



การใช้เทคนิครีวัตด้วยภาพถ่ายสร้างแบบจำลองสามมิติของซากดึกดำบรรพ์ไม้กลายเป็นหิน ใน
จังหวัดตาก ประเทศไทย

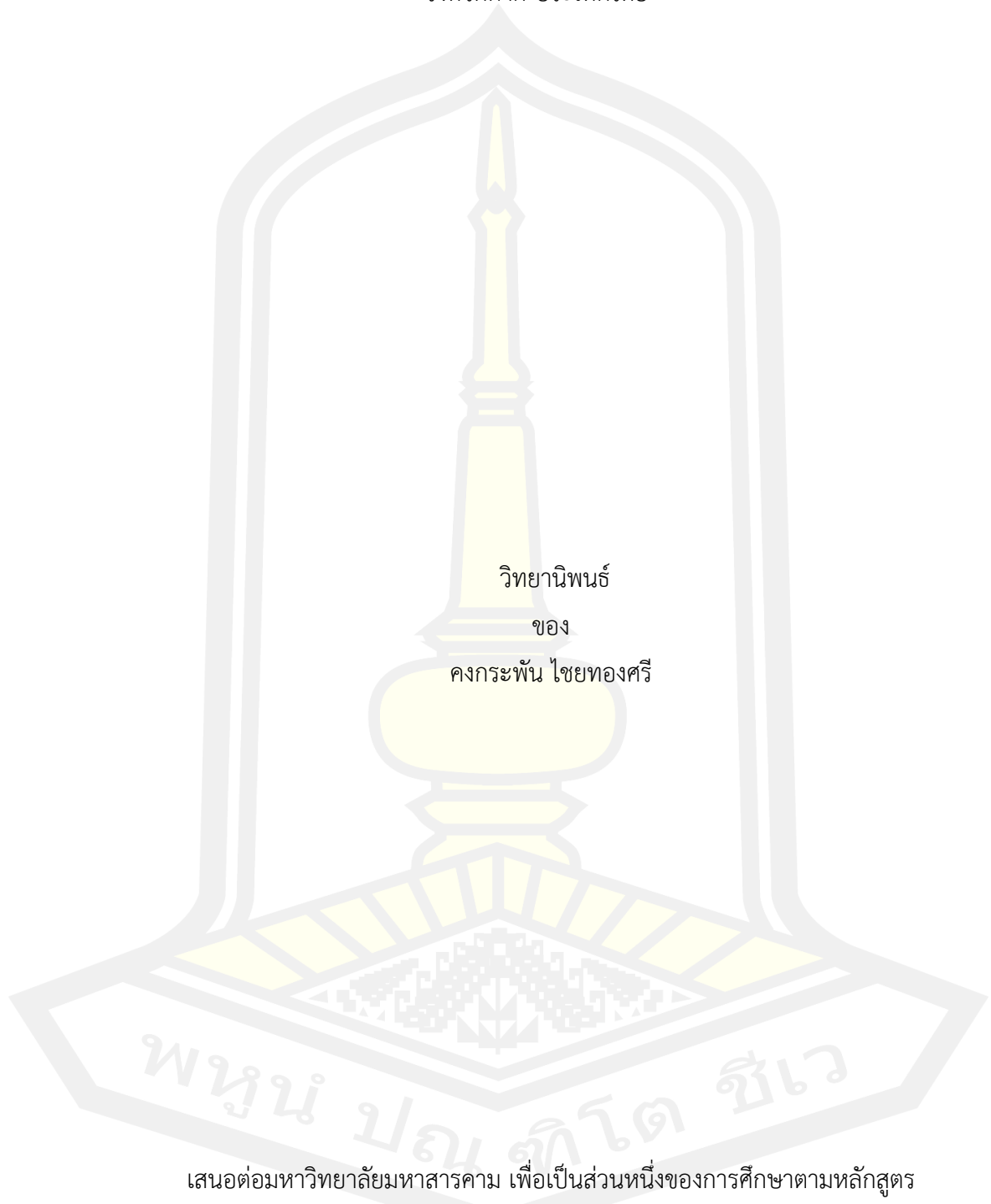
วิทยานิพนธ์
ของ
คงกระพันธ์ ไชยทองศรี

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

กรกฎาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การใช้เทคนิครังวัดด้วยภาพถ่ายสร้างแบบจำลองสามมิติของซากดึกดำบรรพ์ไม้กลายเป็นหิน ใน
จังหวัดตาก ประเทศไทย



วิทยานิพนธ์
ของ
คงกระพันธ์ ไชยทองศรี

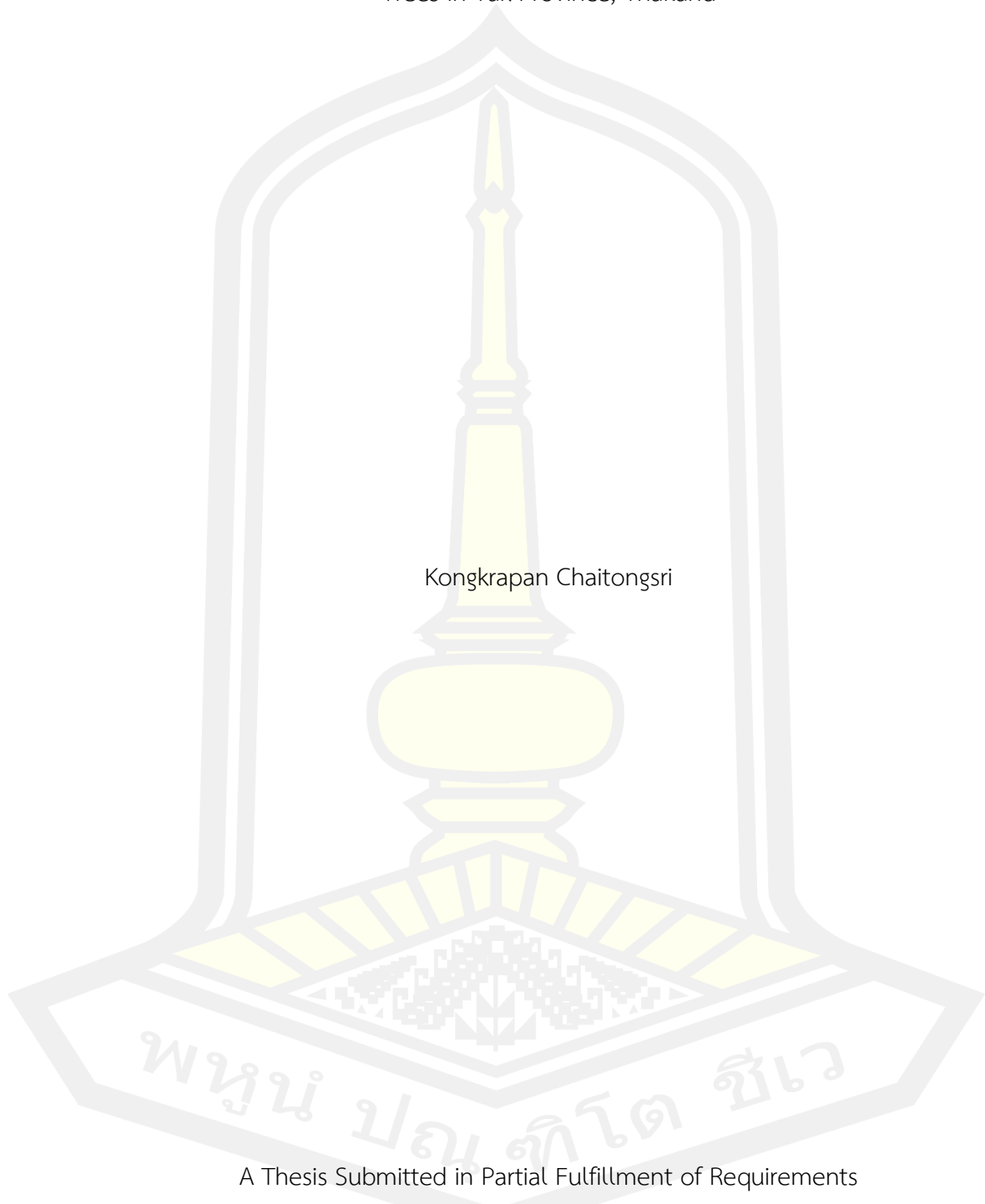
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา

กรกฎาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Using of Photogrammetry Technique for Reconstruction of the 3D Models of Petrified
Trees in Tak Province, Thailand

Kongkrapan Chaitongsri



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Science (Biology)

July 2022

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายคงกระพัน ไชยทองศรี
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาชีววิทยา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ดร. วิวัฒน์ นวลสิงห์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ดร. สุรเวช สุธีธร)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. ศักดิ์บวร ตุ่มปีสุวรรณ)

.....กรรมการ

(ดร. เอกพจน์ ศรีฟ้า)

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาชีววิทยา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(ศ. ดร. ไพโรจน์ ประมวล)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การใช้เทคนิครังวัดด้วยภาพถ่ายสร้างแบบจำลองสามมิติของซากดึกดำบรรพ์ไม้กลายเป็นหิน ในจังหวัดตาก ประเทศไทย		
ผู้วิจัย	คงกระพัน ไชยทองศรี		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สุรเวช สุธีธร		
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	ชีววิทยา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2565

บทคัดย่อ

โปรแกรมสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยเทคนิครังวัดภาพถ่าย หรือ โฟโตแกรมเมตรี ถูกพัฒนาให้สามารถสร้างแบบจำลองสามมิติที่มีความละเอียดสูงได้ สวนทางกับต้นทุนที่ลดลงอย่างมาก ทำให้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายรวมถึงงานด้านบรรพชีวินวิทยา การศึกษานี้ได้ทำการสร้างแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินขนาดใหญ่จำนวน 3 ต้น ณ อุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) จังหวัดตาก โดยต้นที่ 1 ซึ่งมีขนาดใหญ่ที่มีความยาวถึง 69 เมตร มีพื้นที่ผิว 732 ตารางเมตร ต้นที่ 6 ขนาด 34 เมตร มีพื้นที่ผิว 302 ตารางเมตร และต้นที่ 7 ขนาด 37 เมตร มีพื้นที่ผิว 293 ตารางเมตร จากการเก็บภาพ 3 ครั้ง ในช่วงระยะเวลา 2 ปี ช่วยให้เห็นการตรวจสอบและเปรียบเทียบการเปลี่ยนของพื้นที่ผิวไม้กลายเป็นหินที่เกิดความเสียหายในระยะเวลาที่ผ่านมา ผลการวิจัยพบว่าไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 มีปริมาตรลดลงร้อยละ 0.9 ถึง 1.9 ต่อปี. และภาพถ่ายแสดงให้เห็นร่องรอยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น ซิ่นไม้ที่หายไป มูลนก คราบเชื้อราและตะไคร่น้ำ แบบจำลองสามมิติที่ขึ้นรูปจากรังวัดภาพถ่ายมีความละเอียดสูงเพียงพอที่จะใช้เพื่อการอนุรักษ์และตรวจสอบสภาพซากดึกดำบรรพ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ไม้กลายเป็นหิน, การรังวัดภาพถ่าย, แบบจำลองสามมิติ, จังหวัดตาก, ซากดึกดำบรรพ์

TITLE Using of Photogrammetry Technique for Reconstruction of the 3D Models of Petrified Trees in Tak Province, Thailand

AUTHOR Kongkrapan Chaitongsri

ADVISORS Suravech Suteethorn , Ph.D.

DEGREE Master of Science **MAJOR** Biology

UNIVERSITY Mahasarakham **YEAR** 2022
University

ABSTRACT

Using of 3D model perform by the photogrammetric program has been developed with extremely high resolution in contrast to the cost of technology and equipments. This technique was applied to collect 3D data of petrified trees at Doi Soi Malai National Park. Tree number 1 (BT-1) has total length of 69 meters with 732 m² of surface area Tree number 6 (BT-6) has total length of 34 meters with 302 m² of surface area Tree number 7 (BT-7) has total length of 37 meters with 293 m² of surface area. The image of BT – 1 were taken 3 times from 2018 to 2020. The result shows the reduction of the volumes 0.9 and 1.9 % each years. Thus the technique can recognize the erosion or damage of the tree

Keyword : Petrified tree, Photogrammetry, 3D model, Tak, fossil

พหุบัณฑิต ชีวะ

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความช่วยเหลือและคำปรึกษาจาก อาจารย์ ดร. สุรเวช สุธีธร อาจารย์ที่ปรึกษา ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร. วิวัฒน์ นวลสิงห์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์บรรตุมปีสุวรรณ และ อาจารย์ ดร. เอกพจน์ ศรีฟ้า สำหรับคำแนะนำและร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ ดร. นาริรัตน์ บุญไชย สำหรับคำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ขอขอบคุณ ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม คณาจารย์ เจ้าหน้าที่และ นิสิต ที่ให้ความช่วยเหลือและเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถทำงานสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จากหน่วยงานต่าง ๆ ดังนี้ กรมทรัพยากรธรณี กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช กรมป่าไม้ ที่อนุญาตให้เข้าไปทำการศึกษากายในพื้นที่ ขอขอบคุณ คุณนพรัตน์ แก้วโมรา หัวหน้าอุทยานและ ทีมเจ้าหน้าที่อุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการออกภาคสนาม และขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

วิทยานิพนธ์ครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) รหัสโครงการ P1651513 ทุนสนับสนุนบัณฑิตศึกษาประจำปีงบประมาณ 2563 จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และ National Geographic Society ที่ให้ทุนสนับสนุนเพิ่มเติมด้านคอมพิวเตอร์ในการประมวลผล สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ศึกษาวิจัยในอนาคต

คงกระพัน ไชยทองศรี

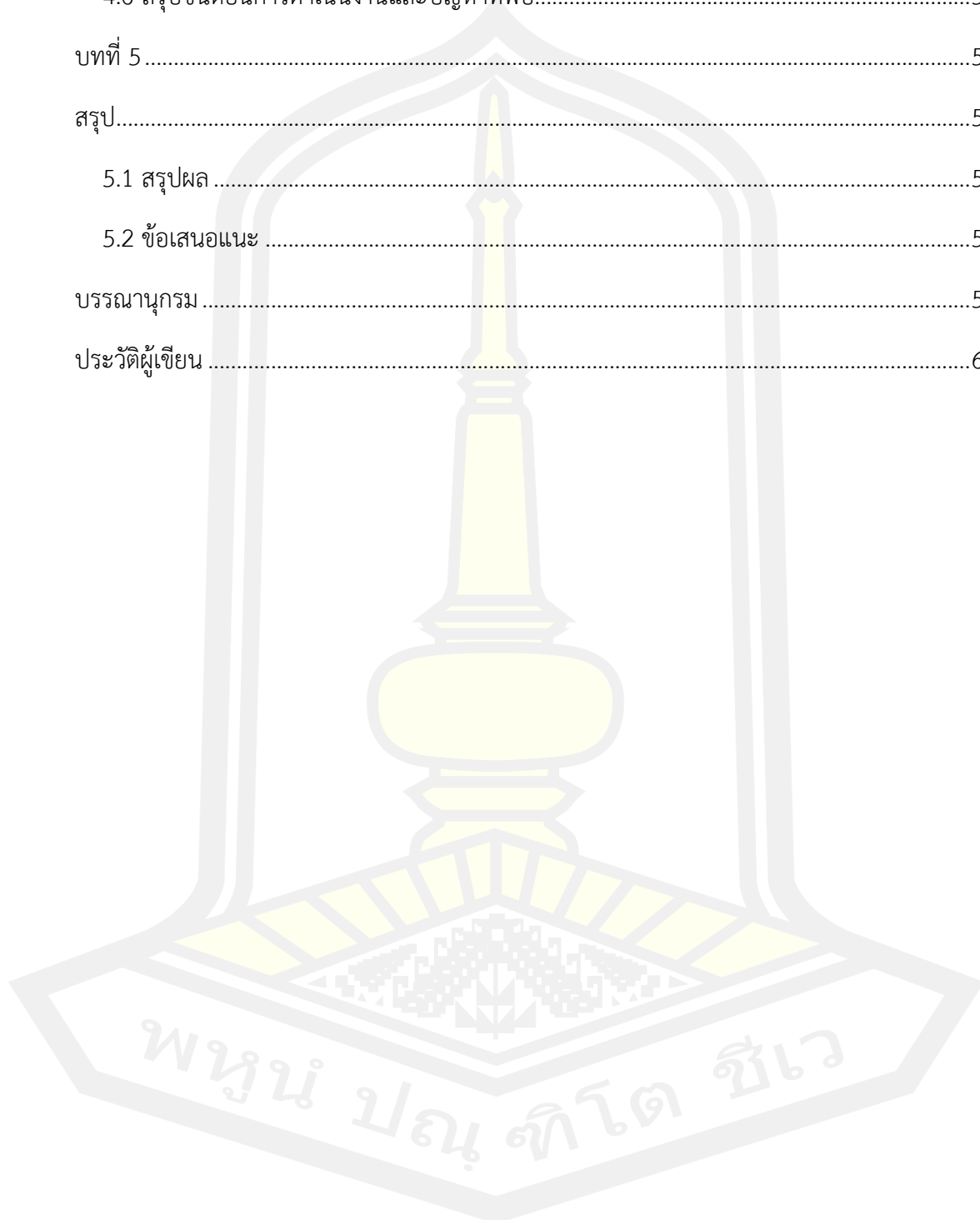
พูน ปณ ทิโต ชีเว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ.....	ฎ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 แผนการดำเนินการวิจัย.....	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้.....	3
บทที่ 2.....	4
ปริทัศน์เอกสารข้อมูล.....	4
2.1 ชากดักดำบรรพ์ไม้กลายเป็นหิน.....	4
2.2 แหล่งไม้กลายเป็นหินจังหวัดตาก.....	5
2.3 ลักษณะด้านสิลาวิทยาของไม้กลายเป็นหินในจังหวัดตาก.....	6
2.4 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ.....	6
2.5 การเสื่อมสภาพของไม้กลายเป็นหินขนาดใหญ่ในจังหวัดตาก.....	7

2.6 เทคโนโลยีแบบจำลองสามมิติในงานวิจัยด้านบรรพชีวินวิทยา.....	9
2.7 เทคนิครังวัดด้วยภาพถ่าย	14
2.8 เทคนิครังวัดด้วยภาพถ่ายและแบบจำลองสามมิติในงานด้านการอนุรักษ์ตัวอย่าง	16
บทที่ 3.....	21
วิธีดำเนินงาน	21
3.1 พื้นที่ศึกษา	21
3.2 สถานที่ทำการศึกษา.....	22
3.3 ตัวอย่างที่ใช้ทำการศึกษา.....	22
3.4 เทคนิคที่ใช้	22
3.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	22
3.5.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม.....	22
3.5.1.1 เตรียมถ่ายภาพไม้กลายเป็นหิน	22
3.5.1.2 การสำรวจพื้นที่.....	23
3.5.1.3 การวางจุดอ้างอิง สำหรับอ้างอิงในการประมวลภาพถ่าย.....	23
3.5.1.4 การถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับหรือโดรน	24
3.5.1.5 การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล.....	25
3.5.2 การประมวลผลสร้างแบบจำลองสามมิติ	25
3.5.3 การคำนวณปริมาตรเพื่อหาอัตราการเสื่อมสภาพ.....	31
บทที่ 4.....	32
ผลการทดลองและอภิปรายผล	32
4.1 ผลการทดลอง	32
4.2 อภิปรายการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ในระยะเวลาสามปี.....	38
4.3 วิเคราะห์แบบจำลองสามมิติ	41
4.4 อภิปรายผลการสร้างแบบจำลองสามมิติและอัตราการเสื่อมสภาพของไม้กลายเป็นหิน	46

4.5 เปรียบเทียบเทคนิคสามมิติระหว่างการสแกนสามมิติและการรังวัดด้วยภาพถ่าย	52
4.6 สรุปขั้นตอนการดำเนินงานและปัญหาที่พบ.....	53
บทที่ 5	55
สรุป.....	55
5.1 สรุปผล	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
ประวัติผู้เขียน	63



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ และสร้างแบบจำลองสามมิติของซากดึกดำบรรพ์สามมิติ (Cunningham <i>et al.</i> , 2014)	11
ตารางที่ 2 ซอฟต์แวร์สามมิติทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์ซากดึกดำบรรพ์ (Cunningham <i>et al.</i> , 2014)	13
ตารางที่ 3 ส่วนของไม้กลายเป็นหินที่ส่วนแรกก็นำมาทำการเปรียบเทียบ 10 ตำแหน่ง.....	43
ตารางที่ 4 ส่วนของไม้กลายเป็นหินที่ส่วนที่สองก็นำมาทำการเปรียบเทียบ 5 ตำแหน่ง	45
ตารางที่ 5 ประมวลผลปริมาตรจากแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 โดยใช้การระบุตำแหน่งส่วนที่สมบูรณ์ของลำต้น 10 ตำแหน่ง	49
ตารางที่ 6 ประมวลผลปริมาตรจากแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 โดยใช้การระบุตำแหน่งส่วนที่เสื่อมสภาพของลำต้น 5 ตำแหน่ง	50
ตารางที่ 7 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการปฏิบัติภาคสนาม	54
ตารางที่ 8 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการประมวลผล	54

สารบัญรูปภาพ

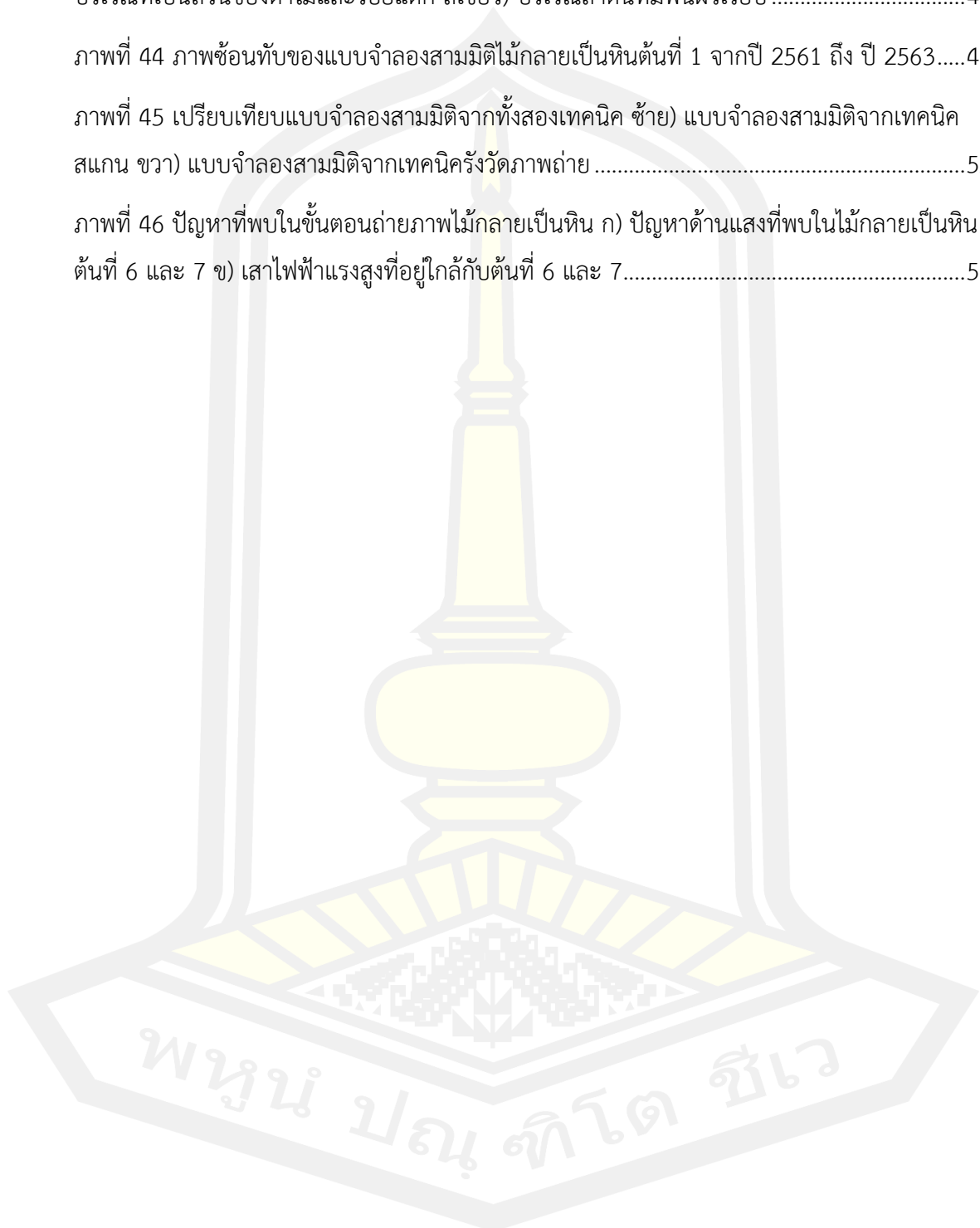
หน้า

ภาพที่ 1 ไม้กลายเป็นหินที่หายากที่สุดในโลกมีขนาด 72.2 เมตร ณ อุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) ที่มา: (Songtham et al., 2011).....	5
ภาพที่ 2 การออกซิไดซ์ของสารประกอบแร่เหล็กออกไซด์บริเวณผิวของไม้กลายเป็นหิน.....	6
ภาพที่ 3 บริเวณที่มีการฟูก่อนของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ในบริเวณที่มีอาคารครอบ.....	7
ภาพที่ 4 ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 (ซ้าย) ก่อนจะทำอาคารครอบจะเห็นลักษณะของส่วนที่เป็นพูพอนอย่างชัดเจน (ขวา) ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ณ อาคารถาวร บริเวณพูพอนโคนต้นเกิดความเสียหาย....	8
ภาพที่ 5 ภาพตัวอย่างการพัฒนาตัวละคร 3 มิติต้นแบบพร้อมการจำลองการเคลื่อนไหว ที่มา: (รัตนโชติ เทียนมงคล, 2561).....	9
ภาพที่ 6 การใช้เครื่องเลเซอร์สแกนชิ้นส่วนกะโหลกบริเวณ basisphenoid-basioccipital ของ <i>Tylosaurus</i> sp. ที่มา: (Lyons et al., 2000).....	10
ภาพที่ 7 ตัวอย่างของขั้นตอนการประมวลผลและประสานข้อมูลในการรังวัดด้วยภาพถ่ายและระบบการสแกน 3 มิติ ที่มา: (Beraldin, 2004).....	16
ภาพที่ 8 แบบจำลองสามมิติของ ก) ไทรโลไบต์จากเทคนิครังวัดด้วยภาพถ่ายขนาด 4 มิลลิเมตร และ ข) ฟิสิธักซ์แมนเชสเตอร์ ขนาด 50 เมตร ที่มา: (Falkingham, 2012).....	17
ภาพที่ 9 แบบจำลองสามมิติของแหล่งขุดค้น Molfetta จากการรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ที่มา: (Petti Fabio Massimo et al., 2018).....	17
ภาพที่ 10 ภาพแสดงแบบจำลองสามมิติในรูปแบบพอยต์คลาวด์ของโครงกระดูกไดโนเสาร์ <i>Giraffatitan</i> และ <i>Dicraeosaurus</i> ที่ตั้งอยู่ในส่วนจัดแสดง ที่มา: (Mallison & Wings, 2014).....	18
ภาพที่ 11 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสามมิติในซอฟต์แวร์ Agisoft Photoscan	19
ภาพที่ 12 แบบจำลองสามมิติของระบบรากไม้กลายเป็นหินจากจากเทคนิคการสแกนสามมิติด้วยเลเซอร์ (ซ้าย) แบบจำลองสามมิติจากเทคนิครังวัดด้วยภาพถ่าย (ขวา).....	20
ภาพที่ 13 การใช้แบบจำลองสามมิติเปรียบเทียบพื้นที่และปริมาตร ของพื้นผิวดินที่ลดลงในแต่ละปีจากแหล่งโบราณคดี Atapuerca ประเทศสเปน ที่มา (Martínez-Fernandaz et al., 2020).....	20

ภาพที่ 14 แหล่งซากดึกดำบรรพ์ไม้กลายเป็นหิน ณ อุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) ตำบลตากออก อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก ที่มา: (Google Maps, 2020)	21
ภาพที่ 15 ไม้กลายเป็นหินขนาดยาวที่นำมาสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยเทคนิครังวัดด้วยภาพถ่าย ก) ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ข) ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 6 ค) ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 7	22
ภาพที่ 16 อุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพ ก) โดรนติดกล้อง DJI รุ่น Mavic Pro ข) กล้องดิจิทัล Nikon Model: Z50	23
ภาพที่ 17 การเตรียมตัวอย่างก่อนทำการถ่ายภาพ ก) ทำความสะอาดผิวไม้กลายเป็นหิน ข) วางจุดอ้างอิงรอบ ๆ ตัวอย่าง	24
ภาพที่ 18 แนวการถ่ายภาพด้วยโดรน ก) กำหนดตำแหน่งที่ทำการถ่ายภาพด้วยโดรน ข) ตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จากโดรน	24
ภาพที่ 19 แนวการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล ก) กำหนดตำแหน่งที่ทำการถ่ายภาพ ข) ตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จากกล้อง	25
ภาพที่ 20 การนำภาพถ่ายเข้ามาในโปรแกรมโดยการเลือกคำสั่ง “Add Photos”	26
ภาพที่ 21 จัดตำแหน่งภาพถ่ายโดยการเลือกคำสั่ง “Align Photos”	27
ภาพที่ 22 ภาพแสดงข้อมูลในรูปแบบพอยต์คลาวด์บาง ๆ	27
ภาพที่ 23 ทำการเพิ่มความหนาแน่นของพอยต์คลาวด์ให้มีรูปร่างชัดเจนด้วยคำสั่ง	28
ภาพที่ 24 แบบจำลองสามมิติหลังจากเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูล	28
ภาพที่ 25 เพิ่มรูปทรงสามมิติให้กับข้อมูลโดยใช้คำสั่ง “Build Mesh Model”	29
ภาพที่ 26 Mesh ที่สร้างจากข้อมูลโพลีกอนรูปแบบเรขาคณิต	29
ภาพที่ 27 ภาพแสดงการนำพื้นสีของภาพมาใส่ในแบบจำลอง เพื่อให้มีสีสันสวยงามมีความละเอียดของเมตสีเพิ่มขึ้นโดยเลือกคำสั่ง “Build Texture”	30
ภาพที่ 28 แบบจำลองที่มีความคมชัดของข้อมูล	30
ภาพที่ 29 แบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1	31
ภาพที่ 30 แบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วยภาพถ่าย ในพื้นผิวแต่ละขั้นตอน	32

ภาพที่ 31 ภาพขยายแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วยภาพถ่ายในพื้นที่ผิวแต่ละชั้นตอนที่มีความละเอียดสูง.....	33
ภาพที่ 32 รูปแบบการทับซ้อนของข้อมูลภาพถ่ายในแบบจำลองสามมิติไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1.....	34
ภาพที่ 33 แบบจำลองสามมิติไม้กลายเป็นหิน ก) ต้นที่ 1 ข) ต้นที่ 6 ค) ต้นที่ 7.....	35
ภาพที่ 34 ก) แบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินเต็มต้นจากหลุมที่ 1 ที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วยภาพถ่าย ข) แบบจำลองสามมิติส่วนของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 แสดงในรูปแบบ solid ค) ส่วนของแบบจำลองไม้กลายเป็นหินตำแหน่งเดียวกันกับภาพด้านซ้ายที่ถูกเรนเดอร์ร่วมกับไฟล์ texture	36
ภาพที่ 35 ก) แบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินเต็มต้นจากหลุมที่ 6 ที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วยภาพถ่าย ข) แบบจำลองสามมิติส่วนของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 6 แสดงในรูปแบบ solid ค) ส่วนของแบบจำลองไม้กลายเป็นหินตำแหน่งเดียวกันกับภาพด้านซ้ายที่ถูกเรนเดอร์ร่วมกับไฟล์ texture ลักษณะเด่นของต้นนี้คือช่วงกลางลำต้นมีรอยแตกคล้ายกับการดันตัวออกมาจากภายใน	36
ภาพที่ 36 ก) แบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินเต็มต้นจากหลุมที่ 7 ที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วยภาพถ่าย ข) แบบจำลองสามมิติส่วนของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 7 แสดงในรูปแบบ solid ค) ส่วนของแบบจำลองไม้กลายเป็นหินตำแหน่งเดียวกันกับภาพด้านซ้ายที่ถูกเรนเดอร์ร่วมกับไฟล์ texture ลักษณะเด่นของต้นที่ 7 คือมีรอยแหว่งเป็นทางคล้ายรอยเจาะ.....	37
ภาพที่ 37 เปรียบเทียบภาพถ่ายไม้กลายเป็นหินต้นที่ 6 ก) จากโดรน และ ข) แบบจำลองสามมิติ จะเห็นว่าแบบจำลองให้สีและลักษณะเหมือนกับรูปถ่ายจริง	37
ภาพที่ 38 แบบจำลองไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ในตำแหน่งลำต้นช่วงเมตร 15 ในบริเวณที่เป็นตาไม้ ก) ปี 2561 และ ข) ปี 2563	38
ภาพที่ 39 แบบจำลองไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ในตำแหน่งลำต้นช่วงเมตร 10 - 15 ในบริเวณที่มีรอยแตกและร่องรอยของสิ่งมีชีวิต ก) ปี 2561 ปี และ ข) ปี 2563.....	38
ภาพที่ 40 แบบจำลองไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ในตำแหน่งลำต้นช่วงเมตร 55 - 60 บริเวณรอยแตกที่เคยมีน้ำท่วมขัง ก) ปี 2561 ข) ปี 2562 และ ค) ปี 2563	39
ภาพที่ 41 แบบจำลองไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ในตำแหน่งโคนต้นช่วงเมตร 65 - 69 ที่เคยเป็นพุ่มพอนขนาดใหญ่ ก) ปี 2561 ข) ปี 2562 และ ค) ปี 2563.....	39
ภาพที่ 42 แบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลข หรือ DEM: Digital Elevation Model ที่ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงของแบบจำลองสามมิติไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1	42

ภาพที่ 43 ตำแหน่งของแบบจำลองสามมิติที่นำมาวิเคราะห์หาความเปลี่ยนแปลงของพื้นผิว สีฟ้า) บริเวณที่เป็นส่วนของตาไม้และรอยแตก สีเขียว) บริเวณลำต้นที่มีพื้นผิวเรียบ	43
ภาพที่ 44 ภาพซ้อนทับของแบบจำลองสามมิติไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 จากปี 2561 ถึง ปี 2563.....	48
ภาพที่ 45 เปรียบเทียบแบบจำลองสามมิติจากทั้งสองเทคนิค ซ้าย) แบบจำลองสามมิติจากเทคนิค สแกน ขวา) แบบจำลองสามมิติจากเทคนิครังวัดภาพถ่าย	52
ภาพที่ 46 ปัญหาที่พบในขั้นตอนถ่ายภาพไม้กลายเป็นหิน ก) ปัญหาด้านแสงที่พบในไม้กลายเป็นหิน ต้นที่ 6 และ 7 ข) เสาไฟฟ้าแรงสูงที่อยู่ใกล้กับต้นที่ 6 และ 7.....	53



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

การค้นพบซากดึกดำบรรพ์ไม้กลายเป็นหิน ณ อุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก ในปี พ.ศ. 2546 เป็นการค้นพบซากดึกดำบรรพ์ที่มีความสำคัญในประเทศไทย จังหวัดตากเป็นแหล่งที่มีการค้นพบไม้กลายเป็นหินที่ยาวที่สุดในโลก ขนาด 22 - 72 เมตร (Songtham *et al.*, 2011) เป็นแหล่งที่มีความสำคัญเหมาะกับการศึกษาสภาพแวดล้อมบรรพกาล หลังจากมีการค้นพบไม้กลายเป็นหินต้นแรกได้มีการขุดเปิดหน้าดินกลางแจ้งเพื่อศึกษาลักษณะความสมบูรณ์ตลอดทั่วลำต้นของไม้กลายเป็นหินต้นแรกที่พบซึ่งพบตั้งแต่ช่วงปลายลำต้นลงไปถึงโคนต้นที่มีลักษณะเป็นพูพอนชัดเจน ทำให้ช่วงเวลาดังกล่าวไม้กลายเป็นหินได้สัมผัสกับแสงแดด ลม ฝน ความชื้น สัตว์ และมนุษย์ ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพลงอย่างรวดเร็วส่วนโคนต้นที่เป็นพูพอนได้ผุพังและแตกหักจนลดความยาวลงเหลือเพียง 69 เมตร เป็นเวลากว่าสิบปีที่ไม้กลายเป็นหินต้นแรกถูกปล่อยทิ้งไว้กลางแจ้งและมีการสร้างอาคารมุงหลังคาครอบในช่วง ปี พ.ศ. 2558 เนื่องจากเกิดปัญหาการผุพังเสื่อมสภาพอยู่กับที่ (Weathering) จึงต้องเร่งดำเนินการอนุรักษ์ ทว่าความยิ่งใหญ่นี้กลายเป็นอุปสรรคสำคัญในการดูแลรักษา และการเคลื่อนย้าย ผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ไม่ว่าจะเป็นปัจจัยทางธรรมชาติ หรือปัจจัยที่เกิดจากมนุษย์ ทำให้เกิดการสลายผุพังของไม้กลายเป็นหิน

เพื่อช่วยสนับสนุนการอนุรักษ์ตัวอย่างในอนาคต แบบจำลองสามมิติจึงมีบทบาทในการศึกษาครั้งนี้ ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมาแบบจำลองสามมิติได้ถูกประยุกต์ให้ใช้งานได้ง่ายและปรับใช้กับงานวิจัยทางด้านบรรพชีวินวิทยาอยู่เรื่อยมา การสแกนด้วยเครื่องสแกนสามมิติ และการรังวัดด้วยภาพถ่ายเป็นเทคนิคที่นิยมในการนำมาสร้างแบบจำลองสามมิติ เนื่องจากใช้งานง่ายและให้ผลของข้อมูลที่แม่นยำ และได้ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีการใช้งานที่ง่ายขึ้น และสะดวกในการพกพา ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในปัจจุบันทำให้แบบจำลองสามมิติถูกใช้อย่างแพร่หลาย การนำแบบจำลองสามมิติมาประยุกต์ใช้กับงานด้านการอนุรักษ์ตัวอย่างของซากดึกดำบรรพ์จึงเป็นตัวเลือกที่เหมาะสม ในงานวิจัยชิ้นนี้ผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญในการอนุรักษ์ตัวอย่าง จึงใช้

เทคนิคการรังวัดด้วยภาพถ่ายนำมาสร้างแบบจำลองสามมิติ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานวิจัยด้านบรรพชีวินวิทยาต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

สร้างแบบจำลองสามมิติของตัวอย่างซากดึกดำบรรพ์ไม้กลายเป็นหินขนาดยาวที่สุดในโลก จากเทคนิครังวัดด้วยภาพถ่ายเพื่อการอนุรักษ์ตัวอย่างในรูปแบบดิจิทัล

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

1. แบบจำลองสามมิติที่สร้างจากเทคนิครังวัดด้วยภาพถ่ายสามารถใช้ประมาณค่าอัตราการผุพังของไม้กลายเป็นหิน และความเปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 ปีได้
2. ภาพถ่ายที่ได้จากกล้องดิจิทัลติดโดรนและกล้องถ่ายภาพดิจิทัลแบบใช้คนถ่าย สามารถนำมาสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยเทคนิครังวัดภาพถ่าย โดยให้ผลที่ไม่ต่างกัน

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

ซากดึกดำบรรพ์ไม้กลายเป็นหิน ณ อุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก ที่ยาวที่สุดและมีความสมบูรณ์จำนวน 3 ต้น และสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยเทคนิครังวัดภาพถ่าย

พหุบัณฑิต ชีวะ

1.5 แผนการดำเนินการวิจัย

วัตถุประสงค์เชิง กิจกรรม	แผนงาน/กิจกรรม	ปีที่ 1		ปีที่ 2	
		เดือนที่ 1-6	เดือนที่ 7-12	เดือนที่ 1-6	เดือนที่ 7-12
1. ศึกษาตัวอย่าง และสร้าง แบบจำลองสาม มิติจากภาพถ่าย	1.1 ถ่ายภาพตัวอย่าง และแหล่งจุดค้นซากดึก ดำบรรพ์ 1.2 วิเคราะห์และสร้าง แบบจำลองสามมิติจาก โปรแกรม Agisoft Metashape				
2. ศึกษาการผูกพัน ของซากดึกดำ บรรพ์	2.1 ศึกษาและคำนวณ อัตราการผูกพันจาก แบบจำลองสามมิติ				
3. ถ่ายทอดความรู้ ด้านการสร้าง แบบจำลองสาม มิติจากรูปถ่าย	3.1 จัดอบรม/สัมมนา 3.2 จัดทำคู่มือการใช้ โปรแกรม Agisoft Metashape 3.3 จัดทำรายงานการ วิจัย				

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้

1. ได้แบบจำลองสามมิติของซากดึกดำบรรพ์ไม่กลายเป็นหินจากเทคนิคสร้างด้วยภาพถ่ายที่สามารถนำมาประมาณหาค่าอัตราการเสื่อมสภาพได้
2. ได้แบบจำลองสามมิติของซากดึกดำบรรพ์สำหรับใช้เป็นข้อมูลในด้านการอนุรักษ์ตัวอย่าง

บทที่ 2

ปริทัศน์เอกสารข้อมูล

2.1 ซากดึกดำบรรพ์ไม้กลายเป็นหิน

ไม้กลายเป็นหิน คำในภาษาอังกฤษ คือ Petrified wood ซึ่งมาจากคำว่า “petrified” ที่มีรากศัพท์ภาษากรีก petra ที่แปลว่าหิน ไม้กลายเป็นหิน กล่าวคือ ซากดึกดำบรรพ์ของต้นไม้ที่ผ่านกระบวนการทำให้กลายเป็นหินโดยการแทรกซึมของแร่ธาตุหลายชนิดเข้าไปแทนที่ในเนื้อไม้ในกระบวนการที่เรียกว่า เพอร์มิเนราไลเซชัน (Permineralization) การแทรกซึมเป็นเวลานานทำให้โครงสร้างของเนื้อไม้และเปลือกไม้กลายเป็นหินในที่สุดโดยแร่ส่วนใหญ่ที่พบในไม้กลายเป็นหินจะเป็นซิลิกา (Silica: SiO_2) ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ควอตซ์ (Quartz: SiO_2) และโอปอล (Opal: $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) เป็นต้น การเกิดไม้กลายเป็นหินสามารถเกิดจากสาเหตุหลัก ๆ คือ เกิดจากการทับถมปกคลุมด้วยเถ้าภูเขาไฟที่มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบแทรกซึมเข้าไปแทนที่เนื้อไม้อย่างช้า ๆ เช่น ไม้กลายเป็นหินที่อุทยานธรณีวิทยาเลสวอส ประเทศกรีซ ที่ถูกเถ้าภูเขาไฟปกคลุมทั่วทั้งป่าทำให้ไม้กลายเป็นหินยังคงลักษณะยืนต้นอยู่ทั่วทั้งป่า และอีกสาเหตุคือเกิดจากอิทธิพลของน้ำท่วมที่มีเกิดการพัดพาตะกอน กรวด ทราย ดิน และสารละลายแร่ธาตุต่าง ๆ ในน้ำและแทรกเข้าไปแทนที่เนื้อไม้จนกระทั่งกลายเป็นหิน ตัวอย่างเช่นไม้กลายเป็นหินที่พบในประเทศไทยเกิดจากสาเหตุนี้เช่นกัน และไม้กลายเป็นหินในแหล่งต่าง ๆ ของโลก ผ่านกระบวนการกลายเป็นหินด้วยสาเหตุแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยสิ่งแวดล้อม และลักษณะทางกายภาพของแต่ละพื้นที่ และกระบวนการเกิดไม้กลายเป็นหินยังถูกเรียกตามแร่ธาตุหลักที่แทรกเข้าไปอยู่ในเนื้อไม้ เช่น การแทนที่ของแร่ซิลิกาในรูปแบบควอตซ์และโอปอลจะถูกเรียกว่า ซิลิซิฟิเคชัน (Silicification) หรือในบางกรณีที่เกิดจากแร่ซิลิกาและสารละลายแคลเซียมคาร์บอเนตก็จะถูกเรียกว่า เพทริแฟคชัน (Petrifaction) และแร่หรือสารละลายที่แทรกเข้าไปในเนื้อไม้จะให้สีที่มีความแตกต่างกันอีกด้วย เช่น คาร์บอน และ แมงกานีส ออกไซด์ ทำให้เกิดสีดำในไม้กลายเป็นหิน โคบอลต์ โครเมียม และทองแดง ทำให้เกิดสีเขียวและสีน้ำเงิน เหล็ก และ แมงกานีส ที่ทำให้เกิดสีแดงอมส้ม เป็นต้น (ประเทือง จินตสกุล, 2551; Mustoe & Acosta, 2016; Mustoe, 2017)

2.2 แหล่งไม้กลายเป็นหินจังหวัดตาก

ในปี พ.ศ. 2546 มีการค้นพบไม้กลายเป็นหินขนาดใหญ่ครั้งแรกในเขตของวนอุทยานไม้กลายเป็นหิน อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก ซึ่งภายหลังได้เปลี่ยนชื่อมาเป็นอุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) จากการสำรวจไม้กลายเป็นหินที่พบในบริเวณดังกล่าวเผยให้เห็นถึงขนาดที่ใหญ่และมีความยาวถึง 72.2 เมตร ซึ่งปัจจุบันถือได้ว่ามีขนาดยาวที่สุดในโลก (ภาพที่ 1) หลังจากการค้นพบครั้งแรก ยังมีการปรากฏของไม้กลายเป็นหินท่อนอื่น ๆ ที่มีขนาดยาวประมาณ 22 - 45 เมตร อีก 6 ต้น รวมทั้งหมด 7 ต้น จาก 7 หลุม มีการศึกษาและจัดจำแนกไม้กลายเป็นหินตามเกณฑ์ของว่าอยู่ในวงศ์ Fabaceae (Leguminosae) พืชตระกูลถั่ว และได้จัดจำแนกไม้กลายเป็นหินทั้ง 7 ต้น นี้เป็นสองสกุล คือ *Koompassioxylon elegans*. ที่มีความใกล้ชิดกับพืชกลุ่มทองบั้ง (Kempas) ในปัจจุบัน จำนวน 5 ท่อน และ *Pahudioxylon* sp. ที่มีความใกล้ชิดกับพืชกลุ่มมะค่าโมง (Rosewood) จำนวน 2 ท่อน (Songtham *et al.*, 2011; LPWG., 2017) ถือว่าเป็นแหล่งไม้กลายเป็นหินที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย โดยต้นที่ 1, 6 และ 7 มีความสมบูรณ์ที่ยังคงสภาพเป็นลำต้นไว้ได้ ปัจจุบันไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ที่มีขนาดยาวที่สุดได้มีการสร้างอาคารครอบในบริเวณที่พบ และมีการผูกเรือนจากปัจจัยทางธรรมชาติส่งผลให้ลดขนาดลงเหลือ 69.0 เมตร



ภาพที่ 1 ไม้กลายเป็นหินท่อนที่ยาวที่สุดในโลกมีขนาด 72.2 เมตร ณ อุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) ที่มา: (Songtham *et al.*, 2011)

2.3 ลักษณะด้านศิลาวรรณาของไม้กลายเป็นหินในจังหวัดตาก

องค์ประกอบของไม้กลายเป็นหินที่พบในแหล่งขุดค้นจังหวัดตาก ส่วนใหญ่เนื้อไม้ถูกแทนที่ด้วยผลึกแร่ควอตซ์และมีธาตุหลัก ได้แก่ O, Si, และ C ธาตุรอง ได้แก่ Al, Fe, K, Ca, Na, Ti, F, Mg, S, P และพบปริมาณคาร์บอน 10 - 30 wt% บริเวณที่ผุและเนื้อไม้ บริเวณผิวส่วนใหญ่พบสารประกอบพวกเหล็กปนเปื้อนเป็นสีแดงหรือน้ำตาล (ภาพที่ 2) สารประกอบเหล็กออกไซด์พบเด่นชัดใน เกือบทุกตัวอย่างแสดงให้เห็นว่า ไม้กลายเป็นหินที่ศึกษากำลังอยู่ในสภาพที่ผุพังอย่างต่อเนื่อง (นาริรัตน์ บุญไชย และคณะ, 2562)



ภาพที่ 2 การออกซิไดซ์ของสารประกอบแร่เหล็กออกไซด์บริเวณผิวของไม้กลายเป็นหิน

2.4 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

เนื่องจากไม้กลายเป็นหินที่พบในอุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) เป็นซากดึกดำบรรพ์ขนาดใหญ่ การสร้างอาคารคลุมต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก ดังนั้น ในช่วงแรกจึงไม่ได้รับการดูแลอย่างเหมาะสม ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพและมีการเปลี่ยนแปลงไปจากตอนแรกที่ถูกขุดค้นพอสมควร มีหลายปัจจัยที่ทำให้ลักษณะทางกายภาพของไม้กลายเป็นหินมีการเปลี่ยนแปลงไป เช่น ฝน ความชื้น ความร้อน อุณหภูมิ และสิ่งมีชีวิต มนุษย์และสัตว์มีส่วนในการทำลายไม้กลายเป็นหินอย่างมากในช่วงที่ยังไม่มีอาคารครอบและรั้วกัน ไม้บางท่อนมีการสูญหายเนื่องจากถูกหยิบไปทำเครื่องรางตามความเชื่อ มีการแตกหักจากการใช้ทำเหยียบหรือนั่งทับ นอกจากนี้ ยังมีนกและแมลงหลายชนิดเข้ามาทำรังบริเวณไม้กลายเป็นหิน ปัญหาจากมนุษย์ลดลงหลังจากมีการสร้างอาคารครอบคลุมหลุมขุดค้น แต่พบว่ายังมีนกเข้ามาทำรังบนโครงเหล็กบริเวณหลังคาของอาคารทำให้ถ่าย

มูลลงมาด้านล่างที่มีไม้กลายเป็นหินอยู่ซึ่งจะทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ และลักษณะภูมิอากาศในบริเวณอุทยานมีส่วนสำคัญที่ทำให้ไม้กลายเป็นหินชำรุดผุพังเพิ่มขึ้น

จังหวัดตาก เป็นจังหวัดในภาคตะวันตกของประเทศไทยลักษณะภูมิอากาศมีอุณหภูมิค่อนข้างสูงเกือบตลอดปี ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาแสดงให้เห็นว่าระหว่างปี พ.ศ. 2535-2545 ที่ผ่านมามีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยปีละ 651-1556 มม. ในฤดูฝน อุณหภูมิเฉลี่ย 27-29 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 36-38 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 18-20 องศาเซลเซียส ส่วนความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 69-72 % ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเฉลี่ยในฤดูฝน 92-96 % และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดเฉลี่ย 28-36 % (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2559,; 2562) ในฤดูร้อนอุณหภูมิที่วัดได้บนพื้นผิวไม้กลายเป็นหินที่อยู่กลางแจ้งสูงถึง 50 องศาเซลเซียส ในฤดูร้อน ในสภาพที่อยู่กลางแจ้ง ค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีความแปรปรวน อย่างรุนแรงตลอดเวลา ส่งผลกระทบต่อการเสื่อมสภาพของไม้กลายเป็นหิน (ภาพที่ 3) หลังจากมีการสร้างอาคารคลุมหลุม ค่าอุณหภูมิและความชื้นสูงสุดบนพื้นผิวไม้กลายเป็นหิน มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดข้อมูลจาก data logger ค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอยู่ที่ 75 % ในฤดูฝนและอุณหภูมิเฉลี่ย 29 องศาเซลเซียส (นารีรัตน์ บุญไชย และคณะ, 2562)



ภาพที่ 3 บริเวณที่มีการผุกร่อนของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ในบริเวณที่มีอาคารครอบ

2.5 การเสื่อมสภาพของไม้กลายเป็นหินขนาดใหญ่ในจังหวัดตาก

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ไม้กลายเป็นหินเกิดการเสื่อมสภาพมีหลายสาเหตุ ไม่ว่าจะเป็นสภาพแวดล้อม ความชื้น ความร้อน หรือจากสิ่งมีชีวิต เป็นต้น ไม้กลายเป็นหินที่ถูกพบครั้งแรกยังไม่ได้รับการรักษาที่เหมาะสมเนื่องจากมีขนาดใหญ่ จึงถูกปล่อยทิ้งไว้กลางแจ้ง มีการสัมผัสกับแสงแดดและในฤดูฝนมีน้ำท่วมขังในบางบริเวณของลำต้น เป็นระยะเวลากว่าสิบปีก่อนที่จะมีการสร้าง

อาคารถาวรครอบคลุมหลุมชุดคัน อาคารถาวรมีลักษณะเป็นอาคารเปิดโล่งขนาดใหญ่มีหลังคาคลุมด้วยแผ่นโลหะทึบและโครงเหล็กบริเวณรอบ ๆ อาคารถูกเทรียดด้วยคอนกรีต และภายในตัวอาคารยังขาดระบบระบายน้ำที่มีประสิทธิภาพ จึงทำให้เวลาฝนตกหนักน้ำจะไหลจากพื้นที่โดยรอบซึ่งอยู่ในระดับสูงลงมาขังในดินรอบ ๆ ไม้กลายเป็นหิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนโคนต้นซึ่งอยู่ในระดับต่ำที่สุดทำให้เกิดน้ำท่วมขังทุกปี มีการเจริญเติบโตของวัชพืชและอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูงเกือบตลอดปี ปัจจุบันส่วนโคนของต้นที่ 1 ซึ่งเคยมีลักษณะเป็นพุ่มพองจึงผุพังมากกว่าส่วนอื่น ๆ พุ่มพองผุพังหายไปประมาณ 2 เมตรภายใน 10 ปี (ภาพที่ 4)

นอกจากนี้อาคารไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ทางด้านทิศตะวันออกส่วนปลายของลำต้น มีแสงแดดส่องถึง ทำให้ส่วนปลายยอดจึงได้รับแสงแดดเต็มที่ในช่วงเช้า ส่วนอื่น ๆ ของลำต้นได้รับแสงแดดที่สาดส่องผ่านหลังคาส่วนที่เป็นพลาสติกใสตั้งแต่เช้าถึงเย็น ทำให้อุณหภูมิที่พื้นผิวของไม้กลายเป็นหินส่วนต่าง ๆ แตกต่างกัน เกิดการหดและขยายตัวในอุณหภูมิที่แตกต่างกันและอาคารหลังนี้ไม่สามารถป้องกันกันได้ จึงมีนกเข้ามาอยู่อาศัยบนโครงเหล็กบริเวณหลังคา และถ่ายมูลลงมาสะสมบนไม้กลายเป็นหินตลอดเวลา (นาริรัตน์ บุญไชย และคณะ, 2562)



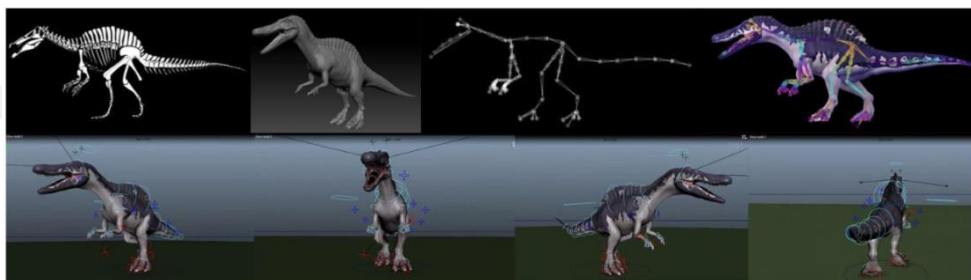
ภาพที่ 4 ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ซ้าย) ก่อนจะทำอาคารครอบจะเห็นลักษณะของส่วนที่เป็นพุ่มพองอย่างชัดเจน ขวา) ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ณ อาคารถาวร บริเวณพุ่มพองโคนต้นเกิดความเสียหายหลังจากถูกปล่อยไว้กลางแจ้งเป็นเวลานานและภายในอาคารที่ไม่มีระบบระบายน้ำทำให้มีน้ำขังจนทำให้ให้ตะไคร่น้ำและวัชพืชเจริญเติบโต ที่มา: (นาริรัตน์ บุญไชย และคณะ, 2562)

2.6 เทคโนโลยีแบบจำลองสามมิติในงานวิจัยด้านบรรพชีวินวิทยา

แบบจำลองสามมิติ คือ การแสดงวัตถุในรูปแบบสามมิติ (x, y, z) พร้อมการจำลองพื้นผิวของวัตถุ สร้างรูปทรงหรือรูปร่างแบบสามมิติ โดยการกำหนดจุดต่าง ๆ และเชื่อมโยงจุดด้วยเส้นตรง เพื่อให้ได้รูปทรงตามต้องการซึ่งมักจะถูกใช้เป็นแบบจำลองของวัตถุจริง การใช้คอมพิวเตอร์สร้างรูปทรงสามมิติอาจทำได้โดยอัตโนมัติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในกรณีที่รูปทรงเป็นแบบสมมาตรหรือรูปทรงเรขาคณิต หรือรูปทรงที่ประกอบขึ้นจากรูปทรงเรขาคณิตมาประกอบกัน หากเป็นรูปทรงที่ไม่สมมาตร หรือมีรายละเอียดมาก จำเป็นต้องกำหนดจุดต่าง ๆ และลากเส้นต่อจุดเพิ่มเติมเองด้วยผู้ที่เชี่ยวชาญ รูปทรงที่ได้เสมือนเกิดจากรูปสามเหลี่ยม หรือรูปสี่เหลี่ยม หรือรูปหลายเหลี่ยม (polygon) มาเรียงต่อกันเป็นแบบเส้นโครง (wire-frame)

เทคโนโลยีด้านสามมิติมีบทบาทสำคัญสำหรับเรื่องการใช้จำลองในรูปแบบต่าง ๆ ด้วยความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีที่มาคู่กัน ในงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์หลายสาขาได้นำเทคโนโลยีสามมิติเข้ามาเป็นตัวช่วยในการอธิบายเรื่องราวให้ผู้ศึกษาได้เข้าใจมากขึ้น และการพัฒนาของเทคโนโลยีที่ก้าวกระโดดในช่วงไม่กี่ทศวรรษที่ผ่านมาแบบจำลองสามมิติจึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านบรรพชีวินวิทยา

รัตน์โชติ เทียนมงคล (2561) ได้สร้างแบบจำลองสามมิติของไดโนเสาร์ที่มีการค้นพบในประเทศไทย และศึกษาโครงสร้างเพื่อจำลองการเคลื่อนไหวในแบบจำลองสามมิติ สำหรับการทำสารคดีไดโนเสาร์แดนอีสาน โดยการบูรณาการจากศาสตร์ทั้งด้านการผลิตพิเศษทางด้านคอมพิวเตอร์กราฟิก เพื่อมาผสมผสานให้เกิดเป็นภาพจำลอง และแนวทางการต่อยอดงานวิจัยทางด้านบรรพชีวินวิทยา



ภาพที่ 5 ภาพตัวอย่างการพัฒนาตัวละคร 3 มิติต้นแบบพร้อมการจำลองการเคลื่อนไหว

ที่มา: (รัตน์โชติ เทียนมงคล, 2561)

Lyons *et al.* (2000) ได้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้แบบจำลองสามมิติ โดยการใช้เครื่องเลเซอร์สแกนสามมิติแบบสีในการสร้างแบบจำลองของชิ้นส่วนกะโหลกบริเวณ basisphenoid-basioccipital ของสัตว์เลื้อยคลานทะเล *Tylosaurus* sp. ในวัยเยาว์ เพื่อแสดงความสามารถของแบบจำลองสามมิติที่นำมาใช้ในงานวิจัย และสร้างฐานข้อมูลรูปแบบดิจิทัล



ภาพที่ 6 การใช้เครื่องเลเซอร์สแกนชิ้นส่วนกะโหลกบริเวณ basisphenoid-basioccipital ของ *Tylosaurus* sp. ที่มา: (Lyons *et al.*, 2000)

Cunningham *et al.* (2014) ได้กล่าวถึงการนำเทคโนโลยีสามมิติมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยของนักบรรพชีวินวิทยา โดยส่วนใหญ่นิยมใช้การวิเคราะห์ภาพจากเทคนิคคอมพิวเตอร์โทโมกราฟี (Computer Tomography: CT scan) และได้แสดงการใช้คอมพิวเตอร์กราฟิก และวิธีการสร้างแบบจำลองสามมิติแต่ละแบบในการวิเคราะห์ซากดึกดำบรรพ์ เพื่อให้เข้าใจในตัวอย่างที่ศึกษาได้ถูกต้องโดยแต่ละเทคนิคให้ผลที่แตกต่างกัน อ้างอิงตามตาราง (ตารางที่ 1 และ 2)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ และสร้างแบบจำลองสามมิติของซากดึกดำบรรพ์สามมิติ (Cunningham *et al.*, 2014)

Technique	Data collected	Destructive	Size of feature ¹	Resolution ²	Cost /use ³	Portable
Serial grinding, slicing and sawing	Optical Images of exposed surfaces	Yes	>1 mm	10 μ m	££/£	Yes
FIB tomography	SEM images, chemical data	Yes	1 μ m to 1 mm	50 μ m	££££/£	No
Micro-CT	Maps of X-ray attenuation	NO	1 mm to 250 mm	1 μ m	££££/£	No
Nano-CT	Maps of X-ray attenuation	NO	1 μ m to 60 μ m	200 nm	££££/£	No
Synchrotron-based tomography	Maps of X-ray attenuation	NO	50 μ m to 600 mm	200 nm	X	No
Synchrotron-based	Maps of X-ray phase variations	NO	50 μ m to 600 mm	200 nm	X	No
Neutron tomography	Maps of neutron attenuation	NO	2 mm to 300 mm	30 μ m	X	No
Magnetic resonance Imaging (MRI)	Distribution of light elements	NO	<1 m	10 μ m	££££/£	No
Laser scanning	Surface color and morphology	NO	>10 mm	50 μ m	££/£	Yes
Photogrammetry	Surface color and morphology	NO	Any ⁴	N/A ⁴	£/£	Yes
Serial focus light microscopy	Optical images at successive planes	NO	100 μ m to 10 mm	200 nm	££/£	Yes
Confocal laser scanning microscopy	Optical/fluorescence images at successive planes	NO	10 μ m to 250 μ m	800 nm	£££/£	No

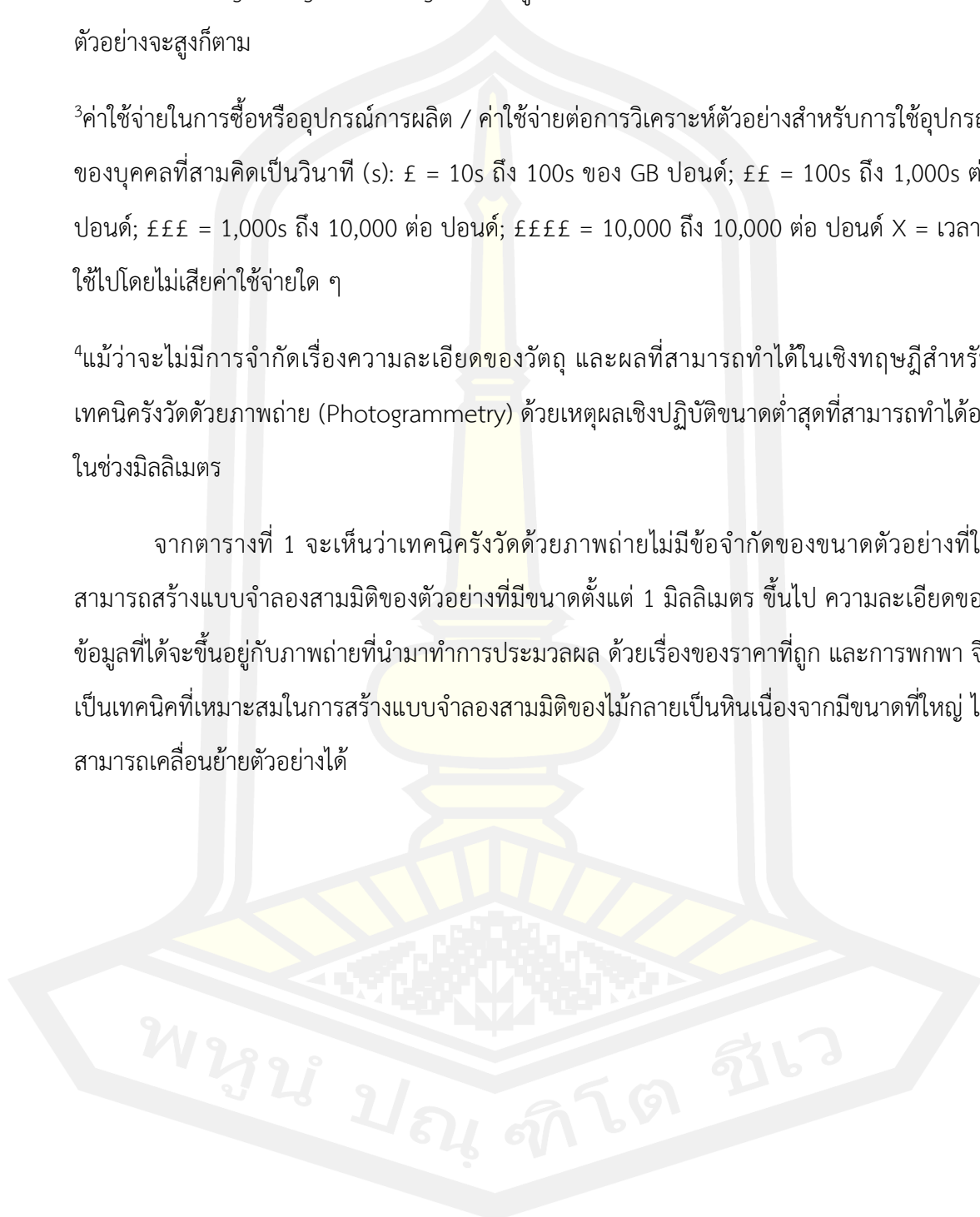
หมายเหตุ: ¹ช่วงของขนาดที่แต่ละเทคนิคสามารถใช้ในการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตามสำหรับบางเทคนิคอาจไม่สามารถใช้งานได้เพื่อให้ได้ความละเอียดสูงสุดสำหรับตัวอย่างที่ใหญ่ที่สุด

²ความละเอียดสูงสุดของแต่ละเทคนิคที่สามารถทำได้; สำหรับบางเทคนิค เช่น การบด หรือ ตัด ตัวอย่าง (Serial grinding and slicing) จะขึ้นอยู่กับระยะห่างของตัวอย่าง แม้ว่าความละเอียดของตัวอย่างจะสูงก็ตาม

³ค่าใช้จ่ายในการซื้อหรืออุปกรณ์การผลิต / ค่าใช้จ่ายต่อการวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับการใช้อุปกรณ์ของบุคคลที่สามคิดเป็นวินาที (s): £ = 10s ถึง 100s ของ GB ปอนด์; ££ = 100s ถึง 1,000s ต่อ ปอนด์; £££ = 1,000s ถึง 10,000 ต่อ ปอนด์; ££££ = 10,000 ถึง 10,000 ต่อ ปอนด์ X = เวลาที่ใช้ไปโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใด ๆ

⁴แม้ว่าจะไม่มีการจำกัดเรื่องความละเอียดของวัตถุ และผลที่สามารถทำได้ในเชิงทฤษฎีสำหรับเทคนิคสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยภาพถ่าย (Photogrammetry) ด้วยเหตุผลเชิงปฏิบัติขนาดต่ำสุดที่สามารถทำได้อยู่ในช่วงมิลลิเมตร

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าเทคนิคสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยภาพถ่ายไม่มีข้อจำกัดของขนาดตัวอย่างที่ใช้สามารถสร้างแบบจำลองสามมิติของตัวอย่างที่มีขนาดตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร ขึ้นไป ความละเอียดของข้อมูลที่ได้จะขึ้นอยู่กับภาพถ่ายที่นำมาทำการประมวลผล ด้วยเรื่องของราคาที่ถูกลง และการพกพา จึงเป็นเทคนิคที่เหมาะสมในการสร้างแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินเนื่องจากมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถเคลื่อนย้ายตัวอย่างได้



ตารางที่ 2 ซอฟต์แวร์สามมิติทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์ซากดึกดำบรรพ์ (Cunningham *et al.*, 2014)

Software package	Source	Example
CT data processing/image segmentation		
Amira (www.amira.com)	Commercial	(Donoghue <i>et al.</i> , 2006)
Avizo (www.vsg3d.com)	Commercial	(Lautenschlager, 2013)
Drishti (http://anuf.anu.edu.au/Vizlab/drishti)	Freely available	(Jones <i>et al.</i> , 2011)
Mimics (www.materialise.com/mimics)	Commercial	(Alonso <i>et al.</i> , 2004)
SPIERS (www.spiers-software.org)	Freely available	(Sutton <i>et al.</i> , 2012)
VG Studio Max (www.volumegraphics.com)	Commercial	(Butler <i>et al.</i> , 2012)
Visualization and animation		
Autodesk Maya (http://usa.autodesk.com/maya)	Commercial	(Molnar <i>et al.</i> , 2012)
Blender (www.blender.org)	Freely available	(Stein, 2010)
3D meshing/conversion of formats		
GeoMagic Studio (www.geomagic.com)	Commercial	(Arbour <i>et al.</i> , 2012)
Altair Hypermesh (www.altairhyperworks.com)	Commercial	(Lautenschlager <i>et al.</i> , 2013)
ScanFE (http://www.simpleware.co.uk/)	Commercial	(Young <i>et al.</i> , 2012)
Finite element analysis		
Abaqus FEA (www.simulia.com)	Commercial	(Lautenschlager <i>et al.</i> , 2013)
ANSYS (www.ansys.com)	Commercial	(Witzel & Preuschoft, 2005)
COMSOL Multiphysics (http://www.uk.comsol.com/)	Commercial	(Snively <i>et al.</i> , 2008)
SC/Tetra (http://www.cradle-cfd.com/)	Commercial	(Shiino <i>et al.</i> , 2012)

2.7 เทคนิคสร้างวัดด้วยภาพถ่าย

ความหมาย

Photogrammetry เป็นคำผสมมีรากศัพท์มาจากภาษากรีกประกอบไปด้วย คำว่า Phos หมายถึง แสง Gramma หมายถึงการวาดหรือเขียนขึ้นมาและ Metron หมายถึงการวัด รวมความแล้วหมายถึง เทคนิคในการวัดด้วยภาพ

ไพศาล สันติธรรมนนท์ (2553) ได้ให้คำจำกัดความของเทคนิคการรังวัดด้วยภาพถ่ายไว้ว่า การรังวัดด้วยภาพ (photogrammetry) เป็นศาสตร์และเทคโนโลยีสำหรับการสำรวจ รังวัดเพื่อทำแผนที่ และผลิตเป็นข้อมูลภูมิสารสนเทศ การรังวัดด้วยภาพจะใช้ภาพเป็นสื่อกลางในการรังวัด บันทึกสิ่งที่ปกคลุมและปรากฏบนภูมิประเทศเป็นไปตามลักษณะของการใช้ที่ดิน อาณาบริเวณ อาคารสถานที่ หรือวัตถุที่สนใจ ภาพของสิ่งเหล่านั้นจะไปปรากฏในลักษณะแบบจำลองสามมิติ ทำให้สามารถจำลองสถานการณ์เหมือนขณะที่ยืนที่ภาพได้ การรังวัดด้วยภาพเป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ เนื่องจากการรังวัดด้วยภาพเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อนต้องใช้การคำนวณขั้นสูงต้องใช้เครื่องมือเป็นกลไกและอุปกรณ์เชิงทัศนศาสตร์ที่ต้องใช้ทั้งความเข้าใจ การฝึกฝน และความชำนาญในการทำงาน ยิ่งในปัจจุบันต้องใช้ระบบคอมพิวเตอร์และชุดซอฟต์แวร์ที่มีความสลับซับซ้อน ผลลัพธ์ที่ได้จากการรังวัดด้วยภาพจะได้ทั้งพิกัดของตำแหน่งวัตถุ ขนาด และรูปร่างสามมิติพร้อมกันได้ทันที นอกจากนั้นบางระบบยังสามารถนำพื้นผิววัตถุ (texture) ผสมรวมเข้าไป ทำให้แบบจำลองสามมิติที่ได้มีความเสมือนจริงมากขึ้น การรังวัดด้วยภาพสามารถทำได้โดยผู้ที่รังวัดไม่จำเป็นต้องเข้าสัมผัสวัตถุ การรังวัดและประมวลผลสามารถใช้การสังเกตและบันทึกจากระยะไกล การรังวัดทำได้ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างได้อย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตาม กระบวนการทุกขั้นตอนมีความละเอียดอ่อน ต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจ ตลอดจนความชำนาญและผ่านการฝึกฝนมาเป็นอย่างดีเนื่องจากการสร้างแบบจำลองสามมิติในแต่ละครั้งจุดประสงค์ของผู้ใช้อาจมีความแตกต่างกันออกไป การรังวัดด้วยภาพถ่ายในซอฟต์แวร์ เช่น Agisoft Metashape สามารถสร้างแบบจำลองที่นำมาใช้งานได้หลากหลายรูปแบบผู้ใช้ต้องเข้าใจถึงความเหมาะสมในการตั้งค่าเพื่อสร้างแบบจำลองสามมิติในแต่ละชุด เช่น การรังวัดแผนที่ต้องใช้โมเดลพื้นผิวในรูปแบบภาพมุมสูง (Height field) หรือ การตั้งค่ากำหนดจุดอ้างอิงลงบนพื้นผิวของแบบจำลอง (Marker) เพื่อให้ข้อมูลมีความแม่นยำมากที่สุด

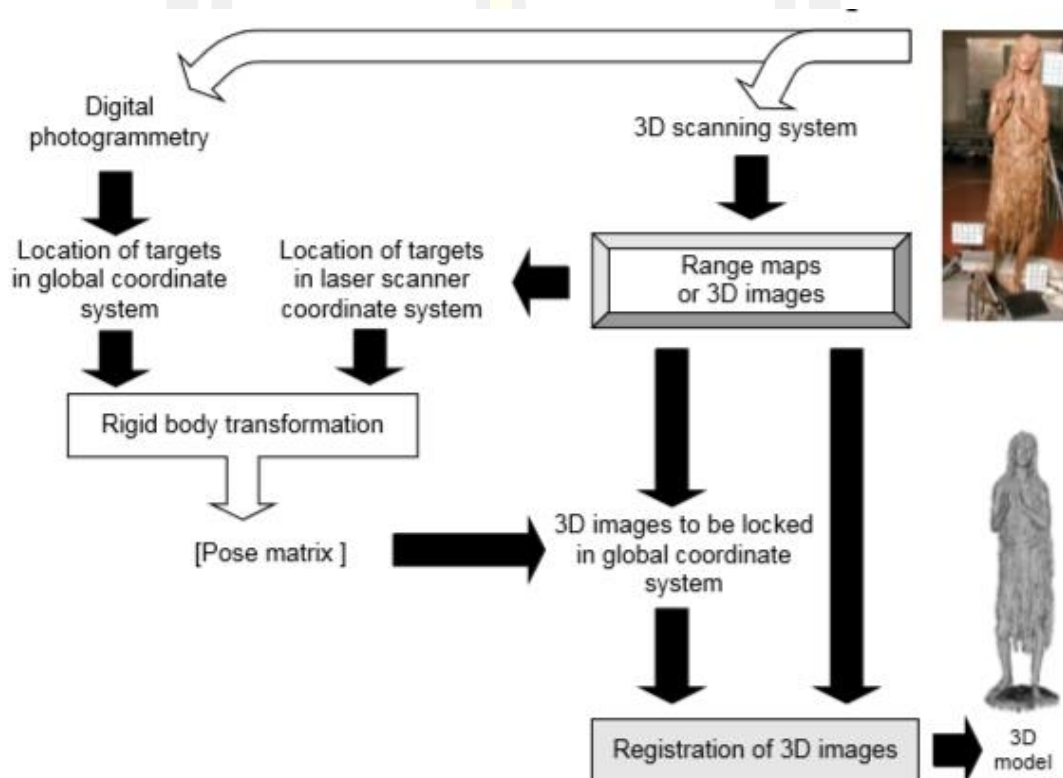
Schenk (2005) การรังวัดด้วยภาพถ่าย เป็นการนำภาพถ่ายหลาย ๆ ภาพมาประมวลผลให้เป็นข้อมูลสามมิติ การรังวัดด้วยภาพถ่ายเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองสามมิติของตัวอย่างขนาดใหญ่ในพื้นที่เปิดกว้างแสงจากธรรมชาติมีส่วนสำคัญที่จะช่วยให้เก็บรายละเอียดของตัวอย่างได้ดี เนื่องจากเทคนิคนี้จะสร้างแบบจำลองขึ้นมาจากข้อมูลในภาพถ่ายช่วงเวลาเดียวกัน และมีแสงเพียงพอสามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนจากความแตกต่างของภาพได้ และในการถ่ายภาพแต่ละภาพจำเป็นต้องมีบริเวณที่ซ้อนทับกันร้อยละ 60 ขึ้นไป โปรแกรมจึงจะสามารถสร้างแบบจำลองที่ถูกต้องได้

Albertz (2007) ได้กล่าวถึงประวัติความเป็นมาของเทคนิคการรังวัดด้วยภาพถ่ายว่าความสำเร็จซึ่งถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของความรู้ทางด้านนี้อย่างแท้จริง เริ่มต้นภายหลังจากที่ Aime' Luassedat ชาวฝรั่งเศสได้ทดลองรังวัดด้วยภาพเป็นผลสำเร็จในปี ค.ศ. 1840 และได้ตั้งชื่อทฤษฎีของเขาว่า Iconometrie การสำรวจรังวัดด้วยทฤษฎีดังกล่าว เป็นการดำเนินงานร่วมกันระหว่างเครื่องมืออ่านภาพ และเขียนภาพทัศนียภาพด้วยมือ กับสิ่งประดิษฐ์ซึ่งเขา เรียกว่า Camera Lucida ซึ่งเป็นต้นแบบของกล้องถ่ายภาพที่ใช้ในงานรังวัดภาพถ่ายในสมัยต่อมา Luassedat ได้เรียกความรู้ดังกล่าวว่าวิชา Metrophotographie ทฤษฎีดังกล่าว ภายหลังจากได้รับการเผยแพร่และรู้จักในวงกว้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายหลังจากที่บทความชิ้นสำคัญเรื่องหนึ่งของเขา ซึ่งมีชื่อว่า Die Photometrographie ได้รับตีพิมพ์ในวารสาร Wochenblatt des Architektenvereins zu Berlin (Weekly journal of the Association of Architects in Berlin) ในเวลาต่อมา Luassedat ได้ทดลองทำการสำรวจและเขียนแบบผังพื้นที่ของอาคารในกรุงปารีส (architectural documentation) ได้เป็นผลสำเร็จ โดยใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายทางอากาศซึ่งแสดงหลังคาของอาคารในกรุงปารีส ผลงานของเขาได้ถูกนำไปจัดแสดงในงาน Paris exposition ในปี ค.ศ. 1867 ด้วยผลงานดังกล่าว ภายหลังจากเขาจึงได้รับการบันทึกว่าเป็นบิดาแห่งการรังวัดด้วยภาพถ่าย (Father of photogrammetry)

เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการพัฒนาให้ก้าวหน้า ผสมกับการถือกำเนิดขึ้นของกล้องถ่ายภาพดิจิทัล นวัตกรรมทั้งสองสิ่งนี้ได้ถูกผนวกเข้าเป็นเครื่องมือสำคัญในการสำรวจยุคใหม่ เรียกว่า การสำรวจด้วยภาพดิจิทัล (Digital photogrammetry) สมาคมนานาชาติว่าด้วยการรังวัดด้วยภาพ และการสำรวจระยะไกล (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing:

ISPRS) ได้ประกาศคำขวัญในการประชุมวิชาการของสมาคมในปี ค.ศ. 1996 ที่กรุงเวียนนาประเทศออสเตรีย ว่า “Digital photogrammetry ready for take off”

Beraldin (2004) ได้กล่าวถึงการพัฒนาองค์ความรู้ด้านการสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยวิธีการสแกนด้วยเลเซอร์ และการรังวัดด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาและความเป็นไปได้ในอนาคตของการนำแบบจำลองสามมิติไปประยุกต์ใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ

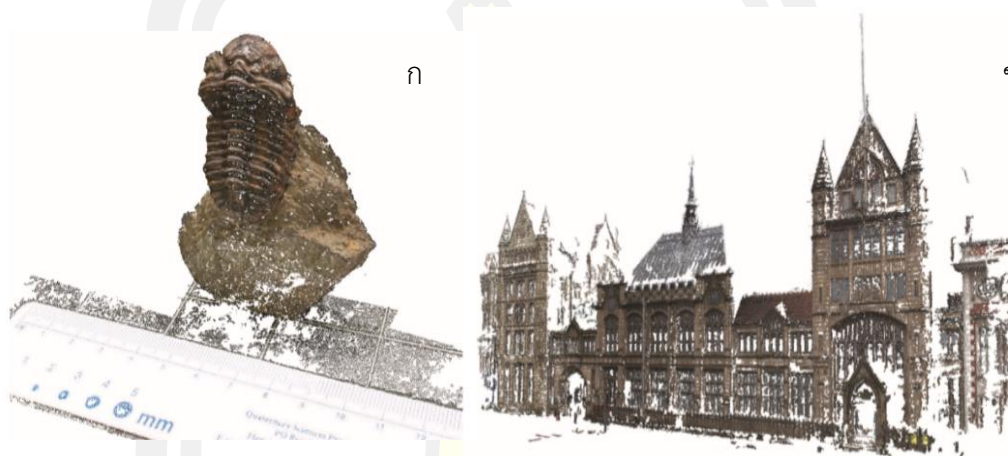


ภาพที่ 7 ตัวอย่างของขั้นตอนการประมวลผลและประสานข้อมูลในการรังวัดด้วยภาพถ่ายและระบบการสแกน 3 มิติ ที่มา: (Beraldin, 2004)

2.8 เทคนิครังวัดด้วยภาพถ่ายและแบบจำลองสามมิติในงานด้านการอนุรักษ์ตัวอย่าง

การรังวัดด้วยภาพถ่ายนั้นสามารถสร้างแบบจำลองสามมิติที่มีความละเอียดสูงและยังสามารถสร้างแบบจำลองสามมิติของวัตถุที่มีขนาดต่างกันได้ เช่น ซากดึกดำบรรพ์ไทรโลไบต์ขนาด 4 มิลลิเมตร โครงกระดูกช้างเอเซียขนาด 3 เมตร ระบบรากของไม้กลายเป็นหินขนาด 6 เมตร ไปจนถึงพิพิธภัณฑน์แมนเชสเตอร์ขนาด 50 เมตร และมีการประยุกต์ใช้เทคนิครังวัดภาพถ่ายทางอากาศและการรังวัดด้วยภาพถ่ายระยะใกล้ในการสร้างแบบจำลองสามมิติของแหล่งรอยตีนไดโนเสาร์ในช่วงยุคค

รีเทเชียสตอนต้นเพื่อทำการวิเคราะห์รอยตีนไดโนเสาร์จากแบบจำลองสามมิติ และเก็บรักษาเป็นฐานข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล เพื่อการอนุรักษ์และถ่ายทอดความรู้ ปัจจุบันเทคนิคนี้มีการเข้าถึงได้ง่าย มีรูปแบบโอเพนซอร์ซซอฟต์แวร์ (open-source software) ที่สามารถใช้งานได้ฟรี สามารถสร้างและนำแบบจำลองสามมิติมาใช้ในการวิจัยได้ (Falkingham, 2012; Petti Fabio Massimo *et al.*, 2018)

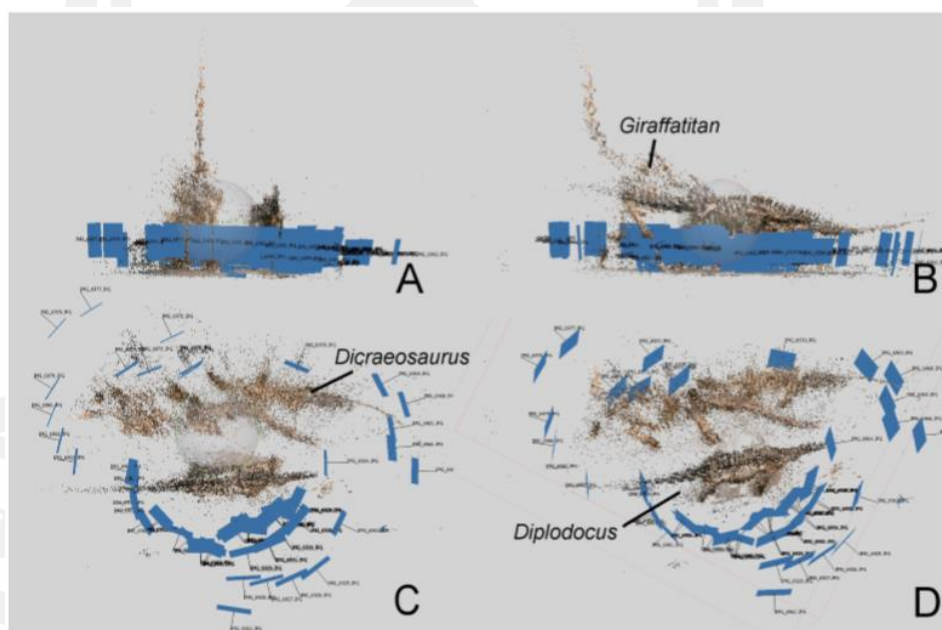


ภาพที่ 8 แบบจำลองสามมิติของ ก) ไทรโลไบต์จากเทคนิครังวัดด้วยภาพถ่ายขนาด 4 มิลลิเมตร และ ข) พิพิธภัณฑสถานแมนเชสเตอร์ ขนาด 50 เมตร ที่มา: (Falkingham, 2012)

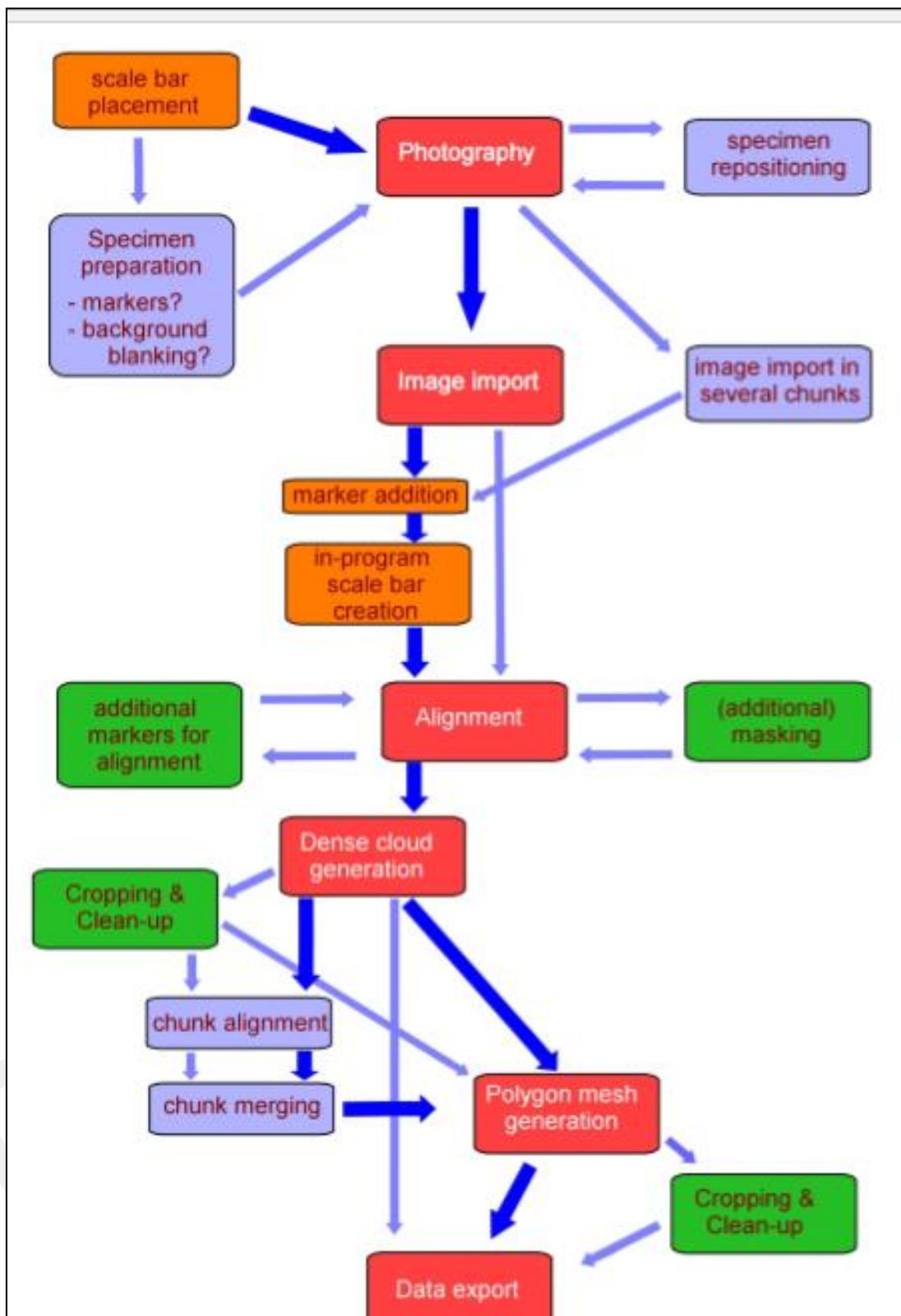


ภาพที่ 9 แบบจำลองสามมิติของแหล่งขุดค้น Molfetta จากการรังวัดด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ที่มา: (Petti Fabio Massimo *et al.*, 2018)

ไม่นานมานี้มีการนำเทคนิคการถ่ายภาพมาใช้ในงานวิจัยด้านบรรพชีวินวิทยาอย่างจริงจัง โดยมีวิธีการที่ใช้ในการใช้งานกับซากดึกดำบรรพ์ที่มีความเปราะบาง การใช้แบบจำลองสามมิติมาใช้ในการศึกษา โดยที่หลีกเลี่ยงการสัมผัสตัวอย่างโดยตรงเป็นการลดความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดความเสียหายกับตัวอย่างได้และยังสามารถเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบพอยต์คลาวด์ที่เป็นข้อมูลดิจิทัลได้อีกด้วย Mallison กล่าวว่า การรังวัดด้วยภาพถ่ายจะถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการสร้างข้อมูลรูปแบบดิจิทัลของซากดึกดำบรรพ์ และด้วยความสะดวกในการใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานทางด้านวิทยาศาสตร์ และสาขาอื่น ๆ ได้อีก การทำงานผ่านการใช้ซอฟต์แวร์ Agisoft Photoscan สร้างแบบจำลองสามมิติ (3D modeling) โดยกระบวนการที่ใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ของพื้นผิวในระบบสามมิติของวัตถุใด ๆ โดยผลที่ได้จะเรียกว่า แบบจำลองสามมิติ ซึ่งเราสามารถมองเห็นภาพของแบบจำลองนี้ผ่านทางหน้าจอแสดงผลได้ โดยผ่านกระบวนการที่เรียกว่า “เรนเดอร์สามมิติ” โดยเป็นการเก็บข้อมูลของจุดในระบบพิกัดสามมิติ ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยรูปแบบทางเรขาคณิต หรือพื้นผิว แบบจำลองสามมิติ (Mallison & Wings, 2014)



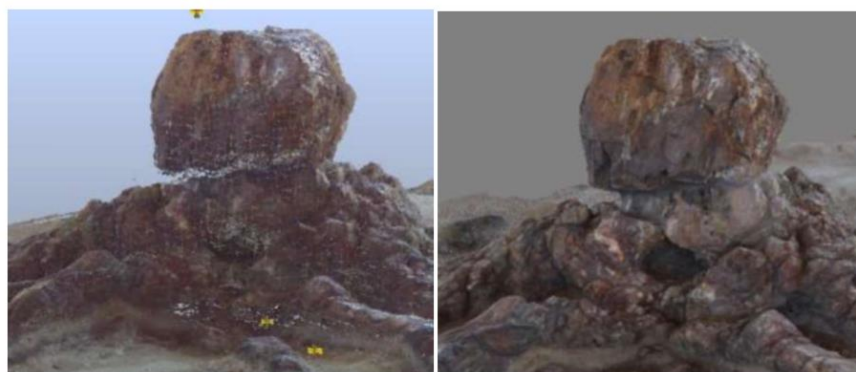
ภาพที่ 10 ภาพแสดงแบบจำลองสามมิติในรูปแบบพอยต์คลาวด์ของโครงกระดูกไดโนเสาร์ *Giraffatitan* และ *Dicraeosaurus* ที่ตั้งอยู่ในส่วนจัดแสดง ที่มา: (Mallison & Wings, 2014)



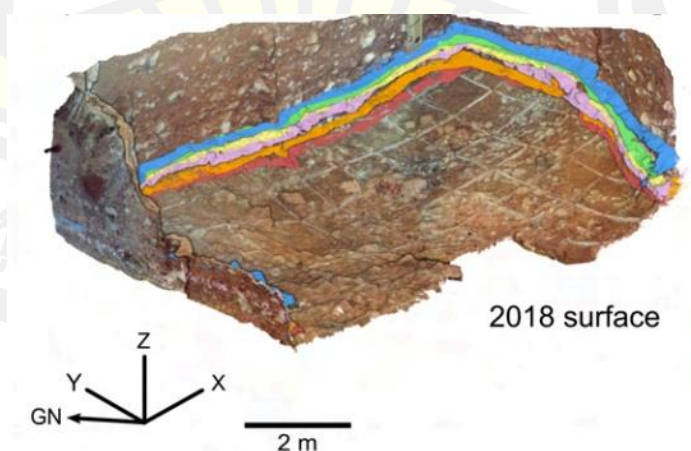
ภาพที่ 11 ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองสามมิติในซอฟต์แวร์ Agisoft Photoscan

ที่มา: (Mallison & Wings, 2014)

การสร้างแบบจำลองสามมิติยังถูกใช้ในงานด้านการอนุรักษ์ ไม่ว่าจะเป็นซากดึกดำบรรพ์ไม้กลายเป็นหินในอุทยานธรณีโลกและพิพิธภัณฑ์ธรรมชาติวิทยาป่าไม้กลายเป็นหินเลสวอส ประเทศกรีซ หรือในแหล่งโบราณคดีของมนุษย์นีแอนเดอร์ทัลประเทศสเปน ที่ใช้แบบจำลองสามมิติมาตรวจสอบพื้นผิวของแหล่งโบราณสถานที่ลดลงไปในแต่ละช่วงปีหลังจากที่มีการขุดค้นและการเสื่อมสภาพ โดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลองดิจิทัลเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model) สำหรับสร้างฐานข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล และการอนุรักษ์ตัวอย่าง เป็นงานวิจัยระยะยาว งานวิจัยเหล่านี้ได้ใช้แบบจำลองสามมิติที่มาจากเทคนิคการสแกนสามมิติ ควบคู่กับเทคนิคการรังวัดด้วยภาพถ่าย เพื่อนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบในช่วงเวลาที่ต่างกัน (Chatzi et al., 2019) (Martínez-Fernandaz et al., 2020)



ภาพที่ 12 แบบจำลองสามมิติของระบบรากไม้กลายเป็นหินจากจากเทคนิคการสแกนสามมิติด้วยเลเซอร์ (ซ้าย) แบบจำลองสามมิติจากเทคนิครังวัดด้วยภาพถ่าย (ขวา)
ที่มา: (Chatzi et al., 2017)



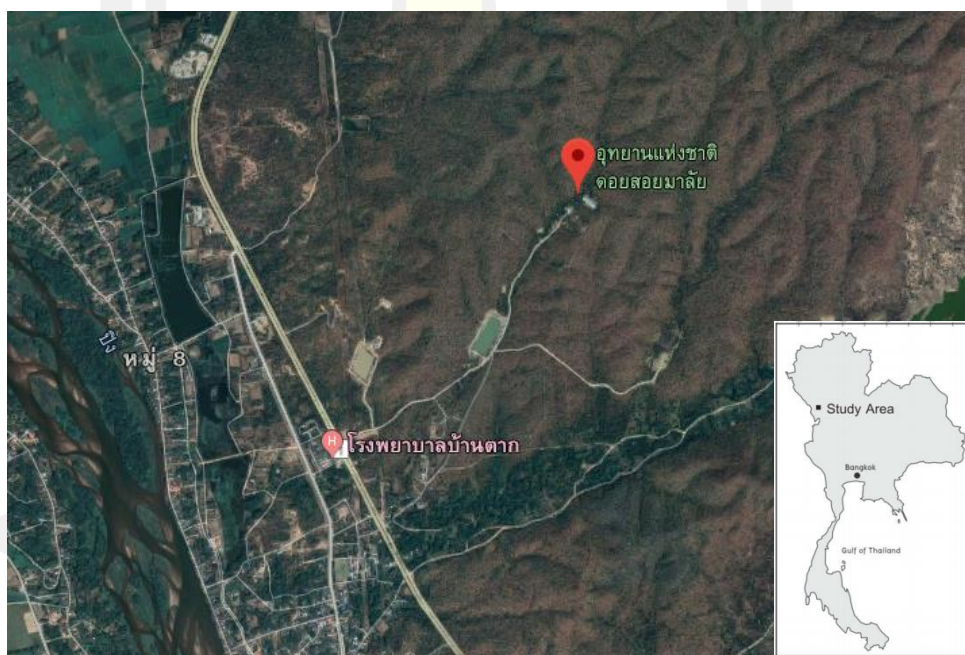
ภาพที่ 13 การใช้แบบจำลองสามมิติเปรียบเทียบพื้นที่และปริมาตร ของพื้นผิวดินที่ลดลงในแต่ละปีจากแหล่งโบราณคดี Atapuerca ประเทศสเปน ที่มา (Martínez-Fernandaz et al., 2020)

บทที่ 3

วิธีดำเนินงาน

3.1 พื้นที่ศึกษา

ออกภาคสนามและเก็บข้อมูลอยู่ในบริเวณแหล่งที่พบไม้กลายเป็นหิน ณ อุทยานแห่งชาติ ดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) ตำบลตากออก อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก หนึ่งในแหล่งชุดค้นซากดึกดำบรรพ์ ที่มีความสำคัญด้านคุณค่าทางทรัพยากรธรรมชาติ เป็นแหล่งที่ค้นพบไม้กลายเป็นหินที่ยาวที่สุดในโลก ขนาด 69 เมตร เก็บข้อมูลรูปแบบภาพถ่ายด้วยโดรนและกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล ทำการสร้างแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินขนาดยาวที่มีความสมบูรณ์จำนวน 3 ต้น คือ ต้นที่ 1 ต้นที่ 6 และต้นที่ 7 *Koompassioxylon elegans* (Songtham et al., 2011)



ภาพที่ 14 แหล่งซากดึกดำบรรพ์ไม้กลายเป็นหิน ณ อุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) ตำบลตากออก อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก ที่มา: (Google Maps, 2020)

3.2 สถานที่ทำการศึกษา

อุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) ชื่อเดิม วนอุทยานไม้กลายเป็นหิน (เตรียมการ) ตำบลตากออก อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก

3.3 ตัวอย่างที่ใช้ทำการศึกษา

ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1, 6, และ 7 ในอุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) ตำบลตากออก อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก



ภาพที่ 15 ไม้กลายเป็นหินขนาดยาวที่นำมาสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยเทคนิครังวัดด้วยภาพถ่าย ก) ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ข) ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 6 ค) ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 7

3.4 เทคนิคที่ใช้

เทคนิคการรังวัดด้วยภาพถ่าย และประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ Agisoft Metashape Professional (www.agisoft.com) เนื่องจากเป็นซอฟต์แวร์ที่ถูกพัฒนาสำหรับการใช้งานด้านรังวัดภาพถ่ายโดยเฉพาะ และสามารถปรับรูปแบบการสร้างแบบจำลองสามมิติได้หลากหลาย

3.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.5.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

3.5.1.1 เตรียมถ่ายภาพไม้กลายเป็นหิน

เตรียมถ่ายภาพไม้กลายเป็นหินครั้งนี้ใช้อุปกรณ์ที่แตกต่างกันในการเก็บข้อมูล คือ โดรนติดกล้อง DJI รุ่น Mavic Pro และ กล้องดิจิทัล Nikon Model: Z50, Z DX 16 – 50 mm (ภาพที่ 16) เพื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน และทำการถ่ายภาพ 3 ครั้ง ในระยะเวลาห่างกัน 1 ปี ใช้เวลาทั้งหมด 2 ปีในการเก็บภาพเพื่อดูอัตราการเสื่อมสภาพของไม้กลายเป็นหิน



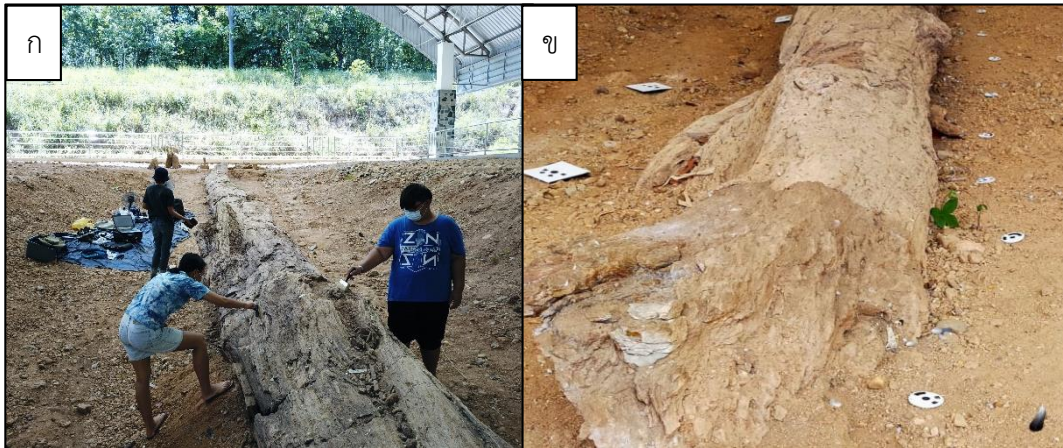
ภาพที่ 16 อุปกรณ์ที่ใช้ในการถ่ายภาพ ก) โดรนติดกล้อง DJI รุ่น Mavic Pro ข) กล้องดิจิทัล Nikon Model: Z50

3.5.1.2 การสำรวจพื้นที่

ไม้กลายเป็นหินแต่ละต้นมีขนาดและการวางแนวในทิศทางที่แตกต่างกัน ก่อนทำการถ่ายภาพมีการเตรียมตัวอย่างและสำรวจรอบ ๆ บริเวณลำต้นของไม้กลายเป็นหินเพื่อการถ่ายภาพที่เหมาะสม โดยการถ่ายภาพจากโดรนจะกำหนดเป็นแนวบินไป-กลับ 2 ถึง 3 รอบ ขึ้นกับขนาดของลำต้น เพื่อให้ครอบคลุมต้นไม้กลายเป็นหินทั้งหมดดังภาพ (ภาพที่ 18 ก) การถ่ายภาพจากกล้องดิจิทัลจะกำหนดเป็นแนว 2 ระนาบ ช่วงประมาณ 45 องศา และ 15 องศา ถ่ายไปกลับ 2 ถึง 3 รอบ โดยใช้ขาตั้งกล้องช่วยตั้งภาพ (ภาพที่ 19 ก) และพื้นที่โดยรอบลำต้นและผิวของไม้กลายเป็นหินจะถูกนำสิ่งกีดขวางหรือเศษฝุ่นออก เพื่อไม่ให้บังชิ้นตัวอย่างดังภาพ (ภาพที่ 17 ก)

3.5.1.3 การวางจุดอ้างอิง สำหรับอ้างอิงในการประมวลผลภาพถ่าย

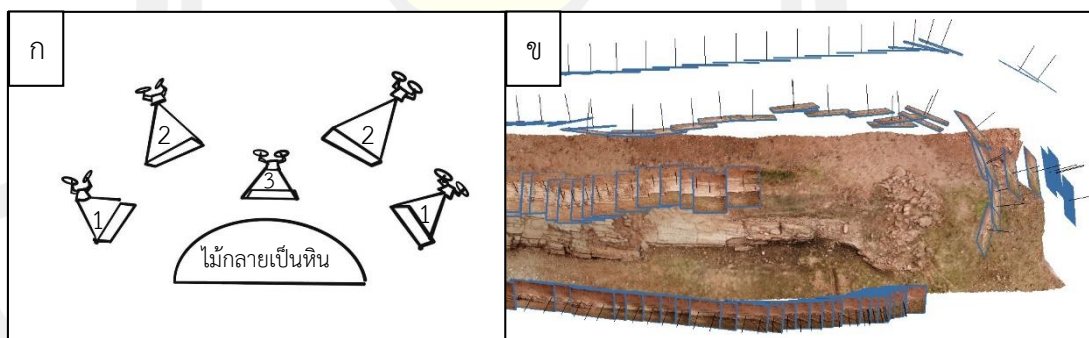
ขั้นตอนสุดท้ายก่อนทำการถ่ายภาพคือการวางจุดอ้างอิง (Marker) รอบ ๆ ลำต้นของไม้กลายเป็นหินดังภาพ (ภาพที่ 17 ข) เพื่อช่วยในการประมวลผลให้ซอฟต์แวร์ทำการตรวจจับและต่อภาพได้ง่ายขึ้นจากจุดอ้างอิง โดยจุดอ้างอิงที่ใช้เป็นแบบเฉพาะของ Agisoft สามารถตั้งค่าและพิมพ์ออกมาผ่านทางซอฟต์แวร์ Metashape โดยตรงไม่สามารถใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์อื่นได้



ภาพที่ 17 การเตรียมตัวอย่างก่อนทำการถ่ายภาพ ก) ทำความสะอาดผิวไม้กลายเป็นหิน ข) วางจุดอ้างอิงรอบ ๆ ตัวอย่าง

3.5.1.4 การถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับหรือโดรน

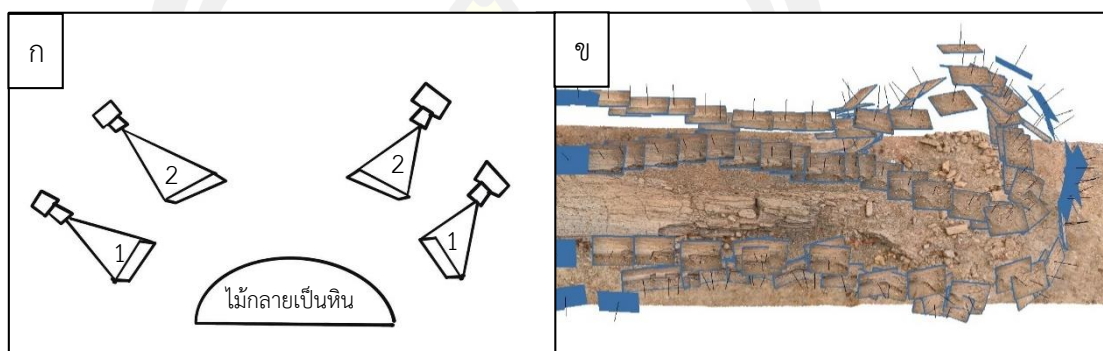
ในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1, 6 และ 7 ครั้งนี้ใช้โดรน DJI รุ่น Mavic Pro ในการถ่ายภาพโดยสามารถสั่งการได้ด้วยแอปพลิเคชันผ่านทางสมาร์ทโฟน สามารถตั้งค่าได้ตามที่ต้องการ ในการบินถ่ายภาพแต่ละครั้งจะต้องสำรวจบริเวณตัวอย่างที่ต้องการก่อนว่าไม่มีวัตถุหรือสิ่งมีชีวิตที่จะขยับไม่มาในบริเวณนั้นเพื่อไม่ให้เกิดการคลาดเคลื่อนของข้อมูล โดรนจะถูกสั่งให้บินรอบตัวอย่าง และถ่ายภาพตามที่ถูกตั้งค่าไว้



ภาพที่ 18 แนวการถ่ายภาพด้วยโดรน ก) กำหนดตำแหน่งที่ทำการถ่ายภาพด้วยโดรน ข) ตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จากโดรน

3.5.1.5 การถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล

ในการเก็บข้อมูลภาพถ่ายของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ครั้งที่ 3 จะใช้กล้องดิจิทัล Nikon Model: Z50 ในการถ่ายภาพโดยสามารถสั่งการได้ด้วยแอปพลิเคชันผ่านทางสมาร์ทโฟน และวางจุดอ้างอิงที่ได้จาก Agisoft รอบ ๆ ไม้กลายเป็นหิน (ภาพที่ 17 ข) เพื่อง่ายต่อการประมวลผลของภาพถ่าย และทำการเดินถ่ายภาพรอบ ๆ ตัวอย่างโดยใช้ขาตั้งกล้องช่วยปรับระยะ



ภาพที่ 19 แนวการถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล ก) กำหนดตำแหน่งที่ทำการถ่ายภาพ ข) ตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จากกล้อง

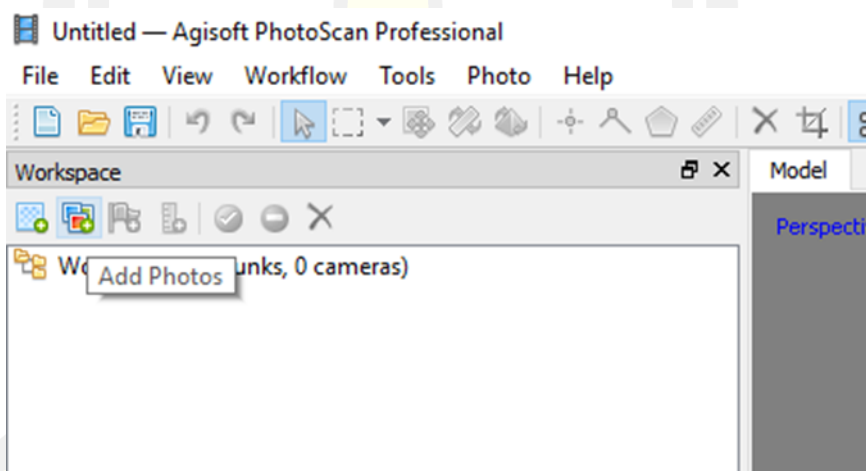
จากภาพที่ 18 ข และ 19 ข จะเห็นว่าแบบจำลองสามมิติที่ได้จากการถ่ายภาพทั้งสองวิธีนี้ ให้ผลที่ไม่ต่างกัน โดรนที่มีระบบ GPS ที่แม่นยำกว่ากล้องถ่ายภาพทั่วไปจะได้เปรียบในการประมวลผลตำแหน่งที่รวดเร็ว แต่การใช้กล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัลแบบคนถ่าย สามารถทดแทนในส่วนนี้ได้โดยการนำมาร์กเกอร์ที่ได้จากโปรแกรม Agisoft Metashape มาวางขณะถ่ายภาพ (ภาพที่ 17 ข) เพื่อช่วยให้ระบุตำแหน่งและต่อภาพได้ง่ายขึ้น

3.5.2 การประมวลผลสร้างแบบจำลองสามมิติ

เทคนิคการรังวัดด้วยภาพถ่าย เป็นการสำรวจรังวัดที่ใช้ภาพเป็นสื่อกลาง โดยบันทึกสิ่งที่ปรากฏทางกายภาพบนภูมิประเทศ อาณาบริเวณ อาคารสถานที่ หรือวัตถุ เพื่อสร้างเป็นแบบจำลองสามมิติตามกลไกเชิงทัศน หรือเชิงคณิตศาสตร์ การสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยเทคนิครังวัดภาพถ่าย เป็นการนำภาพถ่ายหลาย ๆ ภาพมาประมวลผลให้เป็นข้อมูลสามมิติ การรังวัดด้วยภาพถ่ายเพื่อสร้างเป็นแบบจำลองสามมิติของตัวอย่างขนาดใหญ่ในพื้นที่เปิดกว้างแสงจากธรรมชาติมีส่วนสำคัญที่จะช่วยให้เก็บรายละเอียดของตัวอย่างได้ดี เนื่องจากเทคนิคนี้จะสร้างแบบจำลองขึ้นมาจากข้อมูลใน

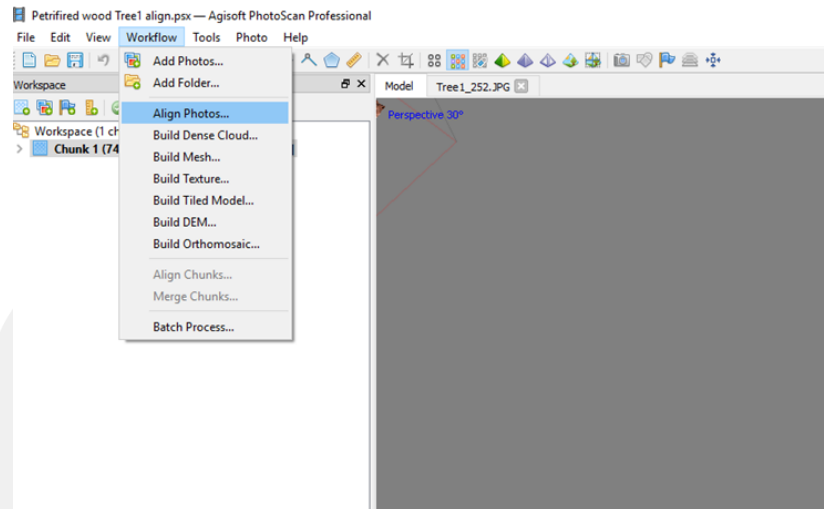
ภาพถ่ายการถ่ายภาพในช่วงเวลาเดียวกัน และมีแสงเพียงพอสามารถช่วยลดความคลาดเคลื่อนจากความแตกต่างของภาพได้ และในการถ่ายภาพแต่ละภาพจำเป็นต้องมีบริเวณที่ซ้อนทับกันร้อยละ 60 ขึ้นไป โปรแกรมจึงจะสามารถสร้างแบบจำลองที่ถูกต้องได้ การสร้างแบบจำลองไม้กลายเป็นหินครั้งนี้ใช้โปรแกรม Agisoft Photoscan (Metashape) Professional Software เป็นโปรแกรมใช้เฉพาะทางสำหรับการรังวัดด้วยภาพถ่าย โดยโปรแกรมจะนำภาพถ่ายของไม้กลายเป็นหินแต่ละต้นมาเรียงต่อกันและสร้างข้อมูลรูปแบบพอยต์คลาวด์ และสามารถสร้างแบบจำลองในพื้นที่ผิวแบบต่าง ๆ ได้รวมไปถึงการผสานข้อมูลของรูปภาพต้นฉบับเพื่อให้ได้พื้นผิวและสีของตัวอย่างจริง มีขั้นตอนการทำงาน 7 ขั้นตอนดังนี้

1) นำภาพถ่ายเข้ามาในโปรแกรม Agisoft Metashape โดยเลือกปุ่มคำสั่ง “Add Photos” แล้วทำการเลือกภาพที่ ต้องการนำมาสร้างเป็นแบบจำลองแล้วคลิกที่ปุ่ม “OK” ดังภาพ (ภาพที่ 20)

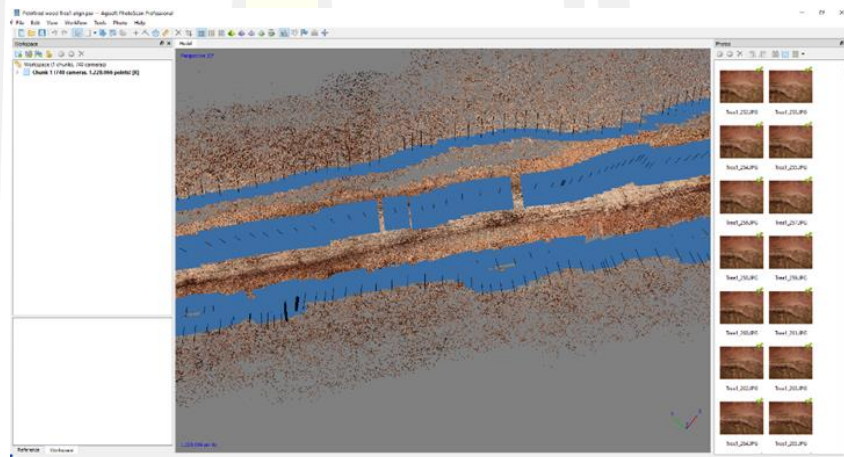


ภาพที่ 20 การนำภาพถ่ายเข้ามาในโปรแกรมโดยการเลือกคำสั่ง “Add Photos”

2) เป็นขั้นตอนเรียงตำแหน่งของภาพถ่ายโดยเลือกปุ่มคำสั่ง “Work Flow > Align Photos” ดังภาพ (ภาพที่ 21) โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างเพื่อให้เลือกความละเอียดของงาน เมื่อทำการเลือกแล้วให้ทำการคลิกที่ปุ่ม “OK” เมื่อเสร็จจะได้โครงร่างของแบบจำลองสามมิติที่สร้างจากพอยต์คลาวด์บาง ๆ ดังภาพ (ภาพที่ 22)

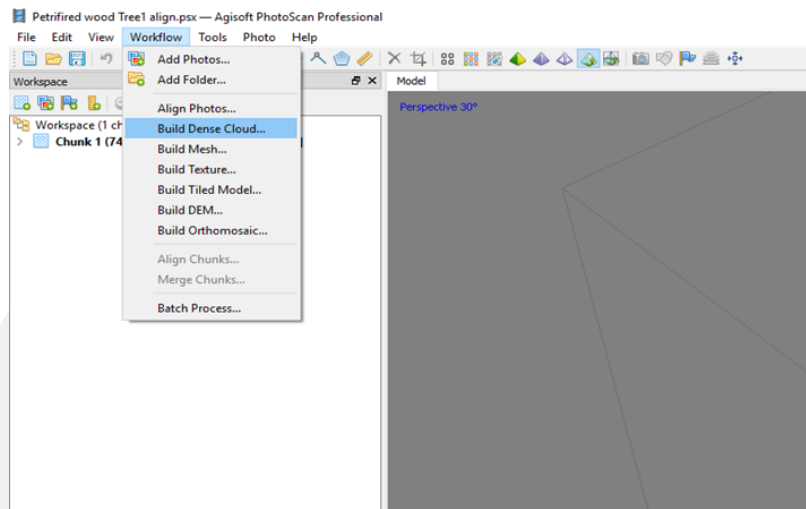


ภาพที่ 21 จัดตำแหน่งภาพถ่ายโดยการเลือกคำสั่ง “Align Photos”

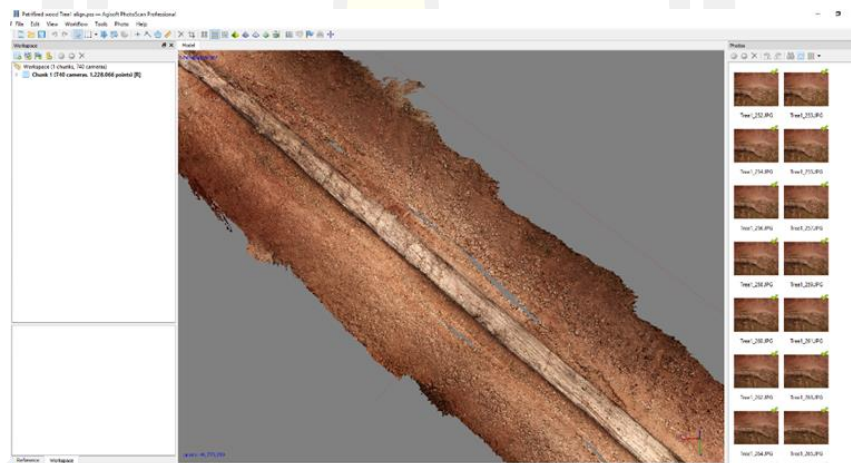


ภาพที่ 22 ภาพแสดงข้อมูลในรูปแบบพอยต์คลาวด์บาง ๆ

3) เป็นการเพิ่มความหนาแน่นของพอยต์คลาวด์ให้เป็นรูปร่างเหมือนตัวอย่างจริง โดยเลือกปุ่มคำสั่ง “Work Flow > Build Dense Clouds” โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างเพื่อให้เลือกความละเอียดของงานเมื่อทำการเลือกแล้วให้ทำการคลิกที่ปุ่ม “OK” (ภาพที่ 23) เมื่อเสร็จจะได้แบบจำลองสามมิติที่สร้างจากพอยต์คลาวด์หนาแน่นสามารถเห็นเป็นรูปร่างชัดเจนดังภาพ (ภาพที่ 24)

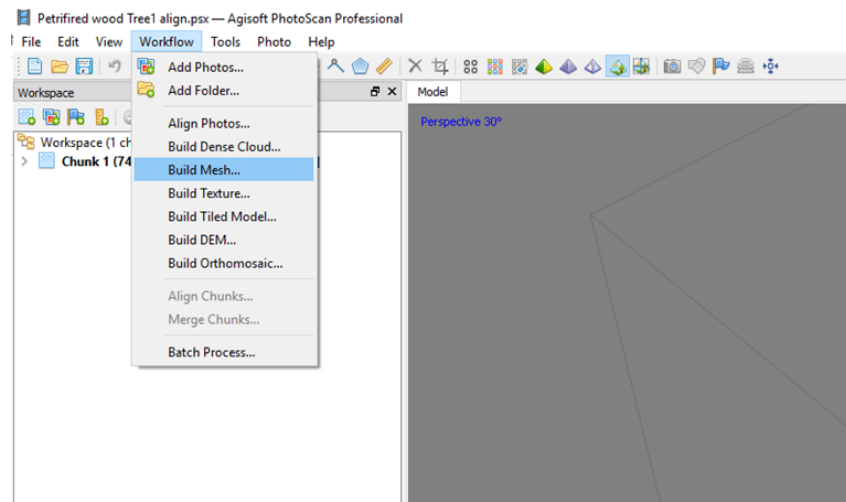


ภาพที่ 23 ทำการเพิ่มความหนาแน่นของพอยต์คลาวด์ให้มีรูปร่างชัดเจนด้วยคำสั่ง
“Build Dense Cloud”

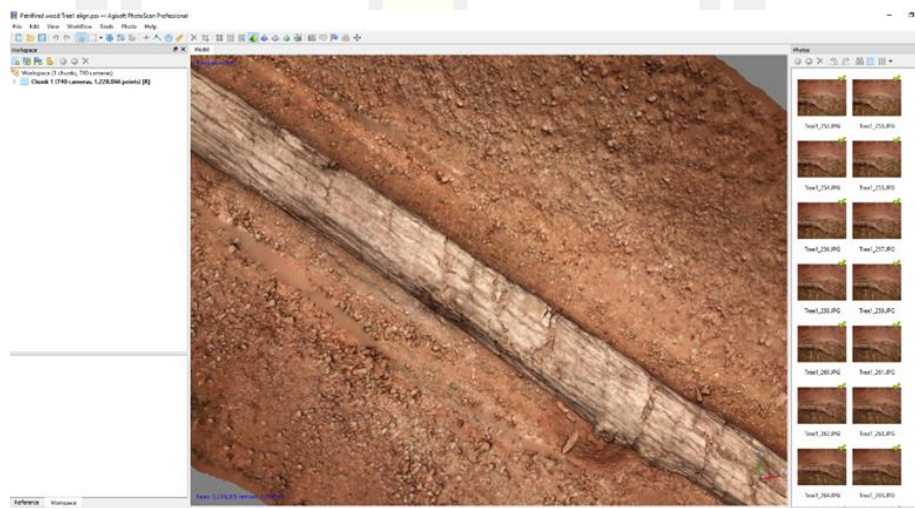


ภาพที่ 24 แบบจำลองสามมิติหลังจากเพิ่มความหนาแน่นของข้อมูล

4) เป็นการผสมผสานพอยต์คลาวด์ให้เชื่อมกันโครงร่างแหโดยเลือกปุ่มคำสั่ง “Work Flow > Build Mesh” (ภาพที่ 25) โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างเพื่อให้เลือกรูปแบบการผสมผสานเมื่อทำการเลือกแล้วให้ทำการคลิกที่ปุ่ม “OK” เมื่อเสร็จจะได้แบบจำลองสามมิติที่มีพื้นผิวเรียบไม่เป็นจุดดั่งภาพ (ภาพที่ 26)

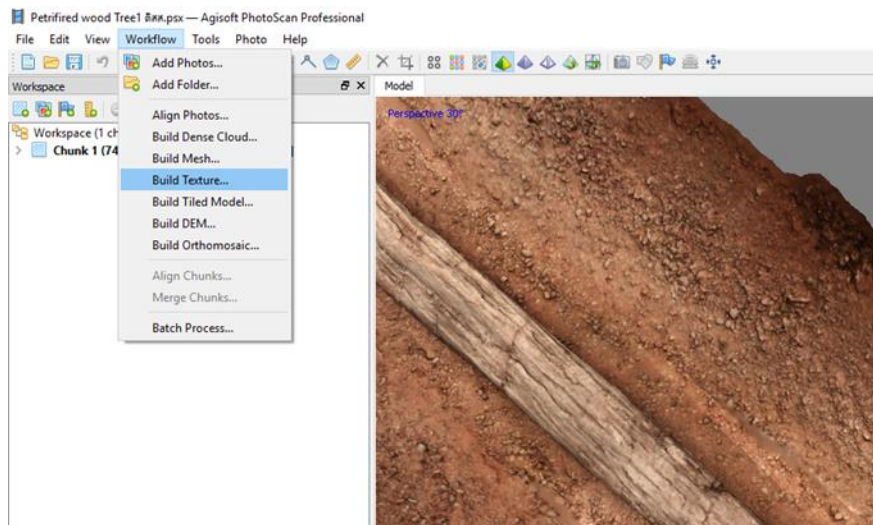


ภาพที่ 25 เพิ่มรูปทรงสามมิติให้กับข้อมูลโดยใช้คำสั่ง “Build Mesh Model”

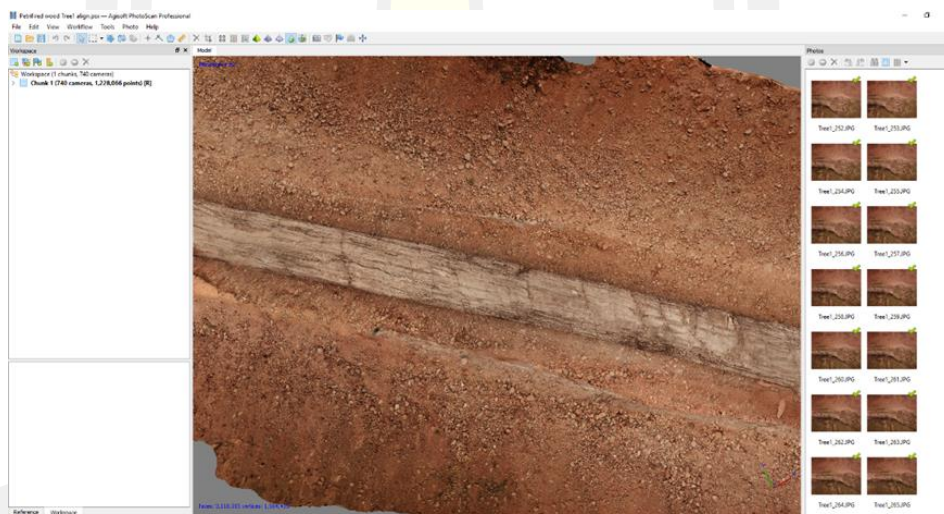


ภาพที่ 26 Mesh ที่สร้างจากข้อมูลโพลิกอนรูปแบบเรขาคณิต

5) เป็นการผสานข้อมูลของพื้นผิวจริงของตัวอย่างให้เข้ามาในแบบจำลองสามมิติ โดยเลือกปุ่มคำสั่ง “Work Flow > Build Texture” (ภาพที่ 27) โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างเพื่อให้เลือกรูปแบบการผสานเมื่อทำการเลือกแล้วให้ทำการคลิกที่ปุ่ม “OK” เมื่อเสร็จจะได้แบบจำลองสามมิติที่มีรูปแบบสี พื้นผิว แสง เงา และความลึก ที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างจริง (ภาพที่ 28)



ภาพที่ 27 ภาพแสดงการนำพื้นสีของภาพมาใส่ในแบบจำลอง เพื่อให้มีสีสันสวยงามมีความละเอียดของเมตสีเพิ่มขึ้นโดยเลือกคำสั่ง “Build Texture”



ภาพที่ 28 แบบจำลองที่มีความคมชัดของข้อมูล

หลังจากประมวลผลทั้ง 4 ขั้นตอนเสร็จ Align photo > Dense Cloud > Mesh > Texture เรียบร้อยแล้วจะทำการปรับความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแบบจำลองให้มีความถูกต้องมากขึ้น โดยการเพิ่ม Marker โดยคลิกขวาที่จุดที่เราทราบค่าตำแหน่งนั้น ๆ ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า การทำจุดควบคุมภาพ (Ground Control Point : GCP) โดยการเลือก Create marker เมื่อเลือกแล้วสังเกตทางด้านซ้ายมือในแถบ reference จะเห็นรูปธงสีฟ้าให้ตั้งชื่อจุดและกรอกใส่ค่าพิกัด x, y, z หลังจาก

ใส่ marker ครบแล้ว (ให้ทำการ Save ข้อมูลก่อนไปขั้นตอนถัดไป) ให้กดคำสั่ง update ที่เป็นไอคอนรูปลูกศรสีฟ้า จากนั้นกด Optimize camera รูปไฟฉายสีส้มในแถบเครื่องมือ จะมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้เลือก กด OK จากนั้นจะสังเกตเห็นค่า error ได้โดยค่านี้อาจบ่งบอกถึงว่าตำแหน่ง หลังจากที่เกิด optimize camera เสร็จแล้วแบบจำลองที่สร้างจะทำการกระจายกลับมาเป็นจุดอีกครั้ง โดยจุดครั้งนี้จะมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งมากกว่าเดิม และให้ทำการประมวลผลอีกครั้งหนึ่งโดยเริ่มจาก Dense Cloud > Mesh > Texture ถือเป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการพื้นฐาน

6) ทำการส่งออกข้อมูลให้ไปที่คำสั่ง “File > Export” โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างเพื่อให้เลือกรูปแบบไฟล์ที่ต้องการในการใช้งานเมื่อกำหนดแล้วทำการคลิกที่ปุ่ม “OK” จะได้แบบจำลองสำเร็จสำหรับการใช้งานต่าง ๆ ทำขั้นตอนดังกล่าวเหมือนกันในไม้กลายเป็นหินต้นที่ 6 และ 7



ภาพที่ 29 แบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1

7) การตรวจสอบข้อมูลของแบบจำลองที่สร้างด้วยการรายงานผลจากโปรแกรมเพื่อจะทราบว่าวิธีที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน และความคลาดเคลื่อน โดยการคลิก “File > Generate Report... > Ok > Save ” เป็นอันเสร็จสิ้นการสร้างแบบจำลองสามมิติ

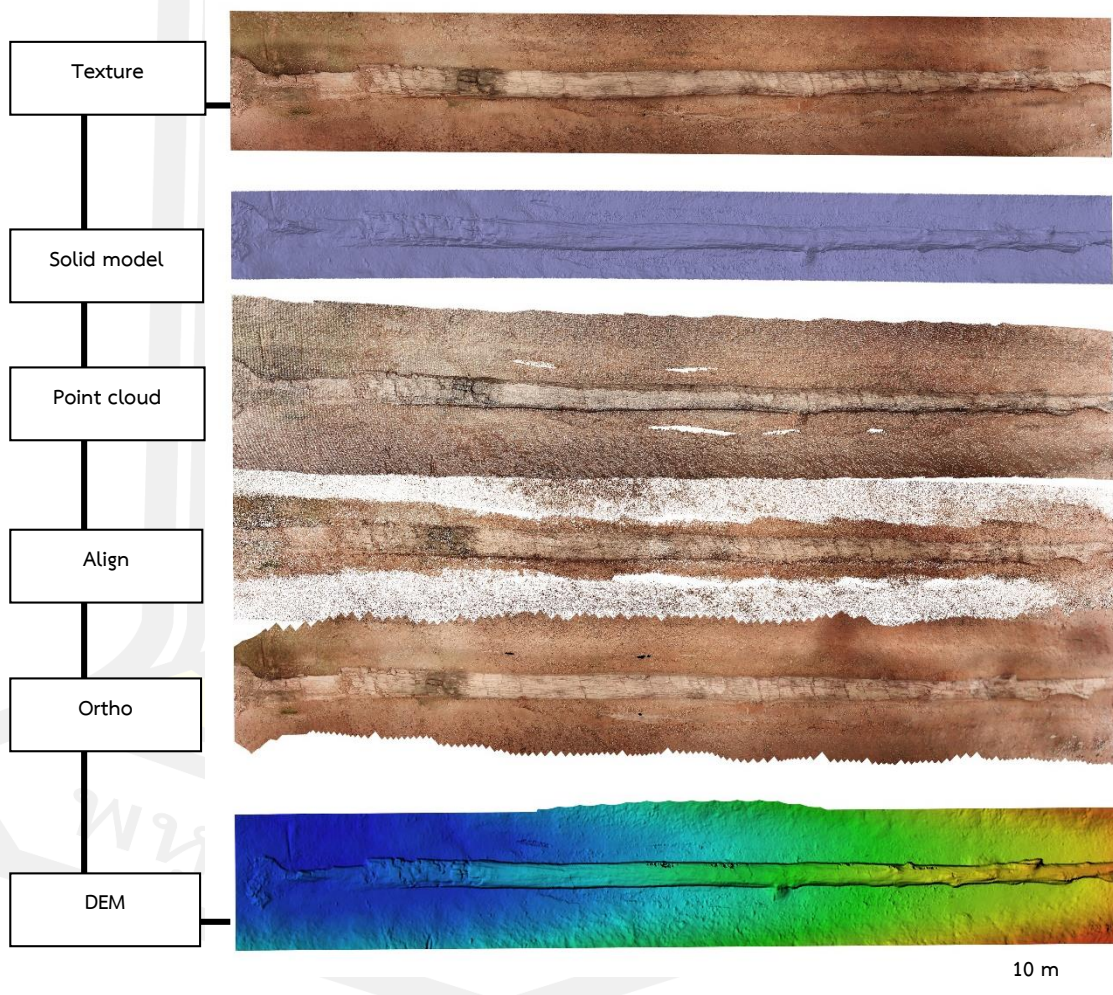
3.5.3 การคำนวณปริมาตรเพื่อหาอัตราการเสื่อมสภาพ

หลังจากที่ได้แบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหิน จึงนำมาคำนวณหาปริมาตรที่เหลืออยู่ของพื้นผิวแบบจำลองสามมิติ โดยกำหนดตำแหน่งที่ต้องการแล้วทำการปิดช่องว่างด้วยคำสั่ง Fill holes เมื่อเสร็จแล้วจึงไปที่คำสั่ง Tools แล้วคลิกที่ Mesh ตามด้วย Volumes โปรแกรมจะคำนวณพื้นที่และปริมาตรออกมาเป็นค่าตัวเลข ตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ก่อนหน้านั้นออกมา

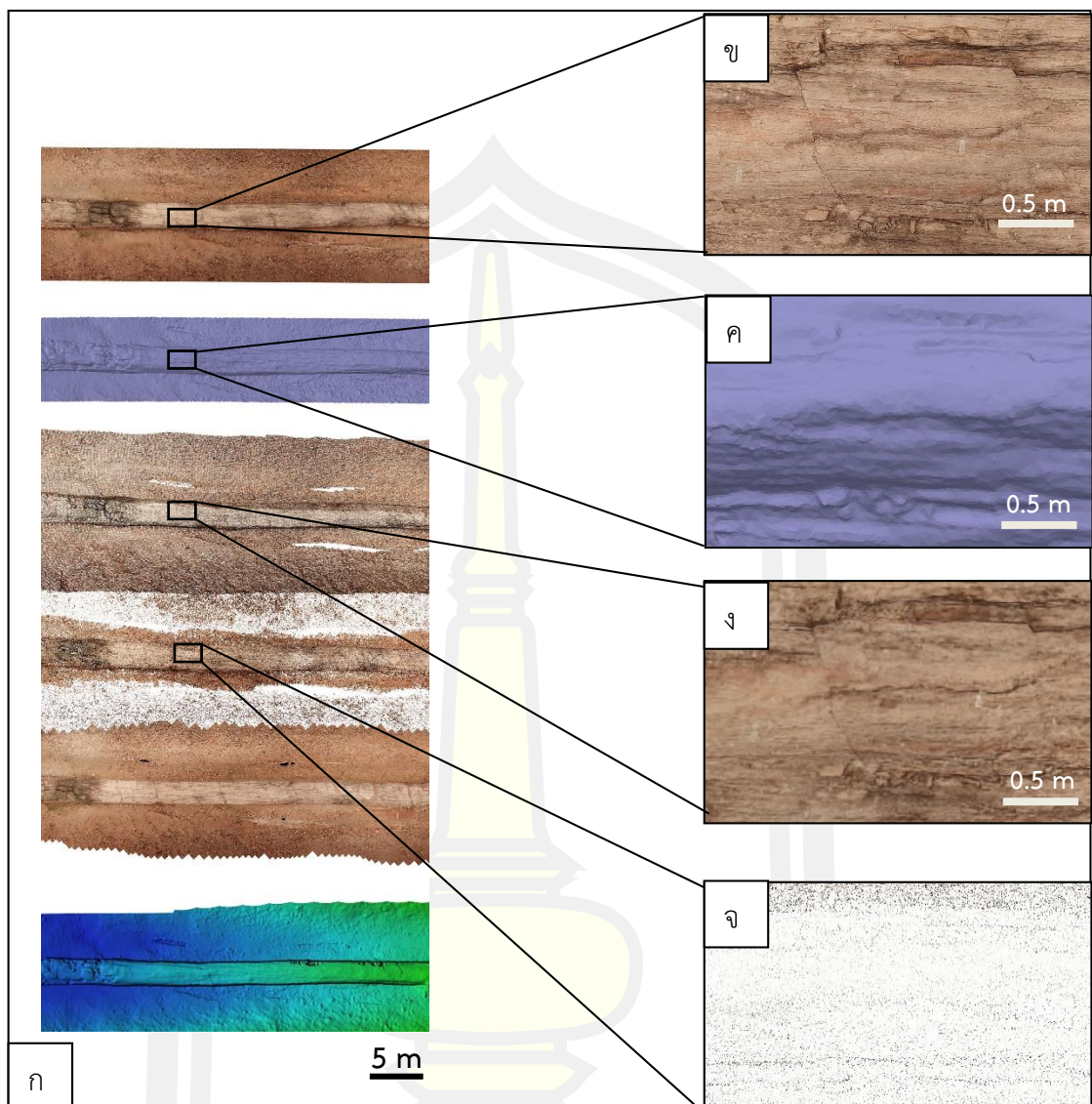
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลอง

จากการทดลองสร้างแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินด้วยเทคนิครังวัดภาพถ่าย ที่สร้างในโปรแกรม Agisoft Metashape Software สามารถสร้างแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินออกมาได้ทั้งต้นบริเวณผิวที่โผล่พ้นจากดิน แบบจำลองสามมิติสามารถแสดงผลได้ในทุกพื้นผิว (ภาพที่ 30) และแบบจำลองมีความละเอียดใกล้เคียงกับภาพถ่ายต้นแบบ (ภาพที่ 31) และแสดงการใช้ข้อมูลของภาพถ่ายเทียบจากตำแหน่งที่ทับซ้อนกัน (ภาพที่ 32)

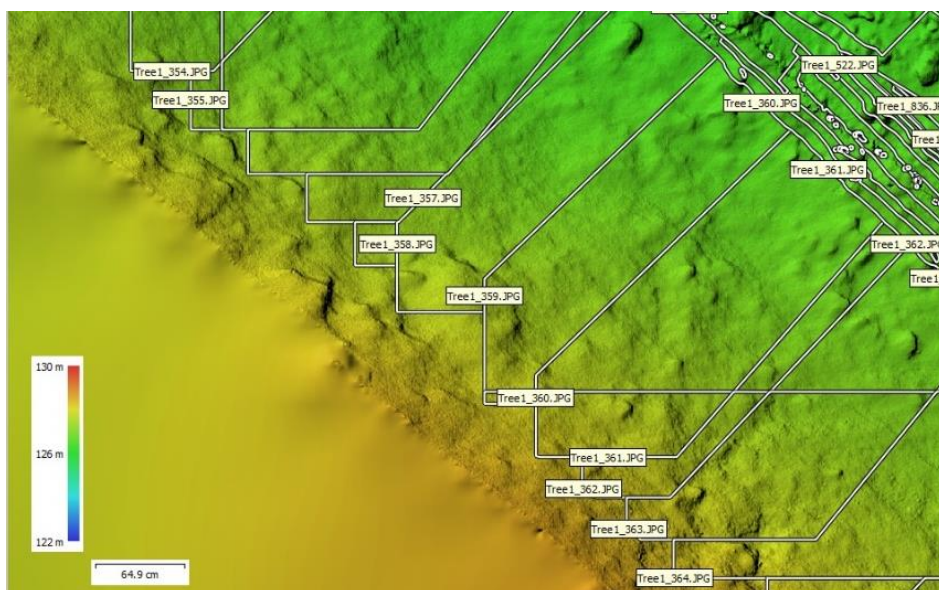


ภาพที่ 30 แบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วยภาพถ่าย ในพื้นผิวแต่ละชั้นตอน



ภาพที่ 31 ภาพขยายแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วยภาพถ่ายในพื้นที่ผิวแต่ละชั้นตอนที่มีความละเอียดสูง





ภาพที่ 32 รูปแบบการทับซ้อนของข้อมูลภาพถ่ายในแบบจำลองสามมิติไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1

จากการสร้างแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินทั้ง 3 ต้นในปีแรก ได้แก่ ต้นที่ 1 ขนาด 69 เมตร ต้นที่ 6 ขนาด 35 เมตร และต้นที่ 7 ขนาด 37 เมตร ด้วยเทคนิครังวัดภาพถ่ายพบว่าแบบจำลองสามมิติที่ได้นั้นสามารถเก็บรายละเอียดได้ทั่วทั้งต้นของไม้กลายเป็นหินในส่วนที่โผล่พ้นจากพื้นดิน ผลลัพธ์ของแบบจำลองสามมิติให้ความละเอียดที่สูง สามารถเห็นลักษณะเด่นของไม้กลายเป็นหินแต่ละต้นได้อย่างชัดเจน คุณภาพของแบบจำลองสามมิติที่ได้จะมีมากขึ้นอยู่กับการเลือกระดับค่าความละเอียดในขั้นตอนการประมวลผลในซอฟต์แวร์และการตั้งค่าอุปกรณ์ที่ทำการเก็บบันทึกภาพก่อนนำมาประมวลผลเนื่องจากโปรแกรมจะใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายโดยตรง เพื่อสร้างโครงสร้างและพื้นผิวเป็นข้อมูลดิจิทัลรูปแบบพอยต์คลาวด์ จากภาพ (ภาพที่ 33) แบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ที่มีความยาว 69 เมตร จากการตามแบบที่กำหนดโดยใช้โดรน 3 แนวรอบ ๆ ลำต้น ใช้ภาพในการประมวลผลทั้งหมด 740 ภาพ ประมวลผลที่ความละเอียดระดับปานกลาง จำนวนพอยต์คลาวด์ทั้งหมด 1,228,066 จุด และความละเอียดพื้นผิวอยู่ที่ 16 ล้านพิกเซล (4096×4096) ใช้เวลาประมวลผลสร้างแบบจำลองสามมิติ 9 ชั่วโมง ในต้นที่ 6 ที่มีความยาว 35 เมตร จากการตามแบบที่กำหนดโดยใช้โดรน 3 แนวรอบ ๆ ลำต้น ใช้ภาพในการประมวลผลทั้งหมด 492 ภาพ ประมวลผลที่ความละเอียดระดับปานกลาง จำนวนพอยต์คลาวด์ทั้งหมด 696,783 จุด และความละเอียดพื้นผิวอยู่ที่ 16 ล้านพิกเซล (4096×4096) ใช้เวลาประมวลผลสร้างแบบจำลองสามมิติ 6 ชั่วโมง และในต้นที่ 7 ที่มีความยาว 35 เมตร จากการตามแบบที่กำหนดโดยใช้โดรน 3 แนวรอบ ๆ ลำต้น ใช้ภาพในการประมวลผลทั้งหมด 494 ภาพ ประมวลผลที่ความละเอียดระดับปานกลาง

จำนวนพอยต์คลาวด์ทั้งหมด 773,496 จุด และความละเอียดพื้นผิวอยู่ที่ 16 ล้านพิกเซล (4096*4096) ใช้เวลาประมวลผลสร้างแบบจำลองสามมิติ 4 ชั่วโมง



ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ความยาวลำต้น 69 เมตร



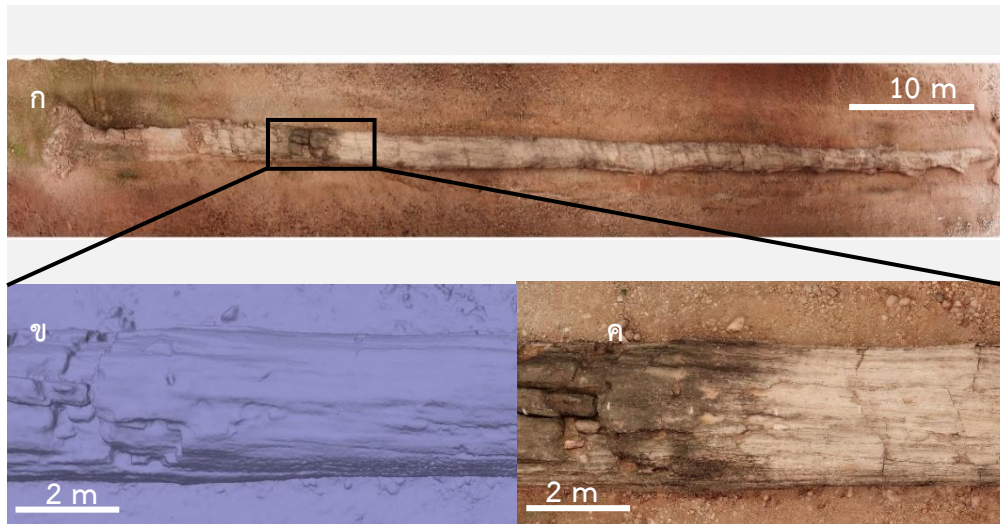
ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 6 ความยาวลำต้น 35 เมตร



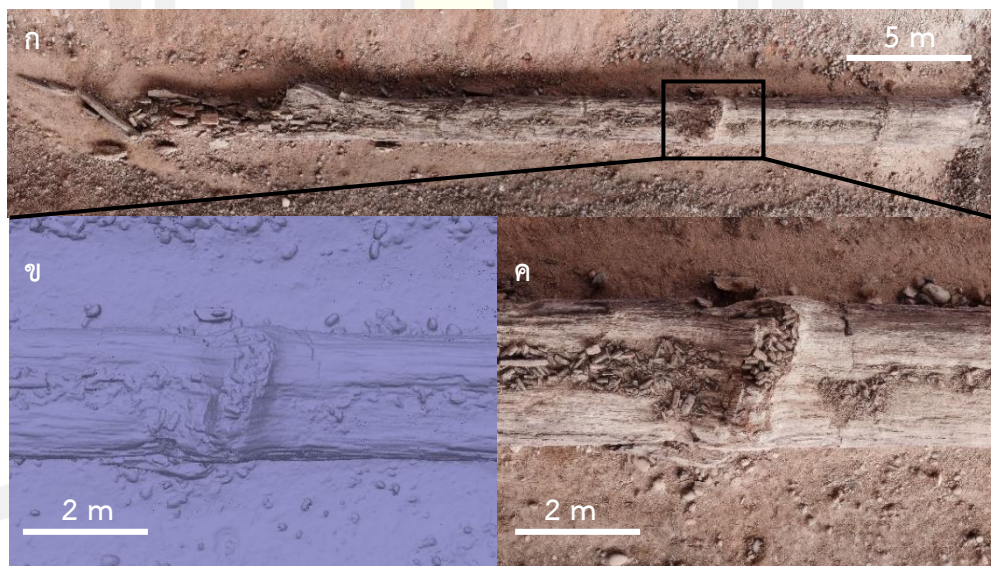
ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 7 ความยาวลำต้น 37 เมตร

ภาพที่ 33 แบบจำลองสามมิติไม้กลายเป็นหิน ก) ต้นที่ 1 ข) ต้นที่ 6 ค) ต้นที่ 7

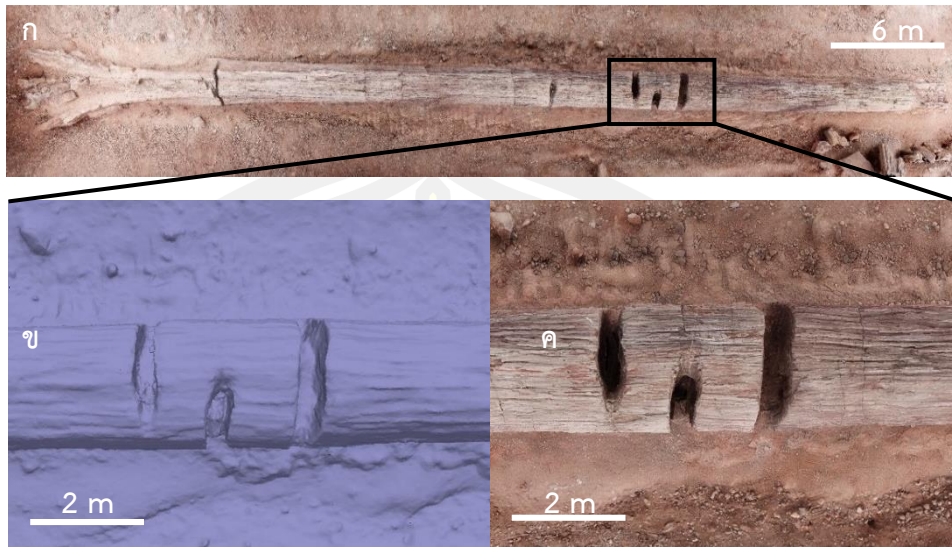
จากภาพ (ภาพที่ 34 - 36) แบบจำลองสามมิติของไม้ทั้งสามต้นแสดงผลในส่วนของลักษณะเด่นได้ตามความเป็นจริง และยังสามารถเก็บภาพในส่วนที่เป็นร่องลึกในลำต้นได้ เช่น บริเวณรอยแตกของลำต้นไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 และ ต้นที่ 7 สามารถเก็บภาพได้ทั้งหมดไม่ทำให้เกิดช่องว่างที่มาจากความคลาดเคลื่อนของข้อมูล และบริเวณที่เป็นเศษเสี้ยนไม้ขนาดเล็กที่มีความละเอียดสูงในต้นที่ 6 แบบจำลองสามารถเก็บรายละเอียดในส่วนนี้ได้ทั้งหมด และแสดงผลส่วนนี้เช่นเดียวกันในทุกพื้นผิวของแบบจำลอง และในภาพ (ภาพที่ 37) ที่เปรียบเทียบแบบจำลองสามมิติกับภาพถ่ายของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 6 ในตำแหน่งเดียวกันจะเห็นได้ว่าแบบจำลองสามมิติสามารถเก็บรายละเอียดของภาพถ่ายที่นำมาประมวลผลได้ทั้งหมด



ภาพที่ 34 ก) แบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินเต็มต้นจากหลุมที่ 1 ที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วยภาพถ่าย ข) แบบจำลองสามมิติส่วนของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 แสดงในรูปแบบ solid ค) ส่วนของแบบจำลองไม้กลายเป็นหินตำแหน่งเดียวกันกับภาพด้านซ้ายที่ถูกเรนเดอร์ร่วมกับไฟล์ texture



ภาพที่ 35 ก) แบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินเต็มต้นจากหลุมที่ 6 ที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วยภาพถ่าย ข) แบบจำลองสามมิติส่วนของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 6 แสดงในรูปแบบ solid ค) ส่วนของแบบจำลองไม้กลายเป็นหินตำแหน่งเดียวกันกับภาพด้านซ้ายที่ถูกเรนเดอร์ร่วมกับไฟล์ texture ลักษณะเด่นของต้นนี้คือช่วงกลางลำต้นมีรอยแตกคล้ายกับการดันตัวออกมาจากภายใน



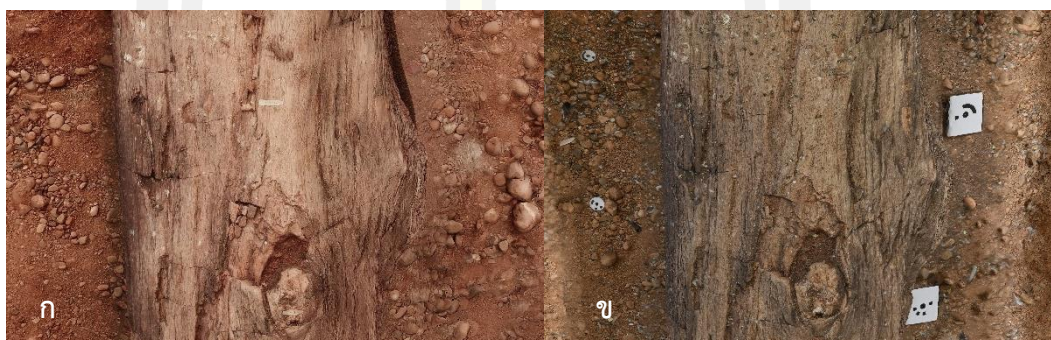
ภาพที่ 36 ก) แบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินเต็มต้นจากหลุมที่ 7 ที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วย
 ภาพถ่าย ข) แบบจำลองสามมิติส่วนของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 7 แสดงในรูปแบบ solid ค) ส่วนของ
 แบบจำลองไม้กลายเป็นหินตำแหน่งเดียวกันกับภาพด้านซ้ายที่ถูกเรนเดอร์ร่วมกับไฟล์ texture
 ลักษณะเด่นของต้นที่ 7 คือมีรอยแหวนเป็นทางคล้ายรอยเจาะ



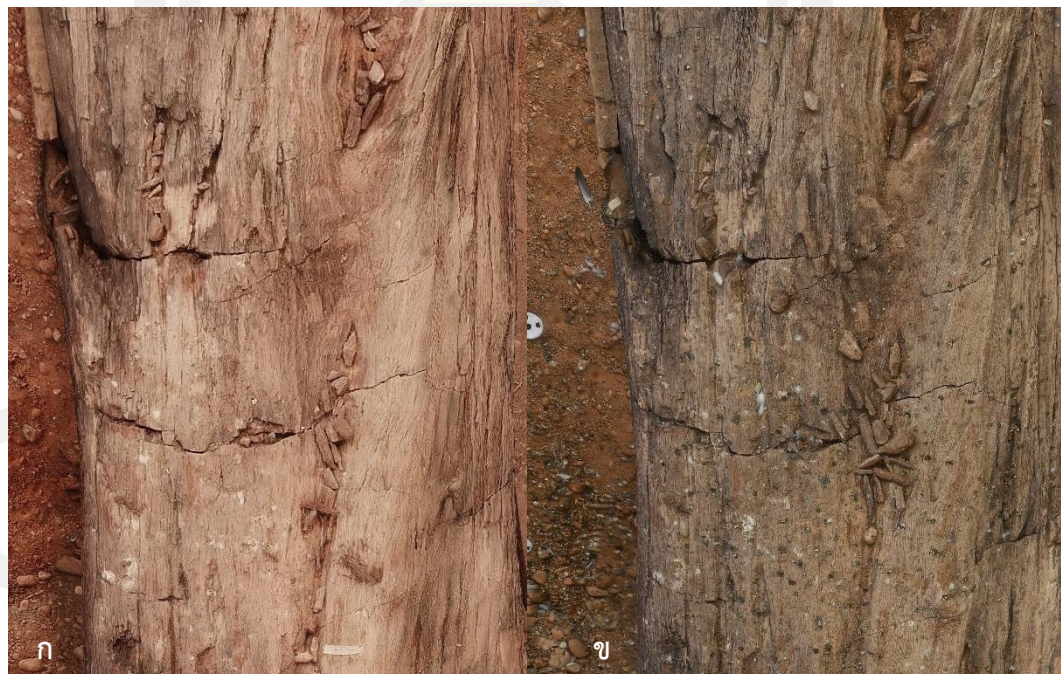
ภาพที่ 37 เปรียบเทียบภาพถ่ายไม้กลายเป็นหินต้นที่ 6 ก) จากโดรน และ ข) แบบจำลองสามมิติ จะ
 เห็นว่าแบบจำลองให้สีและลักษณะเหมือนกับรูปถ่ายจริง

4.2 อภิปรายการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ในระยะเวลาสามปี

จากการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ตลอดสามปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 ถึง ปี พ.ศ. 2563 ข้อมูลจากภาพถ่ายแสดงให้เห็นว่าไม้กลายเป็นหินมีการเปลี่ยนแปลงจริงและเกิดการเสื่อมสภาพพู่กันอยู่ที่สังเกตได้จากตำแหน่งของลำต้นที่เป็นส่วนตาไม้หรือรอยแตกเดิม และในตำแหน่งรากที่เคยเป็นพุ่มขนาดใหญ่จะเป็นส่วนที่เห็นความเปลี่ยนแปลงมากกว่าส่วนอื่น ๆ ของลำต้น ตามภาพด้านล่าง (ภาพที่ 38 - 41)



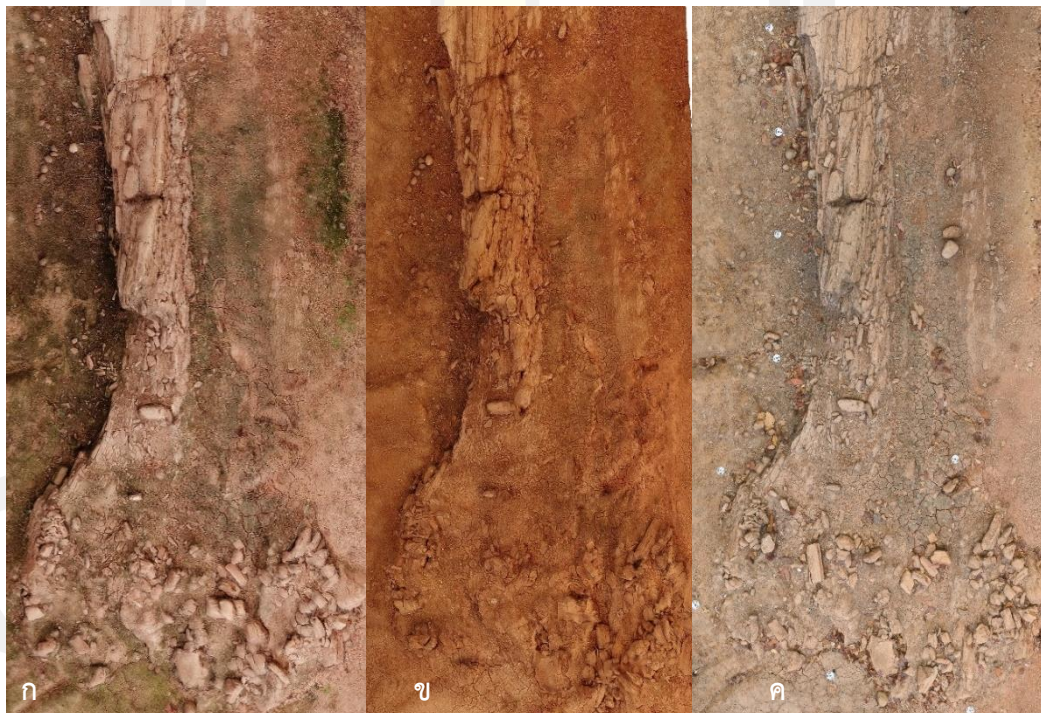
ภาพที่ 38 แบบจำลองไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ในตำแหน่งลำต้นช่วงเมตร 15 ในบริเวณที่เป็นตาไม้ ก) ปี 2561 และ ข) ปี 2563



ภาพที่ 39 แบบจำลองไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ในตำแหน่งลำต้นช่วงเมตร 10 - 15 ในบริเวณที่มีรอยแตกและร่องรอยของสิ่งมีชีวิต ก) ปี 2561 ปี และ ข) ปี 2563



ภาพที่ 40 แบบจำลองไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ในตำแหน่งลำต้นช่วงเมตร 55 – 60 บริเวณรอยแตกที่เคยมีน้ำท่วมขัง ก) ปี 2561 ข) ปี 2562 และ ค) ปี 2563



ภาพที่ 41 แบบจำลองไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ในตำแหน่งโคนต้นช่วงเมตร 65 – 69 ที่เคยเป็นพุ่มพอนขนาดใหญ่ ก) ปี 2561 ข) ปี 2562 และ ค) ปี 2563

จากตำแหน่งของไม้กลายเป็นหินที่ยกมาทั้งสามภาพด้านบน (ภาพที่ 38 – 39) เป็นส่วนที่สามารถสังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนในลำต้น (ภาพที่ 38) ที่เป็นลักษณะรอยแตกพื้นผิวรอบ ๆ บริเวณนั้นจะมีชิ้นส่วนที่แตกออกมาเป็นเศษไม้กลายเป็นหินขนาดเล็กหลายชิ้นกระจายอยู่ในเวลา 3 ปี เศษไม้ในบริเวณดังกล่าวได้หายไปหรือมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งที่อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมในช่วงของฤดูต่าง ๆ ของปี เช่น ถูกพัดปลิวหายไปจากผลของแรงลม การผุกร่อนจากความชื้นและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง หรือในภาพ (ภาพที่ 39) ที่พบว่ามียี่รอยรอยจากสิ่งมีชีวิตในบริเวณนั้นปรากฏอยู่บนส่วนของผิวไม้กลายเป็นหิน จากการสร้างอาคารคลุมที่เป็นลักษณะโครงเหล็กขนาดใหญ่ทำให้มีนกมาอาศัยอยู่และทำรังจากด้านบนที่เป็นโครงเหล็กของอาคาร มีการล่าอาหารในบริเวณลำต้นของไม้กลายเป็นหินที่มีแมลงมาทำรังอยู่พบเศษขนนกและปีกของแมลงกระจายอยู่ทั่วบนบริเวณลำต้นของไม้กลายเป็นหิน และยังพบว่าในตำแหน่งที่เป็นคานช่วงเมตรที่ 10 ของลำต้น ในปีล่าสุดพบว่ามีมูลของนกติดอยู่เป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับปีแรกที่ทำการเก็บข้อมูล และในภาพที่ 40 – 41 ที่เป็นส่วนของโคนต้นพบว่าบริเวณดังกล่าวมีการผุกร่อนมากที่สุดเป็นผลมาจากการถูกปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานานตั้งแต่มีการขุดค้นและเปิดหน้าดินทำให้ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ได้สัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงอย่างมากเป็นเวลาเกือบ 10 ปี จนทำให้บริเวณที่เคยเป็นพุ่มพองขนาดใหญ่และแตกลงไปในปีล่าสุด หลังจากการสร้างอาคารครอบในส่วนโคนยังมีการกักน้ำท่วมขังอยู่เช่นเดิมในช่วงหน้าฝนซึ่งภายในตัวอาคารนั้นไม่ได้มีระบบที่ช่วยจัดการหรือระบายน้ำที่ดีเมื่อมีฝนตกหนักน้ำจึงไหลเข้ามาในบริเวณที่เป็นลำต้นของไม้กลายเป็นหินและไหลลงมายังบริเวณโคนต้นที่เป็นตำแหน่งที่ต่ำที่สุดของลำต้น ทำให้บริเวณดังกล่าวและพื้นที่รอบ ๆ มีตะไคร่น้ำและมอสเจริญเติบโตสังเกตได้จากในภาพส่วนโคนของปี พ.ศ. 2561 ที่จะมีร่องรอยของตะไคร่น้ำหลงเหลืออยู่และส่วนของไม้ที่มีสีดำ ในช่วงเวลาที่มีน้ำขังอยู่อุณหภูมิในช่วงเวลากลางวันที่ร้อนทำให้เกิดความชื้นและไอน้ำ ทำให้เกิดการขยายตัวและแตกออกในที่สุด

4.3 วิเคราะห์แบบจำลองสามมิติ

4.3.1 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองสามมิติ

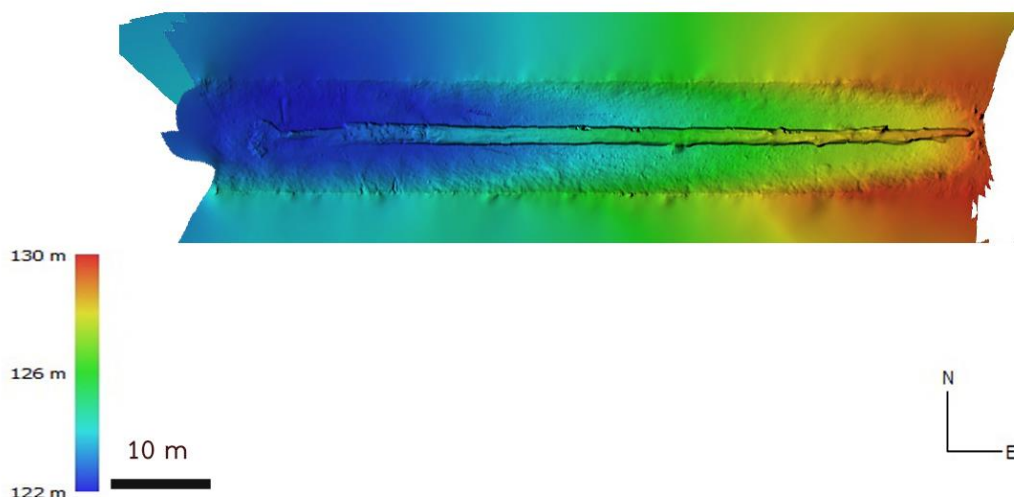
ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่เกิดกับแบบจำลองสามมิติในช่วงการรวบรวมและประมวลผลข้อมูลด้วยเทคนิคการรังวัดด้วยภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Agisoft Metashape ส่วนใหญ่เป็นผลมาจากภาพถ่ายในระยะห่างแต่ละช่วงหรือตำแหน่งที่มีการซ้อนทับกันของภาพ และรูปร่างลักษณะเฉพาะของตัวอย่างรวมถึงส่วนประกอบของภูมิประเทศ เช่น การมีพื้นผิวที่มีความซับซ้อน สภาพแวดล้อมรอบข้าง และตำแหน่งที่ตั้งของวัตถุ ที่จะถูกนำมาใช้อ้างอิงในการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนไม่มากนักน้อยในการสร้างข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล เรียกว่า ความคลาดเคลื่อนจากการฉายซ้ำ (reprojection error) คือ ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตที่เกิดขึ้นกับระยะห่างของภาพระหว่างจุดที่ถ่ายภาพและจุดที่วัดได้จากภาพ โดยใช้ประมาณค่าของจุด 3 มิติ (\hat{X}) ที่ได้จากข้อมูลที่นำมาประมวลผลจากภาพ 2 มิติ และสร้างจุดฉายภาพขึ้นมาใหม่ (x) ที่มีความแม่นยำมากขึ้น (P) แทนด้วยค่าเมทริกซ์จากกล้องถ่ายภาพ (\hat{x}) คือการแสดงผลของ (\hat{X}) เช่น ($\hat{x} = P\hat{X}$) และความคลาดเคลื่อนจากการฉายซ้ำของ (\hat{X}) จะกำหนดโดย $d(x, \hat{x})$ โดยที่ $d(x, \hat{x})$ จะแสดงระยะห่างระหว่างภาพเป็นแนวเส้นตรงรูปเวกเตอร์ x และ \hat{x} แบบยูคลิด (Euclidean distance) การลดความคลาดเคลื่อนสามารถใช้สำหรับการประมาณข้อผิดพลาดจากจุดที่สัมพันธ์กันระหว่างสองภาพ หากความสัมพันธ์ของตำแหน่ง ระหว่าง 2 ภาพ (homography: \hat{H}) และคู่ของจุดที่เข้ากันอย่างสมบูรณ์ \hat{x}_i และ \hat{x}_i' นั่นคือจุดที่ทำให้สมการเป็นจริง ($\hat{x}_i' = \hat{H}\hat{x}_i$) ซึ่งกำหนดโดย (Hartley & Zisserman, 2003)

$$\sum_i d(x_i, \hat{x}_i)^2 + d(x_i', \hat{x}_i')^2$$

ผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนจากการฉายซ้ำในซอฟต์แวร์จากกล้องถ่ายภาพ DJI (Model: FC220) และ Nikon (Model: Z50, Z DX 16 – 50 mm) ภาพถ่ายกล้องตัวแรก DJI ที่เป็นกล้องติดโดรนมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.17 (1.27 pixel, 1.89 pixel/mm) และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแม่นยำที่ช่วง ± 2 มม. ในกล้องตัวที่สอง Nikon Z50 มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.1 (0.75 pixel, 1.1 pixel/mm) และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแม่นยำที่ช่วง ± 1 มม. จะเห็นว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนที่น้อยมากในระดับมิลลิเมตรเป็นตัวเลขที่สามารถยอมรับได้

4.3.2 การวิเคราะห์หัตถการการเสื่อมสภาพของแบบจำลองสามมิติ

การระบุความเปลี่ยนแปลงพื้นผิวจากการเสื่อมสภาพของแบบจำลองสามมิติระหว่างช่วงเวลาที่ทำการศึกษาทำโดยใช้ข้อมูลพอยต์คลาวด์เป็นตัววัด เปรียบเทียบจากแบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลขแบบดิจิทัล (DEM: Digital Elevation Model) ดังภาพ (ภาพที่ 42) โดยการหาข้อมูลพื้นฐานของแบบจำลอง เช่น พื้นที่และปริมาตร วิธีการเปรียบเทียบแบบจำลองสามมิติครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์จากซอฟต์แวร์อากิซอฟต์เมต้าเชป (Agisoft Metashape) เพื่อใช้คำนวณหาปริมาตรของแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลพอยต์คลาวด์มาเปรียบเทียบ โดยขั้นตอนจะนำชุดข้อมูลจากแบบจำลองชิ้นแรกมาใช้เพื่อหาค่าประมาณสำหรับการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของไม้กลายเป็นหินเพื่อตรวจสอบว่าในระยะเวลาดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเพียงใด



ภาพที่ 42 แบบจำลองระดับสูงเชิงตัวเลข หรือ DEM: Digital Elevation Model ที่ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงของแบบจำลองสามมิติไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1



ภาพที่ 43 ตำแหน่งของแบบจำลองสามมิติที่นำมาวิเคราะห์หาความเปลี่ยนแปลงของพื้นผิว สีฟ้า) บริเวณที่เป็นส่วนของตาไม้และรอยแตก สีเขียว) บริเวณลำต้นที่มีพื้นผิวเรียบ

จากการทดลองพบว่าการใช้พื้นผิวแบบจำลองสามมิติเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงและหาอัตราการเสื่อมสภาพโดยการกำหนดบริเวณของลำต้น 15 จุด (ภาพที่ 43) สามารถให้ผลที่ดีกว่าการใช้แบบจำลองทั้งลำต้นที่มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลอยู่มาก โดยทำการแบ่งเป็นบริเวณพื้นผิวลำต้นที่มีความเรียบ 10 จุด และส่วนที่แตก เช่น ตาไม้และพุ่ม 5 จุด ดังตาราง (ตารางที่ 3 และ 4)




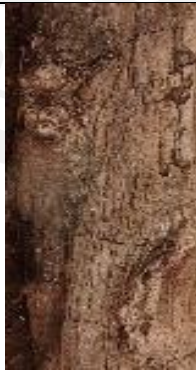


ตารางที่ 3 ส่วนของไม้กลายเป็นหินที่ส่วนแรกก็นำมาทำการเปรียบเทียบ 10 ตำแหน่ง










ตำแหน่งที่นำมาใช้ เปรียบเทียบของทั้ง 3 ปี	แบบจำลองสามมิติไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1		
	ปี 2561	ปี 2562	ปี 2563
ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 5 เมตร			
ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 10 เมตร			

ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 15 เมตร			
ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 20 เมตร			
ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 25 เมตร			
ตำแหน่งที่ 6 ระยะ 30 เมตร			
ตำแหน่งที่ 7 ระยะ 35 เมตร			
ตำแหน่งที่ 8 ระยะ 40 เมตร			

ตำแหน่งที่ 9 ระยะ 45 เมตร			
ตำแหน่งที่ 10 ระยะ 50 เมตร			

ตารางที่ 4 ส่วนของไม้กลายเป็นหินที่ส่วนที่สองที่นำมาทำการเปรียบเทียบ 5 ตำแหน่ง

ตำแหน่งที่นำมาใช้ เปรียบเทียบของทั้ง 3 ปี	แบบจำลองสามมิติไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1		
	ปี 2561	ปี 2562	ปี 2563
ตำแหน่งที่ 1 ระยะ 15 เมตร			
ตำแหน่งที่ 2 ระยะ 20 เมตร			

ตำแหน่งที่ 3 ระยะ 30 เมตร			
ตำแหน่งที่ 4 ระยะ 60 เมตร			
ตำแหน่งที่ 5 ระยะ 65 เมตร			

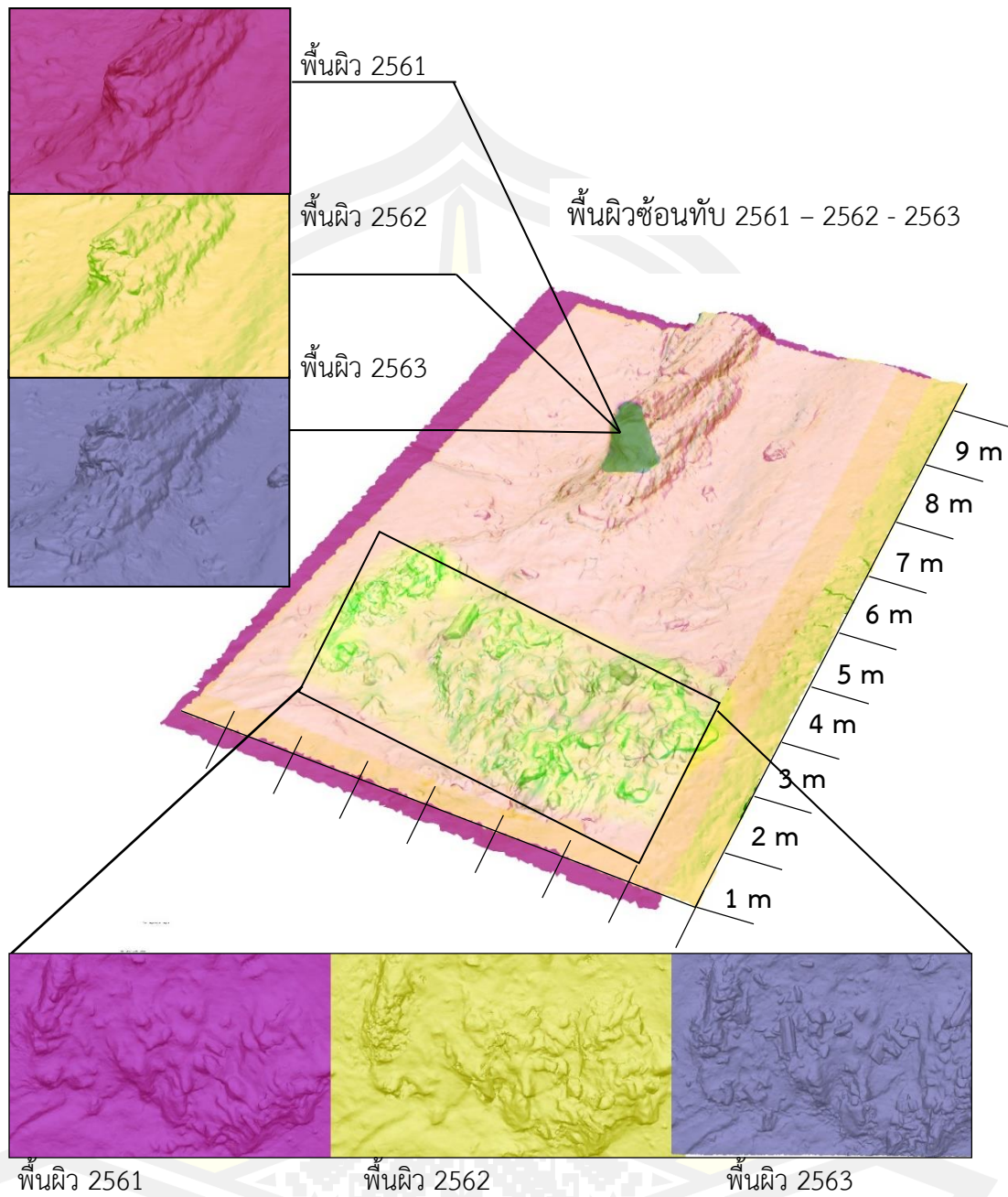
4.4 อภิปรายผลการสร้างแบบจำลองสามมิติและอัตราการเสื่อมสภาพของไม้กลายเป็นหิน

ผลจากการใช้พื้นผิวของแบบจำลองสามมิติมาทำการเปรียบเทียบเพื่อหาความเปลี่ยนแปลงและอัตราการเสื่อมสภาพของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ในระยะเวลา 3 ปี พบว่าส่วนที่เป็นรอยแตกจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะในส่วนโคนต้นที่ได้นำพื้นผิวรูปแบบ Solid ของแบบจำลองสามมิติทั้งสามขึ้นมาทำการซ้อนทับกันแบบ Overlay เพื่อแสดงรายละเอียดของแต่ละชั้นงาน ผลทำให้เห็นว่าส่วนโคนของไม้ต้นที่ 1 เปลี่ยนแปลงไปอย่างมากในช่วงระยะห่าง 2 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561 ถึง ปี พ.ศ. 2563 ดังภาพ (ภาพที่ 44) และผลจากการคำนวณหาปริมาตรของแบบจำลองสามมิติทั้งสองส่วนที่ได้นำมาวิเคราะห์ พบว่าในส่วนแรกที่เป็นพื้นผิวเรียบของลำต้นช่วงระยะห่าง 1 ปีแรกที่เทียบระหว่างปี 2561 ถึง 2562 มีพื้นผิวแบบจำลองสามมิติที่เหลืออยู่ประมาณร้อยละ 99.14 และช่วงระยะห่างปีที่ 2 ที่เทียบระหว่างปี 2562 ถึง 2563 มีพื้นผิวแบบจำลองสามมิติที่เหลืออยู่ประมาณร้อยละ

ละ 99.04 โดยคิดอัตราการเสื่อมสภาพภาพอยู่ที่ร้อยละ 0.9 ต่อปี ที่ในส่วนที่สองที่เป็นพื้นผิวที่มีรอยแตกของลำต้นช่วงระยะห่าง 1 ปีแรกที่เทียบระหว่างปี 2561 ถึง 2562 มีพื้นผิวแบบจำลองสามมิติที่เหลืออยู่ประมาณร้อยละ 97.88 และช่วงระยะห่างปีที่ 2 ที่เทียบระหว่างปี 2562 ถึง 2563 มีพื้นผิวแบบจำลองสามมิติที่เหลืออยู่ประมาณร้อยละ 96.23 โดยคิดอัตราการเสื่อมสภาพภาพอยู่ที่ร้อยละ 1.9 ต่อปี (ตารางที่ 5 และ 6)

จะเห็นได้ว่าการเสื่อมสภาพของไม้กลายเป็นหินที่เป็นซากดึกดำบรรพ์ขนาดใหญ่มีอัตราที่ไม่เท่ากันในแต่ละส่วนของลำต้น จากการแปรปรวนของสภาพแวดล้อมในแต่ละปี เช่น ฤดูกาลที่มาต่างช่วงเวลาในแต่ละปี ปริมาณน้ำฝน หรือความไม่คงที่ของอุณหภูมิ มีส่วนที่จะส่งผลกับอัตราการเสื่อมสภาพของไม้กลายเป็นหินขนาด 69 เมตร การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสามมิติ เช่น การรังวัดด้วยภาพถ่ายมาใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อบันทึกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปเก็บไว้ในรูปแบบดิจิทัลจะช่วยให้การเรียกดูใช้ข้อมูลสะดวกมากขึ้นและเหมาะแก่การนำมาวิเคราะห์ข้อมูลที่ใช้แบบจำลองสามมิติเป็นพื้นฐาน และในขั้นตอนการแปลงข้อมูลจากภาพถ่ายไปเป็นข้อมูลดิจิทัลโดยใช้ความละเอียดสูงจะใช้เวลาเนื่องจากข้อมูลที่มีขนาดใหญ่และภาพถ่ายที่มีจำนวนมากในแต่ละชุดซอฟต์แวร์จะใช้การ์ดจอในการเร่งการแสดงผลภาพสามมิติ แบบจำลองมีขนาดของข้อมูลที่ใหญ่จะทำให้ระบบของการ์ดจอทำงานหนักและทำให้การประมวลผลช้าลง รวมถึงหน่วยความจำที่เหลืออยู่ในระหว่างการประมวลผลการเพิ่มหน่วยความจำและการ์ดจอในคอมพิวเตอร์จะทำให้ประสิทธิภาพในการประมวลผลเพิ่มขึ้น

จากสมมติฐานที่กล่าวว่าเทคนิครังวัดภาพถ่ายสามารถสร้างแบบจำลองสามมิติที่มีคุณภาพสูงและสามารถนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้งานได้จริงนั้นจึงเป็นไปตามสมมติฐาน จากแบบจำลองที่มีความละเอียดสูง และความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่น้อยมากเหมาะแก่การนำมาวิเคราะห์และทำการศึกษา และจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานด้านการอนุรักษ์ซากดึกดำบรรพ์ในอนาคตที่มีการพัฒนาการใช้งานให้สมบูรณ์ขึ้นอย่างแน่นอน

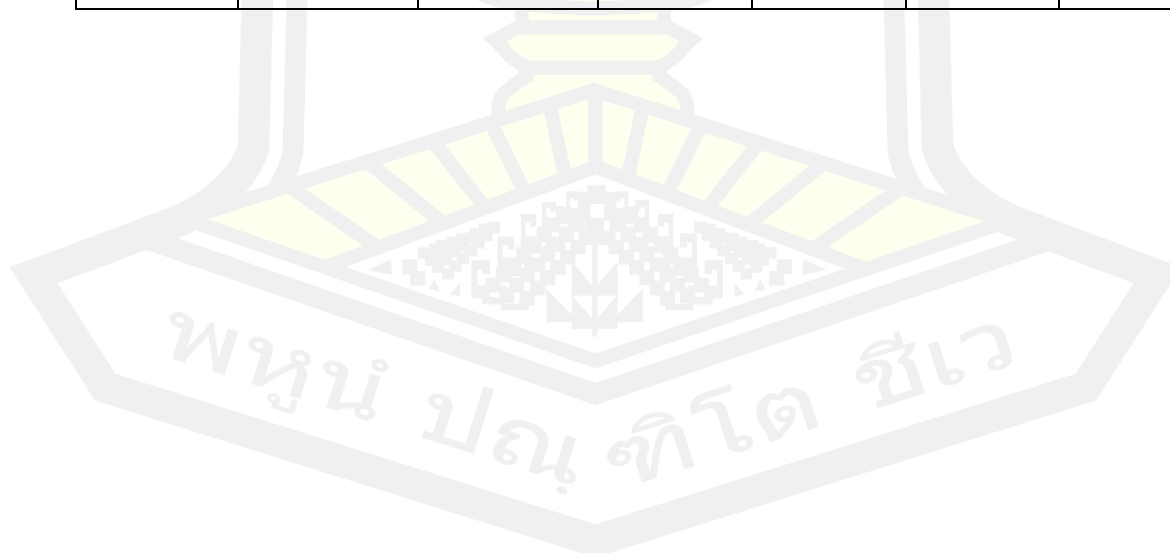


ภาพที่ 44 ภาพซ้อนทับของแบบจำลองสามมิติไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 จากปี 2561 ถึง ปี 2563

ในส่วนโคนต้นบริเวณที่เคยเป็นพุ่มพอนขนาดใหญ่

ตารางที่ 5 ประมวลผลปริมาตรจากแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 โดยใช้การระบุตำแหน่งส่วนที่สมบูรณ์ของลำต้น 10 ตำแหน่ง

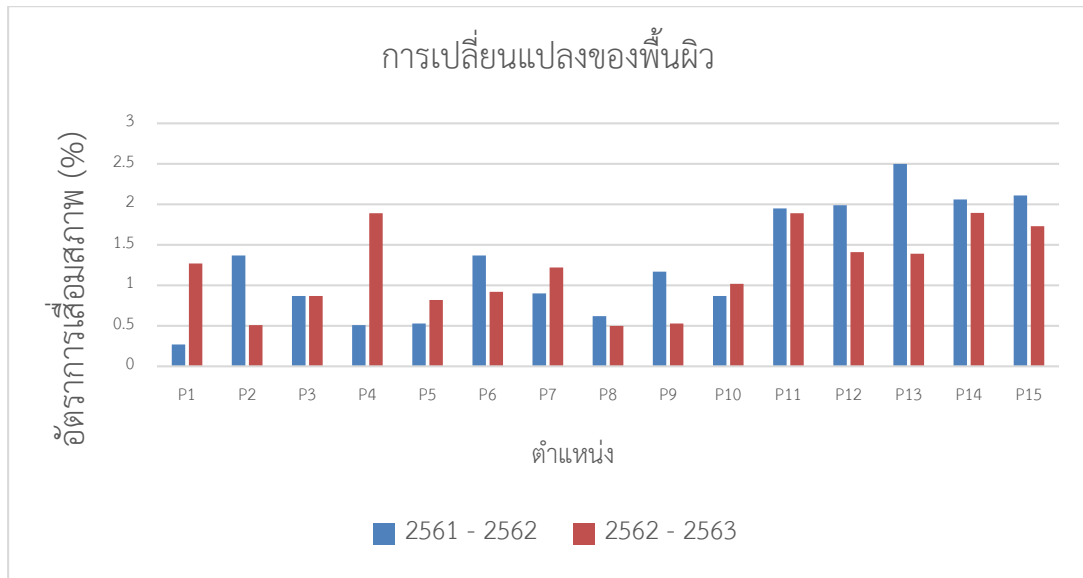
Position (5m – 60m)	Volume (m ³)			Volume percentage of coincidence (%)		
	2561 - 2562	2562 - 2563	2561 - 2563	2561 - 2562	2562 - 2563	2561 - 2563
5m	99.72	98.72	98.45	0.27	1.27	1.55
10m	98.63	99.49	98.12	1.37	0.51	1.87
15m	99.13	99.12	98.25	0.87	0.87	1.74
20m	99.48	98.10	97.60	0.51	1.89	2.39
25m	99.47	99.17	98.64	0.53	0.82	1.35
30m	98.62	99.10	97.71	1.37	0.92	2.28
35m	99.10	98.77	97.88	0.90	1.22	2.11
40m	99.37	99.50	98.86	0.62	0.50	1.13
45m	98.82	99.46	98.29	1.17	0.53	1.70
50m	99.12	98.97	98.10	0.87	1.02	1.89
Mean	99.14	99.04	98.19	0.85	0.95	1.80



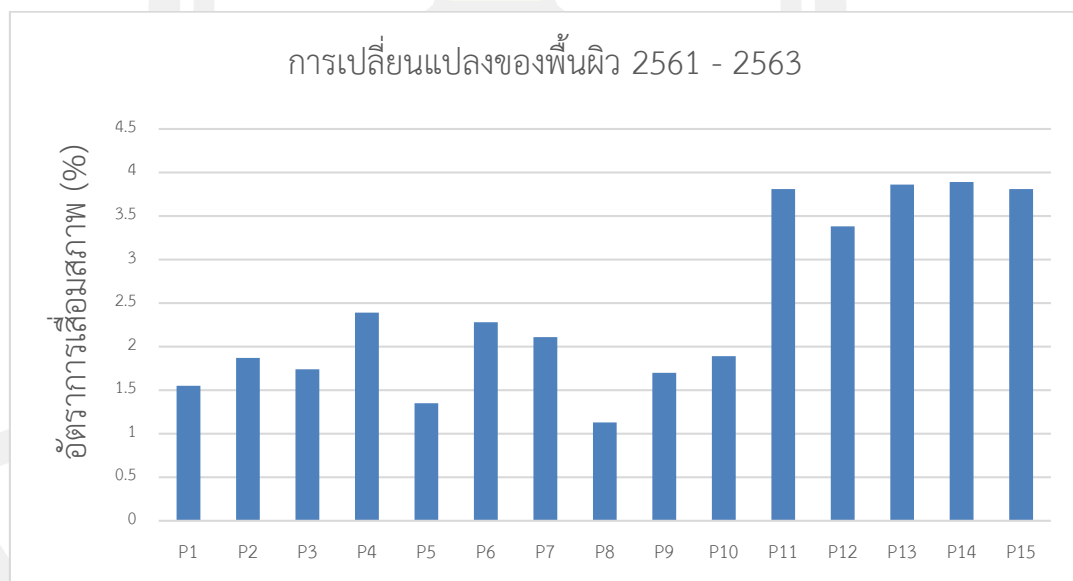
ตารางที่ 6 ประมวลผลปริมาตรจากแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 โดยใช้การระบุตำแหน่งส่วนที่เสื่อมสภาพของลำต้น 5 ตำแหน่ง

Position (5m – 60m)	Volume (m ³)			Volume percentage of coincidence (%)		
	2561 - 2562	2562 - 2563	2561 - 2563	2561 - 2562	2562 - 2563	2561 - 2563
15m	98.04	98.10	96.18	1.95	1.89	3.81
20m	98.00	98.58	96.61	1.99	1.41	3.38
30m	97.50	98.60	96.13	2.5	1.39	3.86
60m	97.96	98.10	96.10	2.06	1.89	3.89
65m	97.88	98.26	96.23	2.11	1.73	3.81
mean	97.94	98.25	96.23	2.05	1.74	3.79





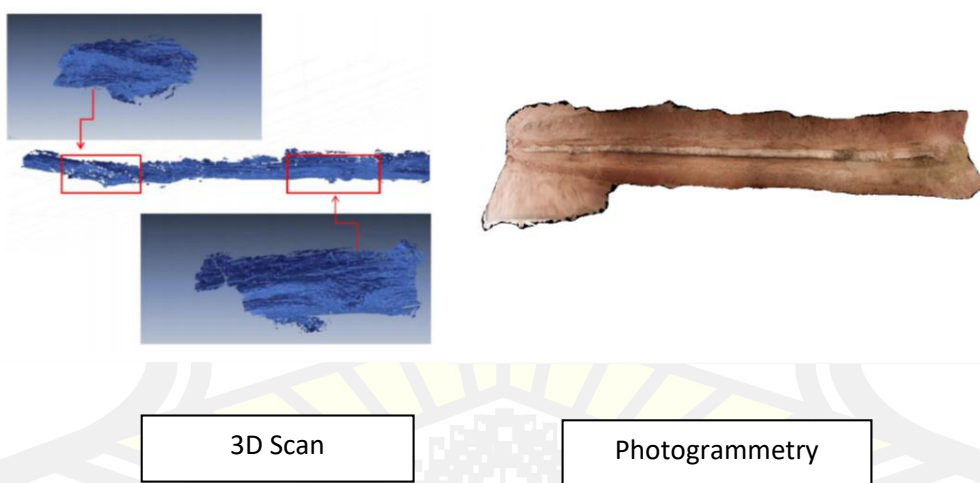
แผนภูมิ 1 แผนภูมิเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวจากแบบจำลองสามมิติทั้ง 15 ตำแหน่ง (P1 - P15) สีแดง ปี พ.ศ. 2561 ถึง ปี พ.ศ. 2562 สีน้ำเงิน ปี พ.ศ. 2561 ถึง ปี พ.ศ. 2562



แผนภูมิ 2 แผนภูมิเปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวจากแบบจำลองสามมิติทั้ง 15 ตำแหน่ง (P1 - P15) ในระยะเวลารวม 2 ปี ระหว่าง ปี พ.ศ. 2561 ถึง ปี พ.ศ. 2563

4.5 เปรียบเทียบเทคนิคสามมิติระหว่างการสแกนสามมิติและการรังวัดด้วยภาพถ่าย

จากทดลองการสร้างแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินในหลุมที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบผลของแบบจำลองสามมิติระหว่างสองเทคนิค คือ การสแกนสามมิติ และ การรังวัดด้วยภาพถ่าย ผลของแบบจำลองสามมิติจากทั้งสองเทคนิคให้ชิ้นงานที่มีความละเอียดสูง แต่แบบจำลองสามมิติจากเทคนิครังวัดภาพถ่ายสามารถแสดงข้อมูลของสีและรูปร่างตัวอย่างในขณะนั้นได้ (ภาพที่ 45) ความละเอียดของแบบจำลองขึ้นอยู่กับความละเอียดของภาพถ่ายที่นำมาทำการประมวลผล ด้วยเวลาในภาคสนามที่มีจำกัดเทคนิครังวัดภาพถ่ายจึงเป็นทางเลือกที่ดีในการใช้สร้างแบบจำลองสามมิติ เนื่องจากใช้เวลาในการเก็บข้อมูลน้อย อุปกรณ์มีสะดวกและคล่องตัว ใช้งบประมาณที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับเครื่องสแกนสามมิติ อุปกรณ์ยังหามาใช้งานได้ง่าย มีโปรแกรมสำเร็จรูปมารองรับ ด้วยเหตุนี้การเลือกใช้เทคนิครังวัดภาพถ่ายจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกับการใช้งานสำหรับการสร้างแบบจำลองไม้กลายเป็นหินหรือวัตถุขนาดใหญ่ในงานภาคสนาม



ภาพที่ 45 เปรียบเทียบแบบจำลองสามมิติจากทั้งสองเทคนิค ซ้าย) แบบจำลองสามมิติจากเทคนิคสแกน ขวา) แบบจำลองสามมิติจากเทคนิครังวัดภาพถ่าย

4.6 สรุปขั้นตอนการดำเนินงานและปัญหาที่พบ

จากขั้นตอนการดำเนินงานในส่วนภาคสนามพบว่า การถ่ายภาพไม้กลายเป็นหินแต่ละต้นมี ปัญหาแตกต่างกันออกไป ในไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 การใช้โดรนถ่ายภาพในช่วงแรกการควบคุมถูกรบกวนโดยคลื่นไฟฟ้าแรงสูงภายในตัวอาคาร ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 6 และ ต้นที่ 7 ภายในอาคารมี แสงส่องผ่านเข้ามาไม่สม่ำเสมอทำให้เป็นอุปสรรคต่อการประมวลผลและแบบจำลองสามมิติ นอกจากนี้ บริเวณรอบ ๆ ของอาคารมีเสาไฟฟ้าแรงสูงตั้งอยู่หลายต้นซึ่งส่งผลโดยตรงในการควบคุม โดรนขณะถ่ายภาพ และอยู่ใกล้กับอ่างเก็บน้ำที่ยังมีการก่อสร้างทำให้ไม่สะดวกในการเข้าถึงแหล่งซาก ดึกดำบรรพ์ (ภาพที่ 46) จึงมีการปรับแผนในการดำเนินงานใหม่ดังตาราง (ตารางที่ 7)

ในส่วนขั้นตอนการประมวลผลแบบจำลองสามมิติที่ได้จากการรังวัดด้วยภาพถ่ายในโปรแกรม Agisoft Metashape สามารถเก็บรายละเอียดพื้นผิวของตัวอย่างจริงได้ แบบจำลองสามมิติที่ได้จะเป็นรูปแบบ ข้อมูลในส่วนพื้นผิวเท่านั้นไม่สามารถสร้างมวลที่อยู่ภายในนอกเหนือจากภาพถ่ายต้นแบบได้ และจาก ช่วงแรกของการประมวลผลที่ใช้เวลานานจึงได้ปรับความละเอียดลงเพื่อลดขนาดของไฟล์และเวลาที่ ใช้ดังตาราง (ตารางที่ 8)



ภาพที่ 46 ปัญหาที่พบในขั้นตอนถ่ายภาพไม้กลายเป็นหิน ก) ปัญหาด้านแสงที่พบในไม้กลายเป็นหิน ต้นที่ 6 และ 7 ข) เสาไฟฟ้าแรงสูงที่อยู่ใกล้กับต้นที่ 6 และ 7

ตารางที่ 7 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการปฏิบัติภาคสนาม

แผนงานกิจกรรมเดิม	แผนงานกิจกรรมใหม่
การถ่ายตัวอย่างสำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติ (ภาคสนาม)	
1. ถ่ายภาพตัวอย่างไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1, 6 และ 7 ด้วยโดรน: ระหว่างทดสอบบินรอบแรกในหลุมที่ 1 พบว่า เนื้อพื้นดินขึ้นไป 20 เมตร ระหว่างจุดที่ 30 ถึง 35 มีการรบกวนจากไฟฟ้าแรงสูง ทำให้เครื่องทำงานผิดพลาด	1. ทำการถ่ายภาพตัวอย่างด้วยโดรนและควบคุมระยะการบินไม่ให้ยู่เหนือระดับที่กำหนดเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวน

ตารางที่ 8 ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการประมวลผล

แผนงานกิจกรรมเดิม	แผนงานกิจกรรมใหม่
การสร้างแบบจำลองสามมิติ ด้วยเทคนิครังวัดด้วยภาพถ่าย (การประมวลผล)	
1. สร้างแบบจำลองสามมิติ ในความละเอียดสูงที่สุด (Ultra-high) พบว่าใช้เวลาในการประมวลผลมากเกินไป (มากกว่า 5 วัน) และโปรแกรมมีการรีสตาร์ทเอง	1. ปรับความละเอียดของแบบจำลองที่สร้างเป็นกลาง (Medium) ถึง สูง (High) ใช้เวลาไม่ถึง 20 ชั่วโมง ต่อแบบจำลอง 1 ชั้น
2. การคำนวณหาปริมาตรพบว่าการใช้พื้นผิวของไม้กลายเป็นหินทั้งต้นทำให้ผลออกมาคลาดเคลื่อนเนื่องจากคำสั่ง Fill holes ไม่สามารถแสดงผลได้ทั้งหมดเนื่องจากตลอดลำต้นมีขนาดที่แตกต่างกัน	2. ปรับมาเป็นการกำหนดตำแหน่งของลำต้นไม้กลายเป็นหินแต่ละจุดแทน และแยกบริเวณที่มีความเรียบและรอยแตกออกจากกัน

บทที่ 5

สรุป

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาและสร้างแบบจำลองสามมิติด้วยเทคนิคการรังวัดด้วยภาพถ่ายของไม้กลายเป็นหิน ในอุทยานแห่งชาติดอยสอยมาลัย (เตรียมการ) การรังวัดด้วยภาพถ่ายเป็นวิธีที่มีความสะดวกและเหมาะสมในการนำมาใช้เก็บข้อมูลความเปลี่ยนแปลงของซากดึกดำบรรพ์ขนาดใหญ่ แบบจำลองที่ได้มีคุณภาพและให้ความละเอียดงานสูง ความละเอียดอยู่ที่ 5 มิลลิเมตร/พิกเซล มีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลน้อยมากโดยมีค่า reprojection error 0.15 ถึง 0.2 พิกเซล แบบจำลองสามารถนำพื้นผิวมาวิเคราะห์หาอัตราการเสื่อมสภาพของไม้กลายเป็นหินได้ด้วยการใช้ข้อมูลของพื้นที่และปริมาตรมาคำนวณผ่านซอฟต์แวร์ Agisoft Metashape โดยพบว่าจากช่วงเวลา 2 ปี จากปี 2561 ถึง 2563 ไม้กลายเป็นหินต้นที่ 1 ความยาว 69 เมตร มีอัตราการเสื่อมสภาพอยู่ที่ร้อยละ 0.9 ต่อปี ในบริเวณลำต้น และร้อยละ 1.9 ต่อปี ในบริเวณรอยแตกของตาไม้และพูพอนราก

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ไม้กลายเป็นหินขนาดใหญ่ต้นที่ 1 มีการเสื่อมสภาพลงและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นสิ่งมีชีวิต เช่น นกที่มากอาศัยอยู่บริเวณคานเหล็กบนหลังคาของอาคารครอบต้นที่ 1 มีการหาอาหารและขับถ่ายของเสียลงบนผิวไม้กลายเป็นหิน หรือจากปัจจัยทางกายภาพ ได้แก่ สภาพแวดล้อมในแต่ละปีของประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้นและมีฝนตกหนัก เช่น ฤดูกาลที่แตกต่างกันในแต่ละปี ปริมาณน้ำฝน หรือความไม่คงที่ของอุณหภูมิ หลักฐานจากแบบจำลองสามมิติที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นการยืนยันงานวิจัยจากนักอนุรักษ์ที่พบว่า ความชื้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพมากที่สุด ทำให้ไม้กลายเป็นหินเหล่านั้นเกิดการผุพังอยู่กับที่ องค์ประกอบของไม้กลายเป็นหินเปลี่ยนแปลงและเกิดการแตกหัก ทั้งยังเกิดการบดขยี้จากจุลินทรีย์จากการที่ไม้กลายเป็นหินอยู่ในอาคารที่เป็นระบบเปิดในสภาพอากาศแบบร้อนชื้น

การสร้างแบบจำลองสามมิติของไม้กลายเป็นหินจะเก็บข้อมูลของวัตถุ ณ ช่วงเวลานั้นได้แบบจำลองสามมิติที่ได้จากงานครั้งนี้สามารถเก็บรูปร่างของไม้กลายเป็นหินทั้งสามต้นในส่วนที่โผล่พ้นเหนือพื้นดินได้ทั้งหมด และแสดงข้อมูลของสีและรูปร่างได้อย่างชัดเจน และด้วยความสะดวกในการใช้งานในปัจจุบันเทคนิคการรังวัดด้วยภาพถ่ายเป็นทางเลือกที่ดีเหมาะสำหรับการใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล เนื่องจากใช้เวลาน้อย อุปกรณ์พกพาสะดวก คล่องตัว หาได้ง่าย และเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนบุคคลทั่วไปสามารถเข้าถึงวิธีการใช้งานได้ จากแบบจำลองที่มีความละเอียดสูงที่ได้ ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่น้อยมากเหมาะแก่การนำมาวิเคราะห์และทำการศึกษาวิจัย ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากวิธีการนี้จะประโยชน์อย่างยิ่งต่องานด้านการอนุรักษ์ซากดึกดำบรรพ์ในอนาคตที่มีการพัฒนาการ

ใช้งานให้สมบูรณ์มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไม้กลายเป็นหินในจังหวัดตากเป็นซากดึกดำบรรพ์ที่มีความสำคัญและคาดว่าเป็นไม้กลายเป็นหินประเภทพืชดอกที่มีขนาดยาวที่สุดในโลกอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยด้านการอนุรักษ์ถือว่าเป็นการศึกษาที่ต้องใช้เวลาอย่างมากเนื่องจากต้องมีการประเมินผลและศึกษาวิธีการอนุรักษ์อย่างต่อเนื่องในระยะยาว การเลือกวิธีการทดลองที่เหมาะสมจะไม่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในทางที่ไม่ดีในอนาคต จากผลการศึกษาข้างต้นการใช้เทคนิครังวัดภาพถ่ายและแบบจำลองสามมิติเข้ามาช่วยสนับสนุนงานด้านการอนุรักษ์ จึงเป็นการเลือกใช้วิธีที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพ และควรมีการทำให้เป็นประจำทุกปี เสนอให้ทางหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจัดสรรงบประมาณและฝึกอบรมบุคลากรให้มีความเชี่ยวชาญทางด้านนี้ หรือ ตั้งงบประมาณประจำเป็นในการตรวจสอบติดตามด้วยระบบการถ่ายภาพและสร้างแบบจำลองสามมิติ



บรรณานุกรม



กรมอุตุนิยมวิทยา. (2559). สถิติปริมาณน้ำฝนจังหวัดตาก. กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. สืบค้น 9 สิงหาคม 2563, จาก

<http://service.nso.go.th/nso/web/statseries/statseries27.html>

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2562). ภูมิอากาศจังหวัดตาก. กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร. สืบค้น 18 กันยายน 2563, จาก

<http://climate.tmd.go.th/data/province/เหนือ/ภูมิอากาศตาก.pdf>

นาริรัตน์ บุญไชย, เสรีวัฒน์ สมินทร์ปัญญา, จิราภรณ์ อรัณยษนา และ สุรเวช สุธีธร.

(2562). โครงการศึกษาวิจัยหากระบวนการอนุรักษ์ไม้กลายเป็นหินที่ยาวที่สุดในโลก ในอุทยานแห่งชาติไม้กลายเป็นหิน (เตรียมการ) จังหวัดตาก: รายงานการวิจัย พัฒนาและวิศวกรรม ฉบับสมบูรณ์. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.).

ประเทือง จินตสกุล. (2551). ไม้กลายเป็นหิน. หนังสือที่ระลึกพิธีเปิดอาคารสิรินธร, 95 – 139.

ไพศาล สันติธรรมนนท์. (2553). การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล Digital Photogrammetry (พิมพ์ครั้งที่ 1). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2 - 10.

รัตนโชติ เทียนมงคล. (2561). การศึกษาโครงสร้างไดโนเสาร์ตามหลักบรรพชีวินวิทยา เพื่อจำลองการเคลื่อนไหวไดโนเสาร์สายพันธุ์อีสานในรูปแบบ 3 มิติ. วารสารวิชาการ Veridian E-Journal สาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปะ, 11, 2580–2595.

Albertz, J. (2007). A Look Back 140 Years of “Photogrammetry” - Some Remakes on the History of Photogrammetry. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 504–506. Retrieved from

<http://www.asprs.org/a/publications/pers/2007journal/may/lookback.pdf>

Alonso, P. D., Milner, A. C., Ketcham, R. A., Cookson, M. J., & Rowe, T. B. (2004). The avian nature of the brain and inner ear of *Archeopteryx*. *Nature*, 430(7000), 16–20. <https://doi.org/10.1038/nature02706>

- Arbour, V. M., & Currie, P. J. (2012). Analyzing Taphonomic Deformation of Ankylosaur Skulls Using Retrodeformation and Finite Element Analysis. *PLoS ONE*, 7(6), 1–13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039323>
- Beraldin, J. A. (2004). Integration of laser scanning and close-range photogrammetry—The last decade and beyond. In *Proceedings of the XXth ISPRS Congress* (Vol. 35, No. Part B, pp. 12-23).
- Butler, R. J., Barrett, P. M., & Gower, D. J. (2012). Reassessment of the Evidence for Postcranial Skeletal Pneumaticity in Triassic Archosaurs, and the Early Evolution of the Avian Respiratory System. *PLoS ONE*, 7(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034094>
- Chatzi, E., Chatzistamatis, S., Soulakellis, N., & Zouros, N. (2017). 3D Modelling of Petrified Trees: Laser Scanning vs Photogrammetry. *IMEKO International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage Lecce, Italy, October 23-25, 2017, (October)*.
- Cunningham, J. A., Rahman, I. A., Lautenschlager, S., Rayfield, E. J., & Donoghue, P. C. J. (2014). A virtual world of paleontology. *Trends in Ecology & Evolution*, 29(6), 347–357. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.04.004>
- Donoghue, P. C. J., Bengtson, S., Dong, X., Gostling, N. J., Huldtgren, T., Cunningham, J. A., Stampanoni, M. (2006). Synchrotron X-ray tomographic microscopy of fossil embryos. *Nature*, 442(7103), 680–683. <https://doi.org/10.1038/nature04890>
- Falkingham, P. L. (2012). Acquisition of high resolution three-dimensional models using free, open-source, photogrammetric software. *Palaeontologia Electronica*, 15(1), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0004532>
- Google Maps, 2020. Google Maps Petrified wood forest park, Takok, Tak. Retrieved

November 7, 2020, from <https://google.com/maps/place/อุทยานแห่งชาติไม้กลายเป็นหิน>)

Hartley, R., & Zisserman, A. (2003). Multiple view geometry in computer vision. Cambridge university press.

Jones, M. E. H., Curtis, N., Fagan, M. J., Higgins, P. O., & Evans, S. E. (2011). Hard tissue anatomy of the cranial joints in Sphenodon (Rhynchocephalia): Sutures , kinesis , and skull mechanics Hard tissue anatomy of the cranial joints in Sphenodon (Rhynchocephalia): sutures , kinesis , and skull mechanics. (May 2014).

Lautenschlager, S. (2013). Cranial myology and bite force performance of *Erlikosaurus andrewsi*: a novel approach for digital muscle reconstructions. *Journal of Anatomy*, 260–272. <https://doi.org/10.1111/joa.12000>

Lautenschlager, S., Witmer, L. M., Altangerel, P., & Ray, E. J. (2013). the evolution of theropod dinosaurs. *PNAS*, 110(51), 20657–20662. <https://doi.org/10.1073/pnas.1310711110>

LPWG. (2017). A new subfamily classification of the Leguminosae based on a taxonomically comprehensive phylogeny. 44-77.

Lyons, P. D., Marc, R., & Patterson, T. (2000). Application of a Three-dimensional color laser scanner to paleontology: An interactive model of a juvenile *Tylosaurus* sp. basisphenoid-basioccipital. *Palaeontologia Electronica*, 3(2).

Mallison, H., & Wings, O. (2014). Photogrammetry in Paleontology – A practical guide. *Journal of Paleontological Techniques*, (12), 1–31.

Martínez-Fernández, A., Benito-Calvo, A., Campaña, I., Ortega, A. I., Karampaglidis, T.,

- de Castro, J. M. B., & Carbonell, E. (2020). 3D monitoring of Paleolithic archaeological excavations using terrestrial laser scanner systems (Sierra de Atapuerca, Railway Trench sites, Burgos, N Spain). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 19, e00156.
- Molnar, J. L., Pierce, S. E., Clack, J. A., & Hutchinson, J. R. (2012). Idealized landmark-based geometric reconstructions of poorly preserved fossil material: a case study of an early tetrapod vertebra. *Palaeontologia Electronica*, 15(1), 1–18.
- Mustoe, G., & Acosta, M. (2016). Origin of petrified wood color. *Geosciences*, 6(2), 25.
- Mustoe, G. E. (2017). Wood petrification: A new view of permineralization and replacement. *Geosciences*, 7(4), 119.
- Petti Fabio Massimo, Petruzzelli, M., Conti, J., Spalluto, L., Wagensommer, A., Lamendola, M., Francioso, R., Montrone, G., Sabato, L., Tropeano, M. (2018). The use of aerial and close-range photogrammetry in the study of dinosaur tracksites: Lower Cretaceous (upper Aptian / lower Albian) Molfetta ichnosite (Apulia, southern Italy). *Palaeontologia Electronica*, 21(3), 1–18.
- Schenk, T. (2005). Introduction to Photogrammetry. Department of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, 79–95. Retrieved from http://gscphoto.ceegs.ohio-state.edu/courses/GeodSci410/docs/GS410_02.pdf
- Shiino, Y., Kuwazuru, O., Suzuki, Y., & Ono, S. (2012). Swimming capability of the remopleuridid trilobite *Hypodicranotus striatus* : Hydrodynamic functions of the exoskeleton and the long , forked hypostome. *Journal of Theoretical Biology*, 300, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2012.01.012>
- Snively, E., Sciences, B., Centre, B. S., Cox, A., & Drive, W. (2008). Structural mechanics

of Pachycephalosaur crania permitted head-butting behavior. *Palaeontologia Electronica*, 11(1), 1–17.

Songtham, W., Mildenhall, D. C., & Ratanasthien, B. (2011). Original Petrified Tree Trunks from a Gravel Deposit, Ban Tak Petrified Forest Park , Ban Tak – Sam Ngao Basin, Tak Provinc , Northern Thailand. *J Sci Technol MSU*, 31, 94–100.

Stein, M. (2010). A new arthropod from the Early Cambrian of North Greenland, with a ‘great appendage’ -like antennula. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 158, 477–500. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2009.00562.x>

Sutton, M. D., Garwood, R. J., Siveter, D. J., & Siveter, D. J. (2012). A software toolkit for tomographic visualisation and a format for virtual specimen interchange. *Palaeontologia Electronica*, 15(2).

Witzel, U., & Preuschoft, H. (2005). Finite-Element Model Construction for the Virtual Synthesis of the Skulls in Vertebrates: Case Study of Diplodocus. *Wiley InterScience*, 401(March), 391–401. <https://doi.org/10.1002/ar.a.20184>

Young, M. T., Rayfield, E. J., Holliday, C. M., Witmer, L. M., Button, D. J., Upchurch, P., & Barrett, P. M. (2012). Cranial biomechanics of Diplodocus (Dinosauria , Sauropoda): testing hypotheses of feeding behaviour in an extinct megaherbivore. *Naturwissenschaften* (2012), 99(8), 637–643.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายคงกระพัน ไชยทองศรี
วันเกิด	12 มีนาคม 2537
สถานที่เกิด	จังหวัดกาฬสินธุ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	65 หมู่ 2 ต.หนองอีบุตร อ.ห้วยผึ้ง จ.กาฬสินธุ์ 46240
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2553 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย กาฬสินธุ์ พ.ศ. 2555 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนกาญจนาภิเษก วิทยาลัย กาฬสินธุ์ พ.ศ. 2558 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปัจจุบัน กำลังศึกษาในระดับบัณฑิตศึกษา วิทยาศาสตรมหา บัณฑิต (วท.ม.) สาขาชีววิทยา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	ทุนอุดหนุนการทำกิจกรรมส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยระดับปริญญาโท (วช.) 2563 ทุนวิจัยพัฒนาและวิศวกรรม รหัสโครงการ (P1651513) สำนักงานพัฒนา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)
ผลงานวิจัย	การสร้างแบบจำลองสามมิติของกระดูกไดโนเสาร์ซอโรพอดด้วยเครื่อง สแกนเนอร์สามมิติสำหรับงานวิจัยด้านบรรพชีวินวิทยา

พหุ อนุ ภิ ติ โ ต ชี วะ