

การพัฒนา ระบบสแกนวัตถุสามมิติด้วยภาษาไพทอนสำหรับ
วิศวกรรมย้อนกลับ

DEVELOPMENT OF 3D SCANNING SYSTEM BY PYTHON LANGUAGE
FOR REVERSE ENGINEERING

สิริวิทย์ แป้นชีวิค

SIRAWIT PAENCHEEWIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-060-035

การพัฒนาระบบสแกนวัตถุสามมิติด้วยภาษาไพทอนสำหรับ
วิศวกรรมย้อนกลับ

DEVELOPMENT OF 3D SCANNING SYSTEM BY PYTHON LANGUAGE
FOR REVERSE ENGINEERING

สิริวิชญ์ แป้นชีวิต

SIRAWIT PAENCHEEWIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-060-035

DEVELOPMENT OF 3D SCANNING SYSTEM BY PYTHON LANGUAGE
FOR REVERSE ENGINEERING

SIRAWIT PAENCHEEWIT

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2019

KMITL-2019-EN-M-060-035

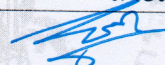
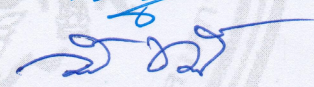
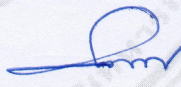
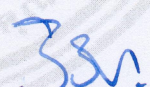
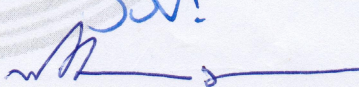
COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

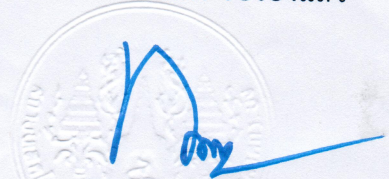
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาระบบสแกนวัตถุสามมิติด้วยภาษาไพทอนสำหรับวิศวกรรมย้อนกลับ
Thesis Title Development of 3D Scanning System by Python Language for Reverse Engineering
นักศึกษา นายสิริวิชญ์ แบนชีวิต
รหัสประจำตัว 58601298
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ทวิพล ชี้อัสตย์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2019-EN-M-060-035

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.ยุทธพงศ์	ทัฬหคุณ	
รศ.ดร.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	
รศ.ดร.สุพรรณ	กุลพานิชย์	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	
รศ.ดร.ทวิพล	ชี้อัสตย์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2562 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 3 ชั้น 5 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 15 พฤษภาคม พ.ศ. 2562

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาาระบบสแกนวัตถุสามมิติด้วยภาษาไพทอนสำหรับวิศวกรรมย้อนกลับ
นักศึกษา	นายสิริวิชญ์ แป้นชีวิต
รหัสประจำตัว	58601298
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาาระบบสแกนวัตถุสามมิติด้วยลำแสงเลเซอร์ตัดขวาง และศึกษาผลกระทบซึ่งเกิดจากมุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ เพื่อปรับปรุงผลลัพธ์ของการสแกนวัตถุสามมิติ และนำไปใช้เป็นอินพุตของเครื่องพิมพ์สามมิติ เนื่องจากระบบสแกนวัตถุสามมิติในปัจจุบันไม่สามารถให้ผลลัพธ์เป็นไฟล์ STL ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการพัฒนาาระบบดังกล่าวด้วยภาษาไพทอนในการสร้างไฟล์ STL พร้อมทั้งปรับปรุงพื้นผิวของวัตถุให้ดีขึ้นด้วยกระบวนการ Poisson reconstruction ในการทดลองการสแกนวัตถุต้นแบบจากวัตถุรูป ทรงสี่เหลี่ยม ทรงกระบอก และ ทรงหกเหลี่ยม เพื่อนำมาสร้างวัตถุด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ และทำการเปรียบเทียบขนาดระหว่างวัตถุต้นแบบ วัตถุสามมิติ และวัตถุที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ ในการพัฒนาาระบบสามารถปรับปรุงพื้นผิวของวัตถุสามมิติ และสามารถสร้างวัตถุด้วยการพิมพ์จากไฟล์ STL จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า ขนาดของมุมระหว่างเลเซอร์ และผิวของวัตถุเป็นตัวแปรสำคัญ ซึ่งทำให้เกิดค่าความผิดพลาด และผลจากการพิมพ์สามมิติ พบว่าวัตถุทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด และวัตถุทรงหกเหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงน้อยที่สุดมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 4.99 และ 11% ตามลำดับ งานวิจัยนี้สามารถปรับปรุงความละเอียดในการสแกนสำหรับการทำวิศวกรรมย้อนกลับที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้

Thesis Title	Development of 3D Scanning System by Python Language for Reverse Engineering
Student	Mr.Sirawit Paencheewit
Student ID.	58601298
Degree	Master of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Taweepol Suesut

ABSTRACT

This paper presents a development of 3D laser scanning system with studying the effect caused by the angle between laser and the object. The 3D object scanning results used as input for 3D printer were improved. Usually, the output file of 3D scanning system is not the STL file, which cannot apply for 3D printer. Therefore, this research proposes the developed software for creating the STL file from 3D scanner and improving surface with Poisson reconstruction process by Python language. The experiment was done by scanning rectangular, cylindrical and hexagonal object respectively then printing by 3D printer and comparing a dimension between original objects and the 3D printed objects. The results after developed found the system could reconstruct the surface of a 3D object and create STL file. From the analysis found a size between laser angle and surface of object was the critical parameter that obtained the error. The result after the object has printed found the Rectangular dimension was similar to the prototype object and the hexagonal object has minimum closet dimension about 4.9% and 11% respectively. This research can improve the resolution of scanning to provide complex reverse engineering

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รศ. ดร. ทวีพล ชื่อสัตย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำที่ดี ให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาหรือข้อสงสัยต่างๆเสมอ รวมถึงให้ความดูแลเอาใจใส่ สอบถามความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ และช่วยทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ได้ให้ความรู้ รวมถึงเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสร็จสิ้น

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา ให้การสนับสนุนช่วยเหลือในด้านต่างๆ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และช่วยเหลือจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประสบผลสำเร็จ

สุดท้ายนี้คุณค่าและคุณประโยชน์อันที่พึงมีจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีและขอให้ทุกๆท่าน จงมีความสุขตลอดไป

สิริวิชญ์ แป้นชีวิต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการคำย่อ.....	X
รายการสัญลักษณ์.....	XI
รายการศัพท์เทคนิค.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	2
1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม.....	4
2.1 การเก็บข้อมูลในเครื่องสแกนสามมิติ.....	4
2.1.1 วิธีแบบสัมผัส.....	4
2.1.2 วิธีแบบไม่สัมผัส.....	5
2.2 หลักการทำงานของเลเซอร์แบบเส้น (Laser Line).....	6
2.2.1 วิธีแบบสามเหลี่ยมโดยใช้เลเซอร์ (Laser Triangulation System).....	6
2.2.2 การคำนวณหาระยะพิกัดของวัตถุจริง.....	7
2.3 กลุ่มของเมฆจุด (Point Cloud).....	11
2.4 กระบวนการ 3D Surface Reconstruction.....	12
2.4.1 RGB & HSV.....	13
2.4.2 Voxels.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 ทฤษฎีของปัวซอง (Poisson Surface Reconstruction).....	15
2.5 เทคโนโลยีเครื่องพิมพ์สามมิติ	16
2.5.1 Overview.....	16
2.5.2 ไฟล์ STL.....	17
2.6 วิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering).....	17
2.7 ไพทอน.....	18
2.8 การทบทวนวรรณกรรม	19
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	22
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	22
3.1.1 เครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติ (Ciclop).....	22
3.1.2 ซอฟต์แวร์สแกนวัตถุ 3 มิติ	23
3.2 วิธีการทดลอง.....	26
3.2.1 การปรับปรุงซอฟต์แวร์โดยใช้ภาษาไพทอน.....	26
3.2.2 การทดสอบความสมมาตรของระบบสแกนเลเซอร์.....	28
3.2.3 การทดสอบการสแกนวัตถุต้นแบบ.....	31
3.2.4 การทดสอบการใช้ Output กับเครื่องพิมพ์วัตถุสามมิติ	31
3.2.5 การทดสอบการสแกนวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน	33
3.2.6 การทดสอบการสแกนวัตถุของเครื่อง DAVID Laser Scanner	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	37
4.1 การศึกษาการปรับปรุงซอฟต์แวร์โดยใช้ภาษาไพทอน	37
4.2 การศึกษาการทดสอบความสมมาตรของระบบสแกนเลเซอร์.....	38
4.3 การศึกษาการทดสอบการสแกนวัตถุต้นแบบ.....	41
4.3.1 ความผิดพลาดระหว่างวัตถุต้นแบบกับวัตถุสามมิติ.....	42
4.4 การศึกษาวัตถุพิมพ์ที่ได้จากผลของการสแกน.....	42
4.4.1 ความผิดพลาดระหว่างวัตถุต้นแบบกับวัตถุพิมพ์โดยคำนวณเป็นปริมาตร	42
4.4.2 ความผิดพลาดระหว่างวัตถุต้นแบบกับวัตถุพิมพ์โดยการวัดที่ละมิติ.....	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 การศึกษาการสแกนวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน	44
4.6 การศึกษาการทดสอบการสแกนวัตถุของเครื่อง DAVID Laser Scanner.....	44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	46
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก.....	50
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	58
ประวัติผู้เขียน	68

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการสแกนวัตถุ.....	38
4.2 สรุปผลมุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ.....	40
4.3 สรุปผลเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของปริมาตรของวัตถุสามมิติ.....	40
4.4 ปริมาตรของวัตถุต้นแบบกับวัตถุสามมิติ.....	42
4.5 ปริมาตรของวัตถุต้นแบบกับวัตถุพิมพ์.....	42
4.6 ขนาดของวัตถุต้นแบบกับวัตถุพิมพ์ที่ได้จากการวัด.....	43
4.7 ปริมาตรของวัตถุต้นแบบกับวัตถุสามมิติของเครื่อง DAVID Laser Scanner.....	45

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างเครื่อง CMM ของบริษัท itokin ที่ใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิต.....	4
2.2 วิธีการฉายเลเซอร์แบบจุด.....	5
2.3 วิธีการฉายเลเซอร์แบบเส้น.....	6
2.4 วิธีการหาระยะพิกัดของวัตถุวิธีแบบสามเหลี่ยมโดยใช้เลเซอร์แบบเส้น.....	7
2.5 การหาระยะพิกัด x, y, z ของวัตถุจริงบนระนาบ xz	8
2.6 การหาระยะพิกัด x, y, z ของวัตถุจริงบนระนาบ yz	9
2.7 ลำแสงเลเซอร์และมุมต่างๆของการสแกนเลเซอร์แบบเส้น.....	11
2.8 ตัวอย่างกลุ่มของเมฆจุด.....	12
2.9 ขั้นตอนการทำ Surface 3D Reconstruction.....	12
2.10 RGB.....	13
2.11 HSV.....	13
2.12 การเรนเดอร์ของชุดข้อมูลของ voxels สำหรับโมเดล.....	14
2.13 การสร้างพื้นผิว 2 มิติ ด้วยวิธีปัวซอง.....	15
2.14 เครื่องพิมพ์ 3 มิติของร้าน Winter Prototype รุ่น W20.....	16
2.15 ขั้นตอนการทำวิศวกรรมย้อนกลับด้วยเทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติ.....	18
2.16 ระบบที่ใช้แสงในการวัดรูปร่างแบบ 3 มิติ.....	19
2.17 ระบบเลเซอร์แบบเส้นวิธีแบบสามเหลี่ยมโดยไม่มีคอมพิวเตอร์.....	20
2.18 ฮาร์ดแวร์ระบบเลเซอร์แบบเส้นวิธีแบบสามเหลี่ยมของ Layton T.....	20
2.19 ระบบเลเซอร์แบบเส้นวิธีแบบสามเหลี่ยมของ Artthaya B.....	21
2.20 ตัวอย่างของการกำหนดค่าของระบบเลเซอร์วิธีแบบสามเหลี่ยม.....	21
3.1 ชิ้นส่วนของเครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติ (Ciclop).....	23
3.2 (ก) Zum BT-328 (ข) ZUM SCAN.....	23
3.3 ขั้นตอนของการสอบเทียบ.....	24
3.4 หน้าต่างของการแสดงวัตถุ.....	25
3.5 ผลลัพธ์ของการสแกนวัตถุ.....	25
3.6 FlowChart กระบวนการโหลดไฟล์.....	26
3.7 FlowChart กระบวนการเซฟไฟล์.....	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8	FlowChart กระบวนการรันไฟล์ 28
3.9	วัตถุ 3 ชนิดที่นำมาสแกน 29
3.10	การสอบเทียบเลเซอร์แบบเส้นจะใช้วิธีแบบสามเหลี่ยมในโปรแกรม Horus..... 29
3.11	ตัวอย่างการสแกนวัตถุทรงกระบอกด้วยเครื่องสแกน Ciclop 30
3.12	ตัวอย่างการสแกนวัตถุทรงกระบอกในโปรแกรม Horus..... 30
3.13	ทำการวัดขนาดวัตถุต้นแบบด้วยเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์..... 31
3.14	ตัวอย่างไฟล์ STL ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Horus..... 32
3.15	ไฟล์ STL ที่นำมาแปลงในโปรแกรม ideamaker..... 32
3.16	ตัวอย่างการนำไฟล์มาพิมพ์ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติ..... 33
3.17	วัตถุ 3 ชนิดที่นำมาทดสอบการสแกนวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน 33
3.18	โมเดลเทพสายฟ้าที่ได้จากการสแกนในซอฟต์แวร์ Horus 34
3.19	ลูกธูปิกที่ได้จากการสแกนในซอฟต์แวร์ Horus..... 34
3.20	โมเดลก๊อตจิที่ได้จากการสแกนในซอฟต์แวร์ Horus 35
3.21	ตัวอย่างการสแกนวัตถุทรงกระบอกด้วยเครื่อง DAVID Laser Scanner 35
3.22	ตัวอย่างการสอบเทียบพารามิเตอร์ของเครื่อง DAVID Laser Scanner 36
4.1	หน้าต่างเครื่องมือปรับปรุงพื้นผิว 37
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเลเซอร์กับจำนวนครั้งในการสแกน 39
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของปริมาตรของวัตถุสามมิติกับ จำนวนครั้งในการสแกน..... 39
4.4	ตัวอย่างวัตถุต้นแบบ วัตถุสามมิติ และวัตถุที่ได้จากการพิมพ์ของวัตถุทรงกระบอก..... 41
4.5	ตัวอย่างวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อนหลังจากการสแกน..... 44
4.6	ตัวอย่างการทดสอบการสแกนวัตถุของเครื่อง DAVID Laser Scanner 45

รายการคำย่อ

อักษรย่อ	คำเต็มภาษาอังกฤษ	คำแปลภาษาไทย
CT Scan	Computerized Tomography Scan	เอกซเรย์คอมพิวเตอร์
CMM	Coordinate Measuring Machine	เครื่องวัด 3 มิติ
FOV	Field of View	ค่าขอบเขตการมองเห็น
STL	Standard Triangle Language	ไฟล์เอสทีแอล
RGB	Red Green Blue	อาร์จีบี
HSV	Hue Saturation Value	เฮดเอสวี
DIY	Do it yourself	สร้างได้ด้วยตนเอง

รายการสัญลักษณ์

x	คือ	ระยะพิกัดของวัตถุจริงในแนวแกน x (m)
h	คือ	ระยะพิกัดของวัตถุจริงในแนวแกน z (m)
a	คือ	ระยะของภาพในแนวแกน x (m)
d	คือ	ระยะห่างระหว่างกล้องกับอุปกรณ์เลเซอร์ในแนวแกน x (m)
ϕ	คือ	มุมของลำแสงเลเซอร์ในระนาบ xz (องศา)
f	คือ	ระยะโฟกัสของกล้องในระนาบ xz (m)
θ	คือ	มุมของลำแสงของภาพที่ผ่านเลนส์ในระนาบ xz
y	คือ	ระยะพิกัดของวัตถุจริงในแนวแกน y (m)
b	คือ	ระยะของภาพในแนวแกน y (m)
β	คือ	มุมของลำแสงของภาพที่ผ่านเลนส์ในระนาบ yz (องศา)
f	คือ	ระยะโฟกัสของกล้องในระนาบ yz (m)
z	คือ	ระยะพิกัดของวัตถุจริงในแนวแกน z (m)
H	คือ	ความเข้มของเนื้อสี
S	คือ	ความบริสุทธิ์ของสี
V	คือ	ความสว่างของสี
Δ	คือ	ตัวดำเนินการลาปลาซ
f	คือ	ฟังก์ชันค่าจริง
φ	คือ	แมนิโฟลด์
∇^2	คือ	ตัวดำเนินการลาปลาซ

รายการคำศัพท์เทคนิค

ภาษาไทย

เอกซเรย์คอมพิวเตอร์
เครื่องวัด 3 มิติ
ค่าขอบเขตการมองเห็น
กลุ่มของเมฆจุด
เอสทีแอล
วิธีแบบสามเหลี่ยมโดยใช้เลเซอร์
วิธีแบบสัมผัส
วิธีแบบไม่สัมผัส
หัววัด
แอคทีฟ
พาสซีฟ
ซีซีดี
เลเซอร์แบบจุด
เลเซอร์แบบเส้น
แบบจำลองพื้นผิว
แบบจำลองโครงข่าย
อาร์จีบี
เฮดเอสวี
ทฤษฎีของปัวซอง
เครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติ
ซอฟต์แวร์สแกนวัตถุสามมิติ
สามารถสร้างได้ด้วยตนเอง
พอร์ตอนุกรม
มุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ

ภาษาอังกฤษ

Computerized Tomography Scan
Coordinate Measuring Machine
Field of View
Point cloud
Standard Triangle Language
Laser Triangulation
Contact
Non-Contact
Probe
Active
Passive
Charge Coupled Device
Laser Point
Laser line
Surface Model
Mesh Model
Red Green Blue
Hue Saturation Value
Poisson Surface Reconstruction
Ciclop
Program Horus
DIY
Universal Serial Bus
beam angle

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เครื่องสแกนวัตถุเป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เครื่องสแกนวัตถุในหลายด้าน อาทิเช่น ด้านการแพทย์ เช่น เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computerized Tomography Scan: CT Scan) เพื่อตรวจสอบความผิดปกติของผู้ป่วย โดยนำผลของการสแกนมาวิเคราะห์ และจำลองเพื่อช่วยในการวินิจฉัยโรค ด้านอุตสาหกรรมมีการใช้เครื่องสแกนเนอร์ประเภทเครื่องวัด 3 มิติ (Coordinate Measuring Machine : CMM) เพื่อทดแทนเครื่องมือวัดขนาดของวัตถุ จากที่ได้กล่าวมาตอนต้น พบว่าเครื่องสแกนวัตถุมีคุณสมบัติประโยชน์และนำมาประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย

ในปัจจุบันเครื่องสแกนวัตถุราคาถูกลงได้รับความนิยมมากขึ้นในการใช้งานร่วมกับงานวิจัย เช่น ระบบเลเซอร์แบบสามเหลี่ยมในการสร้างภาพ 2 มิติและ 3 มิติ เพื่อตรวจจับวัตถุต้องสงสัยในงานความปลอดภัยระหว่างประเทศ [1] และมีการพัฒนาระบบสแกนวัตถุบนแท่นหมุน โดยใช้หลักการวิธีแบบสามเหลี่ยมโดยใช้เลเซอร์ในการแปลงจุดข้อมูลบนรูปภาพให้เป็นข้อมูลพิกัดฉากของโลก [2] ต่อมาได้มีการนำเสนอระบบ 3 มิติที่ใช้วิธีแบบสามเหลี่ยมโดยใช้เลเซอร์และพัฒนารูปแบบการสแกนให้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าขอบเขตการมองเห็น (Field of View : FOV) ได้ ซึ่งเทคนิคนี้ทำให้ระบบสแกนมีความถูกต้องแม่นยำและมีมุมสแกนที่มากขึ้น [3]

จากงานวิจัยดังกล่าว ผู้เขียนจึงมีความสนใจในเทคโนโลยีสแกนเนอร์สามมิติราคาถูกลง เนื่องจากใช้งานเครื่องเลเซอร์สแกน Ciclop ซึ่งมีรูปแบบการสแกนวัตถุสามมิติด้วยลำแสงเลเซอร์ตัดขวางโดยให้เอาต์พุตในลักษณะของกลุ่มของเมฆจุด (Point cloud) เท่านั้น ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงการพัฒนาต่อยอดเพื่อให้โปรแกรมสามารถสร้างไฟล์เอสทีแอล (Standard Triangle Language : STL) ได้ และนำไปใช้ร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ และทำการศึกษาผลของการทดสอบความสมมาตรของระบบสแกนเนอร์ มุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ เพื่อปรับปรุงการสแกนให้ได้ขนาดของวัตถุสามมิติให้มีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาระบบสแกนวัตถุ 3 มิติ

1.2.2 เพื่อศึกษาส่วนประกอบของเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ

1.2.3 เพื่อพัฒนาโปรแกรมสแกนวัตถุสามมิติ ให้สามารถสร้างไฟล์ STL จากวัตถุที่สแกนได้ด้วยเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 การศึกษาเกี่ยวกับระบบสแกนวัตถุ 3 มิติ
- 1.3.2 ทดลองสแกนวัตถุ 6 ชิ้น ประกอบไปด้วย วัตถุทรงกระบอก ทรงสี่เหลี่ยม ทรงหกเหลี่ยม และวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น โมเดลตัวการ์ตูน และรูปรูปคิก
- 1.3.3 ทำการเปรียบเทียบผลของการสแกนวัตถุทรงต่างๆ ระหว่าง วัตถุต้นแบบ วัตถุ 3 มิติ และ วัตถุที่ได้จากการพิมพ์
- 1.3.4 ทำพัฒนาโปรแกรมสแกนวัตถุ 3 มิติ ให้สามารถสร้างไฟล์ STL ได้

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาทฤษฎีต่างๆ อาทิเช่น วิธีแบบสามเหลี่ยมโดยใช้เลเซอร์ (Laser Triangulation) กลุ่มของเมฆจุด กระบวนการ 3D Surface Reconstruction และเทคโนโลยีเครื่องพิมพ์สามมิติ
- 1.4.2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติ
- 1.4.3 ศึกษาโปรแกรมที่ใช้สำหรับการสแกนวัตถุ 3 มิติ
- 1.4.4 ดำเนินการพิมพ์รูปทรง 3 มิติที่ได้จากการสแกน
- 1.4.5 ดำเนินการทดลอง
- 1.4.6 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1.5.1 เข้าใจขั้นตอน และทฤษฎีของระบบสแกนวัตถุ 3 มิติ
- 1.5.2 เข้าใจส่วนประกอบของเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ
- 1.5.3 สามารถพัฒนาโปรแกรมให้สามารถสร้างไฟล์ STL และนำไปพิมพ์เป็นวัตถุ 3 มิติ

1.6 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท โดยเนื้อหาแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ขอบเขตการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม ได้แก่ วิธีการเก็บข้อมูลในเครื่องสแกน 3 มิติ หลักการทำงานของเลเซอร์แบบเส้น กลุ่มของเมฆจุด กระบวนการ 3D Surface Reconstruction เทคโนโลยีเครื่องพิมพ์สามมิติและการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการสแกนวัตถุ 3 มิติ

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง การปรับปรุงซอฟต์แวร์โดยใช้ภาษาไพทอน การทดสอบความสมมาตรของระบบสแกนเลเซอร์ การทดสอบการสแกนวัตถุต้นแบบ การทดสอบการใช้ Output กับเครื่องพิมพ์วัตถุสามมิติ การทดสอบการสแกนวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน เพื่อทดสอบข้อจำกัดของเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติและ การทดสอบสแกนวัตถุของเครื่อง DAVID Laser Scanner เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่อง Ciclop และเครื่อง DAVID Laser Scanner

บทที่ 4 กล่าวถึงผลของการปรับปรุงซอฟต์แวร์ไพทอน ผลของการทดสอบความสมมาตรของระบบสแกนเลเซอร์ ผลของการทดสอบการสแกนวัตถุต้นแบบ ผลของการศึกษาวัตถุพิมพ์ที่ได้จากผลของการสแกน และผลของการทดสอบการสแกนวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน เพื่อปรับปรุงผลของการสแกนให้ขนาดของวัตถุสามมิติให้มีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด และผลของการทดสอบการสแกนวัตถุของเครื่อง DAVID Laser Scanner

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ รวมถึงการนำเนื้อหาไปวิจัยต่อยอดเบื้องต้น

บทที่ 2

ทฤษฎีและการทบทวนวรรณกรรม

2.1 การเก็บข้อมูลในเครื่องสแกนสามมิติ

การขึ้นรูปสามมิติ หลักการทำงานคือการเก็บข้อมูลของรูปทรงสามมิติที่มีความต้องการในด้านคุณสมบัติของวัตถุประกอบด้วย ความกว้าง ความยาวและความสูง เพื่อหาพิกัดหรือระยะของวัตถุจริง จากนั้นนำข้อมูลมาประมวลผลคำนวณทางทฤษฎี โดยข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การสร้างแบบสามมิติ การวัดขนาดของวัตถุจริง การตรวจสอบระยะความแตกต่างของพื้นผิวของวัตถุ เป็นต้น

การเก็บข้อมูลสามมิติ สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีแบบสัมผัส (Contact) และวิธีแบบไม่สัมผัส (Non-Contact)

2.1.1 วิธีแบบสัมผัส

เป็นการเก็บข้อมูลโดยการสัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุโดยใช้หัววัด (Probe) ในการตรวจจับตัวอย่างเช่น เครื่องวัด 3 มิติ (Coordinate Measuring Machine : CMM) ที่ใช้ในการสแกนวัตถุสามมิติด้วยวิธีสัมผัส ซึ่งได้รับการใช้งานอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม รวมไปถึงมีความแม่นยำสูง ในการวัดความกว้าง ความยาว และความสูงของวัตถุ แต่มีข้อเสียคือ ต้องมีการสัมผัสกับวัตถุ ทำให้เกิดความล่าช้าในการเก็บข้อมูลเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ ตัวอย่างเช่น เครื่อง CMM ที่ใช้งานในด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1



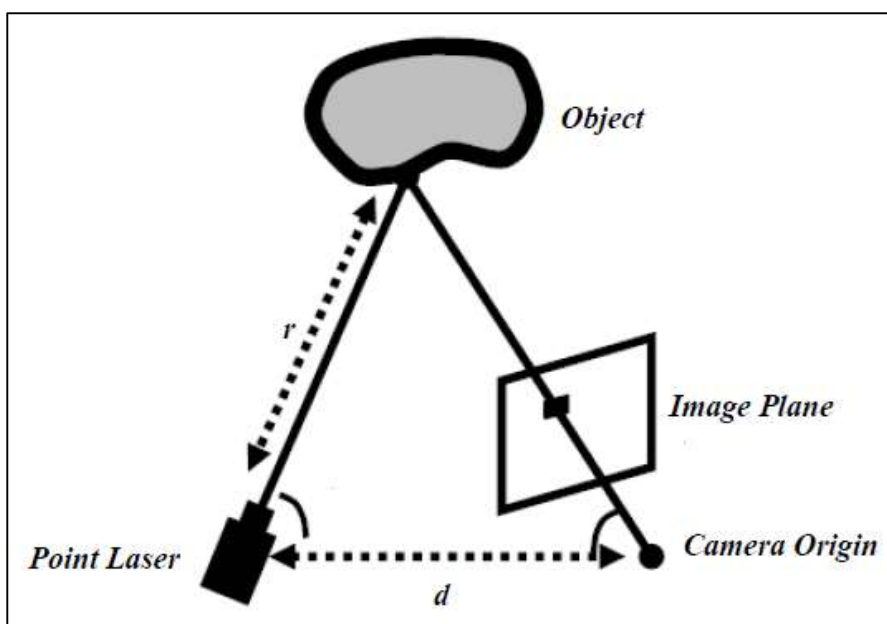
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างเครื่อง CMM ของบริษัท itokin ที่ใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิต [4]

2.1.2 วิธีแบบไม่สัมผัส

เป็นการเก็บข้อมูลสามมิติโดยการเก็บข้อมูลระยะพิกัดผิวของวัตถุโดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบแอคทีฟ (Active) ใช้หลักการยิงคลื่นเสียง หรือคลื่นแสง ให้ตกกระทบพื้นผิวกับผิวของวัตถุ จากนั้นตรวจจับค่าของระยะคลื่นที่ได้จากกล้อง หรือตัวรับสัญญาณ เพื่อคำนวณหาระยะพิกัดของวัตถุ จากนั้นนำไปสร้างเป็นข้อมูลภาพสามมิติ และแบบพาสซีฟ (Passive) วิธีนี้เป็นการใช้แสงจากสิ่งแวดล้อมแล้วทำการตรวจจับโดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับ เช่น กล้องซีซีดี (Charge Coupled Device: CCD) เพื่อเก็บภาพเป็นข้อมูล และนำผลมาคำนวณระยะของภาพกับกล้องเพื่อสร้างภาพสามมิติ

วิธีการเก็บข้อมูลแบบพาสซีฟจะมี 2 แบบคือ

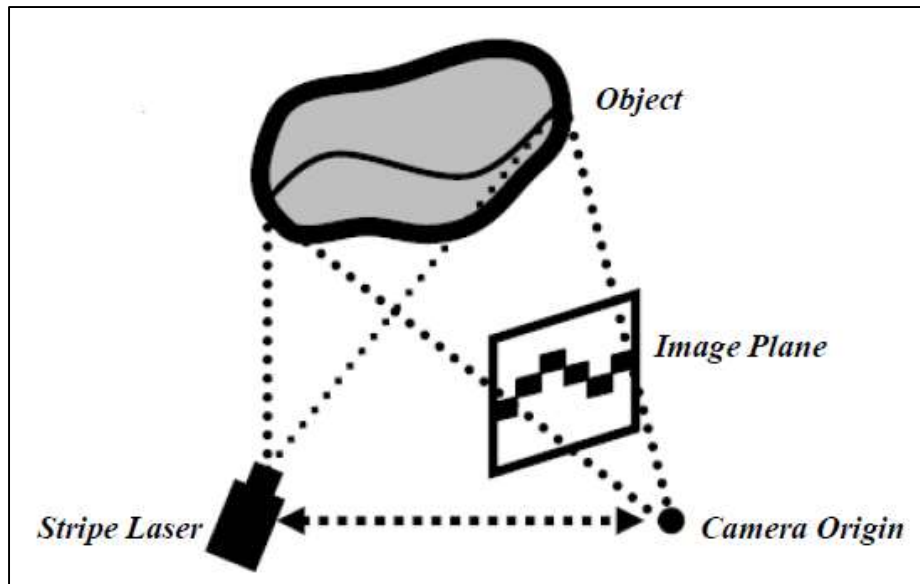
1. วิธีการฉายเลเซอร์แบบจุด (Laser Point) เป็นการฉายแสงเลเซอร์แบบจุด เพื่อให้ตกกระทบกับวัตถุทำให้ผิวของวัตถุเกิดแสงที่เป็นจุดจากเลเซอร์ และรับข้อมูลภาพจากตัวรับภาพ ซึ่งจะใช้กล้องซีซีดี หรือกล้องดิจิตอล ในการเก็บภาพของวัตถุนั้นภาพของแสงที่ตกกระทบบนวัตถุที่ได้จะนำมาคำนวณหาระยะพิกัดของวัตถุกับตัวกล้อง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วิธีการฉายเลเซอร์แบบจุด

จากรูปที่ 2.2 การสแกนเลเซอร์แบบจุดมีข้อดีคือ เป็นการฉายเลเซอร์ที่ละจุด ทำให้การประมวลผลเพื่อหาระยะของวัตถุจึงมีความแม่นยำโดยที่ไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุ และมีข้อเสียคือ การเก็บข้อมูลทำได้ช้าเนื่องจากต้องฉายแสงทีละจุดเพื่อเก็บข้อมูล

2. วิธีการฉายเลเซอร์แบบเส้น (Laser line) เป็นการฉายเลเซอร์แบบเส้นฉายไปยังผิวของวัตถุ เพื่อให้สะท้อนแสงของเลเซอร์กลับมายังกล้องซีซีดี ทำให้เกิดภาพบนฉากรับภาพแบบเส้น และนำมาคำนวณหาระยะพิคต์ของวัตถุ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วิธีการฉายเลเซอร์แบบเส้น

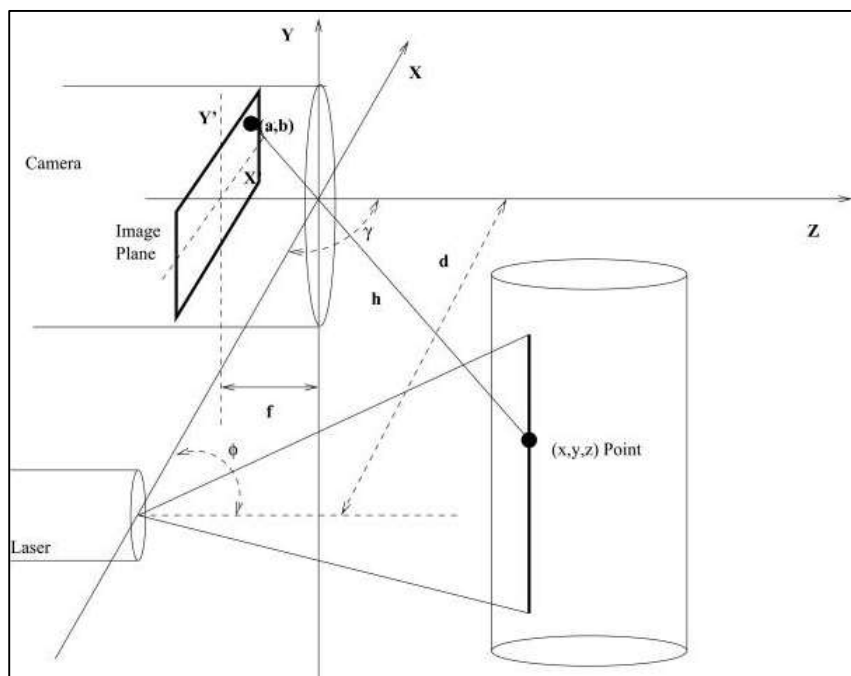
จากรูปที่ 2.3 การฉายเลเซอร์แบบเส้นสามารถหาพิคต์ของผิววัตถุได้หลายตำแหน่งจากเส้นของเลเซอร์ที่เกิดบนฉากรับของกล้องซีซีดี ใน 1 รอบของการประมวลผล ทำให้สามารถหาพิคต์ของผิววัตถุได้รวดเร็วและง่ายกว่าการฉายเลเซอร์แบบจุด

2.2 หลักการทำงานของเลเซอร์แบบเส้น (Laser Line)

2.2.1 วิธีแบบสามเหลี่ยมโดยใช้เลเซอร์ (Laser Triangulation System)

การทำงานของเลเซอร์แบบเส้นจะใช้วิธีแบบสามเหลี่ยม (Laser Triangulation) เป็นวิธีการหาระยะของวัตถุแบบสามเหลี่ยมโดยใช้แสงเลเซอร์ในการระยะของวัตถุโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงจากเลเซอร์เพื่อยิงไปยังผิวของวัตถุ แสงที่สะท้อนจากวัตถุจะเป็นแสงที่มีความสัมพันธ์กับรูปร่างของพื้นผิววัตถุ เมื่อแสงตกกระทบผิวของวัตถุ จะเกิดการสะท้อน หรือหักเหไปที่ตัวตรวจจับ เพื่อเก็บภาพ หรือแสงที่ได้ และนำมาคำนวณหาระยะของผิววัตถุในการสร้างภาพสามมิติ

การทำงานของเลเซอร์แบบเส้นจะเป็นการวัด หรือหาพิคต์ของวัตถุโดยการใช้หลักการแบบสามเหลี่ยมโดยใช้เลเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

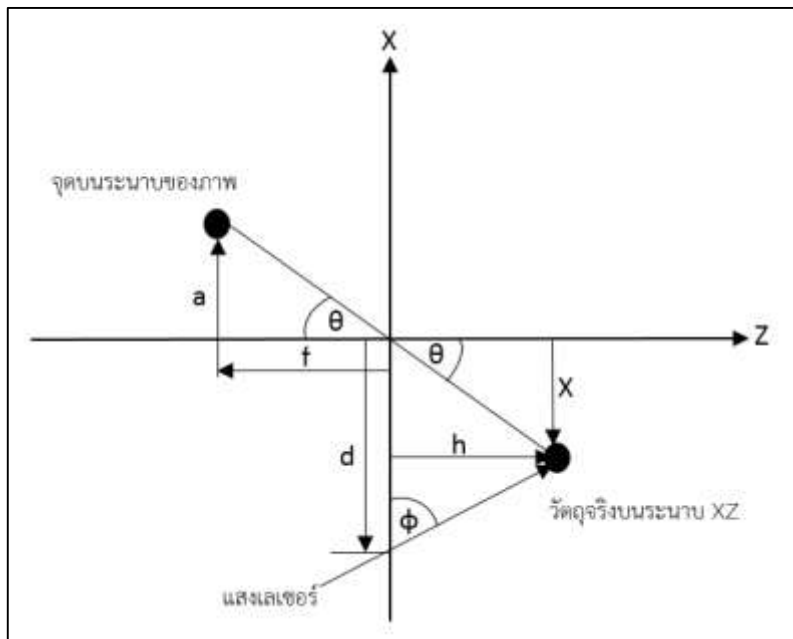


รูปที่ 2.4 วิธีการหาระยะพิคัดของวัตถุวิธีแบบสามเหลี่ยมโดยใช้เลเซอร์แบบเส้น [5]

จากรูปที่ 2.4 พบว่าการหาตำแหน่งพิคัดของวัตถุจะได้จากการฉายแสงเลเซอร์เพื่อตกกระทบกับผิวของวัตถุทำให้เกิดภาพของเลเซอร์บนฉากรับภาพของกล้อง โดยกำหนดระยะห่างของกล้องกับแหล่งกำเนิดเลเซอร์ ภาพที่ได้สามารถนำมาคำนวณหาระยะพิคัดของวัตถุ x, y, z ในการวางตำแหน่งของกล้อง แสงเลเซอร์ และวัตถุ ที่วางในลักษณะของรูปสามเหลี่ยม ทั้งนี้เพื่อให้สามารถคำนวณโดยใช้หลักตรีโกณมิติในการหาระยะของวัตถุจริงที่ได้จากระยะของจุดของแสงเลเซอร์บนรูปภาพจากกล้อง

2.2.2 การคำนวณหาระยะพิคัดของวัตถุจริง

จากรูปที่ 2.4 สามารถเขียนใหม่ในแนวของแกนพิคัด x, y, z เพื่อหาระยะของจุดของวัตถุจริงที่แสงเลเซอร์ตกกระทบได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 การหาระยะพิกัด x, y, z ของวัตถุจริงบนระนาบ xz

จากรูปที่ 2.5 พิจารณาในระนาบ xz

$$\tan \theta = \frac{a}{f} = \frac{x}{h} \quad (2.1)$$

$$x = \frac{ha}{f} \quad (2.2)$$

พิจารณา h

$$h = \frac{d - x}{\cot \phi} \quad (2.3)$$

นำค่า h สมการที่ (2.3) แทนลงในสมการที่ (2.2)

$$x = \frac{(d - x)a}{f \cot \phi} \quad (2.4)$$

$$(xf) \cot \phi = ad - ax \quad (2.5)$$

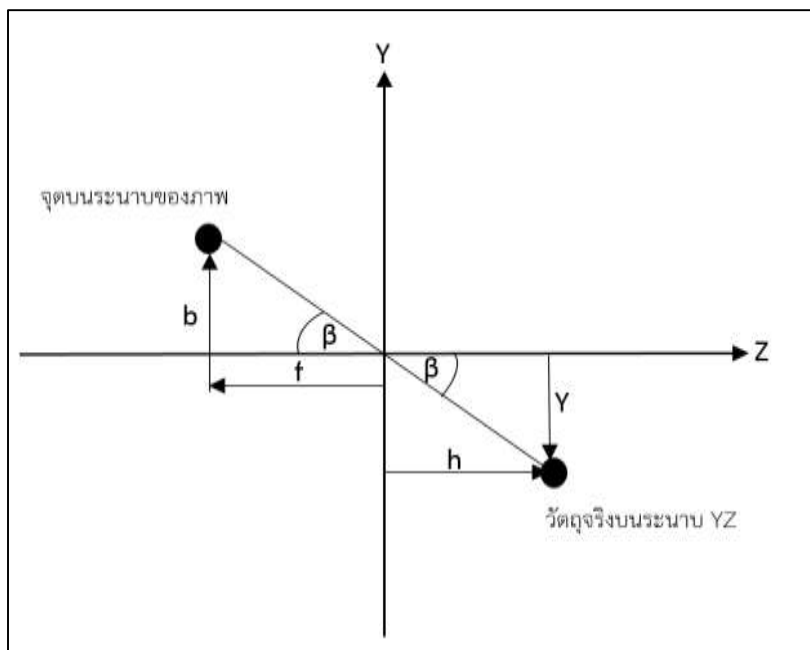
$$(xf) \cot \phi + ax = ad \quad (2.6)$$

$$x(f \cot \phi + a) = ad \quad (2.7)$$

$$x = \frac{ad}{(f \cot \phi + a)} \quad (2.8)$$

- ซึ่ง
- x คือ ระยะพิกัดของวัตถุจริงในแนวแกน x (m)
 - h คือ ระยะพิกัดของวัตถุจริงในแนวแกน z (m)
 - a คือ ระยะของภาพในแนวแกน x (m)
 - d คือ ระยะห่างระหว่างกล้องกับอุปกรณ์เลเซอร์ในแนวแกน x (m)
 - ϕ คือ มุมของลำแสงเลเซอร์ในระนาบ xz (องศา)
 - f คือ ระยะโฟกัสของกล้องในระนาบ xz (m)
 - θ คือ มุมของลำแสงของภาพที่ผ่านเลนส์ในระนาบ xz

หากพิจารณาระนาบ yz จากรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การหาระยะพิกัด x , y , z ของวัตถุจริงบนระนาบ yz

จากรูป 2.6 หาค่า y โดยพิจารณาที่ระนาบ yz

$$\tan \beta = \frac{b}{f} = \frac{y}{h} \quad (2.9)$$

$$y = \frac{hb}{f} \quad (2.10)$$

พิจารณา h จากสมการที่ (2.2)

$$h = \frac{xf}{a} \quad (2.11)$$

จากสมการที่ (2.8) นำค่า x แทนลงในสมการที่ (2.11) จะได้

$$h = \frac{ad}{(f \cot \phi + a)} \times \frac{f}{a} \quad (2.12)$$

$$h = \frac{df}{(f \cot \phi + a)} \quad (2.13)$$

จากสมการที่ (2.13) นำค่า h แทนลงในสมการที่ (2.10)

$$y = \frac{df}{(f \cot \phi + a)} \times \frac{b}{f} \quad (2.14)$$

$$y = \frac{bd}{(f \cot \phi + a)} \quad (2.15)$$

- ซึ่ง
- y คือ ระยะพิกัดของวัตถุจริงในแนวแกน y (m)
 - h คือ ระยะพิกัดของวัตถุจริงในแนวแกน z (m)
 - b คือ ระยะของภาพในแนวแกน y (m)
 - d คือ ระยะห่างระหว่างกล้องกับอุปกรณ์เลเซอร์ในแนวแกน x (m)
 - β คือ มุมของลำแสงของภาพที่ผ่านเลนส์ในระนาบ yz (องศา)
 - f คือ ระยะโฟกัสของกล้องในระนาบ yz (m)

หาค่า z พิจารณาที่ระนาบ xz จากรูป 2.5

เมื่อ $z = h$ จากสมการที่ (2.2) จะได้

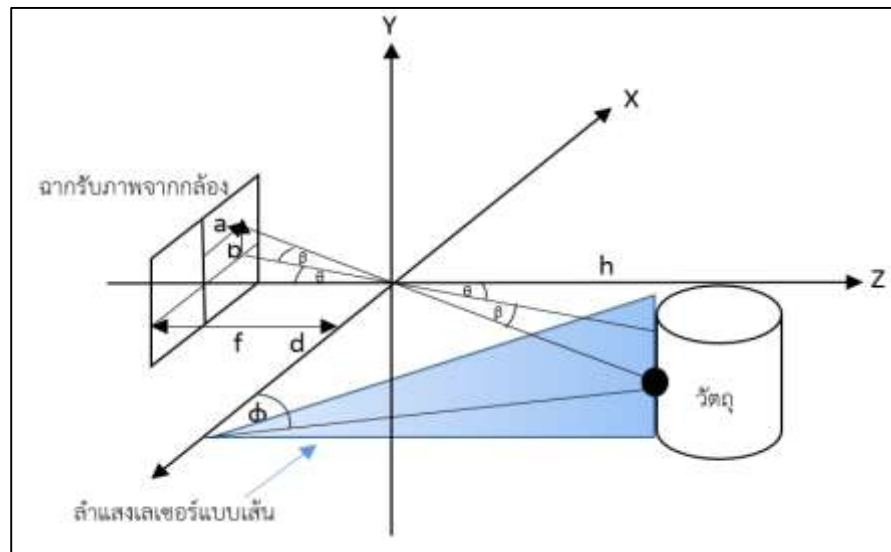
$$z = h = \frac{xf}{a} \quad (2.16)$$

จากสมการที่ (2.8) นำค่า x แทนลงในสมการที่ (2.16) จะได้

$$z = \frac{ad}{(f \cot \phi + a)} \times \frac{f}{a} \quad (2.17)$$

$$z = \frac{df}{(f \cot \phi + a)} \quad (2.18)$$

- ซึ่ง
- z คือ ระยะพิกัดของวัตถุจริงในแนวแกน z (m)
 - h คือ ระยะพิกัดของวัตถุจริงในแนวแกน z (m)
 - a คือ ระยะของภาพในแนวแกน x (m)
 - d คือ ระยะห่างระหว่างกล้องกับอุปกรณ์เลเซอร์ในแนวแกน x (m)
 - ϕ คือ มุมของลำแสงเลเซอร์ในระนาบ xz (องศา)
 - f คือ ระยะโฟกัสของกล้องในระนาบ xz (m)

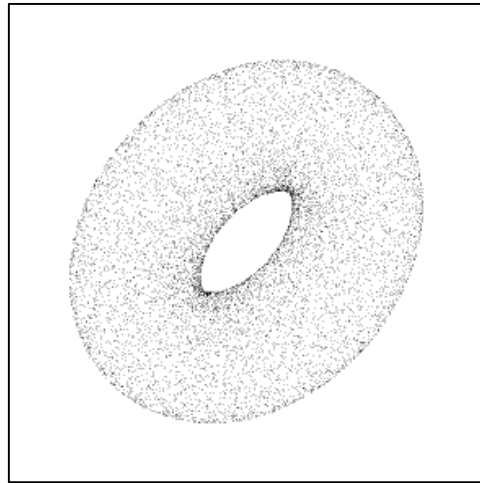


รูปที่ 2.7 ลำแสงเลเซอร์และมุมต่างๆของการสแกนเลเซอร์แบบเส้น

จากรูปที่ 2.7 จะพบว่าสามารถเก็บข้อมูลของวัตถุจริงได้ทั้งแถบเส้นของแสงเลเซอร์ที่ตกกระทบใน 1 รอบ ทำให้ในการเก็บภาพแต่ละครั้งสามารถประมวลผลข้อมูลของ x , y , z ได้ทั้งแนวเส้นของเลเซอร์ที่ตกกระทบกับผิวของวัตถุ ทำให้การสแกนโดยวิธีการใช้เลเซอร์แบบเส้นนี้มีความรวดเร็วโดยไม่ต้องสัมผัสกับผิวของวัตถุ และสามารถลดปริมาณของข้อมูลรูปภาพที่ใช้ในการประมวลผล

2.3 กลุ่มของเมฆจุด (Point Cloud)

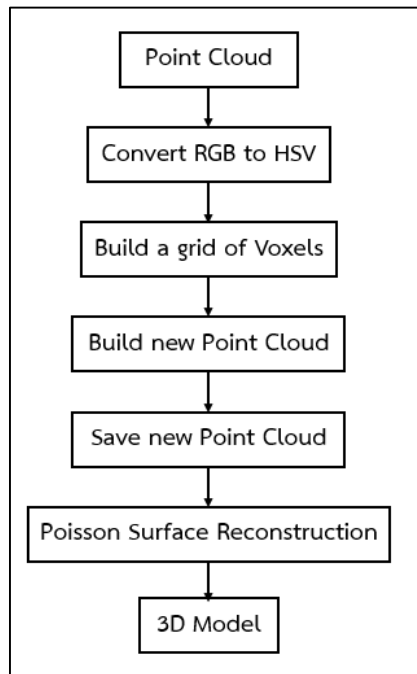
กลุ่มของเมฆจุดคือ เซตของจุดในระบบพิกัดสามมิติ โดยปกติความสัมพันธ์ในพิกัดของ XYZ มักจะถูกใช้เป็นตัวแทนของพื้นผิวภายนอกของวัตถุต่างๆ ซึ่งส่วนมากกลุ่มของเมฆจุดได้รับการสร้างมาจากเครื่องสแกนเนอร์สามมิติ ผลที่ได้จากการสแกนส่วนใหญ่ นิยมใช้ในงานออกแบบชิ้นส่วน เพื่อตรวจสอบคุณภาพ สำหรับกลุ่มของเมฆจุดในงานสามมิติ โดยทั่วไปจะได้รับการแปลงให้อยู่ในรูปของแบบจำลองพื้นผิว (Surface Model) ในลักษณะแบบจำลองโครงข่าย (Mesh Model) เพื่อให้สะดวกต่อการใช้ประโยชน์ในงานที่หลากหลาย



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างกลุ่มของเมฆจุด [6]

2.4 กระบวนการ 3D Surface Reconstruction

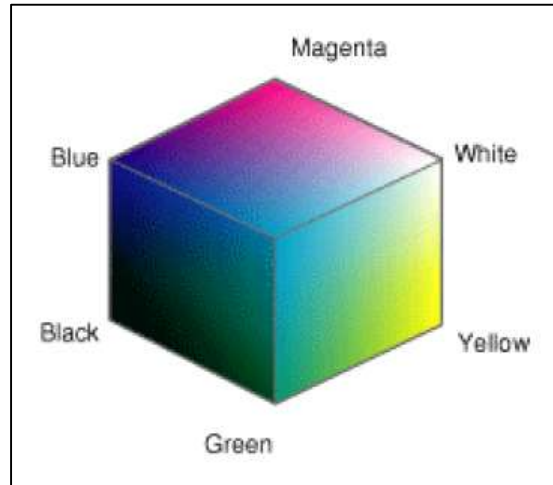
โดยปกติระบบเลเซอร์สแกนเนอร์จะให้ผลลัพธ์เป็นกลุ่มของเมฆจุด และเมื่อมีความต้องการที่จะนำกลุ่มของเมฆจุด ไปใช้งานร่วมกับเครื่องพิมพ์ 3 มิติ กระบวนการ Surface 3D Reconstruction จึงมีความจำเป็นในการสร้างวัตถุสามมิติ โดยเริ่มจากการแปลง RGB เป็น HSV จากนั้นทำการสร้าง Grid of Voxels และสร้างกลุ่มของเมฆจุดใหม่ตามลำดับ จากนั้นนำค่ากลุ่มของเมฆจุดเข้าสู่กระบวนการ Surface Reconstruction ด้วยวิธีการคำนวณแบบปัวซอง จึงจะได้วัตถุสามมิติที่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูป 2.9



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการทำ Surface 3D Reconstruction

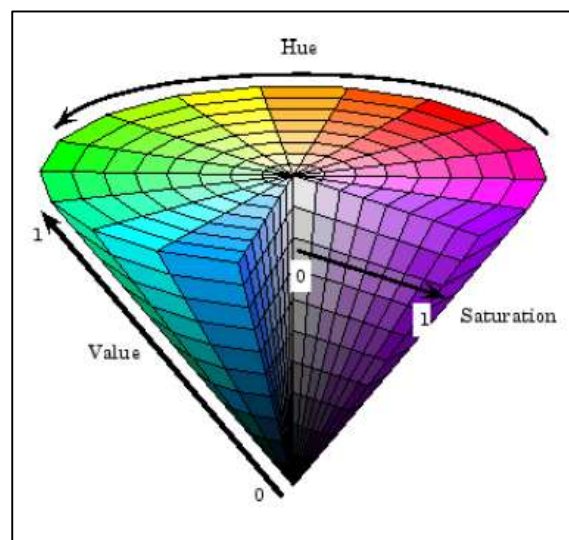
2.4.1 RGB & HSV

อาร์จีบี (Red Green Blue : RGB) เป็นปริภูมิสีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบภาพ โดยแทนค่าสีของจุดภาพแต่ละจุดภาพด้วยเวกเตอร์สามมิติ ซึ่งแทนค่าสีปฐมภูมิได้แก่ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน โดยมีช่วงของสีระหว่าง 0-255 ซึ่ง RGB จะมีลักษณะเป็นลูกบาศก์ที่แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 RGB

เฮตเอสวี (Hue Saturation Value : HSV) ใช้หลักการแยกความสว่างออกจากเนื้อสีของจุดภาพ โดย HSV นั้นแทนค่าด้วยเวกเตอร์สามมิติ ซึ่งประกอบด้วย H แทนค่า ความเข้มของเนื้อสี (Hue) S แทนค่าความบริสุทธิ์ของสี (Saturation) และ V แทนค่าความสว่างของสี (Value) ซึ่ง HSV จะมีลักษณะเป็นกรวยดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 HSV

การแปลง RGB ให้เป็น HSV ทำได้จากการคำนวณหาค่า H ด้วยสมการ (2.19) S คำนวณได้จากสมการ (2.21) และ V คำนวณได้จากสมการ (2.22) ตามลำดับ

$$H = \begin{cases} \delta, B \leq G \\ 2\pi - \delta, otherwise \end{cases} \quad (2.19)$$

โดย ค่าของ δ คำนวณได้จากสมการ (2.20)

$$\delta = \cos^{-1} \left(\frac{(R-G)+(R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}} \right) \quad (2.20)$$

$$S = 1 - 3 \times \frac{\text{Min}(R, G, B)}{R+G+B} \quad (2.21)$$

$$V = \frac{R+G+B}{3} \quad (2.22)$$

ซึ่ง H คือ ค่าความเข้มของเนื้อสี (Hue)

S คือ ค่าความบริสุทธิ์ของสี (Saturation)

V คือ ค่าความสว่างของสี (Value)

2.4.2 Voxels

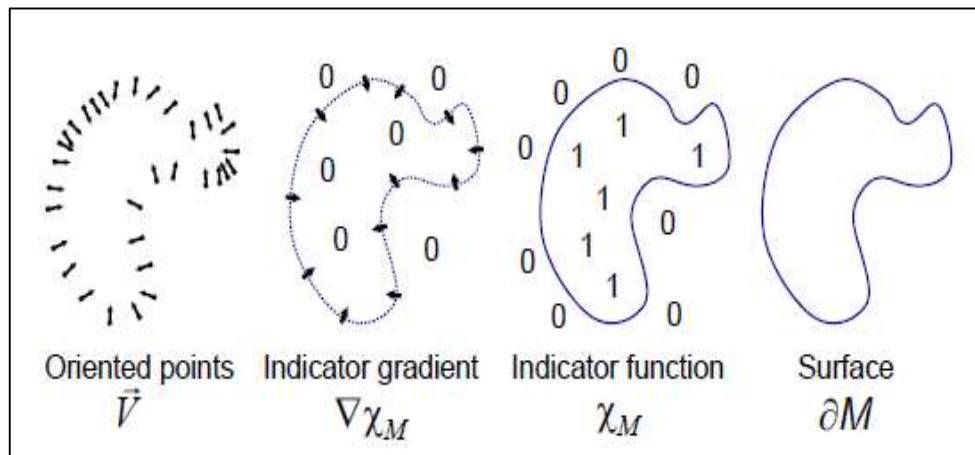
Voxels มีลักษณะเหมือนพิกเซลในภาพบิตแมป ซึ่งอยู่ในลักษณะของการนำภาพบิตแมปมาเรียงทับซ้อนกันหลายๆชั้น และเช่นเดียวกับพิกเซล ที่ไม่มีการเก็บค่าพิกัดลงในตัวจุดเอง การอ้างอิงถึง Voxel แต่ละจุดต้องอ้างอิงจากค่า Offset จากจุดอื่นๆ



รูปที่ 2.12 การเรนเดอร์ของชุดข้อมูลของ voxels สำหรับโมเดล [7]

2.4.3 ทฤษฎีของปัวซอง (Poisson Surface Reconstruction)

วิธีนี้เป็นที่นิยมในการสร้างพื้นผิวให้กับข้อมูลที่ได้มาจากเครื่องสแกนเนอร์ เพราะมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนสูง แนวคิดโดยสังเขปคือ มีเป้าหมายเพื่อแก้สมการในรูปแบบของปัวซอง โดยการประมาณ Indicator Function ของกลุ่มของเมฆจุด จาก Indicator Gradient ของกลุ่มปัวซอง และมีการปรับค่า Scalar Function ซึ่งได้มาจากค่า Adaptive Octree เพื่อใช้ในการแก้สมการปัวซอง สำหรับหาโครงสร้างพื้นผิวแบบโครงข่าย ที่แสดงดังรูป 2.13



รูปที่ 2.13 การสร้างพื้นผิว 2 มิติ ด้วยวิธีปัวซอง [8]

จากรูปที่ 2.13 การสร้างพื้นผิวแบบปัวซองสามารถคำนวณได้ด้วยสมการ (2.23)

$$\Delta\phi = f \quad (2.23)$$

ซึ่ง Δ คือ ตัวดำเนินการลาปลาซ

f, ϕ คือ ฟังก์ชันค่าจริงหรือเชิงซ้อนบนแมนิโฟลด์

โดยปกติแล้ว f คือค่าคงที่ใดๆ เพื่อนำไปหาค่า ϕ เมื่อแมนิโฟลด์คือ ปริภูมิยูคลิด ตัวดำเนินการลาปลาซแทนด้วย ∇^2 และสมการปัวซองแทนด้วยสมการ (2.24)

$$\nabla^2\phi = f \quad (2.24)$$

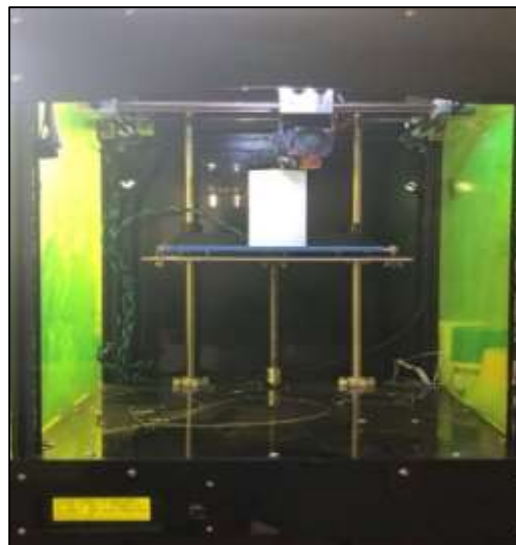
ในพิกัดคาร์ทีเซียนสามมิติจะเขียนแทนด้วยสมการ (2.25)

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \varphi(x, y, z) = f(x, y, z) \quad (2.25)$$

2.5 เทคโนโลยีเครื่องพิมพ์สามมิติ

2.5.1 Overview

เครื่องพิมพ์ 3 มิติเป็นนวัตกรรมคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ โดยการสร้างแบบจำลอง 3 มิติที่ต้องการ ตรวจสอบงานออกแบบ หรือเพื่อใช้สำหรับการนำเสนอผลงาน ซึ่งเครื่องพิมพ์ 3 มิติ มีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ มีทั้งรุ่นพิมพ์ได้สีเดียว และหลายสี การสร้างหุ่นจำลองด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิตินี้ ทำให้การออกแบบมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น แม่นยำ รวดเร็ว ต้นทุนต่ำกว่าเดิม และทำให้ผู้พบเห็นเกิดความประทับใจในผลงานออกแบบมากยิ่งขึ้น ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่รุดหน้าอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเทคโนโลยีใหม่ ๆ ขึ้นมามากมาย และเทคโนโลยีที่กำลังเป็นที่นิยมและกล่าวถึงในขณะนี้ก็คือ 3D printing หรือการพิมพ์แบบสามมิติ คำว่า 3D printing อาจทำให้คิดว่าน่าจะเป็นการพิมพ์ภาพสามมิติทั่ว ๆ ไป แต่จริง ๆ แล้ว 3D printing นี้เป็นการสร้างโมเดลเสมือนจริง หรือการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยเครื่องพิมพ์สามมิติแสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 เครื่องพิมพ์ 3 มิติของร้าน Winter Prototype รุ่น W20

2.5.2 ไฟล์ STL

รูปแบบของไฟล์สามมิติที่สามารถนำไปใช้พิมพ์กับเครื่องพิมพ์สามมิติมีอยู่หลายรูปแบบเช่น OBJ 3DP ฯลฯ แต่รูปแบบ STL (Standard Triangle Language : STL) เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม ซึ่งได้รับการใช้งานอย่างกว้างขวาง สำหรับการนำข้อมูลไปทำชิ้นงานแบบ Rapid prototype สำหรับไฟล์ STL จะเก็บข้อมูลของพื้นผิว หรือของแข็งในรูปของสามเหลี่ยมขนาดเล็ก และทำการประกอบรูปสามเหลี่ยมเข้าด้วยกัน จึงได้วัตถุสามมิติในรูปแบบไฟล์ STL โดยประกอบไปด้วยข้อมูลที่มีลักษณะเป็นชั้นบางๆซ้อนกัน ซึ่งโปรแกรม CAD ส่วนใหญ่สามารถบันทึกไฟล์งานในรูปแบบ STL และเมื่อต้องการนำไปใช้งาน สามารถทำได้โดยการแปลงค่า ให้อยู่ในรูปแบบของ G-code เพื่อเป็นชุดคำสั่งที่เข้ากันได้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ

2.6 วิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering)

ในปัจจุบันเทคโนโลยีสแกนเนอร์แบบไม่สัมผัสเข้ามามีบทบาทในการทำวิศวกรรมย้อนรอยในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนทดแทนโดยช่วยสร้างแบบจำลองของคอมพิวเตอร์ 3 มิติได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ เมื่อได้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติแล้ว ผู้ผลิตก็นำแบบจำลองนี้เข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป

การสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติด้วยเทคโนโลยีสแกน ข้อมูลที่ได้จากเครื่องสแกนคือกลุ่มของเมฆจุด (Point Cloud) บนพื้นผิวชิ้นงาน จากนั้นนำกลุ่มของเมฆจุดเหล่านี้มาเข้าโปรแกรมวิศวกรรมย้อนรอย เพื่อทำให้กลุ่มของเมฆจุดเปลี่ยนเป็นข้อมูลพื้นผิว เมื่อได้ข้อมูลพื้นผิวแล้วสามารถแปลงเป็นไฟล์มาตรฐาน เช่น STEP (Standard for the exchange of product data) หรือ IGES (initial graphics exchange specification) ที่สามารถเปิดได้ในโปรแกรม CAD ทั่วไปได้ เช่น AutoCAD ,GstarCAD ,ZWCAD เป็นต้น ซึ่งจะได้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ 3 มิติที่สามารถนำไปใช้ในงานออกแบบได้



รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการทำวิศวกรรมย้อนกลับด้วยเทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติ [9]

2.7 ไพทอน

ไพทอนคือชื่อภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมภาษาหนึ่ง [10] ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นมาโดยไม่ยึดติดกับแพลตฟอร์ม สามารถรันภาษาไพทอน ได้ทั้งบนระบบ Unix, Linux , Windows NT, Windows 2000, Windows XP หรือแม้แต่ระบบ FreeBSD อีกอย่างหนึ่งภาษาตัว นี้เป็น OpenSource เหมือนอย่าง PHP ทำให้ทุกคนสามารถที่จะนำ Python มาพัฒนาโปรแกรมของเราได้ฟรีๆโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย และความเป็น Open Source ทำให้มีคนเข้ามาช่วยกันพัฒนาให้ไพทอนมีความสามารถสูงขึ้น และใช้งานได้ครบกับทุกลักษณะงาน

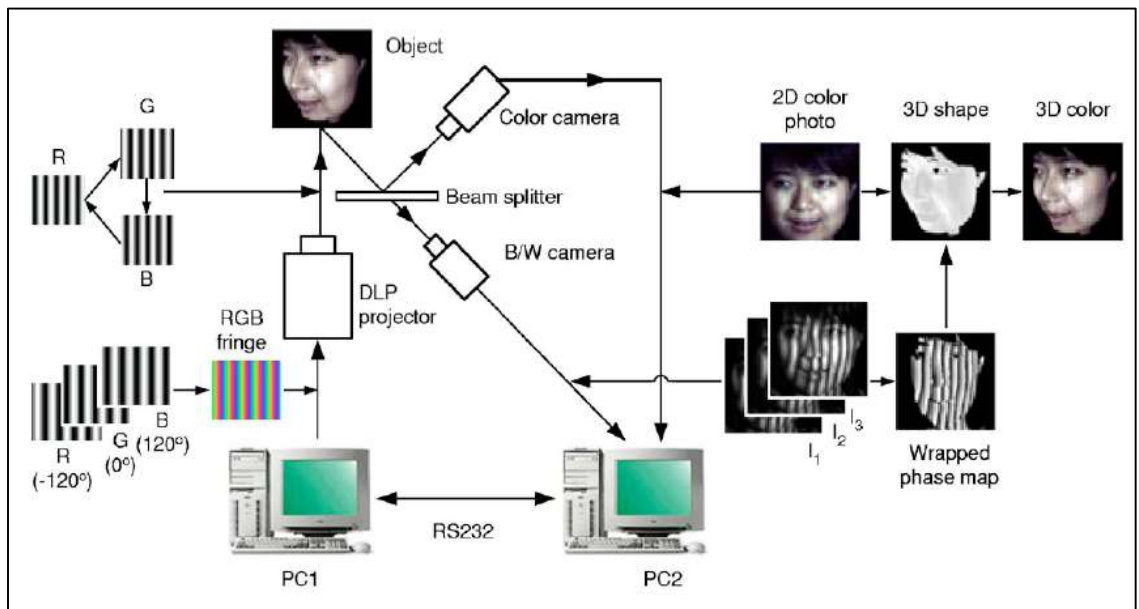
ภาษาไพทอน นั้นถูกพัฒนาขึ้นมาโดยมีความตั้งใจว่าจะให้เป็นภาษาที่อ่านง่าย มันถูกออกแบบมาให้มีโครงสร้างที่มองเห็นได้โดยไม่ซับซ้อน โดยมักจะใช้คำในภาษาอังกฤษในขณะที่ภาษาอื่นใช้เครื่องหมายวรรคตอน นอกจากนี้ไพทอนมีข้อยกเว้นของโครงสร้างทางภาษาน้อยกว่าภาษา C และ Pascal

Python interpreter นั้นเป็นตัวแปลภาษาของภาษาไพทอน เพื่อให้สามารถรันโค้ด ไพทอนได้ ซึ่งได้มากับไลบรารีมาตรฐานที่สามารถใช้งานได้ฟรี ซึ่งดาวน์โหลดได้ที่ <https://www.python.org/> ซึ่งเป็นโปรแกรมแบบ source และ binary สำหรับแพลตฟอร์มที่ผู้ได้รับความนิยม นอกจากนี้ Interpreter ยังสนับสนุนการเขียนโปรแกรมกับ Interactive shell ซึ่งเป็นการเขียนโค้ดของภาษาไพทอน ลงไปและเห็นผลลัพธ์การทำงานของคำสั่งได้ในทันที Python Interpreter นั้นยังสามารถนำเพิ่มความสามารถกับฟังก์ชันใหม่ที่ถูกพัฒนามาจากภาษา C และ C++ ไพทอนนั้นเหมาะสำหรับเป็นภาษาในการสร้าง Extension และแอปพลิเคชันที่ปรับแต่งได้

2.8 การทบทวนวรรณกรรม

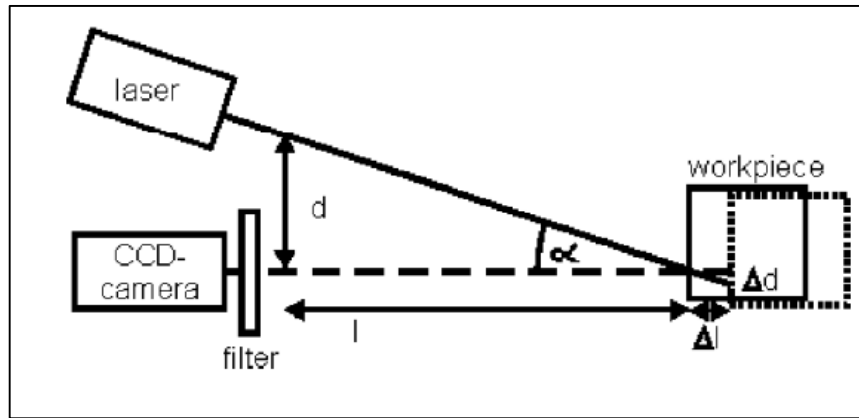
ในการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการสแกนวัตถุ 3 มิติ ผู้วิจัยได้ศึกษาบทความ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการทำวิจัย ดังต่อไปนี้

Zhang, S. และ Huang, P.S. [11] ได้ทำการออกแบบระบบที่ใช้แสงในการวัดรูปร่างแบบ 3 มิติแบบเรียลไทม์ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 PC1 ใช้งานสำหรับการสร้างภาพลวดลายการแทรกสอด ซึ่งใช้โปรเจกเตอร์ฉายลงบนวัตถุและใช้กล้องความเร็วสูงในการเก็บข้อมูลภาพ 2 ตัว กล้องตัวแรกเก็บข้อมูลภาพสี กล้องตัวที่สองเก็บข้อมูลภาพขาวดำ และใช้วิธีเลื่อนเฟสแบบสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ซึ่งถูกนำมาช่วยสร้างโมเดล 3 มิติ บน PC2 ระบบสามารถวัดรูปร่าง 3 มิติแบบเรียลไทม์ที่มีความเร็วการแสดงผลภาพสูงถึง 40 เฟรมต่อวินาที และมีความละเอียดของภาพ 532×500 จุดต่อเฟรม



รูปที่ 2.16 ระบบที่ใช้แสงในการวัดรูปร่างแบบ 3 มิติ [11]

Dirk Stöbener และคณะ [12] ได้พัฒนาระบบเลเซอร์แบบเส้นจะใช้วิธีแบบสามเหลี่ยม ที่สามารถใช้ในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 800 องศาเซลเซียส โดยการใช้เลเซอร์ และกล้องซีซีดี รวมถึงนำฟิลเตอร์(อุปกรณ์กรองแสง) เข้ามาช่วย ซึ่งผลลัพธ์แสดงให้เห็นความเหมาะสมของระบบสำหรับการวัดการบิดเบือนในเตาเผารักษาความร้อน



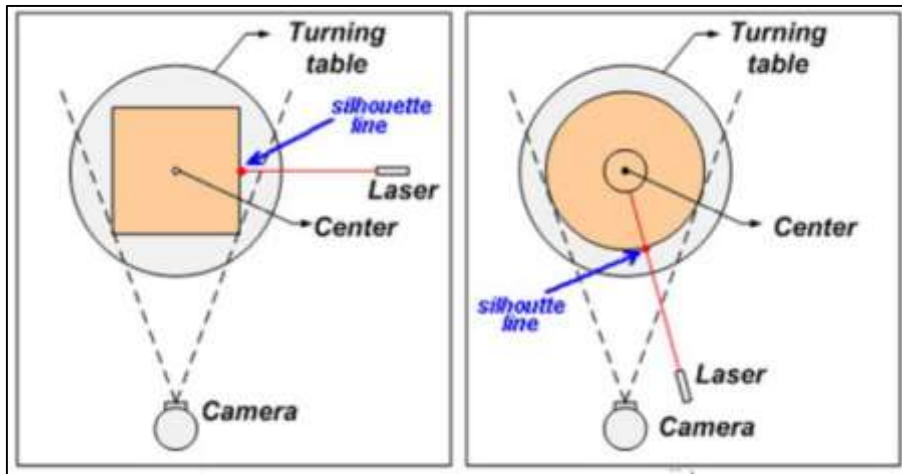
รูปที่ 2.17 ระบบเลเซอร์แบบเส้นวิถีแบบสามเหลี่ยมโดยไม่มีคอมพิวเตอร์ [12]

Layton Thomas และคณะ ได้พัฒนาระบบเลเซอร์แบบสามเหลี่ยมในการสร้างภาพ 2 มิติ และ 3 มิติ เพื่อตรวจจับวัตถุต้องสงสัยในงานความปลอดภัยระหว่างประเทศ โดยระบบนี้ถูกพัฒนาบนซอฟต์แวร์ Matlab



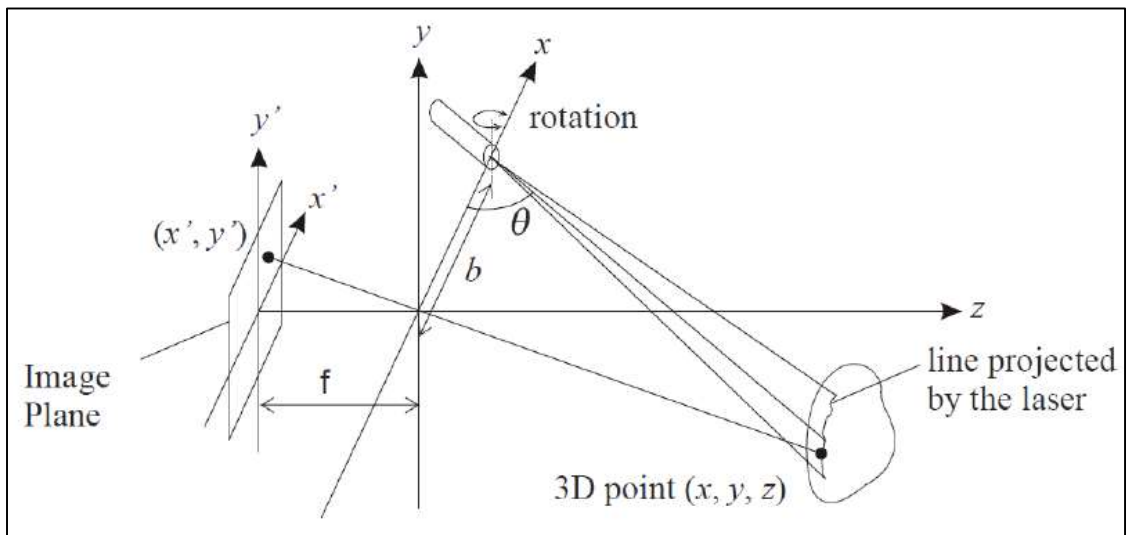
รูปที่ 2.18 ฮาร์ดแวร์ระบบเลเซอร์แบบเส้นวิถีแบบสามเหลี่ยมของ Layton T.

Artthaya Bagus และคณะ ได้พัฒนาระบบสแกนวัตถุบนแท่นหมุน ซึ่งใช้หลักการวิธีแบบสามเหลี่ยมโดยใช้เลเซอร์ในการแปลงจุดข้อมูลบนรูปภาพให้เป็นข้อมูลพิกัดฉากของโลก



รูปที่ 2.19 ระบบเลเซอร์แบบเส้นวิธีแบบสามเหลี่ยมของ Artthaya B.

Franca และคณะได้นำเสนอระบบ 3 มิติที่ใช้วิธีแบบสามเหลี่ยมโดยใช้เลเซอร์และพัฒนา รูปแบบการสแกนให้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าขอบเขตการมองเห็น (Field of View : FOV) ซึ่งเทคนิค นี้ทำให้ระบบสแกนมีความถูกต้องแม่นยำ และมีมุมสแกนที่มากขึ้น



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างของการกำหนดค่าของระบบเลเซอร์วิธีแบบสามเหลี่ยม

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย เครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติ (Ciclop) ซอฟต์แวร์สแกนวัตถุสามมิติ(Program Horus) และวิธีการทดลอง ซึ่งเนื้อหาประกอบด้วย การปรับปรุงซอฟต์แวร์บนภาษาไพทอนเพื่อให้ซอฟต์แวร์สามารถสร้างไฟล์ STL และนำไปเป็นอินพุตของเครื่องพิมพ์สามมิติได้ การทดสอบความสมมาตรของระบบสแกนเนอร์ การทดสอบการสแกนวัตถุต้นแบบโดยเปรียบเทียบระหว่างวัตถุต้นแบบกับวัตถุ 3 มิติที่สแกนได้ การทดสอบการใช้ Output กับเครื่องพิมพ์วัตถุสามมิติซึ่งเปรียบเทียบระหว่างวัตถุต้นแบบ วัตถุ 3 มิติ และวัตถุที่ได้จากการพิมพ์ การทดสอบการสแกนวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน เพื่อทดสอบข้อจำกัดของเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ 3 มิติ และการทดสอบสแกนวัตถุของเครื่อง DAVID Laser Scanner เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่อง Ciclop และเครื่อง DAVID Laser Scanner

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติ (Ciclop) เป็นเครื่องมือที่สามารถสร้างได้ด้วยตนเอง (DIY) เครื่องแรกโดยบริษัท BQ เพื่อใช้งานบนซอฟต์แวร์สแกนวัตถุ 3 มิติ Horus ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ Open-Source ที่ให้ทุกคนสามารถศึกษา และเข้าใจการทำงานของเครื่องสแกนเนอร์ รวมไปถึงการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง และพัฒนาใช้งานเองได้

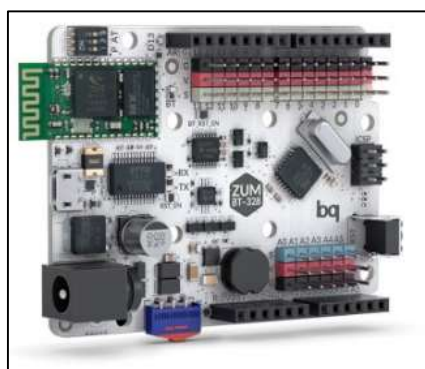
3.1.1 เครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติ (Ciclop)

โครงสร้างของเครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติ (Ciclop) ประกอบด้วยชิ้นงานที่พิมพ์โดยเครื่องพิมพ์สามมิติ แท่งเกลียว สกรู แหวนสกรู น็อต และแพลตฟอร์มอะคริลิกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม. ที่ใช้สำหรับวางชิ้นงานในการสแกนบนแพลตฟอร์ม ซึ่งได้รับการติดตั้งแผ่นยางเพื่อป้องกันไม่ให้วัตถุขยับระหว่างการสแกน โดยแพลตฟอร์มจะได้รับการพยุงด้วยตัวยึดลูกปืนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 110 มิลลิเมตร และการเคลื่อนที่ทำได้โดยการใช้งานสเตปมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน

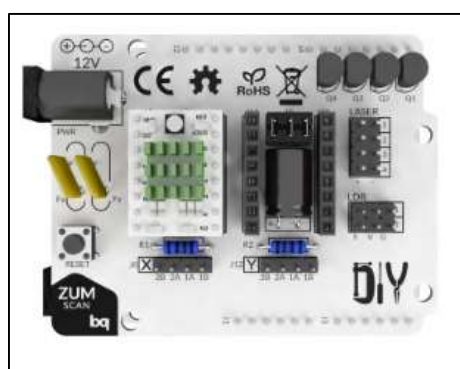
เซ็นเซอร์ประกอบด้วย กล้องเว็บแคม Logitech C270 HD ที่ได้รับการติดตั้งไว้ตรงกลาง รวมถึงชุดเลเซอร์สีแดงแบบเส้น 2 ชุดข้างซ้าย และข้างขวาของกล้อง เมนบอร์ด ZUM BT-328 ที่ติดตั้งภายในเครื่องเป็นบอร์ดที่ใช้ทำหน้าที่ควบคุมเฟิร์มแวร์ของสเตปมอเตอร์ และเลเซอร์ทั้ง 2 ข้าง โดยสื่อสารกับคอมพิวเตอร์พีซีผ่านทางพอร์ตอนุกรม (Universal Serial Bus : USB) หรือ Bluetooth และบอร์ด ZUM SCAN เชื่อมต่อด้านบนของบอร์ด ZUM BT-328 ประกอบด้วย วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ 2 ชุด และส่วนเชื่อมต่อสำหรับเลเซอร์ 2 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 ชิ้นส่วนของเครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติ (Ciclop) [13]



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 (ก) Zum BT-328 (ข) ZUM SCAN

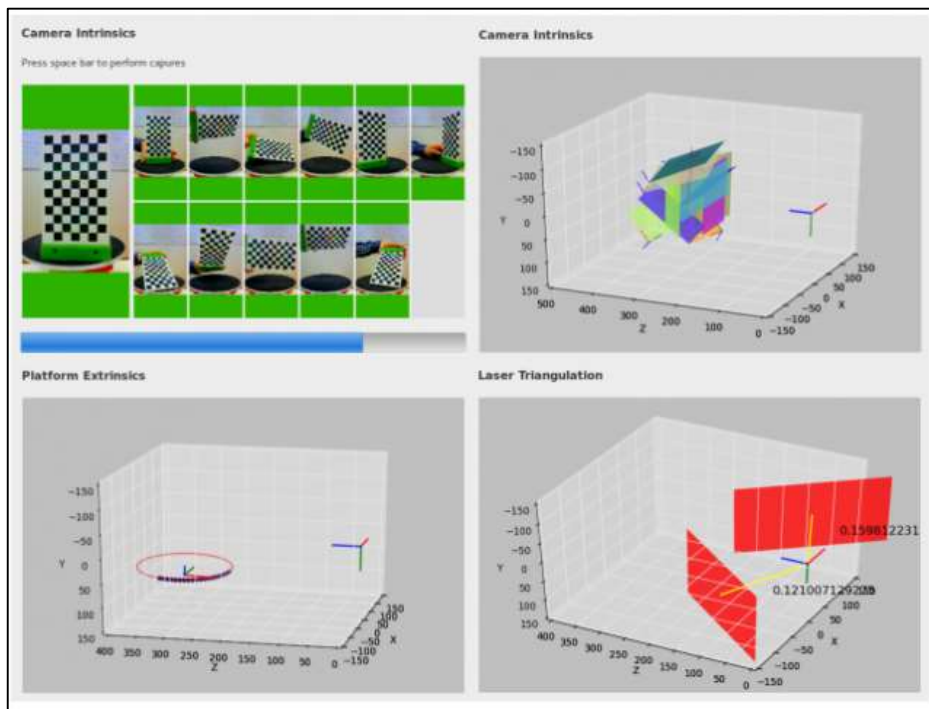
3.1.2 ซอฟต์แวร์สแกนวัตถุ 3 มิติ

เฟิร์มแวร์ได้รับการพัฒนาโดยใช้ GRBL (เป็น G-Code ที่ได้รับการพัฒนาสำหรับการใช้งานร่วมกับ Arduino) เป็นพื้นฐานและใช้โปรเจกต์อื่นๆ เช่น Marlin (เฟิร์มแวร์ที่ใช้ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติแบบโอเพนซอร์ส) ทำให้สามารถปิดและเปิดเลเซอร์ รวมทั้งระบุตำแหน่ง ความเร็วและความแรงของสเตปมอเตอร์ที่ควบคุมโดยใช้ชุดคำสั่ง G-code

ซอฟต์แวร์ที่สำคัญของโปรแกรมได้รับการพัฒนา Desktop Application แบบ Cross-Platform ใน Python โดยใช้งานชุดคำสั่ง WxPython Numpy Scipy Matplotlib OpenGL และ OpenCV

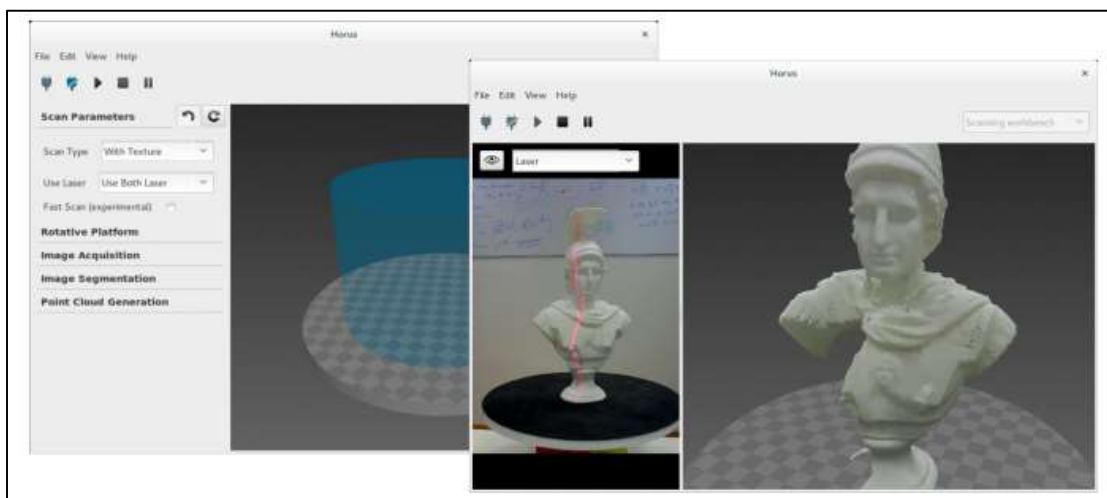
ซอฟต์แวร์ Horus เป็นส่วนสำคัญที่สุดของกระบวนการสแกนวัตถุ 3 มิติ ซึ่งสามารถควบคุมการสื่อสารระหว่างซอฟต์แวร์ และฮาร์ดแวร์ การเก็บภาพ การซิงค์ข้อมูลของการประมวลผลภาพ และการสร้างภาพของกลุ่มเมฆจุด ในการควบคุมอุปกรณ์ในแต่ละส่วนของเครื่องสแกนเนอร์ ซอฟต์แวร์ Horus สามารถควบคุมได้อย่างอิสระ เช่น กล้อง เลเซอร์ สเตปมอเตอร์ ฯลฯ และสามารถทดสอบส่วนประกอบต่างๆของเครื่องสแกนเนอร์แบบแยกกันได้

สำหรับการสอบเทียบ ซอฟต์แวร์ Horus มีเครื่องมือที่จำเป็นในการสอบเทียบอย่างครบถ้วน เช่น การตั้งค่ากล้องให้เป็นวิธีเลเซอร์แบบสามเหลี่ยม และการตรวจจับแท่นหมุน เป็นต้น ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์ภายในอัตโนมัติที่โครงสร้างของเครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติถูกประกอบโดยผู้ใช้ นี่เป็นสิ่งที่สำคัญมากเพราะเนื่องจากอุปกรณ์เครื่องสแกนวัตถุ 3 มิติ (Ciclop) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถสร้างได้ด้วยตนเอง (DIY) ซึ่งจะไม่มีส่วนประกอบที่ประกอบเหมือนกัน 2 เครื่อง ทำให้ค่าพารามิเตอร์ภายในที่ได้นั้นแตกต่างกันในแต่ละเครื่อง นอกจากนี้ผู้ใช้งานยังสามารถสร้างเครื่องสแกนเนอร์ที่มีขนาดและตำแหน่งต่างๆของเลเซอร์และกล้องที่แตกต่างกันได้ โดยซอฟต์แวร์ Horus จะสามารถสอบเทียบอัตโนมัติเพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆอย่างถูกต้องเพื่อให้ได้การสแกนวัตถุ 3 มิติที่สมบูรณ์แบบ



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนของการสอบเทียบ

สำหรับการสแกน ซอฟต์แวร์ Horus สามารถเลือกได้หลายประเภท เช่น พื้นผิวของการสแกน จำนวนเลเซอร์ที่ใช้สแกนวัตถุ องศาที่ให้สเตปมอเตอร์หมุน เป็นต้น นอกจากนั้นยังสามารถให้สภาพแวดล้อมแบบ 3 มิติสำหรับการแสดงผลของกลุ่มของเมฆจุดในเวลาจริงและมีหน้าต่างที่แสดงส่วนที่ไม่เหมือนกันของการประมวลผลภาพ



รูปที่ 3.4 หน้าต่างของการแสดงวัตถุ

เวลาที่ใช้ในการสแกนขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมที่ใช้ ความเร่ง และองศาที่ให้สเตปมอเตอร์หมุนในแต่ละครั้ง ซึ่งผลลัพธ์ของกระบวนการนี้คือไฟล์ .PLY สำหรับตัวอย่างของผลลัพธ์ของการสแกน ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ผลลัพธ์ของการสแกนวัตถุ

การปรับปรุงพื้นผิวสามมิติสามารถใช้งานชุดคำสั่งผ่านซอฟต์แวร์ฟรี เช่น Blender หรือ Meshlab โดยทำการแปลงกลุ่มของเมฆจุด (.PLY) เป็นโครงข่าย (ไฟล์ .STL) และเมื่อต้องการนำไปใช้งานสามารถทำได้โดยแปลงค่าให้อยู่ในรูปแบบ G-code เพื่อเป็นชุดคำสั่งที่เข้ากับเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยใช้โปรแกรมเช่น Cura

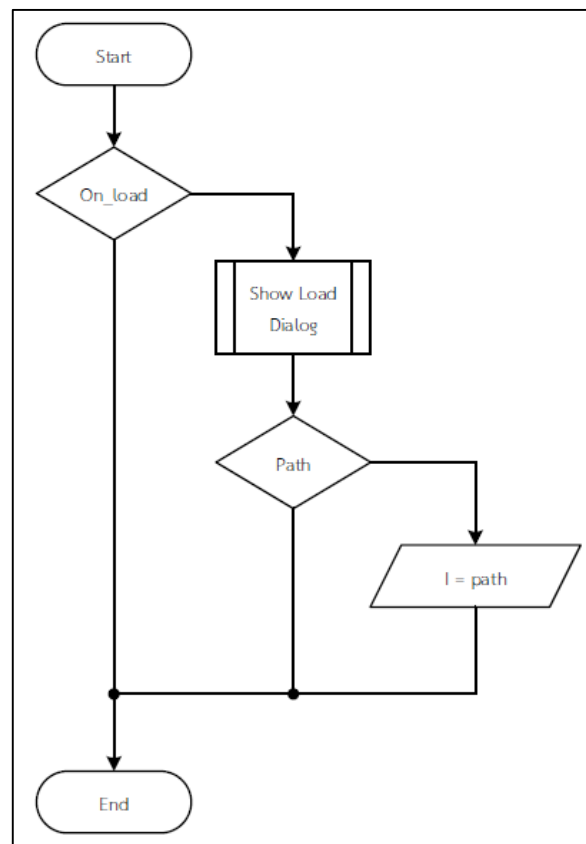
3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การปรับปรุงซอฟต์แวร์โดยใช้ภาษาไพทอน

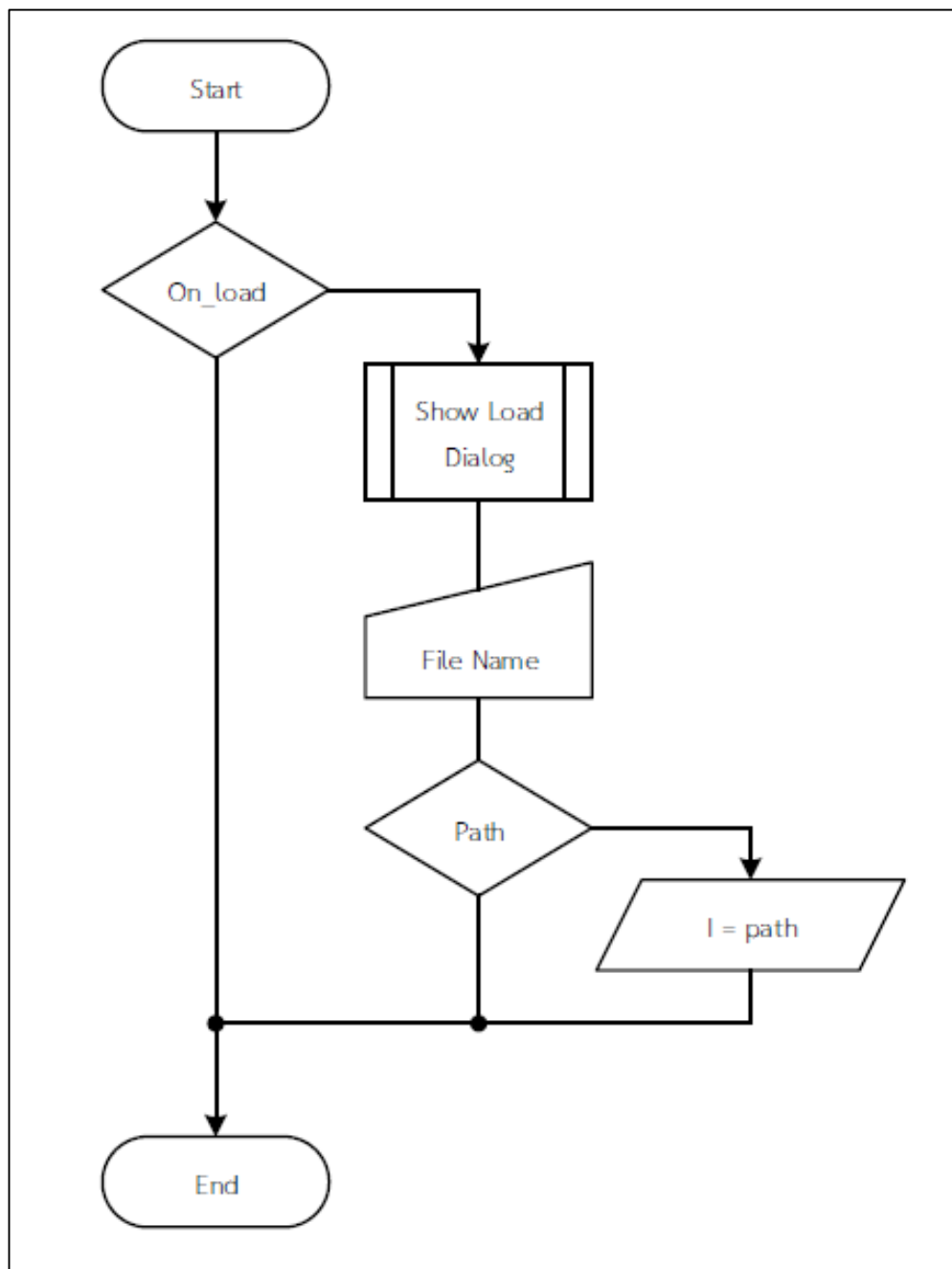
ในการพิมพ์วัตถุ 3 มิติโดยทั่วไปจะใช้ไฟล์ .STL (Standard Triangle Language) ในหัวข้อนี้เป็นการอธิบายการพัฒนากระบวนการสแกนวัตถุ 3 มิติด้วยภาษาไพทอน ซึ่งรายละเอียดมีดังนี้

- พัฒนาระบบสแกนวัตถุ 3 มิติบนโปรแกรม Horus
- ใช้งาน Python IDE ในการช่วยพัฒนา
- ทำการเพิ่มเมนูสำหรับการแปลง .PLY เป็นไฟล์ .STL

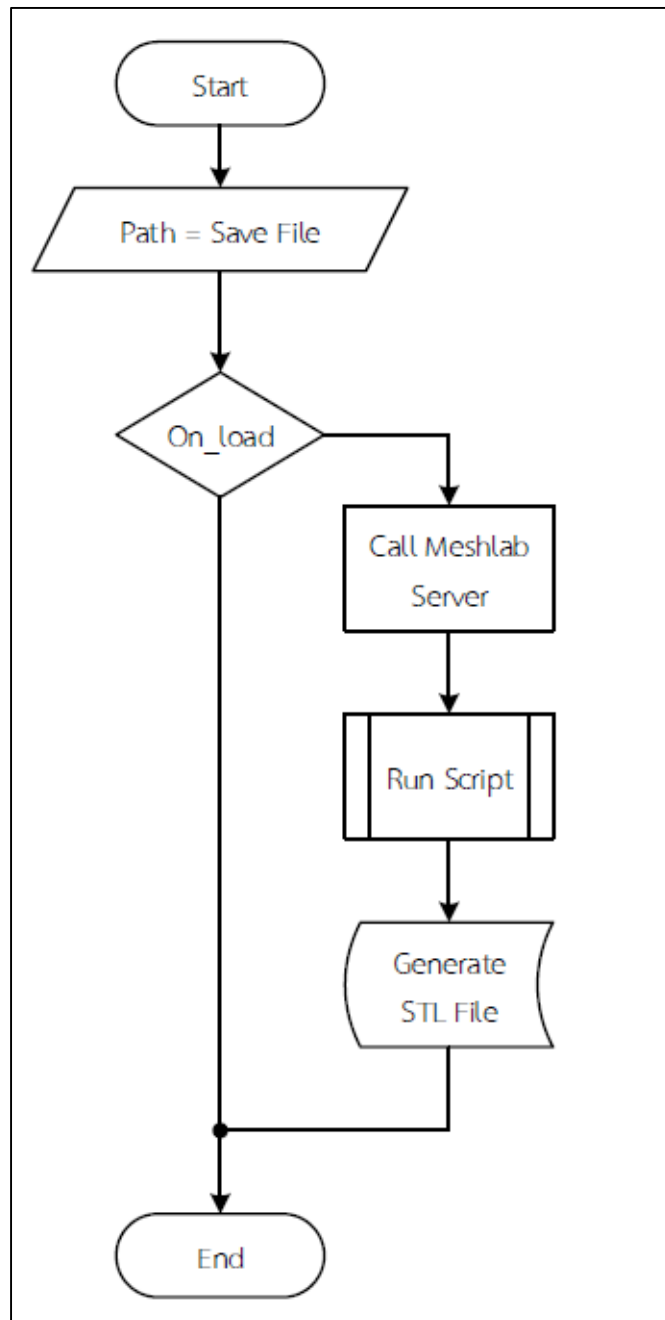
สำหรับการแปลงไฟล์ ผู้วิจัยใช้งานชุดคำสั่งของ Meshlab ในการทำงานเนื่องจากการเรียกใช้งานมีความซับซ้อนน้อยกว่าและสามารถที่จะนำไปพัฒนาต่อยอดได้ ที่สามารถนำมาเขียนเป็น FlowChartกระบวนการโหลดไฟล์ กระบวนการเซฟไฟล์และกระบวนการรันไฟล์ได้ ดังรูปที่ 3.6 , 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 FlowChart กระบวนการโหลดไฟล์



รูปที่ 3.7 FlowChart กระบวนการเซฟไฟล์



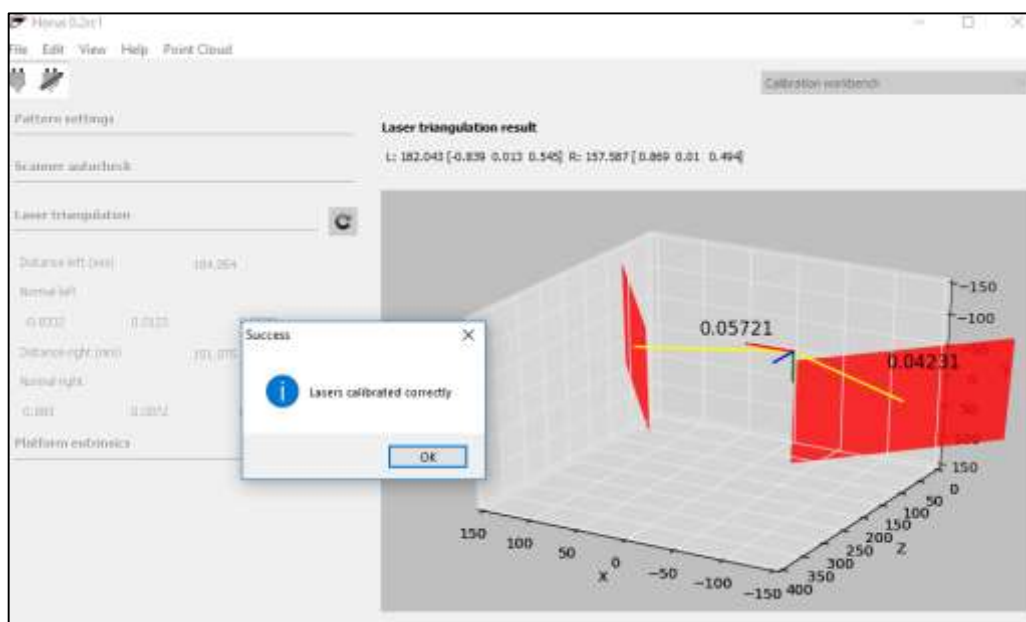
รูปที่ 3.8 FlowChart กระบวนการรันไฟล์

3.2.2 การทดสอบความสมมาตรของระบบสแกนเลเซอร์

ทำการทดสอบผลกระทบที่เกิดระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ โดยทำการสแกนวัตถุ 3 ชนิด ประกอบด้วย วัตถุทรงสี่เหลี่ยม วัตถุทรงกระบอก และวัตถุทรงหกเหลี่ยม ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดจะได้รับการสแกน 6 ครั้ง ในการสแกนแต่ละครั้งต้องทำการสอบเทียบเลเซอร์แบบเส้นจะใช้วิธีแบบสามเหลี่ยมทุกครั้ง และนำค่าที่ได้มาคำนวณหามุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ รวมถึงเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดระหว่างวัตถุสามมิติ และวัตถุจริง



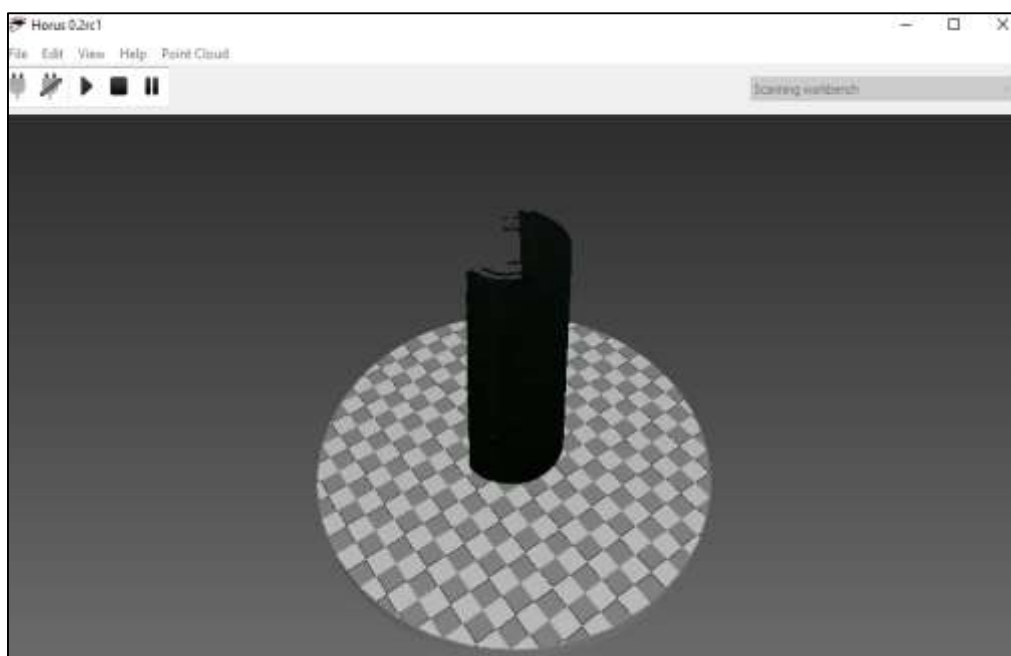
รูปที่ 3.9 วัตถุ 3 ชนิดที่นำมาสแกน



รูปที่ 3.10 การสอบเทียบเลเซอร์แบบเส้นจะใช้วิธีแบบสามเหลี่ยมในโปรแกรม Horus



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการสแกนวัตถุทรงกระบอกด้วยเครื่องสแกน Ciclop



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการสแกนวัตถุทรงกระบอกในโปรแกรม Horus

3.2.3 การทดสอบการสแกนวัตถุต้นแบบ

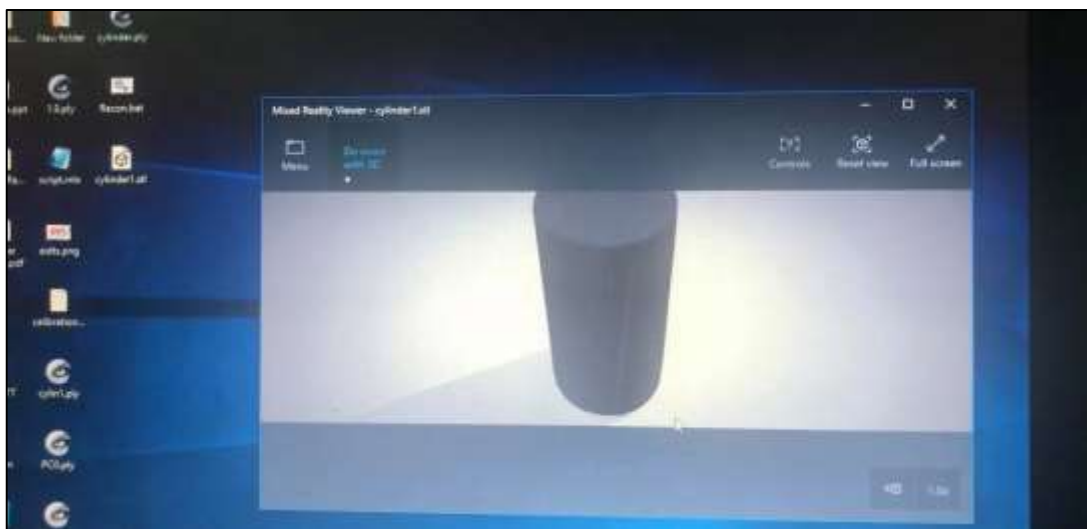
ทำการสแกนวัตถุ 3 ชนิด ประกอบด้วย วัตถุทรงสี่เหลี่ยม วัตถุทรงกระบอกและวัตถุทรงหกเหลี่ยม ซึ่งแต่ละครั้งในการสแกนต้องทำการสอบเทียบเลเซอร์แบบเส้นจะใช้วิธีแบบสามเหลี่ยม และเลือกค่าความสมมาตรของระบบสแกนเลเซอร์ให้มีค่าเลเซอร์แบบเส้นจะใช้วิธีแบบสามเหลี่ยมที่สมมาตรมากที่สุดมาเก็บผลการทดลองการสแกนวัตถุต้นแบบและทำการเปรียบเทียบขนาดของวัตถุระหว่างวัตถุต้นแบบและวัตถุสามมิติ



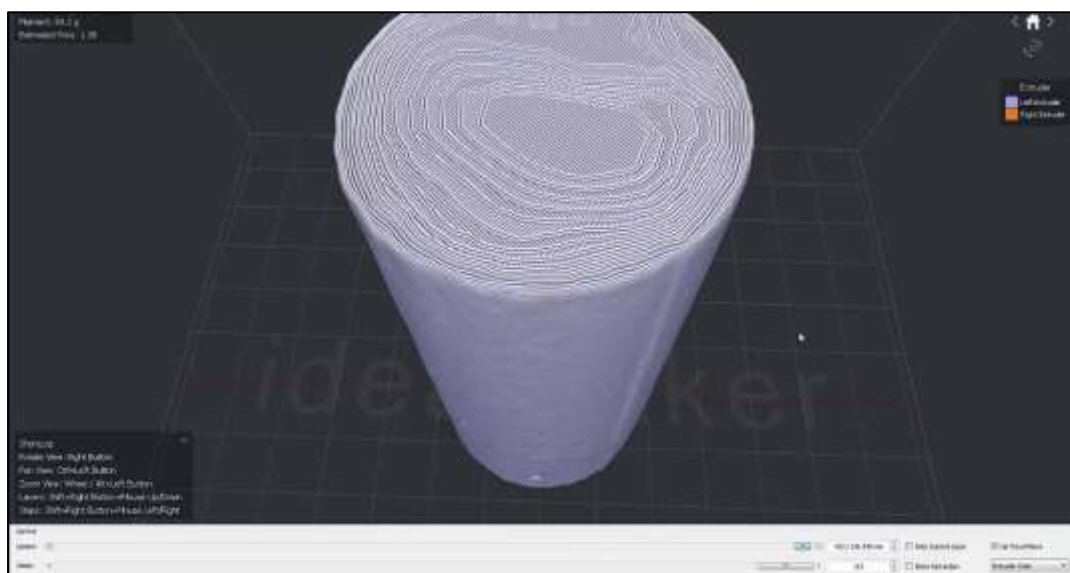
รูปที่ 3.13 ทำการวัดขนาดวัตถุต้นแบบด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์

3.2.4 การทดสอบการใช้ Output กับเครื่องพิมพ์วัตถุสามมิติ

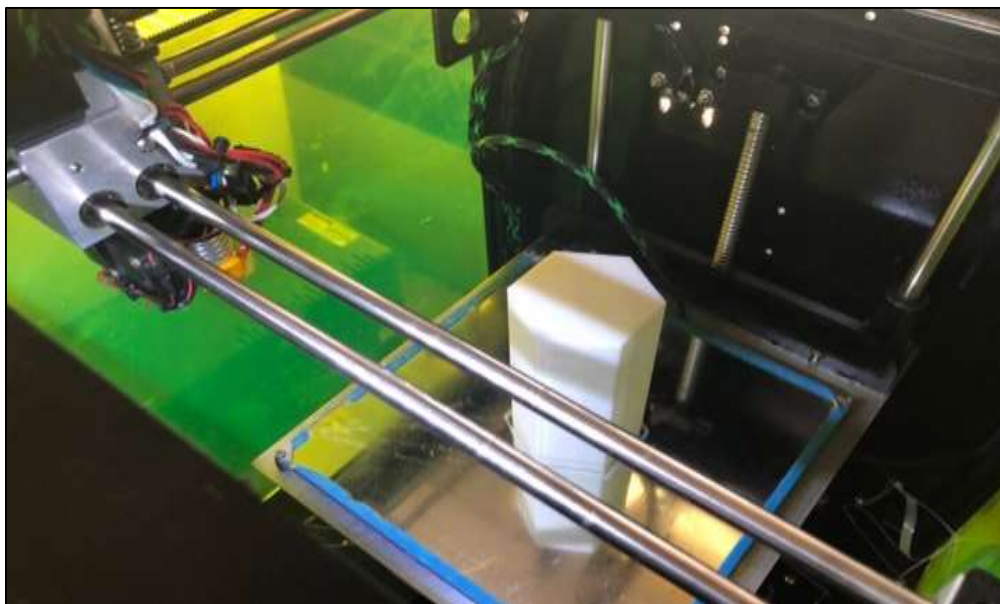
นำผลที่ได้จากการทดสอบการสแกนวัตถุต้นแบบที่มีค่าความผิดพลาดต่ำที่สุด และใช้ซอฟต์แวร์ Horus ที่ผ่านการปรับปรุงซอฟต์แวร์โดยใช้ภาษาไพทอนที่ได้รับการปรับปรุงให้สามารถสร้างไฟล์ .STL ได้ มาทดสอบการเป็น input ของเครื่องพิมพ์วัตถุสามมิติ โดยตั้งค่าการทำงานของเครื่องพิมพ์วัตถุสามมิติดังนี้ Feed rate 100% Mat : pla (poly lactic acid) Printing temp. : extruder 190c /heat bed 60c และ Infill 10% จากนั้นทำการเปรียบเทียบขนาดของวัตถุและหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างวัตถุต้นแบบกับวัตถุสามมิติ และวัตถุต้นแบบกับวัตถุที่ได้จากการพิมพ์



รูปที่ 3.14 ตัวอย่างไฟล์ STL ที่ได้จากซอฟต์แวร์ Horus



รูปที่ 3.15 ไฟล์ STL ที่นำมาแปลงในโปรแกรม ideamaker



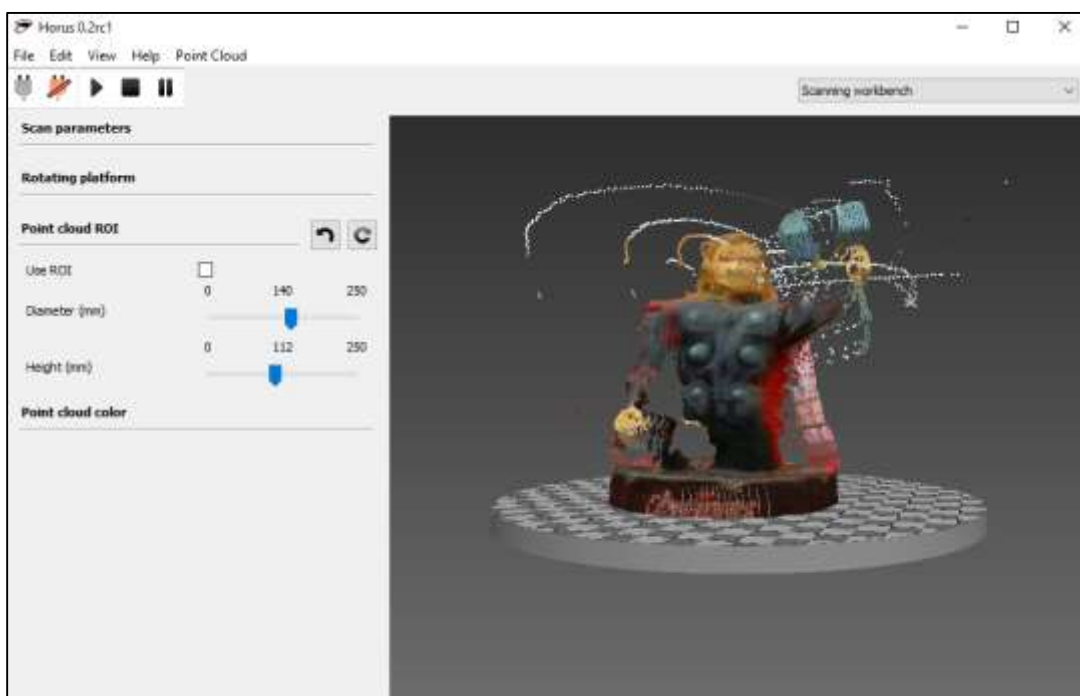
รูปที่ 3.16 ตัวอย่างการนำไฟล์มาพิมพ์ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติ

3.2.5 การทดสอบการสแกนวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน

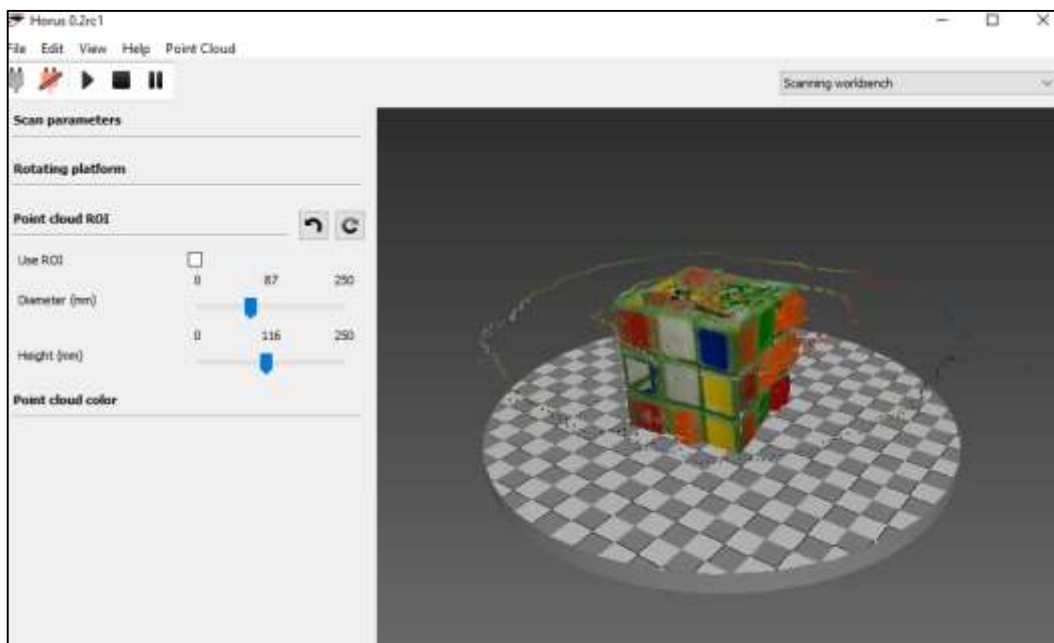
ทำการทดสอบการสแกนวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน โดยใช้วัตถุ 3 ชนิด คือ โมเดลเทพสายฟ้า ลูกรูบิค และโมเดลก๊อตจิมาทำการทดลองเพื่อทดสอบข้อจำกัดของเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ โดยดำเนินการทำซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อทดสอบให้แน่ใจถึงข้อจำกัดของเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ ซึ่งก่อนทำการทดสอบต้องทำการสอบเทียบเลเซอร์แบบเส้น โดยใช้วิธีแบบสามเหลี่ยมทุกครั้ง



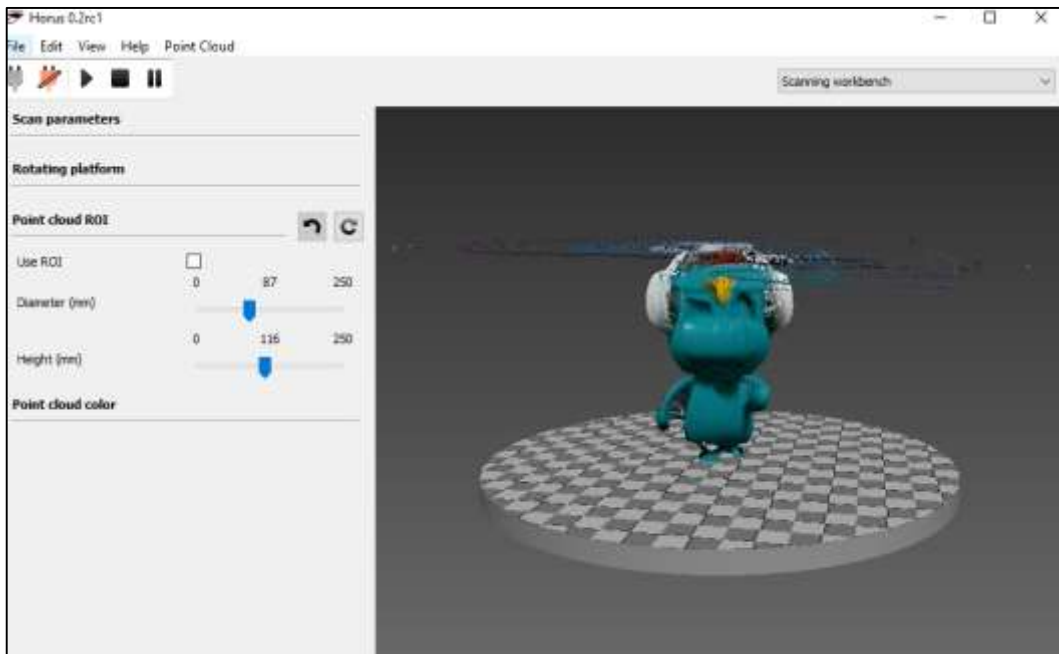
รูปที่ 3.17 วัตถุ 3 ชนิดที่นำมาทดสอบการสแกนวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน



รูปที่ 3.18 โมเดลเทพสายฟ้าที่ได้จากการสแกนในซอฟต์แวร์ Horus



รูปที่ 3.19 ลูกรูบิคที่ได้จากการสแกนในซอฟต์แวร์ Horus



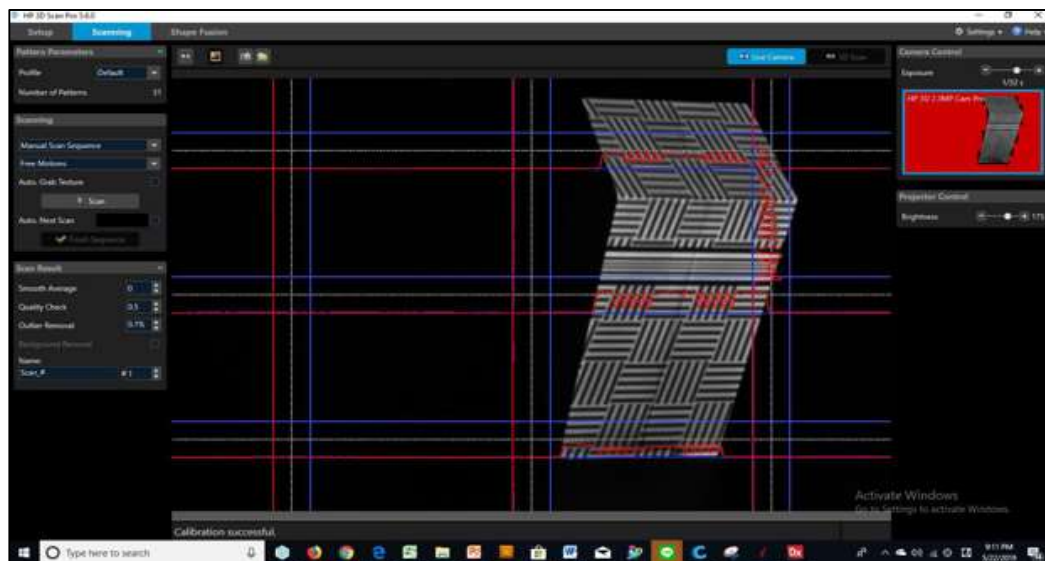
รูปที่ 3.20 โมเดลก๊อตจิที่ได้จากการสแกนในซอฟต์แวร์ Horus

3.2.6 การทดสอบการสแกนวัตถุของเครื่อง DAVID Laser Scanner

ทำการสแกนวัตถุ 3 ชนิด ประกอบด้วย วัตถุทรงสี่เหลี่ยม วัตถุทรงกระบอกและวัตถุทรงหกเหลี่ยม ซึ่งแต่ละครั้งในการสแกนต้องทำการสอบเทียบพารามิเตอร์ของเครื่อง DAVID Laser Scanner มาเก็บผลการทดลองการสแกนวัตถุต้นแบบ และทำการเปรียบเทียบขนาดของวัตถุระหว่างวัตถุต้นแบบกับวัตถุสามมิติ



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการสแกนวัตถุทรงกระบอกด้วยเครื่อง DAVID Laser Scanner



รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการสอบเทียบพารามิเตอร์ของเครื่อง DAVID Laser Scanner

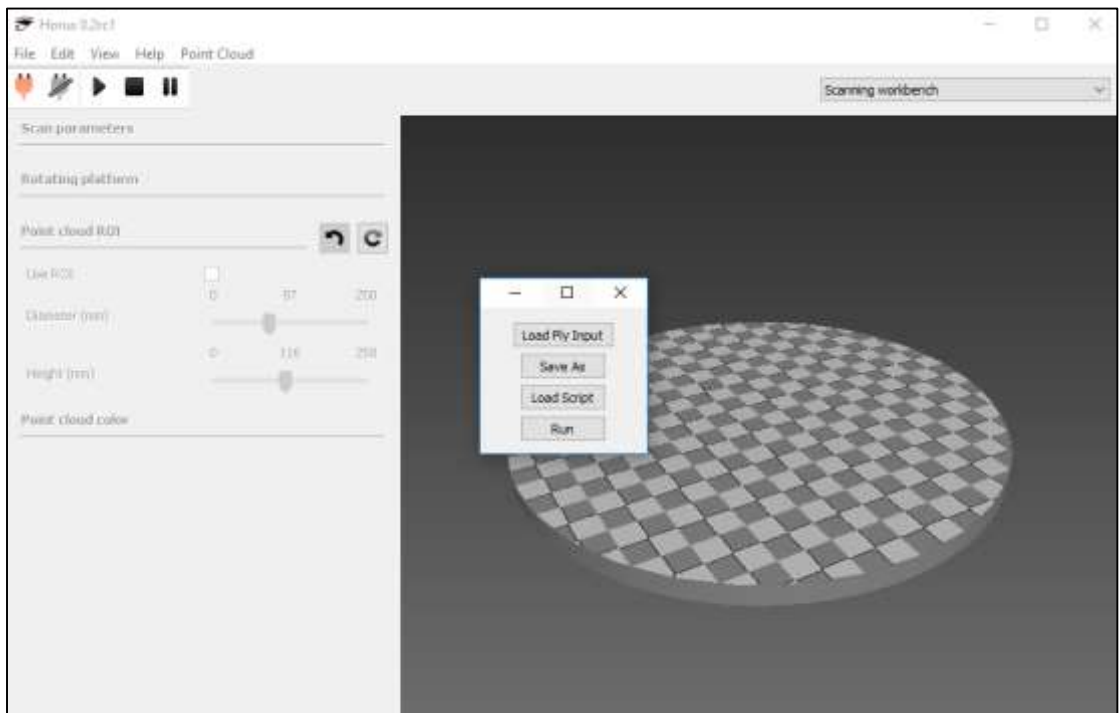
บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงการศึกษาการปรับปรุงซอฟต์แวร์โดยใช้ภาษาไพทอน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาต่อยอดเพื่อให้โปรแกรม Horus สามารถสร้างไฟล์ STL และนำไปใช้ร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติได้ โดยเนื้อหาประกอบด้วย ผลของการปรับปรุงซอฟต์แวร์ไพทอน ผลของการทดสอบความสมมาตรของระบบสแกนเลเซอร์ ผลของการทดสอบการสแกนวัตถุต้นแบบ ผลของการศึกษาวัตถุพิมพ์ที่ได้จากผลของการสแกน ผลของการทดสอบการสแกนวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน เพื่อปรับปรุงผลของการสแกนให้ขนาดของวัตถุสามมิติให้มีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด และผลของการทดสอบการสแกนวัตถุของเครื่อง DAVID Laser Scanner

4.1 การศึกษาการปรับปรุงซอฟต์แวร์โดยใช้ภาษาไพทอน

หลังการทำการพัฒนาระบบสแกนเนอร์สามมิติ พบว่าซอฟต์แวร์ไพทอนสามารถสร้างไฟล์ STL ผ่านการเรียกใช้งานชุดคำสั่งของโปรแกรม Meshlab เพื่อลดความผิดพลาดและซับซ้อนของโปรแกรม รวมถึงสามารถปรับปรุงพื้นผิวด้วยกระบวนการ Poisson Surface Reconstruction ซึ่งนำไปเป็นอินพุตของเครื่องพิมพ์สามมิติได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

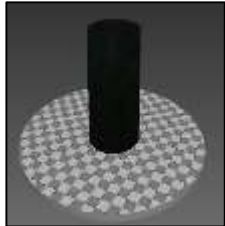
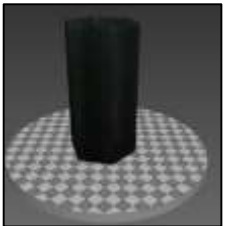


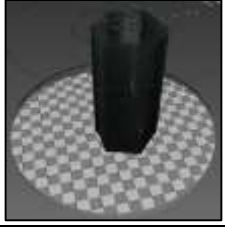
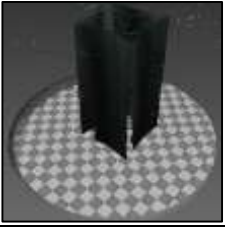


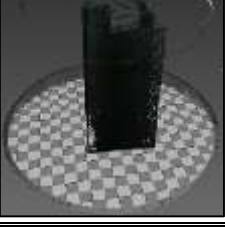





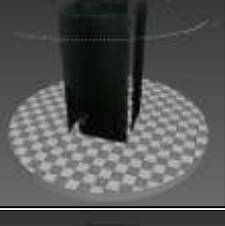
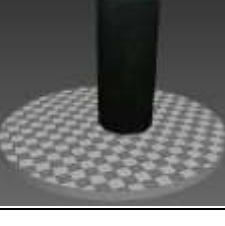




รูปที่ 4.1 หน้าต่างเครื่องมือปรับปรุงพื้นผิว

4.2 การศึกษาการทดสอบความสมมาตรของระบบสแกนเลเซอร์

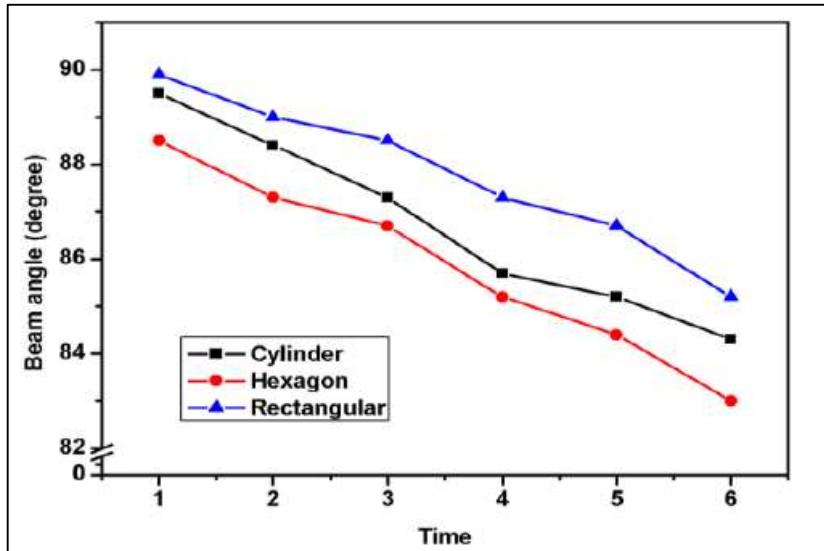
ในการสแกนวัตถุสามมิติ มุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ (beam angle) เป็นตัวแปรสำคัญ ซึ่งควบคุมความถูกต้องของการสแกนวัตถุ เมื่อทำการสแกนวัตถุชนิดเดียวกัน 6 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการสแกนวัตถุ

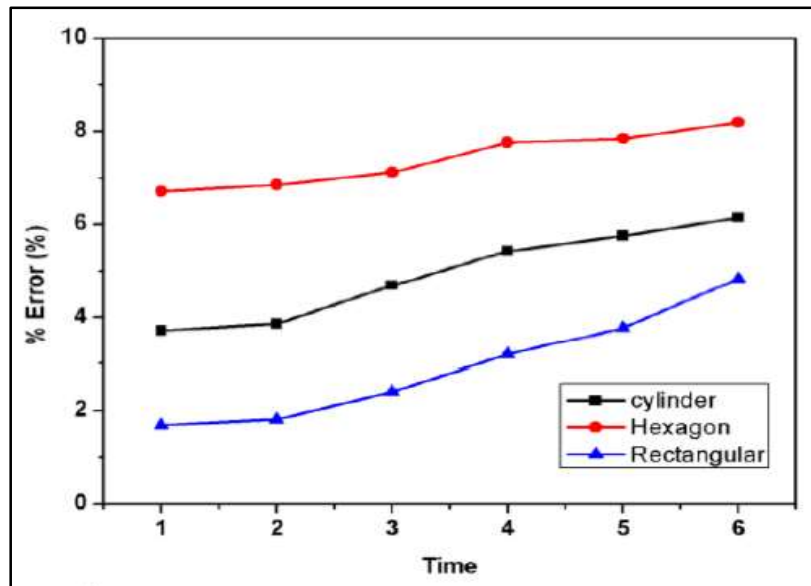
ลำดับ \ ชนิดของวัตถุ	วัตถุทรงกระบอก	วัตถุทรงหกเหลี่ยม	วัตถุทรงสี่เหลี่ยม
ครั้งที่ 1			
ครั้งที่ 2			
ครั้งที่ 3			
ครั้งที่ 4			
ครั้งที่ 5			
ครั้งที่ 6			

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการสแกนวัตถุ 3 ชนิด ประกอบด้วยวัตถุทรงกระบอก วัตถุทรงหกเหลี่ยม และวัตถุทรงสี่เหลี่ยม จำนวน 6 ครั้งเพื่อศึกษาการทดสอบความสมมาตรของระบบสแกนเนอร์

ซึ่งผลของการสแกนพบว่าขนาดของมุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ มีค่าน้อยลงในแต่ละครั้งของการสแกน โดยในการสแกนครั้งแรก วัตถุทรงสี่เหลี่ยม มีค่ามุมเลเซอร์ขณะสอบเทียบสูงสุดที่ประมาณ 89.9 องศา และวัตถุทรงหกเหลี่ยม มีค่ามุมเลเซอร์ขณะสอบเทียบน้อยที่สุด ประมาณ 88.5 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเลเซอร์กับจำนวนครั้งในการสแกน [14]



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของปริมาตรของวัตถุสามมิติ กับจำนวนครั้งในการสแกน

จากรูปที่ 4.3 การสอบเทียบในแต่ละครั้ง มีผลให้การหักเหของแสงที่ตกกระทบวัตถุมีค่าเปลี่ยนแปลง มุมที่ได้จึงมีค่าลดลง รวมไปถึงระหว่างกระบวนการสแกน มุมของวัตถุที่ไม่สม่ำเสมอจากการเปลี่ยนแปลงมุมของเลเซอร์เป็นผลทำให้ขนาดของวัตถุสามมิติมีความคลาดเคลื่อน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของขนาดของวัตถุ มีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดของมุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุที่มีค่าลดลง และปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดของการสแกนเกิดขึ้นจากหลายปัจจัย เช่น แสงจากภายนอก รูปทรงของวัตถุที่นำมาสแกน และในแต่ละครั้งของการสอบเทียบเกิดการเปลี่ยนแปลงของการหักเหของแสงที่ตกกระทบกับวัตถุ มีผลทำให้มุมที่ได้ในการสแกนแต่ละครั้งไม่เท่ากัน

ปัจจัยที่กล่าวมาล้วนทำให้ขนาดของวัตถุสามมิติที่สแกนในแต่ละครั้งมีปริมาตรไม่เท่ากัน ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด สามารถวิเคราะห์โดยทำการวัดขนาดวัตถุต้นแบบกับวัตถุสามมิติจาก ความกว้าง ความยาว และความหนา ของวัตถุ และนำมาคำนวณหาปริมาตร ซึ่งทำให้ทราบว่าวัตถุทรงหกเหลี่ยมมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุด และวัตถุทรงสี่เหลี่ยมมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยที่สุด เท่ากับ 6.72 % และ 1.69% ตามลำดับ จากผลการทดลอง นำมาสรุปได้ดังตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 สรุปผลมุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ

ครั้งที่	ทรงกระบอก (องศา)	ทรงหกเหลี่ยม (องศา)	ทรงสี่เหลี่ยม (องศา)
1	89.5	88.5	89.9
2	88.4	87.3	89
3	87.3	86.7	88.5
4	85.7	85.2	87.3
5	85.2	84.4	86.7
6	84.3	83	85.2

ตารางที่ 4.3 สรุปผลเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของปริมาตรของวัตถุสามมิติ

ครั้งที่	ทรงกระบอก (%)	ทรงหกเหลี่ยม (%)	ทรงสี่เหลี่ยม (%)
1	3.72	6.72	1.69
2	3.87	6.86	1.81
3	4.69	7.12	2.41

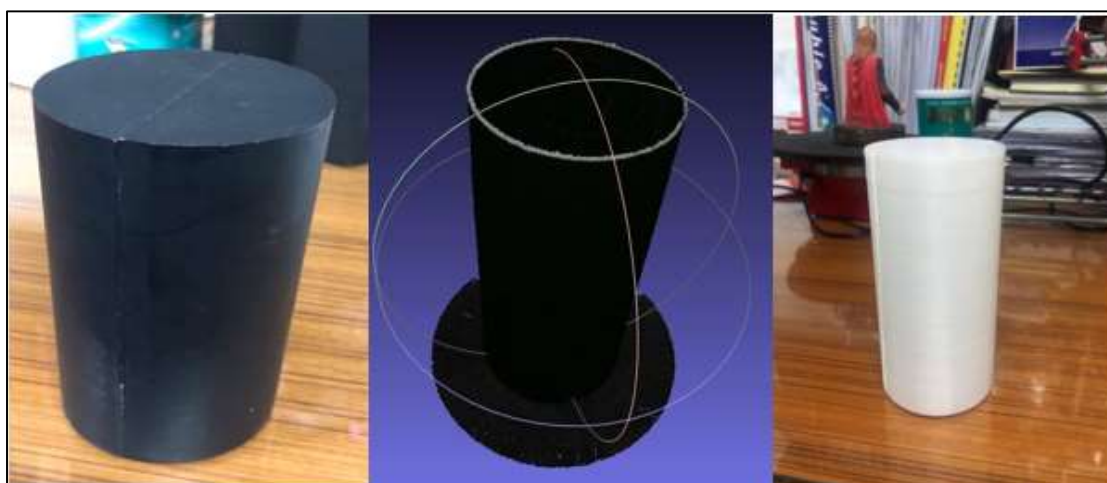
ตารางที่ 4.3(ต่อ) สรุปผลเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของปริมาตรของวัตถุธาสมมิติ

ครั้งที่	ทรงกระบอก (%)	ทรงกลมเหลี่ยม (%)	ทรงสี่เหลี่ยม (%)
4	5.43	7.77	3.19
5	5.76	7.85	3.78
6	6.15	8.2	4.83

จากตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 พบว่ามีความสัมพันธ์กับในเชิงผกผันกันยกตัวอย่างเช่น การสแกนครั้งที่ 1 ของวัตถุทรงสี่เหลี่ยม มุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุมีค่าเท่ากับ 89.9 องศาซึ่งมีค่ามากที่สุดไนตารางที่ 4.2 แต่เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 1.69 % ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดไนตารางที่ 4.3

4.3 การศึกษาการทดสอบการสแกนวัตถุด้านแบบ

จากการศึกษาการทดสอบความสมมาตรของระบบสแกนเลเซอร์ หลังจากทำการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการสแกน ทำให้ได้วัตถุธาสมมิติที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อย จึงนำวัตถุธาสมมิติไปพิมพ์ลงบนเครื่องพิมพ์วัตถุธาสมมิติ และทำการเปรียบเทียบขนาดต่อไป ซึ่งวัตถุด้านแบบวัตถุธาสมมิติ และวัตถุที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์วัตถุธาสมมิติ แสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างวัตถุด้านแบบ วัตถุธาสมมิติ และวัตถุที่ได้จากการพิมพ์ของวัตถุทรงกระบอก

4.3.1 ความผิดพลาดระหว่างวัตถุดิบแบบกับวัตถูสามมิติ

หลังจากทำการศึกษาการทดสอบความผิดพลาดของระบบสแกนเนอร์ในหัวข้อที่ 4.2 ทำการเลือกผลการสแกนที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุดของวัตถุทั้ง 3 ชนิด ประกอบด้วยวัตถุทรงกระบอก ทรงหกเหลี่ยม และวัตถุทรงสี่เหลี่ยมมาเปรียบเทียบปริมาณของวัตถุดิบแบบกับวัตถูสามมิติ ซึ่งขนาดวัตถุดิบแบบ และวัตถูสามมิติแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปริมาณของวัตถุดิบแบบกับวัตถูสามมิติ

ชนิด	ปริมาตรวัตถุดิบแบบ (cm ³)	ปริมาตรวัตถูสามมิติ (cm ³)
ทรงกระบอก	335.76	323.27
ทรงหกเหลี่ยม	371.95	346.96
ทรงสี่เหลี่ยม	414.24	407.25

จากตารางที่ 4.4 เปอร์เซนต์ความผิดพลาดสามารถวิเคราะห์ได้โดยทำการวัดขนาดวัตถุดิบแบบกับวัตถูสามมิติ จากนั้นนำมาคำนวณ โดยให้ปริมาณของวัตถุดิบแบบเป็นค่าจริง ซึ่งทำให้ทราบว่าวัตถุทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุดิบแบบมากที่สุด และวัตถุทรงหกเหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุดิบแบบน้อยที่สุด โดยมีค่าเปอร์เซนต์ความผิดพลาดที่เปรียบเทียบขนาดระหว่างวัตถุดิบแบบกับวัตถูสามมิติ มีค่าเท่ากับ 1.69% และ 6.72% ตามลำดับ จากผลที่ได้สรุปได้ว่าการสแกนวัตถุทรงสี่เหลี่ยมให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับวัตถุดิบแบบมากที่สุด

4.4 การศึกษาวัตถุพิมพ์ที่ได้จากผลของการสแกน

4.4.1 ความผิดพลาดระหว่างวัตถุดิบแบบกับวัตถุพิมพ์โดยคำนวณเป็นปริมาตร

ในการศึกษาการทดสอบความผิดพลาดของระบบสแกนเนอร์ในหัวข้อที่4.2 ทำการเลือกผลการสแกนที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุดของวัตถุทั้ง 3 ชนิด ประกอบด้วยวัตถุทรงกระบอก ทรงหกเหลี่ยม และวัตถุทรงสี่เหลี่ยมมาทำการพิมพ์ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาตรระหว่างวัตถุดิบแบบกับวัตถุพิมพ์ ซึ่งขนาดของวัตถุดิบแบบและวัตถุพิมพ์แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ปริมาณของวัตถุดิบแบบกับวัตถุพิมพ์

ชนิด	ปริมาตรวัตถุดิบแบบ (cm ³)	ปริมาตรวัตถุพิมพ์ (cm ³)
ทรงกระบอก	335.76	323.27
ทรงหกเหลี่ยม	371.95	331.02
ทรงสี่เหลี่ยม	414.24	393.59

จากตารางที่ 4.5 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสามารถวิเคราะห์โดยทำการวัดขนาดวัตถุต้นแบบกับวัตถุที่ได้จากพิมพ์ จากนั้นนำมาคำนวณ โดยให้ปริมาตรของวัตถุต้นแบบเป็นค่าจริง ซึ่งทำให้ทราบว่า วัตถุทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุดและวัตถุทรงหกเหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบน้อยที่สุด โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เปรียบเทียบขนาดระหว่างวัตถุต้นแบบกับวัตถุที่ได้จากพิมพ์ มีค่าเท่ากับ 4.99% และ 11% ตามลำดับ จากผลที่ได้สรุปได้ว่าการพิมพ์วัตถุทรงสี่เหลี่ยมให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด เนื่องจากผลที่ได้จากการสแกนมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

4.4.2 ความผิดพลาดระหว่างวัตถุต้นแบบกับวัตถุพิมพ์โดยการวัดที่ละมิติ

หลังจากทำการศึกษาการทดสอบความผิดพลาดของระบบสแกนเนอร์ในหัวข้อที่ 4.2 ทำการเลือกผลการสแกนที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุดของวัตถุทั้ง 3 ชนิด ประกอบด้วยวัตถุทรงกระบอก ทรงหกเหลี่ยม และวัตถุทรงสี่เหลี่ยมมาทำการพิมพ์ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพื่อทำการเปรียบเทียบขนาดของวัตถุทั้ง 3 ชนิด โดยการวัดที่ละมิติ ซึ่งขนาดของวัตถุต้นแบบและวัตถุพิมพ์แสดงในตารางที่ 4.6

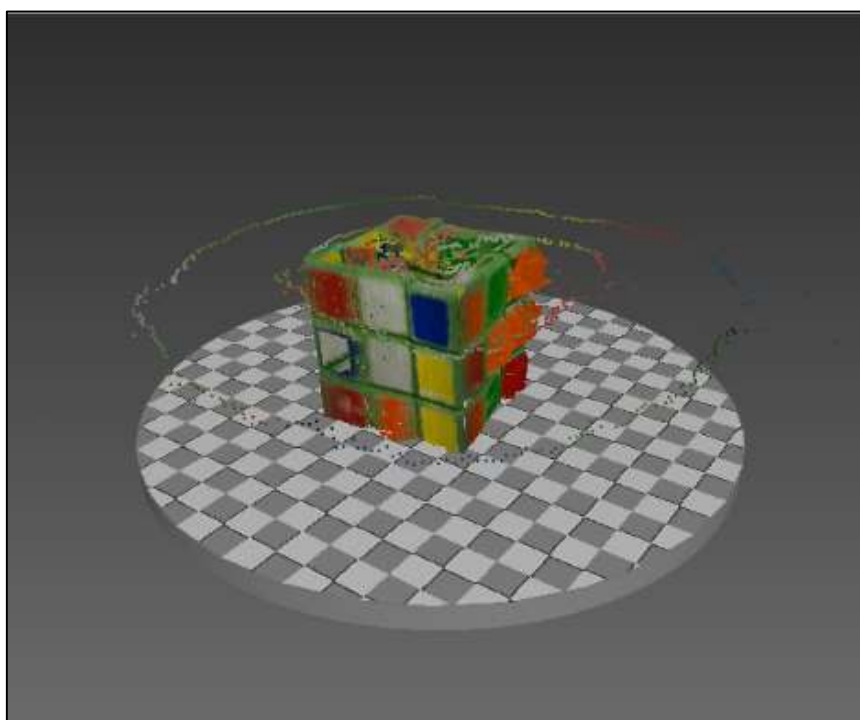
ตารางที่ 4.6 ขนาดของวัตถุต้นแบบกับวัตถุพิมพ์ที่ได้จากการวัด

ชนิด	ขนาดวัตถุต้นแบบ (cm)		ขนาดวัตถุพิมพ์ (cm)	
ทรงกระบอก	R = 3	H = 12	R = 2.8	H = 11.7
ทรงหกเหลี่ยม	X = 3.5	H = 12	X = 3.3	H = 11.7
ทรงสี่เหลี่ยม	X = 6	H = 12	X = 5.8	H = 11.7

จากตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสามารถวิเคราะห์โดยทำการวัดขนาดวัตถุต้นแบบกับวัตถุที่ได้จากพิมพ์ที่ละมิติ ซึ่งทำให้ทราบว่าวัตถุทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุดและวัตถุทรงกระบอกมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบน้อยที่สุด โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เปรียบเทียบขนาดระหว่างวัตถุต้นแบบกับวัตถุที่ได้จากพิมพ์ มีค่าเท่ากับ 3.33% และ 6.67% ตามลำดับ จากผลที่ได้สรุปได้ว่าการพิมพ์วัตถุแต่ละชนิดความสูงของวัตถุมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เท่ากัน มีค่าเท่ากับ 2.5% แต่เมื่อทำการวัดขนาดของวัตถุจะพบว่าวัตถุทรงสี่เหลี่ยมให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด เนื่องจากผลที่ได้จากการสแกนมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด

4.5 การศึกษาการสแกนวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน

การทดสอบการสแกนวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อน โดยใช้วัตถุ 3 ชนิดประกอบด้วย โมเดลตัวการ์ตูน 2 แบบ และโมเดลรูปคิก มาทำการทดลอง เพื่อทดสอบข้อจำกัดของเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติพบว่าเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ Ciclop ไม่สามารถที่จะจับภาพวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ครบถ้วน เนื่องจาก โครงสร้างของโมเดลได้รับการบดบัง ทำให้ไม่สามารถจับภาพวัตถุได้ จากผลที่ได้สรุปได้ว่าเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ Ciclop ไม่สามารถที่จะจับภาพวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ แต่สามารถที่จะจับภาพวัตถุที่มีลักษณะมน ซึ่งสามารถที่จะมองเห็นได้ครบถ้วน ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อนหลังจากการสแกน

4.6 การศึกษาการทดสอบการสแกนวัตถุของเครื่อง DAVID Laser Scanner

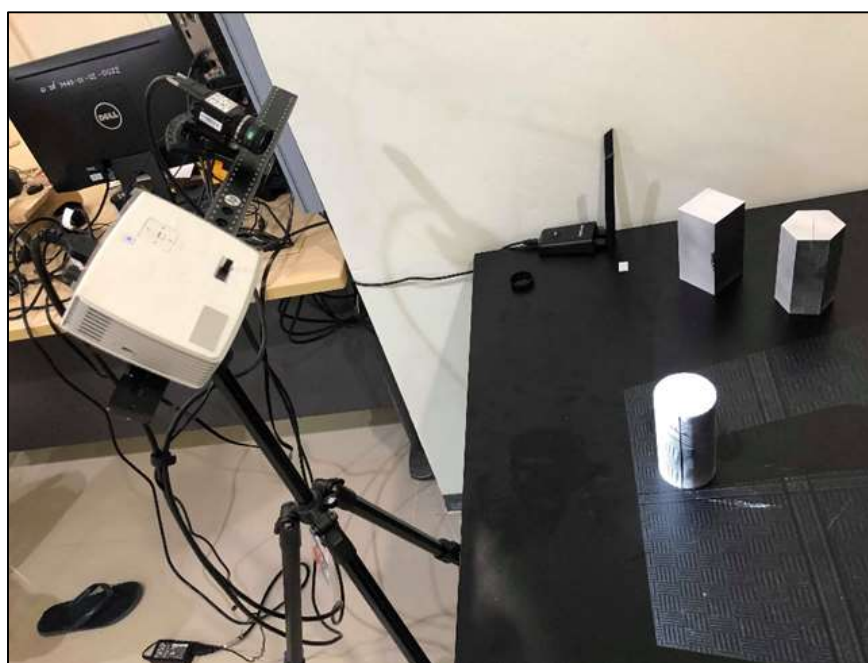
David Laser Scanner เป็นเครื่องสแกนวัตถุประเภทหนึ่งซึ่งมีหลักการทำงานโดยใช้ Projector ฉายแสงไปที่วัตถุ และจับภาพที่แสงสะท้อนกลับออกมาจากวัตถุด้วยกล้อง จากนั้นส่งไปประมวลผลออกมาเป็นโมเดล 3 มิติ โดยมีข้อจำกัดในการสแกนวัตถุเช่น ไม่สามารถสแกนวัสดุที่เงา วาว และสะท้อนแสง เนื่องจากกล้องไม่สามารถจับได้ว่าวัสดุอยู่ห่างเท่าไร ไม่สามารถจับวัสดุโปร่งแสง หรือโปร่งใส เนื่องจากมีการหักเหของแสง ไม่สามารถจับวัตถุสีดำ เนื่องจากผิวของวัตถุมีการดูดกลืนแสง โดยสามารถแก้ไขได้ โดยการฉีดสเปรย์แป้ง และไม่มี Turn Table ต้องจัดหา ซึ่งทำให้การเก็บผลการทดลองต้องมีความเข้าใจในวิธีการใช้งานก่อน

ทำการสแกนวัตถุ 3 ชนิด ประกอบด้วย วัตถุทรงสี่เหลี่ยม วัตถุทรงกระบอกและวัตถุทรงหกเหลี่ยม ซึ่งแต่ละครั้งในการสแกนต้องทำการสอบเทียบพารามิเตอร์ของเครื่อง DAVID Laser Scanner มาเก็บผลการทดลองการสแกนวัตถุต้นแบบ และทำการเปรียบเทียบขนาดของวัตถุระหว่างวัตถุต้นแบบกับวัตถุสามมิติ แสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ปริมาตรของวัตถุต้นแบบกับวัตถุสามมิติของเครื่อง DAVID Laser Scanner

ชนิด	ปริมาตรวัตถุต้นแบบ (cm ³)	ปริมาตรวัตถุสามมิติ (cm ³)
ทรงกระบอก	335.76	330.27
ทรงหกเหลี่ยม	371.95	360.33
ทรงสี่เหลี่ยม	414.24	410.25

จากตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสามารถวิเคราะห์ได้โดยทำการวัดขนาดวัตถุต้นแบบกับวัตถุสามมิติ จากนั้นนำมาคำนวณ โดยให้ปริมาตรของวัตถุต้นแบบเป็นค่าจริง ซึ่งทำให้ทราบว่า วัตถุทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด และวัตถุทรงหกเหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบน้อยที่สุด โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เปรียบเทียบขนาดระหว่างวัตถุต้นแบบกับวัตถุสามมิติ มีค่าเท่ากับ 0.96 % และ 3.12% ตามลำดับ จากผลที่ได้สรุปได้ว่าการสแกนวัตถุทรงสี่เหลี่ยมให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด และทำให้ผู้วิจัยทราบว่า เครื่อง Ciclop มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการสแกนวัตถุมากกว่าเครื่อง DAVID Laser Scanner



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการทดสอบการสแกนวัตถุของเครื่อง DAVID Laser Scanner

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอผลการศึกษาระบบการปรับปรุงซอฟต์แวร์โดยใช้ภาษาไพทอน ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาต่อยอดเพื่อให้โปรแกรม Horus สามารถสร้างไฟล์ STL ซึ่งนำไปเป็นอินพุตของเครื่องพิมพ์สามมิติ ผลของการทดสอบความสมมาตรของระบบสแกนเลเซอร์ ในการสแกนวัตถุสามมิติ มุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุเป็นตัวแปรสำคัญ จากการเปลี่ยนแปลงมุมของเลเซอร์เป็นผลทำให้ขนาดของวัตถุสามมิติมีความคลาดเคลื่อน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของขนาดของวัตถุ มีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดของมุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุที่มีค่าลดลง และปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดของการสแกน เกิดขึ้นจากหลายปัจจัย เช่น แสงจากภายนอก รูปทรงของวัตถุที่นำมาสแกน และในแต่ละครั้งของการสอบเทียบเกิดการเปลี่ยนแปลงของการหักเหของแสงที่ตกกระทบกับวัตถุ ผลของการทดสอบการสแกนวัตถุต้นแบบ ทำการเลือกผลการสแกนที่มีความผิดพลาดน้อยที่สุดของวัตถุมาเปรียบเทียบกับปริมาตรของวัตถุต้นแบบกับวัตถุสามมิติ พบว่าวัตถุทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด และวัตถุทรงหกเหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบน้อยที่สุด การศึกษาวัตถุพิมพ์ที่ได้จากผลของการสแกน ทำการเลือกผลการสแกนที่มีความผิดพลาดน้อยมาทำการพิมพ์ในเครื่องพิมพ์ 3 มิติ เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาตรระหว่างวัตถุต้นแบบกับวัตถุพิมพ์ ซึ่งทำให้ทราบว่า วัตถุทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุดและวัตถุทรงหกเหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบน้อยที่สุด จากผลที่ได้สรุปได้ว่าการพิมพ์วัตถุทรงสี่เหลี่ยมให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด ผลของการทดสอบการสแกนวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อนพบว่าเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ Ciclop ไม่สามารถที่จะจับภาพวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ครบถ้วน เนื่องจาก โครงสร้างของโมเดลได้รับการบดบัง ทำให้ไม่สามารถจับภาพวัตถุได้ จากผลที่ได้สรุปได้ว่าเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ Ciclop ไม่สามารถที่จะจับภาพวัตถุที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ แต่สามารถที่จะจับภาพวัตถุที่มีลักษณะคล้ายทรงกระบอก ซึ่งสามารถที่จะมองเห็นได้ครบถ้วน และผลของการศึกษาระบบการทดสอบการสแกนวัตถุของเครื่อง DAVID Laser Scanner พบว่าเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ Ciclop มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่มากกว่า เครื่อง DAVID Laser Scanner แต่ผลลัพธ์ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากวิทยานิพนธ์การพัฒนาระบบสแกนวัตถุสามมิติด้วยภาษาไพทอนสำหรับวิศวกรรมย้อนกลับ จะพบว่า ข้อดีของเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ Ciclop และซอฟต์แวร์ Horus เป็น Open-Source ที่สามารถที่จะศึกษากระบวนการสแกนวัตถุ 3 มิติ มีความยืดหยุ่นสามารถพัฒนาต่อยอดได้ และข้อจำกัดของเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ Ciclop มีหลายปัจจัยที่ทำให้เกิดความผิดพลาดของผลของการสแกน อาทิเช่น เครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ Ciclop ใช้กล้องตรวจจับที่มีความละเอียดค่อนข้างต่ำ ทำให้ภาพที่ตรวจจับที่ได้รับไม่คมชัด ควรเพิ่มค่าความละเอียดของกล้องที่ใช้ตรวจจับ จะทำให้การทดลองมีค่าใกล้เคียงกับวัตถุจริงมากยิ่งขึ้น ชนิดของวัตถุที่นำมาสแกน ต้องเป็นวัตถุที่ไม่มันวาวหรือสะท้อนแสง เพราะจะทำให้กล้องไม่สามารถตรวจจับได้ ขนาดของวัตถุที่นำมาสแกนต้องมีขนาดไม่เกิน 20.3 X 20.3 cm วัตถุที่นำมาสแกนต้องอยู่นิ่งไม่เคลื่อนที่เนื่องจากเครื่องเลเซอร์สแกนเนอร์ Ciclop ตรวจจับภาพแบบเรียลไทม์ และซอฟต์แวร์ Horus ในปัจจุบันไม่สามารถที่จะสร้างไฟล์ STL ได้โดยตรง

ซึ่งวิทยานิพนธ์นี้สามารถที่จะนำไปพัฒนาต่อยอด เช่น โปรแกรมสามารถเปลี่ยนแปลงขนาดของวัตถุที่สแกนได้ สามารถแก้ไขโปรแกรมให้สามารถนำไปใช้กับวัตถุชนิดอื่นได้ รวมถึงปรับปรุงความละเอียดโดยใช้งานกล้องเว็บแคมรุ่นใหม่เพื่อเพิ่มความชัดเจนในการรับภาพขณะทำการสแกน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Layton T. Jacobs E.L. & Griffin S.T. 2009. “3D laser scanner and profiler for application to border security” **IEEE Sensor Application Symposium**. New Orleans. LA. USA.
- [2] Artthaya B. Gunawan I. and Gunawan H. 2008. “Point Clouds Construction Algorithm from a Home-made Laser Scanner” **8th Int. Conf. on Intelligent Systems Design and Applications**. Kaohsiung. Taiwan.
- [3] Franca J.G.D.M. Gazziro M.A. Ide A.N. and Saito J.H. 2005. “A 3D Scanning System Based on Laser Triangulation and Variable Field of View”.
- [4] Coordinate-Measuring-Machine-เครื่องวัดขนาดชิ้นงานสามมิติ [Online]
Available: <http://www.itokin2000.com/Coordinate-Measuring-Machine>
- [5] Francisco Vegara. Pedro Zuccarello. Jose A. Boluda and Fernando Pardo. 2013. “Taking Advantage Of Selective Change Driven Processing For 3D Scanning”
Available: <http://www.mdpi.com/1424-8220/13/10/13143/htm>
- [6] PointCloud. **Wikipedia** [Online].
Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud
- [7] Voxel. **Wikipedia** [Online].
Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Voxel>
- [8] M.Kazhdan. ,M.Bolicho and H.Hoppe. 2006. “Poisson Surface Reconstruction, The fourth Eurographics symposium on Geometry Processing.” SGP '06. Pages 61 –70.
- [9] วิศวกรรมย้อนรอยด้วยเทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติ [Online].
Available: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/_53-56.pdf
- [10] Python คืออะไร - ภาษา python ใช้ทำอะไร [Online].
Available: <https://www.aosoft.co.th/article/322/Python-คืออะไร-ภาษา-python-ใช้ทำอะไร.html>
- [11] Zhang, S. & Huang, P.S. 2006. “High-Resolution, Real-time Three-Dimensional Shape Measurement” . *Optical Engineering*.
- [12] Dijkman M. Kruse D. Surm H. Kessler O. Mayr P. & Goch, G 2003. “Distance Measurements with Laser-Triangulation in Hot Environments” . *XVII IMEKO World Congress Metrology in the 3rd Millennium*. Dubrovnik. Croatia.
- [13] Presentation Ciclop and Horus [Online]
Available: <http://diwo.bq.com/en/presentation-ciclop-horus/>

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] สิริวิชญ์ แป้นชีวิต และ ทวีพล ชี้อสัตย์. 2561 “การพัฒนาระบบสแกนวัตถุสามมิติด้วยภาษาไพทอนสำหรับวิศวกรรมย้อนกลับ.” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

(ชุดคำสั่งภาษาไพทอนของโปรแกรมในส่วนที่ได้รับการพัฒนา)

```
import commands
import os
import wx._core
import wx.lib.agw.multidirdialog as MDD

from horus.util import profile, resources

browsei = "Point Cloud File (*.ply)|*.ply|" \
          "All files (*.*)|*.*"
browseo = "STL File (*.stl)|*.stl|" \
          "All files (*.*)|*.*"
browses = "Script File (*.mlx)|*.mlx|" \
          "All files (*.*)|*.*"

class Reconstructor(wx.Dialog):

    def __init__(self, parent):
        wx.Dialog.__init__(self, parent, size=(150, 155),
                           style=wx.DEFAULT_FRAME_STYLE ^ wx.RESIZE_BORDER)

        self.parent = parent
        self.currentDirectory = os.getcwd()

        # Elements
        header = Header(self)
        content = Content(self)
        openFileDialogBtn = wx.Button(self, label=_("Load Ply Input"))
        saveFileDialogBtn = wx.Button(self, label=_("Save As"))
        scriptloadBtn = wx.Button(self, label=_("Load Script"))
        reconDlgBtn = wx.Button(self, label=_("Run"))
```

```

# Layout
vbox = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
hbox = wx.BoxSizer(wx.HORIZONTAL)
hbox.Add((0, 0), 1, wx.ALL | wx.EXPAND, 0)
vbox.Add(hbox, 0, wx.ALL | wx.EXPAND, 5)
vbox.Add(openFileDialogBtn, 0, wx.ALL|wx.CENTER, 2)
vbox.Add(saveFileDialogBtn, 0, wx.ALL|wx.CENTER, 2)
vbox.Add(scriptloadBtn, 0, wx.ALL|wx.CENTER, 2)
vbox.Add(reconDlgBtn, 0, wx.ALL|wx.CENTER, 2)
self.SetSizer(vbox)
self.Centre()

#Event
openFileDialogBtn.Bind(wx.EVT_BUTTON, self.onOpenFile)
saveFileDialogBtn.Bind(wx.EVT_BUTTON, self.onSaveFile)
scriptloadBtn.Bind(wx.EVT_BUTTON, self.onScriptFile)
reconDlgBtn.Bind(wx.EVT_BUTTON, self.onRecon)
self.ShowModal()

def onOpenFile(self, event):
    dlg = wx.FileDialog(
        self, message="Choose a file",
        defaultDir=self.currentDirectory,
        defaultFile="",
        wildcard= browsei,
        style=wx.FD_OPEN | wx.FD_MULTIPLE | wx.FD_CHANGE_DIR
    )
    if dlg.ShowModal() == wx.ID_OK:
        paths = dlg.GetPaths()

```

```

    for ipath in paths:
        self.input_file = str(ipath)
    return self.input_file
dlg.Destroy()

def onSaveFile(self, event):
    dlg = wx.FileDialog(
        self, message="Save file as ...",
        defaultDir=self.currentDirectory,
        defaultFile="", wildcard=browseo, style=wx.FD_SAVE
    )
    if dlg.ShowModal() == wx.ID_OK:
        opath = dlg.GetPath()
        self.output_file = str(opath)
        return self.output_file
    dlg.Destroy()

def onScriptFile(self, event):
    dlg = wx.FileDialog(
        self, message="Choose a file",
        defaultDir=self.currentDirectory,
        defaultFile="",
        wildcard= browses,
        style=wx.FD_OPEN | wx.FD_MULTIPLE | wx.FD_CHANGE_DIR
    )
    if dlg.ShowModal() == wx.ID_OK:
        spath = dlg.GetPaths()
        for epath in spath:
            self.script_file = str(epath)
        return self.script_file

```

```
dlg.Destroy()

def onRecon(self, event):
    batfile = open("Recon.bat", "w")
    batfile.write("meshlabserver -i %s -o %s -s %s"
%(self.input_file,self.output_file,self.script_file))
    batfile.close()
    with open('Recon.bat', 'r') as file:
        batfile = file.read()
    batfile = batfile.replace('\\','/')
    with open('Recon.bat','w') as file:
        file.write(batfile)
    os.startfile("Recon.bat")

def on_close(self, event):
    self.EndModal(wx.ID_OK)
    self.Destroy()

input_file = onOpenFile
output_file = onSaveFile
script_file = onScriptFile

class Header(wx.Panel):

    def __init__(self, parent):
        wx.Panel.__init__(self, parent)

        # Layout
        vbox = wx.BoxSizer(wx.VERTICAL)
        vbox.Add((0, 0), 1, wx.ALL | wx.EXPAND, 0)
```

```
self.SetSizer(vbox)
self.Layout()
```

```
class Content(wx.Panel):
```

```
    def __init__(self, parent):
        wx.Panel.__init__(self, parent)

        # Elements

        # Layout
        hbox = wx.BoxSizer(wx.HORIZONTAL)
        self.SetSizer(hbox)
        self.Layout()
```

ภาคผนวก ข

(ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์)

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] สิริวิชญ์ แป้นชีวิต, ทวีพล ชื้อสัตย์, “การพัฒนาระบบสแกนวัตถุด้วยภาษาไพทอนสำหรับวิศวกรมย้อนกลับ”, การประชุมวิชาการเครือข่ายเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32, หน้า 121



The 32nd Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32

วันที่ 3-6 กรกฎาคม 2561 ณ โรงแรม มุกดาหาร แกรนด์ อ.เมือง จ.มุกดาหาร

นวัตกรรมพื้นบ้านสู่งานวิจัยวิศวกรรมเครื่องกล

วัตถุประสงค์

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริม นวัตกรรม 2530 และนวัตกรรมสู่สังคมด้วยนวัตกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเวทีให้นักวิชาการ นักวิจัย และนักศึกษาด้านวิศวกรรมเครื่องกลได้มีโอกาสนำเสนอผลงานและแลกเปลี่ยนประสบการณ์การศึกษาด้านวิศวกรรมเครื่องกลกับนักวิชาการ นักวิจัย และนักศึกษาด้านวิศวกรรมเครื่องกลและสาขาที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังเป็นการส่งเสริมให้นักวิชาการ นักวิจัย และนักศึกษาด้านวิศวกรรมเครื่องกลได้มีโอกาสในการเรียนรู้จากนักวิชาการ นักวิจัย และนักศึกษาด้านวิศวกรรมเครื่องกลจากต่างประเทศอีกด้วย

ครั้งที่ 32 ME-NETT32 ให้ความสำคัญกับการวิจัย นวัตกรรมและเทคโนโลยีของภาคอุตสาหกรรม โดยจะประกอบด้วย 9 องค์ ประกอบ 30 ปี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล (30 ปี เครื่องกลเครื่องกล) และ 2 ส่วนรวม 60 ปี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล และการศึกษา โดยคาดหวังว่า ME-NETT32 จะเป็นเวทีในการพัฒนาวิศวกรรมเครื่องกลให้ก้าวหน้า และเป็นการประชุมวิชาการที่มีสาระแก่ผู้เข้าร่วมสัมมนา

สาขาเนื้อหา

- การประชุมวิชาการครั้งนี้มีรับบทความวิจัยด้านวิศวกรรมเครื่องกล รวม 8 สาขา ดังนี้
1. Alternative Energy and Combustion (AEC)
 2. Automotive Aerospace and Marine Engineering (AME)
 3. Applied Mechanics, Materials and Manufacturing (AMM)
 4. Biomechanics and Biomechanical Engineering (BME)
 5. Computation and Simulation Techniques (CST)
 6. Dynamic Systems, Robotics and Controls (DRC)
 7. Energy Technology and Management (ETM)
 8. Thermal System and Fluid Mechanics (TSP)
- และบทความวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2 สาขา ดังนี้
1. Applied Sciences for Mechanical Engineering (ASM)
 2. Engineering Education (EDU)

ติดต่อสอบถาม

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาบันการช่าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร
 744 ถนนมหาไชย แขวง มหาไชย เขต บางกอกใหญ่ กรุงเทพมหานคร 10600
 โทรศัพท์ 046-233-073 ต่อ 3430, โทรสาร: 046-233-074
 อีเมลสาขาวิชา 097-3348815, ผู้ประสานงาน 084-0307600, 094-2859042
 เว็บไซต์ : me-net2018@mit.ac.th, http://www.facebook.com/me-net2018
 เว็บไซต์ : http://www.me-net2018.com/

การลงทะเบียน

บทความวิจัยที่ส่งเข้าร่วม ต้องมีเนื้อหาส่วนเทคนิคการ หรือผลงานวิจัยใหม่ ด้านวิศวกรรมเครื่องกลหรือสาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เป็นการส่งบทความวิจัยใหม่ที่ไม่ได้ผ่านการตีพิมพ์หรือการนำเสนอในที่อื่นมาก่อนแล้ว และต้องเป็นบทความที่ส่งมาทางเว็บไซต์ของ ME-NETT32 โดยตรงเป็นบทความฉบับเต็มจำนวน 6-10 หน้ากระดาษ A4 สามารถส่งบทความได้ล่วงหน้าเพื่อรับการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ บทความที่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิแล้ว จะได้รับการบรรจุได้บนออนไลน์ ME-NETT ครั้งที่ 32

กำหนดการ

รับจดคำขอการรับบทความวิจัย	31 มีนาคม 2561
ประกาศรายชื่อผู้สมัครยื่นคำขอการพิจารณา	17 เมษายน 2561
รับจดคำขอการพิจารณาฉบับเต็ม	1 พฤษภาคม 2561
พิจารณาผลการพิจารณาบทความฉบับเต็ม	20 พฤษภาคม 2561
รับจดคำขอการพิจารณาฉบับสมบูรณ์	31 พฤษภาคม 2561
ส่งบทความฉบับสมบูรณ์	1 เมษายน ถึง 31 พฤษภาคม 2561
รับประชุมงานสัมมนา	3-6 กรกฎาคม 2561

ค่าลงทะเบียน

นิสิต / นักศึกษา	4,000 บาท / ท่าน
ลงทะเบียนผู้ร่วมงาน (ค่าจดจำ 1 คน, 31 พ.ค. 61)	5,000 บาท / ท่าน
ลงทะเบียนผู้ร่วมงาน (ค่าจดจำ 31 พ.ค. 61)	1,500 บาท / ท่าน
ลงทะเบียนผู้ร่วมงาน (ไม่จดจำค่าจดจำ)	5,000 บาท / ท่าน
ลงทะเบียนผู้ร่วมงาน (ค่าจดจำ 1 คน, 31 พ.ค. 61)	6,000 บาท / ท่าน
ลงทะเบียนผู้ร่วมงาน (ค่าจดจำ 31 พ.ค. 61)	6,000 บาท / ท่าน

หมายเหตุ : ใช้กำหนดการการเปลี่ยนแปลงตามรายละเอียดในผู้ประสานงาน
 วัฒนา นิสิตงานข้อมูลข่าวสารใช้หาเว็บไซต์ http://mit.ac.th/engnet2018/



**DRC007**

www.me-nett2018.com

การพัฒนากระบวนการสแกนวัตถุสามมิติด้วยภาษาไพทอนสำหรับวิศวกรรมย้อนกลับ

สิริวิชญ์ แป้นชีวิต¹ และ ทวีพล ชื้อสตัย¹¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

* Correspondence: Sirawit.p@pttplc.com

บทคัดย่อ: บทความนี้นำเสนอการพัฒนากระบวนการสแกนวัตถุสามมิติด้วยลำแสงเลเซอร์ตัดขวางและศึกษาผลกระทบซึ่งเกิดจากมุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ เพื่อปรับปรุงผลลัพธ์ของการสแกนวัตถุสามมิติและนำไปใช้เป็นอินพุตของเครื่องพิมพ์สามมิติเนื่องจากกระบวนการสแกนวัตถุสามมิติในปัจจุบันไม่สามารถให้ผลลัพธ์เป็นไฟล์ STL ได้ตั้งนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการพัฒนาระบบดังกล่าวด้วยภาษาไพทอนในการสร้างไฟล์ STL พร้อมทั้งปรับปรุงพื้นผิวของวัตถุให้ดีขึ้นด้วยกระบวนการPoisson reconstruction ในการทดลองการสแกนวัตถุต้นแบบจากวัตถุรูป ทรงสี่เหลี่ยม ทรงกระบอก และทรงกลมเหลี่ยม เพื่อนำมาสร้างวัตถุด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ และทำการเปรียบเทียบขนาดระหว่างวัตถุต้นแบบ วัตถุสามมิติ และวัตถุที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ ในการพัฒนาระบบสามารถปรับปรุงพื้นผิวของวัตถุสามมิติ และสามารถสร้างวัตถุด้วยการพิมพ์จากไฟล์ STL จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า ขนาดของมุมระหว่างเลเซอร์ และผิวของวัตถุเป็นตัวแปรสำคัญซึ่งทำให้เกิดค่าความผิดพลาด และผลจากการพิมพ์สามมิติ พบว่าวัตถุทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด และวัตถุทรงกลมเหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงน้อยที่สุดมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดประมาณ 4.99 และ 11% ตามลำดับงานวิจัยนี้สามารถปรับปรุงความละเอียดในการสแกนสำหรับการทำวิศวกรรมย้อนกลับที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้

คำสำคัญ: ระบบสแกนวัตถุสามมิติ; วิศวกรรมย้อนกลับ; พอยท์ คลาวด์; การสร้างพื้นผิว

Abstract: This paper presents a development of 3D laser scanning system with studying the effect caused by the angle between laser and the object. The 3D object scanning results used as input for 3D printer were improved. Usually, the output file of 3D scanning system is not the STL file, which cannot apply for 3D printer. Therefore, this research proposes the developed software for creating the STL file from 3D scanner and improving surface with Poisson reconstruction process by Python language. The experiment was done by scanning rectangular, cylindrical and hexagonal object respectively then printing by 3D printer and comparing a dimension between original objects and the 3D printed objects. The results after developed found the system could reconstruct the surface of a 3D object and create STL file. From the analysis found a size between laser angle and surface of object was the critical parameter that obtained the error. The result after the object printed found the Rectangular dimension was similar to the prototype object and the hexagonal object has minimum closet dimension about 4.9 % and 11 % respectively. This research can improve the resolution of scanning to provide complex reverse engineering.

Keywords: 3D Laser Scanner; Reverse Engineer; Reconstruction.



การพัฒนา ระบบสแกนวัตถุสามมิติด้วยภาษาไพทอนสำหรับวิศวกรรมย้อนกลับ
Development of 3D scanning system by Python Language for Reverse Engineering

สิริวิทย์ แป้นชีวิต¹ และ ทวีพล ชัยอภัย¹

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
*E-mail : Sirawit.p@kmitl.ac.th , โทรสาร 0879357723

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการพัฒนา ระบบสแกนวัตถุสามมิติด้วยลำแสงเลเซอร์ทิศทาง และศึกษานกกระทบซึ่งเกิดจากมุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ เพื่อปรับปรุงผลลัพธ์ของการสแกนวัตถุสามมิติ และนำไปใช้เป็นอินพุตของเครื่องพิมพ์สามมิติ เนื่องจากระบบสแกนวัตถุสามมิติในปัจจุบันไม่สามารถให้ผลลัพธ์เป็นไฟล์ STL ได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการพัฒนา ระบบดังกล่าวด้วยภาษาไพทอนในการสร้างไฟล์ STL พร้อมทั้งปรับปรุงพื้นผิวของวัตถุให้ดีขึ้นด้วยกระบวนการ Poisson reconstruction ในการทดลองการสแกนวัตถุต้นแบบจากวัตถุรูป ทรงสี่เหลี่ยม ทรงกระบอก และทรงพิกเหลี่ยม เพื่อนำมาสร้างวัตถุด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ และทำการเปรียบเทียบขนาดระหว่างวัตถุต้นแบบ วัตถุสามมิติ และวัตถุที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ ในการพัฒนา ระบบสามารถปรับปรุงพื้นผิวของวัตถุสามมิติ และสามารถสร้างวัตถุด้วยการพิมพ์จากไฟล์ STL จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า ขนาดของมุมระหว่างเลเซอร์ และผิวของวัตถุเป็นตัวแปรสำคัญ ซึ่งทำให้เกิดค่าความผิดพลาด และผลจากการพิมพ์สามมิติ พบว่าวัตถุทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด และวัตถุทรงพิกเหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงน้อยที่สุดมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 4.99 และ 11% ตามลำดับ งานวิจัยนี้สามารถปรับปรุงความละเอียดในการสแกนสำหรับการทำวิศวกรรมย้อนกลับที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้

คำหลัก: ระบบสแกนวัตถุสามมิติ, วิศวกรรมย้อนกลับ, พ้อยท์ คลาวด์, การสร้างพื้นผิว

Abstract

This paper presents a development of 3D laser scanning system with studying the effect caused by the angle between laser and the object. The 3D object scanning results used as input for 3D printer were improved. Usually, the output file of 3D scanning system is not the STL file, which cannot apply for 3D printer. Therefore, this research proposes the developed software for creating the STL file from 3D scanner and improving surface with Poisson reconstruction process by Python language. The experiment was done by scanning rectangular, cylindrical and hexagonal object respectively then printing by 3D printer and comparing a dimension between original objects and the 3D printed objects. The results after developed found the system could reconstruct the surface of a 3D object and create STL file. From the analysis found a size between laser angle and surface of object was the critical parameter that obtained the error. The result after the object has printed found the Rectangular dimension was similar to the prototype object and the hexagonal object has minimum closest dimension about 4.9% and 11% respectively. This research can improve the resolution of scanning to provide complex reverse engineering

Keywords: 3D Laser Scanner, Reverse Engineer, Reconstruction



1. บทนำ

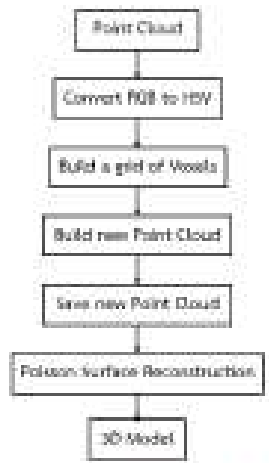
เครื่องสแกนเนอร์เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เครื่องสแกนเนอร์ในด้านการแพทย์ เช่น CT Scans เพื่อตรวจหาความผิดปกติของผู้ป่วย โดยนำผลจากการสแกนมาวิเคราะห์และจำลองเพื่อช่วยในการวินิจฉัยโรค ในด้านอุตสาหกรรมมีการใช้สแกนเนอร์ประเภท CMM ทดแทนเครื่องมือวัดขนาดของวัตถุ จากที่ได้กล่าวมาพบว่า สแกนเนอร์มีความประโยชน์ และมีความหลากหลายในเรื่องการประยุกต์ใช้งาน รวมไปถึงการสร้างสแกนเนอร์ราคาถูกเพื่อช่วยในการสร้างแบบจำลองและรองรับงานวิจัย ปัจจุบันเครื่องสแกนเนอร์ราคาถูกมีความนิยมในการใช้งานร่วมกับงานวิจัยอย่างแพร่หลาย เช่นระบบเชิงเส้น triangulation ในการใช้งานภาพ 2 มิติและ 3 มิติ เพื่อตรวจจับวัตถุต้องสงสัยในงานควบคุมกระบวนการประเภท [1] และได้มีการพัฒนากระบวนการสแกนวัตถุแบบทันสมัย โดยใช้วิธีการ triangulation ในการแปลงจุดข้อมูลบนรูปภาพ ให้เป็นข้อมูลจุดระบบพิกัดฉากของโลก [2] ต่อมาได้มีการนำระบบ 3 มิติซึ่งใช้หลักการ laser triangulation และได้พัฒนาในลักษณะรูปแบบที่สามารถเปลี่ยนแปลง Field of View ได้ ซึ่งเทคนิคนี้ทำให้ระบบสแกนมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น และมีคุณสมบัติดังนี้ [3]

จากงานวิจัยที่กล่าวมามีทำให้ผู้เขียนมีความสนใจในเทคโนโลยีสแกนเนอร์สามมิติราคาถูก โดยใช้งานเครื่องเชิงเส้นสแกน Gridop ซึ่งมีรูปแบบการสแกนวัตถุสามมิติด้วยลำแสงเชิงเส้นสีขาว โดยให้เกาส์จุดในลักษณะของ Point Cloud เท่านั้น จึงทำให้มีความสนใจในการพัฒนา เพื่อให้ถึงเป้าหมายการเข้าถึงผู้ใช้ STL ได้เพื่อนำไปใช้ร่วมกับเครื่องพิมพ์สามมิติ และทำการศึกษามุมระหว่างลำแสงเชิงเส้นกับวัตถุมีผลกระทบต่อการสแกน และกับอุปกรณ์สแกนให้ได้ขนาดของวัตถุสามมิติ มีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุด

2. กระบวนการทำ Surface 3D Reconstruction

โดยปกติระบบเชิงเส้นสแกนเนอร์จะให้ผลลัพธ์เป็น Pointcloud และเมื่อมีความต้องการงาน Pointcloud ในใช้งานร่วมกับเครื่องมือ 3 มิติ ดังนั้น Surface 3D Reconstruction จึงมีความจำเป็นในการสร้างวัตถุสาม

มิติ โดยเริ่มจากแปลง RGB เป็น HSV จากนั้นทำการสร้าง Grid of Voxels และสร้างกลุ่ม Pointcloud ใหม่ จากนั้นนำค่า Pointcloud เข้าสู่กระบวนการ Surface reconstruction ด้วยวิธีการคำนวณแบบปริซึม จึงจะได้วัตถุสามมิติที่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการทำ Surface 3D reconstruction

2.1 ปริภูมิสี RGB และปริภูมิสี HSV

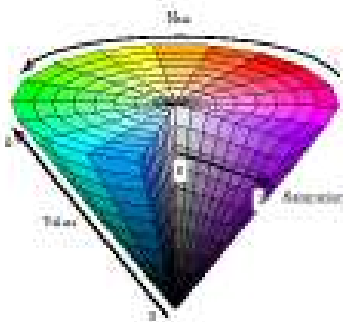
ปริภูมิสี RGB เป็นปริภูมิสีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบภาพดิจิทัลคอมพิวเตอร์ โดยแทนค่าสีของจุดภาพแต่ละจุดภาพด้วยเวกเตอร์สามมิติ ซึ่งแทนค่าสีปฐมภูมิได้แก่ สีแดง, สีเขียว และ สีน้ำเงิน โดยมีช่วงของค่าสีระหว่าง 0-255 ซึ่งปริภูมิสี RGB จะมีลักษณะเป็นรูปลูกบาศก์ 3 มิติดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ปริภูมิสี RGB



ปริภูมิสี HSV ใช้หลักการแยกความสว่างออกจากเนื้อสีของจุดภาพ โดยปริภูมิสี HSV นั้นแทนค่าด้วยเวกเตอร์สามมิติ ซึ่งประกอบด้วย H แทนค่าความเข้มของเนื้อสี (Hue), S แทนค่าความบริสุทธิ์ของสี (Saturation) และ V แทนค่าความสว่างของสี (Value) ซึ่งปริภูมิสี HSV จะมีลักษณะเป็นรูปกรวย ที่แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ปริภูมิสี HSV

การแปลงปริภูมิสี RGB มาเป็นปริภูมิสี HSV ทำได้ โดย H สามารถคำนวณได้จากสมการ (1) S คำนวณได้จากสมการ (2) และ V คำนวณได้จากสมการ (3) ดังต่อไปนี้

$$H = \begin{cases} \delta, & B \leq G \\ 2\pi - \delta, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

โดย ค่าของ δ คำนวณได้จากสมการ (2)

$$\delta = \cos^{-1} \left(\frac{(R-G) + (R-B)}{2\sqrt{(R-G)^2 + (R-B)(G-B)}} \right) \quad (2)$$

$$S = 1 - 3 \times \frac{\min(R,G,B)}{R+G+B} \quad (3)$$

$$V = \frac{R+G+B}{3} \quad (4)$$

- ซึ่ง H คือ ค่าความเข้มของเนื้อสี (Hue)
- S คือ ค่าความบริสุทธิ์ของสี (Saturation)
- V คือ ค่าความสว่างของสี (Value)

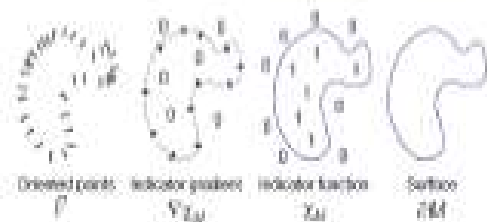
2.2 Voxels

voxel มีลักษณะเหมือนกับเซลล์ในภาพทศนิยม ซึ่งอยู่ในลักษณะของการนำภาพบนจอคอมพิวเตอร์มาเรียงทับซ้อนกันหลายๆชิ้น และเช่นเดียวกับฟังก์ชัน ที่ไม่มีการเก็บค่า

ฟังก์ชันในตัวจุดของ การอ้างถึงถึง voxel แต่จะจุดซึ่งต้องอ้างอิงจากค่า offset จากจุดอื่นๆ

2.3 Poisson Surface Reconstruction

วิธีนี้เป็นที่นิยมในการสร้างพื้นผิวให้กับข้อมูลที่ได้มา จากเครื่องสแกนเนอร์ ซึ่งอาจมีความหนาแน่นของข้อมูล ขาดความสูง แนวทิศโค้งงอๆ คือ มีเป้าหมายเพื่อแก้ปัญหาการไม่รูปร่างแบบผิวของ โดยการประมาณ indicator Function ของกลุ่ม Point Cloud จาก Indicator Gradient ของกลุ่มของผิวของ และมีการปรับค่า Scalar Function ซึ่งได้มาจากค่า Adaptive Octree เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการผิวของ ถ้าพร้อมหาโครงสร้างพื้นผิวแบบ โครงข่าย ที่แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การสร้างพื้นผิว 2 มิติด้วยวิธีผิวของ [6]

จากรูปที่ 4 การสร้างพื้นผิวแบบผิวของสามารถคำนวณได้โดยสมการ (5)

$$\Delta \phi = f \quad (5)$$

ซึ่ง Δ คือ ตัวดำเนินการลาปลาซ f, ϕ คือ ฟังก์ชันค่าจริงที่เรียงซ้อนบนเมบิไลด์

โดยปกติแล้ว f จะทราบค่า และ ϕ ให้คำนวณหาเมบิไลด์คือ ปริภูมิจุด

ตัวดำเนินการลาปลาซมีลักษณะแสดงว่าเป็น ∇^2 และสมการผิวของเขียนแทนด้วยสมการ (6)

$$\nabla^2 \phi = f \quad (6)$$

ในพีชคณิตเชิงเส้นสามมิติจะเขียนแทนด้วยสมการ (7)

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) \phi(x, y, z) = f(x, y, z) \quad (7)$$



2.4 ไฟล์ STL

รูปแบบของไฟล์สามมิติที่สามารถนำไปใช้พิมพ์กับเครื่องพิมพ์สามมิติมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น .OBJ .3DP ฯลฯ แต่รูปแบบ .STL (Standard Triangle Language) เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม ซึ่งได้รับการใช้งานอย่างกว้างขวาง สำหรับการใช้งานนำข้อมูลไปทำชิ้นงานแบบ Rapid prototype สำหรับ STL จะเก็บข้อมูลของ surface หรือ Solid ในรูปของสามเหลี่ยมขนาดเล็ก และทำการประมาณรูปสามเหลี่ยม จึงได้วัตถุสามมิติ ในรูปแบบไฟล์ STL โดยประกอบไปด้วยข้อมูลที่มีลักษณะเป็นชิ้นบางๆ ซ้อนกัน ซึ่งโปรแกรม CAD ส่วนใหญ่สามารถบันทึกไฟล์งานในรูปแบบของ .STL ได้ และเมื่อต้องการนำไปใช้งานสามารถทำได้โดยการแปลงค่า ไฟล์ในรูปแบบ G-code เพื่อเป็นชุดคำสั่งที่หากนำไปใช้กับเครื่องพิมพ์สามมิติ [7]

3. การทดลอง

บทความวิจัยนี้ประกอบด้วยผลการทดลอง 3 ส่วน ในการทดลองแรก ทำการพัฒนากระบวนการผลิตสามมิติให้สามารถสร้างไฟล์ STL และปรับปรุงพื้นผิวด้วยกระบวนการ Poisson Reconstruction โดยทำการเลือกใช้ Mashlab server ผ่านโปรแกรม Python

ในการทดลองที่สอง ทำการทดสอบผลกระทบที่เกิดจากมุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ โดยทำการยิงลำแสง 3 ซีก ประกอบด้วย วัตถุทรงสี่เหลี่ยม วัตถุทรงกระบอก และวัตถุทรงทรงแปดเหลี่ยม ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดจะได้รับการยิง 6 ครั้ง ในการยิงแต่ละครั้งคือทำการยิงบนผิว (base translation) ทุกครั้ง และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่ามุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ รวมถึงเปรียบเทียบค่าระหว่างวัตถุสามมิติและวัตถุจริง

ในการทดลองที่สามทำการเปรียบเทียบขนาดของวัตถุระหว่างวัตถุดิบแบบ วัตถุสามมิติและวัตถุที่ได้จากการพิมพ์ โดยหลังจากที่ได้วัตถุสามมิติที่มีค่าความผิดพลาดค่าต่ำหลังจากการทดสอบในการทดลองแรก นำวัตถุสามมิติไปพิมพ์บนเครื่องพิมพ์สามมิติ ทำการเปรียบเทียบขนาดของวัตถุ และหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างวัตถุดิบแบบกับวัตถุสามมิติ และวัตถุดิบแบบกับวัตถุที่ได้จากการพิมพ์

4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 พัฒนาการระบบผลิตแบบเบร็วที่มีตัวทักซิโตนวรีโพทอป

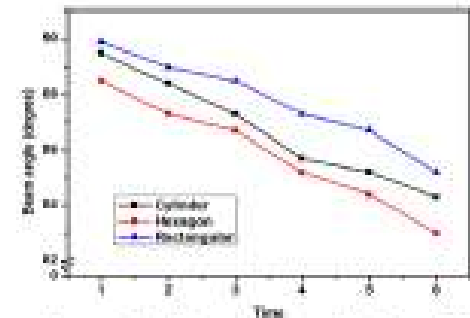
หลังจากทำการพัฒนากระบวนการผลิตแบบเบร็วที่มีตัวทักซิโตนวรีโพทอปว่า ซอฟต์แวร์โพทอปสามารถสร้างไฟล์ STL และปรับปรุงพื้นผิวด้วยกระบวนการ Poisson Reconstruction ซึ่งนำไปเป็นขั้นตอนของเครื่องพิมพ์สามมิติได้ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 5



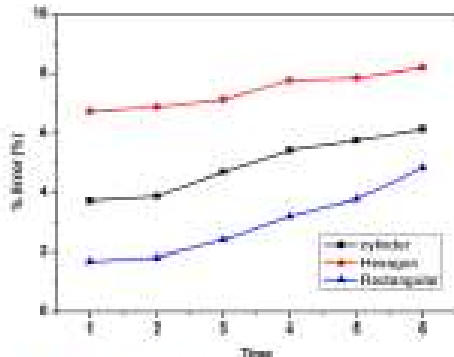
รูปที่ 5 วัตถุสามมิติได้จากการพิมพ์

4.2 ผลกระทบซึ่งเกิดจากมุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ

ในการยิงบนวัตถุสามมิติ มุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ (beam angle) เป็นตัวแปร ซึ่งควบคุมความถูกต้องของการยิงบนวัตถุจากการทดลองพบว่า เมื่อทำการยิงบนวัตถุชนิดเดียวกัน 6 ครั้ง ขนาดของมุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุ มีค่าที่ลดลงในแต่ละครั้งของการยิงบน ในการยิงบนครั้งแรก วัตถุรูปทรงสี่เหลี่ยม มีค่ามุมเฉลี่ยของเลเซอร์ยิงบนผิวที่วัด ประมาณ 89.9 องศา และวัตถุทรงทรงแปดเหลี่ยม มีค่ามุมเฉลี่ยของเลเซอร์ยิงบนผิวที่วัด ประมาณ 88.5 องศา ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมเลเซอร์กับจำนวนครั้งในการยิงบน



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของปริมาตรของวัตถุสามมิติกับจำนวนครั้งในการฝึกฝน

จากรูปที่ 7 การเรียนเทรนนิ่งในแต่ละครั้ง มีผลให้การหักมุมของเมชที่ศอกของหุ่นวิทยุมีค่าเบี่ยงเบนน้อย เมชที่ได้จึงมีค่าลดลง รวมไปถึงระหว่างกระบวนการฝึกฝน เมชวัตถุที่ความไม่เที่ยงแม่นยำ จากการเบี่ยงเบนแปลงของมุมเดเซียร์เป็นผลให้ขนาดของวัตถุสามมิติมีค่าความคลาดเคลื่อน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของขนาดของวัตถุมีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดของมุมระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุที่มีค่าลดลง และปัจจัยที่มีผลต่อความผิดพลาดของการฝึกฝน เกิดขึ้นจากหลายปัจจัย เช่น แฉกจากภายนอก รูปทรงของวัตถุที่นำมาฝึกฝน และในแต่ละครั้งของการฝึกฝนเทียบเกิดการเบี่ยงเบนแปลงของการหักมุมของเมชที่ศอกของหุ่นวิทยุ มีผลทำให้มุมที่ได้ในแต่ละครั้งไม่เท่ากัน ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมาล้วนทำให้ขนาดของวัตถุสามมิติที่ฝึกฝนในแต่ละครั้งมีปริมาตรที่น้อยต่างกัน ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด สามารถวิเคราะห์โดยทำการวัดขนาดวัตถุต้นแบบกับวัตถุสามมิติ จากความกว้าง ความยาว และความหนา ของวัตถุ และนำมาคำนวณหาปริมาตร ซึ่งทำให้ทราบว่าวัตถุทรงหกเหลี่ยมมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงที่สุด และวัตถุทรงสี่เหลี่ยมมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยที่สุดเท่ากับ 6.72% และ 1.69% ตามลำดับ

จากผลการทดลอง นำมาสรุปลงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สรุปผลเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและเชิงกับวัตถุ

ครั้งที่	ทรงกระบอก (%ค่า)	ทรงหกเหลี่ยม (%ค่า)	ทรงสี่เหลี่ยม (%ค่า)
1	89.5	88.5	89.9
2	88.4	87.3	89
3	87.3	86.7	88.5
4	85.7	85.2	87.3
5	85.2	84.4	86.7
6	84.3	83	85.2

ตารางที่ 2 สรุปผลเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของปริมาตรวัตถุสามมิติ

ครั้งที่	ทรงกระบอก (%)	ทรงหกเหลี่ยม (%)	ทรงสี่เหลี่ยม (%)
1	3.72	6.72	1.69
2	3.87	6.86	1.81
3	4.69	7.12	2.41
4	5.43	7.77	3.19
5	5.76	7.85	3.78
6	6.15	8.2	4.83

จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 พบว่ามีความไม่แน่นอนในเชิงเหมือนกัน ยกเว้นค่าเชิง การฝึกฝนครั้งที่ 1 ของวัตถุทรงสี่เหลี่ยม เมชระหว่างลำแสงเลเซอร์กับวัตถุมีค่าเท่ากับ 89.9 องศา ซึ่งมีค่ามากที่สุด ในตารางที่ 1 ไม่แปรผันเชิงความผิดพลาด เท่ากับ 1.69 % ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดในตารางที่ 2

4.3 เปรียบเทียบขนาดของวัตถุระหว่างวัตถุต้นแบบ วัตถุสามมิติและวัตถุที่ได้จากการพิมพ์

จากการทดลองที่อธิบาย หลังจากทำการวิเคราะห์ที่เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการฝึกฝนทำให้ได้วัตถุสามมิติที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อย จึงนำวัตถุสามมิติไปพิมพ์บนเครื่องพิมพ์สามมิติ และทำการเปรียบเทียบขนาดของวัตถุระหว่างวัตถุต้นแบบ วัตถุสามมิติ และวัตถุที่พิมพ์ จากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งวัตถุแรกในรูปที่ 8, 9 และ 10 ตามลำดับ



รูปที่ 8 วัตถุต้นแบบ



รูปที่ 9 วัตถุสามมิติ



รูปที่ 10 วัตถุที่พิมพ์จากเครื่องพิมพ์สามมิติ

จากการเปรียบเทียบขนาดของวัตถุทั้ง 3 ชนิด สรุป
ผลได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาตรของวัตถุต้นแบบ วัตถุสามมิติ และ
วัตถุพิมพ์ 3 มิติ ของวัตถุทั้ง 3 ชนิด

ชนิด	ปริมาตร วัตถุ ต้นแบบ (cm^3)	ปริมาตร วัตถุสาม มิติ (cm^3)	ปริมาตร วัตถุพิมพ์ 3 มิติ (cm^3)
ทรงกระบอก	335.76	323.27	323.27
ทรงกลมเอียง	371.95	346.96	331.02
ทรงสี่เหลี่ยม	414.24	407.25	393.59

เพื่อวัดระดับความผิดพลาดสามารถวิเคราะห์โดยทำ
การวัดขนาดวัตถุต้นแบบ วัตถุสามมิติ และวัตถุที่ได้จาก
การพิมพ์สามมิติ จากนั้นนำมาคำนวณ โดยให้ปริมาตร
ของวัตถุต้นแบบเป็นค่าจริง ซึ่งทำให้ทราบว่า วัตถุทรง
สี่เหลี่ยมมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมากที่สุดและ
วัตถุทรงกลมเอียงมีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบน้อย
ที่สุด โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่เปรียบเทียบ
ขนาดระหว่างวัตถุต้นแบบกับวัตถุสามมิติ เท่ากับ 1.69%
และ 6.72% ตามลำดับ และเปรียบเทียบขนาดระหว่าง
วัตถุต้นแบบกับวัตถุที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ มีค่าเท่ากับ
4.99% และ 11% ตามลำดับ

5. สรุปผลการทดลอง

ขอบต้นแบบวัตถุสามมิติทีมงานวิจัย สามารถสร้าง
ไฟล์ STL ซึ่งผ่านกระบวนการปรับรูปพื้นผิวด้วยวิธีการ
คำนวณแบบ Poisson Reconstruction บนระนาบ
ด้านผิวและเชื่อมกับวัตถุ ต้นฉบับที่เข้าใกล้ 90 องศา จึงจะ
ทำให้ได้วัตถุสามมิติที่มีขนาดใกล้เคียงกับวัตถุต้นแบบมาก
ที่สุด ซึ่งในกรณีที่มีระนาบด้านผิวเชื่อมกับวัตถุมีค่า
น้อย ทำให้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูง ถ้าหากการพิมพ์
วัตถุสามมิติควรใช้การวัตถุที่มีค่าปริมาตรใกล้เคียงกับวัตถุ
ต้นแบบมากที่สุด งานวิจัยนี้สามารถปรับปรุงความ
ละเอียดในการสังเกตภาพการทำการวิศวกรรมที่มีต้นแบบที่มี
ความซับซ้อนมากขึ้นได้

6. ข้อเสนอแนะปรัการ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนสถานที่ทำการวิจัย และ
ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ทวีศ ซึ่งได้คอยให้คำ
ชี้แนะและแนวทางการปฏิบัติในการทำการวิจัย รวมถึงนาย
ณัฐพงศ์ พิธีธำรงค์า ที่ได้ทำบริการภาพเทคนิค

7. บรรณานุกรม

[1] Layton T., Jacobs, E.L. & Griffin S.T. (2009).
3D laser scanner and profiler for application
to border security, IEEE Sensor Application
Symposium, New Orleans, LA, USA,
[2] Ariththaya B., Gunawan I. and Gunawan H.
(2008). Point Clouds Construction Algorithm
from a Home-made Laser Scanner, 8th Int.



- Conf. on Intelligent Systems Design and Applications, Kaohsiung, Taiwan,
- [3] Franca, J.G.D.M., Gazzito M.A. Ide A.N. and Saito J.H. (2005). A 3D Scanning System Based on Laser Triangulation and Variable Field of View.
 - [4] Akkou, S. Hafiane A. Rozenbaum, O. Lespessailles and E. Jennane R (2017). 3D Reconstruction of the proximal femur shape from few pairs of x-ray radiographs. Signal. Processing: Image Communication, 65-72
 - [5] Mohammed A. Isa, Ismail Lazoglu (2017). Design and analysis of a 3D laser scanner,
 - [6] M.Kazhdan, M.Bolitho and H.Hoppe. Poisson Surface Reconstruction, The fourth Eurographics symposium on Geometry Processing, 2006.SGP '06. Pages 61 –70.
 - [7] 3D Printing STL files: A step-by-step guide, 3D HUBS, Nederland (2018) URL : <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/3d-printing-stl-files-step-step-guide>, access on 10/06/2018

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล	สิริวิชญ์ แป้นชีวิต
วัน เดือน ปี เกิด	22 เมษายน 2536
ที่อยู่	421 ซอย ลาซาล ตำบล บางนา อำเภอบางนา จังหวัด กรุงเทพฯ 10260
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) อุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ใช้งานใน Hazardous Area 2.) ระบบ ESD และระบบ Fire Alarm 3.) การประยุกต์ใช้ Image Processing ในงานวิศวกรรม

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] สิริวิชญ์ แป้นชีวิต, ทวีพล ชื่อสัตย์, “การพัฒนาระบบสแกนวัตถุด้วยภาษาไพทอนสำหรับ
วิศวกรรมย้อนกลับ”,การประชุมวิชาการเครือข่ายเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32, หน้า 121