 1 เป็นกลีบบนปูนพรางค์สลักรูปพระพุทธรูปปางมารวิชัย ศิลปะลพบุรี พุทธศตวรรษที่ 18 – 19 ได้มาจากเมืองเก่าจังหวัดสุโขทัย โบราณวัตถุชิ้นงานที่ 2 เป็นกลีบบนปูนพรางค์สลักรูปพระอิศวรทรงโคนนี ศิลปะเขมรพุทธศตวรรษที่ 16 – 17 ได้มาจากจังหวัดศรีสะเกษ โบราณวัตถุชิ้นงานที่ 3 เป็นกลีบบนปูนพรางค์สลักรูปพระยมทรงกระบือ ศิลปะเขมรแบบบาปวนพุทธศตวรรษที่ 16 – 17 ได้มาจากอำเภอประโคนชัย จังหวัดบุรีรัมย์ โบราณวัตถุชิ้นงานที่ 4 เป็นชิ้นส่วนหน้าบัน ศิลปะเขมรแบบบาปวนพุทธศตวรรษที่ 18 นายสมชาย อามัฒเสถียร มอบให้เมื่อ พ.ศ. 2531 และโบราณวัตถุชิ้นงานที่ 5 เป็นเศียรนาค ศิลปะเขมรแบบบาปวนอายุราวกลางพุทธศตวรรษที่ 16 – 17 ไม่ทราบที่มา

ก่อนการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายได้ทำการกำหนดจุดรังวัดภาพถ่ายเพื่อใช้ในการหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่าย สำหรับงานวิจัยอาศัยจุดสัญญาณประเภทวงแหวนที่สามารถค้นหาตำแหน่งแบบอัตโนมัติซึ่งมีขนาดของจุดศูนย์กลางเท่ากับ 3 มิลลิเมตร จำนวน 80 จุดเป็นพื้นหลังล้อมรอบชิ้นงานที่ต้องการบันทึกภาพถ่าย ภายหลังการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายทำการประมวลผลค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายและทำการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยโปรแกรม PhotoModeler Scanner® โดยการประมวลผลเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุดำเนินการเป็น 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 ประมวลผลโดยอาศัยภาพถ่ายจำนวน 4 - 5 ภาพและรูปแบบที่ 2 ใช้ภาพถ่ายในการประมวลผลแบบจำลองสามมิติจำนวน 9 – 11 ภาพ

จากรูปแบบของการประมวลผลที่แตกต่างกันตามจำนวนภาพถ่ายที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ การประมวลผลทั้งสองรูปแบบจากทำการกำหนดเงื่อนไขสำคัญในการสร้างพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติ โดยการกำหนดเงื่อนไขที่ต่างกัน 2 เงื่อนไข คือ เงื่อนไขที่ 1 ทำการกำหนดตัวแปรค่ารัศมีของกลุ่มจุดภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 11 จุดภาพและเงื่อนไขที่ 2 ทำการกำหนดตัวแปรค่ารัศมีของกลุ่มจุดภาพที่ใช้ในการจับคู่ตำแหน่งเป็น 25 จุดภาพ ซึ่งการดำเนินงานในการสร้างแบบจำลองสามมิติทั้ง 5 ชิ้นงานมีผลสรุปดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการวิจัย

จากขั้นตอนดำเนินงานเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุจำนวน 5 ชิ้นงาน สามารถสรุปการดำเนินงานแสดงตามขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยภาพถ่ายดิจิทัลเป็นดังนี้

5.1.1 ผลสรุปการวัดสอบกล้องถ่ายภาพ

การวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอนอีโอเอส รุ่น 50 ดี ประกอบกับเลนส์ขนาดความยาวโฟกัส 20 มิลลิเมตร สามารถดำเนินการได้และมีผลลัพธ์ตามตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณเพื่อการหาองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายและใช้ในการประมวลผลเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติ เนื่องจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ใช้ในงานวิจัยเป็นกล้องถ่ายภาพที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของกล้องถ่ายภาพแบบทั่วไป ที่หมายความถึงว่าเสถียรภาพของระบบเรขาคณิตภายในตัวกล้องถ่ายภาพเองไม่แน่นอน ส่งผลให้เมื่อทำการวัดสอบในหลายๆครั้งได้ค่าของตัวแปรองค์ประกอบภายในตัวกล้องถ่ายภาพมีการเปลี่ยนแปลง ในทางปฏิบัติจึงเลือกใช้งานค่าตัวแปรที่มีผลของการคำนวณที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเพื่อใช้ในการคำนวณในลำดับต่อไป

5.1.2 ผลสรุปการออกแบบจุดสัญญาณ

ในการออกแบบจุดสัญญาณที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งจุดรังวัดบนภาพถ่าย สำหรับงานวิจัยนี้อาศัยจุดสัญญาณประเภทที่เป็นวงแหวนสามารถค้นหาตำแหน่งแบบอัตโนมัติซึ่งมีขนาดของจุดศูนย์กลางเท่ากับ 3 มิลลิเมตร โดยขนาดของจุดศูนย์กลางวงแหวนคำนวณเบื้องต้นจากการกำหนดมาตราส่วนภาพถ่ายเท่ากับ $1/70.96$ ที่ระยะห่างของการถ่ายภาพเท่ากับ 1.5 เมตร เงื่อนไขอีกประการได้แก่พื้นที่ครอบคลุมบนภาพถ่ายตามมาตรส่วนดังกล่าวจะมีพื้นที่ขนาด 1.614×1.076

เมตร ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีขนาดพอเพียงสำหรับชิ้นงานโบราณวัตถุที่ถูกกำหนดขนาดโดยประมาณไว้เบื้องต้นว่ามีขนาดประมาณ 1 ตารางเมตร

ภายหลังมีการประเมินขนาดของจุดภาพที่ปรากฏขึ้นจริงบนภาพถ่ายโดยทำการพิจารณาจากจุดสัญญาณบริเวณขอบภาพจำนวน 4 จุด ตามตารางที่ 4.2 ผลของการประเมินขนาดจุดสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงขนาดตามระยะห่างของตำแหน่งบนภาพถ่ายแต่ยังคงมีขนาดใหญ่กว่า 5×5 จุดภาพซึ่งเป็นขนาดแนะนำ มาตรการส่วนใหญ่สุดขนาดจุดสัญญาณปรากฏประมาณ 11×11 จุดภาพและที่มาตรการส่วนเล็กสุดบนภาพถ่ายขนาดของจุดสัญญาณปรากฏประมาณ 8×8 จุดภาพ จากขนาดและประเภทของจุดสัญญาณที่ใช้ในงานวิจัยนี้ค่อนข้างทำให้งานเกี่ยวกับการกำหนดตำแหน่งจุดรังวัดทำได้สะดวกและรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องการโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลสามารถทำการค้นหาและกำหนดตำแหน่งได้เป็นอัตโนมัติ

5.1.3 ผลสรุปการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุ

การหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายเป็นขั้นตอนเริ่มต้นก่อนการประมวลผลแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุจำนวน 5 ชิ้นงาน โดยการหาค่าองค์ประกอบภายนอกอาศัยการรังวัดจุดสัญญาณตามขนาดและประเภทที่ออกแบบไว้จำนวน 80 จุดในการคำนวณหาค่าองค์ประกอบภายนอกดังกล่าว ผลของค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายทุกภาพที่ใช้ในการประมวลผลแบบจำลองสามมิติแสดงไว้ในภาคผนวก ข

การสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัลจำนวน 5 ชิ้นงาน ดำเนินการประมวลผลในรูปแบบที่แตกต่างกัน 2 รูปแบบการประมวลผล และกำหนดเงื่อนไขในการสร้างพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติที่แตกต่างกันเป็น 2 เงื่อนไข ทำให้การดำเนินเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุมีจำนวนเป็น 20 แบบจำลอง เมื่อทำการรวบรวมจำนวนจุดที่เกิดจากการจับคู่ตำแหน่งเดียวกันบนคู่ภาพภายใต้เงื่อนไขของสมการสถานะร่วมเส้นในแต่ละแบบจำลอง จำนวนพื้นผิวที่ถูกสร้างขึ้นและจำนวนกลุ่มจุดที่ได้ภายหลังการประมวลผลแบบจำลองทั้ง 20 แบบจำลองแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงจำนวนองค์ประกอบของแบบจำลองสามมิติ

แบบจำลองสามมิติ	เงื่อนไขการประมวลผล	จำนวนภาพถ่าย	จำนวนรูปภาพ	จำนวนจุดในแบบจำลองสามมิติ	จำนวนพื้นผิวในแบบจำลองสามมิติ	จำนวนกลุ่มจุดในแบบจำลองสามมิติ
แบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 1	1	4	6	9151	9832	3
แบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 1	1	5	10	3392	2899	4
แบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 1	1	5	10	42611	51882	4
แบบจำลองสามมิติที่ 4 รูปแบบที่ 1	1	5	10	2494	2251	4
แบบจำลองสามมิติที่ 5 รูปแบบที่ 1	1	7	21	1407	1275	6
แบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 1	2	4	6	28445	25689	3
แบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 1	2	5	10	1572	1282	4
แบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 1	2	5	10	7156	6652	4
แบบจำลองสามมิติที่ 4 รูปแบบที่ 1	2	5	10	0	0	0
แบบจำลองสามมิติที่ 5 รูปแบบที่ 1	2	7	21	26	0	1
แบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 2	1	9	36	8908104	9977213	15
แบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 2	1	11	55	11660	12045	10
แบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 2	1	8	28	72762	83131	7
แบบจำลองสามมิติที่ 4 รูปแบบที่ 2	1	10	45	3401	2616	17
แบบจำลองสามมิติที่ 5 รูปแบบที่ 2	1	9	36	1364	881	8
แบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปแบบที่ 2	2	9	36	86046	71274	15
แบบจำลองสามมิติที่ 2 รูปแบบที่ 2	2	11	55	1486	1212	10
แบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปแบบที่ 2	2	8	28	607622	622109	7
แบบจำลองสามมิติที่ 4 รูปแบบที่ 2	2	10	45	12	0	1
แบบจำลองสามมิติที่ 5 รูปแบบที่ 2	2	9	36	308	205	6

แบบจำลองสามมิติที่เสมือนจริงสามารถแสดงได้เพียง 2 แบบจำลองเท่านั้น คือ
แบบจำลองสามมิติที่ 1 กลีบขนุนปราสาทหลักรูปพระพุทธรูปปางมารวิชัยซึ่งประมวลผลรูปแบบที่ 1

เงื่อนไขที่ 1 และแบบจำลองสามมิติที่ 3 กลีบขนุนปรากฏสัณฐานพระยมทรงกระบือซึ่งประมวลผลในรูปแบบที่ 1 เงื่อนไขที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าตามตารางที่ 5.1 กับแบบจำลองสามมิติที่สามารถแสดงผลในลักษณะเสมือนจริงได้นั้น ไม่มีค่าใดที่บ่งบอกหรือจำแนกได้อย่างชัดเจนว่าเป็นค่าที่แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของการแสดงผลแบบจำลองสามมิติ

จากลักษณะที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาข้อมูลภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 2, 4, และ 5 แล้วไม่พบความแตกต่างที่ชัดเจนซึ่งสามารถบ่งบอกถึงข้อบกพร่องซึ่งนำไปสู่การที่ไม่สามารถประมวลผลแบบจำลองสามมิติได้ ในการดำเนินการบันทึกภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติทั้ง 5 ชิ้นงานถูกกำหนดอยู่ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาตามหลักการของการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้หรือตามเงื่อนไขของการประมวลผลภาพถ่าย จุดใดๆ ในแบบจำลองสามมิติเกิดจากการกำหนดจุดเดียวกันบนรูปภาพใดๆ ซึ่งอาศัยการจับคู่ด้วยลักษณะของการประมวลผลภาพถ่ายจุดใดๆ ในแบบจำลองสามมิติไม่ถูกสร้างขึ้นหรือถูกสร้างขึ้นจำนวนมากแต่ตำแหน่งไม่ถูกต้องเสมือนจริง ก็เป็นผลมาจากการที่ไม่สามารถประมวลผลการกำหนดจุดด้วยเงื่อนไขการจับคู่ได้สาเหตุที่จะสามารถตั้งสมมุติฐานได้นั้นก็อาจเป็นเพราะภาพถ่ายในส่วนรายละเอียดมีความชัดเจนแตกต่างกัน หรือเกิดจากเงื่อนไขของการจับคู่ไม่เหมาะสมกับพื้นผิว ภายนอก ของชิ้นงานนั้นๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การดำเนินโครงการวิจัยเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัล เป็นการดำเนินงานภายใต้หลักการของการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ที่ต้องอาศัยภาพถ่ายของวัตถุในการวัด เพื่อหาค่าพิกัดสามมิติของจุดใดๆ บนพื้นผิวของวัตถุที่ปรากฏบนภาพถ่าย ในที่นี้แหล่งข้อมูลหลักเป็นภาพถ่ายดิจิทัลจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัล จะเห็นได้ว่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกล้องถ่ายภาพดิจิทัลคือค่าองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ส่วนภาพถ่ายซึ่งเป็นข้อมูลสำหรับในงานวิจัยนี้ไม่ได้มีการจัดสถานะแสงในขณะที่ถ่ายภาพ ซึ่งอาจเป็นเหตุสำคัญทำให้ความชัดเจนของรายละเอียดไม่ดีเพียงพอ

ในขั้นตอนของการประมวลผลด้วยโปรแกรม PhotoModeler Scanner® ผลลัพธ์ของแบบจำลองสามมิติที่ประมวลผลแล้วบันทึกไว้ก่อนหน้ามีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการกลับมาดูมาแสดงผลใหม่อีกครั้ง และระยะเวลาเฉพาะในส่วนของการประมวลผลภาพถ่ายเพื่อการจับคู่จุดใดๆ บนแบบจำลองสามมิติจะใช้เวลาค่อนข้างนาน อาจมีความจำเป็นต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่

มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สำหรับในงานวิจัยนี้อาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลางประเภทอินเทลเซนติโน 2 คอร์ทูดูโอ ความเร็ว 2.53 จิกะเฮิร์ต และมีหน่วยความทรงจำประเภทดีดีอาร์ทู ขนาด 4 จิกะเฮิร์ต ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ต้า ซึ่งในบางแบบจำลองสามมิติใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่า 20 ชั่วโมง

ประเด็นสุดท้ายภาพถ่ายที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติของวัตถุใดๆ อาจต้องทำการบันทึกภาพถ่ายในหลายๆ มাত্রาส่วน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถสร้างแบบจำลองสามมิติในส่วนขององค์รวมและยังมีข้อมูลในส่วนรายละเอียดส่วนลึกเพื่อให้เสริมในส่วนที่แบบจำลองสามมิตินั้นขาดหายไปได้ ตัวอย่างเช่นแบบจำลองสามมิติที่ 2 ซึ่งสามารถแสดงผลได้ในบางส่วนซึ่งต้องอาศัยข้อมูลภาพถ่ายเพิ่มเติมในส่วนรายละเอียดที่ยังไม่สามารถประมวลผลขึ้นมาได้ เป็นการเพิ่มเติมรายละเอียดในส่วนที่ข้อมูลภาพถ่ายเดิมไม่สามารถประมวลผลการจับคู่จุดภาพสำเร็จ



บรรณานุกรม

วิชา จีวาลัย และ ปรีชา วงศ์วิวัฒน์. การสำรวจด้วยภาพถ่าย. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531.

ไพศาล สันติธรรมนนท์. การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล. พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

ณรงค์ พูนพจน์มาศ. การหาความเหมาะสมที่สุดของการใช้กล้องดิจิทัลในการวัดแบบจำลองรถยนต์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ณรงค์ พูนพจน์มาศ. การจำลองแบบจำลองรถยนต์และชิ้นส่วนด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล. บทความวิชาการ วิศวกรรมยานยนต์ ครั้งที่ 2, 2545.

A F Habib, M S Ghanma, R I Al-Ruzouq, E M Kim, 3-D Modelling of Historical Sites Using Low-Cost Digital Camera, ISPRS, 2004

J Cardenal, E Mata, P Castro, J Delgado, M A Hernandez, J L Perez, M Ramos, M Torres, Evaluation of a Digital Non Metric Camera (Canon D30) for the Photogrammetric Recording of Historical Buildings, ISPRS, 2004.

J.Peipe, M.Stephani. Performance Evaluation of a 5 Megapixel Digital Metric Camera for Use in Architectural Photogrammetry. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXIV, Part 5/W12.

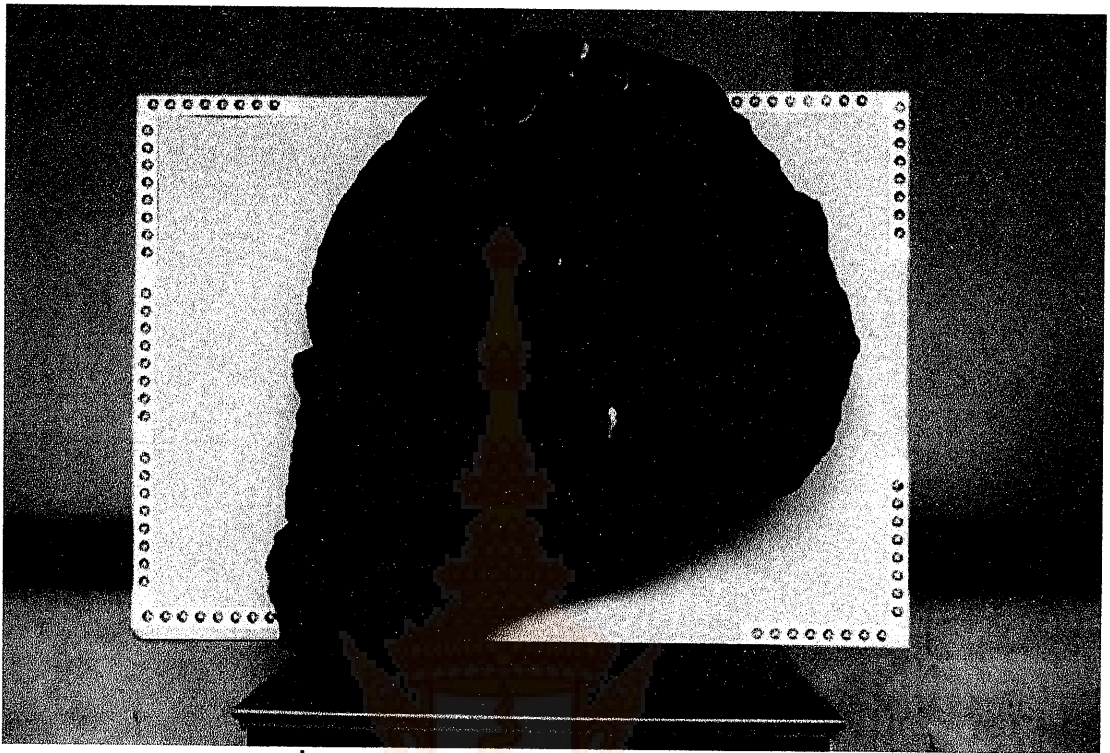
Jurgen Dold, Influence of Large Targets on the Results of Photogrammetric Bundle Adjustment. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXI, Part B5. Vienna 1996.

Kraus, K. , Waldhausl, P. and Stewarason, P. Photogrammetry Volume1 Fundamentals and Standard Processes. Germany : WB-Druck 8959 Rieden,1993.

S Kulur, F Yilmazturk, 3D-Reconstruction of Small Historical Object to Exhibit in Virtual Museum by Means of Digital Photogrammetry, CIPA XX International Symposium, Italy, 2005.

ภาคผนวก ก

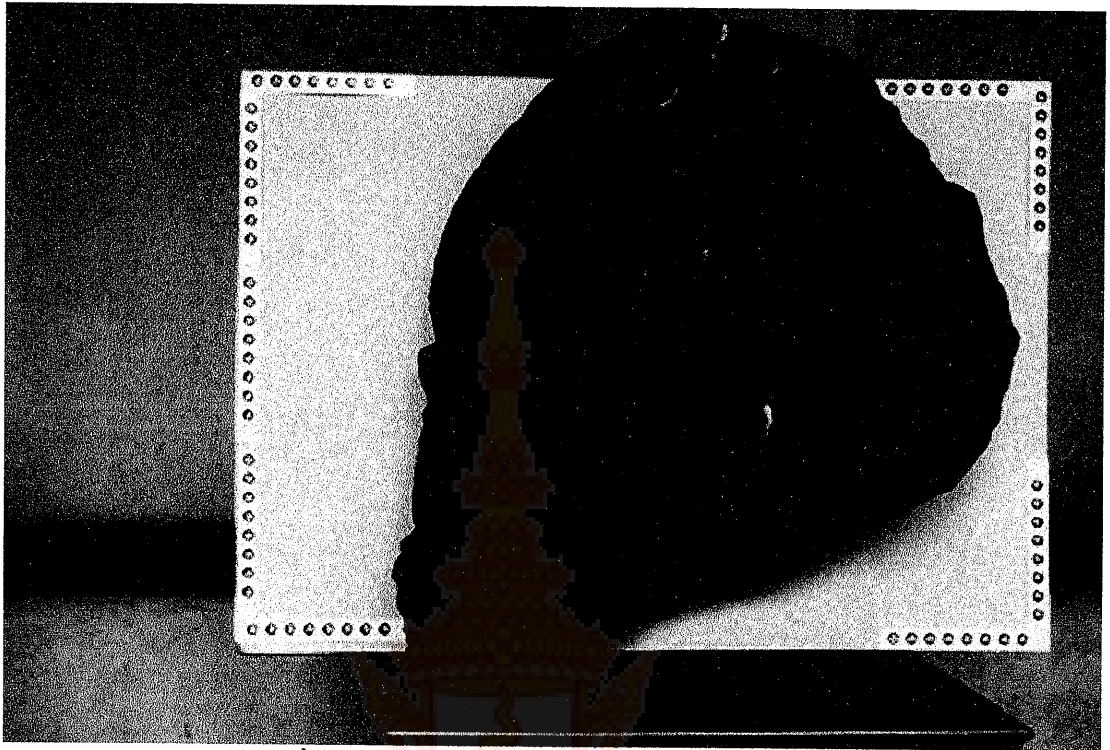




รูปที่ ก.1 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 1



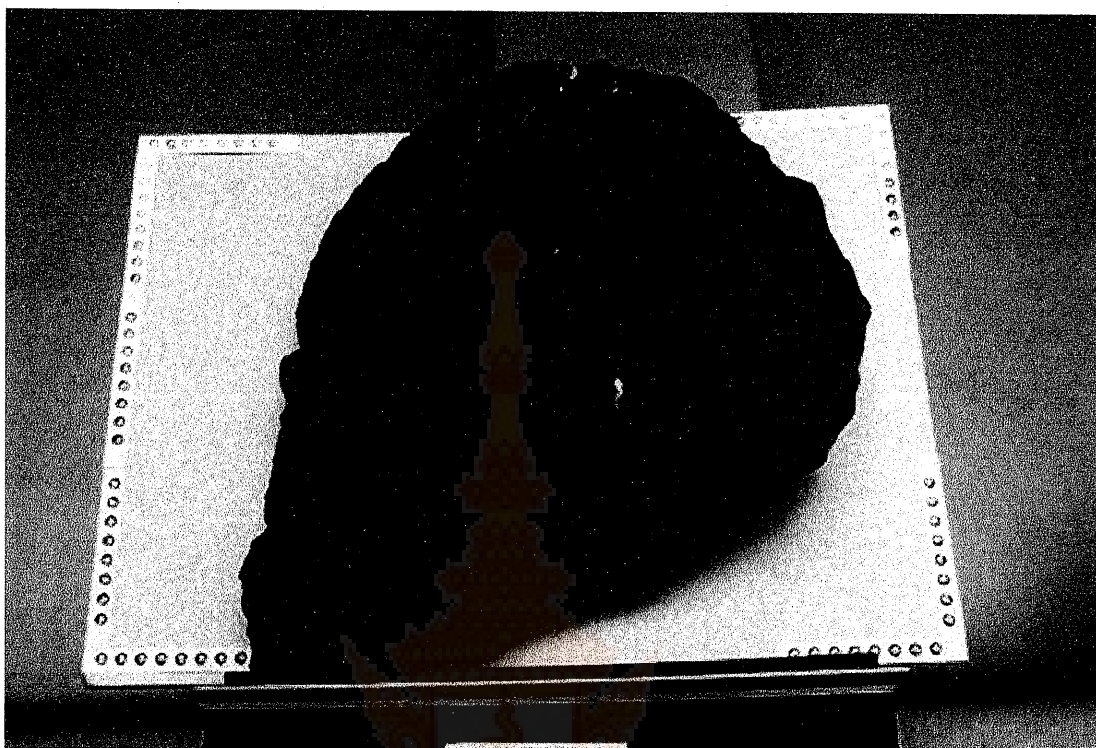
รูปที่ ก.2 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ ก.3 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 3



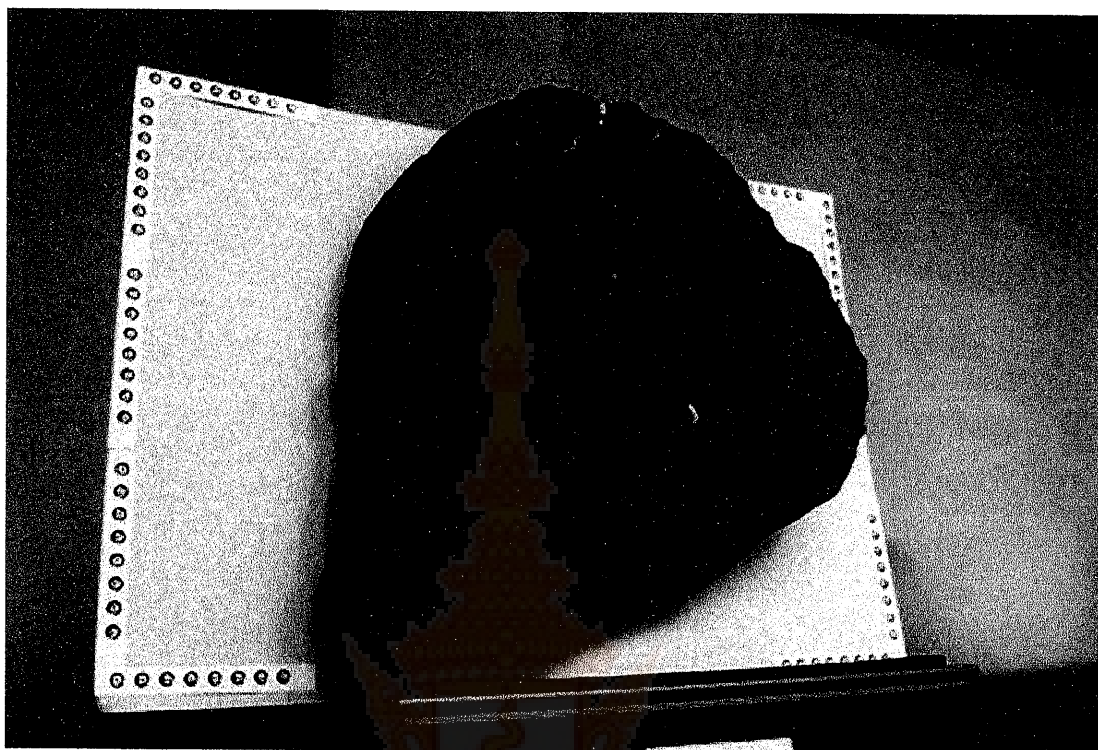
รูปที่ ก.4 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ ก.5 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 5



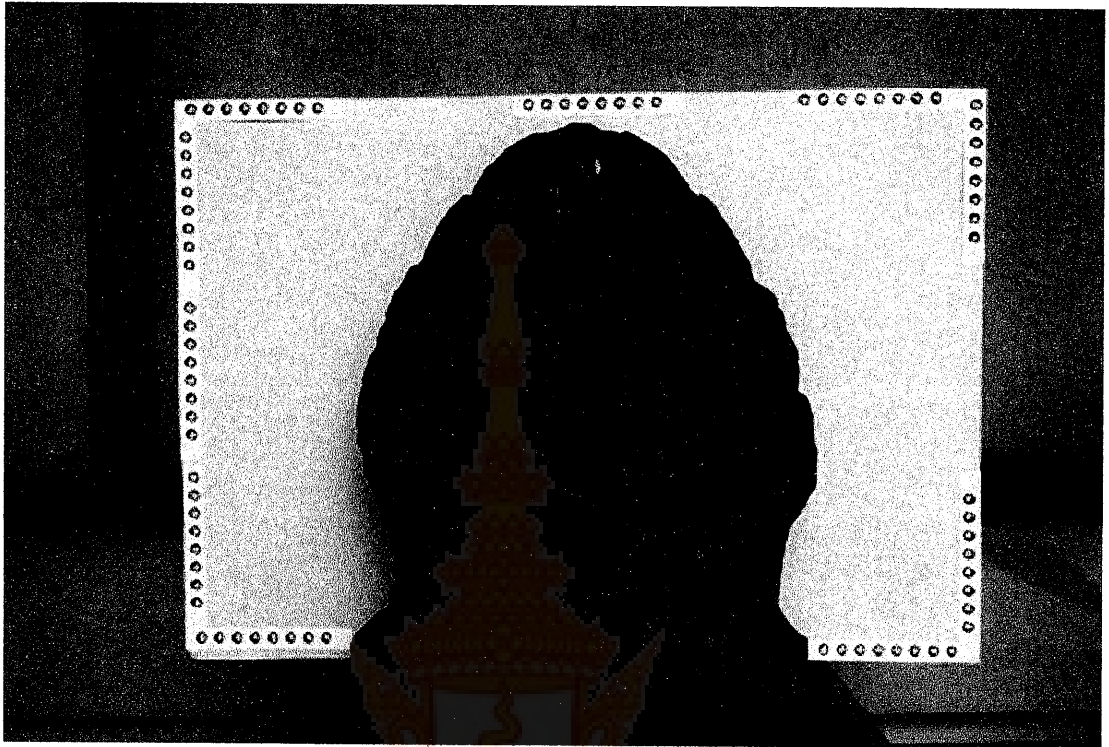
รูปที่ ก.6 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 6



รูปที่ ก.7 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 7



รูปที่ ก.8 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 ตำแหน่งที่ 8



รูปที่ ก.9 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 1



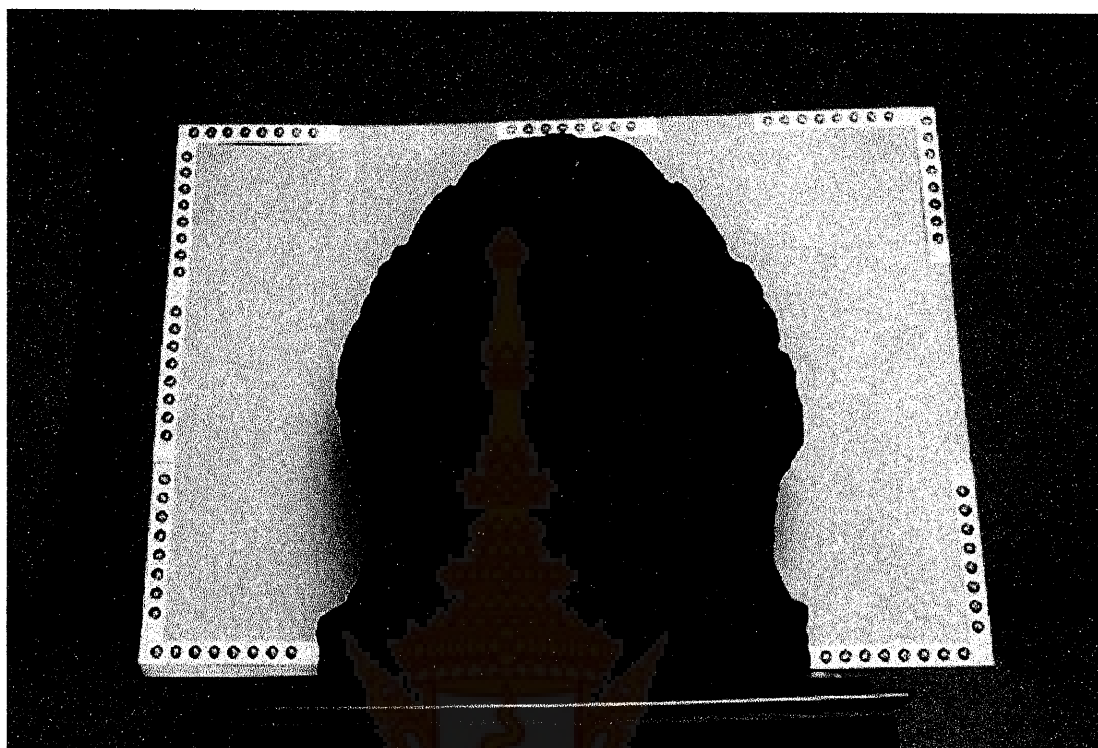
รูปที่ ก.10 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ ก.11 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 3



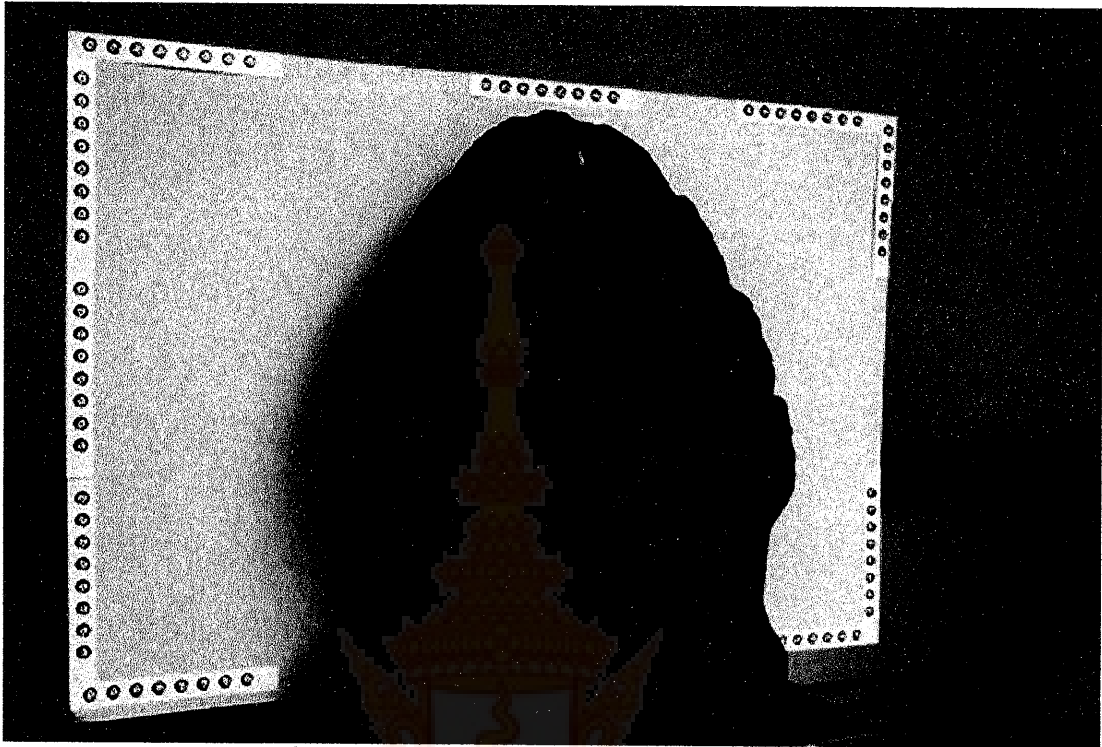
รูปที่ ก.12 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ ก.13 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 5



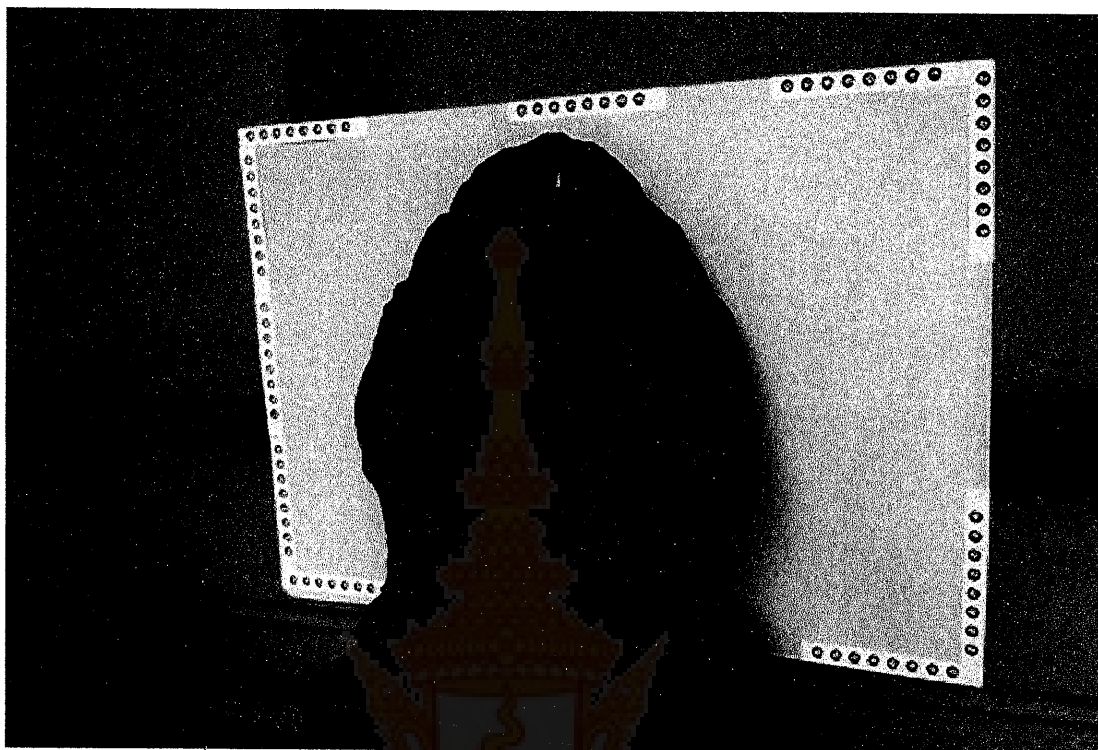
รูปที่ ก.14 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 6



รูปที่ ก.15 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 7



รูปที่ ก.16 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 8



รูปที่ ก.17 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 9



รูปที่ ก.18 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 10



รูปที่ ก.19 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 2 ตำแหน่งที่ 11



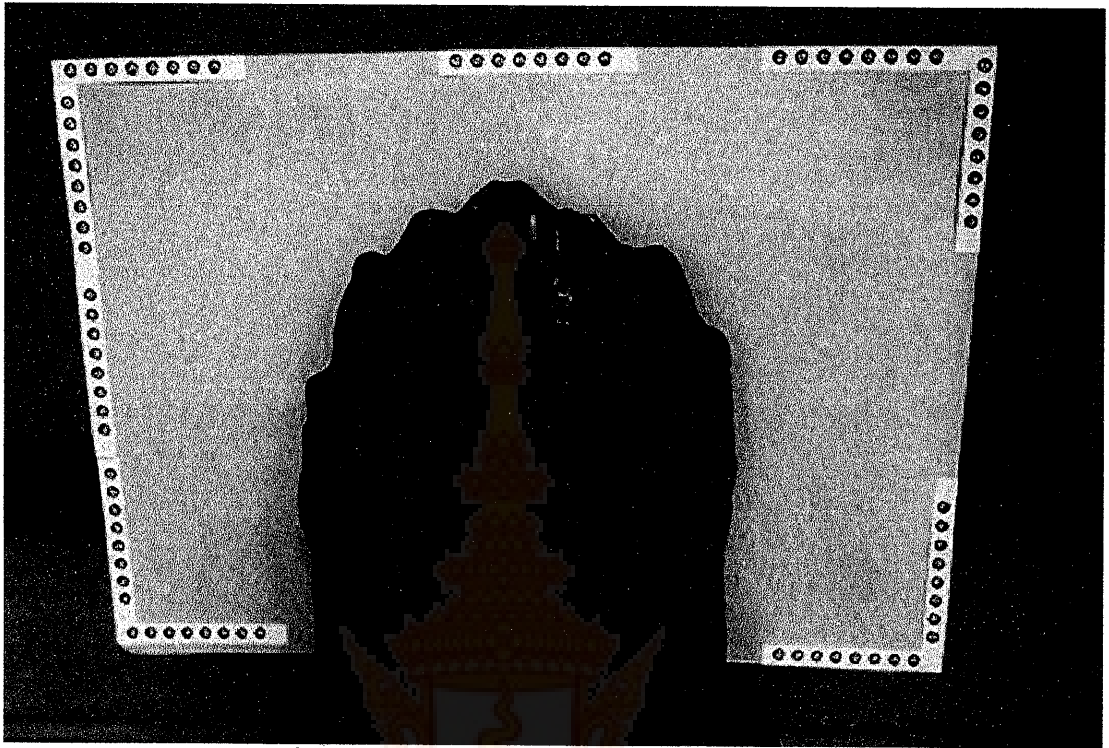
รูปที่ ก.20 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ ก.21 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 ตำแหน่งที่ 2



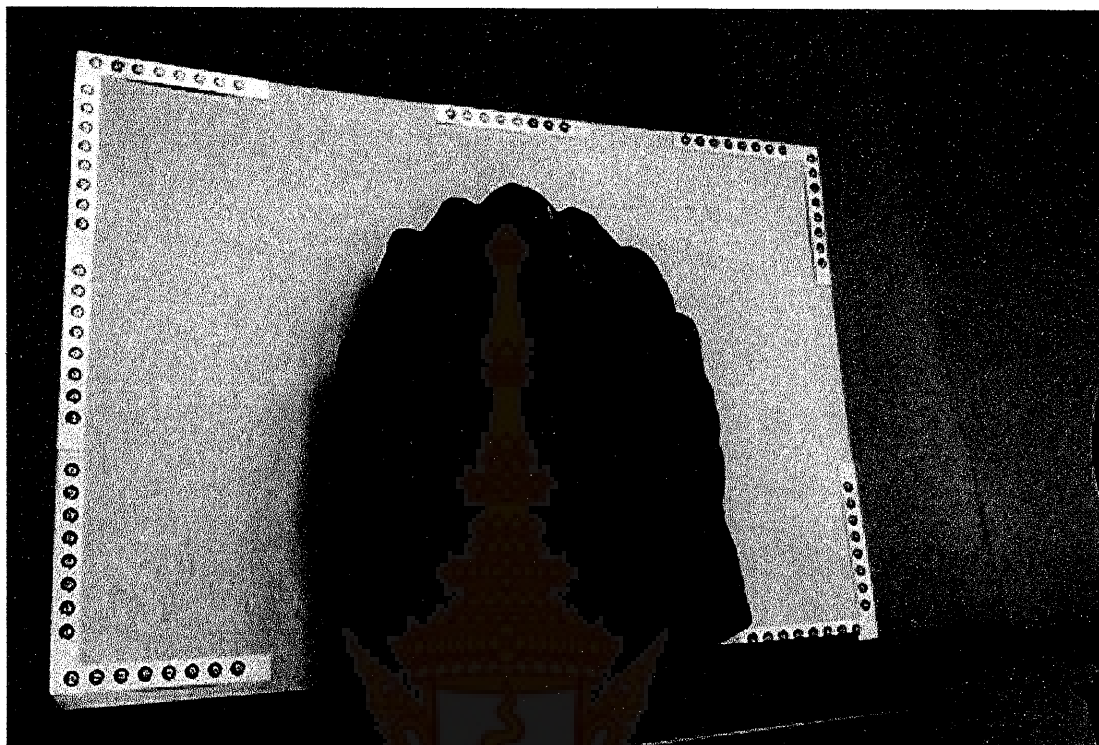
รูปที่ ก.22 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ ก.23 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ ก.24 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ ก.25 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 ตำแหน่งที่ 8



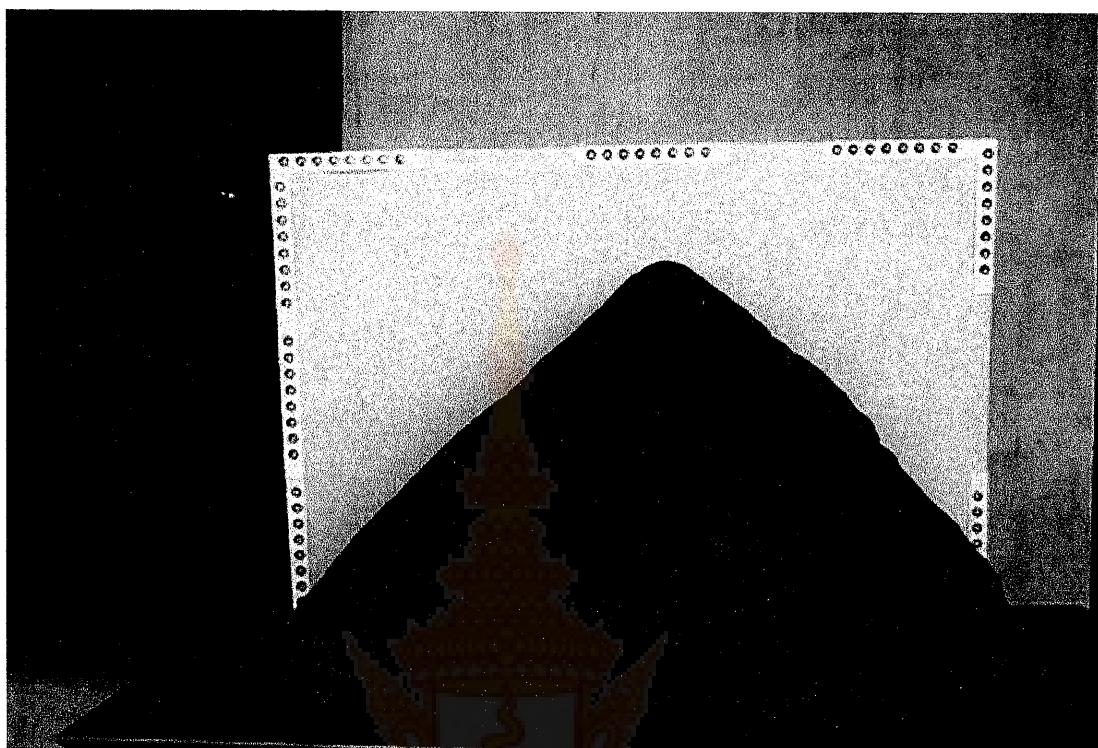
รูปที่ ก.26 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 ตำแหน่งที่ 11



รูปที่ ก.27 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 4 ตำแหน่งที่ 1



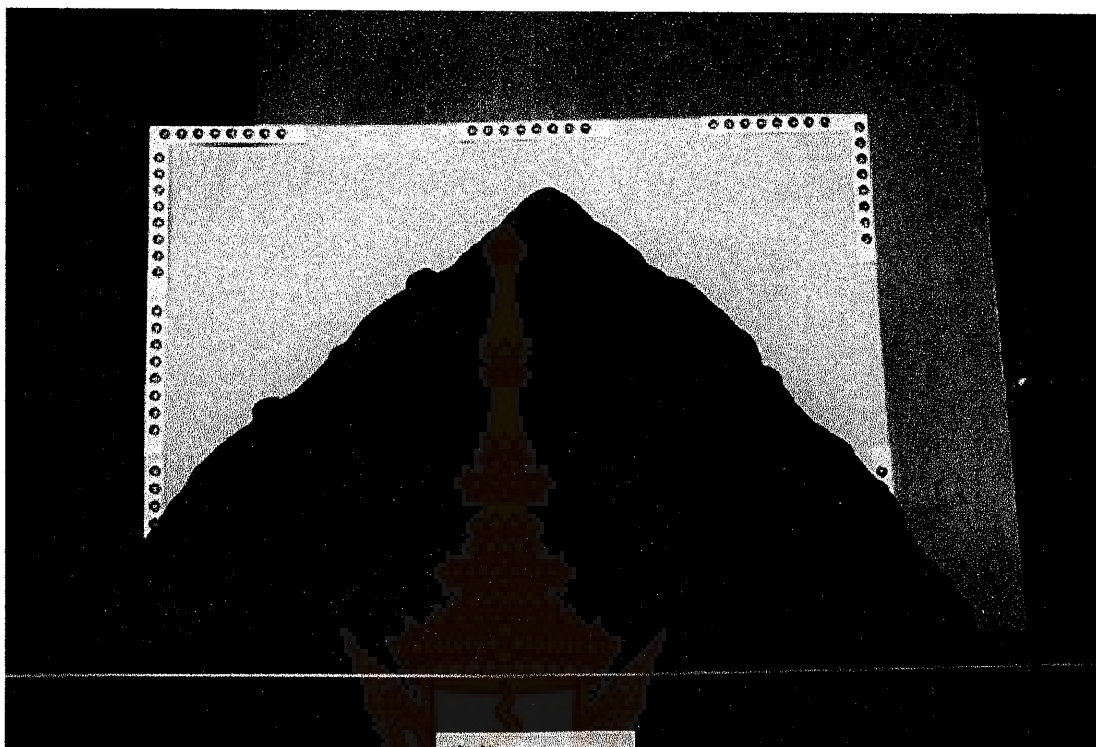
รูปที่ ก.28 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 4 ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ ก.29 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 4 ตำแหน่งที่ 3



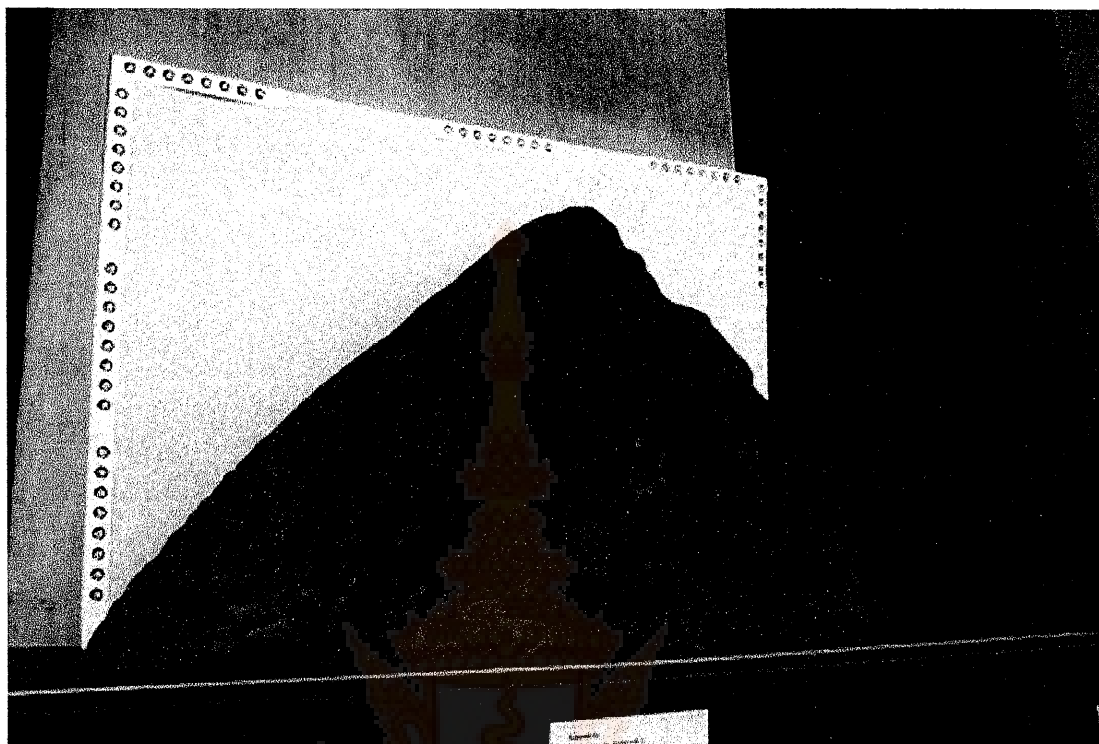
รูปที่ ก.30 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 4 ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ ก.31 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 4 ตำแหน่งที่ 5



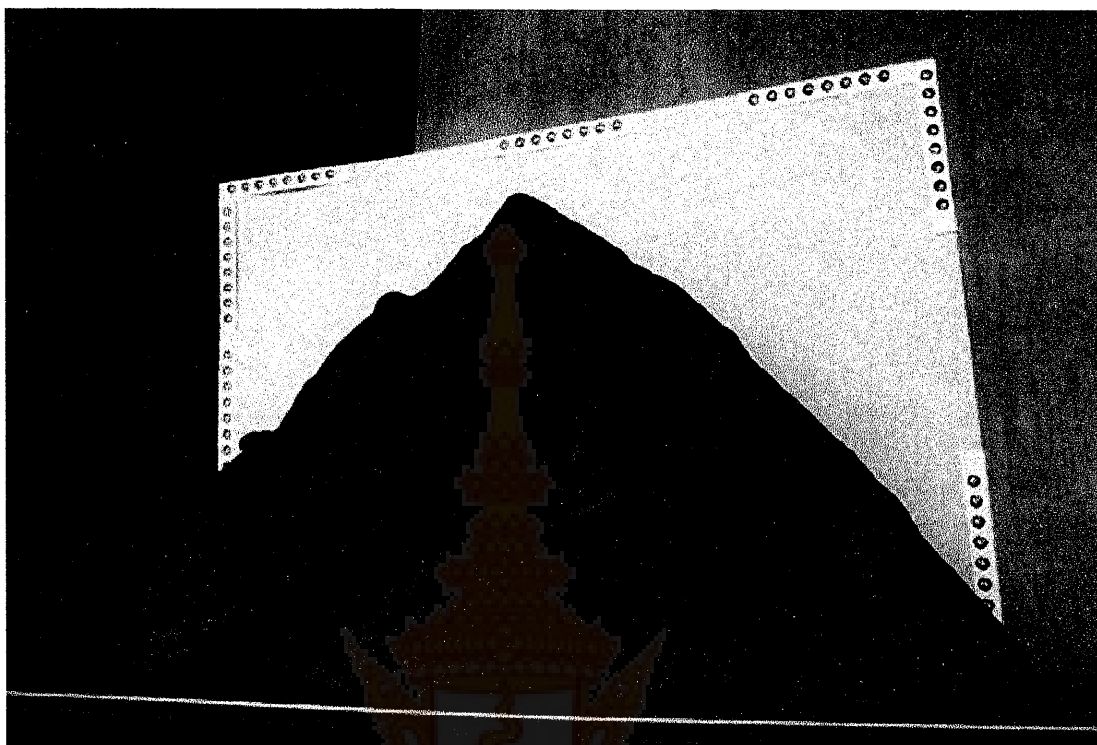
รูปที่ ก.32 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 4 ตำแหน่งที่ 7



รูปที่ ก.33 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 4 ตำแหน่งที่ 8



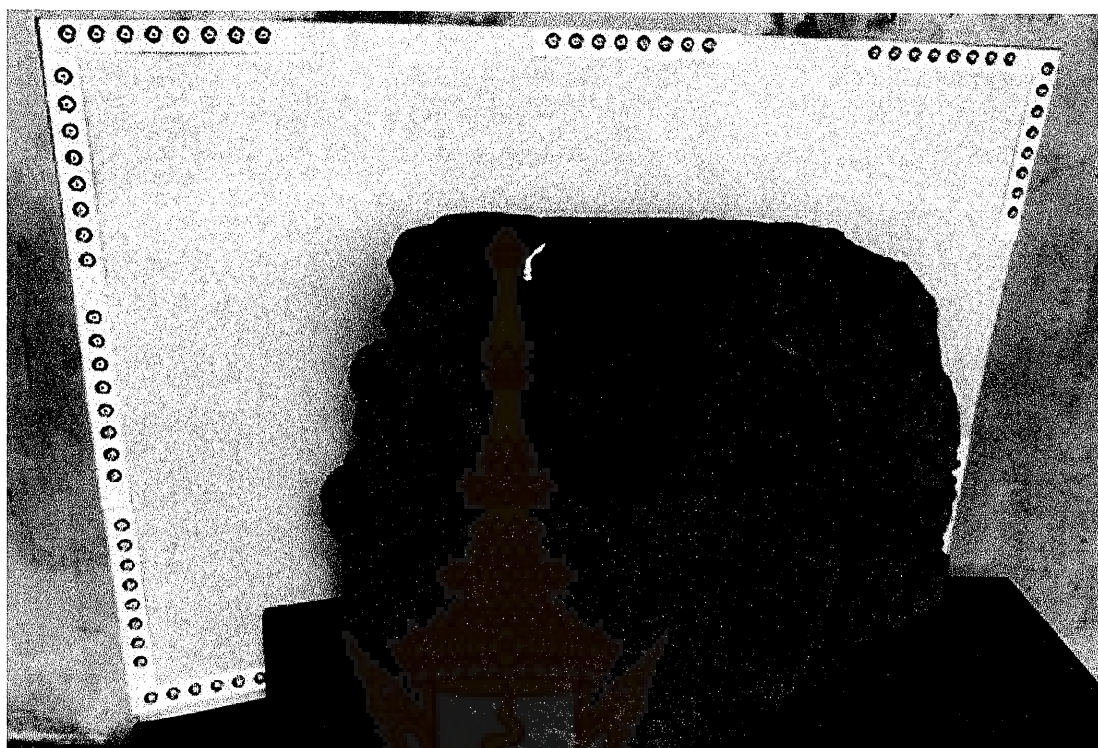
รูปที่ ก.34 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 4 ตำแหน่งที่ 10



รูปที่ ก.35 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 4 ตำแหน่งที่ 11



รูปที่ ก.36 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 5 ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ ก.37 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 5 ตำแหน่งที่ 2



รูปที่ ก.38 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 5 ตำแหน่งที่ 3



รูปที่ ก.39 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 5 ตำแหน่งที่ 4



รูปที่ ก.40 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 5 ตำแหน่งที่ 5



รูปที่ ก.41 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 5 ตำแหน่งที่ 6



รูปที่ ก.42 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 5 ตำแหน่งที่ 7



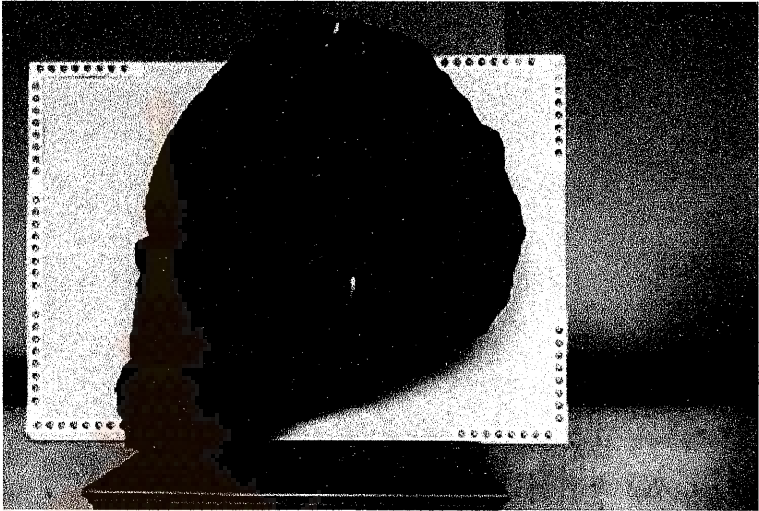
รูปที่ ก.43 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 5 ตำแหน่งที่ 8

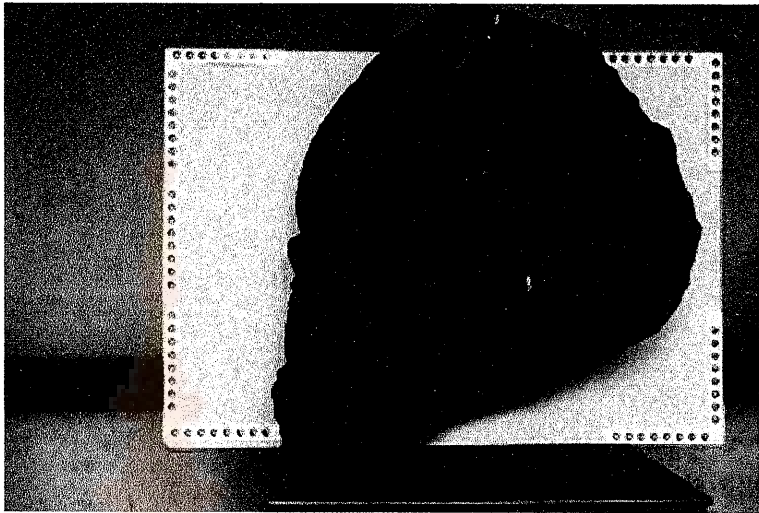


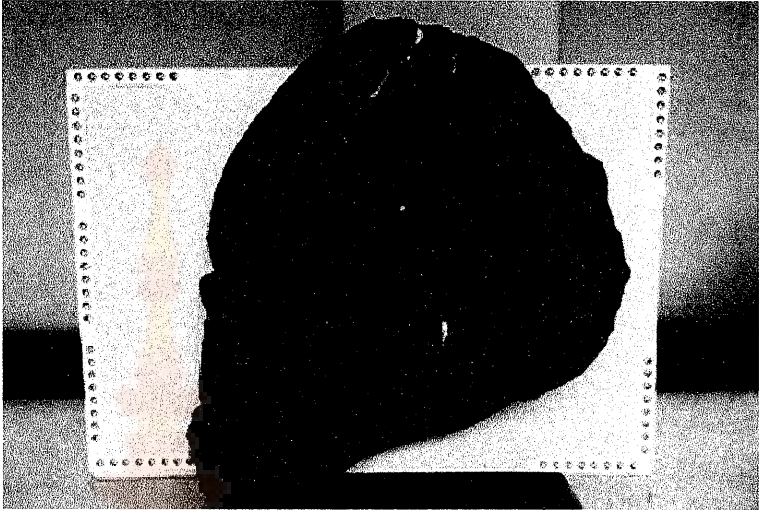
รูปที่ ก.44 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 5 ตำแหน่งที่ 10

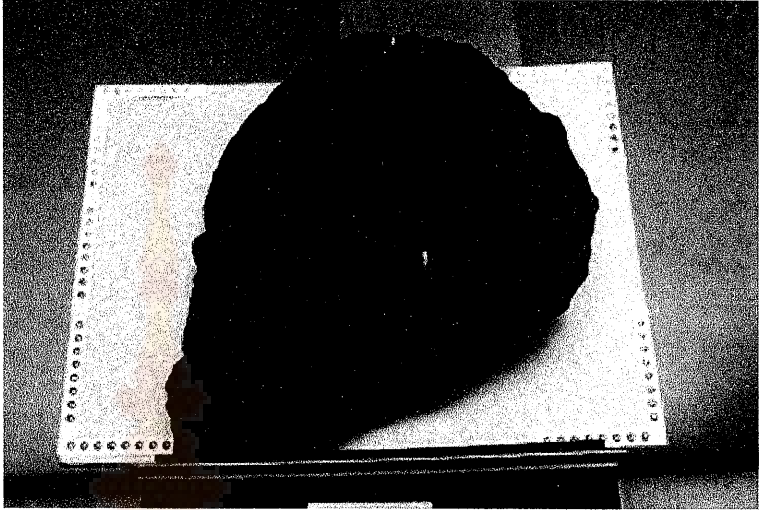
ภาคผนวก ข

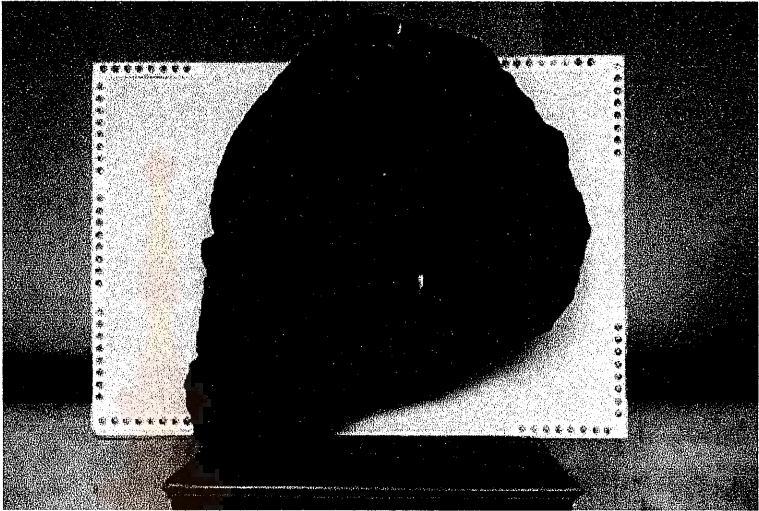


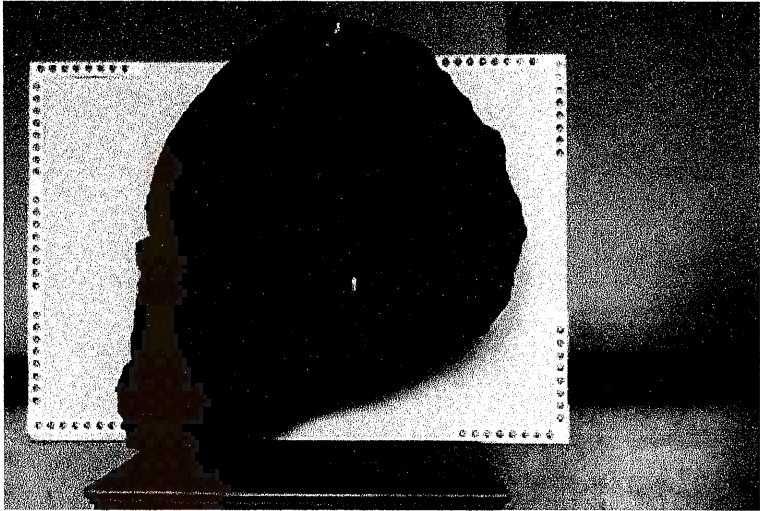
ชื่อภาพ	IMG_2834
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Buddha
หมายเลขภาพ	1
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.164
ตำแหน่งทาง X (มม)	0.310
ตำแหน่งทาง Y (มม)	0.558
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-0.134
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-0.0240904
มุม Phi (องศา)	0.0149771
มุม Kappa (องศา)	-0.0012528
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.490

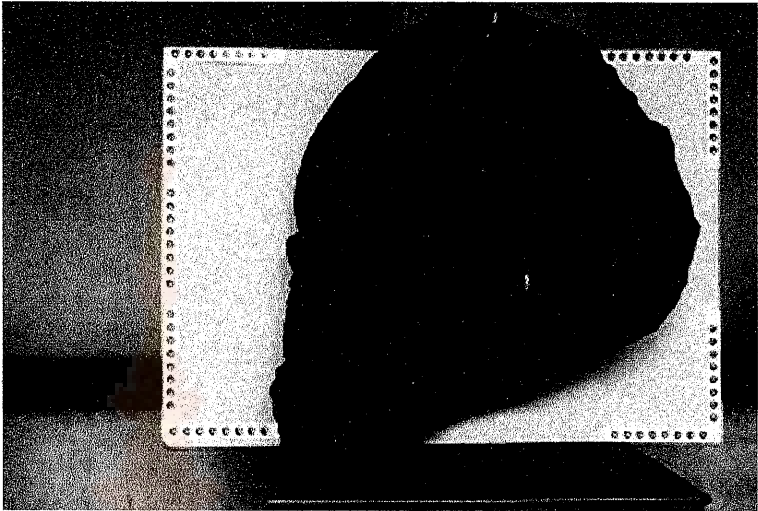
ชื่อภาพ	IMG_2835
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Buddha
หมายเลขภาพ	2
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.105
ตำแหน่งทาง X (มม)	-323.782
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-3.632
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-47.783
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-0.1707248
มุม Phi (องศา)	-2.2295808
มุม Kappa (องศา)	0.1098830
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.349

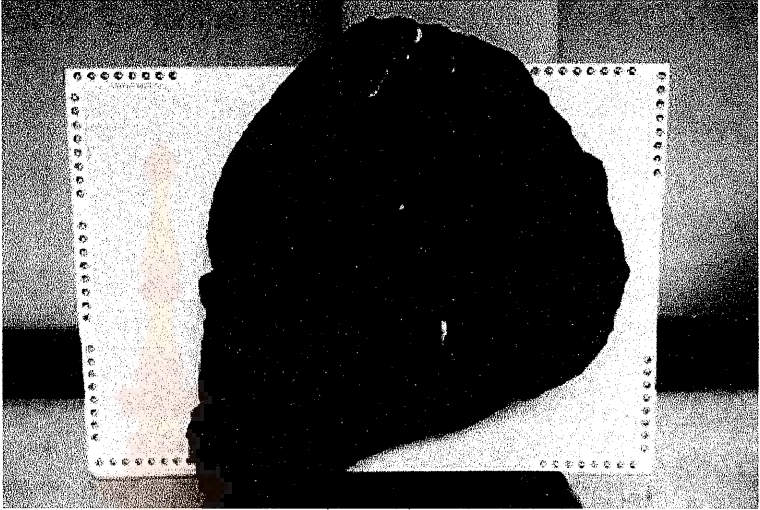
ชื่อภาพ	IMG_2836
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Buddha
หมายเลขภาพ	3
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.105
ตำแหน่งทาง X (มม)	-164.655
ตำแหน่งทาง Y (มม)	211.788
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-110.087
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-7.7946159
มุม Phi (องศา)	-1.1966118
มุม Kappa (องศา)	-0.4010533
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.198

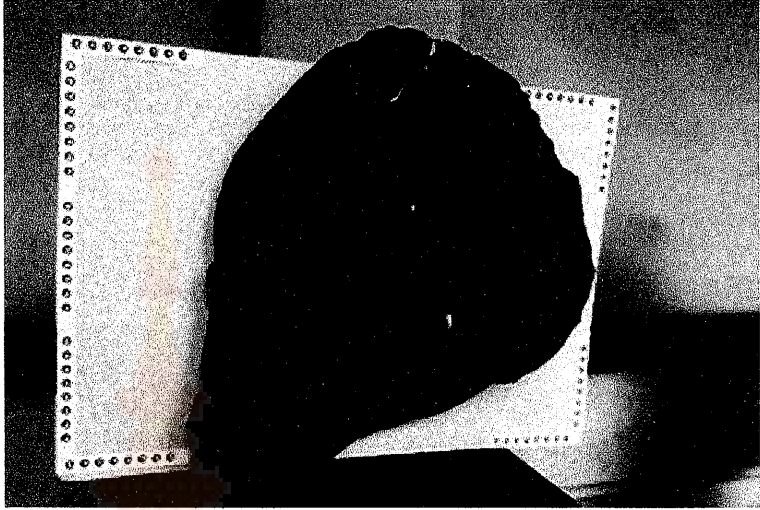
ชื่อภาพ	IMG_2839
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Buddha
หมายเลขภาพ	4
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.107
ตำแหน่งทาง X (มม)	-120.136
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-355.361
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-96.112
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	16.7986731
มุม Phi (องศา)	-0.2986243
มุม Kappa (องศา)	-1.6700361
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.342

ชื่อภาพ	IMG_2833
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Buddha
หมายเลขภาพ	1
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.190
ตำแหน่งทาง X (มม)	-7.878
ตำแหน่งทาง Y (มม)	3.959
ตำแหน่งทาง Z (มม)	1.005
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-0.1500231
มุม Phi (องศา)	-0.2638306
มุม Kappa (องศา)	0.0552302
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.342

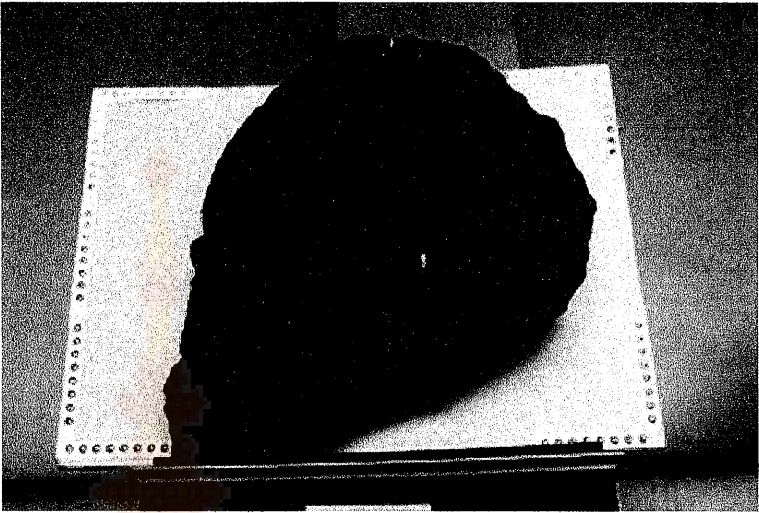
ชื่อภาพ	IMG_2834
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Buddha
หมายเลขภาพ	2
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.200
ตำแหน่งทาง X (มม)	99.341
ตำแหน่งทาง Y (มม)	4.400
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-16.726
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	0.0081312
มุม Phi (องศา)	-0.5858936
มุม Kappa (องศา)	0.0713492
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.456

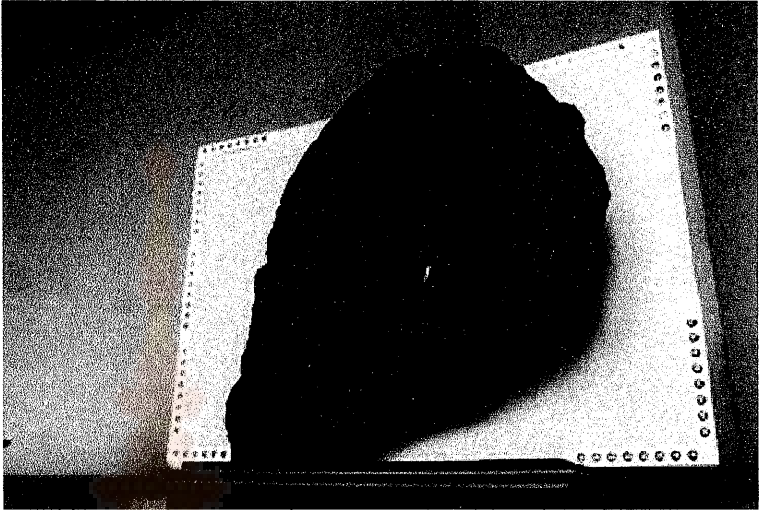
ชื่อภาพ	IMG_2835
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Buddha
หมายเลขภาพ	3
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.126
ตำแหน่งทาง X (มม)	-224.142
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-0.102
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-67.714
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-0.1390051
มุม Phi (องศา)	-2.8232531
มุม Kappa (องศา)	0.1812453
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.295

ชื่อภาพ	IMG_2836
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Buddha
หมายเลขภาพ	4
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.193
ตำแหน่งทาง X (มม)	-64.749
ตำแหน่งทาง Y (มม)	215.618
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-128.294
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-7.7669790
มุม Phi (องศา)	-1.8006176
มุม Kappa (องศา)	-0.4113600
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.352

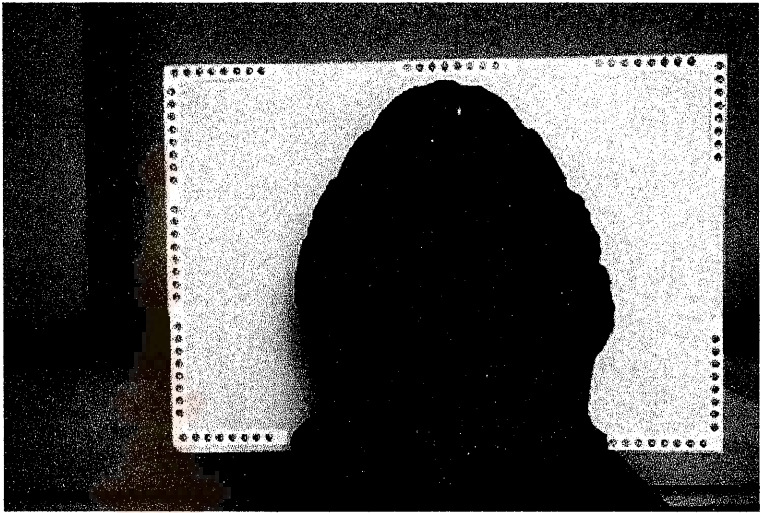
ชื่อภาพ	IMG_2837
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Buddha
หมายเลขภาพ	5
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.395
ตำแหน่งทาง X (มม)	-458.170
ตำแหน่งทาง Y (มม)	214.068
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-142.448
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-8.0740889
มุม Phi (องศา)	20.8768378
มุม Kappa (องศา)	1.7108551
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.718

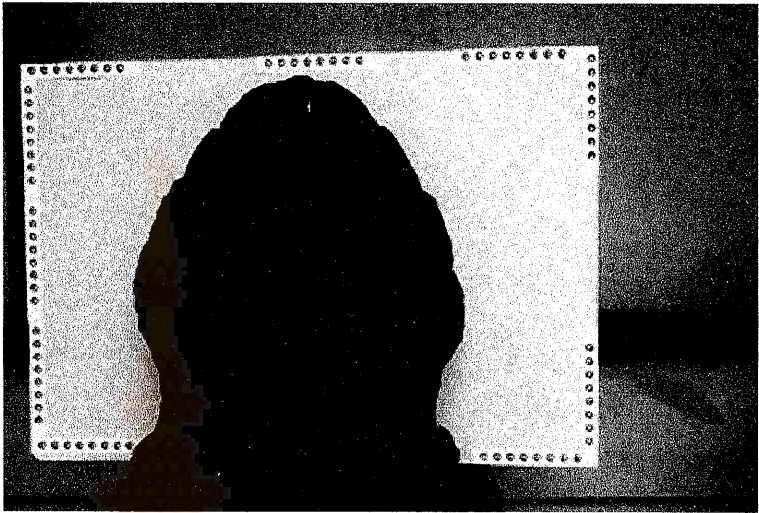
ชื่อภาพ	IMG_2838
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Buddha
หมายเลขภาพ	6
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.545
ตำแหน่งทาง X (มม)	390.257
ตำแหน่งทาง Y (มม)	217.511
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-107.262
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-9.5286291
มุม Phi (องศา)	20.4419061
มุม Kappa (องศา)	1.2880336
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.916

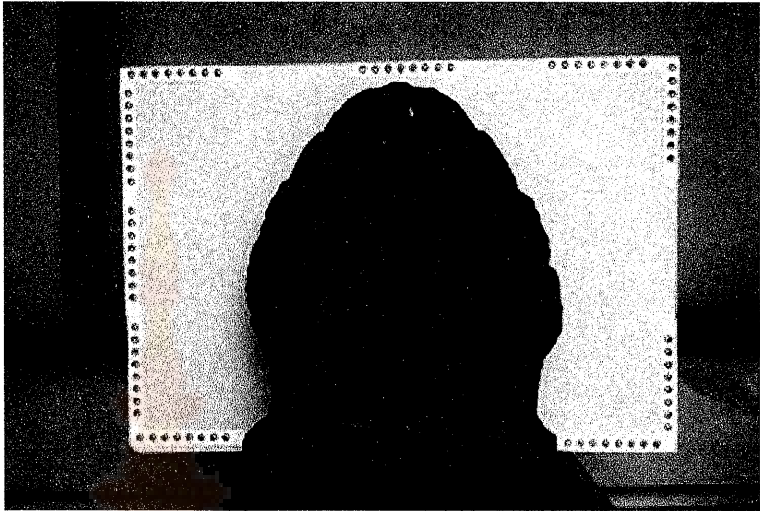
ชื่อภาพ	IMG_2839
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Buddha
หมายเลขภาพ	7
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.186
ตำแหน่งทาง X (มม)	-19.639
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-351.769
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-114.193
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	16.8376123
มุม Phi (องศา)	-0.8511911
มุม Kappa (องศา)	-1.4254366
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.636

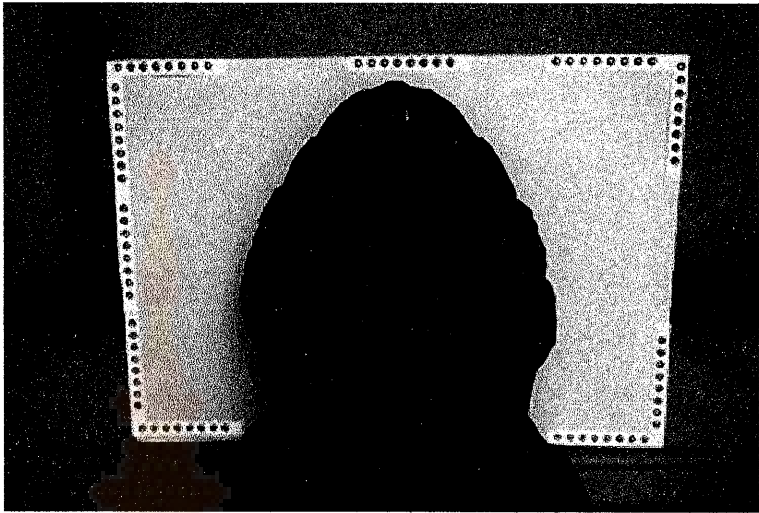
ชื่อภาพ	IMG_2840
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Buddha
หมายเลขภาพ	8
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.750
ตำแหน่งทาง X (มม)	445.291
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-349.417
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-171.822
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	19.2646017
มุม Phi (องศา)	23.7138150
มุม Kappa (องศา)	-7.5500176
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.302

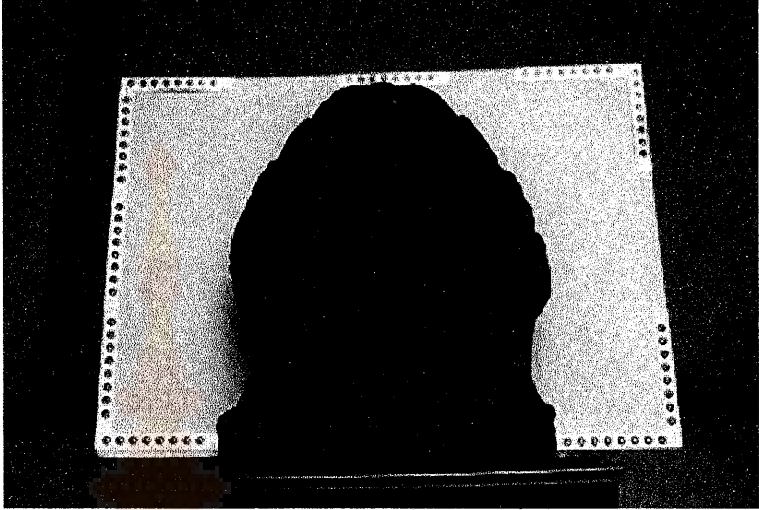
ชื่อภาพ	IMG_2841
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Buddha
หมายเลขภาพ	9
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.648
ตำแหน่งทาง X (มม)	-599.341
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-360.621
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-241.235
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	20.1744172
มุม Phi (องศา)	-26.3594048
มุม Kappa (องศา)	5.4036577
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.588

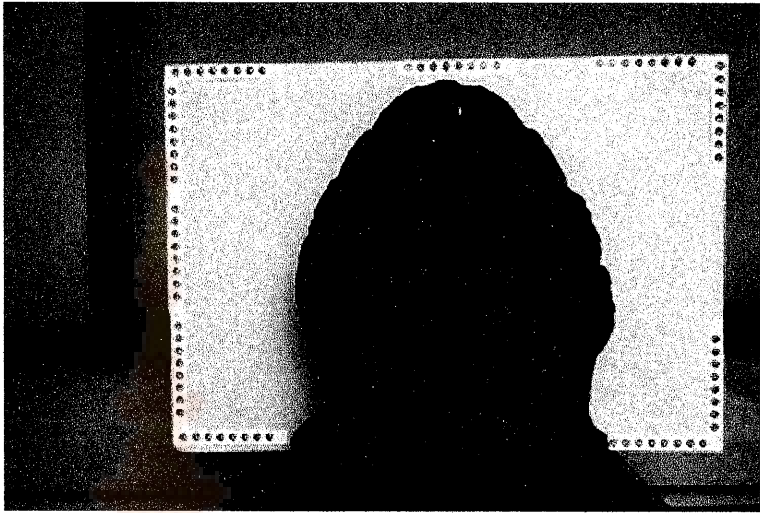
ชื่อภาพ	IMG_2813
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	1
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.478
ตำแหน่งทาง X (มม)	20.957
ตำแหน่งทาง Y (มม)	1.246
ตำแหน่งทาง Z (มม)	1.063
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-0.0580238
มุม Phi (องศา)	0.9467951
มุม Kappa (องศา)	0.0245990
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.186

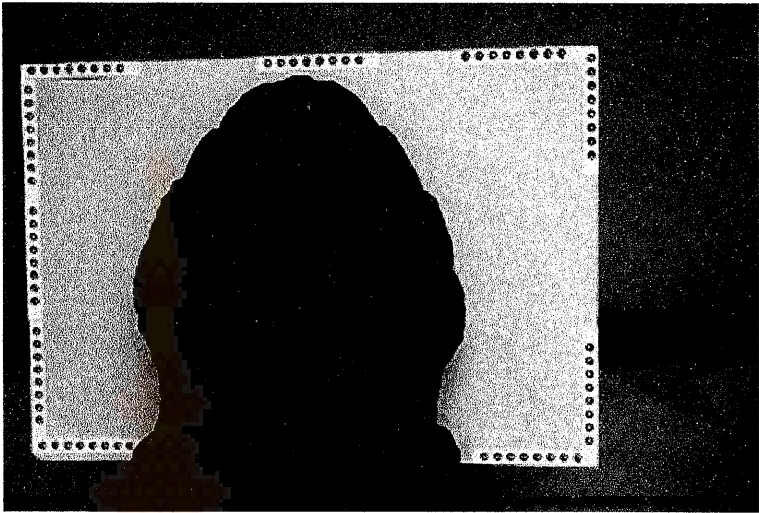
ชื่อภาพ	IMG_2815
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	2
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.468
ตำแหน่งทาง X (มม)	284.169
ตำแหน่งทาง Y (มม)	7.034
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-58.017
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-0.0626252
มุม Phi (องศา)	1.9609911
มุม Kappa (องศา)	0.0731158
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.899

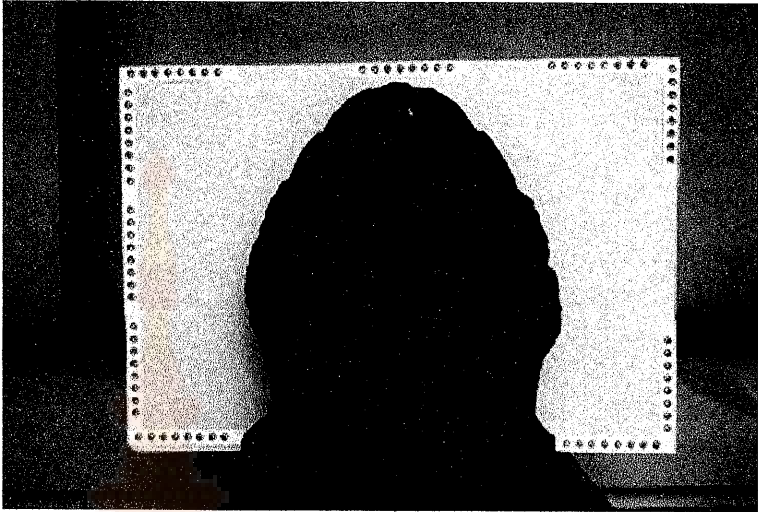
ชื่อภาพ	IMG_2816
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	3
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.306
ตำแหน่งทาง X (มม)	92.851
ตำแหน่งทาง Y (มม)	3.038
ตำแหน่งทาง Z (มม)	4.631
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	0.0246764
มุม Phi (องศา)	0.5210357
มุม Kappa (องศา)	-0.0019014
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.608

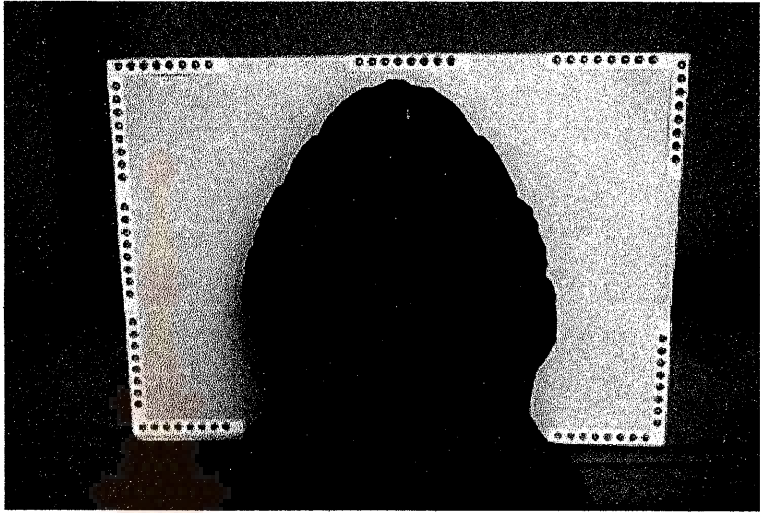
ชื่อภาพ	IMG_2817
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	4
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.420
ตำแหน่งทาง X (มม)	105.583
ตำแหน่งทาง Y (มม)	166.519
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-14.693
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-7.5937589
มุม Phi (องศา)	0.7498994
มุม Kappa (องศา)	0.3377104
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.797

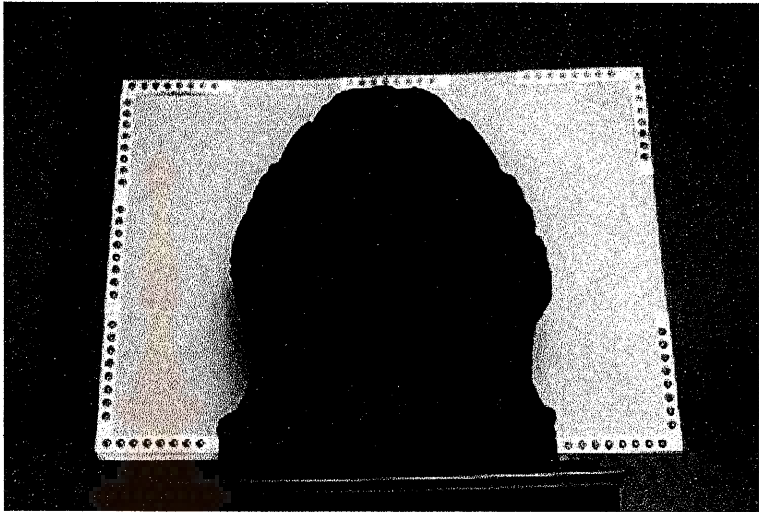
ชื่อภาพ	IMG_2818
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	5
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.245
ตำแหน่งทาง X (มม)	93.678
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-345.654
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-43.955
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	15.6367084
มุม Phi (องศา)	-0.5916076
มุม Kappa (องศา)	-0.1775829
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.482

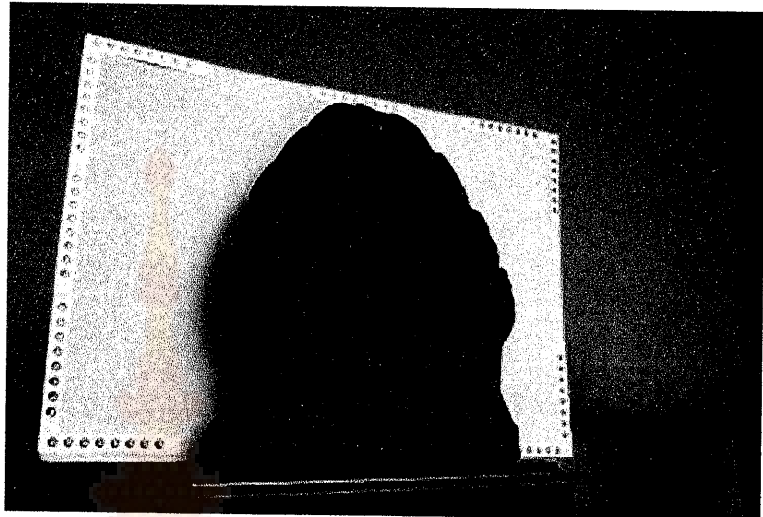
ชื่อภาพ	IMG_2813
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	1
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.640
ตำแหน่งทาง X (มม)	-2.517
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-2.598
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-0.495
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	0.1150491
มุม Phi (องศา)	-0.1041280
มุม Kappa (องศา)	0.0060349
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.631

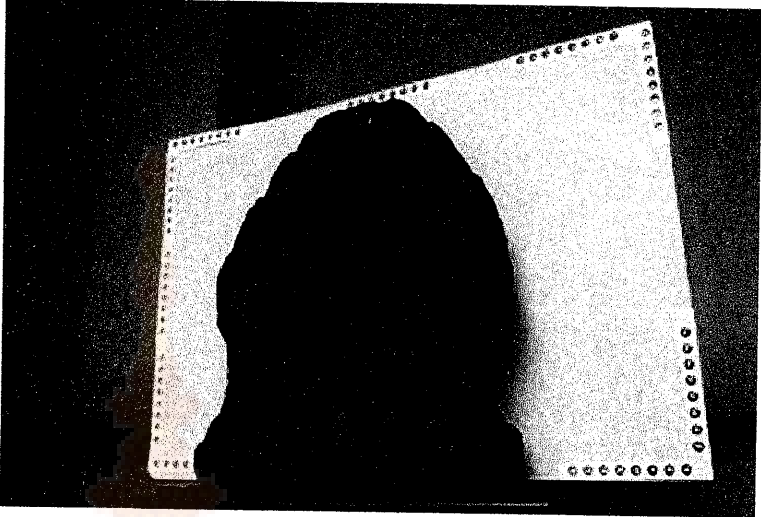
ชื่อภาพ	IMG_2814
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	2
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.793
ตำแหน่งทาง X (มม)	261.531
ตำแหน่งทาง Y (มม)	2.229
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-55.276
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	0.1548995
มุม Phi (องศา)	0.8843557
มุม Kappa (องศา)	0.0583927
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.402

ชื่อภาพ	IMG_2816
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	3
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.228
ตำแหน่งทาง X (มม)	69.248
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-1.013
ตำแหน่งทาง Z (มม)	4.382
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	0.2049930
มุม Phi (องศา)	-0.5347675
มุม Kappa (องศา)	-0.0174757
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.476

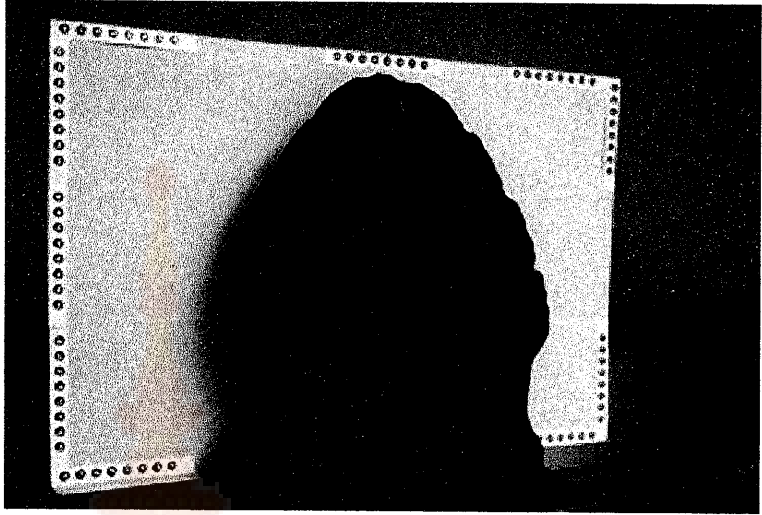
ชื่อภาพ	IMG_2817
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	4
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.303
ตำแหน่งทาง X (มม)	82.107
ตำแหน่งทาง Y (มม)	162.641
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-14.250
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-7.4103572
มุม Phi (องศา)	-0.3060128
มุม Kappa (องศา)	0.1807058
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.644

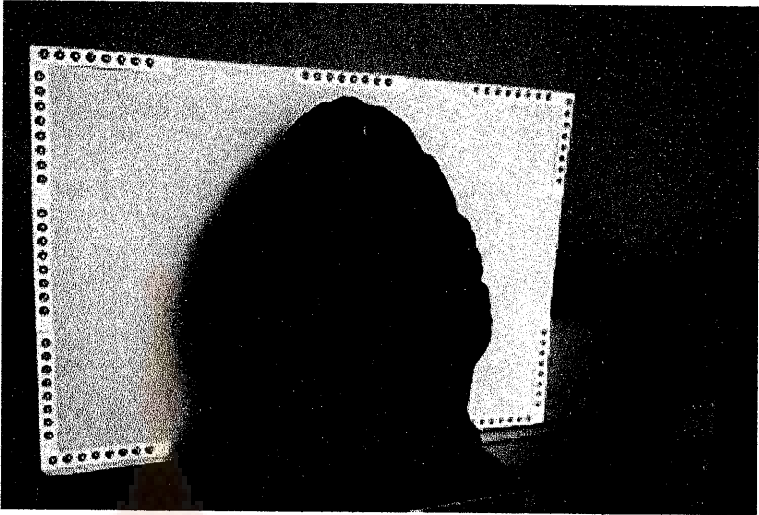
ชื่อภาพ	IMG_2818
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	5
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.268
ตำแหน่งทาง X (มม)	71.661
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-350.660
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-45.456
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	15.8539310
มุม Phi (องศา)	-1.5804536
มุม Kappa (องศา)	0.0926165
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.540

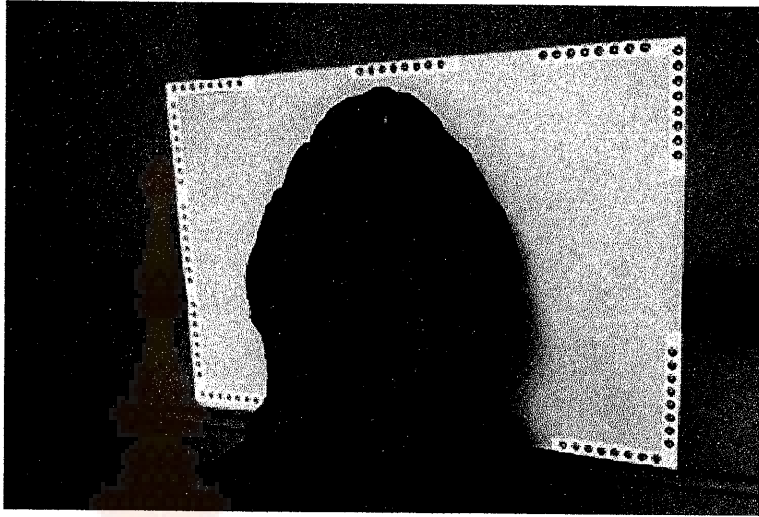
ชื่อภาพ	IMG_2819
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	6
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.496
ตำแหน่งทาง X (มม)	-416.109
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-357.224
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-103.627
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	17.9407945
มุม Phi (องศา)	-26.4788140
มุม Kappa (องศา)	7.3569062
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.049

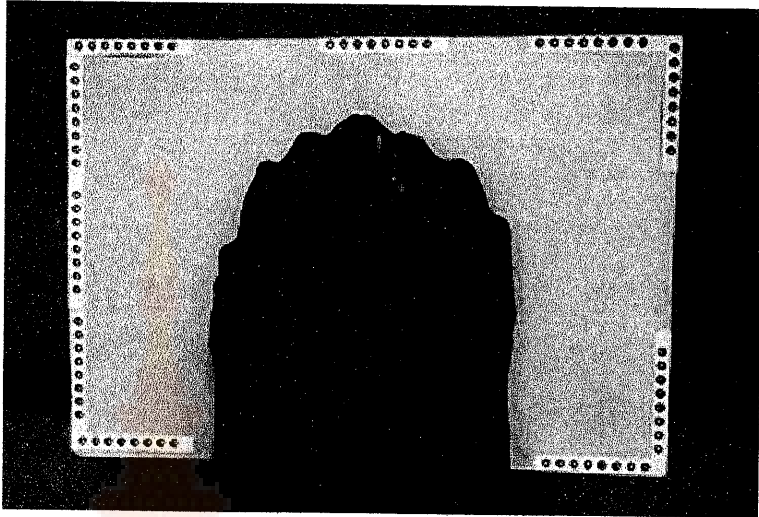
ชื่อภาพ	IMG_2820
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	7
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.581
ตำแหน่งทาง X (มม)	573.455
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-339.241
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-157.694
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	18.3428476
มุม Phi (องศา)	21.7322505
มุม Kappa (องศา)	-7.2574615
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.139

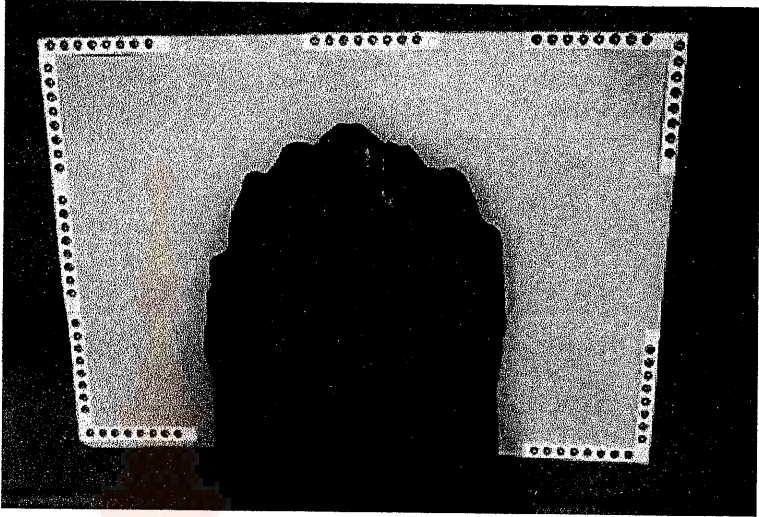
ชื่อภาพ	IMG_2821
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	8
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.559
ตำแหน่งทาง X (มม)	457.994
ตำแหน่งทาง Y (มม)	3.352
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-39.775
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-0.4607406
มุม Phi (องศา)	9.1436837
มุม Kappa (องศา)	2.1899234
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.006

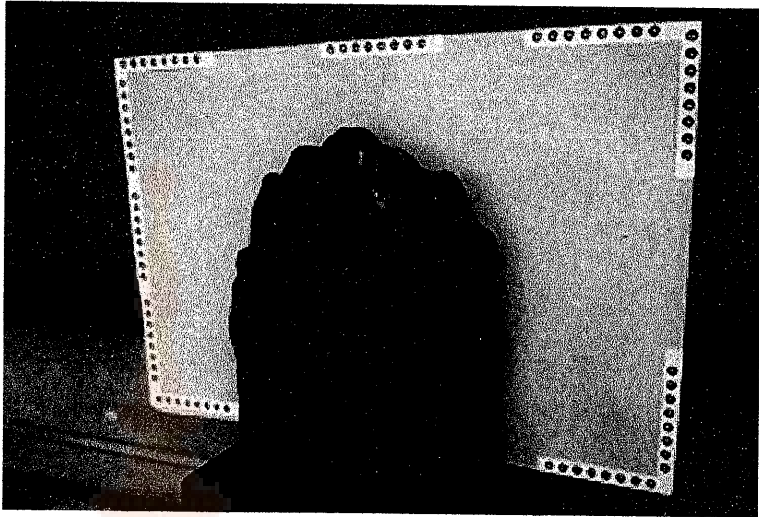
ชื่อภาพ	IMG_2822
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	9
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.345
ตำแหน่งทาง X (มม)	-312.944
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-4.010
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-140.242
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	0.4774060
มุม Phi (องศา)	-21.9951411
มุม Kappa (องศา)	0.6095378
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.693

ชื่อภาพ	IMG_2823
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	10
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.421
ตำแหน่งทาง X (มม)	-328.957
ตำแหน่งทาง Y (มม)	163.044
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-44.229
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-6.9959790
มุม Phi (องศา)	-23.9062285
มุม Kappa (องศา)	-0.5661973
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.8211

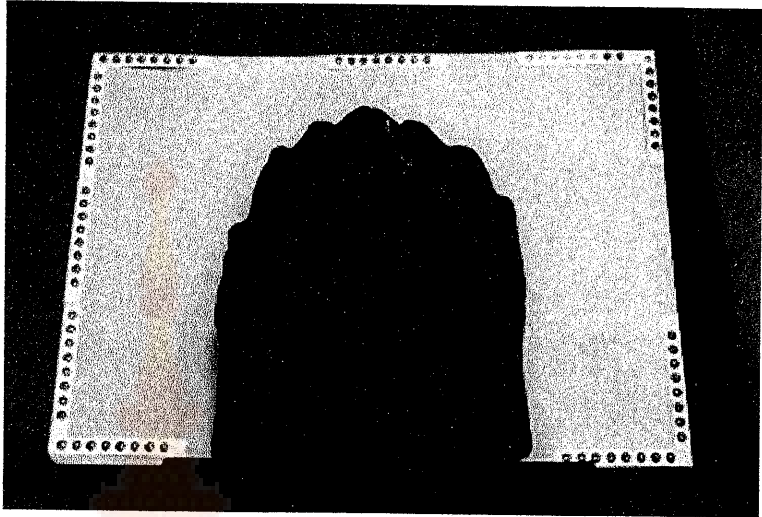
ชื่อภาพ	IMG_2824
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Isana
หมายเลขภาพ	11
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.436
ตำแหน่งทาง X (มม)	556.508
ตำแหน่งทาง Y (มม)	175.321
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-31.966
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-8.4886367
มุม Phi (องศา)	20.9363560
มุม Kappa (องศา)	1.3902023
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.868

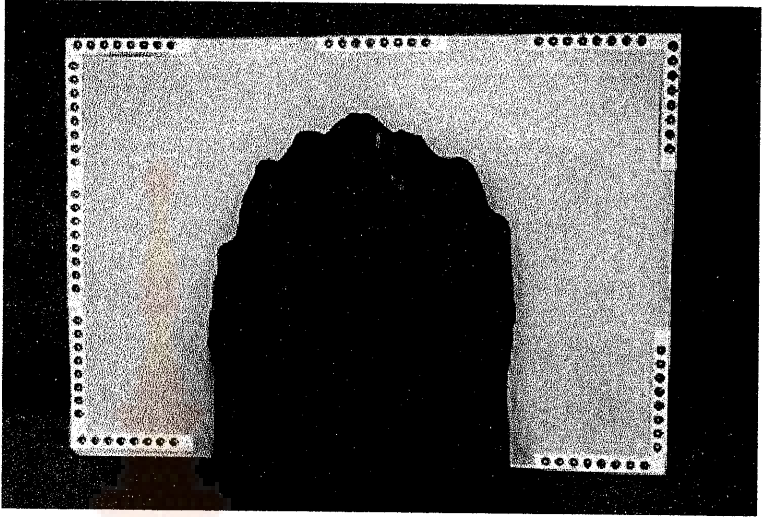
ชื่อภาพ	IMG_2825
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Yama
หมายเลขภาพ	1
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.106
ตำแหน่งทาง X (มม)	-0.001
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-0.003
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-0.000
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	0.1947893
มุม Phi (องศา)	-0.0398191
มุม Kappa (องศา)	0.0071805
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.233

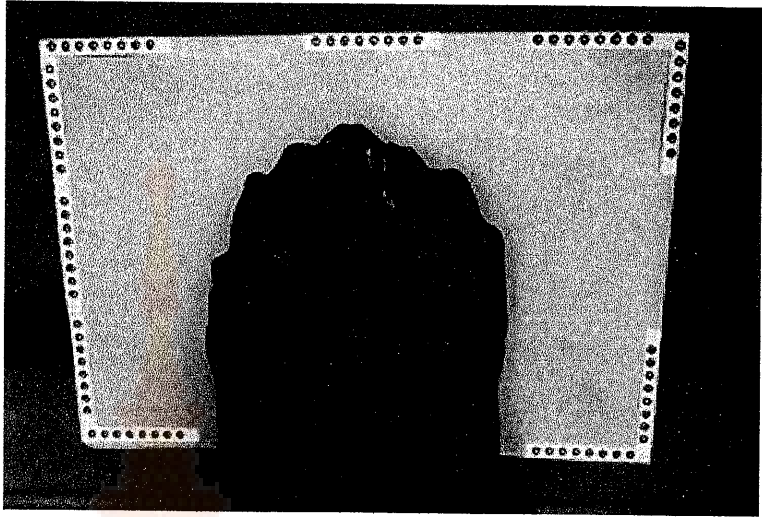
ชื่อภาพ	IMG_2826
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Yama
หมายเลขภาพ	2
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.102
ตำแหน่งทาง X (มม)	0.012
ตำแหน่งทาง Y (มม)	0.168
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-0.017
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-9.8491368
มุม Phi (องศา)	0.1786872
มุม Kappa (องศา)	-0.8177760
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.171

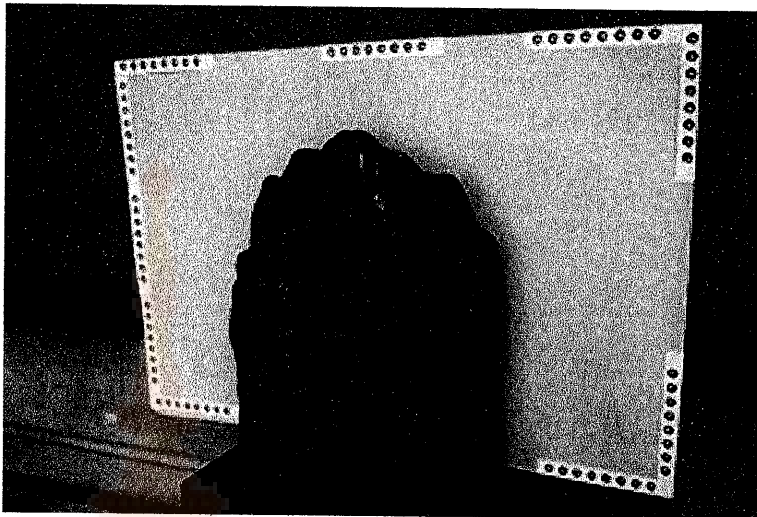
ชื่อภาพ	IMG_2827
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Yama
หมายเลขภาพ	3
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.282
ตำแหน่งทาง X (มม)	0.302
ตำแหน่งทาง Y (มม)	0.168
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-0.034
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-10.1940529
มุม Phi (องศา)	18.2787227
มุม Kappa (องศา)	1.7836700
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.559

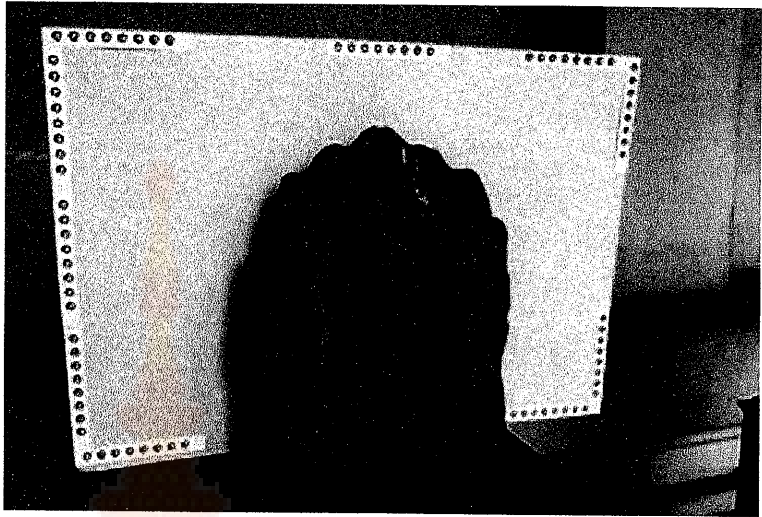
ชื่อภาพ	IMG_2828
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Yama
หมายเลขภาพ	4
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.294
ตำแหน่งทาง X (มม)	-0.353
ตำแหน่งทาง Y (มม)	0.171
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-0.011
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-10.4974587
มุม Phi (องศา)	-19.8850120
มุม Kappa (องศา)	-3.5973458
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.651

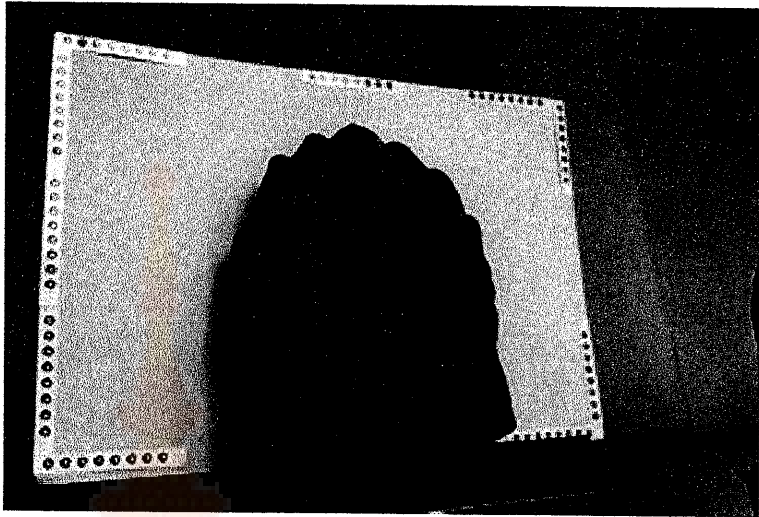
ชื่อภาพ	IMG_2832
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Yama
หมายเลขภาพ	5
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.292
ตำแหน่งทาง X (มม)	-0.058
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-0.298
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-0.037
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	17.1402106
มุม Phi (องศา)	-2.9528437
มุม Kappa (องศา)	0.2703607
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.763

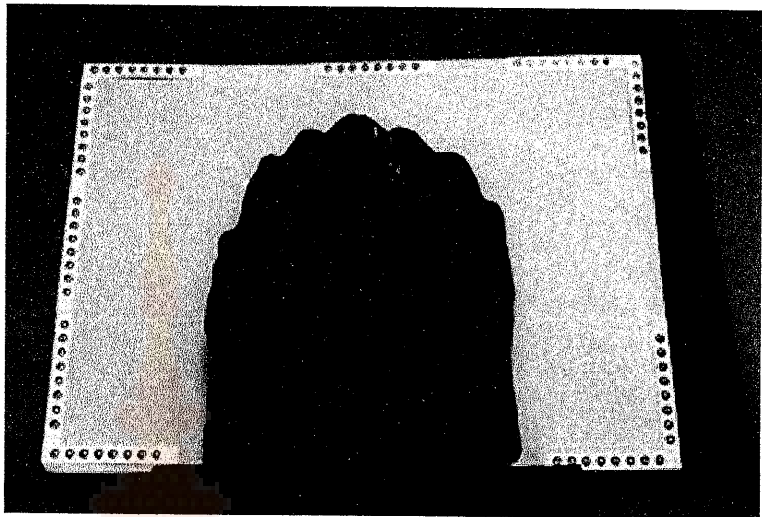
ชื่อภาพ	IMG_2825
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Yama
หมายเลขภาพ	1
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.130
ตำแหน่งทาง X (มม)	-0.925
ตำแหน่งทาง Y (มม)	0.052
ตำแหน่งทาง Z (มม)	0.077
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-0.0026512
มุม Phi (องศา)	-0.0426820
มุม Kappa (องศา)	-0.0024968
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.345

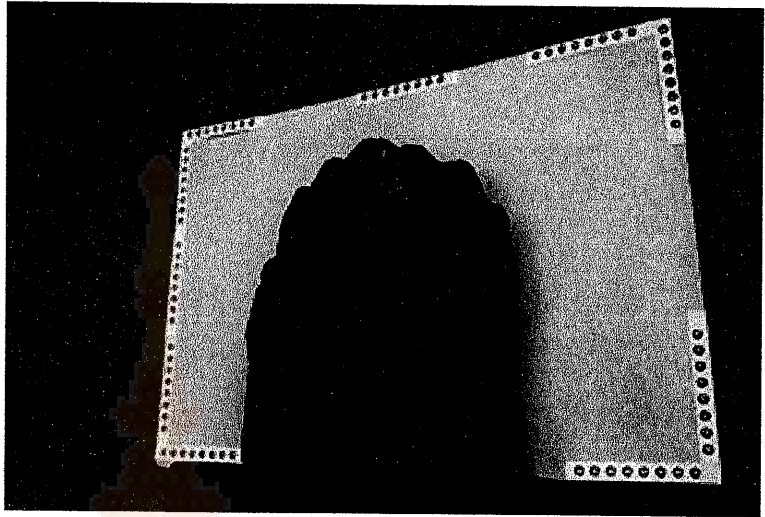
ชื่อภาพ	IMG_2826
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Yama
หมายเลขภาพ	2
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.241
ตำแหน่งทาง X (มม)	15.565
ตำแหน่งทาง Y (มม)	205.729
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-20.392
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-10.0555291
มุม Phi (องศา)	0.1720909
มุม Kappa (องศา)	-0.8282131
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.408

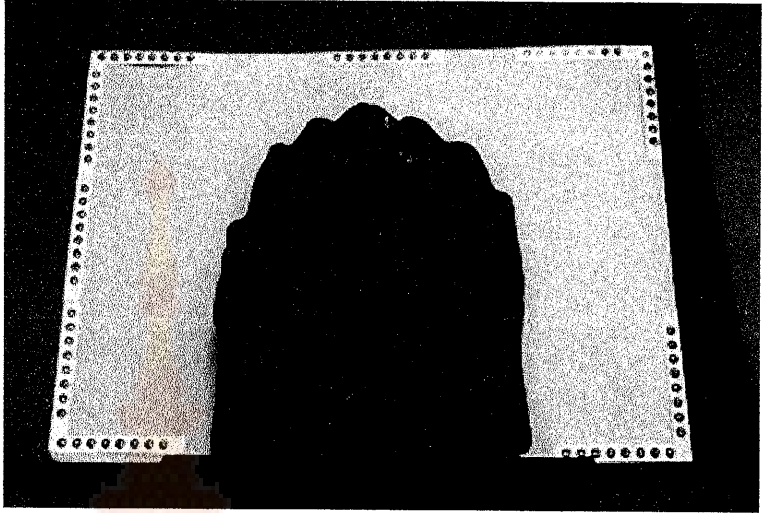
ชื่อภาพ	IMG_2827
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Yama
หมายเลขภาพ	3
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.391
ตำแหน่งทาง X (มม)	361.412
ตำแหน่งทาง Y (มม)	205.243
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-41.426
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-10.4019699
มุม Phi (องศา)	18.2805120
มุม Kappa (องศา)	1.7696620
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.681

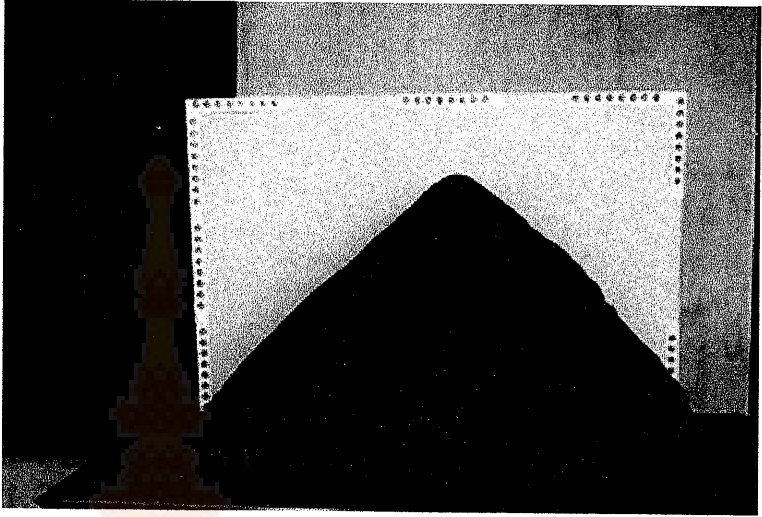
ชื่อภาพ	IMG_2828
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Yama
หมายเลขภาพ	4
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.371
ตำแหน่งทาง X (มม)	-421.373
ตำแหน่งทาง Y (มม)	209.112
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-14.249
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-10.7249504
มุม Phi (องศา)	-19.8899733
มุม Kappa (องศา)	-3.6053905
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.711

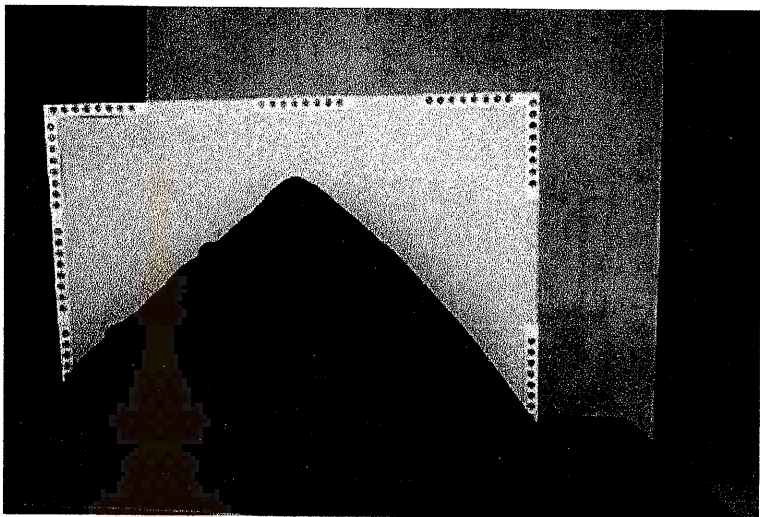
ชื่อภาพ	IMG_2829
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Yama
หมายเลขภาพ	5
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.463
ตำแหน่งทาง X (มม)	-528.584
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-353.483
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-65.455
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	18.1218693
มุม Phi (องศา)	-26.2012994
มุม Kappa (องศา)	2.4808644
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.980

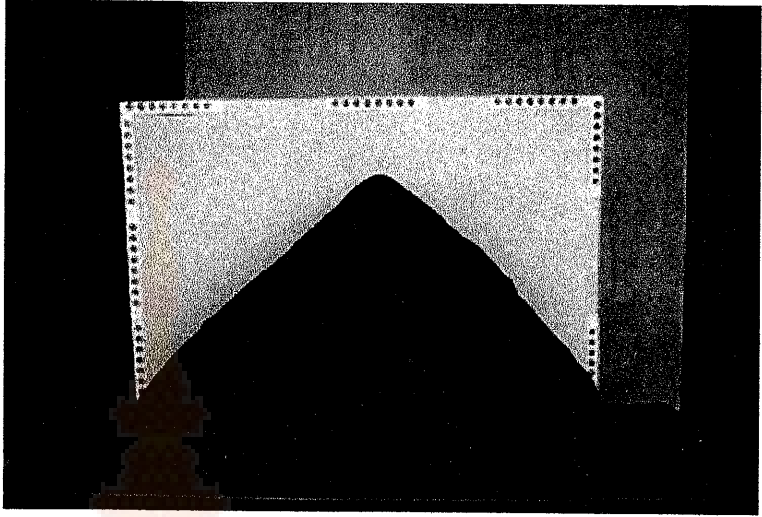
ชื่อภาพ	IMG_2830
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Yama
หมายเลขภาพ	6
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.175
ตำแหน่งทาง X (มม)	-51.167
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-351.660
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-35.648
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	17.1185165
มุม Phi (องศา)	-2.9271730
มุม Kappa (องศา)	-0.1709751
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.727

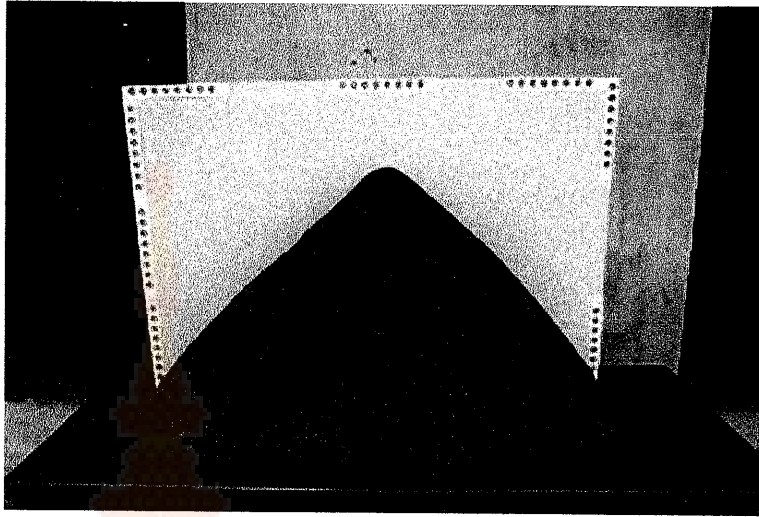
ชื่อภาพ	IMG_2831
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Yama
หมายเลขภาพ	7
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.518
ตำแหน่งทาง X (มม)	414.345
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-353.553
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-53.343
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	18.9464494
มุม Phi (องศา)	21.6102363
มุม Kappa (องศา)	-6.0098998
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.876

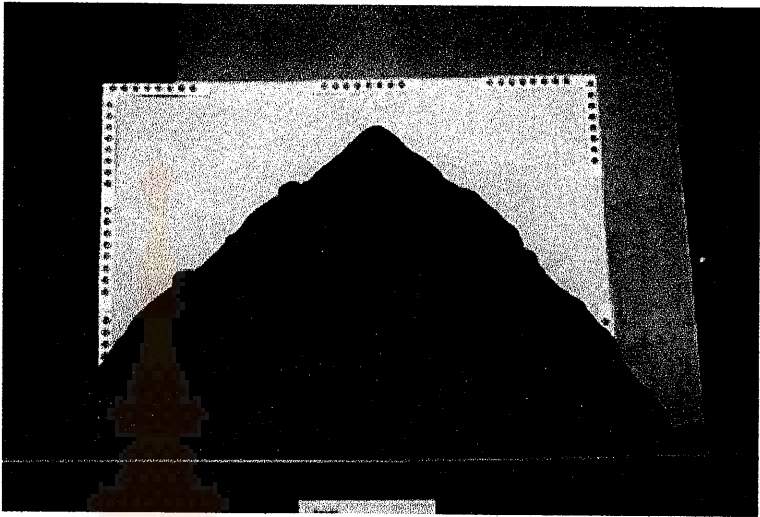
ชื่อภาพ	IMG_2832
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Antefix With Yama
หมายเลขภาพ	8
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.187
ตำแหน่งทาง X (มม)	-68.866
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-352.118
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-43.277
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	16.9355750
มุม Phi (องศา)	-2.9446306
มุม Kappa (องศา)	0.2609991
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.613

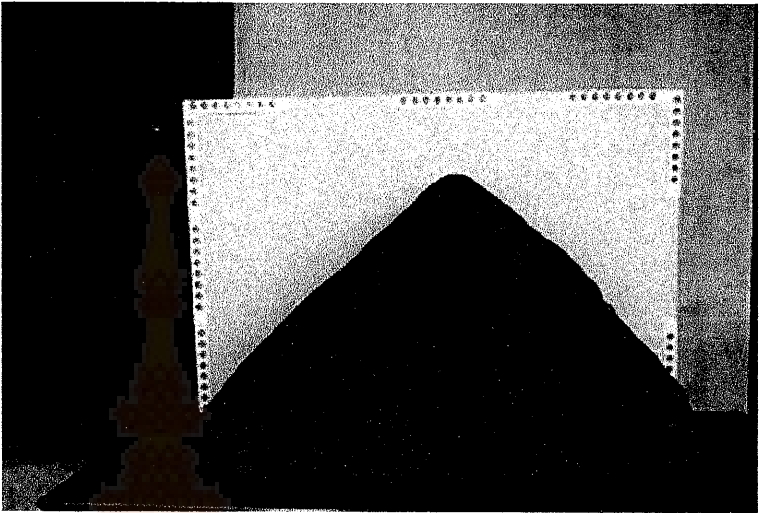
ชื่อภาพ	IMG_2849
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	1
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.143
ตำแหน่งทาง X (มม)	-96.259
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-194.675
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-74.951
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	9.5367059
มุม Phi (องศา)	1.4513002
มุม Kappa (องศา)	0.1087657
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.261

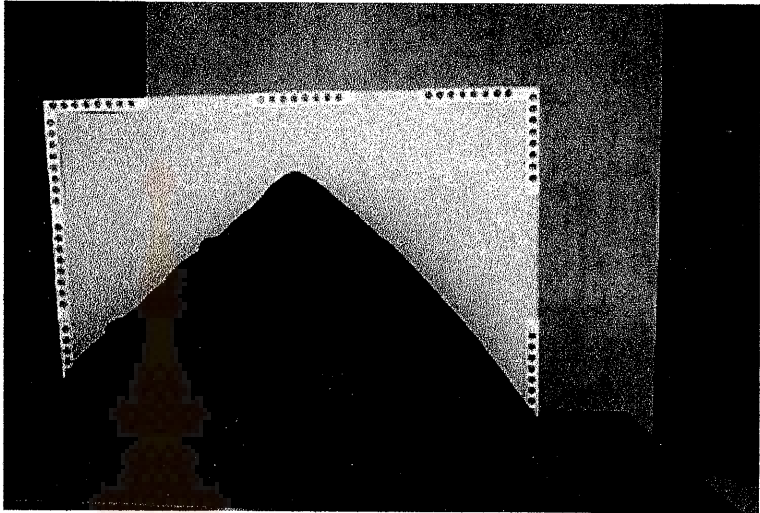
ชื่อภาพ	IMG_2850
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	2
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.133
ตำแหน่งทาง X (มม)	209.549
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-195.194
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-80.621
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	9.5426414
มุม Phi (องศา)	1.8856931
มุม Kappa (องศา)	0.1872611
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.500

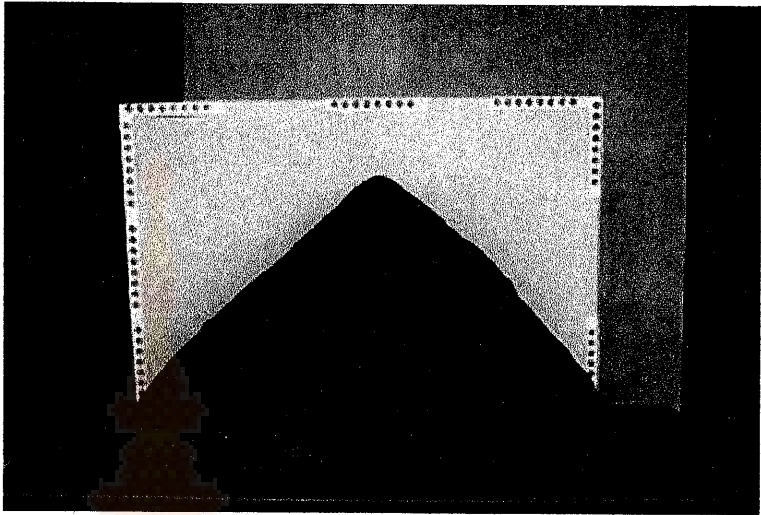
ชื่อภาพ	IMG_2851
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	3
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.100
ตำแหน่งทาง X (มม)	1.693
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-205.491
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-28.695
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	9.5270173
มุม Phi (องศา)	-0.5664845
มุม Kappa (องศา)	0.0053571
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.251

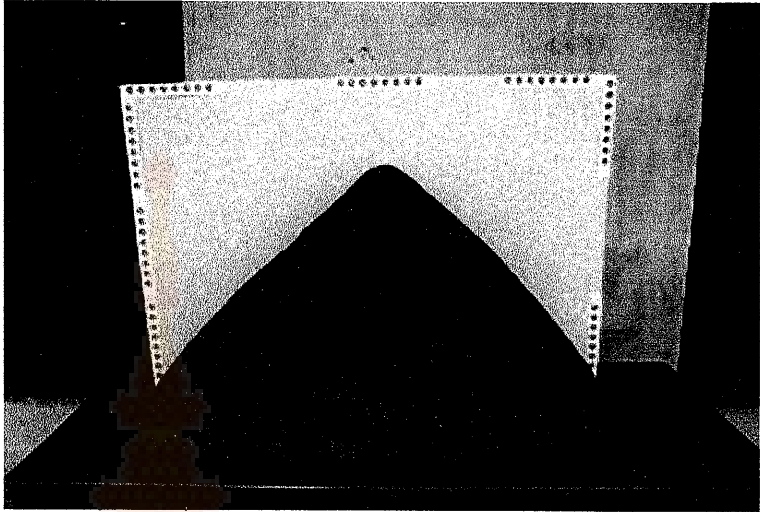
ชื่อภาพ	IMG_2852
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	4
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.135
ตำแหน่งทาง X (มม)	-0.297
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-0.455
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-0.033
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	0.0176439
มุม Phi (องศา)	-0.0107823
มุม Kappa (องศา)	-0.0001764
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.351

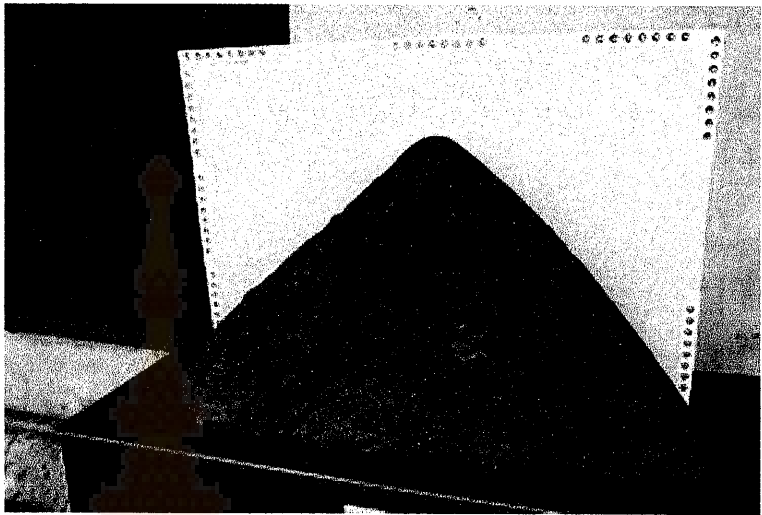
ชื่อภาพ	IMG_2856
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	5
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.096
ตำแหน่งทาง X (มม)	0.351
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-526.178
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-233.228
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	22.8276536
มุม Phi (องศา)	-1.1558245
มุม Kappa (องศา)	-0.6277928
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.388

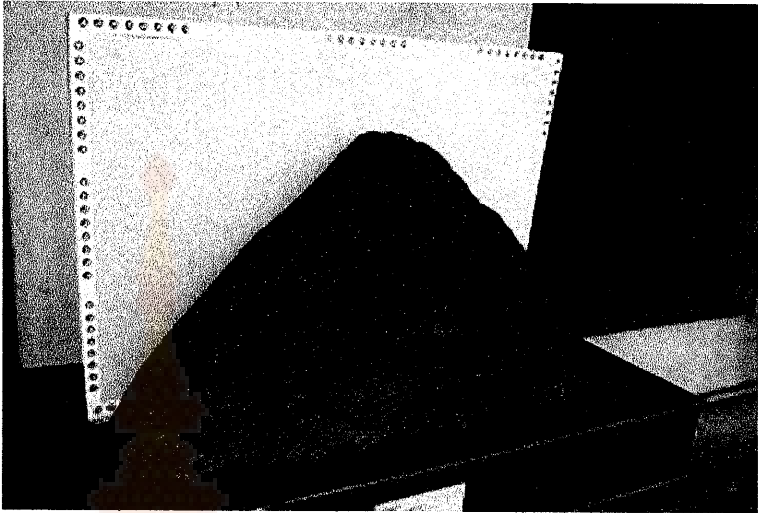
ชื่อภาพ	IMG_2849
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	1
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.192
ตำแหน่งทาง X (มม)	-93.941
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-193.661
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-74.378
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	9.4880620
มุม Phi (องศา)	1.5382415
มุม Kappa (องศา)	0.1021499
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.366

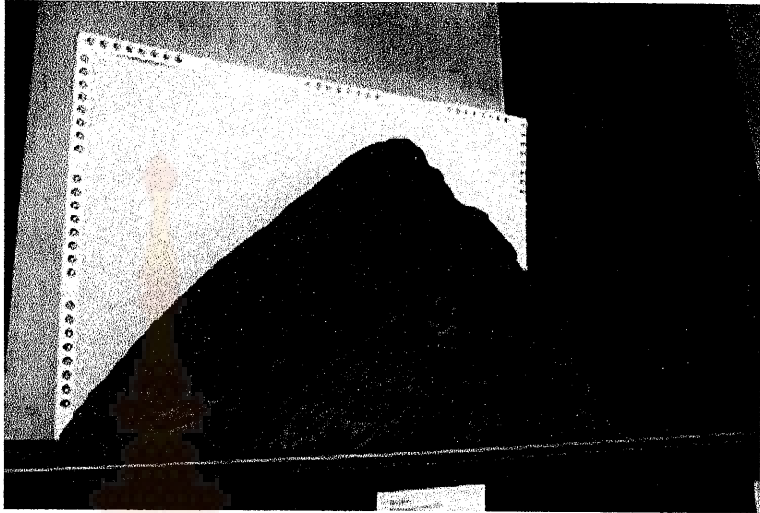
ชื่อภาพ	IMG_2850
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	2
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.312
ตำแหน่งทาง X (มม)	211.988
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-194.169
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-80.543
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	9.4957752
มุม Phi (องศา)	1.9702330
มุม Kappa (องศา)	0.1839874
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.774

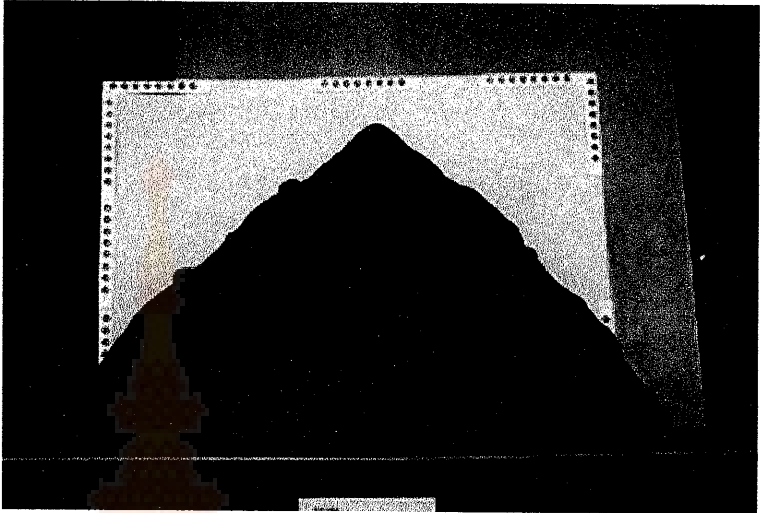
ชื่อภาพ	IMG_2851
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	3
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.164
ตำแหน่งทาง X (มม)	4.200
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-204.348
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-28.239
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	9.4751840
มุม Phi (องศา)	-0.4774961
มุม Kappa (องศา)	0.0002772
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.404

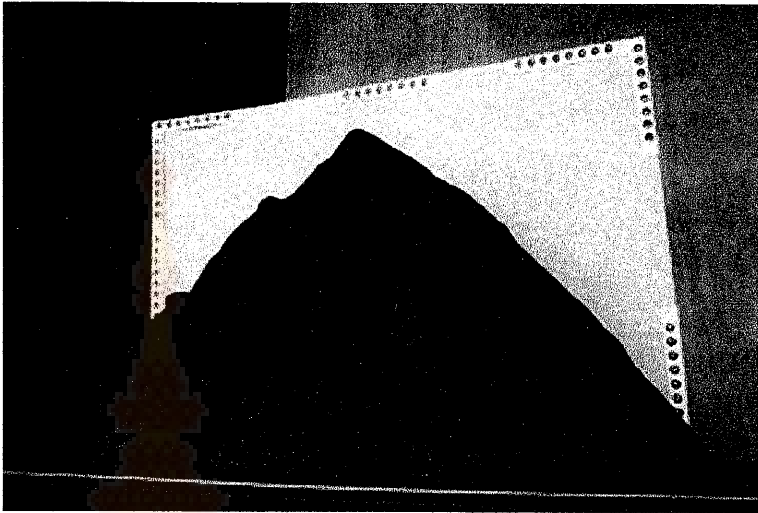
ชื่อภาพ	IMG_2852
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	4
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.115
ตำแหน่งทาง X (มม)	2.144
ตำแหน่งทาง Y (มม)	0.298
ตำแหน่งทาง Z (มม)	0.165
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-0.0130549
มุม Phi (องศา)	0.0756512
มุม Kappa (องศา)	0.0067862
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.222

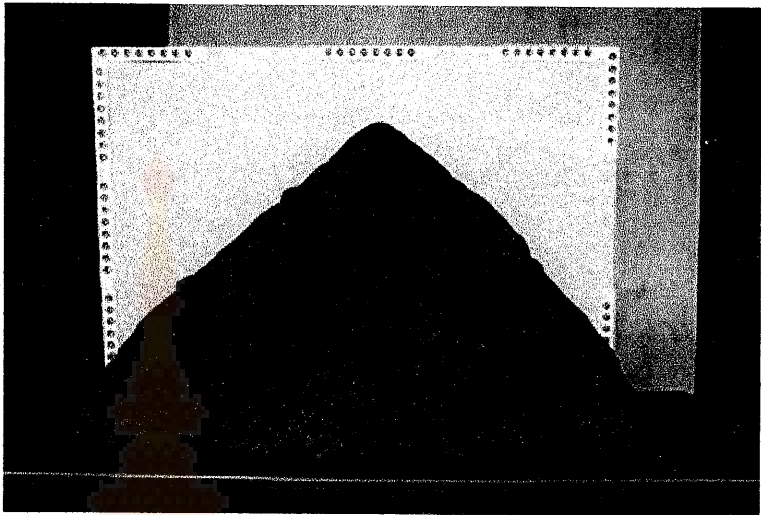
ชื่อภาพ	IMG_2853
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	5
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.384
ตำแหน่งทาง X (มม)	247.401
ตำแหน่งทาง Y (มม)	23.662
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-143.281
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-3.2670442
มุม Phi (องศา)	15.0035615
มุม Kappa (องศา)	3.5087326
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.084

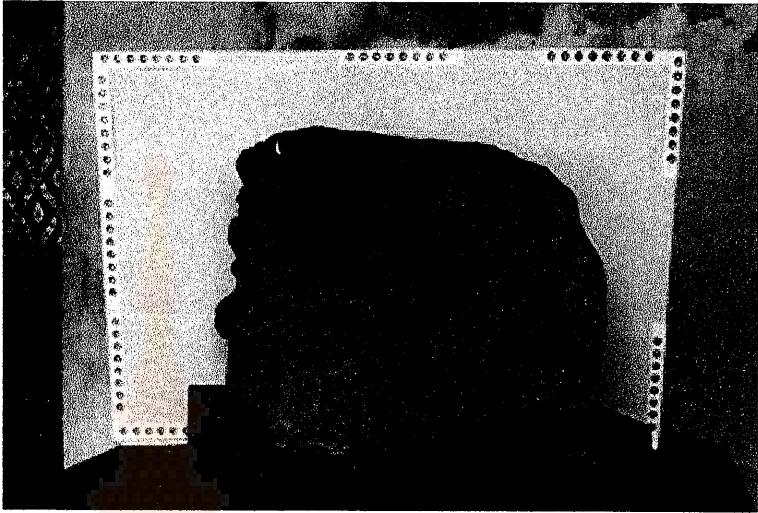
ชื่อภาพ	IMG_2854
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	6
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.243
ตำแหน่งทาง X (มม)	-631.031
ตำแหน่งทาง Y (มม)	44.216
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-242.601
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-4.7860295
มุม Phi (องศา)	-28.9050082
มุม Kappa (องศา)	-3.7147737
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.391

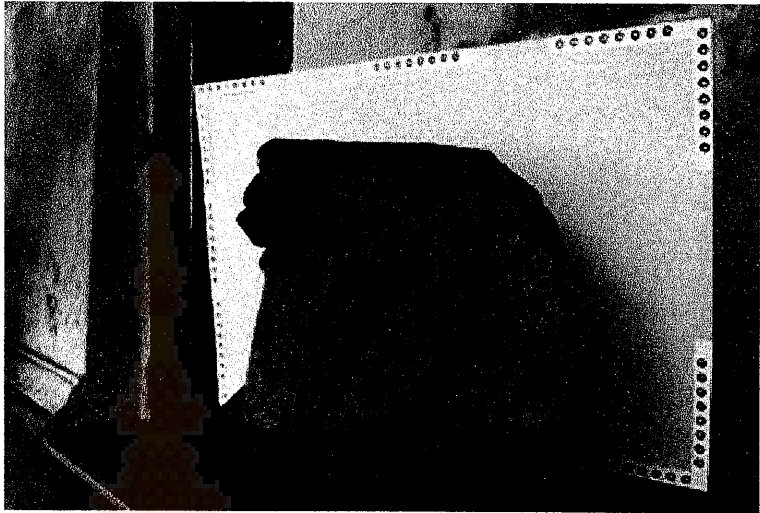
ชื่อภาพ	IMG_2855
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	7
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.242
ตำแหน่งทาง X (มม)	-564.614
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-511.287
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-310.395
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	24.1742206
มุม Phi (องศา)	-26.8898883
มุม Kappa (องศา)	4.9435948
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.670

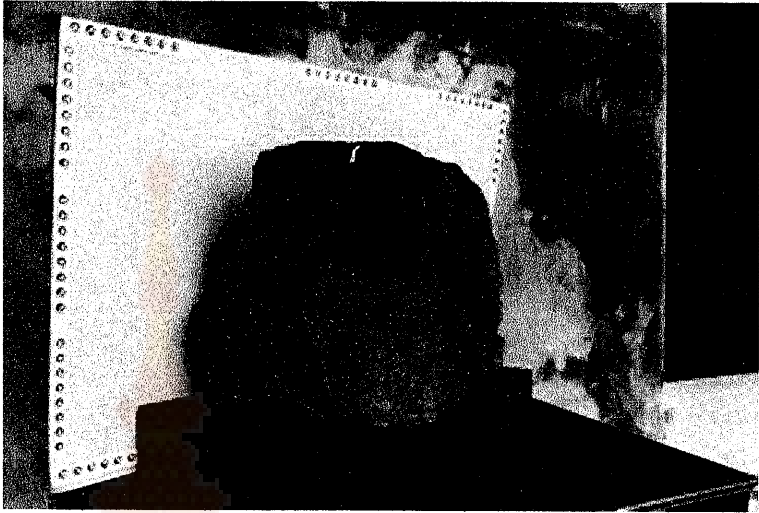
ชื่อภาพ	IMG_2856
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	8
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.143
ตำแหน่งทาง X (มม)	3.551
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-525.218
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-232.425
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	22.7667952
มุม Phi (องศา)	-1.0363457
มุม Kappa (องศา)	-0.6417079
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.390

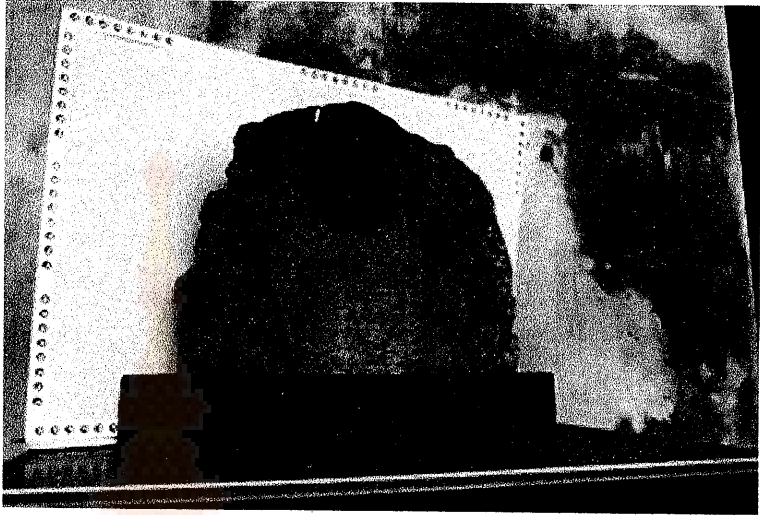
ชื่อภาพ	IMG_2857
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	9
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.233
ตำแหน่งทาง X (มม)	392.186
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-494.822
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-368.864
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	25.1157963
มุม Phi (องศา)	18.3913543
มุม Kappa (องศา)	-4.5578234
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.798

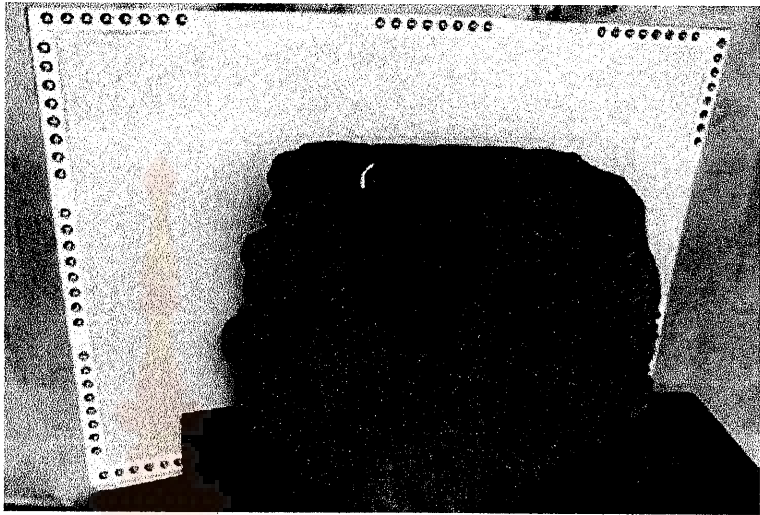
ชื่อภาพ	IMG_2858
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Fragment of Pediment
หมายเลขภาพ	10
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.171
ตำแหน่งทาง X (มม)	-3.163
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-281.997
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-175.705
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	10.6363862
มุม Phi (องศา)	-1.1539882
มุม Kappa (องศา)	0.4260341
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.375

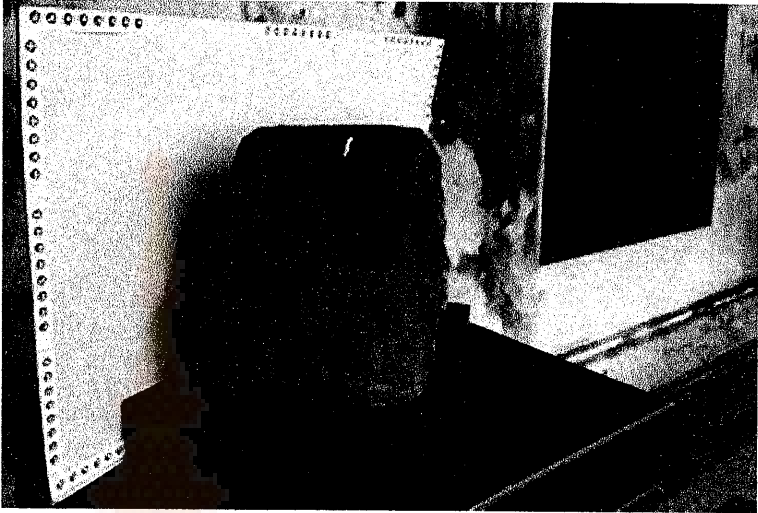
ชื่อภาพ	IMG_2862
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	1
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.164
ตำแหน่งทาง X (มม)	-0.683
ตำแหน่งทาง Y (มม)	12.368
ตำแหน่งทาง Z (มม)	11.309
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-0.7006478
มุม Phi (องศา)	-0.1705046
มุม Kappa (องศา)	0.2313630
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.444

ชื่อภาพ	IMG_2863
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	2
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.454
ตำแหน่งทาง X (มม)	565.156
ตำแหน่งทาง Y (มม)	19.422
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-71.265
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-1.3030261
มุม Phi (องศา)	28.4198148
มุม Kappa (องศา)	1.6816408
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.167

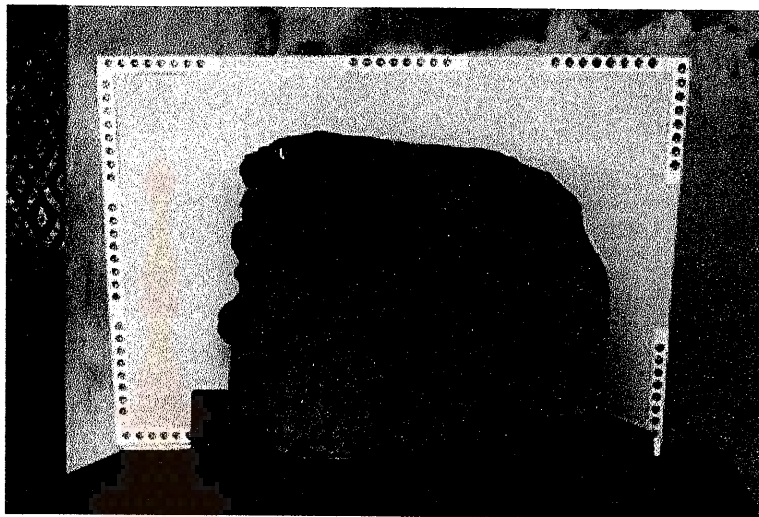
ชื่อภาพ	IMG_2864
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	3
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.342
ตำแหน่งทาง X (มม)	-845.334
ตำแหน่งทาง Y (มม)	11.104
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-166.603
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-0.8418942
มุม Phi (องศา)	-43.9890320
มุม Kappa (องศา)	-1.3066804
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.685

ชื่อภาพ	IMG_2866
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	4
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.488
ตำแหน่งทาง X (มม)	-630.794
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-272.880
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-41.874
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	12.9547450
มุม Phi (องศา)	-32.9649976
มุม Kappa (องศา)	5.6561627
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.943

ชื่อภาพ	IMG_2872
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	5
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.556
ตำแหน่งทาง X (มม)	-351.272
ตำแหน่งทาง Y (มม)	243.735
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-224.092
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-14.0905795
มุม Phi (องศา)	-17.2078678
มุม Kappa (องศา)	-4.2418994
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.162

ชื่อภาพ	IMG_2873
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	6
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.456
ตำแหน่งทาง X (มม)	-985.089
ตำแหน่งทาง Y (มม)	244.484
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-358.608
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-24.5224788
มุม Phi (องศา)	-54.9003111
มุม Kappa (องศา)	-21.4456873
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.412

ชื่อภาพ	IMG_2874
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	7
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	1.137
ตำแหน่งทาง X (มม)	-1035.109
ตำแหน่งทาง Y (มม)	72.665
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-274.266
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-6.5704417
มุม Phi (องศา)	-55.1510947
มุม Kappa (องศา)	-7.7723769
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	3.175

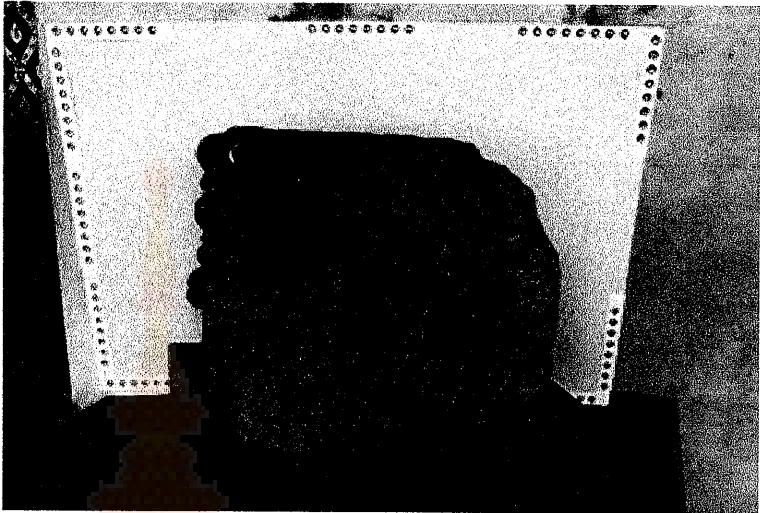
ชื่อภาพ	IMG_2862
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	1
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.184
ตำแหน่งทาง X (มม)	-277.161
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-222.382
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-32.252
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	12.5531671
มุม Phi (องศา)	-12.0256307
มุม Kappa (องศา)	-0.6923308
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.385

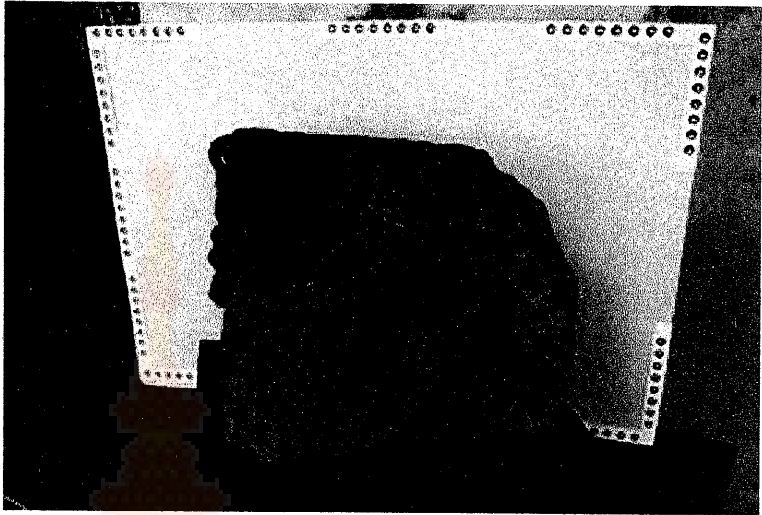
ชื่อภาพ	IMG_2863
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	2
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.594
ตำแหน่งทาง X (มม)	293.573
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-231.582
ตำแหน่งทาง Z (มม)	2.153
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	12.4810656
มุม Phi (องศา)	16.5722977
มุม Kappa (องศา)	0.6192553
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.419

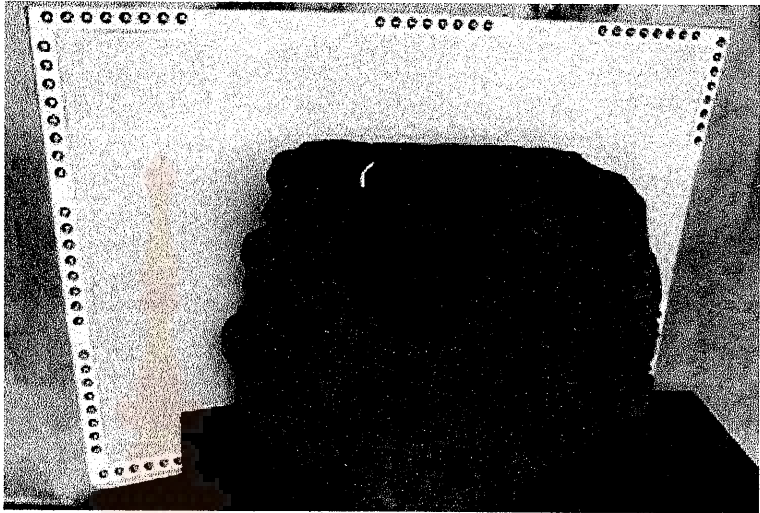
ชื่อภาพ	IMG_2864
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	3
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.229
ตำแหน่งทาง X (มม)	-1066.859
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-133.070
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-133.070
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	11.2610484
มุม Phi (องศา)	-55.8269202
มุม Kappa (องศา)	-2.9573880
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.689

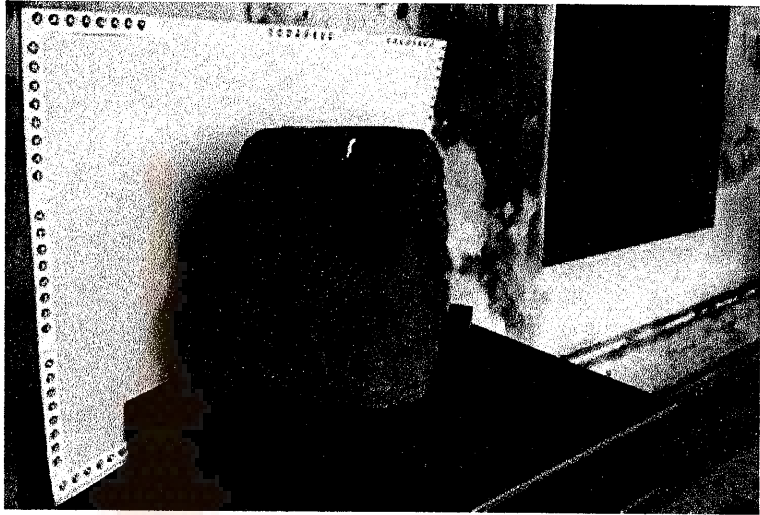
ชื่อภาพ	IMG_2865
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	4
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.220
ตำแหน่งทาง X (มม)	-277.704
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-487.972
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-126.103
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	24.1973235
มุม Phi (องศา)	-12.6778054
มุม Kappa (องศา)	0.7923400
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.416

ชื่อภาพ	IMG_2866
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	5
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.441
ตำแหน่งทาง X (มม)	-886.184
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-450.670
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-273.675
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	28.0475803
มุม Phi (องศา)	-44.6619210
มุม Kappa (องศา)	8.3442338
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	1.034

ชื่อภาพ	IMG_2869
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	6
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.282
ตำแหน่งทาง X (มม)	-200.562
ตำแหน่งทาง Y (มม)	-3.274
ตำแหน่งทาง Z (มม)	28.817
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-0.5473949
มุม Phi (องศา)	-10.9714643
มุม Kappa (องศา)	-3.1428719
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.442

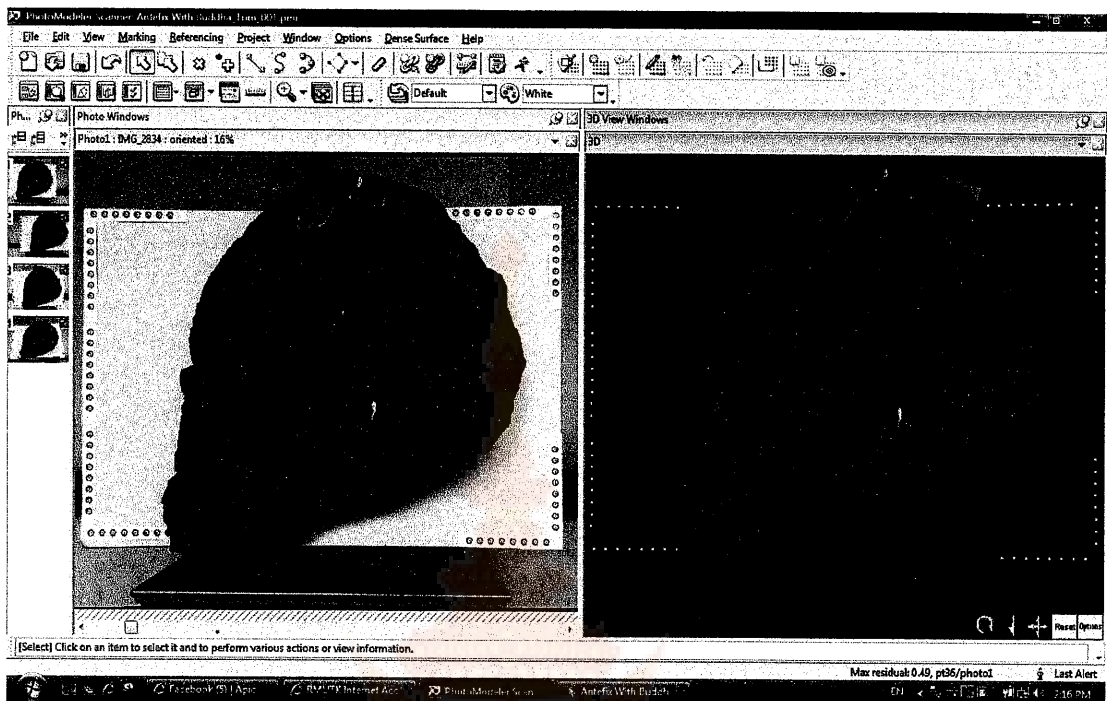
ชื่อภาพ	IMG_2870
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	7
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.323
ตำแหน่งทาง X (มม)	9.178
ตำแหน่งทาง Y (มม)	5.852
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-1.796
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-0.2479808
มุม Phi (องศา)	0.4088243
มุม Kappa (องศา)	-0.0270758
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.546

ชื่อภาพ	IMG_2872
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	8
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.460
ตำแหน่งทาง X (มม)	-568.414
ตำแหน่งทาง Y (มม)	76.170
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-271.586
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-2.3122933
มุม Phi (องศา)	-28.4673335
มุม Kappa (องศา)	-8.3370534
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.845

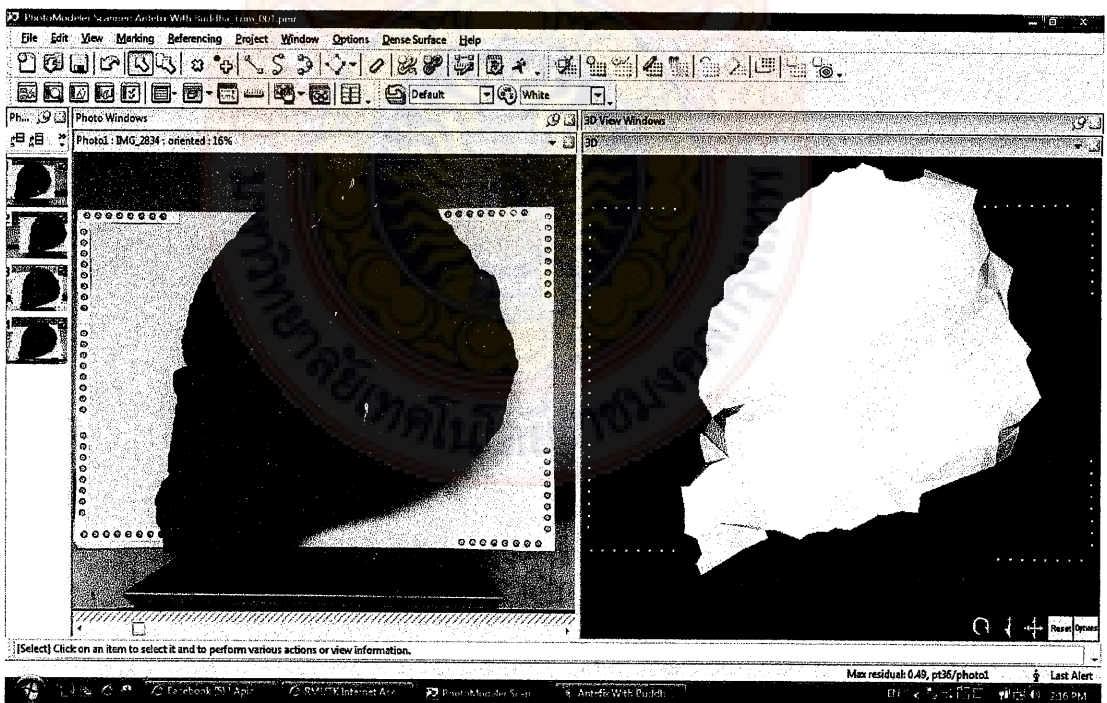
ชื่อภาพ	IMG_2873
ตัวอย่างภาพ	
ชิ้นงาน	Naga Head
หมายเลขภาพ	9
การวางตัว	yes
ความยาวภาพ (จุดภาพ)	4752
ความกว้างภาพ (จุดภาพ)	3168
กล้องถ่ายภาพ	2:Canon EOS 50D [20-00] - Idealized
ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	0.236
ตำแหน่งทาง X (มม)	-1161.148
ตำแหน่งทาง Y (มม)	145.776
ตำแหน่งทาง Z (มม)	-524.466
ความยาวโฟกัส (มม)	21.047893222674
มุม Omega (องศา)	-22.6750129
มุม Phi (องศา)	-64.8241207
มุม Kappa (องศา)	-34.6908158
ความคลาดเคลื่อนสูงสุด	0.750

ภาคผนวก ก-

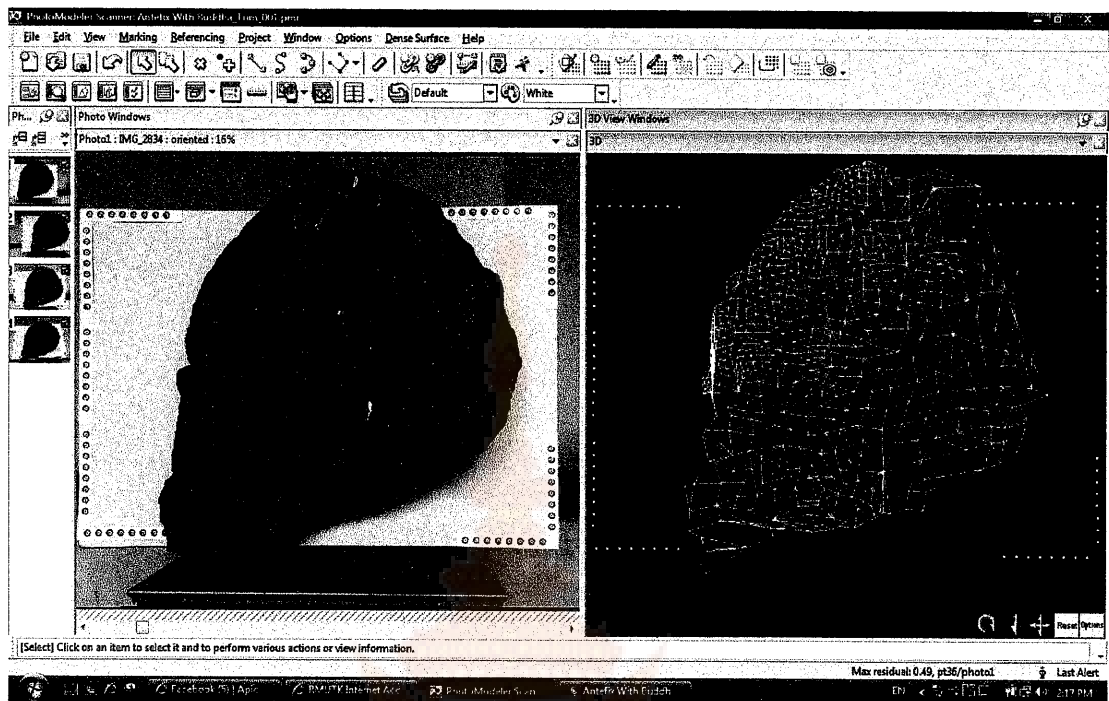




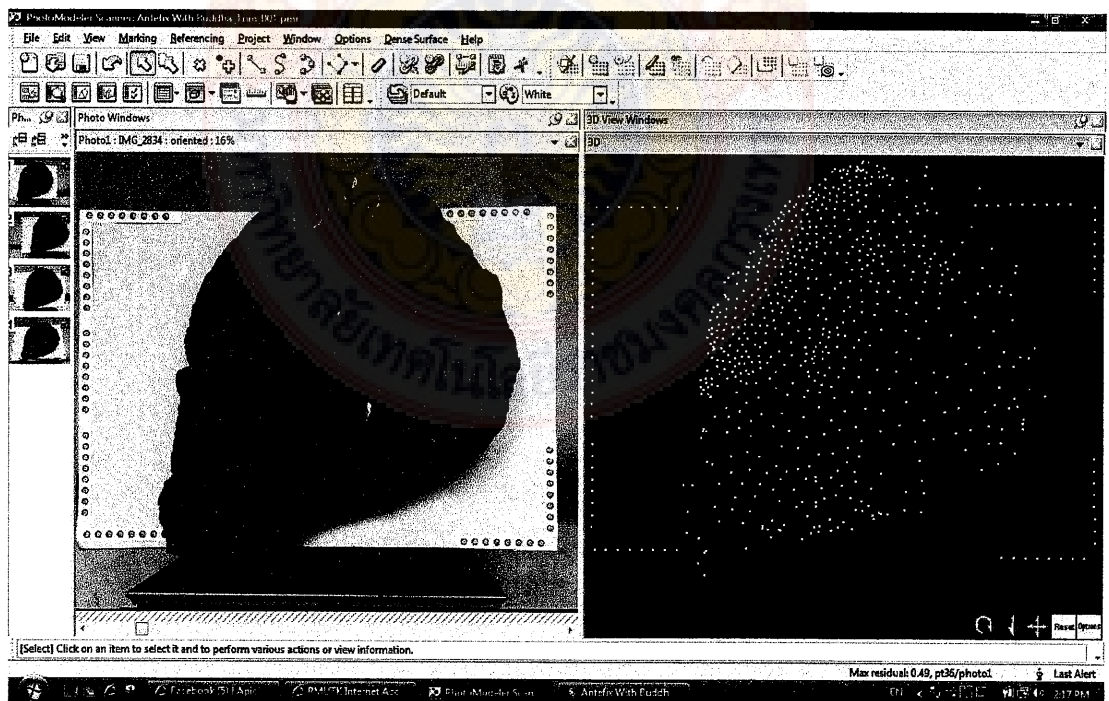
รูปที่ ค.1 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปที่ 1



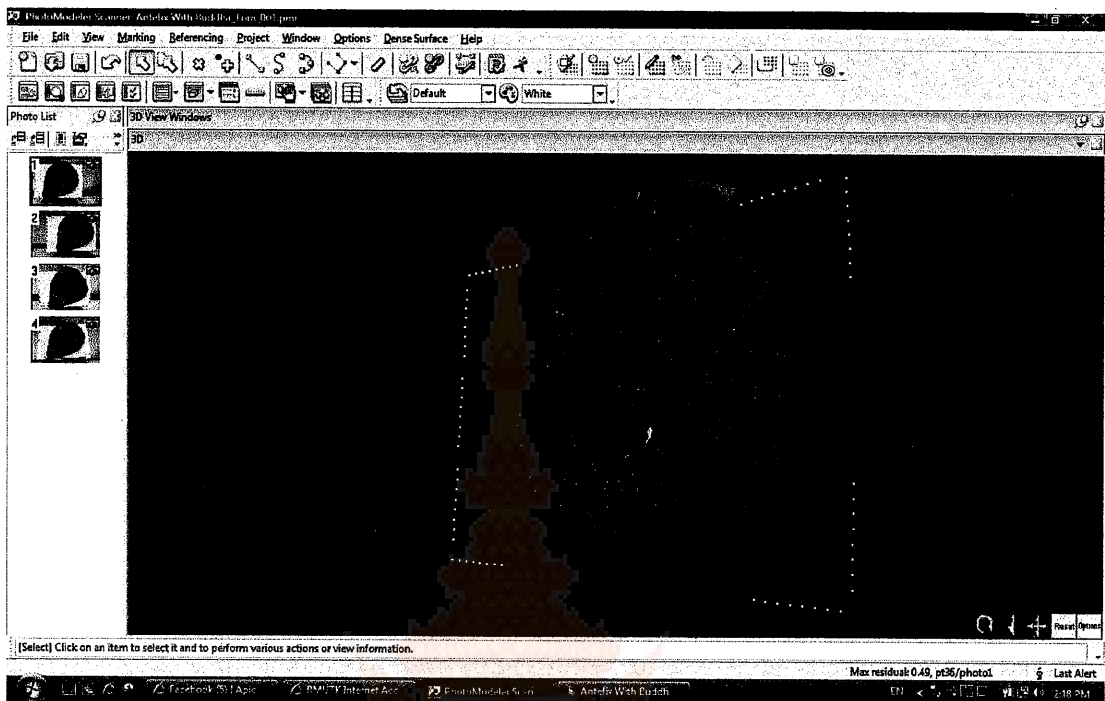
รูปที่ ค.2 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปที่ 2



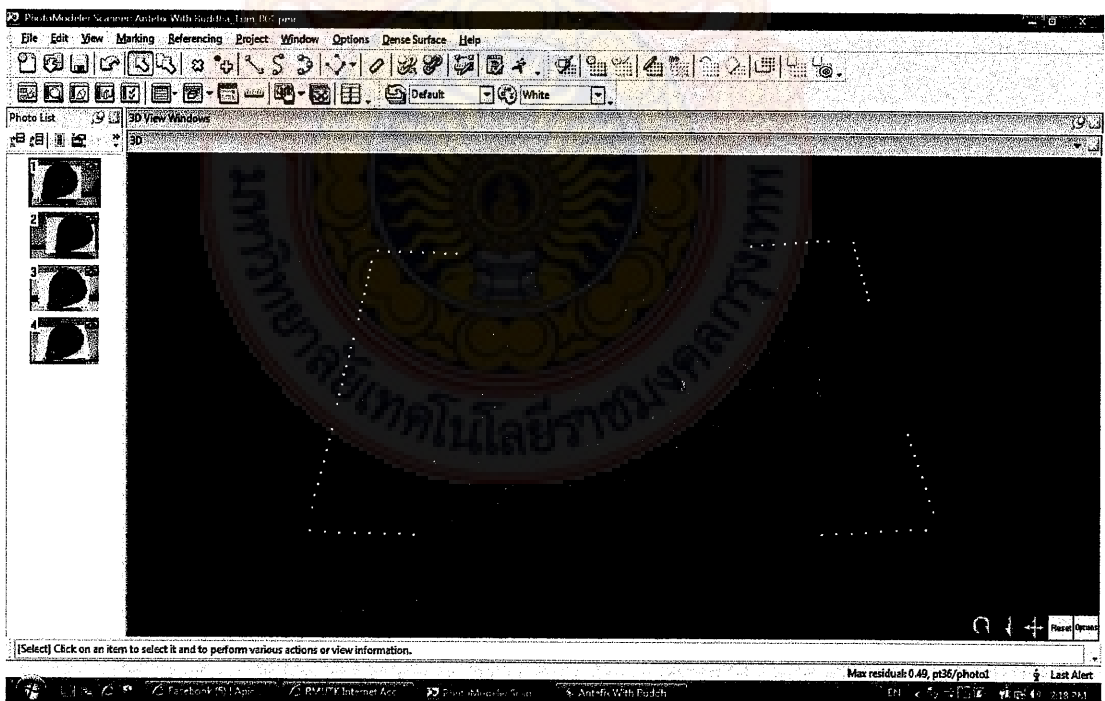
รูปที่ ค.3 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปที่ 3



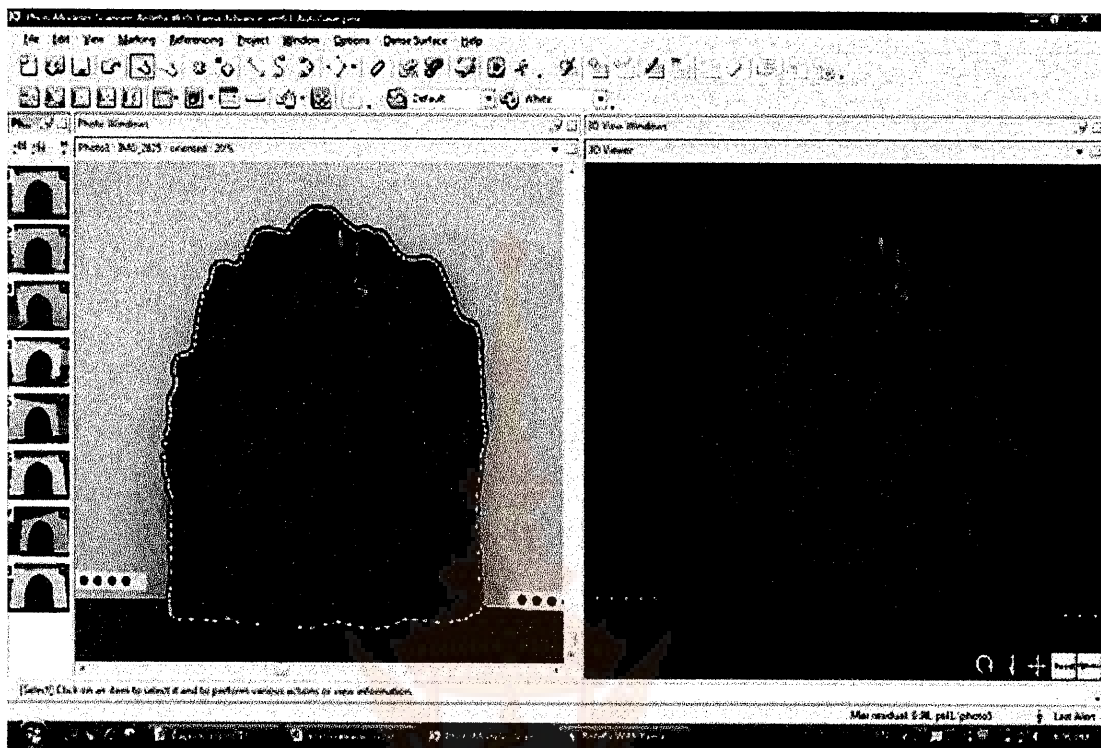
รูปที่ ค.4 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปที่ 4



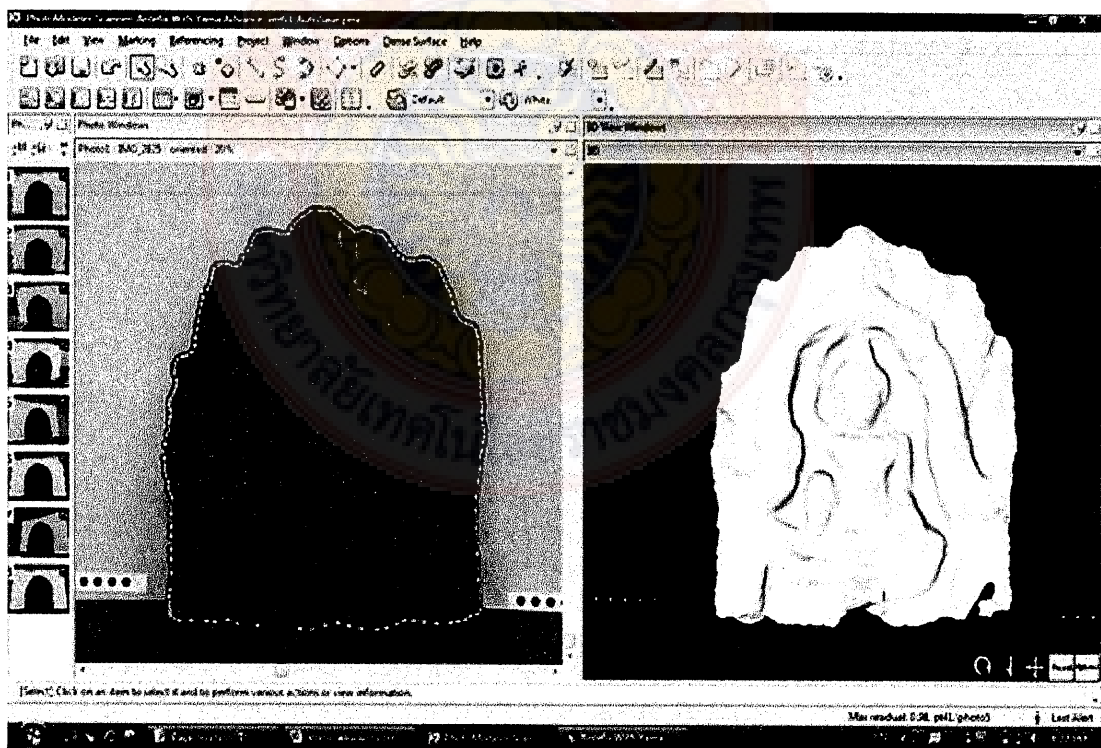
รูปที่ ค.5 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปที่ 5



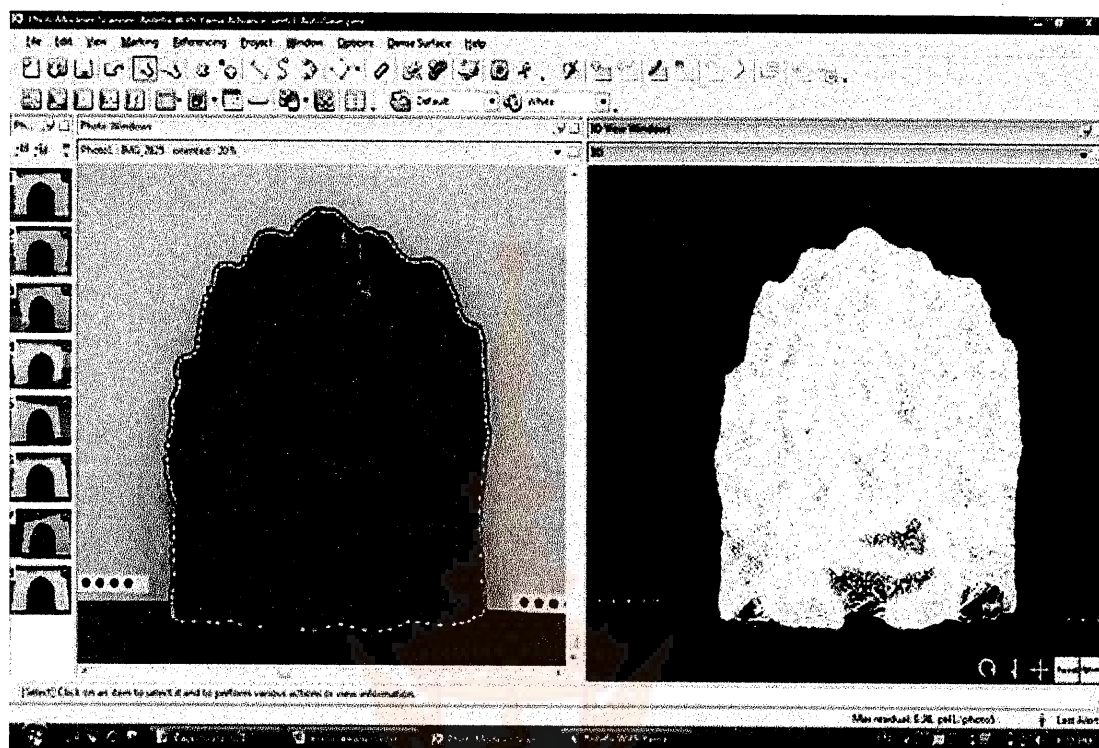
รูปที่ ค.6 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 1 รูปที่ 6



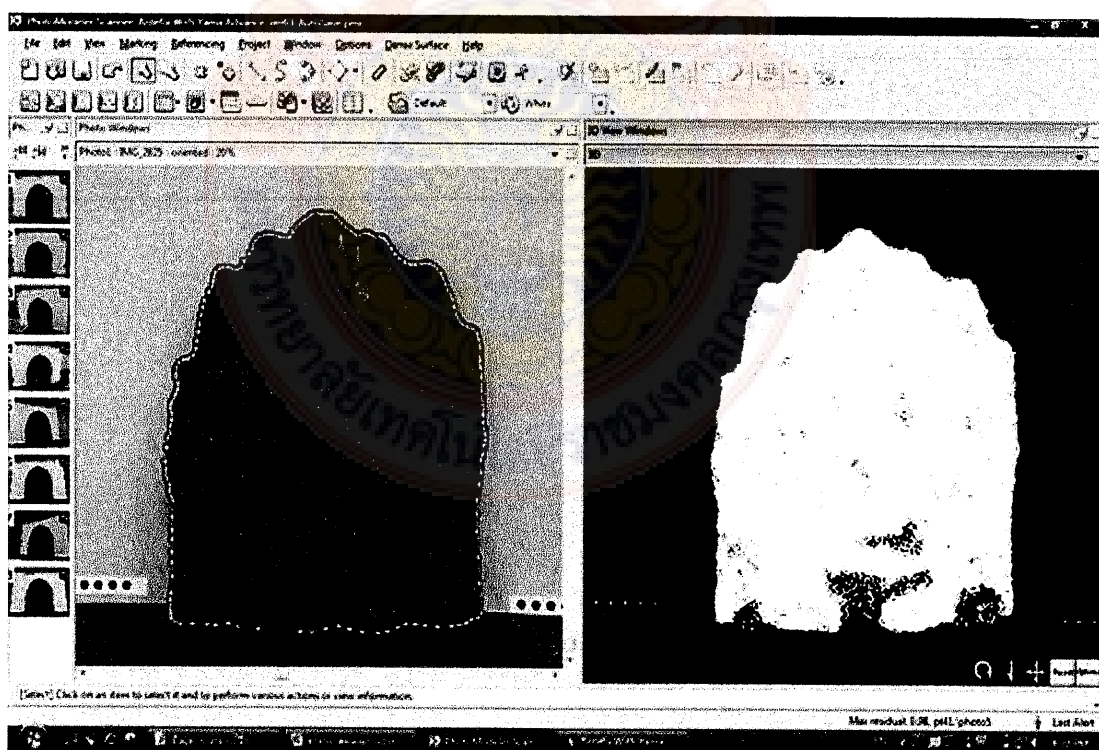
รูปที่ ค.7 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 1



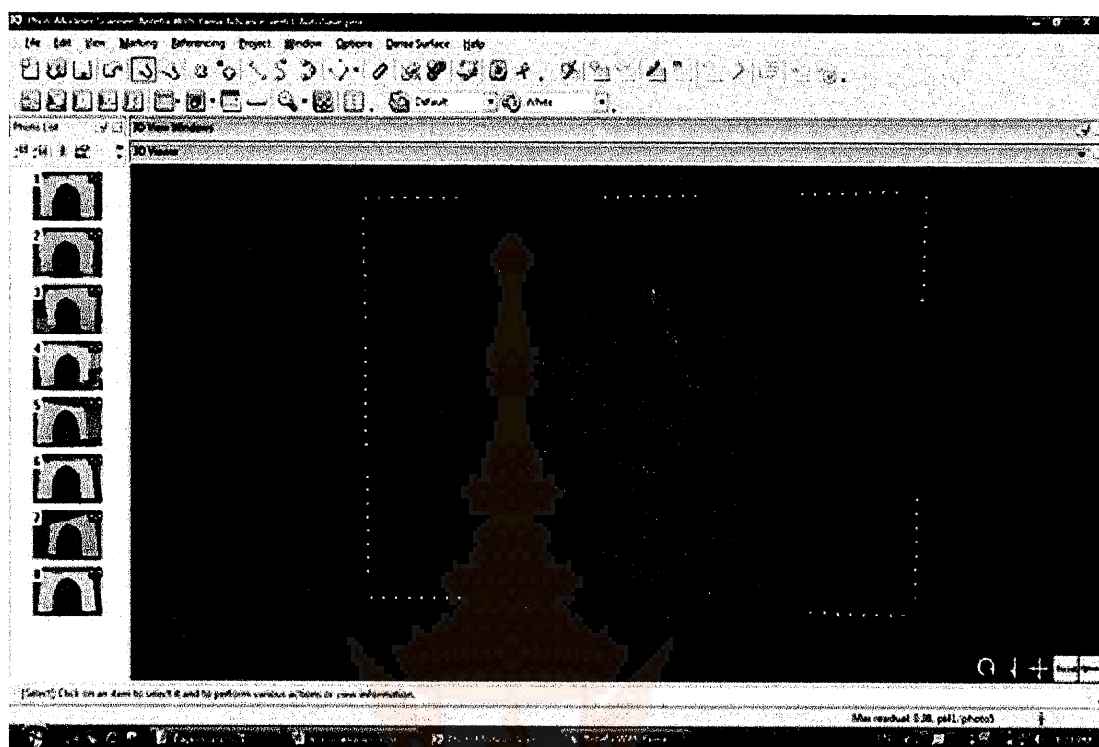
รูปที่ ค.8 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 2



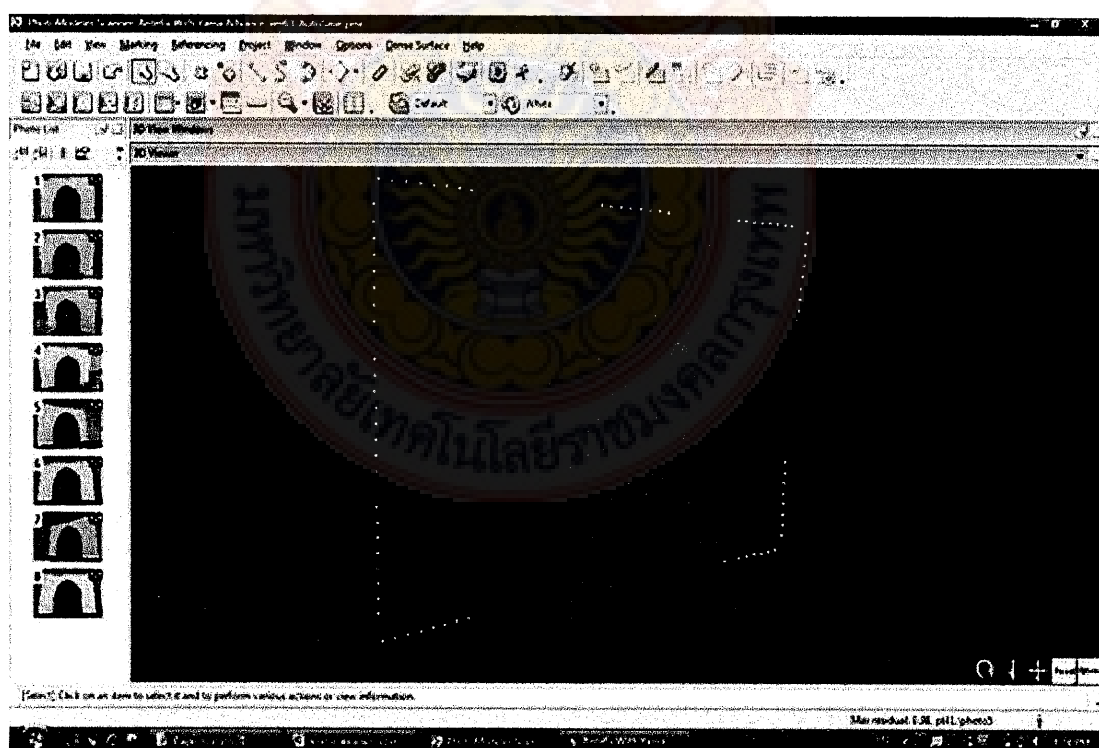
รูปที่ ค.9 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 3



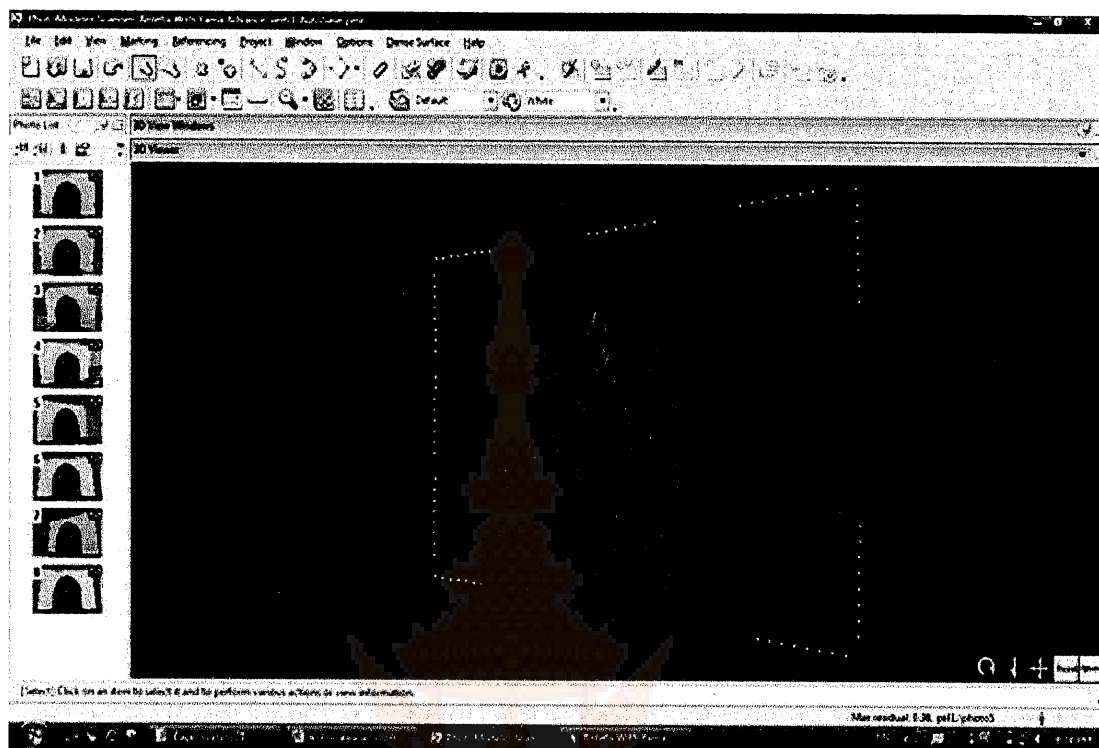
รูปที่ ค.10 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 4



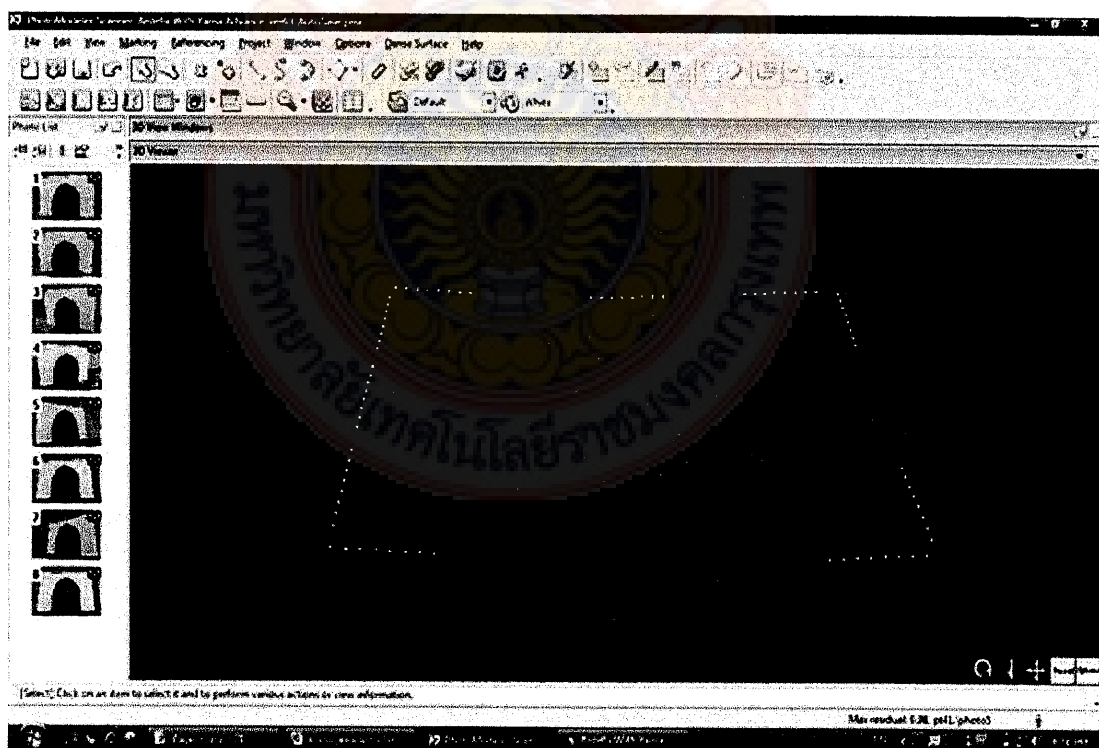
รูปที่ ค.11 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 5



รูปที่ ค.12 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 6



รูปที่ ค.13 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 7



รูปที่ ค.14 ภาพถ่ายแบบจำลองสามมิติที่ 3 รูปที่ 8