

การประยุกต์วิธีการเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ในการอนุรักษ์ซากดึกดำบรรพ์ไดโนเสาร์ กลุ่มออร์นิโทพอด

Application of Computed Tomography (CT) for preparation the Ornithopod dinosaur fossil

สิริภัทร ภายแก้ว,¹ สุรวเช สุธีธร²

Siripat Kaikaew,¹ Suravech Suteethorn²

บทคัดย่อ

ในปี พ.ศ. 2556 มีการขุดค้นพบซากดึกดำบรรพ์ไดโนเสาร์กลุ่มออร์นิโทพอด จากแหล่งขุดค้นภูน้อย จังหวัดกาฬสินธุ์ อยู่ในหมวดหินภูกระดึง ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ยากในการศึกษา เนื่องจากถูกปิดทับด้วยตะกอนและหินที่กำจัดออกได้ยาก ทำให้เห็นขอบเขตของกระดูกไม่ชัดเจน จึงเกิดเป็นจุดประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้ โดยประยุกต์ใช้วิธีการการตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computer tomography, CT) เป็นแนวทางอนุรักษ์ตัวอย่างที่มีข้อจำกัดในการอนุรักษ์ มีความเปราะบางและซับซ้อนมาก นอกจากนี้ยังเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของไฟล์ภาพ CT ในการแยกความแตกต่างระหว่างกระดูกและตะกอนโดยรอบ พร้อมทั้งสร้างชิ้นงาน 3 มิติ

เริ่มต้นด้วยการสแกนชิ้นส่วนกระดูกด้วยเครื่อง CT scanner ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบ DICOM File จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลภาพด้วย Segmentation tool ของโปรแกรม AMIRA แล้วทำการแปลงผล เพื่อส่งออกไฟล์ในการสร้างรูปแบบ 3 มิติ (ข้อมูลที่ได้จะอยู่ในรูปแบบ WRL File ซึ่งไม่สามารถใช้งานได้กับเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วได้โดยตรง จึงต้องทำการแปลงให้เป็น STL File ขั้นตอนสุดท้ายคือการสร้างโมเดล 3 มิติ ของไดโนเสาร์ออร์นิโทพอด ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

จากการใช้วิธีการ CT จะเห็นได้ว่าเป็นวิธีการที่แสดงผลข้อมูลภายในของซากดึกดำบรรพ์ที่รวดเร็ว มีประสิทธิภาพ และลดความเสี่ยงของความเสียหายที่จะเกิดกับซากดึกดำบรรพ์ อีกทั้งยังช่วยในการศึกษาตัวอย่าง โดยไม่ต้องทำการอนุรักษ์ชิ้นตัวอย่างทั้งหมด นอกจากนี้ภาพจากการ CT แสดงให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างกระดูกและตะกอนโดยรอบ ซึ่งเป็นประโยชน์ในเชิงอนุรักษ์ เชิงวิจัยและเชิงวิชาการ ให้นักวิจัยสามารถศึกษาชิ้นตัวอย่างได้โดยตรง อีกทั้งยังแสดงสภาพความสมบูรณ์ของตัวอย่างว่ามีกระดูกหัก หรือช่วยในการบอกตำแหน่งของกระดูกได้อีกด้วย

คำสำคัญ: การตรวจเอกซเรย์ด้วยคอมพิวเตอร์ ไดโนเสาร์กลุ่มออร์นิโทพอด การอนุรักษ์ตัวอย่าง แบบจำลอง 3 มิติ

¹ นิสิตปริญญาโท, ² อาจารย์, คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150,

¹ Master degree student, ² Lecture., Faculty of Science, Mahasarakham University, Kantharawichai District, Mahasarakham 44150, Thailand.

* Corresponding author; Siripat Kaikaew, E-mail : Ksiripat@gmail.com



Abstract

The nearly complete skeletons of ornithopod dinosaur were found from Phu Noi excavation site, Kalasin province in Phu Kradung formation. The skeletons were embedded in matrix and hardly to be seen and determine the bones. Herein, this research used computed tomography technique (CT) to identify of an unprepared the specimen and to investigate the feasibility of virtually preparing the CT dataset to distinguish the fossilized bone from its surrounding matrix and produce an actual three-dimensional (3D) model.

The block of specimen including matrix was scanned by computed tomography scanner. The information are transformed into the set of image data in Digital Image and Communications in Medical (DICOM file) Then, Image analysis was performed by using segmentation tool of the AMIRA software and export WRL files to produce the 3D model applying for the rapid prototyping (RP). Therefore, the WRL files must be converting to stereolithography (STL file). Finally, the model 3D are made by 3D printer

CT images of the fossil clearly depict a fossilized bone embedded in sediment matrix. In addition, much valuable information about the condition and integrity of the fossil has been gained as well, especially concerning the multiple fractures and the major fracture zone dividing the entire fossil.

Keywords: Computed tomography, Ornithopod dinosaur, Preparatory, 3D model



บทนำ

บรรพชีวินวิทยาเป็นศาสตร์ที่ศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตที่สูญพันธุ์ไปแล้ว โดยอาศัยข้อมูลจากซากดึกดำบรรพ์ที่ถูกเก็บรักษาไว้ภายใต้แผ่นเปลือกโลก ทำให้ซากดึกดำบรรพ์นั้นเป็นหลักฐานยืนยันถึงการมีอยู่ การกำเนิด และมีวิวัฒนาการ ของสิ่งมีชีวิตต่างๆ เลยกี่ว่าได้ แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาจากซากดึกดำบรรพ์ก็ยังคงมีปัญหาและอุปสรรคมากมาย อาทิเช่น การค้นพบกระดูกที่เหลือเพียงบางส่วนจากการสูญสลายทางธรรมชาติ หรือเกิดความเสียหายในขั้นตอนการอนุรักษ์ตัวอย่าง (Preparation) เนื่องด้วยซากดึกดำบรรพ์ถูกปิดทับด้วยตะกอน ขอบเขตของตัวอย่างจึงไม่ชัดเจนอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดระหว่างการอนุรักษ์ นอกจากนี้การอนุรักษ์ตัวอย่างต้องใช้ความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญ ทำให้ใช้ระยะเวลานานในการทำการอนุรักษ์ และบางครั้งต้องการศึกษารายละเอียดภายในของตัวอย่าง จึงจำเป็นต้องตัดชิ้นส่วนเพื่อทำการศึกษา ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียตัวอย่าง

ในปี 1979 Janensch และ Hennig นักบรรพชีวินวิทยา ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางการแพทย์คือ วิธีการตรวจเอกซเรย์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Computed tomography หรือ CT) ซึ่งวิธีนี้ไม่ทำให้ชิ้นตัวอย่างเกิดความเสียหาย เพราะเป็นการใช้รังสีเอกซ์ฉายรอบตัวอย่าง แล้วทำการแปลผลเป็นรูปภาพ 3 มิติ ผ่านทางคอมพิวเตอร์¹ โดยสามารถช่วยอนุรักษ์ตัวอย่างที่ได้รับความเสียหายจากสงครามโลกครั้งที่ 2 และตัวอย่างที่ต้องใช้ความชำนาญอย่างมาก

ในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา มีการค้นพบกล่องสมองไดโนเสาร์ (Braincase) มากขึ้น แต่มีข้อมูลรายละเอียดสมองน้อยมาก ซึ่งการศึกษาภายในของกล่องสมอง อาจต้องทำการผ่าชิ้นตัวอย่างเพื่อทำการหล่อชิ้นจำลองทำแม่พิมพ์ สร้างความเสียหายให้แก่ตัวอย่าง ดังนั้นตั้งแต่ ค.ศ. 1998 จึงเริ่มประยุกต์ใช้การทำ CT แล้วแปลงข้อมูลสร้างเป็นแบบจำลอง 3 มิติ ทำให้นักบรรพชีวินนำวิธีการนี้มาประยุกต์ใช้กับงานบรรพชีวินวิทยา (Palaeoneurology) อย่างแพร่หลาย²⁻⁵ ดังนั้นการอนุรักษ์โดยวิธีการนี้ช่วยให้อนุรักษ์ตัวอย่างได้อย่างสมบูรณ์ ไม่ก่อให้เกิดการสูญเสียตัวอย่าง และได้ข้อมูลครบถ้วน¹⁻¹⁰

ใน พ.ศ.2556 ศูนย์วิจัยและการศึกษาบรรพชีวินวิทยา ได้ค้นพบหินก้อนหนึ่งจากแหล่งขุดค้นภูน้อย ซึ่งมีโครงกระดูกของไดโนเสาร์ขนาดเล็กฝังอยู่ด้านใน จากกระบวนการอนุรักษ์เบื้องต้น เผยให้เห็นโครงกระดูกของไดโนเสาร์ออร์นีโทพอดขนาดเล็ก เรียงตัวอย่างสมบูรณ์ตั้งแต่กระดูกคอจนถึงปลายหาง (Figure 1) ถือได้ว่าเป็นโครงกระดูกไดโนเสาร์ที่มีความสมบูรณ์มากที่สุดชิ้นหนึ่งของประเทศไทย ทว่าขั้นตอนในการทำการอนุรักษ์ตัวอย่าง เพื่อนำตะกอนหินที่เกาะอยู่รอบชิ้นกระดูกออกทำได้ยากมาก เพราะชิ้นตัวอย่างมีขนาดเล็ก และมีโครงสร้างที่สลับซับซ้อน กระบวนการดังกล่าว อาจจะทำอันตรายชิ้นกระดูกได้ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะประยุกต์ใช้วิธีการ CT เพื่อให้สามารถศึกษาสัณฐานวิทยาของกระดูกไดโนเสาร์ได้โดยไม่สร้างความเสียหายให้กับซากดึกดำบรรพ์โดยศึกษาประสิทธิภาพของไฟล์ภาพ CT ในการแยกความแตกต่างระหว่างกระดูกและตะกอนโดยรอบ แล้วทำการสร้างชิ้นงาน 3 มิติ เพื่อใช้การจำแนกชนิดต่อไป

วิธีการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาตัวอย่างซากดึกดำบรรพ์ออร์นีโทพอด (KS34 - 615, -616) จากศูนย์วิจัยและการศึกษาบรรพชีวินวิทยา ที่ทำการอนุรักษ์ไปบางส่วน ดังแสดงในภาพที่ 1 ไปทำการสแกนด้วยเครื่อง CT scan TOSHIBA รุ่น Aquillion 64 ที่แผนกรังสีวิทยาคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม (ขนาดของตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาไม่ควรเกินความยาวของรางเครื่อง CT scan) โดยตัวเครื่องใช้ขนาดแรงดันไฟ 120 กิโลโวลต์ และปริมาณไฟ 150 มิลลิแอมป์ พร้อมกำหนดความหนาของภาพสไลด์ (Slice thickness) 3 มิลลิเมตร แล้วนำออกภาพด้วยไฟล์ภาพทางการแพทย์ (DICOM) จำนวน.157 ภาพ และขนาดของไฟล์ภาพตัวอย่าง 512 X 512

2) นำภาพจากการสแกนมาแปลผล ด้วยโปรแกรม E-film work station เวอร์ชัน 3.1.0 พร้อมปรับความแตกต่างระหว่างความหนาแน่น (Window width และ Window level) เพื่อดูขอบเขตระหว่างเซลล์กระดูกและตะกอน



Figure 1 Incomplete preparation of the Ornithomimid dinosaur fossil from Phu Noi (KS34-615, -616)

3) ศึกษาลักษณะของซากดึกดำบรรพ์ ด้วยการตัดภาพตามระนาบของแกนทั้ง 3 (xy-yz-xz) แล้วกำหนดรายละเอียดโครงสร้างภายในของซากดึกดำบรรพ์ (Labeling) ด้วยชุดคำสั่ง Segmentation tool ในโปรแกรม AMIRA โดยใช้เครื่องมือ Lasso tool, Brush tool และ Magic wand

4) วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติของชิ้นตัวอย่าง พร้อมทั้งปรับความคมชัด สีและแสงเงาของตัวอย่าง แล้วนำส่งเป็นสกุลไฟล์ .wrl เพื่อสร้างและปรับผิวแบบจำลอง

5) ปรับความหนา ขนาด สี และพื้นผิวภายนอก (Surface) ของแบบจำลอง 3 มิติ ด้วยโปรแกรม Rapidform XOS3™SP1 แล้วส่งออกไฟล์ .stl เพื่อสร้างแบบจำลองด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ (Cute pro) โดยเลือกไฟล์ ซึ่งมีสกุลเป็น .stl ปรับขนาดงานให้พอดีกับถาดรองรับ คลิกรูป Rotate geometry เพื่อปรับทิศทางของงาน โดยบ่อนค่าแกน (แกน X, แกน Y และแกน Z) เลือก Build เพื่อดูการใช้วัตถุติดและวัสดุขับพอร์ท คลิกรูป Start เพื่อสั่งให้เครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็วสร้างชิ้นงาน¹⁰

ผลการทดลอง

ส่วนที่ 1 วิธีการ CT

ตัวอย่าง KS34 – 615 และ 616 เป็นกระดูกของไดโนเสาร์ออร์นิโทมิด อยู่ในช่วงปลายยุคจูแรสสิก – ต้นยุคครีเทเชียส โครงกระดูกมีความกว้าง 24 เซนติเมตร ความยาว 33.5 เซนติเมตร ความหนา 4 เซนติเมตร เมื่อทำการอนุรักษ์ตัวอย่างเบื้องต้น พบว่ามีกระดูก จำนวน 52 ชิ้น ได้แก่ กระดูกสันหลังช่วงคอ, หลัง ถึง หาง (Cervical, dorsal และ caudal vertebrae), กระดูกซี่โครง (Rib), กระดูกต้นขาข้างซ้าย (Left femur), กระดูกหน้าแข้งซ้าย (Left tibia-fibula), กระดูกข้อเท้าซ้าย (Left metatarsal) และกระดูกไหล่ซ้าย (Left scapula) (Figure 1, 2) แต่เมื่อดูภาพจำลองจากการทำ CT พบกระดูกที่ฝังอยู่ในตะกอน เพิ่มอีกจำนวน 13 ชิ้น โดยวางตัวในตำแหน่งทางด้านใต้ของกระดูกที่ทำการอนุรักษ์เบื้องต้นแล้ว โดยพบกระดูกหน้าแข้ง บริเวณด้านบน กระดูกต้นขา และกระดูกซี่โครงอีกทั้งยังพบกระดูกนิ้ว (Phalange) ทางด้านล่างของกระดูกข้อเท้า (Figure 2)

ในการปรับภาพ CT ระหว่างกระดูกและตะกอน เป็นการปรับให้เห็นความคมชัดของ

องค์ประกอบโครงสร้างภายใน (Filigree structure) ซึ่งต้องอาศัยค่าความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของกระดูกและสีเทากลาง โดยเมื่อตั้งค่าแบบ Bone จะได้ค่า Window width และ Window level ตามแกน Coronal มีค่าเท่ากับ 2500 และ 480 ตามลำดับ ซึ่งภาพจะแสดงสีของกระดูกในเฉดสีขาว แยกความแตกต่างของกระดูกและตะกอนไม่ได้ (Figure 3A) เมื่อปรับค่า Window width และ Window level เป็น 1040 และ 2640 HU ตามลำดับ ตามค่าของ Golder และ Christian⁷ สามารถแยกความแตกต่างระหว่างกระดูกและตะกอนได้แต่ขอบของกระดูกยังไม่ชัดเจน (Figure 3B) แต่เมื่อปรับค่า Window width และ Window level ให้เพิ่มขึ้นเป็น 3500 และ 3500 ตามลำดับ ทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดมากขึ้น สามารถแยกความแตกต่างระหว่างกระดูกและตะกอนได้ชัดเจนกว่าเดิม ดัง Figure 3C โดยการปรับค่า Window width มีผลให้คอนทราสต์ของภาพยาวขึ้น ส่วน Window level มีค่าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้ความสว่างของภาพลดลง

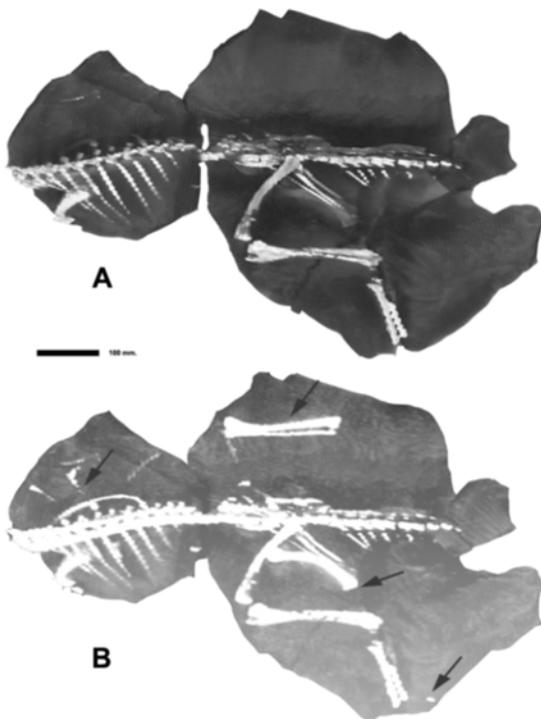


Figure.2 (A) Photograph shows no indication of the presence of fossils within the slab. (B) CT scan (magnified view), the femur, fibula-tibia, rib

appearance of the indentation on the right and phalange below left metatarsal (black arrow)

นอกจากนี้การศึกษาซากดึกดำบรรพ์ด้วยวิธีการ CT ช่วยประเมินความเสียหายที่เกิดต่อซากดึกดำบรรพ์ได้ โดยตัวอย่าง KS34 – 615 และ 616 ส่วนใหญ่มีความสมบูรณ์การวางตัวของกระดูกยังคงวางตัวเชื่อมกัน (In situ) อาจเนื่องจากถูกปิดทับด้วยตะกอนหินโคลนที่มีความละเอียด แต่กระดูกบางส่วนก็ได้รับความเสียหาย ได้แก่บริเวณปลายกระดูกข้อเท้าที่ผิวกระดูกหลุด และมีรอยแตกขนาดใหญ่, กระดูกสันหลังมีรอยแตกบริเวณ Neural spine และกระดูกโคราคอยด์ที่หักบริเวณด้านปลาย และเมื่อประยุกต์ใช้วิธีการ CT พบความเสียหายภายในของตัวกระดูก ได้แก่ รอยแยกภายในกระดูกสันหลังระหว่าง Neural spine และ centrum บางชิ้น โดยการไม่ติดกันของกระดูกสันหลังหลายชิ้น อาจบอกอายุของไดโนเสาร์ออร์นิโทพอดว่า น่าจะเป็นไดโนเสาร์ที่การเจริญเติบโตอยู่ในช่วง Juvenile และพบรอยแตกบริเวณปลายกระดูกซี่โครงด้านซ้ายอีกทั้งยังพบกระดูกต้นขาขวาที่หลุดออกมาจากตำแหน่งของกระดูกส่วนใหญ่ เป็นต้น (Figure 2A, 4)

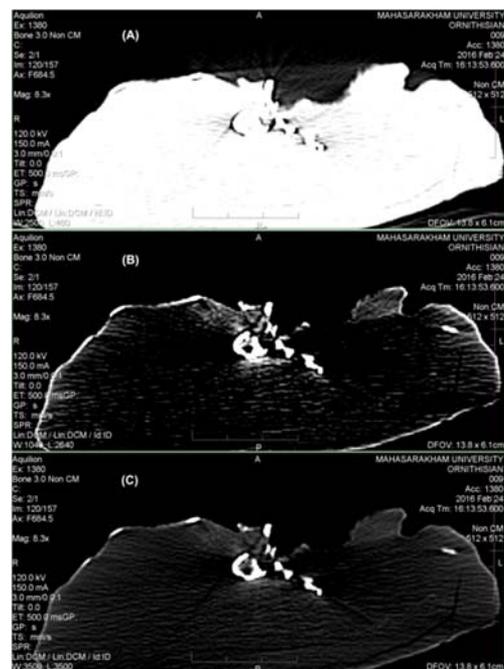


Figure 3 (A), (B), (C) coronal reconstructions of fossil with different window levels and widths. (A: window level = 480, window width = 2500; B: window level = 1040, window width = 2640; C: window level = 3500, window width = 3500)

window level = 2640, window width = 1040; C:
window level = 3500, window width = 3500)

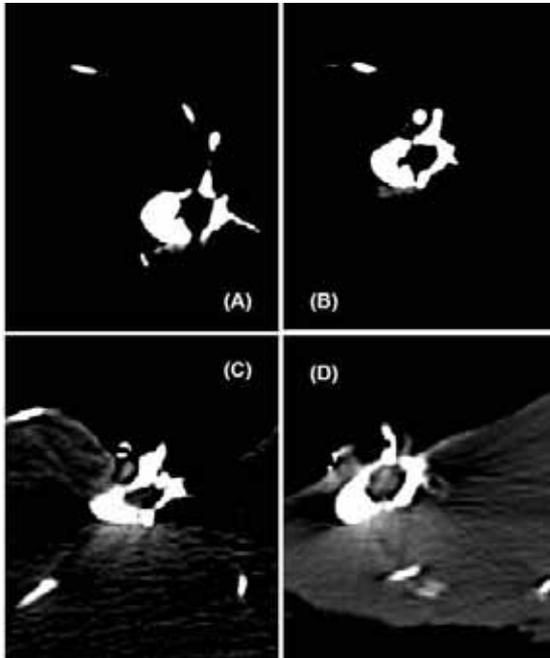


Figure 4 Coronal views of fossil. A, B (W:1000 L:4000) C, D (W:5000 L:3500) Recalibration of brightness and contrast values further improves differentiation between fossilized vertebral body and its surrounding sediment matrix.

ส่วนที่ 2 วิธีการ 3D modeling

Figure 5 แสดงความแตกต่างของชิ้นตัวอย่างก่อนการอนุรักษ์อย่างสมบูรณ์ และแบบจำลองไดโนเสาร์ออร์นีโทพอด ด้วยโปรแกรม Rapidform XOS3™SP1 แล้วทำการขึ้นรูปชิ้นตัวอย่างด้วยวัสดุโพลีเมอร์สีขาว (ABS) โดยแบบจำลองแสดงให้เห็นถึงกระดูกหลายชิ้นที่ถูกปิดทับด้วยตะกอนหินโคลน เช่น กระดูกต้นขา กระดูกหน้าแข้งและกระดูกซี่โครง เป็นต้น อีกทั้งยังแสดงความเสียหายของกระดูกที่ได้รับจากแรงกดทับของชั้นตะกอน ชิ้นงานกระดูกในงานวิจัยนี้ใช้เวลาในการพิมพ์แบบจำลอง 3D ประมาณ 5 ชั่วโมง (ข้อจำกัดของเครื่องมือคือวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปเป็นรูปแบบผงโพลีเมอร์ ซึ่งจะขึ้นรูปกระดูกที่มีความซับซ้อนไม่ค่อยดีเท่าแบบโพลีเมอร์ที่เป็นผง¹⁰⁾)

อีกทั้งการวางตัวของกระดูกสามารถอนุมานได้ว่าไดโนเสาร์ออร์นีโทพอด น่าจะตายและถูกกลบฝังในทันที และน่าจะนอนตายด้วยท่าทางที่ตะแคงมาทางด้านขวา เนื่องจากมีการวางตัวของกระดูกมาทางด้านขวาดัง Figure 2, 5

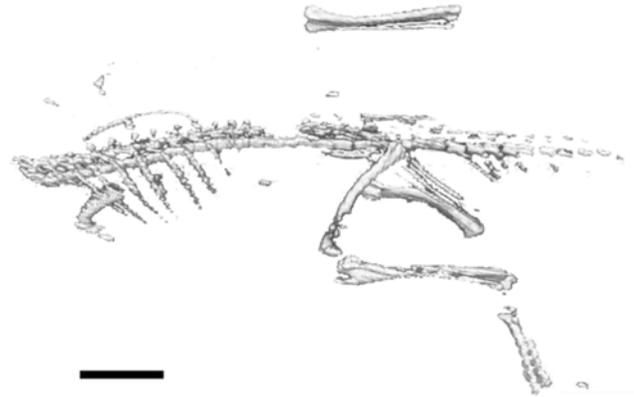


Figure 5 Virtual 3D reconstructions of fossilized after surrounding sediment matrix and protective plaster have been digitally removed through segmentation of CT dataset.

สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาตัวอย่างไดโนเสาร์ออร์นีโทพอด แล้วทำการปรับความคมชัดของภาพ ค่า Window width และ Window level ที่เหมาะสม 3500 และ 3500 และค่าสูงสุด Hounfield number ซากดึกดำบรรพ์ประมาณ 31594 HU เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Bolliger และคณะ ที่ศึกษาซากดึกดำบรรพ์จระเข้ (Mesosuchia) ด้วยวิธีการ CT scan มีค่า Hounfield number ประมาณ 11,000 – 16,000 และ 9000 – 11,000 HU⁹ และในปี 2015 Smilg และคณะ⁹ รายงานการศึกษาซากดึกดำบรรพ์ Hominin กำหนดค่า Window width และ Window level ประมาณ 300 - 1500 HU ซึ่งมีความสอดคล้องกันกล่าวคือ การกำหนดค่า Window width และ Window level มีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นในซากดึกดำบรรพ์ เนื่องจากการมีการแทรกตัวของตะกอนและแร่ธาตุต่าง ๆ ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนโครงสร้างขององค์ประกอบภายในกระดูก จึงส่งผลต่อค่าความหนาแน่นภายในของซาก



ดิกดำบรรพ์ด้วย โดยจากเดิมที่วัดจากสิ่งมีชีวิตได้ประมาณ +700 ถึง +3000 HU⁹ อีกทั้งในการกำหนดค่า Window width และ Window level ควรปรับตามความเหมาะสมของตะกอนที่แทรกเข้าไปในตัวของดิกดำบรรพ์ หรือปรับค่าตามตำแหน่งและขนาดของภาพที่ต้องการศึกษา

วิธีการ CT เป็นวิธีการที่แสดงผลข้อมูลภายในของซากดิกดำบรรพ์ที่รวดเร็ว มีประสิทธิภาพและแม่นยำ ทั้งในเรื่องของรูปร่าง ขนาด และตำแหน่งการวางตัวในตะกอน โดยไม่ต้องทำการอนุรักษ์ตัวอย่างทั้งหมด ซึ่งจะช่วยให้การอนุรักษ์ตัวอย่างง่ายขึ้น นอกจากนี้ภาพจากการทำ CT แสดงให้เห็นความแตกต่างที่ชัดเจนระหว่างกระดูก และตะกอนโดยรอบสามารถบ่งบอกถึงสภาพความสมบูรณ์ และการเก็บรักษาตัวอย่างภายในตะกอน อาทิเช่น การแตกหัก การหลุดร่อน หรือแสดงให้เห็นถึงรูปร่างที่ผิดปกติของตัวอย่างอันเกิดจากกระบวนการภายใต้แผ่นเปลือกโลก และเมื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการอนุรักษ์ตัวอย่าง เนื่องจากสามารถใช้ชิ้นงานนั้นๆ เป็นตัวแทนของซากดิกดำบรรพ์ต้นแบบ ในการจัดแสดงหรือทำการศึกษาวิจัยอื่นๆ ได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีบทความวิจัยที่ประยุกต์ใช้วิธีการ CT ในการวินิจฉัยโรคที่เกิดกับสิ่งมีชีวิตในยุคดิกดำบรรพ์ ยกตัวอย่าง ในปี ค.ศ. 2015 Xing และคณะ พบโรค spondyloarthropathies ในกระดูกสันหลังของ *Lufengosaurus huenei*¹¹ หรือ ในปี ค.ศ. 2016 Dumbravă และคณะ รายงานว่าพบเนื้องอกที่บริเวณกรามล่างของไดโนเสาร์ปากเปิด *Telmatosaurus transsylvanicus*¹² หรือ ในปี ค.ศ. 2016 Odes และคณะ ตรวจพบมะเร็งในกระดูกนิ้วเท้ามนุษย์โบราณ อายุ 1.7 ล้านปี¹³

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารวิจัยฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากหลายฝ่ายขอขอบคุณ ผู้อำนวยการ และคณะทำงานภายในศูนย์วิจัยการศึกษาบรรพชีวินวิทยา ทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยมหาสารคามสำหรับการชุดค้นที่ภูน้อย และคณะบดีคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัย

มหาสารคาม ที่อนุญาตให้ใช้เครื่อง CT และเจ้าหน้าที่ห้อง CT ที่ให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการทำ CT ตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

1. Wedel, MJ. What pneumaticity tells us about “prosauropods,” and vice versa. Spec Pap Palaeontol 2007;77:207–222
2. Witmer LM and Ridgely RC. New insights into the brain, braincase, and ear region of tyrannosaurs (Dinosauria, Theropoda), with implications for sensory organization and behavior. Anatomical Record 2009;292:1266–1296.
3. Knoll F, Witmer LM, Ortega F, Ridgely RC, and Schwarz-Wings D. The braincase of the basal sauropod dinosaur *Spinophorosaurus* and 3D reconstructions of the cranial endocast and inner ear. PLoS ONE 2012;7(1):e30060.
4. Knoll F, Ridgely RC, Ortega F, Sanz JL, Witmer LM. Neurocranial Osteology and Neuroanatomy of a Late Cretaceous Titanosaurian Sauropod from Spain (*Ampelosaurus* sp.). PLoS ONE 2013;8(1):e54991.doi:10.1371/journal.pone.0054991
5. Martínez RDF, Lamanna MC, Novas FE, Ridgely RC, Casal GA, Martínez JE, et al. A Basal Lithostrotian Titanosaur (Dinosauria: Sauropoda) with a Complete Skull: Implications for the Evolution and Paleobiology of Titanosauria. PLoS ONE



- 2016;11(4):e0151661.doi:10.1371/journal.pone.015166
6. Schilling R, Jastram B, Wings O, Schwarz-Wings D and Issever AS. Reviving the Dinosaur: Virtual Reconstruction and Three dimensional Printing of a Dinosaur Vertebra. *Radiology* 2013;270(3):864-871
 7. Golder W, Christian A. Quantitative CT of dinosaur bones. *J Comput Assist Tomogr* 2002;26(5):821–824
 8. Bolliger SA, Ross S, Thali MJ, Hostettler B, Menkveld-Gfeller U. Scenes from the Past Initial Investigation of Early Jurassic Vertebrate Fossils with Multidetector CT. *RadioGraphics* 2012;32:1553–1559
 9. Smilg JS, Berger LR. Discovering Hominins Application of Medical Computed Tomography (CT) to Fossil-Bearing Rocks from the Site of Malapa, South Africa. *PLoS ONE* 2015;10(12): e0145340.doi:10.1371/journal.pone.0145340
 10. มินตรา พันธุ์, มนต์สรอง จารุภูมิ, คมกฤต เล็กสกุล เจนจิรา, สร้อยแก้ว และ สุณิสา คาปา. การศึกษาและประยุกต์ใช้ วิธีการการขึ้นรูปต้นแบบรวดเร็วเพื่อการพัฒนาการผลิตกระดูกเทียมและชิ้นส่วนกะโหลกศีรษะ. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2555
 11. Xing L, Rothschild BM, Ran H, Miyashita T, Scott Persons W IV, Sekiya, T., Zhang J, Wang T, and Dong Z. Vertebral fusion in two Early Jurassic sauropodomorph dinosaurs from the Lufeng Formation of Yunnan, China. *Acta Palaeontologica Polonica* 2015;60(3):643–649.
 12. Mihai D. Dumbravă, Bruce M. Rothschild, David B. Weishampel, Zoltán Csiki-Sava, Răzvan A. Andrei, Katharine A. Acheson, Vlad A. Codrea. A dinosaurian facial deformity and the first occurrence of ameloblastoma in the fossil record. *Scientific Reports*, 2016;6: 29271 DOI: 10.1038/srep29271
 13. Odes EJ, Randolph-Quinney PS, Steyn M, Throckmorton Z, Smilg JS, Zipfel B, et al. Earliest hominin cancer: 1.7-million years old osteosarcoma from Swartkrans Cave, South Africa. *S Afr J Sci.* 2016;112(7/8), Art. #2015-0471, 5 pages. <http://dx.doi.org/10.17159/sajs.2016/20150471>