



รายงานการวิจัย

การบูรณาการงานสำรวจเพื่อการอนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์

THE INTEGRATED SURVEY FOR PRESERVATION
OF A HISTORICAL SITES

นายณรงค์ พูนพจน์มาศ

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2555

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยการบูรณาการงานสำรวจเพื่อการอนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์ เป็นโครงการภายใต้การอุดหนุนงานวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2555 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ สาขางานวิจัยประยุกต์ โครงการวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดีภายใต้ความร่วมมือของหน่วยงานภายในมหาวิทยาลัยฯ ที่ให้การสนับสนุนการดำเนินงานตลอดมา ในที่นี้ขอขอบคุณหัวหน้าอุทยานและเจ้าหน้าที่อุทยานภายใน อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย อำเภอเมืองจังหวัดสุโขทัย และสำนักงานศิลปากรที่ 6 ที่อำนวยความสะดวกในการทำงานวิจัยรวมถึงการติดต่อประสานงานเพื่อดำเนินโครงการวิจัย



บทคัดย่อ

การบูรณาการงานสำรวจเพื่อการอนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์ ดำเนินการสร้างหมวดหลักฐานอ้างอิงจากการสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอส เก็บรายละเอียดพื้นที่และสภาพภูมิประเทศจากการรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม การสร้างแบบจำลองสามมิติและภาพออร์โทของโบราณสถานในพื้นที่วัดซ่อนข้าว อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย มีเนื้อที่โดยประมาณ 2 ไร่และเป็นที่ตั้งของเจดีย์ประธานทรงพุ่มข้าวบิณฑ์

เริ่มการดำเนินการจากการสร้างหมวดหลักฐานอ้างอิงด้วยการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสวิธีสถิตย์จำนวน 3 หมวด ซึ่งใช้สำหรับงานรังวัดรายละเอียดและลักษณะภูมิประเทศด้วยกล้องประมวลผลรวม SOKKIA SET3X โดยวิธีการกำหนดรหัสของจุดรังวัด แบบจำลองสามมิติของโบราณสถานในพื้นที่วัดซ่อนข้าวสร้างเทคนิคการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ อาศัยภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลคอนเนกชันไอเอส 50 ดี กับเลนส์ความยาวโฟกัส 20.9780 มิลลิเมตรด้วยความละเอียดของจุดภาพ 4752 x 3168 จุดภาพ เงื่อนไขการบันทึกถ่ายภาพคำนึงถึงส่วนซ้อนของภาพและมุมตัดของลำแสงในการปรับแก้บล็อกลำแสงอิสระ การสร้างภาพออร์โทของโบราณสถานอาศัยข้อมูลแบบจำลองสามมิติเพื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่ง และบูรณาการข้อมูลงานสำรวจทั้งหมดบนโปรแกรม Autodesk 3ds Max

ผลการดำเนินการบูรณาการข้อมูลหมวดหลักฐานอ้างอิง แผนที่รายละเอียด แผนที่ภูมิประเทศแบบจำลองสามมิติ ในลักษณะของการทับซ้อนข้อมูลตำแหน่งบนระบบพิกัดเดียวกัน สามารถแสดงผลภาพของการสร้างข้อมูลเพื่อการอนุรักษ์สำหรับพื้นที่ทางประวัติศาสตร์ และสามารถรองรับการใช้งานข้อมูลทั้งด้านวิศวกรรมและด้านสถาปัตยกรรม

Abstract

The integration of surveying for preservation of a historical site by established reference bench mark from GPS satellite surveying, which collects the area detail, topographic from measuring by total station. Creating the three-dimensional model and orthographic of historical site at Wat Son Khao, Sukhothai's historical park, Amphoe mueng, Sukhothai Province, which about two rai size and located the lotus bud shaped chedi.

Starting with reference bench mark by receiving the satellite signal from statics method, that are used for detail and topographic measured using total station SOKKIA SET3X and specifying code of survey points. On 3D modeling of the ancient remains in Wat Son Khao area by close range photogrammetry technique and use photographs from CANON EOS 50D digital camera with 20.9780 millimeter focal length lens with 4752x3168 pixels image. The conditions of taking the photos have been considered the overlapping of the object and the bundle intersection for Independent bundle block adjustment. Creating the ortho photograph of historical site using the data from three dimensional model in order to consider the relief displacement and integration of surveying data on Autodesk 3ds Max.

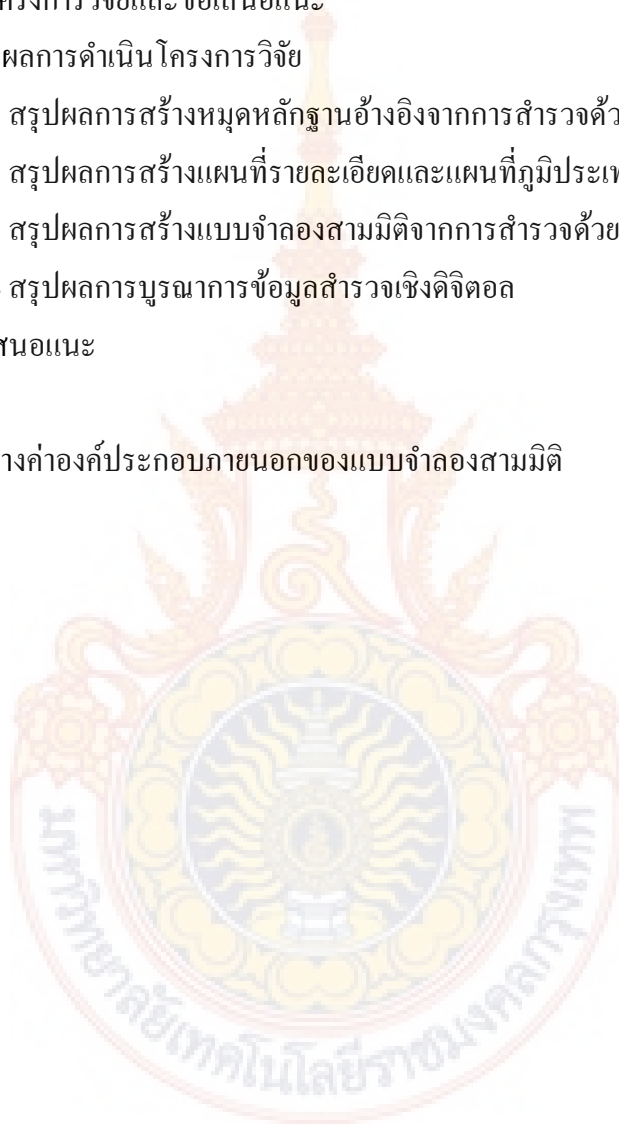
As a result of this integration by reference bench mark data, detailing map, topographic map, and three-dimensional model in the term of overlay the data at the same coordinates can creating the data for historical site preservation and support the manner for engineering and architecture.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ฉ
สารบัญตาราง	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 หลักการ ทฤษฎีและ วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การสำรวจภูมิประเทศ	6
2.2 ภาพถ่ายดิจิทัล	7
2.3 เงื่อนไขสภาวะร่วมเส้น (Colinearity Condition)	7
2.4 การปรับแก้บล็อกค่าแสง (Bundle Block Adjustment)	10
2.5 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 การสร้างหมุดหลักฐานอ้างอิง	21
3.2 การสร้างแผนที่รายละเอียดและภูมิประเทศ	25
3.3 การสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถาน	27
3.4 การบูรณาการข้อมูลสำรวจเชิงดิจิทัล	35
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน โครงการวิจัย	
4.1 ผลของการสร้างหมุดหลักฐานอ้างอิง	37
4.2 ผลการสร้างแผนที่รายละเอียดและภูมิประเทศ	39
4.3 ผลการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถาน	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ผลการบูรณาการข้อมูลสำรวจเชิงดิจิทัล	51
บทที่ 5 สรุปผลโครงการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการวิจัย	54
5.1.1 สรุปผลการสร้างหมวดหลักฐานอ้างอิงจากการสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอส	54
5.1.2 สรุปผลการสร้างแผนที่รายละเอียดและแผนที่ภูมิประเทศ	54
5.1.3 สรุปผลการสร้างแบบจำลองสามมิติจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้	55
5.1.4 สรุปผลการบูรณาการข้อมูลสำรวจเชิงดิจิทัล	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก ก ตารางค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติ	62



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการฉายของภาพถ่าย	7
2.2 เงื่อนไขสภาวะร่วมเส้น	8
2.3 ระบบพิกัดฉากภาพถ่ายซึ่งถูกหมุนให้ขนานกับระบบพิกัดจริง	10
2.4 บล็อกค่าแสงของภาพถ่ายระยะใกล้	11
2.5 แบบจำลองสามมิติจากภาพถ่ายดิจิทัลด้วยโปรแกรม PhotoModeler	12
2.6 แบบจำลองสามมิติเสมือนจริงจากการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายและ TLS	12
2.7 ภาพถ่ายบริเวณหน้าผารูปสลัก Great Buddha	14
2.8 แบบจำลองสามมิติของหน้าผาจากภาพถ่าย	14
2.9 แบบจำลองสามมิติภายในของ Byzantine Crypt	15
2.10 แบบจำลองสามมิติส่วนหนึ่งภายในของ Temple C of Selinunte	16
2.11 แบบจำลองสามมิติของรูปปั้น Zeus of Ugento	16
2.12 แบบจำลองสามมิติของบริเวณวิหารอพอลโล	17
2.13 แบบจำลองสามมิติในบริเวณ FELIX ROMULIANA ประเทศเซอร์เบีย	19
3.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม SOKKIA GRX1	21
3.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม SOKKIA GSR1700 CSX	22
3.3 ลักษณะโครงข่ายหมุดควบคุมแบบ Quadrilaterals	23
3.4 แผนที่ภาพถ่ายที่ตีพิมพ์หลักฐานอ้างอิง D20789 กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย	24
3.5 โครงข่ายหมุดหลักฐานชั่วคราวในบริเวณวัดซ่อนข้าว	24
3.6 กล้องประมวลผลรวม SOKKIA SET3X	25
3.7 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล แคนนอน อีโอเอส 50 ดี	27
3.8 ภาพถ่ายแผ่นวัดสอปเพื่อการประมวลผลค่าองค์ประกอบภายใน	29
3.9 ลักษณะของการถ่ายภาพในงานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้	30
3.10 ตัวอย่างข้อมูลภาพถ่ายระยะใกล้ที่มีส่วนซ้อน	31
3.11 การรังวัดจุด เส้น และพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติที่ 1	32
3.12 การรังวัดจุด เส้น และพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติที่ 2	33
3.13 การรังวัดจุด เส้น และพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติที่ 3	33
3.14 การรังวัดจุด เส้น และพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติที่ 4	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 การกำหนดแกนพิกัดและความละเอียดของภาพออร์โธ	35
3.16 การบูรณาการข้อมูลลักษณะทับซ้อน	36
4.1 โครงข่ายหมุดหลักฐานอ้างอิง GPS	37
4.2 แผนที่แสดงรายละเอียดบริเวณพื้นที่วัดซ่อนข้าว	40
4.3 แผนที่ภูมิประเทศแสดงเส้นชั้นความสูงบริเวณพื้นที่วัดซ่อนข้าว	40
4.4 ค่าองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส 50 ดี	41
4.5 ภาพถ่ายดิจิทัลสำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1	42
4.6 ภาพถ่ายดิจิทัลสำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 2	43
4.7 ภาพถ่ายดิจิทัลสำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 3	43
4.8 ภาพถ่ายดิจิทัลสำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 4	44
4.9 องค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 1	44
4.10 องค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 2	45
4.11 องค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3	45
4.12 รายละเอียดพื้นผิวแบบจำลองสามมิติที่ 1	46
4.13 รายละเอียดพื้นผิวแบบจำลองสามมิติที่ 2	47
4.14 รายละเอียดพื้นผิวแบบจำลองสามมิติที่ 3	47
4.15 รายละเอียดพื้นผิวแบบจำลองสามมิติที่ 4	48
4.16 พื้นผิวจากภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 1	48
4.17 พื้นผิวจากภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 2	49
4.18 พื้นผิวจากภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 3	49
4.19 พื้นผิวจากภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 4	50
4.20 ภาพออร์โธของแบบจำลองสามมิติที่ 3	50
4.21 แบบจำลองสามมิติเบื้องต้นในบริเวณวัดซ่อนข้าว	51
4.22 แบบจำลองสามมิติของบริเวณวัดซ่อนข้าว	52
5.1 ภาพออร์โธของแบบจำลองสามมิติที่ 3 ด้านแกน XY	56
5.2 ภาพออร์โธของแบบจำลองสามมิติที่ 3 ทิศทางตั้งฉากแกน XY	57

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม SOKKIA GRX1	22
3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม SOKKIA GSR1700 CSX	23
3.3 คุณสมบัติทางเทคนิคของกล้องประมวลผลรวม SOKKIA SET3X	26
3.4 ตารางแสดงคุณสมบัติทั่วไปของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล แคนนอน อีโอเอส 50 ดี	28
4.1 ผลการประมวลผลพื้นฐานของงานสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอส	38
4.2 ผลการปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานอ้างอิง	39
4.3 จำนวนภาพถ่ายในการสร้างแบบจำลองสามมิติ	42
5.1 ผลสรุปคุณสมบัติทั่วไปของแบบจำลองสามมิติโบราณสถาน	55
ก1 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 1	62
ก2 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 2	68
ก3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3	75
ก4 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 4	86



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันข้อมูลเกี่ยวกับสิ่งก่อสร้างทางประวัติศาสตร์หรือมรดกทางวัฒนธรรมไม่มีการเก็บข้อมูลในแบบดิจิทัล ซึ่งเมื่อเวลาผ่านไปโบราณสถานหรือสิ่งก่อสร้างทางประวัติศาสตร์ก็มีความเสื่อมสลายไปตามสภาวะทางธรรมชาติ โดยการอนุรักษ์หรือบำรุงรักษาไม่มีข้อมูลที่เป็นข้อมูลในเชิงวิศวกรรมส่วนมากมีเพียงภาพถ่าย ซึ่งไม่สามารถทำการรังวัดและแสดงผลได้อย่างมีความถูกต้องในระดับที่กำหนดได้

ตามท้องที่การศึกษาวิทยาศาสตร์และวัฒนธรรมแห่งสหประชาชาติได้นำเสนอกรอบบัตรว่าด้วยการอนุรักษ์มรดกทางดิจิทัล ซึ่งลักษณะของมรดกทางดิจิทัลประกอบด้วยความรู้ของมนุษย์ทั้งที่เป็นด้าน ศิลปวัฒนธรรม, การศึกษา, วิทยาศาสตร์และอื่นๆ โดยที่ข้อมูลทางดิจิทัลหมายรวมถึงข้อความ, ฐานข้อมูล, รูปภาพ, เสียง, วิดีทัศน์, เว็บเพจและในรูปแบบอื่นๆ เพื่อวัตถุประสงค์ในการจัดการ การบำรุงรักษา และการอนุรักษ์สภาวะในปัจจุบันสำหรับการดำเนินการในอนาคต

ทั้งนี้สภาวะของพื้นที่ทางประวัติศาสตร์อยู่ในความเสี่ยงต่อการเสื่อมสลาย เนื่องจากปัจจัยแวดล้อมที่แตกต่างกันทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและจากการพัฒนา จึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการในการสร้างข้อมูลดิจิทัลเพื่อการอนุรักษ์มรดกด้านต่างๆ สำหรับพื้นที่ทางประวัติศาสตร์ซึ่งประกอบด้านสภาพทางภูมิสถาปัตยกรรมและสิ่งก่อสร้างหลายรูปแบบตามแต่พื้นฐานด้านวัฒนธรรม ข้อมูลดิจิทัลที่สามารถแสดงผลให้เห็นมีทั้งที่เป็นภาพออร์โธ (ภาพถ่ายที่มีการฉายลักษณะเดียวกับแผนที่) แบบจำลองสามมิติของบริเวณ

เทคโนโลยีเกี่ยวกับการสร้างข้อมูลทางศิลปวัฒนธรรมแบบดิจิทัล โดยการสำรวจภาคพื้นดินประกอบกับการสำรวจด้วยภาพถ่าย เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลรังวัดและภาพถ่ายมาสร้างแบบจำลองสามมิติจากวัตถุที่ไม่มีข้อมูลหรือแบบของการสร้าง (Reconstruction) ทำให้ทราบถึงมิติและรูปร่างที่แน่นอนของแบบจำลอง อีกทั้งยังเป็นข้อมูลที่สามารถแสดงผลเป็นสามมิติได้ กระบวนการทำงานสำรวจด้วยภาพถ่ายเพื่อสร้างข้อมูลดิจิทัลของพื้นที่ทางประวัติศาสตร์อาศัยการรังวัดจุดควบคุมภาพพื้นดิน, การกำหนดจุดควบคุมภาพถ่าย, การถ่ายภาพทั้งทางอากาศและภาคพื้นดิน, การรังวัดจุดรวมบนภาพถ่าย เพื่อประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายเป็นค่าพิกัดสามมิติ

ทั้งนี้ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีพื้นที่ทางประวัติศาสตร์มากมายอันแสดงถึงลักษณะทางวัฒนธรรมที่หลากหลายตามภูมิภาค โดยที่ข้อมูลดิจิทัลของมรดกทางวัฒนธรรมในรูปแบบสามมิติสามารถนำไปใช้ทั้งในกรณีที่ต้องการอนุรักษ์เพื่อการบำรุงรักษาในอนาคตหรืออาจเป็นการนำเสนอในรูปแบบสามมิติเพื่อการท่องเที่ยว การใช้เพื่อนำเสนอผ่านสื่อวิทัศน์ รวมทั้งการใช้ในการประกอบเป็นข้อมูลสารสนเทศ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการบูรณาการงานสำรวจเพื่อการสร้างข้อมูลดิจิทัลของพื้นที่ทางประวัติศาสตร์

1.2.2 เพื่อจัดสร้างแผนที่ภาพออร์โธดิจิทัลของพื้นที่ทางประวัติศาสตร์จากข้อมูลภาพถ่ายระยะใกล้

1.2.3 เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของสิ่งก่อสร้างภายในพื้นที่ทางประวัติศาสตร์

1.2.4 เพื่อดำเนินการแสดงผลข้อมูลภาพถ่ายออร์โธร่วมกับแบบจำลองสามมิติภายในพื้นที่ทางประวัติศาสตร์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

รูปแบบการดำเนินงานวิจัยเป็นการศึกษาและจัดการบูรณาการงานด้านการสำรวจเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติ ภาพออร์โธ แผนที่ภูมิประเทศ และตำแหน่งจุดควบคุม ของโบราณสถานพื้นที่วัดซ่อนข้าว ในบริเวณพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย โดยกำหนดขอบเขตการวิจัยเป็นดังนี้

1.3.1 ข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลที่มีความละเอียดจุดภาพระดับ 4752 x 3168 จุดภาพ

1.3.2 ประมวลผลแบบจำลองสามมิติด้วยโปรแกรม PhotoModeler® และ PhotoModeler®Scanner

1.3.3 พื้นที่วัดซ่อนข้าว อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย เนื้อที่โดยประมาณ 2 ไร่

1.3.4 ความถูกต้องของแบบจำลองสามมิติอยู่ในระดับเซนติเมตร

1.3.5 ดำเนินการภายใต้พื้นฐานงานสำรวจจริงวัดภูมิประเทศ งานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ และการสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดิน

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเรื่องการบูรณาการงานสำรวจเพื่อการอนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์ ดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1.4.1 ศึกษาเกี่ยวกับความสำคัญของพื้นที่ทางประวัติศาสตร์และเงื่อนไขทางวัฒนธรรม
- 1.4.2 ศึกษาลำดับขั้นของการบูรณาการงานสำรวจเพื่อการอนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์
- 1.4.3 ออกแบบลักษณะของการถ่ายภาพระยะใกล้และภาพถ่ายภาคพื้นดิน
- 1.4.4 ออกแบบลักษณะของจุดสัญญาณที่ใช้ในการสร้างจุดควบคุมทางภาพถ่าย
- 1.4.5 รังวัดจุดควบคุมโดยการสำรวจภาคพื้นดินด้วยวิธีการสำรวจด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส
- 1.4.6 วัตถุประสงค์ถ่ายภาพดิจิทัลที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายในทางเรขาคณิต
- 1.4.7 บันทึกข้อมูลภาพถ่ายทั้งทางภาพถ่ายระยะใกล้และภาคพื้นดิน
- 1.4.8 ประมวลผลภาพถ่ายเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติทางสถาปัตยกรรมในพื้นที่ทางประวัติศาสตร์
- 1.4.9 ประมวลผลภาพถ่ายเพื่อสร้างภาพออร์โทของสถาปัตยกรรมในบริเวณพื้นที่ทางประวัติศาสตร์
- 1.4.10 ประมวลผลภาพถ่ายระยะใกล้เพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของวัตถุทางสถาปัตยกรรม
- 1.4.11 ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลดิจิทัล
- 1.4.12 แสดงผลข้อมูลแบบจำลองสามมิติและภาพออร์โท
- 1.4.13 ประเมินผลโครงการวิจัย
- 1.4.14 เขียนโครงการวิจัย
- 1.4.15 สรุปโครงการวิจัย

พื้นที่ทางประวัติศาสตร์สำหรับการวิจัยนี้คือ วัดในสมัยสุโขทัยแต่ไม่พบประวัติการสร้างในศิลาจารึก ภายในมีโบราณสถานประกอบด้วยพระวิหารก่อด้วยอิฐมีฐานแบบบัวลูกแก้วอกไก่ ด้านหน้าเป็นมุขลดมีบันไดทางขึ้นด้านหน้าทั้งสองข้าง ภายในพระวิหารมีเสาที่ก่อด้วยศิลาแลง โกลนก่อนเป็นวงกลมก่อนเป็นรูปเสา ด้านหลังพระวิหารเป็นที่ตั้งของเจดีย์ประธานทรงพุ่มข้าวบิณฑ์หรือทรงดอกบัวตูม ซึ่งเหลือเฉพาะส่วนฐานถึงซุ้มเรือนธาตุส่วนบนที่เป็นดอกบัวตูมนั้นได้ทลายลงไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถบูรณาการการสำรวจเพื่อใช้ในการอนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์
- 1.5.2 มีระบบการรวบรวมข้อมูลดิจิทัลของพื้นที่ทางประวัติศาสตร์
- 1.5.3 มีแนวทางประยุกต์สำหรับใช้กับพื้นที่ทางประวัติศาสตร์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น
- 1.5.4 เป็นส่วนหนึ่งเพื่อการรวบรวมข้อมูลดิจิทัลของโบราณสถานที่มีค่าเพื่อการอนุรักษ์
- 1.5.5 สามารถเผยแพร่ข้อมูลในรูปแบบของแบบดิจิทัลสามมิติได้



บทที่ 2

หลักการ ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

สำหรับหลักการทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยการบูรณาการงานสำรวจเพื่ออนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์ประกอบด้วยการสร้างจุดควบคุมด้วยการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส, แผนที่ภูมิประเทศด้วยการรังวัดภาคพื้นดิน, สำหรับงานด้วยการสำรวจด้วยภาพถ่ายเกี่ยวข้องกับ เรขาคณิตของภาพถ่ายดิจิทัล, เงื่อนไขของสภาวะร่วมเส้น, การปรับแก้ลอกลำแสง, และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในส่วนของการบูรณาการงานสำรวจเพื่อการสร้างเอกสารเชิงอนุรักษ์สำหรับพื้นที่ทางประวัติศาสตร์ โดยรวมแล้วลักษณะทั่วไปของแผนที่ภูมิประเทศและการสร้างแบบจำลองสามมิติของสิ่งใดๆ อาศัยข้อมูลรังวัดจากกล้องประมวลผลรวมให้ได้มาซึ่งค่าพิกัดในภูมิประเทศ และข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลจากเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติของสถาปัตยกรรมในพื้นที่ทางประวัติศาสตร์

การสำรวจรังวัดภูมิประเทศเพื่อการสร้างแผนที่ภูมิประเทศเป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้เชื่อมโยงข้อมูลอื่นๆ เช่น ค่าระดับ, ตำแหน่งในภูมิประเทศ ของสถาปัตยกรรมในพื้นที่ทางประวัติศาสตร์ ประกอบกับข้อมูลแบบจำลองสามมิติของสถาปัตยกรรมรวมถึงการสร้างภาพออร์โธซึ่งมีคุณลักษณะทางเรขาคณิตจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายดิจิทัล โดยมีภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลเป็นข้อมูลเพื่อการรังวัด

กล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ทราบค่าองค์ประกอบภายในซึ่งได้แก่ $(f, x_0, y_0, k_1, k_2, k_3, p_1, p_2, p_3)$ ความยาวโฟกัส, ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ, ขนาดภาพ, ความละเอียดจุดภาพ, ความบิดเบี้ยวของเลนส์ เป็นต้น การวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัลเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายในอาศัยภาพถ่ายจำนวนหนึ่งเพื่อสร้างสภาวะร่วมเส้นสำหรับการปรับแก้ลอกลำแสงเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายในที่ต้องการ การเก็บรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลภายใต้เงื่อนไขของสภาวะร่วมเส้นทำให้สามารถทำการคำนวณเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอกของการถ่ายภาพใดๆได้ องค์ประกอบภายนอกของการถ่ายภาพนั้นประกอบด้วย $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, K)$ ตำแหน่งถ่ายภาพซึ่งพิจารณาที่กึ่งกลางของเลนส์ที่เป็นจุดรวมแสง และการวางตัวเชิงมุมของแกนพิกัดภาพถ่ายในสามมิติ ซึ่งทั้งหมดสามารถประมวลผลได้จากการปรับแก้ลอกลำแสงของการถ่ายภาพที่ต้องอาศัยจุดควบคุมภาพถ่ายจำนวนหนึ่งเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติ

สำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติของสถาปัตยกรรมในพื้นที่ทางประวัติศาสตร์ที่ได้จากการรังวัดจุดบนภาพถ่ายดิจิทัล โดยความต่อเนื่องของจุดตามรูปร่างของสถาปัตยกรรมในสามมิติจะถูกแสดงผลเป็นแบบจำลองสามมิติ กรณีของภาพออร์โธเป็นภาพที่มีการปรับแก้คุณสมบัติทางเรขาคณิตให้มีมาตราส่วน และลักษณะการฉายเป็นออร์โธหรือแสงจากจุดใดๆเดินทางในทิศทางขนานกัน

2.1 การสำรวจภูมิประเทศ

แผนที่ภูมิประเทศแสดงตำแหน่งและความสูงโดยระบบพิกัดฉากอ้างอิง จากการรังวัดด้วยกล้องวัดมุมและเครื่องมือวัดระยะในรูปแบบพิกัดเชิงขั้วซึ่งจะถูกทำการคำนวณและแสดงผลในรูปแบบของพิกัดฉาก เทคโนโลยีของการรังวัดในปัจจุบันพัฒนาระบบไปเป็นกล้องประมวลผลรวมที่ทำการรังวัดข้อมูลระยะลาด, มุมตั้ง, และมุมราบ พร้อมด้วยเงื่อนไขของความสูงกล้องและความสูงเป้าสัญญาณซึ่งมีการกำหนดรูปแบบรหัสของจุดที่ทำการรังวัด เพื่อให้สามารถจัดการจุดรังวัดในรูปแบบของฐานข้อมูลเชิงกราฟิก การคำนวณค่าพิกัดฉากจากข้อมูลรังวัดเชิงขั้วแสดงด้วยชุดสมการที่ 2.1

$$\begin{aligned} N &= N_0 + S \sin V \cos H \\ E &= E_0 + S \sin V \sin H \\ Z &= Z_0 + Hi + S \cos V - Hr \end{aligned} \quad 2.1$$

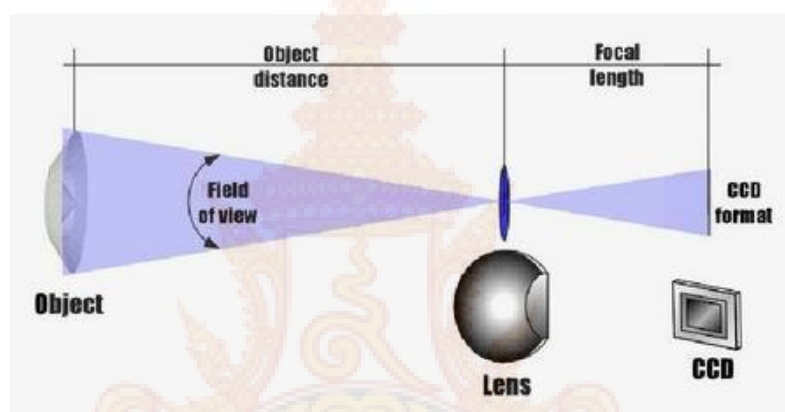
เมื่อ N_0, E_0, Z_0 เป็นค่าพิกัดของตำแหน่งจุดตั้งกล้อง
 S เป็นระยะลาดระหว่างตำแหน่งตั้งกล้องและจุดรังวัด
 V เป็นมุมตั้งบน
 H เป็นมุมราบหรือทิศทาง
 Hi เป็นความสูงของการตั้งกล้อง
 Hr เป็นความสูงเป้าของจุดสัญญาณ

จำนวนจุดรังวัดซึ่งถูกเก็บด้วยหมายเลขและรหัสสามารถเขียนรูปแผนที่ภูมิประเทศได้ในลักษณะอัตโนมัติด้วยโปรแกรมช่วยเขียนแบบที่รองรับข้อมูลงานสำรวจรังวัด เป็นงานสำรวจ

รังวัดที่มีรูปแบบทันสมัยโดยข้อมูลรังวัดในแบบดิจิทัลจะถูกประมวลผลและเขียนรูปแบบที่ได้ทันที ภายหลังจากงานสนามเสร็จสิ้น

2.2 ภาพถ่ายดิจิทัล

โดยหลักการการถ่ายภาพเป็นระบบผ่านจุดศูนย์กลางในระนาบภาพถ่าย คือ ลำแสงจากแหล่งกำเนิดเดินทางเป็นเส้นตรงตกกระทบบัววัตถุและสะท้อนเข้าหาฉากรับภาพ ซีซีดี จะทำการแปลงข้อมูลความเข้มของแสงและสีให้เป็นข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลที่แสดงด้วยตัวเลข



รูปที่ 2.1 หลักการฉายของภาพถ่าย

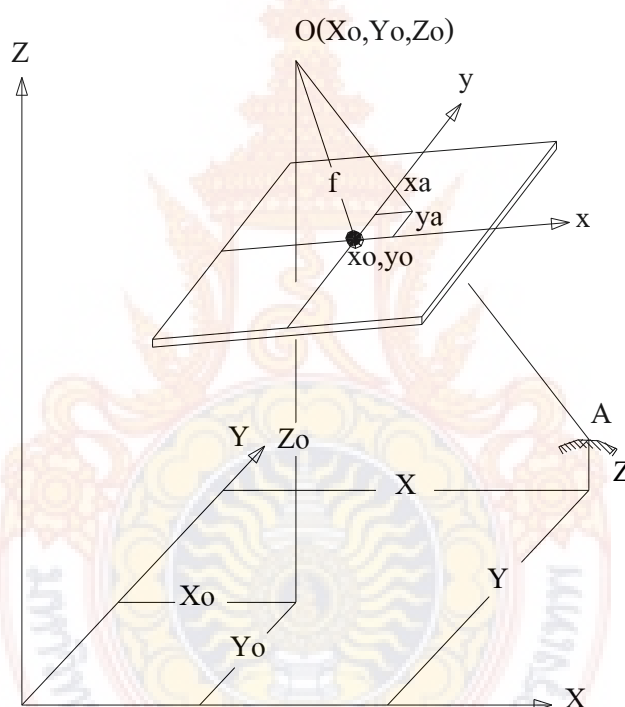
ตำแหน่งต่างๆบนภาพถ่ายดิจิทัลแสดงด้วยค่าของแถวและหลัก(Row and Column) ที่เรียงกันของชิ้นส่วน ซีซีดี ซึ่งเป็นข้อมูลรังวัดบนภาพถ่ายสำหรับการประมวลผลเพื่อหาค่าของพิกัดสามมิติของแบบจำลอง

2.3 เงื่อนไขสภาวะร่วมเส้น (Colinearity Condition)

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

จากองค์ประกอบของการหมุนระบบพิกัดทั้งสามแกน ตำแหน่งของจุดภาพ a มีค่าพิกัดเป็น (x_a, y_a, f) ซึ่งลักษณะการหมุนเพื่อให้แกนของระบบพิกัดภาพถ่ายขนานกันแกนของระบบพิกัดอ้างอิงเขียนได้ดังสมการที่ 2.2

$$\begin{aligned}x_a &= r_{11}x'_a + r_{12}y'_a + r_{13}z'_a \\y_a &= r_{21}x'_a + r_{22}y'_a + r_{23}z'_a \\z_a &= r_{31}x'_a + r_{32}y'_a + r_{33}z'_a\end{aligned}\quad (2.2)$$



รูปที่ 2.2 เงื่อนไขสภาวะร่วมเส้น

สมการเงื่อนไขของสภาวะร่วมเส้นได้จากหลักการของสามเหลี่ยมคล้ายดังรูปที่ 2.2 สามารถเขียนสมการที่ 2.3 ได้เป็น

$$\frac{x'_a}{X_A - X_O} = \frac{y'_a}{Y_A - Y_O} = \frac{z'_a}{Z_A - Z_O} \quad (2.3)$$

$$x'_a = \left(\frac{X_A - X_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a \quad (2.4)$$

$$y'_a = \left(\frac{Y_A - Y_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a \quad (2.5)$$

$$z'_a = \left(\frac{Z_A - Z_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a \quad (2.6)$$

แทนค่าสมการที่ 2.2 ด้วยสมการที่ 2.4, 2.5, และ 2.6 ได้ว่า

$$x_a = r_{11} \left(\frac{X_A - X_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a + r_{12} \left(\frac{Y_A - Y_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a + r_{13} \left(\frac{Z_A - Z_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a \quad (2.7)$$

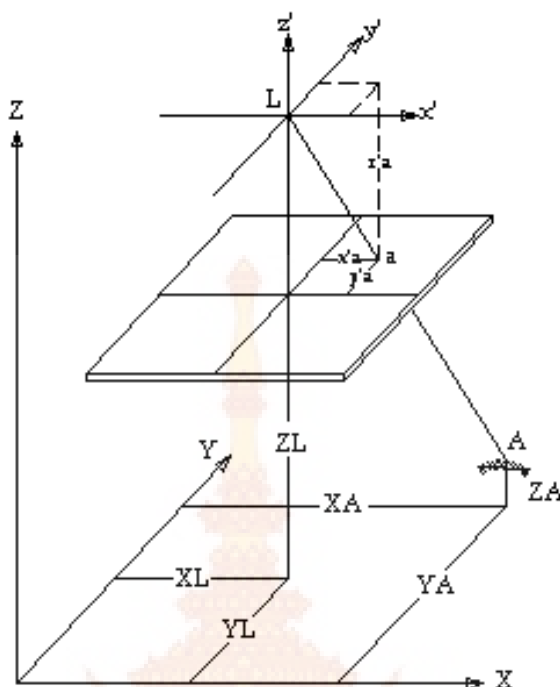
$$y_a = r_{21} \left(\frac{X_A - X_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a + r_{22} \left(\frac{Y_A - Y_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a + r_{23} \left(\frac{Z_A - Z_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a \quad (2.8)$$

$$z_a = r_{31} \left(\frac{X_A - X_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a + r_{32} \left(\frac{Y_A - Y_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a + r_{33} \left(\frac{Z_A - Z_O}{Z_A - Z_O} \right) z'_a \quad (2.9)$$

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

$$x_a = -f \left[\frac{r_{11}(X_A - X_O) + r_{12}(Y_A - Y_O) + r_{13}(Z_A - Z_O)}{r_{31}(X_A - X_O) + r_{32}(Y_A - Y_O) + r_{33}(Z_A - Z_O)} \right] \quad (2.10)$$

$$y_a = -f \left[\frac{r_{21}(X_A - X_O) + r_{22}(Y_A - Y_O) + r_{23}(Z_A - Z_O)}{r_{31}(X_A - X_O) + r_{32}(Y_A - Y_O) + r_{33}(Z_A - Z_O)} \right] \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.3 ระบบพิกัดจากภาพถ่ายซึ่งถูกหมุนให้ขนานกับระบบพิกัดจริง

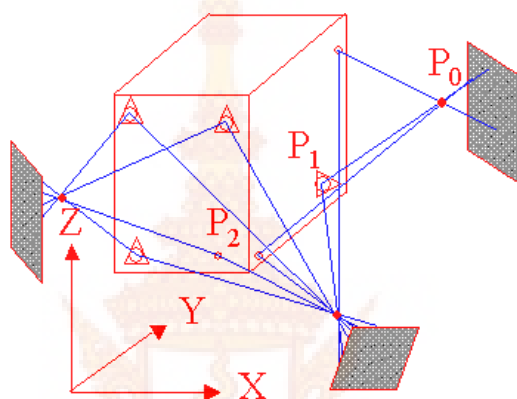
2.4 การปรับแก้บล็อกลำแสง (Bundle Block Adjustment)

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 เนื่องจากเงื่อนไขของการถ่ายภาพจากระยะใกล้โดยปกติมักไม่กำหนดตำแหน่งถ่ายภาพที่แน่นอนแตกต่างจากภาพถ่ายทางอากาศที่ต้องการส่วนซ้อนกันที่ จึงทำให้การกำหนดจุดร่วมและจุดควบคุมเปลี่ยนแปลงไปตามรูปร่างของวัตถุที่ต้องการรังวัด โดยปกติ

มักให้การรังวัดจุดรวมปรากฏบนภาพถ่ายสามภาพ ในการปรับแก้บล็อกลำแสงอักษัโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการคำนวณทั้งปัญหาของภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายระยะใกล้ สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งแสดงด้วยเมตริกซ์ของโคแฟกเตอร์ (Cofactor Matrices) ของตัวแปรที่ทำการปรับแก้มีค่าเป็นส่วนกลับของเมตริกซ์ของสมการปกติ (Normal Equation Matrix)

$$Q_{X_a} = I \cdot Q_X \cdot I = N^{-1} \quad (2.12)$$



รูปที่ 2.4 บล็อกลำแสงของภาพถ่ายระยะใกล้

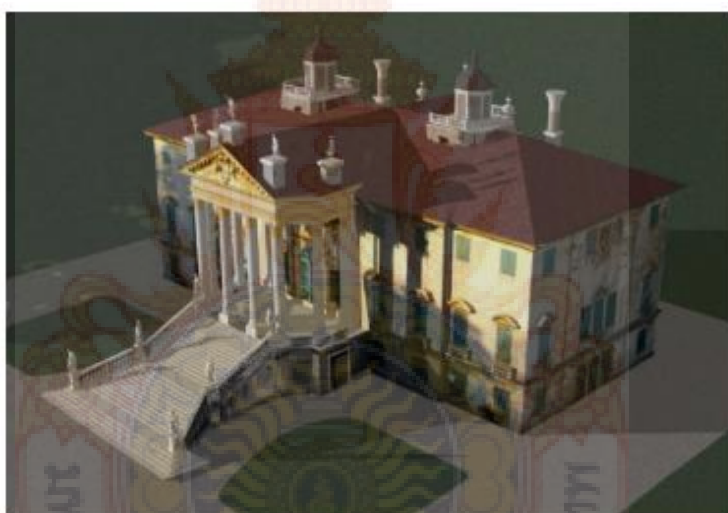
2.5 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

A. Guarnieria, F. Remondinob, A. Vettore, (2006)

ศึกษาการสร้างแบบจำลองสามมิติเสมือนจริงของ The Brenta Riviera ใน Venice ซึ่งเป็นสถานที่ที่เป็นมรดกทางวัฒนธรรม โดยอาศัยการประยุกต์เทคนิคของการสำรวจด้วยภาพถ่ายดิจิทัลประกอบกับการใช้เครื่องกวาดภาพชนิดเลเซอร์ภาคพื้นดิน (Terrestrial Laser Scanner: TLS) การเก็บข้อมูลในส่วนของการถ่ายภาพใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัล Casio Exilim 750 มีความละเอียดภาพ 7.2 ล้านจุดภาพ จำนวน 300 ภาพรอบบริเวณอาคารที่ระยะห่างในการถ่ายภาพตั้งแต่ 5 ถึง 40 เมตร และถ่ายภาพให้มีส่วนซ้อนอย่างน้อยร้อยละ 50 เพื่อที่จะสามารถหาลักษณะทางเรขาคณิตของอาคารได้



รูปที่ 2.5 แบบจำลองสามมิติจากภาพถ่ายดิจิทัลด้วยโปรแกรม PhotoModeler



รูปที่ 2.6 แบบจำลองสามมิติเสมือนจริงจากการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายและ TLS

สำหรับเครื่องกวาดภาพชนิดเลเซอร์ที่ใช้เป็น Leica HDS 3000 ทำการรังวัดจุดที่ความละเอียดทุก 10 มิลลิเมตร ที่ระยะห่าง 50 เมตร โดยที่ทำการกวาดภาพจำนวน 50 ชุด ในวันเวลาที่ต่างกันไป มีผลลัพธ์เป็นข้อมูลจุดต่างๆของอาคารที่ต้องการเป็นจำนวนทั้งสิ้น 30 ล้านจุดรังวัด

ข้อมูลรังวัดทั้งสองชุดต่อเนื่องกันโดยอาศัยจุดควบคุมที่เป็นตำแหน่งซึ่งรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวมจำนวน 10 จุด ประมวลผลลักษณะของ polygon ซึ่งเป็นส่วนย่อยของพื้นผิววัตถุด้วยโปรแกรม Rhinoceros ในการแสดงผลแบบจำลองสามมิติแบบเสมือนจริงรูปแบบ VRML

อาจไม่เหมาะสมในกรณีที่จุดรังวัดบนแบบจำลองสามมิติมีความหนาแน่นมาก ทั้งนี้แบบจำลองสามมิติของอาคารในส่วนของมรดกทางวัฒนธรรมที่นำเสนออาจเปลี่ยนไปตามประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ใช้ในการจัดการข้อมูล

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

ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการวัดสอบล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบทั่วไปที่มีราคาถูกเพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติของอาคารทางประวัติศาสตร์ โดยอาศัยวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายที่ให้ความถูกต้อง, น่าเชื่อถือ ในการวัดภาพถ่าย ซึ่งกล้องถ่ายภาพที่ใช้งานจำเป็นต้องทำการวัดสอบล้องเพื่อหาค่าประกอบภายในตัวกล้องก่อนการบันทึกข้อมูลภาพถ่าย และได้ทำการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบสถ์ในย่าน Calgary Canada กระบวนการวัดสอบล้องใช้แนวของจุดที่มีค่าแน่นอนบนระนาบสองมิติในแนวตั้งและแนวนอนจำนวน 50 แนว และจุดรังวัดจำนวน 21 จุด และจุดรังวัดมีลักษณะเป็นกากบาทในแนวทแยง ผลของการวัดสอบล้องแสดงถึงเสถียรภาพในองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพ ซึ่งสามารถจะใช้กับงานสร้างแบบจำลองสามมิติได้

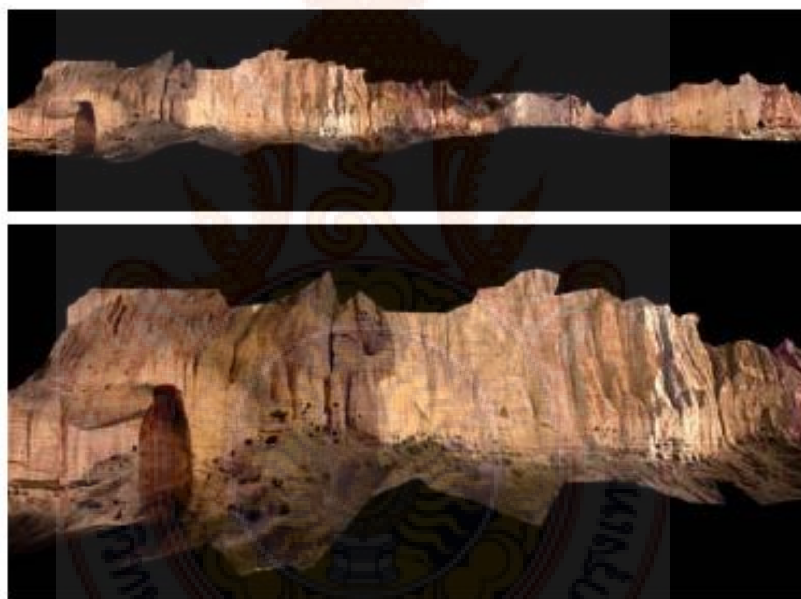
การสร้างแบบจำลองสามมิติใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัล SONY DSC F-707 ที่มีความละเอียดจุดภาพประมาณ 5 ล้านจุดภาพ ทำการวัดสอบล้องด้วยวิธีการข้างต้นและถ่ายภาพจำนวน 39 ภาพในลักษณะที่ทแยงเข้าหากัน จำนวนจุดรังวัด 115 จุดบนส่วนด้านหน้าของโบสถ์ทำการรังวัดและคำนวณปรับแก้เพื่อหาค่าพิกัดสามมิติ ผลลัพธ์แสดงในรูปของ CAD และพื้นผิวสามารถแสดงลักษณะของแบบจำลองสามมิติ

Armin Gruen, Fabio Remondino, Li Zhang (2004)

บทความนี้นำเสนอการสร้างแบบจำลองสามมิติเสมือนจริงของมรดกทางวัฒนธรรมในบริเวณ Bamiyan, Afghanistan ทางตะวันตกเฉียงเหนือประมาณ 200 กิโลเมตรจาก Kabul ซึ่งมีรูปสลักยืนของพระพุทธเจ้าบนหน้าผาเป็นที่รู้จักไปทั่วโลก ก่อนปี 2001 จะถูกทำลายโดยรัฐบาลทหาร Taleban ได้มีการสร้างแบบจำลองสามมิติของ Great Buddha ในคอมพิวเตอร์และพื้นที่โดยรอบ



รูปที่ 2.7 ภาพถ่ายบริเวณหน้าผารูปสลัก Great Buddha



รูปที่ 2.8 แบบจำลองสามมิติของหน้าผาจากภาพถ่าย

ส่วนของแบบจำลองพื้นผิวของภูมิประเทศโดยรอบอาศัยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของ SPOT และ IKONOS ประกอบกับการรังวัดภาคพื้นดินด้วยการเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ทำให้ได้พื้นผิวภูมิประเทศที่มีความละเอียดระดับ 20 และ 5 เมตรตามลำดับ สำหรับแบบจำลองของรูปสลักพระพุทธรูปหน้าผาหินอาศัยการเก็บข้อมูลภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพแบบฟิล์มของ Rollei 6006 ทำการถ่ายภาพเป็นแนวต่อเนื่องกัน เชื่อมโยงกันด้วยโครงข่ายภาคพื้นดินจำนวน 10 จุด และตำแหน่งควบคุมภาพถ่ายบนหน้าผาหินอีกจำนวน 30 จุดตลอดแนวหน้าผา ภาพถ่ายถูกทำการ

แปลงเป็นดิจิทัลที่ความละเอียดจุดภาพขนาด 20 ไมครอนและรังวัดภาพถ่ายด้วยโปรแกรม PhotoModeler พร้อมทำการสร้างข่ายสามเหลี่ยมของพื้นผิว

V. Valzano, A. Bandiera, J.-A. Beraldin, M. Picard, S.F. El-Hakim, G. Godin, E.

Paquet, M. Rioux, (2003 – 2004)

เป็นการศึกษาเพื่อการนำเสนอข้อมูลสามมิติของมรดกทางวัฒนธรรมเพื่อสร้างเป็นสื่อผสมผสาน โดยประยุกต์วิธีการของเทคนิคการหลอมรวมข้อมูลซึ่งประกอบด้วยข้อมูลรังวัดจุดบนพื้นผิวด้วยเครื่องกวาดภาพชนิดเลเซอร์กับข้อมูลภาพถ่ายพื้นผิวซึ่งให้ลักษณะของสภาพแวดล้อมส่วนของรูปทรงได้จากแบบแปลนก่อสร้าง, แผนที่, การทำการสำรวจ ซึ่งแบบจำลองสามมิติที่ได้ทำการนำเสนอในลักษณะของภาพเคลื่อนไหวเสมือนจริง

พื้นที่บริเวณแรกทำการสร้างภาพยนตร์สามมิติของ Byzantine Crypt, Italy โดยส่วนภายนอกอาศัยเทคนิคของการสำรวจด้วยภาพถ่ายอาศัยโปรแกรม ShapeCapture™ ภายในใช้ข้อมูลรังวัดจากเครื่องกวาดภาพชนิดเลเซอร์ประกอบกับภาพถ่ายสีที่มีความละเอียดสูง มีความละเอียดของชิ้นส่วน Polygon ขนาด 10 มิลลิเมตรและ 5 มิลลิเมตร



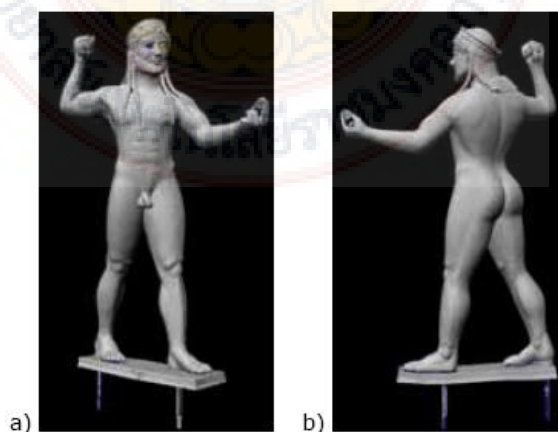
รูปที่ 2.9 แบบจำลองสามมิติภายในของ Byzantine Crypt

พื้นที่บริเวณที่สองเป็นของ Temple C of Selinunte โดยทำการจำแนกองค์ประกอบของบริเวณเป็นส่วนที่ต้องการความละเอียดของจุดที่ใช้ในการสร้างพื้นผิวแตกต่างกัน ส่วนที่ต้องการความละเอียดของพื้นผิวสูงใช้ข้อมูลจาก Laser Scanner ที่มีการกำหนดความหนาแน่นของจุดตามลักษณะของรายละเอียด บริเวณห้องโดยรอบใช้เทคนิคของการสำรวจด้วยภาพถ่ายในการสร้างแบบจำลองสามมิติ และทำการแสดงผลแบบจำลองเสมือนจริงโดยใช้โปรแกรม 3DStudioMax™



รูปที่ 2.10 แบบจำลองสามมิติส่วนหนึ่งในของ Temple C of Selinunte

พื้นที่สุดท้ายเป็นแบบจำลองของ Zeus of Ugento ซึ่งเป็นรูปปั้นที่ทำการสร้างแบบจำลองด้วย Laser Scanner และเจดสีของภาพในส่วนที่ละเอียดในระดับ 0.2 มิลลิเมตร ทั้งนี้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติเพื่อการนำเสนอให้มีลักษณะเสมือนจริงทั้งในส่วน of โครงสร้าง, สภาพแวดล้อม, และขนาดของวัตถุ อาจต้องการการประยุกต์ใช้เทคนิคในการหลอมรวมข้อมูลจากหลายแหล่งประกอบกัน

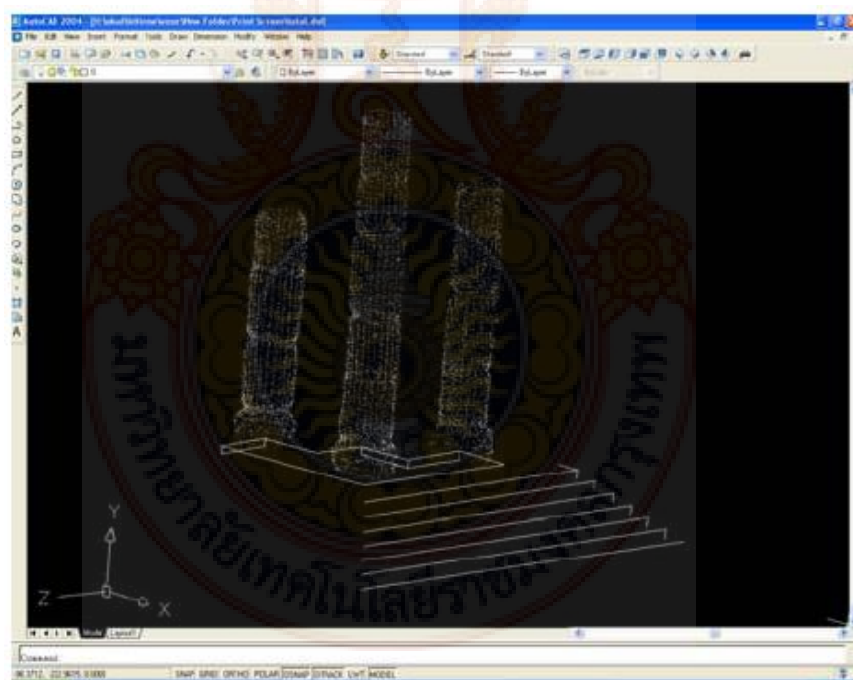


รูปที่ 2.11 แบบจำลองสามมิติของรูปปั้น Zeus of Ugento

E. O. Avsar, Z. Duran, O. Akyol, G. Toz (2008)

บทความนี้แสดงการดำเนินการด้านการสำรวจด้วยภาพถ่ายในทางสถาปัตยกรรม โดยอาศัยกระบวนการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล, การประมวลผลภาพ, การแสดงผลในลักษณะเสมือนจริงเพื่อการอนุรักษ์มรดกทางวัฒนธรรม พื้นที่ศึกษาวัดบริเวณวิหารพอลโล สเมนเรอูส เพื่อการสร้างข้อมูลดิจิทัลในบริเวณศึกษา ซึ่งใช้การสำรวจด้วยภาพถ่ายภาคพื้นดินเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติของเสาศาภายในวิหารและบริเวณโดยรอบ

ในการศึกษาใช้ภาพถ่ายจำนวน 150 ภาพที่ระยะห่างถ่ายภาพแตกต่างกันเพื่อสร้างเสาศาภายในวิหาร ด้วยกล้องถ่ายภาพแคนนอน อีโอเอส 350 ดี ความละเอียด 8 ล้านจุดภาพประกอบด้วยเลนส์ความยาวโฟกัส 28 มิลลิเมตร โดยอาศัยจุดควบคุมภาพถ่ายจากกล้องประมวลผลรวม Topcon GTS-225 ในการสร้างจุดควบคุมจำนวน 33 จุด ประมวลผลแบบจำลองภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Pictran ซึ่งผลที่ได้จำเป็นต้องทำการปรับแต่งพื้นผิวแบบจำลองก่อนการแสดงผล



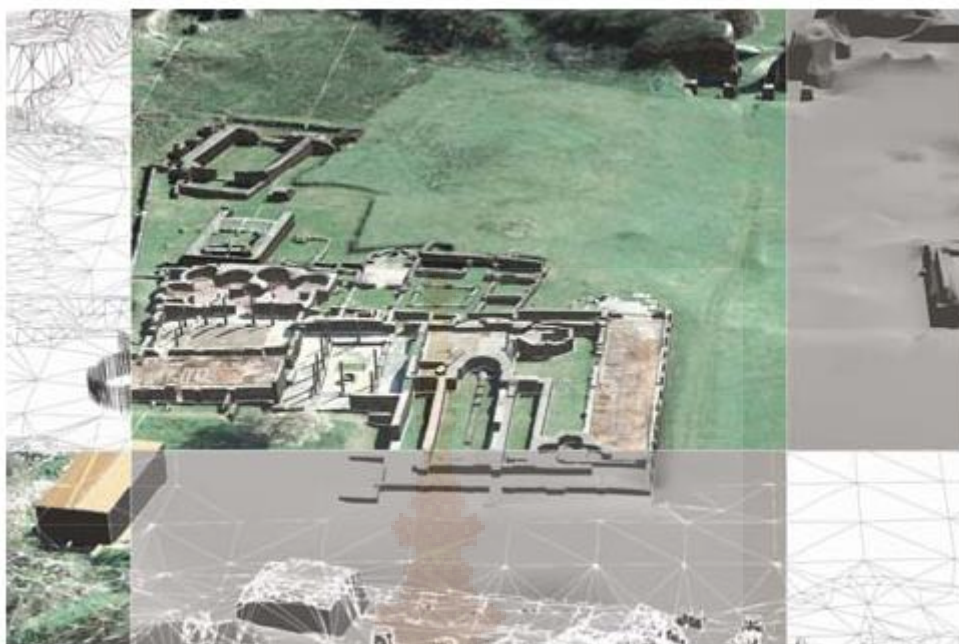
รูปที่ 2.12 แบบจำลองสามมิติของบริเวณวิหารพอลโล

D.Mihajlovic, M.Mitrovic, Z.Cvijetinovic, M.Vojinovic (2008)

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์งานสำรวจด้วยภาพถ่ายทั้งทางอากาศและภาคพื้นดิน จากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบทั่วไป เพื่อการสร้างข้อมูลดิจิทัลของโบราณสถานในพื้นที่ของ ส่วนที่มีชื่อว่า FELIX ROMULIANA ประเทศเซอร์เบีย พื้นที่รอบโครงการขนาดประมาณ 10 เฮกเตอร์ที่รายล้อมรอบตัวปราสาท มีวัตถุประสงค์เพื่อการสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศ, ภาพออร์โธ, และแบบจำลองสามมิติในพื้นที่ดังกล่าว

ในการปฏิบัติอาศัยข้อมูลสองส่วนที่ประกอบด้วยภาพถ่ายทางอากาศจากกล้องถ่ายภาพทางอากาศ INTERGRAPH Z/I และ DMC บริเวณตัวปราสาทใช้ข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลจาก กล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส 5 ดี จากบอลลูนลอย จุดควบคุมภาคพื้นดินอาศัย โครงข่ายท้องถิ่นและรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม Leica TCR705 โดยมีจำนวนจุดควบคุม ทั้งสิ้น 60 จุดและในจำนวนนี้ 49 จุดใช้ในแผนที่ตัวปราสาท ซึ่งลักษณะของจุดควบคุมแสดง ด้วยสัญญาณขนาด 5 x 5 เซนติเมตรที่คำนวณจากความถูกต้องของจุดระดับ 1 เซนติเมตร

พื้นที่โดยรอบจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจำนวน 2 แนวบินจำนวนภาพถ่ายทั้งหมด 38 ภาพที่ความสูงบิน 400 เมตรโดยประมาณ มาตราส่วนเฉลี่ยของภาพถ่าย 1/3300 รังวัดภาพ แบบอัตโนมัติด้วยจุดรังวัดร่วมบนภาพถ่ายจำนวน 659 จุดในการปรับแก้บล็อกลำแสงจาก จำนวนจุดทั้งสิ้น 2684 จุดรังวัดร่วม ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของจุดภาพ 1.9 ไมครอน บนจุด ควบคุมมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1 เซนติเมตร



รูปที่ 2.13 แบบจำลองสามมิติในบริเวณ FELIX ROMULIANA ประเทศเซอร์เบีย

พื้นที่บริเวณตัวปราสาทใช้ภาพถ่ายจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอนอีโอเอส 5 ดีความละเอียด 4368 x 2912 จุดภาพ (12 ล้านจุดภาพ) ด้วยเลนส์ที่มีความยาวโฟกัส 24 มิลลิเมตร ในการถ่ายภาพจะประกอบกล้องถ่ายภาพทางอากาศติดกับบอลูนลอยจากก๊าซฮีเลียม มาตรฐานภาพถ่ายที่ได้เป็น 1/600 และในการปรับแก้บล็อกค่าแสงทำการรีทัชจุดภาพแบบอัตโนมัติที่ระดับความถูกต้อง 1 จุดภาพ ผลที่ได้รับสามารถแสดงเป็นแบบจำลองสามมิติของบริเวณ ด้วยโปรแกรม Autodesk 3Dstudio

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ดำเนินการโดยการบูรณาการงานด้านวิศวกรรมสำรวจ เพื่อสร้างข้อมูลดิจิทัลของพื้นที่ทางประวัติศาสตร์สำหรับใช้เป็นเอกสารอ้างอิงเชิงอนุรักษ์ หรือเพื่อใช้งานด้านทะนุบำรุงโครงสร้างทั้งทางสถาปัตยกรรมหรือด้านวิศวกรรม โดยพื้นที่ศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้เป็นบริเวณวัดซ่อนข้าว อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ขนาดเนื้อที่ประมาณ 2 ไร่และมีสิ่งก่อสร้างที่เป็นโบราณสถานอยู่ 4 หลัง มีเจดีย์ประธานทรงพุ่มข้าวบิณฑ์ ยอดหักพังและทรวดซึ้งกรมศิลปากรซ่อมบำรุงตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508

เอกสารดิจิทัลเพื่อการอนุรักษ์ที่ดำเนินการโดยอาศัยการบูรณาการงานสำรวจ ประกอบด้วยข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ แบบจำลองสามมิติ ภาพออร์โธ ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศอ้างอิงค่าพิกัดระบบยูทีเอ็มที่เชื่อมโยงมาจากหมุดหลักฐานของกรมที่ดินด้วยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส และรายละเอียดของภูมิประเทศในพื้นที่ทางประวัติศาสตร์อาศัยงานรังวัดภาคพื้นดินด้วยกล้องประมวลผลรวม สำหรับข้อมูลแสดงลักษณะของรายละเอียดรูปทรงของโบราณสถานในพื้นที่ทางประวัติศาสตร์ แสดงด้วยข้อมูลแบบจำลองสามมิติที่อาศัยงานรังวัดด้วยภาพถ่ายระยะใกล้

ข้อมูลแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานซึ่งอาศัยวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ กำหนดแบบจำลองสามมิติที่ 1 เป็นแบบจำลองสามมิติของฐานเจดีย์ด้านทิศใต้ แบบจำลองสามมิติที่ 2 เป็นแบบจำลองสามมิติของฐานเจดีย์ด้านทิศเหนือ แบบจำลองสามมิติที่ 3 เป็นแบบจำลองสามมิติของเจดีย์ประธานทรงพุ่มข้าวบิณฑ์ และแบบจำลองสามมิติที่ 4 เป็นแบบจำลองสามมิติของพระวิหารในวัดซ่อนข้าว แสดงผลของข้อมูลแบบจำลองสามมิติทั้งส่วนที่เป็นแบบจำลองสามมิติและภาพออร์โธที่มีคุณสมบัติเชิงเรขาคณิตเหมือนกันแผนที่

การดำเนินงานเริ่มต้นจากการสร้างหมุดหลักฐานควบคุมเพื่อกำหนดระบบอ้างอิงสำหรับข้อมูลโดยวิธีการรังวัดดาวเทียมจีพีเอส ข้อมูลภูมิประเทศและรายละเอียดจากการรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม แบบจำลองสามมิติของโบราณสถานโดยวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ และการบูรณาการข้อมูลดิจิทัลจากงานสำรวจร่วมกันดังนี้

3.1 การสร้างหมุดหลักฐานอ้างอิง

การรังวัดดาวเทียมจีพีเอสเป็นการรังวัดเพื่อหาตำแหน่งของจุดใด ๆ บนพื้นพิภพ จากการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสเพื่อให้ทราบระยะทางจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวงถึงเครื่องรับสัญญาณ โดยที่ดาวเทียมในระบบจีพีเอสจะมีวงโคจรที่รู้ตำแหน่งของดาวเทียมในขณะที่เครื่องรับสัญญาณเป็นตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าพิกัด ความถูกต้องของตำแหน่งเปลี่ยนแปลงตามความถูกต้องของระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับสัญญาณ ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับสัญญาณที่กำหนดความถูกต้องทางตำแหน่งมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการได้แก่ ประเภทของเครื่องรับสัญญาณ วิธีการทำงานรังวัด ระยะเวลาในการรับสัญญาณ จำนวนดาวเทียม ความยาวของเสี้ยนฐาน ที่จำเป็นต้องกำหนดรูปแบบการทำงานรังวัดเพื่อควบคุมความถูกต้องทางตำแหน่งที่ต้องการ

การสร้างหมุดหลักฐานอ้างอิงด้วยวิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส อาศัยการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสด้วยเครื่องรับสัญญาณแบบรังวัดโดยวิธีการทำงานแบบสถิตย์ใช้เวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมมากกว่า 45 นาที และกำหนดของรูปแบบหมุดหลักฐานอ้างอิงในลักษณะของโครงข่ายซึ่งสามารถทำการคำนวณปรับแก้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องทางตำแหน่งของหมุดหลักฐานอ้างอิงได้ สำหรับโครงการวิจัยนี้ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบรังวัดยี่ห้อ SOKKIA รุ่น GRX1 ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีคุณสมบัติทางเทคนิคดังตารางที่ 3.1 และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบรังวัดยี่ห้อ SOKKIA รุ่น GSR1700 CSX ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งมีคุณสมบัติทางเทคนิคดังตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม SOKKIA GRX1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม SOKKIA GRX1

Static	L1 : 5mm + 1.0ppm x D / 10mm + 1.0ppm x D L1+L2 : 3mm+1.0ppm x D / 10 mm + 1.0ppm x D
Fast Static	L1+L2 : 5mm + 1.0ppm x D / 10mm + 1.5mm x D
Kinematic	L1+L2 : 15mm + 1.5ppm x D / 30mm + 1.5mm x D
RTK	L1+L2 : 10mm+1.0ppm x D / 20 mm + 1.0ppm x D
DGPS	0.5m
Channels	72 channels (G, GG, GD, GGD) L1 GPS, L1/L2 GPS, L1 GLONASS, L1 GPS + L1 GLONASS, WAAS/EGNOS, PCode and Carrier
Tracked Signals	GPS/GLONASS, L1/L2 C/A and P-Code and Carrier, WAAS/EGNOS/MSAS
Process interval	1Hz standard; 5, 10, 20Hz optional
Internal Memory	SD/SDHC card, removable
Operating temperature	-20C to +65C (Battery) / -40C to +65C (Ext.)
Water/Dustproof	IP67 at closing all connector caps.
Dimensions	184.0mm X 95.0mm (diameter x Height)

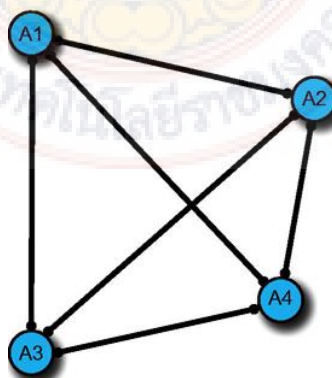


รูปที่ 3.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม SOKKIA GSR1700 CSX

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม SOKKIA GSR1700 CSX

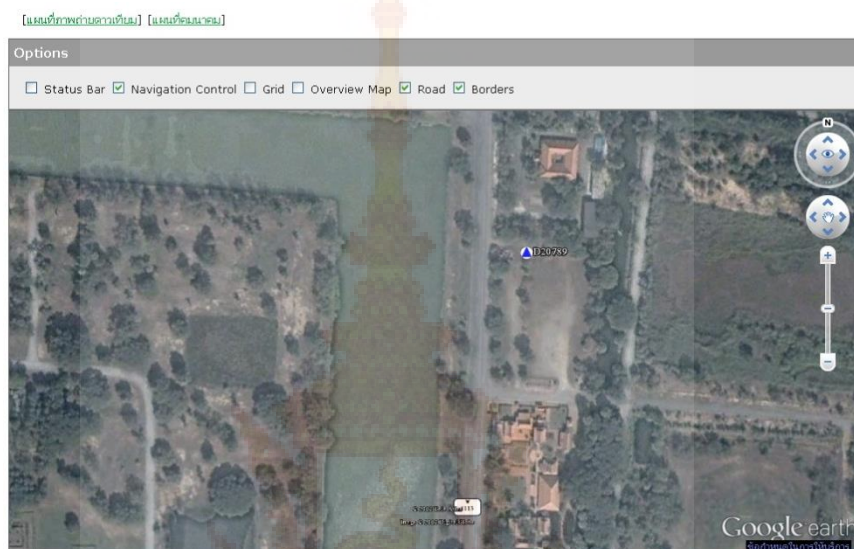
Static	H: 5.0 mm + 1.0 ppm V: 10.0 mm + 1.0 ppm
Rapid Static	H: 5.0 mm + 1.0 ppm V: 10.0 mm + 1.5 ppm
Kinematic Stop and Go	H: 10.0 mm + 1.0 ppm V: 15.0 mm + 2.0 ppm
Stand-Alone Position	1.5 m CEP Horizontal
Channels	28 universal channels: 14 L1 GPS, 12 L1 GLONASS, 2 Future
Signal Reacquisition	0.5 sec L1
Memory	64 MB removable CF (upgradeable to 2 GB)
Operating Temperature	-40°C to +65°C
Dust and Waterproof	Complete protection against dust ingress. Protected against immersion up to 1.0 m / 3.3 ft (IPX7)
Dimensions	16.7 cm x 10.1 cm

รูปแบบโครงข่ายหมุดหลักฐานอ้างอิงออกแบบในลักษณะ Quadrilaterals ที่มีหมุดหลักฐานอ้างอิงจำนวน 4 หมุด โดยในแต่ละหมุดหลักฐานอ้างอิงประกอบด้วยเส้นฐานจำนวน 3 เส้นฐานโยงกันดังรูปที่ 3.3 ซึ่งจะมีจำนวนของเส้นฐานในการรังวัดจากดาวเทียมจีพีเอสจำนวนทั้งสิ้น 6 เส้นฐาน



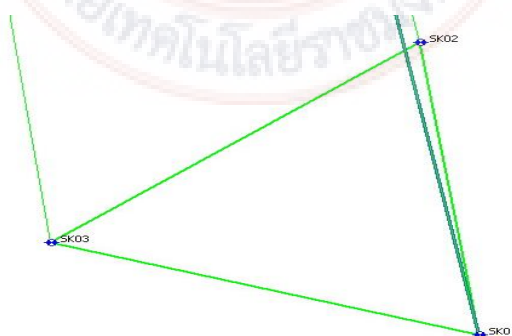
รูปที่ 3.3 ลักษณะโครงข่ายหมุดควบคุมแบบ Quadrilaterals

อาศัยโครงข่ายหมุดหลักฐานอ้างอิงของกรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย เป็นตำแหน่งควบคุมในโครงข่าย ซึ่งพิจารณาตำแหน่งหมุดหลักฐานควบคุมที่อยู่ใกล้พื้นที่บริเวณวัดช่อนข้าว ได้แก่ หมุดหลักฐาน D20789 อยู่ในบริเวณสำนักงานศิลปากรที่ 6 จังหวัดสุโขทัย ระยะห่างประมาณ 800 เมตร แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนที่ภาพถ่ายที่ตั้งหมุดหลักฐานอ้างอิง D20789 กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย

ในพื้นที่วัดช่อนข้าวมีการสร้างหมุดหลักฐานชั่วคราวเพิ่มเติมจำนวน 3 หมุด เพื่อให้เป็นจุดควบคุมสำหรับงานสำรวจอื่นๆและเชื่อมโยงกับหมุดหลักฐานอ้างอิง D20789 เป็นโครงข่าย อาศัยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสจำนวน 4 เครื่องทำการรับสัญญาณจำนวน 6 เส้นฐาน แบ่งการรับสัญญาณเป็น 2 ช่วงเวลารับสัญญาณทำให้มีโครงข่ายหมุดควบคุมของงานสำรวจดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 โครงข่ายหมุดหลักฐานชั่วคราวในบริเวณวัดช่อนข้าว

3.2 การสร้างแผนที่รายละเอียดและภูมิประเทศ

ภายหลังการสร้างหมุดหลักฐานเพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งของข้อมูลสำรวจจากโครงข่ายหมุดหลักฐานที่อาศัยวิธีการสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอสในบริเวณวัดช่อนข้าว ข้อมูลทางตำแหน่งอื่นๆอันได้แก่ ตำแหน่งและรูปร่างของโบราณสถาน ลักษณะภูมิประเทศ ได้จากงานรังวัดภูมิประเทศด้วยกล้องประมวลผลรวมที่ทำการบันทึกข้อมูลในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ ประมวลผลค่าพิกัดของตำแหน่งด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พร้อมกันกับการแสดงรูปแผนที่สำหรับงานรังวัดที่กำหนดระบบรหัส

กล้องประมวลผลรวมที่ใช้ในการสำรวจภูมิประเทศสำหรับงานวิจัยนี้ได้แก่ SOKKIA SET3X ดังรูปที่ 3.6 และมีคุณสมบัติทางเทคนิคดังตารางที่ 3.3 งานรังวัดอ้างอิงจากหมุดหลักฐานและบันทึกข้อมูลรังวัดผ่านความทรงจำภายในตัวกล้อง ลักษณะการรังวัดตำแหน่งอาศัยรูปแบบการวัดลักษณะแผ้วถางจากจุดตั้งกล้องไปยังวัสดุสะท้อนสัญญาณ กำหนดรหัสของจุดรังวัดเพื่อใช้ในการเขียนรูปแผนที่โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยภาพร่างของบริเวณพื้นที่ ประมวลผลตำแหน่งและสร้างรูปแผนที่ด้วยโปรแกรม Autodesk Land Desktop 3



รูปที่ 3.6 กล้องประมวลผลรวม SOKKIA SET3X

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติทางเทคนิคของกล้องประมวลผลรวม SOKKIA SET3X

Angle display resolution	1" / 5", 0.2 / 1 mg, 0.0055 / 0.02 mil
Angle accuracy (ISO 17123-3)	3" / 1 mg / 0.015 mil
Automatic dual-axis compensator	Dual axis liquid tilt sensor
Distance laser output	Reflectorless mode: Class 3R (max. 5W), Prism/sheet mode: Class 1 equivalent (max. 0.22W)
Distance measuring range : With 1 AP prism	Under average condition* ³ : 1.3 to 5,000 m (4.3 to 16,400 ft)
Distance accuracy : With prism Fine mode	(2+2 ppm x D) mm
Operating system / Application	Microsoft Windows CE / SDR Data Collection Software
Data storage : Internal memory	64 MB
Data storage : Memory card drive	Support up to 1 GB, CF Type II (Ver. 3.3)
Sensitivity of levels : Plate level	30" / 2 mm
Sensitivity of levels : Circular / Graphic	10' / 2 mm
Dust and water protection	Conforms to IP65 (IEC 60529)
Operating temperature	-20 to + 50°C (-4 to +122°F)
Keyboard	32 keys alphanumeric
Display	3.5 in TFT QVGA color LCD 324 x 240 dots
Battery	Li-ion rechargeable battery 4.3 Ah

ความถูกต้องทางตำแหน่งของภูมิประเทศของการรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม ตามข้อกำหนดของมาตรฐานการรังวัดภาคพื้นดิน ของคณะกรรมการกำหนดมาตรฐานการจัดทำระวางแผนที่และแผนที่รูปแปลงที่ดิน และบางส่วนจากคู่มือปฏิบัติงานแผนที่ภูมิประเทศของ USACE ความถูกต้องของงานชั้นที่ 3 โดยข้อมูลรังวัดภูมิประเทศในบริเวณวัดซ่อนข้าวมีจำนวนทั้งสิ้น 216 จุด จากหมุดหลักฐานชั่วคราวจำนวน 4 จุดรอบบริเวณ

3.3 การสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถาน

วัดซ่อนข้าวในพื้นที่อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย มีโบราณสถานที่ตั้งอยู่ในพื้นที่อยู่ 4 หลัง ซึ่งอาศัยวิธีการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายดิจิทัลระยะใกล้ บนหลักการของการปรับแก้บล็อก ลำแสงทำให้สามารถหาค่าพิกัดของตำแหน่งที่มีการรังวัดบนภาพถ่ายได้ ในโครงการวิจัยการบูรณาการงานสำรวจเพื่อการอนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์ใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส 50 ดี ดังรูปที่ 3.7 มีคุณสมบัติทางเทคนิคดังตารางที่ 3.4 ร่วมกับเลนส์ความยาวโฟกัส 20 มิลลิเมตร ในการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายโบราณสถานในมุมมองต่างๆเพื่อสร้างเงื่อนไขการปรับแก้บล็อก ลำแสง

ภาพถ่ายระยะใกล้สำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานกำหนดค่าความละเอียดของจุดภาพเป็น 4752 x 3168 จุดภาพหรือประมาณ 15 ล้านจุดภาพ กล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส 50 ดี เป็นกล้องถ่ายภาพแบบทั่วไปไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในงานรังวัดด้วยภาพถ่าย จำเป็นต้องทำการวัดสอบกล้องถ่ายภาพดิจิทัลดังกล่าวเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล ซึ่งเป็นค่าที่แสดงข้อมูลเชิงเรขาคณิตภายในที่ประกอบด้วยตำแหน่ง ศูนย์กลาง ความบิดเบี้ยวของเลนส์ ขนาดจุดภาพ



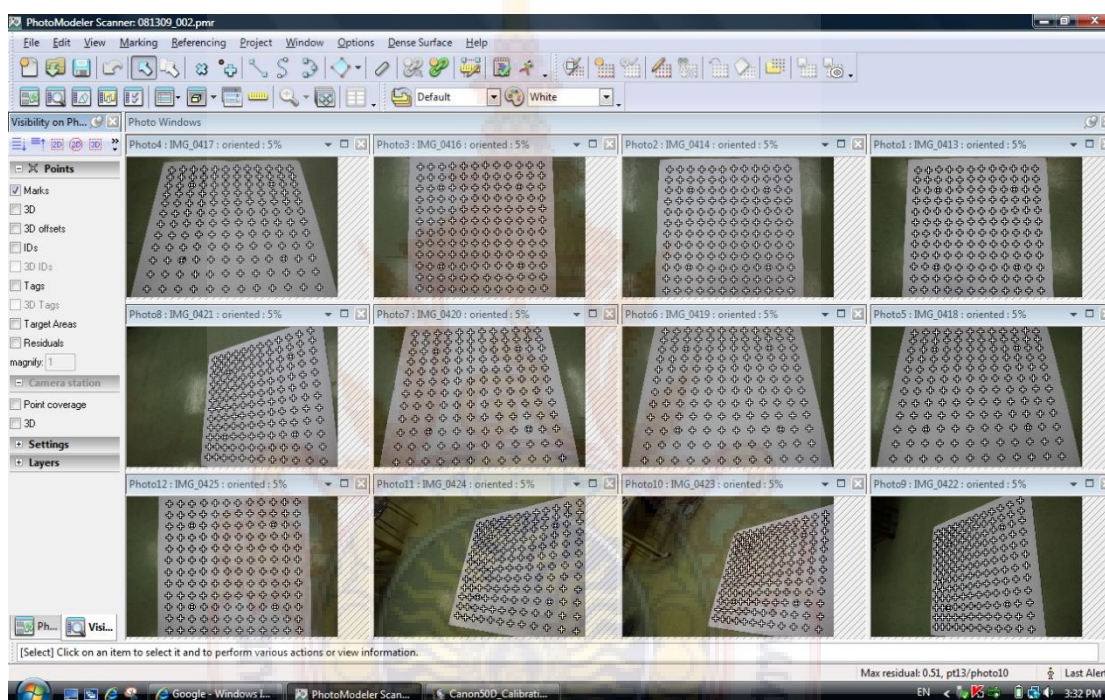
รูปที่ 3.7 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล แคนนอน อีโอเอส 50 ดี

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงคุณสมบัติทั่วไปของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล แคนนอน อีโอเอส 50 ดี

วัสดุตัวกล้อง	แมกกาณีสอัลลอยด์
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

การหาค่าองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล แคนนอน อีโอเอส 50 ดี กับเลนส์ความยาวโฟกัส 20 มิลลิเมตร วัดสอบด้วยการถ่ายภาพแผ่นวัดสอบในมุมต่างๆจำนวน 12 ภาพเพื่อใช้ในการประมวลผลหาองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่ใช้ในงานวิจัย

ในการถ่ายภาพแผ่นวัดสอบเงื่อนไขสำหรับได้แก่การบันทึกภาพถ่ายแผ่นวัดสอบให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของภาพอย่างน้อยร้อยละ 80 เพื่อให้การรังวัดจุดควบคุมบนภาพถ่ายมีการกระจายของตำแหน่งครอบคลุมทั้งทั้งภาพ ลักษณะของการถ่ายภาพแผ่นวัดสอบแสดงดังรูปที่ 3.8 เป็นภาพถ่ายของแผ่นวัดสอบในมุมมองต่างๆซึ่งพิจารณาส่วนซ้อนและพื้นที่ที่ครอบคลุม โดยการประมวลผลองค์ประกอบภายในโปรแกรมจะทำการกำหนดตำแหน่งจุดควบคุมทั้ง 4 จุดตามสัญลักษณ์ ตำแหน่งของจุดรังวัดร่วมบนภาพถ่ายอื่นๆอาศัยหลักการกำหนดจุดด้วยค่าน้ำหนักของระดับสีภายในกลุ่มของจุดนั้น



รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายแผ่นวัดสอบเพื่อการประมวลผลองค์ประกอบภายใน

ค่าองค์ประกอบภายในที่คำนวณหาประกอบด้วย ความยาวโฟกัส, ขนาดของภาพถ่าย, ตำแหน่งของจุดमुखสำคัญ, ความบิดเบี้ยวของเลนส์ ซึ่งค่าต่างๆจะเป็นของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส 50 ดี หมายเลข 0510313679 เป็นค่าเฉพาะของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลหมายเลขดังกล่าวเท่านั้น โดยจะเป็นค่าตัวแปรที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อหาองค์ประกอบภายในออกไปและไม่สามารถใช้ในการอ้างอิงใดๆของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบเดียวกันอื่นๆได้

สำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานในพื้นที่ทางประวัติศาสตร์วัดซ่อนข้าว กำหนดแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานในพื้นที่เป็น 4 แบบจำลองโดยแบบจำลองสามมิติที่ 1 เป็นแบบจำลองสามมิติของฐานเจดีย์ด้านทิศใต้ แบบจำลองสามมิติที่ 2 เป็นแบบจำลองสามมิติของฐานเจดีย์ด้านทิศเหนือ แบบจำลองสามมิติที่ 3 เป็นแบบจำลองสามมิติของเจดีย์ประธานทรงพุ่มข้าวบิณฑ์ และแบบจำลองสามมิติที่ 4 เป็นแบบจำลองสามมิติของพระวิหารในวัดซ่อนข้าว

รูปแบบและเงื่อนไขของการถ่ายภาพเพื่อการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานในพื้นที่ทางประวัติศาสตร์ อยู่บนพื้นฐานของการปรับแก้บล็อกแสงที่ต้องเกิดจากการตัดกันของลำแสงตั้งแต่ 2 ทิศทาง ภาพถ่ายเพื่อการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้จำเป็นต้องมีส่วนซ้อนและมุมของการตัดกันของลำแสงไม่แคบกว่า 10 องศา ซึ่งจะเห็นได้ว่าการกำหนดส่วนซ้อนสามารถควบคุมได้ด้วยการกำหนดฐานของการถ่ายภาพ แต่มุมของการตัดกันของลำแสงไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากขึ้นอยู่กับตำแหน่งของวัตถุบนภาพถ่ายและตำแหน่งถ่ายภาพประกอบกัน รูปแบบของการถ่ายภาพเพื่องานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้สำหรับพื้นที่เปิดจึงไม่มีการกำหนดตำแหน่งถ่ายภาพที่แน่นอน เป็นผลให้ไม่สามารถระบุรายละเอียดของส่วนซ้อนและมุมมองของภาพถ่ายได้อย่างชัดเจนมีเพียงการพิจารณาข้อมูลภาพถ่ายเพื่อการรังวัดแบบภาพต่อภาพ โดยการถ่ายภาพจะคำนึงถึงตำแหน่งที่ทำการรังวัดบนแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานเป็นสำคัญดังรูปที่ 3.9 และตัวอย่างของข้อมูลภาพถ่ายระยะที่ปรากฏส่วนซ้อนดังรูปที่ 3.10



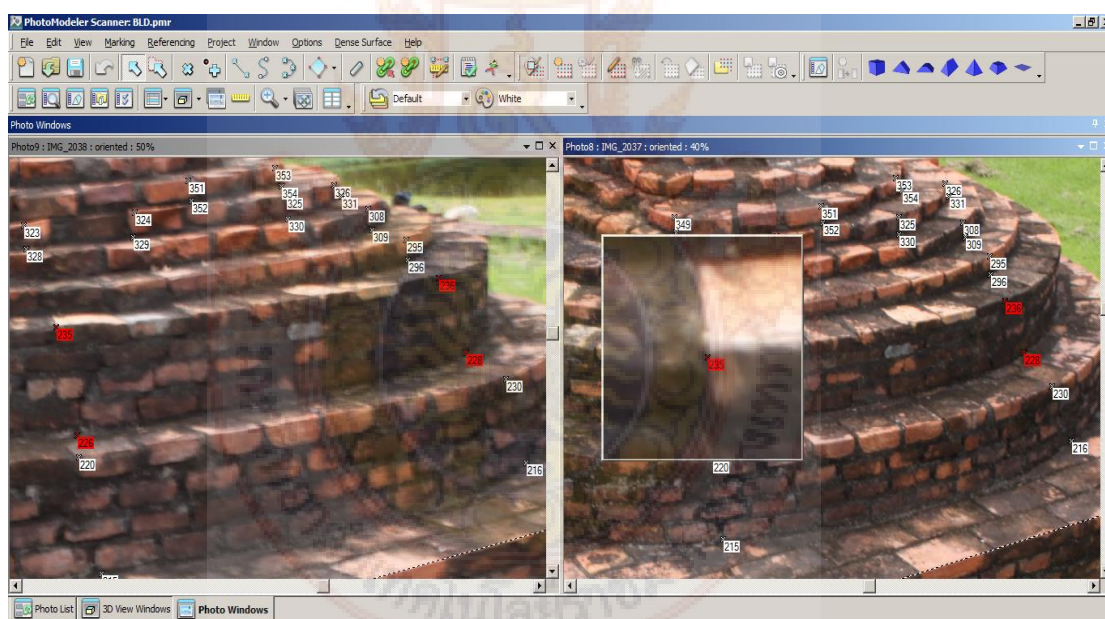
รูปที่ 3.9 ลักษณะของการถ่ายภาพในงานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้



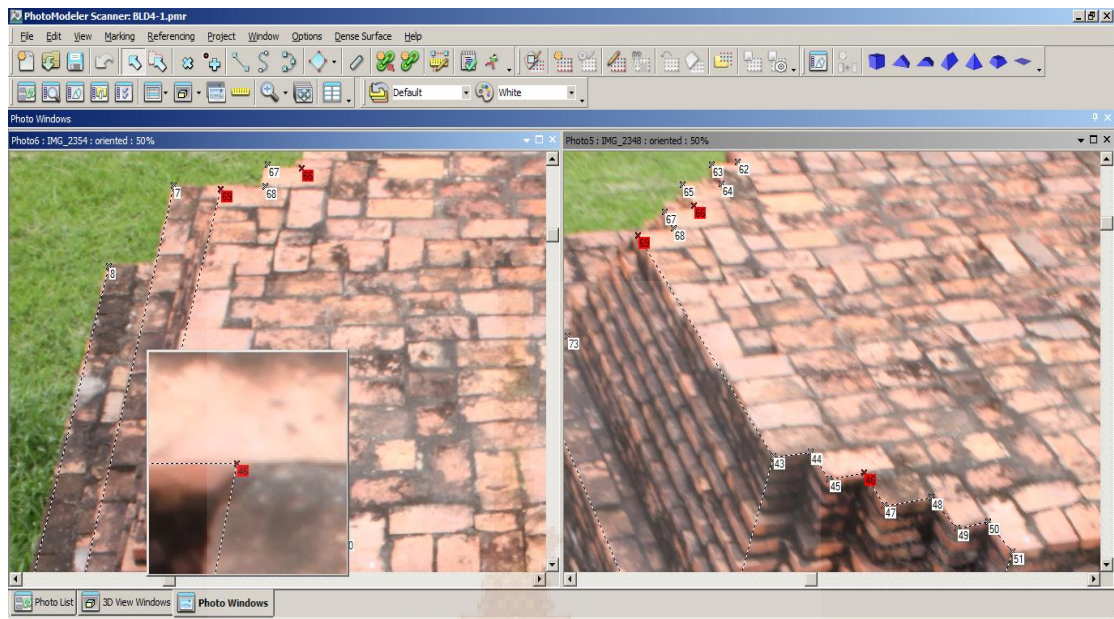
รูปที่ 3.10 ตัวอย่างข้อมูลภาพถ่ายระยะใกล้ที่มีส่วนซ้อน

การรังวัดภาพถ่ายระยะใกล้เป็นการรังวัดจุดอ้างอิงที่ชัดเจนจุดเดียวกันบนคู่ภาพถ่าย เชื่อมโยงกันหลายๆคู่ภาพบนแบบจำลองสามมิติ เพื่อเป็นการสร้างสมการร่วมเส้นของบล็อก ลำแสงของแบบจำลองสามมิติ โดยที่จุดรังวัดร่วมในแต่ละแบบจำลองสามมิติจำเป็นจะต้องมี จำนวนมากพอในการประมวลผลบล็อกลำแสงเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่าย ที่แสดง ตำแหน่งเปิดถ่ายและการวางตัวในสามมิติของภาพถ่ายแต่ละภาพ

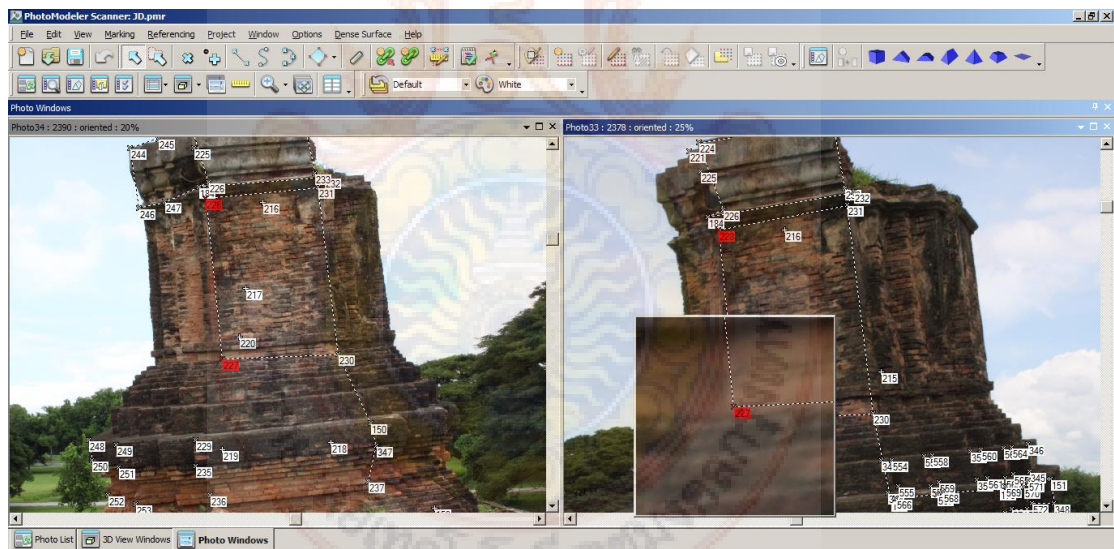
ความมั่นคงของค่าองค์ประกอบภายนอกที่ได้จากการรังวัดจุดอ้างอิงบนภาพถ่าย จะนำไปสู่การสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานด้วยภาพถ่ายที่มีประสิทธิภาพ โดย ภายหลังจากการปรับแก้บล็อกลำแสงของภาพถ่ายเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอกแล้ว แบบจำลอง สามมิติจะถูกสร้างเพิ่มเติมจากจุดรังวัดบนภาพถ่ายที่ใช้เพื่อการปรับแก้บล็อกลำแสง ที่คำนึงถึง รูปทรงของโบราณสถานที่ปรากฏให้เห็นบนภาพถ่าย ทำให้บนภาพถ่ายจะมีการรังวัดจุด เส้น และ พื้นผิวต่อเนื่องกันเพื่อแสดงลักษณะของแบบจำลองสามมิติที่ 1 ถึง 4 ดังรูปที่ 3.11 ถึง 3.14



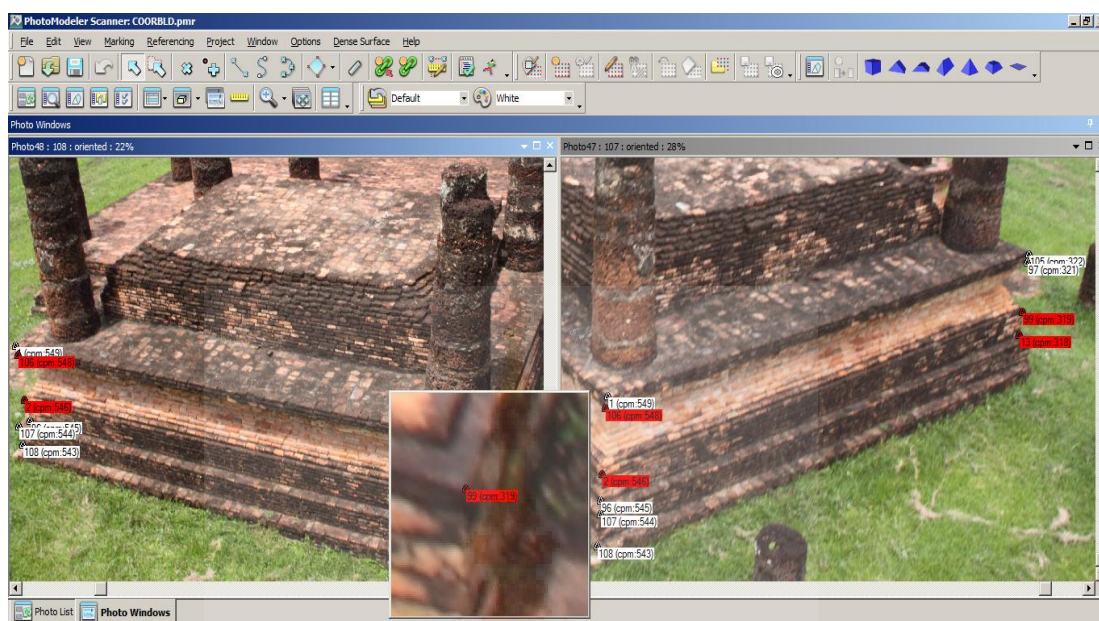
รูปที่ 3.11 การรังวัดจุด เส้น และพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติที่ 1



รูปที่ 3.12 การรังวัดจุด เส้น และพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติที่ 2

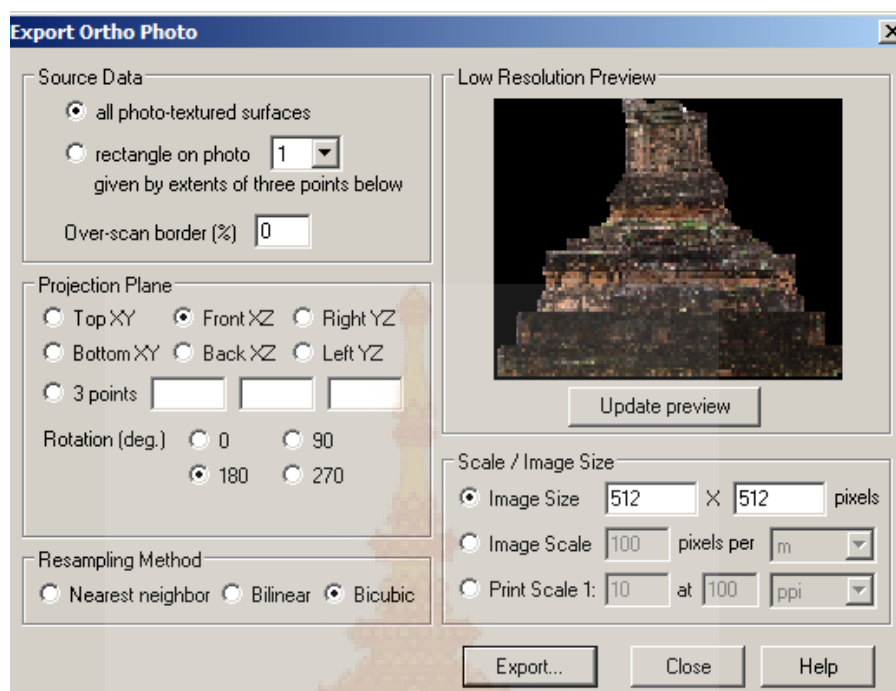


รูปที่ 3.13 การรังวัดจุด เส้น และพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติที่ 3



รูปที่ 3.14 การรังวัดจุด เส้น และพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติที่ 4

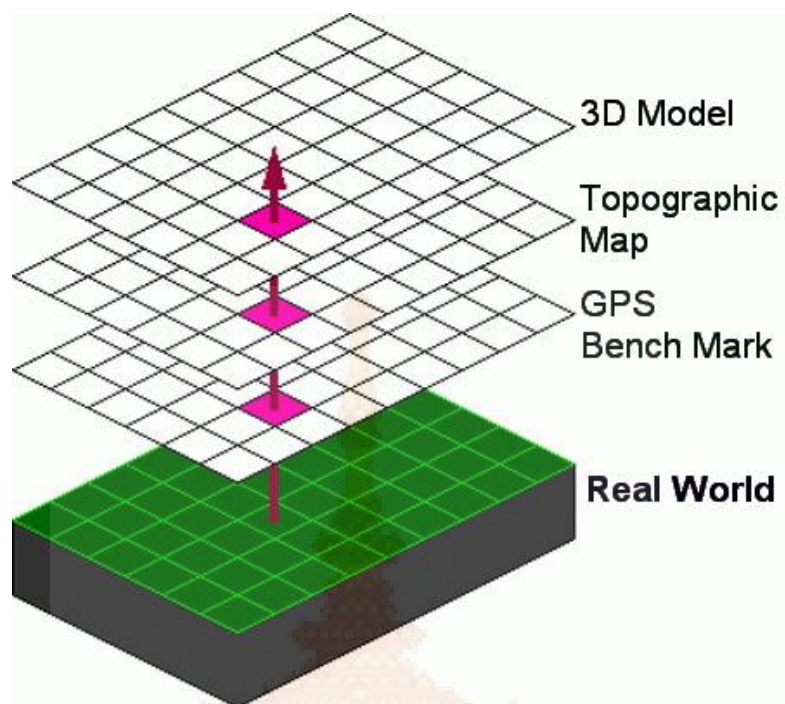
ภายหลังจากการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานทั้งหมด 4 แบบจำลองสามมิติในบริเวณวัดซ่อนข้าว กระบวนการของงานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้สามารถที่จะแสดงผลข้อมูลภาพบนพื้นผิวแกนอ้างอิงที่มีการกำหนดด้วยโดยให้มีคุณสมบัติเดียวกับแผนที่ ภาพออร์โธเป็นข้อมูลภาพที่จัดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งเนื่องจากลักษณะการฉาย และความแตกต่างที่เกิดจากระยะห่างเปิดถ่าย ซึ่งจำเป็นต้องทำการกำหนดมาตรฐานของแบบจำลองสามมิติและการวางตัวของแกนพิกัดจากแบบจำลองสามมิติ การสร้างภาพออร์โธจะเป็นข้อมูลที่ใช้งานได้ในหลายๆลักษณะตามความละเอียดของภาพที่กำหนดขึ้นแสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การกำหนดแกนพิกัดและความละเอียดของภาพออร์โธ

3.4 การบูรณาการข้อมูลสำรวจเชิงดิจิทัล

จากข้อมูลหมวดหลักฐานอ้างอิงโดยวิธีการสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอส การสำรวจภูมิประเทศด้วยกล้องประมวลผลรวมจากการสำรวจภาคพื้นดิน และการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานโดยการสำรวจจากภาพถ่ายระยะใกล้ อาศัยเครื่องมือทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในส่วนของการซ้อนของข้อมูล (Overlay) เพื่อแสดงผลของข้อมูลงานสำรวจเชิงอนุรักษ์ในพื้นที่ทางประวัติศาสตร์ โดยลำดับการทับซ้อนของมูลเป็นไปตามลักษณะดังรูปที่ 3.16 แสดงข้อมูลพื้นฐานจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสซึ่งถูกทับซ้อนด้วยข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศและตำแหน่งของโบราณสถานบนแผนที่ภูมิประเทศ จะถูกวางด้วยแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้



รูปที่ 3.16 การบูรณาการข้อมูลลักษณะทับซ้อน

การดำเนินการบูรณาการอาศัยโปรแกรมที่สามารถรองรับข้อมูลในส่วนของแผนที่ภูมิประเทศในรูปแบบ CAD และข้อมูลแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานในรูปแบบ 3DS เพื่อให้สามารถทำการทับซ้อนข้อมูลอาศัยโปรแกรม Autodesk 3ds Max ในการดำเนินงานดังกล่าว การใช้งาน Autodesk 3ds Max จะเป็นเพื่อการแสดงผลภาพสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลงานสำรวจจะขึ้นอยู่กับที่มาของข้อมูล

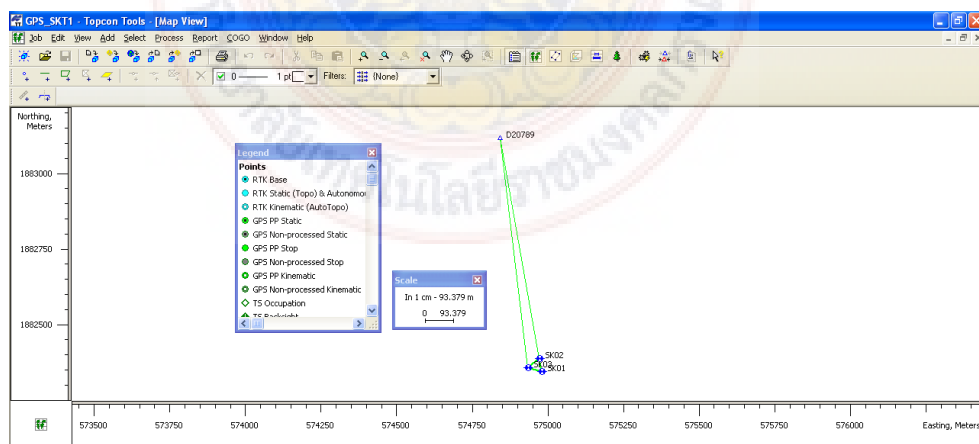
บทที่ 4

ผลการดำเนินงานโครงการวิจัย

จากการดำเนินงานภายใต้โครงการวิจัยการบูรณาการงานสำรวจเพื่อการอนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์ เพื่อสร้างข้อมูลดิจิทัลของพื้นที่ทางประวัติศาสตร์สำหรับใช้เป็นเอกสารอ้างอิงเชิงอนุรักษ์ โดยพื้นที่ศึกษาสำหรับงานวิจัยนี้เป็นบริเวณวัดช่อนข้าว อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย ขนาดเนื้อที่ประมาณ 2 ไร่และมีสิ่งก่อสร้างที่เป็นโบราณสถานอยู่ 4 หลัง ดำเนินการตั้งแต่การสร้างหมุดหลักฐานอ้างอิงในพื้นที่จากการสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอส แผนที่ภูมิประเทศและตำแหน่งของโบราณสถานจากการสำรวจด้วยกล้องประมวลผลรวมภาคพื้นดิน และการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานในพื้นที่ทางประวัติศาสตร์จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ซึ่งจะบูรณาการข้อมูลทั้งหมดเข้าด้วยกันเพื่อแสดงผลลัพธ์ของงาน มีผลของการดำเนินงานโครงการวิจัยดังนี้

4.1 ผลของการสร้างหมุดหลักฐานอ้างอิง

หมุดหลักฐานอ้างอิงจากการสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอสที่ได้ดำเนินการในพื้นที่วัดช่อนข้าว จำนวน 3 หมุดคือ SK01 SK02 และ SK03 ที่รังวัดด้วยวิธีแบบสถิติอ้างอิงตำแหน่งจากหมุดหลักฐานของกรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย หมายเลข D20789 ในรูปโครงข่ายลักษณะ Quadrilaterals ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงข่ายหมุดหลักฐานอ้างอิง GPS

การประมวลผลเส้นฐานแสดงข้อมูลตามตารางที่ 4.1 ซึ่งผลลัพธ์จากการประมวลผลจะถูกนำไปปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานอ้างอิงแสดงดังตารางที่ 4.2 โดยค่าพิกัดของหมุดหลักฐานอ้างอิงในพื้นที่วัดซ้อนซ้ำจะถูกไปใช้สำหรับงานสำรวจภูมิประเทศด้วยกล้องประมวลผลรวมภาคพื้นดินต่อไป

ตารางที่ 4.1 ผลการประมวลผลเส้นฐานของงานสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอส

Project name :		GPS_SKT1.ttp			
Surveyor :					
Comment :					
Linear unit :		Meters			
Projection :		UTMNorth-Zone_47 : 96E to 102E			
Geoid :					
Used GPS Observations					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
D20789—SK01	-774.499	135.696	-0.285	0.003	0.006
D20789—SK02	-730.007	129.554	-0.409	0.005	0.009
D20789—SK03	-760.462	91.692	-0.126	0.004	0.008
SK01—SK02	44.491	-6.144	-0.121	0.002	0.003
SK01—SK02	44.490	-6.144	-0.123	0.001	0.001
SK01—SK03	14.032	-44.007	0.160	0.001	0.002
SK01—SK03	14.033	-44.006	0.157	0.001	0.002
SK02—SK03	-30.458	-37.861	0.276	0.001	0.002
SK02—SK03	-30.458	-37.863	0.281	0.001	0.001

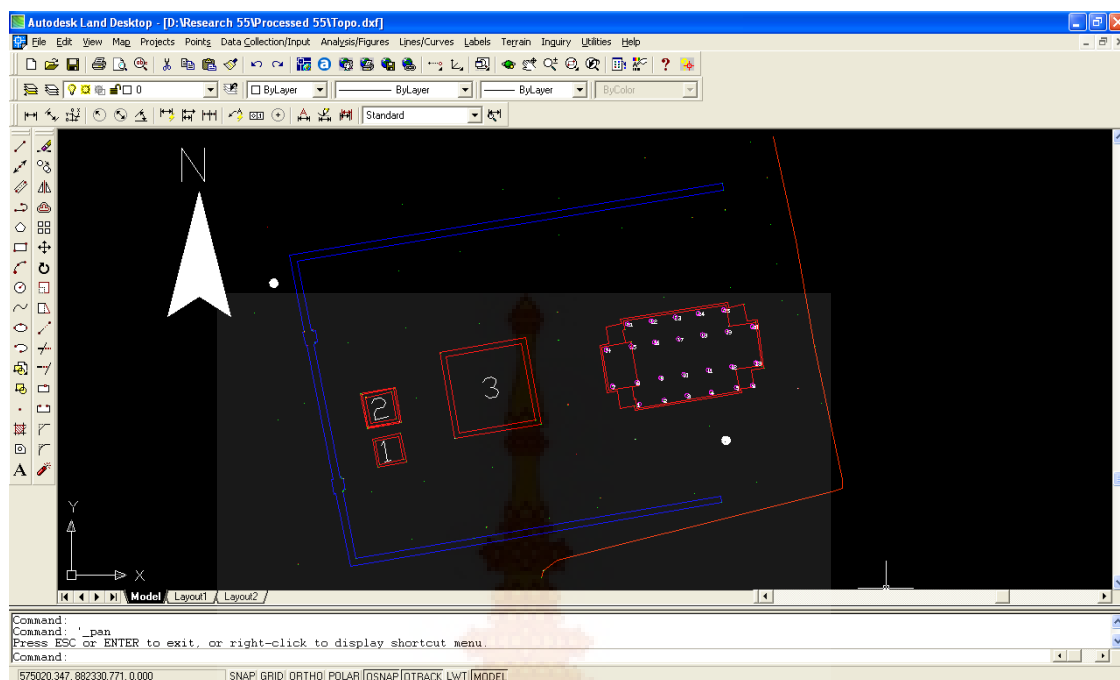
ตารางที่ 4.2 ผลการปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานอ้างอิง

Adjustment type:		Plane, Minimal constraint		
Confidence level:		95 %		
Number of adjusted points:		4		
Number of plane control points:		1		
Number of used GPS vectors:		9		
A posteriori plane UWE:		.641013 , Bounds: (.6055301 , 1.394633)		
Control Points				
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
D20789	1883118.557	574842.233	19.719	
Adjusted Points				
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
SK01	1882344.057	574977.931	19.432	
SK02	1882388.548	574971.786	19.311	
SK03	1882358.090	574933.924	19.589	PEG

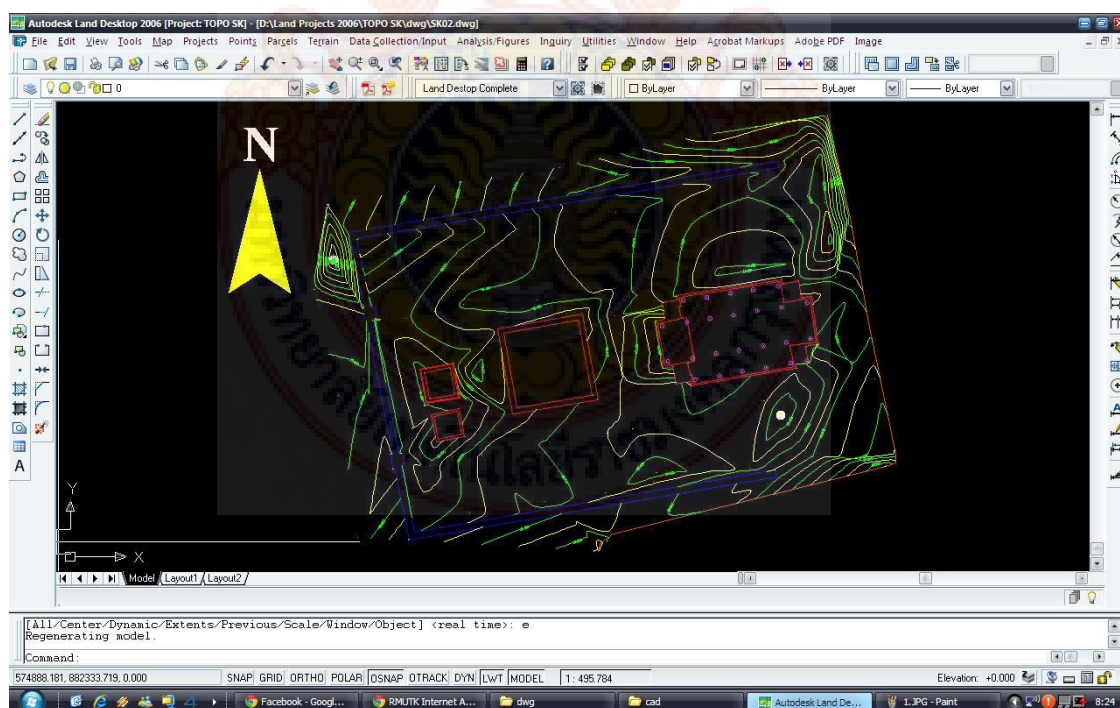
4.2 ผลการสร้างแผนที่รายละเอียดและภูมิประเทศ

การดำเนินการเพื่อสร้างแผนที่รายละเอียดและภูมิประเทศในพื้นที่ทางประวัติศาสตร์วัดช่อนข้าว อาศัยกล้องประมวลผลรวม SOKKIA SET3X ทำการรังวัดแบบแผ่รัศมีจากหมุดหลักฐานอ้างอิงข้างต้น มีจำนวนจุดรังวัดทั้งสิ้น 216 จุด ทั่วบริเวณพื้นที่วัดช่อนข้าว จากการกำหนดรหัสของจุดเพื่อการสร้างแผนที่รายละเอียดมีผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.2

ลักษณะความสูงต่ำของภูมิประเทศในพื้นที่วัดช่อนข้าวแสดงด้วยแผนที่ภูมิประเทศที่แสดงเส้นชั้นความสูง โดยความสูงต่ำในพื้นที่วัดช่อนข้าวอยู่ในช่วง 18.900 ถึง 20.000 เมตร และมีความลาดชันไปยังสระน้ำด้านข้างวัดช่อนข้าว แผนที่ภูมิประเทศที่แสดงเส้นชั้นความสูงแสดงดังรูปที่



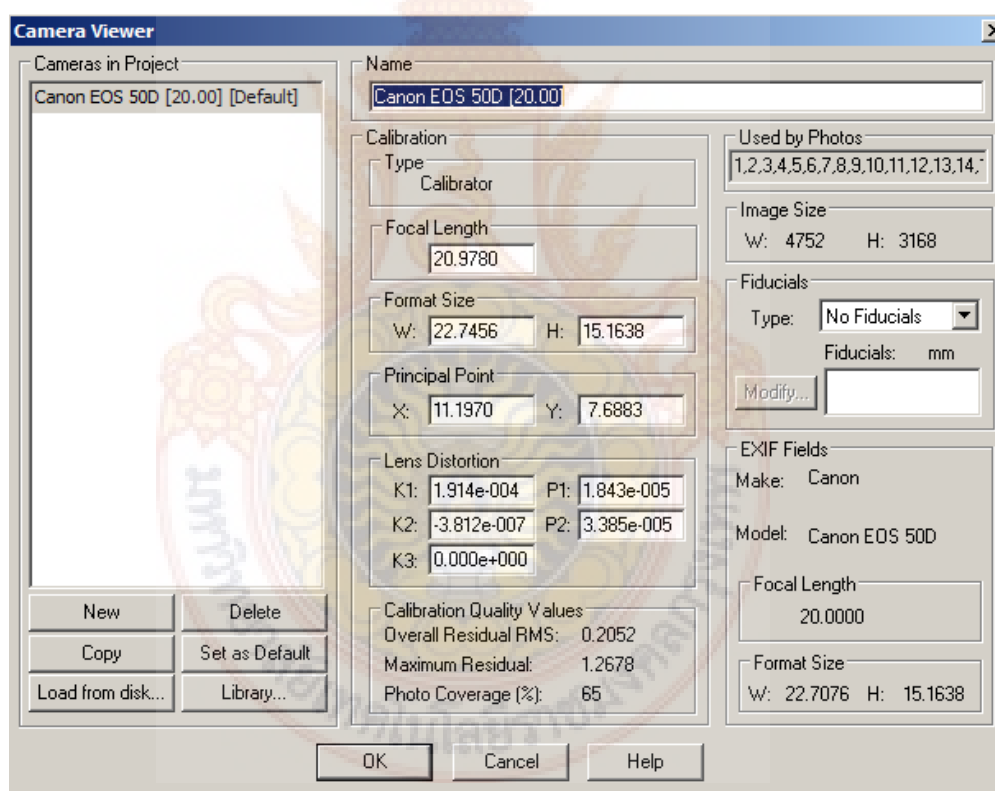
รูปที่ 4.2 แผนที่แสดงรายละเอียดบริเวณพื้นที่วัดซ่อนข้าว



รูปที่ 4.3 แผนที่ภูมิประเทศแสดงเส้นชั้นความสูงบริเวณพื้นที่วัดซ่อนข้าว

4.3 ผลการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถาน

จากการดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานจากวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายดิจิทัลระยะใกล้ ที่กำหนดแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานในพื้นที่เป็น 4 แบบจำลอง โดยแบบจำลองสามมิติที่ 1 เป็นแบบจำลองสามมิติของฐานเจดีย์ด้านทิศใต้ แบบจำลองสามมิติที่ 2 เป็นแบบจำลองสามมิติของฐานเจดีย์ด้านทิศเหนือ แบบจำลองสามมิติที่ 3 เป็นแบบจำลองสามมิติของเจดีย์ประธานทรงพุ่มข้าวบิณฑ์ และแบบจำลองสามมิติที่ 4 เป็นแบบจำลองสามมิติของพระวิหารในวัดซ่อนข้าว โดยอาศัยข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลจากกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส 50 ดี กับเลนส์ความยาวโฟกัส 20 มิลลิเมตรซึ่งทำการวัดสอบและได้ค่าองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ค่าองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนนอน อีโอเอส 50 ดี

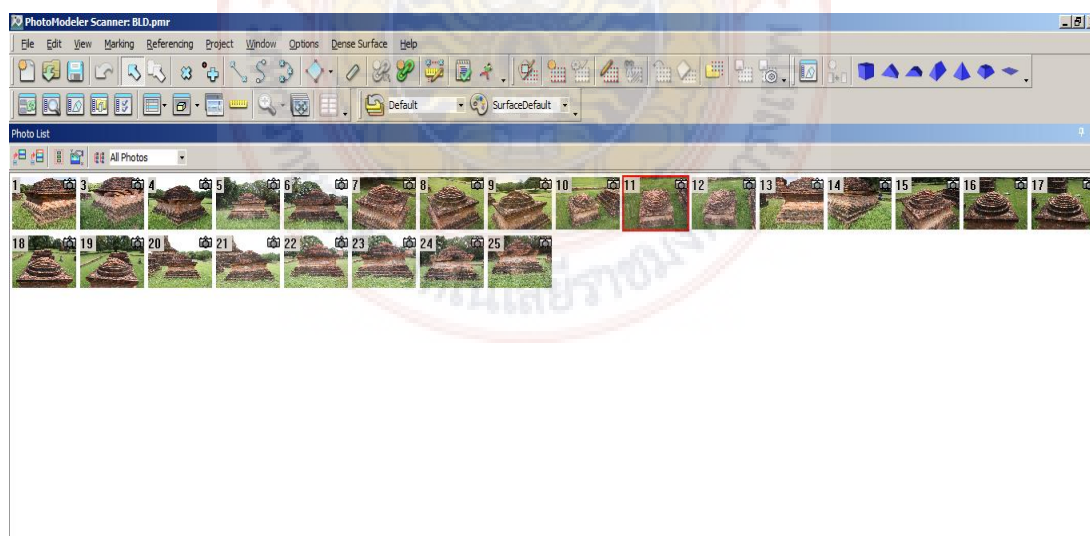
การบันทึกข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลของโบราณสถานทั้ง 4 แบบจำลองพิจารณาจากเงื่อนไขทั่วไปของงานสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ ด้วยการถ่ายภาพให้ปรากฏส่วนซ่อนและคาน้ำมูมของการตัดกันในบล็อกแสงซึ่งในทางปฏิบัติจะเป็นการประมาณตำแหน่งถ่ายภาพมากกว่า อีกทั้ง

โบราณสถานทั้ง 4 แบบจำลองอยู่ในพื้นที่กลางแจ้งที่ไม่มีการควบคุมสถานะของการจัดแสงขณะถ่ายภาพ ข้อมูลจำนวนภาพถ่ายที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติทั้ง 4 แบบจำลองแสดงดังตารางที่ 4.3

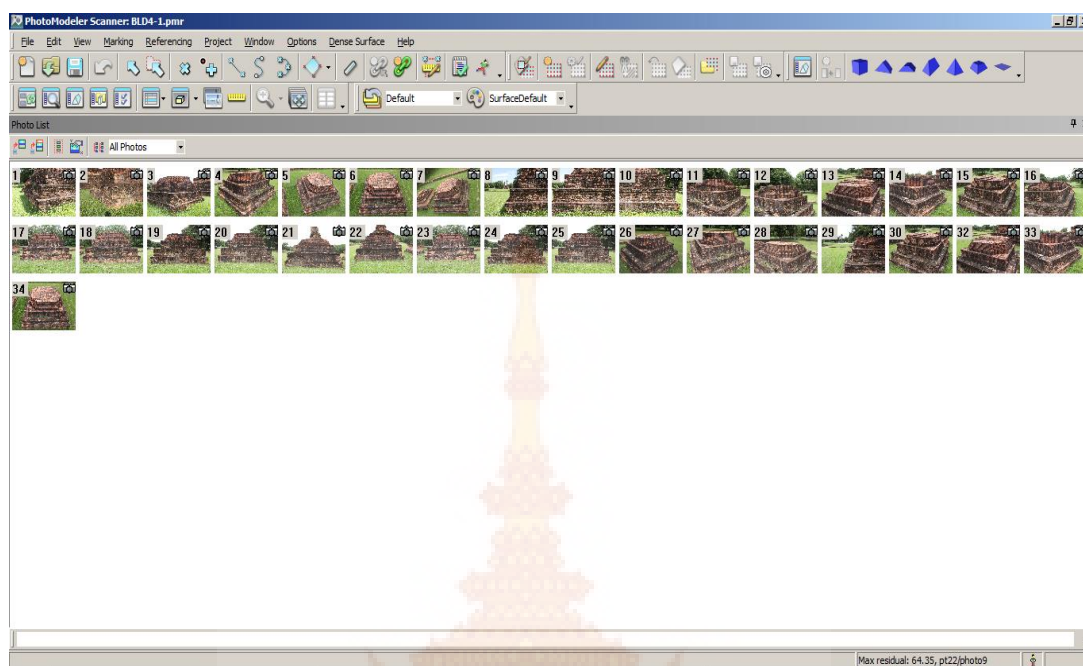
ตารางที่ 4.3 จำนวนภาพถ่ายในการสร้างแบบจำลองสามมิติ

แบบจำลองสามมิติ	จำนวนภาพถ่ายดิจิทัล (ภาพ)
1	24
2	34
3	53
4	50

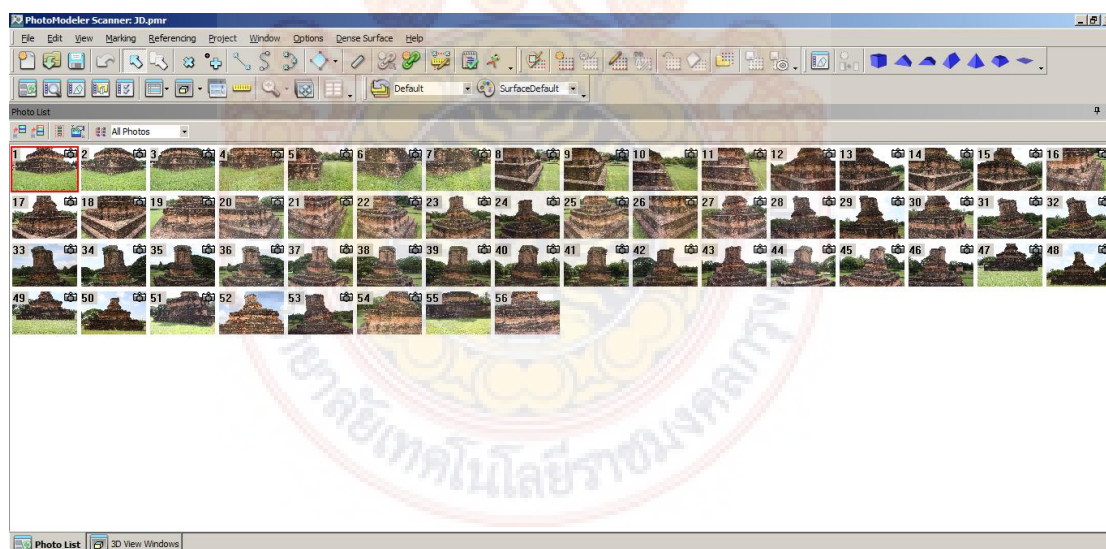
จำนวนภาพถ่ายดิจิทัลของแต่ละแบบจำลองสามมิติในทางปฏิบัติมีการบันทึกภาพในจำนวนที่มากกว่าการใช้งานมาก เพื่อใช้เป็นตัวเลือกในการพิจารณาส่วนทับซ้อนและการตัดกันของลำแสงที่ดีที่สุด โดยภาพถ่ายดิจิทัลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1 2 3 และ 4 แสดงดังรูปที่ 4.5 ถึง 4.8 ตามลำดับ



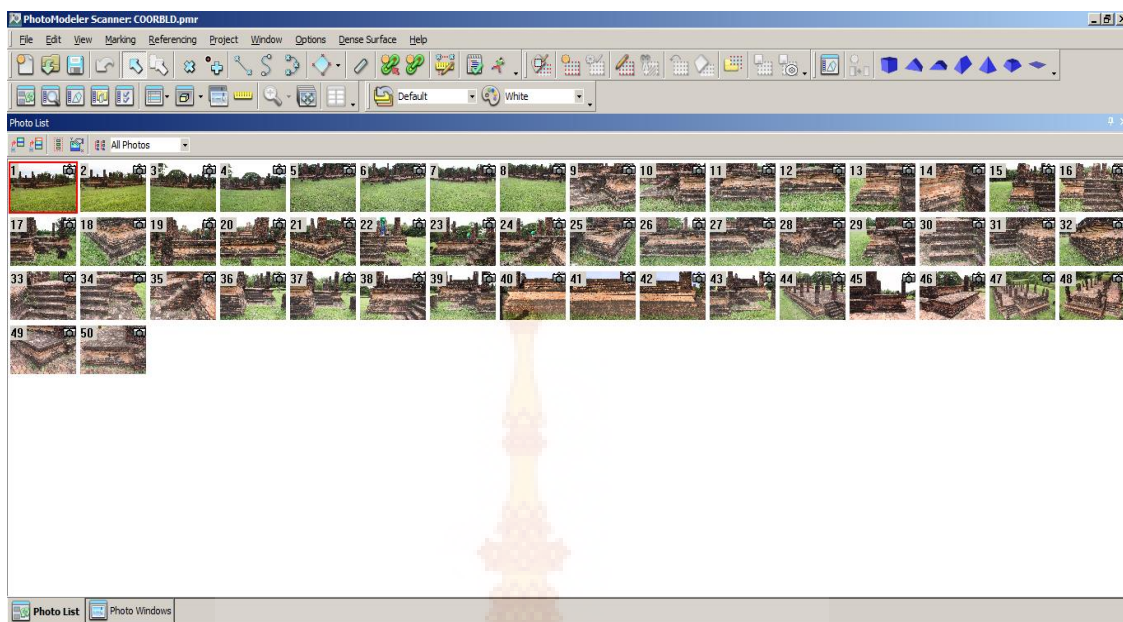
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายดิจิทัลสำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1



รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายดิจิทัลสำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 2

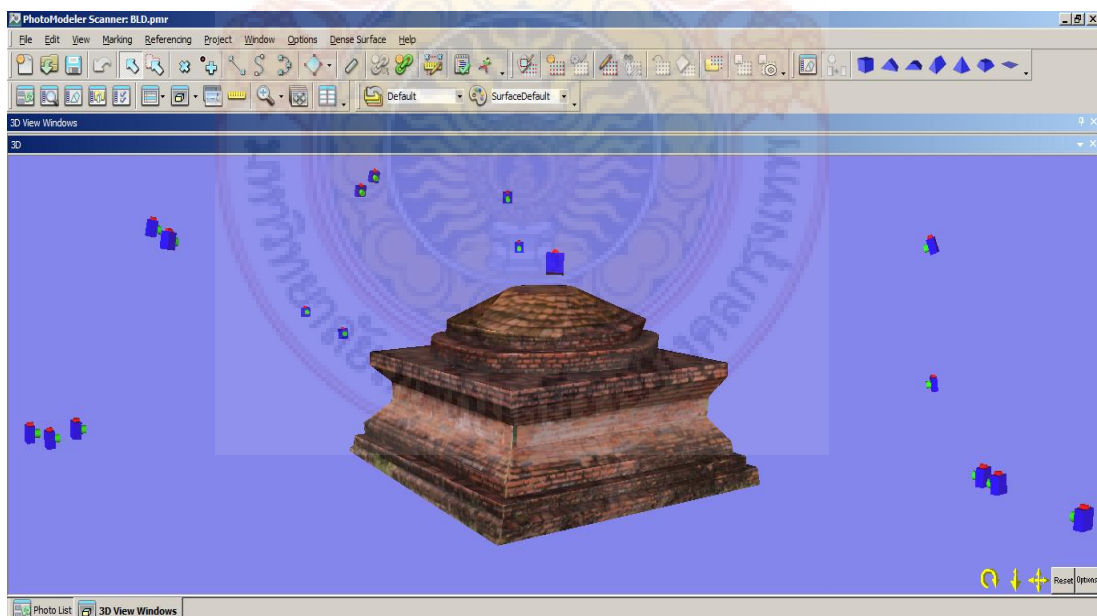


รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายดิจิทัลสำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 3

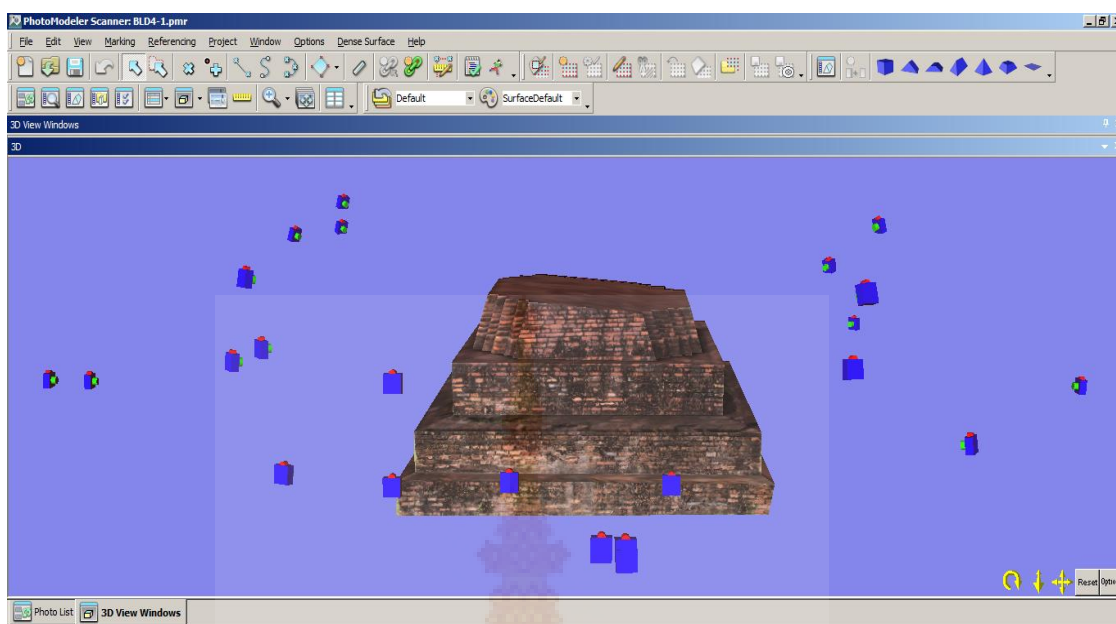


รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายดิจิทัลสำหรับสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 4

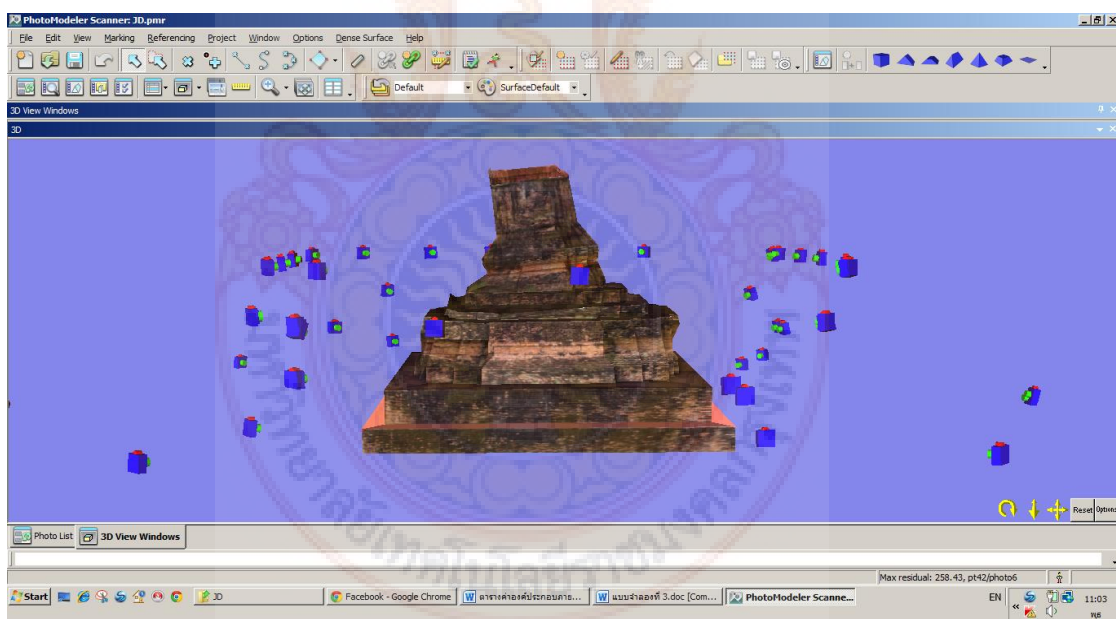
โดยสามารถแสดงตำแหน่งและมุมมองของการถ่ายภาพในแบบจำลองสามมิติที่ 1 ถึง 3 ดังรูปที่ 4.9 ถึง 4.11 ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 องค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 1



รูปที่ 4.10 องค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 2



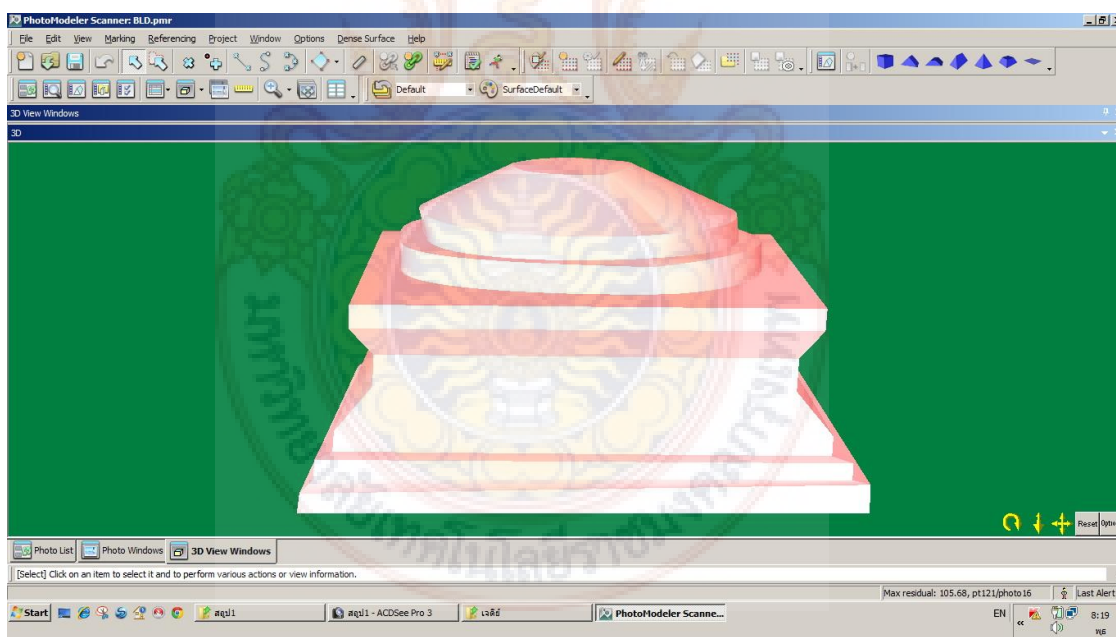
รูปที่ 4.11 องค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3

สำหรับแบบจำลองสามมิติที่ 4 แบบจำลองสามมิติของวิหารที่อาศัยตำแหน่งจากการรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวมในการกำหนดตำแหน่งของแบบจำลองสามมิติ ภายใต้ข้อจำกัดด้านรูปทรงของแบบจำลองสามมิติที่ 4 ซึ่งมีผลให้ไม่สามารถขยายโครงข่ายจุดรังวัดบนภาพถ่ายและมี

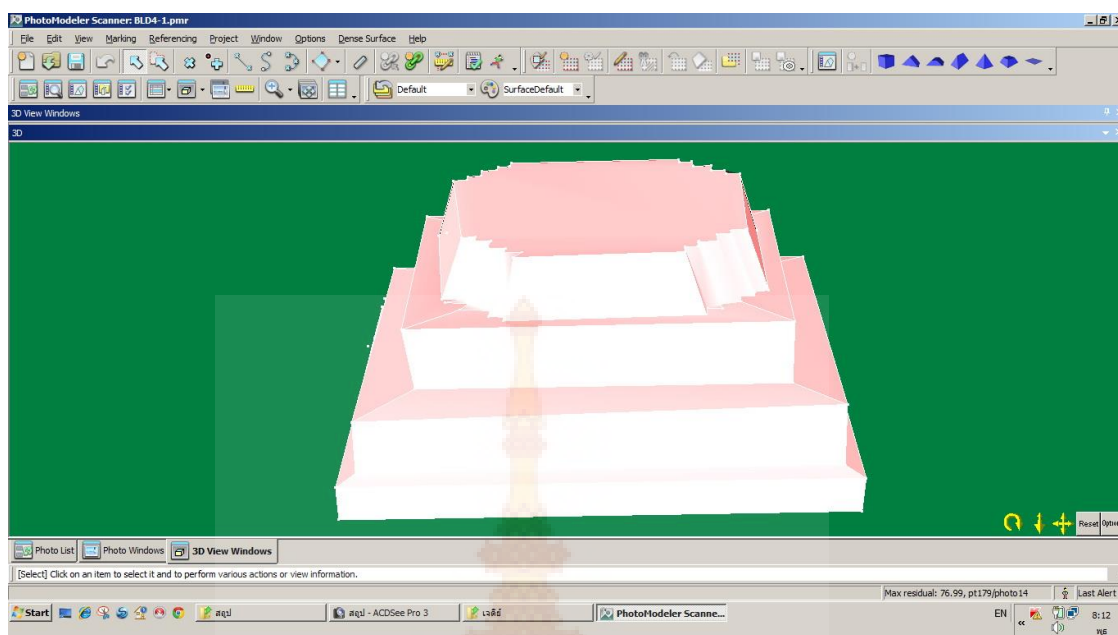
ความถูกต้องเพียงพอสำหรับการคำนวณปรับแก้กล้องแสงได้ จากการรังวัดจุดภาพบนแบบจำลองสามมิติที่ 1 ถึง 4 เพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่าย มีผลของค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 1 ถึง 4 ตามภาคผนวก ก ในตาราง ก1 ถึง ก4

ภายหลังการรังวัดจุดบนภาพถ่ายในแต่ละแบบจำลองสามมิติเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายแล้ว จึงดำเนินการสร้างรายละเอียดของแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานโดยการเชื่อมต่อเส้นและกำหนดพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติ มีผลลัพธ์ของการสร้างแบบจำลองสามมิติที่ 1 ถึง 4 จากการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้แสดงดังรูปที่ 4.12 ถึง 4.15 ตามลำดับ

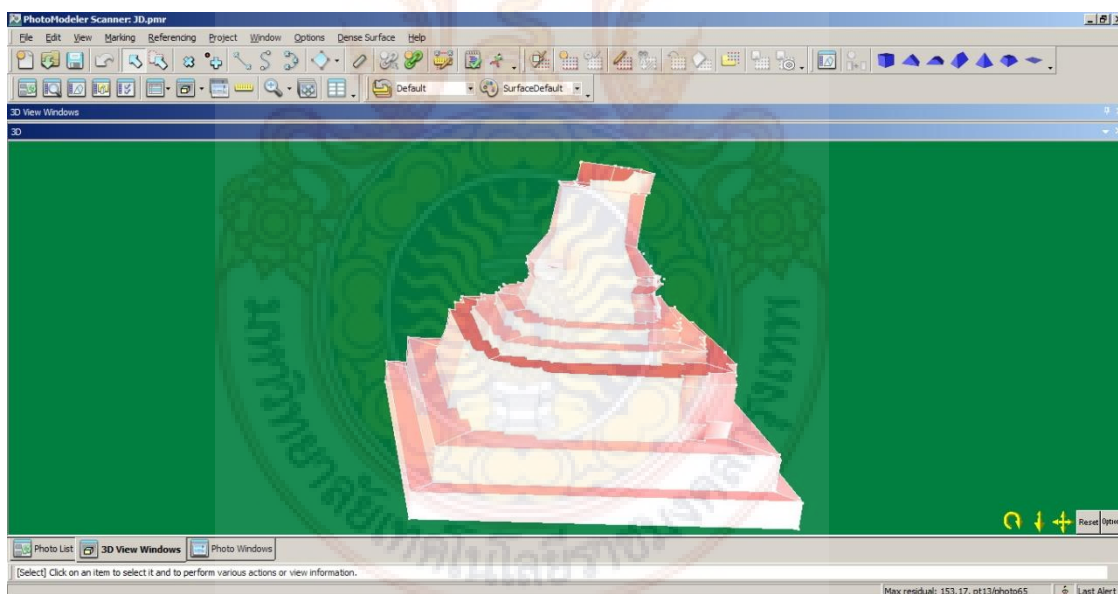
รูปแบบการกำหนดคุณสมบัติของพื้นผิวจริงเพื่อให้แสดงผลของสภาพพื้นผิวจริงของโบราณสถาน อาศัยการกำหนดเงื่อนไขของการแสดงผลลักษณะของพื้นผิวจากภาพถ่ายโดยตรง มีผลลัพธ์ของการกำหนดรูปแบบพื้นผิวจริงของแบบจำลองสามมิติที่ 1 ถึง 4 แสดงดังรูปที่ 4.16 ถึง 4.19 ตามลำดับ



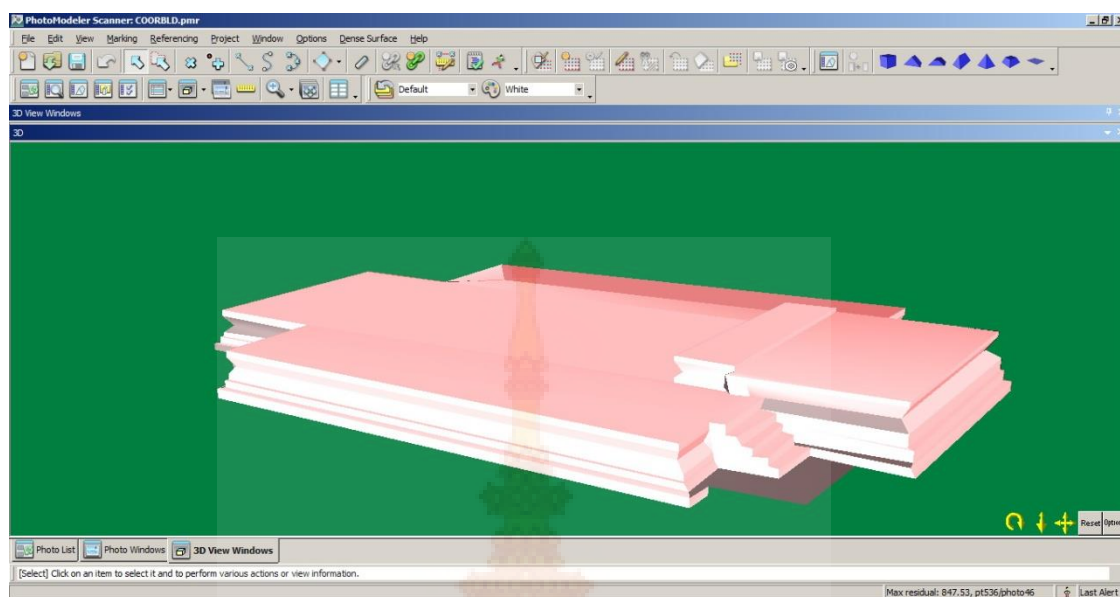
รูปที่ 4.12 รายละเอียดพื้นผิวแบบจำลองสามมิติที่ 1



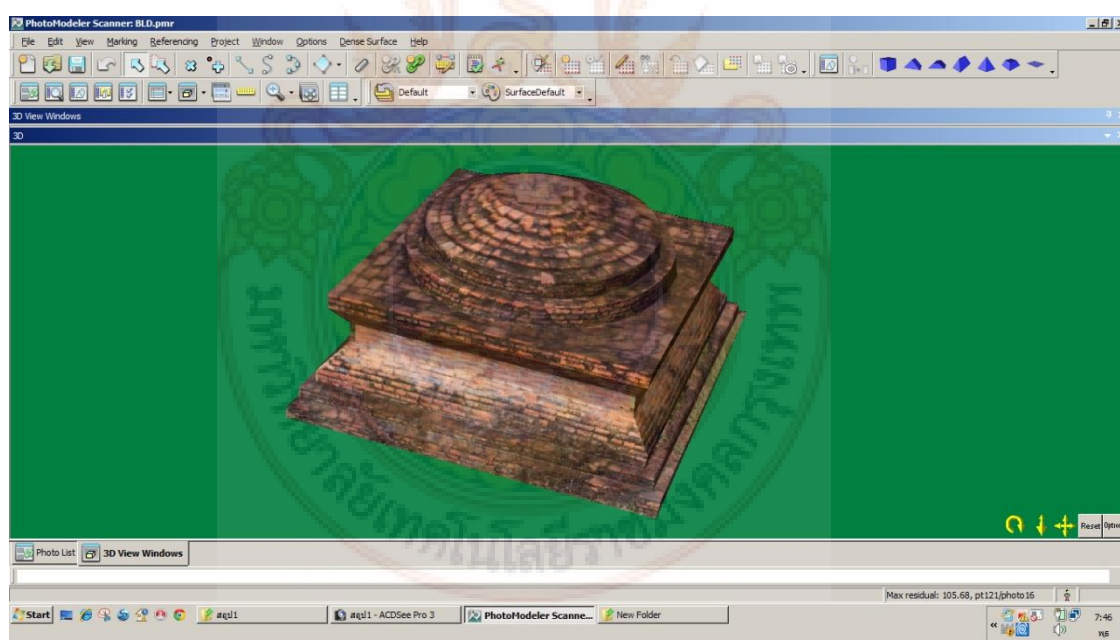
รูปที่ 4.13 รายละเอียดพื้นผิวแบบจำลองสามมิติที่ 2



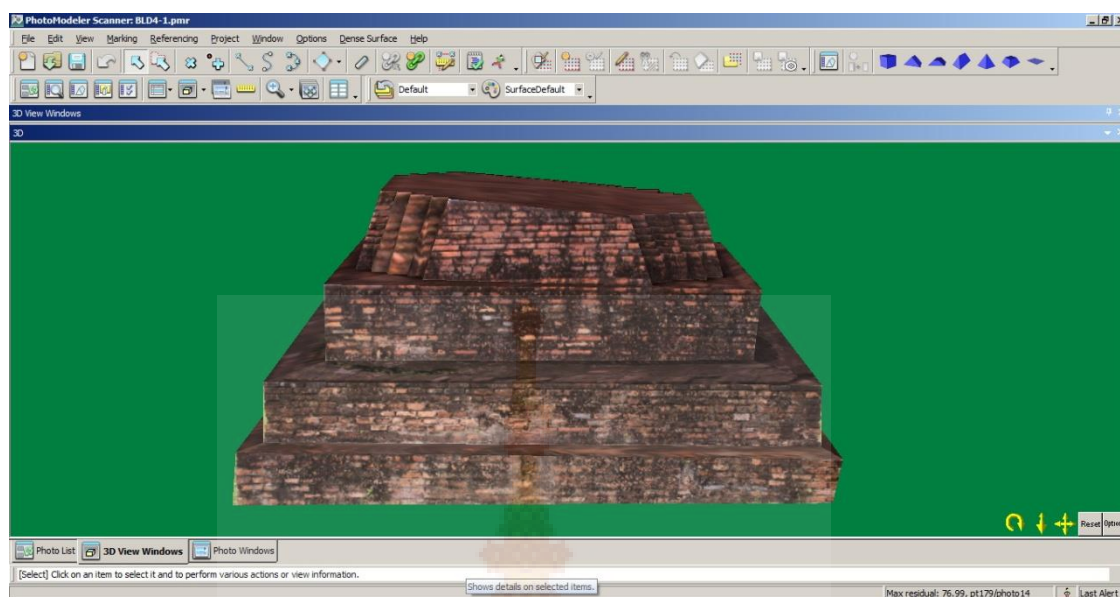
รูปที่ 4.14 รายละเอียดพื้นผิวแบบจำลองสามมิติที่ 3



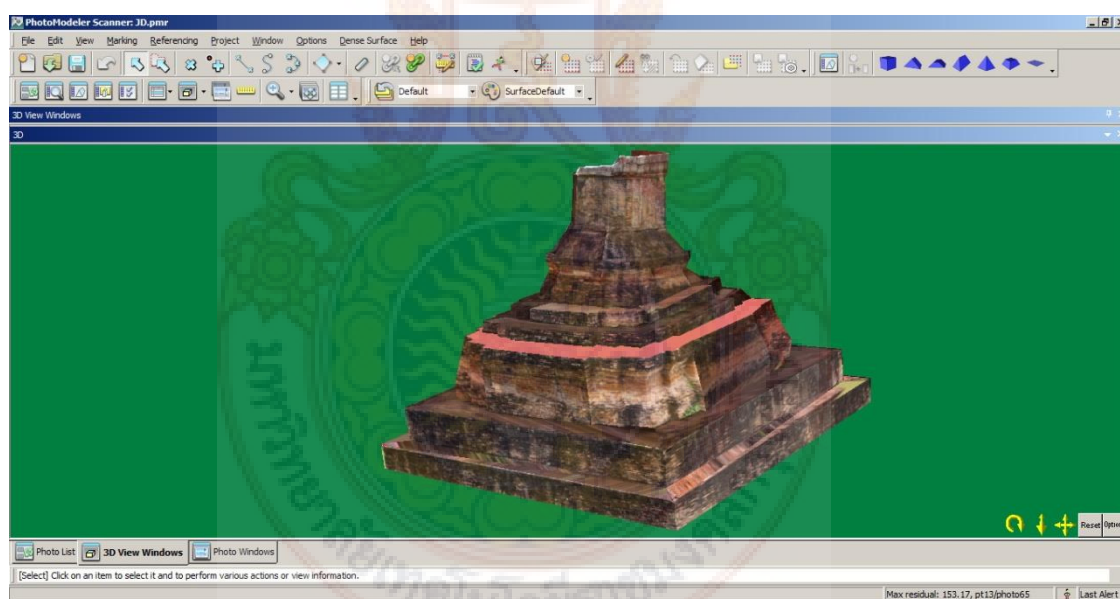
รูปที่ 4.15 รายละเอียดพื้นผิวแบบจำลองสามมิติที่ 4



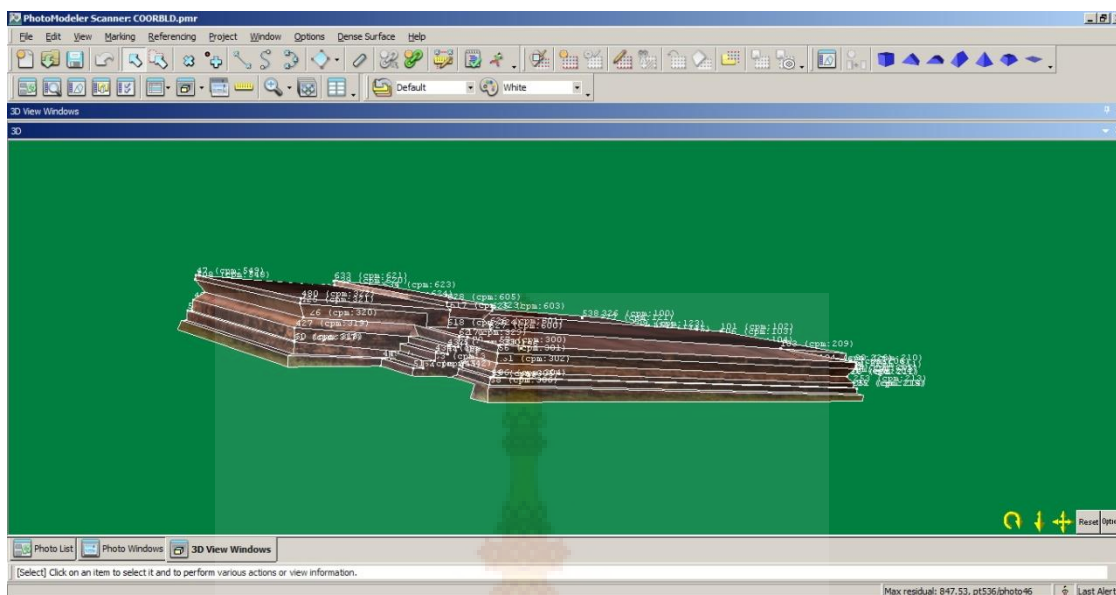
รูปที่ 4.16 พื้นผิวจากภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 1



รูปที่ 4.17 พื้นผิวจากภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 2



รูปที่ 4.18 พื้นผิวจากภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 3



รูปที่ 4.19 พื้นผิวจากภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติที่ 4

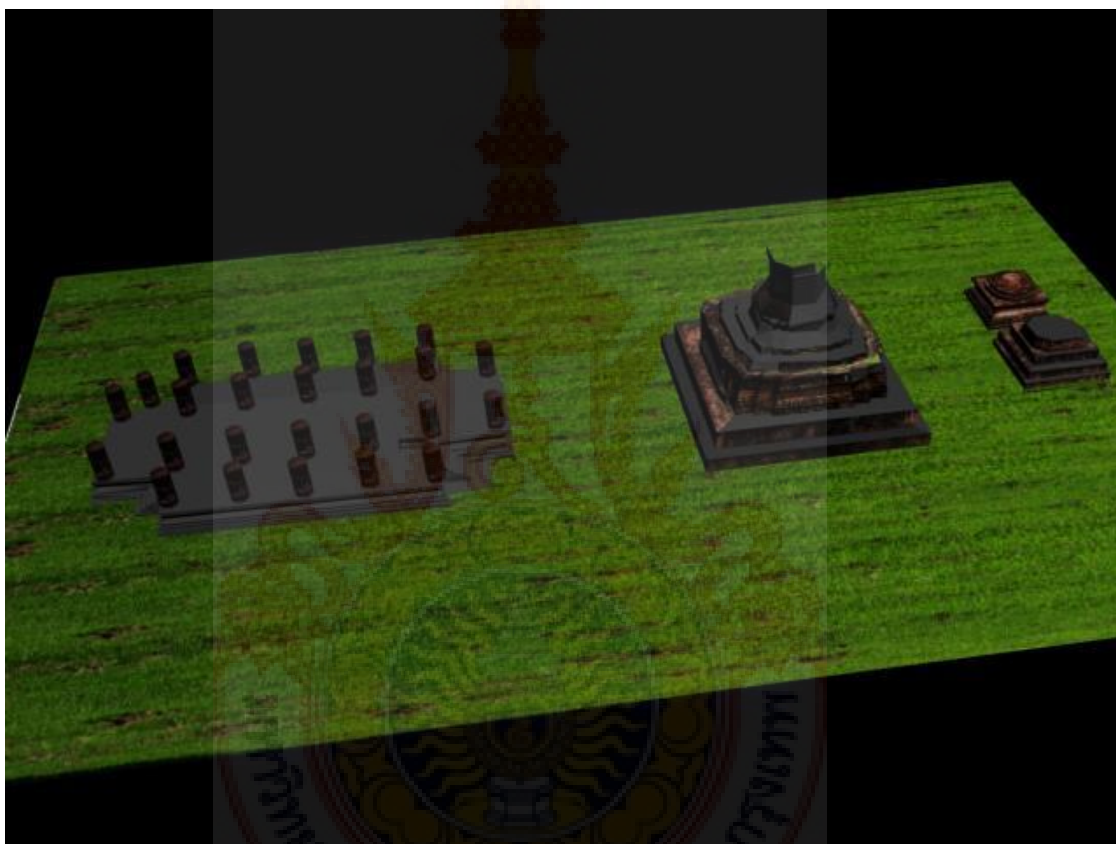
ผลจากการสร้างข้อมูลภาพออร์โธจากแบบจำลองสามมิติในโครงการวิจัยนี้ดำเนินการเฉพาะแบบจำลองสามมิติที่ 3 เนื่องจากเป็นแบบจำลองของพระปรางค์ประธานในพื้นที่วัดซ่อนข้าว กำหนดความละเอียดของข้อมูลภาพที่ระดับ 100 จุดภาพต่อเมตร จากคุณสมบัติของภาพออร์โธที่มีลักษณะของการฉายเหมือนกับแผนที่ทำให้สามารถใช้งานภาพออร์โธได้เสมือนแผนที่ แสดงข้อมูลภาพออร์โธของแบบจำลองสามมิติที่ 3 ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ภาพออร์โธของแบบจำลองสามมิติที่ 3

4.4 ผลการบูรณาการข้อมูลสำรวจเชิงดิจิทัล

จากการดำเนินงานโครงการวิจัยการบูรณาการงานสำรวจเพื่อการอนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์ที่ได้ดำเนินการไปข้างต้น อาศัยโปรแกรม Autodesk 3ds Max เพื่อดำเนินการจัดการข้อมูลในลักษณะทับซ้อนกัน พิจารณาชั้นข้อมูลตามรูปที่ 3.16 มีผลลัพธ์ของการบูรณาการข้อมูลทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 4.21



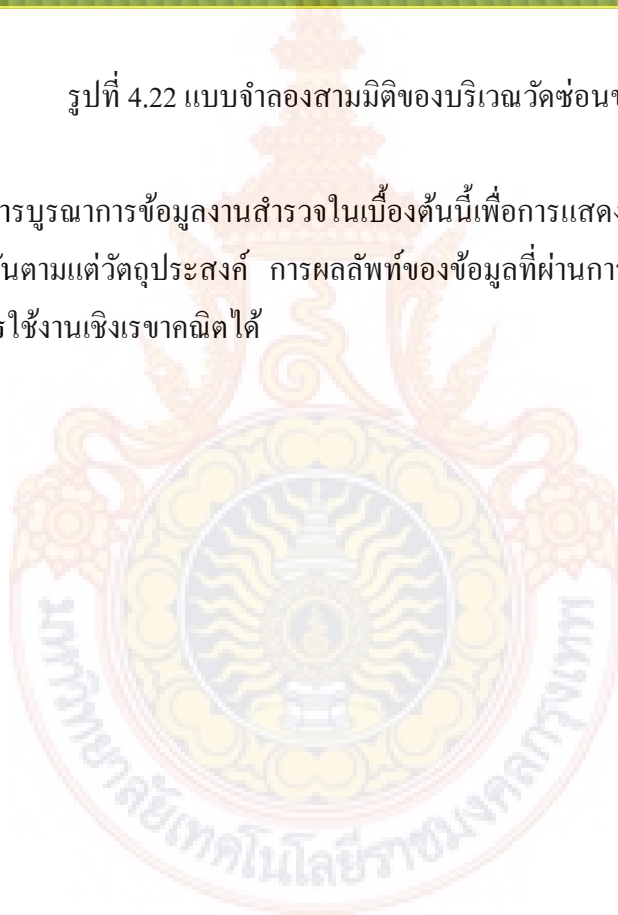
รูปที่ 4.21 แบบจำลองสามมิติเบื้องต้นในบริเวณวัดช่อนข้าว

ซึ่งสามารถปรับแต่งลักษณะของพื้นผิวและมุมมองรอบพื้นที่บริเวณวัดช่อนข้าว เพื่อกำหนดรูปแบบการใช้งานข้อมูลสำรวจเชิงดิจิทัล โดยผลของการปรับแต่งพื้นหลังและสภาพพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติในบริเวณวัดช่อนข้าวแสดงดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 แบบจำลองสามมิติของบริเวณวัดช่อนข้าว

สำหรับการบูรณาการข้อมูลงานสำรวจในเบื้องต้นนี้เพื่อแสดงผลเท่านั้น หากการใช้งานอาจแตกต่างกันตามแต่วัตถุประสงค์ การผลลัพธ์ของข้อมูลที่ผ่านการบูรณาการสามารถกลับไปสู่ความต้องการใช้งานเชิงเรขาคณิตได้



บทที่ 5

สรุปผลโครงการวิจัยและข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยดำเนินการบูรณาการงานสำรวจเพื่ออนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์ ดำเนินการเพื่อสร้างข้อมูลสำรวจเชิงดิจิทัลที่สามารถเพื่องานด้านการอนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์ ที่กำหนดพื้นที่บริเวณวัดช่อนข้าว อุทยานประวัติศาสตร์สุโขทัย อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย พื้นที่โดยประมาณ 2 ไร่ เป็นวัดที่ไม่ทราบประวัติที่แน่นอนมีชื่อเรียกตามท้องถิ่น ในบริเวณพื้นที่วัดช่อนข้าวเป็นที่ตั้งของโบราณสถานจำนวน 4 หลัง ซึ่งประกอบด้วยฐานเจดีย์ด้านทิศเหนือและใต้จำนวน 2 หลัง เจดีย์ประธานทรงพุ่มข้าวบิณฑ์ยอดหักพังและวิหารหรือศาลาการเปรียญ

โดยข้อมูลงานสำรวจประกอบด้วยชุดหลักฐานอ้างอิงจากการสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอส แผนที่รายละเอียดและภูมิประเทศจากการสำรวจด้วยกล้องประมวลผลรวมภาคพื้นดิน และแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ อาศัยการแสดงผลของการบูรณาการในรูปแบบจำลองสามมิติของพื้นที่บริเวณวัดช่อนข้าว จากข้อมูลงานสำรวจเชิงดิจิทัลทั้งสามส่วนหลัก

ชุดหลักฐานอ้างอิงจากการสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอสโดยวิธีสถิตย์ ใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสแบบรับวัดยี่ห้อ SOKKIA รุ่น GRX1 และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบรับวัดยี่ห้อ SOKKIA รุ่น GSR1700 CSX ทั้งหมดจำนวน 4 เครื่องทำการรับสัญญาณดาวเทียมเพื่อสร้างเส้นฐานจำนวน 6 เส้นฐาน สำหรับโครงข่ายชุดหลักฐานควบคุมลักษณะแบบ Quadrilaterals มีจำนวนชุดหลักฐานอ้างอิงจำนวน 4 จุด สำหรับใช้ในการเริ่มต้นการสร้างแผนที่รายละเอียดและแผนที่ภูมิประเทศ

แผนที่รายละเอียดและแผนที่ภูมิประเทศจากการรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม SOKKIA SET3X ในลักษณะการรังวัดแบบแฟร็คมีจากชุดหลักฐานอ้างอิง เพื่อการเก็บข้อมูลรายละเอียดตำแหน่งของโบราณสถานและความสูงต่ำของพื้นที่ในบริเวณวัดช่อนข้าว รูปแบบข้อมูลรังวัดเป็นแบบดิจิทัลที่จำเป็นต้องกำหนดรหัสของจุดรังวัดเพื่อการสร้างรูปแผนที่ ประมวลผลตำแหน่งและเขียนรูปแผนที่ด้วยโปรแกรม Autodesk Land Desktop 3

แบบจำลองสามมิติของโบราณสถานเป็นข้อมูลงานสำรวจด้วยการรังวัดภาพถ่ายระยะใกล้ ซึ่งถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัลที่รู้ค่าองค์ประกอบภายในเชิงเรขาคณิตของกล้องถ่ายภาพ โดยในโครงการวิจัยนี้ใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัลแคนอน อีโอเอส 50 ดี ร่วมกับเลนส์ความยาวโฟกัส 20 มิลลิเมตร บันทึกข้อมูลภาพถ่ายของแบบจำลองสามมิติโบราณสถานทั้ง 4 แบบจำลองด้วยเงื่อนไขของการปรากฏส่วนซ้อนและการมุมของการตัดกันของลำแสง รังวัดจุดภาพบนภาพถ่ายเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายในแต่ละแบบจำลอง สร้างแบบจำลองสามมิติจากการกำหนดจุดเส้น และพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติโบราณสถาน และทำการสร้างภาพออร์โทของแบบจำลองสามมิติที่ 3 เพื่อการวัดขนาดเชิงเรขาคณิต

บูรณาการข้อมูลสำรวจที่ได้ดำเนินการทุกส่วนเข้าด้วยกันเพื่อการแสดงผลแบบจำลองสามมิติของพื้นที่บริเวณวัดช่อนข้าว อาศัยเงื่อนไขของการทับซ้อนของข้อมูลสำรวจโดยอาศัยโปรแกรม Autodesk 3ds Max และปรับปรุงคุณภาพในส่วนที่ต้องการปรับปรุงเพื่อการแสดงผลภาพตามความต้องการใช้งานข้อมูล โดยการดำเนินการทั้งหมดสามารถสรุปผลของการดำเนินงานโครงการวิจัยได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการวิจัย

5.1.1 สรุปผลการสร้างหมุดหลักฐานอ้างอิงจากการสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอส

การสร้างหมุดหลักฐานอ้างอิงจากการสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอสในพื้นที่วัดช่อนข้าว จำนวน 3 จุด เพื่อใช้สำหรับงานแผนที่รายละเอียดและแผนที่ภูมิประเทศ การดำเนินการอ้างอิงจุดควบคุมหมายเลข D20789 ในพื้นที่สำนักงานศิลปากรที่ 6 อำเภอเมือง จังหวัดสุโขทัย จากการดำเนินการเส้นฐานของการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสมีความคลาดเคลื่อนทางราบอยู่ระหว่าง 0.001 – 0.005 เมตร และความคลาดเคลื่อนทางตั้งอยู่ระหว่าง 0.001 – 0.009 เมตร ทำการปรับแก้โครงข่ายข้อมูลเส้นฐานมีผลของค่าพิกัดหมุดหลักฐานอ้างอิง SK01 SK02 และ SK03 ตามตารางที่ 4.2

5.1.2 สรุปผลการสร้างแผนที่รายละเอียดและแผนที่ภูมิประเทศ

การสร้างแผนที่รายละเอียดและแผนที่ภูมิประเทศจากการรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวม ซึ่งทำการรังวัดตำแหน่งของโบราณสถานและความสูงต่ำของภูมิประเทศในพื้นที่วัดช่อนข้าว โดยมี

จำนวนจุดรังวัดทั้งสิ้นจำนวน 216 จุดที่เป็นการรังวัดแบบแผ่รัศมีจากตำแหน่งอ้างอิงไม่สามารถระบุความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งได้ แต่ความละเอียดของจุดที่ทำการรังวัดภายใต้ความละเอียดของกล้องประมวลผลรวม SOKKIA SET3X ที่มีความละเอียดของการวัดมุม $\pm 3''$ และความละเอียดของการวัดระยะทาง ± 2 มิลลิเมตร +2 ส่วนในล้านส่วนของระยะทาง

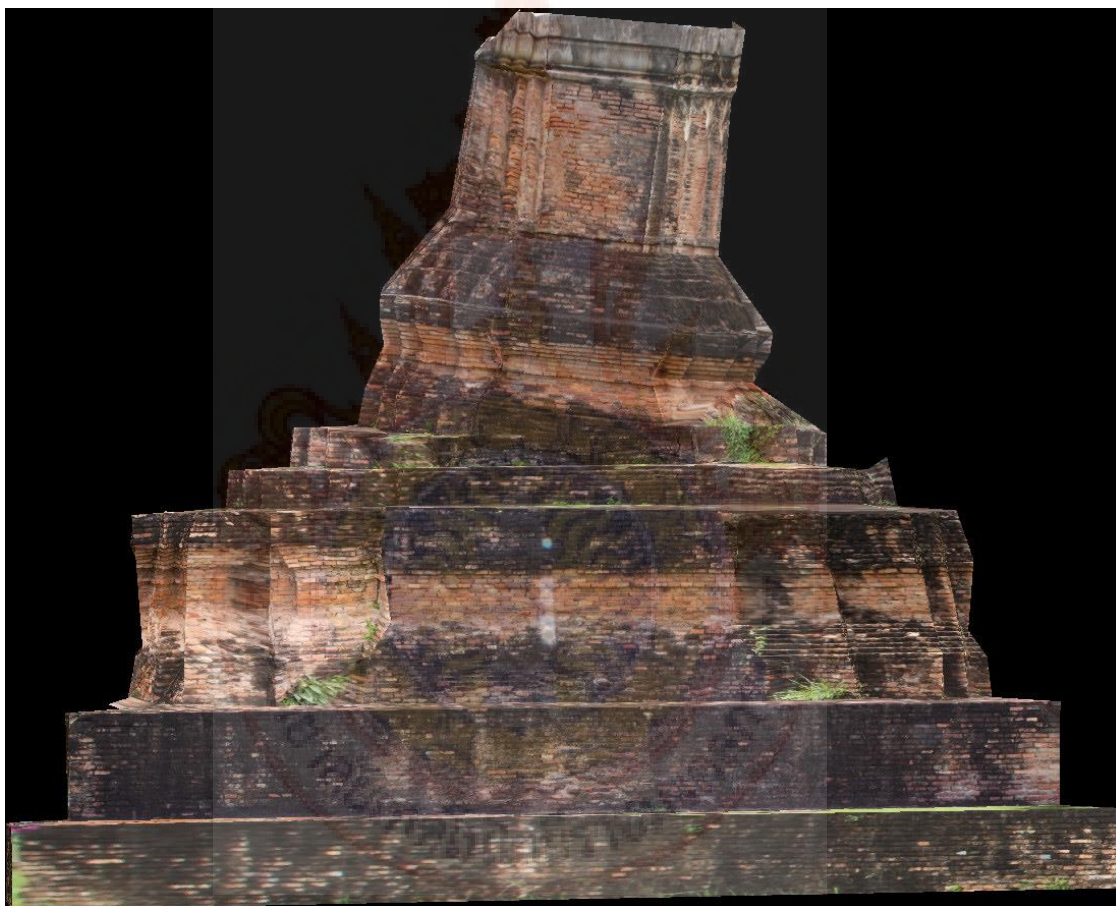
5.1.3 สรุปผลการสร้างแบบจำลองสามมิติจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้

การสร้างแบบจำลองสามมิติจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ซึ่งบันทึกภาพถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพแคนอน อีโอเอส 50 ดี ความละเอียดจุดภาพ 4752 x 3168 จุดภาพ ความยาวโฟกัสของเลนส์ภายหลังการวัดสอบเท่ากับ 20.9780 มิลลิเมตร เพื่อทำการถ่ายภาพระยะใกล้ของโบราณสถานเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติทั้ง 4 แบบจำลอง โดยเงื่อนไขของการถ่ายภาพพิจารณาจากส่วนซ้อนของภาพถ่ายและคำนึงถึงมุมของการตัดกันของลำแสงในขั้นการปรับแก้กล้องแสงเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพถ่ายที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติ การสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานจากการรังวัดจุด เส้น และพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติทั้ง 4 แบบจำลองแสดงผลสรุปตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลสรุปคุณสมบัติทั่วไปของแบบจำลองสามมิติโบราณสถาน

แบบจำลองสามมิติที่	จำนวนภาพถ่าย (ภาพ)	จำนวนจุด (จุด)	จำนวนเส้น (เส้น)	จำนวนพื้นผิว (ชิ้น)	หมายเหตุ
1	24	141	80	54	ฐานเจดีย์ ด้านทิศใต้
2	34	129	129	33	ฐานเจดีย์ ด้านทิศเหนือ
3	53	676	643	139	เจดีย์ประธานทรงพุ่ม ข้าวบิณฑ์
4	50	227	375	150	วิหารกลาง

สำหรับกรณีการสร้างภาพออร์โทของแบบจำลองสามมิติที่ 3 มีลักษณะเหมือนกับการสร้างภาพออร์โทจริงในงานด้านสถาปัตยกรรม ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลของแบบจำลองสามมิติที่ถูกต้องเพื่อให้ทราบถึงปริมาณของความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความแตกต่างของระยะเปิดถ่าย และการกำหนดคุณสมบัติของพื้นผิวที่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลภาพถ่ายด้านหน้าตรงกับพื้นผิว เนื่องจากจะทำให้ผลลัพธ์ของภาพถ่ายออร์โธมีคุณภาพมากขึ้น ประเด็นสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการสร้างออร์โธได้แก่การกำหนดแนวแกนอ้างอิงของแบบจำลองสามมิติ มีผลต่อลักษณะแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานหรือสิ่งปลูกสร้างที่มีรูปทรงไม่เป็นเรขาคณิตที่แน่นอนแสดงเปรียบเทียบดังรูปที่ 5.1 และรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 ภาพออร์โทของแบบจำลองสามมิติที่ 3 ด้านแกน XY



รูปที่ 5.2 ภาพออร์โทของแบบจำลองสามมิติที่ 3 ทิศทางตั้งฉากแกน XY

5.1.4 สรุปผลการบูรณาการข้อมูลสำรวจเชิงดิจิทัล

การบูรณาการข้อมูลสำรวจเชิงดิจิทัลโดยอาศัยโปรแกรม Autodesk 3ds Max เพื่อดำเนินการจัดการข้อมูลในลักษณะทับซ้อนกัน สำหรับข้อมูลหมุดหลักฐานอ้างอิงกับข้อมูลแผนที่รายละเอียดกับแผนที่ภูมิประเทศมีระบบพิกัดยูทีเอ็ม โซน 47 บนรูปทรงรีอ้างอิง WGS84 เดียวกัน ในขณะที่แบบจำลองสามมิติของโบราณสถานทั้ง 4 แบบจำลองได้จากการปรับแก้โครงข่ายอิสระของบล็อกลำแสง การเชื่อมโยงแบบจำลองสามมิติอาศัยรูปแบบของการเชื่อมโยงให้แบบจำลองสามมิติของโบราณสถานเป็นวัตถุชิ้นเดียว และทำการวางแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานบนตำแหน่งในแผนที่รายละเอียด สามารถปรับปรุงการแสดงผลในลักษณะที่ต้องการเป็นแบบจำลองสามมิติรวมทั้ง 4 แบบจำลองของบริเวณพื้นที่วัดซ่อนข้าว

5.2 ข้อเสนอแนะ

การบูรณาการข้อมูลงานสำรวจเพื่อการอนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์ เป็นการสร้างเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานด้านวิศวกรรมและสถาปัตยกรรมด้วยวิธีการทางงานสำรวจ ซึ่งสามารถพิจารณาความแตกต่างตามประเด็นของระบบพิกัดอ้างอิงเป็น 2 ส่วน โดยงานการสร้างหมวดหลักฐานอ้างอิงจากการสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอส กับการสร้างแผนที่รายละเอียดและแผนที่ภูมิประเทศจากการรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวมใช้ระบบพิกัดยูทีเอ็ม โซน 47 บนรูปทรงรีอ้างอิง WGS84 ซึ่งเป็นระบบพิกัดขนาดใหญ่ ในขณะที่การสร้างแบบจำลองสามมิติจากการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ใช้ระบบพิกัดสมมติจากการปรับแก้บล็อกลำแสงแบบอิสระ ดังนั้นในการวางตำแหน่งของแบบจำลองสามมิติโบราณสถาน มีความจำเป็นที่ต้องเป็นตำแหน่งเดียวกันบนแผนที่รายละเอียดของพื้นที่ดังกล่าว อีกทั้งยังต้องใช้เป็นพื้นฐานเพื่อควบคุมมาตราส่วนของแบบจำลองสามมิติโบราณสถานในลำดับต่อไป

การสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณสถานในพื้นที่บริเวณวัดซ่อนข้าว โดยวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้จากข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลที่บันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพแบบทั่วไป มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการวัดสอบกล้องเพื่อหาค่าองค์ประกอบภายในตัวกล้อง ซึ่งจะส่งผลต่อความถูกต้องของแบบจำลองสามมิติต่อไป

เงื่อนไขของการถ่ายภาพสำหรับแบบจำลองสามมิติโบราณสถานในโครงการวิจัยนี้ ไม่ได้ทำการกำหนดรูปแบบที่ชัดเจนเนื่องจากโบราณสถานในพื้นที่วัดซ่อนข้าวมีความแตกต่างทั้งขนาดและสัดส่วนของรูปทรง ซึ่งเป็นการยากที่จะกำหนดลักษณะของการถ่ายภาพที่แน่นอนแต่ในขณะที่ทำการบันทึกข้อมูลภาพถ่ายจะคำนึงถึงเงื่อนไขทั่วไป 2 ประการคือ ส่วนซ้อนบนภาพถ่าย และมุมตัดกันของลำแสง การกำหนดมุมการตัดกันของลำแสงในบล็อกลำแสงนั้นเป็นเพียงการประมาณที่ต้องอาศัยประสบการณ์ในการสร้างแบบจำลองสามมิติจากภาพถ่ายในการพิจารณา

ข้อมูลภาพถ่ายที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีความคมชัดของวัตถุในหลายๆระยะห่าง และจำเป็นต้องคำนึงถึงปริมาณของแสงเนื่องจากพื้นที่เปิดโล่ง สำหรับพื้นผิวของแบบจำลองสามมิติโบราณสถานที่มีความสำคัญอาจพิจารณาสร้างแบบจำลองสามมิติชนิดที่เป็นกลุ่มจุดที่มีจำนวนจุดมากบนแบบจำลองสามมิติ แต่ในทางกลับกันแบบจำลองสามมิติที่เป็นกลุ่มจุดก็มีความยุ่งยากในการบูรณาการข้อมูลทั้งหมดรวมกันมากกว่า

เมื่อมีความต้องการในการสร้างข้อมูลการสำรวจเพื่อการอนุรักษ์พื้นที่ทางประวัติศาสตร์ มีความจำเป็นต้องคำนึงถึงระดับความละเอียดถูกต้องของข้อมูลเป็นเบื้องต้น เนื่องจากการสร้างข้อมูลสำรวจที่มีความละเอียดสูงไม่ว่าจะเป็นกระบวนการใดก็ตาม จะเพิ่มต้นทุนทั้งทางด้านราคา และระยะเวลาในการดำเนินการ โดยระดับของความละเอียดของข้อมูลงานสำรวจจากหลายๆแหล่ง ทั้งที่เป็นการสำรวจด้วยดาวเทียมจีพีเอส การรังวัดด้วยกล้องประมวลผลรวมภาคพื้นดิน และการสำรวจด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ควรจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน



บรรณานุกรม

- วิชา จิวาลัย 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.
- ณรงค์ พูนพจน์มาศ. การสร้างแบบจำลองสามมิติของโบราณวัตถุด้วยภาพถ่ายดิจิทัล. รายงานวิจัย ฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, 2552.
- A F Habib, M S Ghanma, R I Al-Ruzouq, E M Kim, *3D MODELING OF HISTORICAL SITES USING LOW-COST DIGITAL CAMERAS*, XX ISPRS Congress Commission V, 12-23 July 2004, Istanbul, Turkey.
- A. Guarnieria, F. Remondino, A. Vettore, *DIGITAL PHOTOGRAMMETRY AND TLS DATA FUSION APPLIED TO CULTURAL HERITAGE 3D MODELING*, ISPRS Commission V, Working Group 3, 2006.
- Armin Gruen, Fabio Remondino, Li Zhang, *3D MODELING AND VISUALIZATION OF LARGE CULTURAL HERITAGE SITES AT VERY HIGH RESOLUTION: THE BAMIAN VALLEY AND ITS STANDING BUDDHAS*, ISPRS Istanbul, 2004.
- D.Mihajlovic, M.Mitrovic, Z.Cvijetinovic, M.Vojinovic. *PHOTOGRAMMETRY OF ARCHAEOLOGICAL SITE FELIX ROMULIANA RT GAMZIGRAD USING AERIAL DIGITAL CAMERA AND NON-METRIC DIGITAL CAMERA*, ISPRS, Beijing, 2008.
- E. O. Avsar, Z. Duran, O. Akyol, G. Toz. *MODELING OF THE TEMPLE OF APOLLO SMINTHEUS USING PHOTOGRAMMETRY AND VIRTUAL REALITY*, ISPRS, Beijing, 2008.
- Kraus, K., Waldhausl, P. and Stewarson, P. *Photogrammetry Volume1 Fundamentals and Standard Processes*. Germany: WB-Druck 8959 Rieden, 1993.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- V. Valzano, A. Bandiera, J.-A. Beraldin, M. Picard, S.F. El-Hakim, G. Godin, E. Paquet,
M. Rio, *Fusion of 3d information for efficient modeling of Cultural Heritage Sites with
objects*, NRC-CNRC, 2003-2004 - Palermo, Italy.



ภาคผนวก ก

ตารางองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติ



ตาราง ก1 คำนวณค่าประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 1

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	6.701680387	-11.6477459	3.697369173	103.2314262	32.30984668	174.198086	
	6.902854143	-11.5035252	3.68231026	105.9416027	32.06043734	168.9658133	
	7.697828001	-11.71140371	3.617659255	99.6428758	44.94196687	175.2638613	
	3.429565357	0.744965853	4.366829799	-87.66163245	1.311183133	-0.656029772	
	-3.236622059	-7.414196177	4.001407428	118.2953869	-87.99264383	-154.2737454	

ตาราง ก1 คำนวณค่าประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 1 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	5.759073498	-2.512734588	2.412698799	-111.7390136	25.83479181	12.04680535	
	5.95482946	-11.96714033	1.737162186	118.8766826	27.41106596	166.8595535	
	6.115991256	-11.854837	2.556188735	106.6019975	32.86675408	169.2116441	
	0.105404996	0.087558894	-0.086245988	-120.3940478	-25.40404332	-8.253265899	
	2.965210354	-1.55686462	-0.922248637	-132.4054161	-3.206103414	-3.158671106	

ตาราง ก1 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 1 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	5.450363227	-1.328838741	-0.976009066	-131.5153384	12.13883251	1.115435572	
	5.057826864	-12.14558447	3.69430154	101.4557474	6.024131228	-179.1988255	
	7.431828868	-3.651368649	4.152107926	-99.67062697	39.67560363	8.600447956	
	0.389133829	-2.841612587	2.369745789	-109.9720375	-33.27024019	-15.10206524	
	2.94540081	-12.00246312	1.596944769	113.9346891	-0.663250029	-179.3457184	

ตาราง ก1 คำนวณค่าประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 1 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	3.336975854	-12.24572815	1.37622497	114.2394942	-1.277875223	-175.9459763	
	-1.982861822	-7.440788408	2.011841882	171.5641397	-77.09186742	-100.2112871	
	-2.138605603	-6.368126311	2.119561443	-134.0975671	-75.19559785	-46.21977245	
	3.611380911	-16.06188456	3.677492119	89.97183716	0.053083066	179.5006841	
	3.628657741	-14.3592347	3.961167961	89.16566562	1.004683724	178.525995	

ตาราง ก1 คำนวณค่าประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 1 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	-3.393664196	-7.633966419	3.956695076	153.8535681	-85.56444293	-118.8334393	
	-2.949092094	-7.449051612	3.947907596	163.4573836	-84.84773842	-109.9154703	
	4.212354192	-0.753912163	4.386200877	-88.8656738	8.546675688	-0.81208426	
	4.021334991	-0.457794278	4.378148388	-93.54109002	4.72747033	-1.577327726	

ตาราง ก2 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 2

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	-8.803576819	2.049294539	4.932079119	106.7466999	-63.17952187	-165.025104	
	-7.526256707	10.38455462	4.983549423	-98.91421408	-28.89498908	-5.549223409	
	1.251620635	10.44645375	4.893104883	-92.52351839	41.05466524	2.184618937	
	0.869489303	0.689767194	3.056613493	119.4385775	39.98417729	160.4545124	
	0.198433084	-0.057396619	-0.162491482	136.8499193	23.13823486	170.3586276	

ตาราง ก2 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 2 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	-3.202237669	-0.108616807	-0.21358792	135.8770883	2.715804638	179.9546483	
	-8.005722593	-0.792003374	-0.300991879	130.2412123	-29.1231431	172.6412594	
	-9.241565386	3.421000026	4.964060385	163.2488433	-86.03797502	-107.5004247	
	-9.176363057	4.755958688	4.938823623	-176.30635	-85.43256585	-86.80397088	
	-9.19383479	6.599303616	4.97833257	178.5379811	-85.26077739	-92.57820352	

ตาราง ก2 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 2 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	-7.797909227	1.192686824	3.891129113	99.26400746	-39.37439623	-175.4186052	
	-7.575418559	1.503551602	3.784235425	93.83400824	-38.03230264	-178.662478	
	-1.116247735	10.42816527	3.026320386	-108.2046999	29.27400548	8.744007846	
	0.820596111	9.883259419	3.85333836	-105.1511319	39.45922722	11.29213394	
	-9.227190912	8.740240983	3.054901459	-121.2103373	-52.9793305	-28.06384639	

ตาราง ก2 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 2 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	-9.091526498	8.632029407	3.82912728	-111.6812301	-65.02779756	-22.97450878	
	-3.978963093	-2.957013104	4.758624623	93.97017132	-3.35123966	179.9295487	
	-3.967782247	-2.304349647	4.784064481	93.36719759	-2.021208606	-179.6984339	
	-11.47862738	5.845015869	4.95207211	-108.2654796	-86.2000956	-18.77308994	
	-11.56327366	6.091665852	5.011362136	-103.9010482	-84.64231213	-14.2979996	

ตาราง ก2 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 2 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)				หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa		
	-3.450935935	13.1235684	5.12415344	-86.48356456	2.687516057	0.59231321		
	-3.316239516	13.92395779	4.625755555	-95.21930381	1.515358948	-1.161577442		
	-3.951840614	-2.960800577	4.765394986	93.90408133	-3.135991928	179.8887715		
	-11.47552044	5.83514737	4.930541581	-110.9485774	-86.05636067	-21.46237216		
	-11.55811638	6.08396976	4.924849756	-112.8106638	-84.43616121	-23.16651621		

ตาราง ก2 คำนวณค่าประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 2 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	0.494154966	0.825233587	2.614125839	118.0689698	40.41121574	164.1055993	
	-0.927542129	0.257419963	3.025818145	113.6139834	28.18580797	170.5662667	
	-7.716525583	1.392587186	2.970643857	106.6375844	-41.72189568	-169.3875678	
	-9.346422855	3.492905322	3.870082291	156.8701266	-82.74687953	-113.9082768	
	-9.243567323	8.744254269	3.054982554	-121.1906772	-53.06014955	-28.02845757	

ตาราง ก2 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 2 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งป็นิโคถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	-1.109342343	10.43554743	3.040213061	-107.9423133	29.35512068	8.546471225	
	0.852584522	9.908131482	3.835788061	-105.3883192	39.46279199	11.58218087	
	-3.119540899	-0.128684254	-0.204712901	135.6007224	3.359665485	-179.7525489	

ตาราง ก3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	-6.928564384	6.490603801	1.123970767	-94.67064839	-45.77879177	-3.536919675	
	-6.541247529	-18.43508488	1.033491941	96.32288314	-47.70593497	-175.8948716	
	17.56714297	-21.25910913	0.996586024	98.66958286	38.06989763	174.8623884	
	20.86187795	4.620204059	1.412844149	-101.1538091	49.96512425	6.72902676	
	-3.414105639	0.320504317	1.200165145	-158.2538696	-80.01035212	-68.28074608	

ตาราง ก3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	-1.405344338	-16.38818002	0.942089353	100.2265487	-30.50231285	-175.2425744	
	17.22251421	2.973931433	1.422821817	-98.49798523	36.14827912	4.734174764	
	14.48352708	4.214772304	-0.687751285	-103.7679733	21.73789622	3.848989501	
	13.81856507	4.331112506	-0.660881789	-100.8838079	15.42089531	1.067424192	
	-4.415033258	-0.509674858	-0.354893714	-128.8630222	-85.86569225	-39.28781131	

ตาราง ก3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	-4.355969271	-0.919919932	-0.676307104	-131.1847444	-73.78773923	-40.50590983	
	-2.71076863	-14.63292268	-0.871428587	88.52857035	-56.35205794	178.6792988	
	-2.605221815	-14.56438386	-0.829851108	88.32430424	-39.21468942	178.2590791	
	15.41146099	-16.29739812	-0.847051406	92.88405899	47.97109739	179.4008329	
	15.43081244	-16.32862653	-0.84961718	84.75817282	49.2187115	-174.2122612	

ตาราง ก3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ้ำ (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	13.62862461	2.78002374	-2.30475784	-109.6533169	24.70429	8.084278202	
	-2.50705402	2.4319517	-2.47633124	-93.43426911	-45.2486	-3.71366537	
	-2.47434229	2.4435018	-2.44229262	-112.5721912	-42.5696	-18.0593042	
	-3.3454475	-10.0464897	-2.50036492	141.5695907	-74.8362	-128.881637	
	17.050704	-14.0227517	-2.46827745	108.136085	57.1442	163.6450868	

ตาราง ก3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	14.64949616	4.002184686	-4.046826786	-120.8781483	26.87588995	15.21883873	
	14.64038402	3.991197606	-4.083374488	-107.4363972	31.19142872	8.516822557	
	-2.120873831	3.202129541	-4.210284765	-95.12985028	-42.96893227	-4.502560162	
	-2.091444342	3.262986251	-4.211302121	-90.79896115	-42.71165862	-1.711284023	
	-2.122210995	3.206026174	-4.19225835	-112.4178978	-40.63877131	-16.32055508	

ตาราง ก3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	-2.959287501	-14.4212784	-2.497980348	126.6975482	-48.23412975	-151.8082039	
	-2.96596224	-14.44731051	-2.585130118	97.87443072	-51.89367735	-176.2449746	
	-2.972045115	-14.46800231	-2.638552049	81.13981518	-51.17212211	171.4028403	
	0.769618916	-16.68654721	-2.651931121	82.17167872	-28.66865227	175.0966635	
	0.745003796	-16.68012543	-2.608351164	93.761669	-27.39824729	-179.6976743	

ตาราง ก3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	-1.993226263	-13.91285455	-4.338168649	87.53444267	-50.2815676	175.177444	
	0.761392043	-16.09561404	-4.363410459	87.46603413	-32.05950728	174.7745071	
	4.150924822	-16.3272114	-4.337944458	83.64292768	-14.05862864	177.0696734	
	7.042204135	-16.4734106	-4.367510801	83.91556761	1.498331083	177.6251477	
	12.05926768	-16.63229923	-4.378373397	87.43441171	28.50360503	-177.0144071	

ตาราง ก3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	12.02959996	-16.62038481	-4.380616535	86.58169127	28.83895565	-177.78618	
	16.16723574	-14.99666266	-4.324263276	88.75208839	50.52947149	-179.3735982	
	17.17952254	-11.93252531	-4.267873701	83.70557854	66.30396174	-177.1483456	
	16.59540493	-9.037756917	-4.274028865	63.38756845	76.77397471	-157.4638564	
	16.73160328	-6.338571291	-4.262625916	-28.35537314	83.66387889	-63.8188893	

ตาราง ก3 คำนวณประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	16.72228156	-6.348760549	-4.265003058	-24.24370535	82.48293662	-68.16097875	
	7.140053159	4.471555724	-4.147728324	-85.91512714	2.416830777	-1.383585295	
	2.356080075	4.253487338	-4.131578987	-89.00963104	-22.34660195	-1.16551195	
	16.52670664	-1.804748253	-4.188433249	-81.44666148	61.62333771	-8.448245279	
	14.38975322	4.17429674	-4.103761474	-89.62165421	38.9702957	0.164213604	

ตาราง ก3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	11.13186407	4.48493488	-4.09672814	-87.74704118	17.88808	-2.91801171	
	4.586839119	-27.182159	0.93575562	90.41721043	-7.27655	179.579319	
	4.641938885	-27.2275785	0.95559317	77.41085373	-6.06696	178.3706101	
	7.350948076	13.1171209	1.73466372	-87.19217967	2.629456	-0.34584845	
	7.190217428	13.1413919	1.59417286	-77.95208704	1.778678	-0.17604837	

ตาราง ก3 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 3 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	20.47165055	-14.2508859	0.368111497	94.19344578	54.64086805	174.2285257	
	-3.610091969	-5.521758118	-4.144464751	-50.92171854	-85.15150826	36.94629654	
	17.73360571	-3.12498837	-2.198197943	-102.1774452	79.39782041	14.41083864	

ตาราง ก4 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 4

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	574977.1974	882343.5112	20.72933628	84.80883729	-28.45528645	-3.856011861	
	574977.4743	882344.3281	20.74687315	83.9956157	-27.02237129	-3.425265993	
	575003.7145	882351.919	20.26359751	86.68412364	33.54935244	1.899511625	
	575005.2536	882351.8275	20.273729	88.54718889	37.27605378	-2.209287134	
	575003.7137	882377.5913	19.20414301	-82.99851035	44.47541778	-191.8797151	

ตาราง ก4 คำนวณค่าประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 4 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	575003.6363	882377.5859	19.31873758	-85.13409986	44.29916972	-191.8157722	
	574978.5262	882368.7462	18.50312238	168.3789336	-64.09801511	97.64569484	
	574978.6336	882368.7538	18.57473732	164.3842814	-66.23689932	96.7437651	
	574982.0324	882355.0746	20.62285052	77.70363385	-14.71138773	-3.329644769	
	574983.3328	882354.7404	20.58800932	76.81025793	7.701870875	1.007824298	

ตาราง ก4 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 4 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	574984.381	882354.9142	21.0834521	65.48764842	0.116236827	6.095667903	
	574994.9384	882359.0445	21.5637705	45.35250534	-39.78317263	-32.00806109	
	575000.5452	882361.0621	20.66164768	-25.05667246	69.7038749	117.5103971	
	574999.0383	882362.7265	19.90504008	-116.8332214	11.83931809	101.5174052	
	575002.3688	882360.8479	20.7221303	-31.18721061	81.9820879	121.9688453	

ตาราง ก4 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 4 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	575002.1039	882362.0703	20.58830536	-26.54256544	81.87775344	118.5697459	
	574999.4989	882356.7087	20.77608895	83.86068738	5.154679925	1.907330724	
	575001.8588	882371.8258	20.53920585	-70.03763904	23.23254733	169.306555	
	575005.7693	882363.9654	20.43318914	98.14377793	73.08568016	-1.495457844	
	575005.1339	882369.1744	20.90136194	-48.20901932	78.23575133	137.4694086	

ตาราง ก4 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 4 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	575003.1861	882372.4395	20.64570512	-80.45967458	42.63477012	176.1337822	
	575001.2181	882372.3223	20.60903949	-57.08642889	79.69788322	147.351834	
	574998.2804	882374.3215	20.58690972	-86.8817502	-7.909067358	180.3197935	
	574995.7213	882371.0145	19.73610332	115.9920139	-71.00985235	85.85663522	
	574998.3748	882373.9962	20.19084511	-81.34023848	45.08599549	176.2651532	

ตาราง ก4 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 4 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	574994.8375	882375.223	21.07869371	-70.72262318	-7.671729427	-171.9811963	
	574981.3859	882374.0876	20.62551993	-78.64457206	-5.905614981	-178.0147969	
	574978.6418	882372.1208	20.69435469	-72.06095524	-43.15359373	-168.6104946	
	574978.6825	882368.9897	20.78315322	43.62538914	-69.8908872	-45.7854842	
	574978.5255	882367.859	20.77513889	11.37167161	-69.21654961	-76.38047719	

ตาราง ก4 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 4 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ้ำ (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	574976.0243	882367.6634	20.68969779	-46.94411052	-74.89946319	-135.2244046	
	574978.2078	882357.8999	20.72134001	81.64024204	-19.5320703	-5.750313306	
	574979.6882	882358.6346	20.78656689	58.64733692	-65.33369856	-33.21099738	
	574980.0684	882358.1413	20.76675174	26.54912402	-69.01383165	-60.79920634	
	574982.7123	882356.5521	20.81621687	70.95515657	2.552783044	-1.661046703	

ตาราง ก4 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 4 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	574976.3773	882359.1259	20.80384205	32.5818853	-80.6677954	-56.08218828	
	574976.2078	882359.1644	20.77342749	36.42699335	-83.57494619	-52.51619155	
	574981.3565	882356.1847	20.77575476	88.25346664	8.357496996	0.190133052	
	574982.6271	882353.5002	20.69451015	85.46525847	6.407708341	0.3157134	
	574976.6716	882362.5484	19.78060287	104.32076	-43.70572313	4.849240289	

ตาราง ก4 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 4 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งป็นิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	574976.8056	882362.2228	19.90782334	105.7577777	-63.68927058	5.980873732	
	574974.9801	882360.993	20.74514028	92.08652	-80.77558399	2.078572909	
	574979.8466	882373.907	20.70328426	-84.68099324	-9.283435416	-178.3143604	
	575003.6799	882357.1171	22.70162967	64.49671391	61.45573597	24.04639888	
	574984.7419	882358.278	21.35205819	88.29944077	14.77582125	-0.066704656	

ตาราง ก4 ค่าองค์ประกอบภายนอกของแบบจำลองสามมิติที่ 4 (ต่อ)

ภาพ	ตำแหน่งเปิดถ่าย (m.)			การวางตัว (deg.)			หมายเหตุ
	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa	
	574987.1332	882359.2318	22.03026754	78.44579267	44.23056425	7.74709395	
	574970.1662	882370.3032	26.11363537	-49.19086683	-61.22657647	-141.7969221	
	574972.4403	882357.4843	25.99305649	50.86369213	-52.73577105	-35.2341254	
	574985.1217	882368.9233	22.01103257	-63.61157212	30.45228489	167.2679193	
	574982.5114	882368.6541	21.87849023	-65.77863964	-22.61248142	-174.1121492	