

การศึกษาและพัฒนาสแกนเนอร์ 3 มิติ

A STUDY AND DEVELOPMENT OF 3D SCANNER



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-324-121-3

เลขหมู่...
เลขทะเบียน... 45624
วัน, เดือน, ปี... 12 ก.พ. 2546

b. 012345 x
i. 12345678

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY AND DEVELOPMENT OF 3D SCANNER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FUFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
KING MONGKUTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2002
ISBN 974-324-121-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาและพัฒนา สแกนเนอร์ 3 มิติ
นักศึกษา	นายเอกภูมิ ถกลพัฒนกุล
รหัสนักศึกษา	42062023
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. สรรพสิทธิ์ ถิ่นนรินทร์

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อศึกษาเทคนิคการออกแบบ และสร้างเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน โดยใช้หลักการประมวลผลจากภาพถ่ายของชิ้นงานที่มีเลเซอร์เป็นจุดอ้างอิงในการหาตำแหน่งพื้นผิวของชิ้นงานตามแต่ละระนาบหน้าตัดขวาง แล้วทำการสร้างสมการเส้นขอบของวัตถุด้วย Close B-Spline และสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ ซึ่งจากการทดลองใช้งานจริงพบว่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง -1.7 ถึง 1.9 mm. โดยอุปกรณ์ที่ใช้มีต้นทุนต่ำ ในส่วนของตัวเครื่องสแกนเนอร์ และกล้องดิจิทัลขนาดความละเอียด 512 X 582 พิกเซล ใช้งบประมาณไม่เกิน 7,000 บาท

Thesis Title A study and development of 3D scanner
Student Mr. Ekkaphoom Thakolpattanakul
Student ID. 42062023
Degree Master of Engineering
Programme Mechanical Engineering
Year 2002
Thesis Advisor Asst. Prof. Dr. Sunpasit Limnararat

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to study a technique for design and development of 3D scanner which is the equipment for measuring size and shape of workpiece by, firstly, using concept of graphic processing of laser reference point on each cross section surface of the workpiece, secondly, using close B-spline for edge generation and , finally, creating the 3D modeling in computer graphics. The measured error of this equipment which is the low cost prototype about 7,000 baht for mechanics and 512 X 582 pixel digital camera, is in range -1.7 to 1.9 mm.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ ผศ. ดร. สรรพสิทธิ์ ลิ้มนรัตน์

อาจารย์ พลชัย โชติปราชญ์กุล และอาจารย์ อุดม จันทร์จรัสสุข ที่กรุณาให้คำแนะนำ การเลือกหัวข้อวิทยานิพนธ์ แนวทางการดำเนินการในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณภาค วิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่อำนวยความสะดวกในเรื่องสถานที่และอุปกรณ์ต่างๆ ประโยชน์อันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่าน

เอกภูมิ ถกลพัฒน์กุล



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ข้อจำกัดของการศึกษา	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD)	3
2.2 คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM)	5
2.3 วิศวกรรมแปลงกลับ (Reverse Engineering)	5
2.3.1 กระบวนการวัดขนาดวัตถุ	6
2.3.2 การจัดข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องมือวัด	6
2.3.3 การสร้างวัตถุ 3 มิติ (3 D Modeling)	6
2.3.4 การสร้างโปรแกรมหรือคำสั่งที่สามารถสั่งงานเครื่องจักรอัตโนมัติ	7
2.4 ลักษณะของเครื่องมือวัดแบบไม่สัมผัสด้วยเลเซอร์	8
2.4.1 Laser Point Type	8
2.4.2 Laser Beam Type	9
2.5 คณิตศาสตร์ในการสร้างโครงสร้าง 3 มิติ	11
2.5.1 ระบบพิกัด 2 มิติ	11
2.5.1.1 2 D Scaling Transformation	12
2.5.1.2 2 D Translation Transformation	13
2.5.1.3 2 D Rotation Transformation	13

2.5.2	ระบบพิกัด 3 มิติ	14
2.5.2.1	3 D Scaling Transformation	14
2.5.2.2	3 D Translation Transformation	14
2.5.2.3	3 D Rotation Transformation	14
2.5.3	View Projection	15
2.6	แบบจำลองของวัตถุ	16
2.6.1	แบบจำลองโครงข่าย	16
2.6.2	แบบจำลองพื้นผิว	17
2.6.3	แบบจำลองโซลิด	18
2.7	Hidden face Removal	18
2.7.1	การหาเวกเตอร์ตั้งฉากและพุ่งออกจากพื้นผิว	20
2.7.2	การหาพื้นผิวที่จะแสดงในคอมพิวเตอร์กราฟฟิก	20
2.8	แบบจำลองวัตถุแบบ STL	21
2.9	การหาสมการเส้นขอบของวัตถุ	25
2.9.1	Open B-Spline	25
2.9.2	Open B-Spline	25
บทที่ 3 การออกแบบและการพัฒนา		
3.1	แนวคิดและหลักการทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ	28
3.1.1	แบ่งวัตถุออกเป็นชั้นตามหน้าตัดขวาง	28
3.1.2	การหาคำแหน่งขอบของวัตถุ	29
3.1.3	การหาคำแหน่งขอบของวัตถุโดยรอบ	29
3.1.4	การหาสมการทางคณิตศาสตร์ของขอบของวัตถุ	30
3.1.5	การสร้างวัตถุ 3 มิติ บนคอมพิวเตอร์	31
3.2	การออกแบบสแกนเนอร์ 3 มิติ	34
3.2.1	การออกแบบทางโครงสร้างของเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ	34
3.2.1.1	ส่วนฐานวางวัตถุ	35
3.2.1.2	ส่วนชุดวัดตำแหน่งขอบของวัตถุ	35
3.2.1.3	ส่วนเลื่อนชุดวัดตำแหน่งขอบของวัตถุขึ้น – ลง	36
3.2.1.4	ส่วนแสดงตำแหน่งอ้างอิง	37
3.2.2	การออกแบบส่วนโปรแกรม	38

3.2.2.1	ส่วนควบคุมการทำงานของชุดขับเคลื่อน	38
3.2.2.2	ส่วนวัดตำแหน่งขอบของวัตถุและแปลงเป็นพิกัด 2 มิติ	38
3.2.2.3	ส่วนสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ และแสดงผลบนคอมพิวเตอร์กราฟฟิก	38
3.2.2.4	ส่วนสร้างแบบจำลองวัตถุแบบ STL	38
3.4	เทคนิคในการหาตำแหน่งของเลเซอร์	41
3.5	เทคนิคในการแปลงตำแหน่งพิกเซลเป็นระยะทาง	43
บทที่ 4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	
4.1	ผลการทดลองการออกแบบโครงสร้างสแกนเนอร์ 3 มิติ	44
4.2	ผลการทดลองการออกแบบวิเคราะห์โปรแกรม	45
4.4.1	การป้อนข้อมูล	46
4.4.2	การแสดงผลในหน้าต่างที่ 1	47
4.4.3	การแสดงผลในหน้าต่างที่ 2	47
4.3	ผลการแสดงตำแหน่งพิกเซลเป็นระยะทาง	48
4.4	การทดลองแปลงตำแหน่งขอบวัตถุเป็นจุดในพิกัด 2 มิติ	54
4.5	การทดลองวัดขนาดและสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ	56
4.6	การทดลองส่งข้อมูลในรูปแบบ STL	60
บทที่ 5	ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1	วัตถุที่นำมาใช้ทดลอง	62
5.1.1	ความแตกต่างของสี	62
5.1.2	ความเอียงออกของวัตถุ	62
5.2	โครงสร้างของเครื่องทดสอบ	62
5.2.1	ชุดเลเซอร์	62
5.2.2	กล้องดิจิทัล	63
5.2.3	โครงสร้างเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ	63
5.3	โปรแกรม	63
5.4	เทคนิคการหาความสูงชิ้นงาน	63

บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก ก. แบบของสแกนเนอร์ 3 มิติ	65
ภาคผนวก ข. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์	66
ประวัติผู้เขียน	75



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตำแหน่งพิกเซลและระยะของวัตถุจากจุดศูนย์กลางของฐานวางวัตถุ	49
4.2 ผลการทดลองการหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งพิกเซลและระยะทางของขอบวัตถุ	50
4.3 การแปลงตำแหน่งขอบของวัตถุเป็นจุดในพิกัด 2 มิติ	54



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การออกแบบทางวิศวกรรมโดยใช้โปรแกรม Unigraphic V17	4
2.2 การคำนวณชิ้นงานที่ออกแบบโดยใช้ FEM	4
2.3 การแปลงตำแหน่งขอบของวัตถุเป็นวัตถุ 3 มิติ (3D Modeling)	7
2.4 ลักษณะของการวัดแบบ Laser Point type	8
2.5 ตัวอย่างเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ แบบ Laser Point Type	9
2.6 ลักษณะการวัดแบบ Laser Beam Type	9
2.7 ตัวอย่างเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ แบบ Laser Beam Type	10
2.8 การแสดงจุดในพิกัด 2 มิติ	11
2.9 ลักษณะของ View Projection	16
2.10 แบบจำลองวัตถุแบบ โครงข่าย	16
2.11 แบบจำลองวัตถุแบบพื้นผิว	17
2.12 แบบจำลองวัตถุแบบ โซลิด	18
2.13 ลักษณะของ Hidden Face Removal	19
2.14 เวกเตอร์ตั้งฉากและพุ่งออกจากพื้นผิว และเวกเตอร์ทิศทางการมองวัตถุ	19
2.15 การหาเวกเตอร์ตั้งฉากและพุ่งออกจากพื้นผิว	20
2.16 การเปรียบเทียบเวกเตอร์ตั้งฉากและพุ่งออกจากพื้นผิวกับเวกเตอร์การมองวัตถุ	21
2.17 ลักษณะของแบบจำลองวัตถุแบบ STL	25
2.18 ลักษณะของ Open B-Spline	26
2.19 ลักษณะของ Close B-Spline	27
3.1 การแบ่งระนาบของวัตถุ	28
3.2 การหาค่าตำแหน่งขอบของวัตถุ	29
3.3 การตำแหน่งขอบของวัตถุโดยรอบ	30
3.4 การหาสมการขอบของวัตถุ	31
3.5 การสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ	32
3.6 Flow Chart การทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ	33
3.7 ลักษณะของสแกนเนอร์ 3 มิติ	34
3.8 ส่วนฐานวางวัตถุ	35
3.9 ส่วนวัดตำแหน่งขอบของวัตถุ	36
3.10 ส่วนเลื่อนชุดวัดตำแหน่งขอบวัตถุขึ้น-ลง	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11	Flow Chart การทำงานของโปรแกรมควบคุมการของสแกนเนอร์ 3 มิติ	40
3.12	ลักษณะตำแหน่งของเลเซอร์บนจอยคอมพิวเตอร์	41
3.13	การหาตำแหน่งจุดจากกลุ่มจุดของเลเซอร์	42
3.14	การแบ่งช่วงในการค้นหากลุ่มจุดเลเซอร์	43
4.1	โครงสร้างเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ	44
4.2	ส่วนชุดวัดตำแหน่งวัตถุและชุดขับเคลื่อน	45
4.3	โปรแกรมหน้าต่างที่ 1	46
4.4	การแสดงผลในรูปแบบโครงข่าย	47
4.5	การแสดงผลของวัตถุแบบพื้นผิว	48
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งพิกเซลและระยะทางของขอบวัตถุ	50
4.7	การวัดขนาดตัวอย่างทรงกระบอกและแปลงเป็นจุดในพิกัด 2 มิติ ของทุกระนาบ	54
4.8	การวัดขนาดตัวอย่างกล่องสี่เหลี่ยมและแปลงเป็นจุดในพิกัด 2 มิติ ของทุกระนาบ	55
4.9	เปรียบเทียบการวัดขนาดของกล่องสี่เหลี่ยม	56
4.10	เปรียบเทียบการวัดขนาดของทรงกระบอก	57
4.11	เปรียบเทียบการวัดขนาดของกระป๋องแป้งขนาดเล็ก	57
4.12	เปรียบเทียบการวัดขนาดของตุ๊กตาหมี	58
4.13	เปรียบเทียบการวัดขนาดของตุ๊กตาสุนัข	58
4.14	เปรียบเทียบการวัดขนาดของกระป๋องแป้งขนาดใหญ่	59
4.15	การเปิดข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม MCS. Nastran Version 4.6	60
4.16	การเปิดข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม Rhinoceros 1.1	61
4.17	การเปิดข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม Unigraphic Version17.0	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิตได้ รับการปรับปรุงและพัฒนาจนมีความสำคัญมากในระบบอุตสาหกรรม เนื่องจากการผลิตทาง อุตสาหกรรมในปัจจุบัน มีการแข่งขันสูง และจำเป็นต้องมีการออกแบบและการผลิตที่สามารถ ตอบสนองต่อความต้องการทางการตลาดได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้น ได้มีกระบวนการหนึ่งที่เรียกว่า วิศวกรรมแปลงกลับ (Reverse Engineering) เพื่อช่วยให้การออกแบบพัฒนาและกระบวนการ ผลิตมีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้นกระบวนการวิศวกรรมแปลงกลับจะใช้หลักการ ในการสร้างและใช้งานทางด้าน 3 มิติ เป็นพื้นฐานเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตและออกแบบ ดัง นั้นเครื่องมือที่ใช้งานทาง 3 มิติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการวิศวกรรมแปลงกลับจึงได้รับความ สนใจ และมีการปรับปรุงพัฒนา เช่น สแกนเนอร์ 3 มิติ (3D Scanner) เครื่องสร้างต้น แบบอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototype) เป็นต้น

สแกนเนอร์ 3 มิติ เป็นเครื่องมือวัดประเภทไม่สัมผัสกับวัตถุที่ทำการวัด ทำให้ สามารถวัดวัตถุที่อ่อนนุ่ม หรือมีความลาดเอียงสูงได้ ดังนั้นจึงได้รับความสนใจและได้รับการ พัฒนา ให้สามารถทำงานได้ในขอบเขตที่กว้างขึ้น และมีการส่งต่อข้อมูลให้โปรแกรมออกแบบ ทางวิศวกรรม เพื่อให้สามารถใช้งานในอุตสาหกรรมได้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน ราคาของ สแกนเนอร์ 3 มิติ ค่อนข้างสูง ดังนั้นการศึกษาด้านการออกแบบและพัฒนาสแกนเนอร์ 3 มิติ โดยอาศัยหลักการเบื้องต้นด้านการประมวลผลทางกราฟฟิก โดยใช้กล้องดิจิทัลจึงเป็น ประเด็นที่เหมาะสมต่อการศึกษานี้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาหลักการและขั้นตอนการทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ
- 1.2.2 ศึกษาการออกแบบและพัฒนาสแกนเนอร์ 3 มิติ
- 1.2.3 ทดลองการทำงานของสแกนเนอร์ที่พัฒนาขึ้น โดยทำการทดลองหาค่าความ ผิดพลาดที่เกิดขึ้น

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในวิทยานิพนธ์นี้ทำการออกแบบและพัฒนา สแกนเนอร์ 3 มิติ เพื่อให้สามารถทำการวัดและและสร้างวัตถุ 3 มิติ บนคอมพิวเตอร์ขนาด Pentium 450 Mhz ได้ โดยมุ่งเน้นที่โครงสร้างของวัตถุขนาดไม่เกิน 15x15x20 cm. ที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก เช่น ขวด กระจกป้อง ซึ่งรายละเอียดและขนาดของวัตถุที่ได้มีความละเอียดไม่มากนัก เนื่องจากเลเซอร์และกล้องดิจิทัลที่ใช้มีความละเอียดและความถูกต้องน้อย ส่วนโปรแกรมที่ทำการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษา Visual Basic 6 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ จะต้องสามารถส่งข้อมูลของวัตถุที่ทำการวัด ออกไปในรูปแบบของ STL File เพื่อให้สามารถใช้งานกับโปรแกรมออกแบบทางวิศวกรรมได้

1.4 ข้อจำกัดของการศึกษา

- 1.4.1 วัตถุที่นำมาใช้ในการทดลองจะต้องเป็นวัตถุที่ไม่ดูดกลืนแสงสีแดงได้ดี เช่น วัตถุสีดำ และไม่ใช้วัตถุใส
- 1.4.2 วัตถุที่นำมาใช้จะต้องไม่มีรูทะลุ ซึ่งทำให้หน้าตัดขวางของวัตถุ มีเส้นรอบวงมากกว่า 1 เส้น
- 1.4.3 ความลาดเอียงของวัตถุจะต้องมีความลาดเอียงออกจากแนวตั้งไม่มากนัก เนื่องจากกล้องที่ใช้จับตำแหน่งของเลเซอร์จะไม่สามารถจับตำแหน่งของเลเซอร์ได้
- 1.4.4 ความสูงของวัตถุที่ได้จะมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วงของช่วงของการเลื่อนชุดวัด

บทที่ 2

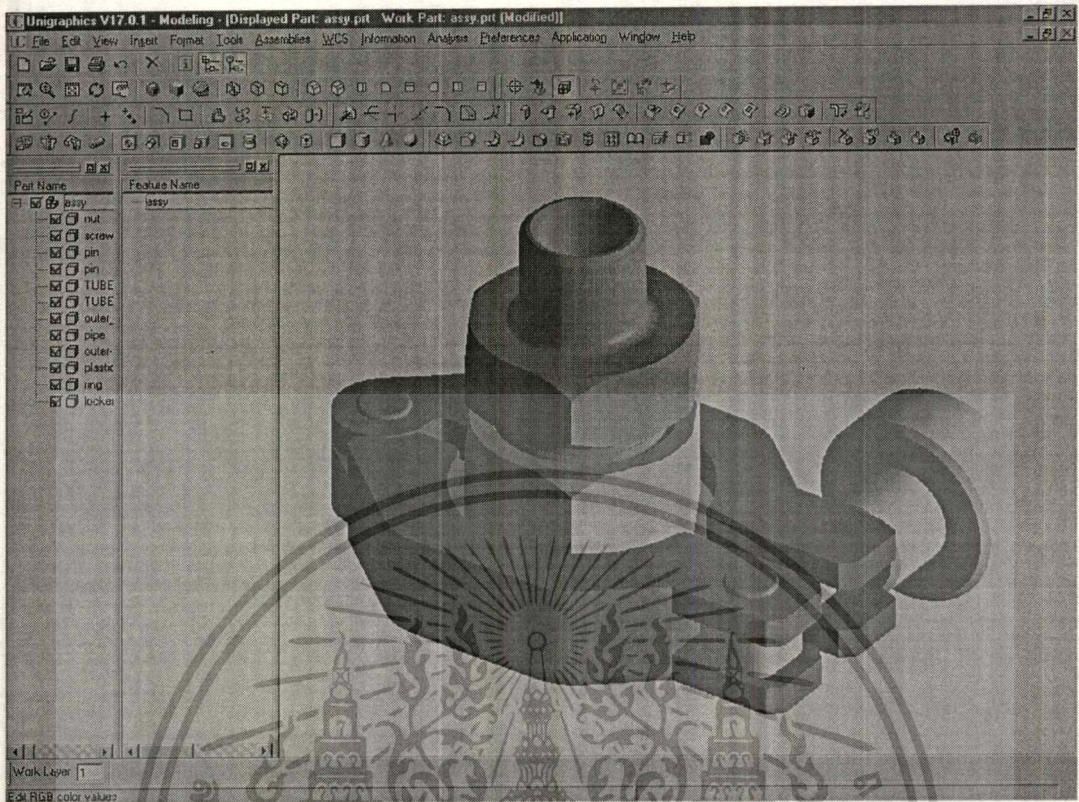
ทฤษฎี

คอมพิวเตอร์ได้รับการประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อใช้ช่วยในการคำนวณต่างๆ ซึ่งในยุคแรกเป็นลักษณะของเครื่องช่วยคำนวณ โดยอาศัยการประมวลผลโดยใช้กลไกฟันเฟือง เพื่อใช้ในการคำนวณง่ายๆ ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาทางไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ก็ได้รับการพัฒนาจนสามารถประมวลผลที่ซับซ้อนได้ และได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ช่วยงานในด้านต่างๆ รวมทั้งในการออกแบบและกระบวนการผลิต ซึ่งเรียกว่า คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและการผลิต (Computer Aided Design & Computer Aided Manufacturing : CAD/CAM) เพื่อให้กระบวนการออกแบบและการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น

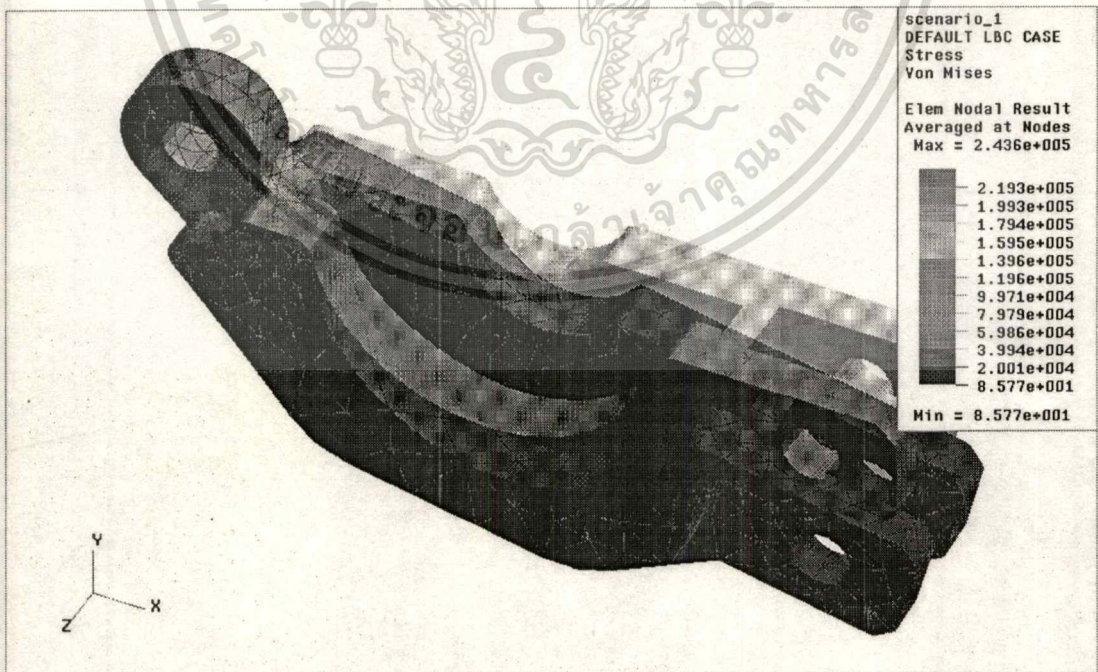
2.1 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD)

การออกแบบในกระบวนการทางอุตสาหกรรมได้มีการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบอย่างกว้างขวาง โดยเริ่มจากการเขียนแบบทางวิศวกรรม 2 มิติ และได้รับการพัฒนาจนสามารถเขียนแบบทางวิศวกรรมที่เป็น 3 มิติ สามารถทำการประกอบชิ้นงานหลายๆชิ้นเพื่อทำการตรวจสอบในการออกแบบ และสามารถทำแบบทางวิศวกรรมที่เป็น 2 มิติเพื่อใช้ในการผลิตได้ ดังรูปที่ 2.1 การพัฒนาคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบยังประกอบด้วย การออกแบบโดยใช้การคำนวณทางวิศวกรรม ที่เรียกว่า คอมพิวเตอร์ช่วยทางวิศวกรรม (Computer Aided Engineering : CAE) ซึ่งได้รวมการคำนวณทางวิศวกรรมโดยใช้ การคำนวณแบบส่วนจำกัดย่อย (Finite Element Model : FEM) สำหรับหาความแข็งแรงของชิ้นส่วนต่างๆ หรือการถ่ายเทความร้อน เพื่อช่วยในการออกแบบให้เหมาะสม ประหยัด สามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย ดังรูปที่ 2.2

การออกแบบทางวิศวกรรมในปัจจุบันจึง สามารถทำการออกแบบทางรูปร่าง และสามารถคำนวณเพื่อหาความเหมาะสม ได้พร้อมกันและสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบ หรือ โครงสร้างต่างๆได้



รูปที่ 2.1 การออกแบบทางวิศวกรรมโดยใช้โปรแกรม Unigraphic V17



รูปที่ 2.2 การคำนวณชิ้นงานที่ออกแบบโดยใช้ FEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM)

อุตสาหกรรมการผลิตได้มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการผลิตตั้งแต่ต้นปี 1920 โดยได้รับการพัฒนาจากการใช้เครื่องจักรที่ควบคุมการทำงานด้วยแถบกระดาษเพื่อควบคุมจังหวะการทำงานของเครื่อง และได้มีการพัฒนาจนสามารถนำคอมพิวเตอร์มาใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร ที่เรียกว่า ระบบควบคุมเชิงตัวเลขด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer Numerical Control : CNC) โดยถูกนำมาใช้แทนแรงงานคน เนื่องจากสามารถทำงานได้รวดเร็วและแม่นยำ

การใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรจะมีความยืดหยุ่นน้อย เนื่องจากเมื่อต้องการทำการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตจะต้องเข้าไปแก้ไขโปรแกรมที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร ประกอบกับมีการพัฒนาการออกแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนา โดยการส่งข้อมูลที่ได้จากการออกแบบไปยังคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร ที่เรียกว่า คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided Manufacturing : CAM) ซึ่งเป็นการแปลงข้อมูลที่ได้จากการออกแบบไปยังคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร เช่น แปลงเป็น G Code เพื่อให้สามารถทำงานได้ยืดหยุ่นและประหยัดเวลา มากขึ้น

2.3 วิศวกรรมแปลงกลับ (Reverse Engineering)

เทคโนโลยีการประยุกต์ใช้งาน CAD/CAM ได้มีการพัฒนามาตั้งแต่ปี 1990 โดยในปัจจุบันได้มีความสำคัญเป็นอย่างมากในกระบวนการผลิตและการออกแบบ ซึ่งในโปรแกรม CAD/CAM ต่างๆ จะต้องอาศัยการแปลงข้อมูลจากวัตถุ 3 มิติ (3D Modeling) เป็นข้อมูลที่สามารถตั้งงานเครื่องจักรอัตโนมัติได้ ดังนั้นในกระบวนการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์กระบวนการผลิต จึงต้องอาศัยขั้นตอนในการสร้างวัตถุ 3 มิติ บนคอมพิวเตอร์เสมอไป

แต่อย่างไรก็ตามในสถานการณ์ปัจจุบันที่มีการแข่งขันทางการตลาดอย่างรุนแรง ประกอบการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว กระบวนการในการออกแบบพัฒนาและกระบวนการผลิตมุ่งเน้นที่จะตอบสนองความต้องการอย่างรวดเร็วและทันต่อการพัฒนาของกลุ่มแข่ง ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดการพัฒนาที่ทำการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์เพื่อหาจุดเด่นและจุดด้อย การสร้างต้นแบบขึ้นเพื่อทดสอบ รวมถึงกระบวนการผลิตที่ไม่ต้องอาศัย ข้อมูลหรือแบบทางวิศวกรรม ทำให้เกิดกระบวนการวิศวกรรมแปลงกลับ (Reverse Engineering) เกิดขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำการคัดลอกลักษณะรูปร่างและขนาดของวัตถุต้นแบบเพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ การพัฒนา หรือส่งให้กระบวนการผลิตต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการวิศวกรรมย้อนกลับมีจุดประสงค์เพื่อมุ่งเน้นการลดขั้นตอนในการวัดขนาดของวัตถุ การสร้างแบบจำลองวัตถุและการส่งข้อมูลให้กระบวนการผลิต โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้ดังนี้

2.3.1 กระบวนการวัดขนาดของวัตถุ

กระบวนการวัดขนาดของวัตถุในวิศวกรรมแปลงกลับ เป็นการวัดขนาดของวัตถุโดยใช้เครื่องมือที่สามารถอ่านค่าตำแหน่งของพื้นผิวของวัตถุโดยรอบ ซึ่งจะได้ข้อมูลของพื้นผิวของวัตถุ แล้วแต่ประเภทของเครื่องมือวัดที่นำมาใช้ เช่น ค่าตำแหน่งพิกเซลของจุดเลเซอร์ที่ได้จากการจับภาพจุดเลเซอร์ที่ตกกระทบวัตถุ โดยใช้กล้องดิจิทัล

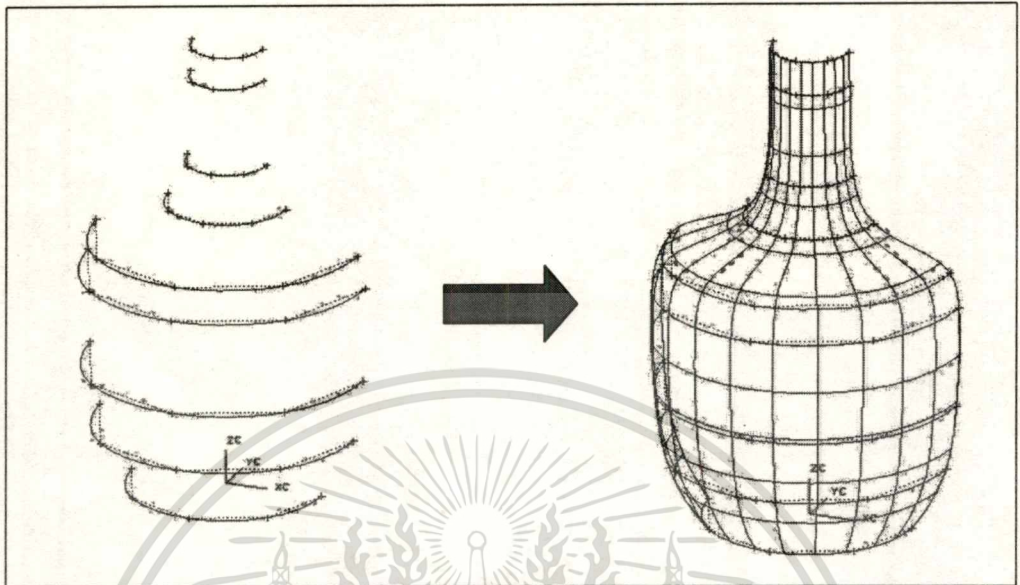
2.3.2 การจัดการข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องมือวัด

การจัดการข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัด คือ การแปลงข้อมูลของวัตถุที่ได้จากเครื่องมือวัด ให้เป็นข้อมูลที่แสดงถึงตำแหน่งส่วนต่างๆ ของวัตถุ เช่น การแปลงตำแหน่งพิกเซลของจุดเลเซอร์ที่ได้จากการจับภาพจุดเลเซอร์ที่ตกกระทบวัตถุ เป็นตำแหน่งขอบของวัตถุ ในระบบพิกัดฉาก (Cartesian Coordinate)

2.3.3 การสร้างวัตถุ 3 มิติ (3D Modeling)

ข้อมูลที่ได้จาก การจัดการข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัด จะเป็นจุดที่แสดงตำแหน่งขอบของวัตถุ โดยจะเป็นข้อมูลที่มีความละเอียดน้อย และอาจจะมีค่าความผิดพลาดที่ได้จากการใช้เครื่องมือวัดรวมอยู่ใน ค่าตำแหน่งขอบของวัตถุที่ได้ การสร้างวัตถุ 3 มิติ จึงเป็นการนำข้อมูลขอบของวัตถุ มาแปลงเป็นแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ บนเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถลดทอนค่าความผิดพลาดที่ได้จากเครื่องมือวัด และสามารถแสดงให้ผู้ปฏิบัติงานตรวจสอบได้ ดังรูปที่ 2.3

การสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติยังเป็นการเตรียมข้อมูลที่ได้เพื่อส่งต่อให้กระบวนการอื่น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ การออกแบบพัฒนา หรือส่งต่อให้กระบวนการผลิตต่อไป ซึ่งสามารถนำข้อมูลของแบบจำลองวัตถุ 3 มิติไปแปลงเป็นข้อมูลให้กับโปรแกรมทางวิศวกรรมอื่นๆ ได้



รูปที่ 2.3 การแปลงตำแหน่งขอบของวัตถุเป็นวัตถุ 3 มิติ (3D Modeling)

2.3.4 การสร้างโปรแกรมหรือคำสั่งที่สามารถสั่งงานเครื่องจักรอัตโนมัติ

การควบคุมหรือสั่งงานเครื่องจักรอัตโนมัติ โดยใช้ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของวัตถุ 3 มิติ ที่ได้รับเพื่อให้เครื่องจักรทำการผลิตชิ้นส่วน สามารถทำได้โดยการแปลงวัตถุหรือแบบจำลอง 3 มิติ (3D Modeling) ให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรมหรือคำสั่งที่สามารถสั่งงานหรือควบคุมเครื่องจักรอัตโนมัติได้ เช่น การแปลงเป็น G Code โดยใช้โปรแกรม CAD/CAM ต่างๆ

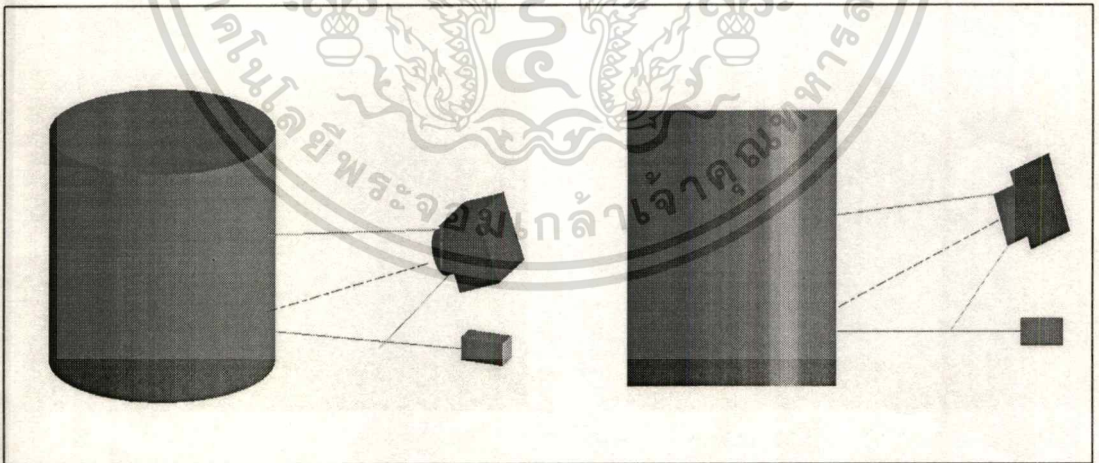
ในกระบวนการวัดขนาดของวัตถุโดยทั่วไปจะใช้เครื่องมือวัดประเภทสัมผัส วัตถุ (Contact Measuring Machines : CMM) ซึ่งจะมีข้อจำกัดในการวัดขนาดของวัตถุที่มีความลาดเอียงมาก และ วัตถุที่มีความยืดหยุ่น ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเครื่องมือวัดประเภทไม่สัมผัส (Non Contact Measuring Machines) เช่น เครื่องวัดระยะโดยใช้เลเซอร์ โดยในปัจจุบันได้มีการพัฒนาและนำไปใช้ประโยชน์ในงานต่างๆมากมาย ทั้งในงานอุตสาหกรรม งานทางการแพทย์ และงานภาพยนตร์ เป็นต้น สแกนเนอร์ 3 มิติ เป็นเครื่องมือวัดที่ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาให้สามารถใช้งานได้ในขอบเขตที่กว้างมากขึ้น เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่สามารถคัดลอกวัตถุต้นแบบ และแสดงออกมาเป็นแบบจำลองวัตถุ 3 มิติที่เหมือนจริงทั้งรูปร่างและขนาด

2.4 ลักษณะของเครื่องมือวัดแบบไม่สัมผัสด้วยเลเซอร์

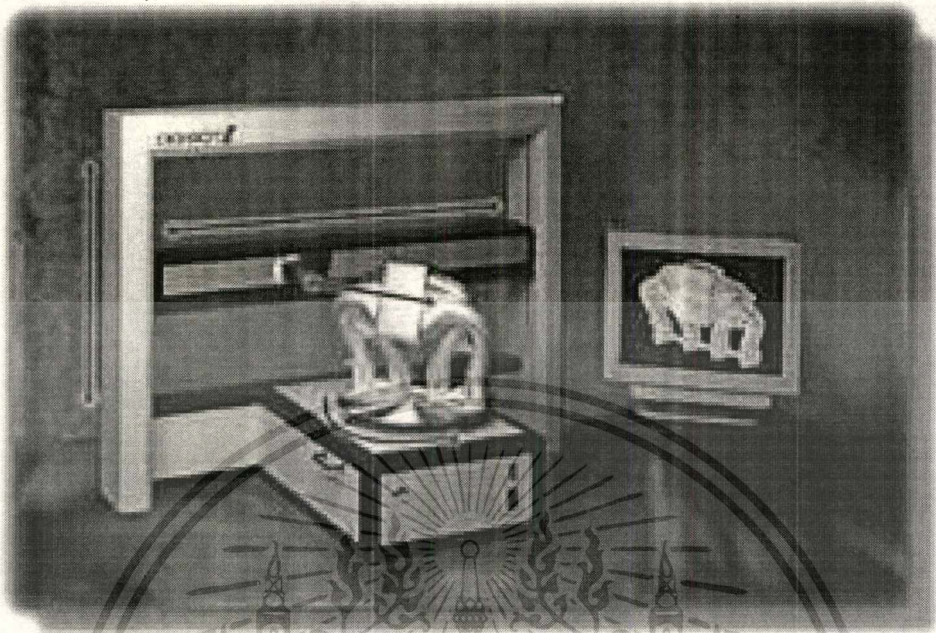
เครื่องมือวัดประเภทไม่สัมผัส เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดขนาดของวัตถุโดยไม่สัมผัสกับวัตถุที่ทำการวัด ซึ่งได้รับการพัฒนาต่อเนื่องมาจากเครื่องมือวัดประเภทสัมผัส (Contact Measuring Machines : CMM) โดยในส่วนของโครงสร้างของเครื่องยังคงคล้ายกับเครื่องมือวัดประเภทสัมผัส แต่ในส่วนของชุดสัมผัสวัตถุเพื่อวัดขนาดหรือตำแหน่งได้เปลี่ยนเป็นชุดวัดขนาดหรือตำแหน่งแบบไม่สัมผัส ชุดวัดขนาดหรือตำแหน่งแบบไม่สัมผัสจะประกอบด้วย เลเซอร์ที่ส่งออกไปที่วัตถุ และอุปกรณ์ค้นหาตำแหน่งของเลเซอร์ที่ตกกระทบกับวัตถุ ดังนั้นการแบ่งประเภทของเครื่องมือวัดประเภทนี้สามารถแบ่งได้ตามลักษณะของเลเซอร์

2.4.1 Laser Point Type

ชุดวัดขนาดหรือตำแหน่งประเภทนี้จะใช้เลเซอร์ที่เป็นแบบจุดในการวัดขนาดหรือตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งจะติดตั้งให้ทำมุมเอียงกับกล้องดิจิทัล เพื่อค้นหาตำแหน่งของเลเซอร์ ค่าตำแหน่งของวัตถุจะ ได้จากการคำนวณหาตำแหน่งของเลเซอร์ในภาพที่ได้จากกล้องดิจิทัล ดังรูปที่ 2.4 และ 2.5



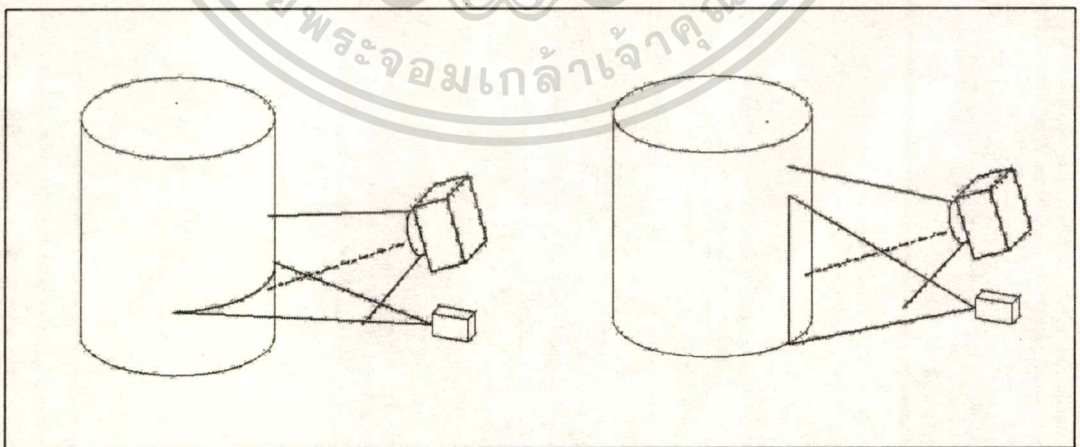
รูปที่ 2.4 ลักษณะของการวัดแบบ Laser Point type



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ แบบ Laser Point Type

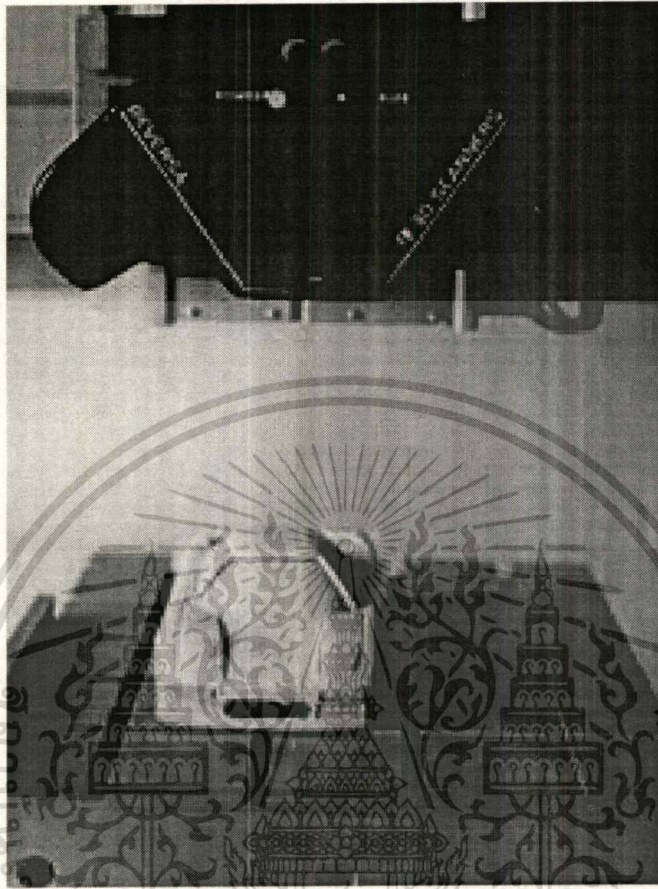
2.4.2 Laser Beam Type

การวัดขนาดหรือตำแหน่งโดยใช้ Laser Beam ซึ่งจะติดตั้งกล้องทำมุมเอียงกับแนวของ Laser Beam ซึ่งในการติดตั้ง Laser Beam สามารถติดตั้งให้แนวของเลเซอร์ขนานกับหน้าตัดขวางหรือตามแนวตั้งของวัตถุก็ได้ ดังรูปที่ 2.6 และ 2.7



รูปที่ 2.6 ลักษณะการวัดแบบ Laser Beam Type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



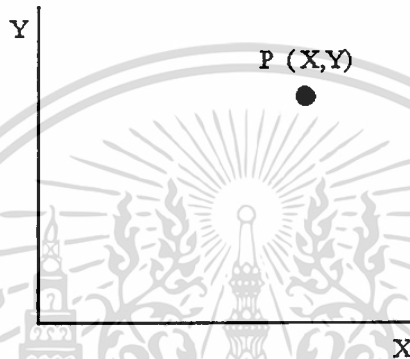
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ แบบ Laser Beam Type

โดยทั่วไปสแกนเนอร์ 3 มิติที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันจะมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ประมาณ 0.5 mm. สำหรับเครื่องแบบทั่วไป และสำหรับเครื่องสแกนเนอร์ในระดับ High-End จะมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ประมาณ 0.25 mm. ในการวัดและสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ บนคอมพิวเตอร์กราฟฟิก

2.5 คณิตศาสตร์ในการสร้างโครงสร้าง 3 มิติ

2.5.1 ระบบพิกัด 2 มิติ

การแสดงตำแหน่งต่าง ๆ ในระบบ 2 มิติ ที่แสดงในระบบพิกัดฉาก (Cartesian Coordinate) ซึ่งจะแทนค่าตำแหน่งด้วยระยะที่วัดจากจุดอ้างอิงไปตามแกน X และ Y โดยจะแสดงในลักษณะของคู่ลำดับ (X,Y) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การแสดงจุดในพิกัด 2 มิติ

การแสดงข้อมูลต่าง ๆ ในคอมพิวเตอร์กราฟฟิก ซึ่งจะต้องมีการแสดงวัตถุในหลายรูปแบบ ซึ่งจะต้องเกี่ยวข้องกับการคูณเมตริกซ์ การแสดงข้อมูลเหล่านี้จะมีปัญหาในเรื่องขนาดของเมตริกซ์ ดังนั้นจึงมีการใช้ระบบพิกัด Homogeneous Coordinate ซึ่งสามารถแสดงจุดได้ดังนี้

$$P(X,Y) = P[X \ Y \ 1] \quad (2.1)$$

การแสดงวัตถุต่าง ๆ ในระบบ Homogenous Coordinate 2 มิติ สามารถแสดงให้อยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้ โดยมีขนาดของเมตริกซ์ คือ $(n \times 3)$ เมื่อ n คือ จำนวนจุดของวัตถุ

$$[P] = \begin{bmatrix} X_1 & Y_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & 1 \\ X_3 & Y_3 & 1 \\ \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet \\ X_n & Y_n & 1 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

2.5.1.1 2D Scaling Transformation

2D Scaling Transformation คือ การย่อและขยายของวัตถุ เพื่อให้วัตถุมีขนาดเพิ่มขึ้นหรือลดลงในทิศทางแกน X และ Y โดยอ้างอิงที่จุด (0,0) ด้วยการคูณเมตริกซ์ของวัตถุด้วย Scaling Matrix ซึ่งจะแทนด้วย S_x ในทิศทางแกน X และ S_y ในทิศทางแกน Y

$$\begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

การย่อขนาดวัตถุค่าของ Scaling Matrix จะต้องมีค่า $0 < S_x, S_y < 1$

การขยายขนาดวัตถุค่าของ Scaling Matrix จะต้องมีค่า $S_x, S_y > 1$

ดังนั้น 2D Scaling ของจุด $P(x, y)$ เป็น $P^*(x^*, y^*)$ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$P^* [X^* \ Y^* \ 1] = [X \ Y \ 1] \cdot \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

2.5.1.2 2D Translation Transformation

2D Translation Transformation คือ การเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุไปตามทิศทางที่กำหนดในแกน X และ Y ซึ่งสามารถแสดง Translation Matrix ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

ดังนั้น 2D Translation ของจุด P (X,Y) เป็น P* (X*,Y*) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$P^* \begin{bmatrix} X^* & Y^* & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & Y & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ T_x & T_y & 1 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

2.5.1.3 2D Rotation Transformation

2D. Rotation คือ การหมุนวัตถุรอบแกนอ้างอิง โดยแสดงเป็นมุมในการหมุนด้วยเวกเตอร์การหมุนในทิศทางรอบแกน Z ซึ่งสามารถแสดง 2D Rotation Matrix ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

ดังนั้น 2D Rotation ของจุด P (X,Y) เป็นจุด P* (X*,Y*) ด้วยมุม θ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$P^* \begin{bmatrix} X^* & Y^* & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & Y & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

2.5.2 ระบบพิกัด 3 มิติ

การแสดงผลข้อมูลต่าง ๆ ในคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ที่ใช้ระบบ 3 มิติจะมีลักษณะคล้ายกับการแสดงในระบบ 2 มิติ โดยจะสามารถแทนตำแหน่งของวัตถุด้วยเมตริกซ์ซึ่งแสดงตำแหน่งที่วัดจากจุดอ้างอิงถึงวัตถุในทิศทางตามแกน x แกน y และแกน z ดังนี้

$$P(X \ Y \ Z) = P[X \ Y \ Z \ 1] \quad (2.9)$$

2.5.2.1 3D Scaling Transformation

การย่อหรือขยายวัตถุใน 3 มิติ สามารถทำได้ด้วยการคูณเมตริกซ์ของวัตถุด้วย 3D Scaling Matrix ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายกับระบบ 2 มิติ โดยสามารถแสดง 3D Scaling Matrix ซึ่งทำการย่อหรือขยายจุด $P(X, Y, Z)$ โดยอ้างอิงที่จุด $(0, 0)$ เป็น $P^*(X^*, Y^*, Z^*)$ ได้ดังนี้

$$P^*[X^* \ Y^* \ Z^* \ 1] = [X \ Y \ Z \ 1] \cdot \begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

2.5.2.2 3D Translation Transformation

การเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุใน 3 มิติ สามารถทำได้ด้วยการคูณเมตริกซ์ของวัตถุด้วย 3D Translation Matrix ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับระบบ 2 มิติ โดยสามารถทำการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุ เช่นการเปลี่ยนตำแหน่งจุด $P(X, Y, Z)$ เป็น $P^*(X^*, Y^*, Z^*)$ ซึ่งมีทิศทางการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุในทิศทางแกน X, Y และ Z ด้วยค่า I, J และ K ตามลำดับ

$$P^*[X^* \ Y^* \ Z^* \ 1] = [X \ Y \ Z \ 1] \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ I & J & K & 1 \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

2.5.2.3 3D Rotation Transformation

การหมุนวัตถุในระบบ 3 มิติ มีลักษณะคล้ายกับการหมุนวัตถุในระบบ 2 มิติ แต่การหมุนวัตถุในระบบ 3 มิติ สามารถทำการหมุนวัตถุได้รอบแกนทั้ง 3 แกน คือ การหมุน

วัตถุรอบแกน X, รอบแกน Y และรอบแกน Z ซึ่งในการหมุนวัตถุใน 2 มิติจะเป็นการหมุนวัตถุรอบแกน Z เพียงแกนเดียว ดังนั้น 3D Rotation Matrix จึงสามารถแสดงการหมุนวัตถุรอบแกนต่าง ๆ ได้ดังนี้

การหมุนรอบแกน Z

$$[T_R]_Z = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

การหมุนรอบแกน Y

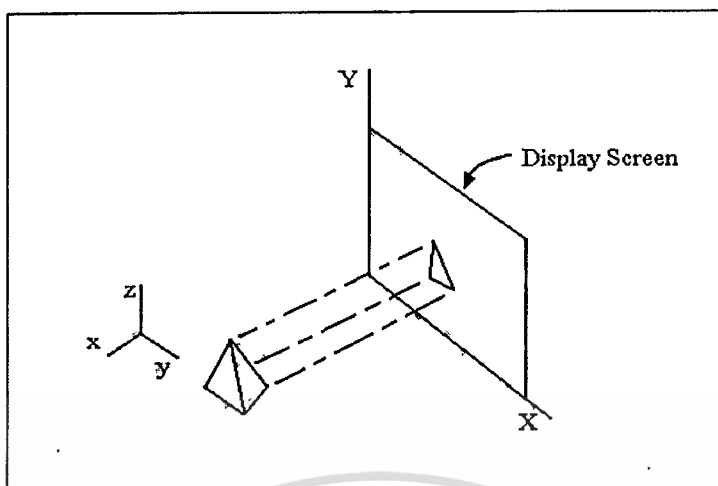
$$[T_R]_Y = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

การหมุนรอบแกน X

$$[T_R]_X = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

2.5.3 View Projection

การแสดงวัตถุ 3 มิติ บนจอคอมพิวเตอร์ 2 มิติ จะต้องใช้ View Projection ในการเปลี่ยนวัตถุที่เป็น 3 มิติ ให้สามารถมองเห็นในลักษณะ 2 มิติ การหมุนวัตถุในระบบ 3 มิติ จะเป็นการหมุนวัตถุเทียบกับจุดอ้างอิงใดจุดหนึ่ง ดังนั้นถ้าให้แกน X และ Y ของจุดอ้างอิงเป็นเฟรมของจอคอมพิวเตอร์การหมุนวัตถุการหมุนวัตถุจะเป็นการหมุนเทียบกับจุดอ้างอิงบนจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนวัตถุ 3 มิติให้สามารถมองเห็นใน 2 มิติได้ ดังรูปที่ 2.9



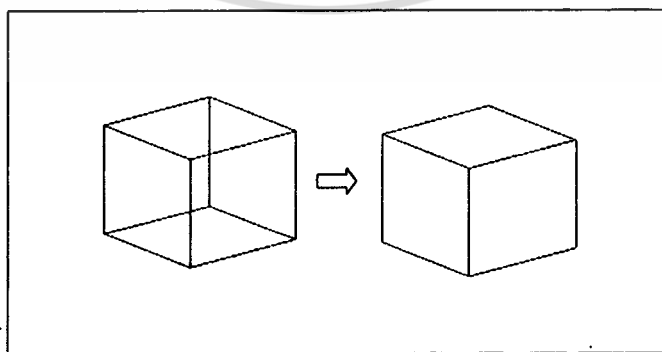
รูปที่ 2.9 ลักษณะของ View Projection

2.6 แบบจำลองของวัตถุ (Graphic Modeling)

แบบจำลองของวัตถุ 3 มิติ มีอยู่ด้วยกันหลายลักษณะ แบ่งออกเป็นจำพวกใหญ่ได้ 3 ประเภท ดังนี้

2.6.1 แบบจำลองโครงข่าย (Wireframe Modeling)

แบบจำลองแบบโครงข่ายเป็นแบบจำลองที่ใช้เส้นตรง, วงกลม, เส้นโค้ง ที่อยู่ในรูปคณิตศาสตร์ในคอมพิวเตอร์ ในการแสดงวัตถุ 3 มิติ ซึ่งจะใช้ในการแทนขอบของวัตถุเป็นเทคนิคที่ง่ายและมีการใช้งานมาก ข้อได้เปรียบของแบบจำลองโครงข่ายคือ ความง่ายในโครงสร้าง ดังนั้นจึงไม่ต้องการหน่วยความจำมาก แต่ผู้ใช้งานต้องใช้เวลามากในการสร้างแบบจำลองประเภทนี้ความซับซ้อนของรูปร่างวัตถุทำให้การแสดงผลแบบจำลองโครงข่ายไม่สามารถแสดงรายละเอียดได้ชัดเจน และทำให้เกิดความสับสนในการมองรูปร่างของวัตถุ



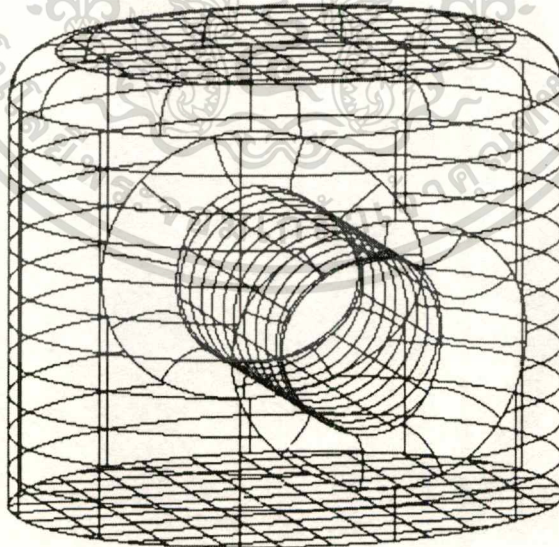
รูปที่ 2.10 แบบจำลองวัตถุแบบโครงข่าย

รูปที่ 2.10 เป็นการแสดงแบบจำลองโครงข่ายโดยใช้เส้นตรง 12 เส้นในการแสดงแบบจำลอง 3 มิติ ของกล่องสี่เหลี่ยมในรูปทางซ้ายมือ ซึ่งทำให้เกิดความสับสนในการมองรูปร่างของวัตถุ

2.6.2 แบบจำลองพื้นผิว (Surface Modeling)

แบบจำลองพื้นผิวของวัตถุ เป็นแบบจำลองที่สามารถมองวัตถุได้ง่ายกว่าและมีความสมบูรณ์มากกว่าแบบจำลองโครงร่าง ในการออกแบบ และการประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมมีการใช้งานแบบจำลองพื้นผิวมาก เนื่องจากสามารถแสดงพื้นผิวที่ซับซ้อนได้ดีกว่าแบบจำลองโครงร่าง เช่นการออกแบบชิ้นงานที่เป็นพื้นผิวหรือแผ่นบาง

การสร้างแบบจำลองพื้นผิว สามารถแสดงรายละเอียดของพื้นผิวได้ เนื่องจากสามารถสร้างเส้นบนพื้นผิวที่เรียกว่า เมช (Mesh) เพื่อแสดงลักษณะและรายละเอียดของพื้นผิวโดยเมชส์เป็นเส้นที่วาดบนพื้นผิวซึ่งสามารถแสดงได้ทั้ง 2 แคน ซึ่งสามารถกำหนดขนาดของเมช (Mesh Size) บนพื้นผิวของวัตถุได้ดังรูปที่ 2.11 แบบจำลองพื้นผิวยังสามารถซ่อนเส้นที่ไม่สามารถมองเห็น (Hidden Face Removal) และสามารถให้สีกับพื้นผิว (Render) เพื่อให้สามารถมองรูปร่างของวัตถุได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.11 แบบจำลองวัตถุแบบพื้นผิว

2.6.3 แบบจำลองโซลิด (Solid Modeling)

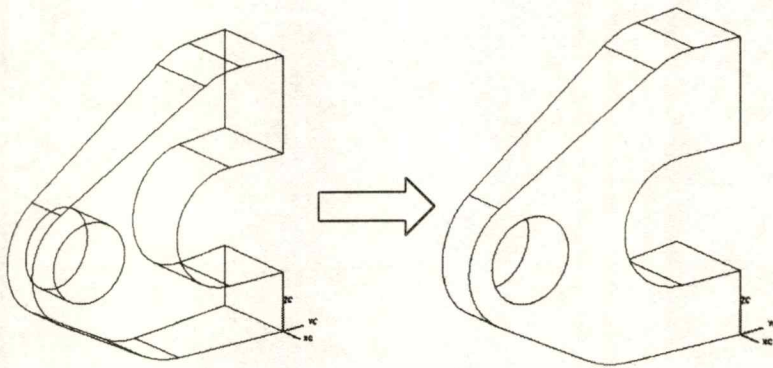
แบบจำลองโซลิดเป็นแบบจำลองที่แสดงวัตถุในลักษณะ 3 มิติ จริง ซึ่งให้ลักษณะของรูปทรงของวัตถุได้ชัดเจน รวมทั้งยังสามารถคำนวณหาสมบัติทางกลได้ง่าย การสร้างแบบจำลองโซลิดสามารถทำได้ง่ายกว่าแบบจำลองแบบพื้นผิว และแบบจำลองโครงข่ายแบบจำลองโซลิด สามารถทำการรวมหรือตัดส่วนงานออกจากวัตถุอีกชิ้นหนึ่งได้ ซึ่งเป็นขั้นตอนสำหรับการสร้างแบบจำลองโซลิดในงานที่ซับซ้อน ในส่วนการให้รายละเอียดและการมองรูปร่างแบบจำลองโซลิดสามารถให้รายละเอียด และการมองรูปร่างที่ดีกว่าแบบจำลองโครงข่าย เนื่องจากสามารถซ่อนเส้นที่ไม่สามารถมองเห็นและให้สีกับวัตถุได้เหมือนแบบจำลองพื้นผิว ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แบบจำลองวัตถุแบบโซลิด

2.7 Hidden Surface Removal

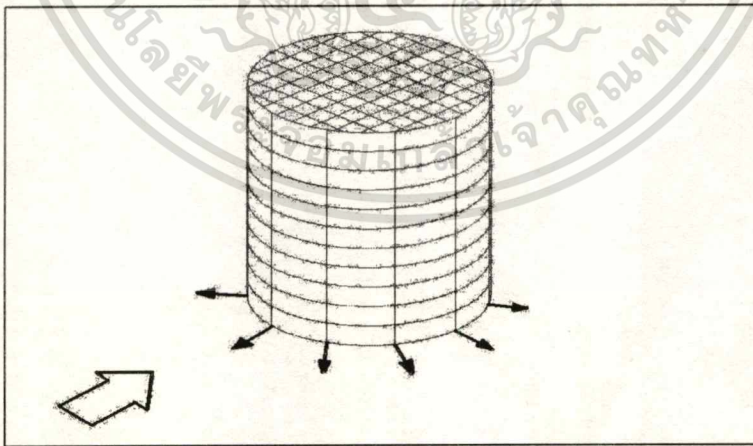
Hidden Surface Removal คือการซ่อนพื้นผิวขอบของแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ ในรูปแบบพื้นผิว หรือโซลิด ในตำแหน่งที่ไม่สามารถมองเห็นพื้นผิวนั้นได้ในคอมพิวเตอร์กราฟฟิก การซ่อนพื้นผิวเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งในการแสดงรายละเอียดของแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ ที่มีความสามารถซับซ้อน ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะของ Hidden Face Removal

การซ่อนพื้นผิวของแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ สามารถทำได้โดยการตรวจสอบเวกเตอร์ที่ตั้งฉากและพุ่งออกจากพื้นผิว และเวกเตอร์ของทิศทางในการมองวัตถุ 3 มิติ ซึ่งถ้าเวกเตอร์ทั้งสองมีทิศทางเดียวกันแสดงว่าพื้นผิวนั้นจะไม่สามารถมองเห็นได้ พื้นผิวที่ยังสามารถมองเห็นได้และเป็นขอบของวัตถุในการมองเห็นบนคอมพิวเตอร์กราฟฟิกจะมีเวกเตอร์ที่ตั้งฉากและพุ่งออกจากพื้นผิว ตั้งฉากกับ เวกเตอร์ของทิศทางในการมองวัตถุ ดังรูปที่

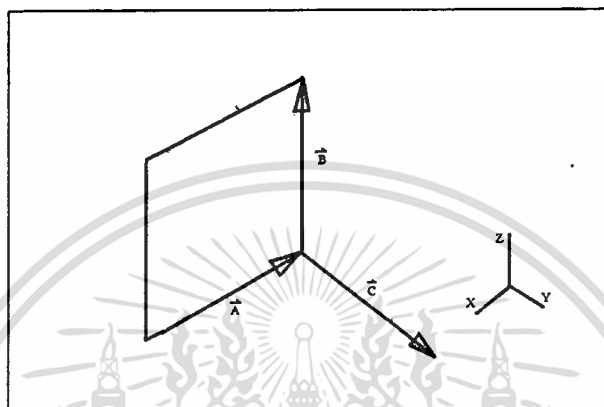
2.14



รูปที่ 2.14 เวกเตอร์ที่ตั้งฉากและพุ่งออกจากพื้นผิว และเวกเตอร์ทิศทางในการมองวัตถุ

2.7.1 การหาเวกเตอร์ตั้งฉากและพุ่งออกจากพื้นผิว

การหาเวกเตอร์ตั้งฉากกับพื้นผิว และพุ่งออกจากพื้นผิว สามารถทำได้โดยการหา Cross Product ของเวกเตอร์ที่แสดงพื้นผิวนั้น ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งจะได้เวกเตอร์ที่ตั้งฉาก และพุ่งออกจากพื้นผิว ดังรูปที่ 2.15



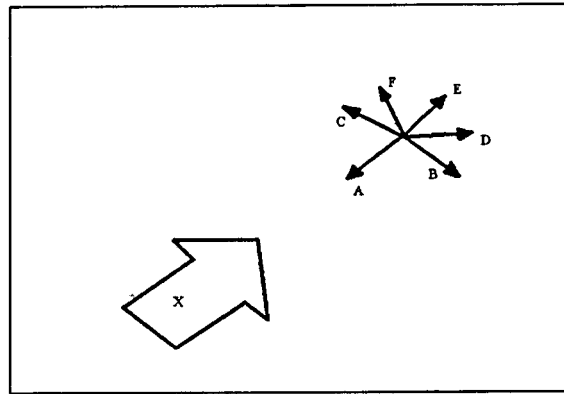
รูปที่ 2.15 การหาเวกเตอร์ตั้งฉากและพุ่งออกจากพื้นผิว

$$A \times B = C$$

(2.15)

2.7.2 การหาพื้นผิวที่จะแสดงในคอมพิวเตอร์กราฟิก

การหาพื้นผิวที่จะแสดงในคอมพิวเตอร์กราฟิก สามารถทำได้โดยการหา Dot Product ของเวกเตอร์ตั้งฉากและพุ่งออกจากพื้นผิวกับเวกเตอร์ของมุมมองภาพซึ่งค่า Dot Product ของเวกเตอร์ทั้งสองมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์ แสดงว่าพื้นผิวนั้นจะต้องถูกแสดงลงในคอมพิวเตอร์กราฟิกส์ ส่วนผลของ Dot Product ออกมามีค่ามากกว่าศูนย์แสดงว่าพื้นผิวนั้นจะต้องถูกซ่อนหรือไม่แสดงในคอมพิวเตอร์กราฟิกในมุมมองภาพนั้น ๆ



รูปที่ 2.16 การเปรียบเทียบเวกเตอร์ตั้งฉากและพุ่งออกจากพื้นผิวกับเวกเตอร์การมองวัตถุ

จากรูปที่ 2.16 พื้นผิวจะถูกซ่อนหรือไม่แสดงในคอมพิวเตอร์กราฟฟิกในมุมมองทิศทาง X คือ พื้นผิวที่มีเวกเตอร์ตั้งฉากและพุ่งออกในทิศทาง D, E และ F ส่วนพื้นผิวที่จะแสดงในมุมมองทิศทาง X คือ พื้นผิวที่มีเวกเตอร์ตั้งฉากและพุ่งออกในทิศทาง A, B และ C

2.8 แบบจำลองวัตถุแบบ STL (Stereo lithography)

แบบจำลองวัตถุแบบ STL ถูกสร้างขึ้นมาพร้อมกับเทคนิคในการสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็วชนิดสเตอริโอลิโทกราฟี ซึ่งเป็นการฉายลำแสงเลเซอร์เหนือม่วงไปยังเรซินที่หลอมเหลวเพื่อใช้ในการขึ้นรูปเป็นโพลิเมอร์แข็งตัว แบบจำลองประเภทนี้ถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน เช่น การสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototype)

รูปแบบของแบบจำลองแบบ STL ซึ่งถูกเก็บอยู่ในลักษณะของข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ในไฟล์แบบ “STL” โดยมีการเก็บอยู่ใน 2 รูปแบบ คือ

- 2.8.1 รูปแบบไฟล์แบบข้อมูลเลขฐานสอง (Binary File)
- 2.8.2 รูปแบบไฟล์แบบข้อมูลตัวอักษร (ASCII File)

รูปแบบไฟล์แบบข้อมูลตัวอักษร ของแบบจำลองวัตถุแบบ STL จะแทนวัตถุ 3 มิติด้วยพื้นผิวสามเหลี่ยมและเวกเตอร์ตั้งฉากในทิศพุ่งออกจากพื้นผิว จำนวนมากประกอบกันเป็นพื้นผิวของวัตถุ 3 มิติ ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งในรูปแบบไฟล์แบบข้อมูลตัวอักษร จะแทนเวกเตอร์ตั้งฉากพื้นผิวในทิศพุ่งออกด้วย “Facet Normal” และกลุ่มจุดยอดของพื้นผิวสามเหลี่ยมด้วย “Vertex”

ตัวอย่าง แบบจำลองวัตถุ 3 มิติ แบบไฟล์ข้อมูลแบบตัวอักษรของวัตถุทรงสี่เหลี่ยม
ขนาด 1 ลูกบาศก์หน่วยสามารถแสดงได้ดังนี้

SOLID

Facet Normal +0.00000E+00 +0.00000E+00 +1.00000E+00

Outer Loop

Vertex +1.00000E+00 +1.00000E+00 +1.00000E+00

Vertex +0.00000E+00 +1.00000E+00 +1.00000E+00

Vertex +0.00000E+00 +0.00000E+00 +1.00000E+00

Endloop

Endfacet

Facet Normal +0.00000E+00 +0.00000E+00 +1.00000E+00

Outer Loop

Vertex +0.00000E+00 +0.00000E+00 +1.00000E+00

Vertex +1.00000E+00 +0.00000E+00 +1.00000E+00

Vertex +1.00000E+00 +1.00000E+00 +1.00000E+00

Endloop

Endfacet

Facet Normal +0.00000E+00 -1.00000E+00 +0.00000E+00

Outer Loop

Vertex +0.00000E+00 +0.00000E+00 +1.00000E+00

Vertex +0.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

Vertex +1.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

Endloop

Endfacet

Facet Normal +0.00000E+00 -1.00000E+00 +0.00000E+00

Outer Loop

Vertex +1.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

Vertex +1.00000E+00 +0.00000E+00 +1.00000E+00

Vertex +0.00000E+00 +0.00000E+00 +1.00000E+00

Endloop

Endfacet

Facet Normal -1.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

Outer Loop

Vertex +0.00000E+00 +1.00000E+00 +1.00000E+00

Vertex +0.00000E+00 +1.00000E+00 +0.00000E+00

Vertex +0.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

Endloop

Endfacet

Facet Normal -1.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

Outer Loop

Vertex +0.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

Vertex +0.00000E+00 +0.00000E+00 +1.00000E+00

Vertex +0.00000E+00 +1.00000E+00 +1.00000E+00

Endloop

Endfacet

Facet Normal +0.00000E+00 +1.00000E+00 +0.00000E+00

Outer Loop

Vertex +1.00000E+00 +1.00000E+00 +1.00000E+00

Vertex +1.00000E+00 +1.00000E+00 +0.00000E+00

Vertex +0.00000E+00 +1.00000E+00 +0.00000E+00

Endloop

Endfacet

Facet Normal +0.00000E+00 +1.00000E+00 +0.00000E+00

Outer Loop

Vertex +0.00000E+00 +1.00000E+00 +0.00000E+00

Vertex +0.00000E+00 +1.00000E+00 +1.00000E+00

Vertex +1.00000E+00 +1.00000E+00 +1.00000E+00

Endloop

Endfacet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Facet Normal +0.00000E+00 +0.00000E+00 -1.00000E+00

Outer Loop

Vertex +0.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

Vertex +0.00000E+00 +1.00000E+00 +0.00000E+00

Vertex +1.00000E+00 +1.00000E+00 +0.00000E+00

Endloop

Endfacet

Facet Normal +0.00000E+00 +0.00000E+00 -1.00000E+00

Outer Loop

Vertex +1.00000E+00 +1.00000E+00 +0.00000E+00

Vertex +1.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

Vertex +0.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

Endloop

Endfacet

Facet Normal +1.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

Outer Loop

Vertex +1.00000E+00 +1.00000E+00 +1.00000E+00

Vertex +1.00000E+00 +0.00000E+00 +1.00000E+00

Vertex +1.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

Endloop

Endfacet

Facet Normal +1.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

Outer Loop

Vertex +1.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00

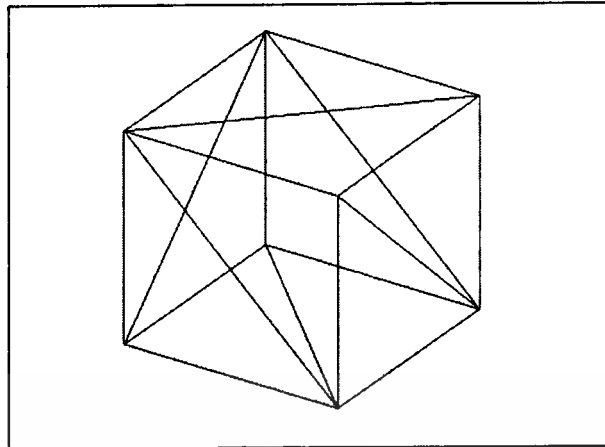
Vertex +1.00000E+00 +1.00000E+00 +0.00000E+00

Vertex +1.00000E+00 +1.00000E+00 +1.00000E+00

Endloop

Endfacet

Endsolid



รูปที่ 2.17 ลักษณะของแบบจำลองวัตถุแบบ STL

2.9 การหาสมการเส้นขอบของวัตถุ

ข้อมูลของวัตถุที่ได้ในแต่ละระนาบเป็นจุดที่เรียงต่อกันรอบขอบของวัตถุซึ่งในการแสดงขอบของวัตถุเหล่านั้นด้วยการลากเส้นต่อระหว่างจุดจะทำให้ขอบของวัตถุที่ได้มีความละเอียดน้อยและเป็นขอบหลายเหลี่ยม ดังนั้นจึงต้องมีการหาสมการขอบของวัตถุ เพื่อหาขอบของวัตถุที่ให้ความละเอียดที่สูงกว่า และใกล้เคียงกับขอบของวัตถุจริง

B-Spline Curve Fitting เป็นวิธีที่สามารถหาสมการขอบของวัตถุได้ดีและมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในงานวิศวกรรม โดยมีรูปแบบในการหาสมการของข้อมูลดังนี้

2.9.1 Open B-Spline

Open B-Spline เป็นการหาสมการของข้อมูลวัตถุโดยเป็นแบบวงเปิดดังรูปที่ 2.18 ซึ่งมีลักษณะสมการ ดังนี้

$$X(t) = \sum_{i=0}^N X_i \cdot B_{i,k}(t) \quad (2.16)$$

โดยที่ $B_{i,k}(t)$ คือ Blending Function

k คือ Smoothness of Curve Parameter

t คือ ตัวแปรแทนค่า สำหรับ B-Spline โดยที่ $0 \leq t \leq N - k + 2$

N คือ จำนวน Point - 1

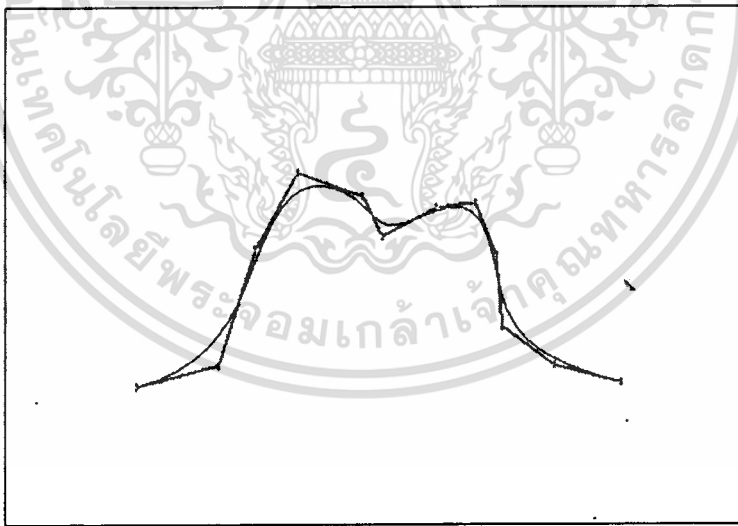
Blending Function ในการหาสมการด้วยวิธี Open B-Spline จะมีลักษณะ ดังนี้

$$B_{i,k}(t) = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อ } knot(i) \leq t \leq knot(i+1) \\ 1 & \text{เมื่อ } knot(i) \leq t \leq knot(i+1) \text{ และ } t = N-K+2 \\ 0 & \text{เมื่อ } \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases} \quad (2.17)$$

$$B_{i,k}(t) = \frac{(t - knot(i)) \times B_{i,k-1}(t)}{knot(i+k-1) - knot(i)} + \frac{(knot(i+k) - t) \times B_{i+1,k-1}(t)}{knot(i+k) - knot(i+1)} \quad (2.18)$$

ซึ่งค่า knot Function ($knot(i)$) มีค่า ดังนี้

$$knot(i) = \begin{cases} 0 & \text{เมื่อ } i < k \\ i + K + 1 & \text{เมื่อ } k \leq i \leq N \\ N - k + 2 & \text{เมื่อ } N < i \end{cases} \quad (2.19)$$



รูปที่ 2.18 ลักษณะของ Open B-Spline

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 Close B-Spline

สำหรับการหาสมการขอบของวัตถุโดยใช้ B - spline จะต้องใช้สมการในรูปแบบของ Close B - spline ซึ่งจะเป็นการหาสมการของข้อมูลแบบวงปิด ดังรูปที่ 2.19 ซึ่งจะทำให้ได้ขอบที่ครบรอบของวัตถุ โดยมีรูปแบบสมการ Blending Function และ Knot Function ที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

Blending Function และ Knot Function มีรูปแบบสมการ ดังนี้

$$B_{0,1}(t) = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อ } knot(0) \leq t < knot(1) \\ 1 & \text{เมื่อ } knot(0) \leq t \leq knot(1) \text{ และ } t = N - K + 2 \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases} \quad (2.20)$$

$$B_{o,k}(t) = \frac{(t - knot(0)) \times B_{o,k-1}(t)}{knot(k-1) - knot(0)} + \frac{(knot(k) - t) \times B_{i,k-1}(t)}{knot(k) - knot(1)} \quad (2.21)$$

$$B_{i,k}(t) = B_{o,k}((t - i + N + 1) \text{Mod}(N + 1)) \quad (2.22)$$

โดยที่ Mod คือ การหารแบบปิดเศษทิ้ง

$$\text{Knot Function} \quad Knot(i) = i \quad (2.23)$$



รูปที่ 2.19 ลักษณะของ Close B-Spline

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

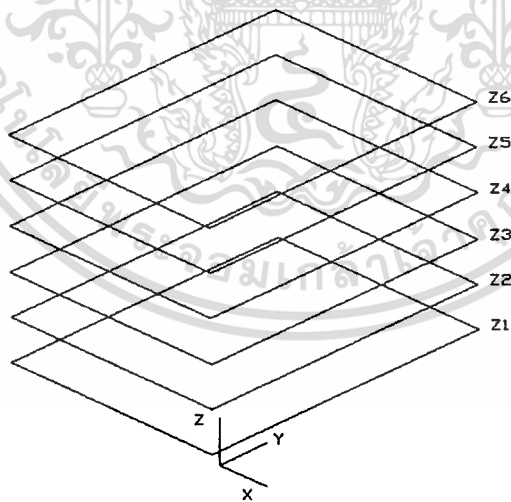
การออกแบบและการพัฒนา

สแกนเนอร์ 3 มิติ เป็นอุปกรณ์ที่ทำการวัดตำแหน่งพิกัดของพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งใช้หลักการจับภาพตำแหน่งของเลเซอร์ที่ตกกระทบชิ้นงาน โดยใช้กล้องดิจิทัล (CCD Camera) แล้วทำการคำนวณกลับเป็นพิกัดตำแหน่งขอบของวัตถุ เพื่อสร้างเป็นวัตถุ 3 มิติ บนคอมพิวเตอร์

3.1 แนวคิดและหลักการทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ

3.1.1 แบ่งวัตถุออกเป็นชั้นตามหน้าตัดขวาง

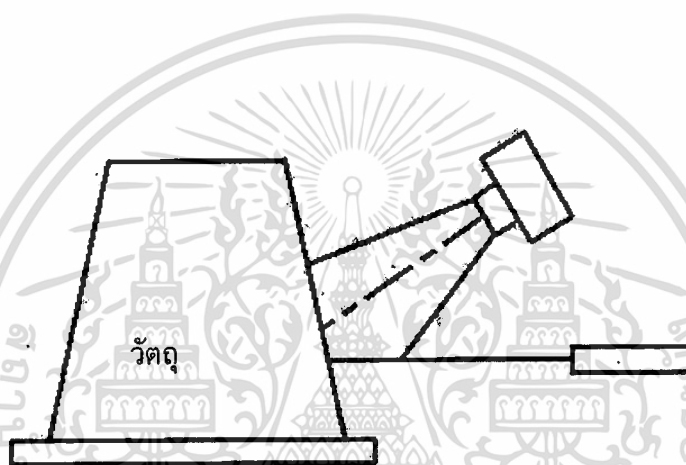
การแบ่งวัตถุออกเป็นชั้นตามหน้าตัดขวางของวัตถุ จะทำให้เกิดระนาบซึ่งตั้งฉากกับแนวตั้ง ดังรูปที่ 3.1 วัตถุจะถูกแบ่งออกโดยขอบของวัตถุจะกลายเป็นเส้นรอบวงในแต่ละระนาบ เพื่อหาตำแหน่งขอบของวัตถุ



รูปที่ 3.1 การแบ่งระนาบของวัตถุ

3.1.2 การหาดำแหน่งขอบของวัตถุ

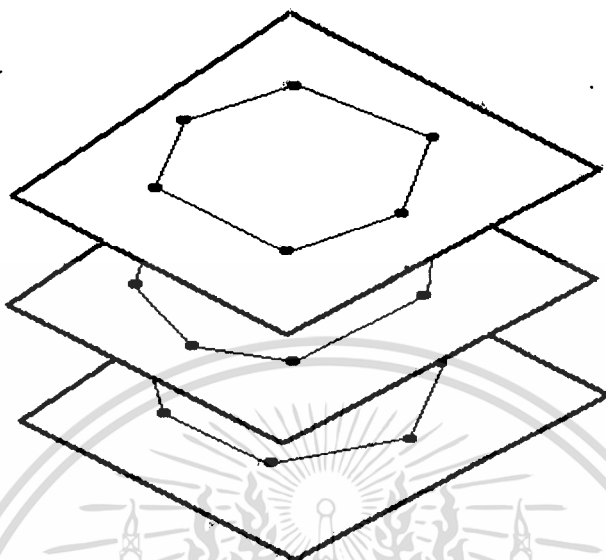
ตำแหน่งขอบของวัตถุสามารถหาได้โดย การหาดำแหน่งของเลเซอร์ที่ตกกระทบวัตถุ ในตำแหน่งต่างรอบขอบของวัตถุ ซึ่งระยะที่เปลี่ยนแปลงของขอบของวัตถุสามารถหาได้ โดยการติดตั้งกล้องดิจิตอลเอียงทำมุมกับเลเซอร์ ดังรูปที่ 3.2 ดังนั้นเมื่อเลเซอร์ตกกระทบวัตถุที่ระยะต่างๆ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเลเซอร์ในภาพที่ได้จากกล้องดิจิตอล



รูปที่ 3.2 การหาดำแหน่งขอบของวัตถุ

3.1.3 การหาดำแหน่งขอบของวัตถุโดยรอบ

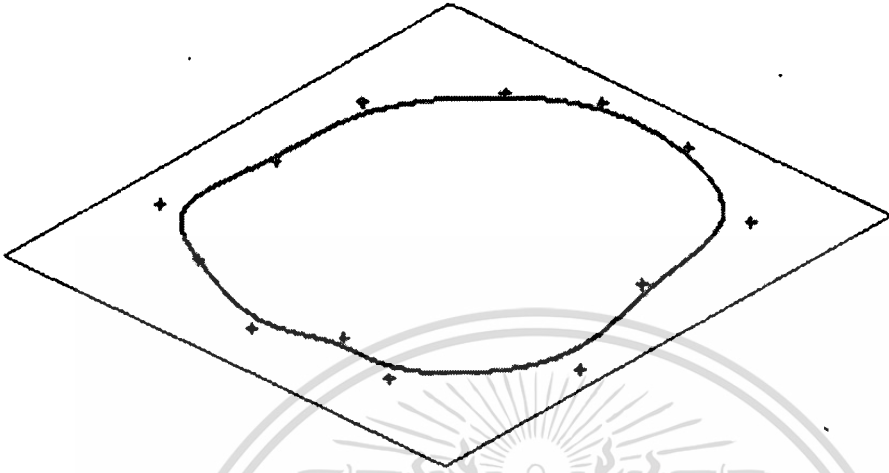
การหาดำแหน่งขอบของวัตถุโดยรอบสามารถทำได้โดย การหาดำแหน่งของวัตถุ และการหมุนวัตถุไปตามมุมที่แบ่งไว้ ซึ่งจะนำค่าตำแหน่งขอบของวัตถุมาคำนวณโดยใช้ 2 D Rotation Transformation ค่าตำแหน่งของเลเซอร์จะกลายเป็นตำแหน่งขอบของวัตถุในแต่ละระนาบ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การตำแหน่งขอบของวัตถุโดยรอบ

3.1.4 การหาสมการทางคณิตศาสตร์ของขอบวัตถุ

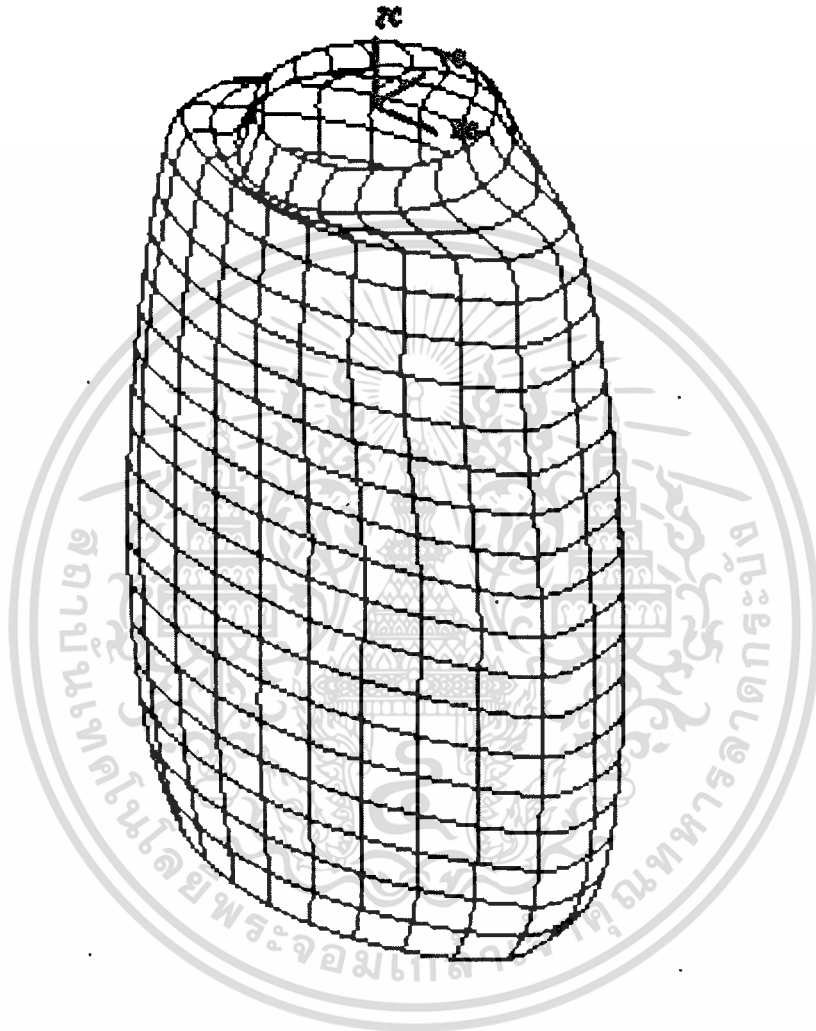
จากรูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งขอบของวัตถุที่ได้ในแต่ละระนาบซึ่งเป็นตำแหน่งขอบของวัตถุตามมุมที่แบ่งไว้ในแต่ละระนาบจะถูกนำมาสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาค่าประมาณตำแหน่งขอบของวัตถุ และลดค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการวัด โดยการเลือกใช้ Close B-Spline เนื่องจากตำแหน่งของเลเซอร์ที่ได้มีความผิดพลาดทำให้ไม่สามารถใช้สมการที่ให้เส้นขอบของวัตถุผ่านจุดข้อมูลได้ ซึ่งถ้ามีการใช้อุปกรณ์ที่ให้ความถูกต้องมากจะสามารถใช้สมการที่ให้เส้นขอบของวัตถุที่ผ่านจุดของเลเซอร์ได้



รูปที่ 3.4 การหาสมการขอบของวัด

3.1.5 การสร้างวัด 3 มิติ บนคอมพิวเตอร์

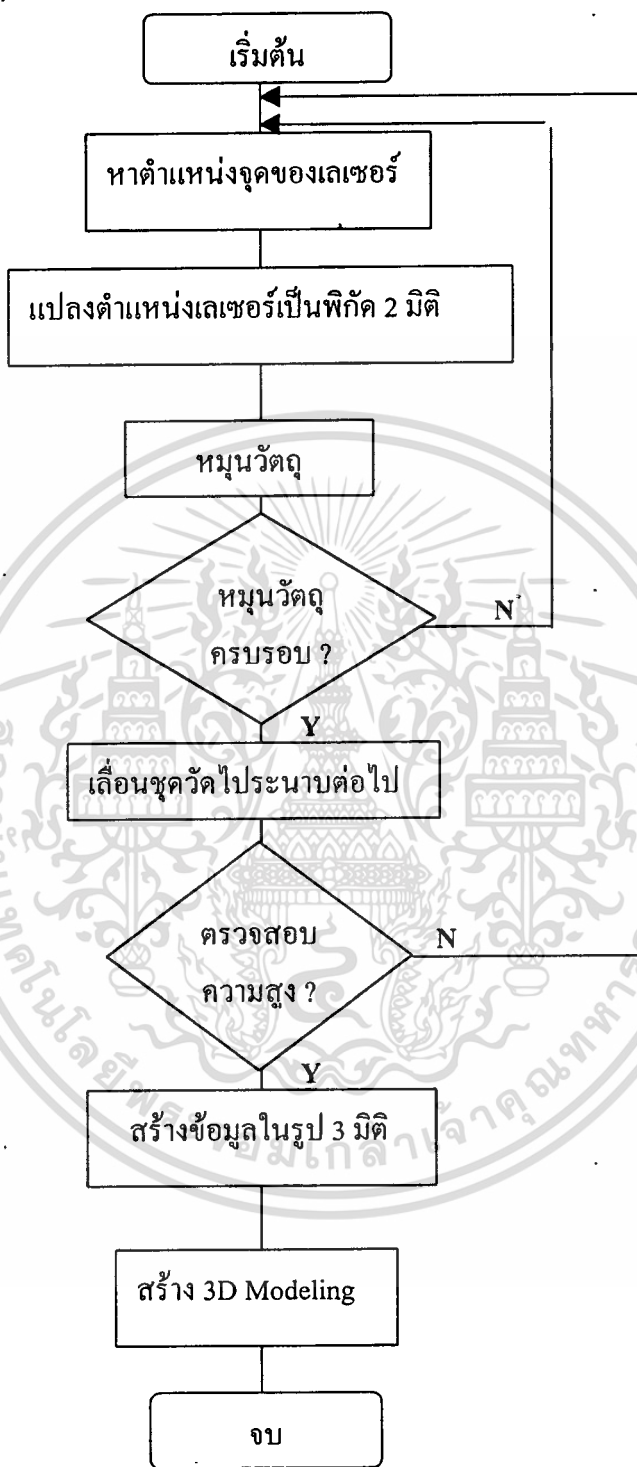
การแสดงค่าที่ได้จากการวัดของวัด 3 มิติ สามารถทำได้โดยการสร้างวัด 3 มิติ บนคอมพิวเตอร์ โดยการนำข้อมูลที่ได้จากสมการทางคณิตศาสตร์ของขอบวัดมาเชื่อมต่อกับระนาบ ซึ่งจะทำได้แบบจำลองของวัดดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ

จากแนวคิดและหลักการทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ ทำให้สามารถสร้าง Flow Chart แสดงการทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ ได้ดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



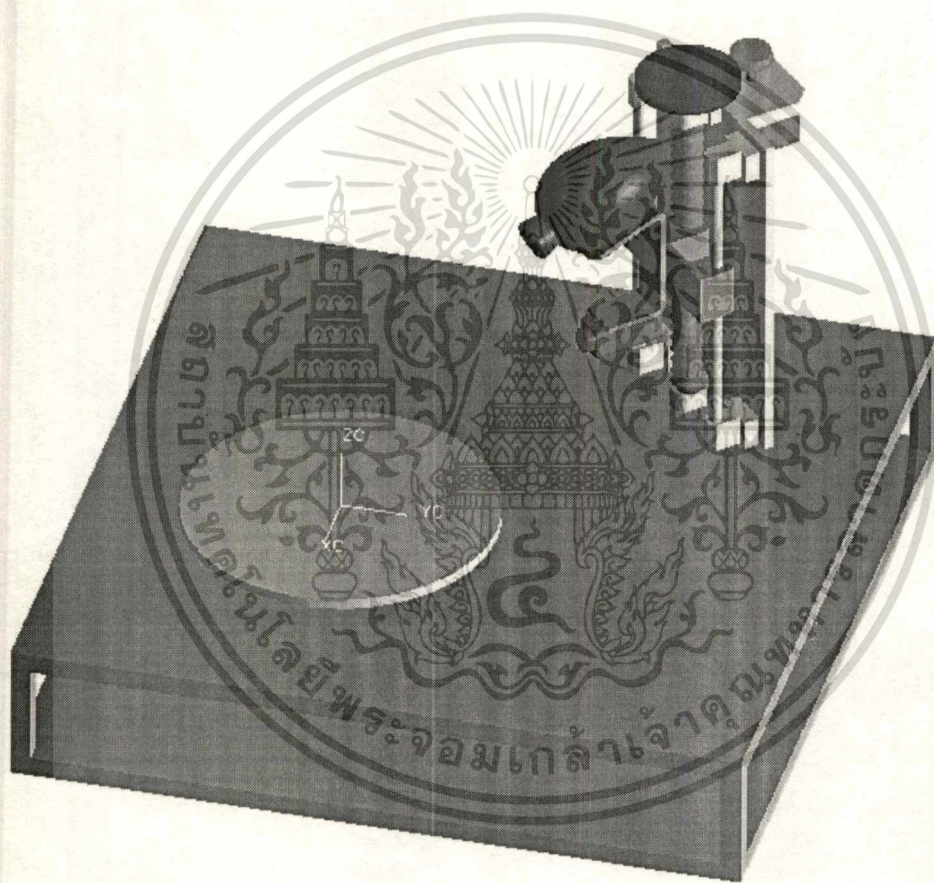
รูปที่ 3.6 Flow Chart การทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบสแกนเนอร์ 3 มิติ

3.2.1 การออกแบบทางโครงสร้างของเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ

จากลักษณะของแนวคิดและหลักการทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ ซึ่งทำให้สามารถออกแบบโครงสร้างของสแกนเนอร์ 3 มิติ ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งประกอบด้วยโครงสร้าง 4 ส่วน



รูปที่ 3.7 ลักษณะของสแกนเนอร์ 3 มิติ

3.2.1.1 ส่วนฐานวางวัตถุ

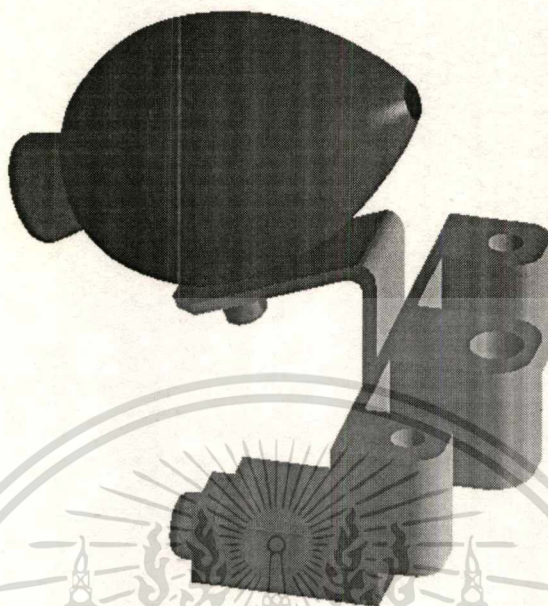
ส่วนฐานเป็นส่วนที่ใช้สำหรับวางวัตถุที่จะทำการวัด โดยส่วนฐานต้องหมุนได้โดยรอบเป็นมุมตามที่แบ่งไว้เพื่อทำการหาตำแหน่งขอบของวัตถุ ด้วยการใส่สเตปปีงมอเตอร์ (Stepping Motor) ส่งกำลังผ่านชุดเฟืองทดรอบ เพื่อให้มีกำลังในการหมุนมากขึ้น และสามารถแบ่งมุมได้ละเอียดยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ส่วนฐานวางวัตถุ

3.2.1.2 ส่วนชุดวัดตำแหน่งขอบของวัตถุ

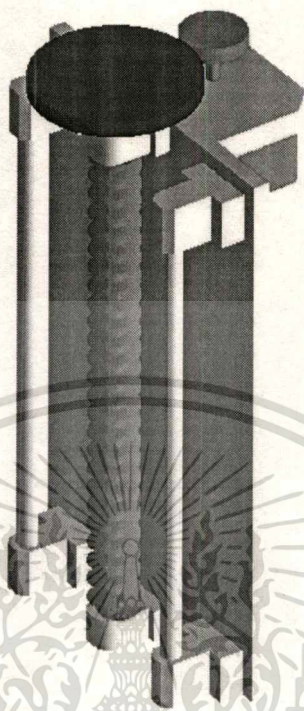
จากรูปที่ 3.9 แสดงชุดวัดตำแหน่งวัตถุจะประกอบด้วยส่วนประกอบเลเซอร์และกล้องดิจิทัลซึ่งจะวางเอียงทำมุมกันในแนวตั้ง เพื่อให้สามารถหาตำแหน่งของเลเซอร์ที่กระทบวัตถุในตำแหน่งต่าง ๆ ได้โดยชุดวัดตำแหน่งวัตถุจะยึดติดกับฐานที่เลื่อนขึ้น - ลง เพื่อใช้หาตำแหน่งตำแหน่งของเลเซอร์ในแต่ละระนาบ



รูปที่ 3.9 ส่วนวัดตำแหน่งขอบของวัตถุ

3.2.1.3 ส่วนเลื่อนชุดวัดตำแหน่งวัตถุขึ้น - ลง

ส่วนเลื่อนชุดวัดตำแหน่งวัตถุขึ้น - ลง จะประกอบด้วยชุดรางเลื่อน และเกลิยวนำ ซึ่งขับเคลื่อนด้วยสเต็ปปีงมอเตอร์ผ่านชุดเฟืองทด เพื่อใช้เลื่อนชุดวัดตำแหน่งวัตถุขึ้น - ลง ในแนวตั้ง โดยส่วนฐานที่ใช้สำหรับยึดชุดวัดตำแหน่งวัตถุจะยึดติดกับน้ำหนักของเกลิยวนำและเบริงสไลด์ของรางเลื่อนเพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ส่วนเลื่อนชุดวัดตำแหน่งขอบวัตถุขึ้น-ลง

3.2.1.4 ส่วนแสดงตำแหน่งอ้างอิง

ส่วนแสดงตำแหน่งอ้างอิงเป็นที่ใช้สำหรับแสดงจุดอ้างอิงให้ชุดวัดตำแหน่งขอบของวัตถุ เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ โดยใช้ Photo Electric Sensor

3.2.2 การออกแบบส่วนโปรแกรม

การออกแบบในส่วนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ ซึ่งทำการเขียนโดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6 สามารถแบ่งส่วนในการออกแบบได้เป็น 4 ส่วน ดังนี้

3.2.2.1 ส่วนควบคุมการทำงานของชุดขับเคลื่อน

โปรแกรมในส่วนควบคุมการทำงานของชุดขับเคลื่อนจะเป็นส่วนที่ทำการควบคุมการทำงานของ สเตปปีงมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนชุดฐานวางวัตถุ และสเตปปีงมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนในการเลื่อนชุดวัดตำแหน่งขอบของวัตถุขึ้น-ลง ในแนวตั้ง รวมถึงการหาตำแหน่งอ้างอิงในการวัด ซึ่งเป็นการเขียนคำสั่งในการส่งสัญญาณออกจาก Parallel Port ของคอมพิวเตอร์

3.2.2.2 ส่วนวัดตำแหน่งขอบวัตถุและแปลงเป็นพิกัด 2 มิติ

โปรแกรมในส่วนวัดตำแหน่งขอบวัตถุและแปลงเป็นพิกัด 2 มิติ เป็นโปรแกรมในส่วนของ การดึงข้อมูลภาพเพื่อทำการหาตำแหน่งที่เลเซอร์ตกกระทบวัตถุแล้วทำการแปลงเป็นพิกัด 2 มิติ ซึ่งโปรแกรมในส่วนนี้จะทำงานสลับกับโปรแกรมในส่วนควบคุมการทำงานของชุดขับเคลื่อน

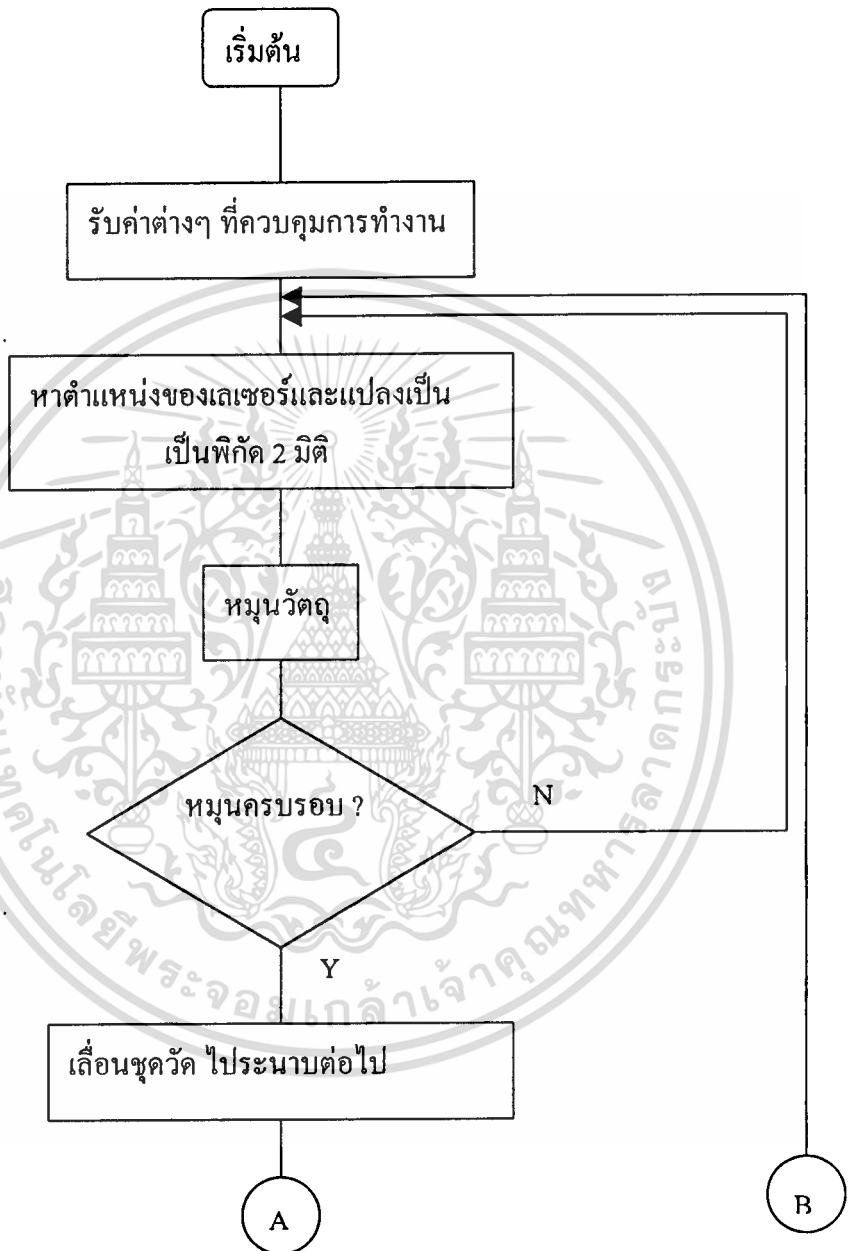
3.2.2.3 ส่วนสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติและแสดงผลบนคอมพิวเตอร์กราฟฟิก

โปรแกรมในส่วนสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติและแสดงผลบนคอมพิวเตอร์กราฟฟิก จะทำการรับข้อมูลของวัตถุ แล้วทำการสมการขอบของวัตถุเพื่อสร้างเป็นวัตถุ 3 มิติ โดยการนำขอบของวัตถุมาเรียงต่อกันตามระยะความสูงของแต่ละระนาบเพื่อสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ ซึ่งโปรแกรมส่วนนี้จะต้องสามารถแสดงแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ ที่สามารถหมุนวัตถุและสามารถทำ Hidden face Removal เพื่อสามารถซ่อนพื้นผิวของวัตถุที่ไม่สามารถมองเห็น ทำให้สามารถตรวจสอบและแสดงรายละเอียดของวัตถุได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

3.2.2.4 ส่วนสร้างแบบจำลองวัตถุแบบ STL File

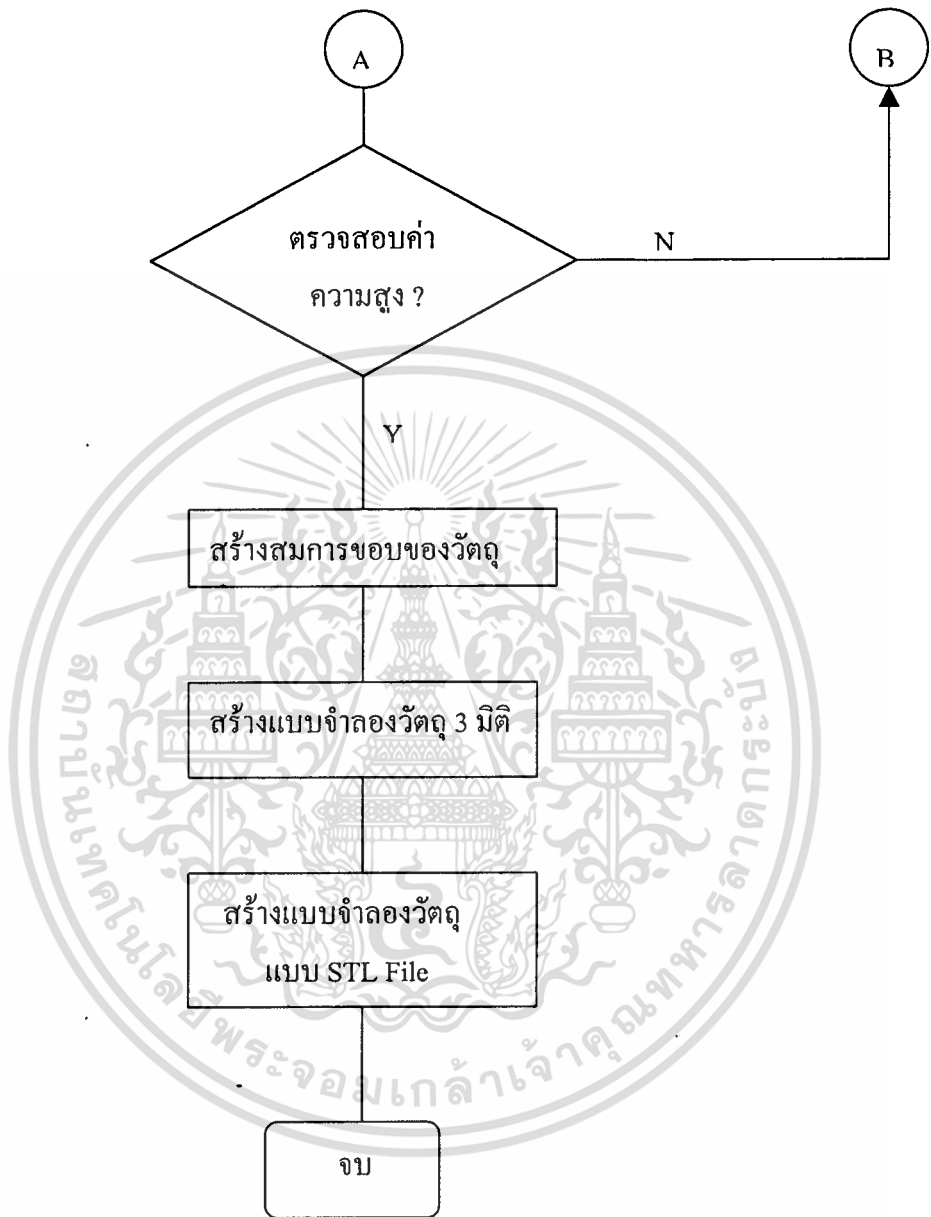
โปรแกรมส่วนสร้างแบบจำลองวัตถุแบบ STL File จะทำการรับข้อมูลของแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ เพื่อหาพื้นผิวของวัตถุและทำการคำนวณหาเวกเตอร์ตั้งฉากที่พุ่งออกจากวัตถุเพื่อสร้างข้อมูลในรูปแบบ STL File ตามลักษณะของแบบจำลองวัตถุแบบตัวอักษร (ASCII File) เพื่อให้แบบจำลองวัตถุที่สร้างขึ้นสามารถเปิดใช้งานด้วยโปรแกรมอื่นๆ ได้

จากการออกแบบส่วนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ ทำให้สามารถเขียน Flow Chart แสดงการทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ ได้ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 Flow Chart การทำงานของโปรแกรมควบคุมของสแกนเนอร์ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 Flow Chart การทำงานของโปรแกรมควบคุมของสแกนเนอร์ 3 มิติ (ต่อ)

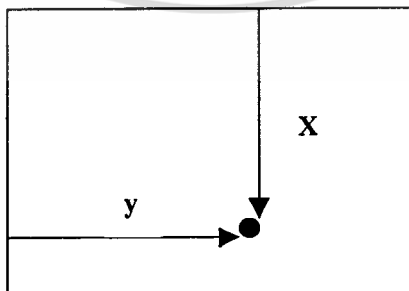
3.4 เทคนิคในการหาตำแหน่งของเลเซอร์

ระบบสีที่ใช้ในคอมพิวเตอร์กราฟฟิคมียู่หลายระบบ แต่ระบบที่นิยมใช้ กันแพร่หลายคือระบบสี RGB ซึ่งประกอบด้วยสีแดง เขียว และน้ำเงิน ที่ระดับความเข้มสีแต่ละสีที่แตกต่างกันโดยข้อมูลของระบบสีนี้ 1 พิกเซล จะประกอบด้วยสีทั้ง 3 สี ในรูปแบบของเลขฐาน 16 เรียงกัน 6 หลัก ซึ่ง 2 หลักแรก แทนระดับความเข้มสีของสีแดง 2 หลักกลางแทนระดับความเข้มสีของสีเขียว และ 2 หลักสุดท้ายแทนระดับความเข้มสีของสีน้ำเงิน ดังนั้นในหนึ่งสีจะมีระดับความเข้มสี 256 ระดับชั้น ซึ่งตัวเลขระดับสีน้อยสีนั้นจะสว่างมาก

ตัวอย่าง ระดับสี RGB = A5B3C4

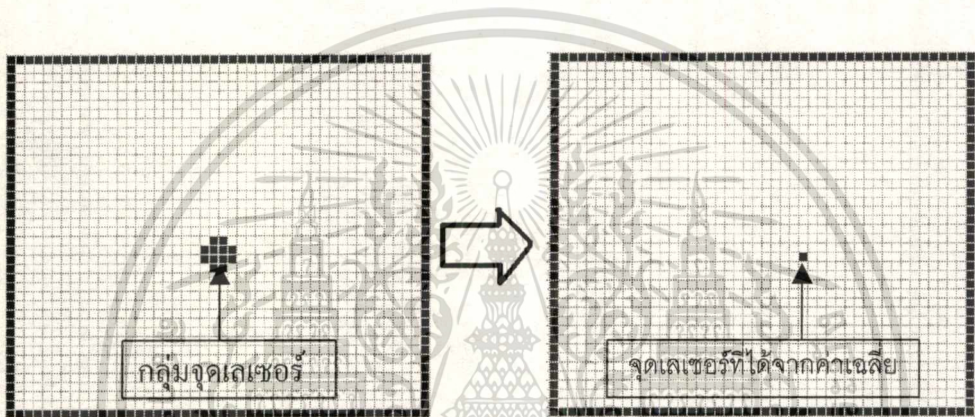
แสดงว่ามีระดับความเข้มสีแดง	A5	ในฐาน 16 หรือ 165	ในฐาน 10
แสดงว่ามีระดับความเข้มสีเขียว	B3	ในฐาน 16 หรือ 179	ในฐาน 10
แสดงว่ามีระดับความเข้มสีน้ำเงิน	C4	ในฐาน 16 หรือ 196	ในฐาน 10

การหาจุดของเลเซอร์สามารถทำได้โดยการตั้งค่าระดับความเข้มของสีทั้ง 3 ไว้ที่ค่าที่เป็นระดับความเข้มของจุดเลเซอร์ แล้วทำการเปรียบเทียบค่าสีของแต่ละพิกเซลต่าง ๆ ภายในภาพ เนื่องจากตำแหน่งที่เลเซอร์ตกกระทบวัตถุจะมีระดับความเข้มของสีแดงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับจุดอื่น ๆ ภายในภาพ ประกอบกับการตั้งค่าของกล้องดิจิทัล ให้มีสีพื้นเป็นสีดำเพื่อป้องกันแสงรบกวนจากภายนอก ดังนั้นจะพบเพียงตำแหน่งของเลเซอร์ที่เป็นจุดสว่างเท่านั้น สามารถแสดงลักษณะตำแหน่งจุดของเลเซอร์ได้ดังรูปที่ 3.12



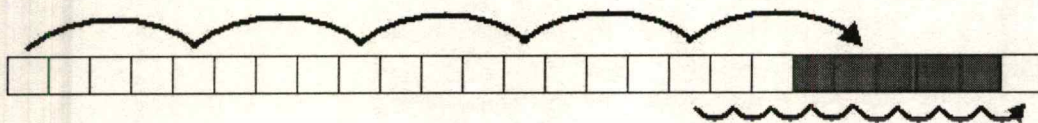
รูปที่ 3.12 ลักษณะตำแหน่งของเลเซอร์บนจอคอมพิวเตอร์

ภาพตำแหน่งที่เลเซอร์ตกกระทบวัตถุจะได้ตำแหน่งของเลเซอร์ในลักษณะของ กลุ่มจุดเนื่องจากจุดของเลเซอร์มีขนาดใหญ่กว่าขนาดพิกเซลของภาพ แต่จุดที่แสดงตำแหน่งของ วัตถุจะต้องเป็นเพียง 1 จุดต่อ 1 ภาพ ดังนั้นจะต้องมีวิธีในการหาตำแหน่งของจุดบนกลุ่มจุดของ เลเซอร์ การหาตำแหน่งจุดเพื่อแทนตำแหน่งกลุ่มจุดของเลเซอร์ สามารถทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่ รวดเร็ว คือวิธีการใช้ค่าเฉลี่ย โดยการหาค่าเฉลี่ยของตำแหน่งพิกเซลที่เป็นจุดเลเซอร์ ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การหาตำแหน่งจุดจากกลุ่มจุดของเลเซอร์

ในทางปฏิบัติการหาตำแหน่งของกลุ่มจุดเลเซอร์ภายในภาพถ้าทำการค้นหาที่ละ พิกเซล จะต้องใช้เวลานานในการค้นหา ดังนั้น เพื่อให้โปรแกรมทำงานได้เร็วขึ้นจะต้องมีการแบ่ง ช่วงในการค้นหาตำแหน่งเลเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 การค้นหาเป็นช่วงจะมีระยะที่เว้นช่วง กว้างน้อยกว่าขนาดของเลเซอร์ แต่ไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความกว้างจุดเลเซอร์ จนเมื่อพบ ตำแหน่งของเลเซอร์ จึงจะทำการค้นหาย้อนกลับตั้งแต่ช่วงที่ไม่พบตำแหน่งของเลเซอร์ที่ละพิก เซลจนมีความกว้างเท่ากับ 2 เท่าของช่วงกว้างที่เว้นช่วง



รูปที่ 3.14 การแบ่งช่วงในการค้นหากลุ่มจุดเลเซอร์

3.5 เทคนิคในการแปลงค่าตำแหน่งพิกเซลเป็นระยะทาง

การแปลงค่าตำแหน่งพิกเซลที่เลเซอร์ตกกระทบวัตถุเป็นระยะทาง มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่หลายปัจจัย เช่น ค่าระยะโฟกัสของกล้อง ผลของมุมมองภาพของกล้องในลักษณะ Perspective View คุณสมบัติของเลนส์ที่ใช้ในกล้อง มุมเอียงระหว่างกล้องกับเลเซอร์และระยะทางระหว่างกล้องกับจุดศูนย์กลางของฐานวางวัตถุ

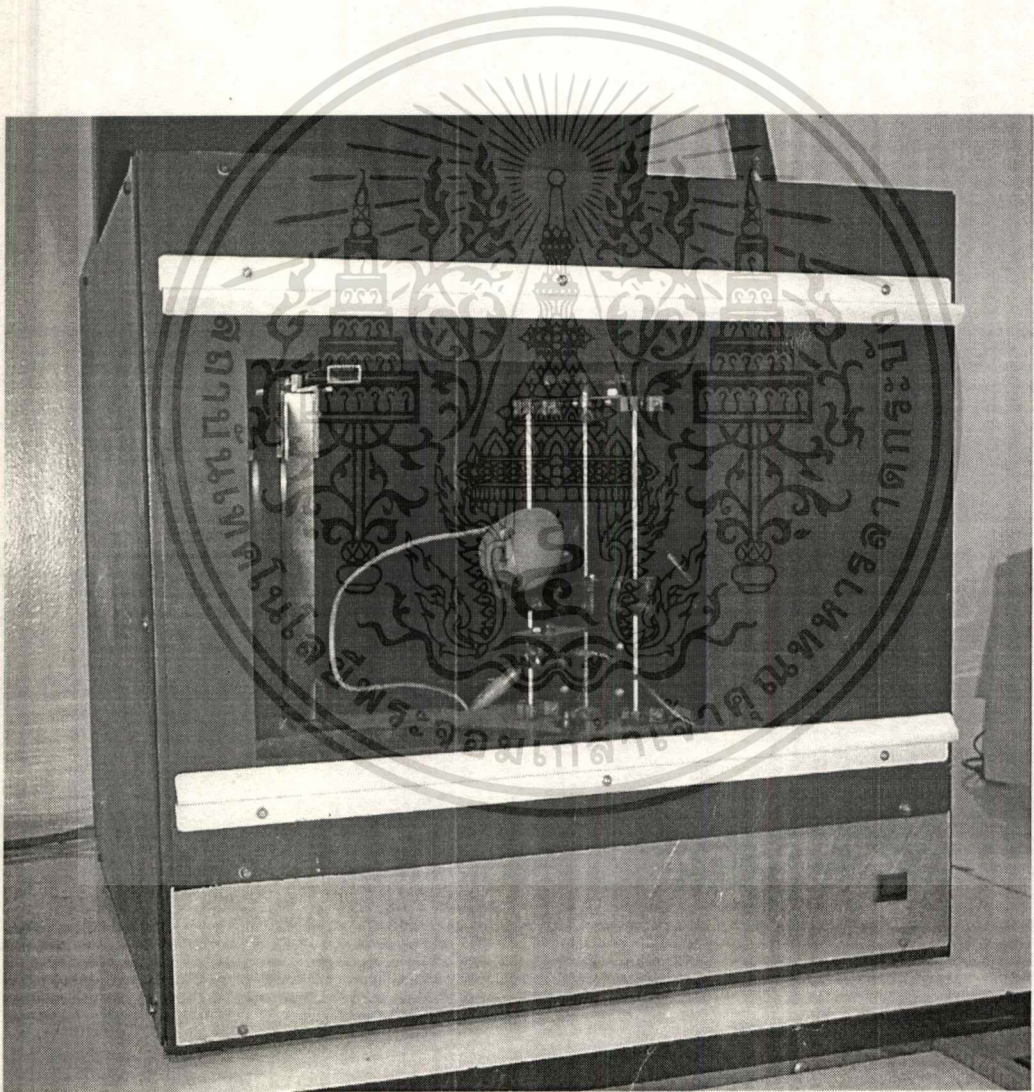
ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถวัดค่าที่ถูกต้องได้ เนื่องจากกล้องมีประสิทธิภาพต่ำ และการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ไม่สามารถวัดค่าได้ถูกต้อง ดังนั้นการแปลงค่าตำแหน่งของพิกเซลเป็นระยะทางในระบบพิกัด 2 มิติ จะสามารถทำได้โดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งวัตถุและค่าตำแหน่งของพิกเซลโดยการทดลองวางวัตถุที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนฐานวางวัตถุที่สามารถวัดค่าได้ แล้วหาตำแหน่งพิกเซลของเลเซอร์ที่ตกกระทบวัตถุ เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งพิกเซลและระยะทางในระบบพิกัด 2 มิติ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

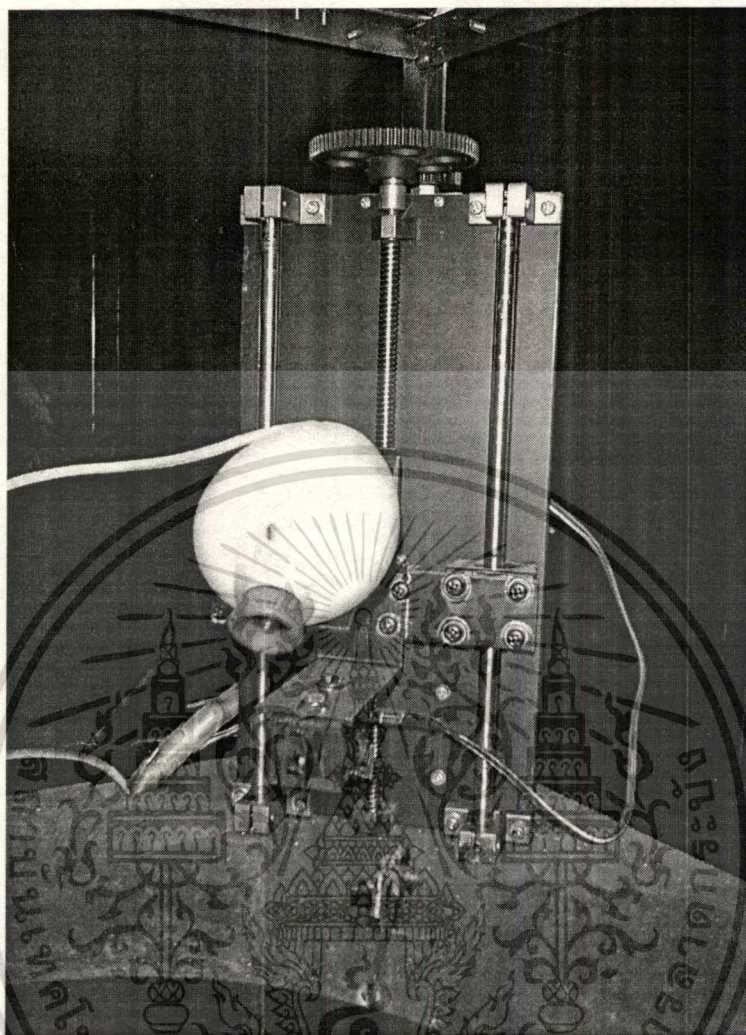
4.1 ผลการทดลองการออกแบบโครงสร้างสแกนเนอร์ 3 มิติ

จากการออกแบบสามารถสร้างเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ ซึ่งประกอบด้วย ส่วนฐาน
วางวัตถุ ส่วนชุดวัดตำแหน่งขอบของวัตถุ ชุดเลื่อนชุดวัดตำแหน่งขอบของวัตถุ และ ส่วนแสดง
ตำแหน่งอ้างอิง โดยมีลักษณะดังรูปที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 โครงสร้างเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ

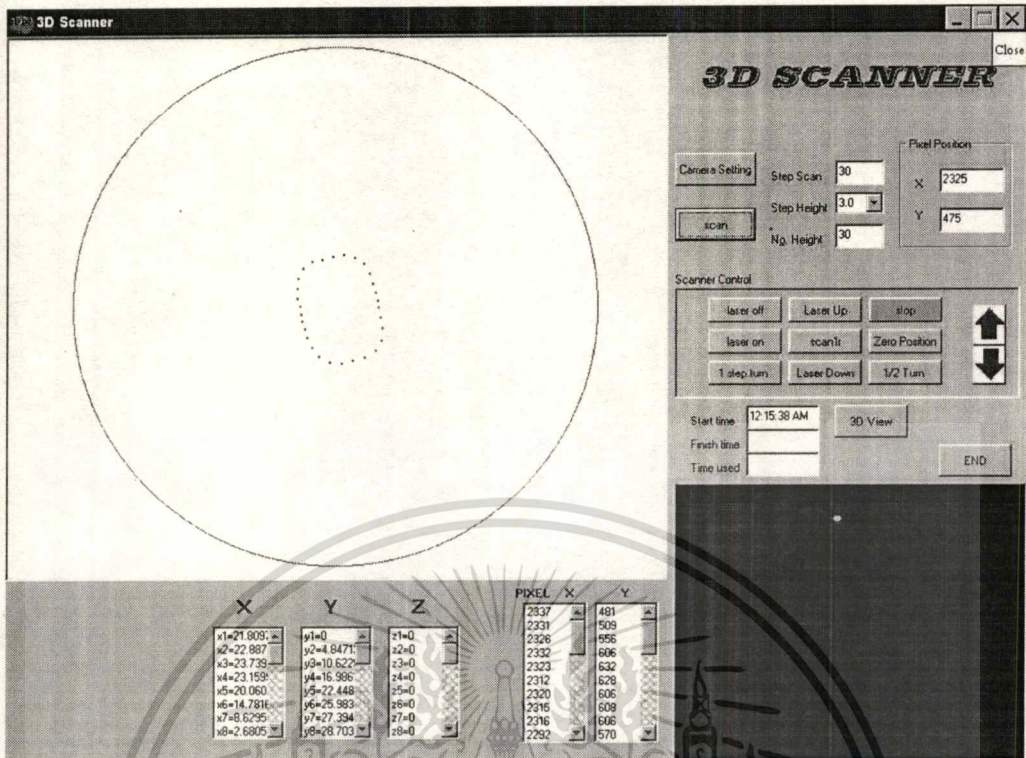
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ส่วนชุดวัดตำแหน่งวัตถุและชุดขับเคลื่อน

4.2 ผลการทดลองการออกแบบโปรแกรม

จากการออกแบบด้านโปรแกรม สามารถเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Visual Basic 6 โดยประกอบด้วยหน้าต่างของโปรแกรมจำนวน 2 หน้าต่าง ซึ่งหน้าต่างที่ 1 เป็นส่วนของการป้อนข้อมูลเข้าเพื่อควบคุมการทำงาน ดังรูปที่ 4.3 และหน้าต่างที่ 2 เป็นส่วนแสดงผลในรูปแบบของแบบจำลอง 3 มิติ โดยมีลักษณะดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 โปรแกรมหน้าต่างที่ 1

4.2.1 การป้อนข้อมูล

จากฟอร์มโปรแกรมหน้าต่างที่ 1 จะมีส่วนที่ต้องป้อนข้อมูลเพื่อควบคุมการทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ ซึ่งมีข้อมูลที่จะต้องป้อนให้โปรแกรม ดังนี้

4.2.1.1 Step Scan คือ จำนวนจุดที่ต้องการในการหมุนวัตถุ 1 รอบ (1 ระนาบ) ซึ่งมีได้ไม่เกิน 1882 จุด ในการหมุนวัตถุ 1 รอบ

4.2.1.2 Step Height คือ ความสูงที่ทำการเลื่อนชุดวัดตำแหน่งขอบของวัตถุขึ้นในแนวตั้ง ซึ่งมีระยะให้เลือก 1.5 , 3.0 , 6.0 และ 9.0 mm.

4.2.1.3 No Height คือ จำนวนความสูงที่ต้องการเลื่อนชุดวัดตำแหน่งขอบของวัตถุขึ้นในแนวตั้ง โดยจะต้องมีระยะที่เลื่อนขึ้นได้ไม่เกิน 300 mm. ซึ่งระยะที่เลื่อนขึ้น ได้จากการคูณระหว่างค่า Step Height และ No Height

4.2.2 การแสดงผลในหน้าต่างที่ 1

รายละเอียดการแสดงผลในหน้าต่างที่ 1 ของโปรแกรมจะประกอบด้วย

4.2.2.1 การแสดงจุดขอบของวัตถุ ในพิกัด 2 มิติ ซึ่งจะแสดงผลในบริเวณพื้นที่สีขาว

4.2.2.2 Pixel Position คือ การแสดงตำแหน่งพิกเซลที่ได้จากภาพในตำแหน่ง x และ y ในแต่ละภาพ

4.2.2.3 Pixel X Y คือ การแสดงลำดับตำแหน่งพิกเซลที่ได้จากภาพในตำแหน่ง x และ y ซึ่งเรียงลำดับตำแหน่งที่ได้ในแต่ละภาพ

4.2.2.4 Start Time คือ เวลาที่เริ่มต้นทำการวัด

4.2.2.5 Finish Time คือ เวลาเสร็จการวัด

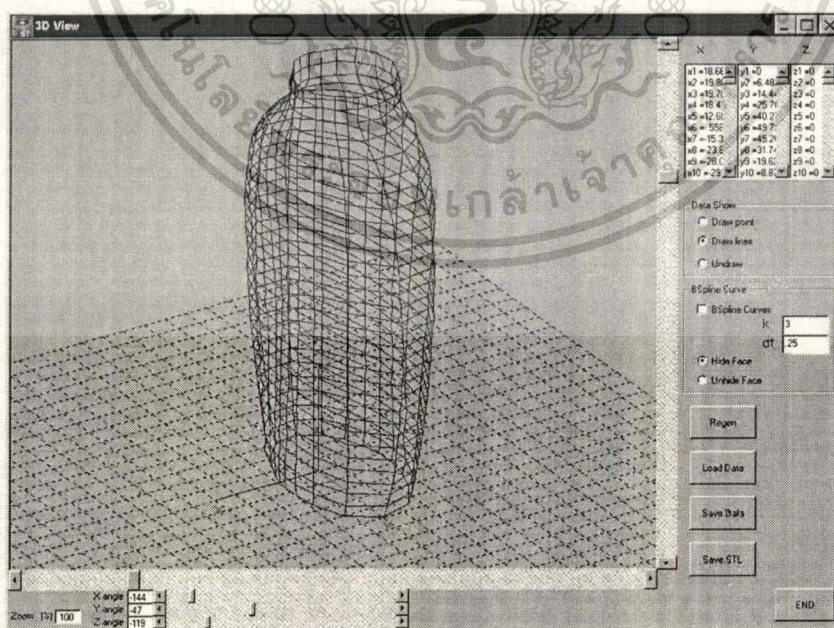
4.2.2.6 Time Used คือ ระยะเวลาที่ทำการวัด (ในหน่วยวินาที)

4.2.3 การแสดงผลในหน้าต่างที่ 2

การแสดงผลในหน้าต่างที่ 2 ในรูปที่ 4.4 เป็นการแสดงผลการวัดในรูปแบบ 3 มิติ ที่สามารถหมุนวัตถุเพื่อมองในมุมมองต่างๆได้ การแสดงผลสามารถทำได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

4.2.3.1 การแสดงผลในรูปแบบจุดในพิกัด 3 มิติ

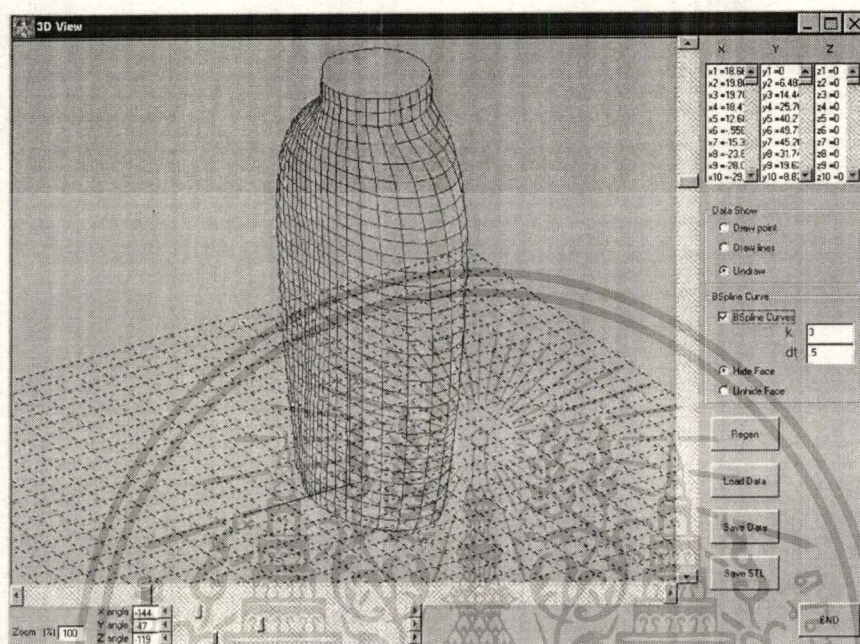
4.2.3.2 การแสดงผลในลักษณะของการสร้างเส้นต่อระหว่างจุดในรูปแบบโครงข่าย (Wire Frame Modeling) ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การแสดงผลในรูปแบบโครงข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.3 การแสดงผลของวัตถุในแบบพื้นผิว ซึ่งการแสดงผลนี้สามารถทำการซ่อนพื้นผิวที่ไม่สามารถมองเห็นได้ โดยการใช้ Hidden Face Removal ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การแสดงผลของวัตถุแบบพื้นผิว

4.3 ผลการแปลงตำแหน่งพิกเซลเป็นระยะทาง

การทดลองในการหาสมการความสัมพันธ์ของตำแหน่งพิกเซลกับระยะทาง ทำได้โดยการวางวัตถุสี่เหลี่ยมที่ตำแหน่งต่างๆ จากจุดศูนย์กลางของฐานวางวัตถุ แล้วทำการหาตำแหน่งของจุดพิกเซลเลเซอร์ที่ตกกระทบวัตถุในแต่ละตำแหน่ง ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.1

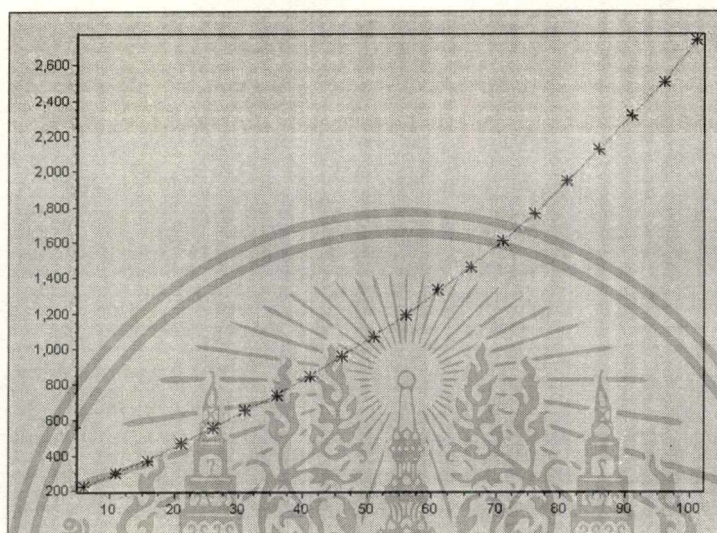
ตารางที่ 4.1 ตำแหน่งพิกเซลและระยะของวัตถุจากจุดศูนย์กลางของฐานวางวัตถุ

ตำแหน่งพิกเซล (x)	ตำแหน่งพิกเซล (y)	ระยะของวัตถุจากจุดศูนย์กลางของฐานวางวัตถุ (mm.)
2356	2736	101
2359	2506	96
2352	2313	91
2355	2119	86
2340	1946	81
2342	1765	80
2353	1610	71
2356	1460	66
2345	1331	61
2341	1192	56
2335	1069	51
2329	960	46
2328	847	41
2338	742	36
2320	653	31
2308	557	26
2315	472	21
2319	373	16
2308	300	11
2305	224	6

จากตารางสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของตำแหน่งพิกเซลและระยะทางของขอบวัตถุโดยวัดจากจุดศูนย์กลางของฐานวางวัตถุได้ดังสมการที่ 4.1 ซึ่งได้จากการคำนวณโดยโปรแกรม Matrix VB

$$Dist = 1.978 \times 10^{-9} \text{ pixel}^3 - 1.7 \times 10^{-5} \text{ pixel}^2 + 0.07201 \text{ pixel} - 9.114 \quad (4.1)$$

โดย Dist คือ ระยะทางที่ต้องการวัดตำแหน่ง
pixel คือ ตำแหน่งพิกเซลที่เลเซอร์ตกกระทบวัตถุในภาพ



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งพิกเซลและระยะทางของขอบวัตถุ

การทดลอง โดยการหาระยะทางของขอบวัตถุซึ่งวัดจากจุดศูนย์กลางของฐานวงวัตถุ โดยใช้สมการที่ 4.1 ในการแปลงตำแหน่งพิกเซลที่เลเซอร์ตกกระทบวัตถุเป็นระยะทาง ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งพิกเซลและระยะทางของขอบวัตถุ

ตำแหน่งพิกเซล (X)	ตำแหน่งพิกเซล (y)	ระยะจากขอบฐานวงวัตถุถึงวัตถุ (cm.)	ระยะจากจุดศูนย์กลางฐานถึงวัตถุ (mm.)	ระยะที่ได้จากการคำนวณ (mm.)	ความผิดพลาด (mm.)
2354	2711	5	101	100.57	0.43
2354	2716	5	101	100.69	0.31
2361	2721	5	101	100.81	0.19
2357	2710	5	101	100.55	0.45
2360	2720	5	101	100.78	0.22
2356	2489	5.5	96	95.30	0.70
2362	2488	5.5	96	95.28	0.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ตำแหน่งพิกเซล (X)	ตำแหน่งพิกเซล (y)	ระยะจากขอบ ฐานวางวัตถุ ถึงวัตถุ (cm.)	ระยะจากจุด ศูนย์กลางฐาน ถึงวัตถุ (mm.)	ระยะที่ได้จาก การคำนวณ (mm.)	ความผิดพลาด (mm.)
2362	2491	5.5	96	95.35	0.65
2355	2483	5.5	96	95.16	0.84
2350	2482	5.5	96	95.13	0.87
2359	2305	6	91	90.77	0.23
2351	2303	6	91	90.72	0.28
2354	2307	6	91	90.82	0.18
2365	2316	6	91	91.05	-0.05
2354	2304	6	91	90.75	0.25
2360	2103	6.5	86	85.54	0.46
2359	2105	6.5	86	85.59	0.41
2360	2100	6.5	86	85.46	0.54
2346	2096	6.5	86	85.35	0.65
2359	2106	6.5	86	85.62	0.38
2347	1914	7	81	80.30	0.70
2348	1914	7	81	80.30	0.70
2346	1916	7	81	80.36	0.64
2341	1913	7	81	80.28	0.72
2342	1911	7	81	80.22	0.78
2349	1765	7.5	76	75.90	0.10
2343	1761	7.5	76	75.78	0.22
2353	1765	7.5	76	75.90	0.10
2352	1764	7.5	76	75.87	0.13
2347	1763	7.5	76	75.84	0.16
2356	1593	8	71	70.45	0.55
2352	1593	8	71	70.45	0.55
2358	1602	8	71	70.75	0.25
2351	1592	8	71	70.42	0.58
2350	1594	8	71	70.49	0.51
2351	1454	8.5	66	65.73	0.27
2359	1453	8.5	66	65.69	0.31
2347	1459	8.5	66	65.90	0.10
2357	1451	8.5	66	65.62	0.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ตำแหน่งพิกเซล (X)	ตำแหน่งพิกเซล (y)	ระยะจากขอบ ฐานวางวัตถุ ถึงวัตถุ (cm.)	ระยะจากจุด ศูนย์กลางฐาน ถึงวัตถุ (mm.)	ระยะที่ได้จาก การคำนวณ (mm.)	ความผิดพลาด (mm.)
2358	1452	8.5	66	65.66	0.34
2347	1321	9	61	60.91	0.09
2355	1317	9	61	60.76	0.24
2340	1312	9	61	60.57	0.43
2349	1316	9	61	60.72	0.28
2341	1313	9	61	60.61	0.39
2345	1191	9.5	56	55.88	0.12
2336	1185	9.5	56	55.64	0.36
2343	1189	9.5	56	55.80	0.20
2340	1191	9.5	56	55.88	0.12
2348	1189	9.5	56	55.80	0.20
2328	1060	10	51	50.47	0.53
2325	1064	10	51	50.64	0.36
2334	1065	10	51	50.68	0.32
2332	1066	10	51	50.73	0.27
2330	1071	10	51	50.94	0.06
2333	948	10.5	46	45.56	0.44
2328	948	10.5	46	45.56	0.44
2322	946	10.5	46	45.47	0.53
2336	951	10.5	46	45.69	0.31
2335	949	10.5	46	45.60	0.40
2334	840	11	41	40.55	0.45
2330	840	11	41	40.55	0.45
2326	835	11	41	40.31	0.69
2325	837	11	41	40.41	0.59
2328	841	11	41	40.60	0.40
2339	745	11.5	36	35.92	0.08
2340	744	11.5	36	35.87	0.13
2337	744	11.5	36	35.87	0.13
2340	746	11.5	36	35.97	0.03
2336	742	11.5	36	35.77	0.23
2313	632	12	31	30.11	0.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ห้ามคัดลอกไปใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้พิมพ์ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ตำแหน่งพิกเซล (X)	ตำแหน่งพิกเซล (y)	ระยะจากขอบ ฐานวางวัตถุ ถึงวัตถุ (cm.)	ระยะจากจุด ศูนย์กลางฐาน ถึงวัตถุ (mm.)	ระยะที่ได้จาก การคำนวณ (mm.)	ความผิดพลาด (mm.)
2308	633	12	31	30.16	0.84
2323	634	12	31	30.21	0.79
2313	633	12	31	30.16	0.84
2309	633	12	31	30.16	0.84
2309	549	12.5	26	25.62	0.38
2317	548	12.5	26	25.57	0.43
2308	550	12.5	26	25.68	0.32
2311	549	12.5	26	25.62	0.38
2316	550	12.5	26	25.68	0.32
2307	457	13	21	20.43	0.57
2309	457	13	21	20.43	0.57
2311	455	13	21	20.32	0.68
2306	455	13	21	20.32	0.68
2308	457	13	21	20.43	0.57
2305	376	13.5	16	15.66	0.34
2319	383	13.5	16	16.08	-0.08
2318	378	13.5	16	15.78	0.22
2320	383	13.5	16	16.08	-0.08
2316	379	13.5	16	15.84	0.16
2312	294	14	11	10.64	0.36
2314	292	14	11	10.51	0.49
2313	293	14	11	10.58	0.42
2316	293	14	11	10.58	0.42
2320	295	14	11	10.70	0.30
2303	223	14.5	6	6.12	-0.12
2308	226	14.5	6	6.31	-0.31
2310	225	14.5	6	6.25	-0.25
2312	227	14.5	6	6.38	-0.38
2309	224	14.5	6	6.19	-0.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางพบว่าการหาความสัมพันธ์ของตำแหน่งพิกเซลกับระยะทางของขอบวัตถุ โดยวัดจากจุดศูนย์กลางของฐานวางวัตถุจะมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ -0.38 ถึง 0.89 mm.

4.4 การทดลองแปลงตำแหน่งขอบของวัตถุเป็นจุดในพิกัด 2 มิติ

การทดลองแปลงตำแหน่งขอบวัตถุเป็นจุดในพิกัด 2 มิติ ทำได้โดยการวางวัตถุต่างๆ แล้วทำการวัดตำแหน่งขอบวัตถุซึ่งใช้การแปลงตำแหน่งของพิกเซลที่เลเซอร์ตกกระทบวัตถุเป็นระยะทางแล้วทำการแปลงเป็นจุดในพิกัด 2 มิติ ดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 ซึ่งได้ผลการทดลองดัง ตารางที่ 4.3 ขนาดที่วัดก่อนการทดสอบทำโดยการใช้เวอร์เนียที่มีความละเอียด 0.05 mm.

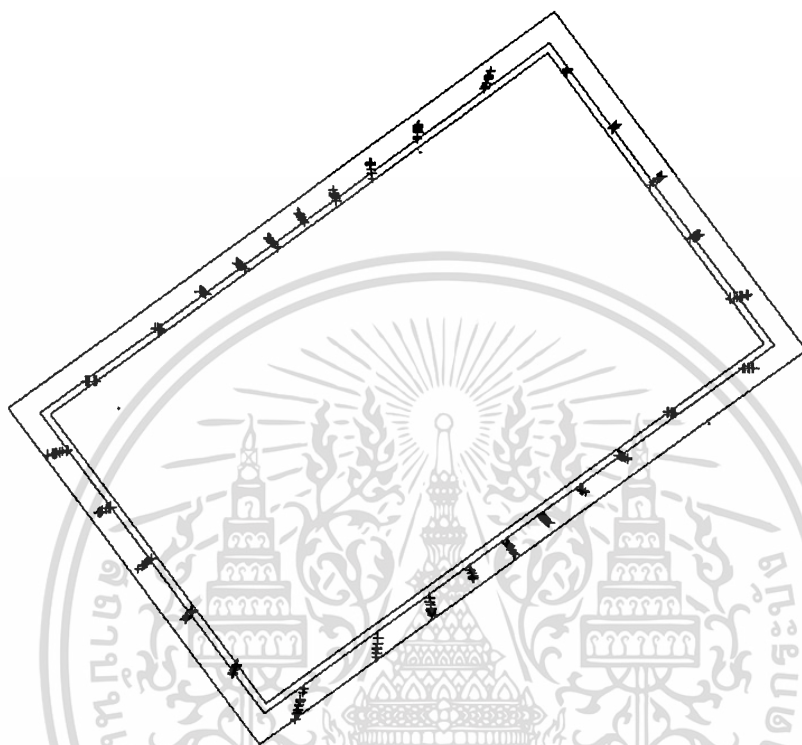
ตารางที่ 4.3 การแปลงตำแหน่งขอบของวัตถุเป็นจุดในพิกัด 2 มิติ

วัตถุที่ใช้ทดลอง	จำนวนจุดเลเซอร์ใน 1 ระนาบ	ค่าความผิดพลาด (mm.)
ทรงกระบอกขนาด 60 x 85 mm.	20	-1.7 ถึง +1.3
ทรงกระบอกขนาด 60 x 85 mm.	30	-1.2 ถึง +1.6
กล่องสี่เหลี่ยมขนาด 52x84x62 mm.	30	-0.5 ถึง +1.9
กล่องสี่เหลี่ยมขนาด 52x84x62 mm.	40	-1.5 ถึง +1.2



รูปที่ 4.7 การวัดขนาดตัวอย่างทรงกระบอกและแปลงเป็นจุดในพิกัด 2 มิติ ของทุกระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

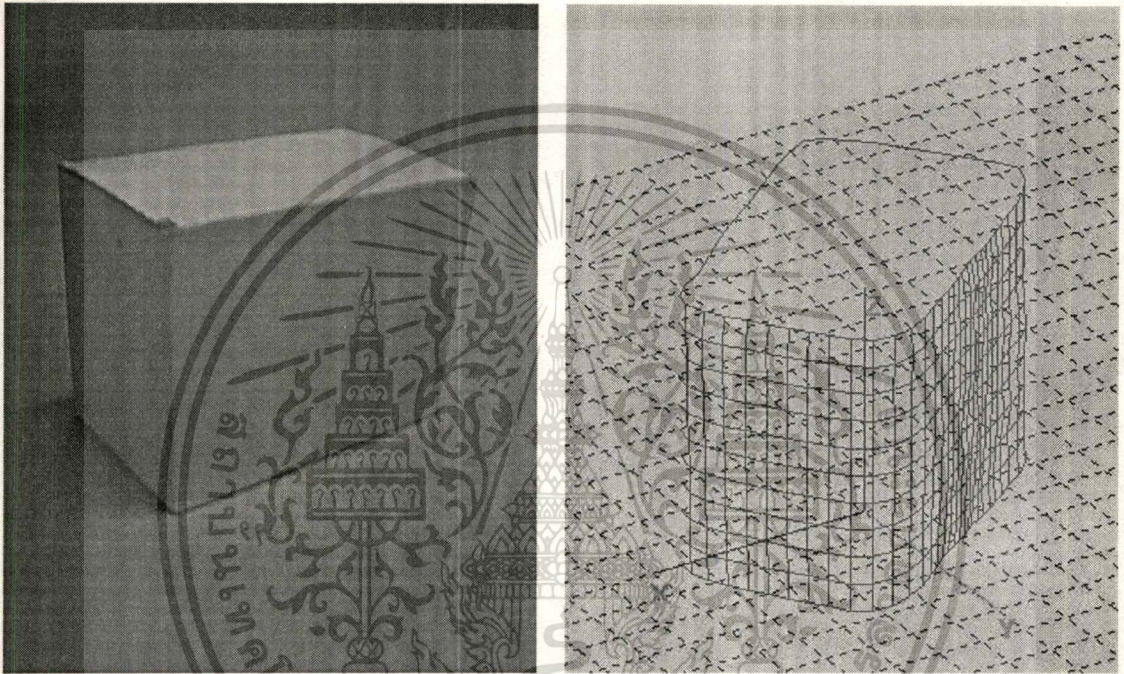


รูปที่ 4.8 การวัดขนาดตัวอย่างกล่องสี่เหลี่ยมและแปลงเป็นจุดในพิกัด 2 มิติ ของทุกระนาบ

จากการทดลองพบว่าค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการแปลงตำแหน่งขอบของวัตถุเป็นจุดในพิกัด 2 มิติ มีค่าสูง เนื่องจากโครงสร้างของเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ มีค่าความผิดพลาดสูงในการหมุนฐานวางวัตถุ

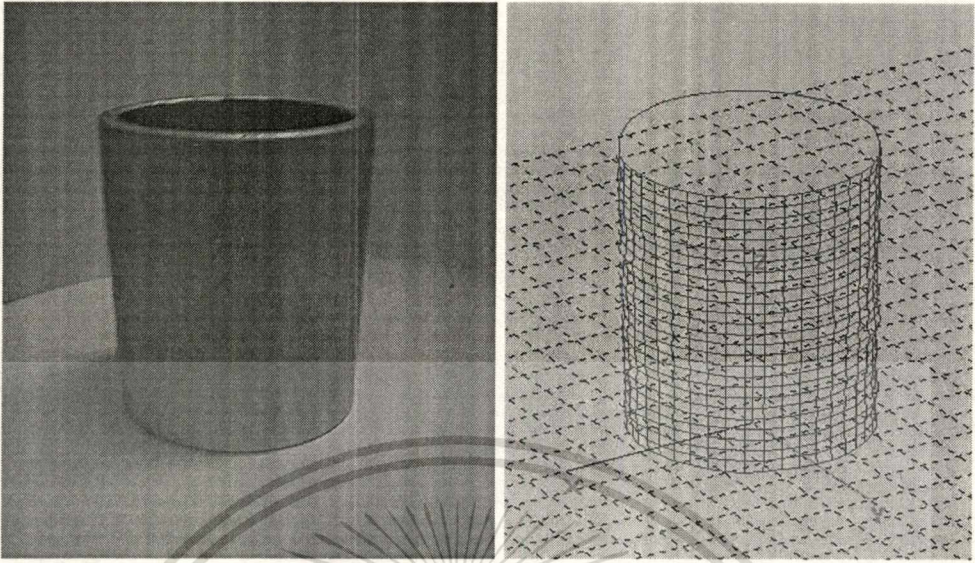
4.5 การทดลองวัดขนาดและสร้างแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ

การทดลองวัดขนาดและสร้างแบบจำลองวัตถุแบบ 3 มิติ สามารถทำการแสดงผลได้ในโปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยสามารถทำการซ่อนพื้นผิวที่ไม่สามารถมองเห็นได้ (Hidden Face Removal) ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพ



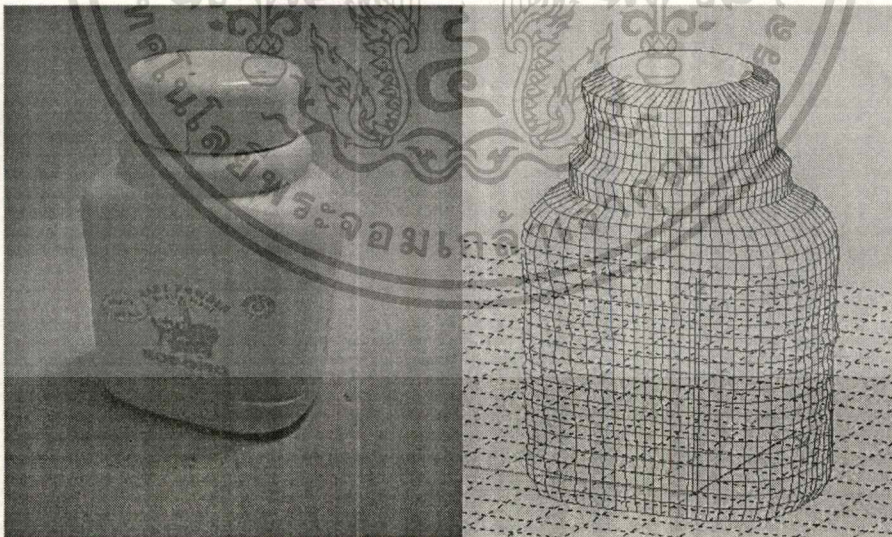
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบการวัดขนาดของกล่องสี่เหลี่ยม

จากรูปที่ 4.9 การวัดขนาดของกล่องสี่เหลี่ยมขนาด 52x84x62 mm. ซึ่งใช้จำนวนจุดเลเซอร์ 30 จุดต่อ 1 ระนาบ และมีระยะระหว่างระนาบ 6 mm. โดยใช้เวลาในการวัดประมาณ 11 นาที พบว่าความสูงแบบจำลองวัตถุ 3 มิติมีค่า 60 mm.



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบการวัดขนาดของทรงกระบอก

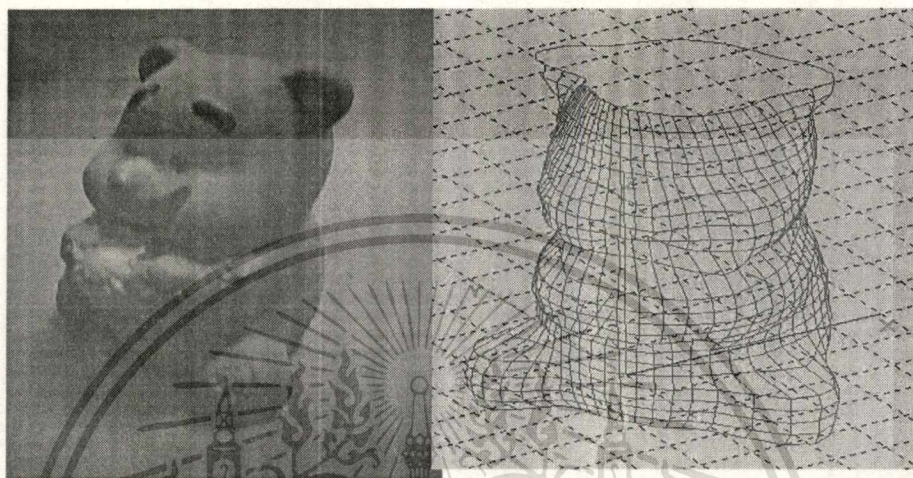
จากรูปที่ 4.10 การวัดขนาดของทรงกระบอกขนาด 50 x 80 mm. ซึ่งใช้จำนวนจุดเลเซอร์ 30 จุดต่อ 1 ระบาย และระยะระหว่างระบาย 3 mm. ใช้เวลาในการวัดประมาณ 20 นาที โดยความสูงที่ได้จากแบบจำลองวัด 3 มิติ มีค่า 78 mm.



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการวัดขนาดของกระป๋องแป้งขนาดเล็ก

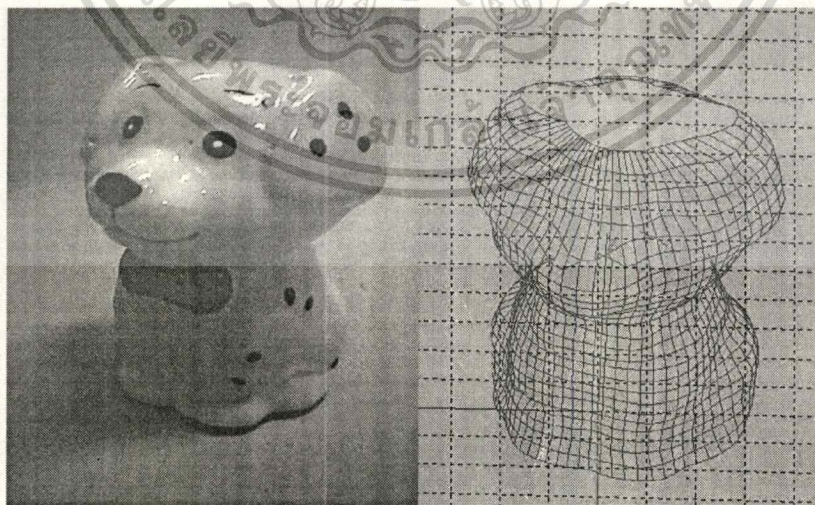
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 การวัดขนาดของกระป๋องแป้งขนาดเล็กสูง 50 mm. ซึ่งใช้จำนวนจุดเลขเซอร์ 30 จุดต่อ 1 ระนาบ และระยะระหว่างระนาบ 1.5 mm. โดยใช้เวลาในการวัดประมาณ 21 นาที โดยความสูงที่ได้จากแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ มีค่า 49.5 mm.



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบการวัดขนาดของตุ๊กตาดำหมี

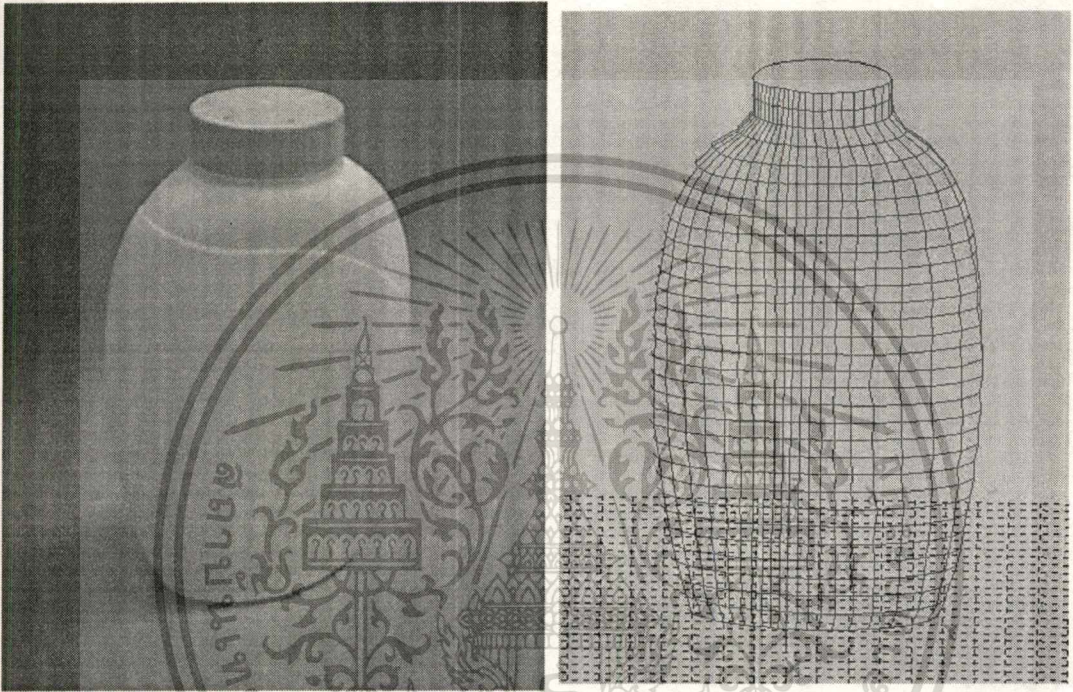
จากรูปที่ 4.12 การวัดขนาดของตุ๊กตาดำหมีสูง 74 mm. ซึ่งใช้จำนวนจุดเลขเซอร์ 30 จุดต่อ 1 ระนาบ และระยะระหว่างระนาบ 3 mm. โดยใช้เวลาในการวัดประมาณ 18 นาที โดยความสูงที่ได้จากแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ มีค่า 72 mm.



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบการวัดขนาดของตุ๊กตาสุนัข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 การวัดขนาดของตุ้กดานสูง 86.5 mm. ซึ่งใช้จำนวนจุดเลเซอร์ 30 จุดต่อ 1 ระบาย และระยะระหว่างระบาย 3 mm. โดยใช้เวลาในการวัดประมาณ 23 นาที โดยความสูงที่ได้จากแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ มีค่า 84 mm.



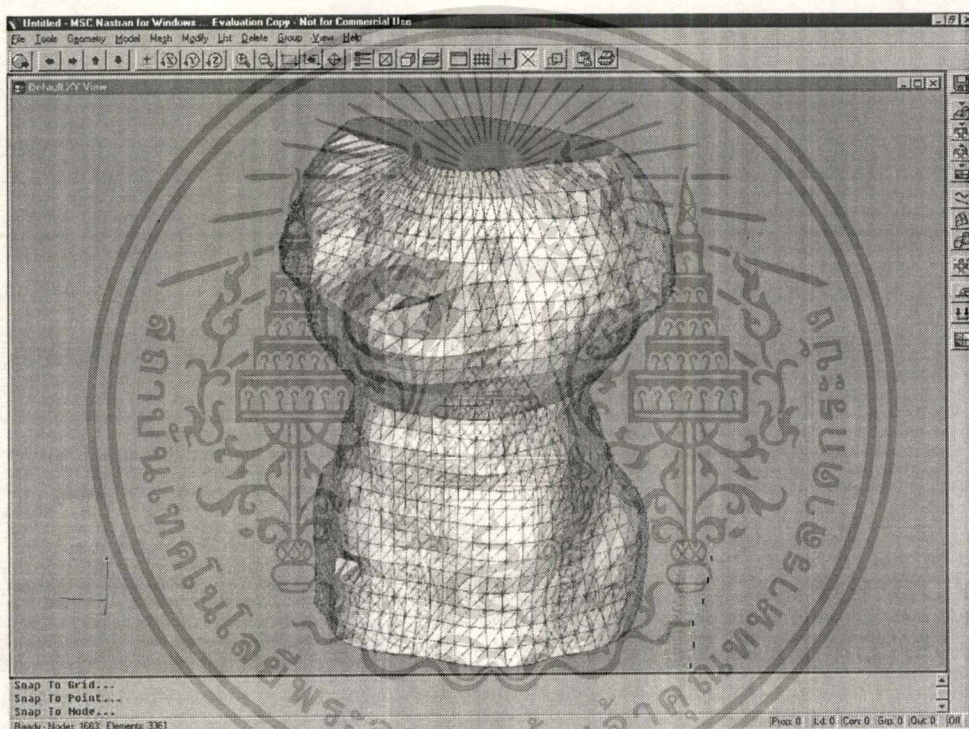
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบการวัดขนาดของกระป๋องแป้งขนาดใหญ่

จากรูปที่ 4.14 การวัดขนาดของกระป๋องแป้งขนาดใหญ่สูง 193.5 mm. ซึ่งใช้จำนวนจุดเลเซอร์ 20 จุดต่อ 1 ระบาย และระยะระหว่างระบาย 6 mm. โดยใช้เวลาในการวัดประมาณ 18 นาที โดยความสูงที่ได้จากแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ มีค่า 192 mm.

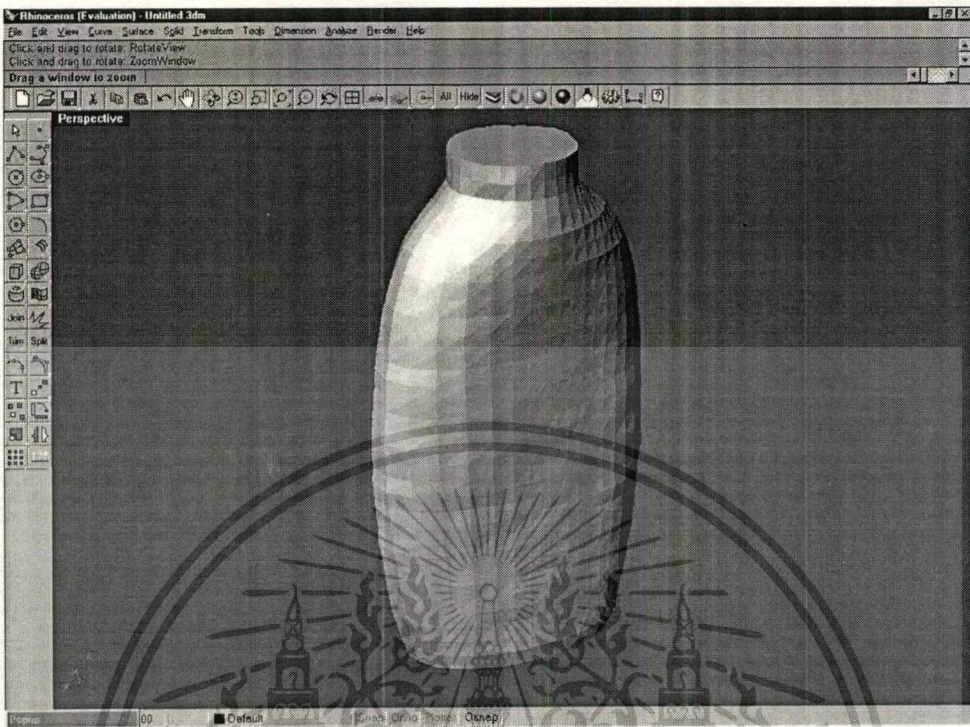
ผลการทดลองการวัดขนาดของวัตถุพบว่าความสูงของวัตถุที่ได้จากการวัดซึ่งแสดงในแบบจำลองวัตถุ 3 มิติ มีค่าน้อยกว่าขนาดวัตถุจริง โดยจะมีค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วงระยะระหว่างระบายที่ทำการวัด เนื่องจากโปรแกรมไม่ได้ออกแบบไว้สำหรับการหาความสูงจริงและ โครงสร้างของเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ มีความละเอียดน้อยเนื่องจากไม่ได้ใช้ Ball Screw ในการขับเคลื่อนชุดวัดตำแหน่งวัตถุ ทำให้การเคลื่อนขึ้น-ลง ของชุดวัดมีค่าความผิดพลาดสูง

4.6 การทดลองส่งข้อมูลในรูปแบบ STL File

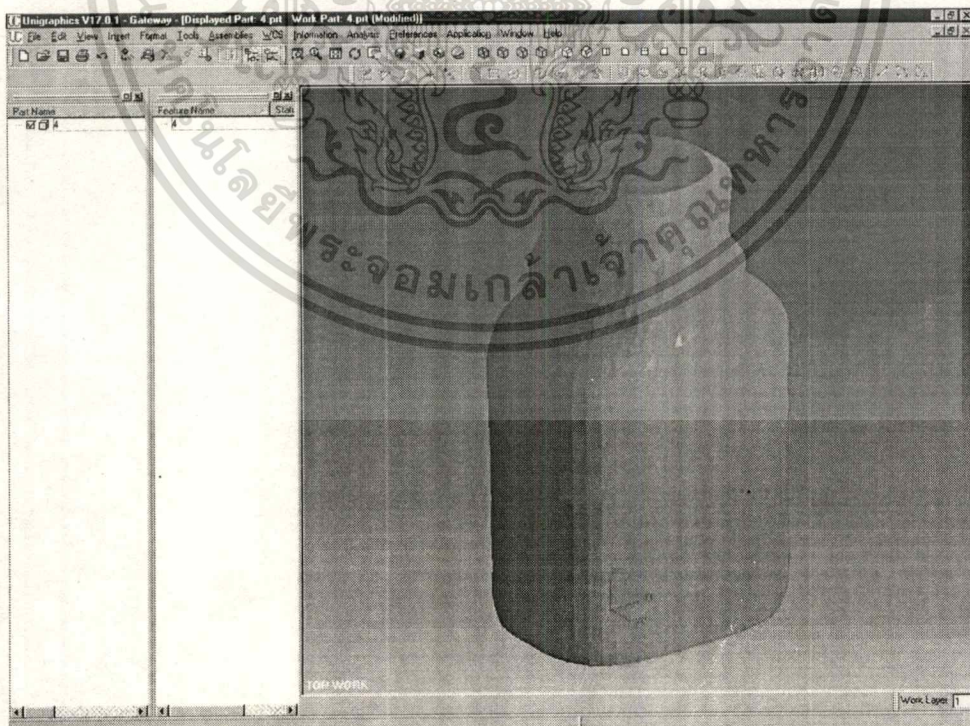
การส่งข้อมูลโดยการแปลงข้อมูลเป็นรูปแบบ STL File ซึ่งสามารถทำการส่งข้อมูลให้โปรแกรมออกแบบทางวิศวกรรมได้ ซึ่งสามารถทำการเปิดข้อมูลด้วยโปรแกรม MCS.Nastran Version 4.6 ,Rhinoceros 1.1 และ Unigraphics Version 17.0 ได้ดังรูปที่ 4.15 , 4.16 และ 4.17



รูปที่ 4.15 การเปิดข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม MCS. Nastran Version 4.6



รูปที่ 4.16 การเปิดข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม Rhinoceros 1.1



รูปที่ 4.17 การเปิดข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยใช้โปรแกรม Unigraphics Version 17.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองสามารถสรุปปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของสแกนเนอร์ 3 มิติ ได้ดังนี้

5.1 วัตถุที่นำมาใช้ทดลอง

วัตถุที่นำมาใช้ทดลองมีผลโดยตรงต่อความผิดพลาดของการวัด ใน 2 ลักษณะได้แก่

5.1.1 ความแตกต่างของสี

วัตถุที่นำมาใช้ทดสอบ ถ้ามีความแตกต่างของสีมาก เช่น พื้นทั่วไปสีเหลืองและมีจุดสีดำ การทำการวัดจะพบความผิดพลาดเกิดขึ้นมาบริเวณจุดสีดำ ซึ่งสามารถทำการแก้ไขได้โดยการทำให้วัตถุเป็นสีพื้นเพียงสีเดียว และต้องไม่เป็นสีที่ดูคล้ำจนแสงสีแดงได้ดี เช่น สีเขียวเข้ม หรือสีดำ

5.1.2 ความเอียงออกของวัตถุ

วัตถุที่มีพื้นผิวลาดเอียงออก โดยมีมุมเอียงออกจากแนวตั้งของวัตถุจะส่งผลต่อการจับภาพ เนื่องจากขอบของวัตถุจะบังตำแหน่งของเลเซอร์ที่ตกกระทบวัตถุ ทำให้ไม่สามารถจับภาพของเลเซอร์ได้ การแก้ไขอาจจะทำได้โดยการปรับมุมเอียงระหว่างกล้องดิจิทัลและเลเซอร์ หรือเปลี่ยนรูปแบบของการติดตั้งกล้องและเลเซอร์

5.2 โครงสร้างของเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ

โครงสร้างหลัก 3 ส่วน ที่มีผลต่อความผิดพลาดของการวัด ได้แก่

5.2.1 ชุดเลเซอร์

ชุดทดลองสแกนเนอร์ 3 มิติ ที่จัดทำขึ้นใช้เลเซอร์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจุดเลเซอร์ประมาณ 2 mm. ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีความเที่ยงตรงของเลเซอร์ไม่เพียงพอ เนื่องจากขนาดของเลเซอร์มีการเปลี่ยนแปลงที่ระยะต่าง ๆ ที่เลเซอร์ตกกระทบวัตถุ และความเข้มแสงของเลเซอร์ ไม่มีความสม่ำเสมอ ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ส่งผลทำให้เกิดความผิดพลาด ดังนั้นการใช้เลเซอร์ที่มีขนาดจุดเล็กลงและมีประสิทธิภาพจะลดความผิดพลาดได้ แต่ราคาสูงมาก

5.2.2 กล้องดิจิทัล

กล้องดิจิทัลเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผล ต่อความแม่นยำ และความถูกต้องทางการวัด โดยใช้สแกนเนอร์ 3 มิติ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ต้องการความละเอียดสูง ดังนั้นความละเอียดความแม่นยำ และความถูกต้องของกล้องดิจิทัล จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ชุดทดลองสแกนเนอร์ 3 มิติที่จัดทำขึ้นใช้กล้องดิจิทัลที่มีความละเอียด 512 x 582 Pixel ซึ่งมีความละเอียดน้อยมาก ดังนั้นการใช้กล้องดิจิทัลที่มีความละเอียดมากขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น จะลดความผิดพลาดลงได้ แต่ราคาสูงมาก

5.2.3 โครงสร้างของสแกนเนอร์ 3 มิติ

เนื่องจากสแกนเนอร์ 3 มิติ เป็นเครื่องมือวัดที่ต้องการความละเอียดสูง ดังนั้นขนาดของชิ้นส่วน การประกอบโครงสร้าง รวมทั้งกลไกการเคลื่อนที่ของสแกนเนอร์ 3 มิติ จะต้องการความละเอียดและความถูกต้องสูงซึ่งรวมถึงอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่นำมาประกอบการใช้งาน จะต้องมีความละเอียด ความแม่นยำ และความถูกต้องที่ดีเช่นกัน

5.3 โปรแกรม

จากการทดลองพบว่า การวัดขนาดวัตถุขนาด 52x84x62 mm. จะใช้เวลาประมาณ 11 นาที ในการวัดขนาดที่ความละเอียด 30 จุด ต่อ 1 ระนาบ ระยะระหว่างระนาบ 6 mm. โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ Pentium 450 MHz

ดังนั้นการออกแบบโปรแกรมที่ดี รวมทั้งการประยุกต์ใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ จะช่วยให้สแกนเนอร์ 3 มิติ ทำงานได้เร็วขึ้นอีกทั้งยังสามารถทำงานได้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

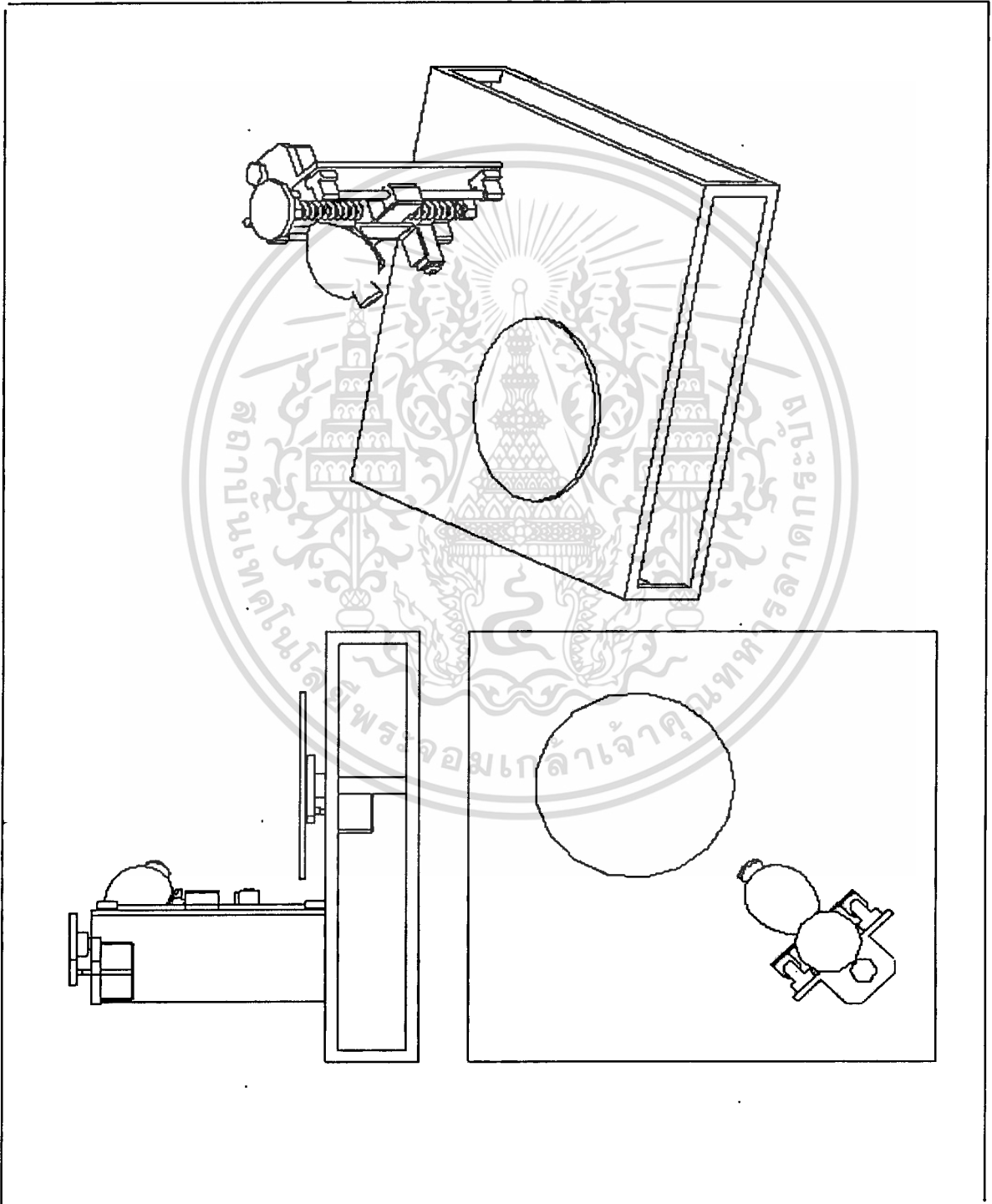
5.4 เทคนิคการหาความสูงของชิ้นงาน

เนื่องจากการออกแบบและพัฒนาสแกนเนอร์ 3 มิติ โดยใช้หลักการวัดขนาดโดยการเลื่อนความสูงเป็นขั้น ๆ ตามระนาบที่แบ่งไว้จะทำให้การวัดขนาดไม่สามารถหาความสูงจริงของวัตถุได้ ดังนั้นการพัฒนาเทคนิคของโปรแกรมในส่วนของ การหาขนาดความสูงจริงของวัตถุเพื่อใช้หาค่าความสูงจริงของวัตถุจะเป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการวัดของสแกนเนอร์ 3 มิติ เพื่อให้แบบจำลองวัตถุมีความถูกต้องมากขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] Gou-Jen , Chung-Chang Wang and S.H. Frank Dhuang “ REVERSE ENGINEERING OF SCULPTURED SURFACE BY FOUR_AXIS NON-CONTACTING SCANNING” Int J Adv Manuf Technol (1999)
- [2] Nunzio Alberlo Borghese , Giacarlo Ferrigno Guido Baroni and Antonio Pedotu “AUTO SCAN : A FLEXIBLE AND PORTABLE 3D SCANNER “ Computer Graphic I/O Device May/June 1998
- [3] Michael Petrov , Andrey Talapov and Timothy Robertron “ OPTICAL 3D DIGITIZER : BRING LIFE TO THE VIRTUAL WORLD “ IEEE May/June 1998
- [4] Ping liang “A NEW TRANSFORM FOR CURVE DETECTION “ IEEE 1990
- [5] Shui-Shun Lin , Paul Varghese , Chen Chuck Zhang and H.P. Ben Wang “ A COMPUTATIVE ANALYSYS OF CMM FORM-FITTING ALGORITHM” 1995 American Society of Mechanical Engineerings
- [6] Rod Stephens , “VISUAL BASIC GRAPHIC PROGRAMMING” , Jonn Wilney & Sons Inc. ,1997
- [7] WWW.NVISION3D.COM
- [8] WWW.DIGIBOTICS.COM/3DIGITZING.HTML
- [9] WWW.MINOLTA.COM
- [10] WWW.3DSCANNER.COM

ภาคผนวก ก.
แบบเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

Proceedings of the 2001 IE Network National Conference

Ubonratchthani, Thailand

October 25 – 26, 2001

Organized by

King Mongkut's Institute of Technology

North Bangkok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและการพัฒนา สแกนเนอร์ 3 มิติ
A Design and Development of 3D Scanner

เอกภูมิ ฤกษ์พัฒนกุล สรรพสิทธิ์ สัมมนวรรค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

โทรศัพท์ (02) 7390653 E-mail : ekkaphoom_tha@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการวิจัยและพัฒนาด้านการวัดทางอุตสาหกรรม มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การวัดขนาดที่ต้องการรูปทรงของชิ้นงานที่ถูกต้องและแม่นยำ

อย่างไรก็ตาม เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดชิ้นงานยังคงมีขีดจำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับชิ้นงานที่มีรูปทรงซับซ้อน ดังนั้นบทความนี้ จึงเป็นการนำเสนอแนวทางในการออกแบบและพัฒนาเครื่องสแกนเนอร์ 3 มิติ เพื่อช่วยในการวัดขนาดและรูปทรงของชิ้นงาน และคำนวณหาพิกัดตำแหน่งของวัตถุเพื่อแบ่งกลุ่มของส่วนโค้ง รวมทั้งการออกแบบพัฒนาอัลกอริทึม ที่ใช้ในการคำนวณส่วนโค้งที่มีประสิทธิภาพ โดยแนวทางทั้งหมดนี้เป็นการปรับปรุงสแกนเนอร์ 3 มิติ ให้สามารถทำงานได้ในระบบเรดาร์ที่กว้างมากยิ่งขึ้น และเหมาะสมกับรูปทรงที่ซับซ้อน

ABSTRACT

Currently , research and development of industrial measurement is very important especially for the size and profile measurement of workpieces which requires both accuracy and precision

However , equipments and tools for measuring workpieces still have limitations especially for the complex workpieces. Thus, the main content of this paper is to design and develop 3D SCANNER that can be able to be operated in the wider scope by measuring the position of workpiece from above, scanning the cross-section of workpiece and calculate position in term of position coordinate system of the surface of workpiece. The suitable algorithm for curve fitting is designed and developed. These are the concept for development of 3D SCANNER that can perform in the wider range with the acceptable accuracy and precision

Keywords: profile measurement , workpieces , 3D Scanner

1. บทนำ

เทคโนโลยีการประยุกต์ใช้งาน CAD/CAM ได้มีการพัฒนามาตั้งแต่ปี 1990 โดยในปัจจุบันได้มีความสำคัญเป็นอย่างมากในกระบวนการผลิตและการออกแบบ ซึ่งในโปรแกรม CAD/CAM ต่างๆ จะต้องอาศัยการแปลงข้อมูลจากวัตถุเสมือน 3 มิติ (3D Modeling) เป็นข้อมูลที่สามารถสั่งงานเครื่องจักรอัตโนมัติได้ ดังนั้นในกระบวนการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต จึงต้องอาศัยขั้นตอนในการสร้างวัตถุเสมือน 3 มิติ

แต่อย่างไรก็ตามในสถานการณ์ปัจจุบันที่มีการแข่งขันทางการตลาดอย่างรุนแรง ประกอบการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว กระบวนการในการออกแบบพัฒนาและกระบวนการผลิตมุ่งเน้นที่จะตอบสนองความต้องการอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดการพัฒนาที่ทำการสร้างต้นแบบขึ้นเพื่อทดสอบ กระบวนการผลิตที่ไม่ต้องอาศัยข้อมูลหรือแบบทางวิศวกรรม ทำให้เกิดกระบวนการวิศวกรรมย้อนกลับ (Reverse Engineering) เกิดขึ้น ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำการคัดลอกลักษณะรูปร่างและขนาดของวัตถุต้นแบบ

กระบวนการวิศวกรรมย้อนกลับมีจุดประสงค์เพื่อมุ่งเน้นการลดขั้นตอนในการวัดขนาดของวัตถุ การสร้างวัตถุเสมือนและการส่งข้อมูลให้กระบวนการผลิต โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน [1] ได้ดังนี้

- 1.1 กระบวนการวัดขนาดของวัตถุ
- 1.2 การจัดการกับข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องมือวัด
- 1.3 การสร้างวัตถุเสมือน 3 มิติ
- 1.4 การสร้างโปรแกรมหรือคำสั่งที่สามารถสั่งงานเครื่องจักรอัตโนมัติได้

ในกระบวนการวัดขนาดของวัตถุโดยทั่วไปจะใช้เครื่องมือวัดประเภทสัมผัสวัตถุ (Contact Measuring Machines) ซึ่งจะมีข้อจำกัดในการวัดขนาดของวัตถุที่มีความลาดเอียงมาก และ วัตถุที่มีความยืดหยุ่น ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเครื่องมือวัดประเภทไม่สัมผัส (Non Contact Measuring Machines) โดยในปัจจุบันได้มีพัฒนาและนำไปใช้ประโยชน์ในงานต่างๆ มากมาย ทั้งในงานอุตสาหกรรม งานทางการแพทย์ และงานภาพยนตร์ เป็นต้น สแกนเนอร์ 3 มิติ เป็นเครื่องมือวัดที่ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาให้สามารถใช้งานได้ในขอบเขตที่กว้างมากขึ้น เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่สามารถคัดลอกวัตถุต้นแบบ ออกมาเป็นวัตถุเสมือน 3 มิติที่เสมือนจริงทั้งรูปร่างและขนาด [2]

2. หลักการทำงานและการออกแบบสแกนเนอร์ 3 มิติ

สแกนเนอร์ 3 มิติ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการคัดลอกวัตถุต้นแบบโดยใช้หลักการในการหาพิกัดตำแหน่งขอบของวัตถุต้นแบบ โดยใช้การจับภาพตำแหน่งขอบของวัตถุ แล้วทำการสร้างวัตถุเสมือน 3 มิติขึ้น

2.1 หลักการทำงานสแกนเนอร์สามมิติ

2.1.1 แบ่งวัตถุออกเป็นชั้นๆ ตามหน้าตัดขวางของวัตถุ ซึ่งจะทำให้เกิดระนาบ 2 มิติ เกิดขึ้นจำนวนมาก

2.2.2 หาพิกัดตำแหน่งขอบของวัตถุทีละระนาบ โดยการหาตำแหน่งที่เลเซอร์ตกกระทบกับวัตถุ แล้วทำการคำนวณกลับเป็นตำแหน่งขอบของวัตถุในพิกัด 2 มิติ

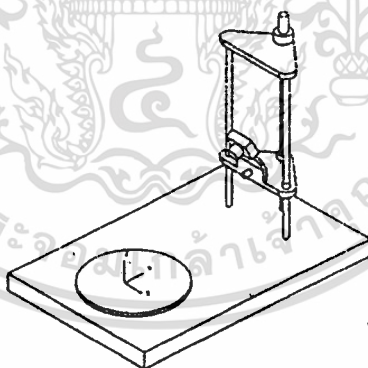
2.2.3 สร้างสมการเส้นขอบของวัตถุแต่ละระนาบ โดยใช้ข้อมูลพิกัดตำแหน่งขอบของวัตถุ

2.2.4 สร้างวัตถุเสมือน 3 มิติ ที่มีความถูกต้องทั้งรูปร่างและขนาด

2.2 โครงสร้างของสแกนเนอร์สามมิติ

2.2.1 ส่วนฐานสำหรับวางวัตถุที่ทำการสแกน จะต้องสามารถหมุนได้โดยรอบ โดยจะหมุนเพียงทิศทางเดียวเพื่อป้องกันการผิดพลาดของการหมุนกลับไปกลับมา การวัดตำแหน่งขอบของวัตถุในแต่ละระนาบ ส่วนฐานจะหมุน 1 รอบ

2.2.2 ส่วนฐานสำหรับยึดเลเซอร์และกล้องดิจิตอล จะต้องสามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้งได้ โดยการเคลื่อนที่ในแนวตั้งในแต่ละครั้งจะมีระยะเท่ากับระยะห่างของแต่ละระนาบที่ทำการวัดตำแหน่งขอบของวัตถุ และในการเคลื่อนที่จะเคลื่อนที่ในทิศทางขึ้นเพียงทิศทางเดียว เพื่อป้องกันการผิดพลาด ที่จะเกิดจากการเคลื่อนที่กลับไปกลับมา



รูปที่ 1 โครงสร้างของสแกนเนอร์ 3 มิติ

2.2.3 ส่วนยึดเลเซอร์และกล้องดิจิตอลจะทำการยึดเลเซอร์และกล้องดิจิตอลให้ทำมุมในแนวตั้งเพื่อให้สามารถจับภาพขอบของวัตถุในขอบเขตที่ดีกว่าการทำมุมในแนวระดับ

3. การหาค่าแห่งขอบของวัตถุและการแปลงพิกัด 2 มิติ

การหาตำแหน่งขอบของวัตถุและการแปลงเป็นพิกัด 2 มิติ จะทำการหาค่าแห่งพิกเซลของจุดเลเซอร์ที่ตกกระทบวัตถุ แล้วนำมาคำนวณเพื่อแปลงเป็นพิกัด 2 มิติ ซึ่งจะต้องพิจารณาลักษณะการติดตั้งกล้องและเลเซอร์และมุมในการหมุนวัตถุในแต่ละครั้ง

3.1 การหาค่าแห่งจุดภายในกลุ่มจุดเลเซอร์

ตำแหน่งของเลเซอร์ที่ตกกระทบวัตถุจะเป็นกลุ่มจุดของเลเซอร์ แต่ในการคำนวณเพื่อหาสมการขอบของวัตถุหรือการนำตำแหน่งเลเซอร์ไปใช้งาน จะใช้ตำแหน่งเลเซอร์เพียงจุดเดียวเท่านั้น จึงต้องทำการหาค่าแห่งของเลเซอร์จากกลุ่มจุดของเลเซอร์ โดยใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักของกลุ่มจุดเลเซอร์ ทำให้ลดความผิดพลาด [3]

$$G[i, j] = e^{-\frac{(i^2 + j^2)}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

$$H[i, j] = \frac{P[i, j] \times G[i, j]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m G[i, j]} \quad (2)$$

$G[i, j]$	คือ	สมการถ่วงน้ำหนัก Gaussian Smoothing Filter ที่พิกเซล $[i, j]$ โดย
σ	คือ	Determines the width of Gaussian
$P[i, j]$	คือ	ตำแหน่งของพิกเซลที่เป็นจุดเลเซอร์
$H[i, j]$	คือ	ค่าแห่งของจุดเลเซอร์ที่ได้จากกลุ่มจุดเลเซอร์
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m G[i, j]$	คือ	ผลรวมของ Gaussian Weight Value

ตารางที่ 1 ค่า Gaussian Weight Value ของกลุ่มจุดขนาด 7 X 7 พิกเซล และค่า $\sigma^2 = 2$

[i, j]	-3	-2	-1	0	1	2	3
3	0.011	0.039	0.082	0.105	0.082	0.039	0.011
2	0.039	0.135	0.287	0.360	0.287	0.135	0.039
1	0.082	0.287	0.606	0.779	0.606	0.287	0.082
0	0.105	0.368	0.779	1.0	0.779	0.386	0.105
-1	0.082	0.287	0.606	0.779	0.606	0.287	0.082
-2	0.039	0.135	0.287	0.360	0.287	0.135	0.039
-3	0.011	0.039	0.082	0.105	0.082	0.039	0.011

3.2 ความสัมพันธ์ของระยะที่วัดได้กับขนาดพิกเซล

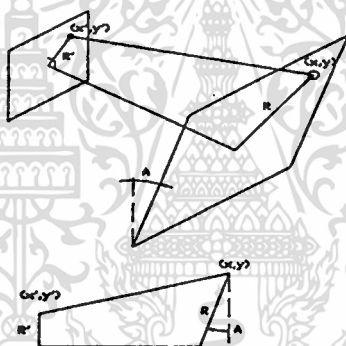
ลักษณะโดยทั่วไปของภาพถ่ายที่เกิดจากกล้องจะพบลักษณะขนาดที่วัดได้จริงต่อพิกเซลจะมีค่าไม่เท่ากันทุกจุดในภาพ (Perspective Projection) ซึ่งเกิดจากผลของและการวางระนาบที่ทำมุมกับตัวกล้อง [4] โดยที่ (x, y) , R เป็นตำแหน่งและขนาดที่วัดได้จากวัตถุ (x', y') , R' เป็นตำแหน่งและขนาดที่วัดได้จากภาพ

$$\frac{x'}{x} = \frac{y'}{y} = \frac{R'}{R \cos A} \quad (3)$$

(x, y) และ R คือ พิกัดและระยะที่วัดได้จากวัตถุจริง

A คือ มุมระหว่างระนาบของวัตถุและระนาบของภาพ

(x', y') และ R' คือ พิกัดและระยะที่วัดได้จากภาพ

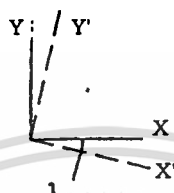


รูปที่ 2 ตำแหน่งจุดที่ได้จากภาพและตำแหน่งจริง

3.3 การแปลงตำแหน่งเป็นพิกัด 2 มิติ

การวัดตำแหน่งขอบของวัตถุ ค่าตำแหน่งพิกเซลที่ได้จะมีค่าเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งเนื่องจากการวางกล้องทำมุมกับเลเซอร์ในแนวตั้งและในการวัดตำแหน่งขอบของวัตถุจะมีการหมุนกล้องด้วยมุม (θ) ซึ่งจะสามารถทำการแปลงตำแหน่งของพิกเซลเป็นพิกัดใน 2 มิติได้โดยใช้สมการการหมุนพิกัด (Rotation Matrix) [5] สำหรับการหมุนวัตถุในทิศตามเข็มนาฬิกา

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \quad (4)$$



รูปที่ 3 ทิศทางการหมุนของทิกัดอ้างอิงวัตถุ

4. การสร้างเส้นขอบของวัตถุ

การใช้งานต่างๆ ที่อาศัยคอมพิวเตอร์กราฟฟิกส์ในการแสดงผล หรือกระบวนการ CAD/CAM ที่ต้องใช้เส้นโค้งที่มีความราบเรียบ ในการอธิบายทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัด โดยจะมีความซับซ้อนมากกว่า วงกลม หรือวงรี โดยใช้ Cubic Spline เพื่อให้สามารถแสดงผลได้ชัดเจน [6]

สแกนเนอร์ 3 มิติ เป็นอุปกรณ์อีกประเภทหนึ่งที่ต้องการอธิบายลักษณะขอบของวัตถุเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อลดความผิดพลาดของข้อมูลและนำเสนอแสดงผลของวัตถุที่ทำการวัดขนาด [6] ดังนั้นการหาสมการขอบของวัตถุจะมีข้อกำหนด ดังนี้

4.1 สมการที่ต่อเนื่องกัน จะต้องมีค่าเท่ากันที่จุดต่อ เพื่อให้เส้นโค้งต่อเนื่องกัน

$$a_{i-1}x_{i-1}^3 + b_{i-1}x_{i-1}^2 + c_{i-1}x_{i-1} + d_{i-1} = f_{i-1}(x_{i-1}) = f_i(x_{i-1}) = a_i x_{i-1}^3 + b_i x_{i-1}^2 + c_i x_{i-1} + d_i \quad (5)$$

4.2 สมการแรกและสมการสุดท้ายจะต้องผ่านจุดเริ่มต้น

4.3 อนุพันธ์อันดับที่ 1 ของสองสมการที่ต่อเนื่องกัน จะต้องมีค่าเท่ากันที่จุดต่อ ทำให้ความชันของเส้นโค้งที่จุดต่อเท่ากัน

$$f'_{(i-1)}(x_{i-1}) = f'_i(x_{i-1}) \quad (6)$$

4.4 อนุพันธ์อันดับที่ 2 ของสองสมการที่ต่อเนื่องกัน จะต้องมีค่าเท่ากันที่จุดต่อ ทำให้การเปลี่ยนแปลงความชันที่จุดต่อมีค่าเท่ากัน

$$f''_{(i-1)}(x_{i-1}) = f''_i(x_{i-1}) \quad (7)$$

5. การสร้างวัตถุเสมือน 3 มิติ

การสร้างวัตถุเสมือน 3 มิติ จะทำได้โดยการรับข้อมูลเส้นขอบของวัตถุและค่าความสูงของเส้นขอบของวัตถุตามระยะแนวตั้ง ซึ่งจะมีการสร้างวัตถุเสมือนในรูปแบบ STL Files ที่สามารถนำไปใช้งานในโปรแกรมเขียนแบบทางวิศวกรรม เช่น Auto CAD [7] โดยเป็นการแบ่งพื้นผิวของวัตถุออกเป็นสามเหลี่ยมย่อยๆ จำนวนมาก และอธิบายพื้นผิวย่อยนั้นด้วยเวกเตอร์ที่ตั้งฉากและพุ่งออกจากพื้นผิวและกลุ่มของจุดยอดของสามเหลี่ยม พื้นผิวของวัตถุที่ประกอบด้วยพื้นผิวย่อยๆ จะต้องประกอบด้วยพื้นผิวทุกด้านจึงจะกลายเป็นวัตถุเสมือน 3 มิติ ซึ่งเป็นรูปแบบของข้อมูลของวัตถุเสมือน 3 มิติ ในรูปแบบ STL File [8]

6. การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองทำการหาตำแหน่งของจุดเลเซอร์ที่ตกกระทบวัตถุทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 51 mm. โดยทำการทดลองเปลี่ยนจำนวนครั้งที่ทำการหาตำแหน่งขอบของวัตถุต่อการหมุนวัตถุหนึ่งรอบ เป็น 15 , 20 และ 30 จุดต่อรอบ หรือ หมุนวัตถุครั้งละ 24° , 13° และ 12° แล้วจึงหาตำแหน่งขอบของวัตถุ จากนั้นเปลี่ยนพิกัดของข้อมูลที่ได้เป็นพิกัด 2 มิติ เปลี่ยนขนาดของวัตถุจากจำนวนพิกเซลเป็นขนาดในหน่วยมิลลิเมตร จากนั้นสร้างการสมการขอบของวัตถุ

ตารางที่ 2 ผลการทดลองหาขนาดของวัตถุ

จำนวนจุดต่อรอบ	ขนาดวัตถุจริง (mm.)	ขนาดที่วัดได้มากที่สุด (mm.)	ขนาดที่วัดได้ น้อยที่สุด (mm.)	ค่าสัมบูรณ์ของความผิดพลาด
15	52	52.9	51.1	0.9
15	52	52.7	50	1.0
20	52	52.7	51.5	0.7
20	52	52.6	51.3	0.6
30	52	55.8	51.4	0.8
30	52	52.9	51.3	0.9

จากการทดลองในการหาขนาดของวัตถุเส้นผ่านศูนย์กลาง 52 mm. โดยการจับภาพจุดเลเซอร์พบว่าขนาดของวัตถุที่ได้จากการวัด จะอยู่ในช่วงความผิดพลาด ± 1 mm. โดยที่ขนาดของจุดเลเซอร์ที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 mm. โดยวัดที่ระนาบกึ่งกลางของฐานหมุนรองรับวัตถุ

7. สรุป

บทความนี้เป็นการนำเสนอแนวทางในการการออกแบบและพัฒนาสแกนเนอร์ 3 มิติ เพื่อจุดประสงค์ในการลดขั้นตอนในการวัดขนาดและการสร้างวัตถุเสมือนสามมิติ โดยใช้ขั้นตอนของการจับภาพตำแหน่งของเลเซอร์ที่ตกกระทบวัตถุแต่ละระนาบตามภาคตัดขวางของวัตถุ แล้วทำการแปลงเป็นพิกัด 2 มิติ จากนั้นทำการหาสมการที่อธิบายลักษณะขอบของวัตถุ สุดท้ายจึงทำการสร้างวัตถุเสมือนสามมิติขึ้น ในรูปแบบ STL file ซึ่งในการออกแบบพบว่าขนาดของจุดเลเซอร์ที่นำมาใช้งาน ความเที่ยงตรงและความละเอียดของกล้อง ตลอดจนความแม่นยำของกลไกต่างๆที่ใช้ และวิธีการที่ใช้ในการสร้างสมการขอบของวัตถุเหล่านี้ส่งผลต่อความแม่นยำของสแกนเนอร์ 3 มิติ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gou-Jen wang , Chunr-Chang and S.H. Frank Chuang , "Reverse Engineering of Sculptured Surfaces by Four-Axis Non-Contacting Scanning", Advanced Manufacturing Technology , pp 800-809 , 1999
- [2] Marcus Syn , " Reverse Engineering Triumphs " , Equipment News , pp 74-80 , May-Jun 2001
- [3] Ramesh Jain , Rangachar Vasturi and Brain G. Schemesh " Machine Vision " McGraw-Hill Internation edtion 1995
- [4] Oliver Faugeras ., Suphia Antipolis , "Three Dimensional Computer Vision " MIT , 1993
- [5] John J. Crig , " Introduction to Robotics Mechanics and Control " , McGraw-Hill International Edition , 1995
- [6] Bruce W..Mielke , " Integrates Computer Graphic " , West Publishing Company , 1991
- [7] Ibrahim Z. , " CAD/CAM Theory and Practice " , McGraw-Hill , 1991
- [8] www. nvision3d.com

ประวัติผู้เขียน

นายเอกภูมิ ถกลพัฒนกุล เกิดเมื่อวันที่ 26 กันยายน 2519 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปี พ.ศ. 2538 และปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ปี พ.ศ. 2542 การจัดทำวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งในการศึกษาระดับ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้