

การศึกษาการเปรียบเทียบการใช้งานของเครื่องเก็บค่าพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์และ
ระบบออปติกที่ใช้สำหรับงานวิศวกรรมย้อนรอย

An Investigation on the Application of Optical and Laser Techniques
used in 3D Scanner for Reverse Engineering Application

ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ^{1*} ณัฐพล จันทรพาณิชย์² ฉัตรชัย จันทรเด่นดวง³ กรณ์ย เล็งพานิช⁴ และ สุจินต์ วันชาติ⁵
^{1,2,4,5} ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

¹*ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
³ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช)
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
โทร 02-9427188 โทรสาร 02-9727189 *อีเมล fengssr@ku.ac.th

Supasit Rodkwan^{1*}, Nattapon Chantarapanich², Chatrchai Chandenduang³, Karan Sengpanich⁴, and Sujin Wanchat⁵
^{1,2,4,5} Center of Excellence in Rubber Mould, Research and Development Institute of Industrial Production Technology (RDiPT)
Faculty of Engineering, Kasetsart University

¹*Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University Jatujak, Bangkok 10900, Thailand.

³National Metal and Material Technology Center (MTEC), National Science and Technology Development Agency (NSTDA),
Ministry of Science and Technology, Klongluang, Pathumthani 10210
Tel: 02-9427188 Fax 02-9727189 *E-mail. fengssr@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีการเริ่มนำเทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยมาช่วยในการออกแบบและผลิตผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดในการลงทุนทั้งด้านอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่เข้าร่วมกับงานวิศวกรรมย้อนรอยที่มีมูลค่าที่สูง และเทคโนโลยีของอุปกรณ์ที่มีให้เลือกหลายประเภท ทำให้ผู้ที่นำเอาระบบเหล่านี้เข้าไปใช้งานจำเป็นต้องเลือกเหมาะสมกับงานที่จะใช้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการการศึกษาเปรียบเทียบและนำเสนอแนวทางการใช้งานที่เหมาะสมของเครื่องเก็บค่าพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์และเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติก โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ความแม่นยำในการเก็บพิกัดของชิ้นงาน ความผิดพลาดเนื่องจากการเก็บพิกัดสามมิติแบบประกอบความสามารถในการเก็บพิกัดสามมิติในส่วนที่เป็นร่องลึกความสามารถในการเก็บพิกัดสามมิติบนลักษณะเนื้อผิววัสดุความสามารถในการเก็บค่ากลุ่มพิกัดสามมิติบนสีผิววัสดุ ระยะเวลาในการเตรียมเครื่องเก็บค่าพิกัดระบบเลเซอร์และออปติกก่อนทำการใช้งาน การเปรียบเทียบระยะเวลาและความเหมาะสมที่ใช้ในการเก็บพิกัดสามมิติในชิ้นงานตัวอย่างจากกลุ่มชิ้นงานประเภทต่างๆ ผลการศึกษา

พบว่าเครื่องเก็บค่าพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์จะเหมาะกับชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อนไม่ราบเรียบ เช่น กังหันต้นกำลัง แม่พิมพ์ กระดุกมนุษย์ ส่วนเครื่องเก็บค่าพิกัดสามมิติระบบออปติกนั้นเหมาะสำหรับชิ้นงานที่มีผิวเรียบและสะท้อนแสงน้อยเช่น กระป๋องน้ำตาลยอนด์ กั้นชนรถยนต์ เป็นต้น

คำสำคัญ: วิศวกรรมย้อนรอย อุปกรณ์เก็บค่าพิกัดสามมิติ
ระบบออปติก ระบบเลเซอร์

Abstract

Recently, Reverse Engineering (RE) technology has been used in product design development. Nevertheless, due to cost limitation in the investment on the RE equipment and assisted software, this objective of this work is to provide users the guideline on a selection on the RE systems; 3D laser and 3D optical scanners, used nowadays. The investigated parameters are accuracy, error with the assembly model, D-L ratio, object surface texture, color, setup time, time used for various

applications. It is found that the 3D laser scanner is suitable for objects with complex shape such as turbine, bone, human bone, while the 3D optical scanner works well with objects with smooth surface and has low light reflection on the surface.

Keywords: Reverse Engineering, 3D Optical Scanner,

3D Laser Scanner

1. บทนำ

ปัจจุบันการพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญต่อการแข่งขันในตลาดโลกเป็นอย่างมาก การนำเอาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design, CAD) ซึ่งมีใช้อย่างแพร่หลายเริ่มเป็นสิ่งปกติที่พบเห็นในบริษัทต่าง ๆ โดยเฉพาะในกลุ่มอุตสาหกรรมยานยนต์ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มีความซับซ้อนทางด้านรูปร่างมากขึ้นส่งผลให้การใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรมช่วยในการออกแบบเป็นไปด้วยความยากลำบากและใช้เวลานานมากขึ้นในการสร้างแบบจำลองสามมิติ (3D Modeling) เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์และวิจัยต่อไป

นอกจากนี้ยังมีอีกเทคโนโลยีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือเทคนิควิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering) ซึ่งใช้อุปกรณ์ตรวจวัดทั้งแบบสัมผัส (Contact) และแบบไม่สัมผัส (Non-contact) ในการเก็บค่าพิกัดจากต้นแบบทางกายภาพ (Physical Prototype) ซึ่งได้มาจากการปั้นขึ้นรูปโดยนักออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือได้มาจากผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่ เพื่อนำค่าพิกัดเหล่านั้นย้อนกลับเข้าไปในระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบด้วยวิธีวิศวกรรมย้อนรอย (Computer Aided Reverse Engineering, CARE) เพื่อนำไปสู่การแก้ไขปรับปรุงหรือนำไปวิเคราะห์ทางวิศวกรรมของชิ้นส่วนต่างๆ เช่นการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics) หรือการวิเคราะห์ตามระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) รวมไปถึงการออกแบบแม่พิมพ์เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป แต่ด้วยข้อจำกัดในการลงทุนทั้งด้านอุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ร่วมในเทคนิควิศวกรรมย้อนรอยที่มีมูลค่าที่สูง และเทคโนโลยีของอุปกรณ์ที่มีให้เลือกหลากหลายชนิด ทำให้ผู้ที่จะนำเอาระบบเหล่านี้เข้าไปใช้งานจำเป็นต้องเลือกซื้อให้เกิดความคุ้มค่าและเหมาะสมกับงานที่จะใช้ แต่ข้อมูลในปัจจุบันจะเป็นในลักษณะของการอ้างอิงจากบริษัทผู้จำหน่ายอุปกรณ์เหล่านั้นเป็นสำคัญซึ่งมักจะทำการเปรียบเทียบได้ลำบาก ดังนั้นคณะนักวิจัยจึงเล็งเห็นว่าควรมีการศึกษาเปรียบเทียบและนำเสนอแนวทางการใช้งานที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้งานภาคอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการของหน่วยงานรัฐที่มีความจำเป็นจะต้องนำเทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยมาใช้ตามความเหมาะสม

2. วิศวกรรมย้อนรอย

วิศวกรรมย้อนรอย [1] เป็นกระบวนการย้อนกลับทางวิศวกรรมที่สร้างแบบของชิ้นงาน ให้มีรูปร่างและคุณสมบัติเหมือนกับวัตถุต้นแบบที่มีอยู่จริงซึ่งอาศัยหลักการการตรวจสอบข้อมูลทางเทคนิคและข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ หรืออุปกรณ์ต้นแบบ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสืบค้นข้อมูลทางเทคนิค การย้อนรอยขนาดและรูปร่างของต้นแบบ วัสดุและการผลิต รวมทั้งการตรวจสอบสมบัติและ

สมรรถนะของผลิตภัณฑ์ โดยลักษณะงานที่จะใช้วิศวกรรมย้อนรอยจะเป็นงานประเภทที่ผลิตภัณฑ์นั้นไม่มีข้อมูลอ้างอิงต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ไม่เพียงพอที่จะใช้พัฒนาต่อไปได้ จึงจำเป็นต้องมีการนำมาย้อนรอยกระบวนการเพื่อให้ได้ข้อมูลเหล่านั้นมาใช้งาน นอกจากนี้วิศวกรรมย้อนรอยยังใช้เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น สำหรับการนำวิศวกรรมย้อนรอยไปประยุกต์ใช้สามารถทำได้หลากหลายลักษณะ เช่น

1. วัตถุโบราณที่ไม่มีสามารถทำการวัดขนาดและออกแบบเพื่อที่จะทำแม่พิมพ์ ด้วยวิธีการ CAD/CAM ได้ ทั้งนี้เพราะอาจเกิดความเสียหายต่อวัตถุชิ้นๆ
2. วัตถุที่ได้รับการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงขนาดแต่ไม่ได้มีการจดบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงนั้นไว้
3. ในกรณีที่ต้องการออกแบบวัตถุใหม่ วิศวกรรมย้อนรอยสามารถสร้างรูปแบบของวัตถุเป็นลักษณะ 3 มิติได้ และสามารถนำแบบนั้นมาใช้ซ้ำ เพื่อเป็นการประหยัดเวลา และเงินอีกด้วย
4. สำหรับวัตถุที่ถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศ และข้อมูลต่างๆ อาทิ ขนาด ความกว้าง, ความยาว ของวัตถุไม่ได้แนบมาด้วย เราสามารถเก็บรายละเอียดต่างๆได้
5. การเปรียบเทียบมาตรฐานของวัตถุในเชิงคุณภาพ กล่าวคือผลิตภัณฑ์จากบริษัทที่มีคุณภาพโดยวัดจาก รูปทรง ขนาด หรือแม้กระทั่งความสวยงามของสินค้าที่ดีกว่า บริษัทก็จะได้รับความพึงพอใจของลูกค้า วิศวกรรมย้อนรอยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในงานการผลิตได้
6. การตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ภายหลังจากการทำวัตถุต้นแบบ (Prototype) แล้ว
7. การสร้างชิ้นส่วนของมนุษย์ อาทิ ไขข้อกระดูกสันหลัง เป็นต้น ทั้งนี้รูปร่างลักษณะของไขข้อนั้นไม่สามารถวัดขนาดได้ละเอียดในทุกจุด วิศวกรรมย้อนรอยสามารถเก็บรายละเอียดจากชิ้นส่วนจริงแล้วมาสร้างเป็นของเทียมขึ้นโดยที่มีรายละเอียดต่างๆ สมบูรณ์แบบ

ทั้งหมดนี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของความสามารถที่วิศวกรรมย้อนรอยสามารถทำได้ ขีดจำกัดของงานในลักษณะดังที่กล่าวมาขึ้นอยู่กับขนาด และรูปทรงของวัตถุที่จะนำมาถอดแบบ ทั้งนี้เพราะถ้าวัตถุมีรายละเอียดมาก การทำวิศวกรรมย้อนรอยนั้นจำเป็นต้องใช้เวลามากในการดำเนินการจนกระทั่งสำเร็จออกมาเป็นรูปทรงที่ต้องการ [2]

สำหรับขั้นตอนการทำงานในกระบวนการวิศวกรรมย้อนรอยจะประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน [3] คือ

1. เก็บค่าพิกัดจากพื้นผิวของวัตถุ (Digitization of the Object) คือ ทำการเก็บค่าพิกัดสามมิติของรูปร่างวัตถุโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่เหมาะสม
2. ปรับค่าพิกัดจากการวัด (Processing of Measured Data) คือ ทำการปรับค่าความถูกต้องและความละเอียดเพื่อเตรียมสำหรับการสร้างแบบจำลองสามมิติ
3. สร้างแบบจำลองสามมิติ (Creation of a CAD Model) คือ การสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบด้วยวิธีวิศวกรรมย้อนรอย (Computer Aided

Reverse Engineering, CARE) เพื่อให้ได้รูปร่างของวัตถุที่ต้องการ

3. เครื่องเก็บค่าพิกัดสามมิติระบบออปติก

เครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติกที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบจะใช้เครื่อง ณ ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) เป็นเครื่องรุ่น ATOS II ดังแสดงในรูปที่ 1 [4] ซึ่งตัวเครื่องมีความเบา กะทัดรัด ใช้งานง่าย ให้ความคมชัดสูงและแม่นยำ นอกจากนี้ยังสามารถเก็บพิกัดในส่วนของชิ้นงานซึ่งยากที่จะเข้าถึง รวมถึงความสามารถในการเปลี่ยนพิกัดของรูปทรงให้มีความคมชัดตามที่ต้องการได้ โดยคุณสมบัติของเครื่องรุ่น ATOS II มีดังแสดงในตารางที่ 1

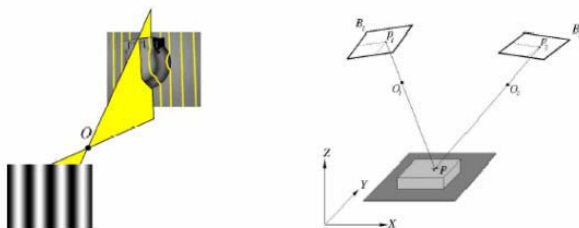


รูปที่ 1 เครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติกรุ่น ATOS II [4]

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติเครื่องเก็บค่าพิกัดสามมิติระบบออปติก [4]

ปริมาตรที่สามารถเก็บค่าสามมิติได้	135 x 108 x 108 - 700 x 1360 x 1360 mm ³
เวลาที่ใช้ในการเก็บพิกัด 1 ครั้ง	7 วินาที
ขนาดเครื่อง	520/700/940 x 220 x 11
จำนวนพิกัดสามมิติที่เก็บได้	1300000 จุด
ระยะห่างระหว่างพิกัดจุด	0.08-1.0 mm ³
ระยะห่างในการกำจัดพิกัดรบกวน	0.002-0.02 mm ³

หลักการทำงานของเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติกจะใช้กฎของรูปสามเหลี่ยม (The Triangulation Principle) โดยมีชุดอุปกรณ์ส่งสัญญาณ (Sensor Unit) ส่ง Fringe Patterns ที่แตกต่างกันไปยังวัตถุที่ต้องการวัด และมีตัวจับสัญญาณคือกล้องสองตัว ดังที่แสดงในรูปที่ 2 จาก The Optical Transformation Equations และการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็จะได้พิกัดสามมิติของวัตถุ ซึ่งความถูกต้องของค่าที่ได้จะขึ้นกับความละเอียด (Resolution) ของกล้องที่ใช้ในการจับสัญญาณ



รูปที่ 2 หลักการทำงานของเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติก [4]

4. เครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์

เครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์ที่นำมาใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบนั้นจะนำเครื่องที่ใช้งานอยู่ ณ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RDIP) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยตัวเครื่องจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ หัวตรวจจับสามมิติระบบเลเซอร์และชุดแขนกล โดยอุปกรณ์ทั้งสองนี้จะทำงานร่วมกันเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ของหัวตรวจจับสามมิติระบบเลเซอร์ไปเก็บพิกัดรูปทรงของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 3 แสดงทำงานร่วมกันเพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ของหัวตรวจจับสามมิติระบบเลเซอร์ไปเก็บพิกัดรูปทรง [5]

4.1 หัวตรวจจับสามมิติระบบเลเซอร์

โดยหัวตรวจจับสามมิติระบบเลเซอร์ที่ใช้เป็นของ Kreon รุ่น KZ 50 ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยมีคุณสมบัติดังนี้

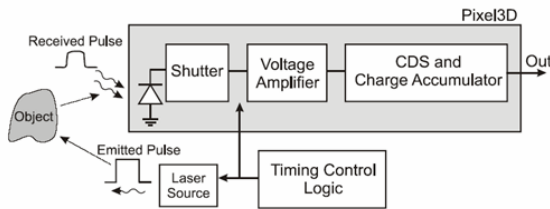


รูปที่ 4 หัวตรวจจับสามมิติระบบเลเซอร์ Kreon รุ่น KZ 50 [6]

ตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติของหัวตรวจจับพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์

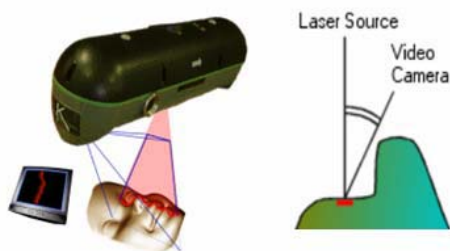
มีความสามารถในการเก็บกลุ่มพิกัดจุด (Cloud of Point)	30,000 จุดต่อวินาที
ระดับความคมชัด (Resolution)	10 ไมครอน
ความยาวเส้นแสงเลเซอร์	50 มิลลิเมตร
ระยะฉายของแสงเลเซอร์	100 มิลลิเมตร
น้ำหนักของหัวตรวจจับ	400 กรัม

การทำงานพื้นฐานของเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์ จะใช้หลักการฉายแสงเป็นแนวสามเหลี่ยม (Triangulation Principle) ลงบนวัตถุและภาพที่ได้จะมีลักษณะเหมือนจริงทั้งขนาดและรูปทรง [3] โดยหลักการดังกล่าว คือ การทราบค่าระยะและค่ามุมตกกระทบก็จะสามารถหาตำแหน่งของจุดได้ แหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ (Laser Source) ส่งแสงเลเซอร์ไปกระทบวัตถุ และจะสะท้อนกลับมากระทบกับส่วนรับลำแสงซึ่งจะมีเลนส์ และกล้อง CCD (Charge Coupled Device) ภายในประกอบด้วยหน่วยรับสัญญาณ (Pixel) ซึ่งภายในประกอบด้วยไดโอด (Diode) หน่วยแปลงสัญญาณภาพ (Shutter) หน่วยขยายสัญญาณ (Voltage Amplifier) หน่วยลดสัญญาณรบกวน (CDS) และหน่วยสะสมประจุ (Charge Accumulators) จากนั้นสัญญาณจะแปลงตำแหน่งในแนว u และ v ในรูปของเมตริก เพื่อให้จุดต่างๆ ไปปรากฏในคอมพิวเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงอุปกรณ์จับลำแสงของเลเซอร์ภายในกล้องวิดีโอในหัวสแกนเลเซอร์ [5]

นอกจากนี้ขนาดของมุมที่เกิดจากการฉายแสงเลเซอร์ก็มีผลต่อการจัดเก็บข้อมูลโดยอัตโนมัติลงในโปรแกรมด้วยเช่นกัน [6] โดยที่ขนาดมุม 0 องศา กล้องจะไม่สามารถเก็บข้อมูลของวัตถุที่ถูกสแกนได้เลย ที่ขนาดมุม 90 องศา เป็นมุมที่เหมาะสมที่สุดในการฉายแสงลงบนวัตถุ แต่ทั้งนี้การฉายแสงเคลื่อนที่ไปมามากเกินไป กล้องจะไม่สามารถจับทิศทางของเส้นแสงเลเซอร์ที่ฉายแนวลงบนวัตถุได้ แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ลักษณะการจับลำแสงของเลเซอร์ด้วยกล้องวิดีโอในหัวสแกนเลเซอร์ [7]

2.2 ชุดแขนกล (Articulated Arm)

ชุดแขนกลรุ่น Cimcore 3000i จะใช้งานร่วมกับหัวตรวจจับสามมิติระบบเลเซอร์เพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ของหัวตรวจจับสามมิติระบบเลเซอร์ไปเก็บพิกัดต่างๆ ของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ชุดแขนกลรุ่น Cimcore 3000i [8]

โดยชุดแขนกล Cimcore 3000i [8] มีความกะทัดรัด และน้ำหนักเบา สามารถหมุนได้ 360 องศาในแกนหลัก ทำให้สามารถเก็บรายละเอียดที่ยากของชิ้นงาน มีน้ำหนักถ่วงสมดุล (Counter Balance) ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ช่วยลดความล้าของผู้ใช้และสามารถใช้งานมือเดียวได้อย่างสะดวก ชุดแขนกลทำจากคาร์บอนแกรไฟต์ (Carbon graphite) มีความเสถียรในการทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สามารถเปลี่ยนแปลงที่จับยึดระบบชุดแขนกลโดยไม่ต้องใช้อุปกรณ์ช่วย และสามารถจัดตั้งค่า (Set up) ได้อย่างรวดเร็ว โดยคุณสมบัติของแขนกล Cimcore 3000i แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติชุดแขนกล Cimcore 3000i [8]

Measuring Envelope	1.8 m (6 ft.)
Measuring Volume	3 m ³ (113 ft ³)
Single Point Sphere Test	± 0.010 mm (0.0004 in.)
Point Repeatability	± 0.010 mm (0.0007 in.)
Volumetric Length Accuracy	± 0.010 mm (0.0004 in.)
Arm Weight	5.8 kg (12.7 lbs.)

5. ระเบียบวิธีวิจัย

ในการกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการเปรียบเทียบอุปกรณ์ทั้งเป็นแบบออปติกและระบบเลเซอร์นั้นได้ทำแบ่งออกเป็นกิจกรรมย่อยเพื่อศึกษา 8 ตัวแปร ดังนี้

5.1 ความแม่นยำของเครื่องเก็บพิกัดสามมิติโดยเปรียบเทียบจากชิ้นงานมาตรฐาน

ในตัวแปรนี้ทำการศึกษาด้านความแม่นยำในการเก็บพิกัดสามมิติของเครื่องเก็บค่าสามมิติทั้งสองประเภท โดยชิ้นงานมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบตั้งแปรนี้คือ Gage Block เบอร์ 2 ซึ่งเลือกใช้ Gage Block ทั้งหมด 4 ขนาดคือ ขนาดความยาว 100 มิลลิเมตร 50 มิลลิเมตร 10 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 8

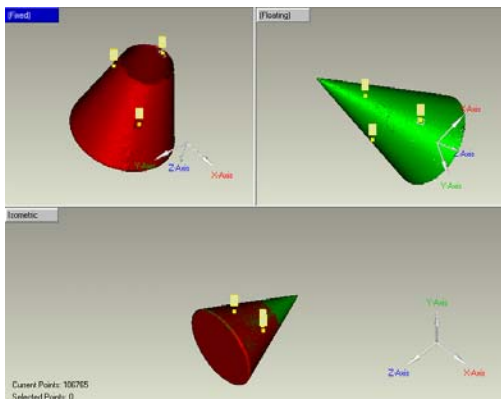


รูปที่ 8 แสดง Gage Block เบอร์ 2 ทั้ง 4 ขนาดที่ใช้ในการทดสอบ

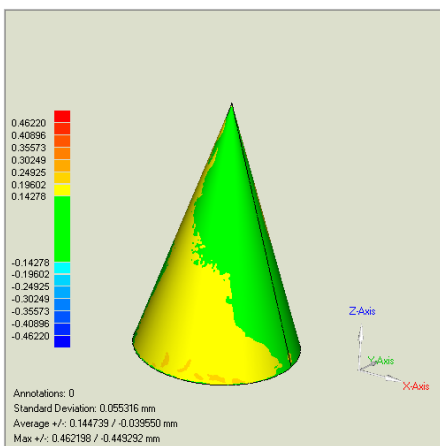
5.2 ค่าความผิดพลาดจากการประกอบชิ้นงาน (Assembly)

ในแต่ละอุปกรณ์เก็บ ค่าสามมิติ (3D Scanner)

ในตัวอย่างนี้จะทำการทดสอบค่าความผิดพลาดจากการประกอบชิ้นงานโดยใช้แบบที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม CAD เป็นตัวอย่าง ชิ้นงานตัวอย่างพื้นฐานมีทั้งหมด 4 ชิ้นได้แก่ ลูกบาศก์ ทรงกรวย ทรงกลม และทรงกระบอก โดยมาทำการแบ่งการเก็บพิกัดเป็น 2 ส่วน โดยใช้จุดอ้างอิงเป็นตัวเชื่อมเมื่อนำมาประกอบกัน ดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10



รูปที่ 9 แสดงการประกอบชิ้นงานทรงกรวยโดยใช้จุดอ้างอิงเป็นตัวเชื่อม

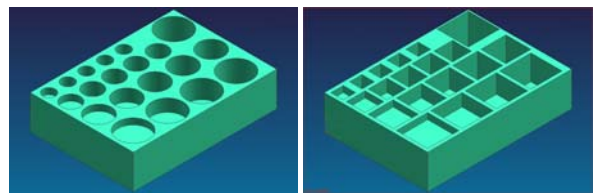


รูปที่ 10 ผลการทดสอบค่าความคาดเคลื่อนของชิ้นงานทรงกรวยจากแบบอ้างอิงจากโปรแกรม CAD

5.3 ลักษณะอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหลุม (D-L ratio) ที่สามารถเก็บพิกัดสามมิติได้และความแม่นยำที่ได้ (Accuracy)

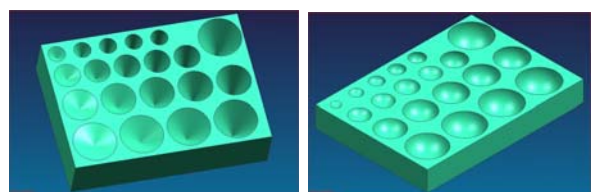
ในตัวอย่างนี้จะทำการศึกษาโดยสร้างชิ้นงานทดสอบ 5 ชิ้นที่มีลักษณะของหลุมที่ต่างกัน โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบสร้างแบบจำลองสามมิติขึ้นมา โดยมีลักษณะดังนี้

1. ชิ้นงานที่มีปากหลุมเป็นรูปวงกลมและส่วนของความลึกมีหน้าตัดขนาดและรูปทรงเดียวกับปากหลุมโดยตลอด โดยมีการออกแบบให้มีความลึกตั้งแต่ 10 มิลลิเมตรถึง 50 มิลลิเมตรและความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 20 มิลลิเมตรถึง 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 11a
2. ชิ้นงานที่มีปากหลุมเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมและส่วนของความลึกมีหน้าตัดขนาดและรูปทรงเดียวกับปากหลุมโดยตลอด โดยมีการออกแบบให้มีความลึกตั้งแต่ 10 มิลลิเมตรถึง 50 มิลลิเมตร และมีความกว้างและความยาวของปากหลุมด้านละตั้งแต่ 20 มิลลิเมตรถึง 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 11b
3. ชิ้นงานที่มีปากหลุมเป็นรูปวงกลมและส่วนของความลึกมีหน้าตัดเป็นวงกลมแต่หน้าตัดค่อยๆ ลดลงจนปลายแหลม โดยมีการออกแบบให้มีความลึกตั้งแต่ 10 มิลลิเมตรถึง 50 มิลลิเมตรและความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 20 มิลลิเมตรถึง 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 12a
4. ชิ้นงานที่มีปากหลุมเป็นรูปวงกลมและส่วนของความลึกมีลักษณะเป็นส่วนโค้งของทรงกลม โดยมีการออกแบบให้มีความลึกตั้งแต่ 10 มิลลิเมตรถึง 50 มิลลิเมตรและความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 20 มิลลิเมตรถึง 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 12b
5. ชิ้นงานที่มีปากหลุมเป็นรูปวงรีและส่วนของความลึกมีหน้าตัดขนาดและรูปทรงเดียวกับปากหลุมโดยตลอด โดยมีการออกแบบให้มีความลึกตั้งแต่ 10 มิลลิเมตรถึง 50 มิลลิเมตรและความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 20 มิลลิเมตรถึง 50 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 13



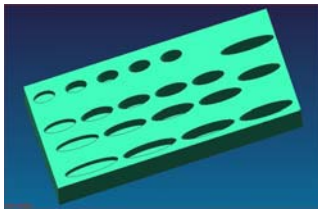
a. b.

รูปที่ 11 ชิ้นงานที่มีปากหลุมและส่วนของความลึกมีหน้าตัดขนาดและรูปทรงเดียวกับปากหลุม a. รูปวงกลม b. รูปทรงสี่เหลี่ยม



a. b.

รูปที่ 12 ชิ้นงานที่มีปากหลุมเป็นรูปวงกลม a. ส่วนของความลึกมีหน้าตัดเป็นวงกลมแต่หน้าตัดค่อยๆ ลดลงจนปลายแหลม b. ส่วนของความลึกมีลักษณะเป็นส่วนโค้งของทรงกลม



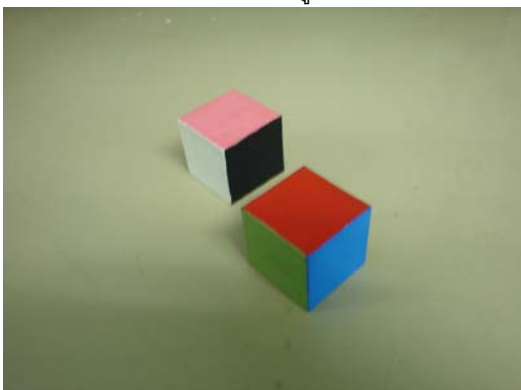
รูปที่ 13 ชิ้นงานที่มีปากหลุมเป็นรูปร่างรีและส่วนของความลึกมีหน้าตัดขนาดและรูปร่างเดียวกับปากรูโดยตลอด

5.4 การเปรียบเทียบความสามารถในการเก็บพิกัดสามมิติของชิ้นงานเมื่อลักษณะของพื้นผิว (Texture) ชิ้นงานต่างกัน

ในตัวแปรนี้จะทำการเปรียบเทียบถึงลักษณะของผิวชิ้นงานที่สามารถทำการเก็บค่าพิกัดสามมิติได้โดยไม่ต้องทำการใช้อุปกรณ์เสริมในการลดแสงสะท้อนเช่น สเปรย์แบ็ง เพื่อให้เกิดความคาดเคลื่อนน้อยที่สุดระหว่างการทำวิศวกรรมย้อนรอย โดยลักษณะของผิวจะถูกแบ่งออกเป็น 4 ประเภทคือ พื้นผิวแสงสามารถผ่านได้ตลอด พื้นผิวที่แสงสามารถผ่านได้บางส่วน พื้นผิวมันวาวสะท้อนแสงมาก และพื้นผิวมันวาวสะท้อนแสงเล็กน้อย

5.5 การเปรียบเทียบความสามารถในการเก็บพิกัดสามมิติกรณีที่มีชิ้นงานมีสีต่างกัน

ในตัวแปรนี้จะทำการเปรียบเทียบถึงลักษณะของสีที่มีผลต่อการเก็บค่าพิกัดของเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบอปติคและระบบเลเซอร์เพื่อศึกษาว่าสีของชิ้นงานสีใดบ้างที่สามารถถูกเก็บพิกัดสามมิติได้ โดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ช่วยในการเพิ่มความสว่างของสี รวมถึงเป็นการศึกษาการใช้สีที่นำมาเคลือบบนวัตถุที่มีความเงาหรือความสะท้อนโดยไม่จำเป็นต้องใช้สีขาวตามที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งสีที่ใช้มีทั้งหมด 12 สีคือ สีขาว สีส้ม สีชมพู สีน้ำตาล สีดำ สีเหลือง สีฟ้า สีน้ำเงิน สีเขียวอ่อน สีเขียวเข้ม สีแดง และสีม่วง โดยสีทั้งหมดจะเป็นสีชนิดด้านไม่มันวาว และไม่สะท้อนแสงดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบความสามารถการเก็บพิกัดสามมิติกรณีที่มีชิ้นงานมีสีต่างกัน

5.6 ระยะเวลาในการเก็บพิกัดสามมิติของชิ้นงานตัวอย่าง

ในตัวแปรนี้จะเน้นทางการเปรียบเทียบทางด้านระยะเวลาในการเก็บพิกัดของชิ้นงานตัวอย่างในเครื่องเก็บค่าพิกัดแต่ละชนิด โดย

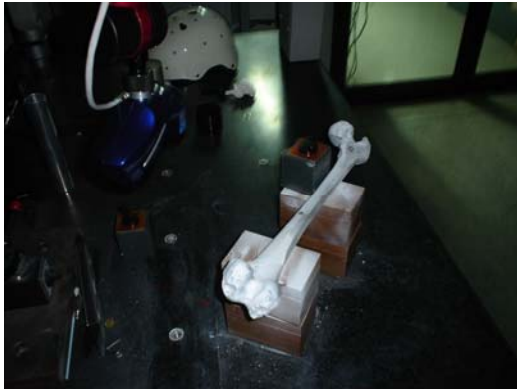
ชิ้นงานตัวอย่างในอุตสาหกรรมต่างๆ มีดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 15 และ 16

ตารางที่ 4 แสดงชิ้นงานตัวอย่างจากกลุ่มอุตสาหกรรมต่างๆ

กลุ่มที่ 1 ชิ้นงานตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นรูปทรง พื้นฐาน	1. ลูกบาศก์ (Block) 2. รูปทรงกระบอก (Cylinder) 3. รูปทรงกรวย (Cone) 4. รูปทรงกลม (Sphere)
กลุ่มที่ 2 ชิ้นงานตัวอย่างที่อยู่ในงานอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์จากพลาสติกและยาง	1. ขวดน้ำพลาสติก (Plastic Bottle) 2. เมาส์คอมพิวเตอร์ (Computer Mouse) 3. ยางพักเท้าสำหรับรถจักรยานยนต์ (Rubber Step)
กลุ่มที่ 3 ชิ้นงานตัวอย่างในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์	1. แม่พิมพ์ยางอัด (Rubber Compression Mould) 2. แม่พิมพ์เป่าขวดน้ำพลาสติก (Plastic Blow Mould) 3. แม่พิมพ์สบู่ (Soap Mould)
กลุ่มที่ 4 ชิ้นงานตัวอย่างที่มักจะใช้เป็นส่วนประกอบในกระบวนการผลิตของโรงงาน	1. กังหันต้นกำลัง (Turbine)
กลุ่มที่ 5 ชิ้นงานตัวอย่างในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์	1. กันชนรถยนต์ (Automotive Bumper) 2. กระจังหน้ารถยนต์ (Automotive Hood)
กลุ่มที่ 6 ชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นส่วนประกอบของอากาศยาน	1. ใบพัดของกังหันต้นกำลังสำหรับเครื่องบินขับไล่แบบที่ 18ข. (Turbine for F-5E)
กลุ่มที่ 7 ชิ้นงานตัวอย่างในกลุ่มของทางการแพทย์	1. กระดูกมนุษย์จำลอง (Artificial Human Bone)



รูปที่ 15 แสดงการเก็บพิกัดกันชนรถยนต์โดยใช้เครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบอปติค



รูปที่ 16 แสดงการเก็บพิกัดกระดูกมนุษย์จำลอง (Artificial Human Bone) โดยใช้เครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์

5.7 ความสะดวกและระยะเวลาในการติดตั้ง (Set up and Calibration) ของเครื่องเก็บค่าสามมิติระบบเลเซอร์ (Laser) และระบบออปติก (Optical)

ในตัวแปรนี้จะทำการศึกษเกี่ยวกับระยะเวลาในการติดตั้งของเครื่องเก็บค่าพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์และระบบออปติกก่อนการใช้งาน เก็บค่าพิกัดรวมถึงความสะดวกในการติดตั้ง

5.8 ความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในแต่ละกลุ่มงานทางด้านวิศวกรรม

ในตัวแปรนี้จะทำการศึกษเกี่ยวกับลักษณะความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในชิ้นงานอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 ข้างต้น รวมถึงวิจารณ์เชิงคุณภาพในด้านความเหมาะสม เทคนิควิธีการและอุปสรรคที่พบระหว่างกระบวนการทำวิศวกรรมย้อนรอย

6. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยสามารถสรุปประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องเก็บพิกัดสามมิติทั้งสองประเภทตามตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาดังในแสดงตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สรุปการใช้งานตามตัวแปรเพื่อแสดงถึงเครื่องเก็บพิกัดประเภทใดให้ประสิทธิภาพได้ดีกว่า

ตัวแปรศึกษา	ระบบเลเซอร์	ระบบออปติก
1. ความแม่นยำของเครื่องเก็บพิกัดสามมิติ โดยเปรียบเทียบจากชิ้นงานมาตรฐาน	-	-
2. ค่าความผิดพลาดจากการประกอบชิ้นงานในแต่ละอุปกรณ์เก็บค่าสามมิติ	X	/
3. ลักษณะอัตราส่วนความกว้างต่อความลึกของหลุม (D-L ratio) ที่สามารถเก็บพิกัดสามมิติได้และความแม่นยำที่ได้	/	X
4. การเปรียบเทียบความสามารถในการเก็บพิกัดสามมิติของชิ้นงานเมื่อลักษณะของพื้นผิว (Texture) ชิ้นงานต่างกัน	/	X

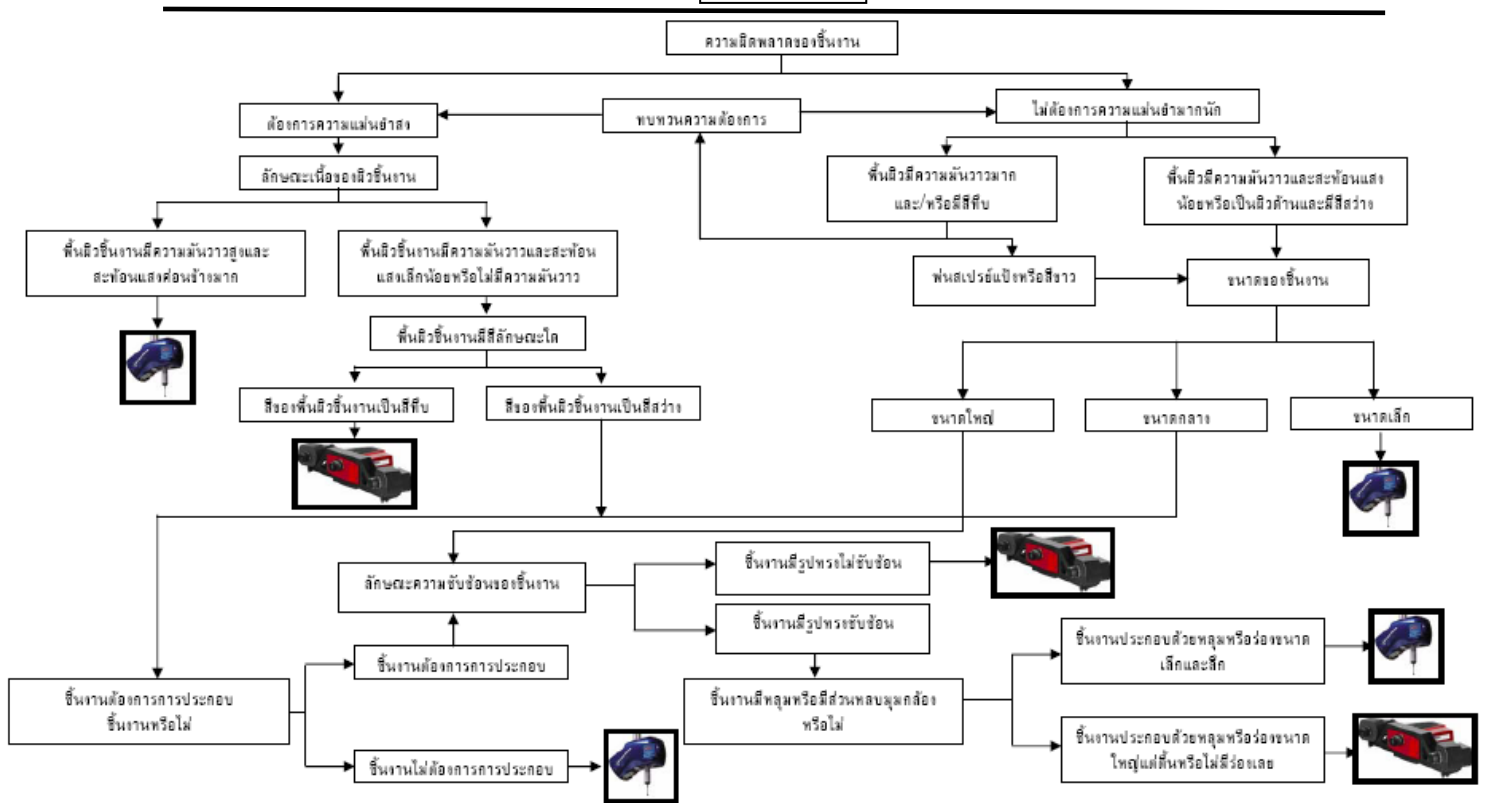
ตัวแปรศึกษา	ระบบเลเซอร์	ระบบออปติก
5. การเปรียบเทียบความสามารถในการเก็บพิกัดสามมิติเมื่อชิ้นงานมีสีต่างกัน	X	/
6. ระยะเวลาในการเก็บพิกัดสามมิติของชิ้นงานตัวอย่าง	-	-
7. ความสะดวกและระยะเวลาในการติดตั้งของเครื่องเก็บค่าสามมิติระบบเลเซอร์และระบบออปติก	/	X
8. ความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้ในแต่ละกลุ่มงานทางด้านวิศวกรรม	ขึ้นอยู่กับการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 17	



/ หมายถึง ให้ประสิทธิภาพดีกว่า
X หมายถึง ให้ประสิทธิภาพต่อยกว่า
- หมายถึง ไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง

เครื่องเก็บสามมิติระบบเลเซอร์จะเหมาะสมกับงานที่มีความซับซ้อนสูงมีความลึกของหลุม เนื่องจากคุณสมบัติของแขนกลที่สามารถเคลื่อนย้ายหัวตรวจจับสามมิติระบบเลเซอร์เข้าไปในส่วนที่ซับซ้อนของชิ้นงานได้ ขนาดของชิ้นงานที่จะใช้การเก็บพิกัดโดยระบบเลเซอร์นั้นควรเป็นชิ้นงานขนาดเล็กและปานกลาง เนื่องจากชิ้นงานขนาดใหญ่แขนกลไม่สามารถเก็บพิกัดทั้งหมดภายในครั้งเดียวได้ทำให้ต้องทำการประกอบชิ้นงานซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาดมากกว่าการใช้เครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติกในการเก็บพิกัด นอกจากนี้เครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์ยังมีข้อดีในการเก็บพิกัดโดยวัสดุที่มีความมันวาวและสะท้อนแสงมาก เช่น แม่พิมพ์เป่าขวดน้ำพลาสติกที่มีทำจากอลูมิเนียม ส่วนเนื้อวัตถุที่แสงผ่านได้บ้างและผ่านได้ตลอด เครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์สามารถเก็บพิกัดพื้นผิวได้น้อยมากจนไม่มีประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรม แต่สำหรับการเก็บพิกัดสีของวัตถุนั้นระบบเลเซอร์จะสามารถเก็บพิกัดได้เฉพาะในสีสว่างส่วนสีที่มีความสว่างน้อยนั้นสามารถเก็บได้บ้าง และสีทึบไม่สามารถเก็บได้เลย

สำหรับเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติกนั้นเหมาะสำหรับงานที่ต้องการค่าความผิดพลาดในการประกอบชิ้นงานน้อย เพราะสามารถเก็บพิกัดชิ้นงานขนาดใหญ่ได้ภายในครั้งเดียวโดยไม่ต้องทำการประกอบชิ้นงานทำให้ลดค่าความผิดพลาดลงได้ ถึงแม้ว่าในกรณีที่จำเป็นต้องทำการประกอบชิ้นงาน ค่าความผิดพลาดก็ยังจะต่ำกว่าระบบเลเซอร์ โดยลักษณะของชิ้นงานที่เหมาะสมสำหรับการเก็บพิกัดด้วยระบบออปติกนั้นควรเป็นชิ้นงานที่มีผิวเรียบมีความซับซ้อนไม่สูงมาก เครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติกมีความสามารถในการเก็บพิกัดในผิวที่มีความมันวาวและสะท้อนแสงน้อยๆ ได้แต่ไม่สามารถเก็บพิกัดพื้นผิวที่สะท้อนแสงมากได้จึงจำเป็นต้องใช้สเปรย์แบ่งหรือสีสว่างด้านช่วยในการลดการสะท้อนแสงแต่ก็จะทำให้มีค่าความผิดพลาดเพิ่มขึ้น ส่วนพื้นผิวแสงสามารถผ่านได้ตลอด พื้นผิวที่แสงสามารถผ่านได้บางส่วนเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติกไม่สามารถเก็บพิกัดได้เลย ส่วนความสามารถในการเก็บพิกัดสีของวัตถุได้ทุกสียกเว้นสีดำที่ไม่สามารถเก็บพิกัดได้เลย

AMM054



หมายเหตุ - สัญลักษณ์  แสดงถึงเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติก (3D Optical Scanner)
 - สัญลักษณ์  แสดงถึงเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบเลเซอร์ (3D Laser Scanner)

รูปที่ 17 ผังงานแสดงการเลือกใช้เครื่องเก็บพิกัดตามความเหมาะสมของชิ้นงาน

7. กิตติกรรมประกาศ

- ขอขอบคุณศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สำหรับการสนับสนุนทุนโครงการวิจัยทุนสนับสนุนนักวิจัยรุ่นใหม่ในปีงบประมาณ 2548

- ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการรวดเร็ว ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) สำหรับการอนุเคราะห์การใช้งานเครื่องเก็บพิกัดสามมิติระบบออปติก โดยการควบคุมและแนะนำของ ดร.ฉัตรชัย จันทร์เด่นดวง และ คุณประสิทธิ์ วัฒนวงศ์สกุล

- ขอขอบคุณศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางแม่พิมพ์ยาง (CERM) สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม (RD IPT) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับสถานที่ทำวิจัยและคำแนะนำต่างๆ รวมถึงชิ้นงานตัวอย่าง โดยการอนุเคราะห์ของ ดร.ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ ดร.ชนะ รัชศิริ และคุณสุชาติ เจริญโมรา

- ขอขอบคุณเรืออากาศเอกพิทักษ์ ประกรแก้ว อาจารย์ประจำโรงเรียนนายเรืออากาศ กองทัพอากาศ ในการอนุเคราะห์ให้พีดของกัณฑ์ต้นกำลังสำหรับเครื่องบินขับไล่แบบที่ 18ข. เพื่อเป็นชิ้นงานตัวอย่าง

- ขอขอบคุณบริษัท เอ็มเอสซี ฟิวเจอร์ ส่อง จำกัด โดยคุณไกรสิทธิ์ ฟุ้งสุจริต ในการอนุเคราะห์แม่พิมพ์ยางอัดเพื่อเป็นชิ้นงานตัวอย่าง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Pearce, J. T. H., วิศวกรมย่อนรอยเพื่อการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ และอะไหล่ทดแทน. ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ. กรุงเทพฯ, ส.ส.ท. พ.ศ. 2545
- [2] Feng, C. X., and Xiao, S., 2000. Computer Aided Reverse Engineering with CMM for Digitization and LOM for Duplication, Conference on Frontiers of Design and Manufacturing, pp. 256-262.
- [3] Zhang, Y., 2003. Research into the Engineering Application of Reverse Engineering Technology, Journal of Materials Processing Technology, 472-475.
- [4] <http://www.gom.com>
- [5] Chantarapanich, N., Raksiri, C., Chianrabuttra, S., and Rodkwan, S., 2005. Reverse Engineering for 3D modeling in Turbine Application. ME-NETT#19 National Conference, Phuket, Thailand.
- [6] กรวิศร์ นราเดช และคณะ. 2547. การสร้างตัวถังรถต้นแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ในการออกแบบและวิศวกรรมย้อนรอย. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ
- [7] <http://www.kreon3d.com>
- [8] <http://www.cimcore.com>