

# การทำสำเนาดีจิตอล 3 มิติเพื่อการอนุรักษ์ลวดลายปูนปั้นบนสะพานมหาตไทยอุทิศ

## Three - D Digital Copy for the Conservation of Stucco on MaHardThai - Uthit Bridge

คุณยุต เอี่ยมสอาด<sup>1,2</sup> กิตตินาถ วรรณนิสสร<sup>2</sup> วร็ทยา ธรรมกิตติภาพ<sup>3</sup>  
จักรพันธ์ วิลาสินีกุล<sup>4</sup> และ พิเชฐ เขียวประเสริฐ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>2</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>3</sup> ภาควิชาอาชีวศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

<sup>4</sup> ภาควิชาประติมากรรม คณะจิตรกรรม ประติมากรรม และ ภาพพิมพ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้แสดงการนำเทคโนโลยีการสแกน 3 มิติ มาประยุกต์ในการอนุรักษ์ลวดลายปูนปั้นบนสะพานมหาตไทยอุทิศ เครื่องสแกน 3 มิติ 3 ชนิดได้แก่ (ก) เครื่องสแกนแบบ Handheld (ข) เครื่องสแกนแบบ Tripod-mounted Structured Light และ (ค) เครื่องสแกนแบบ LASER ARM ถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อเลือกใช้เครื่องสแกนที่เหมาะสมกับงานลอกลายปูนปั้นประดับสะพานซึ่งเป็นโบราณสถาน จากผลการทดลองพบว่าเครื่องสแกนแบบ LASER 3 มิติ มีความเหมาะสมกับงานนี้ที่สุดเนื่องจากมีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับการลอกลายแบบดั้งเดิมด้วยเรซินและเครื่องสแกนชนิดอื่น หลังจากการทำการสแกนเก็บสำเนาดีจิตอล 3 มิติ แล้วทางผู้วิจัยได้ทดลองการทำซ้ำด้วยเครื่องซีเอ็นซี

### Abstract

Three-D Scanning is adopted in this work in order to conserve the stucco on the Mahardthai-Utit Bridge. Three types of 3-D scanners are tested in order to compare and select the best scanner that fits to this work. (Scanning the stucco on a heritage bridge. From the tests, it is concluded that LASER 3-D Scanner is the best fit to this work among the three's. In addition, the LASER scanning has more advantages over the old resin molding. After the 3-D scanning has been done, the three-D files are tested to check the repeatability of this method.

### Key Words

Three-D Digital Copy, Conservation of Stucco

### 1. บทนำ

ด้วยคุณค่าและความสำคัญประการหนึ่งของโบราณสถาน โบราณวัตถุ คือ ด้านเอกลักษณ์ ที่แสดงถึงการรับรู้ ความเข้าใจถึงที่มา สถานที่ตั้ง ชนชาติ ความเชื่อ

ขนบธรรมเนียมประเพณีและวัฒนธรรมของชุมชนใด ชุมชนหนึ่ง และความสำคัญในด้านวิชาการที่สะท้อนถึงเรื่องราวในอดีตซึ่งเป็นข้อมูลทางประวัติศาสตร์ โบราณคดี สถาปัตยกรรม ศิลปกรรม ซึ่งเป็นเครื่อง

แสดงประวัติความเป็นมาอันเก่าแก่ของชุมชนของประเทศไทย ดั้งนั้น โบราณสถาน โบราณวัตถุจึงเป็นเครื่องแสดงความเป็นมาของประเทศ เป็นเกียรติและความภาคภูมิใจของคนในชาติ เป็นสิ่งที่โยงเหตุการณ์ในอดีตและปัจจุบันเข้าด้วยกัน และเป็นสิ่งที่ใช้อบรมจิตใจของคนในชาติได้ จึงกล่าวได้ว่าโบราณสถาน โบราณวัตถุต่างๆ ในประเทศไทยคือมรดกของประเทศไทยที่สำคัญที่บอกเล่าเรื่องราวประวัติศาสตร์ของชาติทุกยุคสมัย ดังนั้น การดำเนินการในการดูแลรักษามรดกของประเทศจึงเป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการจัดการ สงวนรักษาอนุรักษ์ และพัฒนาให้ถูกต้องเหมาะสม โดยต้องคำนึงถึงความดั้งเดิมของคุณลักษณะต่างๆ เพื่อให้โบราณสถาน โบราณวัตถุเหล่านั้นเป็นมรดกสืบทอดต่อไปถึงอนุชนรุ่นหลัง ตลอดจนเพื่อให้เกิดประโยชน์ด้านเอกลักษณ์ และด้านวิชาการกับชุมชน สังคม และประเทศชาติต่อไป

ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา การดำเนินงานเกี่ยวกับโบราณสถาน โบราณวัตถุยังคงมีปัญหา เนื่องจากการให้ความสนใจหรือการให้ความสำคัญกับมรดกของชาติได้จำกัดอยู่ในวงแคบ ขาดการสนับสนุน หรือส่งเสริมการให้ความรู้แก่ชุมชนอย่างต่อเนื่อง ทำให้ชุมชนขาดความรู้ความเข้าใจในการดูแลรักษาโบราณสถาน โบราณวัตถุ และขาดความตระหนักถึงความสำคัญ รวมถึงไม่กล้าเข้าไปจัดการ ส่งผลให้การจัดการดูแลโบราณสถาน โบราณวัตถุส่วนใหญ่อยู่ในความดูแลของภาครัฐ ในส่วนของภาครัฐเองยังไม่สามารถดำเนินงานได้อย่างเต็มที่ และทั่วถึงด้วยข้อจำกัดทางด้านระยะเวลา บุคลากร และเทคโนโลยีในการดำเนินงานอนุรักษ์ที่ไม่เพียงพอต่อจำนวนโบราณสถานทั้งหมดทั่วประเทศไทย ส่งผลให้การอนุรักษ์โบราณสถาน โบราณวัตถุถูกละเลยจนกล่าวได้ว่าเป็นมรดกเมืองที่ถูกลืมนึก

มรดกเมืองที่ถูกลืมนึกในผลงานประดิษฐ์คิดค้นครั้งนี้ ได้แก่ สะพานมหาดไทยอุทิศ ซึ่งกรมศิลปากรได้ประกาศขึ้นทะเบียนเป็นโบราณสถานสำคัญของชาติโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 92 ตอนที่

61 วันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2518 ความสำคัญของการอนุรักษ์สะพานมหาดไทยอุทิศ ประมวลไว้ดังนี้

สืบเนื่องจากพระปรีชาของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 5 ที่ทรงมีพระราชประสงค์สร้างสรรคกรุงเทพฯ ให้เป็นเมืองที่มีความทันสมัยทัดเทียมกับอารยประเทศ พระองค์ทรงมีพระราชดำริในการวางรากฐานระบบสาธารณสุขโรคและคมนาคมขึ้นในประเทศไทย มีการตัดถนนสำคัญหลายสายในพระนครและการสร้างสะพานข้ามคูคลองหลายแห่งตลอดรัชสมัย ทำให้การคมนาคมระหว่างพื้นที่ภายในเขตพระนคร และการติดต่อเชื่อมโยงพื้นที่รอบนอกเป็นไปได้โดยสะดวก ซึ่งส่งผลให้เกิดการพัฒนาต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน การสร้างถนนและสะพานข้ามคูคลองที่เกิดขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 5 ไม่ได้สร้างเพื่อมุ่งประโยชน์ด้านการคมนาคมแต่เพียงด้านเดียว แต่ทรงมีพระราชดำริในการสร้างสะพานให้เป็นสถาปัตยกรรมที่มีความงดงาม มีคุณค่าทางศิลปะ เป็นสิ่งเชิดหน้าชูตาตั้งเช่นนานาอารยประเทศ กล่าวได้ว่าแนวพระราชโยบายสร้างถนนและสะพานนี้ไม่เพียงแต่เป็นยุทธศาสตร์สำคัญในการพัฒนาประเทศ แต่ยังเป็นการสร้างสัญลักษณ์ที่สื่อความหมายถึงความเจริญของยุคสมัยด้วย

สะพานหลายๆ แห่งที่ถูกสร้างขึ้นนั้นล้วนถูกออกแบบโดยช่างตะวันตก แต่ช่างได้มีการปรับศิลปกรรมแบบตะวันตกให้เข้ากับเอกลักษณ์ไทยได้อย่างกลมกลืน จนมีความงดงามเป็นเอกลักษณ์ของยุคสมัย นับเป็นความแยบยลในการเผยแพร่ศิลปะตามพระราชนิยามให้แก่สาธารณะโดยใช้ศิลปะเข้าไปผสมผสานกับสิ่งปลูกสร้างที่ประชาชนได้พบเห็นอยู่เสมอในชีวิตประจำวัน ลักษณะเด่นที่เห็นได้ชัดเจนของสะพานในยุคสมัยนี้ก็คือ ประติมากรรมและลวดลายปูนปั้นประดับสะพาน ซึ่งนับเป็นงานที่มีคุณค่าทั้งทางศิลปกรรมและทางประวัติศาสตร์ ได้แก่ ประติมากรรมนูนต่ำรูปผู้ชายผู้หญิง และเด็กที่สะพานมหาดไทยอุทิศ หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า “สะพานร้องไห้” ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ราวสะพานมหาตไทยอุทิศ

สะพานมหาตไทยอุทิศตั้งอยู่ใกล้เคียงกับภูเขาทอง วัดสระเกศ และป้อมมหากาฬ เปิดใช้เป็นทางการ เมื่อวันที่ 23 ตุลาคม พ.ศ. 2457 เป็นสะพานของถนนบริพัตร เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย กรุงเทพมหานคร ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นทางเชื่อมข้ามคลองมหานาค ณ จุดบรรจบระหว่างคลองมหานาคกับคลองรอบกรุงหรือคลองโอง่าง-บางลำพู มาเชื่อมกับถนนดำรงรักษ์ และถนนหลานหลวง รวมทั้งถนนราชดำเนิน

การก่อสร้างสะพานมหาตไทยอุทิศเป็นพระราชดำริของสิ้นเกล้ารัชกาลที่ 5 ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อให้การสัญจรไปมาสะดวกขึ้น เนื่องจากบริเวณนี้เป็นที่รวมของถนนหลายสาย แต่ทรงเสด็จสวรรคตเสียก่อน การสร้างสะพานนี้จึงถูกดำเนินต่อไปจนเสร็จ เพื่อเทิดพระเกียรติพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว โดยสมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอกรมพระยาดำรงราชานุภาพ เสนาบดีกระทรวงมหาดไทยร่วมกับข้าราชการของกระทรวงทั่วประเทศร่วมกันบริจาคค่าก่อสร้าง ซึ่งรวมเงินได้ 41,241 บาท 61 สตางค์ มอบให้กรมสุขาภิบาลเป็นผู้สร้าง ลั้นค่าก่อสร้างไปทั้งสิ้น 57,053 บาท 29 สตางค์ พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวโปรดเกล้าให้กรมสุขาภิบาลออกเงินสมทบเป็นค่าก่อสร้างส่วนที่เกิน พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงพระราชทานนามสะพานมหาตไทยอุทิศ และโปรดเกล้าให้กรมสุขาภิบาลทำหุ่นจำลองตัวสะพานไปตั้งถวายในงานถวายพระเพลิงพระบรมศพของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวด้วย

สะพานมหาตไทยอุทิศมีรูปแบบทางสถาปัตยกรรมแบบยุโรปและก่อสร้างตามวิธีสมัยใหม่ กลางราวสะพานด้านขวามีภาพประติมากรรมปูนปั้นที่แสดงในภาพที่ 2 เป็นรูปสตรีอุ้มเด็กในมือมีช่อดอกช่อนกลั่น ด้านซ้ายเป็นรูปผู้ชายยืนจับไหล่ของเด็ก ซึ่งเป็นภาพแสดงถึงความโศกเศร้าอาลัยรำลึกในพระมหากรุณาธิคุณของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวเสด็จพระราชดำเนินประกอบพิธีเปิดสะพานด้วยพระองค์เองในคล้ายวันสวรรคตของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว

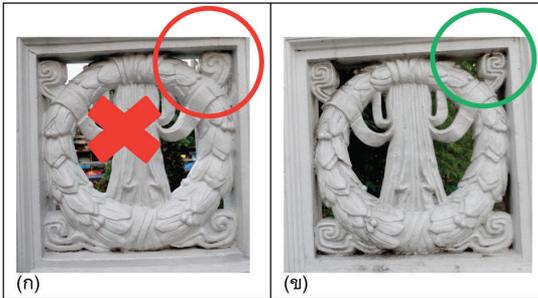


ภาพที่ 2 ประติมากรรมบนสะพานมหาตไทยอุทิศ

ที่มา : <http://www.oknation.net/blog/konto/2008/05/31/entry-1>

ตลอดระยะเวลา 100 ปีที่ผ่านมา สะพานหลายแห่งถูกแก้ไขดัดแปลงไปจากเดิม บางแห่งถูกรื้อทำลายเนื่องจากการขยายช่องทางจราจร ประติมากรรมและลวดลายประดับสะพานจึงถูกทำลายไปด้วย โดยไม่มีการจัดเก็บรักษา บางส่วนถูกย้ายตำแหน่งหรือถูกตัดต่อให้เข้ากับรูปร่างของสะพานที่ถูกปรับขยาย ประติมากรรมและลวดลายประดับสะพานส่วนใหญ่จึงผ่านการซ่อมแซมเนื่องจากความเสียหายและการเสื่อมสภาพของวัสดุตามเวลา แต่การซ่อมแซมหลายครั้งที่ผ่านมามีทำอย่างไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ เช่น การปั้นทับของเดิมโดยช่างที่ขาดทักษะและความชำนาญ การทาสีทับบนปูนจน

ลวดลายลึกร่อน การใช้วัสดุที่แตกต่างจากวัสดุดั้งเดิม ฯลฯ ปัจจุบันลวดลายประติมากรรมเหล่านี้หลายแห่งจึงผิดเพี้ยนไปจากเดิมอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในภาพที่ 3

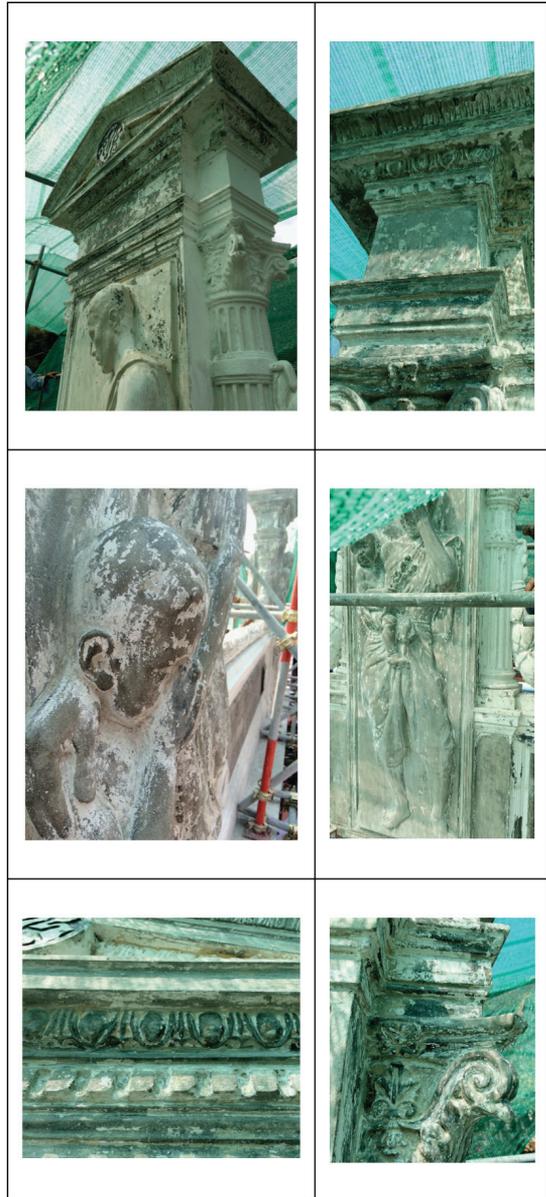


ภาพที่ 3 (ก) ลายที่ถูกซ่อมใหม่จนเสียเค้าโครงเดิม  
(ข) ลายเดิม

ดังนั้น การอนุรักษ์ประติมากรรมปูนปั้นประดับสะพานแนวทางหนึ่งได้แก่ การทำสำเนาดีจิตอล 3 มิติ สามารถจัดเก็บไว้เป็นหลักฐานสำหรับการศึกษาค้นคว้าเชิงประวัติศาสตร์หรือการศึกษาเชิงย้อนรอย และการซ่อมแซมที่ถูกต้องต่อไป การทำสำเนาดีจิตอล 3 มิติ เป็นวิธีการที่ใช้กับมรดกทางวัฒนธรรมที่ตั้งอยู่กลางแจ้ง และ เคลื่อนย้ายไม่ได้ ตัวอย่างที่เห็นผลชัดเจนจากการใช้วิธีการนี้ในประเทศไทยได้แก่ การเก็บสำเนาภาพปูนปั้นรูปพระพุทธรูปประวัติปางเสด็จลงจากดาวดึงส์อยู่ที่ผนังด้านนอกของมณฑป วัดตระพังทอง เมืองสุโขทัยเก่า ปัจจุบันพบว่า งานชิ้นจริงที่ตั้งอยู่กลางแจ้งทรุดโทรมแตกหักเสียหายไปมากเมื่อเทียบกับสำเนาหล่อพลาสติกที่เก็บไว้ในพิพิธภัณฑ์ และอีกตัวอย่างหนึ่ง ที่เห็นได้ชัดเจนในต่างประเทศได้แก่ ประติมากรรมปูนต่ำสร้างในปลายศตวรรษที่ 15 ซึ่งเคยประดับที่โบสถ์แห่งเมืองลือเบค ประเทศเยอรมนี ซึ่งถูกทำลายลงในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 ปัจจุบันคงเหลือแต่งานพลาสติกหล่อถอดแบบที่เก็บรักษาไว้ในพิพิธภัณฑ์วิกตอเรีย แอนด์ อัลเบิร์ต กรุงลอนดอน เป็นต้น [1, 2]

ปัจจุบันการทำสำเนาดีจิตอล 3 มิติถอดแบบจากศิลปกรรมที่อยู่กลางแจ้งสามารถใช้ทั้งวิธีการแบบ

ดั้งเดิมคือ การทำแม่พิมพ์และการหล่อซึ่งเป็นกระบวนการด้านประติมากรรม แต่จากการหล่อด้วยยางพาราและเรซินได้ทำให้สีที่เคลือบและเนื้อปูนสะพานได้หลุดลอก หรือกะเทาะล่อนออกมา ทำให้สะพานได้รับความเสียหายดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ราวสะพานหลังการลอกแบบเรซินออก ที่เกิดการกะเทาะและหลุดล่อนของผิวปูนและสีเดิม

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้คือ (ก) เพื่อทำสำเนาข้อมูลดีจิตอล 3 มิติ เพื่อการอนุรักษ์ลวดลายปูนปั้น (ข) เพื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของเทคโนโลยีการสแกน 3 มิติ เพื่อการอนุรักษ์ลวดลายปูนปั้น

## 2. การเปรียบเทียบเครื่องสแกน

จุดประสงค์ของการสแกน 3 มิติ คือการได้ Cloud points ที่ได้จากการสแกนจุดตัวอย่างบนพื้นผิวซึ่งสามารถประมาณพื้นผิวจริงบนชิ้นงานได้ โดยปกติพื้นผิวที่ประมาณขึ้นนั้นจะถูกนำมาสร้างเป็นแผ่นสามเหลี่ยมต่อกันแทนพื้นผิวจริง ซึ่งความถูกต้องแม่นยำของการประมาณผิวขึ้นอยู่กับจำนวนจุดที่สุ่มตัวอย่างจากผิวชิ้นงาน ถ้าต้องการความถูกต้องแม่นยำสูงจำเป็นต้องทำการสุ่มจำนวนจุดให้เพิ่มมากขึ้น หลักการสแกน 3 มิติ สามารถแยกได้ 2 ประเภทหลัก ได้แก่ การสแกนแบบสัมผัส (Contact) และการสแกนแบบไม่สัมผัส (Non-Contact) การสแกนแบบสัมผัสไม่เหมาะกับงานโบราณสถาน เนื่องจากหัวโพรบ (Probe) ต้องสัมผัสกับผิวชิ้นงานซึ่งอาจจะทำให้ผิวชิ้นงานที่ไปสัมผัสเสียหายจากการแตะได้ นอกจากนี้การใช้หัวโพรบหาจุดจากการสุ่มตัวอย่างบนผิวชิ้นงานแบบทรงอิสระ (Freeform) ค่อนข้างเป็นงานที่ไม่เหมาะกับการทำด้วยมือมนุษย์ เนื่องจากจะทำได้ช้ามาก เพราะจะต้องสุ่มจุดตัวอย่างจำนวนมากถึงจะสามารถประมาณพื้นผิวได้ถูกต้องแม่นยำ

การสแกนแบบไม่สัมผัสสามารถทำได้หลายวิธี

1. ใช้แสงเลเซอร์ยิงไปบนพื้นผิวเพื่อทำการสุ่มจุดตัวอย่างบนพื้นผิวบนชิ้นงาน แล้วใช้เซ็นเซอร์ในการคำนวณระยะจากเลเซอร์ที่สะท้อนกลับมา โดยใช้ความเร็วในการเดินทางของแสงและแปลงมาเป็นพิกัด  $x$ ,  $y$  และ  $z$  ของจุด เครื่องมักจะติดตั้งอยู่บนขาตั้ง Tripod และค่อนข้างจะมีขนาดเทอะทะ แต่การสแกนโดยการหมุนรอบตัวที่ตำแหน่งใดๆ เพียงรอบเดียวสามารถเก็บข้อมูลจุดได้มากกว่าการสแกนชนิดแรก มักจะใช้ในงานที่ใหญ่มากๆ เช่น วิหารทั้งหลาย แต่ไม่ต้องการลายละเอียดหรือลวดลายมากนัก [3, 4]

2. ใช้แสงเลเซอร์ยิงไปบนพื้นผิวเพื่อทำการสุ่มจุดตัวอย่างบนพื้นผิวบนชิ้นงาน แล้วใช้กล้องจับแถบเลเซอร์ และแปลงมาเป็นพิกัด  $x$ ,  $y$  และ  $z$  ของจุดบนแถบเลเซอร์ด้วยวิธี Triangulation เครื่องมักจะมีความปานกลาง และมักจะติดอยู่บน Arm ที่ต่อจากขาตั้ง Tripod การสแกนชนิดนี้สามารถใช้กับวัตถุที่มีขนาดเล็กถึงใหญ่ เมื่อใช้กับวัตถุขนาดใหญ่จะต้องขยับย้ายขาตั้งไปยังตำแหน่งใหม่เรื่อย ๆ

3. การสแกนโดยใช้ Structured Light ขั้นตอนการสแกนด้วยวิธีการนี้จะเริ่มจากการฉายแสงที่เป็นรูปแบบ (Pattern) ไปยังพื้นผิวชิ้นงาน กล้องจะทำหน้าที่จับการบิดเบี้ยวไปของรูปแบบแสงที่ฉายออกไปบนผิววัตถุซึ่งจะเป็นตัวบ่งบอกลักษณะหรือรูปทรงของพื้นผิวชิ้นงานนั่นเอง [5, 6] การสแกนด้วยวิธีนี้ยังสามารถแยกย่อยได้อีก 2 ประเภท ได้แก่

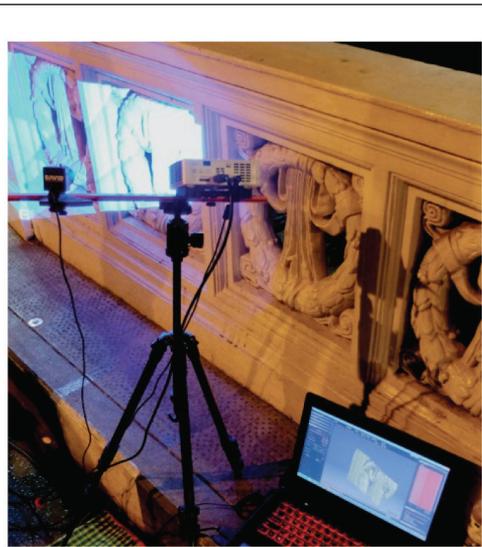
- 3.1 Handheld Structured Light ซึ่งใช้มือถืออุปกรณ์ที่ฉายแสงและรับแสง ดังนั้นเครื่องชนิดนี้ไม่สามารถทำให้ใหญ่ได้ เนื่องจากจะหนักเกินกว่าที่มือจะถือลากไปตามพื้นผิวชิ้นงานได้ ดังนั้นความแม่นยำของการสแกนประเภทนี้จะไม่สูงมากซึ่งอาจจะไม่เหมาะกับการลวดลายละเอียดต่างๆ บนพื้นผิว อย่างไรก็ตามวิธีการสแกนชนิดนี้มีข้อดีคือสแกนได้อย่างต่อเนื่อง

- 3.2 Tripod - Mounted Structured Light เครื่องจะติดอยู่บนขาตั้ง Tripod ดังนั้นจึงต้องย้ายขาตั้งไปเรื่อยๆ จนกว่าจะเก็บรูปทรงได้ครบซึ่งทำให้การสแกนไม่สะดวก ถ้าต้องการเปลี่ยนระดับความสูงระหว่างการสแกน

ในงานวิจัยครั้งนี้มีการเปรียบเทียบการสแกน 3 ชนิด ได้แก่ ก) Handheld Structured Light Scanning (ภาพที่ 5) มีข้อดีคือสแกนได้ต่อเนื่อง เพราะไม่ต้องใช้ขาตั้ง ข) Tripod-Mounted Structured Light Scanning (ภาพที่ 6) มีความสามารถในการสแกนได้ดี แต่ข้อเสียคือสแกนไม่ต่อเนื่อง เพราะต้องขยับขาตั้งไปเรื่อยๆ และ ค) LASER Arm Scanning (ภาพที่ 7) มีข้อดีคือสแกนได้ละเอียดและเร็ว เพราะสแกนได้ต่อเนื่อง แต่เมื่อสุดความยาวของแขน Arm ต้องย้ายขาตั้งทีหนึ่ง



ภาพที่ 5 Handheld Structured Light

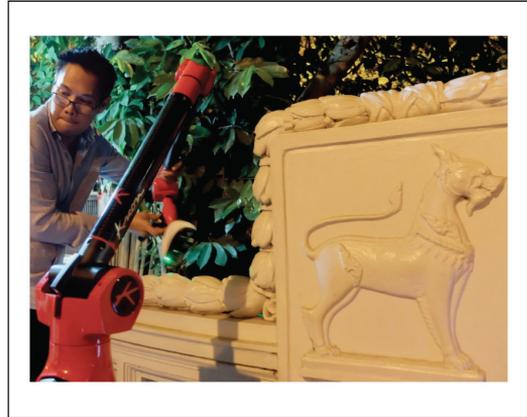


(ก)



(ข)

ภาพที่ 6 Tripod-Mounted Structured Light



ภาพที่ 7 LASER Arm Scanning

ชิ้นส่วนของลวดลายสะพานที่นำมาเป็นตัวทดสอบความสามารถในการลอกลายสะพานของเครื่องสแกนทั้ง 3 ชนิด คือราชสีห์หรือสิงห์ 3 ขวัญ เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่มีรายละเอียดมากที่สุด โดยเฉพาะลายที่เป็นขวัญ 3 ขวัญของลำตัวราชสีห์ จากภาพที่ 8 จะเห็นว่าเครื่อง Handheld ไม่สามารถเก็บลวดลายที่เป็นขวัญ 3 ขวัญของลำตัวราชสีห์ได้ และผิวชิ้นงานที่เก็บได้มีความหยาบผิว และผิดเพี้ยนจากความเป็นจริงค่อนข้างมาก



ภาพที่ 8 ราชสีห์ที่สแกนได้จาก Handheld

แต่เมื่อใช้เครื่องสแกนแบบ Tripod-mounted Structure Light ดังแสดงในภาพที่ 9 จะเห็นว่าสามารถเก็บรายละเอียดได้ครบทั้ง 3 ขั้วมุมแต่ยังไม่ชัดเจนมากนัก เมื่อนำไฟล์ 3 มิติที่สแกนได้ไปเปรียบเทียบกับไฟล์ 3 มิติที่สแกนได้จากเครื่องสแกนแบบ LASER ซึ่งแสดงในภาพที่ 10

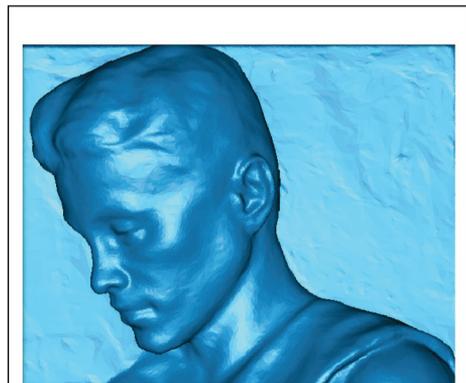


ภาพที่ 9 ราชสีห์สแกนได้จาก Tripod-mounted

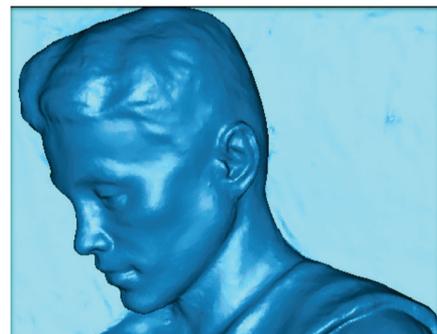


ภาพที่ 10 ราชสีห์สแกนได้จาก LASER

จากภาพที่ 11 จะเห็นได้ว่าพื้นผิวหน้าผู้ใหญ่ที่ได้จากเครื่อง Handheld ดังแสดงในภาพที่ 11 (ก) มีความหยาบมากกว่าพื้นผิวหน้าผู้ใหญ่ที่ได้จากเครื่อง LASER ดังแสดงในภาพที่ 11 (ข) เนื่องจากยังคงมองเห็นเป็นพื้นผิวสามเหลี่ยม (Polygon Surface) ได้อย่างชัดเจนในภาพที่ 11 (ก)



(ก)



(ข)

ภาพที่ 11 ไฟล์ 3 มิติหน้าผู้ใหญ่

(ก) สแกนได้จาก Handheld

(ข) สแกนได้จาก LASER

เมื่อเปรียบเทียบการสแกนทั้งสามชนิดดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า Tripod-mounted Structured Light Scanning มีข้อดี (คะแนน) ใกล้เคียงกับ LASER Scanning แต่สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงเป็นอันดับต้นคือความละเอียดและความถูกต้องของชิ้นงานที่สแกนได้ ทำให้ LASER Scan มีข้อได้เปรียบกว่า Tripod-mounted

Structured Light Scanning ส่วน Handheld Structured Light Scanning จะสะดวกกับงานที่ต้องการแต่รูปทรง และไม่ต้องความละเอียดของลวดลายที่อยู่บนรูปทรง ซึ่งไม่เหมาะนำมาใช้เพื่อการอนุรักษ์ลวดลาย เนื่องจากพื้นผิวจากการสแกนมี Noise และ Spike ที่มาก และจัดการไฟล์ต้นฉบับได้ยาก

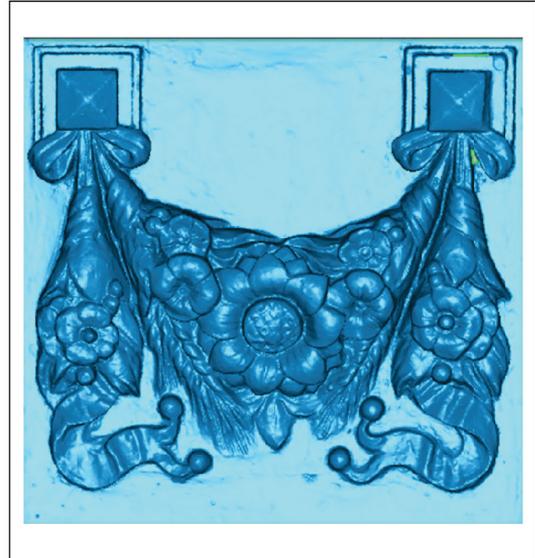
### ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบสแกนทั้งสามชนิด

ชนิด	Handheld ภาพที่ 8	Tripod- mounted ภาพที่ 9	LASER ภาพที่ 10
ขนาดของเครื่อง	3	3	2
การเคลื่อนย้าย	3	2	1
ความถูกต้อง (Accuracy)	1	2	2
ความเร็วในการสแกน	2	1	2
ความต่อเนื่องของสแกน	3	2	3
Lighting Conditions (Ambient, Environment)	1	1	2
Noise, Spike	1	2	3
ความปลอดภัย	3	3	3
ความหลากหลายของ ขนาดชิ้นงานที่สแกนได้	1	2	3
ความสามารถในการ เก็บสีของชิ้นงานได้	2	3	1
สามารถแก้ไขไฟล์ได้ใน ภายหลัง (Merge File)	1	3	3
รวม	22	24	26

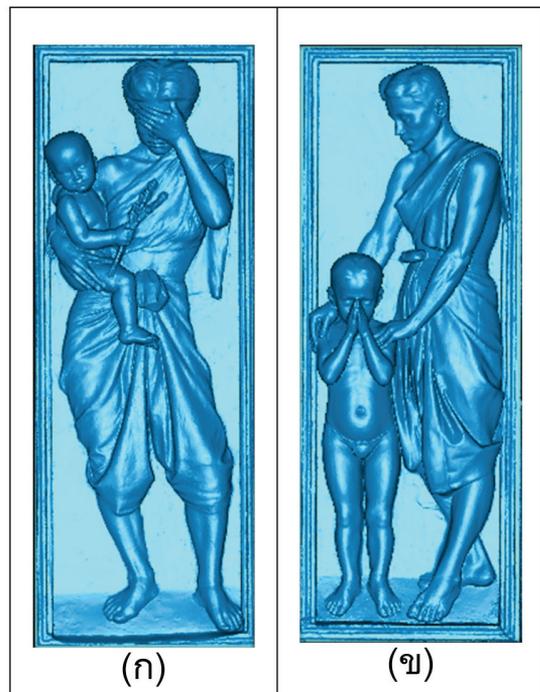
หมายเหตุ: 3 = ดีมาก, 2 = ดี, 1 = ไม่ดี,

### 3. การสแกนลวดลายปูนปั้น

หลังจากการเปรียบเทียบเครื่องสแกนทั้ง 3 ชนิด คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้เครื่อง LASER Scan เป็นตัวหลักในการสแกนเก็บข้อมูลดิจิทัลของพื้นผิว 3 มิติของลวดลายปูนปั้นซึ่งได้แสดงไว้ในภาพที่ 12 - 15



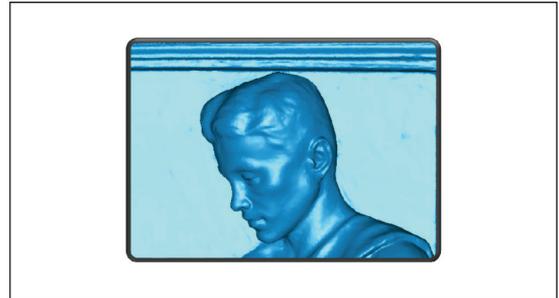
ภาพที่ 12 อุบะสแกนได้จาก LASER



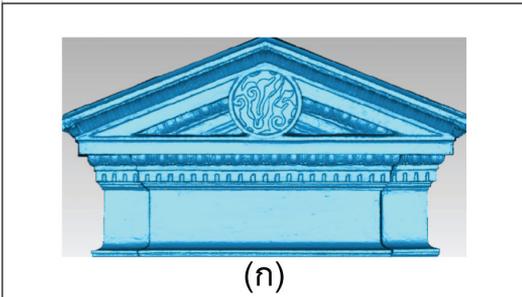
ภาพที่ 13 ผู้ใหญ่และเด็กสแกนได้จาก LASER



ภาพที่ 14 แผ่นป้ายบอกชื่อสะพานสแกนได้จาก LASER



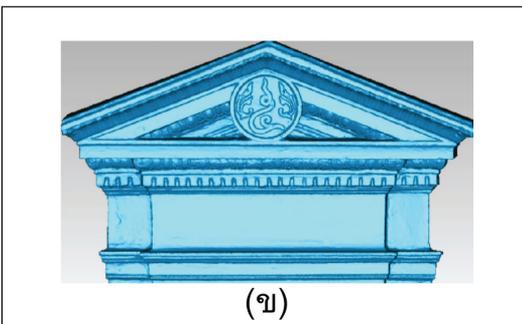
ภาพที่ 17 หน้าคนจูงเด็กสแกนได้จาก LASER



(ก)



ภาพที่ 18 ลำตัวคนอุ้มเด็กสแกนได้จาก LASER

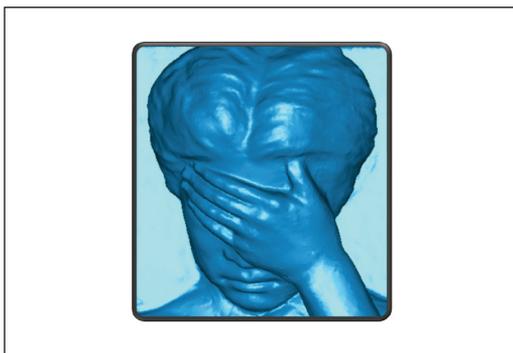


(ข)

ภาพที่ 15 หลังคาสแกนได้จาก LASER จะเห็นได้น่าชัดเจกว่าเครื่องสแกน LASER สามารถเก็บรายละเอียดพื้นผิวของลวดลายปูนปั้นได้ดีมาก ดังที่ขยายให้เห็นในภาพที่ 16-19

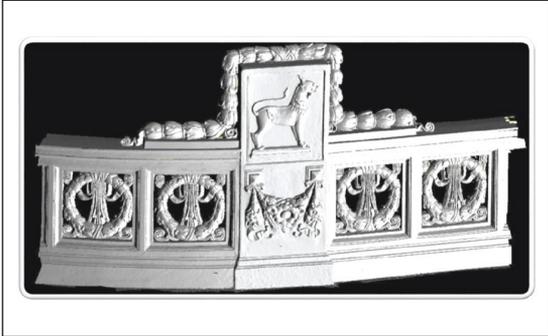


ภาพที่ 19 ลำตัวคนจูงเด็กสแกนได้จาก LASER



ภาพที่ 16 หน้าคนร้องไห้สแกนได้จาก LASER

เมื่อสแกนแต่ละส่วนเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้นำชิ้นส่วนย่อยๆ มาต่อเรียงกันเป็นชิ้นประกอบที่ใหญ่ขึ้น เพื่อแสดงเค้าโครงสร้างสะพานดังแสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ชิ้นประกอบจากไฟล์สแกนย่อย

#### 4. ทดสอบการทำซ้ำด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี

เมื่อได้ไฟล์พื้นผิวของชิ้นงานแล้ว เครื่องกัด CNC ถูกนำมาทดสอบการขึ้นรูปใหม่ (Reproduction) ดังแสดงในภาพที่ 21-27



ภาพที่ 21 การกัดโม่เป็นรูปมัลย์



ภาพที่ 22 โม่กัดเป็นรูปราชสีห์



ภาพที่ 23 โม่กัดเป็นรูปอุบะ



ภาพที่ 24 การกัดโม่เป็นรูปคนร้องไห้



ภาพที่ 25 การกัดโฟมเป็นรูปเด็กพนมมือ



ภาพที่ 26 เมื่อนำโฟมรูปคนมาต่อกัน



ภาพที่ 27 เมื่อนำโฟมรูปหลังคามมาต่อกัน

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้แสดงการนำเทคโนโลยีการสแกน 3 มิติ มาประยุกต์ใช้ในงานประติมากรรมเพื่ออนุรักษ์ลวดลายปูนปั้นบนสะพานมหาตไทยอุทิศ ซึ่งการสแกน 3 มิตินี้มีข้อดีหลายประการ เมื่อเทียบกับการลอกลายแบบดั้งเดิมด้วยเรซินได้แก่ (ก) ไม่ต้องสัมผัสผิวลวดลายจึงไม่ทำให้สะพานเสียหาย (ข) เก็บรูปทรงและลวดลายได้คมชัดกว่าวิธีลอกลายแบบปัจจุบัน (ค) ผลงานประดิษฐ์คิดค้นเป็นวิธีการสร้างฐานข้อมูลดิจิตอลแบบ 3 มิติ (3D Database) ของรูปทรงและลวดลายโบราณสถานต่างๆ ซึ่งกรณีสะพานมหาตไทยอุทิศนี้เป็นกรณีศึกษา ซึ่งทำให้ประหยัด

เนื้อที่ในการเก็บและบำรุงรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับแบบปูนปั้น (ง) สามารถสร้างแบบจำลองโบราณสถานต่างๆ ได้จากฐานข้อมูลดิจิตอลแบบ 3 มิติได้ง่าย (จ) สามารถใช้ฐานข้อมูลดิจิตอลแบบ 3 มิตินี้เป็นต้นแบบเพื่ออ้างอิงในการซ่อมแซมโบราณสถานต่างๆ ในอนาคตได้ (ฉ) สามารถใช้ฐานข้อมูลดิจิตอลแบบ 3 มิติให้นำลวดลายบางส่วนไปใช้ในการสร้างงานใหม่ๆ ได้ (ซ) สามารถทำซ้ำได้ง่าย

เครื่องสแกน 3 มิติ 3 ชนิดได้ถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อเลือกใช้เครื่องสแกนที่เหมาะสมกับงานลอกลายปูนปั้น ซึ่งสรุปได้ว่าเครื่องสแกนแบบ LASER มีความเหมาะสมกับงานนี้ที่สุดเนื่องจากมีข้อดีดังนี้ (ก) เก็บรายละเอียดผิวชิ้นงานได้ดีเยี่ยม (ข) ความเร็วในการสแกนสูงมาก และ(ค) เข้ามุมแคบๆ ได้ดี อย่างไรก็ตามเครื่องสแกนชนิดนี้มีราคาค่อนข้างสูง และต้องย้ายตำแหน่ง Arm เมื่อสุตรระยะแขน

แม้ว่าเครื่องสแกนแบบ Tripod-mounted Structured Light เป็นเครื่องสแกนที่ไม่ได้ถูกเลือกใช้ในงานนี้ เนื่องจาก (ก) ต้องย้ายและเปลี่ยนขนาด Tripod บ่อยๆ (ข) ต้องมีการ Calibrate กล้องก่อนการใช้งาน และ (ค) สแกนได้ช้า แต่เครื่องสแกนแบบ Tripod-mounted Structured Light ก็มีข้อดีตรงที่ (ก) ราคาถูก (ข) เก็บรายละเอียดผิวชิ้นงานได้ดี และ (ค) ถ่ายภาพได้ทำให้เก็บสีผิวชิ้นงานได้ด้วย

เครื่องสแกนแบบ Handheld ที่ได้ทดสอบ และพบข้อดีได้แก่ (ก) ราคาพอสมควร ไม่แพงมากเกินไป และ (ข) มีความคล่องตัว และ เคลื่อนย้ายตำแหน่งได้ง่าย อย่างไรก็ตามเครื่องสแกนชนิดนี้ไม่ถูกเลือกใช้ เนื่องจาก (ก) เก็บรายละเอียดผิวได้ไม่ดี และ (ข) เข้ามุมแคบไม่ได้เพราะต้องทิ้งระยะระหว่างเครื่องและชิ้นงาน

### กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะจิตรกรรม ประติมากรรม และภาพพิมพ์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ให้โอกาสและสนับสนุนทุนในการทำวิจัย และขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สมาคมนิสิตเก่าคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รวมทั้งภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือและสนับสนุนทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Naai-J.S., Huey-J.W., Chen Y.L. and Chai-Y.L.. 2007. 3D scan for the digital preservation of a historical temple in Taiwan, Advances in Engineering Software Volume 38, Issue 7, July 2007, pp. 501–512
- [2] English Heritage, 3D Laser Scanning for Heritage, Published October 2011, English Heritage Publishing
- [3] Lee J.J. 2013. 5 Ways Smithsonian Uses 3-D Scanning to Open Up History, SEPTEMBER 05, National Geographic
- [4] Factum Arte, 3D scanning for Cultural Heritage Conservation, [cited 2015 Jan 2], Available from : <http://www.factum-arte.com/pag/701/3D-Scanning-for-Cultural-Heritage-Conservation>
- [5] Accurex. Using 3D (White Light) scanners to uncover details from the past, [cited 2014 Dec 15], Available from : <http://www.accurexmeasure.com/cultural-heritage-and-arts-3d-scanning.htm>
- [6] Wachowiak M J, and Basiliki V R.2009. 3D Scanning and Replication for Museum and Cultural Heritage Applications, JAIC 48 , pp. 141–158