สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว

The Study of Rapid Prototype Machine

T042425

นายคมสัน ระวิวรรณ

Mr. Komsan Rawiwan

นายจิรพัฒน์ ฐานสันโดษ

Mr. Jiraphat Thansandose

นายนิพันธ์ บุญบันดาล

Mr. Nipan Boonbandarn

นายสุรศักดิ์ บงกชพรรณราย

Mr. Surasak Bongkotpannarai

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 42425
วัน, เดือน, ปี 28 มิถ. 2545

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว		
	The Study of Rapid Prototype Machine		
นักศึกษา	นายคมสัน ระวิวรรณ	รหัสประจำตัว	40010103
	นายจิรพัฒน์ ฐานสันโดษ	รหัสประจำตัว	40010130
	นายนิพันธ์ บุญบันดาล	รหัสประจำตัว	40010391
	นายสุรศักดิ์ บงกชพรรณราย	รหัสประจำตัว	40010910
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2543		

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(อ.พลชัย โชติปรายนกุล)

(อ.เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว
นักศึกษา	นาย คมสัน ระวิวรรณ
	นาย จิรพัฒน์ ฐานสันโดษ
	นาย นิพันธ์ บุญบันดาล
	นาย สุรศักดิ์ บงกชพรรณราย
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2543
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อาจารย์ พลชัย โชติปราชนกุล
	อาจารย์ เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์

บทคัดย่อ

การสร้างชิ้นงานต้นแบบ เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ใด ๆ ขึ้นมา เพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบโครงสร้าง หรือตรวจสอบทางเทคนิค การสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยการเพิ่มเนื้อชิ้นงาน และกระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototype ; RP) เป็นการรับข้อมูลโดยตรงจากคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design ; CAD) และทำงานร่วมกับกับคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided Manufacturing ; CAM) ในการสร้างชิ้นงาน 3 มิติได้ในระยะเวลาอันสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับการสร้างชิ้นงานต้นแบบแบบดั้งเดิม

รูปแบบการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการทำงานของ RP เพื่อทำความเข้าใจในด้านเทคนิค กระบวนการ รวมทั้งการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อ CAD/CAM ในรูปแบบของ RP และการสร้างเครื่องมือขึ้นมาใช้งาน โดยได้ทำการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ แบบ Fused Deposition Modelling (FDM) ที่เป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานที่ได้รับการออกแบบมาแล้วจาก CAD ให้เป็นชิ้นงาน 3 มิติ ที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The Study of Rapid Prototype Machine
Student	MR. KOMSAN RAWIWAN
	MR. JIRAPHAT THANSANDOSE
	MR. NIPAN BOONBANDARN
	MR. SURASAK BONGKOTPHANNARAI
Degree	Bachelor of Industrial Engineering
Year	2000
Advisor	MR. PHOLCHAI CHOTIPRAYANAKUL
	MR. EKAPOJ TANTRAPHIWAT

ABSTRACT

Before any products are on production. A prototype was made for shape inspection, technical specification and analyze. Rapid Prototypes (RP) are material increased technique. RP workpiece is produced by growing material to the required shape. We use Computer Aided Design (CAD) to build solid model and export to RP standard file. It's brought into Computer Aided Manufacturing (CAM) program that we made to build a 3D model by RP technique.

The main purpose of this thesis is studying about RP technique and develop to computer programming for connection CAD/CAM by RP. We selected to study Fused Deposition Modelling (FDM) technique and make the FDM machine for 3D prototype construction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็วฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำทุกคนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์พลชัย โชติปรายนกุล อาจารย์ที่ปรึกษา เป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่ในทุก ๆ ด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

ผศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำหรับการให้โอกาสในการศึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ความเอาใจใส่ กำลังใจ และทุกสิ่งทุกอย่างตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ เอกพจน์ ตันตราภิวัฒน์ สำหรับความช่วยเหลือในเรื่องของการทำงานด้าน Hardware และอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่าน

ดร. ตะวัน สุขน้อย ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในการศึกษาคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติก และขี้ผึ้งประเภทต่าง ๆ

เพื่อน ๆ น้อง ๆ ทุกคน สำหรับ กำลังใจ ความรัก ความผูกพันธ์ ที่สร้างกันมาตลอดระยะเวลา 4 ปีที่ผ่านมา และที่สำคัญที่สุดห้องภาคของเรา สำหรับที่อยู่ ที่ทำงาน ที่เล่น ที่คุย ที่หลับนอน และที่ที่ทำให้เราทุกคนได้มาเจอกัน

นาย คมสัน ระวิวรรณ
นาย จิรพัฒน์ ฐานสันโดษ
นาย นิพันธ์ บุญบันดาล
นาย สุรศักดิ์ บงกชพรรณราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย		I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		II
กิตติกรรมประกาศ		III
สารบัญ		IV
สารบัญภาพ		VI
สารบัญตาราง		IX
บทที่ 1	บทนำ	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 จุดมุ่งหมาย วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
	1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
	1.4 ข้อจำกัดของการศึกษา	2
บทที่ 2	หลักการ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
	2.1 กรรมวิธีการสร้างชิ้นงานต้นแบบ	3
	2.2 หลักการการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว	4
	2.3 รูปแบบการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว	5
	2.4 ประเภทของการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว	6
	2.5 Fused Deposition Modeling (FDM)	12
	2.6 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design ; CAD) และ คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided Manufacturing ; CAM)	13
	2.7 การสร้างภาพ 3 มิติบนคอมพิวเตอร์ (3D Computer Graphic)	14
	2.8 แบบจำลองของวัตถุ	18
	2.9 แบบจำลองสำหรับงาน Rapid Prototype	21
	2.10 องค์ประกอบชุดขับเคลื่อน	26
	2.11 การควบคุมการเคลื่อนที่โดย Linear Interpolation	29
	2.12 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer)	35
	2.13 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)	36
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการ	43
	3.1 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินการ	43
	3.2 แผนการทำงานและสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ FDM	43
	3.3 การศึกษาหาข้อมูล	45
	3.4 การออกแบบด้าน Hardware	46
	3.5 การออกแบบด้าน Software	51
	3.6 การจัดหาวัสดุที่จะนำมาใช้ในการทำโครงงาน	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การดำเนินการด้าน Hardware 53
3.8 การดำเนินการด้าน Software 62
3.9 การศึกษาสมบัติของวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงาน 63
3.10 การดำเนินการด้านวงจรควบคุมการทำงาน 66
บทที่ 4 ผลการดำเนินการ 67
4.1 ผลการดำเนินการด้าน Hardware 67
4.2 ผลการดำเนินการด้าน Software 73
4.3 ผลการดำเนินการด้านการขึ้นรูปชิ้นงาน 89
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการ 98
5.1 สรุปผลการดำเนินการด้าน Hardware 98
5.2 สรุปผลการดำเนินการด้าน Software 98
5.3 สรุปผลการดำเนินการด้านการขึ้นรูปชิ้นงาน 98
5.4 การเปรียบเทียบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่สร้างขึ้นกับที่มีจำหน่าย 100

บรรณานุกรม
ภาคผนวก ก ตารางเปรียบเทียบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบประเภทต่าง ๆ
ภาคผนวก ข แบบรายละเอียดเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น
ภาคผนวก ค แบบรายละเอียดเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบในการพัฒนาต่อไป
ภาคผนวก ง รายละเอียดโปรแกรม RP CAD/CAM
ประวัติผู้เขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ 1.1	การนำ Rapid Prototype ไปใช้ในกระบวนการผลิต	1
รูปที่ 2.1	องค์ประกอบหลัก การทำงานของระบบ Rapid Prototype	2
รูปที่ 2.2	การสร้างชิ้นงานจากวัสดุซ้อนกัน	5
รูปที่ 2.3	รูปแบบการขึ้นรูปชิ้นงานแบ่งตามการก่อตัวของวัสดุ	5
รูปที่ 2.4	รูปแบบการขึ้นรูปชิ้นงานแบ่งตามวิธีการสร้างรูปทรง	6
รูปที่ 2.5	อุปกรณ์และโครงสร้างของระบบ RP ที่ใช้เทคโนโลยี SLA	7
รูปที่ 2.6	อุปกรณ์และโครงสร้างของระบบ RP ที่ใช้เทคโนโลยี SLS	8
รูปที่ 2.7	อุปกรณ์และโครงสร้างของระบบ RP ที่ใช้เทคโนโลยี 3DP	9
รูปที่ 2.8	อุปกรณ์และโครงสร้างของระบบ RP ที่ใช้เทคโนโลยี BPM	10
รูปที่ 2.9	อุปกรณ์และโครงสร้างของระบบ RP ที่ใช้เทคโนโลยี LOM	11
รูปที่ 2.10	อุปกรณ์และโครงสร้างของระบบ RP ที่ใช้เทคโนโลยี FDM	12
รูปที่ 2.11	รูปแสดงการฉายภาพบนจอในพิกัด WCS (World Coordinate System)	15
รูปที่ 2.12	รูปแสดงลักษณะของมุมต่าง ๆ	15
รูปที่ 2.13	รูปแสดงการหมุนภาพไปในแนวแกนทั้ง 3 แกน คือ แกน XYZ	16
รูปที่ 2.14	แบบจำลองโครงข่ายของวัตถุจากโปรแกรม Mechanical Desktop	18
รูปที่ 2.15	แบบจำลองพื้นผิวของวัตถุจากโปรแกรม Mechanical Desktop	19
รูปที่ 2.16	แบบจำลองโซลิดของวัตถุจากโปรแกรม Mechanical Desktop	20
รูปที่ 2.17	ภาพแสดงการเปรียบเทียบแบบจำลอง จากโปรแกรม Mechanical Desktop	20
รูปที่ 2.18	การแปลงรูปทรงแบบจำลอง Solid l ของแฟ้มข้อมูล STL เป็นจำนวนระนาบของรูปสามเหลี่ยม	22
รูปที่ 2.19	รูปทรง Cubic ขนาด 100 หน่วย จากการเปิดโปรแกรม RP CAD/CAM	22
รูปที่ 2.20	การใช้ STL File ในกระบวนการ Rapid Prototype	25
รูปที่ 2.21	กระบวนการทำงานของการตัดชั้น (Slice Layer)	26
รูปที่ 2.22	Digital Approximation of a continuous function	30
รูปที่ 2.23	Schematic Diagram ของ DDA Integrator	31
รูปที่ 2.24	สัญลักษณ์ของ DDA Integrator	32
รูปที่ 2.25	Diagram ของ 2-D Interpolator	34
รูปที่ 3.1	แผนการดำเนินการ การศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ	44
รูปที่ 3.2	การออกแบบส่วน Hardware	46
รูปที่ 3.3	แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ส่วนโครงสร้างหลัก	46
รูปที่ 3.4	แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ส่วนฐานของเครื่อง และชุดขับเคลื่อนแกน XY	47
รูปที่ 3.5	แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ส่วนชุดขับเคลื่อนแกน Z	47
รูปที่ 3.6	แบบหัวฉีดขี้ผึ้ง แบบที่ 1 กระบอกสเตนเลส ใส่หัวฉีดทองเหลือง ถอดประกอบได้	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ แบบที่ 1 กระบอกสเตนเลส ใส่หัวฉีดทองเหลือง ถอดประกอบได้ 48
รูปที่ 3.8 แบบหัวฉีดขี้ผึ้ง แบบที่ 2 หัวฉีดอลูมิเนียม 49
รูปที่ 3.9 แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ แบบที่ 2 หัวฉีดอลูมิเนียม 49
รูปที่ 3.10 แบบหัวฉีดเทอร์โมพลาสติก 50
รูปที่ 3.11 แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ แบบที่ 3 หัวฉีดเทอร์โมพลาสติก 50
รูปที่ 3.12 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วน Software 51
รูปที่ 3.13 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมอุณหภูมิของอุปกรณ์ควบคุมความร้อน 52
รูปที่ 3.14 การจัดหาวัสดุที่จะนำมาใช้ในโครงงาน 52
รูปที่ 3.15 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน XY 54
รูปที่ 3.16 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน Z 55
รูปที่ 3.17 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน Z 56
รูปที่ 3.18 โครงสร้างทั่วไปของเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ 57
รูปที่ 3.19 อุปกรณ์กำเนิดความดันลม 58
รูปที่ 3.20 อุปกรณ์ควบคุมความดันลม 58
รูปที่ 3.21 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ 58
รูปที่ 3.22 ฝาเกลียว และหัวฉีดของหัวฉีดขี้ผึ้งแบบที่ 1 59
รูปที่ 3.23 อุปกรณ์ของหัวฉีดขี้ผึ้งแบบที่ 2 60
รูปที่ 3.24 อุปกรณ์หัวฉีดเทอร์โมพลาสติก 62
รูปที่ 3.25 ขี้ผึ้งคงตัว 63
รูปที่ 3.26 พาราฟิน 64
รูปที่ 3.27 การหาค่าจุดเดือด จุดหลอมเหลวของขี้ผึ้ง 64
รูปที่ 3.28 การหาค่าความหนืดของขี้ผึ้ง 65
รูปที่ 3.29 ลักษณะของเทอร์โมพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง 66
รูปที่ 4.1 โครงสร้างหลักของเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น 68
รูปที่ 4.2 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานขี้ผึ้ง แบบที่ 1 กระบอกสเตนเลสใส่หัวฉีดทองเหลืองถอดประกอบได้ 69
รูปที่ 4.3 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานขี้ผึ้ง แบบที่ 2 หัวฉีดอลูมิเนียม 70
รูปที่ 4.4 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานเทอร์โมพลาสติก 71
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ หัวฉีดขี้ผึ้ง และ หัวฉีดเทอร์โมพลาสติก 72
รูปที่ 4.6 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ 72
รูปที่ 4.7 รายละเอียดของโปรแกรม RP CAD/CAM ที่สร้างขึ้น 73
รูปที่ 4.8 โปรแกรม RP CAD/CAM ที่ทำการสร้างขึ้น การทำงานด้วยภาษาอังกฤษ 74
รูปที่ 4.9 โปรแกรม RP CAD/CAM ที่ทำการสร้างขึ้น การทำงานด้วยภาษาไทย 74
รูปที่ 4.10 ภาพที่ได้จากการสร้างในโปรแกรม 3D Studio MAX 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 การ Export File ในโปรแกรม 3D Studio MAX 76
รูปที่ 4.12 เลือกการบันทึกแฟ้มข้อมูล STL แบบ ASCII 76
รูปที่ 4.13 ส่วนของเมนูต่าง ๆ ที่ไม่สามารถใช้งานได้เมื่อยังไม่มีการเปิดแฟ้มข้อมูล 77
รูปที่ 4.14 โปรแกรมแสดงข้อความเตือนให้ Open File และคำสั่งที่ใช้ในการเปิดแฟ้มข้อมูล 77
รูปที่ 4.15 การเปิดแฟ้มข้อมูล STL 77
รูปที่ 4.16 ภาพที่ได้จากการนำเข้าแฟ้มข้อมูลในโปรแกรม RP CAD/CAM 78
รูปที่ 4.17 รายละเอียดต่าง ๆ ของแฟ้มข้อมูล ที่แสดงในโปรแกรม RP CAD/CAM 78
รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนมุมมองของภาพ 79
รูปที่ 4.19 ส่วนแสดงสถานะการหมุนมุมมองภาพในแต่ละแกน 79
รูปที่ 4.20 การหมุนมุมมองภาพในมุมมองต่าง ๆ กัน 80
รูปที่ 4.21 คำสั่งในการย่อ-ขยาย ขนาดของแบบจำลองชิ้นงาน 81
รูปที่ 4.22 ภาพแสดงการย่อขนาดของแบบจำลองขนาดต่าง ๆ กัน 81
รูปที่ 4.23 การเลื่อนตำแหน่งแบบจำลอง 82
รูปที่ 4.24 การเลื่อนตำแหน่งแบบจำลองไปในตำแหน่งต่าง ๆ กันบนโต๊ะทำงาน 82
รูปที่ 4.25 การ ย่อ-ขยาย ภาพในตำแหน่งที่ต้องการ 83
รูปที่ 4.26 ข้อมูล STL ของแฟ้มข้อมูล ที่ทำการเปิดขึ้น แสดงใน STL Dialog 83
รูปที่ 4.27 การเฉือนชิ้นงานในแต่ละชั้น 84
รูปที่ 4.28 การกำหนดความหนาในแต่ละชั้นของชิ้นงานที่จะทำการขึ้นรูป 88
รูปที่ 4.29 การกำหนดความละเอียดของการเดินหัวฉีดในการขึ้นรูปชิ้นงานที่แตกต่างกัน 88
รูปที่ 4.30 คำสั่งที่ใช้ในการดำเนินการขึ้นรูปชิ้นงาน 89
รูปที่ 4.31 ผลการทดลองคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกที่อัตราการป้อน 12 VDC 91
รูปที่ 4.32 ผลการทดลองคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกที่อัตราการป้อน 18 VDC 92
รูปที่ 4.33 ผลการทดลองคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกที่อัตราการป้อน 24 VDC 93
รูปที่ 4.34 การทดลองหัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานขี้ผึ้ง ทำจากสเตนเลส 94
รูปที่ 4.35 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานขี้ผึ้ง แบบที่ 2 เปรียบเทียบกับแบบที่ 1 95
รูปที่ 4.36 การทดลองการเดินหัวฉีดแบบ หัวฉีดอยู่เหนือจากโต๊ะทำงานเล็กน้อย บังคับการไหลของขี้ผึ้ง ด้วย ความดันลมจาก อุปกรณ์กำเนิดความดันลม และผลการฉีดขึ้นรูป 96
รูปที่ 4.37 การทดลองการเดินหัวฉีดแบบ หัวฉีดอยู่ใกล้กับโต๊ะทำงาน และให้การไหลของขี้ผึ้งเกิดจากความตึงผิว และผลการฉีดขึ้นรูป 97
รูปที่ 4.38 การทดลองการเดินหัวฉีดแบบ บริเวณปลายหัวฉีดมีลวดเสียบอยู่ เพื่อเป็นทางนำให้ขี้ผึ้งไหลออกมา และผลการฉีดขึ้นรูป
รูปที่ 4.39 การทดลองการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทอร์โมพลาสติก และผลการฉีดขึ้นรูป 97
รูปที่ 5.1 แบบหัวฉีดขี้ผึ้งสำหรับการพัฒนาต่อไป 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ Wave 27
ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ Two Phase 28
ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ Half Step 28
ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงสถานะ โครงสร้างโมเลกุล และวิธีการแปรรูปของพลาสติกในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ 39
ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงสถานะ โครงสร้างโมเลกุล ของ Partial Crystaline Thermoplastic 39
ตารางที่ 2.6 ตารางแสดงสถานะ โครงสร้างโมเลกุล ของ Thermosetting 40
ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ในชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน X 53
ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ในชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน Y 53
ตารางที่ 3.3 อุปกรณ์ในชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน Z 54
ตารางที่ 3.4 อุปกรณ์ในโครงสร้างทั่วไป 57
ตารางที่ 3.5 อุปกรณ์ในหัวฉีดขี้ผึ้งแบบที่ 1 กระบอกสเตนเลสใส่หัวฉีดทองเหลือง ถอดประกอบได้ 59
ตารางที่ 3.6 อุปกรณ์ในหัวฉีดขี้ผึ้งแบบที่ 2 60
ตารางที่ 3.7 อุปกรณ์ในหัวฉีดเทอร์โมพลาสติก 61
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาจุดหลอมเหลวของขี้ผึ้ง 89
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาค่าส่วนผสม อุณหภูมิ และความดันที่เหมาะสม 90
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกที่ อัตราการป้อน 12 VDC 91
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกที่ อัตราการป้อน 18 VDC 92
ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกที่ อัตราการป้อน 24 VDC 93
ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่สร้างขึ้น กับที่มีจำหน่าย 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

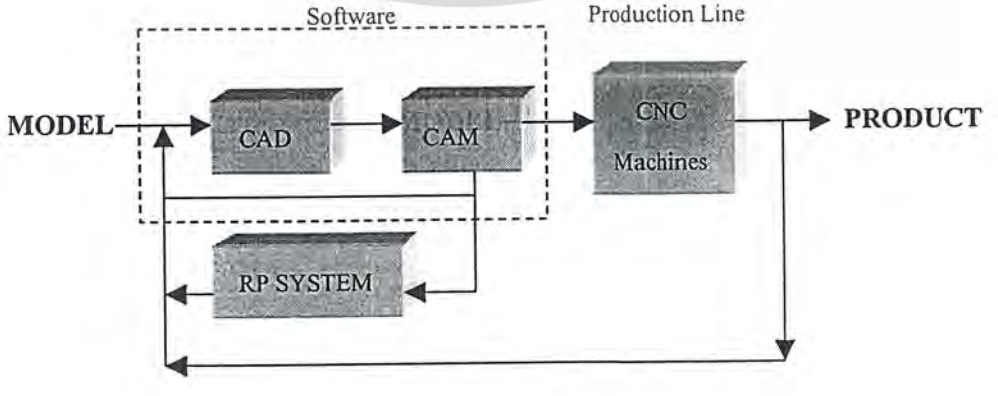
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ในการผลิตชิ้นงาน, สินค้า ขึ้นมา ขั้นตอนต่าง ๆ จะเริ่มต้นจากการวางแผน การกำหนด การออกแบบ ซึ่งอาจทำขึ้นหลายรูปแบบ เพื่อตัดสินใจเลือกแบบที่เหมาะสมที่สุด เพื่อนำไปทำการสร้างชิ้นงานต้นแบบขึ้นมาให้เห็นรูปร่างของชิ้นงานจริงที่จะทำการผลิต, ใช้ในการตัดสินใจ, ตรวจสอบทางเทคนิค, หรือวิเคราะห์สมบัติทางกล เป็นต้น กรรมวิธีการสร้างชิ้นงาน มีอยู่หลายแบบ แบบหนึ่งที่มีการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนของงานการขึ้นรูปทั่วไป สามารถแบ่งการขึ้นรูปออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

1. การตัดเนื้อออกให้เป็นรูป (Material Removal Process) ได้แก่
   - การใช้ Punch & Die เช่น Cutting, Trim, Notch
   - การใช้ Frame Cutting เช่น Touch Cutting, Plasma
2. การเพิ่มเนื้อให้ชิ้นงาน (Material Increase Process) ได้แก่
   - Foundry, Fabricate, Welding
   - Material Increase by Rapid Prototype

Rapid Prototype เป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ที่ได้ทำการออกแบบมาจาก CAD (Computer Aided Design) ขึ้นมาอย่างรวดเร็ว ที่สามารถนำไปสู่ชิ้นงานในลักษณะต่าง ๆ เพื่อกำจัดข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลา การเตรียมชิ้นงานเบื้องต้น การเตรียมเครื่องมือ ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบในลักษณะเดิม โดยหลักการทำงาน เป็นการขึ้นรูปชิ้นงาน หรือแบบ (model) โดยวิธีการแบ่งชิ้นส่วนนั้นออกเป็นชิ้นเรียบ (layer) ตามแนวนอนเป็นแผ่นบาง ๆ ขนานกัน เริ่มจากฐานไปยังส่วนยอดของชิ้นงาน ดังนั้น เมื่อนำชิ้นส่วนเหล่านั้นมาวางซ้อนทับกัน ก็สามารถสร้างขึ้นเป็นชิ้นงานตามต้องการได้ โดยชิ้นงานที่ได้จากเครื่อง RP ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบและแก้ไขก่อนส่งต่อไปยัง CAM (Computer Aided Manufacturing)ดังรูปที่ 1.1 การทำต้นแบบจะทำให้สูญเสียเวลาเพิ่มขึ้น แต่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการแก้ไขที่เกิดขึ้นในสายการผลิต



รูปที่ 1.1 การนำ Rapid Prototype ไปใช้ในกระบวนการผลิต [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 จุดมุ่งหมาย วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษา CAD / CAM ในรูปแบบการสร้างชิ้นงานแบบ Rapid Prototype

1.2.2 ศึกษาเทคนิคการทำงานของ Rapid Prototype แบบ FDM

1.2.3 ศึกษาคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติก และขี้ผึ้ง ที่สามารถนำมาใช้ในการทำงานของ Rapid Prototype แบบ FDM

1.2.4 ศึกษาการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเชื่อมต่อ CAD / CAM

1.2.5 ศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องมือขึ้นมาใช้งาน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เลือกการศึกษาการสร้างชิ้นงานของ Rapid Prototype แบบ FDM (Fused Deposition Modelling) ซึ่งเป็นการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยการฉีดขี้ผึ้ง หรือเทอร์โมพลาสติกขึ้นเป็นรูปของชิ้นงานทีละชั้น ๆ แล้วประกอบขึ้นเป็นรูปของชิ้นงานสำเร็จ เนื่องจากกระบวนการนี้สามารถนำไปทำต่อในขั้นตอนของการหล่อแบบขี้ผึ้งหาย (Loss Wax) ให้เป็นชิ้นงานโลหะต่อไป โดยแนวทางในการทำงาน เริ่มต้นจากการเลือกโปรแกรม CAD ที่ใช้ในการรับภาพชิ้นงานที่ได้รับการออกแบบมาแล้ว จากนั้นใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการเฉือนแบบจำลองออกเป็นชั้น ๆ แล้วนำไปสร้างเป็นภาพของแต่ละชั้น ตามความหนาที่ต้องการ เพื่อดูความเป็นไปได้ที่จะนำมาซ้อนเป็นชิ้นงานสำเร็จต่อไป ในส่วนของการสร้างชิ้นงาน จะเป็นการส่งข้อมูลแต่ละชั้นของแบบจำลองไปขับเคลื่อน Rapid Prototype Machine ในลักษณะการเคลื่อนที่ตามแกน X แกน Y โดยให้มีขนาดการเคลื่อนที่ในขอบเขต 5 x 5 เซนติเมตร และการเลื่อนของหัวฉีดในแนวความสูง เป็นระยะ 10 เซนติเมตร เครื่องที่สร้างจึงมีลักษณะการเคลื่อนที่ 3 แกน คือ XYZ และสามารถฉีดขึ้นรูปชิ้นงานขนาด 5 x 5 x 10 เซนติเมตร โดยประมาณ เพื่อให้สามารถขึ้นรูปชิ้นงานจำลองขนาดเล็กได้อย่างรวดเร็ว ในลักษณะชิ้นงานต้องมีฐานที่สามารถขึ้นรูปได้จากฐานใหญ่ ไปเล็ก โดยหัวฉีดจะทำการฉีดขี้ผึ้ง หรือเทอร์โมพลาสติกตามทิศทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X แกน Y ขึ้นเป็นชิ้นงานทีละชั้น ตามความหนาที่ต้องการ จนสำเร็จเป็นชิ้นงานสมบูรณ์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการ และทฤษฎี ที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรรมวิธีการสร้างชิ้นงานต้นแบบ [9]

2.1.1 กรรมวิธีพื้นฐานของการสร้างต้นแบบ

เป็นการปั้นขึ้นรูปทรงสามมิติ การตัดแผ่นกระดาษ พลาสติก แผ่นไม้ หรือโลหะ วางเรียงเป็นชั้น ๆ หรือนำชิ้นส่วนรูปทรงต่าง ๆ ประกอบเป็นชิ้นงานตามต้องการ โดยกรรมวิธีเหล่านี้ไม่ต้องพึ่งเทคโนโลยีชั้นสูงใด ๆ เพราะเป็นการอาศัยฝีมือแรงงานและความปราณีตในการตกแต่ง แต่ต้องใช้ระยะเวลานานในการผลิต มีความไม่เที่ยงตรงสูง และความไม่แน่นอนในการผลิตซ้ำ

2.1.2 กรรมวิธีระดับกลาง

เป็นการใช้คอมพิวเตอร์ และเครื่องจักรกลอุตสาหกรรม ได้แก่ เครื่องกลึง เครื่องเจาะ และที่สำคัญคือเครื่องกัดหรือมิลลิ่ง ควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซี แล้วใช้ฝีมือในการขัดผิวตกแต่ง และประกอบชิ้นส่วนปลีกย่อยตามต้องการ ข้อเสียของการใช้มิลลิ่งซีเอ็นซี คือ ความยุ่งยากในการเตรียมการ การเตรียมวัสดุ และอุปกรณ์ตัด และจับชิ้นงาน และอุปสรรคที่สำคัญสำหรับชิ้นงานที่มีความซับซ้อนมากคือ มีการจับชิ้นงานหลายขั้นตอนจึงมีโอกาสของความผิดพลาดสูง อุปสรรคในการทำชิ้นงานที่มีความบาง ๆ มาก เช่น การแตก ร้าว และหัก เนื่องจากปัญหาของการจับ และการตัดชิ้นงาน ถึงแม้เครื่องมิลลิ่งซีเอ็นซี 5 แกน ดูเหมือนว่าจะช่วยลดปัญหาด้านการจับชิ้นงานได้ระดับหนึ่ง แต่เมื่อรูปทรงของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป ชุดจับชิ้นงานก็ต้องออกแบบ และผลิตใหม่ให้เหมาะสมกับชิ้นงาน และเครื่องแมชชีนนิ่งเซ็นเตอร์ซีเอ็นซีความเร็วสูง จะลดเวลาการผลิตได้น้อย แต่ต้นทุนทั้งราคาเครื่องจักร และ โปรแกรมทางด้าน CAD/CAM ที่จะทำงานดังกล่าวมีราคาสูงที่จะนำมาใช้เฉพาะกับงานต้นแบบ จึงไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนสำหรับผู้ประกอบการระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก และขนาดกลาง

2.1.3 กรรมวิธีระดับสูง

เป็นการใช้เครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototype Machine) โดยมีหลักการการสร้างวัตถุ 3 มิติ จากการสร้างเป็นชั้นของพื้นที่หน้าตัดประกบซ้อนกันทีละชั้นจากชั้นล่าง ๆ ไปชั้นบนสุด หลักการนี้เรียกว่า Layering Technique กรรมวิธีประเภทนี้จึงเป็นการสร้างเนื้อวัตถุ ซึ่งต่างกับกรรมวิธีระดับกลางที่ใช้เครื่องมิลลิ่งซีเอ็นซี ซึ่งเป็นการลดเนื้อวัตถุออก ทำให้เกิดการสิ้นเปลือง

2.1.4 กรรมวิธีการสนับสนุนต่อเนื่อง

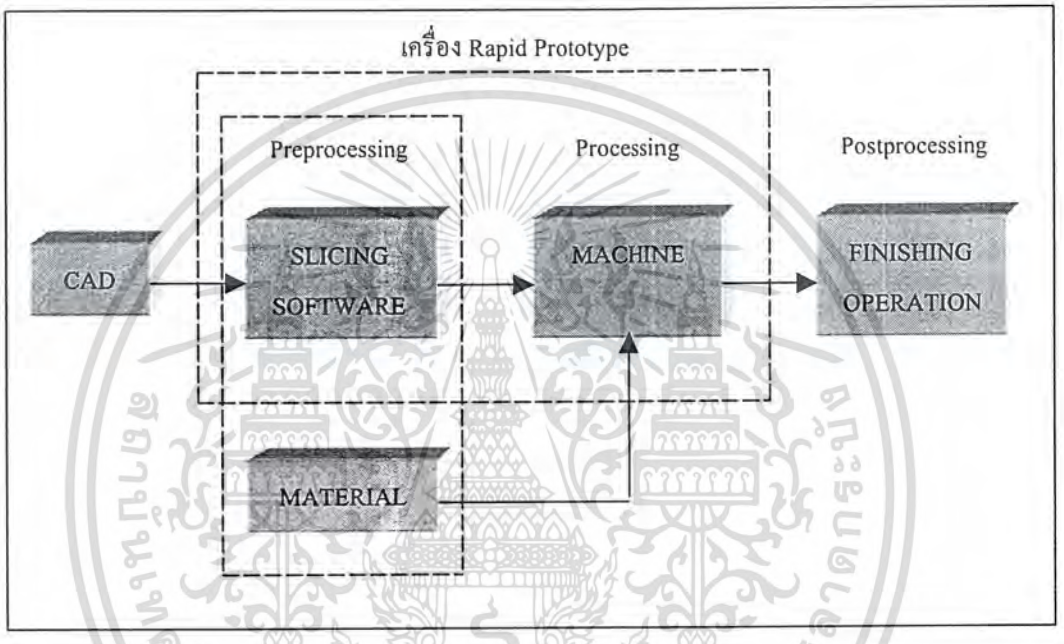
เป็นการสร้างชิ้นงานจากชิ้นงานจริง หรือจากชิ้นงานต้นแบบที่ได้จากกรรมวิธีใดวิธีหนึ่งเบื้องต้น โดยทำการลอกแบบจากชิ้นงานจริงเหล่านี้ ได้แก่ การหล่อพิมพ์ โดยใช้แม่พิมพ์ยาง หรือซิลิโคน ทราย สำหรับหล่อโลหะ เรซิน หรือพลาสติก ให้ได้จำนวนตามต้องการ เพื่อใช้ในการตลาด และการว่าจ้างการผลิตแต่จำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หลักการ การขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว [9]

เครื่องจักรกล การขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototyping Machine) เป็นเครื่องจักรกลที่ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการสร้างต้นแบบ ที่ได้รับการออกแบบมาแล้วจาก CAD (Computer Aided Design) ทำให้เราสามารถตรวจสอบความถูกต้องของขนาด การตรวจสอบการประกอบเข้ากับชิ้นส่วนอุปกรณ์อื่น ๆ ตรวจสอบการทำงาน สามารถเห็น สัมผัสต้นแบบได้จริง และตบแต่งได้ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าการสร้างภาพบน CAD เพียงอย่างเดียว เนื่องจาก สามารถเห็นได้เพียงบนจอ ไม่สามารถสัมผัสได้จริง ๆ

องค์ประกอบหลักในการทำงานของ Rapid Prototype แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



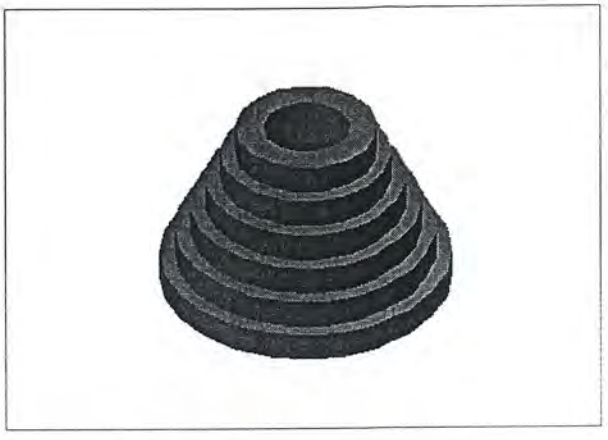
รูปที่ 2.1 องค์ประกอบหลักการทำงานของระบบ Rapid Prototype [9]

การขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ จะเริ่มต้นจากการรับแฟ้มข้อมูลของแบบจำลองที่ต้องการสร้างซึ่งได้รับการออกแบบมาแล้วจากโปรแกรม CAD เช่น AutoCAD หรือ Mechanical Desktop เป็นต้น แล้วแปลงข้อมูลของแบบให้อยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูล STL จากนั้นผ่านเข้า โปรแกรมควบคุมการเฉือนที่ใช้สำหรับการควบคุมเครื่อง Rapid Prototype (Slicing Software) เพื่อทำการเฉือนชิ้นงานเป็นชั้น ๆ ตามความหนาที่ต้องการในแต่ละชั้น คำนวณการเดินทางของเครื่องที่จะสร้างชิ้นงานในแต่ละชั้นขึ้นมา แล้วจึงสั่งให้เครื่องจักรทำงานทีละชั้นจนกว่าจะครบทุกชั้น สำเร็จเป็นชิ้นงานโดยสมบูรณ์ในที่สุด การสร้างชิ้นงานจากแผ่นวัสดุซ้อนกันแสดงได้ดังรูปที่ 2.2

แฟ้มข้อมูล ของ แบบจำลองจาก CAD ที่ใช้ต้องเป็นแบบจำลองโซลิด (solid model) เท่านั้น เพื่อที่จะสามารถแปลงให้เป็น แฟ้มข้อมูลประเภท STL ซึ่งเป็นแฟ้มข้อมูลมาตรฐานสำหรับใช้ทำ Rapid Prototype และ Slicing software จะเอื้ออำนวยต่อการการเฉือนเป็นชั้น ๆ และทำการปรับตำแหน่งการวางให้ได้ตามต้องการ สามารถย่อ หรือ ขยายชิ้นงาน และแบ่งตัดชิ้นงานขนาดใหญ่ให้เป็นชิ้นงานย่อย ๆ เพื่อนำมาประกอบติดกันภายหลังได้

หลังจากช่วง Processing ก็จะเป็นการดำเนินการในช่วง Postprocessing ซึ่งเป็นการทำงานในช่วงสุดท้าย ได้แก่ การเคลื่อนย้ายชิ้นงาน การทำความสะอาด การเจาะทำรู และตบแต่งทาสีชิ้นงานให้เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



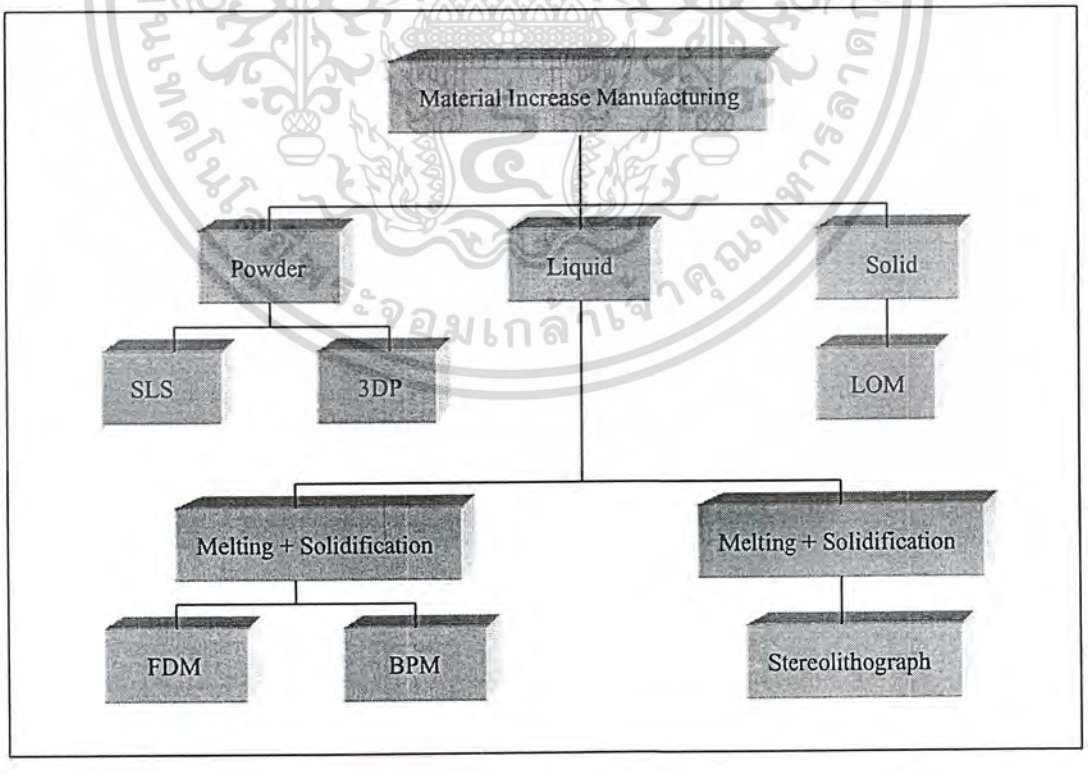
รูปที่ 2.2 การสร้างชิ้นงานจากวัสดุซ้อนกัน

2.3 รูปแบบการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว [5]

การที่จะสร้างชิ้นงานโดยวิธีการทาง Rapid Prototype ต้องใช้เทคนิค 2 รูปแบบประกอบกัน คือ

2.3.1 แบ่งตามการก่อตัวของวัสดุ (Material Creation Technique)

การขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบแบ่งตามการก่อตัวของวัสดุ แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ Powder, Liquid, และ Solid โดยในแต่ละประเภทแบ่งแยกออกเป็นการขึ้นรูปชิ้นงานในหลาย ๆ แบบ ดังรูปที่ 2.3

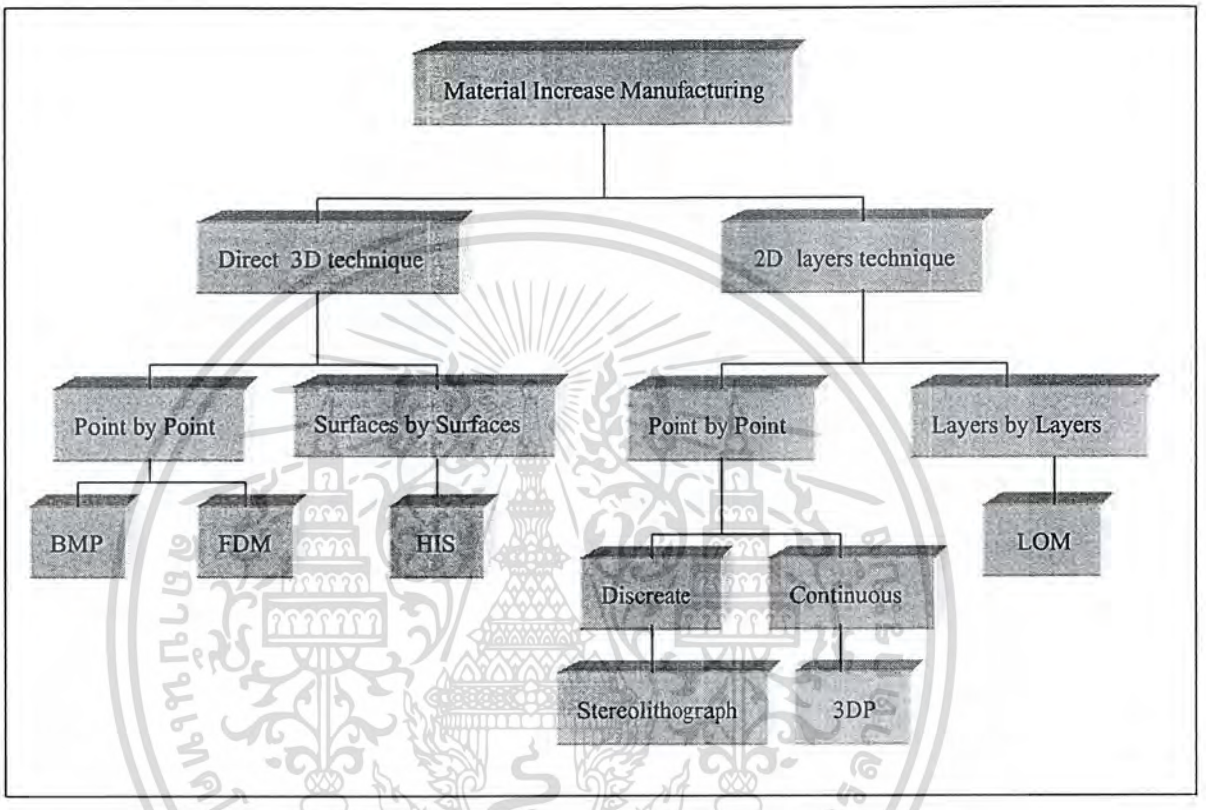


รูปที่ 2.3 รูปแบบการขึ้นรูปชิ้นงานแบ่งตามการก่อตัวของวัสดุ [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 แบ่งตามวิธีการสร้างรูปทรง (Shape Building Technique)

การขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบแบ่งตามวิธีการสร้างรูปทรง แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ Direct 3D Technique และ 2D Layer Technique ซึ่งในแต่ละประเภท แบ่งวิธีการขึ้นรูปออกเป็น Point by Point ซึ่งประกอบด้วย Discrete กับ Surface by Surface และ Layer by Layer รายละเอียดของแต่ละประเภทแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 รูปแบบการขึ้นรูปชิ้นงานแบ่งตามวิธีการสร้างรูปทรง [5]

ส่วนการทำชิ้นงานต้นแบบที่เป็นโลหะ ยังเป็นการยากที่จะขึ้นรูปโลหะได้ทันทีโดยไม่อาศัยขบวนการดั้งเดิม เช่น การหล่อโลหะ ที่ใช้การนำชิ้นงานต้นแบบไปขึ้นรูปในขั้นทุติยภูมิ โดย นำชิ้นงานต้นแบบที่ได้จากการขึ้นรูปแบบ FDM ไปทำการหล่อแบบ Loss Wax จนกลายเป็นชิ้นงานโลหะ

2.4 ประเภทของการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว [1, 3, 8, 12, 13]

2.4.1 การเพิ่มชั้นจุดต่อจุดโดยใช้เลเซอร์ (Lasor –Additive Lasor Point-by-Point)

เทคโนโลยีนี้ มีอุปกรณ์ที่สำคัญ คือเลเซอร์ ที่ทำให้วัสดุก่อตัวและเชื่อมกับผิวอื่น ๆ ขึ้นเป็นรูปทรงตามต้องการ และใช้หลักการสร้างชั้นผิวโดยยิงลำแสงเลเซอร์ไปทีละจุด จนได้รูปทรงตามต้องการ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

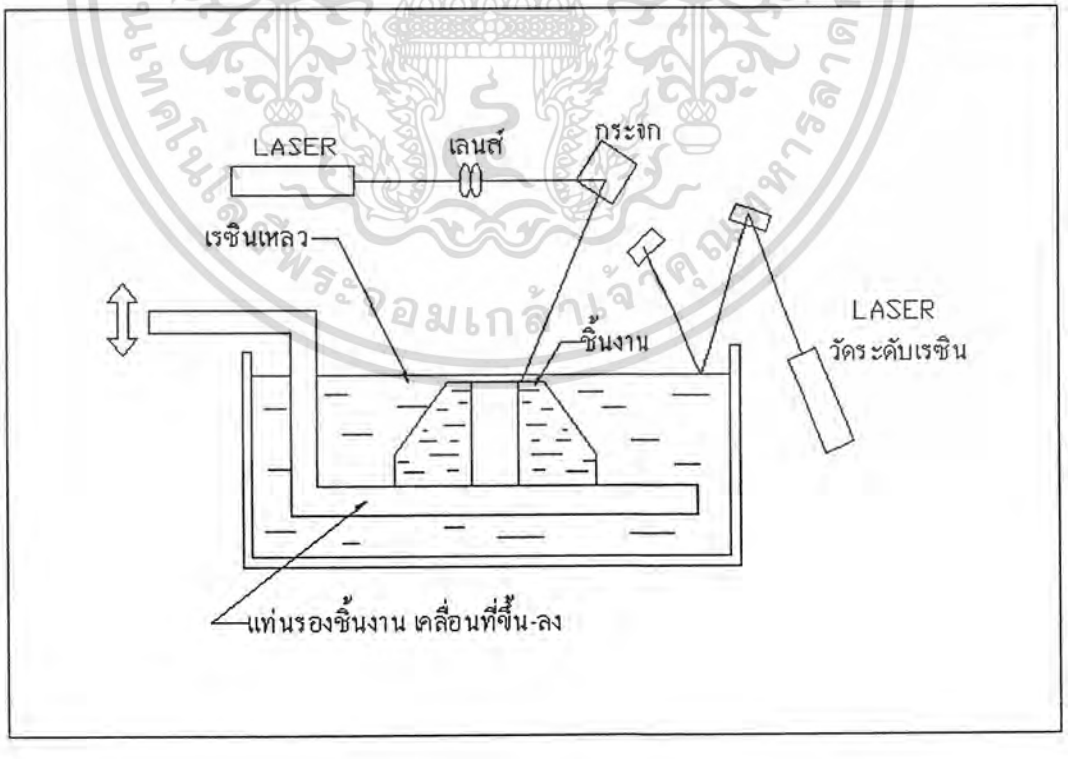
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.1 StereoLithography หรือ SLA เป็นเทคโนโลยีที่ใช้เป็นชนิดแรกของโลก ผู้คิดค้นเทคโนโลยีนี้ คือ Charles Hull ในปี คศ. 1984 และได้ร่วมกับ Ray Freed ก่อตั้งบริษัท 3D System Corporation, Valencia, California ขึ้นเพื่อจำหน่ายอุกรณ์และเครื่องมือสำหรับเครื่อง RP หลักการทำงาน เริ่มจากการจุ่มแท่นรองต้นแบบ (Platform) ลงในอ่างบรรจุเรซินเหลวที่ไวต่อแสง (Photopolymer) โดยให้เรซินเหลวท่วมแท่นรองต้นแบบสูงเท่ากับความหนาของภาคตัดแต่ละชั้นของชิ้นงาน เรซินเหลวจะก่อตัวเป็นโพลิเมอร์เมื่อได้รับพลังงานจากลำแสงเลเซอร์กำเนิดแสง UV โดยมีขบวนการเริ่มจากการปรับแท่น ให้เรซินเหลวปกคลุมเป็นชั้นบาง ๆ แล้วหัวเลเซอร์จะทำการสแกนแสง UV ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ของชั้นนั้นจนครบ แล้วแท่นจะลดระดับลง เพื่อให้เรซินเหลวปกคลุมมีขนาดความหนาเท่ากับความหนาของชั้นที่ต้องการ แล้วจึงทำการสแกนให้เลเซอร์ก่อตัวทับซ้อนชั้นเดิมเป็นการเพิ่มความหนา ขบวนการจะดำเนินการซ้ำจนครบทุกชั้นเป็นชิ้นงานที่ต้องการ

วิธีการนี้เป็นการทำต้นแบบทีละชั้นจากข้างล่างขึ้นบน เมื่อได้ต้นแบบที่สมบูรณ์แล้ว จะต้องนำมาทำการบ่มต่อ (Post-curing) ด้วยแสง UV เพื่อให้เรซินเกิดการแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ และมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น จากนั้นชิ้นงานที่ได้สามารถนำมาตกแต่งผิวด้วยวิธีทั่วไปได้ เช่น การพ่นทราย (Sending) การกัด (Milling) หรือ การขัดเงา (Polishing) เป็นต้น

ข้อดีของวิธีนี้คือ ให้ความละเอียดแม่นยำถึง 0.1 มิลลิเมตร ให้รายละเอียดผิวเรียบดี และสามารถผลิตต้นแบบได้ทุกรูปร่าง

ข้อเสีย คือ ชิ้นงานค่อนข้างจะบิดงอง่าย เรซินที่ใช้เป็นอันตราย ต้นแบบที่ทำจากโพลิเมอร์บางชนิดจะบวมเมื่อโดนความชื้น และต้องมีการออกแบบโครงค้ำยัน และสร้างพร้อมกันกับชิ้นงานต้นแบบ



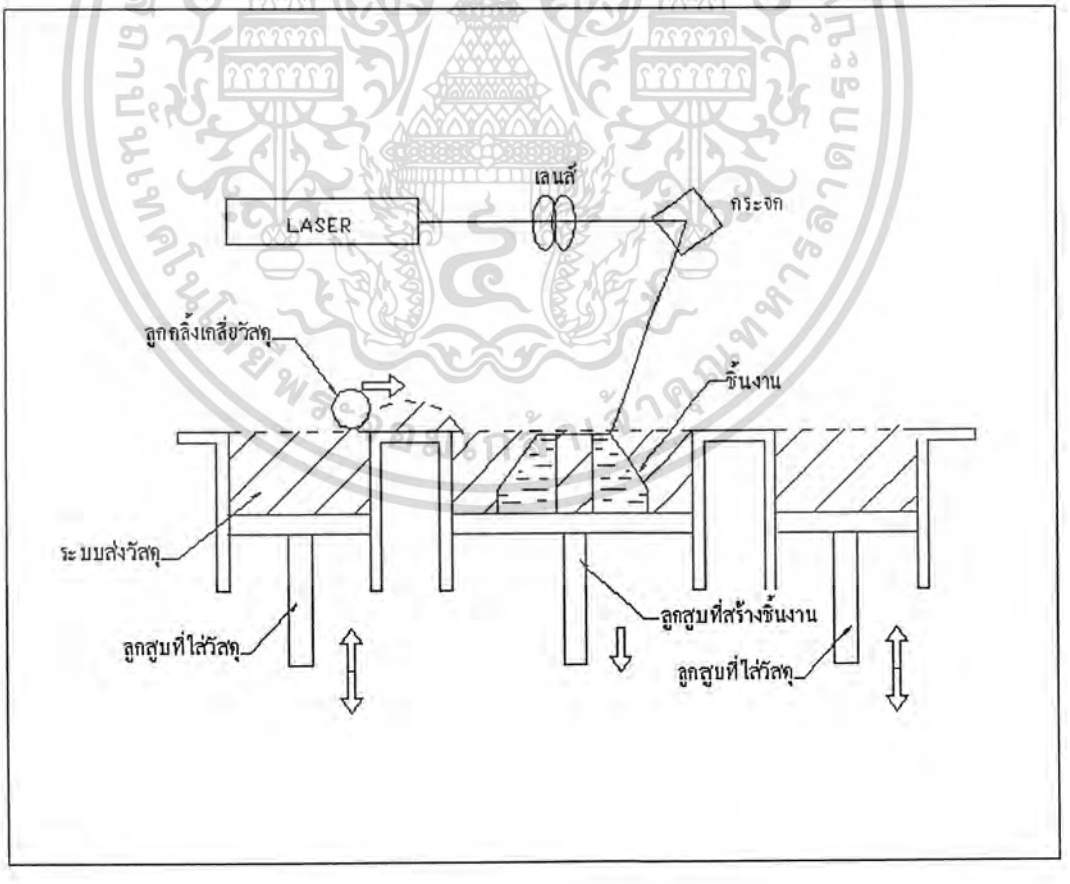
รูปที่ 2.5 อุปกรณ์และโครงสร้างของระบบ RP ที่ใช้เทคโนโลยี SLA [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 Selective Laser Sintering หรือ SLS วิธีนี้ถูกพัฒนาโดย Carl Deckard ที่มหาวิทยาลัย Texas, Austin ในปี คศ.1986 และได้ขายให้กับบริษัท DTM Corporation, Austin โดยจะสร้างชิ้นงานจากผงของวัสดุประเภท เทอร์โมพลาสติก เก็บไว้ในกระบอกสูบซึ่งจะถูกเพิ่มอุณหภูมิจนถึงใกล้จุดหลอมเหลวแล้วถูกลูกกลิ้งดันมายังกระบอกสูบที่ใช้สร้างชิ้นงานซึ่งลูกกลิ้งจะเกลี่ยทับผงวัสดุเป็นชั้นบาง ๆ สม่ำเสมอ และนำวิธีการ sintering โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ สแกนไปบนชั้นบาง ๆ ของผงวัสดุ ให้หลอมเหลวและแข็งตัวรวมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างผงกับผิวของชั้นล่าง และด้านข้าง พื้นที่ที่ไม่เป็นเนื้อของชิ้นงาน หรือที่ไม่โดนสแกนผ่านยังคงถูกปกคลุมด้วยผง ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นฐานพยุงสำหรับชั้นต่อ ๆ ไป จากนั้นลูกสูบในกระบอกสูบที่เก็บผงวัสดุจะเลื่อนสูงขึ้น และลูกสูบในกระบอกสูบที่สร้างชิ้นงานจะเลื่อนต่ำลงเท่ากับความหนาของชิ้นงาน การทำต้นแบบวิธีนี้ จะต้องทำในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน 98 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันผงวัสดุทำปฏิกิริยากับออกซิเจนขณะหลอม ความหนาแน่นของต้นแบบขึ้นอยู่กับวัสดุผงที่ใช้ เช่น โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride), โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) , ไนลอน (Nylon), ขี้ผึ้ง (Wax) และผงโลหะ

ข้อดีของ SLS คือ ไม่ต้องทำการบ่ม (Post-curing) ไม่ต้องสร้างโครงค้ำยัน สามารถใช้ผงเคลือบเซรามิกส์ และโลหะ และชิ้นส่วนมีความแข็งแรง

ข้อเสียคือ การเกิดก๊าซพิษ พื้นผิวเป็นรูพรุน และกระบวนการผลิตใช้เวลามาก



รูปที่ 2.6 อุปกรณ์และโครงสร้างของระบบ RP ที่ใช้เทคโนโลยี SLS [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

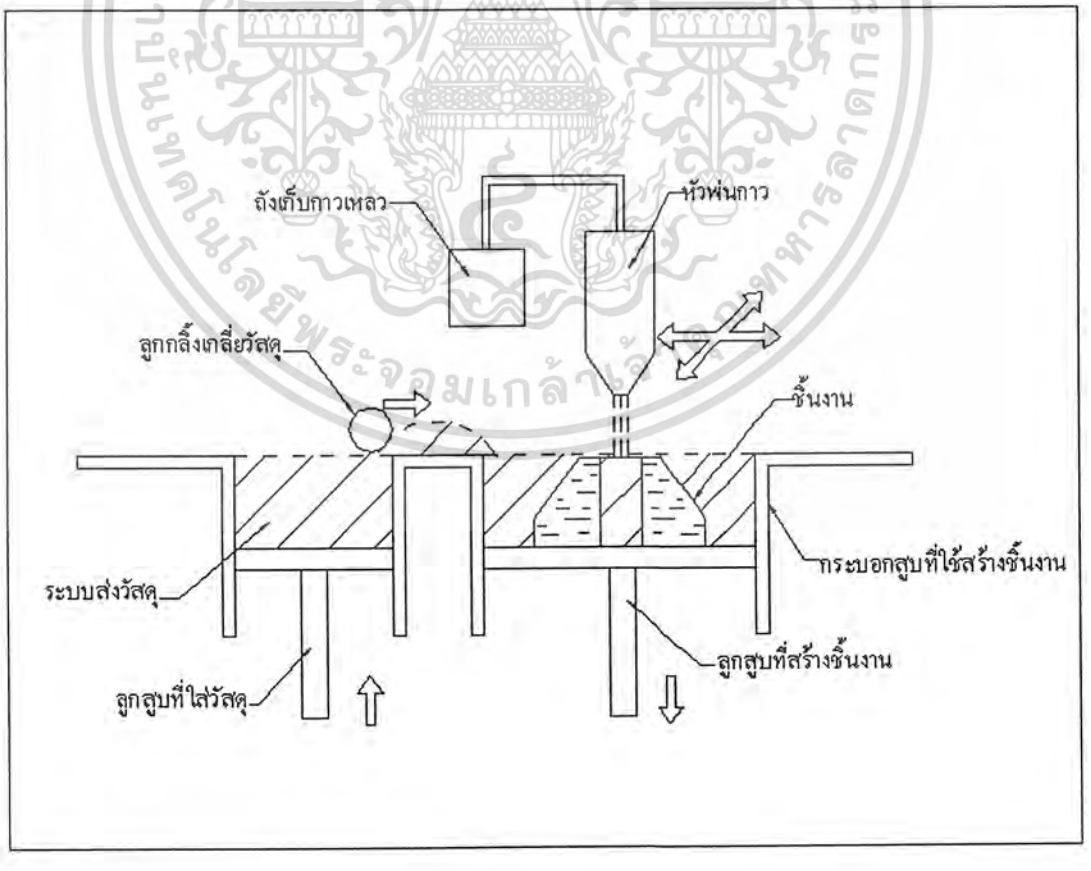
2.4.2 การเพิ่มชั้นจุดต่อจุดโดยไม่ใช้เลเซอร์ (Laser-Additive Nonlaser Point-by-Point)

หลักการทำงานของวิธีนี้ คือ มีการเคลื่อนที่ของ หัวส่ง (delivery head) ซึ่งใช้ในการสแกน (แทนลำแสงเลเซอร์) จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจนครอบคลุมทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัดของแต่ละชั้น โดยหัวส่งจะทำหน้าที่ปล่อยวัสดุที่จะนำมาทำการขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน หรือทำให้เนื้อชิ้นงานจับตัวกัน ประกอบด้วย

2.4.2.1 Three Dimension Printing (3DP) พัฒนาขึ้นโดย Massachusette Institute of Technology (MIT) มีหลักการทำงานคล้ายประเภท SLS แต่แตกต่างกันตรงที่ ใช้กาวในการทำให้วัสดุติดกัน โดยใช้วัสดุประเภทผง เช่น ผงเซรามิก ร่วมกับกาวเหลวสำหรับจับผงชิ้นงานให้เป็นเนื้อเดียวกัน ชิ้นงานถูกสร้างขึ้นมาจากการพ่นกาวเหลวลงบนชั้นบาง ๆ ของผงวัสดุซึ่งได้ปูอนไว้บริเวณฐานก่อนแล้ว โดยหัวพ่นกาวซึ่งมีหลายรู ควบคุมตำแหน่งการพ่นได้ ทำการเคลื่อนที่ตามระนาบ XY โดยมีการสแกนและควบคุมการฉีดกาวลงบนบริเวณที่ต้องการด้วยคอมพิวเตอร์ จากนั้นผงโลหะที่ไม่โดนกาวจะโดนกำจัดออก แล้วนำไปอบให้ความร้อน (sintering) เพื่อให้แข็งตัวกลายเป็นชิ้นงานที่สมบูรณ์ สำหรับชิ้นงานโลหะต้องถูกนำมาอบด้วยความร้อน (Heat treatment) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง

ข้อดีคือ สามารถใช้วัสดุผงได้ทุกชนิด (โลหะ เซรามิกส์ โพลิเมอร์ และคอมโพสิท) ไม่ต้องสร้างโครงค้ำยัน และสามารถสร้างต้นแบบได้ทุกรูปร่าง

ข้อเสียคือ สำหรับวัสดุบางชนิดต้องนำมาอบด้วยความร้อน และผิวของชิ้นงานไม่เรียบ



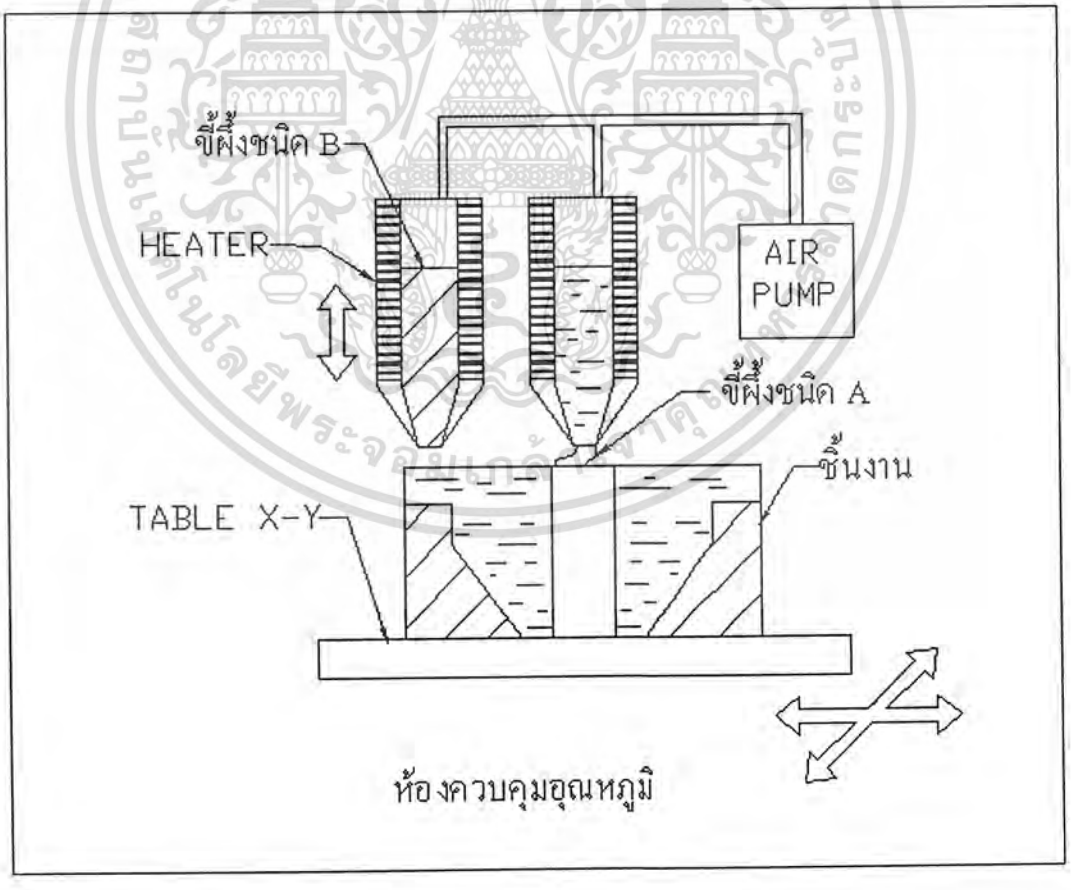
รูปที่ 2.7 อุปกรณ์และโครงสร้างของระบบ RP ที่ใช้เทคโนโลยี 3DP [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 Ballistic Particle Manufacturing (BPM) พัฒนาขึ้นโดย Bill Masters ซึ่งได้สิทธิบัตรในปี คศ. 1987 และเป็นผู้ก่อตั้งบริษัท BPM Technology, Inc นำวัสดุที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานมาทำการหลอมเหลวแล้วยิงเป็นหยดลงบนตำแหน่งที่ต้องการ คล้ายกับการทำงานของเครื่องพิมพ์แบบ ink-jet วัสดุที่ใช้เป็นพวกเทอร์โมพลาสติก หลักการทำงานเริ่มจาก หลอมวัสดุให้เป็นของเหลวในถังซึ่งต่อกับหัวพ่น หัวพ่นจะมี 2 หัว โดยหัวแรกจะใช้พ่นในส่วนที่เป็นชิ้นงานโดยใช้วัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติก ส่วนอีกหัวจะใช้พ่นในส่วนที่เป็นโครงค้ำยันซึ่งจะใช้ Wax เป็นวัสดุเนื่องจากล้างออกง่าย หัวพ่นนี้จะหยดวัสดุเหลวลงบนแท่นรองทีละชั้น ๆ โดยหยดวัสดุนี้สามารถยึดติดกันเป็นเนื้อเดียวกันได้เนื่องจากการหลอมละลายที่ผิวของชิ้นงาน และแข็งตัวเมื่อเย็นลง กลไกการเคลื่อนที่เป็นการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปจุดหนึ่งตามแกน XY จนครอบคลุมพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปในแต่ละชั้น เมื่อพ่นเสร็จในแต่ละชั้น หัวกัดจะทำการกัดผิวหน้าให้ได้ความหนาสม่ำเสมอ เศษวัสดุจะถูกกำจัดออกไป และก่อนจะทำการเริ่มชั้นใหม่ หัวพ่นจะถูกตรวจสอบการทำงานโดยพ่นเป็นเส้นตรงลงบนแถบกระดาษแล้วใช้กล้องตรวจสอบแนวพ่น จากนั้นจะเริ่มทำการสร้างชิ้นงานชั้นต่อ ๆ ไป จนประกอบกันเป็นชิ้นงานสมบูรณ์

ข้อดีของวิธีนี้ คือ ประหยัด และมีประสิทธิภาพดี ระบบมีขนาดเล็กตั้งบนโต๊ะได้ ชิ้นงานไม่ต้องทำการบ่ม (Post-curing) และวัสดุที่ใช้สร้างชิ้นงานไม่เป็นอันตราย

ข้อเสียคือ กระบวนการผลิตมีความเร็วต่ำ



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์และโครงสร้างของระบบ RP ที่ใช้เทคโนโลยี BPM [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

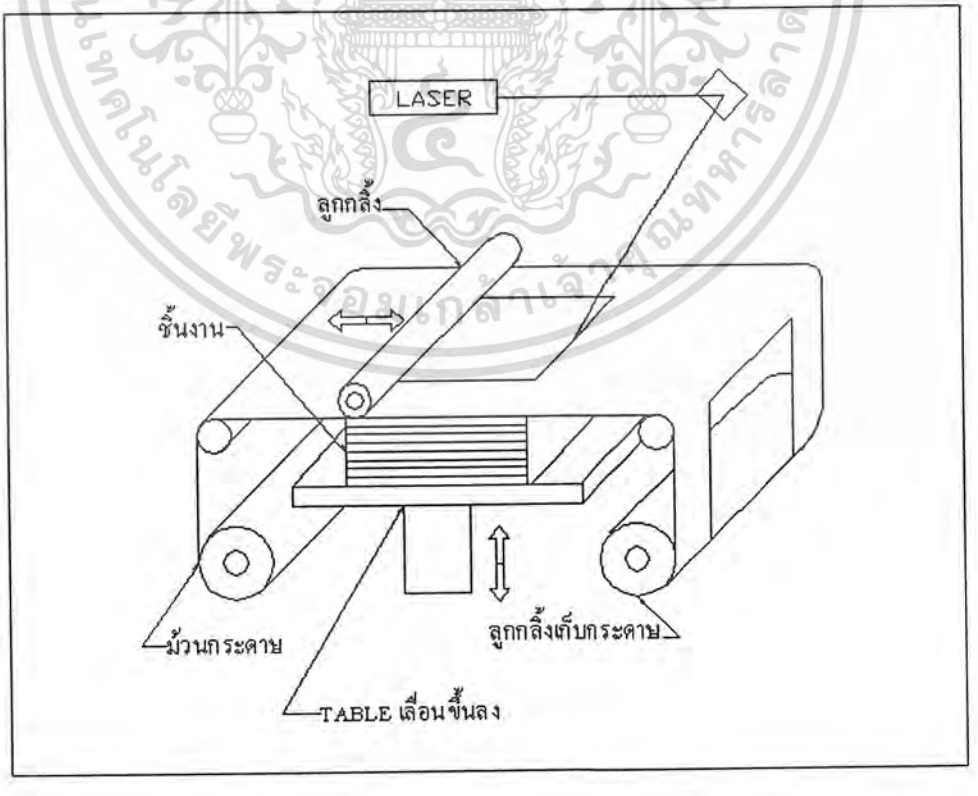
2.4.2.3 Fused Deposition Modeling หรือ FDM โดย Scott Crump ประธานบริษัท Stratasys, Inc., of Eden Prairie, Minnesota ได้พัฒนาเทคโนโลยีนี้ขึ้นในปี คศ. 1988 โดยใช้เส้นเทอร์โมพลาสติก หรือ WAX ผ่านหัวรีดที่มีอุปกรณ์ให้ความร้อน สำหรับหลอมเหลว แล้วรีดออกเป็นเส้น เคลื่อนที่ตามแกน XY เชื่อมจุดต่อจุดจนปกคลุมพื้นที่หน้าตัดเป็นเนื้อของชิ้นงานของแต่ละชั้นมีความหนาที่เท่ากัน รายละเอียดอธิบายในหัวข้อ 2.5

2.4.3 การลดชั้นโดยใช้เลเซอร์ (Layer-Subtractive Laser Favricate)

หลักการทำงานของวิธีนี้ จะมี หัวตัด เป็น เลเซอร์ โดยมีคอมพิวเตอร์รับไฟล์จากโปรแกรม CAD เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวตัดบนแกน XY ไปบนแผ่นวัสดุบางส่วน บริเวณที่ไม่ใช่พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานจะถูกตัดแยกทิ้งออกไป โดยวัสดุที่ใช้มีทั้งแผ่นกระดาษ และแผ่นพลาสติกความแตกต่างของวิธีนี้กับวิธีอื่น ๆ คือ หัวตัดจะเคลื่อนที่เฉพาะตามขอบของชิ้นงาน ประกอบด้วย

2.4.3.1 Hot Plot Rapid Prototyping System ขบวนการทำงานเริ่มจากการนำแผ่นพลาสติกประเภท polystyrene ที่มีความหนาโดยปกติประมาณ 1 มิลลิเมตร มาตัดเอาเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นที่หน้าตัด โดยใช้หัวอิเลกโตรด ความร้อนเป็นอุปกรณ์ในการตัดพื้นที่หน้าตัดออกจากแผ่นพลาสติก

2.4.3.2 Laminated Object Manufacturing (LOM) มีหลักการสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยการใช้แผ่นกระดาษเป็นวัสดุสำหรับสร้างชิ้นงาน และใช้ลำแสงเลเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการตัด โดยการตัดเฉพาะขอบของพื้นที่หน้าตัดในแต่ละชั้น แล้วมาประกบทับติดกับแผ่นอื่น ๆ ด้วยกาว จึงสามารถสร้างชิ้นงานได้โดยง่าย และรวดเร็วกว่าวิธีอื่น ๆ โดยเฉพาะชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่ หรือหนามาก ๆ



รูปที่ 2.9 อุปกรณ์และโครงสร้างของระบบ RP ที่ใช้เทคโนโลยี LOM [11]

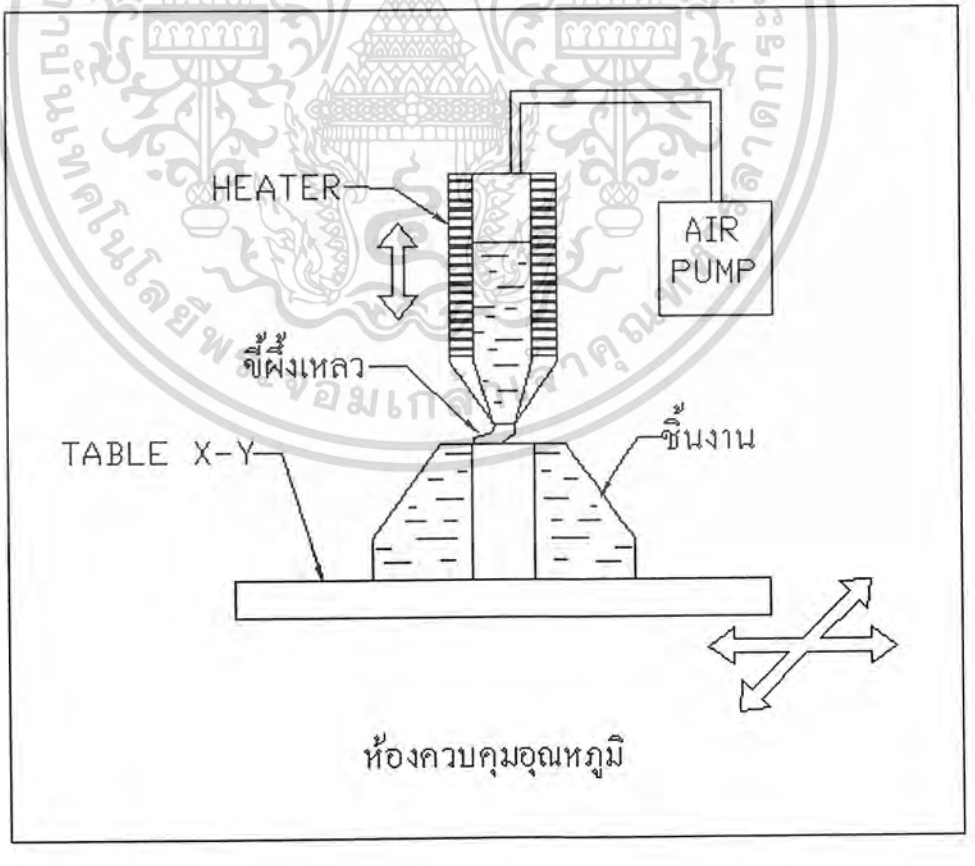
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 Fused Deposition Modeling (FDM) [12]

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการสร้างชิ้นงานต้นแบบ โดยวิธีการ FDM ซึ่งมีหลักการทำงานและข้อได้เปรียบการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ แบบอื่น ๆ ดังนี้

2.5.1 หลักการทำงานของ FDM

เครื่อง RP ประเภทนี้จะประกอบด้วยหัวส่ง และ ฐานของชิ้นงาน โดยวัสดุที่ใช้ในการสร้างชิ้นงานเป็นเทอร์โมพลาสติก หรือ ขี้ผึ้ง ซึ่งจะถูกป้อนให้หัวฉีด ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ทำให้ ขี้ผึ้ง หรือ พลาสติกหลอมเหลว และถูกรีดออกมาทางหัวฉีด การเคลื่อนที่ไปตามแกน XY จนกระทั่งได้เป็นพื้นที่หน้าตัดของแต่ละชั้นที่ซ้อนสะสมกันหลาย ๆ ชั้น จากชั้นล่างสุดขึ้นสู่ชั้นบนสุดเป็นชิ้นงานตามรูปทรงที่ได้รับการออกแบบได้ตามต้องการ เทคนิคของการสร้างชิ้นงานของเทคโนโลยี FDM ใช้หลักการของการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว (Rapid Solidification) ของเส้นใยพลาสติก หรือ ขี้ผึ้ง ในสภาพกึ่งของเหลวที่ถูกปล่อยออกจากหัวฉีด เครื่อง FDM ที่ใช้ในการเคลื่อนที่หัวฉีด ใช้หลักการเดียวกับเครื่องซีเอ็นซีแบบ 3 แกน เส้นใยของวัสดุจะถูกดันเข้าหัวฉีด และจะถูกหลอมที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดหลอมเหลวเพียงเล็กน้อย จากนั้นจะถูกดันผ่านหัวฉีด ทำให้เกิดแถบบาง ๆ ตามระนาบของชิ้นงานต้นแบบแต่ละชั้น และจะถูกทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวเพียงเล็กน้อย เพื่อให้วัสดุแข็งตัว และมีการยึดติดที่ดีกับชั้นต่อไป ระบบทั้งหมดจะถูกควบคุมในห้องที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของวัสดุเล็กน้อย



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์และโครงสร้างของระบบ RP ที่ใช้เทคโนโลยี FDM [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ข้อได้เปรียบของ FDM

2.5.2.1 วัสดุที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน จะใช้เฉพาะตามความต้องการเท่านั้น โดยไม่ต้องมีอ่างเก็บเพื่อใช้ในการป้อนวัสดุเหมือนกับเทคโนโลยีแบบอื่น ๆ เช่น SLA

2.5.2.2 การสิ้นเปลืองวัสดุในปริมาณที่น้อย เมื่อต้องการทำชิ้นงานใหม่ เพราะสามารถนำวัสดุดังกล่าวกลับมาใช้ใหม่ได้ และวัสดุที่ใช้ เป็นวัสดุที่มีความปลอดภัยสูง จึงมีข้อได้เปรียบด้านสิ่งแวดล้อม

2.5.2.3 สามารถนำชิ้นงานต้นแบบที่ได้ไปขึ้นรูปต่อในขั้นทุติยภูมิ เช่น กระบวนการหล่อแบบ Loss Wax ให้เป็นชิ้นงานโลหะต่อไปได้

จากหลักการทำงานที่เหมาะสม และข้อได้เปรียบต่อเทคนิคอื่น ๆ ที่กล่าวมา จึงเป็นการสมควรที่จะทำการศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว แบบ FDM

2.6 คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design ; CAD) และ คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer Aided Manufacturing ; CAM) [2]

CAD (Computer Aided Design) และ CAM (Computer Aided Manufacturing) เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการออกแบบ (Design) และกระบวนการผลิต (Manufacturing) ตามลำดับ โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง CAD, CAM และ CAD/CAM Tools โดยพื้นฐานของการนำไปใช้งานจริง การใช้ CAD/CAM ในอุตสาหกรรมการผลิต

จากส่วนประกอบต่าง ๆ เราอาจกล่าวได้ว่าเครื่องมือทาง CAD เป็นส่วนร่วมกันของ 3 เซตย่อย คือรูปทางเรขาคณิต (Geometric Modeling) คอมพิวเตอร์กราฟฟิก (Computer Graphics) และเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ (Design Tools) ความหมายโดยรวมคือ แนวความคิดในการใช้รูปแบบทางเรขาคณิตและคอมพิวเตอร์กราฟฟิกประยุกต์อื่น ๆ มาใช้ในการออกแบบนั่นเอง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้วเครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ (CAD Tools) ก็เหมือนกับเครื่องมือชิ้นหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบ (กระบวนการหรือชุดโปรแกรมที่ทำให้ผู้ใช้สามารถเรียนรู้ได้เอง , คำสั่งในการวิเคราะห์, แบบฝึกหัดในการออกแบบ) รวมกับ Hardware และ Software ซึ่งส่วนของการพัฒนาในด้านนี้ เป็นตัวชี้ระดับความสามารถของระบบ CAD/CAM แต่ละระบบรวมถึงเครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบด้วย โดยทั่วไปนักออกแบบจะต้องการเครื่องมือซึ่งสามารถช่วยในการแก้ปัญหาที่รวดเร็วและเชื่อถือได้ กับปัญหาพวกที่ต้องการทำซ้ำ (Iteration) และทดสอบกับตัวแปรมากกว่า 1 ตัว

จุดประสงค์ใหญ่ของ CAD/CAM คือ

1. เพื่อขยายประโยชน์ที่ได้จากระบบ CAD/CAM นอกเหนือไปจากการเขียนแบบ (Drafting) และการทำให้เป็นเหมือนจริง (Render)

2. เพื่อปรับปรุงระบบ CAD/CAM ในปัจจุบันให้ใช้กับการออกแบบ และวิเคราะห์ในกรณีที่ต้องการ

3. เพื่อชักนำให้มีการพัฒนาระบบ CAD/CAM ในการออกแบบ และกระบวนการผลิตให้ดี ๆ ขึ้นไป

ในส่วนของเครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ (CAD Tools) สามารถนิยามได้ว่าเป็นส่วนรวมกันของส่วน 3 ส่วน ดังที่กล่าวมาแล้ว ส่วนประกอบที่สำคัญที่ช่วยส่งเสริม CAM ไปสู่สิ่งแวดล้อมการผลิต (Manufacturing Environment) มีตัวประกอบหลักที่ช่วยให้ประสบความสำเร็จในการสนับสนุนอยู่ 2 ตัว คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเชื่อมต่อระหว่าง CAD และ CAM ต้องเป็นแบบ 2 ทาง คือ ผู้ออกแบบต้องนึกถึงความต้องการของวิศวกรการผลิตที่ทำงาน CAM และวิศวกรการผลิตต้องคิดว่า ผู้ออกแบบที่ทำงานในส่วน CAD ต้องการอะไร

2. เลือกระบบ CAM (ทั้ง Hardware และ Software) อย่างไรจึงจะเหมาะสมในการผลิต CAD/CAM ซึ่งเป็นผลของส่วนรวมกัน

ในอดีต CAD/CAM มักใช้ในอุตสาหกรรมอากาศยาน, อุตสาหกรรมรถยนต์ และอุตสาหกรรมต่อเรือ แต่ต่อมามีการใช้ในอุตสาหกรรมอย่างอื่นแพร่หลายขึ้น เช่น การแกะสลัก การหล่อ เป็นต้น เทคโนโลยีทางด้าน CAD/CAM ช่วยลดช่องว่างระหว่างการสร้างสรรค์เทคโนโลยี, การจัดการ และการใช้ระบบ CAD/CAM

ส่วนประกอบของระบบ CAD/CAM ที่สำคัญคือ รูปแบบทางเรขาคณิต (Geometric Modeling) ,กราฟฟิก (Graphics) , การออกแบบ (Design), การผลิต (Manufacturing) , และ Programming Software ในส่วนของ modeling มี 3 ชนิด คือ Wireframe Modeling, Surface Modeling, และ Solid Modeling

Graphics ประกอบไปด้วย การเปลี่ยนรูปทรงทางเรขาคณิต (Geometric Transformations), การเขียนแบบ (Drafting), ส่วนตัวหนังสือ (Documentation), การให้แสงเงา (Shading) , การให้สี (Coloring), การแบ่งชั้นภาพ (Layering) , นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์การใช้งานอื่น ๆ อีก คือ การคำนวณหาคุณสมบัติของมวลวัตถุ, การทำการวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element) , การทำการวิเคราะห์ไฟไนต์โมเดลลิ่ง (Finite Modeling), การจำลองแบบการเคลื่อนที่ (Mechanism Modelling) และการเช็คขอบเขต (Interface Checking)

ในการออกแบบ อาจต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อช่วยในการทำงานเชื่อมต่อระหว่างระบบของตัวเรา และตัว Software จากการทำผ่านขั้นตอนต่าง ๆ Model ของเราก็พร้อม จะถูกส่งไปยังส่วนของ CAM ซึ่งประกอบไปด้วย การวางแผนการทำงาน (Process Modeling) ,การสร้างทางเดินของมีดกัด (Tool path) , การตรวจสอบ (Inspection) และการประกอบชิ้นงาน (Assembly) ตามลำดับ

2.7 การสร้างภาพ 3 มิติ บนคอมพิวเตอร์ (3D Computer Graphic) [6]

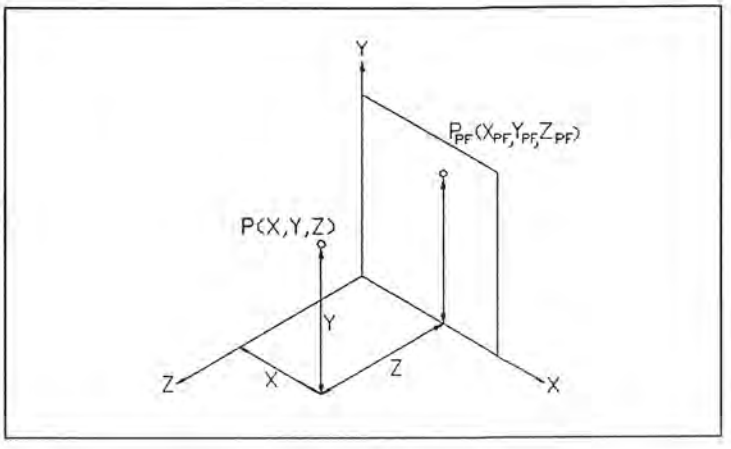
2.7.1 การแสดงภาพบนจอภาพ (Object Projection on Display)

การแสดงภาพบนจอภาพ สำหรับโปรแกรม CAD นั้นจะต้องใช้ระบบพิกัดอ้างอิงหลัก WCS (World Coordinate System) สำหรับการกำหนดพิกัดของภาพ, การแสดงภาพ, การปรับภาพไปในทิศทาง หรือมุมมองต่าง ๆ เป็นต้น เพื่อให้ทุกระบบทำงานสอดคล้องกันและกัน และกำหนดเฟรมที่จะฉายภาพเข้ามา เป็น เฟรมภาพฉาย (Projection Frame, PF) โดยตำแหน่ง P_{pf} ของจุดต่าง ๆ กำหนดโดย

$$P_{pf} = \begin{matrix} x_p \\ y_p \\ z_p \\ 1 \end{matrix}$$

และการแสดงภาพในพิกัด WCS สามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 รูปแสดงการฉายภาพบนจอ ในพิกัด WCS (World Coordinate System) [9]

2.7.2 การหมุนมุมมองภาพ (Oriented Projection)

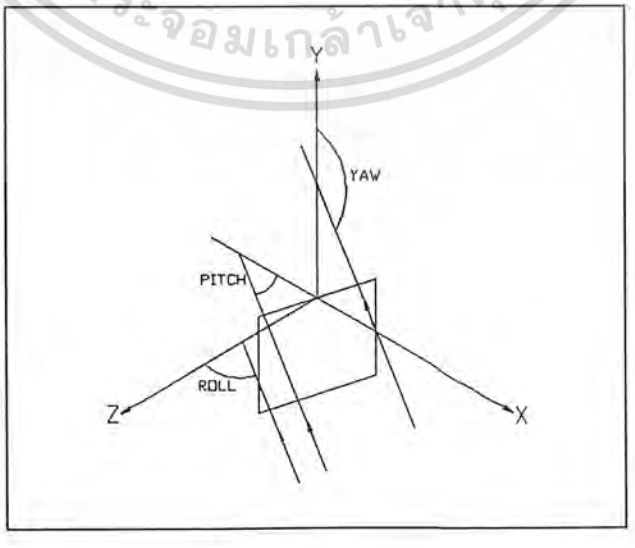
การหมุนมุมมองภาพจะทำได้ที่ Pitch, Yaw, Roll ของ ${}^{WCS}T_{pf}$

การเลื่อนตำแหน่งภาพ กำหนดได้ที่ t_x, t_y, t_z ของ ${}^{WCS}T_{pf}$

โดย t_x, t_y, t_z คือระยะจากจุดกึ่งกลางของ Frame เทียบกับแกนหลัก การกำหนด Frame ขึ้นอยู่กับความต้องการของเรา ว่าต้องการ reference ที่บริเวณไหน แล้วให้คำนวณหาระยะ t จากจุดกึ่งกลาง Frame ที่เรา reference ขึ้น จุดที่เรา reference ต้องเป็นจุดใด ๆ บน object หนึ่ง ๆ (ไม่มีความสัมพันธ์ระหว่าง Frame และ จุดที่อ้างอิงขึ้นมา) และ จุด origin ของ frame อยู่ที่จุดกึ่งกลาง frame

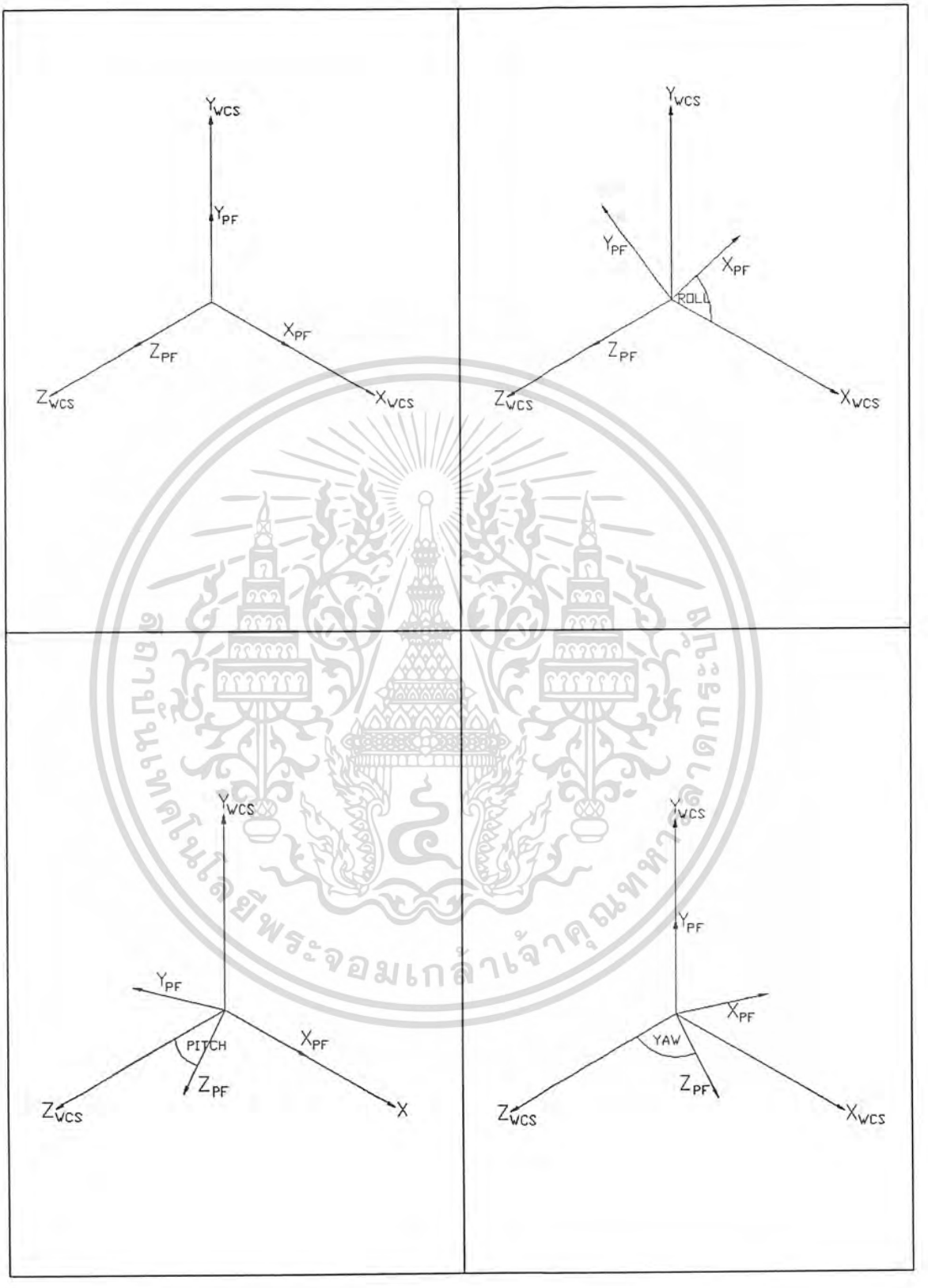
Pitch, Yaw, Roll เป็นมุมในแนวแกน X, แกน Y, แกน Z ตามลำดับ หาได้โดย การลากเส้นไปตัดแกนจะได้มุมที่ทำกับแกนนั้น ๆ โดยให้หัว Vector ไปต่อท้าย Vector หลัก

- Vector ทำมุมกับแกน X = Pitch
- Vector ทำมุมกับแกน Y = Yaw
- Vector ทำมุมกับแกน Z = Roll



รูปที่ 2.12 รูปแสดงลักษณะของมุมต่าง ๆ [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 รูปแสดงการหมุนภาพไปตามแนวแกน ทั้ง 3 แกน คือ แกน X, แกน Y, และ แกน Z [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การแปลงพิกัด WCS ไปอยู่ที่ PF ทำได้โดยการคูณกับ Operation Metric

$$\begin{vmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{vmatrix}$$

หรือ $P_{pf} = {}^{WCS}Tp_{fP}WCS$

กำหนด (input)

Pitch ; rotation angle about X axis with in range 180°

Yaw ; rotation angle about Y axis with in range 180°

Roll ; rotation angle about Z axis with in range 180°

t_x ; translation distance along X axis

t_y ; translation distance along Y axis

t_z ; translation distance along Z axis

T_{11} = cos(yaw)cos(roll) + sin(yaw)sin(pitch)sin(roll)

T_{12} = cos(pitch)cos(roll)

T_{13} = -sin(yaw)cos(roll) + cos(yaw)sin(pitch)sin(roll)

T_{14} = $-(t_xT_{11} + t_yT_{12} + t_zT_{13})$

T_{21} = -cos(yaw)sin(roll) + sin(yaw)sin(pitch)cos(roll)

T_{22} = cos(pitch)cos(roll)

T_{23} = sin(yaw)sin(roll) + cos(yaw)sin(pitch)cos(roll)

T_{24} = $-(t_xT_{21} + t_yT_{22} + t_zT_{23})$

T_{31} = sin(yaw)cos(pitch)

T_{32} = -sin(pitch)

T_{33} = cos(yaw)cos(pitch)

T_{34} = $-(t_xT_{31} + t_yT_{32} + t_zT_{33})$

T_{41} = 0

T_{42} = 0

T_{43} = 0

T_{44} = 1

เมื่อคำนวณตาม Operation Metric จะได้ P_{pf} ใหม่มา เมื่อทำการลากเส้นต่อจุดจะได้รูปในมุมมองต่าง ๆ ออกมาตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42425

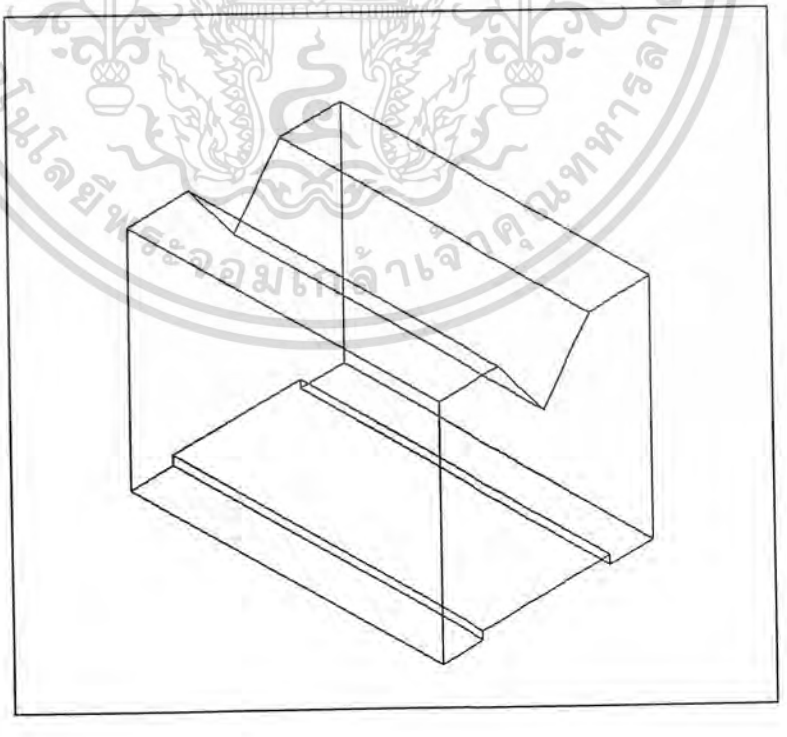
2.8 แบบจำลองของวัตถุ [9]

2.8.1 แบบจำลองโครงข่าย (Wireframe Models)

แบบจำลองโครงข่ายของวัตถุนั้นมีรูปแบบที่ง่ายที่สุด แต่จะมีรายละเอียดมาก เราสามารถที่จะใช้แบบจำลองจีโอเมตริก (Geometric Models) แทนรูปแบบทางคณิตศาสตร์ในคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะแทนขอบของวัตถุ ซึ่งประกอบด้วย จุด, เส้น, มุม และวงกลม, กรวย, เส้นโค้ง แบบจำลองโครงข่าย เป็นเทคนิคที่มีการใช้มากที่สุด และระบบ CAD/CAM ที่ใช้อยู่ทั่วไปมักจะมีพื้นฐานทางด้าน แบบจำลองโครงข่าย

ข้อได้เปรียบของแบบจำลองโครงข่าย คือ ความง่ายต่อการสร้างโครงสร้าง ดังนั้น จึงไม่ต้องการเวลาและหน่วยความจำที่มากเหมือน แบบจำลองโซลิด หรือ แบบจำลองพื้นผิว แต่อย่างไรก็ตามเวลาที่ผู้ใช้หรือปลายทางต้องการเพื่อเตรียม หรืออินพุตข้อมูล มีความสำคัญและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามความซับซ้อนของรูปแบบวัตถุ มีการพิจารณาว่า แบบจำลองโครงข่าย เป็นรูปแบบที่ขยายมาจากวิธีดั้งเดิมของการร่างแบบ ดังนั้นจึงไม่ต้องทำการฝึกหัดสำหรับผู้ใช้ใหม่ แต่จะมีการใช้คำที่ต่างออกไปเหมือนแบบจำลองพื้นผิว หรือ แบบจำลองโซลิด วิธีการของ แบบจำลองพื้นผิว หรือ แบบจำลองโซลิดต้องการใช้แบบจำลองโครงข่าย เพื่อทำให้เกิดพื้นผิวที่จะแสดงออกมาทางจอภาพในที่สุด และเวลาที่เราต้องการเพื่อ แก้ไข หรือปรับปรุง แบบจำลองโครงข่ายจะใช้เวลาน้อยเมื่อเทียบกับ แบบจำลองพื้นผิว หรือแบบจำลองโซลิด

ข้อเสียเปรียบของแบบจำลองโครงข่ายมีมากมาย แบบจำลองเหล่านี้มักจะแสดงภาพของวัตถุได้ไม่ชัดเจนนัก การออกแบบที่ซับซ้อนมีขอบมาก ๆ จะกลายเป็นเรื่องที่สับสนมาก และบางทีอาจจะมองไม่ออกเป็นรูปได้ แต่ความสับสนนี้สามารถแก้ไขได้โดยที่ เส้นสามารถที่จะทำการซ่อน, ทำให้เป็นเส้นบาง หรือไม่มีเส้นเลยได้ วิธีการกำจัดเส้นที่ทำการซ่อนอัตโนมัติ โดยมีพื้นฐานของแบบจำลองโครงข่ายนั้น มีประโยชน์มาก



รูปที่ 2.14 แบบจำลองโครงข่ายของวัตถุจากโปรแกรม Mechanical Desktop

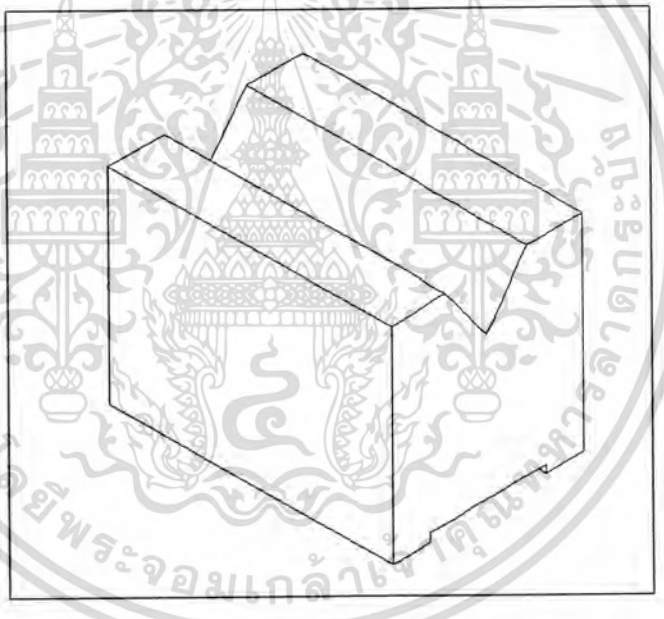
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 แบบจำลองพื้นผิว (Surface Models)

แบบจำลองพื้นผิวของวัตถุมีความสมบูรณ์มากกว่า และภาพที่แสดงมองง่ายกว่าแบบจำลองโครงข่าย ซึ่งทำให้เหมาะสมกว่าสำหรับการประยุกต์ทางด้านวิศวกรรม และการออกแบบ ซึ่งแบบจำลองโครงข่ายไม่สามารถทำได้ แบบจำลองพื้นผิวจะมีรายละเอียดของวัตถุมากกว่าแบบจำลองโครงข่าย 1 ขั้น โดยจะมีรายละเอียดพื้นผิวที่เชื่อมขอบของวัตถุ แบบจำลองพื้นผิวประกอบด้วย โครง ซึ่งเป็นรูปแบบพื้นฐานที่จะสร้างพื้นผิว และรายละเอียดมักจะถูกจัดการเหมือนเป็นส่วนขยายของการแสดงแบบจำลองโครงข่าย ที่ได้มีการเตรียมไว้แล้วใน CAD

แบบจำลองพื้นผิว มีการพัฒนาค่อนข้างรวดเร็วเนื่องจากข้อบกพร่อง และความไม่สะดวกของแบบจำลองโครงข่าย โดยทั่วไป แบบจำลองโครงข่ายสามารถที่จะทำมาจาก แบบจำลองพื้นผิวได้โดยการลดฐานของข้อมูลของแบบจำลองพื้นผิว

แบบจำลองพื้นผิวเมื่อพิจารณาแล้ว ข้อได้เปรียบจะมากกว่า แบบจำลองโครงข่าย มีความยุ่งยากน้อยกว่า จึงเป็นประโยชน์ทางด้านการคำนวณสมบัติทางด้านปริมาตร และมวล, Finite Element , การสร้างเส้นทางการเดินของเครื่อง CNC

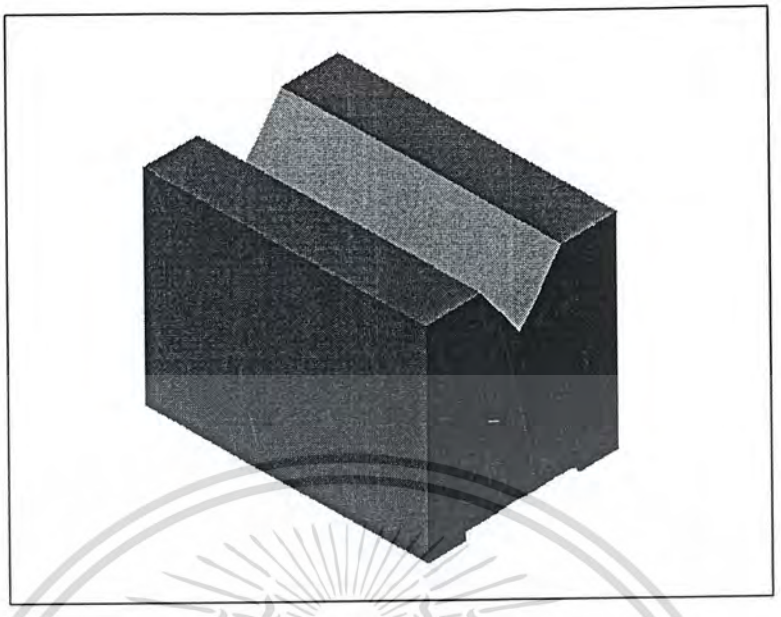


รูปที่ 2.15 แบบจำลองพื้นผิวของวัตถุจากโปรแกรม Mechanical Desktop

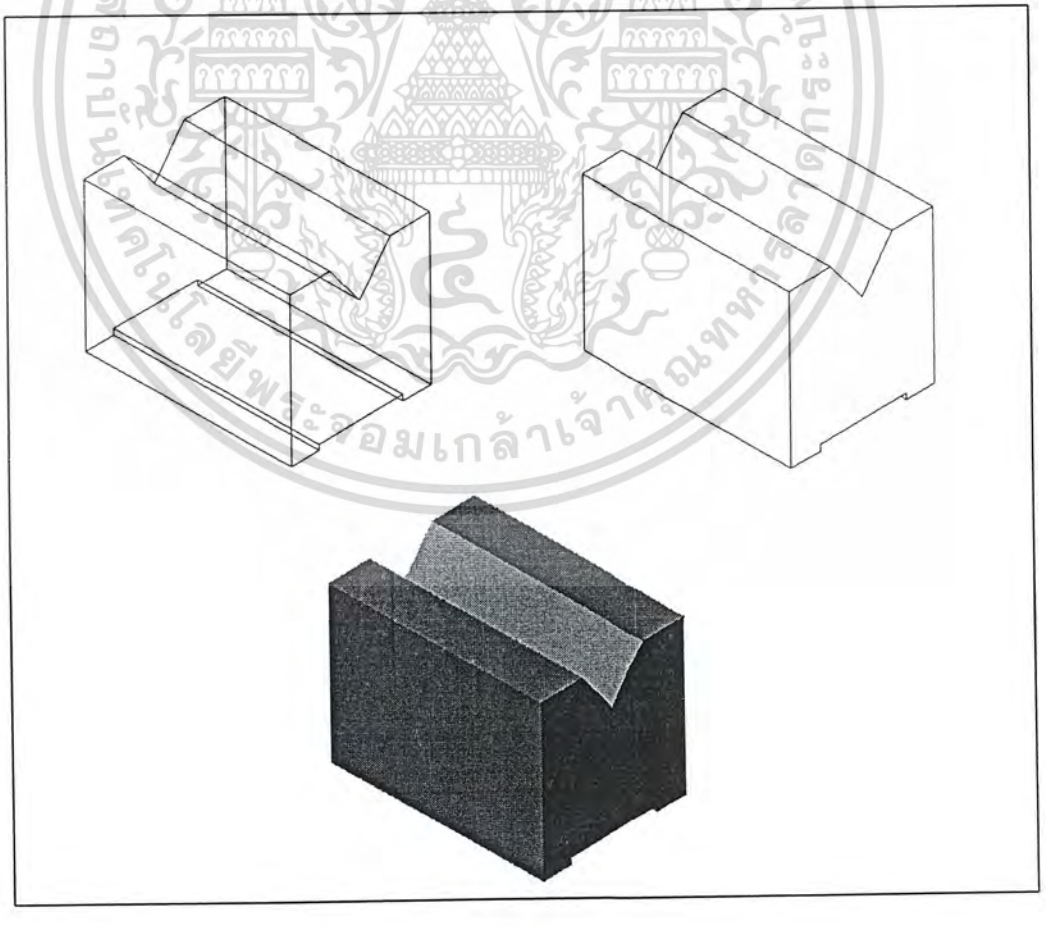
2.8.3 แบบจำลองโซลิด (Solid Models)

แบบจำลองโซลิด เป็นแบบจำลองที่สมบูรณ์มากกว่า แบบจำลองพื้นผิว และแบบจำลองโครงข่าย มีลักษณะพิเศษในด้านการให้รายละเอียดของวัตถุที่ทำให้ได้อย่างอัตโนมัติ และการรวมฟังก์ชั่นอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่ผู้ใช้ไม่ต้องเกี่ยวข้องกับการทำงานของมันเลย แบบจำลองโซลิดจะประกอบด้วยข้อมูลทางด้านคุณลักษณะ และเรขาคณิตของวัตถุ แบบจำลองโซลิดเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในรูปแบบเทคนิคของแบบจำลองทั้ง 3 รูปแบบ สามารถสร้างได้อย่างรวดเร็ว และเป็นแบบจำลองเพียงชนิดเดียวที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการของ Rapid Prototype เนื่องจากสามารถแปลงให้เป็นแฟ้มข้อมูล STL ได้ ซึ่งจะนำไปทำการเฉือนชิ้นงานออกเป็นชั้นๆ ในขั้นตอนต่อไปของ Rapid Prototype

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 แบบจำลองโซลิดของวัตถุจากโปรแกรม Mechanical Desktop



รูปที่ 2.17 ภาพแสดงการเปรียบเทียบแบบจำลองโครงข่าย, พื้นผิว, โซลิด จากโปรแกรม Mechanical Desktop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 แบบจำลองสำหรับงาน Rapid Prototype [9]

โปรแกรม CAD มีอยู่หลายโปรแกรมที่สามารถทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้ เช่น AutoCAD, CATIA เป็นต้น Mechanical Desktop เป็นโปรแกรมหนึ่งที่ช่วยเพิ่มขีดความสามารถในด้าน 3 มิติ ให้กับ AutoCAD โดยนำวิธีการขึ้นรูปวัตถุ 3 มิติ แบบ พาราเมตริกโซลิดโมเดลลิ่ง (Parametric Solid Modeling) และแบบ NURBS Surface Modeling เข้ามาใช้ในงาน AutoCAD ซึ่งทำให้การขึ้นรูป 3 มิติที่มีรูปทรงซับซ้อน สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว มีความเที่ยงตรงแม่นยำสูง และสามารถแก้ไขเปลี่ยนแปลงวัตถุ 3 มิติ ได้ในทุกขั้นที่ต้องการ ในการศึกษาในครั้งนี้ได้เลือกที่จะใช้ Mechanical Desktop 3 และ 3D Studio MAX ในส่วนของแบบจำลองโซลิด ซึ่งในการดำเนินงาน มี 2 ลักษณะ ดังนี้

2.9.1 แฟ้มข้อมูลแบบ STL

แฟ้มข้อมูล Stereolithography หรือ STL file เป็นรูปแบบในการแปลงแฟ้มข้อมูลแบบจำลองโซลิด เพื่อให้ โปรแกรมต่าง ๆ สามารถอ่านได้ ซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงในปัจจุบัน โดยเริ่มต้นเป็นแฟ้มข้อมูล ที่ใช้ในงาน Rapid Prototype โดยหลักการแล้ว เป็นการแทนเนื้อของวัตถุด้วยรูปทรง Tetrahedral ดังรูปที่ 2.18 หลาย ๆ รูป ประกอบเป็นรูปทรงของวัตถุนั้น ๆ จากรูปที่ 2.19 แสดงข้อมูลของรูปทรง CUBIC ซึ่งมี 6 ด้าน แต่ละด้านประกอบด้วยระนาบรูปสามเหลี่ยมเท่านั้น (หรือ Facet) โดยข้อมูลประกอบด้วยมุม หรือจุดยอดทั้งหมด ในโคออร์ดิเนท XYZ และทิศทางตั้งฉากของแต่ละด้าน การแปลงแฟ้มข้อมูล STL ให้ได้ใกล้เคียงรูปทรงจริงจึงขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนของ ระนาบรูปสามเหลี่ยม จากรูปที่ 2.18 แสดงรูปทรงปิระมิด ประกอบด้วย ระนาบรูปสามเหลี่ยม 6 ระนาบ (ที่ปรากฏบนพื้นผิวของวัตถุ) รูปบล็อคมี 12 ระนาบ รูปสามเหลี่ยม และรูปวงกลม ถ้ากำหนดรูป Chord Height ที่มีค่ามากจะได้รูปสามเหลี่ยมน้อย ทำให้เห็นรูป 6 เหลี่ยม ได้ ถ้ากำหนดรูป Chord Height น้อย เช่น 0.015 มิลลิเมตร จะได้ 508 รูป สามเหลี่ยมจะได้ผิวโค้งใกล้เคียงกับวงกลมที่ต้องการมากขึ้น แต่จำนวนก็จะมาก ทำให้ไฟล์ใหญ่ขึ้นมากด้วย

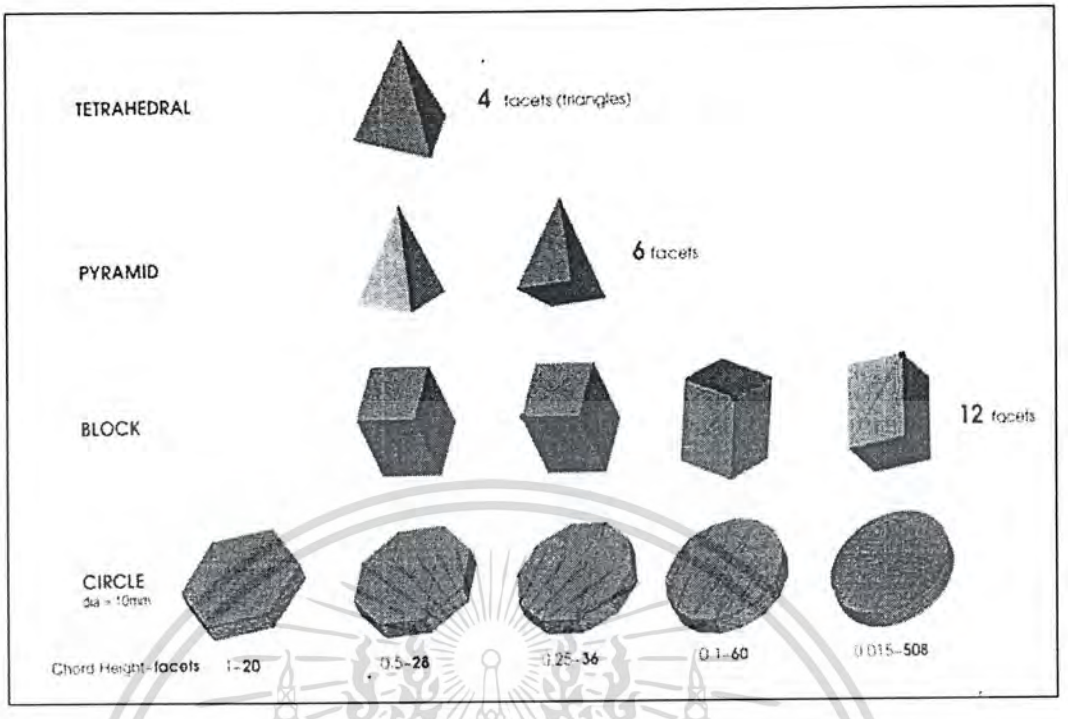
โครงสร้างของแฟ้มข้อมูล STL จะเป็นลักษณะของเวกเตอร์ (Vector) และจุดตำแหน่ง (Point) ที่สามารถประกอบกันขึ้นมาเป็นโครงข่ายของชิ้นส่วน (element) ย่อย ๆ และประกอบกันเป็นวัตถุ (Object) ขึ้นมาได้ ลักษณะของชิ้นส่วน (element) และจำนวน สามารถกำหนดขึ้นได้ เพื่อบอกถึงความละเอียด, ความถูกต้องของขนาดวัตถุ ซึ่งการทำการตัดออกเป็นชิ้นจะอาศัยขบวนการทางคณิตศาสตร์ ที่สร้างขึ้นเป็นโปรแกรม เพื่อมาคำนวณและแสดงผล ชนิดของแฟ้มข้อมูล STL แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. แบบแฟ้มข้อมูลตัวอักษร (ASCII File)
2. แบบแฟ้มข้อมูลเลขฐานสอง (Binary File)

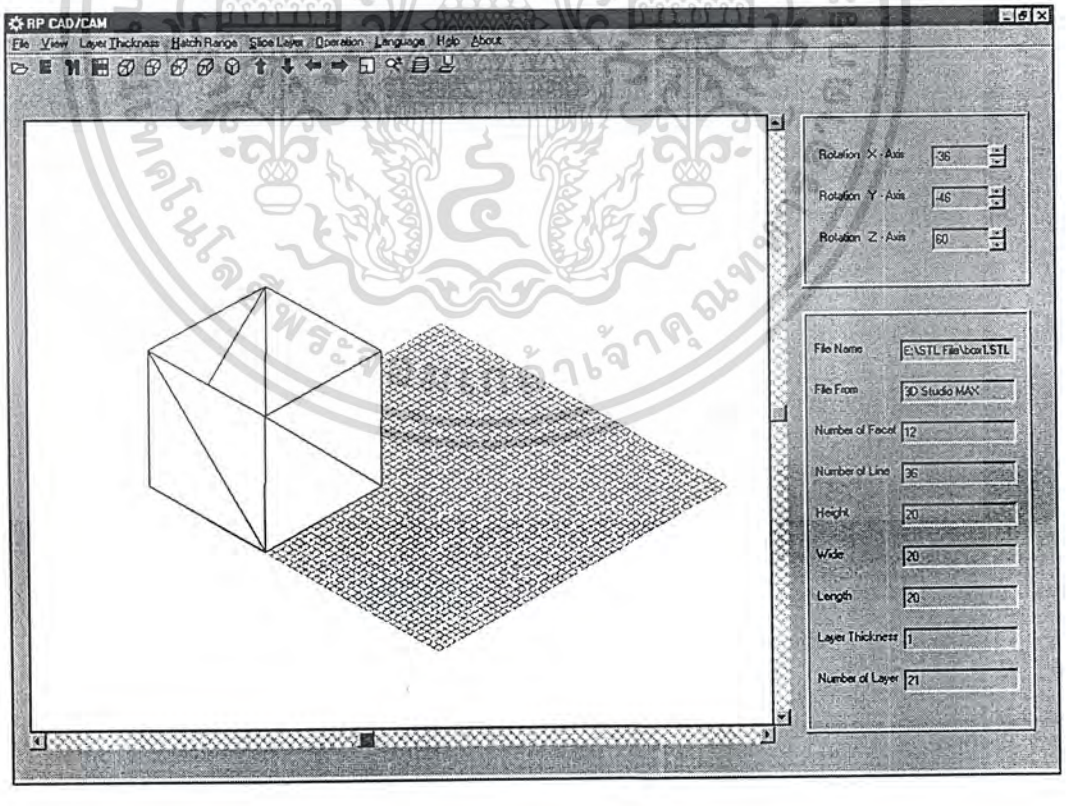
แบบแฟ้มข้อมูลตัวอักษร (ASCII File) เป็นการกำหนดเวคเตอร์แทนพื้นผิวซึ่งเป็นเวคเตอร์ที่ตั้งฉากกับผิวนั้น ๆ เรียกว่า Facet Normal และกลุ่มจุดยอดของพื้นที่สามเหลี่ยม เรียกว่า Vertex ซึ่งจะประกอบอยู่ด้วยกัน 3 จุด ใน 1 ส่วน

การแปลงแฟ้มข้อมูล STL จากโปรแกรม CAD เช่น AutoCAD หรือ 3D Studio MAX ได้มีการนำเอาการสร้างแบบจำลองโซลิดเข้ามาอยู่ในรูปที่สามารถเรียกใช้คำสั่ง และการสร้างแบบจำลองให้มีลักษณะตามต้องการได้ และยังสามารถส่งข้อมูลในรูปของ STL File ที่สามารถใช้ในการติดต่อกับเครื่อง SLA ออกมาด้วยคำสั่ง STLOut หรือ การ Export File ออกมาในรูปของ *.STL และจัดเก็บในแบบไฟล์ข้อมูลตัวอักษร (ASCII File)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การแปลงแบบจำลองโซลิดของแฟ้มข้อมูล STL เป็นระนาบของรูปสามเหลี่ยม หรือ Facet [12]



รูปที่ 2.19 รูปทรง CUBIC ขนาด 100 หน่วย จากการเปิดโปรแกรม RP CAD/CAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แฟ้มข้อมูลแบบตัวอักษร (ASCII File) จากโปรแกรม CAD ของรูปทรง CUBIC ขนาด 100 หน่วย แสดงได้ดังนี้

```
solid AutoCAD
  facet normal -1.0000000e+000 0.0000000e+000 0.0000000e+000
    outer loop
      vertex 0.0000000e+000 1.0000000e+002 1.0000000e+002
      vertex 0.0000000e+000 1.0000000e+002 0.0000000e+000
      vertex 0.0000000e+000 0.0000000e+000 1.0000000e+002
    endloop
  endfacet
  facet normal -1.0000000e+000 0.0000000e+000 0.0000000e+000
    outer loop
      vertex 0.0000000e+000 1.0000000e+002 0.0000000e+000
      vertex 0.0000000e+000 0.0000000e+000 0.0000000e+000
      vertex 0.0000000e+000 0.0000000e+000 1.0000000e+002
    endloop
  endfacet
  facet normal 0.0000000e+000 1.0000000e+000 0.0000000e+000
    outer loop
      vertex 1.0000000e+002 1.0000000e+002 1.0000000e+002
      vertex 1.0000000e+002 1.0000000e+002 0.0000000e+000
      vertex 0.0000000e+000 1.0000000e+002 1.0000000e+002
    endloop
  endfacet
  facet normal 0.0000000e+000 1.0000000e+000 0.0000000e+000
    outer loop
      vertex 1.0000000e+002 1.0000000e+002 0.0000000e+000
      vertex 0.0000000e+000 1.0000000e+002 0.0000000e+000
      vertex 0.0000000e+000 1.0000000e+002 1.0000000e+002
    endloop
  endfacet
  facet normal 1.0000000e+000 0.0000000e+000 0.0000000e+000
    outer loop
      vertex 1.0000000e+002 0.0000000e+000 1.0000000e+002
      vertex 1.0000000e+002 0.0000000e+000 0.0000000e+000
```

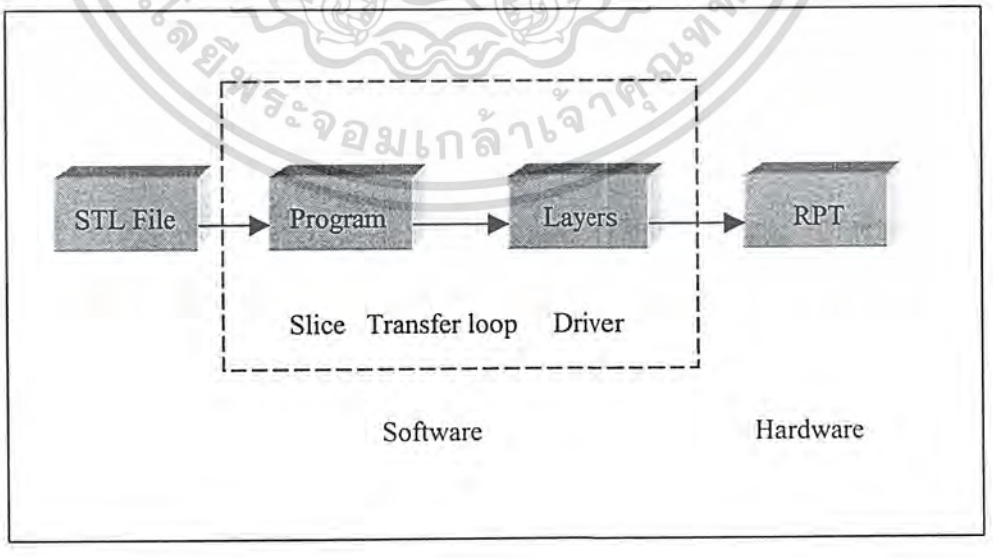
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    vertex 1.0000000e+002 1.0000000e+002 1.0000000e+002
  endloop
endfacet
facet normal 1.0000000e+000 0.0000000e+000 0.0000000e+000
  outer loop
    vertex 1.0000000e+002 0.0000000e+000 0.0000000e+000
    vertex 1.0000000e+002 1.0000000e+002 0.0000000e+000
    vertex 1.0000000e+002 1.0000000e+002 1.0000000e+002
  endloop
endfacet
facet normal 0.0000000e+000 -1.0000000e+000 0.0000000e+000
  outer loop
    vertex 0.0000000e+000 0.0000000e+000 1.0000000e+002
    vertex 0.0000000e+000 0.0000000e+000 0.0000000e+000
    vertex 1.0000000e+002 0.0000000e+000 1.0000000e+002
  endloop
endfacet
facet normal 0.0000000e+000 -1.0000000e+000 0.0000000e+000
  outer loop
    vertex 0.0000000e+000 0.0000000e+000 0.0000000e+000
    vertex 1.0000000e+002 0.0000000e+000 0.0000000e+000
    vertex 1.0000000e+002 0.0000000e+000 1.0000000e+002
  endloop
endfacet
facet normal 0.0000000e+000 0.0000000e+000 -1.0000000e+000
  outer loop
    vertex 1.0000000e+002 0.0000000e+000 0.0000000e+000
    vertex 0.0000000e+000 0.0000000e+000 0.0000000e+000
    vertex 1.0000000e+002 1.0000000e+002 0.0000000e+000
  endloop
endfacet
facet normal 0.0000000e+000 0.0000000e+000 -1.0000000e+000
  outer loop
    vertex 0.0000000e+000 0.0000000e+000 0.0000000e+000
    vertex 0.0000000e+000 1.0000000e+002 0.0000000e+000
    vertex 1.0000000e+002 1.0000000e+002 0.0000000e+000
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  endloop
endfacet
facet normal 0.0000000e+000 0.0000000e+000 1.0000000e+000
  outer loop
    vertex 0.0000000e+000 0.0000000e+000 1.0000000e+002
    vertex 1.0000000e+002 0.0000000e+000 1.0000000e+002
    vertex 0.0000000e+000 1.0000000e+002 1.0000000e+002
  endloop
endfacet
facet normal 0.0000000e+000 0.0000000e+000 1.0000000e+000
  outer loop
    vertex 1.0000000e+002 0.0000000e+000 1.0000000e+002
    vertex 1.0000000e+002 1.0000000e+002 1.0000000e+002
    vertex 0.0000000e+000 1.0000000e+002 1.0000000e+002
  endloop
endfacet
endsolid AutoCAD
```

สำหรับการนำแฟ้มข้อมูล STL ไปใช้ ในกระบวนการของ Rapid Prototype นั้น ทำได้โดยการเปิดแฟ้มข้อมูล STL จากโปรแกรมที่สร้างขึ้นและนำไปสู่กระบวนการต่าง ๆ ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.20

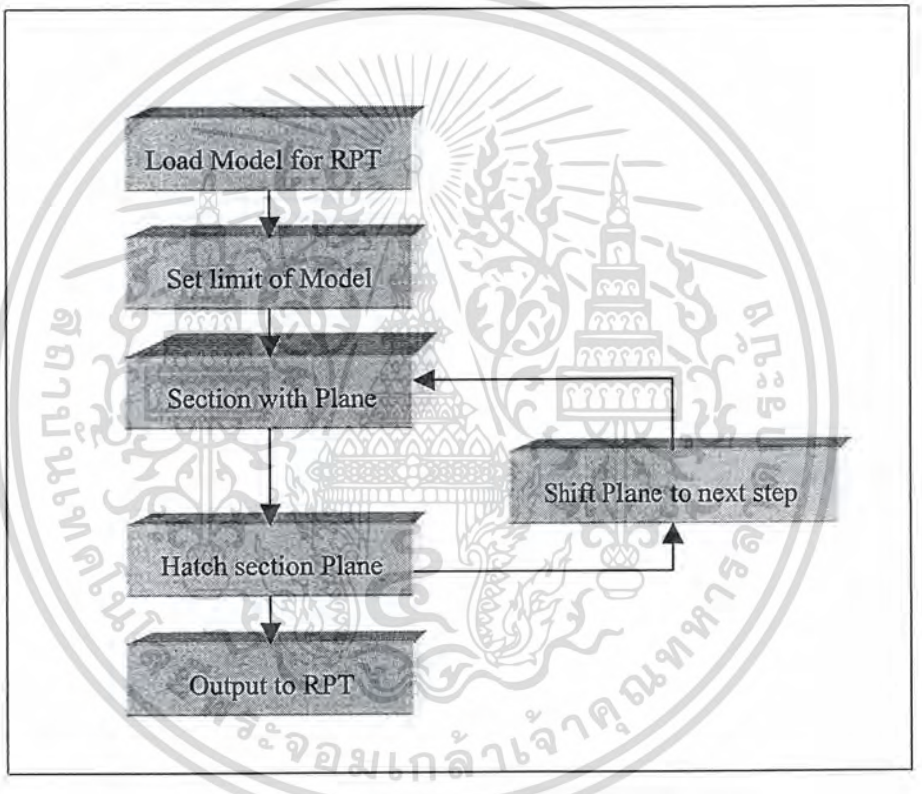


รูปที่ 2.20 การใช้ STL file ในกระบวนการ Rapid Prototype [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 การใช้การตัดชั้น (Slice Layer) บน โปรแกรม CAD

Mechanical Desktop และ 3D Studio MAX สามารถนำเข้าแฟ้มข้อมูล (import file) มาตรฐานได้หลายตัวที่เป็นแฟ้มข้อมูล CAD มาตรฐานสำหรับแบบจำลองโซลิด (3D Solid Modeling) คือแฟ้มข้อมูล STL ซึ่งแสดงถึงว่า RP ที่จะเชื่อมต่อกับ Mechanical Desktop สามารถใช้ได้กับ CAD อื่น ๆ ที่มีลักษณะต่างกันไปได้ โดยการถ่ายโอนผ่านทางแฟ้มข้อมูลมาตรฐาน การตัดชั้นของโปรแกรม CAD ที่สร้างขึ้นนั้น ทำโดยการตัดชิ้นงานที่ได้รับการออกแบบมาแล้ว และเปิดขึ้นจากการเปิดแฟ้มข้อมูล STL ออกเป็นชั้น ๆ ตามความหนาที่ต้องการในแต่ละชั้น ซึ่งสามารถกำหนดได้ตามความต้องการและความเหมาะสม จากนั้น ทำการสร้างเส้นทางการเดินของหัวฉีด (Hatch) ซึ่งสามารถกำหนดระยะห่างของการเดินของหัวฉีดนี้ได้เช่นเดียวกัน จากนั้นทำการตัดชั้นในชั้นต่อ ๆ ไป จนครบทุกชั้น



รูปที่ 2.21 กระบวนการทำงานของการตัดชั้น (Slice Layer) [9]

2.10 องค์ประกอบชุดขับเคลื่อน [11]

การศึกษาในเรื่องนี้ ใช้การควบคุมการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน โดยในแต่ละแกน ควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ไปขับบอลล์สกรู ซึ่งติดอยู่กับโต๊ะทำงานที่จะใช้ในการเคลื่อนที่ เมื่อต้องการให้เกิดการเคลื่อนที่ในแกนใดก็ใช้การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สั่งให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ ในแกนนั้น ๆ หมุนไปในทิศทางที่ต้องการไปขับบอลล์สกรู ให้ ฐานรองรับงาน ในแกนนั้น ๆ เคลื่อนที่ไปในตำแหน่งที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 สเตปเปอร์มอเตอร์ (Steppèr Motor)

หลักการทำงานของ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ จะมีเพลาหมุนเป็นสเต็ป โดยเมื่อป้อนอินพัลซ์ที่มีความถี่ค่าหนึ่งเข้าไป จะทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามรอบวงและหยุด ขนาดของสเต็ปขึ้นอยู่กับการออกแบบและการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ซึ่งจะแตกต่างกับมอเตอร์ทั่ว ๆ ไปที่เมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าเข้าไปจะหมุนทันที และต่อเนื่องกันไปตลอดเวลาที่ให้กำลังไฟฟ้า

การหมุนเป็นสเต็ปของสเต็ปเปอร์มอเตอร์เกิดจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสที่ป้อนเข้าไป โดยในตัวมอเตอร์จะมีแท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่บนเพลาและหมุนได้อิสระเหมือน Armature มีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้า 2 ขั้ว ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงโลหะที่เป็น Stator ตำแหน่งของแกน Armature ต่างไปจาก แกนขั้วแม่เหล็กเล็กน้อย ทำให้เกิดแรงที่เกิดจากการดึงดูดกันของขั้วแม่เหล็กตั้งฉากกับแกน Armature ทำให้ Armature หมุนในทิศทางที่ทำให้แกนของ Armature อยู่ในแนวเดียวกันกับแกนขั้วของ Stator ถ้าหากมีขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าหลาย ๆ คู่รอบ ๆ Stator และถูกกระตุ้นด้วยกระแสเป็นพัลซ์ในรูปแบบที่เรียงลำดับกันไป Armature ก็จะหมุนในลักษณะของสเต็ปที่เป็นไปตามการหมุนของกระแสแม่เหล็กที่เกิดจากการ Switch ที่เรียงลำดับของขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าของ Stator

Stepping Motor แบ่งออกตามพื้นฐานได้ 3 ประเภท คือ

1. Variable reluctance มีโครงสร้างของ Stator แบบ multi-tooth ทำจากเหล็กอ่อน ซึ่งไม่เกิดปรากฏการณ์ทางแม่เหล็ก จึงหมุนได้ไม่ติดขัด แต่มีจุดด้อยเรื่องความถูกต้องของตำแหน่ง และทำงานได้ไม่ดีนักเมื่อสเต็ปในการหมุนสูง

2. Permanent magnet มีโครงสร้างของ rotor แบบเรียบ ไม่มีซี่ขั้วแม่เหล็ก และเป็นแม่เหล็กถาวร มีข้อดีในเรื่องความถูกต้องของตำแหน่งและความเร็วมากกว่าชนิดอื่น ๆ

3. Hybrid เป็นชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยเฉพาะการนำมาใช้ในอุปกรณ์ที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ มีแรงยึดเหนี่ยวสูง มีแรงบิดดึงและผลักได้ดี จึงทำให้มีความคงที่ในการทำงานดี แม้ว่าจะมีสเต็ปต่อรอบในการหมุนสูง

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบน stator ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีเควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้องแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ Wave, Two phase, และ Half-step ซึ่งทั้ง 3 แบบก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป

แบบ Wave เป็นการกระตุ้นรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่ง และเรียงถัดกันไป ดังเช่นขดลวดที่ 1,2,3,4,1 หรือ 1,4,3,2,1 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้หมุน ดังนั้นจึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบเวฟจึงมีราคาถูกและง่าย แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ Wave

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Two phase เป็นการกระตุ้นอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งคล้ายแบบ Wave แต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไป เช่นเดียวกับแบบ Wave คือขดลวดที่ถูกกระตุ้น 12,23,34,41,12 หรือ 14,43,32,21,14 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุน การเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบ Wave โรเตอร์จะเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดึงแบบเต็มแรง จาก 2ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อไปด้วยแรงดึงจาก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือ การกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น แสดงการทำงานดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ Two phase

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

แบบ Half-step เป็นรูปแบบที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบ Wave และแบบ Two phase เพื่อเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับนี้ ขดลวดที่ถูกกระตุ้น 1,12,2,23,3,34,4,41,1 หรือ 1,14,4,43,3,32,2,21,1 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุน แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง และแต่ละสเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึงระวังไว้ว่าเมื่อถูกกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ป จึงจะได้เท่ากับ 1 สเต็ปเหมือนกับการควบคุม 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องใช้เทียบเท่ากับแบบ Two phase จึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ Half-step

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 Ball Screw

หลักสำคัญในการเคลื่อนที่ในแต่ละแกน ก็คือการส่งกำลังขับด้วย Ball Screw ซึ่งจะมีลูกบอลไหลหมุนเวียนตลอดเวลา Ball Screw จะประกอบด้วย Screw กับ Nut ที่มีลักษณะเป็นเกลียวกลม ร่องเกลียวกลมบน Screw และใน Nut จะชุบแข็ง และมีผิวเรียบเพื่อลดความฝืด และเพิ่มความเที่ยงในการเคลื่อนที่

เมื่อมอเตอร์หมุนขับสกรู Nut ก็จะเคลื่อนที่ไปตลอดความยาวของสกรู พาให้ Plate เลื่อนไปตามรางเลื่อน ภายในของ Nut จะประกอบไปด้วยชุดของลูกบอลจำนวนมาก ทำให้มั่นใจได้ว่าความเสียดทานในการส่งกำลังขับจากสกรูไปยัง Plate จะมีน้อยมาก

2.11 การควบคุมการเคลื่อนที่ โดย Linear Interpolation [7]

2.11.1 DDA Integrator

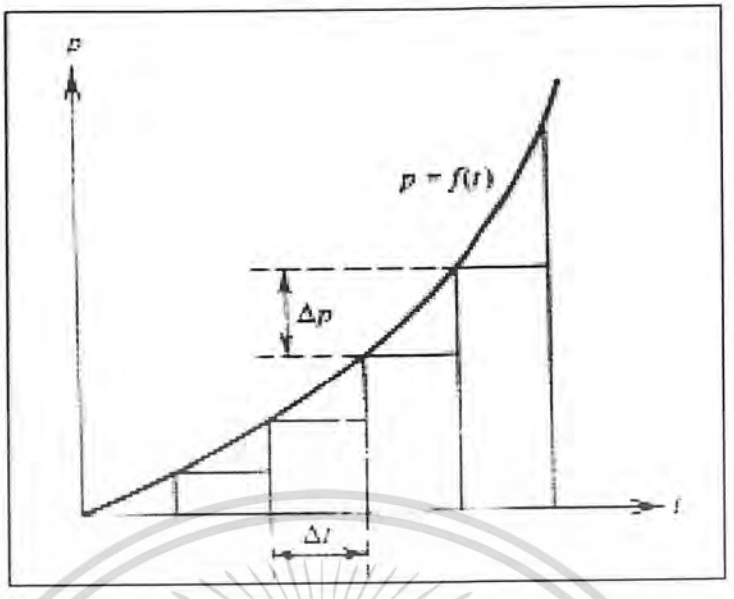
ความต้องการพื้นฐานของระบบการผลิตก็คือการสร้างพิกัดการเคลื่อนที่ (coordinate movement) ซึ่งควบคุมโดยชุดควบคุมในแต่ละแกนที่แยกเป็นอิสระจากกัน เพื่อจะสร้างทางเดินของ tool ให้เหมาะสมกับการขึ้นรูปชิ้นงานที่ต้องการสร้าง ซึ่งพิกัดการเคลื่อนที่จะเกี่ยวข้องกับการกำเนิดสัญญาณที่จะเป็นตัวกำหนดรูปร่างของชิ้นงานและการส่งสัญญาณนั้นจะอ้างอิงกับ input ที่เข้ามา ซึ่ง input นั้นต้องสอดคล้องกับ control loop ด้วย การที่จะสร้างสัญญาณขึ้นมาเพื่อนำไปใช้งานได้ จำเป็นต้องใช้วิธี interpolator เข้ามาช่วย โดย interpolator ที่ใช้กับเครื่องจักรในระบบ NC นั้นจะประกอบอยู่ในแผงวงจร แต่สำหรับเครื่องจักรในระบบ CNC interpolator จะอยู่ในรูปของโปรแกรม (software)

DDA (Digital Differential Analyzers) เป็นรูปแบบที่พิเศษรูปแบบหนึ่งโดยใช้ภาษาดิจิตอลในขณะที่การคำนวณยังใช้วิธีแบบอนาลอก ซึ่งเป็นการรวมประโยชน์จากทั้งแบบดิจิตอลและอนาลอกเพื่อให้ได้ความแม่นยำในการคำนวณมากขึ้น

ส่วนประกอบพื้นฐานของ DDA ก็คือ DDA INTEGRATOR ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับ operational amplifier ในคอมพิวเตอร์อนาลอก และยังทำหน้าที่สร้าง basic block เพื่อใช้ในการประมวลผลในส่วนของการถ่ายโอนข้อมูลในรูปของภาษาดิจิตอล (n-bit) ระหว่างตัวประมวลผลก็จะถูกกำจัดไปโดยใช้วิธี incremental transfer computation ซึ่งจะมีเพียงตัวแปรและสัญญาณ bit เท่านั้นที่จะถูกส่งถ่าย ทำให้ใช้สายสัญญาณในการถ่ายโอนข้อมูลเพียงแค่ 2 สายเท่านั้นแทนที่จะต้องใช้ทั้งหมด n+1 สาย

Digital integration ใช้หลักในการรวมของพื้นที่สี่เหลี่ยมต่างๆ โดยการประมาณค่าของพื้นที่สี่เหลี่ยมที่อยู่ใต้กราฟ ซึ่ง DDAs ในเครื่องจักรระบบNC จะใช้การประมาณค่าของพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งจะพิสูจน์โดยกำหนดตัวแปรของเวลาให้เท่ากับ t ดังที่แสดงในรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 Digital Approximation of a continuous function [7]

Digital integration จะถูกคำนวณโดยการประมาณค่าพื้นที่ใต้กราฟ ซึ่งเป็นผลรวมของสี่เหลี่ยมเล็กๆ หลายรูป โดยที่กำหนดให้สี่เหลี่ยมแต่ละรูปมีความกว้างเท่ากับ t ซึ่งเป็นผลให้

$$Z(t) = \int_0^1 pdt = \sum_{i=1}^{k} p_i \Delta t \qquad \text{----------(1)}$$

ซึ่งกำหนดให้ค่าของ z ที่เวลา $t = k\Delta t$ ซึ่งแทนค่าโดย z_k ซึ่งอาจเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$Z_k = \sum_{i=1}^{k-1} p_i \Delta t + p_k \Delta t \qquad \text{----------(2)}$$

หรือ

$$Z_k = Z_{k-1} + \Delta Z_k \qquad \text{----------(3)}$$

เมื่อ

$$\Delta Zk = pk\Delta t \qquad \text{----------(4)}$$

Digital integration แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยเริ่มจาก 1. ค่าของ p_k หาได้โดยการเพิ่มหรือลดค่าของ Δp_k ออกจากค่าที่อยู่ในลำดับก่อนหน้า ดังสมการ

$$p_k = p_{k-1} + \Delta p_k \qquad \text{----------(5)}$$

หลังจากได้ค่า p_k แล้ว ก็นำไปแทนค่าในสมการที่ (4) แล้วนำค่า ΔZ ที่ได้ไปคำนวณต่อในสมการที่ (3) DDA integrator จะดำเนินการซ้ำรอบไปเรื่อยๆ ที่ความถี่เท่ากับ f โดยเตรียมได้ดังสมการ

$$f = \frac{1}{\Delta t} \qquad \text{----------(6)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างการทำซ้ำในแต่ละรอบโดยสมการ (4) และ (5) ข้อมูล input และ output ที่เข้าสู่ DDA integrator จะถูกส่งในรูปของสัญญาณ 1-bit ดังนั้นค่าของ Δp และ Δz จะมีค่า 1 หรือ 0 เพียงเท่านั้น ซึ่ง ค่านี้จะถูกนำไปเก็บใน DDA integrator ในรูปของ n-bit register หรือ up-down counter ซึ่งถูกกำหนดค่าขอบเขตไว้โดย

$$\frac{P_k}{2^n} < 1 \qquad \text{----------(7)}$$

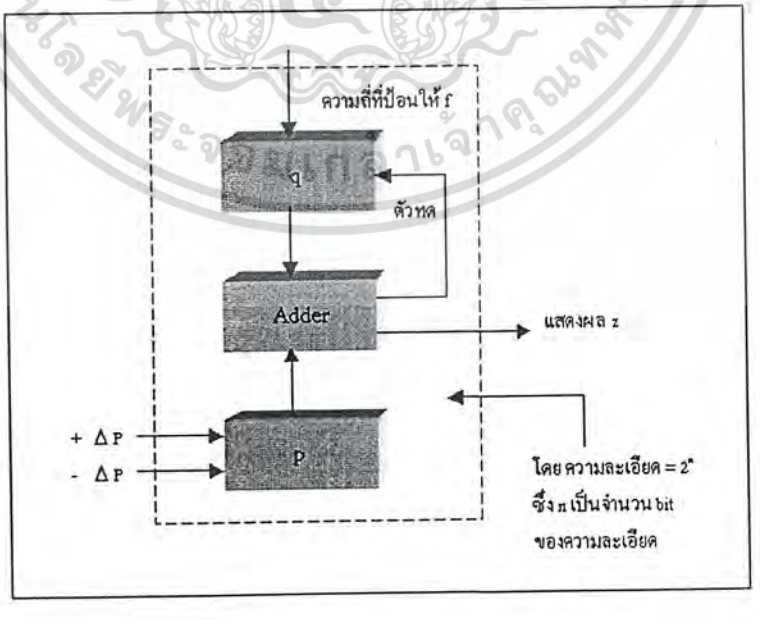
ซึ่งค่า Δp ที่เพิ่มเข้ามา (ซึ่งมีค่าเป็น 1 หรือ 0) จะถูกเพิ่มเข้าไปยังบิตที่มีค่าน้อยที่สุด (LSB – least significant bit) ซึ่งจะแสดงถึงตำแหน่งของค่า p ในส่วนของ output หลังจากผ่านการคำนวณค่าของ n-bit ที่เข้ามาแล้ว ก็จะถูกแสดงผลออกมาเป็นค่า q

$$q_k = q_{k-1} + p_k \qquad \text{----------(8)}$$

ถ้าค่าของ q มีค่าเกินกว่า $2^n - 1$ ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่อนุญาตให้มีได้ จะเกิดการoverflow ค่า Z ทิ้งไป

<u>ตัวอย่าง 1</u> กำหนดให้ $n = 3$, $p_k = 6$, $q_{k-1} = 4$

q_{k-1}		100
	+	+
p_k		110
Δz	q_k	1 010



รูปที่ 2.23 Schematic diagram ของ DDA integrator [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.23 จะเห็นว่าประกอบไปด้วย p และ q โดยที่การเพิ่มค่าของค่า p แสดงดังสมการที่ (5) Δp ที่เพิ่มเข้ามา (ซึ่งมีค่าเป็น 1 หรือ 0) การเพิ่มค่าของตัวมันเองจะใช้สมการที่ 1-7 ซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่าในทุกๆ รอบที่มีการทำซ้ำ โดยค่า Δz ที่ได้จาก diagram ในแต่ละรอบ จะถูกแสดงดังสมการ

$$\Delta z_k = 2^{-n} p_k \qquad \text{----------(9)}$$

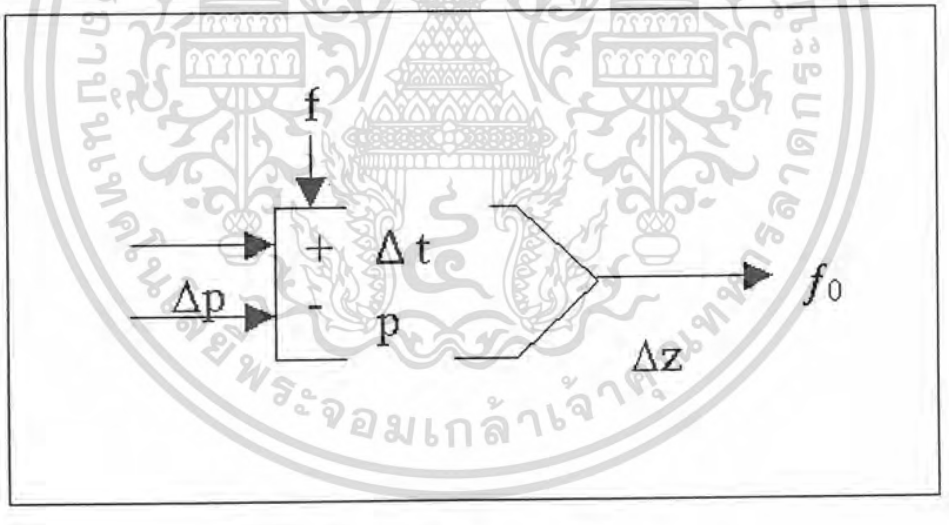
ถ้านำสมการที่ 6 และ 9 มารวมกันจะสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\Delta z_k = C p_k \qquad \text{----------(10)}$$

ซึ่งค่า C เป็นค่าคงที่ โดยมีค่าดังนี้

$$C = \frac{f}{2^n} \qquad \text{----------(11)}$$

สัญลักษณ์ที่ใช้แทน DDA integrator แสดงดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 สัญลักษณ์ของ DDA integrator [7]

DDA จะทำการส่ง pulse Δz ออกมาซึ่งจะกลายไปเป็น Δp input ของDDA อื่น ๆ ซึ่งขึ้นกับเราออกแบบ โดยปรกติแล้วตัวของ DDA จะไม่สะสมค่า pulse Δz แต่ถ้าต้องการค่าผลรวมของ Δz จะต้องทำการเพิ่ม counter เข้าไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง 2 ให้การเพิ่มขึ้นของค่า p คงที่(แสดงว่าค่า $\Delta p = 0$) ให้คำนวณค่า Δz ที่ 10 steps แรก โดยให้ค่า p เริ่มต้นที่ 5 และ q ที่ 0

	q_{k-1}	101
	+	+
	p_k	101
Δz	q_k	1 010

เพราะฉะนั้นจะได้ค่า $q_k = 2$ และ $\Delta z = 1$

สำหรับคำตอบของการคำนวณใน 10 รอบแรกดังแสดงในตารางข้างล่างนี้ ค่าของผลรวมการเพิ่มค่า Δz แสดงในช่อง Δz ถ้าต้องการเพิ่มความแม่นยำก็สามารถปรับปรุงได้โดยการตั้งค่า q เริ่มต้นไว้ให้ไม่เท่ากับ 0

Step no.	q	Δz	Δz
1	5		0
2	2	1	1
3	7		1
4	4	1	2
5	1	1	3
6	6		3
7	3	1	4
8	0	1	5
9	5		5
10	2	1	6

2.11.2 DDA Hardware Interpolator

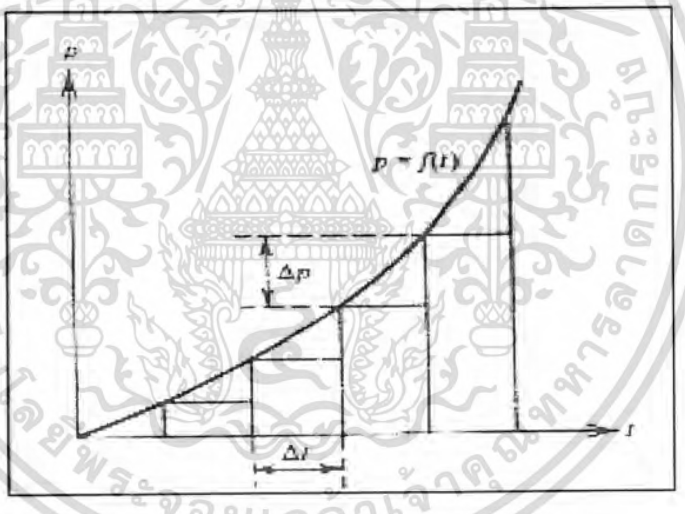
การที่จะกำหนดโครงร่างของ machining path จะต้องเกิดจากการรวมส่วนของเส้นตรงและเส้นโค้งเข้าด้วยกัน ซึ่งมันจำเป็นมากที่จะต้องกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายรวมทั้ง feed rate ซึ่งเครื่องจะทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้ข้อมูลซึ่งผ่านการทำ interpolation มาก่อน ซึ่งเมื่อนำข้อมูลนี้มารวมกับ electronic unit ก็จะกลายเป็น interpolator เครื่องจะได้รับการควบคุมในแต่ละแกนโดยแยก drive ควบคุมในแต่ละแกนเป็นอิสระจากกัน วิธีการโดยทั่วไปของ interpolator มีอยู่ 2 วิธี คือ linear และ วงกลม แต่ว่ายังมี parabolic interpolator ซึ่งได้รับความนิยมในเครื่อง NC ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอากาศยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเส้นตรง โดยการป้อนค่าจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายคือการใช้ linear interpolation ซึ่งสามารถแสดงออกมาได้ทั้งระนาบ 2 มิติซึ่งประกอบด้วยการเคลื่อนที่แกนเดียวหรือ 2 แกน และระนาบ 3 มิติ ซึ่งประกอบด้วยการเคลื่อนที่ 3 แกน

2 – D Interpolation ทำหน้าที่ส่งความเร็ว (ในหน่วยpulse/seconds) และทำหน้าที่รักษาอัตราส่วนระหว่างความถี่ของpulseให้เท่ากับอัตราส่วนระหว่างระยะทางที่เพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างดังแสดงในรูปข้างล่าง ชิ้นงานจะถูกตัดเป็นเส้นตรงระหว่างจุด A และจุด B ระยะทางของแกน X และแกน Y มีค่า 5 และ 3 BLUs ตามลำดับ ซึ่ง 1 BLUs มีค่าเท่ากับสัญญาณ pulse ที่ออกมา 1 pulse แสดงว่า Interpolator จะต้องส่งสัญญาณไปยัง control loop ของแกน X จำนวน 5 pulse พร้อมกับส่งสัญญาณไปยัง control loop ของแกน Y จำนวน 3 pulse พร้อมๆกัน จะได้อัตราส่วนของความถี่ทั้งสองแกนมีค่าเท่ากับ 5:3

รูปที่ 2.25 แสดงไดอะแกรมของ 2-D Interpolator ในแต่ละแกนก็ต้องการ DDA Integrator เฉพาะแกน Integrator หมายเลข 1 จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณ pulse ไปยังแกน X และ Integrator หมายเลข 2 จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณ pulse ไปยังแกน Y ซึ่ง DDA ทั้งสองตัวจะต้องทำงานพร้อม ๆ กัน สัญญาณ pulse Δz จะถูกส่งออกไปยัง control loops ซึ่งสัญญาณ pulse เหล่านี้จะไปกระตุ้นการทำงานของ stepping motor ใน open-loop โดยที่ pulse หนึ่ง pulse จะทำให้ stepping motor เคลื่อนที่ไปได้ 1 จังหวะ



รูปที่ 2.25 ไดอะแกรมของ 2-D Interpolator [7]

<u>ตัวอย่างที่ 3</u> รับสัญญาณ 5 จังหวะการทำงาน ต้องการ 3 step
จะได้ตารางดังนี้

	Q	p	output
1	0	3	-
2	3	6	1
3	1	4	-
4	4	7	1
5	7	5	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา Δp เข้าจะเข้าแยกแกน แต่เอา Δp max มาเป็นตัวกำหนดจังหวะการทำงานทั้งหมด

	X	y	z
1	1	-	-
2	1	1	-
3	1	-	1
4	1	1	-
5	1	1	1

$\Delta p_x = 5$, $\Delta p_y = 3$, $\Delta p_z = 2$

จากทั้ง 3 แกน จะเห็นว่าที่แกน x จะได้ Δp max

ทำการหาระยะทางที่เคลื่อนที่ใน 3 มิติใน 1 วินาที จะได้ $s = \sqrt{2^2 + 3^2 + 5^2}$

$= 6$ unit(ของblu)

เพราะฉะนั้นจะหาความเร็วได้ = 6 blu/1 sec

เนื่องจากในเครื่องจักรจริง จะมีการกำหนดความถี่clock มาให้

สมมติให้ความถี่เท่ากับ 10 unit/sec เนื่องจากเราต้องการการเคลื่อนที่ 6 unit จะได้ว่าเราจะต้องใช้เวลา 0.6 sec --- #

จากสมการ $2^n - 1$ ถ้าเราต้องการการเคลื่อนที่ 5 จังหวะ ทำการหาค่า n จะได้ดังนี้

$2^n - 1 = 5$ ถ้า $n = 2$ $2^n - 1 < 5$ -- ใช้ไม่ได้

$n = 3$ $2^n - 1 = 7$

ซึ่งมีค่ามากกว่า 5 จึงเลือก $n = 3$ ดังนั้นจึงขยายตารางออกไปเป็น 7 step

จะได้ความถี่ = 7 step/0.6 sec

2.12 การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) [4]

2.12.1 ลักษณะและประเภทของการถ่ายเทความร้อน

ความร้อน คือพลังงานซึ่งส่งผ่านขอบเขตระหว่าง ระบบ และ สิ่งแวดล้อม โดยเป็นผลมาจากความต่างของอุณหภูมิ และการถ่ายเทความร้อน คือ การส่งถ่ายพลังงาน ซึ่งมีผลเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้นเห็นได้ว่าจะมีการถ่ายเทความร้อนขึ้นเสมอ เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิในตัวกลาง หรือระหว่างตัวกลางใด ๆ การถ่ายเทความร้อนสามารถ แบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ การนำความร้อน (Conduction) ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนในตัวกลางที่อยู่กับที่ ซึ่งอาจจะเป็นของแข็ง หรือของไหล การพาความร้อน (Convection) ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนระหว่างพื้นผิว และของไหลที่เคลื่อนที่ เมื่อทั้งสองมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน การแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) วัตถุทุกชนิด ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ จะส่งพลังงานออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นจะมีการแผ่รังสีความร้อนระหว่างวัตถุ 2 ชนิดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันเสมอแม้ว่าจะไม่มีตัวกลางก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือแสวงหาประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.2 การนำความร้อน (Conduction)

กระบวนการสำคัญที่ทำให้เกิดการนำความร้อนได้แก่ การเคลื่อนที่ของโมเลกุลในตัวกลางหนึ่ง ๆ การนำความร้อนนั้นสามารถมองได้ว่า เป็นการส่งถ่ายพลังงานจากอนุภาคของสารที่มีพลังงานสูงกว่าไปยังอนุภาคที่มีพลังงานต่ำกว่า เมื่ออนุภาคทั้งสองมากระทบกัน หรือสัมผัส กัน การนำความร้อนสามารถอธิบายได้โดยการพิจารณาก๊าซจำนวนหนึ่ง ซึ่งแต่ละอนุภาคของก๊าซมีอุณหภูมิต่างกัน สมมติว่าก๊าซนี้ไม่มีการเคลื่อนที่เป็นกลุ่มก้อน และก๊าซนี้อาจจะครอบคลุมบริเวณระหว่างพื้นผิวสองแห่งซึ่งมีอุณหภูมิต่างกัน ที่จุดใด ๆ ในบริเวณดังกล่าวก๊าซมีอุณหภูมิค่าหนึ่ง และโมเลกุลของก๊าซ ณ จุดนี้จะมีพลังงานอยู่ระดับหนึ่ง พลังงานนี้สัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ซึ่งไม่เป็นแบบแผน และกับการสั่นสะเทือนของโมเลกุล โมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงจะมีพลังงานสูง การเคลื่อนที่ซึ่งไม่เป็นแบบแผนของโมเลกุล ทำให้โมเลกุลของก๊าซกระทบกันอย่างสม่ำเสมอ และเมื่อเกิดการกระทบกันก็จะเกิดการส่งผ่านพลังงานระหว่าโมเลกุลขึ้น ถ้าโมเลกุลมีอุณหภูมิต่างกัน กระบวนการนี้เรียกว่า การนำความร้อน

2.12.3 การนำความร้อนผ่านผนังทรงกระบอก (Cylinder)

ตัวอย่างระบบทรงกระบอกที่พบบ่อย ได้แก่ การนำความร้อนผ่านผนังท่อรูปทรงกระบอกกลวง ซึ่งผิวใน และนอกของทรงกระบอกสัมผัสกับของเหลวที่มีอุณหภูมิต่างกัน ถ้าทรงกระบอกความยาวมากเมื่อเทียบกับความหนาของผนัง การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในแนวรัศมี และประมาณได้ว่า เป็นการนำความร้อนมิติเดียวตามแนวรัศมี ในกรณีนี้เมื่อเป็นสภาวะคงตัว และไม่มีการกำเนิดพลังงานภายในทรงกระบอก ซึ่งมีลักษณะการกระจายความร้อนตามรัศมีของทรงกระบอกเป็นแบบ Logarithmic

2.13 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) [10]

พลาสติก นับว่าเป็นวัสดุที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของเราอย่างมากและกำลังเป็นวัสดุสร้างที่มีคุณค่าควบคู่ไปกับเหล็กและไม้ถ้ารู้จักเลือกใช้พลาสติกให้เหมาะสมกับงาน ทั้งนี้เพราะสามารถ สร้าง ดัดแปลง และแปรรูปได้ง่าย คำถามที่ว่า " พลาสติกคืออะไร " นั้นตอบได้ไม่ง่ายนัก คือเมื่อราวศตวรรษที่แล้ว มนุษย์เราได้รู้จักวัสดุที่มีคุณสมบัติเหนียว ทนต่อการฉีกขาด ยืดหยุ่นได้ และทนต่อการสึกหรอได้ดี แต่ยังไม่รู้จักโครงสร้างที่แท้จริงของวัสดุนี้ดีนัก ซึ่งเป็นสารประกอบของมาโครโมเลกุลและยังมีใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น เซลลูโลส โปรตีน และยางธรรมชาติ จากการค้นคว้าของ Staudinger ได้พบว่ามาโครโมเลกุลประกอบด้วยสารไมโครโมเลกุลเป็นจำนวนมาก ขอบเขตระหว่างมาโครโมเลกุลและไมโครโมเลกุลนั้นยังไม่มีนิยามแน่ชัด รู้กันแต่ว่ามาโครโมเลกุลประกอบด้วยไมโครโมเลกุล เป็นร้อย ๆ พัน ๆ และที่เราเรียกกันว่าพลาสติกหรือ polymer นั้นก็ประกอบด้วยมาโครโมเลกุล

2.13.1 การสังเคราะห์สารมาโครโมเลกุล

มาโครโมเลกุลนั้นเราสามารถทำได้โดยการสังเคราะห์ โดยนำเอาสารประกอบจาก 2 ธาตุ หรือ หลายธาตุที่เรียกว่า Monomer มาทำปฏิกริยาเชิงซ้อน ซึ่งประกอบด้วย

- ขบวนการ Polymerisation
- ขบวนการ Polyaddition
- ขบวนการ Polycondensation

ขนาดของ มาโครโมเลกุลที่เกิดขึ้นจะมีขนาดแตกต่างกันมากบ้างน้อยบ้าง โดยที่ขนาดและความยาวของโซ่โมเลกุลจะกำหนดไว้เป็นค่าเฉลี่ยเสมอ เช่น มวลโมเลกุลเฉลี่ย (M) หรือค่า Polymerisation (P) โดยค่า Polymerisation degree = มวลโมเลกุลเฉลี่ยของ Polymer/มวลโมเลกุลของ Monomer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง

Polyethylene ซึ่งมี M = 56,000 Polyethylene ประกอบด้วย Monomer ของ Ethylene ซึ่งมีมวลโมเลกุล 28 คำนวณจากมวลอะตอม

$$P = 56,000/28$$

$$P = 2000$$

นั้นคือ หนึ่งมาโครโมเลกุลของ Polyethylene ประกอบด้วย Monomer ประมาณ 20,000 โดยเฉลี่ย

2.13.2 ขบวนการ Polymerisation

พลาสติกที่ใช้กันมาก เช่น Polyethylene (PE) Polystryne (PS) Polyvincylchloride (PVC) จะผลิตจากขบวนการ Polymerisation ทั้งนั้น ในขบวนการ Polymerisation สารประกอบแบบไม่อิ่มตัวจะถูกทำให้สลายตัวเป็น Monomer โดยใช้แสง ความร้อน ความดัน หรือ Initiater (Per – หรือ Azocompound กรด หรือ ด่าง) และ Monomer ซึ่งถูกกระตุ้นไว้นี้ ก็จะไปทำให้สารประกอบแบบไม่อิ่มตัวที่อยู่ใกล้เคียงสลายตัวต่อไป

ระหว่างที่ Monomer สลายตัวจะเกิดสภาพต้องการรวมตัวขึ้น ทำให้เกิดปฏิกริยาทางเคมี ปฏิกริยานี้จะเกิดขึ้นเป็นลูกโซ่ต่อเนื่องจนกว่าจะถูกทำให้ขาดลง

2.13.3 ขบวนการ Polyaddtion

ขบวนการ Polyaddtion คล้ายกับขบวนการ Polymerisation โดยที่การสร้างมาโครโมเลกุลไม่มีการสลายตัวของสารโมเลกุลต่ำ วัตถุดิบของขบวนการนี้จะเป็น Monomer แตกต่างกันสองชนิด ซึ่งแต่ละชนิดเป็นสารประกอบ 2 ธาตุ หรือหลายธาตุ ในการรวมกัน(Addtion) ของ Monomer เหล่านี้ จะเกิดการสลับที่กันของอะตอมต่างๆ ส่วนใหญ่จะเป็นอะตอมของไฮโรเจนของกลุ่มหนึ่งไปยัง Monomer ใกล้เคียงผลผลิตของขบวนการนี้ ได้แก่ Polyurethane และ Epoxy Resin

2.13.4 ขบวนการ Polycondensation

ในขบวนการ Polycondensation ก็ใช้ Monomer สองชนิดที่ต่างกัน แต่ขณะที่รวมตัวกันนั้นมีผลผลิตโมเลกุลต่ำแยกตัวออกมา ซึ่งจะเห็นว่าในการผลิต Polyester, Polyamide, Phenolic, Melamine จะมีผลผลิตโมเลกุลต่ำคือน้ำออกมา เมื่อ Monomer มีคุณสมบัติในการปฏิกริยาหลายๆครั้ง โซ่โมเลกุลก็จะจับตัวกันเป็นตาข่ายกลายเป็น Thermosetting แต่ถ้า Monomer มีคุณสมบัติปฏิกริยาเพียงสองขั้น ก็จะได้โซ่โมเลกุลเป็นเส้น ซึ่งก็จะเป็น Thermoplastic

2.13.5 ขบวนการ Polymerisation และ Polyblend

เพื่อที่จะให้ได้พลาสติกที่มีคุณสมบัติที่แน่นอนตามต้องการ สามารถจะนำเอา Polymer ต่างชนิดกันมารวมกันได้ การเกิดปฏิกริยาทางเคมีแบบนี้จะทำให้ได้ Polymer ชนิดใหม่ขึ้น ซึ่งเรียกว่า Copolymer ในการนำเอา Polymer ต่างชนิดกันมาผสมกันทางกลเราเรียกว่า Polyblend

ในขบวนการ Copolymerisation นี้โซ่โมเลกุล Monomer ต่างๆ จะต่อกันเป็นช่วง ๆ (block) แต่ก็เป็นไปได้ที่ Polymer ชนิดหนึ่งเข้าไปเกาะเป็นแขนงของโซ่โมเลกุลของ Polymer อื่น ปฏิกิริยาลักษณะนี้เรียกว่า Pfropfcopolymerisation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก . –A-A-A-B-B-A-A-B-B-B-B-A-A-A-B

ข. –A-A-A-A-A-A-A-A-A-
B B
B B
B

ค. –A-A-A-A-A-A-A-A-A-A-
-B-B-B-B-B-B-B-B-B-B

2.13.6 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของพลาสติก

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของพลาสติกขึ้นอยู่กับ

- โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุล
- ขนาดของมวลโมเลกุลเฉลี่ย
- การแยกแขนงของโซ่โมเลกุล
- การแยกแขนงของโซ่โมเลกุลรวมทั้งแนวโน้มในการเกาะผลึก
- องศาการเกาะตัวเป็นตาข่ายของโซ่โมเลกุล

จากคุณสมบัติที่กล่าวมานี้ จึงแบ่งกลุ่มของพลาสติกออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- กลุ่ม Thermoplastic หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Plastomer
- กลุ่ม Thermosetting หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Duromer
- กลุ่ม Elastomer

กลุ่ม Elastomer นั้น ส่วนใหญ่ได้แยกออกจากกลุ่มพลาสติก เนื่องจากเหตุผลทางความเป็นมาของวัสดุ ถึงแม้ว่าโครงสร้างทางเคมีจะไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นในหนังสือเล่มนี้จึงไม่ได้กล่าวถึง Elastomer เอาไว้ ดังจะเห็นจากการแสดงแผนภาพสถานะของพลาสติก แสดงไว้แต่เพียง amorphus partical cristaline Thermoplastic และ Thermosetting เท่านั้น

2.13.7 สถานะของ Amorphous Thermoplastic

พลาสติกแต่ละชนิดจะแสดงคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปเมื่อได้รับความร้อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์ที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว Thermoplastic ประกอบด้วย โซ่โมเลกุลแบบเส้น และยึดเหนี่ยวกันอยู่ด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล หรือที่เรียกว่า Secondary force ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและระยะห่างระหว่างโซ่โมเลกุล แรงยึดเหนี่ยวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ Polarity ของ Polymer และมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางกลทางความร้อน และทางเคมีด้วย ในตารางที่ 2.4 ได้แสดงสถานะโครงสร้างโมเลกุลและวิธีการแปรรูปของพลาสติกในช่วงอุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงสถานะ โครงสร้างโมเลกุล และวิธีการแปรรูปของพลาสติกในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ

สถานะรูป	แข็งเปราะเหมือนแก้ว	Thermoelastic ยืดตัว แบบ elastic ได้มาก	ช่วงเป็น Thermoplastic เหลวหนืด	ช่วงสลายตัว
โครงสร้างโมเลกุล	มาโครโมเลกุลเกาะแน่นมาก แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมาก	มาโครโมเลกุลยังเกาะกันเหนียวแน่นอยู่พอประมาณ แต่เคลื่อนไหวได้มากขึ้น	มาโครโมเลกุลจะเคลื่อนไปมาเสียดสีกันไปได้ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยมาก	โมเลกุลจะสลายตัว
การทำงาน	ตัดโดยวิธีเสียเศษและไม่มีเศษ การประสานแบบแน่นและแยกได้ ชุบผิวได้ การทำงานจากผงพลาสติก-งานหล่อ	การแปรรูป - ตัด อัด ดึง และการแปรรูปโดยการดึงและอัดเข้าแม่แบบ	การทำงานจากผง - ฉีดเข้าแบบ Extrusion อัด ทำโฟม รีด หล่อหมุน	ไม่มี

2.13.8 สถานะของ Partial crystaline Thermoplastics

Partial crystalline แตกต่างจาก amorphous ที่โครงสร้างของโซ่โมเลกุลเป็นระเบียบ โดยวิธีนี้จะทำให้โซ่โมเลกุลเรียงตัวกันดีและประกอบเป็นผลึกในเขตที่ยังเป็น amorphous ซึ่งอยู่เหนือช่วง ET จะเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ จึงทำให้พลาสติกชนิดนี้เหนียวและยืดหยุ่น พลาสติกที่สำคัญในกลุ่มนี้ก็คือ Polyethylene (PE) Polypropylene (PP) Polymide (PA) Polyoxymethylene (POM) Polyetrafluorethylene (PTFE) Polyethylene-terephthalate (PETT)

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงสถานะ โครงสร้างโมเลกุลของ Partial crystaline Thermoplastics

สถานะรูป	แข็งเปราะเหมือนแก้ว	แข็ง เหนียวยืดหยุ่น จนถึง ช่วง Thermoelastic		ช่วงเป็น Thermoplastic	ช่วงสลายตัว
โครงสร้างโมเลกุล	ช่วงเป็น amorphous และ crystaline จะแข็งแรงและมีแรงยึดเหนี่ยว	ส่วนที่เป็น amorphus โมเลกุลเคลื่อนไหวได้บ้างส่วนที่เป็นผลึกยัง	ส่วนที่เป็นผลึกจะหลอมละลาย	มาโครโมเลกุลเคลื่อนที่เสียดสีกันได้	โมเลกุลของ Thermoplastic สลายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ระหว่างโมเลกุลสูง	แข็งอยู่แรงยึดเหนี่ยว ระหว่างโมเลกุลในช่วงที่เป็นผลึกสูง			
การทำงาน	ไม่มีการทำงานในช่วงนี้	การตัดโดยเสียเศษและไม่เสียเศษ ประสานแบบแยกตัวได้และถาวร ชุบผิวได้	การแปรรูป - งานดัด อัด ดึง และแปรรูปโดยการดึง-อัดเข้าแม่แบบ	การแปรรูปจากผง - ฉีดเข้าแบบ Extrusion ฯลฯ	ไม่มี

2.13.9 สถานะของ Thermosetting

Thermosetting ประกอบด้วยเส้นโมเลกุล เช่นเดียวกัน Thermoplastic ซึ่งจะถูกทำให้เกาะกันเป็นตาข่ายเมื่อเข้าขบวนการทำงาน เนื่องจากการยึดกันของโซ่โมเลกุลไม่ใช่แรง Covalent จึงมีคุณสมบัติแตกต่างจาก Thermoplastic เป็นอย่างมาก การยึดกันด้วยแรง Valency ระหว่างโซ่โมเลกุลจะขัดขวางการเคลื่อนไหวของโมเลกุลจนกว่าจะถึงจุดสลายตัว พลาสติกที่สำคัญในกลุ่มนี้ได้แก่ Phenolic Melamine unsaturated Polyester Epoxy resin Polyureyhane ที่โมเลกุลเกาะตัวเป็นตาข่าย

ตารางที่ 2.6 ตารางแสดงสถานะ โครงสร้างโมเลกุล ของ ของ Thermosetting

สถานะรูป	แข็งเปราะเหมือนแก้ว	ช่วงสลายตัว
โครงสร้างโมเลกุล	โมเลกุลเกาะกันเป็นตาข่าย	โมเลกุลของ Thermosetting สลายตัว
การทำงาน	การตัดโดยวิธีเสียเศษและไม่เสียเศษ การประสานแบบแยกได้และถาวร ชุบผิวได้	ไม่มี

การทำงานจากผง - ในการทำงานจากผง (เช่นงานอัด ฉีดอัด ฉีด ทำโฟม หล่อเคลือบ ฯลฯ) จะทำให้มาโครโมเลกุลเกาะกันเป็นตาข่าย

การแปรรูป - การแปรรูปทำไม่ได้ เนื่องจากโซ่โมเลกุลเกาะกันเป็นตาข่ายถี่มาก จะไม่อ่อนตัวเมื่อรับความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.10 ค่าเฉพาะต่าง ๆ สำหรับการทำงาน

ผู้ที่ทำงานพลาสติก ไม่จำเป็นจะต้องรู้กรรมวิธีสังเคราะห์มากนัก แต่สิ่งที่ควรรู้มากกว่าก็คือ ค่าเฉพาะ ซึ่งจะเป็นตัวบอกสภาวะการทำงานแปรรูปได้ของ Thermoplastic และ Thermosetting โดยจะเป็นตัวบอกความแตกต่างระหว่างพลาสติกด้วยกัน และช่วยในการตรวจสอบวัสดุเพื่อนำไปผลิต ผลผลิต คุณภาพต่าง ๆ ตามต้องการด้วย

1) มวลโมเลกุล และ Polymerisation degree

ค่าทั้งสองนี้ได้เคยกล่าวถึงไว้เมื่อตอนต้นบ้างแล้ว ค่านี้กำหนดไว้เพื่อให้รู้ว่าถ้าค่าสูงขึ้น คุณสมบัติทางกลจะดีขึ้นด้วย รวมทั้งช่วงหลอมตัวของ Thermoplastic และการทนต่อสารเคมีของ amorphus Thermoplastic จะเพิ่มขึ้น และความทนทานจะสูงขึ้นด้วยแต่สภาพการไหลพลาสติกในการทำงานจะลดลงดังเช่น Polyethylene ที่มีมวลโมเลกุลสูง จะไม่สามารถทำการฉีดเข้าแบบได้ จะทำได้โดยการอัดเท่านั้น

2) ความหนาแน่นของผง ความหนาแน่นปรากฏ และแฟคเตอร์การเติม

สารพลาสติกที่เตรียมพร้อมที่จะทำงานได้แล้วจะต้องได้รับการกะเกณฑ์ เพื่อส่งเข้าเครื่องในปริมาณที่พอดีแต่ละครั้ง โดยสภาพการเทลงได้ของพลาสติก หรือโดยน้ำหนัก ถ้าเป็นวัสดุที่เทลงได้ง่ายมักจะใช้การกะเกณฑ์โดยปริมาตร แต่ถ้าเป็นงานที่ต้องกะเกณฑ์ด้วยจำนวนที่แน่นอนคงที่ ควรใช้วิธีกะเกณฑ์ด้วยน้ำหนัก ความหนาแน่นปรากฏ เป็นการกำหนดมวลของพลาสติกเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ถ้ามวลของพลาสติกถูกกดด้วยแรง จะได้ความหนาแน่นปรากฏ ค่าแฟคเตอร์การเติมสาร หมายถึงอัตราส่วนความหนาแน่นของกองผงพลาสติก ต่อความหนาแน่นของผง

3) สภาพการไหลของพลาสติก

สภาพการไหลของพลาสติกจะแตกต่างจากของเหลวซึ่งเป็นสารประกอบโมเลกุลต่ำ เนื่องจากโครงสร้างของพลาสติกเป็นสารประกอบมาโครโมเลกุล สภาพการไหลของพลาสติกในสภาวะอ่อนตัวก็คือ การเคลื่อนไหวเสียดสีระหว่างมาโครโมเลกุลด้วยกัน

ในการที่จะกล่าวถึงสภาพการไหลของพลาสติกให้ละเอียดนั้นจะยืดยาวมาก จึงขอยกตัวอย่างที่สำคัญที่ใช้ในทางปฏิบัติเท่านั้น

4) ดัชนีการหลอม (Melting index)

การวัดดรรชนีการหลอมนั้นได้ตั้งมาตราฐานไว้ตาม DIN53735 โดยวัดจาก Polyethylene Polypropylene หรือ Polyester วิธีการนี้เหมาะสำหรับตรวจสอบ Ware inlet แต่จะไม่ได้ค่าที่แน่นอนนัก

5) การทดสอบไหลเลื้อย

เป็นวิธีการทดสอบในทางปฏิบัติเช่นเดียวกับใช้ทดสอบ Thermosetting ได้ด้วย จากการทดสอบนี้ ถ้ามวลยิ่งไหลออกมากในระยะเวลาที่จำกัด ก็หมายความว่าสภาพการไหลยิ่งดี การเปรียบเทียบนี้ ใช้ได้สำหรับ Polymer ที่มีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกัน และทดสอบที่สภาวะเดียวกัน

6) ค่า K

ค่า K วัดจาก Polyvinylchloride ตาม DIN 53726 เป็นค่าเปรียบเทียบของความหนืดที่ได้จากสารละลาย PVC ในสารละลาย จากค่าความหนืดเราสามารถคำนวณค่ามวลโมเลกุลเฉลี่ยได้ (ใช้กับ Polymer อื่นๆ ได้เช่นกัน)

ค่า K และค่าความหนืดตาม DIN จะมีตารางเปรียบเทียบไว้ให้ ซึ่งเมื่อค่า K สูงก็หมายความว่ามวลโมเลกุลจะสูงด้วย

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) สภาพการไหลของ Thermosetting

สภาพการไหลของ Thermosetting นั้นแตกต่างจาก Thermoplastic อยู่ตรงที่ การเกาะตัวเป็นตาข่ายของมาโครโมเลกุลของ Thermosetting ปฏิกริยาเกิดขึ้นสองอย่างพร้อมๆกันคือ

ความหนืดลดลง เนื่องจากความร้อนจากปฏิกริยาถูกปล่อยออกมา

ความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อมาโครโมเลกุลเริ่มเกาะตัวเป็นตาข่าย

ในการวัดปฏิกริยาทั้งสองยังไม่มีวิธีการวัดที่เหมาะสม จึงให้ใช้วิธีการวัดทั้งสองวิธีที่ได้กล่าวมาแล้ว

8) การทดสอบโดยอัดเป็นแท่ง

เป็นวิธีการคล้าย ๆ กับการหาค่าดรรชนีการหลอม ผงพลาสติกที่อัดไว้เป็นเม็ดจะถูกนำออกมาจากห้องอบร้อน อัดลงไปในช่องไหล ความยาวของแท่ง คือขนาดสำหรับความสามารถในการไหล

9) การทดสอบโดยการนวด

ทำโดยการเอาผงพลาสติกไปเข้าเครื่องนวดร้อน เพื่อให้เหลวแล้วทำให้แข็ง พร้อมกันนั้นก็จะวัดโมเมนต์ของมอเตอร์ตามระยะเวลาที่จำกัด กรรมวิธีนี้ไม่มีมาตรฐาน

10) การทดสอบโดยการทำเป็นรูปถ้วย

เอาผงพลาสติกมาอัดเป็นถ้วยในแท่นอัด แล้ววัดระยะเวลาปิดของแท่นอัด เพื่อให้ได้ขนาดของความเร็วในการแข็งตัว จะมีวิธีในการทดสอบต่อไป โดยการวัดความแข็งที่ความดันคงที่

2.13.11 การเลือกใช้พลาสติก

พลาสติกเป็นสารที่มีคุณสมบัติที่ดี และใช้งานได้กว้างขวาง เนื่องจากพลาสติกส่วนใหญ่เป็นสารประกอบของสารอินทรีย์ ที่ใช้จึงขึ้นอยู่กับกรรมวิธีการผลิตเสียเป็นส่วนใหญ่ สำหรับผู้ผลิตแล้ว สิ่งที่ควรต้องรู้นั้น ไม่ใช่แต่เพียงกรรมวิธีการผลิตเท่านั้น แต่ควรจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของวัสดุด้วย สำหรับการเลือกใช้พลาสติกให้เหมาะสมกับงาน มีรายงานการทดสอบมาตรฐานและหนังสือคู่มืออยู่มากที่จะสามารถหาความรู้ได้ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

3.1 ลำดับขั้นตอนในการดำเนินการ

1. การศึกษารายละเอียดเบื้องต้นของโครงงาน
2. การประชุมวางแผนการทำงาน
3. การศึกษาหาข้อมูล
4. การออกแบบด้าน Hardware
5. การออกแบบด้าน Software
6. การจัดหาวัสดุที่จะนำมาใช้ในการทำโครงงาน
7. การดำเนินการด้าน Hardware
8. การดำเนินการด้าน Software
9. การศึกษาสมบัติของวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงาน
10. การดำเนินการด้านวงจรควบคุมการทำงาน

3.2 แผนการทำงานและสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ FDM

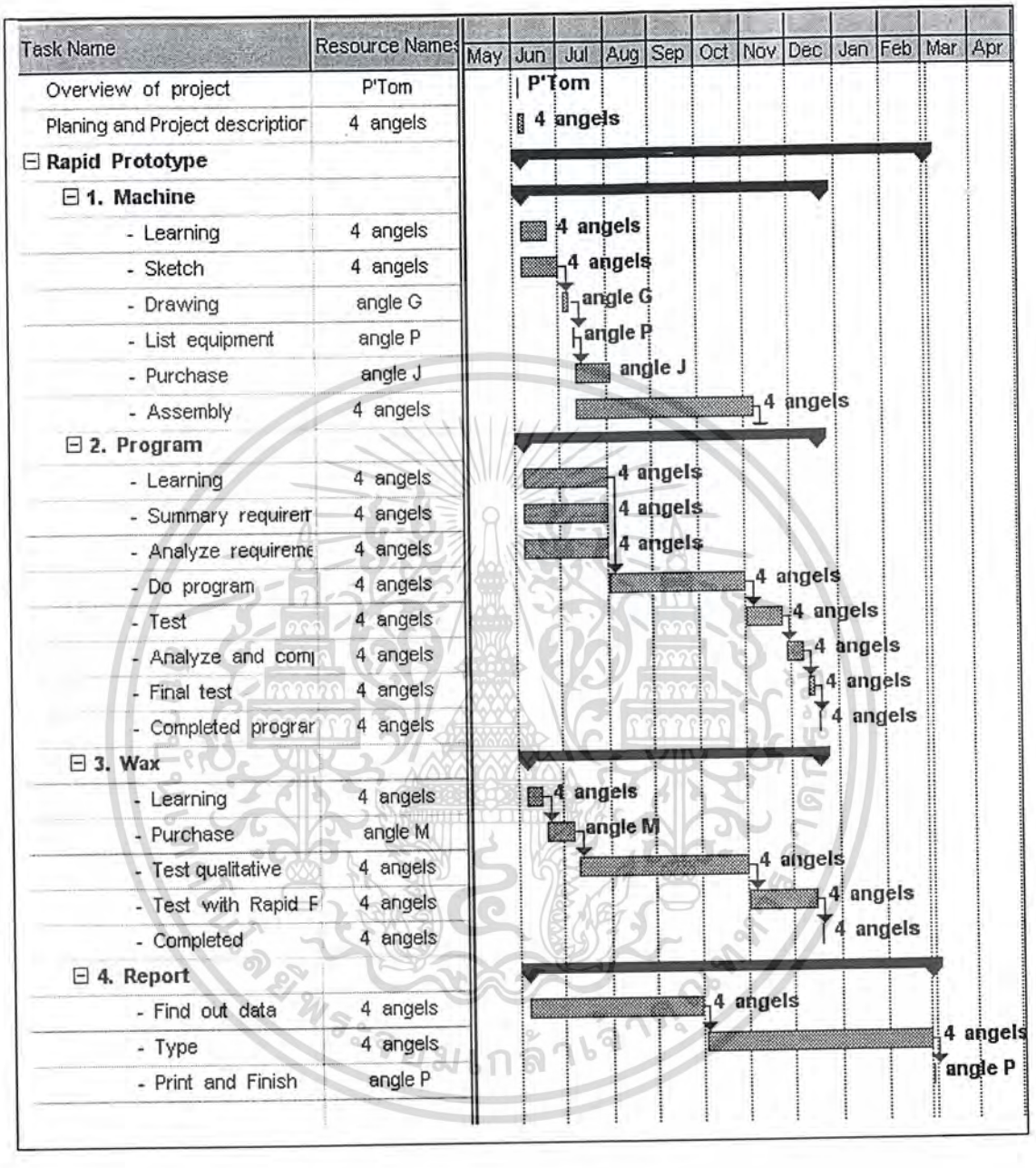
แผนการทำงานที่จะนำมาใช้ในการทำโครงงาน โดยสรุปโครงงานออกเป็น 3 ส่วน คือ ด้าน Hardware, ด้าน Software, และด้านวัสดุที่จะนำมาสร้างเป็นชิ้นงาน เพื่อให้สะดวกในการปฏิบัติ และมีการวางแผนการทำงานเป็น Gantt Chart เพื่อให้สะดวกในการทำความเข้าใจและตรวจสอบการทำงาน

ด้าน Hardware แบ่งการทำงานออกเป็น การศึกษา , การออกแบบ, การคัดเลือกแบบ , การจัดซื้อ , และการประกอบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ

ด้าน Software แบ่งการทำงานออกเป็น การศึกษา , การออกแบบ , การสร้างโปรแกรม , การตรวจสอบโปรแกรม , การตรวจสอบโปรแกรมกับเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น , และการตรวจสอบ

ด้าน วัสดุที่จะนำมาใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงาน แบ่งการทำงานออกเป็น การศึกษา , การจัดซื้อ , การตรวจสอบคุณสมบัติ , และการทดสอบกับเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินการ การศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การศึกษาหาข้อมูล

โดยแบ่งเป็นการศึกษาข้อมูลต่างๆ ตามที่ได้แบ่งไว้

3.3.1 ด้าน Hardware

ได้ทำการศึกษาหาข้อมูลดังนี้

- การใช้เครื่องมือเครื่องจักรต่าง ๆ
- ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับเครื่องที่จะทำการสร้างขึ้น

โดยทำการศึกษาจาก

- วิทยานิพนธ์ที่มีเนื้อหาใกล้เคียงกัน
- ข้อมูลต่างๆจากห้องสมุด
- ข้อมูลจากอินเตอร์เนต
- ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
- สอบถามจากร้านค้า

3.3.2 ด้าน Software

ได้ทำการศึกษาหาข้อมูลดังนี้

- การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษาต่าง ๆ PASCAL ,BASIC , C++
- การสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม Visual Studio และ Delphi

โดยทำการศึกษาจาก

- วิทยานิพนธ์ที่มีเนื้อหาใกล้เคียงกัน
- หนังสือคู่มือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
- โปรแกรมการสอนโปรแกรมคอมพิวเตอร์
- ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

3.3.3 ด้าน วัสดุที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงาน

ได้ทำการศึกษาหาข้อมูลดังนี้

- คุณลักษณะของขี้ผึ้ง
- คุณลักษณะของเทอร์โมพลาสติก

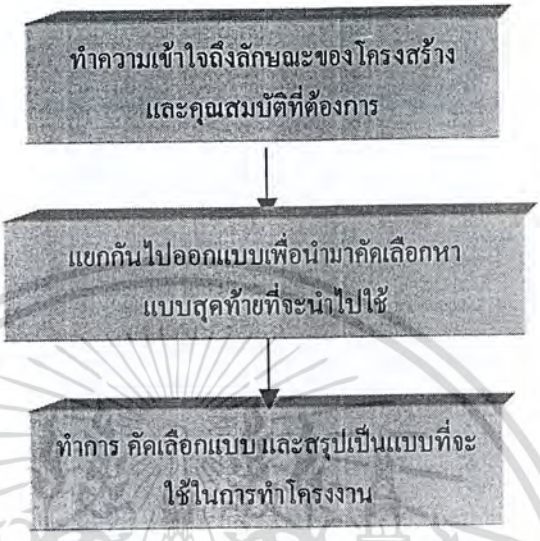
โดยทำการศึกษาจาก

- วิทยานิพนธ์ที่มีเนื้อหาใกล้เคียงกัน
- ข้อมูลจากห้องสมุด
- ข้อมูลจากอินเตอร์เนต
- ปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
- ปรึกษาอาจารย์จากภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
- สอบถามจากร้านค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การออกแบบด้าน Hardware (แบบรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข)

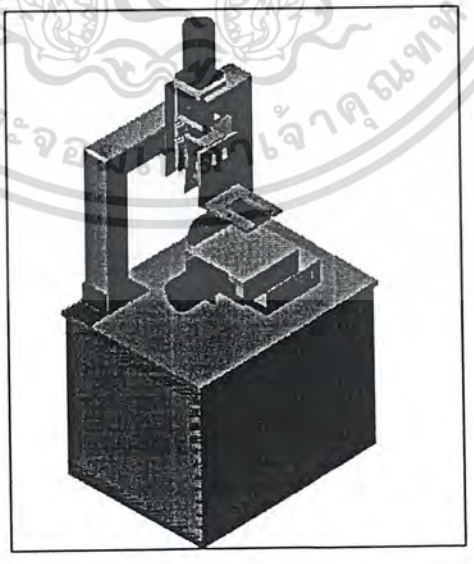
ได้ทำการออกแบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ (RP) ออกเป็น 2 แบบ คือแบบที่ใช้เทอร์โมพลาสติกรีดเป็นเส้น และแบบที่ใช้การฉีดขี้ผึ้งในการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยมีขั้นตอนในการออกแบบ ดังนี้



รูปที่ 3.2 การออกแบบส่วน Hardware

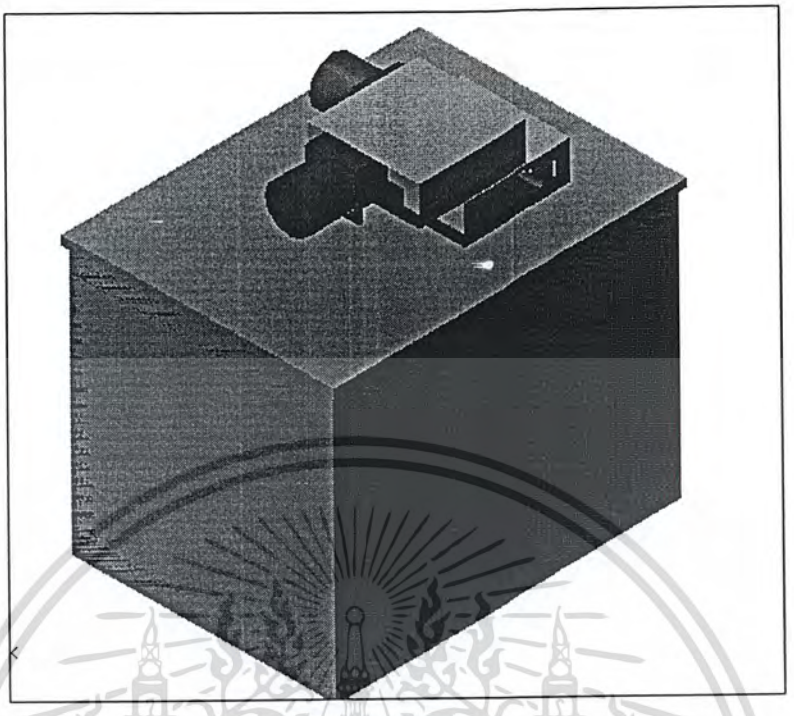
3.4.1 การออกแบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ส่วนโครงสร้างหลัก

โครงสร้างหลัก ของเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ได้ออกแบบมาเพื่อใช้สำหรับวาง ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ แกน XY ชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน Z และเป็นที่ใส่ชุดวงจรควบคุมทางอิเลคทรอนิคส์ โดยได้ออกแบบดังนี้

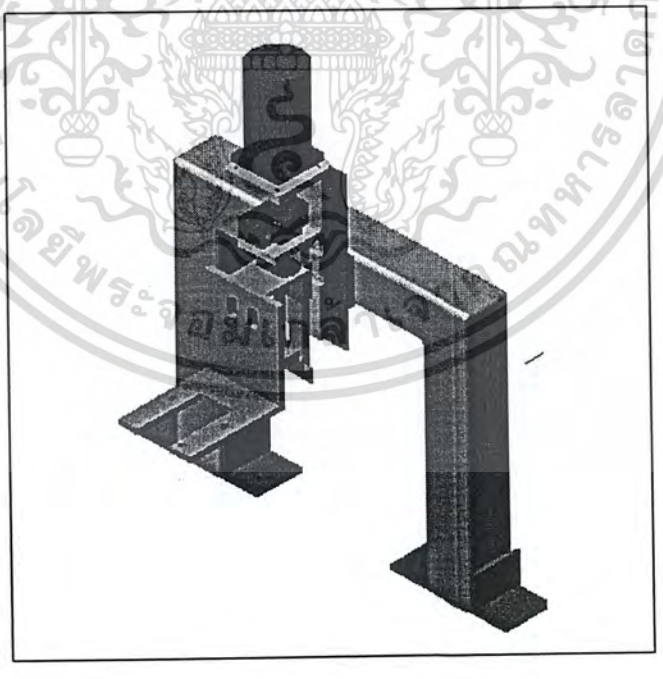


รูปที่ 3.3 แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ส่วนโครงสร้างหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



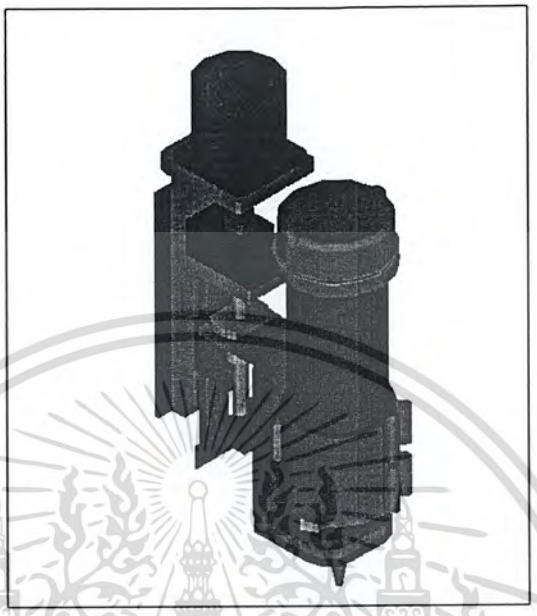
รูปที่ 3.4 แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ส่วนฐานของเครื่อง และชุดขับเคลื่อนแกน XY



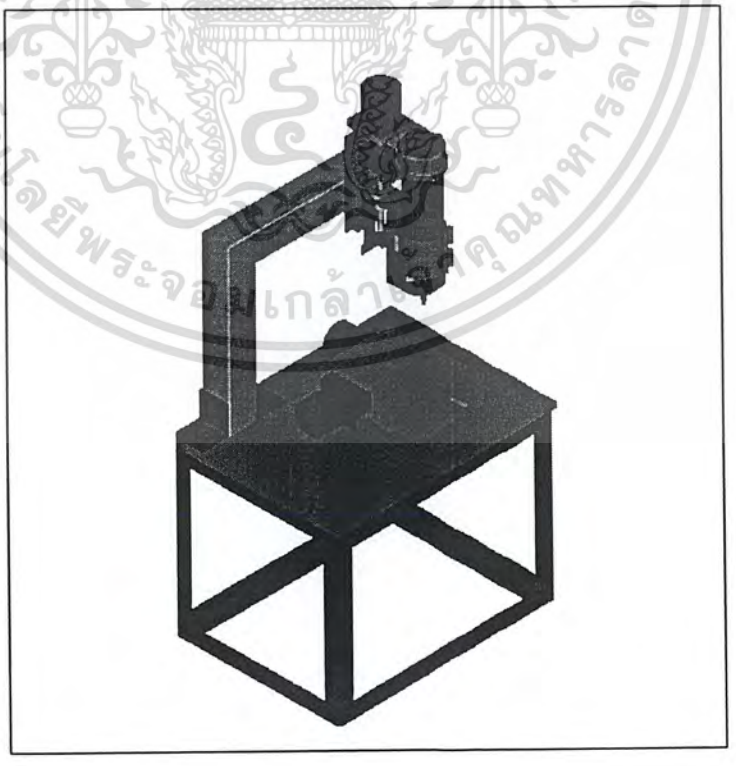
รูปที่ 3.5 แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ส่วนชุดขับเคลื่อนแกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การออกแบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ส่วนหัวฉีดขี้ผึ้ง แบบที่ 1 กระบอกสเตนเลส ใส่หัวฉีดทองเหลือง ถอดประกอบได้



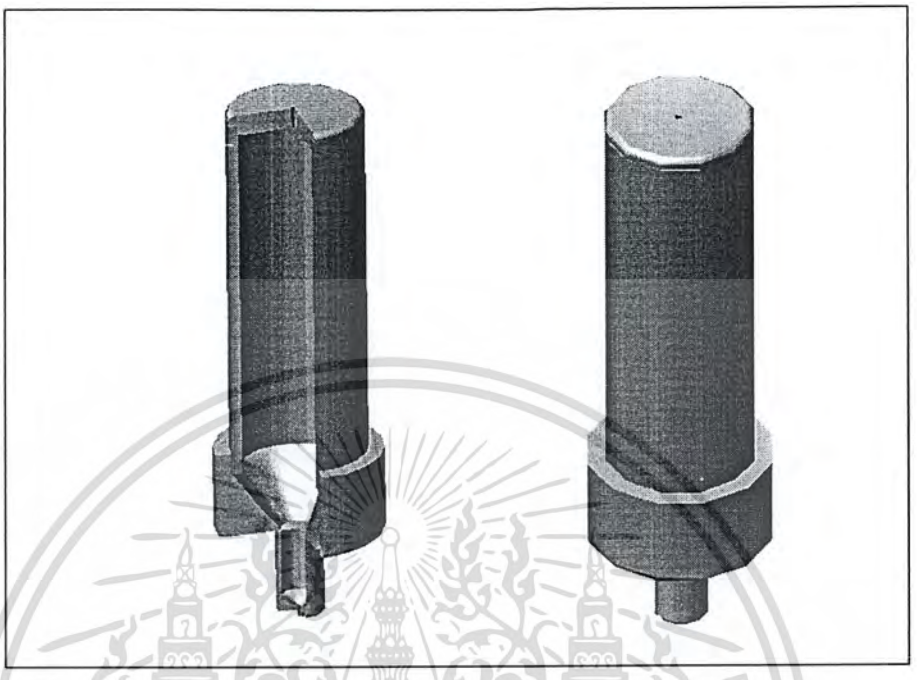
รูปที่ 3.6 แบบหัวฉีดขี้ผึ้ง แบบที่ 1 กระบอกสเตนเลส ใส่หัวฉีดทองเหลือง ถอดประกอบได้



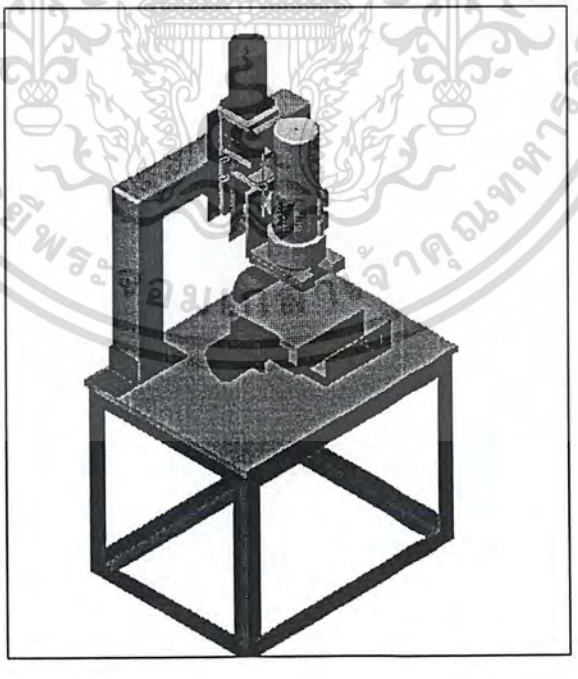
รูปที่ 3.7 แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ แบบที่ 1 กระบอกสเตนเลสใส่หัวฉีดทองเหลือง ถอดประกอบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การออกแบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ส่วนหัวฉีดขี้ผึ้ง แบบที่ 2 หัวฉีดอลูมิเนียม



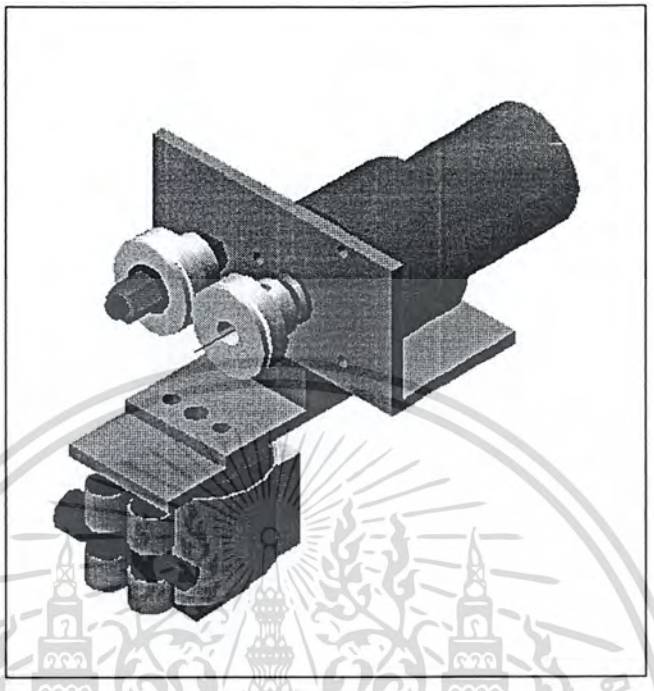
รูปที่ 3.8 แบบหัวฉีดขี้ผึ้ง แบบที่ 2 หัวฉีดอลูมิเนียม



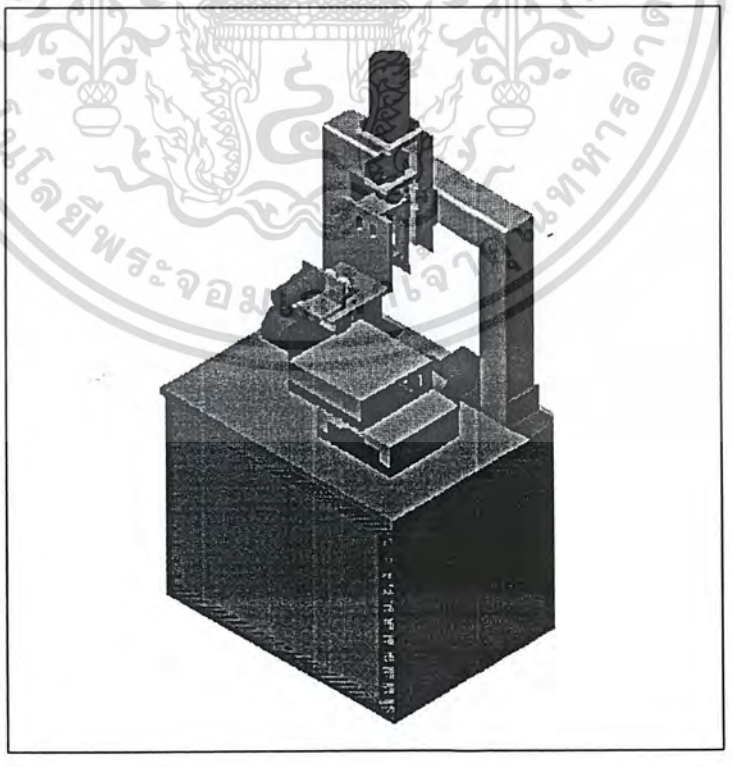
รูปที่ 3.9 แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ แบบที่ 2 หัวฉีดอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การออกแบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ส่วนหัวฉีดเทอร์โมพลาสติก



รูปที่ 3.10 แบบหัวฉีดเทอร์โมพลาสติก



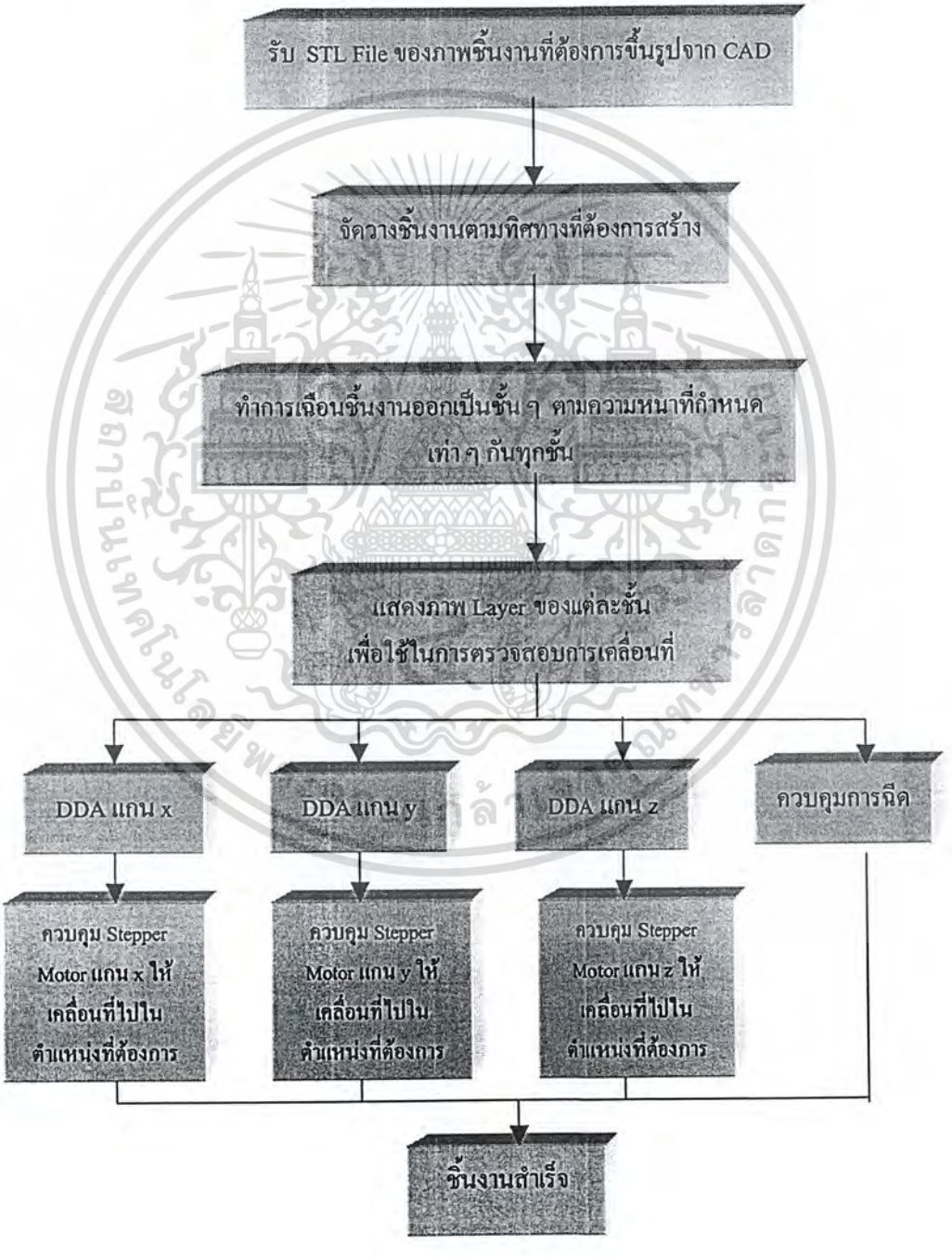
รูปที่ 3.11 แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ แบบที่ 3 หัวฉีดเทอร์โมพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบด้าน Software

ในการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่อง Rapid Prototype แบบ FDM ได้เลือกใช้โปรแกรม Delphi 5.0 ในการสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงาน โดยแบ่งการควบคุมออกเป็น 2 ส่วน

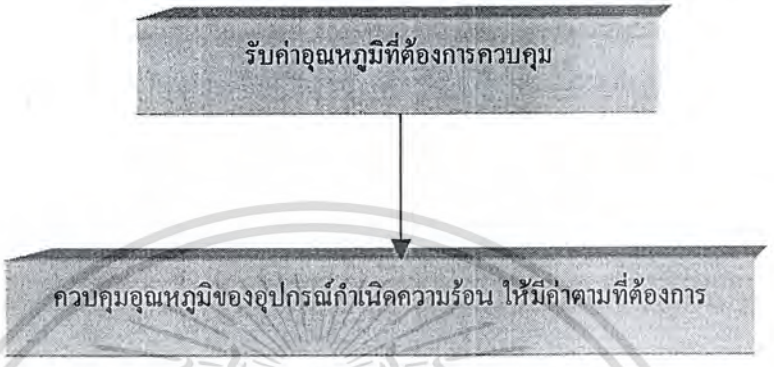
1) การควบคุมส่วน Hardware เป็นการควบคุมเกี่ยวกับ การรับข้อมูลภาพของชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูป, การเฉือนภาพเป็นชั้น ๆ และการควบคุมเครื่องให้ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานตามที่ต้องการ ลำดับการทำงาน ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วน Software

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การควบคุมอุณหภูมิของอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ที่บริเวณหัวฉีด เพื่อใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของวัสดุที่ใช้ ที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน ต้องทำการควบคุมอุณภูมิที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้หลอมเหลวมากเกินไป หรือ ไม่หลอมเหลว เพื่อให้ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ในการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมทำได้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการควบคุมอุณหภูมิของอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

3.6 การจัดหาวัสดุที่จะนำมาใช้ในการทำโครงงาน

มีขั้นตอนในการจัดหาดังรูปที่ 3.14

รูปที่ 3.14 การจัดหาวัสดุที่จะนำมาใช้ในโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การดำเนินการด้าน Hardware

ทำการสร้างเครื่อง RP ตามที่ได้ออกแบบไว้ทั้ง 3 แบบ โดยแบ่งส่วนประกอบของ Hardware ออกเป็น 2 ส่วน คือ โครงสร้างหลัก ซึ่งจะมีลักษณะเหมือนกันทั้ง 3 แบบ และ หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไป

3.7.1 โครงสร้างหลักของเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ

1) ชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน x ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ในชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน X

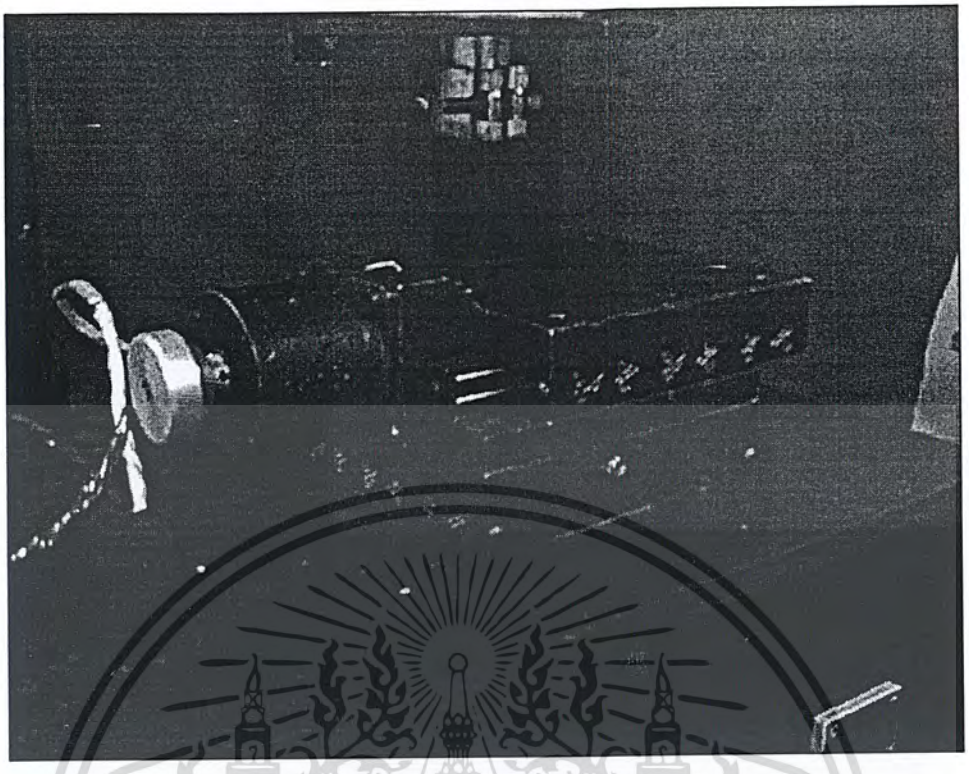
ชนิด	จำนวน	ขนาด
1. โต๊ะรองรับชิ้นงาน	1	12.7 x 12.7 x 4.5 cm
2. บอลล์สกรู	1	-
3. สเต็ปเปอร์มอเตอร์	1	4.9 V 1 A./Phase
4. ชุดควบคุมแกน X	1	-
5. Relay Switch	1	-

2) ชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน y ประกอบไปด้วย อุปกรณ์ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ในชุดควบคุมการเคลื่อนที่ แกน y

ชนิด	จำนวน	ขนาด
1. โต๊ะรองรับชิ้นงาน	1	12.7 x 12.7 x 4.5 cm
2. บอลล์สกรู	1	-
3. สเต็ปเปอร์มอเตอร์	1	4.9 V 1 A./Phase
4. ชุดควบคุมแกน Y	1	-
5. Relay Switch	1	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน XY

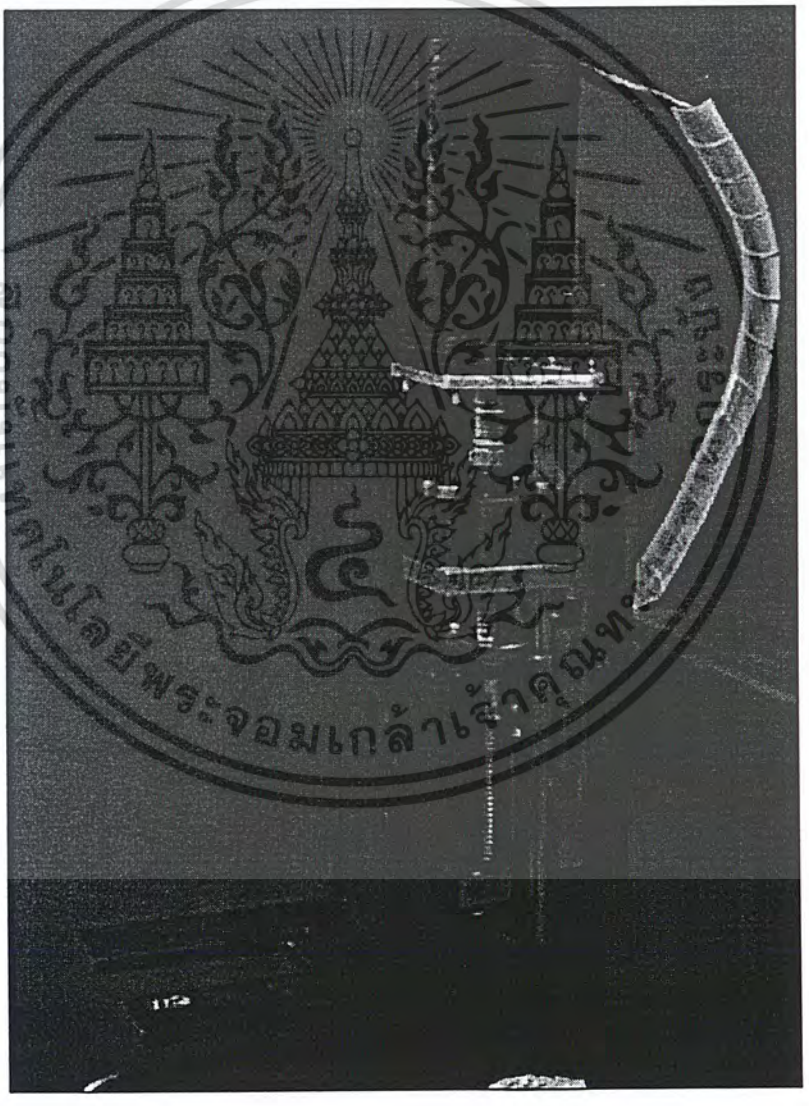
3) ชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน Z ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 อุปกรณ์ในชุดควบคุมการเคลื่อนที่ แกน Z

ชนิด	จำนวน	ขนาด
1. แผ่นเหล็ก	1	7.6 x 17.5 x 0.5 cm
	1	4.5 x 8.0 x 0.5 cm
	1	5 x 3.8 x 0.75 cm
	1	5.8 x 15.1 x 0.3 cm
	1	3.3 x 2.75 x 0.2 cm
	2	10.0 x 8.0 x 0.5 cm
2. แผ่นอลูมิเนียม	1	6.5 x 6.0 x 0.4 cm
3. แผ่นไม้	2	10.0 x 8.0 x 0.5 cm
4. น็อต	8	6 mm
	4 (มอเตอร์)	4 mm
	2 (แบริ่ง)	3 mm
	6	5 mm

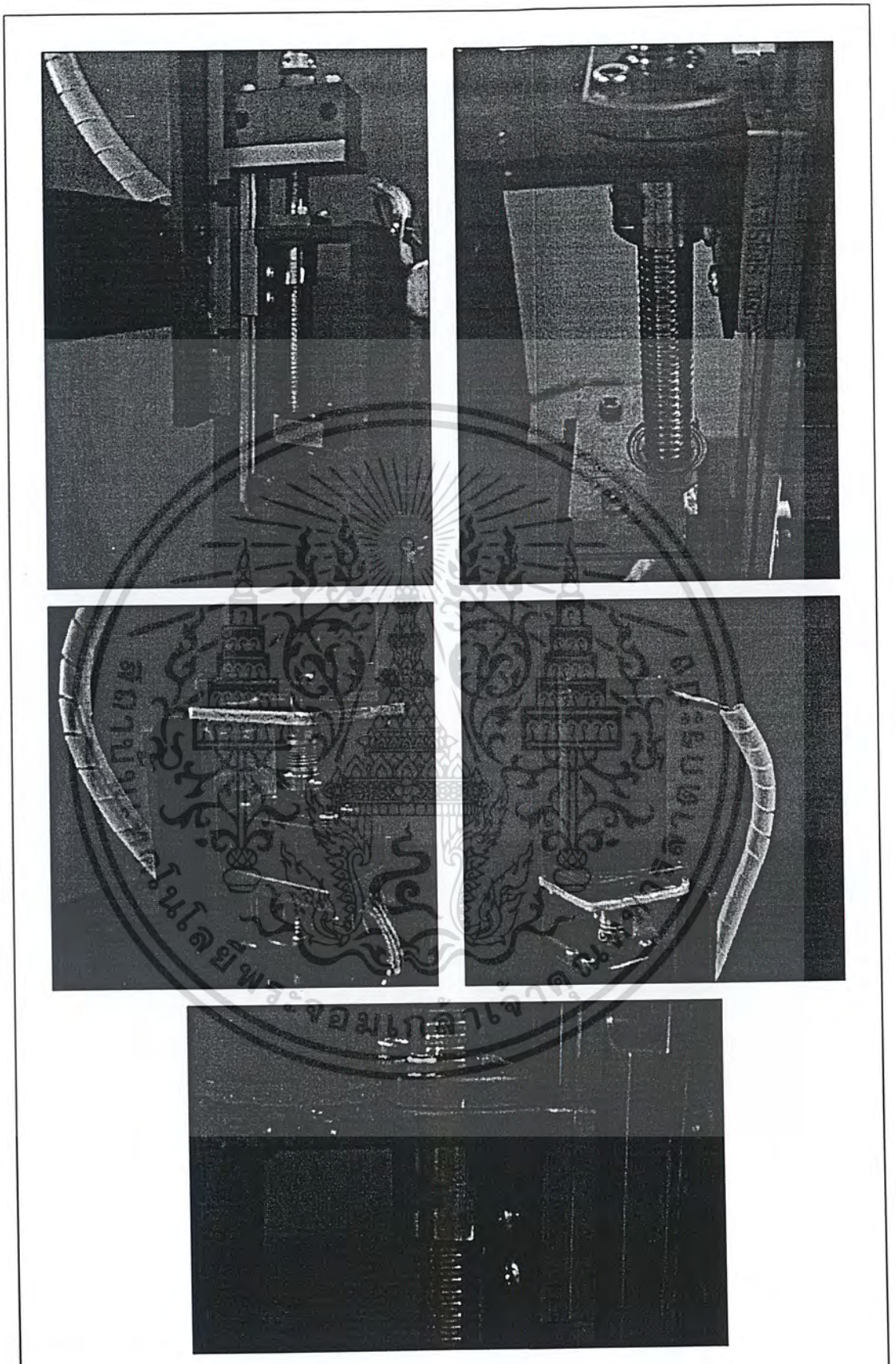
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิด	จำนวน	ขนาด
5. สเต็ปเปอร์มอเตอร์	1	4.9 V 1 A./Phase
6. แบริ่งสไลด์	1	1.7 x 14 x 0.75 cm
7. บอลล์สกรู	1	-
8. แบริ่ง	1	ผศ.นอก 16 mm ผศ.ใน 14 mm
9. ตัวล็อคแบริ่งสไลด์	1	3 x 3.5 x 0.9 cm
10.แผ่นไม้	2	10.0 x 8.0 x 0.5 cm
11.ชุดควบคุมแกน z	1	-



รูปที่ 3.16 ชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) โครงสร้างทั่วไป เป็นโครงสร้างที่ใช้ในการวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน, ฐานวางชิ้นงาน, ชุดควบคุม, และวงจรทางไฟฟ้าทั้งหมด ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังตารางที่ 3.4

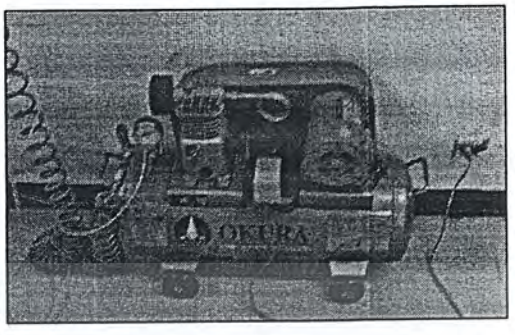
ตารางที่ 3.4 อุปกรณ์ในโครงสร้างทั่วไป

ชนิด	จำนวน	ขนาด
1. แผ่นเหล็ก	1	31.0 x 40.5 x 1.0 cm
2. เหล็กฉาก 1 นิ้ว	4	25.0 cm
	4	40.0 cm
3. เหล็กฉาก 2 นิ้ว	2	5.0 cm
4. เหล็ก 2 นิ้ว	2	29.5 cm
	1	32.0 cm
4. น็อต	5 (ฐาน)	0.8 cm
	4 (ชุดขับเคลื่อน แกน XY)	0.6 cm
	16 (ฝาด้านข้าง)	0.4 cm
5. พอร์ตเครื่องพิมพ์	2	-
6. แผ่นไม้สำหรับฐาน	1	38.0 x 32.0 x 0.8 cm
7. แผ่นอะครีลิก	2	29.5 x 30.0 x 0.1 cm
	2	40.0 x 30.0 x 0.1 cm

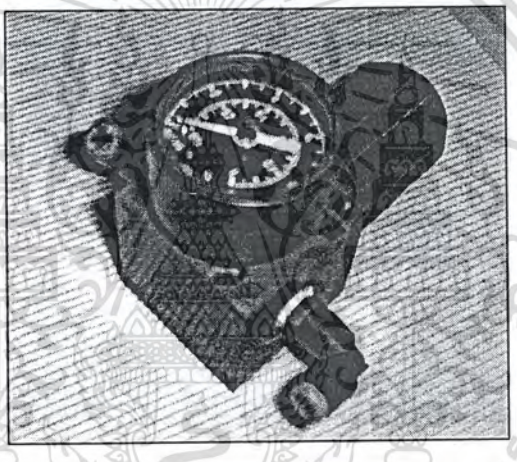
รูปที่ 3.18 โครงสร้างทั่วไปของเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) อุปกรณ์ Pneumatic ประกอบไปด้วย สายลม, อุปกรณ์กำเนิดความดันลม, อุปกรณ์ควบคุมความดันลม เพื่อใช้เป็นแรงดันให้ ขี้ผึ้ง ไหลออกจากกระบอกฉีดลงบนฐาน ขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่ต้องการ



รูปที่ 3.19 อุปกรณ์กำเนิดความดันลม



รูปที่ 3.20 อุปกรณ์ควบคุมความดันลม

6) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของ ขี้ผึ้ง หรือ เทอร์โมพลาสติก ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานให้เหมาะสม

รูปที่ 3.21 อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

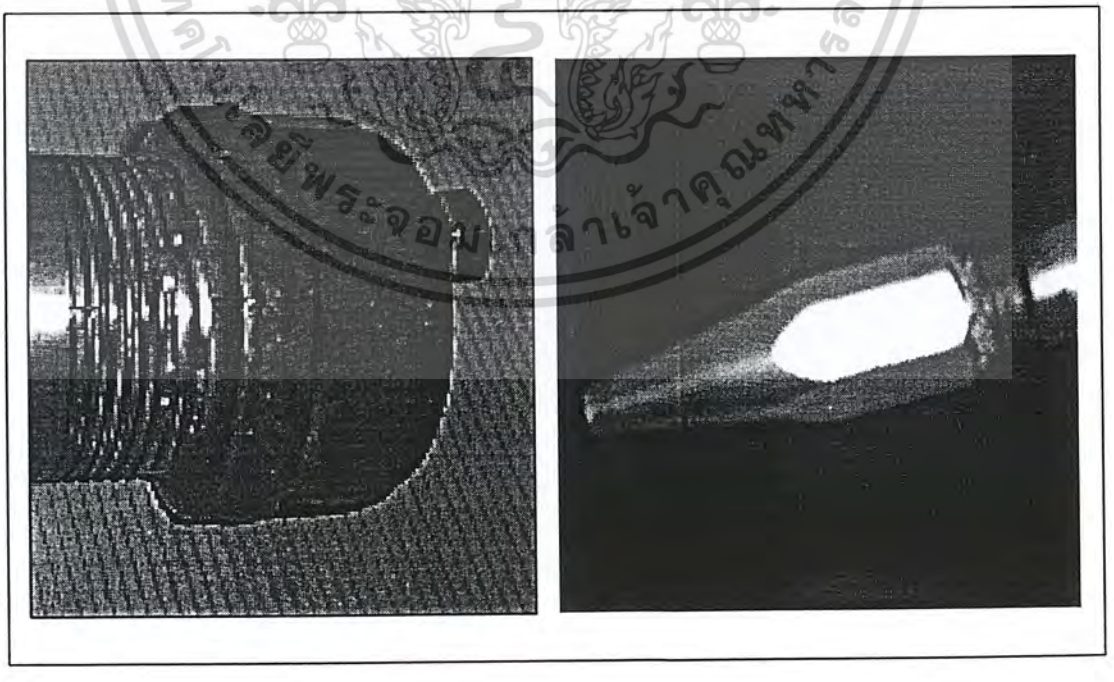
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานแบบชิ้นงานขี้ผึ้ง แบบที่ 1 กระบอกสเตนเลส ใส่หัวฉีดทองเหลือง ถอดประกอบได้

เป็นหัวฉีดที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้ขี้ผึ้งบดละเอียด ใส่ลงในกระบอกฉีด ทำการหลอมละลายด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสม จากนั้นฉีดผ่านรูเล็ก ๆ ที่บริเวณด้านล่าง ด้วยความดันลม จากอุปกรณ์กำเนิดความดันลมที่ทำการควบคุมได้ตามความต้องการ เคลื่อนที่สร้างชิ้นงานทีละชั้น จนสำเร็จเป็นชิ้นงานตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ประกอบขึ้นจากกระบอกสเตนเลส ด้านบนมีฝาซึ่งทำเกลียวไว้สำหรับเปิด-ปิด เพื่อเติมขี้ผึ้งได้ ประกอบหัวฉีดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร ที่ด้านล่างด้วยเกลียวซึ่งถอดประกอบได้ ให้ความร้อนสำหรับหลอมละลายขี้ผึ้งด้านใน ด้วย อุปกรณ์กำเนิดความร้อน บริเวณกระบอกสเตนเลส ควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม ด้วย อุปกรณ์ควบคุมอณหภูมิ แสดงผลทางหน้าจอ ควบคุมการไหลของขี้ผึ้งด้วยความดันลม จากอุปกรณ์กำเนิดความดันลมและปรับค่าความดันให้เหมาะสมตามความต้องการด้วย อุปกรณ์ควบคุมความดันลม

ตารางที่ 3.5 อุปกรณ์ในหัวฉีดชิ้นงานขี้ผึ้ง แบบที่ 1 กระบอกสเตนเลสใส่หัวฉีดทองเหลือง ถอดประกอบได้

ชนิด	จำนวน	ขนาด
1. สเตนเลสรูปทรงกระบอก พร้อมฝาครอบ	1	ผ.ศ. 6 cm / ยาว 18.7 cm
2. อุปกรณ์กำเนิดความร้อน	1	350 วัตต์
3. หัวฉีดทองเหลือง	1	ผ.ศ. 13.3 mm



รูปที่ 3.22 ฝาเกลียว และหัวฉีดของหัวฉีดขี้ผึ้งแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.3 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานแบบชิ้นงานขี้ผึ้ง แบบที่ 2 หัวฉีดอลูมิเนียม

เป็นหัวฉีดที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้ขี้ผึ้งบดละเอียด ใส่ลงในกระบอกฉีด ทำการหลอมละลายด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสม จากนั้นฉีดผ่านรูเล็ก ๆ ที่บริเวณด้านล่าง ด้วยความดันลม จาก อุปกรณ์กำเนิดความดันลม ที่ทำการควบคุมได้ตามความต้องการ เคลื่อนที่สร้างชิ้นงานทีละชั้น จนสำเร็จเป็นชิ้นงานตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ ประกอบขึ้นจากอลูมิเนียมกลวง 1 ชิ้น และ อลูมิเนียมตัน กลึงเรียวด้านใน เชื่อมติดกัน หัวฉีดเจาะรูด้านล่าง ขนาด 0.1 มิลลิเมตร เพื่อเป็นทางออกของขี้ผึ้ง ด้านบนมีรูสำหรับเติมขี้ผึ้ง ขนาด 0.8 มิลลิเมตร ปิดแน่นด้วยน็อต ขนาด 0.8 มิลลิเมตร ให้ความร้อนสำหรับหลอมละลายขี้ผึ้งด้านใน ด้วย อุปกรณ์กำเนิดความร้อน 2 ตัว บริเวณปลายหัวฉีด และบริเวณกระบอกใส่ขี้ผึ้ง ควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม ด้วย อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ แสดงผลทางหน้าจอ ควบคุมการไหลของขี้ผึ้งด้วยความดันลม จากอุปกรณ์กำเนิดความดันลม และปรับค่าความดันให้เหมาะสมตามความต้องการด้วยอุปกรณ์ควบคุมความดันลม

ตารางที่ 3.6 อุปกรณ์ในหัวฉีดชิ้นงานขี้ผึ้ง แบบที่ 2

ชนิด	จำนวน	ขนาด
1. อลูมิเนียมทรงกระบอกกลวง	1	เส้นผ่านศูนย์กลาง 6.33 c.m.
		ยาว 17.5 c.m.
2. อลูมิเนียมทรงกระบอกตัน	1	เส้นผ่านศูนย์กลาง 7.8 c.m.
		ยาว 7 c.m.
3. อุปกรณ์กำเนิดความร้อน 2.5 นิ้ว	1	กำลัง 350 watt
3. อุปกรณ์กำเนิดความร้อน 1 นิ้ว	1	กำลัง 350 watt
4. ท่อลม	1	เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 c.m.

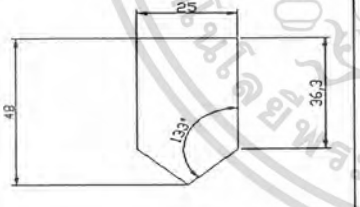
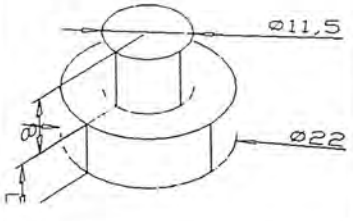
รูปที่ 3.23 อุปกรณ์ของหัวฉีดขี้ผึ้งแบบที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

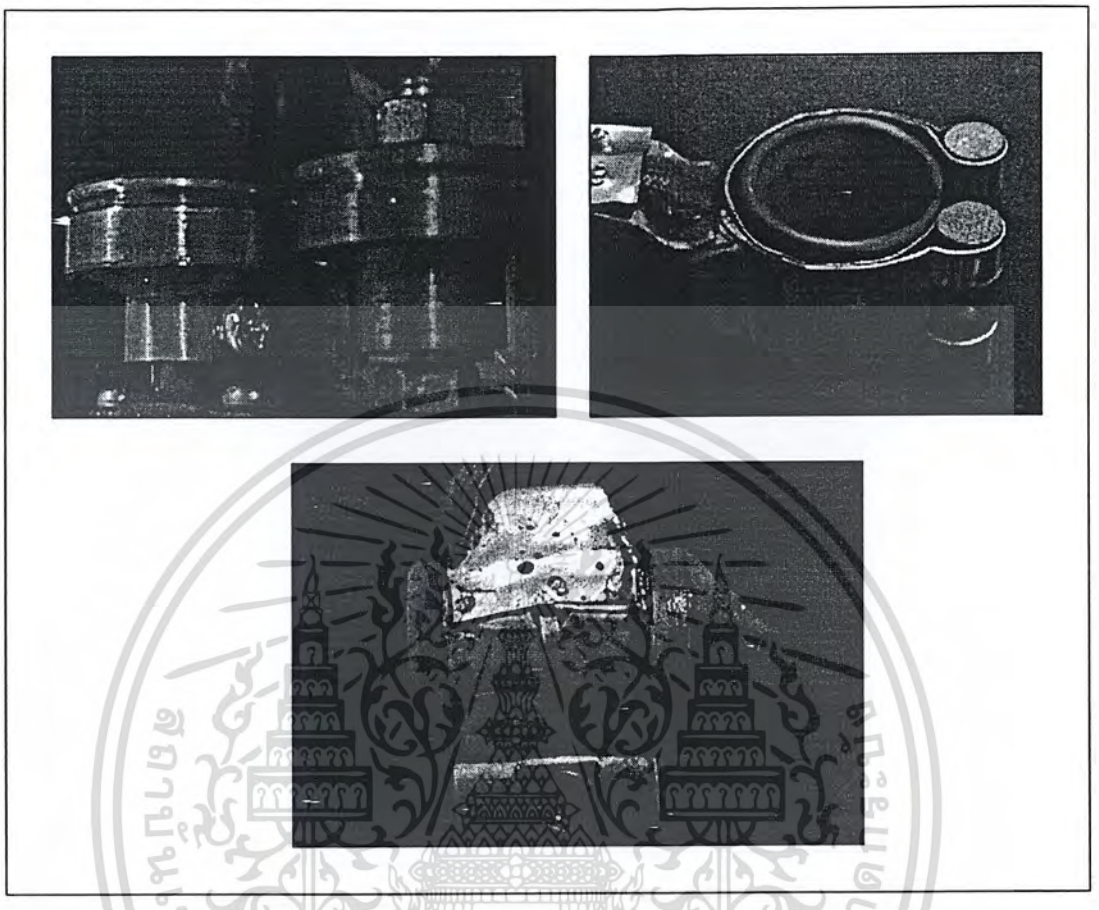
3.7.4 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานแบบชิ้นงานเทอร์โมพลาสติก

เป็นหัวฉีดที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้เทอร์โมพลาสติกเส้น รีดผ่านหัวรีดลงไปในหัวฉีดซึ่งทำการหลอมละลายออกเป็นเส้นเทอร์โมพลาสติกขนาด 0.1 เซนติเมตร เท่ากับรูของหัวฉีด เคลื่อนที่สร้างชิ้นงานทีละชั้น จนสำเร็จเป็นชิ้นงานตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ประกอบขึ้นด้วย หัวรีด 2 หัว และหัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน ควบคุมการรีดด้วยมอเตอร์ หัวฉีดเจาะรูด้านล่าง ขนาด 0.1 มิลลิเมตร เพื่อเป็นทางออกของเทอร์โมพลาสติก ด้านบนเป็นหัวรีด 2 หัว ควบคุมด้วยมอเตอร์ ให้ความร้อนสำหรับหลอมละลายเทอร์โมพลาสติกด้านใน ด้วย อุปกรณ์กำเนิดความร้อนบริเวณปลายหัวฉีด ควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม ด้วยอุปกรณ์ควบคุมความร้อน แสดงผลทางหน้าจอด้านหน้าของเครื่อง

ตารางที่ 3.7 อุปกรณ์ในหัวฉีดชิ้นงานเทอร์โมพลาสติก

ชนิด	จำนวน	ขนาด
1. DC Motor	1	24 V
2. แผ่นไม้อัด	1	2.3*3.5 c.m.
	1	3.2*3.2 c.m.
3. แผ่นเหล็ก	1	3.2*6.3 c.m.
4. แผ่นเหล็กฉาก	1	3.9*7.2 c.m.
5. อุปกรณ์กำเนิดความร้อน 1 นิ้ว	1	350 watt
6. หัวฉีดทองแดง 	1	เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 c.m.
7. หัวป้อนเทอร์โมพลาสติก(ทองเหลือง) 	1	เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.2 c.m.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 อุปกรณ์หัวฉีดเทอร์โมพลาสติก

3.8 การดำเนินการด้าน Software

การดำเนินการด้าน Software เป็นการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อ CAD/CAM ในกระบวนการของ Rapid Prototype และควบคุมการทำงานของเครื่อง RP ตามแผนภาพการดำเนินการที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้โปรแกรม Delphi 5.0 ในการสร้างทั้งหมด แบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้ในการรับแฟ้มข้อมูลจากโปรแกรม CAD และส่วนที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับเครื่อง RP ที่ทำการสร้างขึ้น ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้ได้ทำการสร้างให้สามารถทำงานไปพร้อมกันได้ใน 1 หน้าจอ เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน

ในการดำเนินการสร้างโปรแกรม ได้กำหนดให้ทุกคำสั่งรวมกันอยู่ที่ Main Menu และมี Toolbar เพื่อช่วยให้การทำงานง่าย และเร็วขึ้น การแสดงผลที่หน้าจอเป็นภาพกราฟฟิก มีส่วนแสดงรายละเอียดของแฟ้มข้อมูลและสถานะการทำงานโดยละเอียด

ในการสร้างคำสั่งที่ใช้ในโปรแกรม RP CAD/CAM นั้น ได้กำหนดชุดคำสั่งออกเป็น

1. แฟ้ม (File) เป็นส่วนที่ใช้ในการจัดการเกี่ยวกับแฟ้มข้อมูลทั้งหมด แบ่งออกเป็นเมนูย่อยคือ
   - เปิด (Open) ใช้สำหรับการเปิดแฟ้มข้อมูล STL ที่ได้รับการสร้างมาแล้วจาก CAD
   - ปิด (Exit) ใช้สำหรับการปิดโปรแกรม RP CAD/CAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

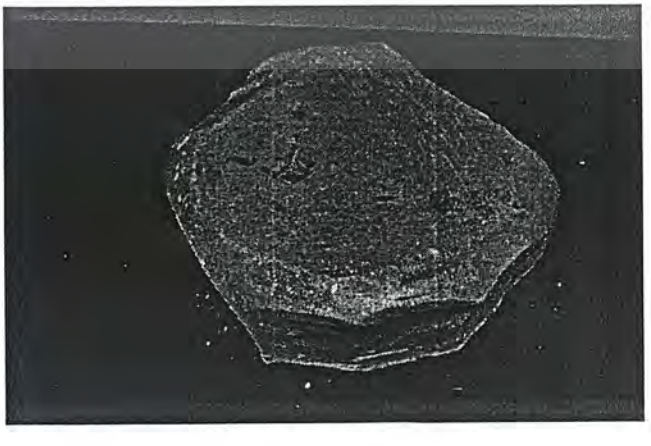
2. มุมมอง (View) เป็นส่วนที่ใช้เกี่ยวกับการแสดงภาพกราฟฟิกทั้งหมด
   - ข้อมูล STL (STL File) ใช้สำหรับการเปิดดูข้อมูล STL ของแฟ้มข้อมูลที่กำลังทำงานอยู่
   - สี (Color) ใช้สำหรับการเปลี่ยนสีของภาพชิ้นงาน
   - เปลี่ยนมุมมอง (Change Viewpoint) ใช้สำหรับการเปลี่ยนมุมมองภาพ ซึ่งสามารถเปลี่ยนได้ในมุมมอง Top View, Front View, Left View, Right View และ Isometric
   - เคลื่อนย้าย (Move) ใช้สำหรับการเคลื่อนย้ายแบบจำลองในทิศทาง ซ้าย ขวา บน ล่าง
   - หน่วย (Object) ใช้สำหรับการเปลี่ยนขนาดแบบจำลอง ได้แก่การเปลี่ยนหน่วยของแบบจำลอง และการย่อ-ขยายแบบจำลอง รวมทั้งสามารถแปลงกลับไปเป็นเหมือนที่สร้างมาจาก CAD ได้ด้วย
   - ย่อ-ขยาย (Zoom) ใช้สำหรับการย่อ-ขยาย ภาพในตำแหน่งต่าง ๆ
3. ความสูงของระนาบ (Layer Thickness) ใช้ในการกำหนดความหนาในแต่ละชั้นของชิ้นงาน
4. ระยะห่างการระบาย (Hatch Range) ใช้ในการกำหนดความละเอียดในการเดินของหัวฉีด
5. ตัดระนาบ (Slice Layer) เป็นส่วนที่ใช้ในการตรวจสอบการเฉือนชิ้นงาน ตามความหนาในแต่ละชั้น ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ทั้งแบบต่อเนื่องทุกชั้นหรือเลือกชั้นที่ต้องการ
6. ดำเนินการ (Operation) เป็นส่วนที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมกับเครื่อง RP ที่ทำการสร้างขึ้น ให้ทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานตามภาพที่ได้สร้างไว้ในโปรแกรม CAD
7. ภาษา (Language) สามารถทำงานได้ 2 ภาษา คือ ภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ
8. ช่วยเหลือ (Help) เป็นส่วนช่วยเหลือ ในการให้ข้อมูลการทำงาน สำหรับผู้ใช้งาน
9. ข้อมูล (About) เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับตัวโปรแกรม และผู้จัดทำ

3.9 การศึกษาสมบัติของวัสดุที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงาน

3.9.1 ขี้ผึ้ง (Wax)

1) ขี้ผึ้งคงตัว มีคุณสมบัติ ดังนี้

จุดหลอมเหลว	87.40 $^{\circ}$c
ความหนืด	305 cP

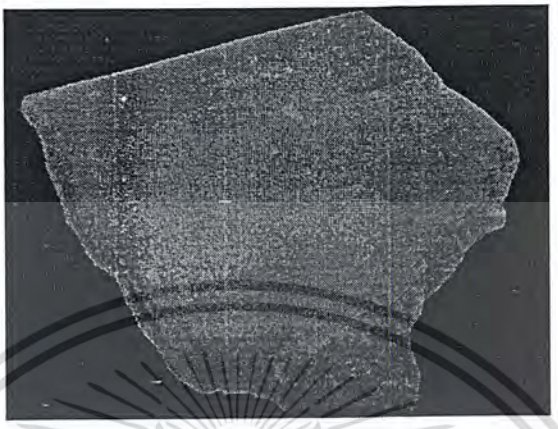


รูปที่ 3.25 ขี้ผึ้งคงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) พาราฟิน มีคุณสมบัติดังนี้

จุดหลอมเหลว	75.88 ^{o}c
ความหนืด	116 cP



รูปที่ 3.26 พาราฟิน

ในส่วนของการดำเนินการในด้านนี้ เป็นการทดลองเพื่อหาชนิดของขี้ผึ้งที่เหมาะสม และค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน ทำการทดลองหลอมขี้ผึ้ง และนำไปฉีดเพื่อดูลักษณะ และคุณสมบัติของขี้ผึ้ง ทำการเปรียบเทียบลักษณะและคุณสมบัติของขี้ผึ้งทั้ง 2 ชนิด ได้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยได้ทำการทดลองหาจุดหลอมเหลว ความหนืดของ ส่วนผสม อุณหภูมิ และความดันที่เหมาะสมของขี้ผึ้งทั้ง 2 ชนิด แบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

1) การทดลองหาจุดหลอมเหลว ของ ขี้ผึ้งทำการทดลองโดย

1. นำ ขี้ผึ้ง ใส่ลงในหลอดแก้วขนาด 1 มิลลิเมตร
2. นำหลอดซึ่งใส่ ขี้ผึ้งเรียบร้อยแล้วใส่ลงในเครื่องวัดจุดเดือด ดังรูปที่ 3.27
3. อุณหภูมิของเครื่องจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ พร้อมกับแสดงผลที่หน้าจอ และสามารถสังเกตได้โดยช่องขยายภาพซึ่งติดไว้ที่หน้าเครื่อง เมื่อ ขี้ผึ้ง ละลายจนหมด บันทึกค่าอุณหภูมิ

รูปที่ 3.27 การหาค่าจุดเดือดจุดหลอมเหลวของ ขี้ผึ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การทดลองหาค่าความหนืดของ ขี้ผึ้ง ทำได้โดย

1. วางเครื่อง LV2000 บนพื้นเรียบและสะดวกในการทดสอบ หมุนปุ่มปรับระดับของฐานทั้งสามด้าน แล้วตรวจสอบดูระดับน้ำให้อยู่ตรงกลาง

2. เลือกใช้ Speed ที่เหมาะสมกับการทดสอบโดยดูจากตาราง สังเกตช่วงความหนืดของ Sample (cP) และใช้ Speed, Spindle ที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง

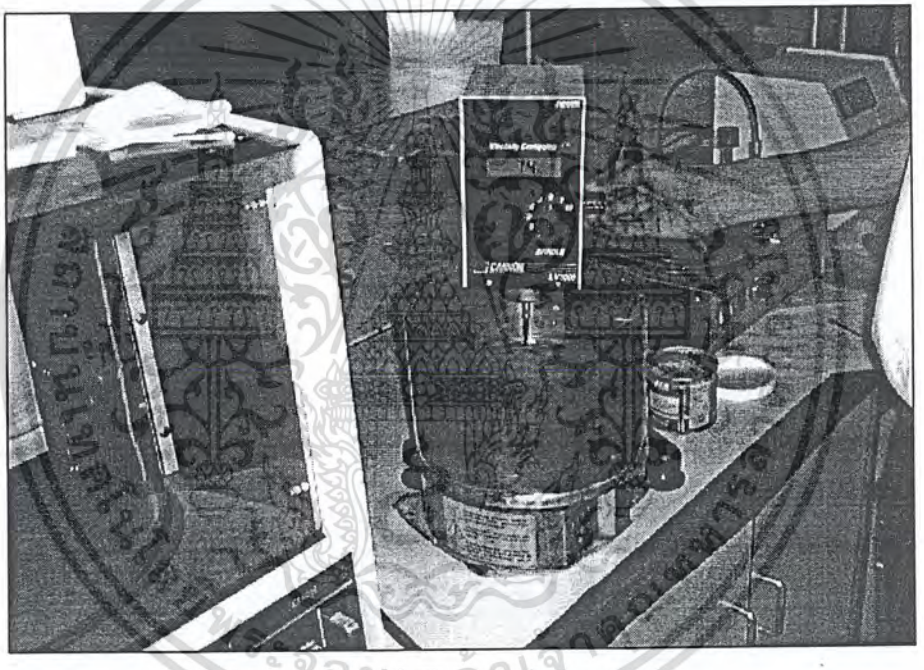
3. หมุนปุ่มปรับ Speed เพื่อเลือกใช้ Speed ที่ต้องการ

4. หมุนปุ่มปรับ Spindle เพื่อเลือกใช้ Spindle ที่ต้องการ

5. ต่อ Spindle พร้อม Guard ที่เลือกไว้แล้วเข้ากับ Spindle Nut

6. เท Sample ลงในบีกเกอร์ปากกว้างอย่างน้อย 7 เซนติเมตร แล้ววางไว้ใต้ Spindle

7. เลื่อน Spindle พร้อมตัวเครื่องลงมาจนกระทั่งระดับของ Sample พอดีกับขีดระดับ



รูปที่ 3.28 การหาค่าความหนืดของ ขี้ผึ้ง

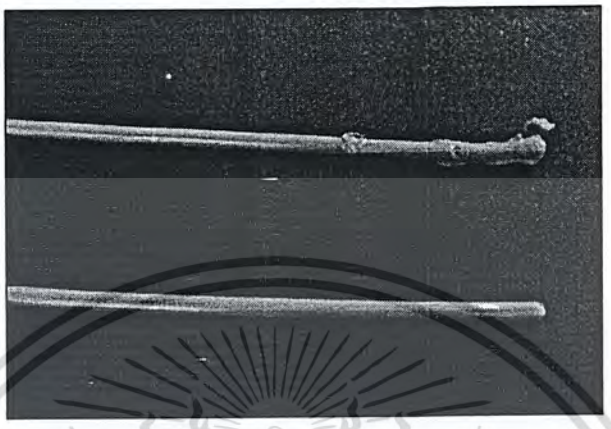
3) การทดลองหาอุณหภูมิ ส่วนผสมของ ขี้ผึ้ง และความดันในการฉีด ที่เหมาะสม เนื่องจาก ขี้ผึ้งคงตัว มีความหนืดมากเกินไป ทำให้ไม่สามารถฉีดขึ้นรูปได้ดี จึงได้ทำการผสมกับพาราฟิน ซึ่งมีความหนืดน้อย ทำได้โดย

1. ทำการผสม ขี้ผึ้งคงตัว กับ พาราฟิน เข้าด้วยกันในอัตราส่วนผสมต่าง ๆ
2. ทำการทดลองที่ค่าอุณหภูมิ และความดันในการฉีดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9.2 เทอร์โมพลาสติก

ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติก อุณหภูมิ และความเร็วของหัวรีดที่เหมาะสม ต่อการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานจากเทอร์โมพลาสติก

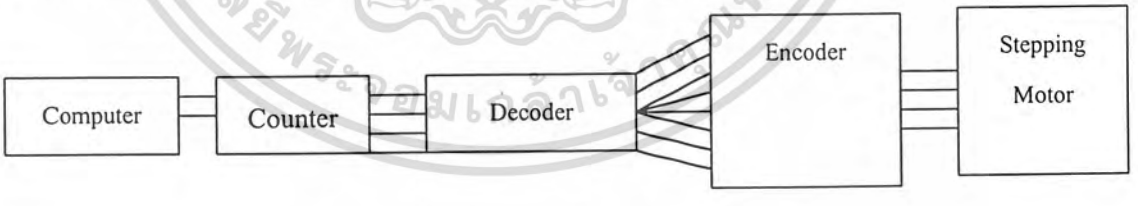


รูปที่ 3.29 ลักษณะของเทอร์โมพลาสติกที่ใช้ในการทดลอง

3.10 การดำเนินการด้านวงจรควบคุมการทำงาน

ในชุดควบคุมแบบ half step นั้นประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญดังนี้

1. Binary Counter เป็นวงจรลอจิกแบบซีเควนเชียลที่นับจำนวนพัสส์ไบนารี่ที่ป้อนเข้ามา
2. Decoder เป็นวงจรลอจิกที่จำไบนารีนัมเบอร์ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบดิจิตอลมักจะเปลี่ยนข้อมูลไบนารีนัมเบอร์อยู่ในรูปคลื่น
3. Encoder เป็นวงจรลอจิกที่รวมสัญญาณดิจิตอลด้วย



รูปที่ 3.30 วงจรควบคุมการทำงานของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินการ

ในการศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ได้แบ่งการดำเนินการออกเป็น 3 ด้าน คือ ทางด้าน Hardware ได้แก่ การศึกษาการสร้างเครื่องจักร RP ซึ่งแบ่งออกเป็นหลายชนิด โดยที่แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติ ข้อดี ข้อเสีย ที่แตกต่างกัน โดยทางกลุ่มได้เลือกที่จะทำการศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ FDM ขึ้นมาใช้งาน ทางด้าน Software ได้แก่ การศึกษาการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อ CAD / CAM ในกระบวนการของ Rapid Prototype โดยเป็นการเชื่อมต่อระหว่างแฟ้มข้อมูลที่ทำการสร้างขึ้นจากโปรแกรม CAD เช่น AutoCAD , Mechanical Desktop และ 3D Studio MAX กับเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น ให้สามารถสร้างชิ้นงานที่มีลักษณะเหมือนกับที่ได้ออกแบบไว้ใน CAD ทางด้านวัสดุที่ได้ทำการขึ้นรูปชิ้นงาน ทำการศึกษาวัสดุชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ขี้ผึ้ง พาราฟิน และ เทอร์โมพลาสติก แล้วศึกษาคุณสมบัติที่ได้นำมาเปรียบเทียบกัน จากนั้นจึงทำการคัดเลือกชนิดของวัสดุที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่สร้างขึ้น การดำเนินการทั้งหมดได้ผล ดังนี้

4.1 ผลการดำเนินการทางด้าน Hardware

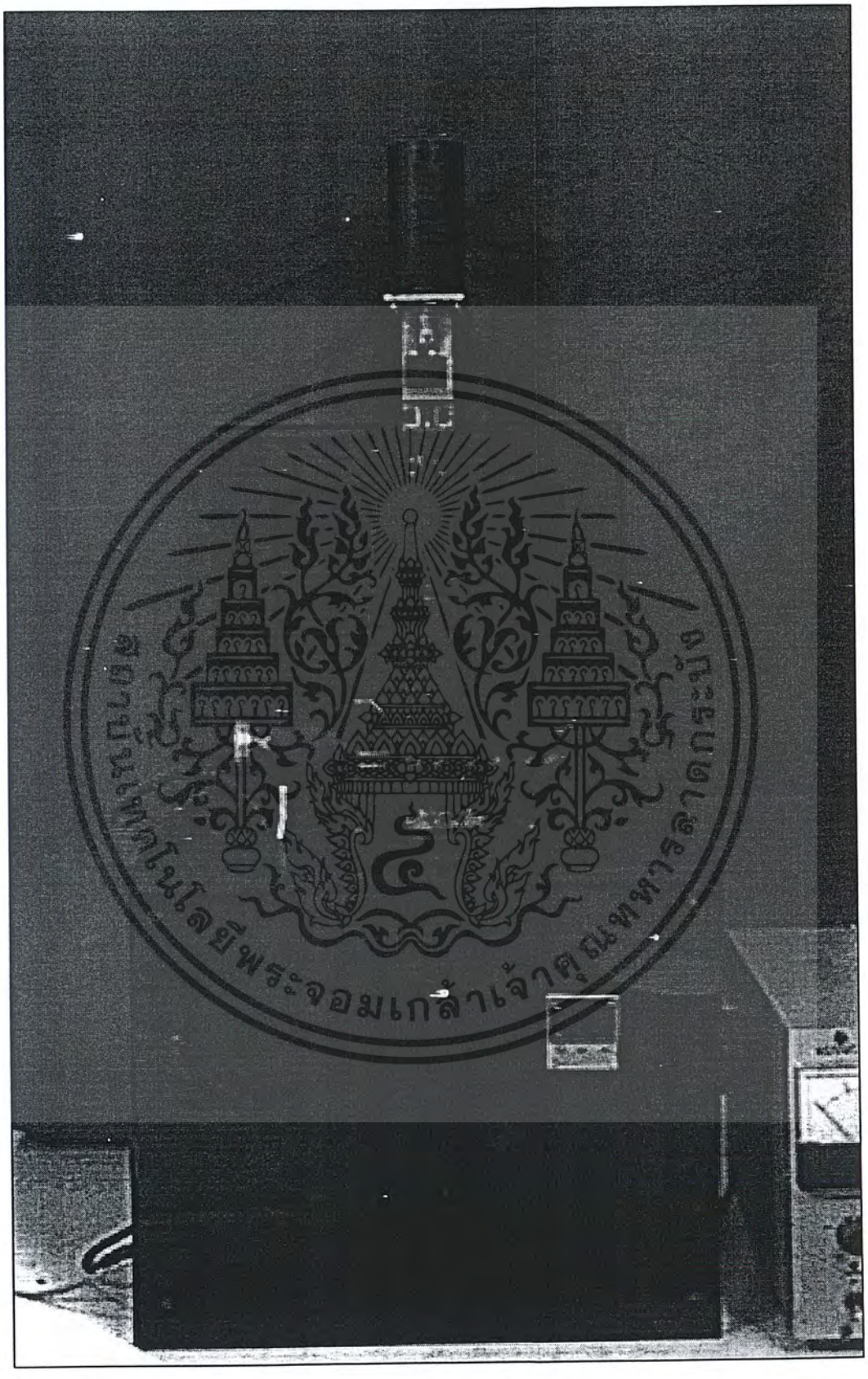
การดำเนินการทางด้าน Hardware นั้น ได้แก่ การศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ แบบ FDM ขึ้นมาใช้งาน โดยจากที่ได้ทำการออกแบบไว้ 2 แบบ คือแบบขึ้นรูปชิ้นงานจากขี้ผึ้ง และแบบขึ้นรูปชิ้นงานจากเทอร์โมพลาสติก ได้ดำเนินการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ทั้ง 2 ชนิด เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสม และความสามารถในการขึ้นรูปชิ้นงาน โดยในส่วนของโครงสร้างหลักของเครื่องจะมีลักษณะเหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันในส่วนของหัวฉีด ซึ่งได้ออกแบบไว้ตามความเหมาะสมของแต่ละแบบ

4.1.1 โครงสร้างหลักของเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ

มีลักษณะดังนี้

- ฐานกว้าง x ยาว เท่ากับ 30 x 40 เซนติเมตร เป็นส่วนรองรับโต๊ะทำงานที่ใช้ในการสร้างชิ้นงาน ด้านล่างของฐานสูง 30 เซนติเมตร เป็นที่บรรจุวงจรไฟฟ้า ชุดควบคุมอุณหภูมิ และชุดควบคุมการเคลื่อนที่ทั้งหมด ประกอบขึ้นด้วยเหล็กทั้งหมด และปิดด้วย แผ่นอะครีลิก เพื่อความสวยงาม
- ชุดควบคุมการเคลื่อนที่ในด้านความสูง (แกน Z) มีลักษณะสูงขึ้นจากฐาน 30 เซนติเมตร ประกอบขึ้นจากเหล็ก เป็นรูปตัวยูคว่ำ สำหรับยึดกับชุดขับเคลื่อนแกน Z
- ชุดขับเคลื่อน แกน XY มีลักษณะเป็นโต๊ะทำงาน ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้พร้อมกันทั้ง 2 แกน
- ชุดขับเคลื่อน แกน Z มีลักษณะเป็น บอลล์สกรู ที่สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ สำหรับยึดติดกับหัวฉีดทั้ง 2 แบบ ซึ่งจะมีฉนวนกันความร้อนประกอบอยู่ด้วยเพื่อป้องกันความร้อนที่จะส่งผ่านจากหัวฉีดไปยังชุดขับเคลื่อนแกน Z
- การควบคุมการทำงานทำได้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากการต่อผ่านพอร์ตเครื่องพิมพ์ เข้าไปยังส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ในแกนต่าง ๆ และส่วนควบคุมอุณหภูมิ
- หน้าจอแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จริง เปรียบเทียบกับอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



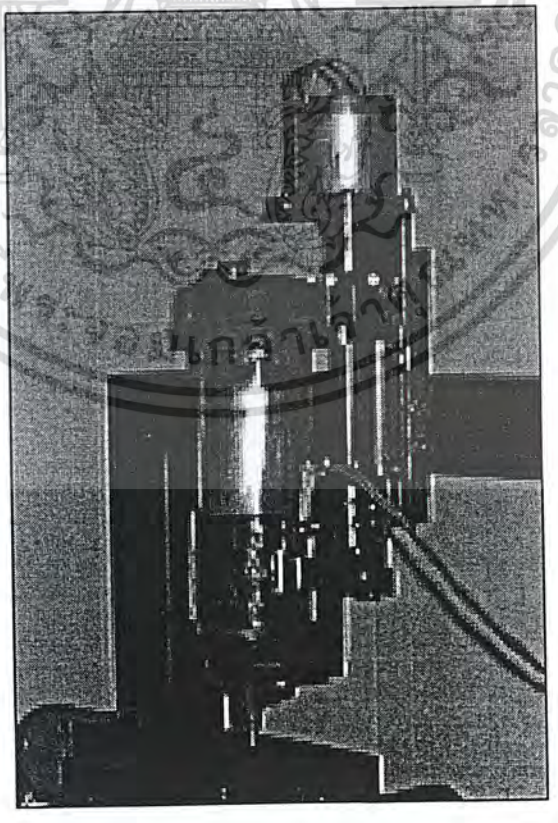
รูปที่ 4.1 โครงสร้างหลักของเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานขี้ผึ้ง แบบที่ 1 กระบอกสเตนเลส ใส่หัวฉีดทองเหลือง ถอดประกอบได้

มีลักษณะ ดังนี้

- เป็นหัวฉีดที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้ขี้ผึ้งบดละเอียด ใส่ลงในกระบอกฉีด ทำการหลอมละลายด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสม จากนั้นฉีดผ่านรูเล็ก ๆ ที่บริเวณด้านล่าง ด้วยความดันลม จากอุปกรณ์กำเนิดความดันลม ที่ทำการควบคุมได้ตามความต้องการ เคลื่อนที่สร้างชิ้นงานทีละชั้น จนสำเร็จเป็นชิ้นงานตามที่ได้ทำการออกแบบไว้
- ประกอบขึ้นจากกระบอกสเตนเลส มีฝาปิดด้านบนซึ่งเปิด-ปิดได้ สำหรับ เติมขี้ผึ้ง
- หัวฉีด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร ประกอบเข้ากับด้านล่างโดยถอดประกอบได้
- ด้านบนมีรูสำหรับเติมขี้ผึ้ง ขนาด 0.8 มิลลิเมตร ปิดแน่นด้วยน็อตขนาด 0.8 มิลลิเมตร
- ให้ความร้อนสำหรับหลอมละลายขี้ผึ้งด้านใน ด้วยอุปกรณ์กำเนิดความร้อน บริเวณกระบอกใส่ขี้ผึ้ง ควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม ด้วย อุปกรณ์ควบคุมความร้อน แสดงผลทางหน้าจอ
- ควบคุมการไหลของขี้ผึ้งด้วยความดันลม จากอุปกรณ์กำเนิดความดันลม และปรับค่าความดันให้เหมาะสมตามความต้องการด้วย อุปกรณ์ควบคุมความดันลม
- ประกอบติดกับชุดขับเคลื่อนแกน Z เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ตามความสูงของแต่ละชั้นที่กำหนดไว้ในโปรแกรม
- ควบคุมการทำงานทั้งหมดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.2 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานขี้ผึ้ง แบบที่ 1 กระบอกสเตนเลสใส่หัวฉีดทองเหลืองถอดประกอบได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานขี้ผึ้ง แบบที่ 2 หัวฉีดอลูมิเนียม

มีลักษณะ ดังนี้

- เป็นหัวฉีดที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้ขี้ผึ้งบดละเอียด ใส่ลงในกระบอกฉีด ทำการหลอมละลายด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสม จากนั้นฉีดผ่านรูเล็ก ๆ ที่บริเวณด้านล่าง ด้วยความดันลม จากอุปกรณ์กำเนิดความดันลม ที่ทำการควบคุมได้ตามความต้องการ เคลื่อนที่สร้างชิ้นงานทีละชั้น จนสำเร็จเป็นชิ้นงานตามที่ได้ทำการออกแบบไว้
- ประกอบขึ้นจากอลูมิเนียมกลวง 1 ชิ้น และ อลูมิเนียมตัน กลึงเรียวด้านใน เชื่อมติดกัน
- หัวฉีดเจาะรูด้านล่าง ขนาด 0.1 มิลลิเมตร เพื่อเป็นทางออกของขี้ผึ้ง
- ด้านบนมีรูสำหรับเติมขี้ผึ้ง ขนาด 0.8 มิลลิเมตร ปิดแน่นด้วยน็อตขนาด 0.8 มิลลิเมตร
- ให้ความร้อนสำหรับหลอมละลายขี้ผึ้งด้านใน ด้วยอุปกรณ์กำเนิดความร้อน 2 ตัว บริเวณปลายหัวฉีด และบริเวณกระบอกใส่ขี้ผึ้ง ควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม ด้วยอุปกรณ์ควบคุมความร้อนแสดงผลทางหน้าจอ
- ควบคุมการไหลของขี้ผึ้งด้วยความดันลม จากอุปกรณ์กำเนิดความดันลม และปรับค่าความดันให้เหมาะสมตามความต้องการด้วย อุปกรณ์ควบคุมความดันลม
- ประกอบติดกับชุดขับเคลื่อนแกน Z เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ตามความสูงของแต่ละชั้นที่กำหนดไว้ในโปรแกรม
- ควบคุมการทำงานทั้งหมดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

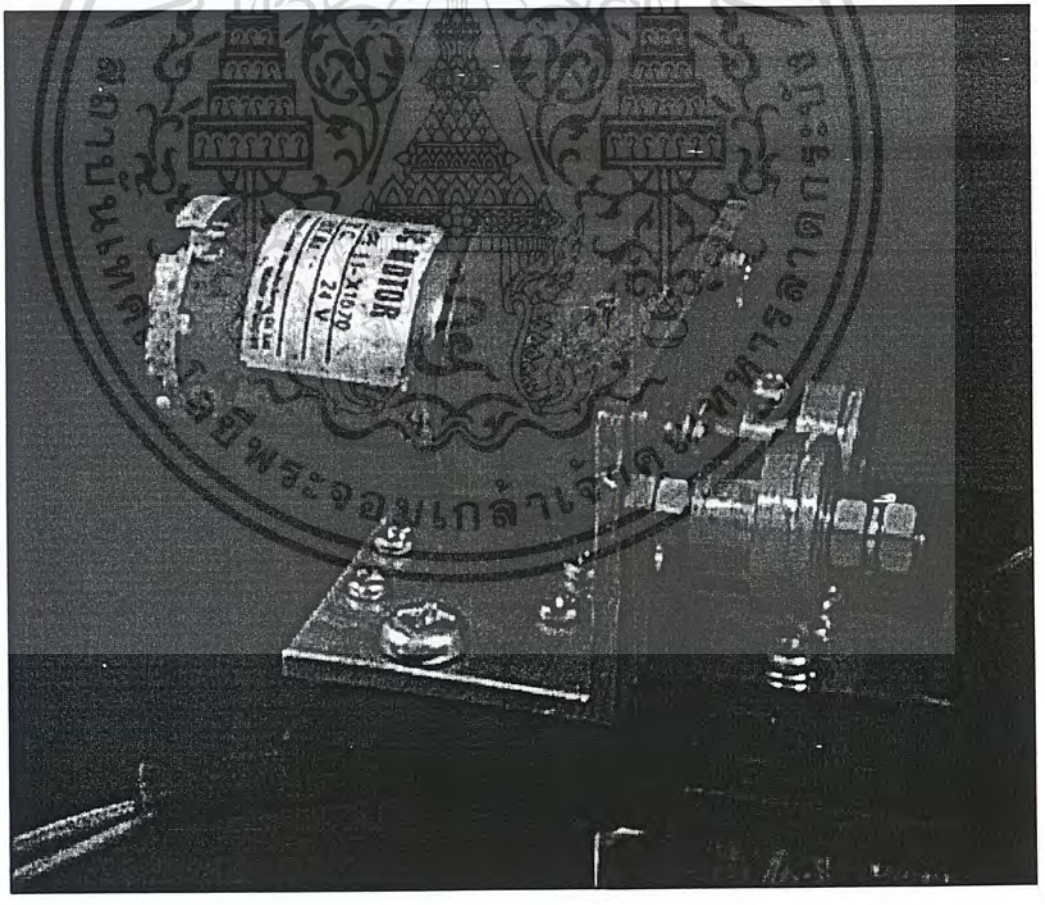
รูปที่ 4.3 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานขี้ผึ้งแบบที่ 2 หัวฉีดอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานเทอร์โมพลาสติก

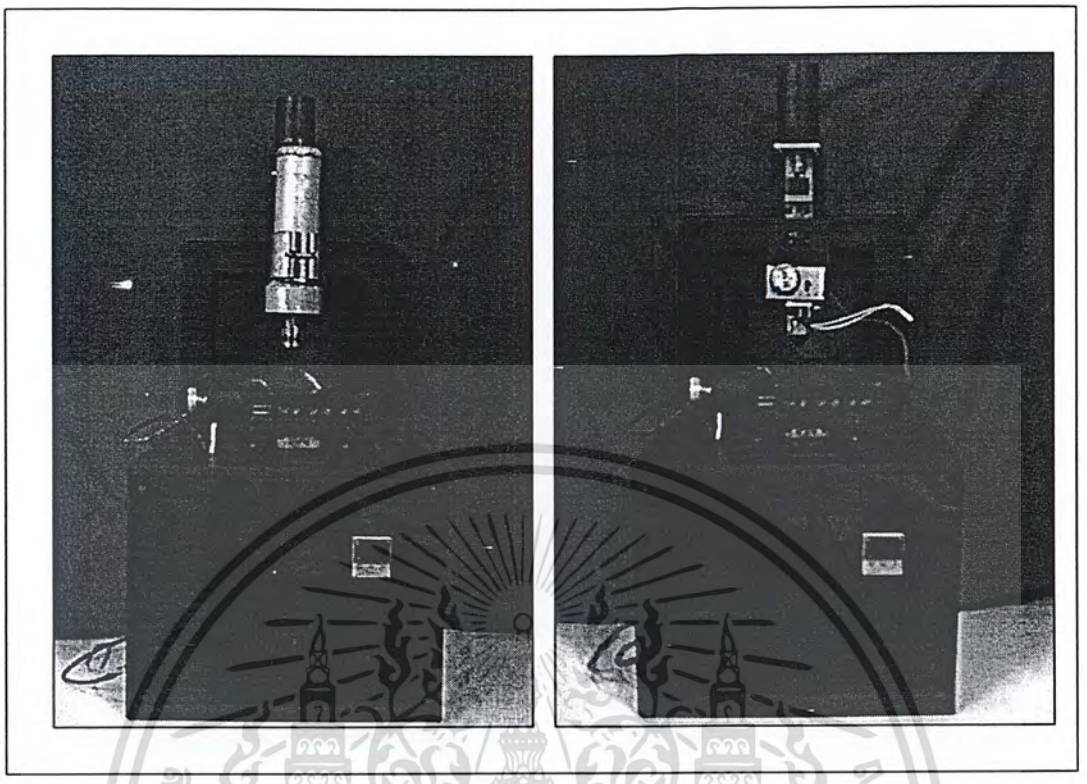
มีลักษณะดังนี้

- เป็นหัวฉีดที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน โดยใช้เทอร์โมพลาสติกเส้น รีดผ่านหัวรีดลงไปในหัวฉีด ซึ่งทำการหลอมละลายออกเป็นเส้นเทอร์โมพลาสติกขนาด 0.1 เซนติเมตร เท่ากับรูของหัวฉีด เคลื่อนที่สร้างชิ้นงานทีละชั้น จนสำเร็จเป็นชิ้นงานตามที่ได้ทำการออกแบบไว้
- ประกอบขึ้นด้วย หัวรีด 2 หัว และหัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน ควบคุมการรีดเทอร์โมพลาสติกด้วยมอเตอร์
- หัวฉีดเจาะรูด้านล่าง ขนาด 0.1 มิลลิเมตร เพื่อเป็นทางออกของเส้นเทอร์โมพลาสติก
- ด้านบนเป็นหัวรีด 2 หัว ควบคุมด้วยมอเตอร์
- ให้ความร้อนสำหรับหลอมละลายเทอร์โมพลาสติกด้านใน ด้วย อุปกรณ์กำเนิดความร้อน บริเวณปลายหัวฉีด ควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม ด้วย อุปกรณ์ควบคุมความร้อน แสดงผลทางหน้าจอ
- ประกอบติดกับชุดขับเคลื่อนแกน Z เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ตามความสูงของแต่ละชั้นที่กำหนดไว้ในโปรแกรม
- ควบคุมการทำงานทั้งหมดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

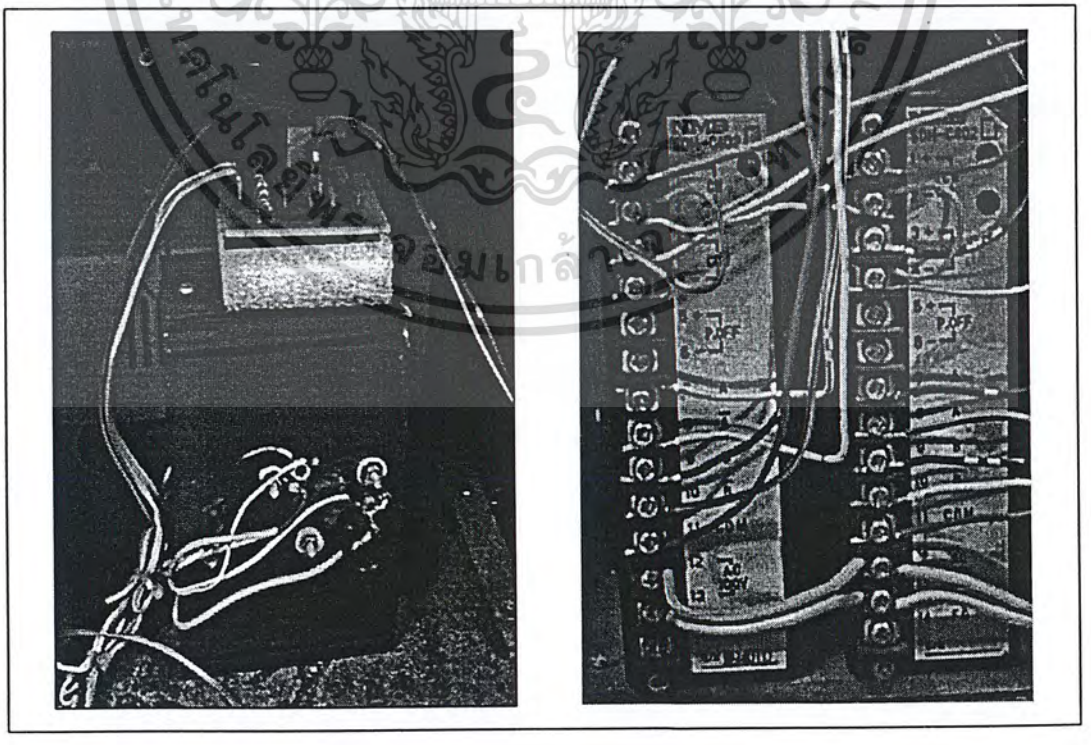


รูปที่ 4.4 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานเทอร์โมพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ หัวฉีดขี้ผึ้ง และ หัวฉีดเทอร์โมพลาสติก



รูปที่ 4.6 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ

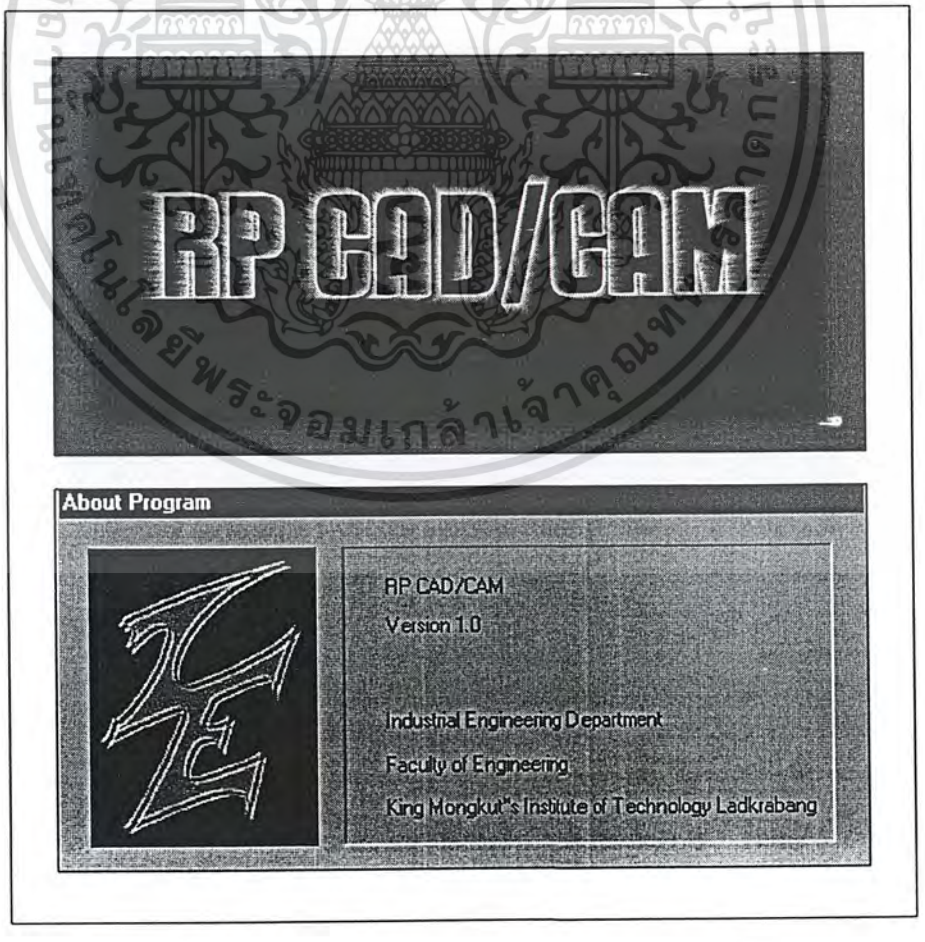
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการดำเนินการทางด้าน Software

การดำเนินการทางด้าน Software นั้น ได้แก่ การศึกษาการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อ CAD / CAM ในกระบวนการของ Rapid Prototype ซึ่งในการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น ได้เลือกใช้โปรแกรม Delphi 5.0 ในส่วนของการสร้างทั้งหมด

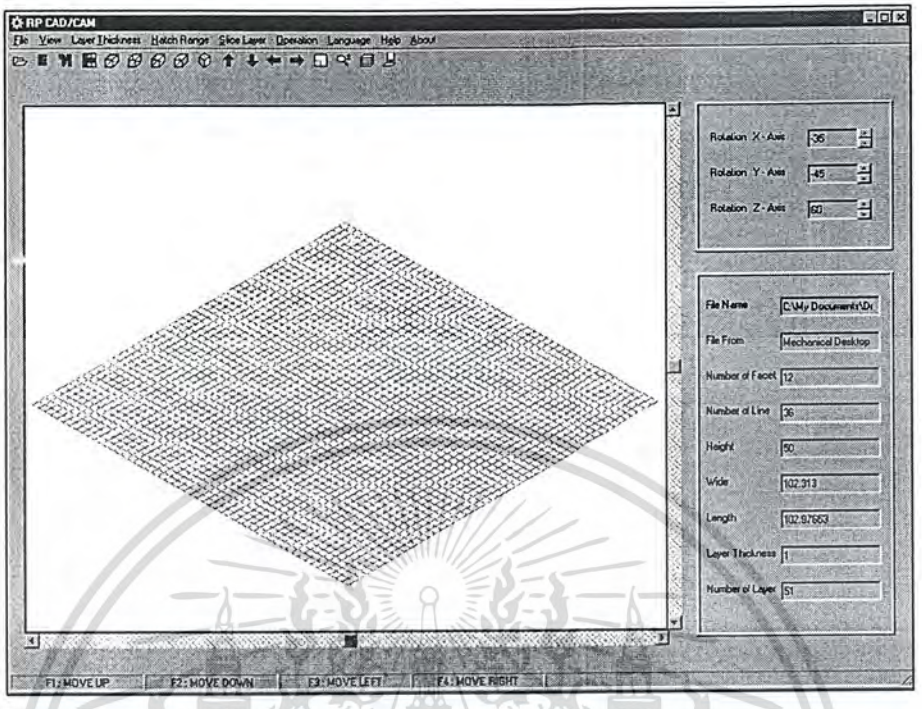
4.2.1 รายละเอียดของโปรแกรม

โปรแกรม RP CAD/CAM ที่ทำการสร้างขึ้น เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการเชื่อมต่อ CAD/CAM ในกระบวนการของ Rapid Prototype โดยสามารถทำการเปิดแฟ้มข้อมูลที่ทำการสร้างจากโปรแกรม CAD เช่น AutoCAD , Mechanical Desktop หรือ 3D Studio MAX มาใช้งานในโปรแกรมได้ และสามารถนำแฟ้มข้อมูลที่ได้ทำการสร้างมาแล้วนั้นมาทำการเชื่อมต่อเข้ากับเครื่อง RP ที่ทำการสร้างขึ้น ซึ่งจัดเป็น การเชื่อมต่อระหว่าง CAD และ CAM ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการทางอุตสาหกรรมในปัจจุบัน โดยโปรแกรมได้ออกแบบมาให้สามารถทำงานได้ภายในหน้าจอเดียว (1 Dialog) สามารถทำงานได้ง่าย โดยรวมคำสั่งทุกคำสั่งไว้ที่ Main Menu มี Toolbar เพื่อความรวดเร็วในการสั่งงาน การแสดงผลเป็นภาพกราฟฟิกในทุก ๆ ขั้นตอนการทำงาน เพื่อให้การทำงานเป็นไปด้วยความสะดวก เข้าใจง่าย และเพื่อให้ใช้งานได้แพร่หลายมากขึ้น จึงได้ออกแบบให้สามารถทำงานได้ 2 ภาษา คือ ภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ

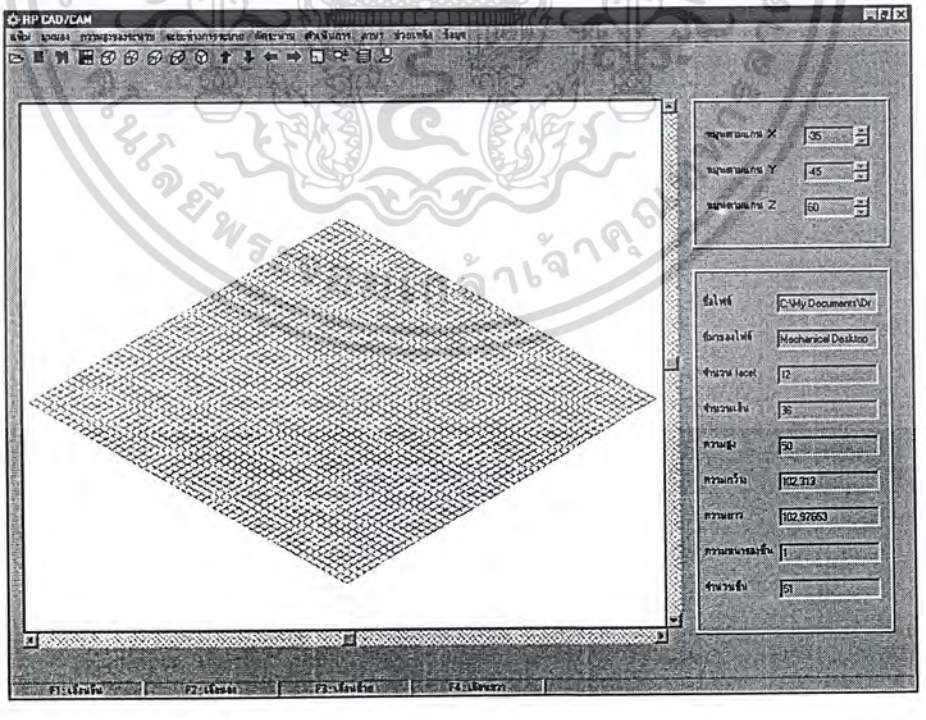


รูปที่ 4.7 รายละเอียดของโปรแกรม RP CAD/CAM ที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 โปรแกรม RP CAD/CAM ที่ทำการสร้างขึ้น การทำงานด้วยภาษาอังกฤษ



รูปที่ 4.9 โปรแกรม RP CAD/CAM ที่ทำการสร้างขึ้น การทำงานด้วยภาษาไทย

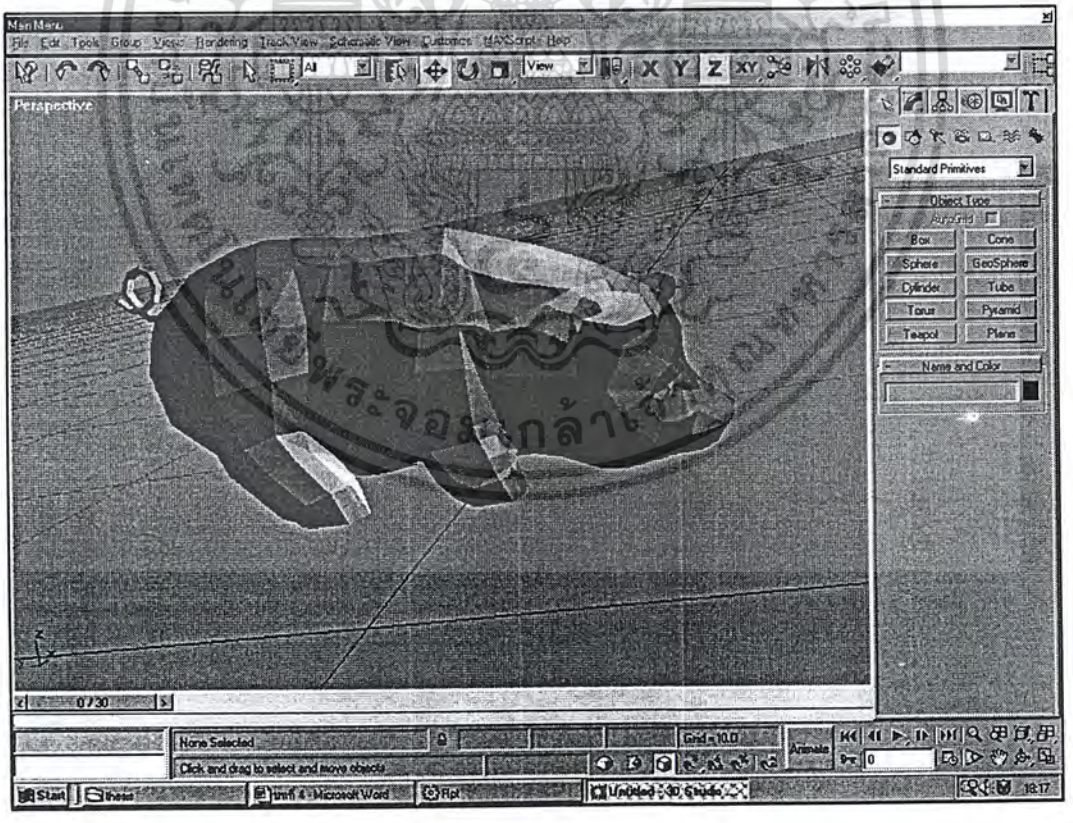
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การนำเข้าแฟ้มข้อมูล STL ที่สร้างจากโปรแกรม CAD

การนำเข้าแฟ้มข้อมูล STL เป็นการนำแฟ้มข้อมูลภาพที่ทำการสร้างจากโปรแกรม CAD เช่น AutoCAD Mechanical Desktop หรือ 3D Studio MAX มาใช้ในโปรแกรม RP CAD/CAM ที่ทำการสร้างขึ้น เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับเครื่อง RP แบบ FDM ให้สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีลักษณะตามที่สร้างไว้ โดยขั้นตอนการทำงานเริ่มต้นจากการสร้างภาพในโปรแกรม CAD จากนั้นทำการแปลงแฟ้มข้อมูลออกมาในรูปของแฟ้มข้อมูล STL โดยใช้คำสั่ง File>Export หรือ ใช้คำสั่ง STLOut แล้วทำการเลือกชิ้นงานโซลิดที่ทำการสร้างขึ้น จากนั้นทำการบันทึกแฟ้มข้อมูล ซึ่งโปรแกรม CAD จะกำหนดนามสกุล *.STL ให้โดยอัตโนมัติ

เมื่อทำการบันทึกแฟ้มข้อมูล ในรูปของแฟ้มข้อมูล STL เรียบร้อยแล้ว แฟ้มข้อมูลนั้นจะสามารถนำมาใช้ในโปรแกรม RP CAD/CAM ได้ โดยเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา จะมีข้อความเตือนให้เปิดแฟ้มข้อมูล ซึ่งสามารถทำได้โดย ใช้คำสั่ง File>Open หรือ Ctrl + O หรือ ใช้ Toolbar ดังรูป 🗁 ซึ่งโปรแกรมจะทำการอ่านแฟ้มข้อมูล STL ที่ต้องการและทำการสร้างภาพตามที่ได้สร้างไว้ในโปรแกรม CAD

เมื่อเปิดไฟล์ที่ต้องการแล้ว โปรแกรม RP CAD/CAM จะแสดงภาพที่ได้สร้างไว้ และแสดงข้อมูลต่าง ๆ ของภาพ เช่น ชนิดของไฟล์ ที่มาของไฟล์ ความกว้าง ยาว สูง ของชิ้นงาน ความหนาของแต่ละชั้น จำนวนชั้นที่ต้องการในการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อให้สะดวกต่อการปรับแต่งภาพของชิ้นงานให้เหมาะสม



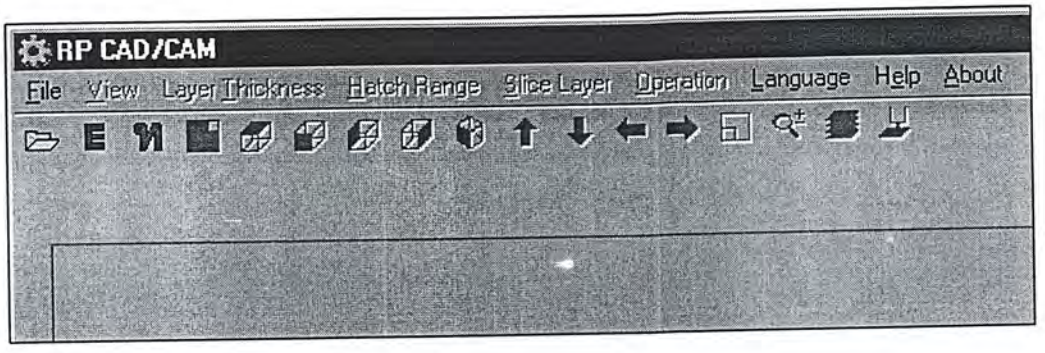
รูปที่ 4.10 ภาพที่ได้จากการสร้างในโปรแกรม 3D Studio MAX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

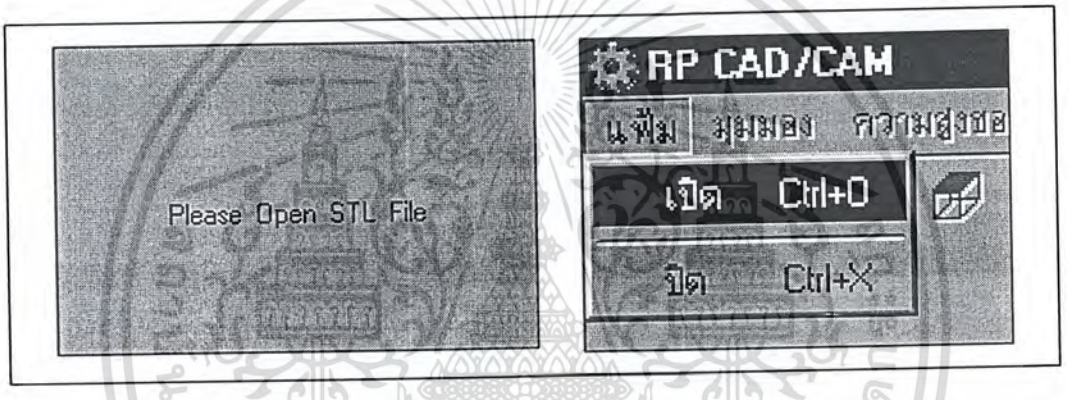
รูปที่ 4.11 การ Export File ในโปรแกรม 3D Studio MAX

รูปที่ 4.12 เลือกการบันทึกแฟ้มข้อมูล STL แบบ ASCII

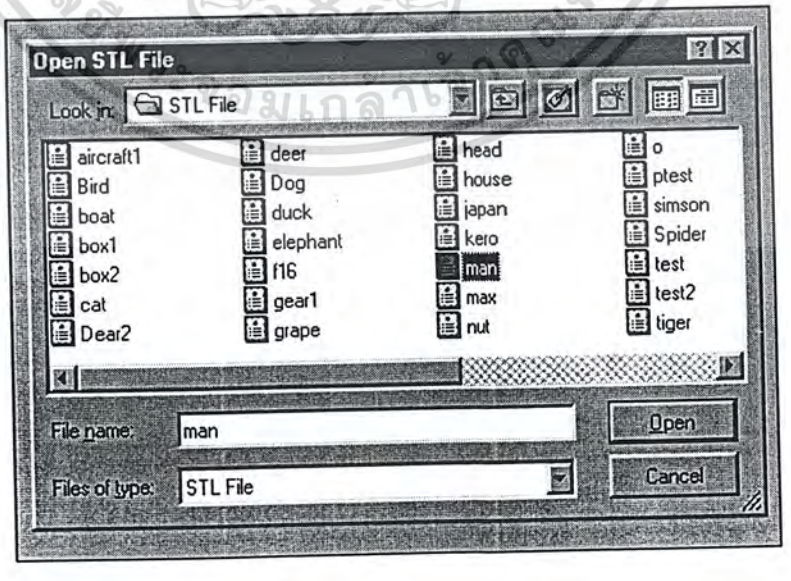
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ส่วนของเมนูต่าง ๆ ที่ไม่สามารถใช้งานได้เมื่อยังไม่มีการเปิดแฟ้มข้อมูล

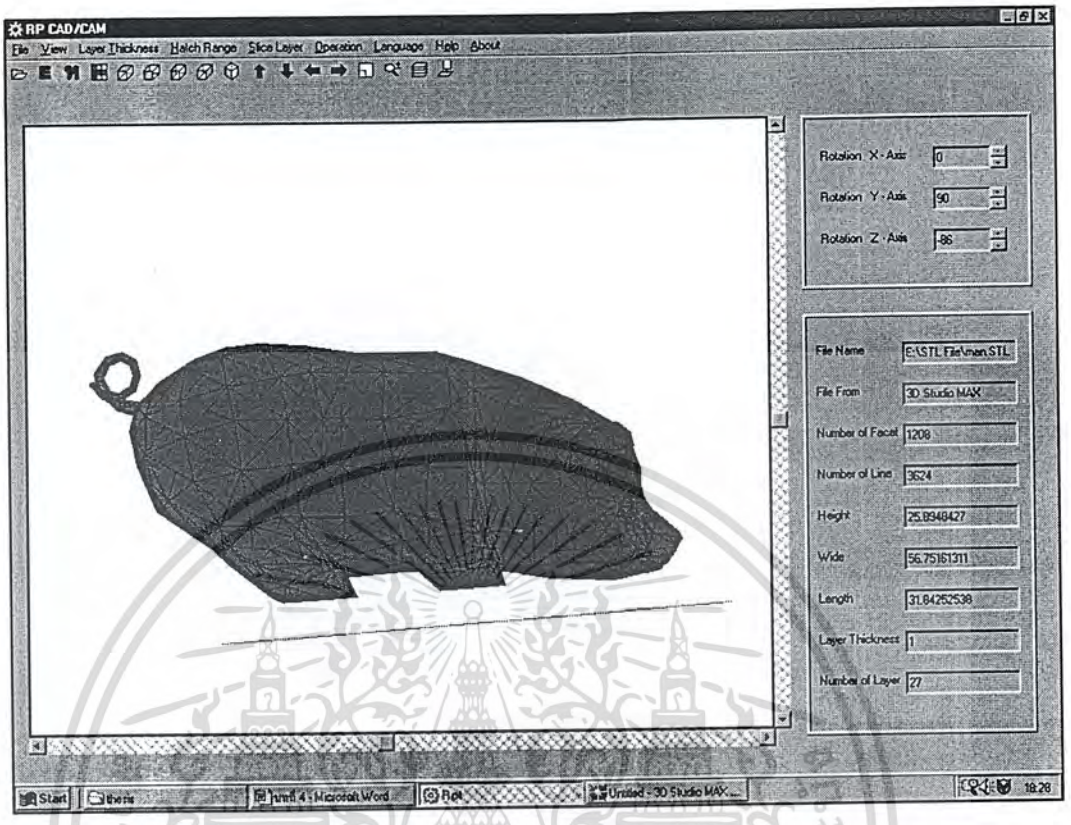


รูปที่ 4.14 โปรแกรมแสดงข้อความเตือนให้ เปิดแฟ้มข้อมูล และคำสั่งที่ใช้ในการ เปิดแฟ้มข้อมูล

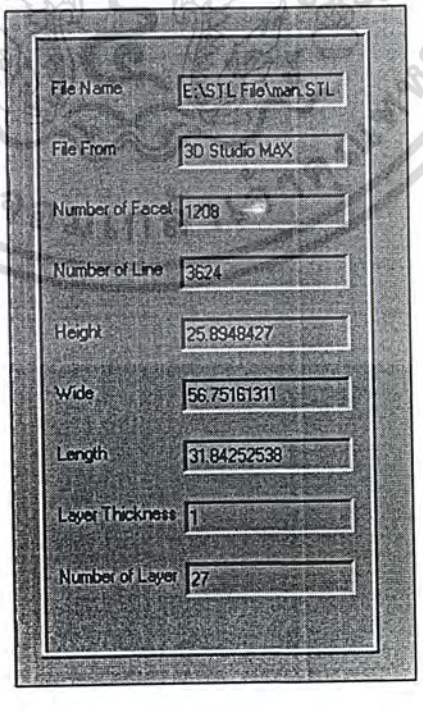


รูปที่ 4.15 การเปิดแฟ้มข้อมูล STL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



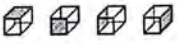
รูปที่ 4.16 ภาพที่ได้จากการนำเข้าแฟ้มข้อมูลในโปรแกรม RP CAD/CAM

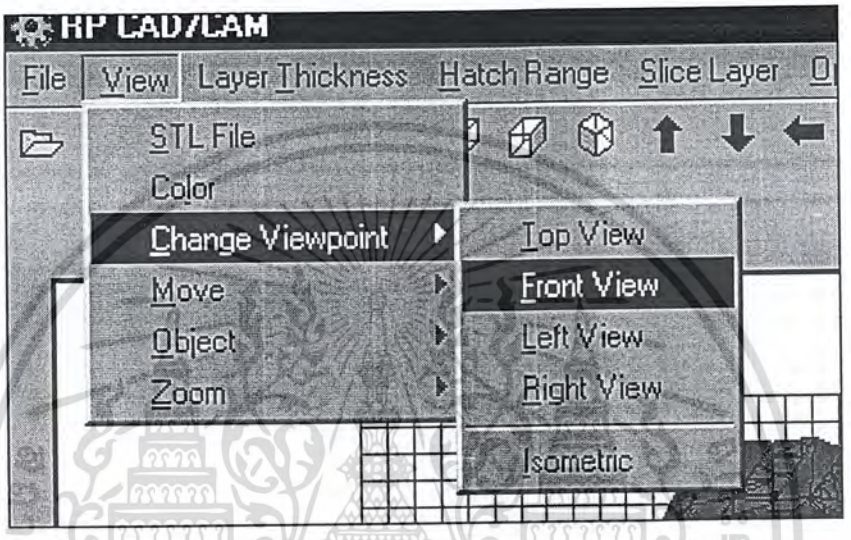


รูปที่ 4.17 รายละเอียดต่าง ๆ ของแฟ้มข้อมูลที่แสดงในโปรแกรม RP CAD/CAM

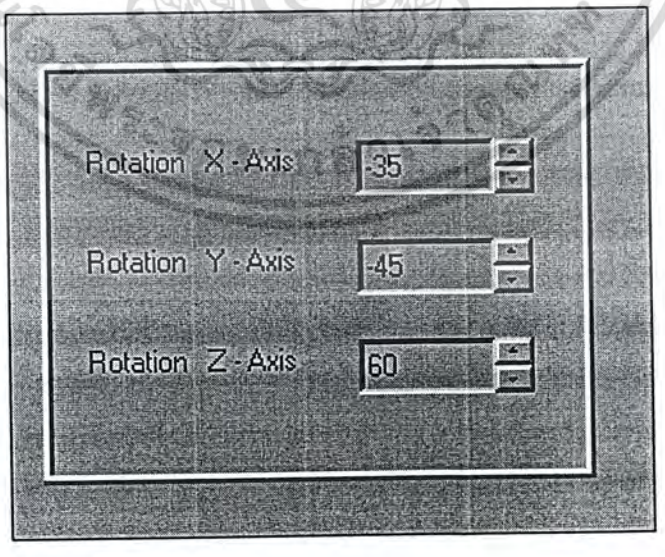
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การเปลี่ยนมุมมองของภาพ

โปรแกรม RP CAD/CAM ที่ทำการสร้างขึ้น ได้ออกแบบให้สามารถใช้งานได้ง่าย และสะดวก โดยสามารถเปลี่ยนมุมมองของภาพที่ได้จากการเปิดแฟ้มข้อมูล STL ได้ในมุมมองต่าง ๆ คือ Top View, Left View, Right View, Front View และ Isometric View โดยการสั่ง View>Change Viewpoint แล้วเลือกมุมมองที่ต้องการ หรือ การใช้ Toolbar  ซึ่งในโปรแกรมจะทำการแสดงสถานะว่าอยู่ในมุมมองแบบใด และมีการหมุนมุมมองไปเท่าไรในแต่ละแกน

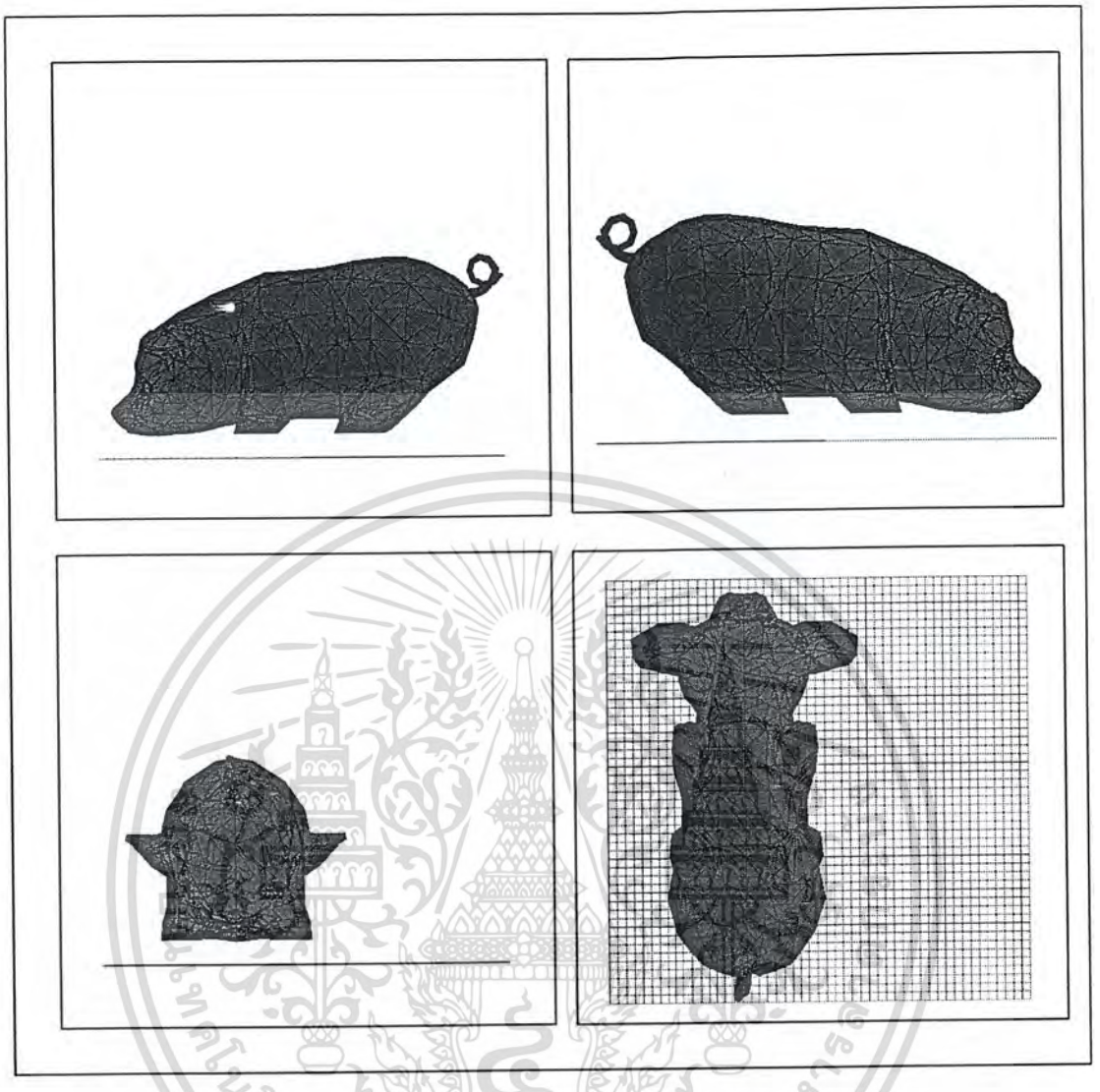


รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนมุมมองของภาพ



รูปที่ 4.19 ส่วนแสดงสถานะการหมุนมุมมองภาพในแต่ละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



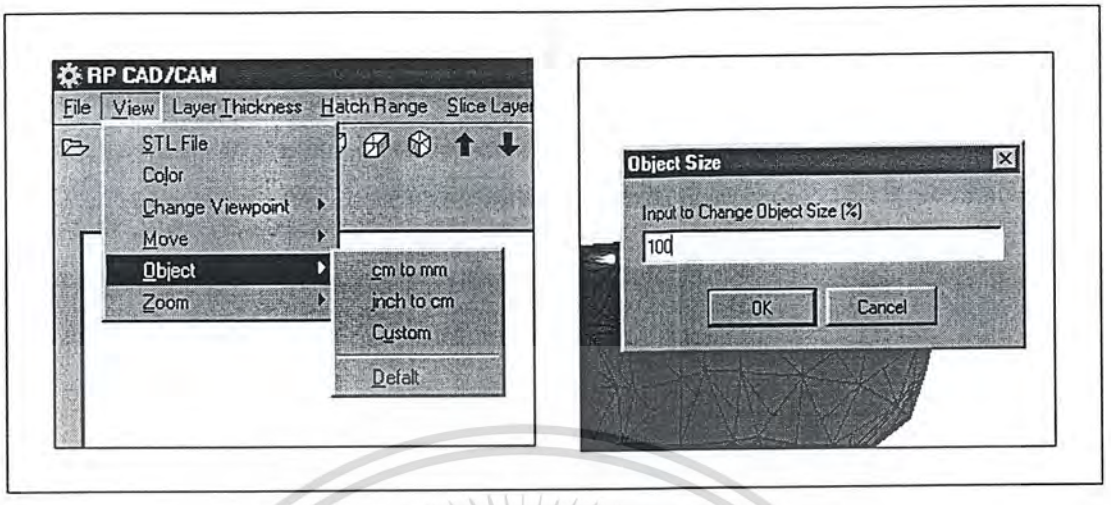
รูปที่ 4.20 การหมุนมุมมองภาพในมุมมองต่าง ๆ กัน

4.2.4 การย่อ-ขยาย ขนาดของแบบจำลอง

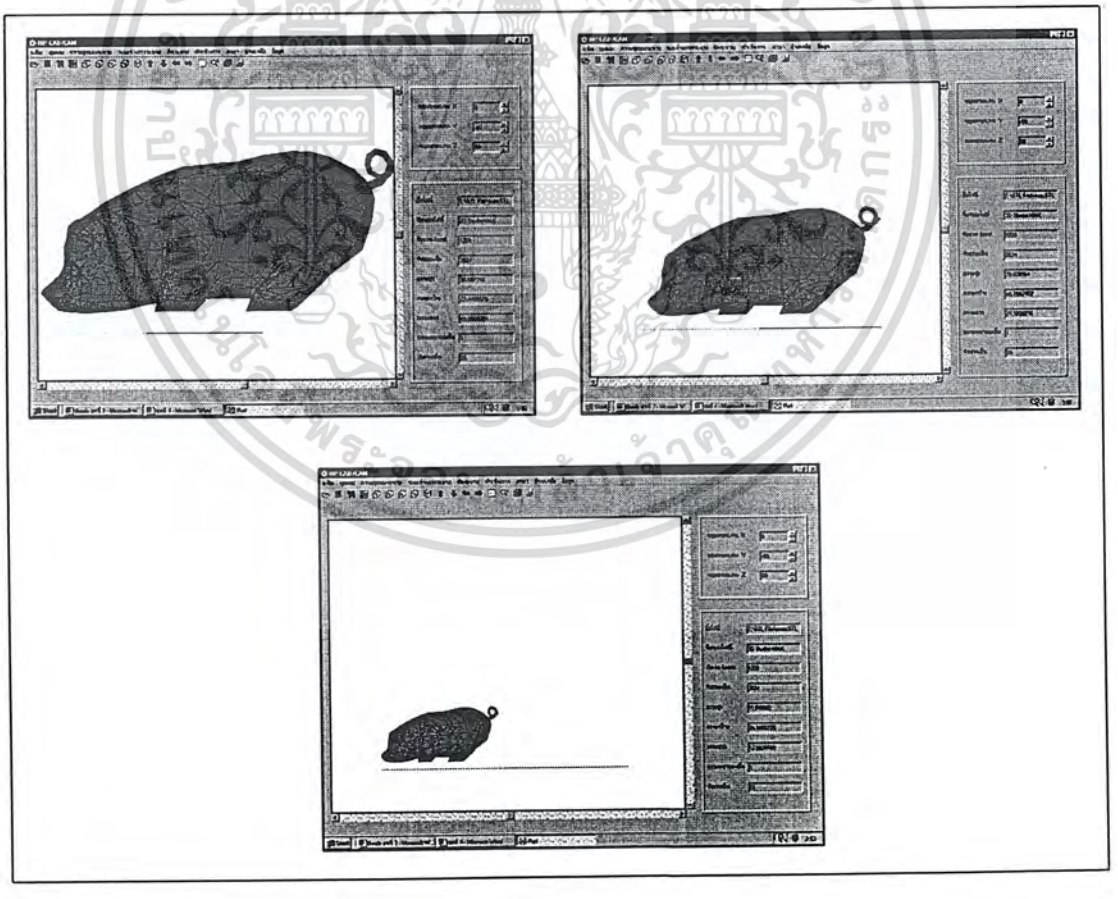
การย่อ-ขยาย ขนาดของแบบจำลองเป็นสิ่งจำเป็นในการสร้างชิ้นงานด้วยเครื่อง RP ที่ได้ทำการสร้างขึ้น เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเครื่องจักรที่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ในขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 5 x 5 x 10 เซนติเมตร จึงมีความจำเป็นต้องสร้างแบบจำลองของชิ้นงานให้มีขนาดตามที่กำหนดไว้ ในกรณีที่แบบจำลองชิ้นงานมีขนาดใหญ่กว่าที่กำหนด หรือมีขนาดเล็กจนเกินไป จึงมีความจำเป็นต้องทำการปรับขนาดของแบบจำลองชิ้นงานให้เหมาะสม

การย่อ-ขยาย แบบจำลองชิ้นงานในโปรแกรม RP CAD/CAM นั้น ทำได้โดยการสั่ง Object ที่ Main Menu แล้วเลือกการย่อ-ขยาย แบบจำลองตามที่ต้องการ ซึ่งมีให้เลือกคือ การแปลงหน่วยจาก เซนติเมตร เป็น มิลลิเมตร การแปลงหน่วยจาก นิ้ว เป็น เซนติเมตร หรือการกำหนดขนาดใหม่เอง โดยการกำหนดเป็น ร้อยละของขนาดแบบจำลองเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 คำสั่งในการย่อ-ขยาย ขนาดของแบบจำลองชิ้นงาน

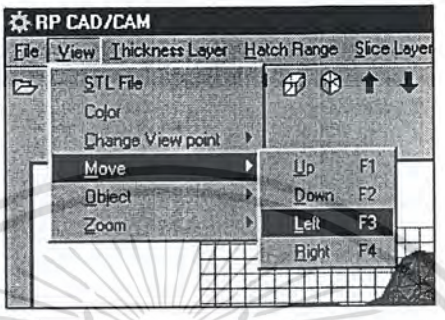


รูปที่ 4.22 ภาพแสดงการย่อขนาดของแบบจำลองขนาดต่าง ๆ กัน

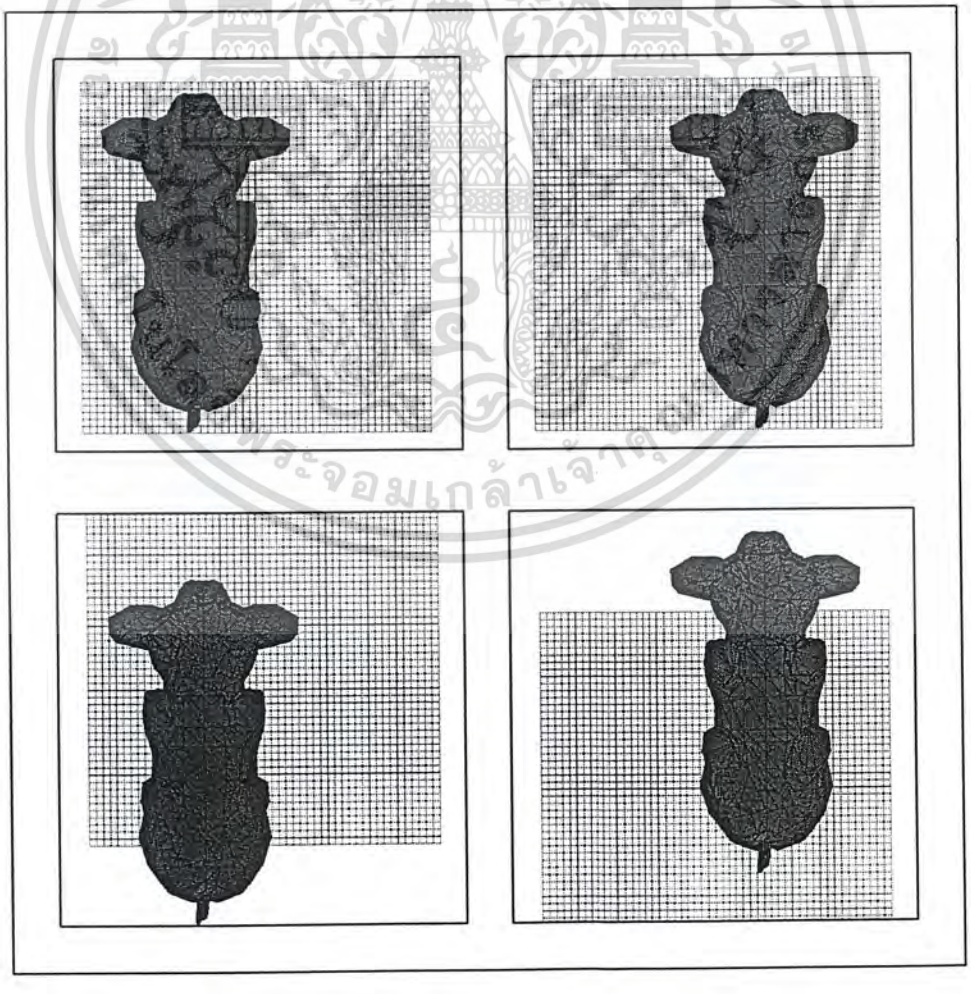
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การเลื่อนตำแหน่งของแบบจำลอง

การเลื่อนตำแหน่งของแบบจำลองมีความจำเป็นต่อการขึ้นรูปชิ้นงานเช่นเดียวกัน เนื่องจากสามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ในบริเวณที่กำหนดให้เป็นโต๊ะทำงานเท่านั้น ดังนั้นโปรแกรมจึงได้ออกแบบมาให้สามารถเลื่อนตำแหน่งของภาพได้ โดยการสั่ง View>Move แล้วเลือกทิศทางที่ต้องการ หรือ การใช้ Hotkey ที่กำหนด คือ F1, F2, F3 และ F4 หรือ การใช้ Toolbar ➡ ⬅ ⬆ ⬇ เพื่อเลื่อนตำแหน่งไปในทิศทางที่ต้องการ



รูปที่ 4.23 การเลื่อนตำแหน่งของแบบจำลอง

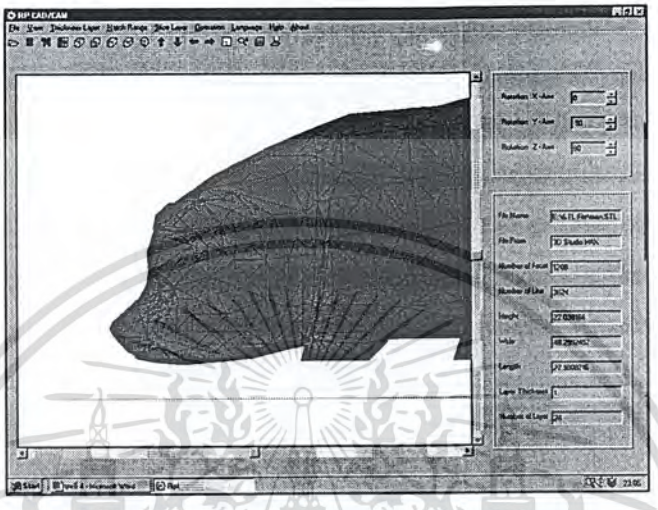


รูปที่ 4.24 การเลื่อนตำแหน่งของแบบจำลองไปในตำแหน่งต่าง ๆ กันบนโต๊ะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.6 การ ย่อ-ขยาย ภาพในตำแหน่งที่ต้องการ

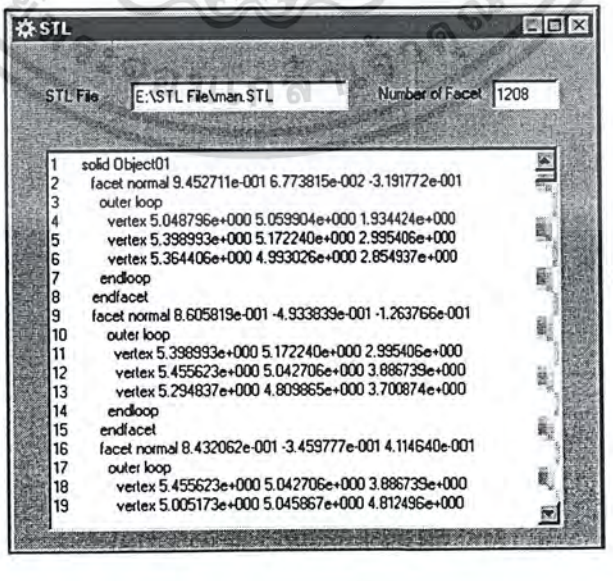
โปรแกรม RP CAD/CAM สามารถเลือก ย่อ-ขยาย ภาพในตำแหน่งที่ต้องการได้ เพื่อความสะดวกหากต้องการเลือกดูภาพในบริเวณใดเป็นพิเศษ ทำได้โดยการสั่ง View>Zoom แล้วกำหนดขนาดที่ต้องการย่อ-ขยายเป็นร้อยละของขนาดภาพเดิม หรือสั่งโดยใช้ Toolbar



รูปที่ 4.25 การย่อ-ขยายภาพในตำแหน่งที่ต้องการ

4.2.7 การแสดงข้อมูล STL ของแฟ้มข้อมูลที่กำลังทำงาน

เป็นการแสดงข้อมูล STL ของแฟ้มข้อมูลที่กำลังทำงาน ซึ่งจะแสดงข้อมูลในส่วนของ แต่ละ Facet และ Vertex ของ แฟ้มข้อมูล นั้น ๆ แสดงใน หน้าจอที่เปิดขึ้นมาซ้อนกับ หน้าจอหลัก โดยไม่จำเป็นต้องเปิดในโปรแกรมเวิร์ด เช่น MS-WORD หรือ NOTEPAD การเปิดดูข้อมูล STL ทำได้โดยใช้คำสั่ง View>STL File



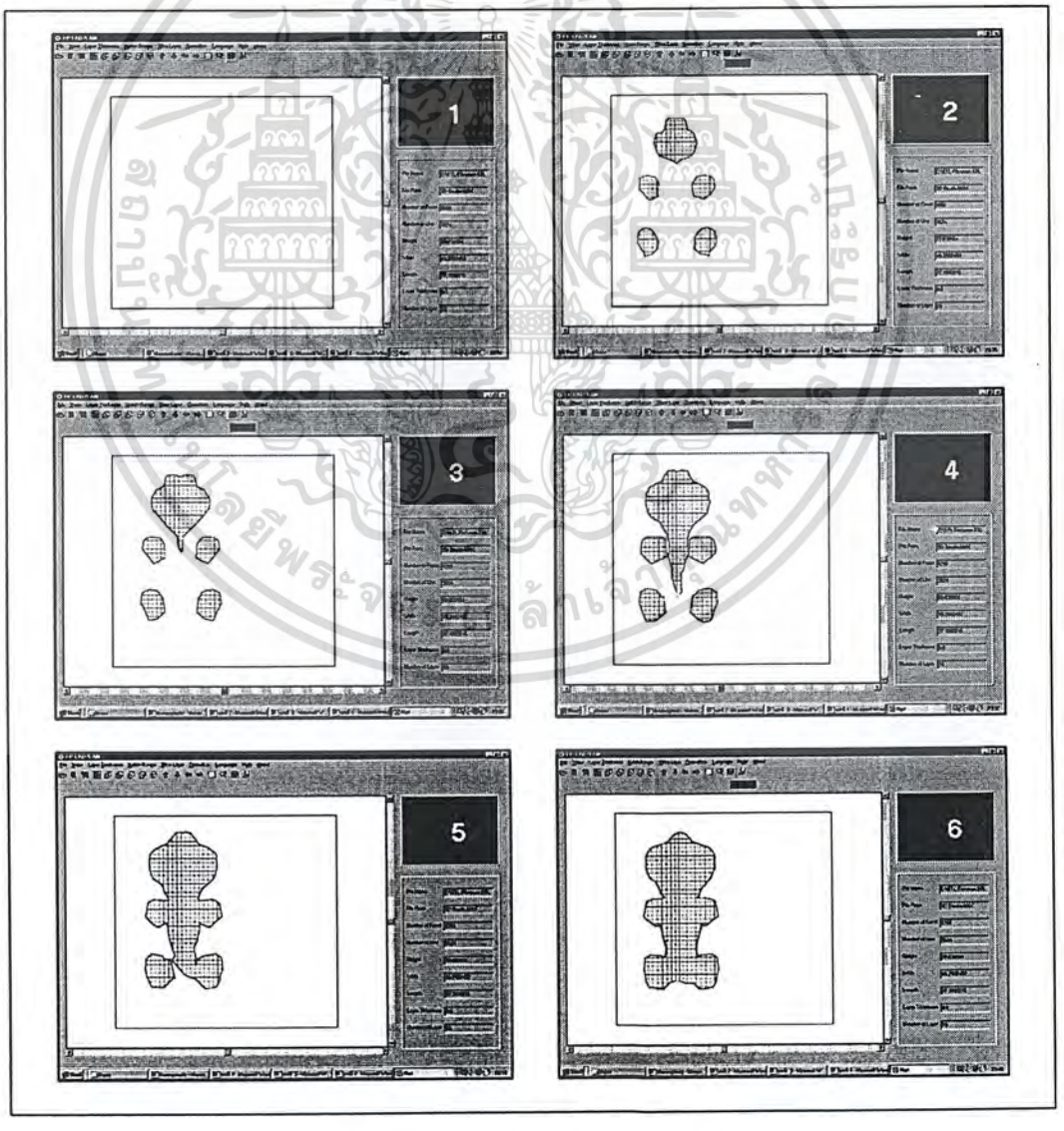
รูปที่ 4.26 ข้อมูล STL ของแฟ้มข้อมูลที่ทำการเปิดขึ้น แสดงใน STL Dialog

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.8 การเฉือนชิ้นงานออกเป็นชั้น ๆ ตามความหนาที่ต้องการ

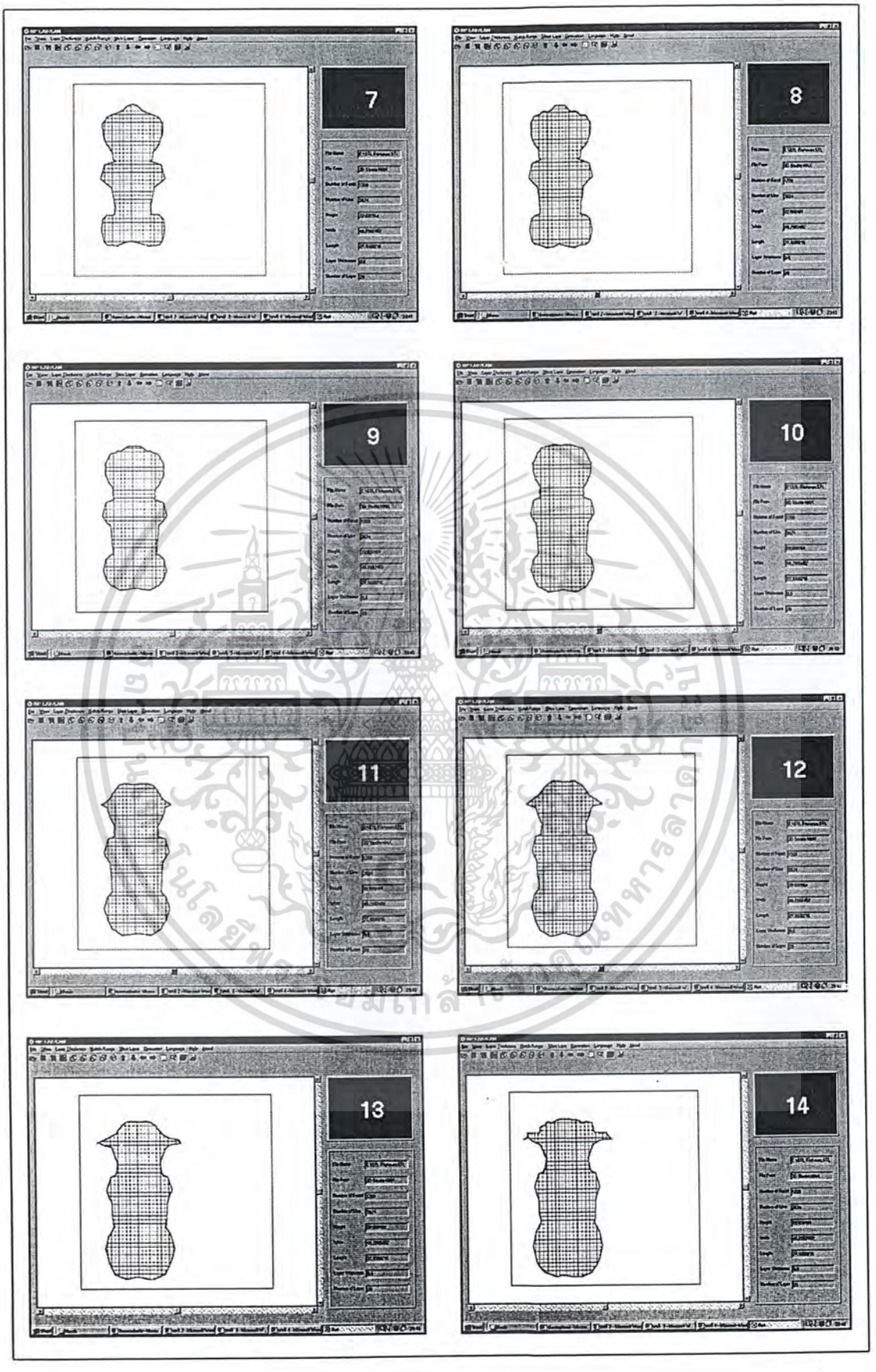
หลักการสำคัญของกระบวนการ Rapid Prototype นั่นคือการเฉือนชิ้นงานออกเป็นชั้น ๆ แล้วทำการสร้างชิ้นงานทีละชั้นตามขนาดที่ได้ทำการเฉือนเอาไว้ ซ้อนกันขึ้นมาจากชั้นล่างจนถึงชั้นบนสุด สำเร็จเป็นชิ้นงานที่มีรูปร่าง และขนาดเหมือนกับที่ได้ทำการออกแบบไว้ในโปรแกรม CAD

โปรแกรม RP CAD/CAM สามารถทำการเฉือนชิ้นงานออกเป็นชั้น ๆ ได้ โดยสามารถกำหนดความหนาที่ต้องการในแต่ละชั้น และความละเอียดในการเดินของหัวฉีดได้ ซึ่งสามารถแสดงผลการเฉือนเป็นภาพกราฟฟิกในส่วนที่จะทำการขึ้นรูปในแต่ละชั้นจะทำการแรเงาเอาไว้ ซึ่งระยะห่างการแรเงาก็คือระยะห่างการเดินของหัวฉีดที่จะทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน เพื่อตรวจสอบความละเอียดก่อนที่จะทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานจริงได้ โดยจะบอกสถานะการเฉือนว่ามีการเฉือนทั้งหมดกี่ชั้น กำลังทำการเฉือนที่ชั้นใดอยู่ และถ้าต้องการตรวจสอบว่าที่ชั้นใด ๆ มีการเฉือนเป็นอย่างไร ก็สามารถเลือกทำการเฉือนที่ชั้นนั้น ๆ เพียงชั้นเดียวได้ คำสั่งที่ใช้คือ Slice Layer แล้วทำการเลือกว่า ต้องการแบบต่อเนื่องจนครบทุกชั้น หรือต้องการเฉือนเพียงชั้นเดียว เมื่อทำการเฉือนจนครบทุกชั้นจะมีข้อความเตือนว่าได้ทำการเฉือนเสร็จเรียบร้อยแล้ว



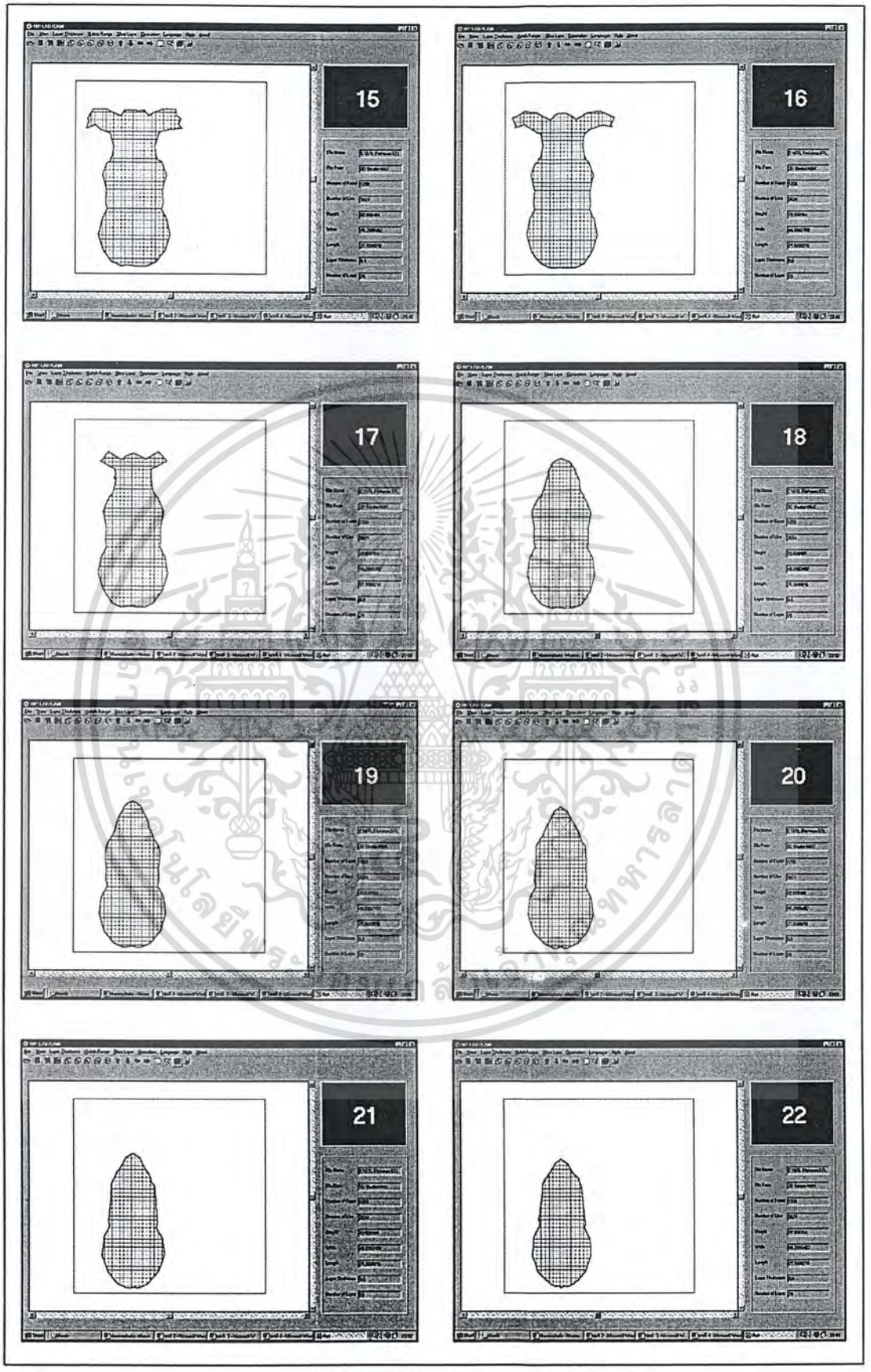
รูปที่ 4.27 การเฉือนชิ้นงานในแต่ละชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



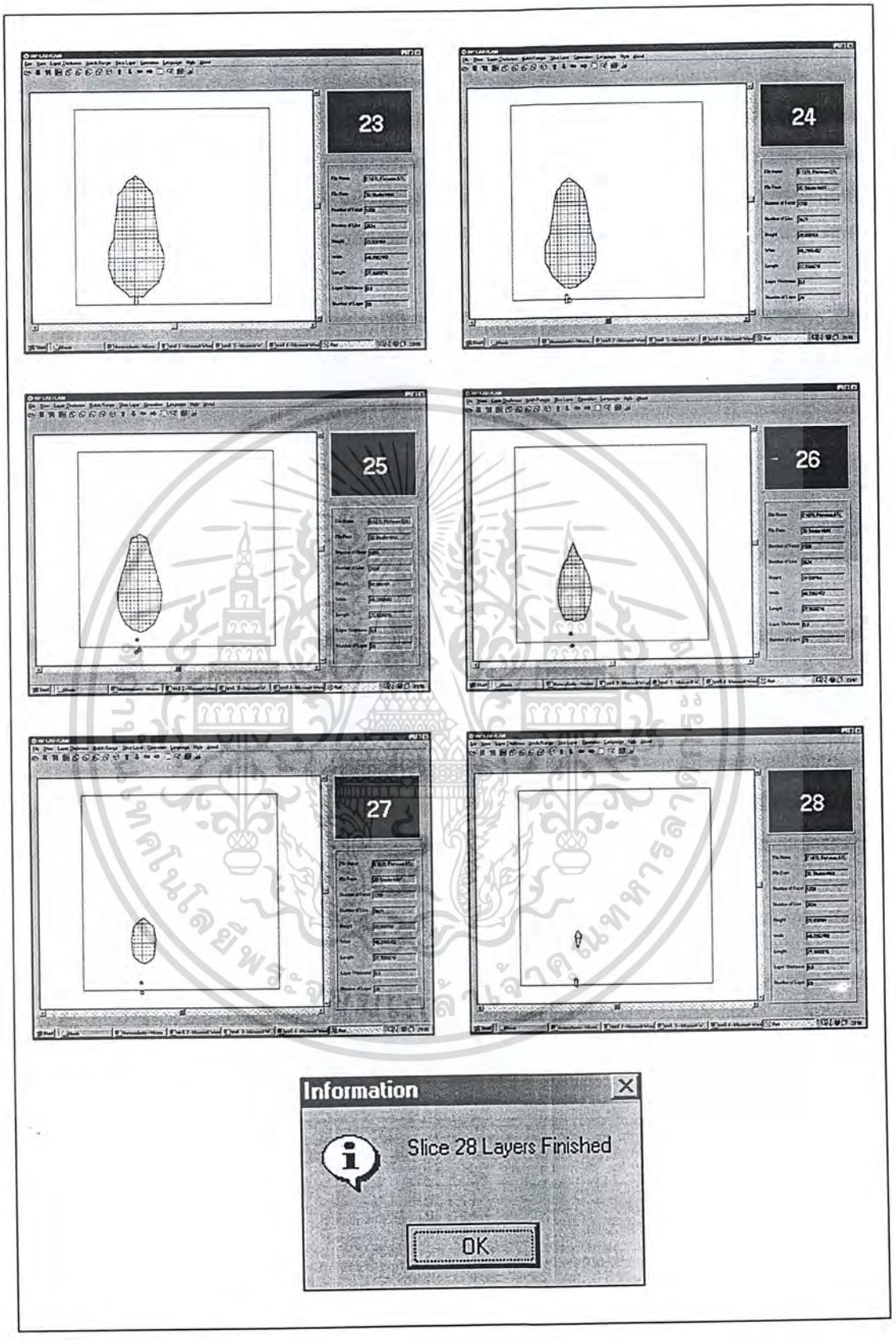
รูปที่ 4.27 การเฉือนชิ้นงานในแต่ละชั้น (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 การเฉือนชิ้นงานในแต่ละชั้น (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

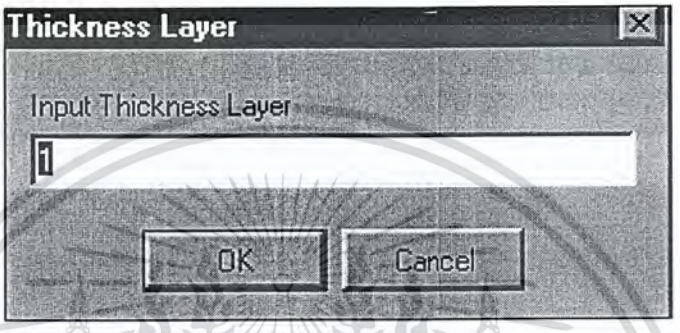


รูปที่ 4.27 การเฉือนชิ้นงานในแต่ละชั้น (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.9 การกำหนดความหนาในแต่ละชั้นของชิ้นงานที่จะทำการขึ้นรูป

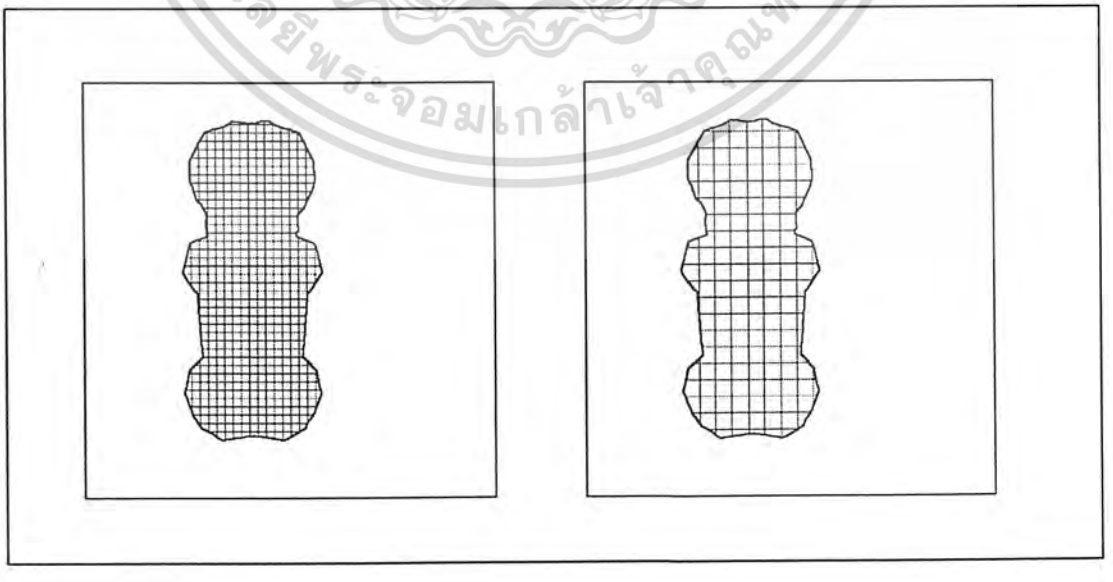
การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยครื่อง RP ที่ทำการสร้างขึ้น สามารถกำหนดความหนาของแต่ละชั้น ได้ตามความเหมาะสมทั้งนี้เพื่อให้สามารถกำหนดค่าความละเอียดของการขึ้นรูปชิ้นงานได้ โดยถ้าต้องการความละเอียดมากก็กำหนดความหนาของแต่ละชั้นให้น้อย ซึ่งในตอนแรกถ้าไม่กำหนดความหนา โปรแกรมจะกำหนดให้โดยอัตโนมัติ เท่ากับ 1 มิลลิเมตร ถ้าต้องการเปลี่ยนก็สามารถทำได้โดย เลือกเมนู Layer Thickness แล้วกำหนดความหนาของแต่ละชั้นที่ต้องการ



รูปที่ 4.28 การกำหนดความหนาในแต่ละชั้นของชิ้นงานที่จะทำการขึ้นรูป

4.2.10 การกำหนดความละเอียดของการเดินหัวฉีดในการขึ้นรูปชิ้นงาน

ในการขึ้นรูปชิ้นงานจะกำหนดการเดินของหัวฉีดไปตามแกน X และ แกน Y ในแต่ละชั้น ซึ่งสามารถกำหนดความละเอียดในการเดินของหัวฉีดได้เช่นกัน ซึ่งในตอนแรกโปรแกรมจะกำหนดให้ระยะห่างการเดินของหัวฉีดเป็น 1 มิลลิเมตร หากต้องการเปลี่ยนก็ทำได้โดยเลือกเมนู Hatch Range แล้วทำการเปลี่ยนค่าตามความเหมาะสม



รูปที่ 4.29 การกำหนดความละเอียดของการเดินหัวฉีดในการขึ้นรูปชิ้นงานที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.11 การดำเนินการฉีดขึ้นรูปชิ้นงาน

เมื่อทำการตรวจสอบการเฉือน กำหนดความหนาของแต่ละชั้น และทำการกำหนดความละเอียดในการเดินของหัวฉีดแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายก็คือการสั่งเครื่อง RP ที่ทำการสร้างขึ้น ให้ทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานตามที่ได้สร้างไว้ ซึ่งเครื่องจะทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานทีละชั้น ตามที่ได้ทำการเฉือนเอาไว้ โดยการตรวจสอบตำแหน่งการเดินของหัวฉีด และทำการแสดงสถานะการฉีดว่ากำลังฉีดที่ชั้นใดจากกี่ชั้น และแสดงผลตำแหน่งการฉีดเป็นภาพกราฟฟิกทีละชั้น จนครบทุกชั้น ซึ่งการทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานนี้ก็สามารถเลือกได้ว่าจะต้องการฉีดขึ้นรูปทั้งชิ้นงาน หรือ ทำการฉีดขึ้นรูปที่ชั้นใดชั้นหนึ่งเพียงชั้นเดียว โดยการสั่ง Operation หรือใช้ Toolbar ที่กำหนดไว้

รูปที่ 4.30 คำสั่งที่ใช้ในการดำเนินการขึ้นรูปชิ้นงาน

4.3 ผลการดำเนินการด้านการขึ้นรูปชิ้นงาน

4.3.1 ผลการทดลองคุณสมบัติขี้ผึ้ง (Wax)

จากการทดลองหาจุดหลอมเหลว, ความหนืด, ส่วนผสม, และความดันที่เหมาะสมของ ขี้ผึ้ง ทั้ง 2 ชนิด ได้ผลการทดลอง ดังนี้

1) ผลการทดลองหาจุดหลอมเหลวของขี้ผึ้ง

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองหาจุดหลอมเหลวของ ขี้ผึ้ง

ชนิดของขี้ผึ้ง	ครั้งที่					ค่าเฉลี่ย
	1	2	3	4	5	
1. พาราฟิน	75.2	75.0	79.3	78.4	71.5	75.88
2. ขี้ผึ้งคงตัว	87.3	87.6	88.6	85.3	88.2	87.40

2) ผลการทดลองหาความหนืด

- พาราฟิน ความหนืด 305 cP
- ขี้ผึ้งคงตัว ความหนืด 16 cP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ผลการทดลองหาค่าส่วนผสม อุณหภูมิ และความดันที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองหาค่าส่วนผสม อุณหภูมิ และความดันที่เหมาะสม

อัตราส่วน (%)		70° C			80° C			90° C			100°C		
ขี้ผึ้งคงตัว	พาราฟิน	1 Bar	3 Bar	5 Bar	1 Bar	3 Bar	5 Bar	1 Bar	3 Bar	5 Bar	1 Bar	3 Bar	5 Bar
100	0	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
80	20	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
60	40	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
50	50	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
40	60	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
20	80	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c
0	100	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c	c

โดย A หมายถึง การฉีดขึ้นรูปเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และขึ้นรูปได้ดีมาก

B หมายถึง การฉีดขึ้นรูปเป็นไปอย่างค่อนข้างต่อเนื่อง และขึ้นรูปได้ค่อนข้างดี

C หมายถึง การฉีดขึ้นรูปเป็นไปอย่างไม่ต่อเนื่อง และขึ้นรูปได้ไม่ดี

D หมายถึง การฉีดขึ้นรูปไม่สามารถทำได้

จากผลการทดลอง พบว่า การฉีดขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้ขี้ผึ้ง (Wax) ไม่สามารถขึ้นรูปได้อย่างต่อเนื่อง และขึ้นรูปได้ไม่ดี ในทุก ๆ ส่วนผสม และ ความดันลมที่ใช้

4.3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติก

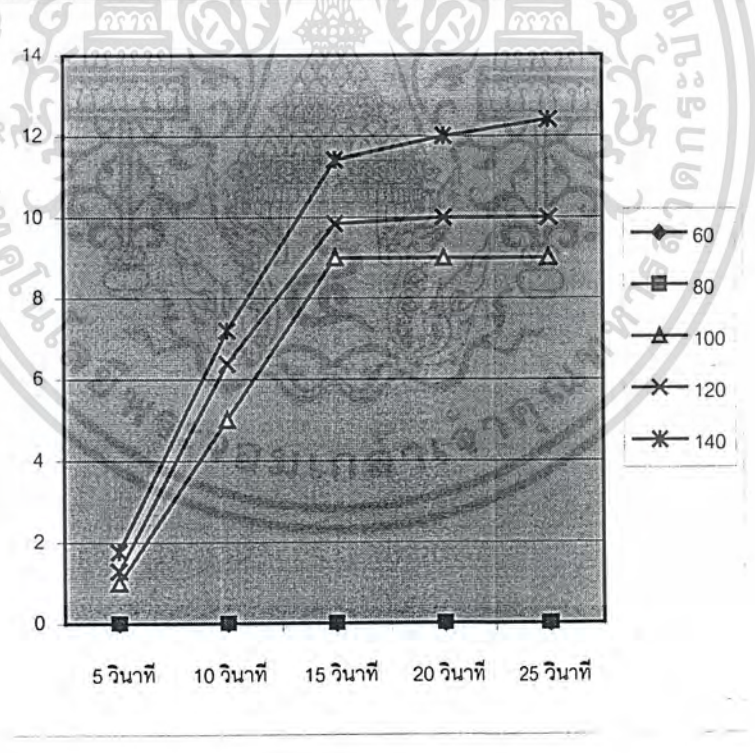
จากการทดสอบคุณสมบัติของเทอร์โมพลาสติกที่ใช้ในการขึ้นรูป โดยการทดสอบหาค่า อัตราการป้อน และ อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด ทำการทดลองที่แรงดัน 12, 18, 24 VDC และทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60, 80, 100, 120, 140 องศาเซลเซียส ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.1 อัตราการป้อน 12 VDC

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกที่ อัตราการป้อน 12 VDC

อัตราการป้อน (V DC) / อุณหภูมิ	12				
	5 วินาที	10 วินาที	15 วินาที	20 วินาที	25 วินาที
60	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0
100	1	5	9	9	9
120	1.3	6.38	9.85	10	10
140	1.78	7.2	11.42	12	12.4



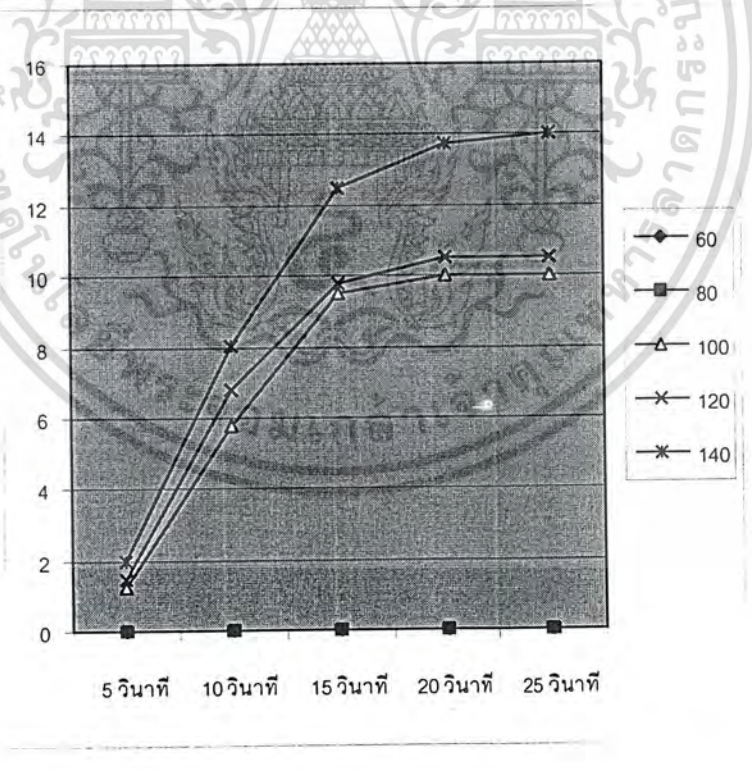
รูปที่ 4.31 ผลการทดลองคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกที่ อัตราการป้อน 12 VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.2 อัตราการป้อน 18 VDC

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกที่ อัตราการป้อน 18 VDC

อัตราการป้อน (V DC) / อุณหภูมิ	18				
	5 วินาที	10 วินาที	15 วินาที	20 วินาที	25 วินาที
60	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0
100	1.24	5.78	9.5	10	10
120	1.45	6.78	9.78	10.52	10.52
140	1.98	8.02	1.485	13.75	14



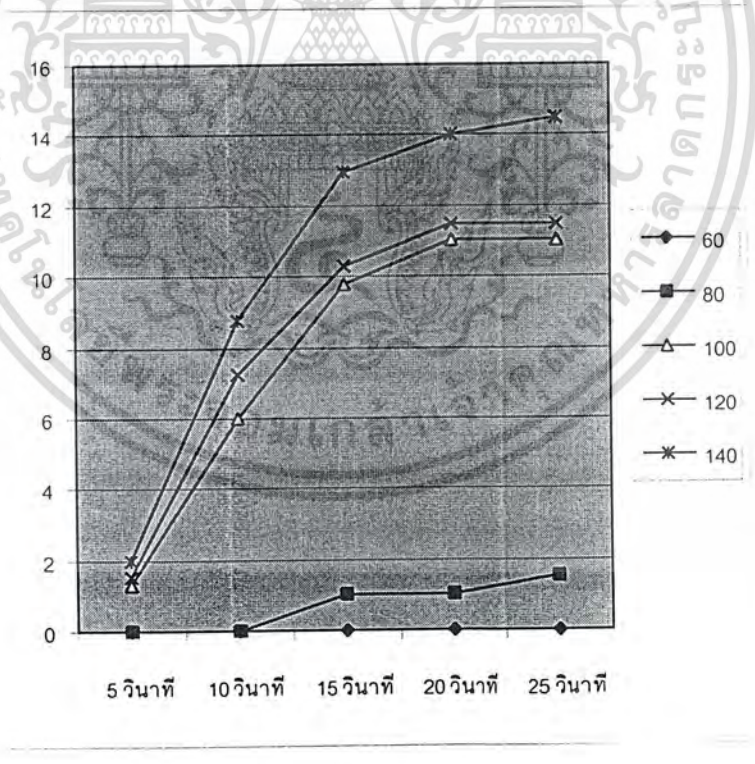
รูปที่ 4.32 ผลการทดลองคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกที่ อัตราการป้อน 18 VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3 อัตราการป้อน 24 VDC

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกที่ อัตราการป้อน 24 VDC

อัตราการป้อน (V DC) / อุณหภูมิ	24				
	5 วินาที	10 วินาที	15 วินาที	20 วินาที	25 วินาที
60	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0
100	1.3	6	9.8	11	11
120	1.5	7.32	10.3	11.5	11.5
140	2	8.75	12.97	14	14.5



รูปที่ 4.33 ผลการทดลองคุณสมบัติเทอร์โมพลาสติกที่ อัตราการป้อน 24 VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานจากขี้ผึ้ง (Wax)

4.3.3.1 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานขี้ผึ้ง แบบที่ 1

การทดลอง การขึ้นรูปชิ้นงานจากขี้ผึ้ง ทำการทดลองกับหัวฉีดขี้ผึ้ง ซึ่งจากเดิมได้ทำการออกแบบ หัวฉีดขี้ผึ้งจากแท่งสเตนเลสกลวง ทำเกลียวปิดฝาบริเวณด้านบน เพื่อให้สามารถเปิดออกเพื่อเติมขี้ผึ้งได้ และมีท่อลมต่อบริเวณด้านบนเข้ากับปั๊มลม ซึ่งสามารถควบคุมความดันให้คงที่ได้ด้วยอุปกรณ์ควบคุมความดันลม บริเวณตอนปลายด้านล่าง เชื่อมต่อกับหัวฉีดทองเหลือง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูหัวฉีด 0.1 มิลลิเมตร ผลการฉีดขึ้นรูปปรากฏว่า ไม่สามารถควบคุมขี้ผึ้งให้ออกมาตามที่ต้องการได้

รูปที่ 4.34 การทดลองหัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานขี้ผึ้งทำจากสเตนเลส

ปัญหาที่เกิดจาก หัวฉีดแบบนี้ คือ ขี้ผึ้งแข็งตัวบริเวณปลายหัวฉีด

การวิเคราะห์ปัญหา จากรูปที่ 4.34 พบว่า

1. เกิดรอยรั่วของลม บริเวณด้านบนของกระบอกฉีด ซึ่งทำเป็นฝาเกลียว สำหรับเปิด-ปิด ได้
2. บริเวณที่ให้ความร้อนโดยอุปกรณ์กำเนิดความร้อน คือบริเวณกระบอกที่ใส่ขี้ผึ้ง เท่านั้น ไม่ได้ให้ความร้อนบริเวณปลายหัวฉีดด้วย ทำให้ขี้ผึ้งซึ่งแข็งตัวได้เร็ว เมื่อไหลลงมาเจอกับหัวฉีดซึ่งเย็นกว่า จึงเกิดการแข็งตัวค้างอยู่บริเวณปลายหัวฉีด
3. การออกแบบกระบอกฉีดที่เป็นลักษณะทรงกระบอก มีหัวฉีดเชื่อมติดอยู่ด้านล่าง ทำให้การควบคุมลมทำได้ยาก เนื่องจาก พื้นที่ด้านล่างมีมาก แต่ทางออกของขี้ผึ้งมีเพียงเล็กน้อย ทำให้ขี้ผึ้งไม่ไหลลงมาตามที่ต้องการ
4. สเตนเลส นำความร้อนได้ไม่ดี ทำให้เกิดการแข็งตัวของขี้ผึ้งบริเวณภายในหัวฉีด
5. หัวฉีด กับ กระบอกฉีดเป็นคนละส่วนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ปัญหา

1. ออกแบบกระบอกฉีดที่ปิดสนิทบริเวณด้านบน และมีรูสำหรับเติมขี้ผึ้ง ปิดสนิทด้วยน็อตขนาดใหญ่ และมีท่อลมต่อเข้าบริเวณกลางกระบอกฉีดด้านบน

2. ให้ความร้อนด้วยอุปกรณ์กำเนิดความร้อน 2 ส่วนคือ บริเวณกระบอกฉีด และบริเวณหัวฉีด

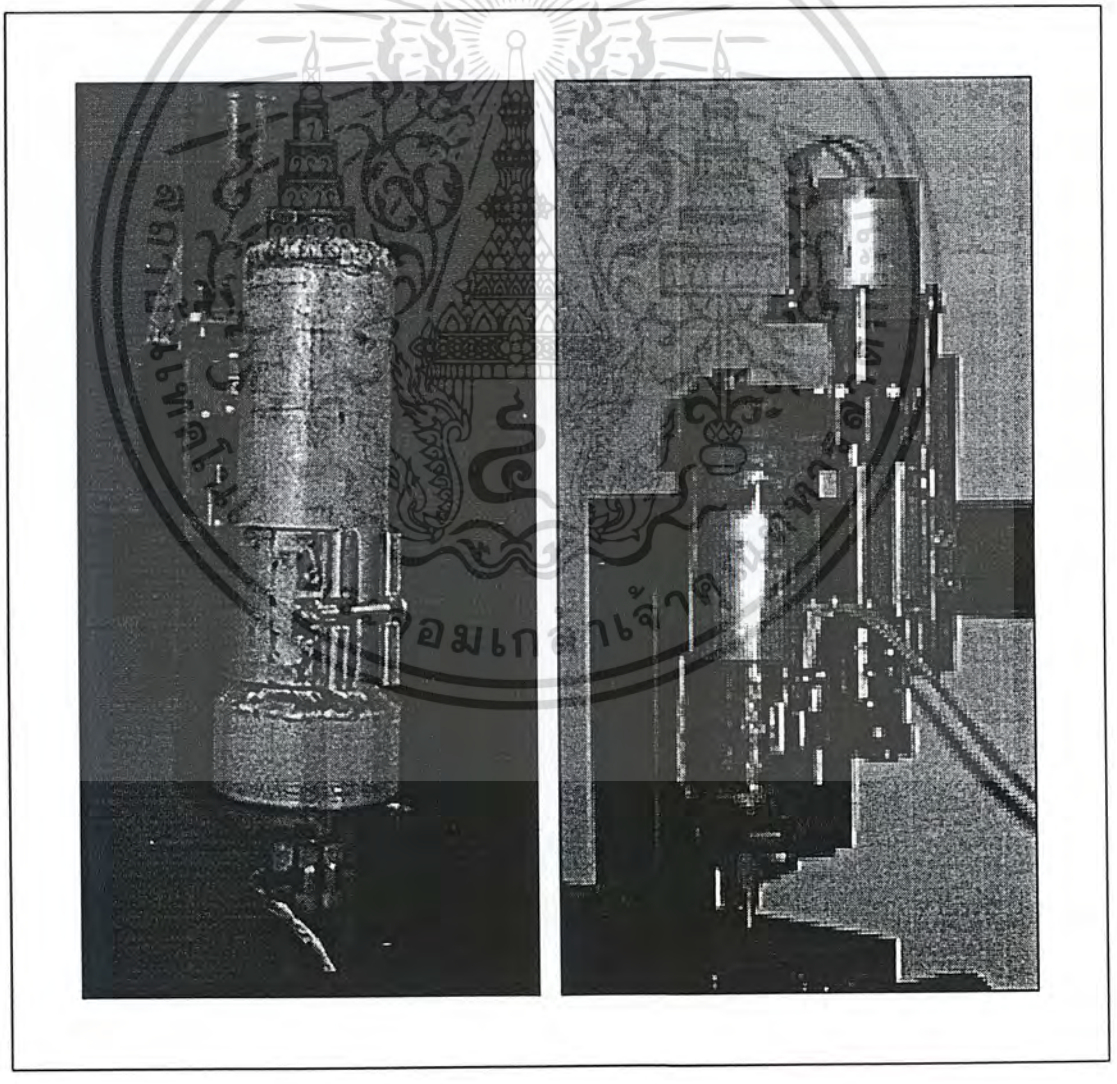
3. บริเวณตอนปลายของกระบอกฉีด ทำเป็นเรียวลงมาจนถึงรูทางออกของหัวฉีด เพื่อให้ขี้ผึ้งไหลออกมาได้สะดวก และมีพื้นที่ด้านล่างน้อย

4. เปลี่ยนวัสดุที่ใช้เป็น อลูมิเนียม ซึ่งมีลักษณะเบา และนำความร้อนได้ดีกว่า

5. หัวฉีด และกระบอกฉีด รวมเป็นอันเดียวกัน

4.3.2.2 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานขี้ผึ้ง แบบที่ 2

เป็นหัวฉีด ที่ได้รับการแก้ไข จากแบบแรก เพื่อแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับแบบแรก



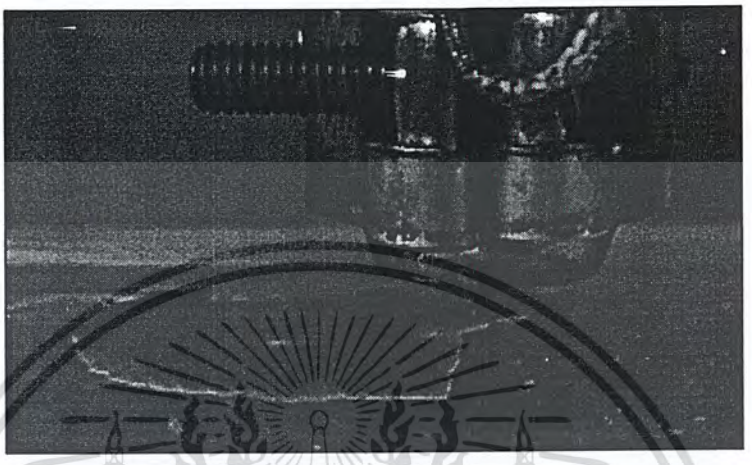
รูปที่ 4.35 หัวฉีดขึ้นรูปชิ้นงานขี้ผึ้ง แบบที่ 2 เปรียบเทียบกับแบบที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานด้วยหัวฉีดแบบที่ 2 นี้ ได้ออกแบบการทดลองการฉีด ดังนี้

แบบที่ 1 หัวฉีดอยู่เหนือจากโต๊ะทำงานเล็กน้อย บังคับการไหลของขี้ผึ้ง ด้วย ความดันลมจาก อุปกรณ์กำเนิดความดันลม

ปัญหาที่พบ ไม่สามารถควบคุมการไหลของขี้ผึ้งได้ ทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานสำเร็จได้



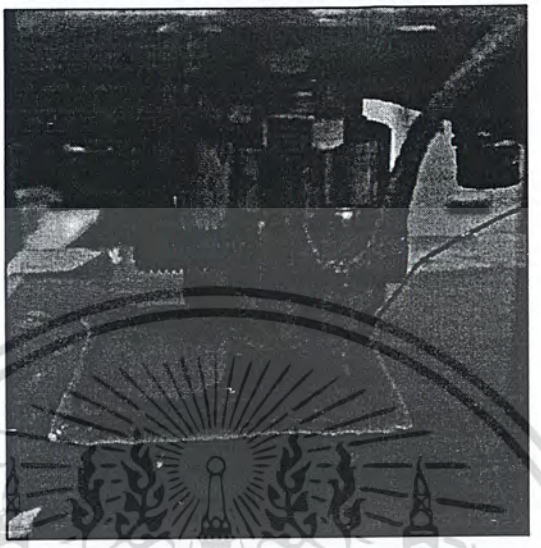
รูปที่ 4.33 การทดลองการเดินหัวฉีดแบบ หัวฉีดอยู่เหนือจากโต๊ะทำงานเล็กน้อย บังคับการไหลของขี้ผึ้งด้วย ความดันลมจาก อุปกรณ์กำเนิดความดันลม และผลการฉีดขึ้นรูป

แบบที่ 2 หัวฉีดอยู่ใกล้กับโต๊ะทำงาน และให้การไหลของขี้ผึ้งเกิดจากความตึงผิว ของบริเวณหัวฉีดและโต๊ะทำงาน ปัญหาที่พบ สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้ดีเพียงแค่ชั้นเดียว เนื่องจากเมื่อหัวฉีดเลื่อนขึ้นเพื่อทำการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานในชั้นต่อไป เมื่อเดินผ่านบริเวณที่ทำการฉีดขี้ผึ้งไปแล้ว หัวฉีดที่ร้อน เนื่องจากไม่ให้เกิดการตันที่บริเวณปลาย จะทำให้เกิดการหลอมของชิ้นงานในชั้นเก่า และขี้ผึ้งที่ลงไปใหม่ก็จะผสมกับชั้นเก่า ทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีความหนาได้

รูปที่ 4.34 การทดลองการเดินหัวฉีดแบบ หัวฉีดอยู่ใกล้กับโต๊ะทำงาน ให้การไหลของขี้ผึ้งเกิดจากความตึงผิว และผลการฉีดขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

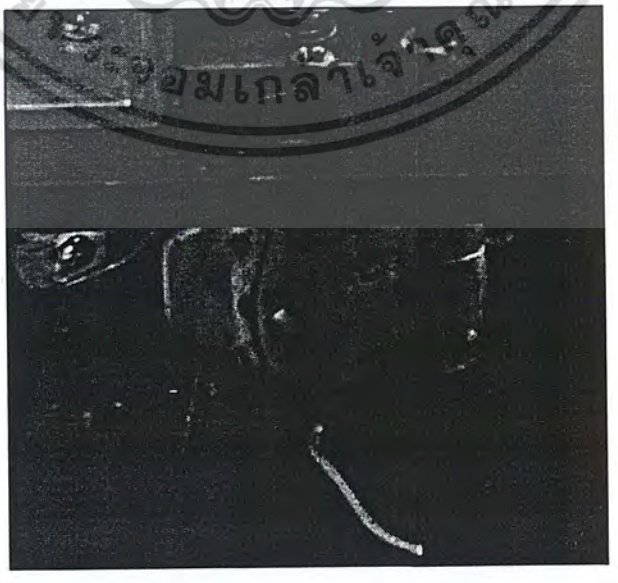
แบบที่ 3 บริเวณปลายหัวฉีดมีลวดเสียบอยู่ เพื่อเป็นทางนำให้ขี้ผึ้งไหลออกมา และหัวฉีดไม่ติดโต๊ะทำงาน ปัญหาที่พบ ขี้ผึ้งไม่ไหลออกมาตลอดเวลา ทำให้ต้องมีการขยับแกนนำซึ่งเป็นลวดที่เสียบอยู่ภายในช่วยอยู่บ้าง และยังไม่สามารถควบคุมการไหลให้สม่ำเสมอได้ดี ชิ้นงานสำเร็จมีลักษณะพื้นผิวที่ยังไม่สมบูรณ์



รูปที่ 4.35 การทดลองการเดินหัวฉีดแบบ บริเวณปลายหัวฉีดมีลวดเสียบอยู่ เพื่อเป็นทางนำให้ขี้ผึ้งไหลออกมา และผลการฉีดขึ้นรูป

4.3.3 ผลการขึ้นรูปชิ้นงานจากเทอร์โมพลาสติก

การทดลอง การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทอร์โมพลาสติก ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานสำเร็จได้ เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกที่ถูกรีดผ่านหัวรีดออกมาเป็นเส้นขนาด 0.1 มิลลิเมตร ไม่เกาะกับพื้น และไม่เกาะกันเองระหว่างเส้นเทอร์โมพลาสติก ทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปชิ้นงานเป็นชั้น ๆ ได้



รูปที่ 4.36 การทดลองการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทอร์โมพลาสติก และผลการฉีดขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินการ

5.1 สรุปผลการดำเนินการด้าน Hardware

การดำเนินการด้าน Hardware คือการศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบขึ้นมาใช้งาน ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่ พร้อมกันทั้ง 3 แกน ด้วยการควบคุมการเคลื่อนที่แบบ Linear Interpolation และประกอบด้วยหัวฉีดที่ใช้ในการฉีดขึ้นรูป ซึ่งได้ทำการสร้างขึ้นมา 3 แบบ คือ หัวฉีดขี้ผึ้งที่ทำจากสเตนเลส ถอดประกอบได้ ควบคุมการไหลของขี้ผึ้งด้วยความดันลมจากอุปกรณ์กำเนิดความดันลม หัวฉีดขี้ผึ้งทำจากอลูมิเนียม ควบคุมการไหลของขี้ผึ้งด้วยความดันลมจากปั๊มลม และหัวฉีดเทอร์โมพลาสติก โดยหัวฉีดทั้ง 3 แบบ สามารถถอดเปลี่ยนได้ตามความต้องการ และยึดติดกับชุดควบคุมการเคลื่อนที่แกน Z

ในการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบทั้ง 3 แบบนั้น สามารถสร้างได้ตามที่ออกแบบ และควบคุมการทำงานทั้งหมดผ่านโปรแกรม RP CAD/CAM ที่ทำการสร้างขึ้น

5.2 สรุปผลการดำเนินด้าน Software

การดำเนินการด้าน Software คือการศึกษาการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อ CAD/CAM ในกระบวนการของ Rapid Prototype โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้สามารถรับไฟล์ที่สร้างจากโปรแกรม CAD ได้ 3 โปรแกรม คือ Mechanical Desktop , AutoCAD และ 3D Studio MAX มาใช้สร้างชิ้นงานต้นแบบได้ โดยสามารถทำการปรับเปลี่ยนขนาด ตำแหน่ง ของภาพ กำหนดคุณสมบัติของชิ้นงานที่จะทำการขึ้นรูป เช่น ความหนาของชิ้นงานในแต่ละชั้น ความละเอียดในการเดินของหัวฉีด และสามารถนำโปรแกรมนี้ไปใช้ในการทำงานของเครื่อง Rapid Prototype ประเภทอื่น ๆ เช่น LOM ซึ่งเป็นการสร้างชิ้นงานจากการเดินของหัวตัดชิ้นงานตามขอบทีละชั้น ๆ ซ้อนกันจนขึ้นเป็นชิ้นงานสำเร็จต่อไป

5.3 สรุปผลการดำเนินการขึ้นรูปชิ้นงาน

ในส่วนของการขึ้นรูปชิ้นงาน เครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้น ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่ที่มีลักษณะพื้นผิวที่สมบูรณ์ได้ เนื่องจากข้อจำกัดหลายประการ คือ

5.3.1 ขึ้นรูปชิ้นงานขี้ผึ้ง

1. ขี้ผึ้งที่ออกมาไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการควบคุมการไหลด้วยความดันลมทำได้ยาก
2. เกิดขอบของชิ้นงาน เนื่องจากความร้อนของหัวฉีดซึ่งไม่สามารถทำการควบคุมได้ ทำให้ขี้ผึ้งในชั้นที่ทำการฉีดไปแล้วหลอมละลาย

5.3.2 ขึ้นรูปชิ้นงานเทอร์โมพลาสติก

1. การขึ้นรูป ไม่สามารถทำได้เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกไม่ติดกัน ไม่ติดพื้น และไม่วางตัวในแนวระนาบ เพราะแข็งตัวเร็วเกินไป และไม่มีความหนืดเพียงพอที่จะติดกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บริเวณปลายหัวฉีดจะมีการหลอมที่เร็วเกินไป ทำให้เทอร์โมพลาสติกที่ปลายของหัวฉีดเกิดการหลอม มีผลทำให้ทอร์คที่ส่งมาจากมอเตอร์กระแสตรงไม่สามารถที่จะดันเทอร์โมพลาสติกออกมาได้
3. เกิดการอุดตันของเทอร์โมพลาสติกที่บริเวณปลายหัวฉีด ภายหลังการทำงานทุกครั้ง

5.4 แนวทางการพัฒนาสำหรับเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ

จากปัญหาที่เกิดขึ้น ในการศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบในครั้งนี้ ทางกลุ่มได้เสนอ การพัฒนาเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ ในส่วนของหัวฉีด ซึ่งเป็นส่วนเดียวที่เกิดปัญหา ได้ออกแบบมาเพื่อแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น โดยในการควบคุมการไหลของขี้ผึ้งควบคุมโดย Ball Screw ซึ่งขับโดย มอเตอร์ สามารถควบคุมปริมาณขี้ผึ้งที่จะออกมาในแต่ละช่วงเวลาได้ดีมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีลักษณะสมบูรณ์เหมือนที่ออกแบบไว้

สำหรับในส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ RP CAD/CAM ได้ทำการปรับปรุงให้สามารถใช้งานได้กับเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบประเภทอื่น ๆ เช่น LOM ซึ่งเป็นการสร้างชิ้นงานจากการเดินตัดขอบชิ้นงาน เช่น กระดาษ ทีละชั้น ซ้อนกันจนเป็นชิ้นงานสำเร็จ และสามารถนำไปประยุกต์เป็นเครื่องจักรประเภทอื่น ๆ เป็นเครื่องมินิซีเอ็นซี เช่น ใส่หัวกัดขนาดเล็ก ให้กัดขึ้นรูปชิ้นงานซึ่งได้รับการออกแบบมาแล้วจาก CAD ได้ โดยไม่ต้องใส่ G-Code เหมือนเครื่องซีเอ็นซีทั่วไป

รูปที่ 5.1 แบบหัวฉีดขี้ผึ้ง สำหรับการพัฒนาต่อไป (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การเปรียบเทียบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่สร้างขึ้น กับที่มีจำหน่าย

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่สร้างขึ้น กับที่มีจำหน่าย

PROCESS NAME	FDM ที่มีจำหน่าย	FDM ที่ทำการสร้างขึ้น	Differentiate
MATERIAL			
Material applied so far(possible in future)	Thermo Plastic:-Investment wax , Machinable	Thermo Plastic, Industrial wax	
Raw shape	1.25 mm.wire	2.7 mm.wire, solid-liquid	
MACHINE			
Max work-piece size(mm.)	305*305*305	50*50*50	227/1
State of development	Early Sale	Development, No sale plan	
Approx. Price (US $)	156,000(214,000 incl.W.S)	250	624/1
LIGHT/HEAT SOURCE			
Type	Welding nozzle	Heater	
PROCESS			
Need to build supports	sometimes	melting wax supports	
ACCURANCY			
Layer thickness(mm)	0.025-1.25	0.2	0.25/0.2
Grain, Voxel or Focus size(mm)	0.25-5width of laminate	N/A	
Overall Accurency(mm)	0.08%(+/-0.125mm on 305mm cube)	N/A	
SPEED/TIME			
Scan Speed(pt/pt) Layer solid time (layer/layer)	381mm/s	N/A	
Total time/layer(roughtly)	variable with size	E.G0 1. Min	

จากการเปรียบเทียบ เครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น กับเครื่องที่มีจำหน่ายอยู่แล้ว จะพบว่า เครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการสร้างชิ้นงานน้อยกว่ามาก เนื่องจากข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ เช่น เทคโนโลยี และเงินทุนในการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. A.Dolenc, " An Overview of Rapid Prototyping Technologies in Manufacturing " , 1994 , http://www.cs.hut.fi/~ado/rp/rp.html
2. Chris Mcmahon , Jimmie Brown , " CAD/CAM from principle to practice " , Addison Wesley – publishers , 1994
3. " Introduction to RP Technologies " , http:\\home.att.net/~castleisland/techn.html
4. J.P. Holman , " Heat Transfer " , edition 8 , P. 26-75 , 218-281
5. Prof. J.P. Kruth , " Material Increase Manufacturing by Rapid Prototyping Techniques " , Katholieke Universiteit Leuven / Belgium , Annals of the CIRP Vol. 40/2/1991 , P.603-614
6. Rod Stephens , " Visual Basic Graphic Programming " , edition 8 , 1997 , P. 395-441
7. Yoram Koren , " Computer Control of Manufacturing Systems " , Technion-Isarael Institute of Technology , Interpolators for Manufacturing Systems , P.115-140
8. ฉัตรชัย จันทร์เด่นดวง ดร. , " เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว Rapid Prototyping Technology " , ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ , เทคโนโลยีวัสดุ ฉบับที่ 21 ตุลาคม-ธันวาคม 2543, P.11-18
9. พลชัย โชติปรายนกุล , " เครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว " ,วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
10. ไพศาล นาคพิพัฒน์ ผศ. ดร. , " เอกสารประกอบการเรียนวิชา Polymer " , 2543 , ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
11. วิชัย คัมภีรวุฒิ , วรุตม์ ศิรประชา , รุ่งโรจน์ สิทธิวิเชียรวงศ์ , " เครื่องสแกนพื้นผิว " , ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
12. สัจจาทิพย์ ทัศนีย์พันธ์ ผศ. , " เทคโนโลยีการผลิตต้นแบบรวดเร็ว " , วารสาร RDIPT , สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
13. อำนาจ ทองแสน , " เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต CAD/CAM Technology " , สสท. , พิมพ์ครั้งที่ 1 2542 , P. 239-248

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ตารางเปรียบเทียบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบประเภทต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
ตารางเปรียบเทียบ เครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบประเภทต่าง ๆ

process name	Beam Interfer Solid	Ballistic Particle Manufacturing	Selective Laser Sintering
MATERIAL			
Material applied so far(possible in future)	Photo Polymers	Thermo Plastic	Powders: Therplastics(ABS,PVC,PC,Nylon) Wax Metals(wider varity) Polymer coated ceramics
Raw shape	Liquit	Liquit(Solvent)	Powders
MACHINE			
Max work-piece size(mm.)	300*300*300	350*350*350	D350*380
State of development	no break thru yet	Development Sale:1993	Sale plan : 1992
Approx. Price (US $)	N/A	50,000	350,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIGHT/HEAT SOURCE			
Type	2 Lasers	Ink jet nozzle	Pulsed CO laser
Wave length	2UV wave length	N/A	10.6 um
Power	N/A	32 nozzle 10 KHZ drop	50 W
PROCESS			
Need to build supports	no supports	5 axis : no support	Full auto powder support
Post curing process			no (except for coated ceramics)
ACCURANCY			
Layer thickness(mm)	N/A	0.09	0.13(0.08 tentative)
Grain, Voxel or Focus size(mm)	?	0.05-0.1droplets	0.1grain 0.5 Focus
Overall Accurency(mm)	?	0.1mm	1% or 0.1mm(23) +/- 0.03mm(53)
SPEED/TIME			
Scan Speed(pt/pt) Layer solid time (layer/layer)	?	up to 32 nozzles*10KHZ	1016mm/s
Time in between layers	N/A		compare depos.time 3D Print
Total time/layer(roughtly)	N/A		15 sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

process name	Three Dimensional Printing	Fuse Deposition Modeling	Shape Melting Technology	Laminated Object Manufacturing
MATERIAL				
Material applied so far(possible in future)	Powders: ceramics(Al-silica) +Binder Silica(30%Sio)	Thermo Plastic:- Investment wax - Machinable wax(metal powder)	Metals: -Iconel -WC(Metals)	Paper, Celluolose, Plastics, Metal, Fabrics,Synth Mat, Any sheet(PE)
Raw shape	Powders	1.25 mm.wire	wire	sheet, foil
MACHINE				
Max work-piece size(mm.)	350*350*350	305*305*305		M1:325*250*375 M2:750*500*500
State of development	Sale plan : 1993	Early Sale	Development, No sale plan	Service + Close to sale
Approx. Price (US $)	N/A	156,000(214,000 incl.W.S)	N/A	M1:75,000 M2:100,000
LIGHT/HEAT SOURCE				
Type	n.a.(inkjet nozzle)	Welding nozzle	Welding nozzle	CO laser(Alt YAG)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wave length	N/A	N/A	N/A	IR(Opt.UV for glue active)
Power	(1..100 nozzles 10..1000 kHZ			M1 : CO=25W M2 : CO = 50 W
PROCESS				
Need to build supports	Full auto powder support	sometimes	no supports	no
Post curing process	curing at +/-150 c Firing at +/-1200 c	none	Post-maching for accuracy	none
ACCURANCY				
Layer thickness(mm)	0.18,0.05	0.025-1.25	?	0.01-0.15
Grain, Voxel or Focus size(mm)	0.1grain 0.02binders	0.25-5width of laminate	?	0.25 Focus
Overall Accurency(mm)	0.06-0.13%	0.08%(+/-0.125mm on 305mm cube)	1mm	xyz: 0.1mm per 100 mm(0.1%)
SPEED/TIME				
Scan Speed(pt/pt) Layer solid time (layer/layer)	100-20,000mm/s	381mm/s	?	381 mm/s
Time in between layers	0.2-2 sec.	0	0	?
Total time/layer(roughtly)	5 sec drop	variable with size	E.G0 1. Min	?
Build rate (typical)	20 mm/h (drop/d) 270 mm/h(contin.)	?	?	10 mm/h thick (100 layers/h)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
แบบรายละเอียดเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DRAWING PART LIST

MAIN STRUCTURE

NO.	CODE	PART	SCALE
1	M-1000	MAIN STRUCTURE	N/A
2	M-1100	XY TABLE & BASE	N/A
3	M-1101	MAIN BASE	N/A
4	M-1102	XY TABLE	N/A
5	M-1200	ARM	N/A
6	M-1300	Z-AXIS	N/A
7	M-1301	Z-AXIS MOTOR	N/A
8	M-1302	BASE 1	N/A
9	M-1303	COUPLING	N/A
10	M-1304	BASE 2	N/A
11	M-1305	BASE 3	N/A
12	M-1306	BALL SCREW	N/A
13	M-1307	BALL SCREW BUSH	N/A
14	M-1308	BASE 4	N/A
15	M-1309	BASE 5	N/A
16	M-1310	LINEAR GUIDE WAY	N/A
17	M-1311	LINEAR GUIDE WAY	N/A
18	M-1312	BASE 6	N/A
19	M-1313	BASE 7	N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

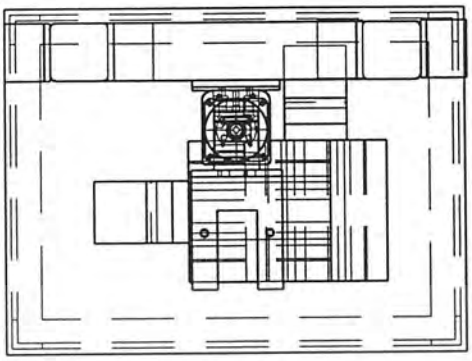
FDM (WAX)

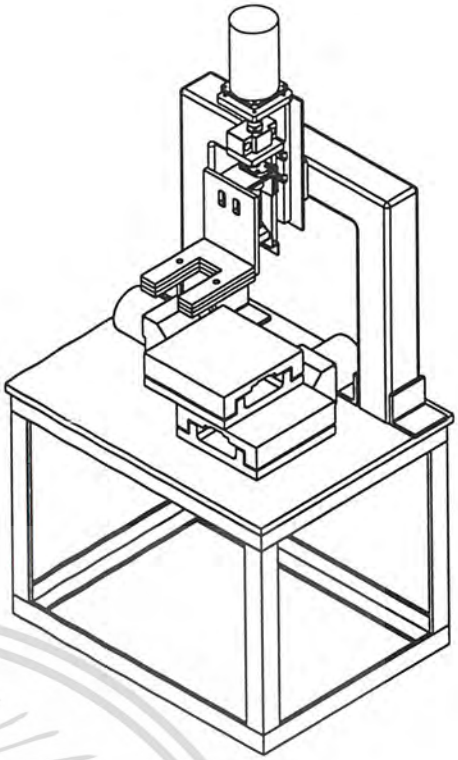
NO.	CODE	PART	SCALE
20	A-2000	FDM (WAX)	N/A
21	A-2001	FDM (WAX)	N/A
22	A-2002	WAX CONTAINER & FEEDER	N/A
23	A-2003	WAX CONTAINER & FEEDER	N/A
24	A-2004	HEATER 1	N/A
25	A-2005	HEATER 2	N/A

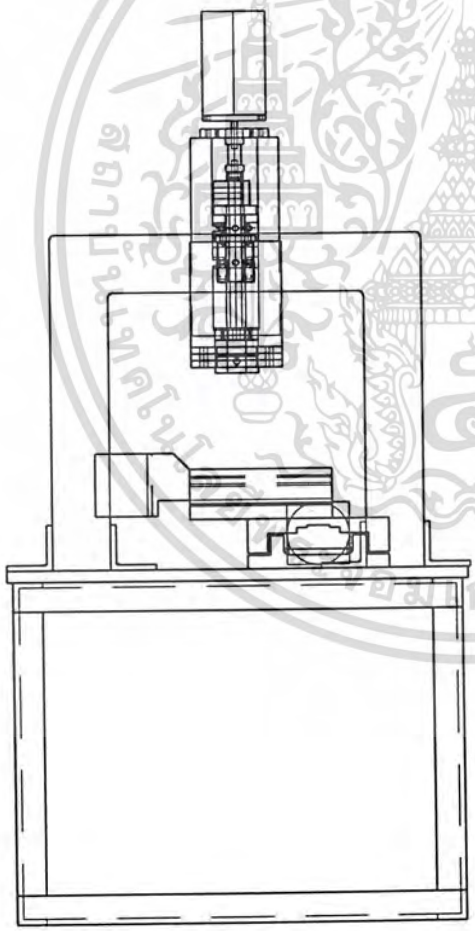
FDM (THERMOPLASTIC)

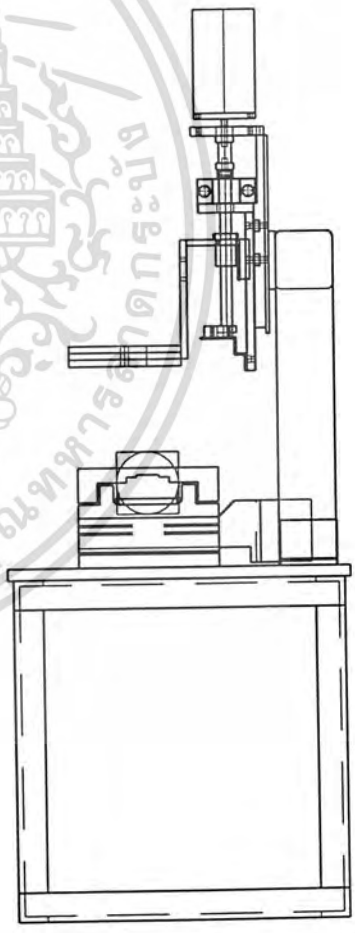
NO.	CODE	PART	SCALE
26	B-3000	FDM (THERMOPLASTIC)	N/A
27	B-3001	FDM (THERMOPLASTIC)	N/A
28	B-3002	THERMOPLASTIC FEEDER	N/A
29	B-3003	BASE 8	N/A
30	B-3004	MOTOR	N/A
31	B-3005	FEEDER	N/A
32	B-3006	FEEDER	N/A
33	B-3007	BASE 9	N/A
34	B-3008	BASE 10	N/A
35	B-3009	BASE 11	N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



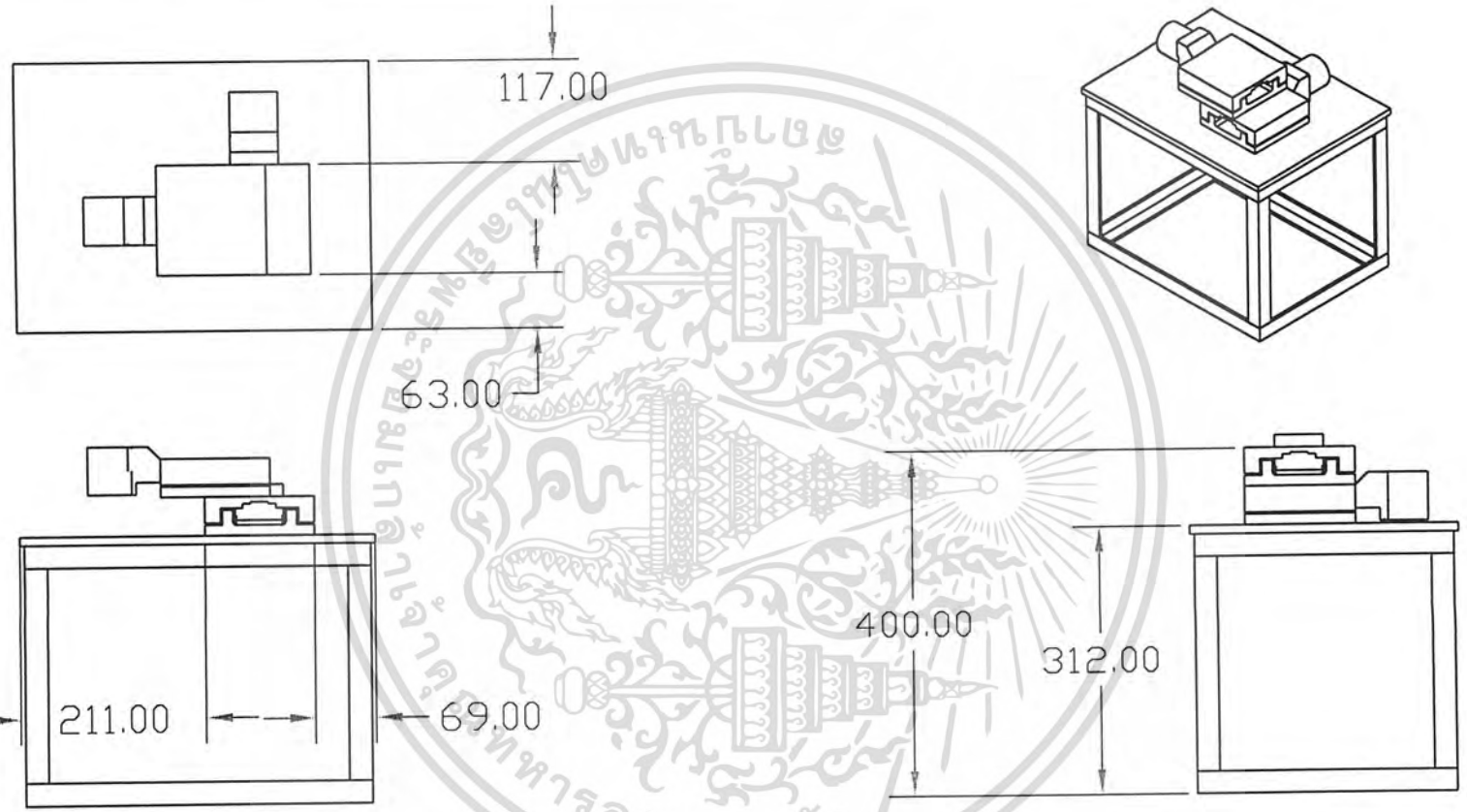




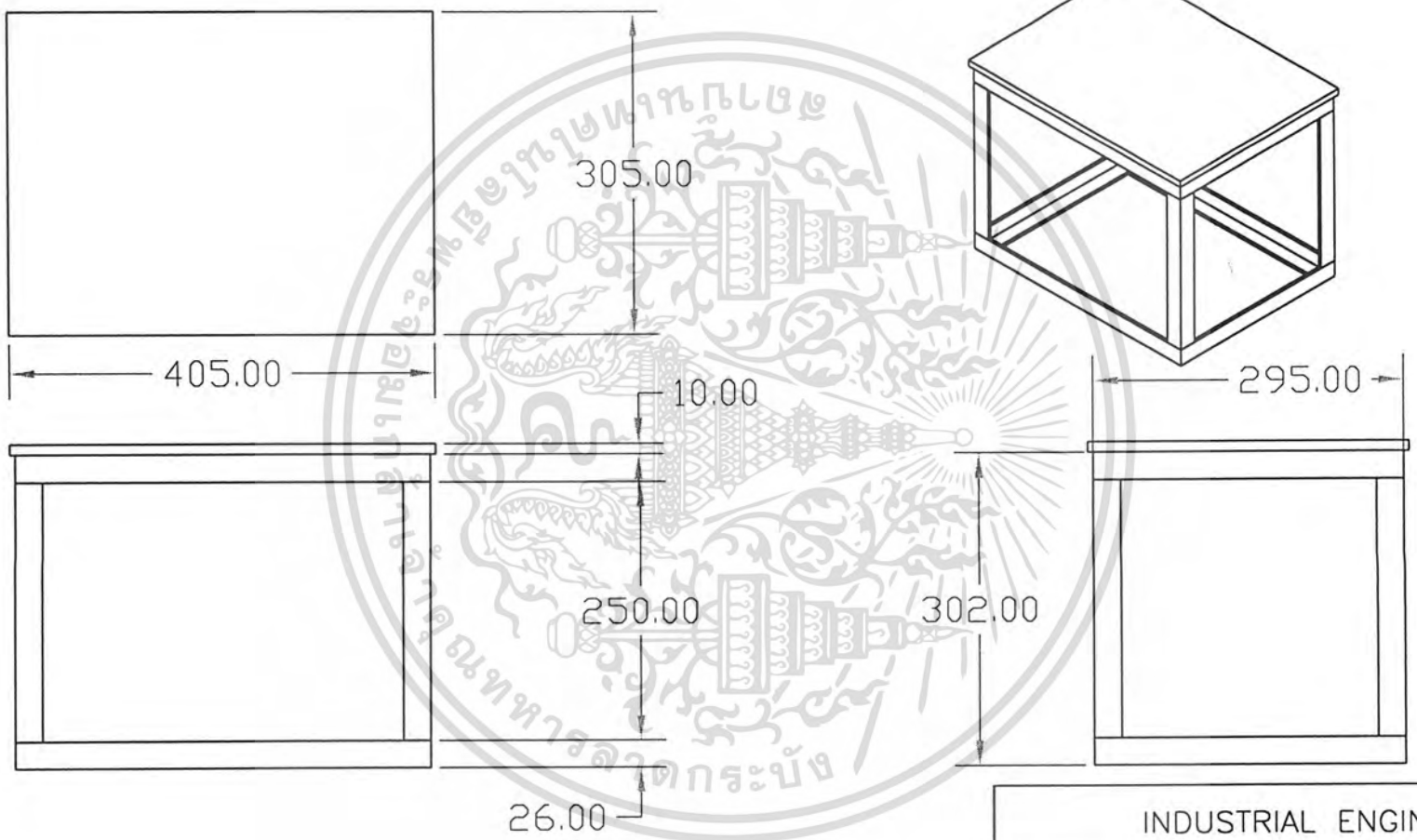


INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	MAIN STRUCTURE
CODE: M-1000	SCALE N/A

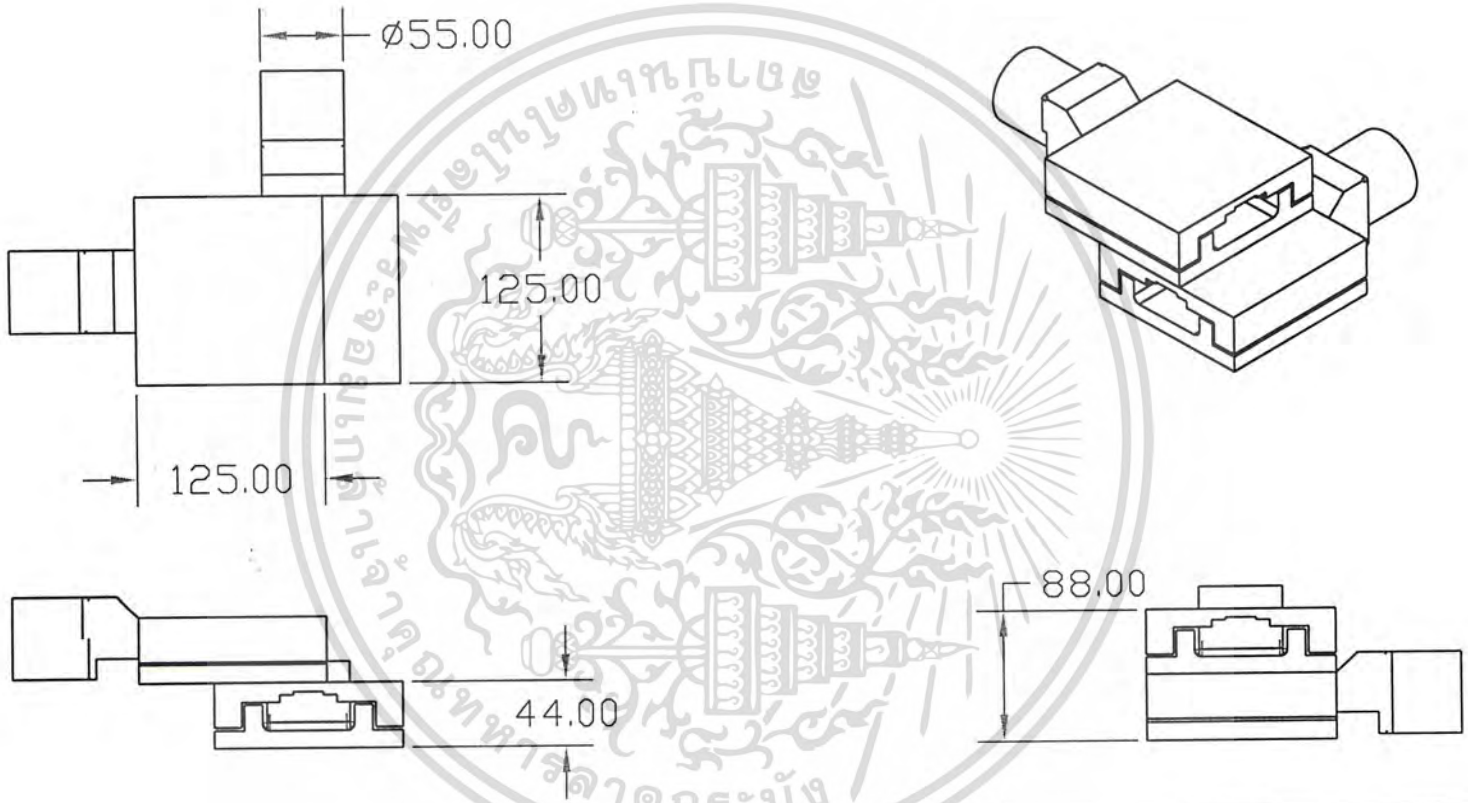
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



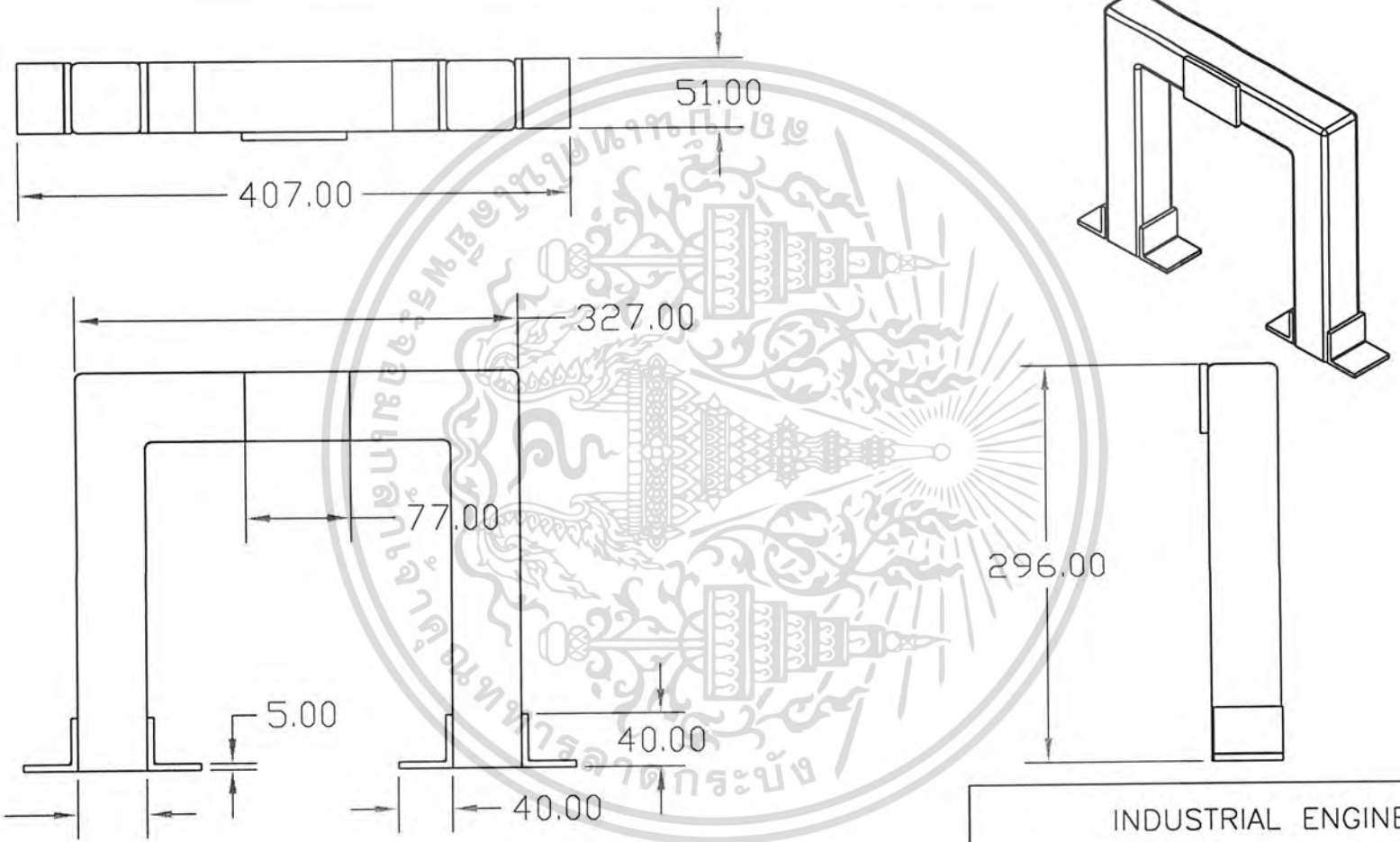
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	XY TABLE & BASE
CODE: M-1100	SCALE N/A



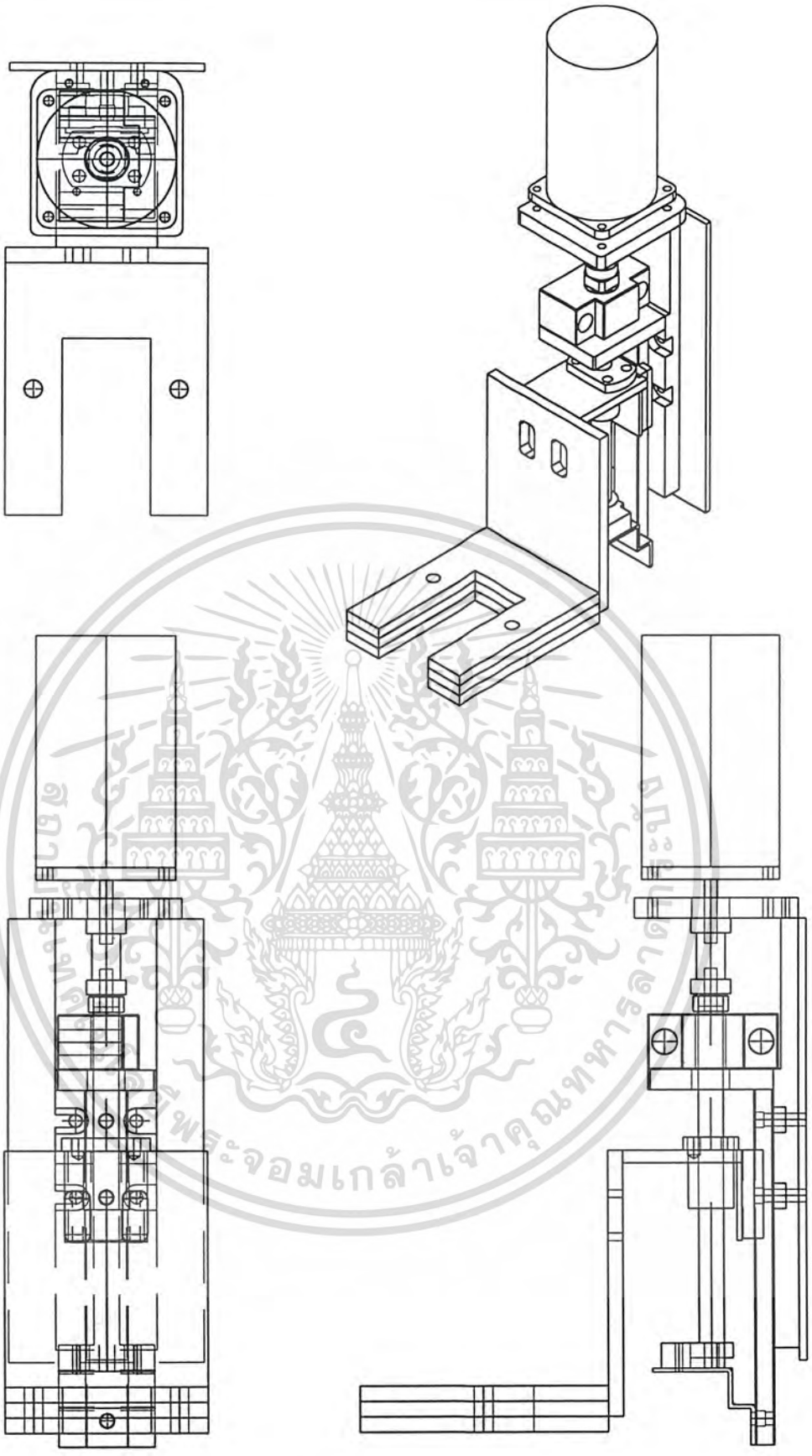
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	MAIN BASE
CODE: M-1101	SCALE N/A



INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	XY TABLE
CODE: M-1102	SCALE N/A

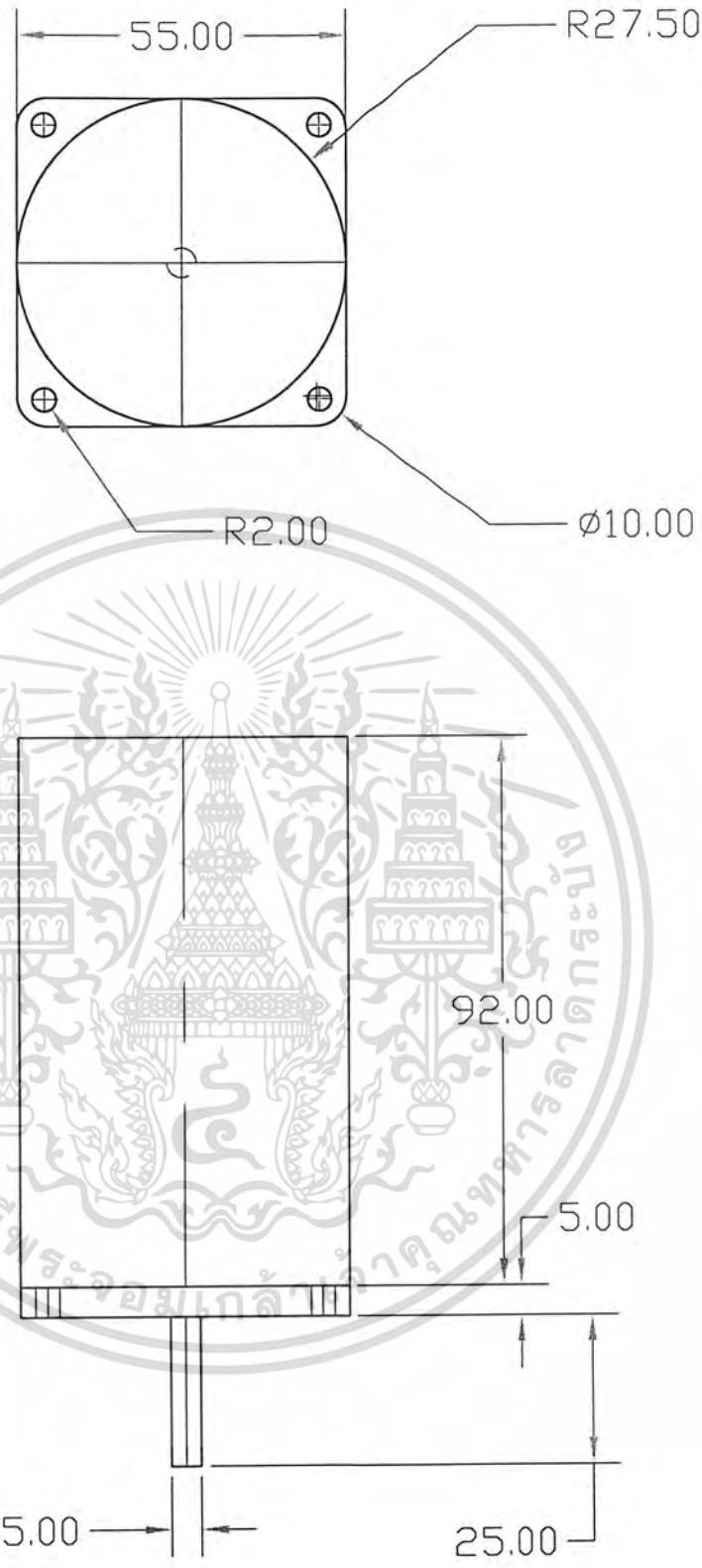


INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	ARM
CODE: M-1200	SCALE N/A



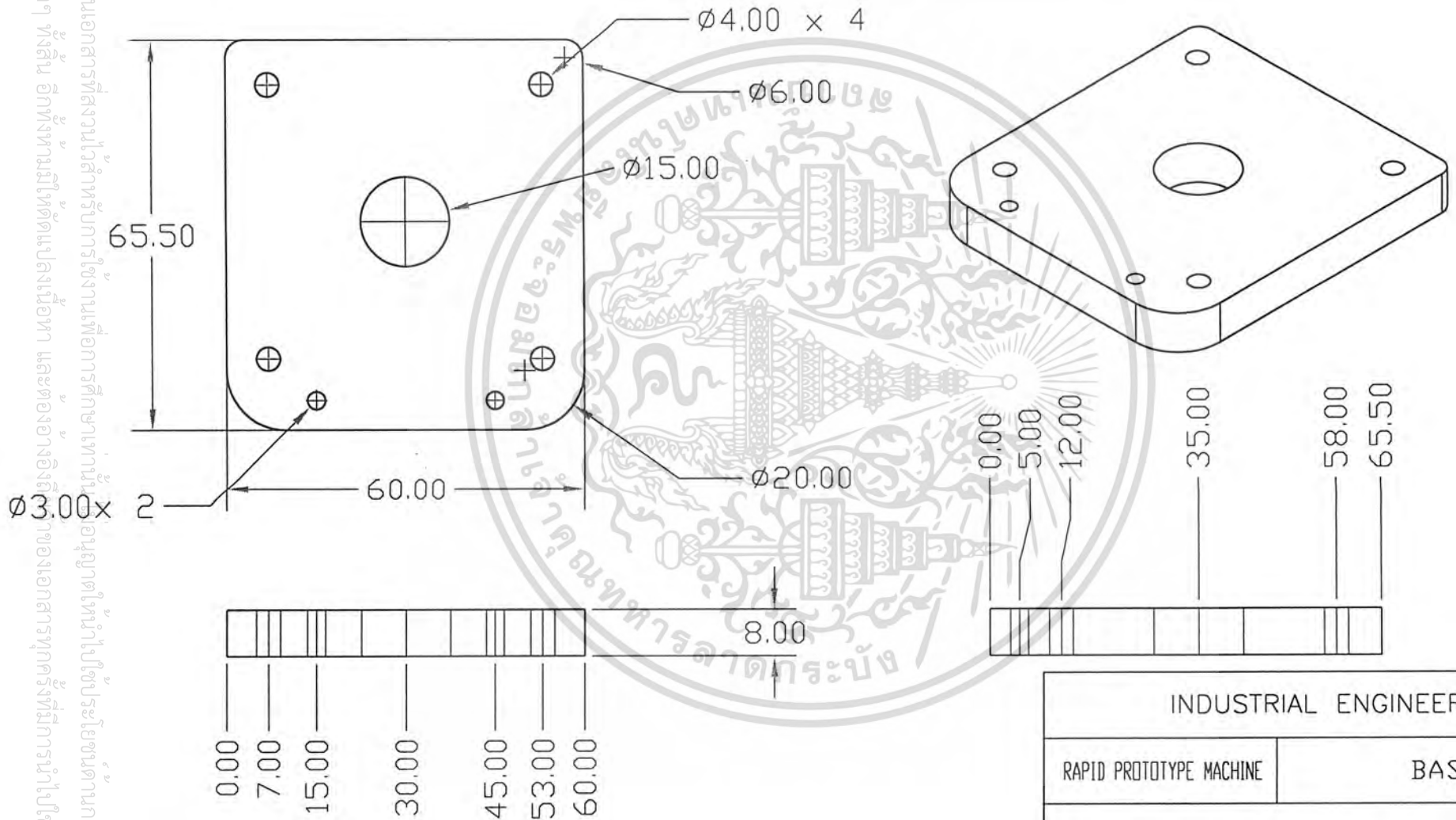
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	Z-AXIS
CODE: M-1300	SCALE N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

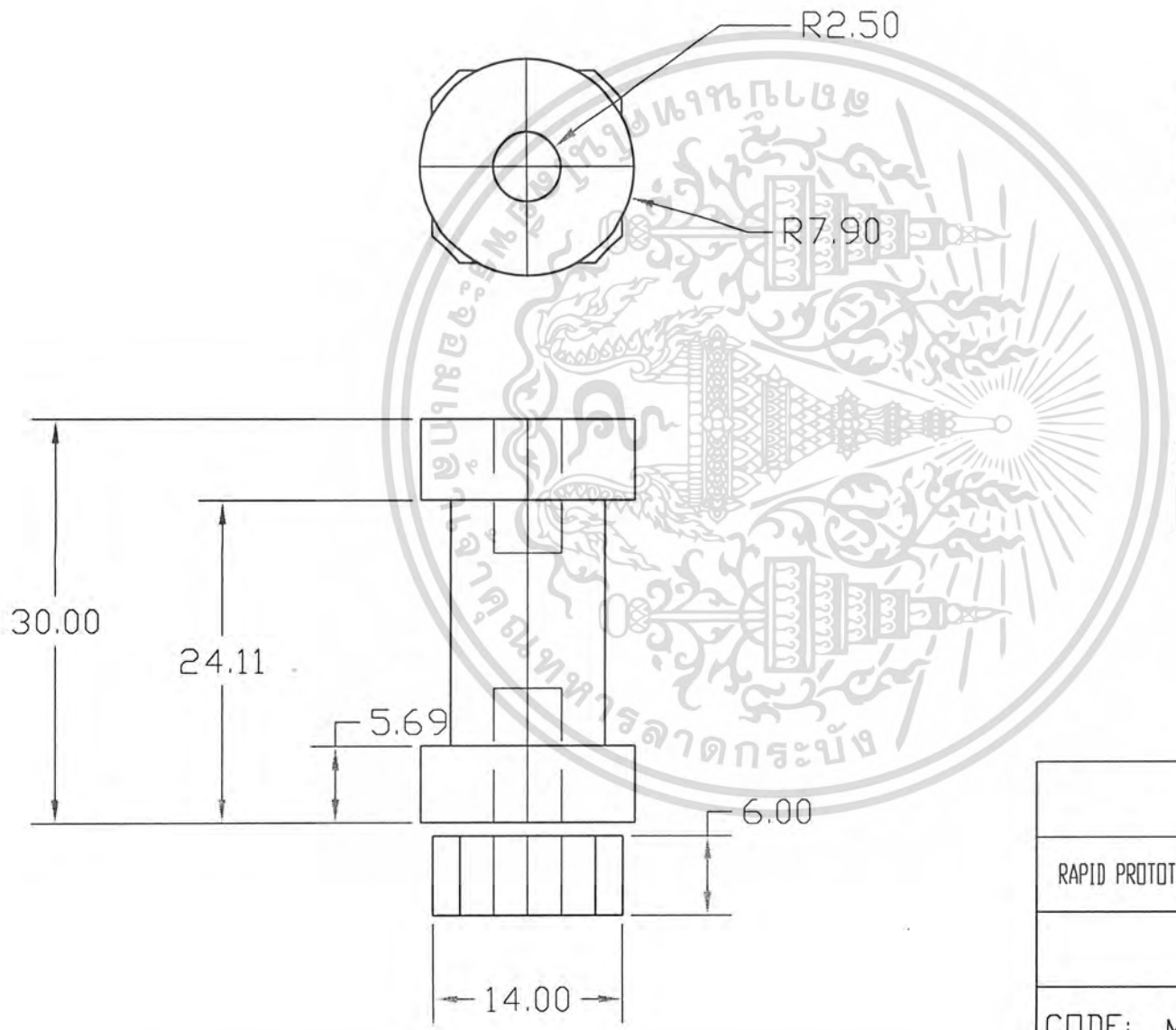


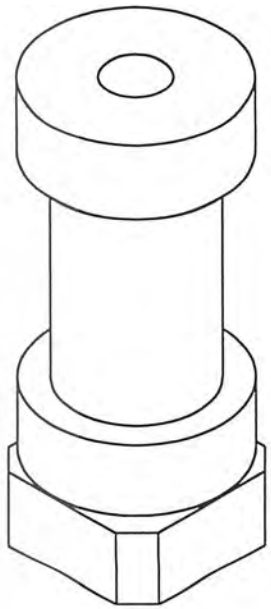
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	Z-AXIS MOTOR
CODE: M-1301	SCALE N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

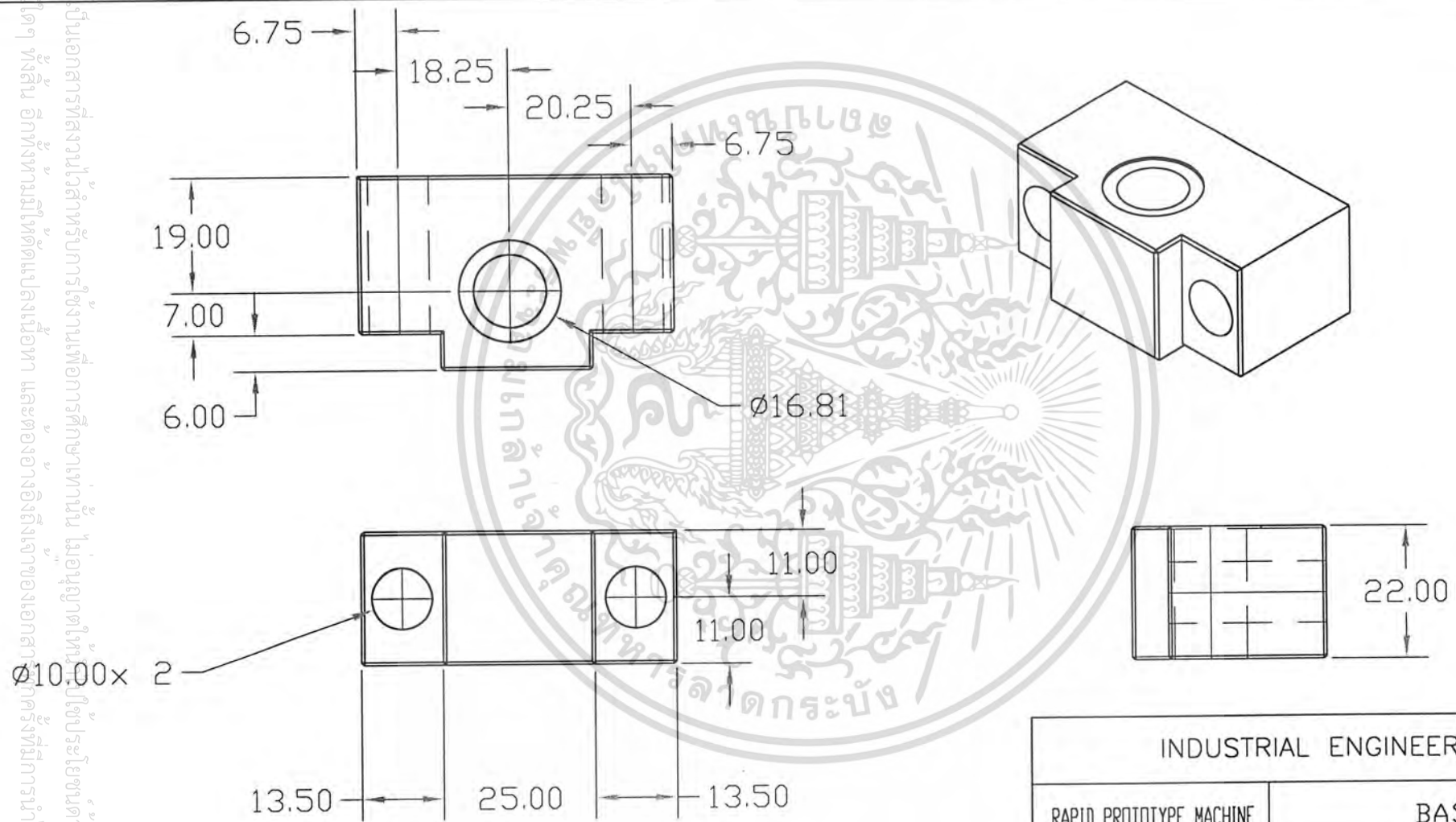


INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	BASE 1
CODE: M-1302	SCALE N/A

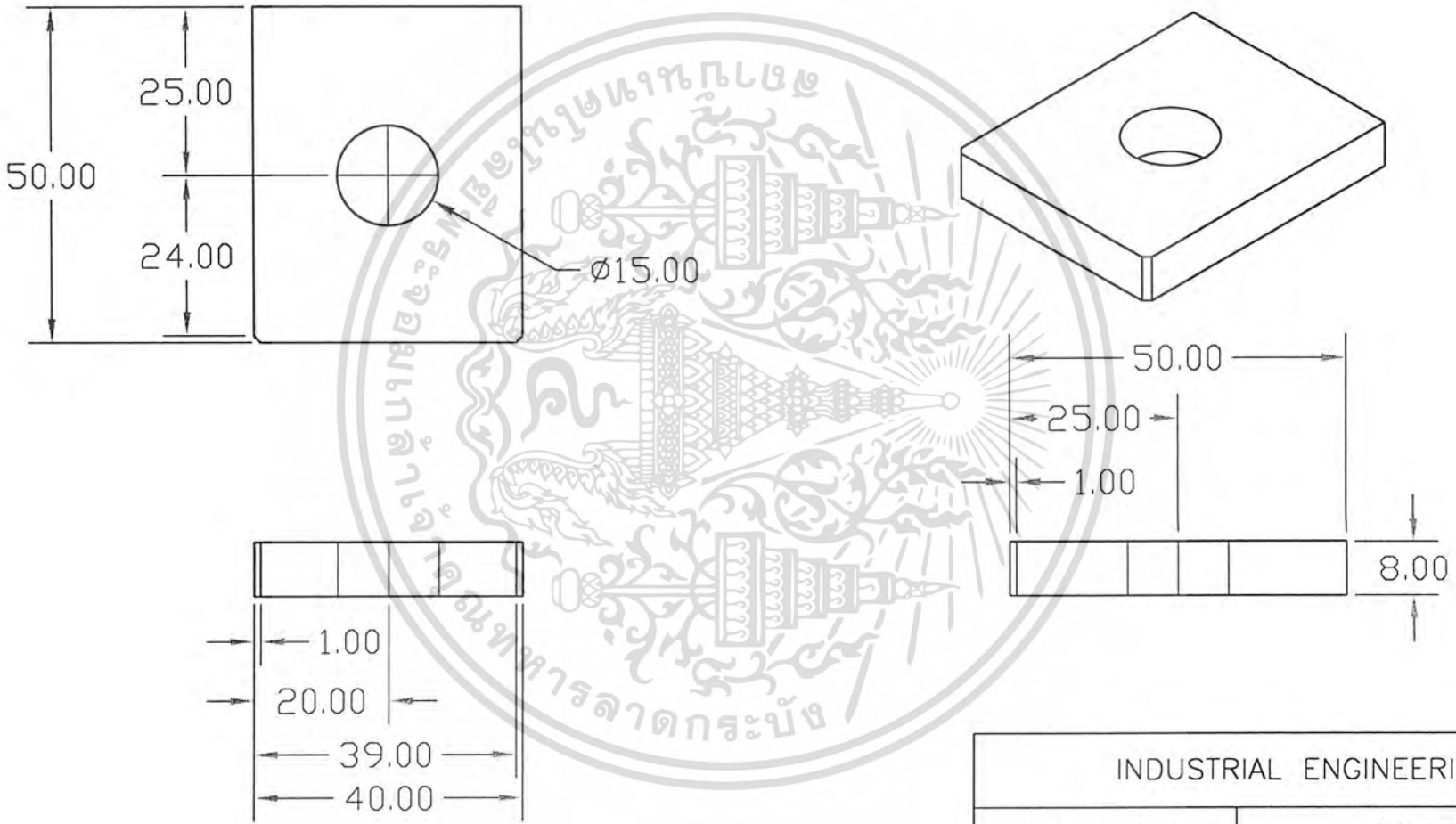




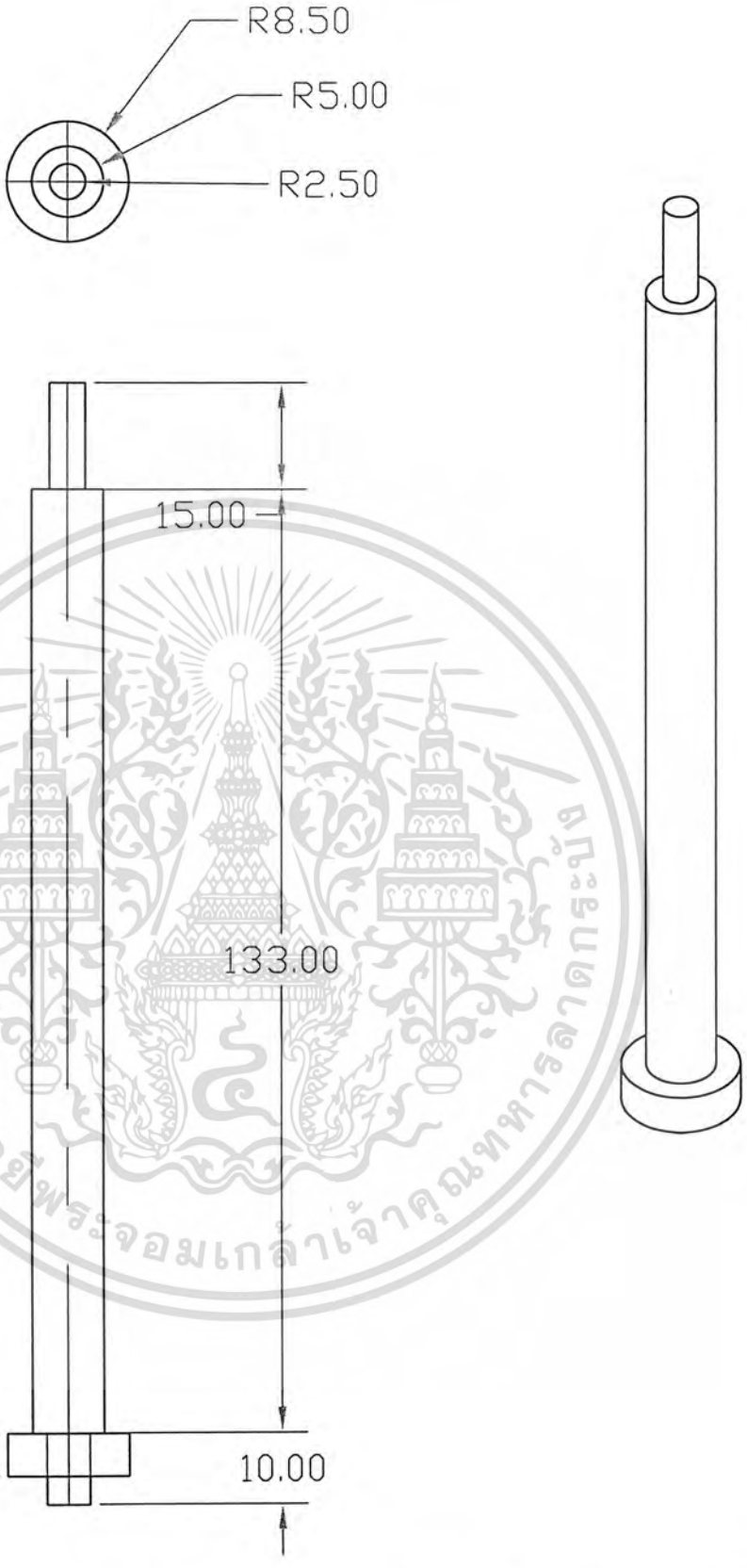
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	COUPLING
CODE: M-1303	SCALE N/A



INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	BASE 2
CODE: M-1304	SCALE N/A

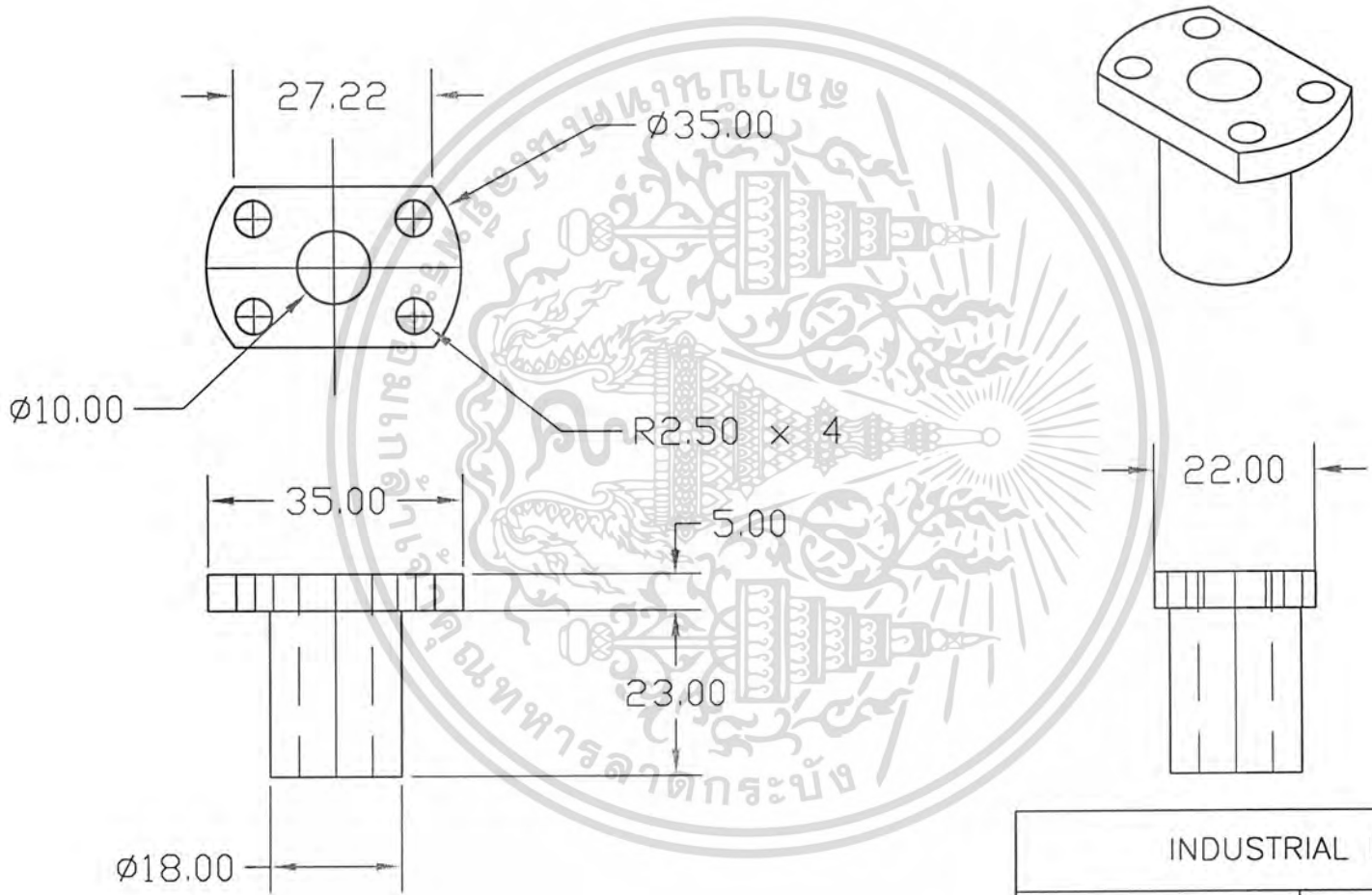


INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	BASE 3
CODE: M-1305	SCALE N/A

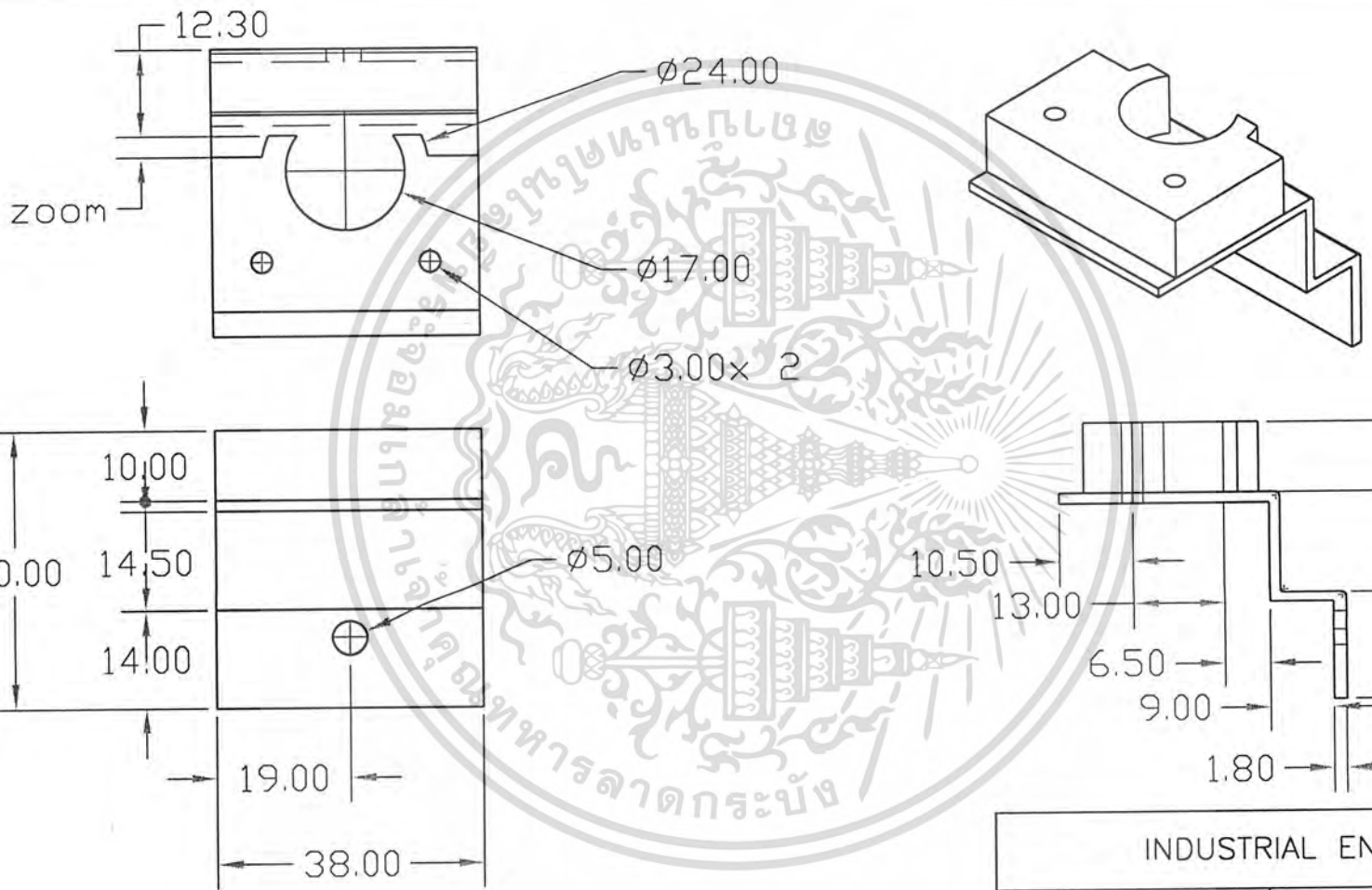


INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	BALL SCREW
CODE: M-1306	SCALE N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

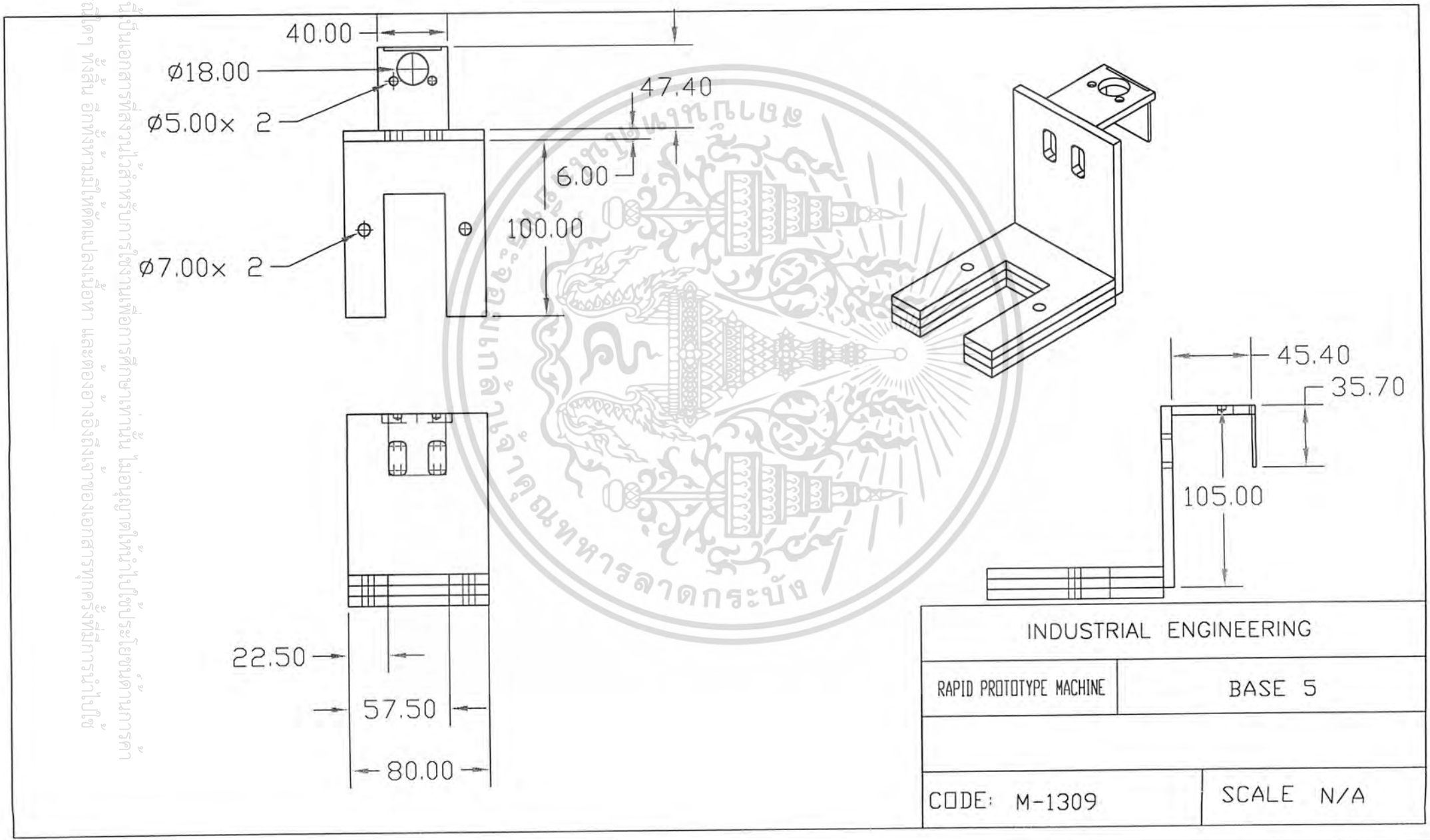


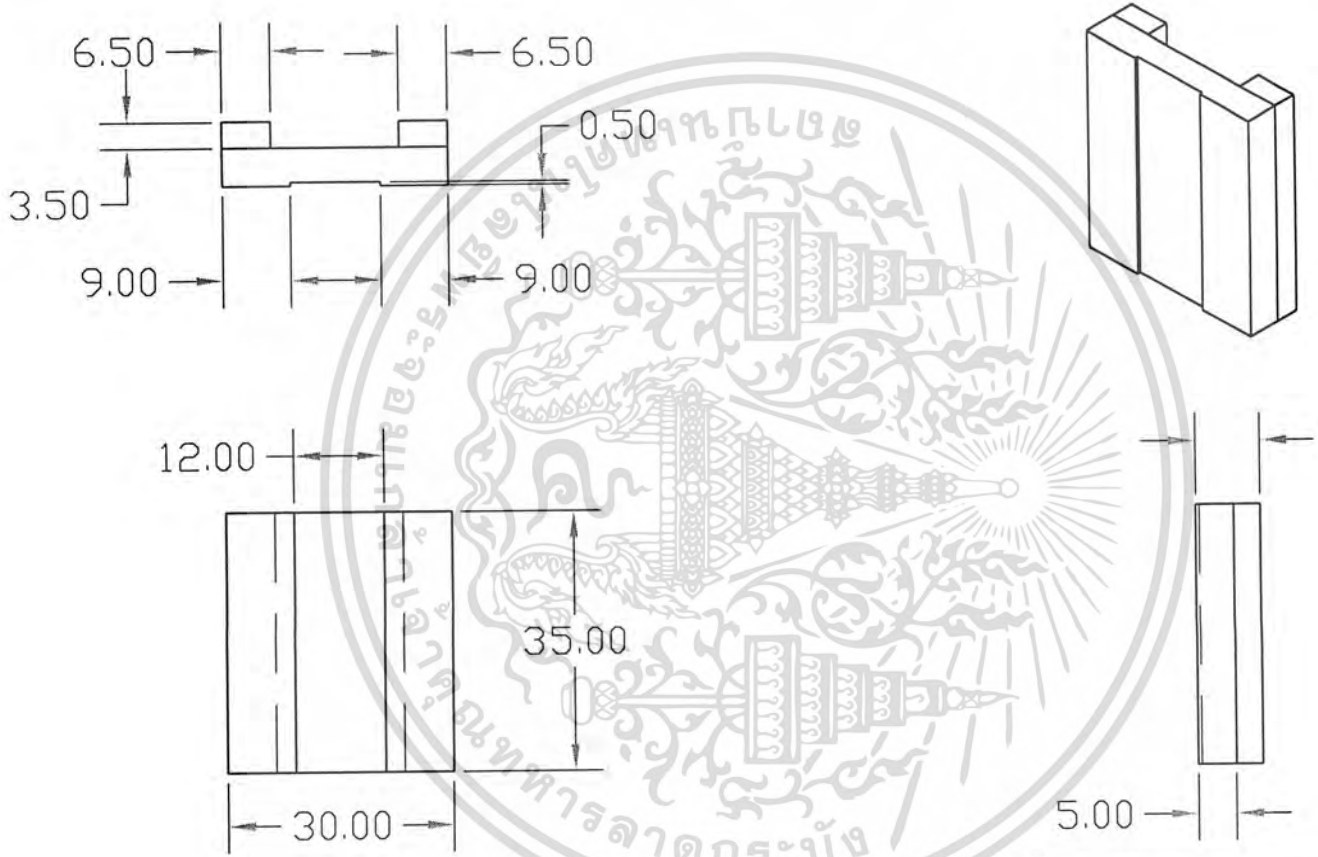
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	BALL SCREW BUSH
CODE: M-1307	SCALE N/A



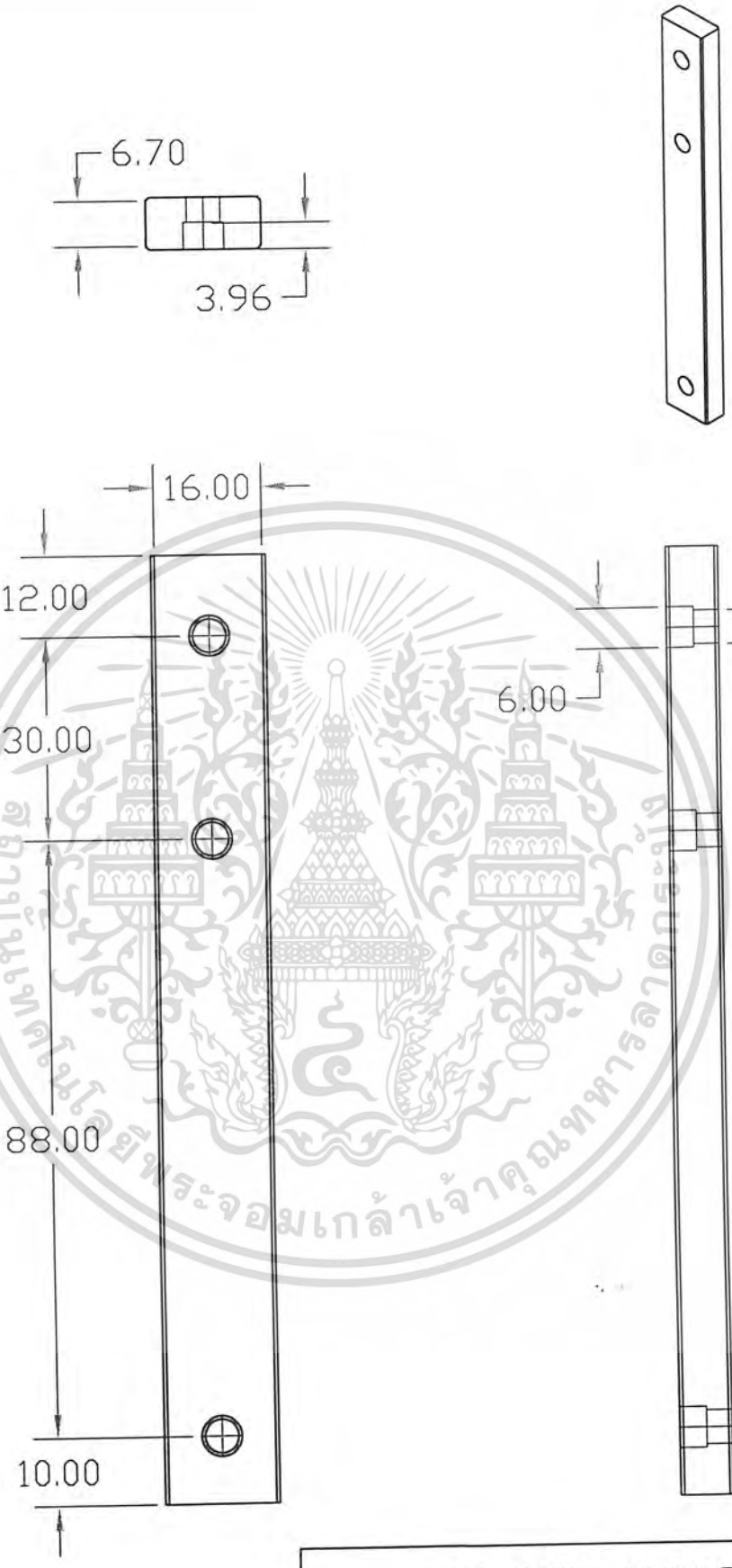
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	BASE 4
CODE: M-1308	SCALE N/A

ลิขสิทธิ์เอกสารนี้เป็นของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น


40.00
ø18.00
ø5.00× 2
47.40
6.00
100.00
ø7.00× 2
22.50
57.50
80.00
45.40
35.70
105.00
INDUSTRIAL ENGINEERING
RAPID PROTOTYPE MACHINE
BASE 5
CODE: M-1309
SCALE N/A

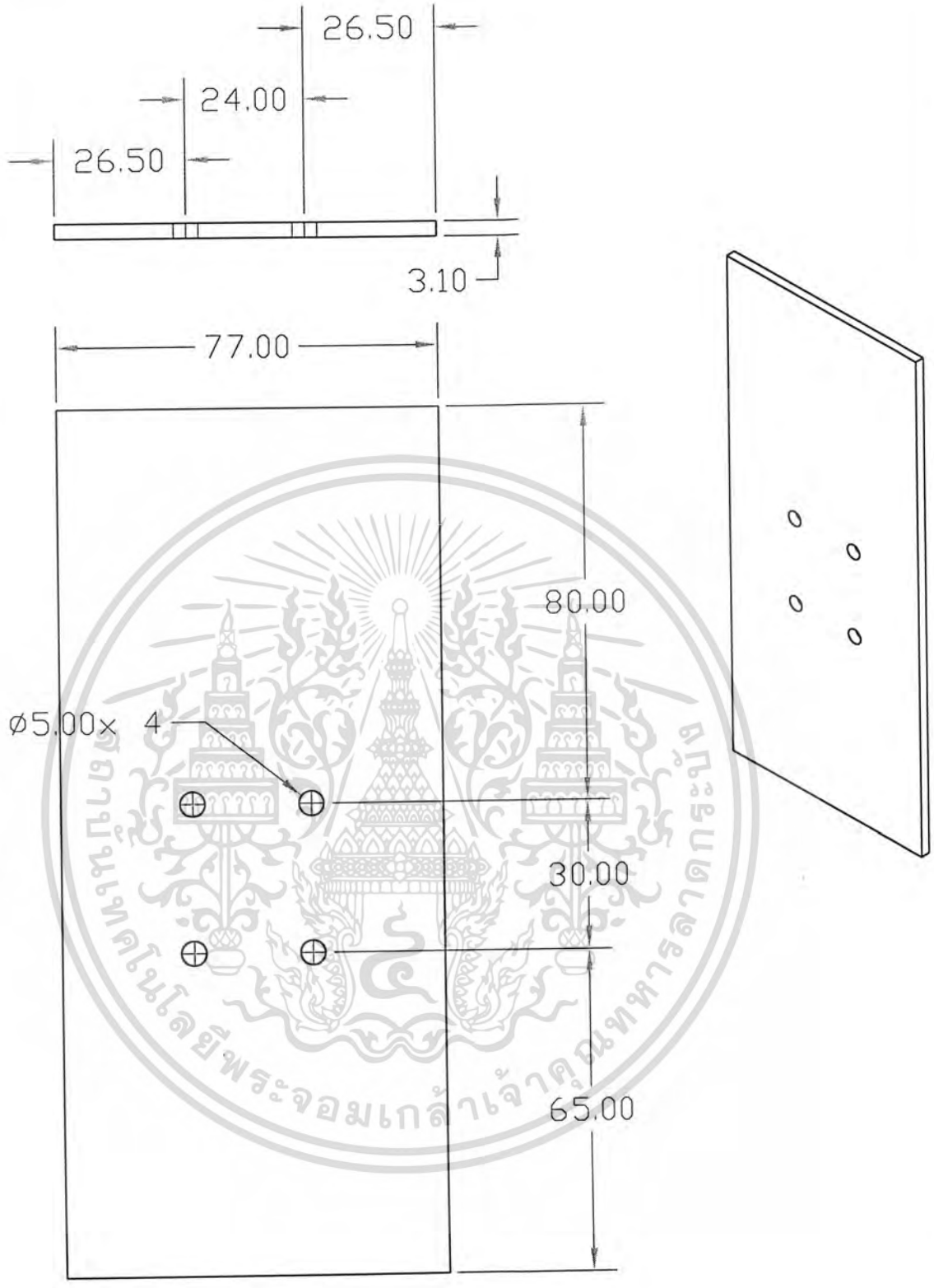


INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	LINEAR GUIDE WAY
CODE: M-1310	SCALE N/A



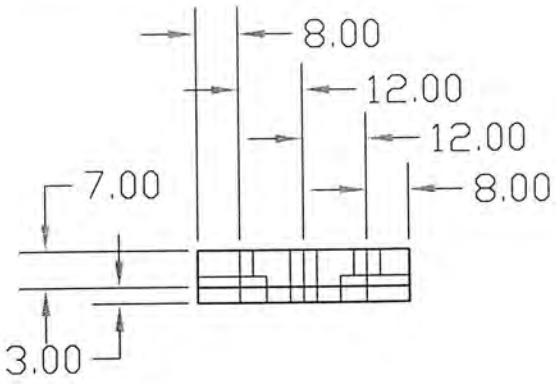
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	LINEAR GUIDE WAY
CODE: M-1311	SCALE N/A

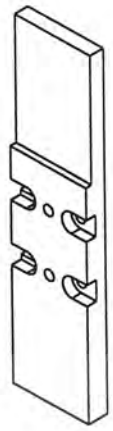
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

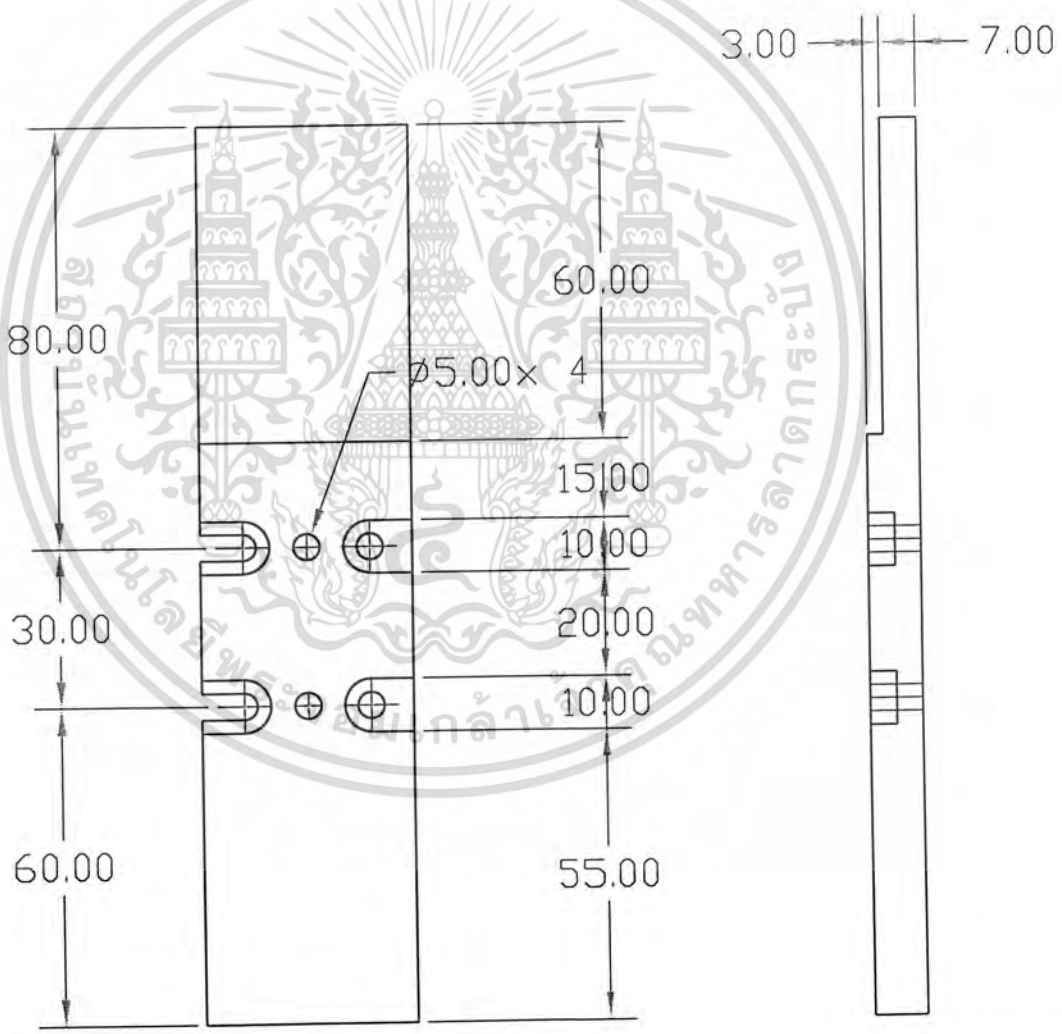


INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	BASE 6
CODE: M-1312	SCALE N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

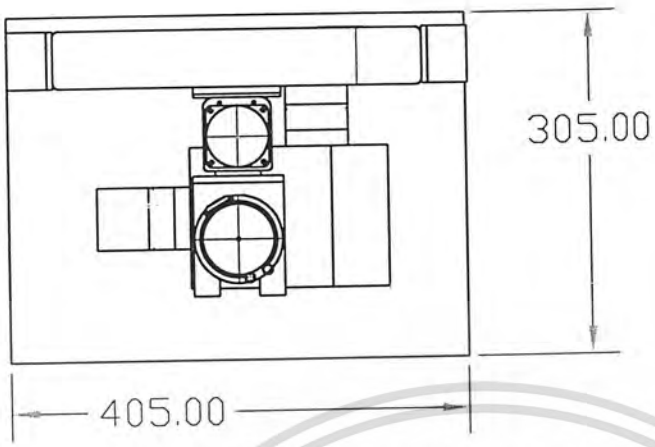


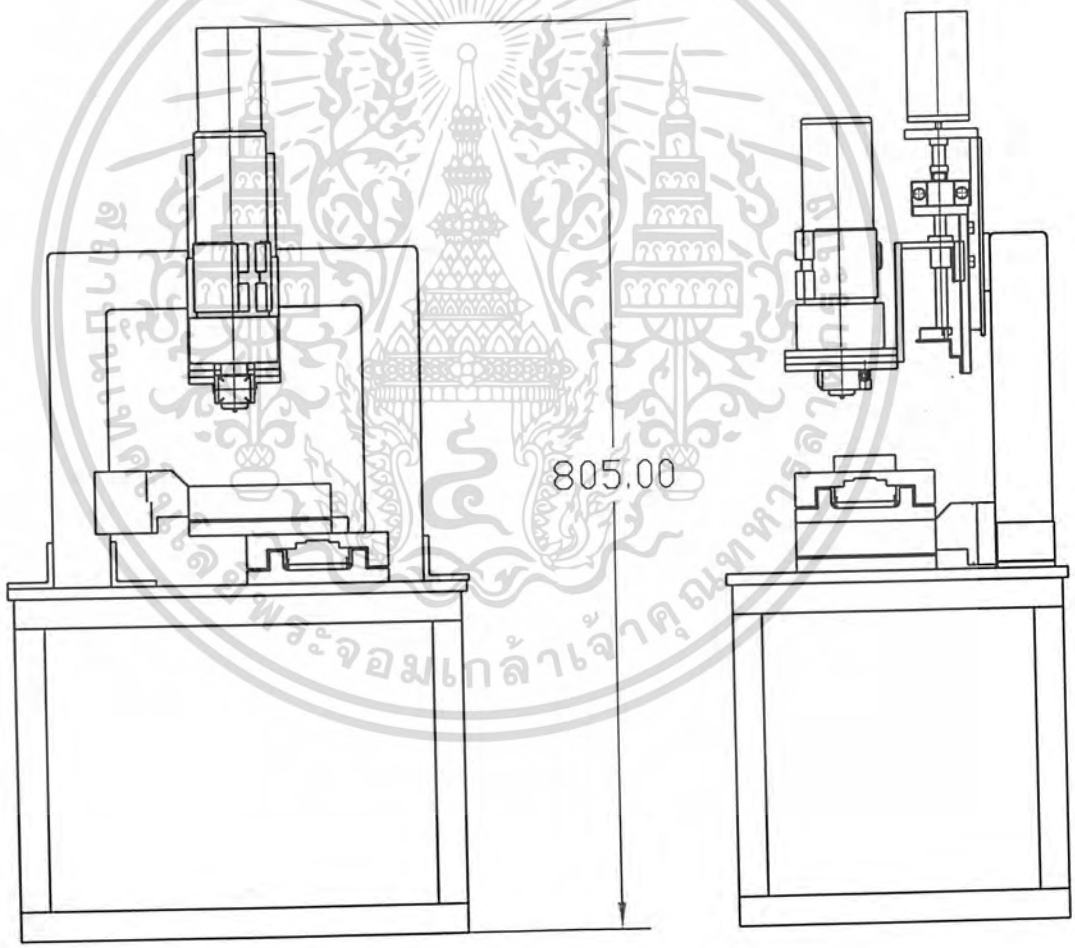




INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	BASE 7
CODE: M-1313	SCALE N/A

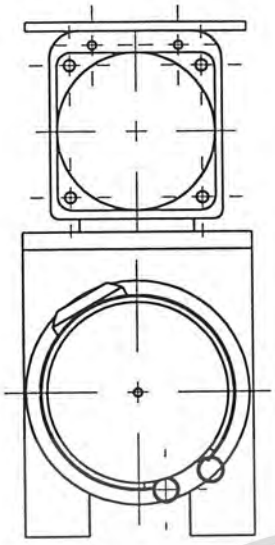
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

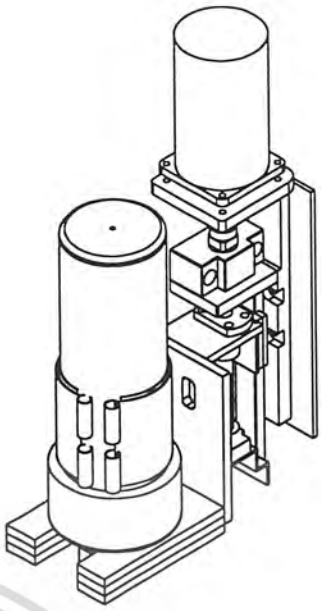


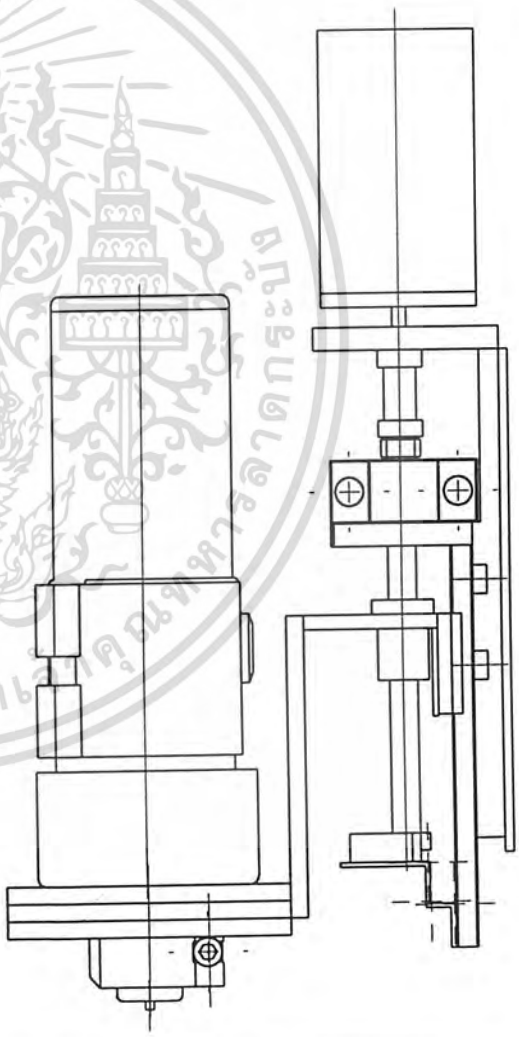


INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	FDM (WAX)
CODE: A-2000	SCALE N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

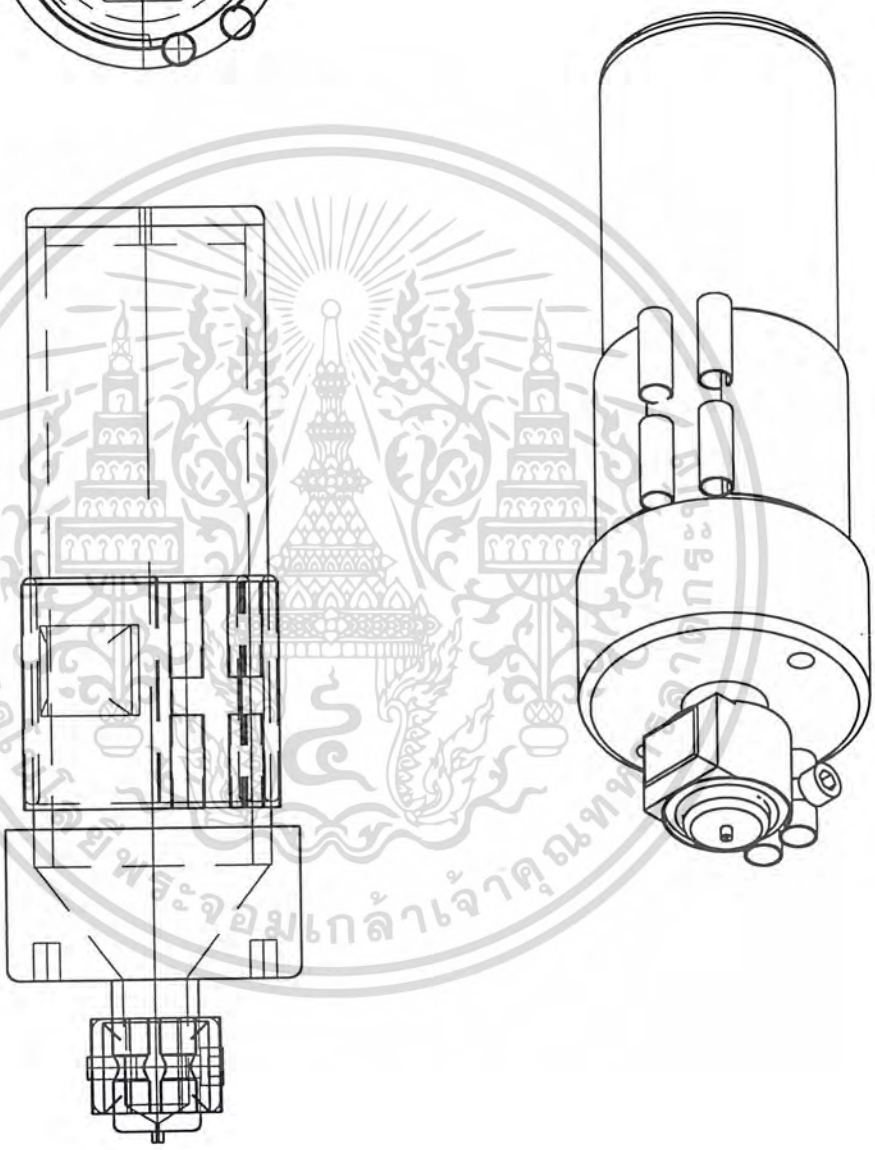






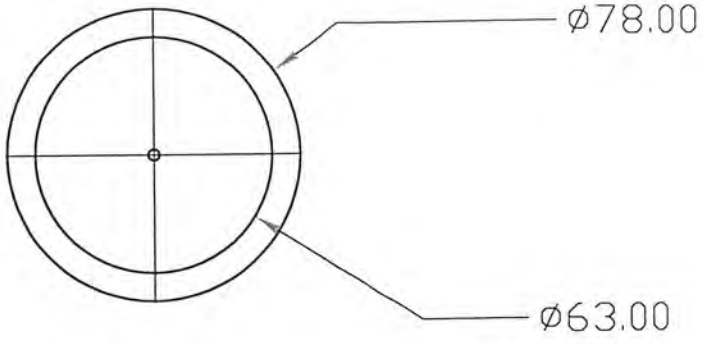
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	FDM (WAX)
CODE: A-2001	SCALE N/A

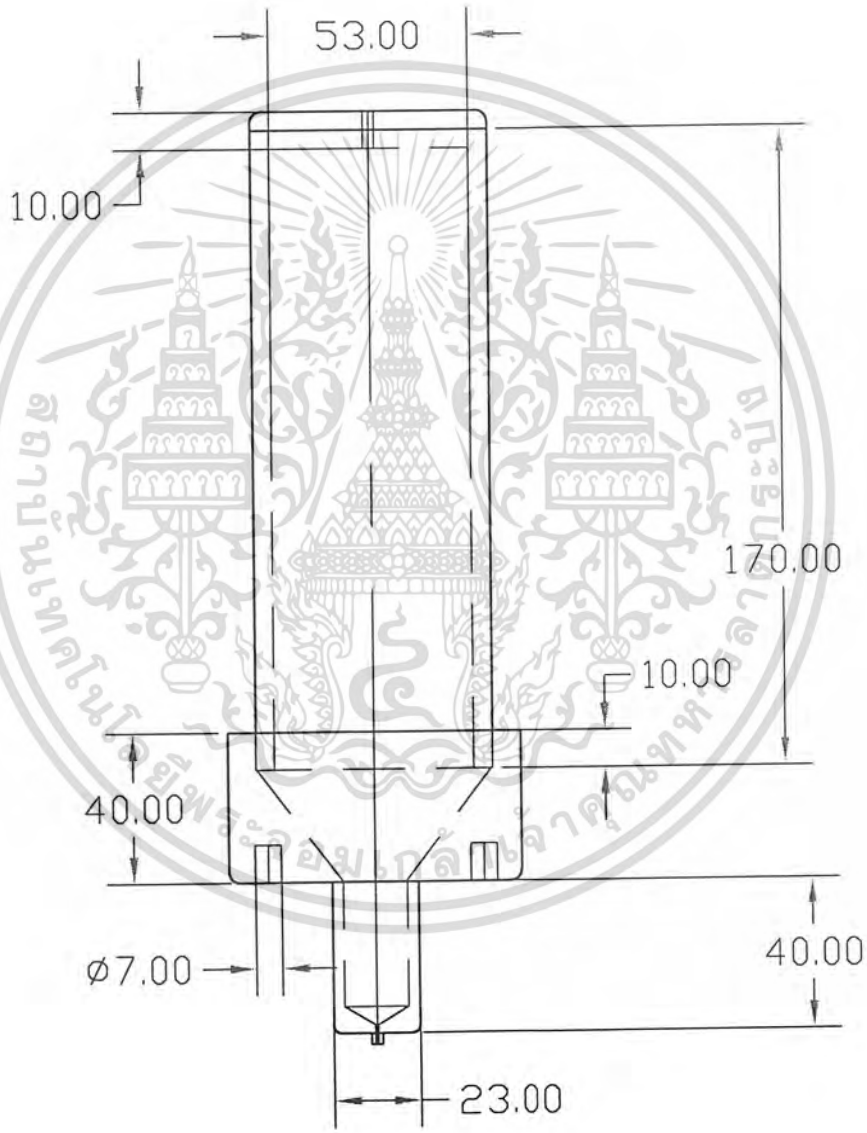
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	
WAX CONTAINER & FEEDER	
CODE: A-2002	SCALE N/A

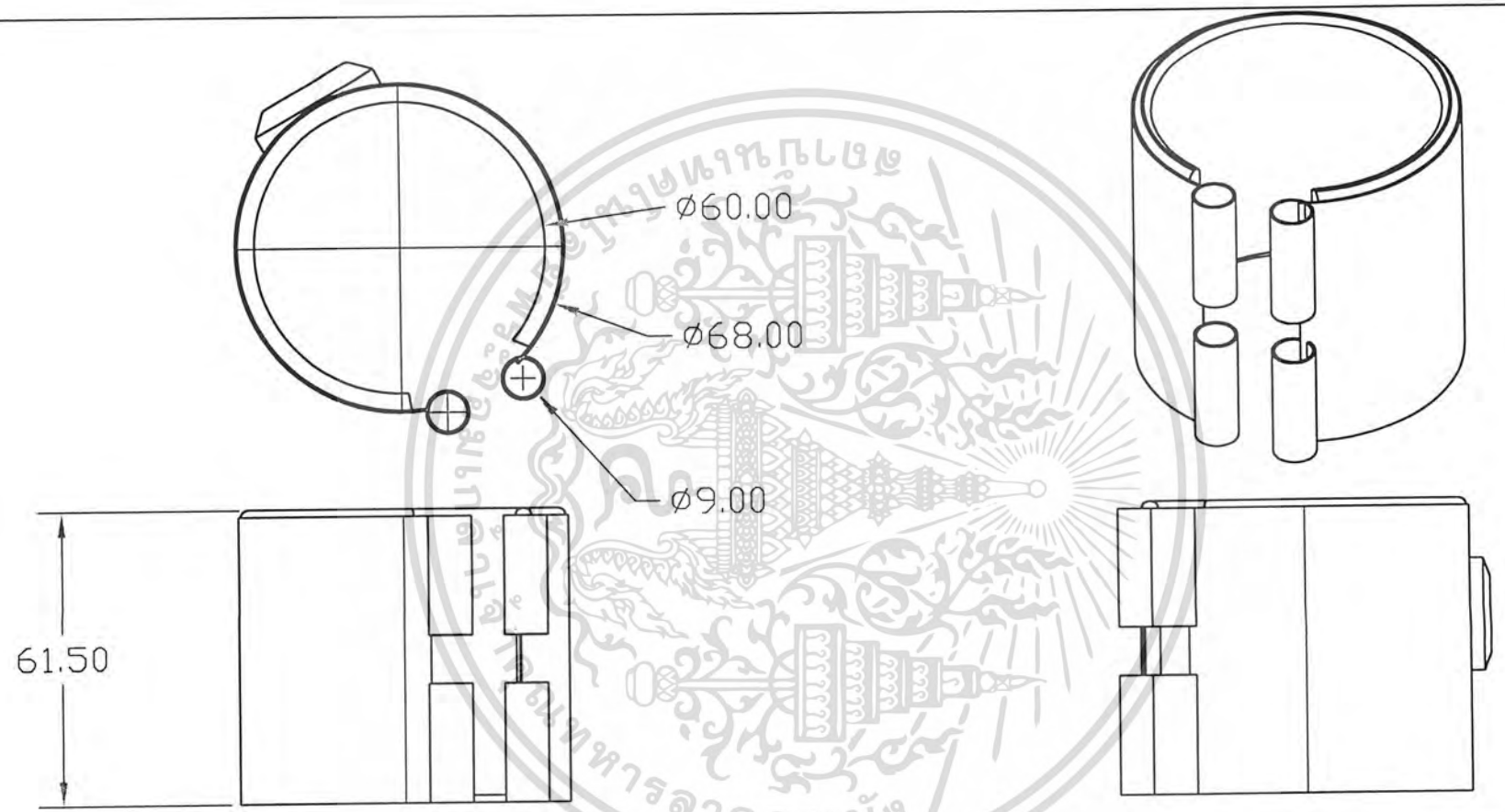
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



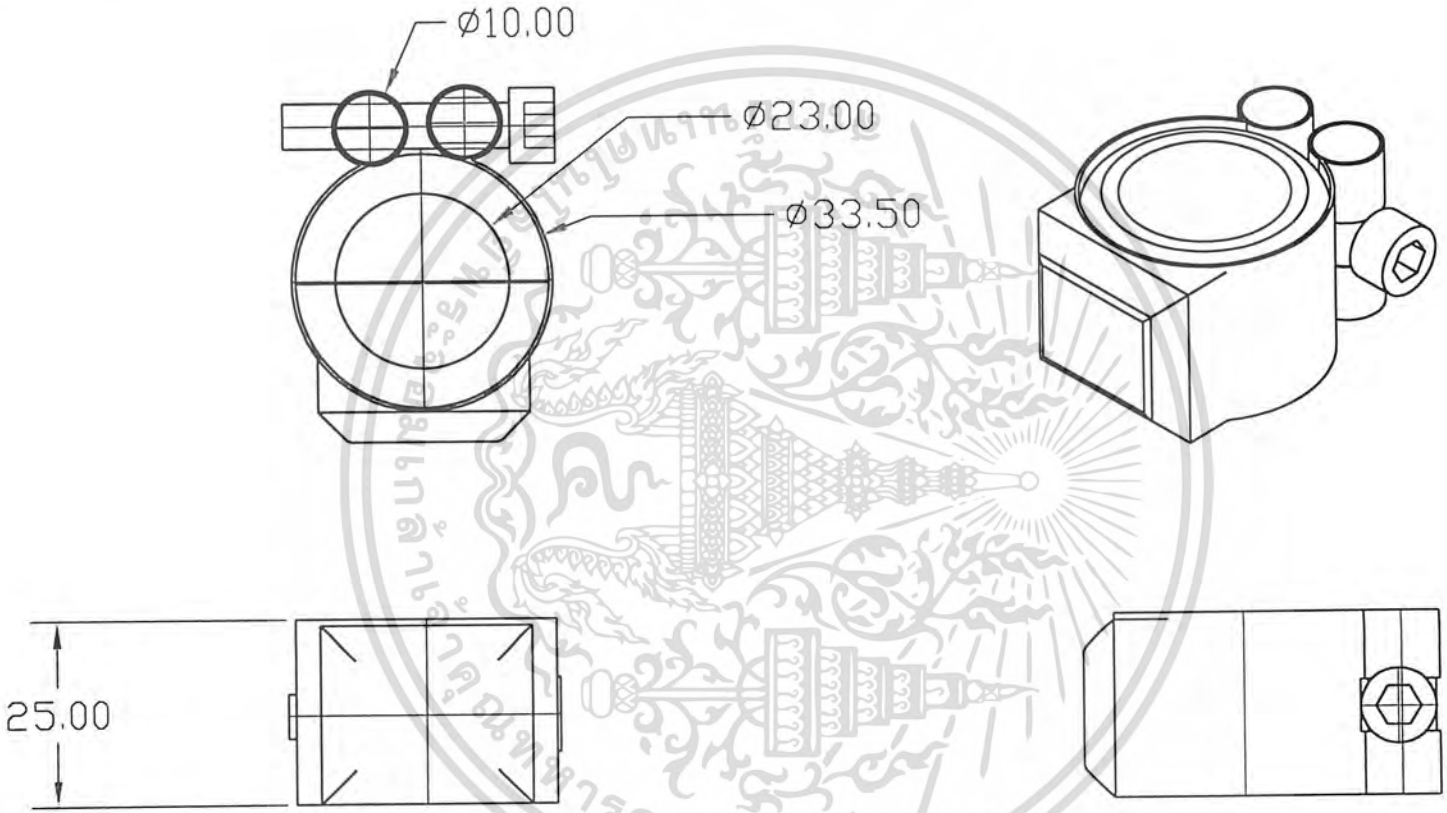


INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	
WAX CONTAINER & FEEDER	
CODE: A-2003	SCALE N/A

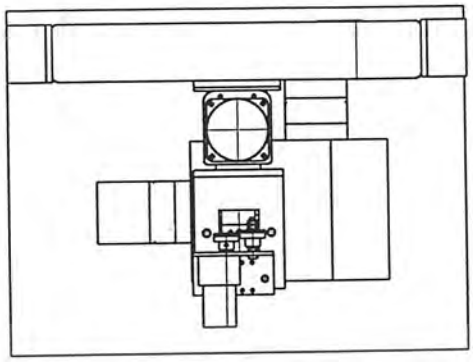
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

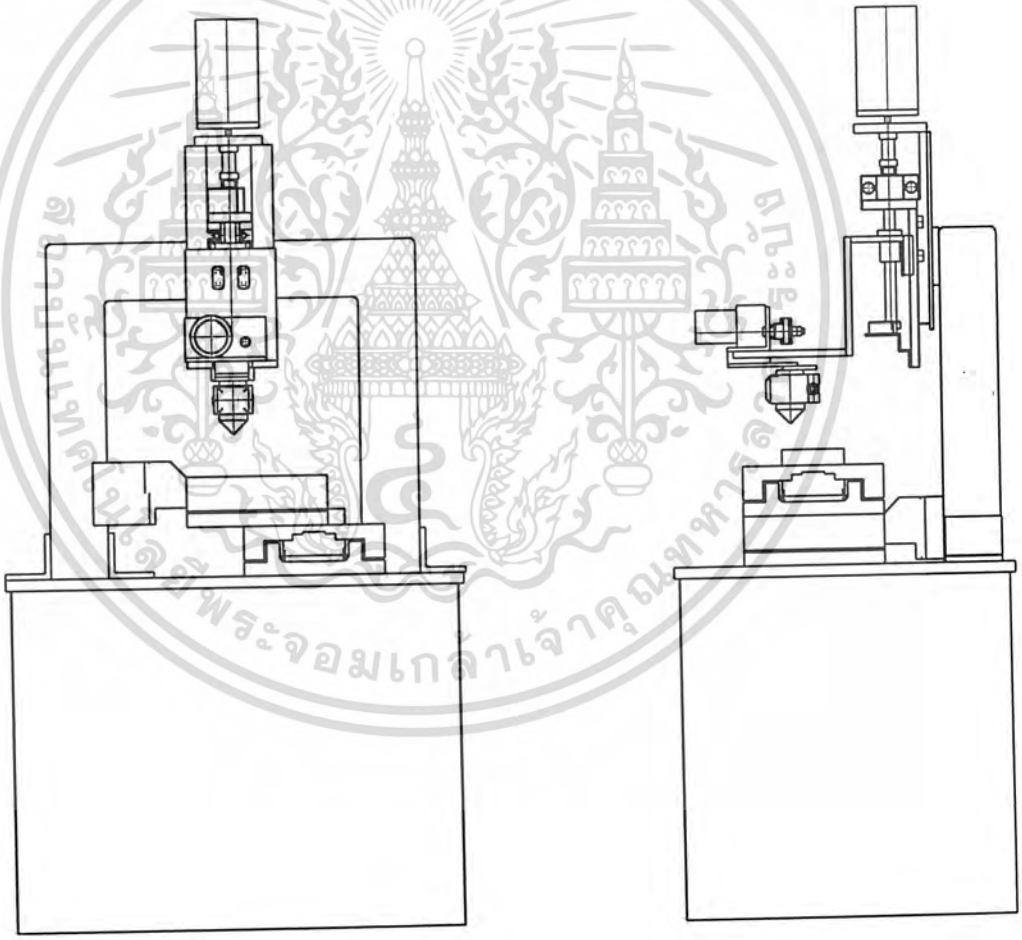


INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	HEATER 1
CODE: A-2004	SCALE N/A



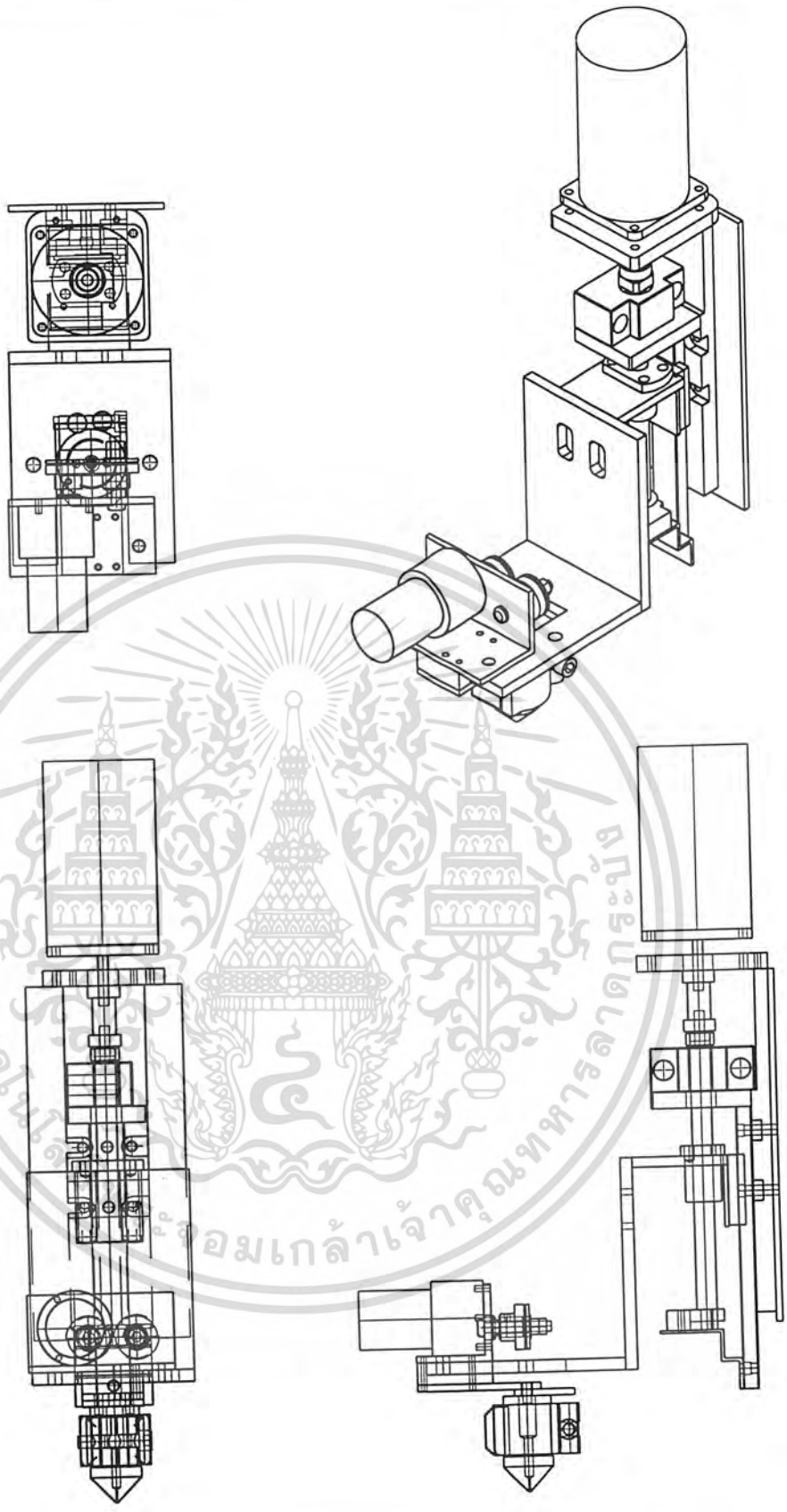
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	HEATER 2
CODE: A-2005	SCALE N/A





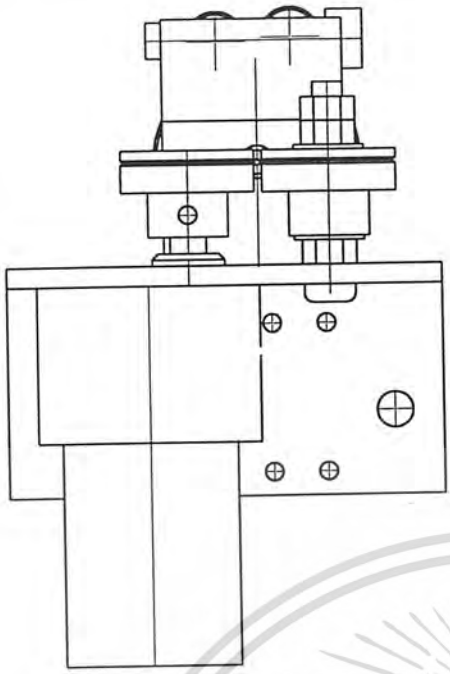
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	FDM (THERMOPLASTIC)
CODE: B-3000	SCALE N/A

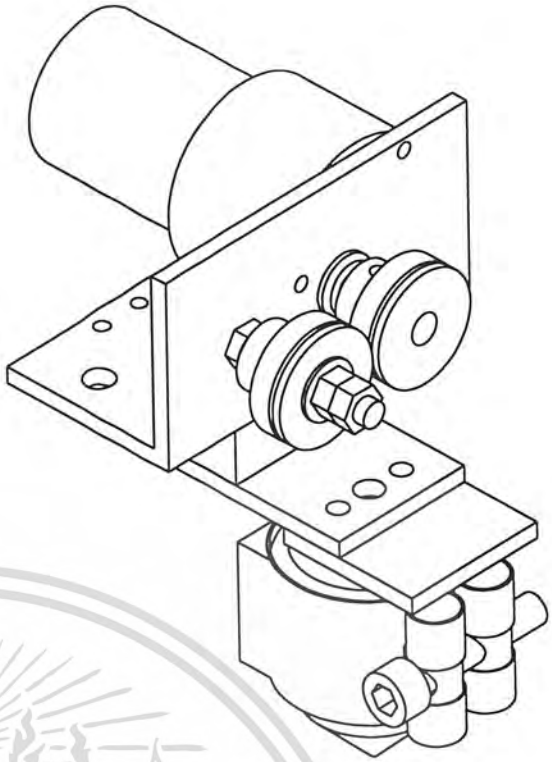
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

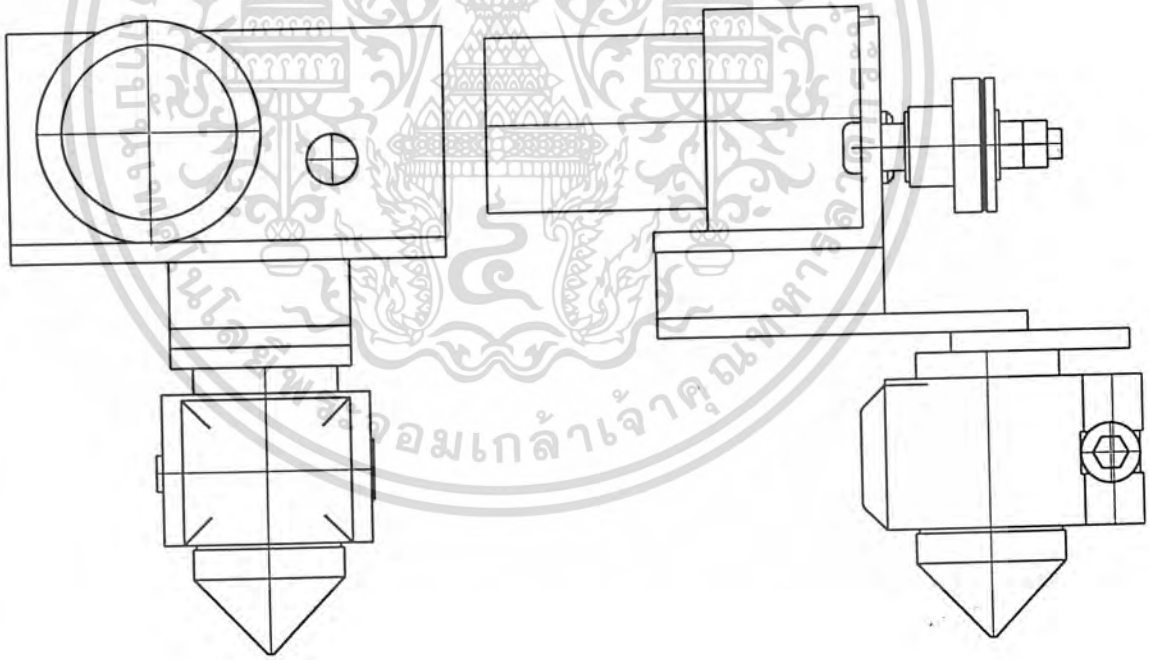


INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	FDM (THERMOPLASTIC)
CODE: B-3001	SCALE N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

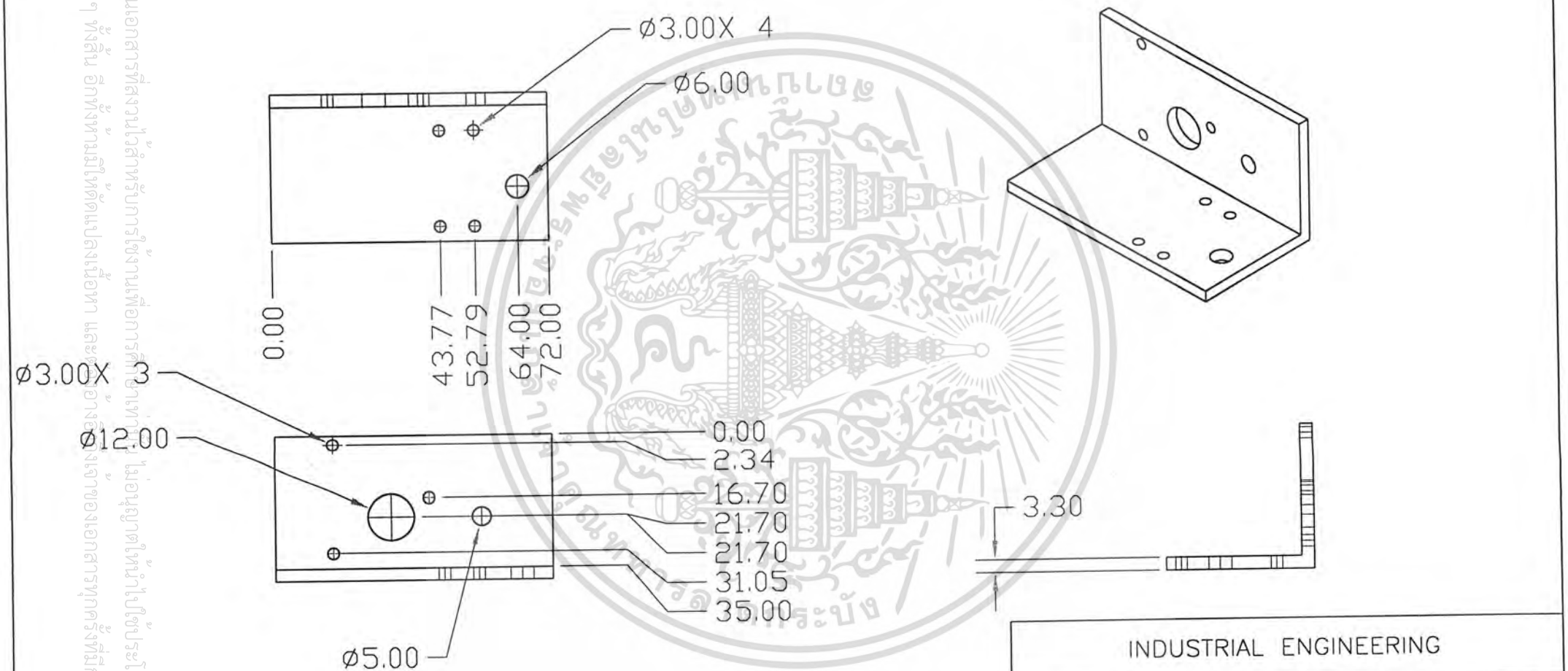




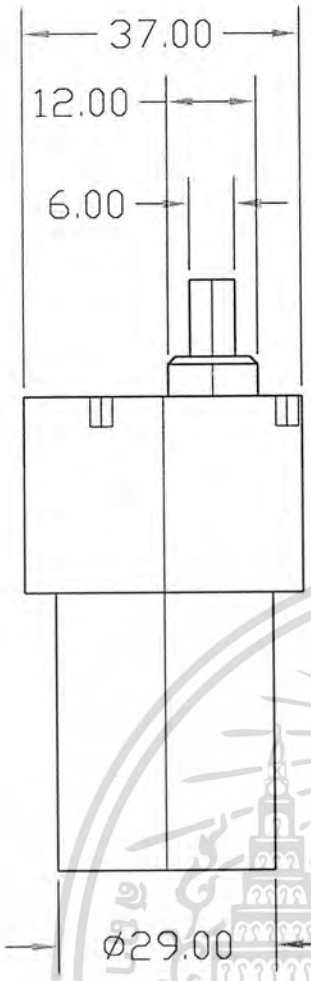


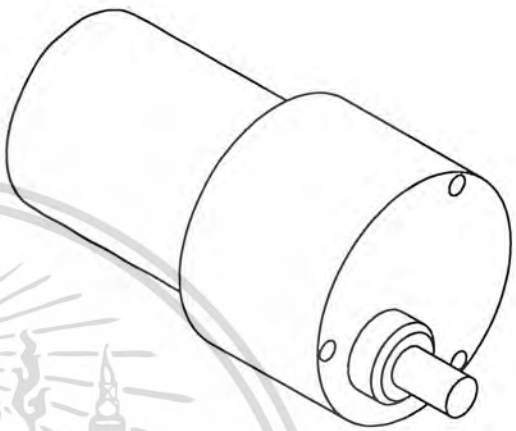
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	THERMOPLASTIC FEEDER
CODE: B-3002	SCALE N/A

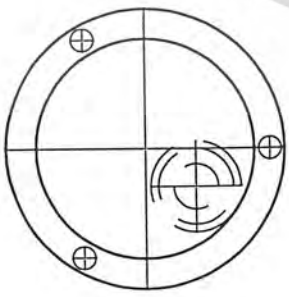
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

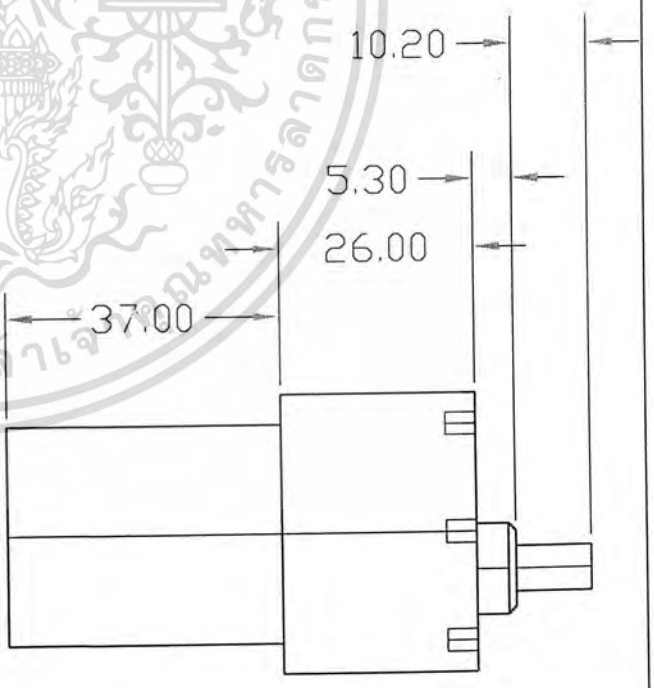


INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	BASE8
CODE: B-3003	SCALE N/A



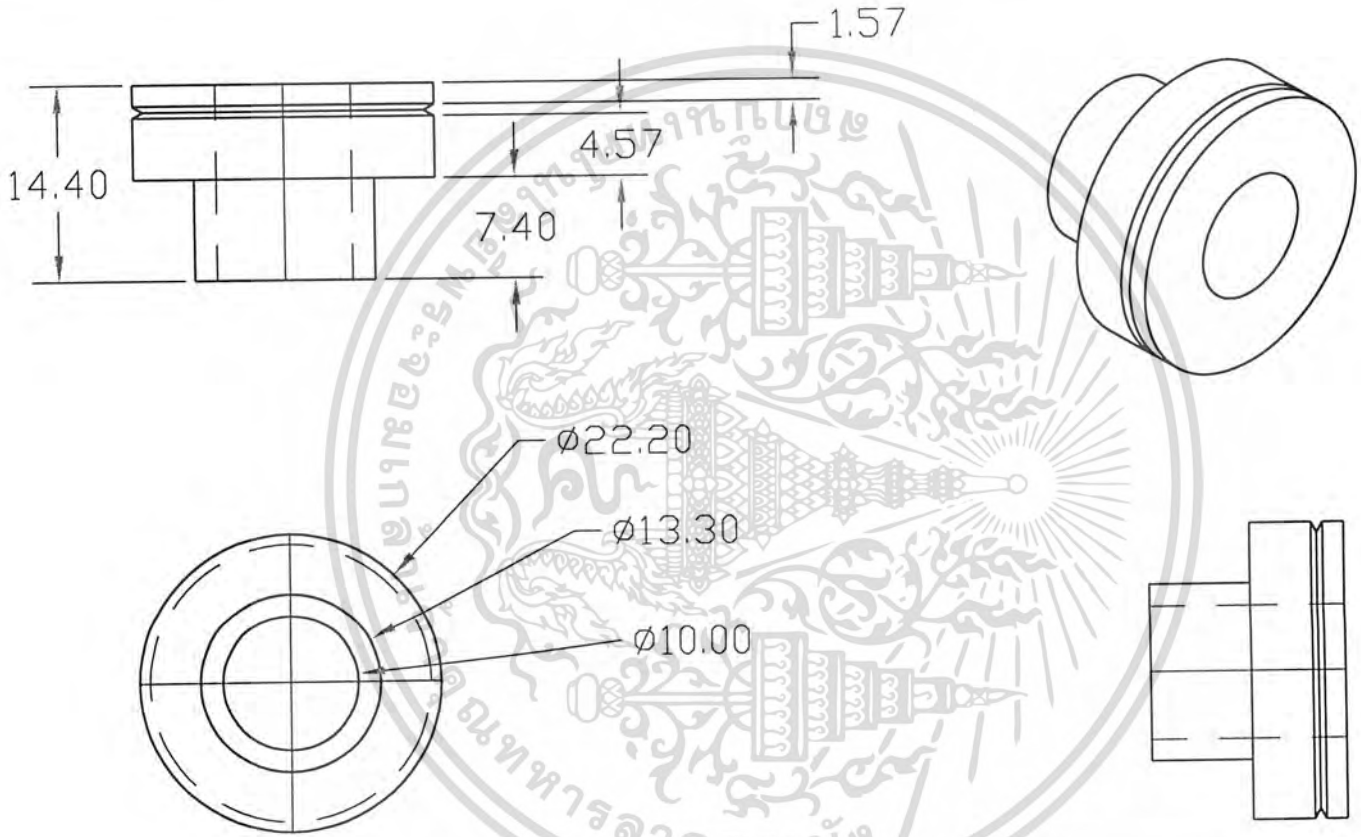






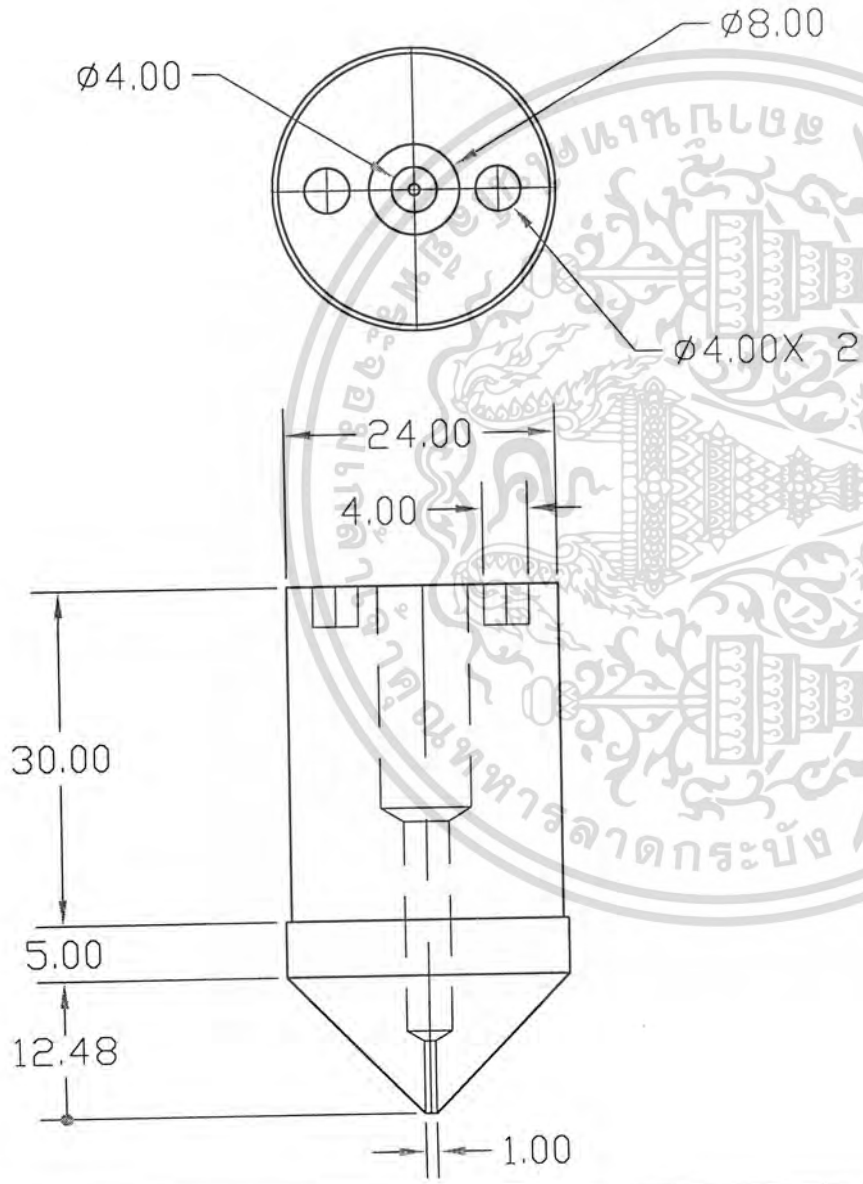
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	MOTOR
CODE: B-3004	SCALE N/A

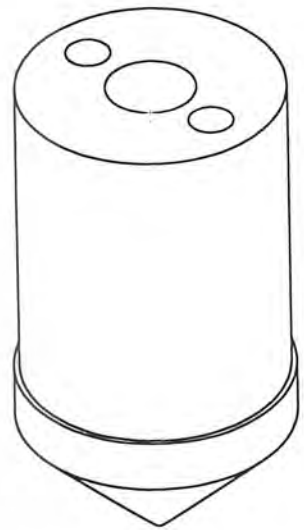
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	FEEDER
CODE: B-3005	SCALE N/A

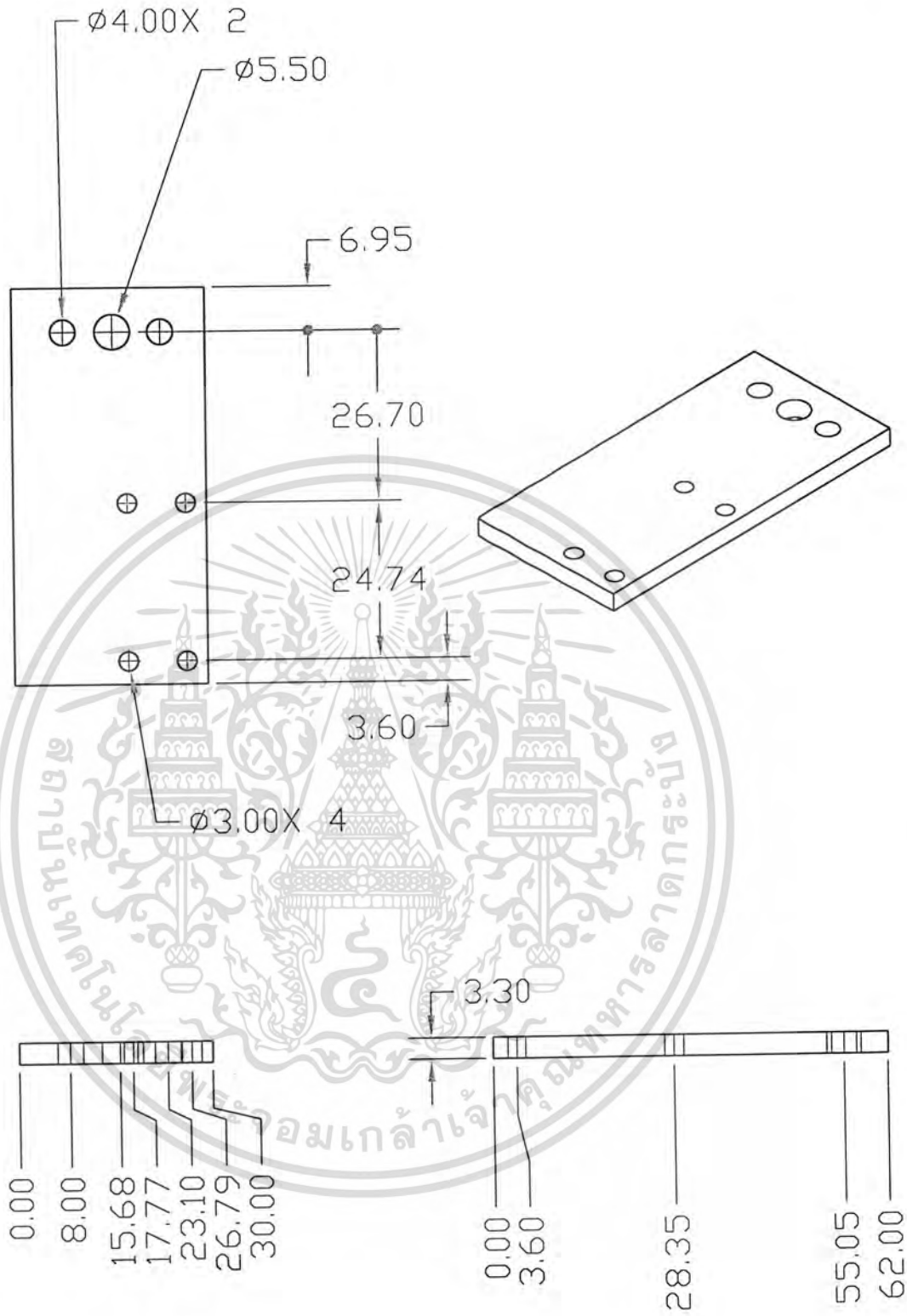
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





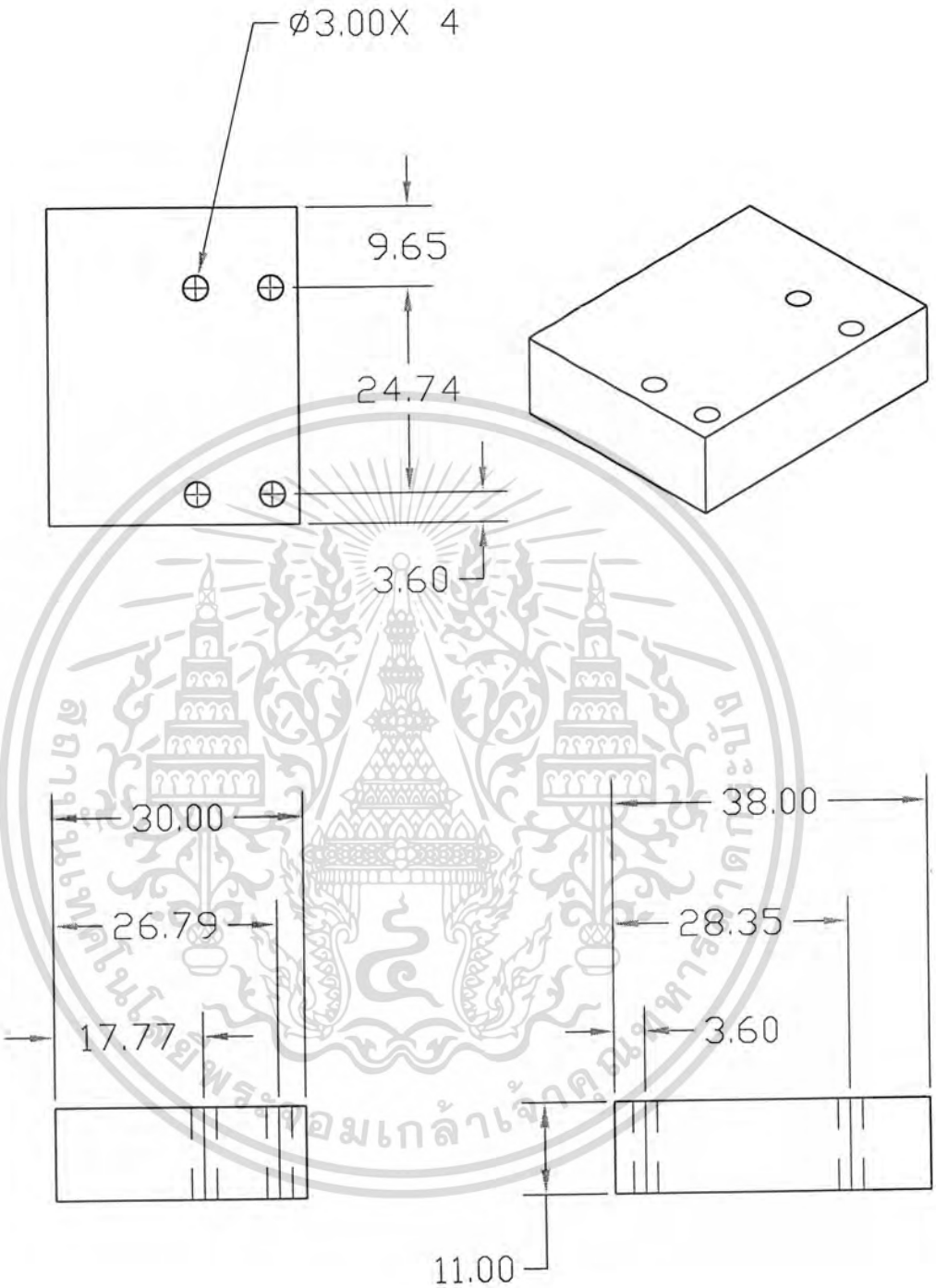
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	FEEDER
CODE: B-3006	SCALE N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



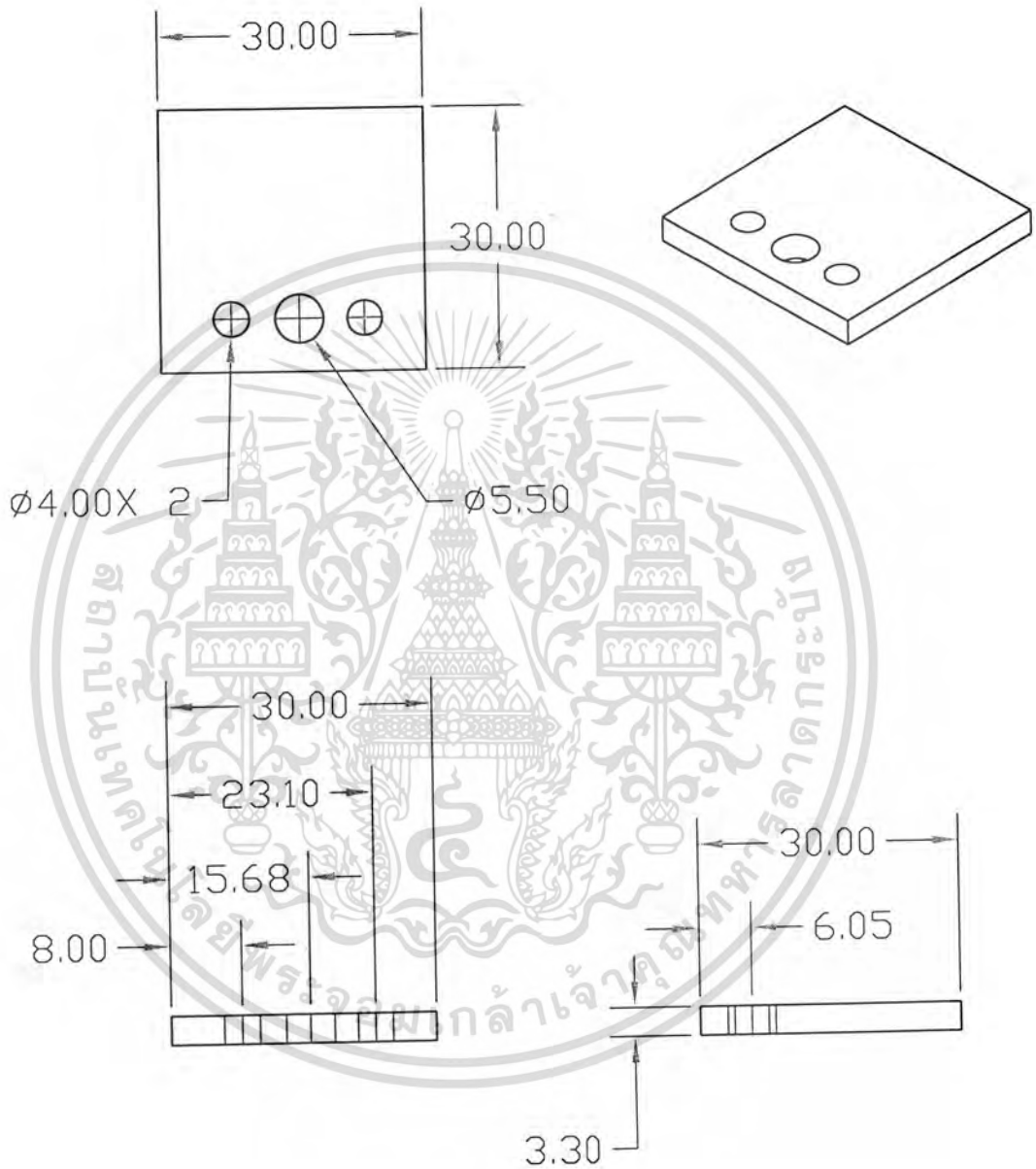
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	BASE9
CODE: B-3007	SCALE N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	BASE10
CODE: B-3008	SCALE N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

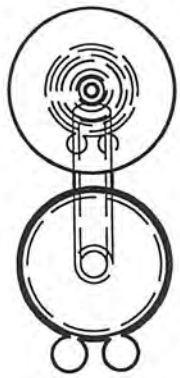


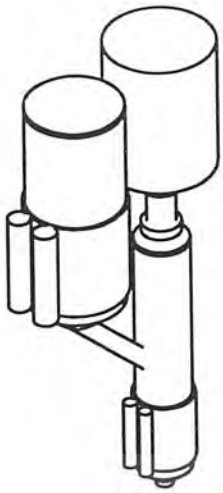
INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	BASE11
CODE: B-3009	SCALE N/A

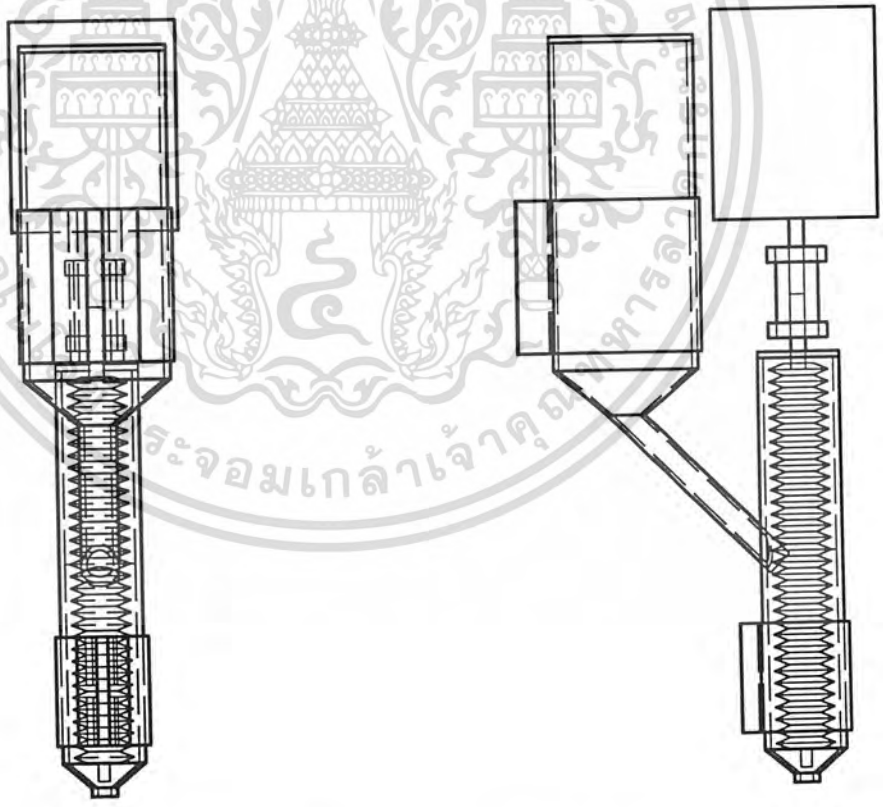
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
แบบรายละเอียดเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบสำหรับการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







INDUSTRIAL ENGINEERING	
RAPID PROTOTYPE MACHINE	APPLY FDM
CODE: N-1000	SCALE N/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

รายละเอียดโปรแกรม RP CAD/CAM ที่ทำการสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

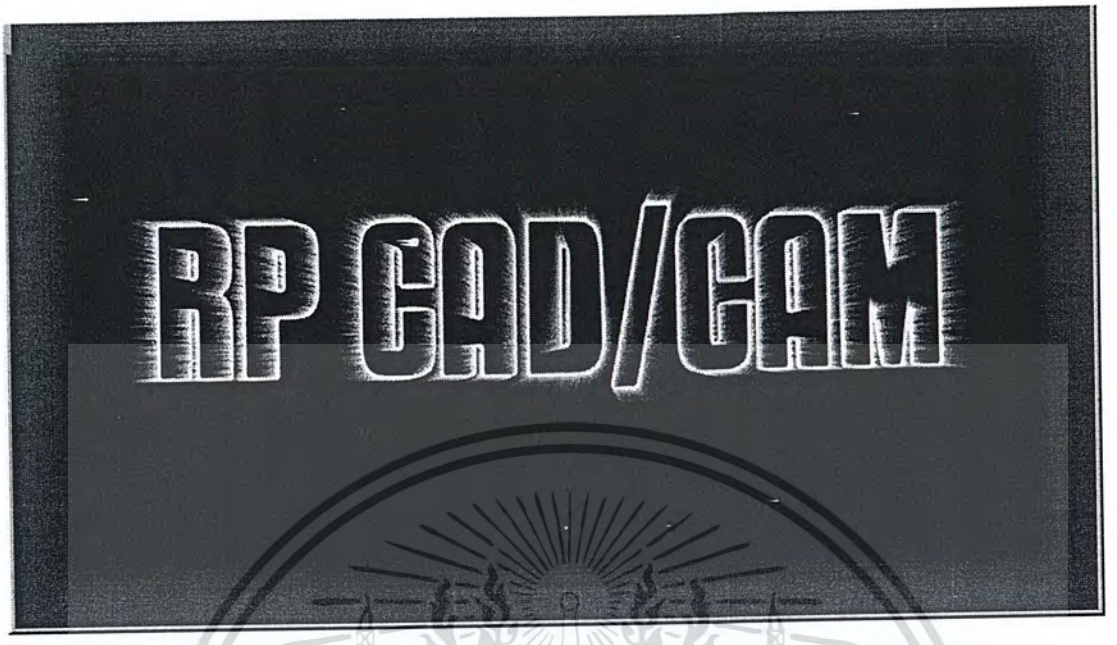
ภาคผนวก ง

โปรแกรม RP CAD/CAM

FORM 1 ชื่อโปรแกรม RP CAD/CAM

```
unit Unit1;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs  ExtCtrls, jpeg;
type
    TForm1 = class(TForm)
    Timer1: TTimer;
    Image1: TImage;
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
    private
    public
end;
var
  Form1: TForm1;
implementation
uses rp;
{$R *.DFM}
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);
begin
      timer1.Enabled:=true;
end;

procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin
      form1.hide;
      main.visible:=true;
      timer1.Enabled:=false;
end;
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



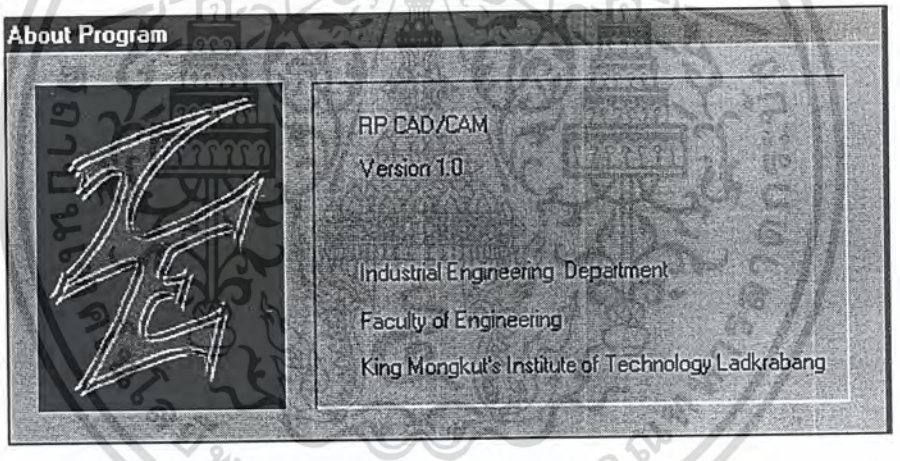
รูปที่ 1 Form 1 แสดงชื่อโปรแกรม

FORM 2 รายละเอียดของโปรแกรม

```
unit Unit2;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  jpeg, ExtCtrls, StdCtrls;
type
  Tform2 = class(TForm)
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Panel1: TPanel;
    Image1: TImage;
    Label5: TLabel;
    Bevel1: TBevel;
    procedure FormDeactivate(Sender: TObject);
  private
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  { Private declarations }
 public
  { Public declarations }
 end;
var
 Form2: Tform2;
implementation
uses rp;
{$R *.DFM}
procedure TForm5.FormDeactivate(Sender: TObject);
begin
 self.close;
end;
end.
```



รูปที่ 2 Form 2 แสดงรายละเอียดของโปรแกรม

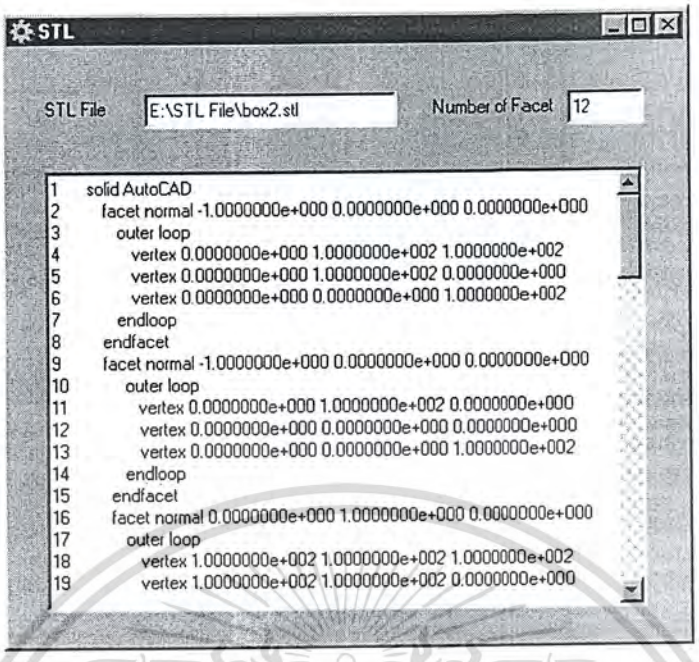
FORM 3 STL File Dialog

```
unit Unit3;

interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls;
type
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TForm3 = class(TForm)
  Memo1: TMemo;
  Label1: TLabel;
  Edit1: TEdit;
  Label2: TLabel;
  Edit2: TEdit;
  procedure Button1Click(Sender: TObject);
  procedure Memo1Change(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }

public
  { Public declarations }
 end;

var
  Form3: TForm3;
implementation
{$R *.DFM}
procedure TForm3.Button1Click(Sender: TObject);
begin
self.close;
end;

procedure TForm3.Memo1Change(Sender: TObject);
begin
end;
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 Form 3 แสดง STL File Dialog

FORM 4 รายละเอียดผู้จัดทำ

```
unit Unit4;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls, ComCtrls, jpeg;
type
  Tus = class(TForm)
    Label5: TLabel;
    PageControl1: TPageControl;
    TabSheet1: TTabSheet;
    Panel1: TPanel;
    Panel6: TPanel;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label6: TLabel;
    TabSheet2: TTabSheet;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Panel2: TPanel;

Panel7: TPanel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Label11: TLabel;

TabSheet3: TTabSheet;

Panel3: TPanel;

Panel8: TPanel;

Label12: TLabel;

Label13: TLabel;

Label14: TLabel;

Label15: TLabel;

Label16: TLabel;

TabSheet5: TTabSheet;

TabSheet4: TTabSheet;

Panel10: TPanel;

Label22: TLabel;

Label23: TLabel;

Label24: TLabel;

Label25: TLabel;

Label26: TLabel;

Panel4: TPanel;

Label17: TLabel;

Label18: TLabel;

Label19: TLabel;

Label20: TLabel;

Label21: TLabel;

Panel5: TPanel;

Panel9: TPanel;

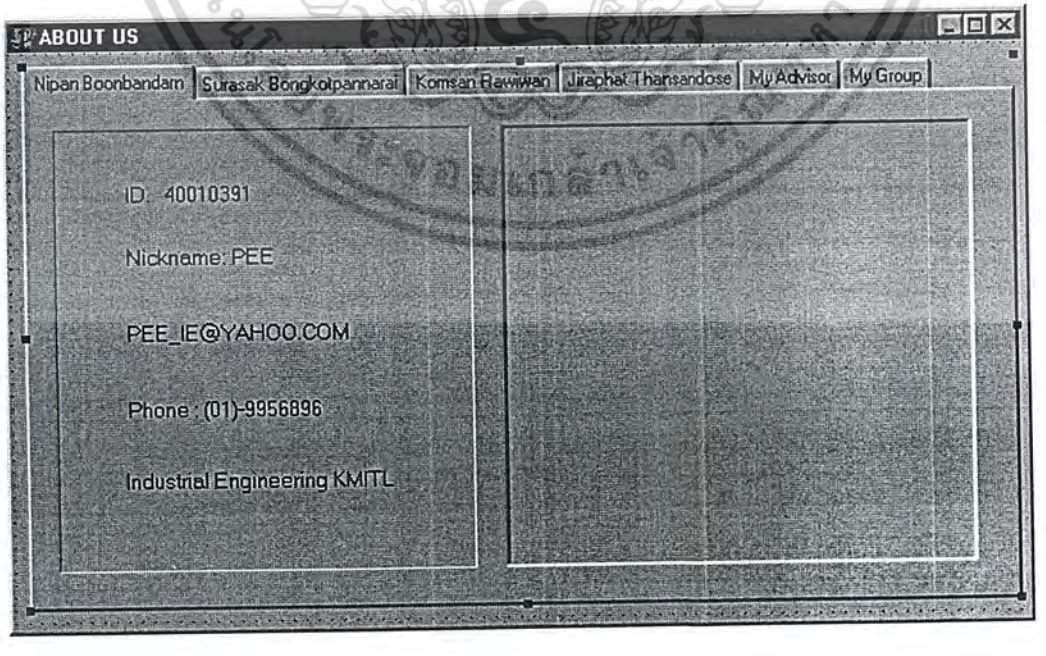
TabSheet6: TTabSheet;

Panel11: TPanel;

Panel12: TPanel;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        procedure OKClick(Sender: TObject);
        procedure FormDeactivate(Sender: TObject);
    private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  us: Tus;
implementation
uses rp;
{$R *.DFM}
procedure Tus.OKClick(Sender: TObject);
begin
      self.close;
end;
procedure Tus.FormDeactivate(Sender: TObject);
begin
  self.close;
end;
end.
```



รูปที่ 4 รายละเอียดผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FORM 5 โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่อง RP แบบ FDM ที่สร้างขึ้น

```
unit rp;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  Menus, StdCtrls, ImgList, ExtCtrls, ComCtrls, ToolWin;

type
  TMain = class(TForm)

    MainMenu1: TMainMenu;
    File1: TMenuItem;
    Open1: TMenuItem;
    N1: TMenuItem;
    Exit1: TMenuItem;
    View1: TMenuItem;
    STLFile1: TMenuItem;
    ChangeViewpoint1: TMenuItem;
    TopView1: TMenuItem;
    FrontView1: TMenuItem;
    LeftView1: TMenuItem;
    RightView1: TMenuItem;
    Isometric1: TMenuItem;
    Move1: TMenuItem;
    Up1: TMenuItem;
    Down1: TMenuItem;
    Left1: TMenuItem;
    Right1: TMenuItem;
    Object1: TMenuItem;
    cmtomm1: TMenuItem;
    inchtomm1: TMenuItem;
    N3: TMenuItem;
    Defalt1: TMenuItem;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
SlideLayer1: TMenuItem;
Continuous1: TMenuItem;
ByLayer1: TMenuItem;
Operation1: TMenuItem;
Continuous2: TMenuItem;
ByLayer2: TMenuItem;
Help1: TMenuItem;
About1: TMenuItem;
RapidPrototype1: TMenuItem;
AboutUs1: TMenuItem;
AboutProgram1: TMenuItem;
OpenDialog1: TOpenDialog;
ThicknessLayer1: TMenuItem;
Language1: TMenuItem;
English1: TMenuItem;
N4: TMenuItem;
Zoom1: TMenuItem;
N1001: TMenuItem;
N1501: TMenuItem;
N751: TMenuItem;
N501: TMenuItem;
N2: TMenuItem;
Custom1: TMenuItem;
N5: TMenuItem;
Custom2: TMenuItem;
N1002: TMenuItem;
Label13: TLabel;

Timer1: TTimer;

ToolBar1: TToolBar;
ImageList1: TImageList;
StatusBar1: TStatusBar;
ScrollBar1: TScrollBar;
ScrollBar2: TScrollBar;
Panel1: TPanel;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Panel2: TPanel;

Panel3: TPanel;

UpDown1: TUpDown;

UpDown2: TUpDown;

UpDown3: TUpDown;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

Label6: TLabel;

Label7: TLabel;

Label8: TLabel;

Label9: TLabel;

Label10: TLabel;

Label11: TLabel;

Label12: TLabel;

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Edit3: TEdit;

Edit4: TEdit;

Edit5: TEdit;

Edit6: TEdit;

Edit7: TEdit;

Edit8: TEdit;

Edit9: TEdit;

Edit10: TEdit;

Edit11: TEdit;

Edit12: TEdit;

ToolButton1: TToolButton;

ToolButton2: TToolButton;

ToolButton3: TToolButton;

ToolButton4: TToolButton;

ToolButton5: TToolButton;

ToolButton6: TToolButton;

ToolButton7: TToolButton;

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ToolButton8: TToolButton;
ToolButton9: TToolButton;
ToolButton10: TToolButton;
ToolButton11: TToolButton;
ToolButton12: TToolButton;
ToolButton13: TToolButton;
ColorDialog1: TColorDialog;
Color1: TMenuItem;
ToolButton14: TToolButton;
ToolButton16: TToolButton;
ToolButton17: TToolButton;
Bevel1: TBevel;
Panel4: TPanel;
Panel5: TPanel;
Panel6: TPanel;
Panel7: TPanel;
Panel8: TPanel;
Panel9: TPanel;
Panel10: TPanel;
Label14: TLabel;
HatchRange1: TMenuItem;
ToolButton15: TToolButton;

procedure Open1Click(Sender: TObject);
procedure Exit1Click(Sender: TObject);
procedure English1Click(Sender: TObject);
procedure N4Click(Sender: TObject);
procedure ThicknessLayer1Click(Sender: TObject);
procedure FrontView1Click(Sender: TObject);
procedure LeftView1Click(Sender: TObject);
procedure RightView1Click(Sender: TObject);
procedure TopView1Click(Sender: TObject);
procedure Isometric1Click(Sender: TObject);
procedure Up1Click(Sender: TObject);
procedure Down1Click(Sender: TObject);
procedure Right1Click(Sender: TObject);
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure Left1Click(Sender: TObject);
procedure N1001Click(Sender: TObject);
procedure N1501Click(Sender: TObject);
procedure N1002Click(Sender: TObject);
procedure N751Click(Sender: TObject);
procedure N501Click(Sender: TObject);
procedure Custom1Click(Sender: TObject);
procedure cmtomm1Click(Sender: TObject);
procedure inchtomm1Click(Sender: TObject);
procedure Defalt1Click(Sender: TObject);
procedure Custom2Click(Sender: TObject);
procedure AboutUs1Click(Sender: TObject);
procedure Continuous1Click(Sender: TObject);
procedure STLFile1Click(Sender: TObject);
procedure ScrollBar1Change(Sender: TObject);
procedure ScrollBar2Change(Sender: TObject);
procedure AboutProgram1Click(Sender: TObject);
procedure UpDown1Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
procedure UpDown2Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
procedure UpDown3Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
procedure Help1Click(Sender: TObject);
procedure Color1Click(Sender: TObject);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure HatchRange1Click(Sender: TObject);
procedure Continuous2Click(Sender: TObject);


private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
    Main: TMain;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TextSTL: TextFile;
pee:tcolor;
checkoperation:boolean;

StringObject,Ch1,CheckStr,CheckVertex:string;
Point1,Point2,Point3: string;
CheckLanguage:string;
CheckCad,CheckOpen: string;
CheckStatus:string;
EndSlide:string;
StrThickness,StrObj,StrZoom:string;
Stl:array[1..100000]of string;
checksort:string;

PointOpen  :array[1..200000,1..3,1..3] of real; // facet,point[123],axis[xyz]
PointToCal :array[1..200000,1..3,1..3] of real; // facet,point[123],axis[xyz]
PointCal   :array[1..200000,1..3,1..3] of real; // facet,point[123],axis[xyz]
Advance    :array[1..100000,1..3,1..3] of real;
PP         :array[1..100000,1..3,1..3] of real;
aaa   : array[0..50] of real;    // grid
aaaa  : array[0..50] of real;    // grid
aaaaa : array[0..50] of real;    // grid
bbb   : array[0..50] of real;    // grid
bbbb  : array[0..50] of real;    // grid
bbbbb : array[0..50] of real;    // grid
cccc  : array[0..50] of real;    // grid
ccccc : array[0..50] of real;    // grid
dddd  : array[0..50] of real;    // grid
ddddd : array[0..50] of real;    // grid
hatchvertical:array[0..1000,1..1000]of real;
hatchver:array[1..1000]of real;
MetrixA:array[1..4,1..4] of real;
MetrixB:array[1..4,1..4] of real;
MetrixC:array[1..4,1..4] of real;
minimum:real;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  xxx,zzz:real ;
  GridSlideX,GridSlideY:real;
  Pitch,Yaw,Roll,tx,ty,tz:real;
  Test:real;
  Movedown,Moveright:real;
  Right,Down:real;
  Zoom,Obj:real;
  Sum,Summ,Thickness,Layer,kz:real;
  Xmax,Xmin,Ymax,Ymin,Zmax,Zmin:real;
  jack,golf,man,jera:real;

  StlCount:integer;
  ddx,ddy,ddz,sumx,sumy,sumz:integer;
  a,b,c,d,i,j,k,x,y,z:integer;
  ii,jj,AA,CheckChange : integer;
  ppp,iii,mmm,nnn,kkk,jjj,ooo:integer;
  Rightt,Downt:integer;
  Facet,Facett:integer;
  GridX,GridY,GridNew1,GridNew2:integer;
  CheckHeight,CheckWide,CheckLength:integer;
  CheckSlide,Count,Loop:integer;

  checkhatch:array[1..100]of boolean;
  strHatchRange:string;
  HatchRange :real;

implementation

uses Unit1, Unit2, Unit3, Unit5, Unit6 ;

{$R *.DFM}

procedure portout(printport:word;val:byte);stdcall;
begin
 asm
  mov dx,[printport];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  mov al, val;
  out dx,al;
 end;
end;

procedure delay1(dl:longint) ;
var j:integer;
begin
 for j:= 1 to dl do
 begin
 end;
end;

procedure Delay2(msecs:integer);
var
  FirstTickCount:longint;
begin
    FirstTickCount:= GetTickCount;
    repeat
        Application.ProcessMessages; {allowing access to other
                        controls, etc.}
    until ((GetTickCount-FirstTickCount) >= Longint(msecs));
end;

procedure dda(xover:integer;yover:integer;zover:integer);
var qx,qy,qz,ox,oz,max,oy,rx,ry,rz,i,bkx,bky,bkz:integer;
   portp:byte;
begin

  ddx:=xover-sumx;
  ddy:=yover-sumy;
  ddz:=zover-sumz;
  rx:=0;
  ry:=0;
  qx:=0;
  qy:=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
rz:=0;
qz:=0;

if (ddx<0) then
begin
 bkx:=-1 ;
 ddx:=(-1)*ddx;
end
else
 bkx:=1;

 if (ddy<0) then
 begin
  bky:=-1 ;
  ddy:=(-1)*ddy ;
 end
 else
  bky:=1;

 if (ddz<0) then
 begin
  bkz:=-1 ;
  ddz:=(-1)*ddz ;
 end
 else
  bkz:=1;

  if (ddx>=ddy)then max:=ddx
  else max:= ddy;

  if (max<ddz) then max:=ddz;

  for i:=1 to max do
  begin
    portp:=48;
    ox:=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
oy:=0;

// for x

rx:=qx+ddx;
if (rx>=max) then
begin
 ox:=1  ;
 rx:=rx-max;
end
else
begin
 ox:=0;
end;
qx:=rx;

// for y

ry:=qy+ddy;
if (ry>=max) then
begin
 oy:=1  ;
 ry:=ry-max;
end
else
begin
 oy:=0;
end;
qy:=ry;

// for z

rz:=qz+ddz;
if (rz>=max) then
begin
 oz:=1  ;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
rz:=rz-max;
end
else
begin
 oz:=0;
end;
qz:=rz;

ox:=ox*bkx;
oy:=oy*bky;
oz:=oz*bkz;
sumx:=sumx+ox;
sumy:=sumy+oy;
sumz:=sumz+oz;


if (ox=1)  then portp:=portp+1;
if (ox=-1) then portp:=portp+2;
if (oy=1)  then portp:=portp+4;
if (oy=-1) then portp:=portp+8;
if (oz=1)  then portp:=portp-32;
if (oz=-1) then portp:=portp-16;

 portout($378,portp);
 delay1(150000);
 portout($378,48);
 delay1(150000);

 end;

end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TMain.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  pee:=clteal;
  strHatchRange:='10';
  HatchRange:=10;
end;


procedure checkresult;
begin
for i:=1 to facet do
   begin
    PointToCal[i][1][1] :=PointOpen[i][1][1]*obj;
    PointToCal[i][1][2] :=PointOpen[i][1][2]*obj;
    PointToCal[i][1][3] :=PointOpen[i][1][3]*obj;
    PointToCal[i][2][1] :=PointOpen[i][2][1]*obj;
    PointToCal[i][2][2] :=PointOpen[i][2][2]*obj;
    PointToCal[i][2][3] :=PointOpen[i][2][3]*obj;
    PointToCal[i][3][1] :=PointOpen[i][3][1]*obj;
    PointToCal[i][3][2] :=PointOpen[i][3][2]*obj;
    PointToCal[i][3][3] :=PointOpen[i][3][3]*obj;
   end;

   j:=0;
   zmax := 0;
   ymax:=0;
   xmax:=0;
   zmin:=1000;
   ymin:=1000;
   xmin:=1000;

   // check height
```

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for checkheight:=1 to facet  do
begin
 for j:=1 to 3 do
 begin
        if (PointToCal[checkheight][j][3] > zmax)  then
        begin
         zmax := PointToCal[checkheight][j][3];
        end
   else
   begin
         if (PointToCal[checkheight][j][3] < zmin) then
    begin
          zmin := PointToCal[checkheight][j][3];
         end;
   end;
  end;
 end;

//checklength

  for checklength:=1 to facet do
  begin
   for j:=1 to 3 do
   begin
         if (PointToCal[checklength][j][2] > ymax) then
         begin
          ymax := PointToCal[checklength][j][2];
    end
    else
         begin
          if (PointToCal[checklength][j][2] < ymin) then
          begin
           ymin := PointToCal[checklength][j][2];
      end;
   end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    end;
   end;

// check wide

   for checkwide:=1 to facet do
   begin
    for j:=1 to 3 do
    begin
          if (PointToCal[checkwide][j][1] > xmax) then
          begin
           xmax := PointToCal[checkwide][j][1];
     end
     else
          begin
           if (PointToCal[checkwide][j][1] < xmin) then
           begin
            xmin := PointToCal[checkwide][j][1];
           end;
     end;
    end;
   end;

// check layer

   thickness:=strtofloat(main.edit8.text);
   if (thickness = 1) then
   begin
    if (((zmax-zmin) - int((zmax-zmin)))=0) then
    begin
          layer := (zmax-zmin);
     end
     else
     begin
          layer := int((zmax-zmin))+1;
     end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  end
  else
  begin
   layer := ((zmax-zmin)/(thickness));
   if ((layer-int(layer))=0) then
   begin
         layer := layer;
   end
   else
   begin
         layer := int(layer)+1;
   end;
  end;

// output

   main.edit5.text:=floattostr((zmax-zmin));
   main.edit6.text:=floattostr((ymax-ymin));
   main.edit7.text:=floattostr((xmax-xmin));
   main.edit9.text:=floattostr(layer+1);
end;

procedure calculate;
begin

// check status

   main.refresh;
   rightt:=main.scrollbar1.position*10;
   downt:=main.scrollbar2.position*10;
   if ((checkstatus='open')or (checkstatus='isoview')) then
   begin
     tx:=0;ty:=0;tz:=0;
     right:=25;down:=400;
   end;
   if (checkstatus='frontview') then
```

เอกสารนี้มีไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin
 tx:=0;ty:=0;tz:=500;
 right:=120;down:=60;
end;
if (checkstatus='leftview') then
begin
 tx:=0;ty:=0;tz:=500;
 right:=120;down:=60;
end;
if (checkstatus='rightview') then
begin
 tx:=0;ty:=500;tz:=500;
 right:=120;down:=60;
end;
if (checkstatus='topview') then
begin
 tx:=0;ty:=0;tz:=0;
 right:=130;down:=110;
end;

// set operation metrix

   main.edit10.text:= floattostr(main.updown1.position) ;
   main.edit11.text:= floattostr(main.updown2.position) ;
   main.edit12.text:= floattostr(main.updown3.position) ;

   pitch:=((main.updown1.position*3.141592654)/180);
   yaw:=((main.updown2.position*3.141592654)/180);
   roll:=((main.updown3.position*3.141592654)/180);

   metrixa[1,1]:=((cos(yaw)*cos(roll))+(sin(yaw)*sin(pitch)*sin(roll)));
   metrixa[1,2]:=(cos(pitch)*sin(roll))  ;
   metrixa[1,3]:=(-(sin(yaw))*cos(roll))+(cos(yaw)*sin(pitch)*sin(roll)) ;
   metrixa[1,4]:=-((tx*metrixa[1,1])+(ty*metrixa[1,2])+(tz*metrixa[1,3])) ;
   metrixa[2,1]:=-(cos(yaw)*sin(roll))+(sin(yaw)*sin(pitch)*cos(roll));
   metrixa[2,2]:=(cos(pitch)*cos(roll))  ;
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
metrixa[2,3]:=(sin(yaw)*sin(roll))+(cos(yaw)*sin(pitch)*cos(roll)) ;
metrixa[2,4]:=-((tx*metrixa[2,1])+(ty*metrixa[2,2])+(tz*metrixa[2,3])) ;
metrixa[3,1]:=(sin(yaw)*cos(pitch)) ;
metrixa[3,2]:=-(sin(pitch)) ;
metrixa[3,3]:=(cos(yaw)*cos(pitch)) ;
metrixa[3,4]:=-((tx*metrixa[3,1])+(ty*metrixa[3,2])+(tz*metrixa[3,3])) ;
metrixa[4,1]:=0 ;
metrixa[4,2]:=0 ;
metrixa[4,3]:=0 ;
metrixa[4,4]:=1 ;

//draw grid

aaa[0]:=0;
bbb[0]:=0;
for gridx:=1 to 50 do
begin
 aaa[gridx]:=aaa[gridx-1]+(10*zoom);
end;
for gridy:=1 to 50 do
begin
 bbb[gridy]:=bbb[gridy-1]+(10*zoom);
end;

metrixb[1][1]:=0;
metrixb[2][1]:=0;
metrixb[3][1]:=0;
metrixb[4][1]:=0;
for i:=0 to 50 do
begin
 metrixb[1][1]:=aaa[i];
 metrixb[2][1]:=0;
 metrixb[3][1]:=0;
 metrixb[4][1]:=1;
 for j:=1 to 2 do
 begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      summ:=0;
 for k:=1 to 4 do
      begin
       summ := (summ+(metrixa[j][k]*metrixb[k][1]));
 end;
      metrixc[j][1]:=summ;
end;
aaaa[i]:=metrixc[1][1];
bbbb[i]:=metrixc[2][1];
end;

metrixb[1][1]:=0;
metrixb[2][1]:=0;
metrixb[3][1]:=0;
metrixb[4][1]:=0;
for i:=0 to 50 do
begin
 metrixb[1][1]:=aaa[i];
 metrixb[2][1]:=500*zoom;
 metrixb[3][1]:=0;
 metrixb[4][1]:=1;
 for j:=1 to 2 do
 begin
       summ:=0;
  for k:=1 to 4 do
       begin
        summ := (summ+(metrixa[j][k]*metrixb[k][1]));
  end;
       metrixc[j][1]:=summ;
 end;
 aaaaa[i]:=metrixc[1][1];
 bbbbb[i]:=metrixc[2][1];
end;

 metrixb[1][1]:=0;
 metrixb[2][1]:=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
metrixb[3][1]:=0;
metrixb[4][1]:=0;
for i:=0 to 50 do
begin
 metrixb[1][1]:=0;
 metrixb[2][1]:=bbb[i];
 metrixb[3][1]:=0;
 metrixb[4][1]:=1;
 for j:=1 to 2 do
 begin
       summ:=0;
  for k:=1 to 4 do
       begin
        summ := (summ+(metrixa[j][k]*metrixb[k][1]));
  end;
       metrixc[j][1]:=summ;
 end;
 cccc[i]:=metrixc[1][1];
 dddd[i]:=metrixc[2][1];
end;

metrixb[1][1]:=0;
metrixb[2][1]:=0;
metrixb[3][1]:=0;
metrixb[4][1]:=0;
for i:=0 to 50 do
begin
 metrixb[1][1]:=500*zoom;
 metrixb[2][1]:=bbb[i];
 metrixb[3][1]:=0;
 metrixb[4][1]:=1;
 for j:=1 to 2 do
 begin
       summ:=0;
  for k:=1 to 4 do
       begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        summ := (summ+(metrixa[j][k]*metrixb[k][1]));
    end;
        metrixc[j][1]:=summ;
  end;
  ccccc[i]:=metrixc[1][1];
  ddddd[i]:=metrixc[2][1];
end;


  main.canvas.Pen.Color :=clblack;
  main.canvas.brush.color:=clbackground;
  main.canvas.pen.width:=2;
  main.canvas.polygon([point(17,65),point(743,65),point(743,656),point(17,656)]);
  main.canvas.pen.width:=1;

  for gridnew2:=0 to 50 do
  begin
   main.canvas.Pen.Color :=clgray;
   main.canvas.MoveTo(trunc(aaaaa[gridnew2]+trunc(right))-rightt,trunc(bbbb[gridnew2])+trunc(down)-
downt);
   main.canvas.LineTo(trunc(aaaaa[gridnew2]+trunc(right))-rightt,trunc(bbbbb[gridnew2])+trunc(down)-
downt);
   end;

   for gridnew1:=0 to 50 do
   begin
    main.canvas.Pen.Color :=clgray;
    main.canvas.MoveTo(trunc(cccc[gridnew1]+trunc(right))-rightt,trunc(dddd[gridnew1])+trunc(down)-
 downt);
    main.canvas.LineTo(trunc(ccccc[gridnew1]+trunc(right))-rightt,trunc(ddddd[gridnew1])+trunc(down)-
 downt);
    end;


 //draw picture
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for a:=1 to facet do
begin
 for b:=1 to 3 do
 begin
        metrixb[1][1]:=((PointToCal[a][b][1]*10 +moveright)*zoom);
        metrixb[2][1]:=((PointToCal[a][b][2]*10+movedown)*zoom);
        metrixb[3][1]:=((PointToCal[a][b][3])*10*zoom);
        metrixb[4][1]:=1;
        metrixc[1][1]:=0;
        metrixc[2][1]:=0;
   for c:=1 to 2 do
        begin
         sum:=0;
    for d:=1 to 4 do
    begin
          sum := (sum+(metrixa[c][d]*metrixb[d][1]));
    end;
          metrixc[c][1]:=sum;
   end;
    PointCal[a][b][1]:=metrixc[1][1];
        PointCal[a][b][2]:=metrixc[2][1];
  end;

   main.canvas.brush.color:=pee;
   main.canvas.Pen.Color :=clblack;
   main.canvas.polygon([point(trunc(PointCal[a][1][1])+trunc(right)-
rightt,trunc(PointCal[a][1][2])+trunc(down)-downt),
    point(trunc(PointCal[a][2][1])+trunc(right)-rightt,trunc(PointCal[a][2][2])+trunc(down)-downt),
    point(trunc(PointCal[a][3][1])+trunc(right)-rightt,trunc(PointCal[a][3][2])+trunc(down)-downt)]);
  end;
end;


procedure TMain.Open1Click(Sender: TObject);
begin
 checkopen:='NONE';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (OpenDialog1.Execute) then
begin
  checkstatus:='open';

// clear

  scrollbar1.position:=0;
  scrollbar2.position:=0;

  for i:=1 to 100000 do
  begin
   PointToCal[i][1][1] :=0;
   PointToCal[i][1][2] :=0;
   PointToCal[i][1][3] :=0;
   PointToCal[i][2][1] :=0;
   PointToCal[i][2][2] :=0;
   PointToCal[i][2][3] :=0;
   PointToCal[i][3][1] :=0;
   PointToCal[i][3][2] :=0;
   PointToCal[i][3][3] :=0;
  end;
  moveright:=0;
  movedown:=0;
  zoom:=1;

 // set

   updown1.Position:=-35;
   updown2.Position:=-45;
   updown3.Position:= 60;
   edit10.text:=floattostr(updown1.position);
   edit11.text:=floattostr(updown2.position);
   edit12.text:=floattostr(updown3.position);
   stlcount:=0;
   movedown:=0;
   moveright:=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
obj:=1;
zoom:=1;
strzoom:='100';
strobj:='100';
strthickness:='1';
facet:=0;
edit8.text:='1';
edit1.enabled:=true;
edit2.enabled:=true;
edit3.enabled:=true;
edit4.enabled:=true;
edit5.enabled:=true;
edit6.enabled:=true;
edit7.enabled:=true;
edit8.enabled:=true;
edit9.enabled:=true;
edit10.enabled:=true;
edit11.enabled:=true;
edit12.enabled:=true;
updown1.enabled:=true;
updown2.enabled:=true;
updown3.enabled:=true;
label1.enabled:=true;
label2.enabled:=true;
label3.enabled:=true;
label4.enabled:=true;
label5.enabled:=true;
label6.enabled:=true;
label7.enabled:=true;
label8.enabled:=true;
label9.enabled:=true;
label10.enabled:=true;
label11.enabled:=true;
label12.enabled:=true;
label13.visible:=false;
toolbutton2.enabled:=true;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  toolbutton3.enabled:=true;
  toolbutton4.enabled:=true;
  toolbutton5.enabled:=true;
  toolbutton6.enabled:=true;
  toolbutton7.enabled:=true;
  toolbutton8.enabled:=true;
  toolbutton9.enabled:=true;
  toolbutton10.enabled:=true;
  toolbutton11.enabled:=true;
  toolbutton12.enabled:=true;
  toolbutton13.enabled:=true;
  toolbutton14.enabled:=true;
  toolbutton15.enabled:=true;
  view1.enabled:=true;
  thicknesslayer1.enabled:=true;
  slidelayer1.enabled:=true;
  operation1.enabled:=true;
  HatchRange1.enabled:=true;

  calculate;

// open file

    AssignFile(TextSTL,OpenDialog1.Filename);
    Reset(TextSTL);
    Readln(TextSTL,StringObject);
    stlcount:=stlcount+1;
    stl[stlcount]:=StringObject;
    ch1:=trim(StringObject);

checkstr:=ch1[1]+ch1[2]+ch1[3]+ch1[4]+ch1[5]+ch1[6]+ch1[7]+ch1[8]+ch1[9]+ch1[10]+ch1[11]+ch1[12]+ch
1[13];

// check AutoCAD

      if (checkstr='solid AutoCAD') then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin
  checkcad:='AutoCAD';
  checkopen:='open';
end
else
begin
  checkcad:='3D Studio MAX';
  checkopen:='open';
end;

while not eof(TextSTL) do

// for AutoCAD

begin
  if (checkcad='AutoCAD') then
  begin
    Readln(TextSTL,StringObject);
    stlcount:=stlcount+1;
    stl[stlcount]:=StringObject;
    ch1:=trim(StringObject);
    checkvertex:=ch1[1]+ch1[2]+ch1[3]+ch1[4]+ch1[5]+ch1[6];
    if (checkvertex='vertex')then
    begin
    point1:=ch1[8]+ch1[9] +ch1[10 ]+ch1[11] +ch1[12] +ch1[13] +ch1[14] +ch1[15] +ch1[16] +ch1[17]
          +ch1[18] +ch1[19]+ch1[20]+ch1[21];
     point2:=ch1[23]+ch1[24]+ch1[25]+ch1[26]+ch1[27]+ch1[28]+ch1[29]+ch1[30]+ch1[31]+ch1[32]
          +ch1[33]+ch1[34]+ch1[35]+ch1[36] ;
     point3:=ch1[38]+ ch1[39] +ch1[40] +ch1[41] +ch1[42] +ch1[43] +ch1[44] +ch1[45] +ch1[46]
          +ch1[47] +ch1[48]+ch1[49]+ch1[50]+ch1[51];
     facet:=facet+1;
     PointOpen[facet][1][1]:=strtofloat(point1);
     PointOpen[facet][1][2]:=strtofloat(point2);
     PointOpen[facet][1][3]:=strtofloat(point3);

     Readln(TextSTL,StringObject);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
stlcount:=stlcount+1;
stl[stlcount]:=StringObject;
ch1:=trim(StringObject);
point1:=ch1[8]+ ch1[9] +ch1[10] +ch1[11] +ch1[12] +ch1[13] +ch1[14] +ch1[15] +ch1[16] +ch1[17]
      +ch1[18]+ch1[19]+ch1[20]+ch1[21];
point2:=ch1[23]+ ch1[24] +ch1[25 +ch1[26] +ch1[27] +ch1[28] +ch1[29] +ch1[30] +ch1[31]
      +ch1[32] +ch1[33]+ch1[34]+ch1[35]+ch1[36] ;
point3:=ch1[38]+ ch1[39] +ch1[40] +ch1[41] +ch1[42 ch1[43] +ch1[44] +ch1[45] +ch1[46] +ch1[47]
      +ch1[48]+ch1[49]+ch1[50]+ch1[51];
PointOpen[facet][2][1]:=strtofloat(point1);
PointOpen[facet][2][2]:=strtofloat(point2);
PointOpen[facet][2][3]:=strtofloat(point3);

Readln(TextSTL,StringObject);
stlcount:=stlcount+1;
stl[stlcount]:=StringObject;
ch1:=trim(StringObject);
point1:=ch1[8]+ ch1[9] +ch1[10] +ch1[11] +ch1[12 ch1[13] +ch1[14] +ch1[15] +ch1[16] +ch1[17]
      +ch1[18] +ch1[19]+ch1[20]+ch1[21];
point2:=ch1[23]+ ch1[24] +ch1[25] +ch1[26] +ch1[27 ch1[28] +ch1[29] +ch1[30] +ch1[31] +ch1[32]
      +ch1[33]+ch1[34]+ch1[35]+ch1[36] ;
point3:=ch1[38]+ ch1[39] +ch1[40] +ch1[41] +ch1[42] +ch1[43] +ch1[44] +ch1[45] +ch1[46]
      +ch1[47] +ch1[48]+ch1[49]+ch1[50]+ch1[51];
PointOpen[facet][3][1]:=strtofloat(point1);
PointOpen[facet][3][2]:=strtofloat(point2);
PointOpen[facet][3][3]:=strtofloat(point3);
end;
end;
if (checkcad='3D Studio MAX') then

// for 3D Studio MAX

begin
Readln(TextSTL,StringObject);
stlcount:=stlcount+1;
stl[stlcount]:=StringObject;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ch1:=trim(StringObject);
checkvertex:=ch1[1]+ch1[2]+ch1[3]+ch1[4]+ch1[5]+ch1[6];
if (checkvertex='vertex')then
begin
 point1:=ch1[8]+
ch1[9]+ch1[10]+ch1[11]+ch1[12]+ch1[13]+ch1[14]+ch1[15]+ch1[16]+ch1[17]+ch1[18]+ch1[19]+ch1[20];
 point2:=ch1[22]+ch1[23]+
ch1[24]+ch1[25]+ch1[26]+ch1[27]+ch1[28]+ch1[29]+ch1[30]+ch1[31]+ch1[32]+ch1[33]+ch1[34];
 point3:=ch1[36]+ch1[37]+ch1[38]+
ch1[39]+ch1[40]+ch1[41]+ch1[42]+ch1[43]+ch1[44]+ch1[45]+ch1[46]+ch1[47]+ch1[48];
 facet:=facet+1;
 PointOpen[facet][1][1]:=strtofloat(point1);
 PointOpen[facet][1][2]:=strtofloat(point2);
 PointOpen[facet][1][3]:=strtofloat(point3);

 Readln(TextSTL,StringObject);
 stlcount:=stlcount+1;
 stl[stlcount]:=StringObject;
 ch1:=trim(StringObject);
 point1:=ch1[8]+
ch1[9]+ch1[10]+ch1[11]+ch1[12]+ch1[13]+ch1[14]+ch1[15]+ch1[16]+ch1[17]+ch1[18]+ch1[19]+ch1[20];
 point2:=ch1[22]+ch1[23]+
ch1[24]+ch1[25]+ch1[26]+ch1[27]+ch1[28]+ch1[29]+ch1[30]+ch1[31]+ch1[32]+ch1[33]+ch1[34];
 point3:=ch1[36]+ch1[37]+ch1[38]+
ch1[39]+ch1[40]+ch1[41]+ch1[42]+ch1[43]+ch1[44]+ch1[45]+ch1[46]+ch1[47]+ch1[48];
 PointOpen[facet][2][1]:=strtofloat(point1);
 PointOpen[facet][2][2]:=strtofloat(point2);
 PointOpen[facet][2][3]:=strtofloat(point3);

 Readln(TextSTL,StringObject);
 stlcount:=stlcount+1;
 stl[stlcount]:=StringObject;
 ch1:=trim(StringObject);
 point1:=ch1[8]+
ch1[9]+ch1[10]+ch1[11]+ch1[12]+ch1[13]+ch1[14]+ch1[15]+ch1[16]+ch1[17]+ch1[18]+ch1[19]+ch1[20];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        point2:=ch1[22]+ch1[23]+
ch1[24]+ch1[25]+ch1[26]+ch1[27]+ch1[28]+ch1[29]+ch1[30]+ch1[31]+ch1[32]+ch1[33]+ch1[34];
        point3:=ch1[36]+ch1[37]+ch1[38]+
ch1[39]+ch1[40]+ch1[41]+ch1[42]+ch1[43]+ch1[44]+ch1[45]+ch1[46]+ch1[47]+ch1[48];
         PointOpen[facet][3][1]:=strtofloat(point1);
         PointOpen[facet][3][2]:=strtofloat(point2);
         PointOpen[facet][3][3]:=strtofloat(point3);
        end;
       end;
      end;
      CloseFile(TextSTL);
      checkresult;
      calculate;

      if (checkcad='AutoCAD') then
       edit2.text:='Mechanical Desktop';
      if (checkcad='3D Studio MAX') then
       edit2.text:='3D Studio MAX';
      edit1.text:= opendialog1.filename;
      edit3.text:= floattostr(facet);
      edit4.text:= floattostr((facet)*3);
    end;
  end;


  procedure TMain.Exit1Click(Sender: TObject);
  begin
   if (checklanguage='thai')  then
   begin
    messagebeep(0);
    if MessageDlg('คุณกำลังจะออกจากโปรแกรม ?',mtConfirmation,[mbYes,mbNo],0)= mrYes then
     form1.show;
     form1.close;
    end
    else
    begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  messagebeep(0);
  if MessageDlg('Are you sure to EXIT program ?',mtConfirmation,[mbYes,mbNo],0)= mrYes then
   form1.show;
   form1.close;
  end;
end;


procedure TMain.English1Click(Sender: TObject);
begin
  checklanguage:='english';   //english
  if (checkopen<>'open') then
  begin
   edit1.text:='NONE';
   edit2.text:='NONE';
  end;
  File1.Caption:='&File';
  Open1.Caption:='&Open';
  Exit1.Caption:='E&xit';
  View1.Caption:='&View';
  STLFile1.Caption:='&STL File';
  ChangeViewpoint1.Caption:='&Change View point';
  TopView1.Caption:='&Top View';
  FrontView1.Caption:='&Front View';
  LeftView1.Caption:='&Left View';
  RightView1.Caption:='&Right View';
  Isometric1.Caption:='&Isometric';
  custom1.caption:='&Custom';
  zoom1.caption:='&Zoom';
  Move1.Caption:='&Move';
  Up1.Caption:='&Up';
  Down1.Caption:='&Down';
  Left1.Caption:='&Left';
  Right1.Caption:='&Right';
  Object1.Caption:='&Object';
  cmtomm1.Caption:='&cm to mm';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
inchtomm1.Caption:='inch to cm';
custom2.caption:='&Custom';
Defalt1.Caption:='&Defalt';
HatchRange1.caption:='&Hatch Range';
SlideLayer1.Caption:='&Slice Layer';
Continuous1.Caption:='&Continuous';
ByLayer1.Caption:='&By Layer';
Operation1.Caption:='&Operation';
Continuous2.Caption:='&Continuous';
ByLayer2.Caption:='&By Layer';
Help1.Caption:='&Help';
About1.Caption:='&About';
Aboutprogram1.caption:='About &Program';
RapidPrototype1.Caption:='&Rapid Prototype';
AboutUs1.Caption:='About &Us';
ThicknessLayer1.Caption:='&Thickness Layer';
label1.caption:='File Name';
label2.caption:='File From';
label3.caption:='Number of Facet';
label4.caption:='Number of Line';
label5.caption:='Height';
label6.caption:='Wide';
label7.caption:='Length';
label8.caption:='Layer Thickness';
label9.caption:='Number of Layer';
label10.caption:='Rotation  X - Axis';
label11.caption:='Rotation  Y - Axis';
label12.caption:='Rotation  Z - Axis';
label13.Caption:='Please  Open  STL  File';
Language1.caption:='&Language';
statusbar1.Panels.Items[0].Text:='F1 : MOVE UP';
statusbar1.Panels.Items[1].Text:='F2 : MOVE DOWN';
statusbar1.Panels.Items[2].Text:='F3 : MOVE LEFT';
statusbar1.Panels.Items[3].Text:='F4 : MOVE RIGHT';
aboutprogram1.caption:='About &Program';
toolbutton1.hint:='Open ';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
toolbutton2.hint:='Top View';
toolbutton3.hint:='Front View';
toolbutton4.hint:='Left View';
toolbutton5.hint:='Right View';
toolbutton6.hint:='Isometric View';
toolbutton7.hint:='Move Up';
toolbutton8.hint:='Move Down';
toolbutton9.hint:='Move Left';
toolbutton10.hint:='Move Right';
toolbutton11.hint:='Scale';
toolbutton12.hint:='Zoom';
toolbutton13.hint:='Slice Layer';
toolbutton14.hint:='Color';
toolbutton16.hint:='English';
toolbutton15.hint:='Operation';
form3.label1.caption:='STL File';
form3.label2.caption:='Number of Facet';
form5.Label2.caption:='Industrial Engineering Department';
form5.Label3.caption:='King Mongkut""s Institute of Technology Ladkrabang';
form5.Label4.caption:='Version 1.0';
form5.Label5.caption:='Faculty of Engineering';
form5.caption:='About Program';
form6.caption:='Help';
form6.tabsheet1.caption:='Open File';
form6.tabsheet2.caption:='Object';
form6.tabsheet3.caption:='Viewpoint';
form6.tabsheet4.caption:='Move';
form6.tabsheet5.caption:='Zoom';
form6.tabsheet6.caption:='Slice Layer';
form6.tabsheet7.caption:='Operation';
us.tabsheet1.caption:='Nipan Boonbandarn' ;
us.tabsheet2.caption:='Surasak Bongkotpannarai' ;
us.tabsheet3.caption:='Komsan Rawiwan' ;
us.tabsheet4.caption:='My Advisor' ;
us.tabsheet5.caption:='Jiraphat Thansandose' ;
us.tabsheet6.caption:='My Group' ;
```

เอกสารนี้ใช้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 us.caption:='ABOUT US';
 us.label22.caption:='Pollachai  Chotiprayanakil';
end;


procedure TMain.N4Click(Sender: TObject);
begin
 if (checkopen<>'open') then
 begin
  edit1.text:='ไม่มี';
  edit2.text:='ไม่มี';
 end;
 HatchRange1.caption:='ระยะห่างการระบาย';
 custom1.caption:='กำหนดเอง';
 zoom1.caption:='ย่อ-ขยาย';
 checklanguage:='thai';
 File1.Caption:='แฟ้ม';
 Open1.Caption:='เปิด';
 Exit1.Caption:='ปิด';
 View1.Caption:='มุมมอง';
 STLFile1.Caption:='ข้อมูล STL';
 ChangeViewpoint1.Caption:='เปลี่ยนมุมมอง';
 TopView1.Caption:='ด้านบน';
 FrontView1.Caption:='ด้านหน้า';
 LeftView1.Caption:='ด้านซ้าย';
 RightView1.Caption:='ด้านขวา';
 Isometric1.Caption:='ภาพ 3 มิติ';
 Move1.Caption:='เคลื่อนย้าย';
 Up1.Caption:='ขึ้น';
 Down1.Caption:='ลง';
 Left1.Caption:='ซ้าย';
 Right1.Caption:='ขวา';
 Object1.Caption:='หน่วย';
 cmtomm1.Caption:='cm เป็น mm';
 custom2.caption:='กำหนดเอง';
 inchtomm1.Caption:='นิ้ว เป็น cm';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Defalt1.Caption:='ค่าเดิม';
SlideLayer1.Caption:='ตัดระนาบ';
Continuous1.Caption:='ต่อเนื่อง';
ByLayer1.Caption:='กำหนดระนาบ';
Operation1.Caption:='ดำเนินการ';
Continuous2.Caption:='ต่อเนื่อง';
ByLayer2.Caption:='กำหนดระนาบ';
Help1.Caption:='ช่วยเหลือ';
About1.Caption:='ข้อมูล';
AboutUs1.Caption:='ผู้จัดทำ';
Aboutprogram1.caption:='โปรแกรม';
ThicknessLayer1.Caption:='ความสูงของระนาบ';
label1.caption:='ชื่อไฟล์';
label2.caption:='ที่มาของไฟล์';
label3.caption:='จำนวน facet';
label4.caption:='จำนวนเส้น';
label5.caption:='ความสูง';
label6.caption:='ความกว้าง';
label7.caption:='ความยาว';
label8.caption:='ความหนาของชั้น';
label9.caption:='จำนวนชั้น';
label10.caption:='หมุนตามแกน X';
label11.caption:='หมุนตามแกน Y';
label12.caption:='หมุนตามแกน Z';
label13.Caption:='กรุณาเปิดไฟล์ STL';
statusbar1.Panels.Items[0].Text:='F1 : เลื่อนขึ้น';
statusbar1.Panels.Items[1].Text:='F2 : เลื่อนลง';
statusbar1.Panels.Items[2].Text:='F3 : เลื่อนซ้าย';
statusbar1.Panels.Items[3].Text:='F4 : เลื่อนขวา';
Language1.caption:='ภาษา';
toolbutton1.hint:='เปิดไฟล์';
toolbutton2.hint:='ด้านบน';
toolbutton3.hint:='ด้านหน้า';
toolbutton4.hint:='ด้านซ้าย';
toolbutton5.hint:='ด้านขวา';
toolbutton6.hint:='ภาพ 3 มิติ';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
toolbutton7.hint:='ขึ้น';
toolbutton8.hint:='ลง';
toolbutton9.hint:='ซ้าย';
toolbutton10.hint:='ขวา';
toolbutton11.hint:='สเกล';
toolbutton12.hint:='ย่อ-ขยาย';
toolbutton13.hint:='ตัดระนาบ';
toolbutton14.hint:='สี';
toolbutton15.hint:='ขึ้นรูปชิ้นงาน';
toolbutton16.hint:='ภาษาอังกฤษ';
form3.label1.caption:='ข้อมูล STL';
form3.label2.caption:='จำนวน Facet';
form3.label1.caption:='ข้อมูล STL';
form3.label2.caption:='จำนวน Facet';
form5.Label2.caption:='ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ';
form5.Label3.caption:='สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง';
form5.Label4.caption:='เวอร์ชั่น 1.0';
form5.caption:='รายละเอียดโปรแกรม';
form5.Label5.caption:='คณะวิศวกรรมศาสตร์';
form6.caption:='ช่วยเหลือ';
form6.tabsheet1.caption:='เปิดไฟล์';
form6.tabsheet2.caption:='วัตถุ';
form6.tabsheet3.caption:='มุมมอง';
form6.tabsheet4.caption:='เคลื่อนย้าย';
form6.tabsheet5.caption:='ย่อ - ขยาย';
form6.tabsheet6.caption:='ตัดระนาบ';
form6.tabsheet7.caption:='ดำเนินการ';
us.tabsheet1.caption:='นิพันธ์ บุญบันดาล' ;
us.tabsheet2.caption:='สุรศักดิ์ บงกชพรรณราย' ;
us.tabsheet3.caption:='คมสัน ระวิวรรณ' ;
us.tabsheet4.caption:='อาจารย์ที่ปรึกษา' ;
us.tabsheet5.caption:='จิรพัฒน์ ฐานสันโดษ' ;
us.tabsheet6.caption:='ผู้จัดทำ' ;
us.caption:='ผู้จัดทำ';
us.label22.caption:='อาจารย์ พลชัย  โชติปรายนกุล';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;


procedure TMain.UpDown1Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
begin
  edit10.text:=inttostr(updown1.position);
  calculate;
end;


procedure TMain.UpDown2Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
begin
  edit11.text:=inttostr(updown2.position);
  calculate;
end;


procedure TMain.UpDown3Click(Sender: TObject; Button: TUDBtnType);
begin
  edit12.text:=inttostr(updown3.position);
  calculate;
end;


procedure TMain.ScrollBar1Change(Sender: TObject);
begin
  calculate;
end;


procedure TMain.ScrollBar2Change(Sender: TObject);
begin
  calculate;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TMain.FrontView1Click(Sender:TObject);
begin
 checkstatus:='frontview' ;
 scrollbar1.position:=0;
 scrollbar2.position:=0;
 updown1.position:=-90;
 updown2.position:=0;
 updown3.position:=0;
 calculate;
end;


procedure TMain.LeftView1Click(Sender: TObject);
begin
  checkstatus:='leftview' ;
  scrollbar1.position:=0;
  scrollbar2.position:=0;
  updown1.position:=0;
  updown2.position:=-90;
  updown3.position:=90;
  calculate;
end;


 procedure TMain.RightView1Click(Sender: TObject);
 begin
    checkstatus:='rightview';
    scrollbar1.position:=0;
    scrollbar2.position:=0;
    updown1.position:=0;
    updown2.position:=90;
    updown3.position:=-90;
    calculate;
 end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TMain.TopView1Click(Sender: TObject);
begin
   checkstatus:='topview';
   scrollbar1.position:=0;
   scrollbar2.position:=0;
   updown1.position:=0;
   updown2.position:=0;
   updown3.position:=0;
   calculate;
end;


procedure TMain.Isometric1Click(Sender: TObject);
begin
   checkstatus:='isoview';
   scrollbar1.position:=0;
   scrollbar2.position:=0;
   updown1.position:=-35;
   updown2.position:=-45;
   updown3.position:=60;
   calculate;
end;


procedure TMain.Up1Click(Sender: TObject);
begin
   movedown:=movedown-10;
   calculate;
end;


procedure TMain.Down1Click(Sender: TObject);
begin
   movedown:=movedown+10;
   calculate;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
end;


procedure TMain.Right1Click(Sender: TObject);
begin
  moveright:=moveright+10;
  calculate;
end;


procedure TMain.Left1Click(Sender: TObject);
begin
  moveright:=moveright-10;
  calculate;
end;


procedure TMain.N1001Click(Sender: TObject);
begin
  strzoom:='200';
  zoom:=2;
  calculate;
end;


procedure TMain.N1501Click(Sender: TObject);
begin
  strzoom:='150';
  zoom:=1.5;
  calculate;
end;


procedure TMain.N1002Click(Sender: TObject);
begin
  strzoom:='100';
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  zoom:=1;
  calculate;
end;


procedure TMain.N751Click(Sender: TObject);
begin
  strzoom:='75';
  zoom:=0.75;
  calculate;
end;


procedure TMain.N501Click(Sender: TObject);
begin
  strzoom:='50';
  zoom:=0.5;
  calculate;
end;


procedure TMain.Custom1Click(Sender: TObject);
begin
  if (checklanguage<>'thai') then
    inputquery('ZOOM','Input to Zoom (%)',strzoom)
  else
    inputquery('ย่อ-ขยาย','กำหนดอัตราส่วน (%)',strzoom);
  zoom:=(strtofloat(strzoom))/100;
  calculate;
end;


procedure TMain.cmtomm1Click(Sender: TObject);
begin
  strobj:='1000';
  obj:=10;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  checkresult;
  calculate;
end;


procedure TMain.inchtomm1Click(Sender: TObject);
begin
  strobj:='254';
  obj:=2.54;
  checkresult;
  calculate;
end;

procedure TMain.Defalt1Click(Sender: TObject);
begin
  strobj:='100';
  obj:=1;
  checkresult;
  calculate;
end;


procedure TMain.Custom2Click(Sender: TObject);
begin
  if (checklanguage<>'tha:') then
    inputquery('Object Size','Input to Change Object Size (%)',strobj)
  else
    inputquery('ขนาดวัตถุ','กรุณาใส่อัตราส่วนการเปลี่ยนขนาดวัตถุ (%)',strobj) ;
  obj:=(strtofloat(strobj))/100;
  checkresult;
  calculate;
end;


procedure TMain.ThicknessLayer1Click(Sender: TObject);
begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (checklanguage<>'thai') then
  inputquery('Thickness Layer','Input Thickness Layer',strthickness)
 else
  inputquery('ความสูงของระนาบ','กรุณาใส่ความสูงของระนาบ',strthickness);
 edit8.text:=strthickness ;
 thickness:=strtofloat(edit8.text);
 checkresult;
 calculate;
end;

procedure SortLayer;
begin
// set first point
 for aa:=1 to 10000 do
 begin
  pp[aa][1][1]:=0;
  pp[aa][1][2]:=0;
  pp[aa][2][1]:=0;
  pp[aa][2][2]:=0;
 end;

 pp[1][1][1]:=advance[1][1][1];
 pp[1][1][2]:=advance[1][1][2];
 pp[1][2][1]:=advance[1][2][1];
 pp[1][2][2]:=advance[1][2][2];
 advance[1][1][3]:=100;

 for aa:= 1 to count do
 begin//1
  CheckChange :=0;
  ii:=1 ; jj:=1 ;
  while (CheckChange =0) do
  begin//2
   if((ii<= count)) then
   begin//3
    if((pp[aa][2][1]=advance[ii+1][1][1])and(pp[aa][2][2]=advance[ii+1][1][2])) then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin//4
 checkchange:=1;
 pp[aa+1][1][1]:=advance[ii+1][1][1];
 pp[aa+1][1][2]:=advance[ii+1][1][2];
 pp[aa+1][2][1]:=advance[ii+1][2][1];
 pp[aa+1][2][2]:=advance[ii+1][2][2];

 end//4
 else
  ii:=ii+1;
end ;//3

if ((ii>count)and(jj<count+1))then
begin//5
 //jj:=0;
 while ((CheckChange =0)and(jj<count+1)) do
 begin//6
  if((pp[aa][2][2]=advance[jj+1][2][2])and(pp[aa][2][1]=advance[ii+1][2][1])) then
  begin//7
   checkchange:=1;
   pp[aa+1][1][1]:=advance[jj+1][2][1];
   pp[aa+1][1][2]:=advance[jj+1][2][2];
   pp[aa+1][2][1]:=advance[jj+1][1][1];
   pp[aa+1][2][2]:=advance[jj+1][1][2];
  end//7
  else
   jj:=jj+1;
  end;//6
 end;//5
end;//2
end;//1
end;

procedure HatchX ;
begin
 xxx:=0.0001;
```

เอกสารนี้ใช้เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
i:=0;

while xxx<=500.00001 do
begin
 i:=i+1;
 iii:=0;
 for ppp:= 1 to count do
 begin

if((advance[ppp][1][1]<=xxx)and(xxx<=advance[ppp][2][1]))or((advance[ppp][2][1]<=xxx)and(xxx<=advanc
e[ppp][1][1])) then
   begin
    iii:=iii+1;
    hatchver[iii]:=((((advance[ppp][1][1])-xxx)*(advance[ppp][2][2]))-                    (((advance[ppp][2][1])-
xxx)*(advance[ppp][1][2])))/((advance[ppp][1][1])-(advance[ppp][2][1]));
   end;
 end;

 ooo:=1;
 if (iii>0) then
 begin
  for kkk :=0 to 100 do
   checkhatch[kkk]:=false;
  for nnn:=1 to iii do
  begin
   minimum :=10000;
   for mmm:=1 to iii do
   begin
    if((hatchver[mmm]<=minimum) and (checkhatch[mmm]=false)) then
    begin
     minimum:=hatchver[mmm];
    end;
   end;
   hatchvertical[i,nnn]:=minimum;

    for jjj:=1 to iii do
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 begin
  if (hatchver[jjj]=minimum) then
  begin
   checkhatch[jjj]:= true;
  end;
 end;
end;
if (checkoperation =true) then
begin

 main.canvas.lineto(trunc((xxx)+130),trunc((hatchvertical[i][ooo])+110));

 delay2(200);
end;

 while ooo<=iii do
 begin

  main.canvas.moveto(trunc((xxx)+130),trunc((hatchvertical[i][ooo])+110));
  main.canvas.lineto(trunc((xxx)+130),trunc((hatchvertical[i][ooo+1])+110));

  if (checkoperation =true) then
  delay2(200);
  ooo:=ooo+2;
 end;
end;
xxx:=xxx+HatchRange;

// test //


i:=i+1;
 iii:=0;
 for ppp:= 1 to count do
 begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if(((advance[ppp][1][1]<=xxx)and(xxx<=advance[ppp][2][1]))or((advance[ppp][2][1]<=xxx)and(xxx<=advanc
e[ppp][1][1]))) then
    begin
     iii:=iii+1;
     hatchver[iii]:=((((advance[ppp][1][1])-xxx)*(advance[ppp][2][2]))-                    (((advance[ppp][2][1])-
xxx)*(advance[ppp][1][2])))/((advance[ppp][1][1])-(advance[ppp][2][1]));
    end;
   end;

   if (iii>0) then
   begin
    for kkk :=0 to 100 do
     checkhatch[kkk]:=false;
    for nnn:=1 to iii do
    begin
     minimum :=10000;
     for mmm:=1 to iii do
     begin
      if((hatchver[mmm]<=minimum) and (checkhatch[mmm]=false)) then
      begin
       minimum:=hatchver[mmm];
      end;
     end;
     hatchvertical[i,nnn]:=minimum;

     for jjj:=1 to iii do
     begin
      if (hatchver[jjj]=minimum) then
      begin
       checkhatch[jjj]:= true;
      end;
     end;

    end;
     ooo:=iii;
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (checkoperation =true) then
begin

 main.canvas.lineto(trunc((xxx)+130),trunc((hatchvertical[i][ooo])+110));

 delay2(200);
end;
while ooo>=1 do
begin

 main.canvas.moveto(trunc((xxx)+130),trunc((hatchvertical[i][ooo])+110));
 main.canvas.lineto(trunc((xxx)+130),trunc((hatchvertical[i][ooo-1])+110));

 if (checkoperation =true) then
 delay2(200);
 ooo:=ooo-2;
 end;
end;
xxx:=xxx+HatchRange;

end;
end;



procedure operate ;
begin
 xxx:=0.0001;
 i:=0;

 while xxx<=500.00001 do
 begin
  i:=i+1;
  iii:=0;
  for ppp:= 1 to count do
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 begin

if(((advance[ppp][1][1]<=xxx)and(xxx<=advance[ppp][2][1]))or((advance[ppp][2][1]<=xxx)and(xxx<=advanc
e[ppp][1][1]))) then
   begin
    iii:=iii+1;
    hatchver[iii]:=((((advance[ppp][1][1])-xxx)*(advance[ppp][2][2]))-                    (((advance[ppp][2][1])-
xxx)*(advance[ppp][1][2])))/((advance[ppp][1][1])-(advance[ppp][2][1]));
   end;
  end;


  ooo:=1;
  if (iii>0) then
  begin
   for kkk :=0 to 100 do
    checkhatch[kkk]:=false;
   for nnn:=1 to iii do
   begin
    minimum :=10000;
    for mmm:=1 to iii do
    begin
     if((hatchver[mmm]<=minimum) and (checkhatch[mmm]=false)) then
     begin
      minimum:=hatchver[mmm];
     end;
    end;
    hatchvertical[i,nnn]:=minimum;


    for jjj:=1 to iii do
    begin
     if (hatchver[jjj]=minimum) then
     begin
      checkhatch[jjj]:= true;
     end;
    end;
    end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (checkoperation =true) then
begin

 main.canvas.lineto(trunc((xxx)+130),trunc((hatchvertical[i][ooo])+110));
 dda(trunc(xxx*40/2.7),trunc(hatchvertical[i][ooo]*40/2.7),sumz);


end;

 while ooo<=iii do
 begin

  main.canvas.moveto(trunc((xxx)+130),trunc((hatchvertical[i][ooo])+110));
  main.canvas.lineto(trunc((xxx)+130),trunc((hatchvertical[i][ooo+1])+110));
  dda(trunc(xxx*40/2.7),trunc(hatchvertical[i][ooo+1]*40/2.7),sumz);

  if (checkoperation =true) then

  ooo:=ooo+2;
 end;
end;
xxx:=xxx+HatchRange;

i:=i+1;
 iii:=0;
 for ppp:= 1 to count do
 begin

if(((advance[ppp][1][1]<=xxx)and(xxx<=advance[ppp][2][1]))or((advance[ppp][2][1]<=xxx)and(xxx<=advanc
e[ppp][1][1])) then
   begin
    iii:=iii+1;
    hatchver[iii]:=((((advance[ppp][1][1])-xxx)*(advance[ppp][2][2]))-                    (((advance[ppp][2][1])-
xxx)*(advance[ppp][1][2])))/((advance[ppp][1][1])-(advance[ppp][2][1]));
   end;
 end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (iii>0) then
begin
 for kkk :=0 to 100 do
  checkhatch[kkk]:=false;
 for nnn:=1 to iii do
 begin
  minimum :=10000;
  for mmm:=1 to iii do
  begin
   if((hatchver[mmm]<=minimum) and (checkhatch[mmm]=false)) then
   begin
    minimum:=hatchver[mmm];
   end;
  end;
  hatchvertical[i,nnn]:=minimum;

  for jjj:=1 to iii do
  begin
   if (hatchver[jjj]=minimum) then
   begin
    checkhatch[jjj]:= true;
   end;
  end;

 end;
 ooo:=iii;
 if (checkoperation =true) then
 begin

  main.canvas.lineto(trunc((xxx)+130),trunc((hatchvertical[i][ooo])+110));
  dda(trunc(xxx*40/2.7),trunc(hatchvertical[i][ooo]*40/2.7),sumz);

 end;
 while ooo>=1 do
 begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    main.canvas.moveto(trunc((xxx)+130),trunc((hatchvertical[i][ooo])+110));
    main.canvas.lineto(trunc((xxx)+130),trunc((hatchvertical[i][ooo-1])+110));
    dda(trunc(xxx*40/2.7),trunc(hatchvertical[i][ooo-1]*40/2.7),sumz);

    if (checkoperation =true) then
    ooo:=ooo-2;
   end;
  end;
  xxx:=xxx+HatchRange;

 end;
end;


procedure HatchY ;
begin
 xxx:=0.0001;
 i:=0;

 while xxx<=500.00001 do
 begin
  i:=i+1;
  iii:=0;
  for ppp:= 1 to count do
  begin

 if(((advance[ppp][1][2]<=xxx)and(xxx<=advance[ppp][2][2]))or((advance[ppp][2][2]<=xxx)and(xxx<=advanc
 e[ppp][1][2]))) then
    begin
     iii:=iii+1;
     hatchver[iii]:=((((advance[ppp][1][2])-xxx)*(advance[ppp][2][1]))-                    (((advance[ppp][2][2])-
 xxx)*(advance[ppp][1][1])))/((advance[ppp][1][2])-(advance[ppp][2][2]));
    end;
   end;

    ooo:=1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if (iii>0) then
begin
 for kkk :=0 to 100 do
  checkhatch[kkk]:=false;
 for nnn:=1 to iii do
 begin
  minimum :=10000;
  for mmm:=1 to iii do
  begin
   if((hatchver[mmm]<=minimum) and (checkhatch[mmm]=false)) then
   begin
    minimum:=hatchver[mmm];
   end;
  end;
  hatchvertical[i,nnn]:=minimum;

  for jjj:=1 to iii do
  begin
   if (hatchver[jjj]=minimum) then
   begin
    checkhatch[jjj]:= true;
   end;
  end;
 end;
 while ooo<=iii do
 begin
  main.canvas.moveto(trunc((hatchvertical[i][ooo])+130),trunc((xxx)+110));
  main.canvas.lineto(trunc((hatchvertical[i][ooo+1])+130),trunc((xxx)+110));
  ooo:=ooo+2;
 end;
end;
xxx:=xxx+HatchRange;
end;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TMain.Continuous1Click(Sender: TObject);   // slide
begin
 checkoperation :=false;
 panel2.visible:=false;
 panel10.visible:=true;
 loop:=0;
 kz:=zmin+0.001 ;

 for a:= 1 to 10000 do
 begin
  advance[a][1][1] :=0;
  advance[a][1][2] :=0;
  advance[a][2][1] :=0;
  advance[a][2][2] :=0;
 end;

 while((kz>=zmin)and(kz<=(zmax+thickness)))do
 begin  //1
  loop:=loop+1;
  label14.caption:=floattostr(loop);
  count := 0;
  for checkslide:=1 to facet do
  begin //2

if(((kz=PointToCal[checkslide][1][3])and(kz=PointToCal[checkslide][2][3])and(kz=PointToCal[checkslide][3]
[3]))                                                                                    or
((kz>PointToCal[checkslide][1][3])and(kz>PointToCal[checkslide][2][3])and(kz>PointToCal[checkslide][3][3]
))                                                                                       or
((kz<PointToCal[checkslide][1][3])and(kz<PointToCal[checkslide][2][3])and(kz<PointToCal[checkslide][3][3]
))) then
    begin//
    end  //
    else
    begin //3 for else
     count:=count+1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if((PointToCal[checkslide][1][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][2][3]<=kz)and(PointToCal[checkslide][3][3
]<=kz)and(PointToCal[checkslide][1][3]>=PointToCal[checkslide][2][3])and(PointToCal[checkslide][1][3]>=P
ointToCal[checkslide][3][3])) then
    begin//4(case 1 )
        advance[count][1][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
        advance[count][1][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
        advance[count][2][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
      advance[count][2][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
      advance[count][1][3] := 10;
    end;//4


if((PointToCal[checkslide][1][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][3][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][2][3
]<=kz)and(PointToCal[checkslide][1][3]>=PointToCal[checkslide][2][3])and(PointToCal[checkslide][3][3]>=P
ointToCal[checkslide][2][3])) then
        begin //5(case2)
      advance[count][1][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide,1,3]));
        advance[count][1][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
        advance[count][2][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        advance[count][2][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
      advance[count][1][3] := 10;
     end;//5


if((PointToCal[checkslide][2][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][1][3]<=kz)and(PointToCal[checkslide][3][3
]<=kz)and(PointToCal[checkslide][2][3]>=PointToCal[checkslide][1][3])and(PointToCal[checkslide][2][3]>=P
ointToCal[checkslide][3][3]))  then
     begin//6(case 3 )
        advance[count][1][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
        advance[count][1][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
        advance[count][2][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
      advance[count][2][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
      advance[count][1][3] := 10;
     end;//6


if((PointToCal[checkslide][2][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][3][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][1][3
]<=kz)and(PointToCal[checkslide][2][3]>=PointToCal[checkslide][1][3])and(PointToCal[checkslide][3][3]>=P
ointToCal[checkslide][1][3])) then
     begin//7(case4)
        advance[count][1][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        advance[count][1][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
        advance[count][2][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
        advance[count][2][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
      advance[count][1][3] := 10;
    end;//7


if((PointToCal[checkslide][3][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][1][3]<=kz)and(PointToCal[checkslide][2][3
]<=kz)and(PointToCal[checkslide][3][3]>=PointToCal[checkslide][1][3])and(PointToCal[checkslide][3][3]>=P
ointToCal[checkslide][2][3])) then
    begin//8(case 5 )
        advance[count][1][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
        advance[count][1][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
        advance[count][2][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
        advance[count][2][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
      advance[count][1][3] := 10;
    end;//8


if((PointToCal[checkslide][1][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][2][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][3][3
]<=kz)and(PointToCal[checkslide][1][3]>=PointToCal[checkslide][3][3])and(PointToCal[checkslide][2][3]>=P
ointToCal[checkslide][3][3])) then
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        begin//9(case6)
          advance[count][1][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
          advance[count][1][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
          advance[count][2][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
          advance[count][2][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
         advance[count][1][3] := 10;
        end;//9
       end;//3
      end;//2

      main.refresh;
      main.canvas.Pen.Color :=clblack;
      main.canvas.brush.color:=clbackground;
      main.canvas.pen.width:=2;
      main.canvas.polygon([point(17,65),point(743,65),point(743,656),point(17,656)]);

      canvas.pen.width:=2;
      canvas.pen.color:=clred;
      main.canvas.polygon([point(130,110),point(630,110),point(630,610),point(130,610)]);

      // SortLayer;

      for i:=1 to count do
      begin
        canvas.pen.width:=2;
        advance[i][1][1]:= (advance[i][1][1]*10)+moveright;
        advance[i][1][2]:= (advance[i][1][2]*10)+movedown;
        advance[i][2][1]:= (advance[i][2][1]*10)+moveright;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 advance[i][2][2]:= (advance[i][2][2]*10)+movedown;
 canvas.MoveTo((trunc(advance[i][2][1])+130),(trunc(advance[i][2][2])+110));
 canvas.LineTo((trunc(advance[i][1][1])+130),(trunc(advance[i][1][2])+110));
end;
canvas.pen.width:=1;


 HatchY;
 HatchX;

 delay2(400) ;
 kz:=kz+thickness;
end;//l

if (checklanguage='thai')  then
begin
  messagebeep(0);
  endslide:= ('ทำการตัดระนาบจำนวน '+floattostr(loop)+' เรียบร้อยแล้ว');
  if MessageDlg(endslide,mtinformation,[mbok],0)= mrok then
    begin
      calculate;
    end;
 end
 else
 begin
   messagebeep(0);
   endslide:='Slice '+floattostr(loop)+' Layers Finished';
   if MessageDlg(endslide,mtinformation,[mbok],0)= mrok then
   begin
     calculate;
    end;
  end;
  panel10.visible:=false ;
  panel2.visible:=true;
 end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TMain.STLFile1Click(Sender: TObject);
begin
  main.cursor:=crsqlwait;
  for i:=form3.memo1.lines.count downto 0 do
    form3.memo1.lines.delete(i);
  for i:=1 to stlcount do
  begin
    form3.Memo1.Lines.add(floattostr(i)+'     '+stl[i]) ;
  end;
  form3.Edit1.text := opendialog1.filename;
  form3.Edit2.text := floattostr(facet);
  form3.show;
  main.cursor:=crdefault;
end;


procedure TMain.AboutUs1Click(Sender: TObject);
begin
   us.show;
end;


procedure TMain.AboutProgram1Click(Sender: TObject);
begin
   form5.show;
end;


procedure TMain.Help1Click(Sender: TObject);
begin
   form6.show;
end;


procedure TMain.Color1Click(Sender: TObject);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
begin
  if ColorDialog1.Execute then
  begin
  pee := ColorDialog1.Color;
  calculate;
  end;
end;


procedure TMain.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin
   form1.show;
   form1.close;
end;


procedure TMain.HatchRange1Click(Sender: TObject);
begin
  if (checklanguage<>'thai') then
    inputquery('Hatch Range','Input Hatch Range',strHatchRange)
  else
    inputquery('ระยะห่างการระบาย','กรุณาใส่ระยะห่างการระบาย',strHatchRange);

   HatchRange:=strtofloat(strHatchRange);
   calculate;
  end;

  procedure TMain.Continuous2Click(Sender: TObject); // operation
  begin
    sumx:=0;
    sumy:=0;
    sumz:=0;
    jack:=0;golf:=0;
    checkoperation :=true;
    panel2.visible:=false;
    panel10.visible:=true;
```

เอกสารนี้จัดเก็บไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
loop:=0;
kz:=zmin+0.001 ;

for a:= 1 to 10000 do
begin
 advance[a][1][1] :=0;
 advance[a][1][2] :=0;
 advance[a][2][1] :=0;
 advance[a][2][2] :=0;
end;

while((kz>=zmin)and(kz<=(zmax+thickness)))do
begin  //1
  loop:=loop+1;
  label14.caption:=floattostr(loop);
  count := 0;
  for checkslide:=1 to facet do
  begin //2

if(((kz=PointToCal[checkslide][1][3])and(kz=PointToCal[checkslide][2][3])and(kz=PointToCal[checkslide][3]
                                                                                    or
[3]))
((kz>PointToCal[checkslide][1][3])and(kz>PointToCal[checkslide][2][3])and(kz>PointToCal[checkslide][3][3]
                                                                                    or
))
((kz<PointToCal[checkslide][1][3])and(kz<PointToCal[checkslide][2][3])and(kz<PointToCal[checkslide][3][3]
))) then
     begin//
     end  //
     else
     begin //3 for else
       count:=count+1;

  if((PointToCal[checkslide][1][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][2][3]<=kz)and(PointToCal[checkslide][3][3
  ]<=kz)and(PointToCal[checkslide][1][3]>=PointToCal[checkslide][2][3])and(PointToCal[checkslide][1][3]>=P
  ointToCal[checkslide][3][3]))  then
       begin//4(case 1 )
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        advance[count][1][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
        advance[count][1][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
        advance[count][2][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
      advance[count][2][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
      advance[count][1][3] := 10;
     end;//4


if((PointToCal[checkslide][1][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][3][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][2][3
]<=kz)and(PointToCal[checkslide][1][3]>=PointToCal[checkslide][2][3])and(PointToCal[checkslide][3][3]>=P
ointToCal[checkslide][2][3])) then
        begin //5(case2)
      advance[count][1][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide,1,3]));
        advance[count][1][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
        advance[count][2][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
        advance[count][2][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
      advance[count][1][3] := 10;
     end;//5
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if((PointToCal[checkslide][2][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][1][3]<=kz)and(PointToCal[checkslide][3][3
]<=kz)and(PointToCal[checkslide][2][3]>=PointToCal[checkslide][1][3])and(PointToCal[checkslide][2][3]>=P
ointToCal[checkslide][3][3])) then
    begin//6(case 3 )
        advance[count][1][1] := ((PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
        advance[count][1][2] := ((PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
        advance[count][2][1] := ((PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
     advance[count][2][2] := ((PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
     advance[count][1][3] := 10;
    end;//6


if((PointToCal[checkslide][2][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][3][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][1][3
]<=kz)and(PointToCal[checkslide][2][3]>=PointToCal[checkslide][1][3])and(PointToCal[checkslide][3][3]>=P
ointToCal[checkslide][1][3])) then
    begin//7(case4)
        advance[count][1][1] := ((PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
        advance[count][1][2] := ((PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
        advance[count][2][1] := ((PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        advance[count][2][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
      advance[count][1][3] := 10;
     end;//7


if((PointToCal[checkslide][3][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][1][3]<=kz)and(PointToCal[checkslide][2][3
]<=kz)and(PointToCal[checkslide][3][3]>=PointToCal[checkslide][1][3])and(PointToCal[checkslide][3][3]>=P
ointToCal[checkslide][2][3])) then
     begin//8(case 5 )
        advance[count][1][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
        advance[count][1][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][1][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
        advance[count][2][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
        advance[count][2][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][2][3])-
(PointToCal[checkslide][3][3]));
      advance[count][1][3] := 10;
     end;//8

if((PointToCal[checkslide][1][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][2][3]>=kz)and(PointToCal[checkslide][3][3
]<=kz)and(PointToCal[checkslide][1][3]>=PointToCal[checkslide][3][3])and(PointToCal[checkslide][2][3]>=P
ointToCal[checkslide][3][3])) then
        begin//9(case6)
         advance[count][1][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
         advance[count][1][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][1][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz)  -
(PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][1][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][1][3]));
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            advance[count][2][1]  :=  ((PointToCal[checkslide][2][1])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][3][1])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
            advance[count][2][2]  :=  ((PointToCal[checkslide][2][2])*((PointToCal[checkslide][3][3])-kz) -
(PointToCal[checkslide][3][2])*((PointToCal[checkslide][2][3])-kz))/((PointToCal[checkslide][3][3])-
(PointToCal[checkslide][2][3]));
          advance[count][1][3] := 10;
        end;//9
      end;//3
    end;//2

    main.refresh;
    main.canvas.Pen.Color :=clblack;
    main.canvas.brush.color:=clbackground;
    main.canvas.pen.width:=2;
    main.canvas.polygon([point(17,65),point(743,65),point(743,656),point(17,656)]);

    canvas.pen.width:=2;
    canvas.pen.color:=clred;
    main.canvas.polygon([point(130,110),point(630,110),point(630,610),point(130,610)]);

    for i:=1 to count do
    begin
     canvas.pen.width:=2;
     advance[i][1][1]:= (advance[i][1][1]*10)+moveright;
     advance[i][1][2]:= (advance[i][1][2]*10)+movedown;
     advance[i][2][1]:= (advance[i][2][1]*10)+moveright;
     advance[i][2][2]:= (advance[i][2][2]*10)+movedown;

    end;
    canvas.pen.width:=1;
    if (loop=1) then
    begin
    canvas.moveto(0+130,0+110);
    end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
operate;
for i:=1 to trunc(thickness*400/2.7) do
begin
portout($378,16);
delay1(150000);
portout($378,48);
delay1(150000);
end;

kz:=kz+thickness;
end;//1

if (checklanguage='thai') then
begin
 messagebeep(0);
 endslide:= ('ขึ้นรูปชิ้นงานเรียบร้อย');
 if MessageDlg(endslide,mtinformation,[mbok],0)= mrok then
  begin
   calculate;
  end;
end
else
begin
 messagebeep(0);
 endslide:='Operation Finished';
 if MessageDlg(endslide,mtinformation,[mbok],0)= mrok then
 begin
  calculate;
 end;
end;
 panel10.visible:=false ;
 panel2.visible:=true;

end;
end.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

1. ชื่อ - สกุล นายคมสัน ระวิวรรณ
   วัน/เดือน/ปี เกิด 24 พฤษจิกายน 2521
   การศึกษา
   ประถมศึกษา โรงเรียนอนุบาลชัยภูมิ จังหวัดชัยภูมิ
   มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย จังหวัดนครราชสีมา
   มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนราชสีมาวิทยาลัย จังหวัดนครราชสีมา

2. ชื่อ - สกุล นายจิรพัฒน์ ฐานสันโดษ
   วัน/เดือน/ปี เกิด 27 พฤษภาคม 2522
   การศึกษา
   ประถมศึกษา โรงเรียนเซนต์จอห์น กรุงเทพ ฯ
   มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) 2 กรุงเทพ ฯ
   มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) 2 กรุงเทพ ฯ

3. ชื่อ - สกุล นายนิพันธ์ บุญบันดาล
   วัน/เดือน/ปี เกิด 18 สิงหาคม 2522
   การศึกษา
   ประถมศึกษา โรงเรียนวัดมหาธาตุ จังหวัดราชบุรี
   มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนเบญจมราชูทิศ ราชบุรี จังหวัดราชบุรี
   มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชูทิศ ราชบุรี จังหวัดราชบุรี

4. ชื่อ - สกุล นายสุรศักดิ์ บงกชพรรณราย
   วัน/เดือน/ปี เกิด 13 มกราคม 2522
   การศึกษา
   ประถมศึกษา โรงเรียนป้วยฮั้ว จังหวัดสมุทรปราการ
   มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอัสสัมชัญ สำโรง จังหวัดสมุทรปราการ
   มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอัสสัมชัญ สำโรง จังหวัดสมุทรปราการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้