

ศึกษาผลกระทบของสีชิ้นงานต่อการสร้างรูปทรง 3 มิติ โดยใช้

เลเซอร์สแกนเนอร์อาร์มซีเอ็มเอ็ม

A Study the Effect of Workpiece Color on 3D Reconstruction Using
3D Laser Scanner Articulated Arm Coordinate
Measuring Machine (AACMM)ดร.สิริวรรณ บริพัตรโกศล (Dr.Siriwan Boripatkosol)^{1*} ดร.ณัฐพล บุญอึ้ง (Dr.Natthaphon Bun-Athuek)*

(Received: May 28, 2024; Revised: September 1, 2025; Accepted: September 18, 2024)

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาผลการวัดด้านมิติจากการรีคอนสตรัคข้อมูลที่ได้จากเลเซอร์สแกนเนอร์อาร์มซีเอ็มเอ็ม (AACMM) โดยทำการวัดชิ้นงานที่มีรูปทรงเหมือนกันสองชิ้น สีขาวและสีดำ มีลักษณะเป็นขั้นบันได มีระยะความสูงแต่ละขั้น 0.05-8 มม. นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลจากเครื่องวัดสามแกนแบบหัวสัมผัสที่มีความแม่นยำที่ระดับ 1.7 ไมโครเมตร ผลการวัดที่ได้จากเลเซอร์สแกนเนอร์อาร์มซีเอ็มเอ็ม (AACMM) พบว่า ชิ้นงานสีดำมีขนาดต่างจากค่าชิ้นงานจริง 0.005 – 0.025 มม. และ ชิ้นงานสีขาวมีขนาดต่างจากค่าชิ้นงานจริง 0.035 – 0.055 มม. จากผลการศึกษาพบว่า สีของชิ้นงานมีผลอย่างมากต่อผลการวัดที่ได้ คือ ชิ้นงานสีขาวมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าชิ้นงานสีดำประมาณ 0.03 มม. และคลาดเคลื่อนจากขนาดชิ้นงานจริงถึง 0.055 มม.

ABSTRACT

This article introduces the study on the distance of 3D reconstruction using 3D laser scanner Articulated Arm Coordinate Measuring Machine (AACMM). Measuring two identically shaped workpieces. The white and black are stepped, with each step having a height of 0.05-8mm. The results were compared with the results of a coordinate measuring machine (CMM) with an accuracy of 1.7 micrometers. The results were obtained from (AACMM) found that black workpieces had sizes different from the actual workpiece values by 0.005 - 0.025 mm. and white workpieces had sizes different from the actual workpiece values by 0.035 - 0.055 mm. According to this study, the color of the workpiece has a significant impact on the measurement results. The white workpiece has approximately a tolerance of 0.03 mm. more than the black workpiece and is 0.055 mm. from the actual workpiece size.

คำสำคัญ: การสร้างภาพสามมิติ เครื่องวัดสามแกน เครื่องสแกนสามมิติ

Keywords: 3D reconstruction, CMM, 3D laser scanner

¹Corresponding author: siriwan.b@cit.kmutnb.ac.th

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ

Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's
University of Technology North Bangkok

บทนำ

เทคโนโลยีการวัดในปัจจุบันมีส่วนสำคัญอย่างมากในการพัฒนาอุตสาหกรรมการผลิตในประเทศไทย ทั้งชิ้นส่วนขนาดเล็กระดับไมโครเมตรในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และชิ้นส่วนขนาดกลางในอุตสาหกรรมยานยนต์และเครื่องจักรกล

เทคนิคการวัดเบื้องต้นแบ่งการวัดผิว 3 มิติ เป็น การวัดแบบสัมผัสชิ้นงาน และการวัดแบบไม่สัมผัสชิ้นงาน การวัดแบบสัมผัสจะได้ผลลัพธ์ที่แม่นยำสูง แต่มีข้อเสียคือใช้เวลามากในการวัดชิ้นงานรวมถึงการเตรียมชิ้นงานเพื่อให้หัววัดสัมผัสกับชิ้นงานได้ทุกจุดโดยไม่เคลื่อนที่ชิ้นงาน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ละเอียดอ่อน ต้องการผู้วัดที่มีความชำนาญ และต้องใช้พื้นที่ในการทำงานเพิ่มขึ้น ด้วยข้อจำกัดนี้ การวัดแบบไม่สัมผัสจึงได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้น เนื่องจากมีความรวดเร็วในการขึ้นรูปชิ้นงานสามมิติ รวมถึงความคล่องตัวของขนาดเครื่องมือวัด จึงทำให้การสร้างรูปทรงสามมิติด้วยการวัดแบบไม่สัมผัสถูกพัฒนาและนำมาใช้งานในด้านต่างๆมากขึ้น ทางแพทย์ [1] ใช้สแกนเนอร์สามมิติแบบมือถือ (3D scanner handheld) ดึงข้อมูลโครงสร้างพื้นผิวของแผลเพื่อช่วยเหลือเหยื่อที่ถูกไฟไหม้ สแกนเนอร์สามมิติยังทำให้แพทย์สามารถวางแผนและออกแบบการผ่าตัดบนโปรแกรมจำลองเพื่อลดระยะเวลาและจำนวนครั้งในการผ่าตัด [2-3] รวมถึงการใช้งานร่วมกับเครื่องพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติ ในการสร้างเปลือกป้องกันการสัมผัสผิวของผู้ป่วยที่มีอาการเจ็บปวดทางระบบประสาทเมื่อถูกการสัมผัส [4] ด้วยเทคโนโลยีในการเก็บข้อมูล ขนาดและราคา ยังทำให้สแกนเนอร์สามมิติเหมาะกับงานด้านสถาปัตยกรรม สำหรับการอนุรักษ์และฟื้นฟูมรดกทางวัฒนธรรมอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ดูการทรุดตัวของอาคาร [5] จัดทำเอกสารทางสถาปัตยกรรมสามมิติ และงานด้านการบูรณะซ่อมแซม [6-7]

นอกจากนี้ การสแกนแบบสามมิติยังถูกใช้อย่างกว้างขวางในงานทางด้านวิศวกรรม [8-9] โดยเมื่อทำงานร่วมกับโปรแกรมเขียนแบบ [10] ทำให้วิศวกรรมย่อยรอยมีความแม่นยำมากขึ้น เหมาะกับการสร้างชิ้นส่วนเครื่องจักรต่างๆที่หาซื้อไม่ได้เนื่องจากการผลิต หรือชิ้นส่วนที่มีรูปทรงอิสระยากต่อการวัดด้วยมือ (Manual) [11] การใช้ข้อมูลจากการสแกนสามมิติมาทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของพื้นผิว และการสึกหรบของเครื่องมือ [12] ทำให้สามารถวิเคราะห์อายุการใช้งานของเครื่องมือได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

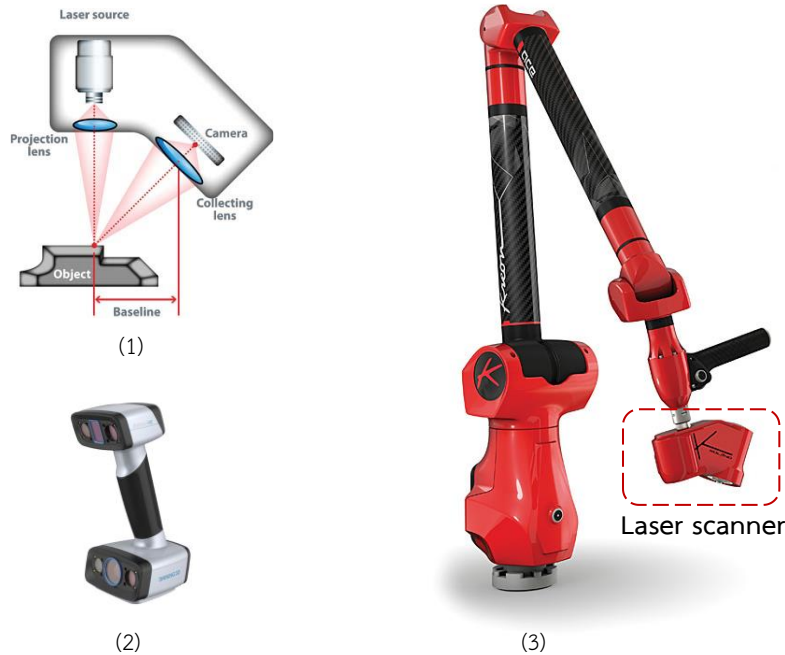
ทางด้านการพัฒนาผลลัพธ์ที่ได้จากเลเซอร์สแกน หัวและคณะ [13] นำเสนอระบบการสแกนสามมิติแบบเคลื่อนที่ตามจุดกำหนดที่ทราบพิกัด เพื่อสร้างความสัมพันธ์ในการเชื่อมต่อข้อมูล อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จะส่งผลดีต่อลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่วัดได้ง่ายเท่านั้น ชิและคณะ [14] เสนอวิธีการวัดด้วยเลเซอร์สแกนสามมิติโดยใช้เครื่องติดตาม [15] หลักการคือในระหว่างการวัด ตัวติดตามอยู่กับที่และเลเซอร์สแกนเคลื่อนที่เพื่อวัดส่วนหนึ่งของวัตถุขนาดใหญ่ ในขณะเดียวกัน ไฟแอลอีดีจะถูกติดตามเพื่อคำนวณท่าทางของหัวสแกน อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ไฟแอลอีดีถูกบัง อาจทำให้ข้อมูลผิดพลาดและทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เจียงและคณะ [16] เสนอวิธีการสอบเทียบระบบเพื่อลดข้อผิดพลาดในการวัดที่เกิดจากความแตกต่างของสเกล ซึ่งเหมาะสำหรับระบบการวัดแบบรวมที่มีสเกลและช่วงต่างกัน

ทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลมีความต้องการให้การวัดอยู่ในไลน์การผลิต เพื่อลดการเคลื่อนที่ลดระยะเวลาและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน เลเซอร์สแกนเนอร์อาร์เอ็มซีเอ็มเอ็ม (AACMM) ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เพราะมีข้อดีที่ความรวดเร็วและคล่องตัวสำหรับผู้ปฏิบัติงาน แต่ยังมีค่าความแม่นยำ ที่ต่ำกว่าการวัดแบบสัมผัสแบบเดิมอยู่ จึงทำให้ยังไม่ได้รับการยอมรับในขั้นตอนการผลิตที่มีความต้องการค่าความแม่นยำสูง ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาความถูกต้องและความแม่นยำ (Accuracy) ของผลการวัดที่ได้จากเลเซอร์สแกนเนอร์อาร์เอ็มซีเอ็มเอ็ม โดยทำการสแกนวัดชิ้นงานชิ้นนั้นได้ เพื่อการสร้างรูปทรงสามมิติ และนำผลไปเปรียบเทียบกับเครื่องวัดสามแกนแบบสัมผัส

เครื่องมือและวิธีการ

เลเซอร์สแกนเนอร์อาร์เอ็มซีเอ็มเอ็ม

หากกล่าวถึง เครื่องสแกนภาพสามมิติ ความหมายภาพรวมคือเครื่องเก็บข้อมูลสามมิติ จากวัตถุ โมเดล สิ่งของ หรือคน โดยการปล่อยแสง เช่น แสงไฟแอลอีดี แสงเลเซอร์ หรือแสงอินฟราเรด เพื่อให้ไปกระทบกับวัตถุ จากนั้นทำการเก็บข้อมูล ดังภาพที่ 1(1) ผลที่ได้จากกล้องเป็นไฟล์สามมิติในรูปแบบของกลุ่มข้อมูลแบบจุด แล้วนำข้อมูลมาเชื่อมต่อกันเพื่อนำไปเข้าโปรแกรมที่สามารถจัดการปรับแต่งรูปทรงสำหรับการพิมพ์ขึ้นรูปชิ้นงานหรือส่งออกไฟล์ไปยังโปรแกรมขั้นสูงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์งานทางด้านวิศวกรรม

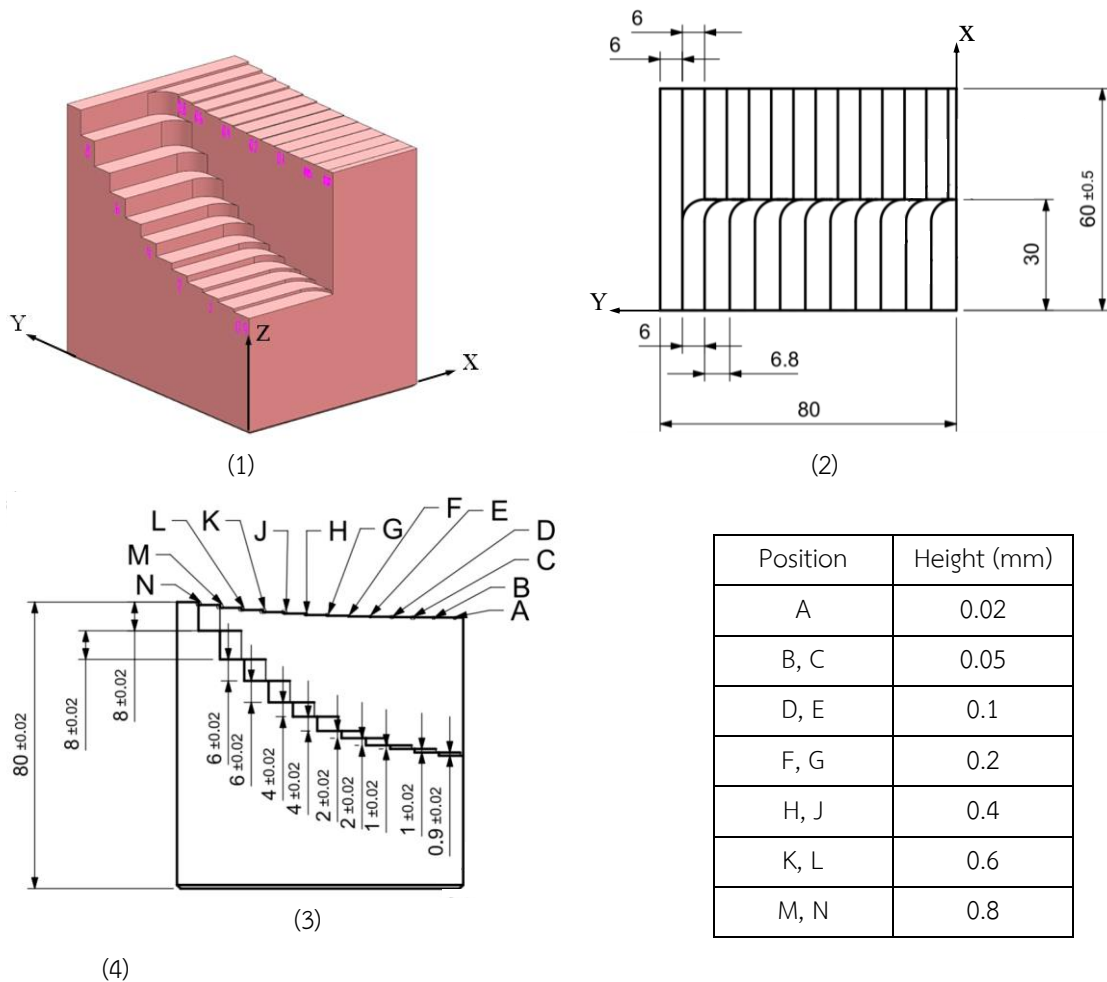


ภาพที่ 1 เลเซอร์สแกนเนอร์ (1) หลักการของเลเซอร์สแกนเนอร์ [17] (2) เลเซอร์สแกนเนอร์แบบมือถือ (3) เลเซอร์สแกนเนอร์อาร์เอ็มซีเอ็มเอ็ม (AACMM)

เลเซอร์สแกนเนอร์ คือ เครื่องสแกนภาพสามมิติที่ใช้เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดของแสง มีความเข้มข้นของแสงมากสามารถรองรับการสแกนในหลากหลายพื้นผิว รวมถึงในพื้นที่แจ้ง นิยมใช้แบบมือถือ ภาพที่ 1(2) เพราะง่ายและสะดวกในการใช้งาน รวมถึงราคาที่จับต้องได้ แต่มีข้อเสียคือต้องติดมาร์กเกอร์บนผิวชิ้นงานเพื่อการอ้างอิงตำแหน่ง ซึ่งต่างจากเลเซอร์สแกนเนอร์อาร์เอ็มซีเอ็มเอ็ม ภาพที่ 1(3) ที่ไม่ต้องติดมาร์กเกอร์เนื่องจากหัวสแกนติดตั้งกับอาร์ม ทำให้ซอฟต์แวร์ทราบตำแหน่งของหัวสแกนจากมอเตอร์เซอร์โวที่เชื่อมต่อแต่ละจุด จึงเป็นระบบที่มีความแม่นยำสูง

ชิ้นงาน

ทำการใส่ชิ้นรูป (machine) ชิ้นงาน 2 ชิ้น จากขนาดกำหนดเดียวกัน ดังภาพที่ 2 เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการวัดที่ได้จากเลเซอร์สแกนเนอร์อาร์เอ็มซีเอ็มเอ็มกับเครื่องวัดสามแกนแบบสัมผัส โดยมีชิ้นงานสีขาวและสีดำ เพื่อทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากการสะท้อนแสงของผิววัตถุที่มีสีต่างกัน



ภาพที่ 2 ชิ้นงาน (หน่วย : มม.) (1) ภาพ 3 มิติของชิ้นงาน (2) ภาพฉายด้านบน (3-4) ภาพฉายด้านหน้า และความสูงที่ตำแหน่ง A-N

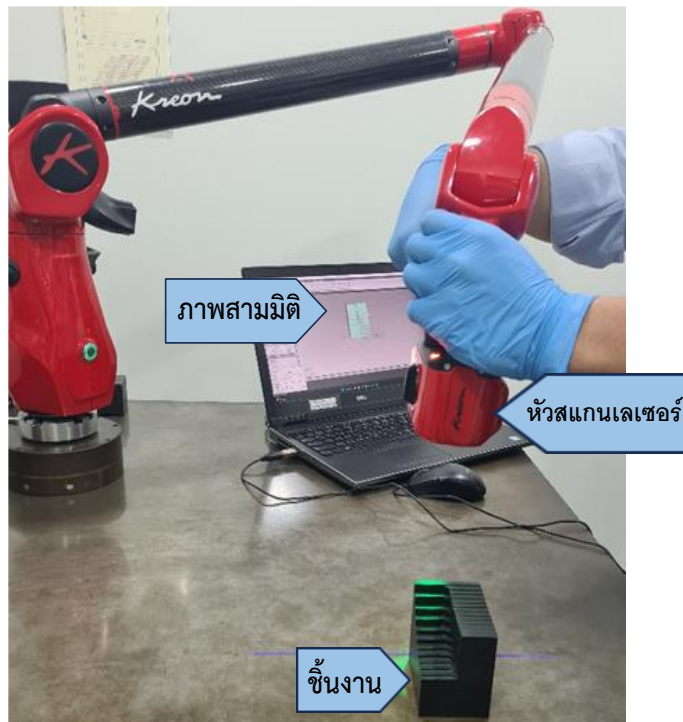
ลักษณะชิ้นงานเป็นขั้นบันได โดยที่ระยะความสูงของแต่ละชั้นทางด้านขวาของชิ้นงานอยู่ในช่วง 0.02–0.8 มม. ดังภาพที่ 2 ซึ่งเป็นระยะทั่วไปของพิสัยความเผื่อชิ้นงานทางด้านเครื่องกล และระยะห่างในแต่ละชั้นของชิ้นงานทางด้านซ้ายอยู่ในช่วง 0.9–8 มม. ซึ่งเป็นระยะทั่วไปของรูปทรงชิ้นงาน

การวัดชิ้นงานด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์อาร์มีซีเอ็มเอ็ม มีขั้นตอนดังต่อไปนี้



ภาพที่ 3 ชิ้นงานหลังการพ่นสเปรย์แบ่ง พร้อมสำหรับการวัดด้วยเครื่องวัดแบบไม่สัมผัส

เตรียมชิ้นงานโดยการทำความสะอาดผิว และพ่นด้วยสเปรย์แป้งให้ทั่วทั้งชิ้นงานเพื่อช่วยลดการสะท้อนและช่วยให้เครื่องสามารถเห็นผิวของชิ้นงานได้ชัดเจนระหว่างการเก็บข้อมูล รอชิ้นงานแห้ง แล้วนำชิ้นงานบนโต๊ะแกรนิต ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 4 การวัดชิ้นงานด้วยวิธีสแกนรอบๆผิวชิ้นงานแบบไม่สัมผัส

สแกนชิ้นงานให้ทั่ว จนกระทั่งผิวของชิ้นงานที่หน้าจอโปรแกรมเต็มทุกพื้นที่ ดังภาพที่ 4

ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Zenith ในการหาค่าพิกัดต่างๆ ของชิ้นงานที่ถูกสร้างขึ้น โดยดึงพิกัดความสูงค่า Z แต่ละชั้นทางด้านซ้าย ขึ้นละ 3 ครั้ง ที่ตำแหน่ง $X = 13, 15, 17$ มม. ตามลำดับ และที่ตำแหน่ง $X = 43, 45, 47$ มม. สำหรับชิ้นงานด้านขวามือ ทำเหมือนกันทั้งชิ้นงานสีดำและสีขาว

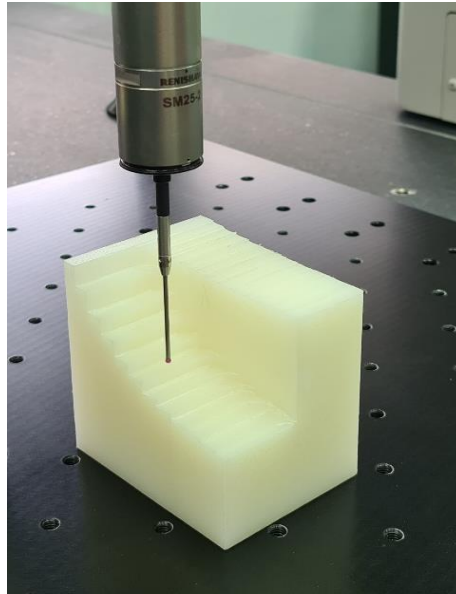
การวัดชิ้นงานด้วยเครื่องวัดสามแกนแบบสัมผัส มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

เตรียมชิ้นงานโดยการทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ เช็ดซ้ำด้วยผ้าขาวม้า แล้ววางชิ้นงานบนแกรนิต

เตรียมเครื่องวัดสามแกน โดยทำความสะอาดโต๊ะแกรนิต และสอบเทียบหัววัด โดยใช้หัววัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มม. จากนั้นทำการสร้างระบบแกน (x, y, z) โดยให้จุด origin (0, 0, 0) อยู่ที่ด้านล่างของชิ้นงาน ดังภาพที่ 2(1)

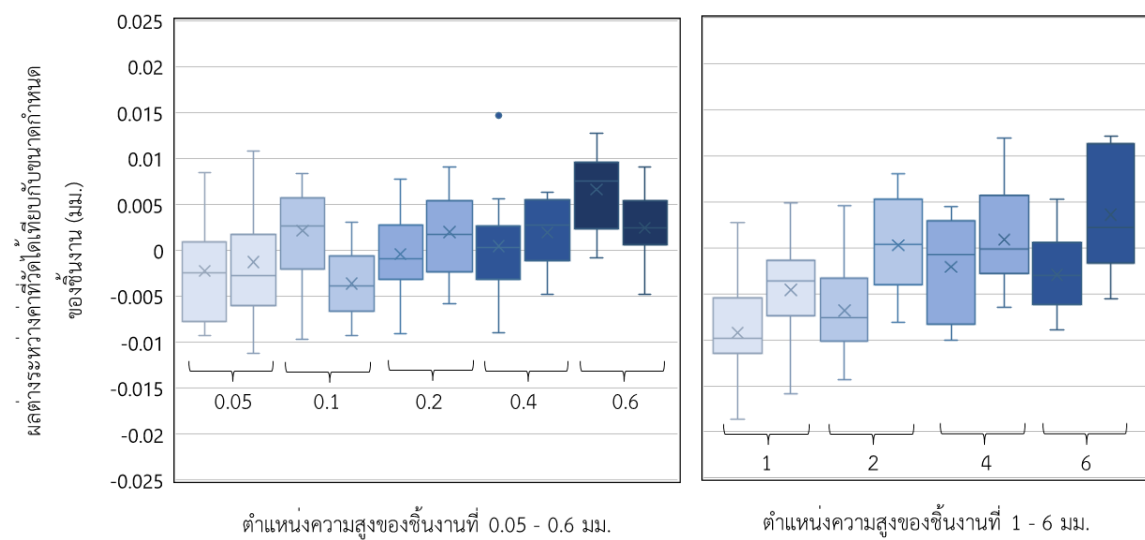
นำหัววัดแตะทีละชั้นของชิ้นงาน โดยลือคตำแหน่งแกน Y ที่กึ่งกลางของแต่ละชั้น แล้วเก็บค่าความสูง Z ทั้งหมด 20 จุด ในช่วง X ตั้งแต่ 13-17 มม. สำหรับชิ้นงานด้านซ้ายมือ และในช่วง X ตั้งแต่ 43-47 มม. สำหรับชิ้นงานด้านขวามือ ทำเหมือนกันทั้งชิ้นงานสีดำและสีขาว

คำนวณหาความสูงของชิ้นงานแต่ละชั้น และแสดงผลในรูปแบบของ Box and Whisker

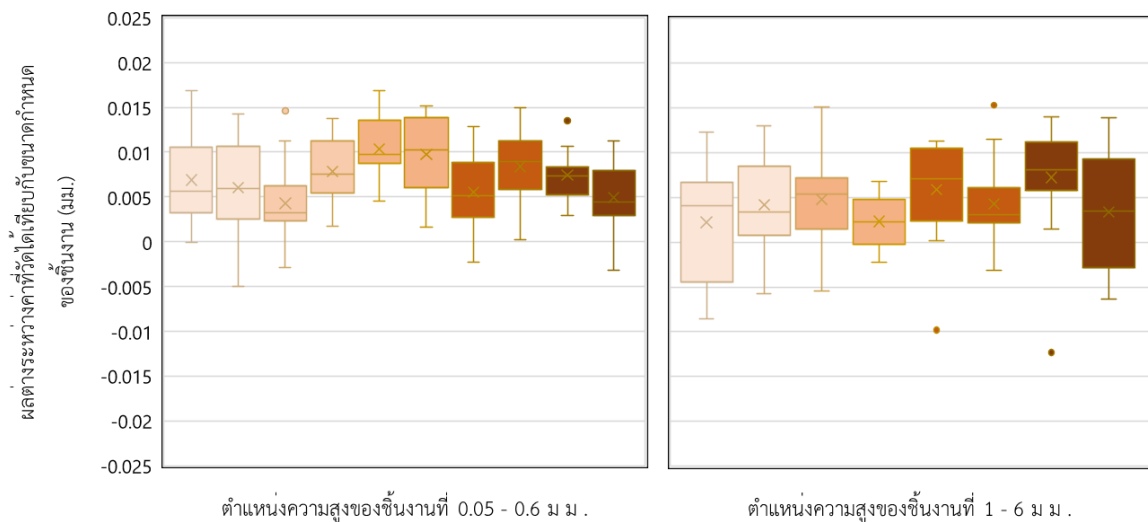


ภาพที่ 5 การวัดชิ้นงานด้วยเครื่องวัดสามแกนแบบหัวสัมผัส

ผลการวิจัย



ภาพที่ 6 ผลการวัดจากเครื่องวัดสามแกนแบบหัวสัมผัส ชิ้นงานสีดำ

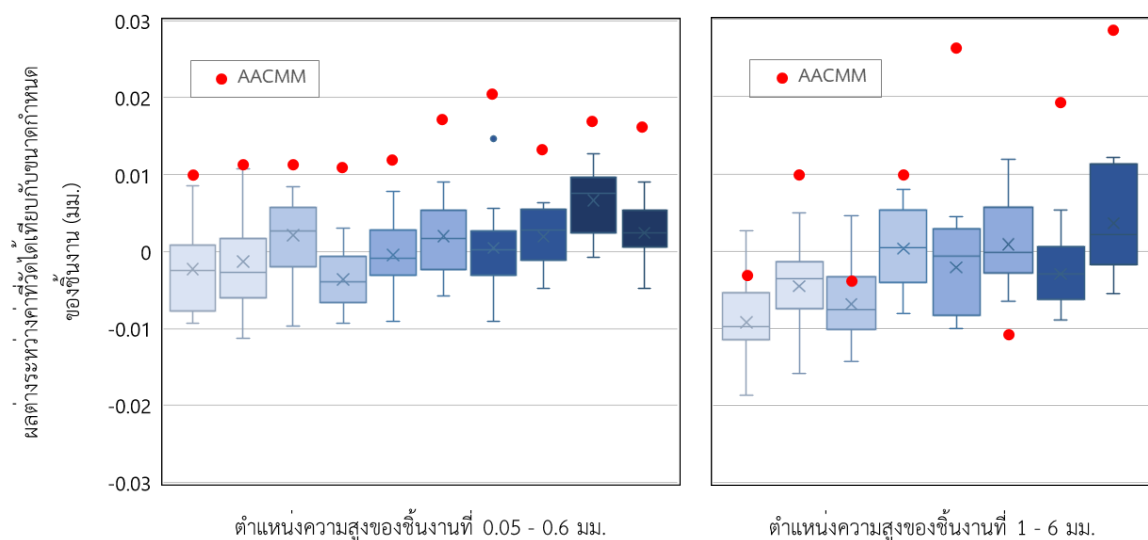


ภาพที่ 7 ผลการวัดจากเครื่องวัดสามแกนแบบหัวสัมผัส ชิ้นงานสีขา

จากภาพที่ 6 และ 7 เป็นผลการวัดชิ้นงานสีดำและสีขาวด้วยเครื่องวัดสามแกนแบบหัวสัมผัส โดยแสดงผลในรูปแบบ Box and Whisker ของผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้เทียบกับขนาดกำหนดจากแบบ ตัวอย่างเช่น ภาพที่ 6 ชิ้นงานสีดำที่ขนาดกำหนด 0.05 มม. มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ -0.0018 มม. หมายความว่าชิ้นงานจริงถูกวัดได้เฉลี่ย 0.5982 มม.

ผลจากการวัดขนาดชิ้นงานมีค่าความสูงเฉลี่ยในแต่ละชั้นต่างจากขนาดกำหนดอยู่ในช่วง ± 0.01 มม. ทั้งชิ้นงานสีดำและสีขาว ซึ่งเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้ จากเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต สิ่งแวดล้อมในขณะทำงาน และปัจจัยอื่นๆ และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่เกิดจากการวัดซ้ำ 20 ครั้งของแต่ละชั้นอยู่ในช่วง 0.005-0.006 มม.

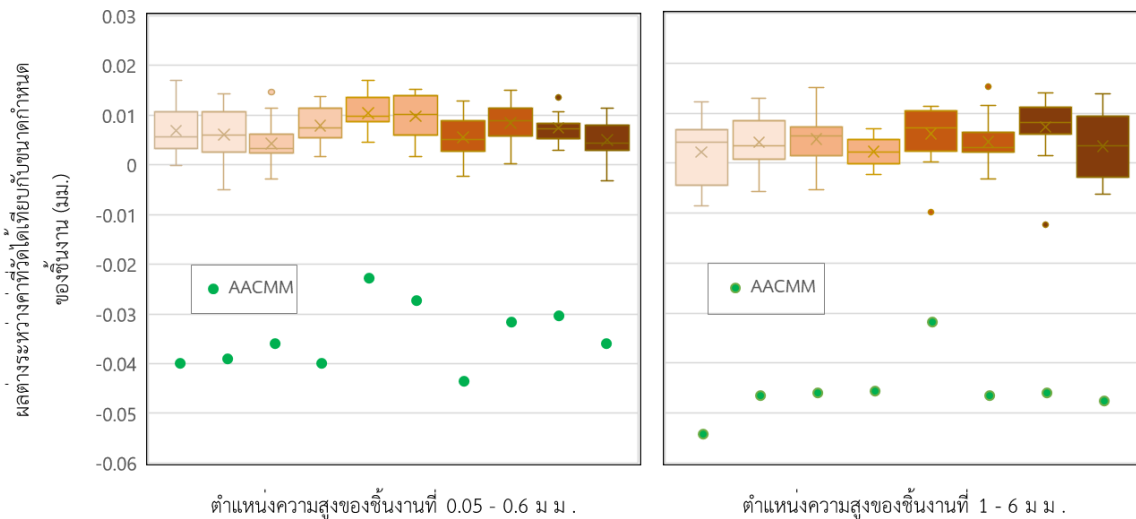
ผลการทดลองนี้ได้ทำการตัดข้อมูลในส่วนบนสุดออกเนื่องจากผิวของชิ้นงานด้านบนเกิดการเสียรูปเพราะการจัดยึดชิ้นงานในระหว่างการขึ้นรูป และการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน



ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบผลระหว่าง AACMM และเครื่องวัดสามแกนแบบหัวสัมผัส ชิ้นงานสีดำ

ผลการวัดจากเลเซอร์สแกนเนอร์อาร์มซีเอ็มเอ็ม (AACMM) ชิ้นงานสีดำ ที่ตำแหน่ง 0.05-0.6 มม. (ภาพที่ 8ซ้าย) มีค่าอยู่ในช่วง 0.01 มม. ถึง 0.02 มม. โดยแต่ละจุดที่แสดงผลบนกราฟเกิดจากการเฉลี่ยการวัด 3 ค่า และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.002 - 0.01 มม.

ผลการวัดจากเลเซอร์สแกนเนอร์อาร์มซีเอ็มเอ็ม (AACMM) ชิ้นงานสีดำ ที่ตำแหน่ง 1- 6 มม. (ภาพที่ 8ขวา) มีค่าอยู่ในช่วง -0.01 มม. ถึง 0.03 มม. โดยแต่ละจุดที่แสดงผลบนกราฟเกิดจากการเฉลี่ยการวัด 3 ค่า และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.006 – 0.02 มม.



ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบผลระหว่าง AACMM และเครื่องวัดสามแกนแบบหัวสัมผัส ชิ้นงานสีขาว

ผลการวัดจากเลเซอร์สแกนเนอร์อาร์มซีเอ็มเอ็ม (AACMM) ชิ้นงานสีขาว ที่ตำแหน่ง 0.05-0.6 มม. (ภาพที่ 9ซ้าย) มีค่าอยู่ในช่วง -0.045 มม. ถึง -0.02 มม. โดยแต่ละจุดที่แสดงผลบนกราฟเกิดจากการเฉลี่ยการวัด 3 ค่า และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.004 – 0.01 มม.

ผลการวัดจากเลเซอร์สแกนเนอร์อาร์มซีเอ็มเอ็ม (AACMM) ของชิ้นงานสีขาว ที่ตำแหน่ง 1-6 มม. (ภาพที่ 9ขวา) มีค่าอยู่ในช่วง -0.055 มม. ถึง -0.03 มม. โดยแต่ละจุดที่แสดงผลบนกราฟเกิดจากการเฉลี่ยการวัด 3 ค่า และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 0.001 – 0.01 มม.

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ชิ้นงานทั้งสีดำและสีขาวมีความคลาดเคลื่อนจากกระบวนการผลิตอยู่ที่ ± 0.01 มม. ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละชั้นของชิ้นงานอยู่ในช่วง 0.005–0.006 มม. สามารถตีความได้ว่าผิวชิ้นงานบริเวณที่ทำการวัดมีความราบสม่ำเสมอ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ผลที่ได้จากเครื่องวัดสามแกน (Accuracy = 0.0017 มม.) เป็นขนาดชิ้นงานจริง เพื่อการวิเคราะห์ผล

ผลการวัดจากเลเซอร์สแกนเนอร์อาร์มซีเอ็มเอ็ม (AACMM) ของชิ้นงานสีดำ มีขนาดต่างจากชิ้นงานจริง 0.005 – 0.025 มม. ในขณะที่ชิ้นงานสีขาวต่างจากขนาดชิ้นงานจริง 0.035 – 0.055 มม. จากผลการวัดนี้พบว่า สีของชิ้นงานยังคงมีผลอย่างมากต่อผลการวัดที่ได้ ถึงแม้ว่าจะทำการพ่นแป้งไปบนชิ้นงานเพื่อลดการสะท้อนของวัตถุ โดยทั่วไปการพ่นแป้งมีผลดีต่อวัตถุสีดำ เนื่องจากสีดำมักจะดูดกลืนแสงมากสะท้อนแสงของเลเซอร์ได้น้อย แป้งจึงช่วยให้สแกนได้ง่ายขึ้น

นอกจากสีของวัตถุจะมีผลโดยตรงกับค่าที่วัดได้ แต่เรายังไม่สามารถสรุปได้ว่าชิ้นงานสีดำดีกว่าชิ้นงานสีขาว เนื่องจากถ้าเราทำการเปลี่ยนโมเดลของเลเซอร์สแกนเนอร์อาร์มซีเอ็มเอ็ม (AACMM) จะทำให้สีของแสงเปลี่ยน ความยาวคลื่นเปลี่ยน ผลต่อการดูดซับในชั้นบรรยากาศ การสะท้อน และการกระเจิงมีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด รวมถึงวิธีการวัดที่เปลี่ยนไป เช่น ถ้าเราทำการสแกนวัตถุในระยะใกล้ ความเข้มแสงก็จะเข้มกว่า ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มความแม่นยำได้ ดังนั้น

ถ้าต้องการทราบผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อการวัดชิ้นงาน จำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขของแต่ละกรณีและทำการปรับค่าตัวแปรต่างๆ เพื่อดูผลกระทบเป็นกรณีๆ ไป [18]

ถึงแม้ AACMM จะมีค่า Accuracy ที่สูงถึง 0.02 มม. และเป็นสแกนเนอร์ที่มีความแม่นยำสูง และยังมีอาร์มที่ทำให้ซอฟต์แวร์ทราบตำแหน่งของหัวสแกนจากมอเตอร์เซอร์โวที่เชื่อมต่อแต่ละจุด แต่เมื่อไม่มีการสัมผัสชิ้นงาน ทำให้ปัจจัยที่ทำให้ผลการวัดคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นจากเรื่องของแสงและสี จึงจำเป็นต้องใช้ทักษะความชำนาญของผู้ใช้เครื่อง และผู้เชี่ยวชาญที่จะนำผลการวัดไปใช้ในแต่ละสาขา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ Res-CIT0319/2018

เอกสารอ้างอิง

1. Furferi R, Governi L, Pinzauti E, Profili A, Puggelli L, Volpe Y. A computational method for the investigation of burn scars topology based on 3D optical scan. *Computers in Biology and Medicine*. 2022;149:1–13.
2. Nino A, Del Castillo Pardo de Vera JL, Rodriguez Arias JP, Gutierrez Venturini A, Cebrian Carretero JL. 3D surface scanner in maxillofacial surgery: State of the art. *Advances in Oral and Maxillofacial Surgery*. 2024;13:100473.
3. Miljanovic D, Seyedmahmoudian M, Horan B, Stojcevski A. Novel and accurate 3D-printed surgical guide for mandibular reconstruction with integrated dental implants. *Computers in Biology and Medicine*. 2022;151:1–10.
4. Schranz S, Campana L, Giroud M, Hertig S, Egger C. 3D printed splint designed by 3D surface scanner for patients with hand allodynia. *Hand Surgery and Rehabilitation*. 2024;101646.
5. Kesik J, Milosz M, Montusiewicz J, Samarov K. Documenting the geometry of large architectural monuments using 3D scanning – the case of the dome of the Golden Mosque of the Tillya-Kori Madrasah in Samarkand. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2021;22:e00199.
6. Moyano J, Justo-Estebarez A, Nieto-Julian JE, Ojeda Barrera A, Fernandez-Alconchel M. Evaluation of records using terrestrial laser scanner in architectural heritage for information modeling in HBIM construction: The case study of the La Anunciación church (Seville). *Journal of Building Engineering*. 2022;62:105190.
7. Vieira MM, Ribeiro G, Paulo R, Bessa M, Sousa FR, Moreira E, Mesquita E. Strategy for HBIM implementation using high-resolution 3D architectural documentation based on laser scanning and photogrammetry of the Jose de Alencar theatre. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*. 2023;30:e00287.

8. Chen F, Brown GM, Song M. Overview of 3-D shape measurement using optical methods. *Optical Engineering*. 2000;39(1):10–22.
9. Yu H, Huang Y, Zheng D, Bai L, Han J. Three-dimensional shape measurement technique for large-scale objects based on line structured light combined with industrial robot. *Optik*. 2020;202:163656.
10. Haleem A, Javaid M, Pratap Singh R, Rab S, Suman R, Kumar L, Haleem Khan I. Exploring the potential of 3D scanning in Industry 4.0: An overview. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*. 2022;3:161–71.
11. Helle RH, Lemu HG. A case study on use of 3D scanning for reverse engineering and quality control. *Materials Today: Proceedings*. 2021;45:5255–62.
12. Hawryluk M, Ziemba J, Zwierzchowski M, Janik M. Analysis of a forging die wear by 3D reverse scanning combined with SEM and hardness tests. *Wear*. 2021;476:203749.
13. Wang X, Xie Z, Wang K, Zhou L. Research on a handheld 3D laser scanning system for measuring large-sized objects. *Sensors*. 2018;18:3567.
14. Shi J, Sun Z. Large-scale three-dimensional measurement based on LED marker tracking. *The Visual Computer: International Journal of Computer Graphics*. 2015;32:179–90.
15. Wu C, Yang L, Luo Z, Jiang W. Linear laser scanning measurement method tracking by a binocular vision. *Sensors*. 2022;22:3572.
16. Jiang T, Cui H, Cheng X. Accurate calibration for large-scale tracking-based visual measurement system. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 2021;70:5003011.
17. 3D scanning 101: How to choose digitizing technologies [Internet]. 2010 [updated 2010 Dec 14; cited 2024 Jan 1]. Available from: <https://www.digitalengineering247.com/article/3d-scanning-101/>
18. Zhou Y, Fu L, Zhang Z, Tang X. Effect of tooth color on the accuracy of intraoral complete arch scanning under different light conditions using a zirconia restoration model. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2024;131(1):145.