สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว

The Rapid Prototype Machine

T049864

นาย สุวิทย์ จรจาก

Mr. Suwit Jonjak

นาย เกษมศักดิ์ วงศ์ยศ

Mr. Kasemsak Wongyood

นาย ภูริเดช สัญญาลักษณ์ฤาชัย

Mr. Puridach Sunyaluxruachai

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่..... 49864

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี..... - 2 มิ.ย. 2547

.b.....

.i.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว			
	The Rapid Prototype Machine			
นักศึกษา	นายสุวิทย์	จรจาก	รหัสประจำตัว	43015710
	นายเกษมศักดิ์	วงศ์ยศ	รหัสประจำตัว	43015668
	นายภูริเดช	สัญญาลักษณ์ฤาชัย	รหัสประจำตัว	43015692
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต			
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ			
ปีการศึกษา	2545			

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

(อ. พลชัย โชติปรายนกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว
นักศึกษา	นายสุวิทย์ จรจาก
	นายเกษมศักดิ์ วงศ์ยศ
	นายภูริเดช สัญญาลักษณ์ฤาชัย
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อาจารย์ พลชัย โชติปรายนกุล

บทคัดย่อ

การสร้างชิ้นงานต้นแบบเป็นสิ่งจำเป็นในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ใดขึ้นมาเพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบโครงสร้าง หรือตรวจสอบทางเทคนิค การสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยการเพิ่มเนื้อชิ้นงานและกระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว(RapidPrototype:RP) เป็นการรับข้อมูลโดยตรงจากคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design:CAD)และทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต(Computer Aided Manufacturing: CAM) ในการสร้างชิ้นงาน 3 มิติได้ในระยะเวลาอันสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับการสร้างชิ้นงานต้นแบบแบบดั้งเดิม

รูปแบบการศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการทำงานของ RP เพื่อทำความเข้าใจทางด้านเทคนิค กระบวนการ รวมถึงการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อ CAD/CAM ในรูปของ RP และการสร้างเครื่องมือขึ้นมาใช้งาน โดยได้ทำการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ แบบลามิเนตเมนูเฟคเจอร์ริ่ง(Laminated Object Manufacturing :LOM)ที่เป็นการสร้างชิ้นงานต้นแบบโดยการซ้อนกันเป็นชั้นของกระดาษที่ได้รับการออกแบบมาแล้วจาก CAD ให้เป็นชิ้นงานต้นแบบที่สมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The Rapid Prototype Machine
Students	Mr. SUWIT JORAJARK
	Mr. KASEMSAK WONGYOT
	Mr. PURIDACH SUNYALUXRUACHAI
Degree	Bachelor of Industrial Engineering
Year	2003
Advisor	MR. PHOLCHAI CHOTIPRAYANAKUL

ABSTRACT

Before any products are on production. A prototype was made for shape inspection, technical specification and analyze. Rapid Prototype(RP) are material increased technique. RP workpice 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 development to computer programming for connection CAD/CAM by RP. We selected to study Laminated Object Manufacturing(LOM) technique and make the LOM machine for 3D prototype construction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็วฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำทุกคนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ พลชัย โชติปรายนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง สำหรับความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความเอาใจใส่ในทุกๆด้านตลอดเวลาที่ผ่านมา

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

ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ่มนรรัตน์ สำหรับให้ ความช่วยเหลือ คำแนะนำ ความเอาใจใส่ กำลังใจ และทุกสิ่งทุกอย่างตลอดการศึกษาระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ อุดม อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการที่ได้ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือทางด้านวงจรอิเลคทรอนิคส์

เพื่อนๆ น้องๆ ทุกคน สำหรับ กำลังใจ ความรัก ความผูกพันธ์ ที่สร้างกันมาตลอดระยะเวลา 3 ปีที่ผ่านมา และที่สำคัญที่สุดพวกเรารักภาคนี้เป็นอย่างมาก

นายสุวิทย์ จรจาก
นายเกษมศักดิ์ วงศ์ยศ
นายภูริเดช สัญญาลักษณ์ฤาชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 การสร้างต้นแบบรวดเร็ว	3
2.2 องค์ประกอบชุดขับเคลื่อน	18
2.3 การควบคุมการเคลื่อนที่โดย LINER INTERPOLATION	21
2.4 การออกแบบด้าน SOFTWARE	26
2.5 เลเซอร์ (LASER)	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	37
3.1 การดำเนินงานด้านโครงสร้าง	37
3.2 การดำเนินการด้านวงจรไฟฟ้า	38
3.3 การดำเนินการด้านโปรแกรม	39
3.4 การดำเนินงานด้านการขึ้นรูปชิ้นงาน	39
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	40
4.1 ผลการดำเนินการทางด้าน Hardware	40
4.2 ผลการดำเนินการทางด้านวงจรไฟฟ้า	43
4.3 ผลการดำเนินการทางด้าน Software	44
4.4 ผลการดำเนินการทางด้านการขึ้นรูปชิ้นงาน	45
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน	51
5.1 สรุปผลการดำเนินการทางด้าน Hardware	51
5.2 สรุปผลการดำเนินการทางด้าน Software	51
5.3 สรุปผลการดำเนินการทางด้านการขึ้นรูปชิ้นงาน	51
5.4 แนวทางการพัฒนาสำหรับเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ	
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก แบบรายละเอียดเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างชิ้นงานต้นแบบ 2
รูปที่ 2.2 การมิลลิ่งด้วย เครื่องซีเอ็นซี 5 แกน 3
รูปที่ 2.3 การสร้างชิ้นงาน โดยการวางซ้อนแผ่นวัสดุ 4
รูปที่ 2.4 พิมพ์ซิลิโคนและตัวอย่างชิ้นงานต้นแบบ 4
รูปที่ 2.5 กระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการต่างๆ 5
รูปที่ 2.6 กระบวนการสร้างชิ้นงานด้วยเครื่อง RP 6
รูปที่ 2.7 ฐาน พยุงและฐาน เพื่อรองรับบริเวณที่เป็นช่องว่าง 7
รูปที่ 2.8 ข้อมูลของไฟล์ STL จากวัตถุรูปทรง TETRAHEDRAL 8
รูปที่ 2.9 การแปลง SOLID MODEL ของไฟล์ STL เป็นจำนวนระนาบรูปสามเหลี่ยมหรือ FACET ของรูปทรงเรขาคณิตต่างๆ 8
รูปที่ 2.10 ความถูกต้องและคุณภาพของผิวขึ้นอยู่กับการกำหนดความละเอียดของไฟล์ STL รูปซ้ายกำหนดให้ CHORD LENGTH มาก รูปทรงจึงออกเป็นเหลี่ยม ผิวไม่เรียบต่อเนื่อง เมื่อเปรียบเทียบกับรูปขวาที่มีความละเอียดสูงกว่า 9
รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของเทคโนโลยี SLA 9
รูปที่ 2.12 เครื่อง RP เทคโนโลยี SLA ของบริษัท 3D SYSTEM (ภาพซ้าย) และวิธีการสร้างฐานพยุงของเทคโนโลยี SLA หรือ SUPPORT (ภาพขวา) 10
รูปที่ 2.13 และชิ้นงานที่ใช้เรซินที่เปลี่ยนสีได้ 10
รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของเทคโนโลยี LOM 11
รูปที่ 2.15 ลำดับขั้นตอนการทำงานของเทคโนโลยี LOM 11
รูปที่ 2.16 เครื่อง RP เทคโนโลยี LOM รุ่นเล็กและรุ่นใหญ่ (ปัจจุบันผลิตในประเทศญี่ปุ่น) 11
รูปที่ 2.17 ลำดับขั้นตอนการแกะชิ้นงานและแท่นฐานของชิ้นงานที่สร้างโดยเทคโนโลยี LOM 12
รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบและขั้นตอนการสร้างชิ้นงานของเทคโนโลยี PLT 12
รูปที่ 2.19 เครื่อง RP เทคโนโลยี PLT รุ่น SOLID CENTER KSC-50 และภาพวามแสดงใน และตัวอย่างชิ้นงาน 13
รูปที่ 2.20 แสดงส่วนประกอบของเทคโนโลยี FDM 13
รูปที่ 2.21 เครื่อง RP เทคโนโลยี FDM รุ่น 1650 14
รูปที่ 2.22 ภาพเครื่อง RP รุ่น SINTERSTATION และภาพวาดแสดงส่วนประกอบ ของเทคโนโลยี SLS ของ บ.DTM 14
รูปที่ 2.23 ชิ้นงานที่ได้จากเทคโนโลยีที่ใช้ผงวัสดุในขณะขจัดผงหรือฐานพยุงออก 15
รูปที่ 2.24 แสดงส่วนประกอบของเทคโนโลยี 3DP 15
รูปที่ 2.25 เทคโนโลยี 3DP ใช้เป็น RAPID TOOLING 16
รูปที่ 2.26 แสดงส่วนประกอบของเทคโนโลยี 3DP 16
รูปที่ 2.27 เทคโนโลยี BPM ในเครื่อง MODELMAKER II โดยบริษัท SANDERS PROTOTYPE 17
รูปที่ 2.28 ชิ้นงานตัวอย่าง ภายนอกเครื่อง และห้องสร้างชิ้นงานของเครื่อง ACTUA 2100 (เทคโนโลยี MJM) 17
รูปที่ 2.29 ส่วนประกอบของเทคโนโลยี SGC 18

เอกสารนี้มีไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.31 DIGITAL APPROXIMATION OF A CONTINOUS FUNCTION 21
รูปที่ 2.32 SCHEMATIC DIAGRAM ของ DDA INTEGRATOR 23
รูปที่ 2.33 สัญลักษณ์ของ DDA INTEGRATOR 24
รูปที่ 2.34 ไดอะแกรมของ 2-D INTERPOLATOR 25
รูปที่ 2.35 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วน SOFTWARE 27
รูปที่ 2.36 แสดงสเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตั้งแต่รังสีแกมม่า (γ-RAYS)
จนถึงคลื่นวิทยุ (RADIO WAVE) 28
รูปที่ 2.37 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลเซอร์ (LASER)
กับวิชาการแขนงต่างๆทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 34
รูปที่ 2.38 แสดงระบบเลเซอร์ (LASER SYSTEM) 35
รูปที่ 3.1 แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบจำลองอย่างรวดเร็ว 37
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของระบบควบคุมการทำงาน 38
รูปที่ 3.3 รูปชิ้นงานที่จะทำการตัด 39
รูปที่ 4.1 ชุดขับเคลื่อนแกน X Y Z 41
รูปที่ 4.2 ชุดป้อนกระดาษ 42
รูปที่ 4.3 ชุดขับเคลื่อนม้วนกระดาษและชุดป้อนน้ำให้กับกระดาษ 42
รูปที่ 4.4 ชุดขับเคลื่อนฐานรองรับชิ้นงานและชุดขับเคลื่อนฮีทเตอร์รีดกระดาษ 43
รูปที่ 4.5 ชุดตัด และ เครื่องมือตัด 43
รูปที่ 4.6 วงจรควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมด 44
รูปที่ 4.7 ชุดวงจรไดร์ฟมอเตอร์ 44
รูปที่ 4.8 โปรแกรมควบคุมการทำงาน 45
รูปที่ 4.9 กระดาษที่นำมาทดลอง (ซ้าย) I 125 (ขวา) A 125 46
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการทดลอง 47
รูปที่4.11 การเปรียบเทียบรางน้ำระบบเก่าและใหม่ 50
รูปที่ 4.12 ชิ้นงานเมื่อทำการขึ้นรูป 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ WAVE 19
ตารางที่ 2.2 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ TWO PHASE 20
ตารางที่ 2.3 ขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ HALF-STEP 20
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงรายการวัสดุชุดป้อนกระดาษ 38
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองชนิดของกระดาษ 45
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองอุณหภูมิการรีด (กระดาษ A125) 46
ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองคุณสมบัติของขดลวดความร้อน 47
ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่สร้างขึ้นกับที่มีจำหน่าย 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญของโครงการ

ก่อนการผลิตชิ้นงาน,สินค้า ขึ้นมาสักชิ้นต้องมีขั้นตอนต่างๆมากมายโดยเริ่มจากการวางแผน การกำหนด การออกแบบ เพื่อนำไปสร้างชิ้นงานต้นแบบการสร้างชิ้นงานต้นแบบเพื่อให้เห็นรูปร่าง สัดส่วน ขนาดของชิ้นงานจริงสำหรับใช้ในการตัดสินใจ,ตรวจสอบทางเทคนิค, หรือการวิเคราะห์ทางกล เป็นต้น

กรรมวิธีการสร้างชิ้นงาน มีอยู่หลายแบบด้วยกันเราสามารถแบ่งการขึ้นรูปเป็น 3 ลักษณะ ด้วยกัน ดังนี้

1.การตัดเนื้อวัสดุออก(Subtractive)

2.การเพิ่มเนื้อวัสดุเข้า(Additive)

3.การหล่อขึ้นรูป(Formative)

การสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็วเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ที่ได้ทำการออกแบบมาจาก CAD ขึ้นมาอย่างรวดเร็ว ที่สามารถนำไปสู่ชิ้นงานในลักษณะต่างๆเพื่อกำจัดข้อจำกัดเกี่ยวกับเวลา การเตรียมชิ้นงานเบื้องต้น การเตรียมเครื่องมือและเครื่องจักร ในการสร้างต้นแบบในลักษณะเดิม โยหลักการทำงาน เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานหรือแบบ(model) โดยวิธีการแบ่งชิ้นส่วนนั้นออกเป็นชั้นเรียบ(layer) ตามแนวนอนเป็นแผ่นบางๆ ขนานกัน เริ่มจากฐานไปยังส่วนยอดของชิ้นงาน ฉะนั้น เมื่อนำชิ้นส่วนเหล่านั้นมาวางซ้อนทับกัน ก็สามารถสร้างขึ้นเป็นชิ้นงานตามต้องการได้ โดยที่ชิ้นงานที่ได้จากเครื่อง RP ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบและแก้ไขก่อนส่งต่อไปยัง CAM การสูญเสียเวลาจากการทำต้นแบบยังน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการแก้ไขที่เกิดขึ้นในสายการผลิต

1.2 วัตถุประสงค์

1.เพื่อสร้างแบบจำลองชิ้นงาน

2.แบบจำลองก่อนการผลิตจริงเพื่อให้เห็นเป็นรูปร่างก่อนการวางแผนการผลิตชิ้นงาน

3.เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสร้างแบบจำลองโดยวิธีการ Machine โดยเครื่องจักร

4.ลดเวลาการสร้างแบบจำลอง

5.ศึกษาการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อเชื่อมต่อ CAD/CAM

1.3 ขอบเขตการศึกษา

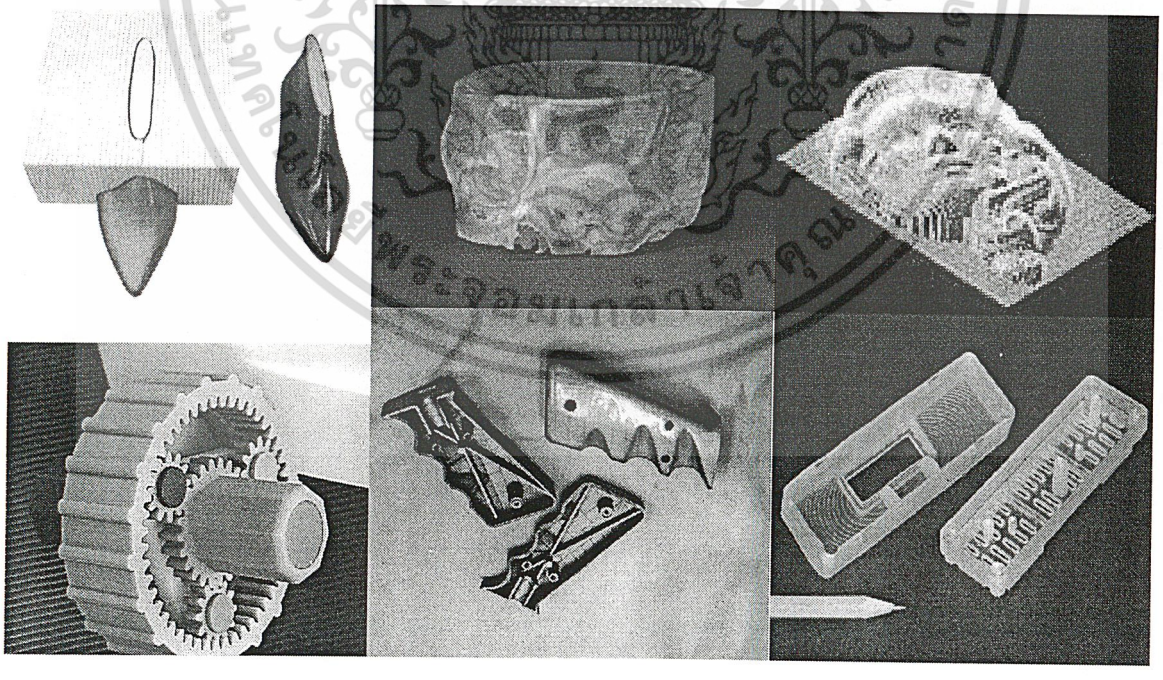
ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาการสร้างชิ้นงานของ Rapid Prototype ระบบ LOM ซึ่งเป็นการขึ้นรูปชิ้นงานโดยการออกแบบใน CAD เป็นภาพ 3 มิติแล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการสไลท์แบบเป็นชั้นๆ โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะนำแต่ละชั้นตั้งแต่ชั้นล่างสุดมาตัดตามแบบ โดยมีกระดาษเป็นวัตถุดิบและชุดหัวตัดเป็นตัวตัดแผ่นกระดาษจนถึงชั้นบนสุดของแบบ 3 มิติ ระหว่างชั้นจะทำการติดกระดาษด้วยกาวและการป้อนกระดาษแบบอัตโนมัติ เครื่องที่สร้างจะมีลักษณะการเคลื่อนที่ 3 แกนคือ X ,Y ,Z ขนาดของชิ้นงานมีขนาด 9 x 9 x 4 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในสภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันการนำเสนอผลิตภัณฑ์ใหม่ๆออกสู่ตลาดโดยมีการนำผลิตภัณฑ์ต้นแบบนำเสนอเพื่อสำรวจการตลาดเป็นปัจจัยหนึ่งที่เพิ่มความมั่นใจแก่ผู้ลงทุน เนื่องจากแบบที่ได้ออกแบบจาก CAD ถึงแม้จะเป็นแบบจำลองของแข็ง ยังคงไม่สามารถใช้ตรวจสอบคุณสมบัติเชิงกลได้ ดังนั้น สำหรับฝ่ายการออกแบบและการผลิต การใช้ชิ้นงานต้นแบบตรวจสอบลักษณะการใช้งานต่างๆ (FUNCTION TESTING) เช่น การทำงานร่วมกับชิ้นส่วนอื่นๆ การประกอบ ความแข็งแรงและรูปทรง ทำให้สามารถแก้ไขข้อบกพร่องทั้งหมดได้ก่อนดำเนินการสร้างแม่พิมพ์ใช้สำหรับการผลิต เนื่องจากการสร้างแม่พิมพ์มีต้นทุนสูง การแก้ไขแม่พิมพ์ทำให้เสียค่าใช้จ่ายและเวลาเพิ่มขึ้น ดังนั้นการได้ชิ้นงานต้นแบบที่รวดเร็วสามารถลดระยะเวลาการออกแบบจนถึงการผลิตจำหน่ายและเพิ่มโอกาสทางการค้าได้

อุตสาหกรรมที่พัฒนาแล้วมีแนวโน้มความต้องการชิ้นงานต้นแบบจัดเป็นขั้นตอนมาตรฐานในการตรวจสอบผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ สำหรับธุรกิจในตลาดเสรีที่มีการแข่งขันสูง นักลงทุนจากต่างประเทศมีแนวโน้มที่จะให้แนวคิดและคุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ แล้วผู้รับจ้างผลิตต้องดำเนินการออกแบบผลิตภัณฑ์เอง แล้วนำต้นแบบไปเสนอเพื่อใช้ประกอบการพิจารณา ผู้นำเสนอได้เร็วจึงมีโอกาสสูงในการได้รับการว่าจ้างการผลิต อีกทั้งในปัจจุบันอายุการตลาดของผลิตภัณฑ์ต่างๆ น้อยลง คือต่ำกว่า 5 ปี ซึ่งส่งผลให้ผู้ประกอบการต้องพัฒนารูปโฉมของผลิตภัณฑ์ของตนให้ทันยุคทันสมัยอยู่เสมอดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ประกอบการในการค้นคว้าหาแนวทางและศึกษาเทคโนโลยีการออกแบบและเทคนิคการสร้างต้นแบบที่เหมาะสมตามปริมาณความต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์ของตน



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างชิ้นงานต้นแบบ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

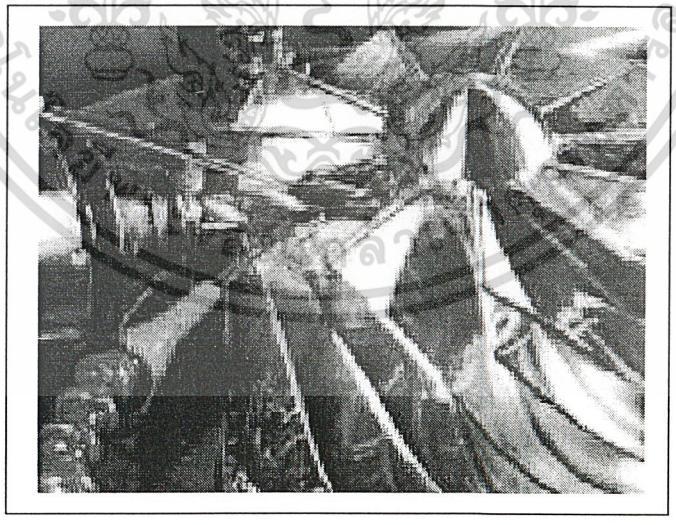
2.1 การสร้างต้นแบบรวดเร็ว

2.1.1 กรรมวิธีการสร้างต้นแบบ

กรรมวิธีการสร้างต้นแบบแบ่งแยกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้

1. กรรมวิธีพื้นฐานของการสร้างต้นแบบ เป็นกระบวนการทำด้วยมือได้แก่ การปั้นเป็นรูปทรงสามมิติ การตัดแผ่นกระดาษ พลาสติก ไม้ หรือ กัด กลึง เชื่อมโลหะ วางเรียงเป็นชั้นๆ หรือนำชิ้นส่วนต่างรูปทรง ประกอบเป็นชิ้นงานต้นแบบตามต้องการ โดยกรรมวิธีเหล่านี้ไม่ต้องพึ่งเทคโนโลยีชั้นสูงต้องใช้ความประณีตในการประกอบและตกแต่งใช้ระยะเวลานานในการผลิต

2. กรรมวิธีระดับกลาง เป็นการใช้คอมพิวเตอร์และเครื่องจักรกลอุตสาหกรรม ได้แก่ เครื่องกลึง เครื่องเจาะ และที่สำคัญคือ เครื่องกัดหรือเครื่องมิลลิ่งควบคุมด้วยระบบซีเอ็นซี (CNC Milling Machine) แล้วใช้ฝีมือในการขัดผิวและตบแต่งประกอบชิ้นส่วนปลีกย่อยให้ได้ตามต้องการ ข้อเสียนอกเหนือจากไม่สามารถสร้างรูปทรงที่มี under cut เช่น ขวดน้ำแล้ว การใช้เครื่องมิลลิ่งซีเอ็นซี ยังมีความยุ่งยากในการเตรียมการ การเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ตัดและการจับชิ้นงาน และอุปสรรคที่สำคัญสำหรับชิ้นงานที่ซับซ้อนมากคือ มีการจับชิ้นงานหลายขั้นตอนจึงมีโอกาสของความผิดพลาดสูง อุปสรรคในการทำชิ้นงานที่มีความบางมากๆ เช่น การแตก ร้าว และหัก เนื่องจากปัญหาของการจับ และจากแรงที่เกิดในขณะตัดหรือกัดชิ้นงาน ถึงแม้เครื่องมิลลิ่งซีเอ็นซี 5 แกน จะดูเหมือนช่วยลดปัญหาด้านการจับชิ้นงานได้ในระดับหนึ่ง แต่เมื่อรูปทรงของชิ้นงานเปลี่ยนแปลงไป ชุดจับชิ้นงานต้องแบบและผลิตใหม่ให้เหมาะสมกับงาน และเครื่องมือแมชชีนนิ่งเซนเตอร์ซีเอ็นซีความเร็วสูง (High Speed Cutting - HSC) จะลดเวลาในการผลิตได้น้อยลง แต่ต้นทุนทั้งราคาเครื่องจักรและซอฟต์แวร์ CAD/CAM ที่จะทำงานดังกล่าวมีราคาสูง ที่จะนำมาใช้เฉพาะการทำงานต้นแบบ จึงไม่คุ้มต่อการลงทุนสำหรับผู้ประกอบการระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลาง

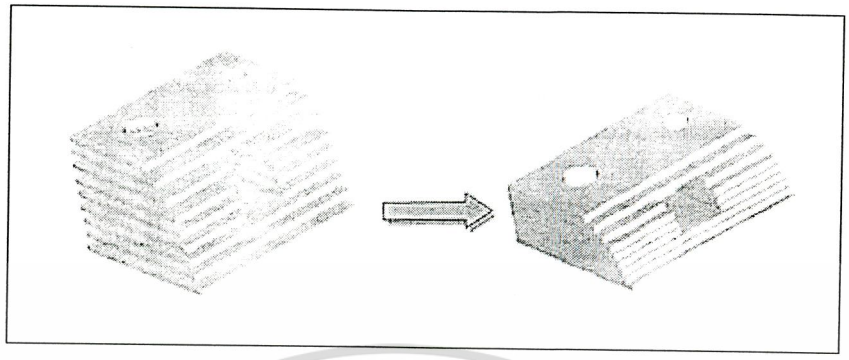


รูปที่ 2.2 การมิลลิ่งด้วย เครื่องซีเอ็นซี 5 แกน [3]

3. กรรมวิธีระดับสูง เป็นการใช้ต้นแบบการสร้างรวดเร็ว (Rapid Prototyping Machine) โดยมีหลักการสร้างวัตถุ 3 มิติ จากการสร้างเป็นชั้นบางของพื้นที่หน้าต่างตัดประกบซ้อนกันทีละชั้น จากชั้นล่างไปจนถึงชั้นบนสุด (รูปที่ 2.3) หลักการนี้เรียกว่าเลเยอร์ริ่งเทนิค **(Layering Technique)** กรรมวิธีประเภทนี้จึงเป็นการเสริมสร้างเนื้อหรือเพิ่มเนื้อ

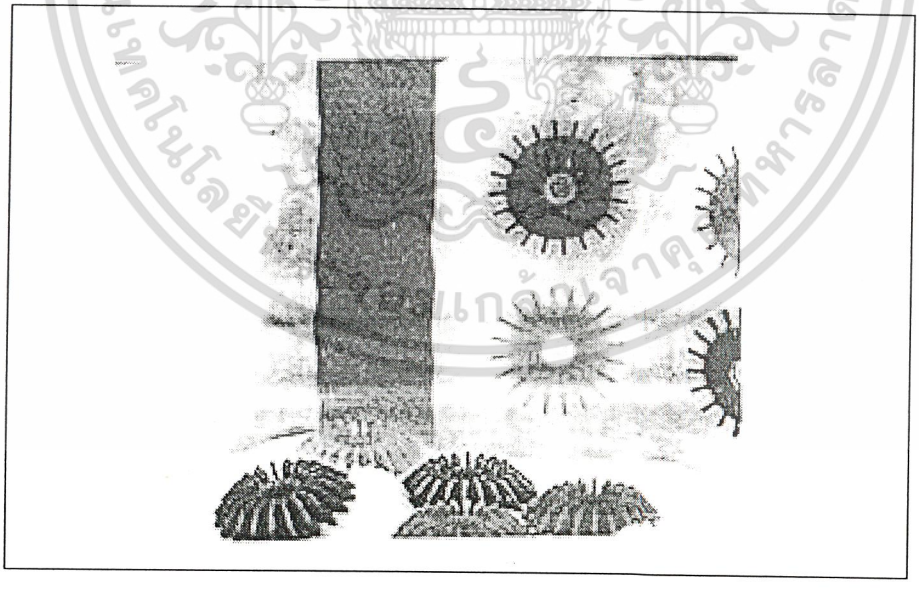
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

วัสดุขึ้นเป็นรูปทรง ซึ่งต่างกับกรรมวิธีระดับกลางที่ใช้เครื่องมิลลิ่ง ซีเอ็นซี ซึ่งเป็นการลดเนื้อวัสดุโดยการตัดหรือกัดเนื้อวัสดุออก ทำให้เกิดวัสดุสิ้นเปลือง



รูปที่ 2.3 การสร้างชิ้นงานโดยการวางซ้อนแผ่นวัสดุ [3]

4. กรรมวิธีสนับสนุนต่อเนื่อง เป็นการสร้างชิ้นงานจากตัวชิ้นงานจริง หรือจากชิ้นงานต้นแบบที่ได้จากกรรมวิธีใดวิธีหนึ่งเบื้องต้น โดยกรรมวิธีในลอกแบบจากชิ้นงานจริงนี้ ได้แก่การหล่อพิมพ์โดยใช้แม่พิมพ์ยางหรือซิลิโคน หรือ (Soft Molding) การใช้ทราย (Sand Casting) การใช้แวกซ์ในอินเวสเมนท์แคสติ้ง (Investment Casting) ฯลฯ สำหรับหล่อเป็นโลหะ เรซิน หรือพลาสติก ให้ได้จำนวนตามต้องการ เพื่อใช้ในการทดสอบ การตลาด และการว่าจ้างการผลิต



รูปที่ 2.4 พิมพ์ซิลิโคนและตัวอย่างชิ้นงานต้นแบบ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การสร้างต้นแบบรวดเร็ว

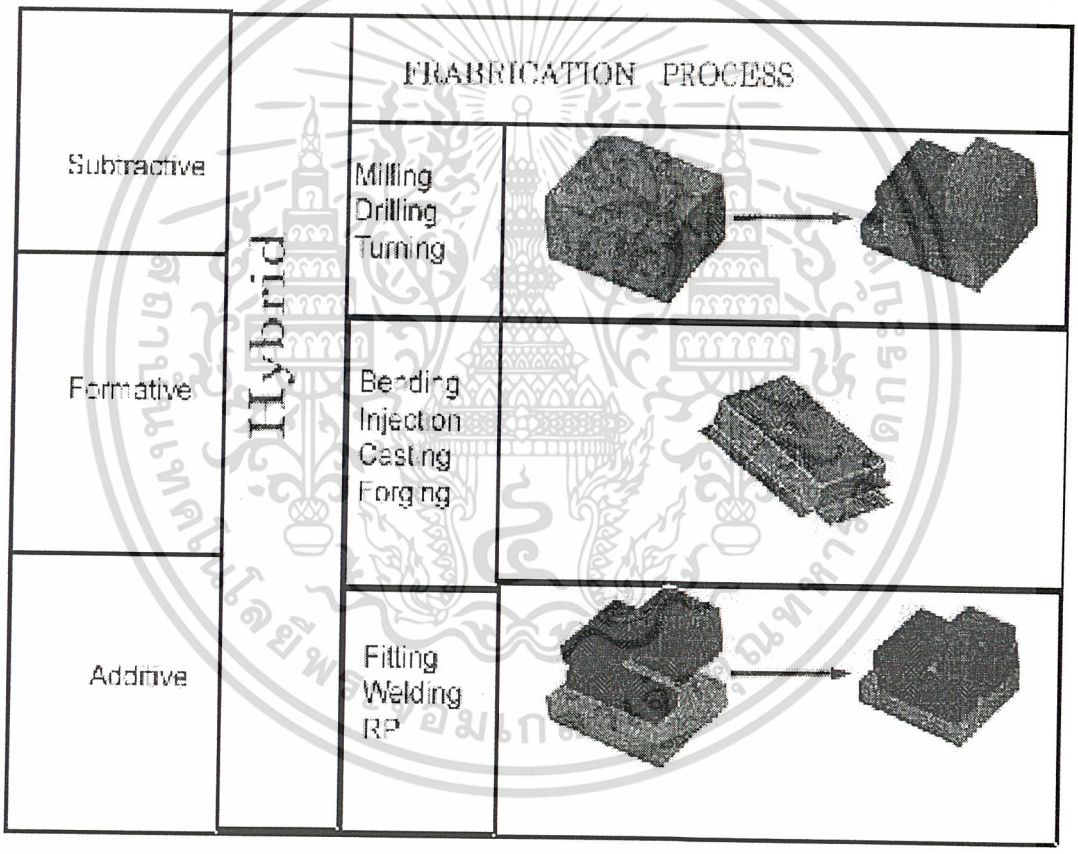
การสร้างต้นแบบรวดเร็ว คือ การผลิตวัตถุรูปทรงสามมิติ ภายในระยะเวลาที่น้อย เช่น 3 ถึง 4 ชั่วโมงสำหรับชิ้นงานขนาดเล็ก หรือเป็นวันสำหรับชิ้นงานที่ใหญ่ขึ้น พื้นฐานการสร้างชิ้นงานให้เป็นรูปทรงใดๆ สามารถแยกได้เป็น 4 วิธีการดังนี้ (รูปที่ 2.5)

ก. การขจัด (subtractive) ได้แก่ การกัด (milling) การเจาะ (Drilling) การกลึง (Turning) และการตัด (cutting)

ข. การฟอร์มรูป (formative) ได้แก่ การพับ การดัด การฉีด และการหล่อ เป็นต้น

ค. การเพิ่มพูน (additive) ได้แก่ การยึดต่อ การเชื่อม โดยเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว หรือ RP ใช้หลักการนี้

ง. การผสมร่วม (hybrid) ระหว่างข้อ ก และ ข้อ ข



รูปที่ 2.5 กระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีการต่างๆ [3]

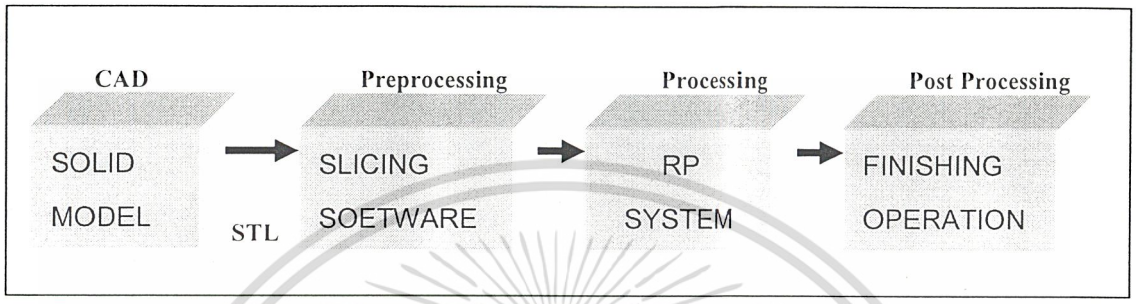
การสร้างต้นแบบรวดเร็วใช้หลักการเพิ่มพูนเนื้อวัสดุ จากวิธี โดยสร้างชิ้นงานทีละชั้น (Layering Technique) อย่างอัตโนมัติด้วยเครื่องจักรที่มีคอมพิวเตอร์ควบคุมตลอดกระบวนการ เทคโนโลยี RP มีหลายรูปแบบ โดยทุกเทคโนโลยีมีองค์ประกอบดังนี้

- คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์การแยกตัดชั้น (slicing)
- ระบบควบคุมการทำงานและกลไกการเคลื่อนที่ต่างๆ ด้วยคอมพิวเตอร์
- เครื่องจักรที่ติดตั้งอุปกรณ์การขึ้นรูปชิ้นงานและแท่นสร้างชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 กระบวนการสร้างชิ้นงานด้วยเครื่อง RP

เครื่อง RP ทุกประเภทมีขั้นตอนการเตรียมแบบและสร้างชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 2.6 โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2.6 กระบวนการสร้างชิ้นงานด้วยเครื่อง RP [3]

1. การแปลงไฟล์ของชิ้นงานที่อยู่ในรูปของ solid model ให้เป็นไฟล์ stereolithography หรือไฟล์ STL ซอฟต์แวร์ CAD ชั้นนำต่างๆ เช่น Pro/ENGINEER, CATIA, UniGraphic, I-DEAS, SolidEdges, Solidworks ฯลฯ สามารถแปลงให้เป็นรูปแบบ ของ STL ได้

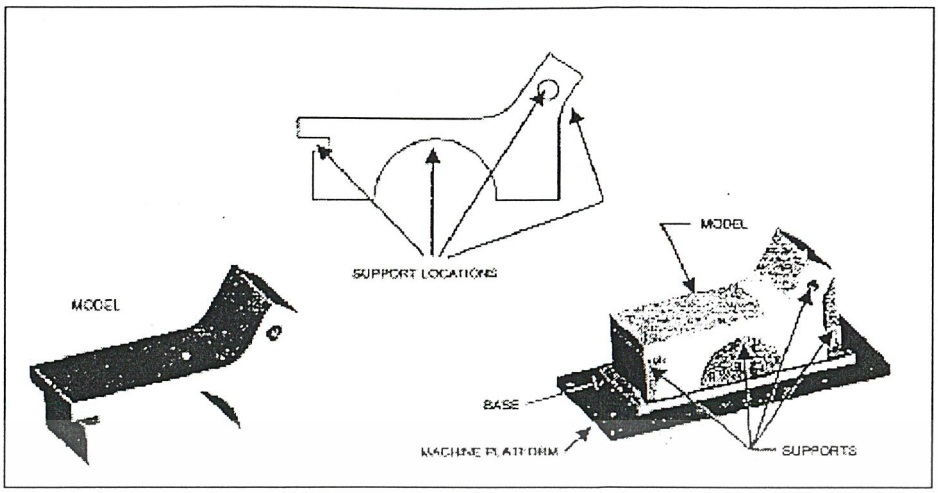
2. คอมพิวเตอร์ของเครื่อง RP ทุกประเภทรับและอ่านไฟล์ STL เป็นมาตรฐาน โดยมีซอฟต์แวร์ slicing ทำการจัดวางชิ้นงานตามแนวทิศทางการสร้างที่ต้องการ แล้วทำการเฉือนเป็นชั้นๆ ตามความหนาที่ต้องการเท่ากันทุกๆ ชั้น ต่อจากนี้จึงทำการคำนวณขอบเขตของพื้นที่หน้าตัดของแต่ละชั้น รวมถึงทางเดิน (scan path) ที่ใช้ในการขึ้นรูปของแต่ละชั้น เพื่อเป็นข้อมูลควบคุมกลไกการเคลื่อนที่และการทำงานของเครื่อง RP ซอฟต์แวร์ทำการเฉือนเป็นชั้น (slicing) ยังสามารถให้ผู้ใช้ทำการขยายหรือย่อขนาดของชิ้นงาน ทำการตัดแบ่งชิ้นงานขนาดใหญ่ให้เป็นชิ้นย่อยเพื่อนำมาประกอบภายหลัง ในบางเครื่องจะคำนวณการสร้างฐานพยุง (support) และฐาน (base) , (รูปที่ 2.7) เพื่อปรับระดับชิ้นงานและรองผิวชั้นล่างของชิ้นงานไม่ให้เสียหายหรือเกิดรอยตำหนิจากการแกะเซาะชิ้นงานออกจากแท่น(platform) ฐานพยุงมีความสำคัญในการสร้างชิ้นงานที่มีช่องว่างภายใน โดยเป็นฐานรองรับเนื้อวัสดุมิให้ยุบตัวหรือตกเหนือบริเวณช่องว่างดังกล่าว ขั้นตอนเหล่านี้เป็น "การเตรียมการ" (preprocessing) ในส่วนของซอฟต์แวร์ สำหรับในส่วนฮาร์ดแวร์ ได้แก่ การเตรียมวัสดุ และปรับเงื่อนไขต่างๆ ซึ่งใช้เวลาเตรียมการน้อยมาก

3. ขั้นตอนต่อมาเป็น "การทำการ" (Processing) คือการทำงานของเครื่องจักรเพื่อสร้างชั้นหรือเนื้อของวัสดุเป็นชั้นๆ จนกว่างานจะแล้วเสร็จ โดยรับไฟล์ข้อมูลการควบคุมการทำงานของเครื่องจากขั้นตอนที่ 2

4. ขั้นตอนหลังการทำงาน (postprocessing) เป็นการนำชิ้นงานออกจากเครื่องเพื่อแกะฐานพยุง ทำความสะอาดหรือรอให้วัสดุแห้งหรือแข็งตัว (curing)

5. ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการตบแต่ง เช่น การขัดหรือลบรอยชั้นให้ผิวเรียบ และตบแต่งสีตามความต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ฐาน พยุงและฐาน เพื่อรองรับบริเวณที่เป็นช่องว่าง [3]

2.1.4 ไฟล์สเตริโอลิโทกราฟฟี่ (STEREOLITHOGRAPHY)

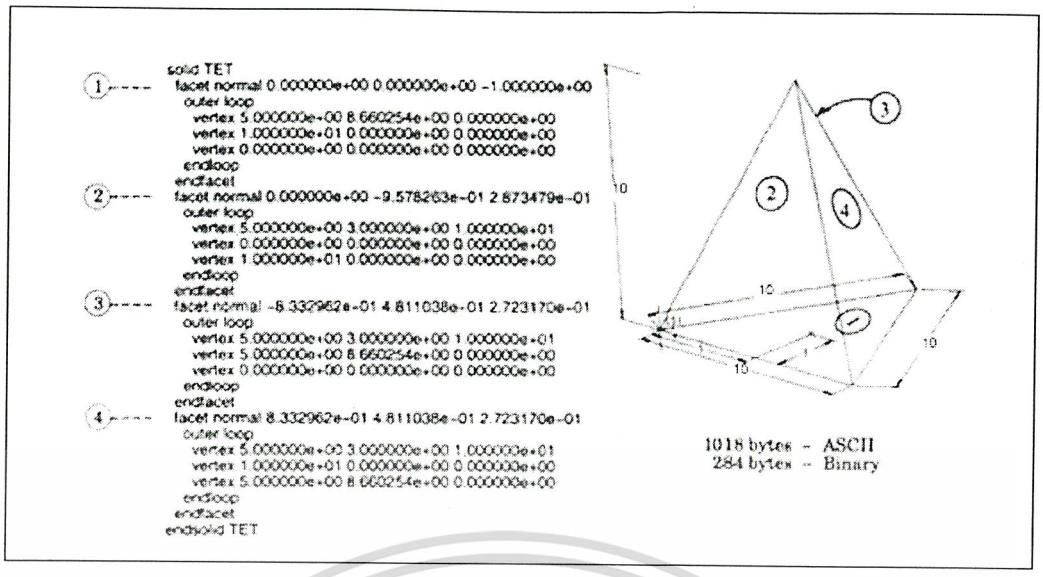
ไฟล์สเตริโอลิโทกราฟฟี่(STEREOLITHOGRAPHY) หรือไฟล์ STL เป็นมาตรฐานหนึ่งสำหรับแปลงข้อมูลหรือไฟล์จากโซลิดโมเดล (solid model) เพื่อให้ซอฟต์แวร์ต่างๆ สามารถอ่านได้ โดยแรกเริ่มเป็นมาตรฐานสำหรับใช้กับเครื่อง RPไฟล์ STL ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบันในซอฟต์แวร์ด้านไฟไนท์อิลิเมนต์โมเดล (Finite Element Model (FEM))

ข้อมูลของไฟล์ STL เป็นการนำรูปทรง tetrahedral (รูปที่ 2.8) หลายชิ้นประกอบเป็นรูปทรง 3 มิติได้ ทั้งนี้เนื่องจากรูปทรง tetrahedral เป็นรูปทรงเรขาคณิตที่ง่ายที่สุดที่มีปริมาตรของวัตถุทรงตัน (solid) รูปทรงด้านของระนาบรูปสามเหลี่ยม (tetrahedral) (รูปที่ 2.8) ที่มีสี่ด้านและสี่มุม แต่ละด้านเป็นระนาบเรียบของพื้นที่สามเหลี่ยม (facet) ดังนั้นไฟล์ STL จึงมีข้อมูลของจุดทั้งสี่ในโคออร์ดิเนท XYZ และทิศทางตั้งฉากของระนาบสามเหลี่ยมของทั้งสี่ด้าน เพื่อให้ทราบว่าด้านใดเป็นด้านนอกหรือด้านในของวัตถุ

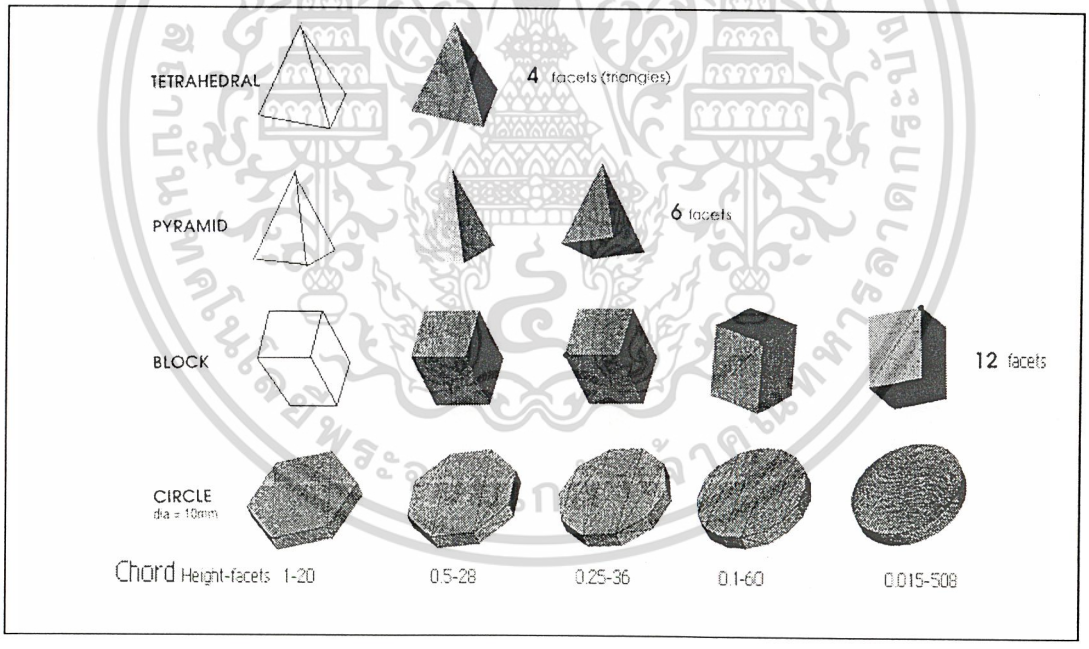
การแปลงรูปทรงโซลิดโมเดล เป็นไฟล์ STL ให้ได้ถูกต้องมากที่สุดจึงขึ้นอยู่กับจำนวนของตัวด้านของระนาบรูปสามเหลี่ยม (tetrahedral) รูปที่ 2.9 แสดงรูปปิรามิด (pyramid) ประกอบด้วยรูปสามเลี่ยมจำนวน 6 ระนาบ (facets) ที่ปรากฏที่ผิวของวัตถุ รูปบล็อกสี่เหลี่ยมหกด้าน ประกอบด้วยระนาบรูปสามเหลี่ยมจำนวน 12 ระนาบ

วัตถุที่มีผิวโค้งจะถูกประมาณจากเส้นตรงหลายๆเส้นเชื่อมโยงเป็นเส้นโค้ง ความถูกต้องสามารถกำหนดได้จากค่าคอร์ดไฮท์ (chord height) ที่มีค่าเหมาะสม เช่นรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม.ในรูปที่ 2.9 เมื่อกำหนดคอร์ดไฮท์ (chord height) มีค่ามาก (1 มม.) จะเห็นเป็นรูป 6 เหลี่ยมและมี 12 ระนาบ (facets) เมื่อลดคอร์ดไฮท์ (chord height) เป็น 0.1 มม. จะได้รูป 16 เหลี่ยมและมี 60 facets ดังนั้น ชิ้นงานที่ต้องการผิวที่ละเอียดหรือโค้งเรียบต้องกำหนดให้มี chord height ต่ำ หรือมีจำนวนระนาบเรียบของพื้นที่สามเหลี่ยม (facets) มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

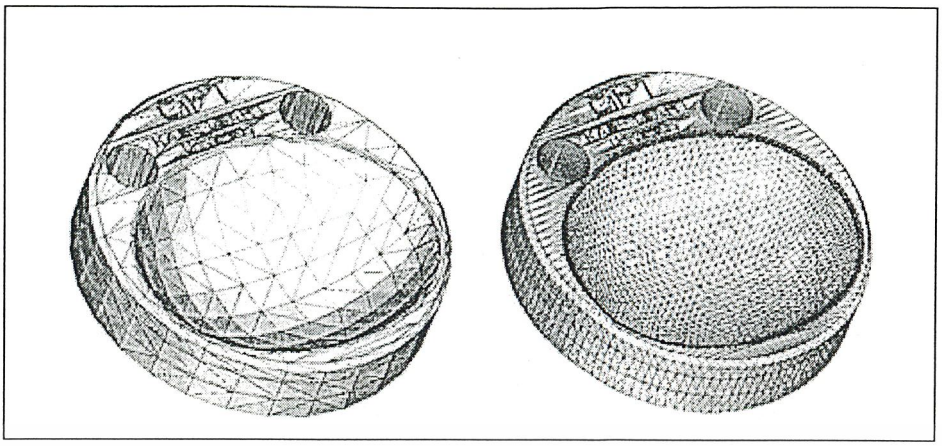


รูปที่ 2.8 ข้อมูลของไฟล์ STL จากวัตถุรูปทรงด้านของระนาบรูปสามเหลี่ยม (TETRAHEDRAL) [3]



รูปที่ 2.9 การแปลงโซลิดโมเดล (Solid Model) ของไฟล์ STL เป็นจำนวนระนาบรูปสามเหลี่ยม (facet) ของรูปทรงเรขาคณิตต่างๆ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

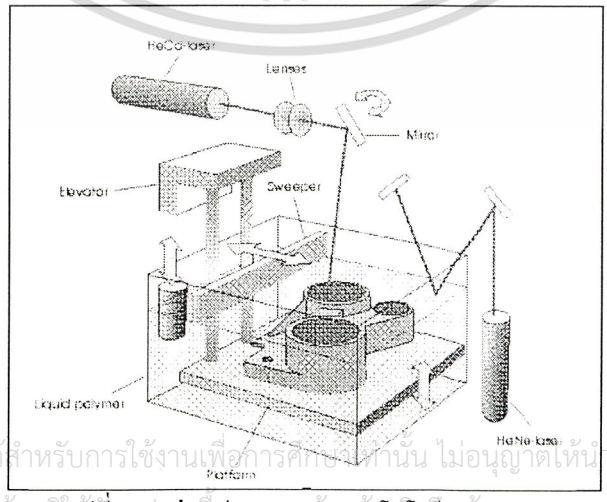


รูปที่ 2.10ภาพแสดงความถูกต้องและคุณภาพของผิวกับการกำหนดความละเอียดของไฟล์ STL รูปซ้ายกำหนดให้คอร์ดเลงค์(chord length) มากความละเอียดต่ำ รูปขวาคอร์ดเลงค์(chord length) มีความละเอียดสูง [3]

2.1.5 เทคโนโลยี RP ประเภทต่างๆ

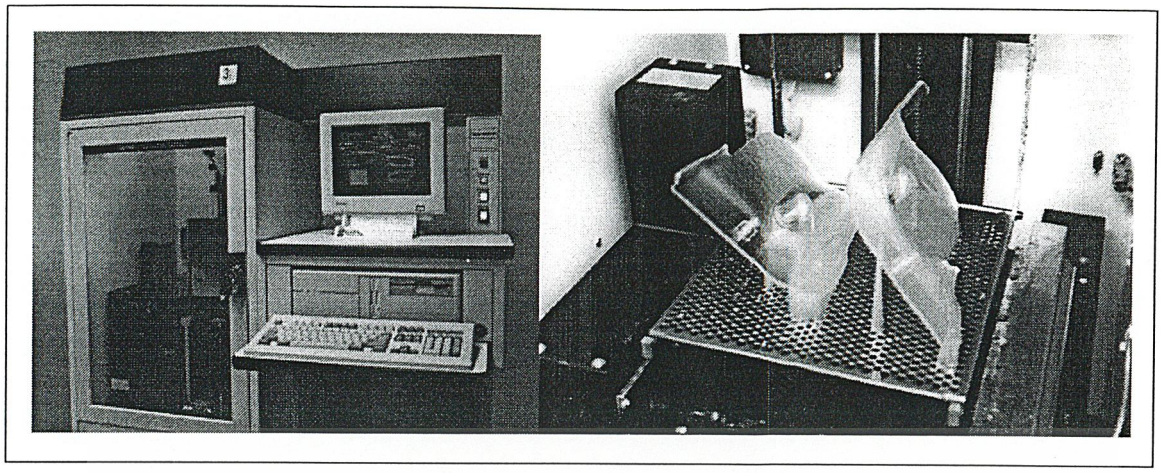
2.1.5.1 สเตอริโอลิโธกราฟฟี่ (STEREOLITHOGRAPHY ; SLA)

เป็นเทคโนโลยี RP แบบแรกของโลกที่ผลิตจำหน่ายเมื่อ พ.ศ. 2531 โดยบริษัท 3D System, Inc ประเทศสหรัฐอเมริกา วัสดุที่ใช้เป็นเรซินเหลวที่แข็งตัวเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเลต (Ultra Violet ; UV) จากลำแสงเลเซอร์แสง ขบวนการของ SLA เริ่มจากการปรับแท่น (platfrom) ให้เรซินเหลวปกคลุมเป็นชั้นบางๆ แล้วทำการสแกน หรือยิงแสง UV เป็นจุดๆ ไปยังตำแหน่งต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณมาแล้วจากซอฟต์แวร์ slicing เมื่อเลเซอร์ยิงไปที่ตำแหน่งต่างๆ ครบทั้งระนาบของเป็นชั้นบางของชั้นนั้นแล้ว แท่นจะลดระดับต่ำลงเพื่อให้เรซินเหลวไหลไปปกคลุมเหนือผิวของชั้นนั้นให้ได้รับความหนาเท่ากับความหนาของชั้นที่ต้องการ หรือใช้แถบเรียบ (wiper) ปาดหน้าเพื่อให้ได้ความหนาที่ต้องการแล้วจึงทำการยิงเลเซอร์ให้เรซินแข็งตัวซ้อนทับชั้นเดิมเป็นการเพิ่มความหนาหรือชั้นใหม่ถัดไป ขบวนการจะดำเนินการซ้ำจนครบทุกชั้นได้เป็นชิ้นงานที่ต้องการ การเก็บรายละเอียดของชิ้นงาน (postprocessing) ภายหลังการแกะชิ้นงานออกจากแท่นของเครื่องแล้วได้แก่ การทำความสะอาดล้างเรซินเหลวที่ตกค้างออก การฉาย UV เพิ่มเพื่อให้เรซินแข็งตัวเต็มที่ ในกรณีที่ใช้เรซินที่มีความหนาแน่นสูง ฐานพยุงไม่จำเป็นต้องสร้างได้ ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านเรซินได้พัฒนาให้เรซินมีความแข็งแรงและเปลี่ยนสีตามปริมาณ UV ที่ได้รับและตำแหน่งที่ต้องการ

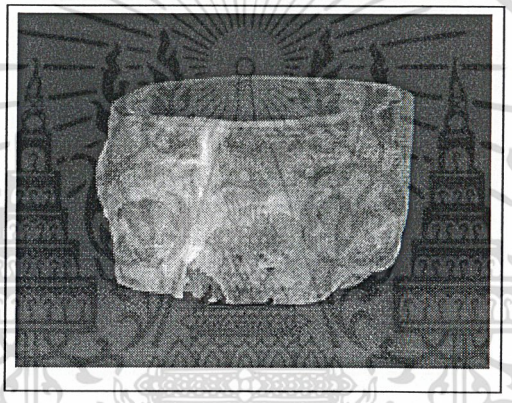


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของเทคโนโลยี SLA [3]



รูปที่ 2.12 เครื่อง RP เทคโนโลยี SLA ของบริษัท 3D SYSTEM (ภาพซ้าย) [3]
และวิธีการสร้างฐานพยุงของเทคโนโลยี SLA หรือ SUPPORT (ภาพขวา) [3]

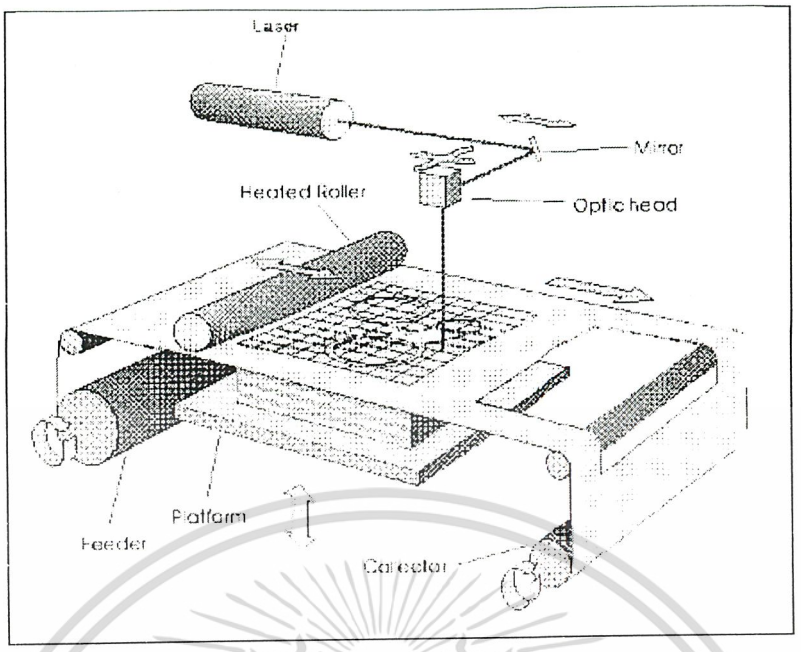


รูปที่ 2.13 ชิ้นงานที่ใช้เรซินที่เปลี่ยนสีได้ [3]

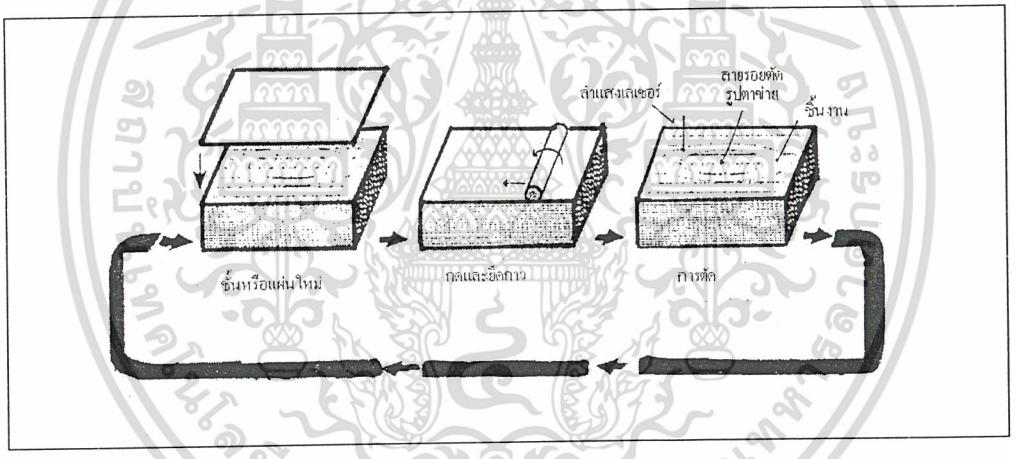
2.1.5.2 ลามิเนทเทตอ๊อปเจคเมนูเฟคเจอร์ริ่ง (Laminated Object Manufacturing ;LOM)

ผลิตโดย บริษัท Helisys ประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้กระดาษเป็นวัสดุ และเลเซอร์ตัดเฉพาะขอบของพื้นที่หน้าตัดแทนการแสกนเต็มพื้นที่เหมือนของเทคโนโลยี SLA ดังนั้น LOM จึงมีระยะทางการเดินของหัวเลเซอร์ต่อหนึ่งชั้นน้อยกว่า จึงเหมาะสำหรับชิ้นงานต้นแบบขนาดใหญ่ กระดาษที่ใช้มีผิวด้านล่างเป็นกาวซึ่งเกิดความเหนียมได้โดยการให้ความร้อน ชิ้นงานที่ได้มีความแข็งและมีลักษณะคล้ายทำจากไม้ ส่วนประกอบของเทคโนโลยี LOM ได้แสดงในรูปที่ 2.14 และขบวนการสร้างชิ้นงานในรูปที่ 2.15 ในการตัดกระดาษของแต่ละชั้น นอกเหนือจากการตัดขอบแล้ว เทคโนโลยี LOM ทำการตัดรูปตาข่ายบนพื้นที่ที่ไม่ใช่เป็นเนื้อของชิ้นงานหรือที่เป็นฐานพยุง เพื่อสะดวกต่อการแยกออกจากชิ้นงาน (รูปที่ 2.17)

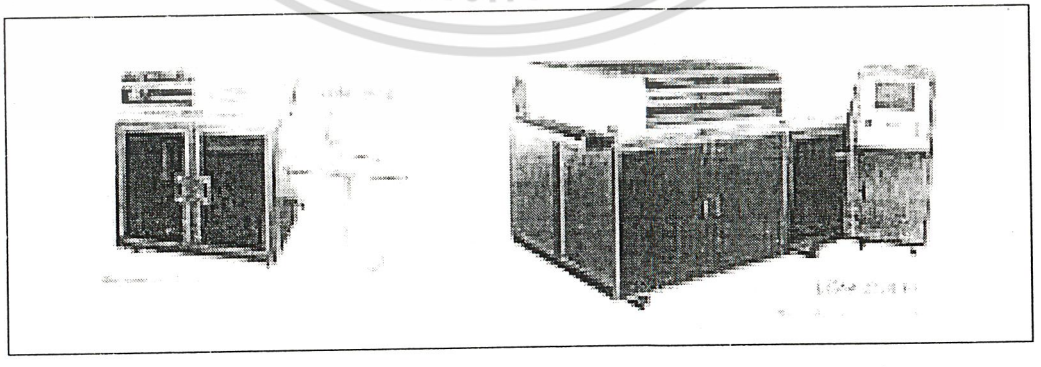
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของเทคโนโลยี LOM [3]

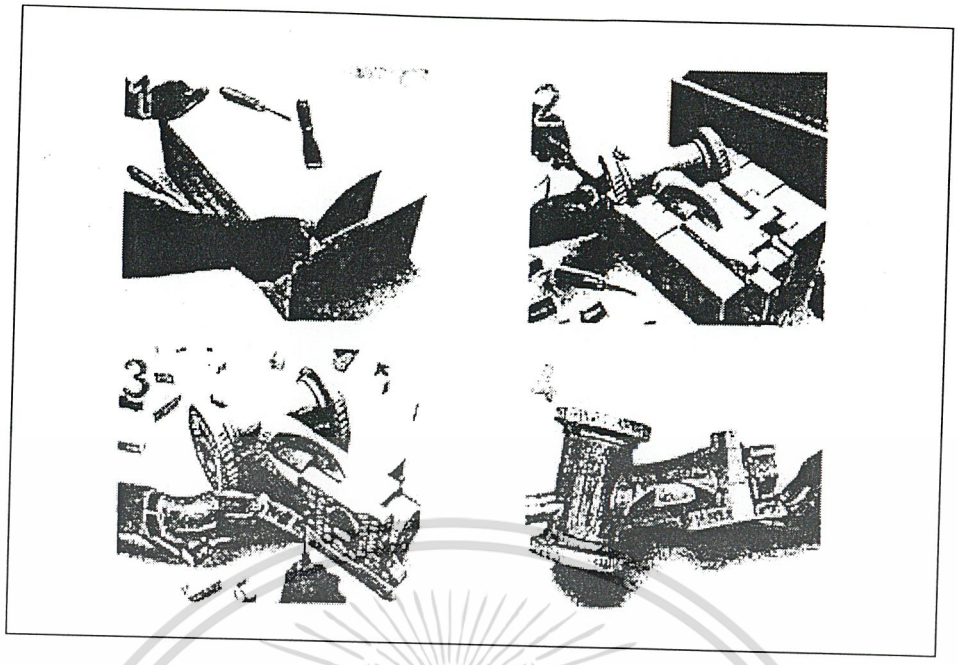


รูปที่ 2.15 ลำดับขั้นตอนการทำงานของเทคโนโลยี LOM [3]



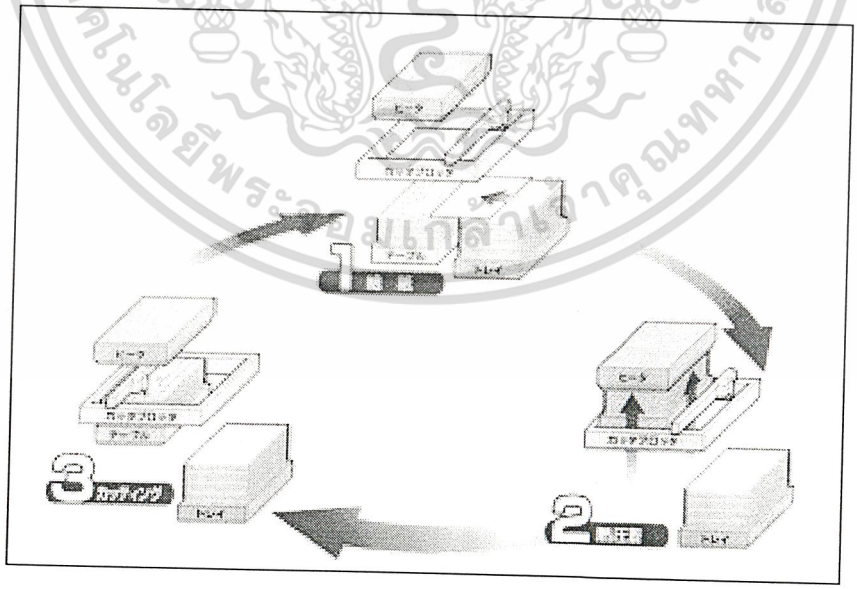
รูปที่ 2.16 เครื่อง RP เทคโนโลยี LOM รุ่นเล็กและรุ่นใหญ่
โดย บริษัท TOYODA MACHINE WORKS LTD [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



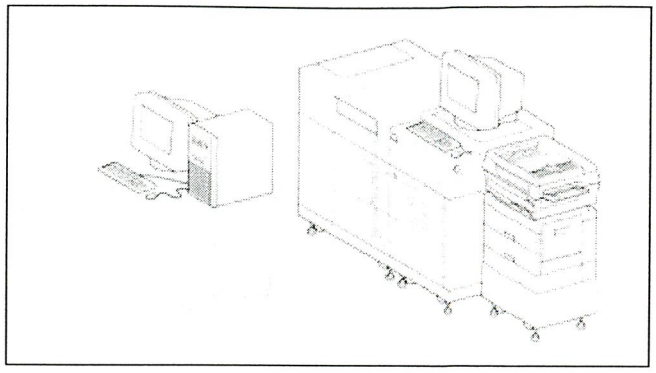
รูปที่ 2.17 ลำดับขั้นตอนการแกะชิ้นงานและแท่นฐานของชิ้นงานที่สร้างโดยเทคโนโลยี LOM [3]

เทคโนโลยีที่ใช้แผ่นกระดาษเช่นเดียวกับ LOM ได้แก่เทคโนโลยี Paper Lamination Technology (PLT) หรือ Selective Adhesive/Hot Press Process โดยบริษัท KIRA Corp. ประเทศญี่ปุ่น โดยมีความแตกต่างหลักคือใช้ใบมีดในการตัดแทนการใช้เลเซอร์ (รูปที่ 2.18) รุ่นแรกใช้กระดาษเอกสารขนาด A4 และใช้เครื่องพิมพ์เลเซอร์พิมพ์แถบเส้นกาวลายตะข่ายโดยใช้ความร้อนเพื่อให้แปะติดกันแน่นในแต่ละชั้น ปัจจุบันได้จำหน่ายรุ่นให้กระดาษม้วนในเครื่องขนาดใหญ่ขึ้นโดยมีขนาดกระดาษเท่ากระดาษขนาด A4



รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบและขั้นตอนการสร้างชิ้นงานของเทคโนโลยี PLT [3]

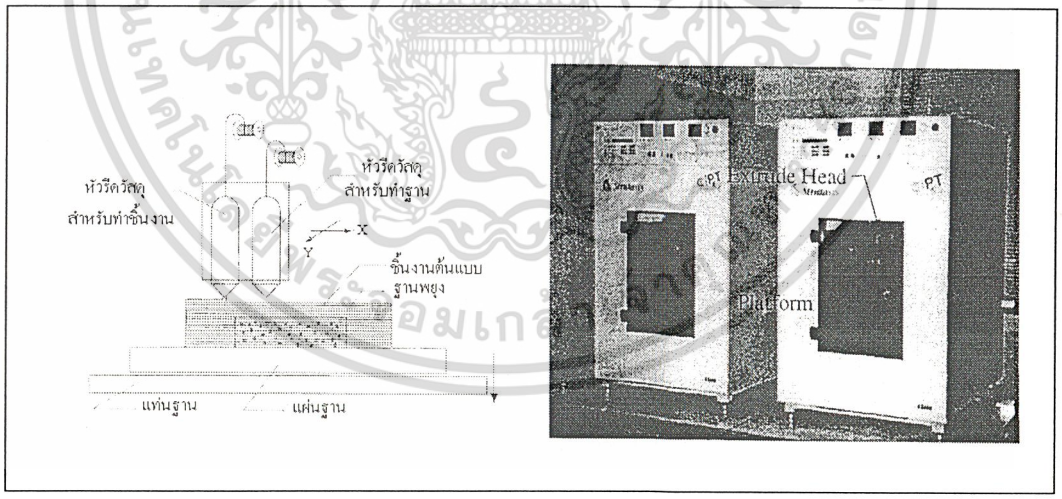
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 เครื่อง RP เทคโนโลยี PLT รุ่น Solid Center KSC-50 และภาพวามแสดงใน และตัวอย่างชิ้นงาน [3]

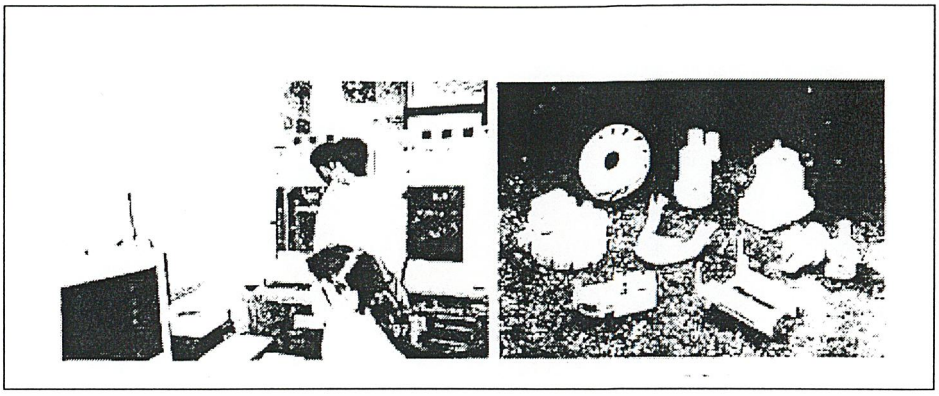
2.1.5.3 ฟูดเซดดีโพซิชั่นโมเดลลิ่ง(FUSED DEPOSITION MODELING ;FDM)

ผลิตโดยบริษัท Stratasys ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้เส้นเทอร์โมพลาสติกเป็น ABS ผ่านหัวรีด (extrusion head) ที่มี heater สำหรับหลอมเหลวพลาสติก แล้วรีดออกเป็นเส้นใยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 มม. หัวรีดจะเคลื่อนที่ตามแกน XY หรือสแกนให้เส้นใยเชื่อมจุดต่อจุดปกคลุมพื้นที่หน้าตัดเป็นเนื้อของชิ้นงานของแต่ละชั้นที่มีความหนาเท่ากัน การยึดตัวติดกันของเส้นพลาสติกอาศัยหลักการ fusing ที่ทำให้ผิวสัมผัสของแต่ละเส้นใยของชั้นด้านล่างและด้านข้างหลอมเหลวติดเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยความร้อนของพลาสติกเหลว เทคโนโลยี FDM ใช้หัวรีดสองหัว โดยหัวที่สองสำหรับพลาสติกอีกเกรดสำหรับฉีดฐานและฐานพยุง เพื่อให้สามารถแยกชิ้นงานกับฐานพยุงได้โดยง่าย



รูปที่ 2.20 แสดงส่วนประกอบของเทคโนโลยี FDM [3]

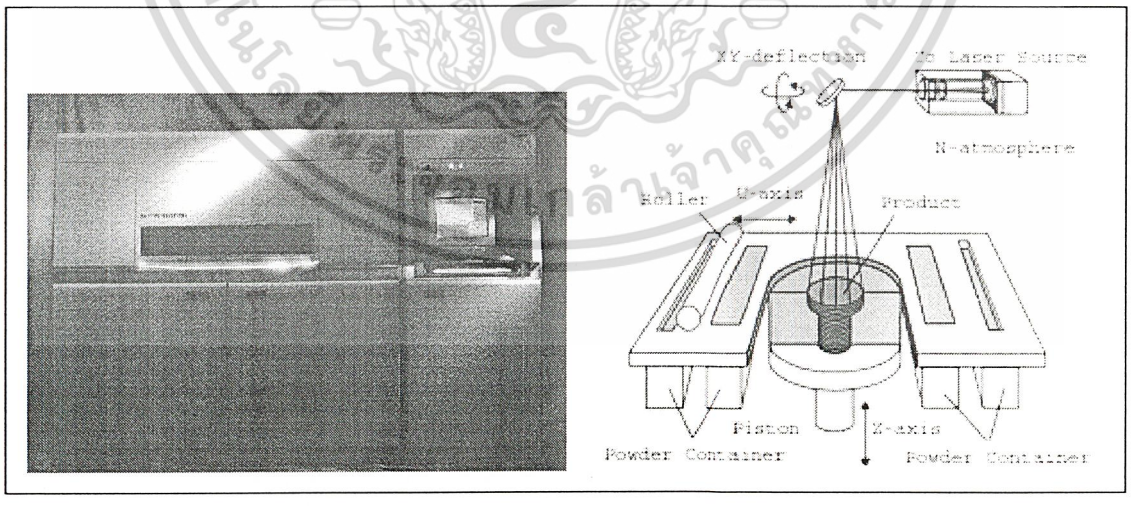
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 เครื่อง RP เทคโนโลยี FDM รุ่น 1650 ณ สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ภาพซ้าย) [3]
และภาพตัวอย่างชิ้นงาน (ภาพขวา) [3]

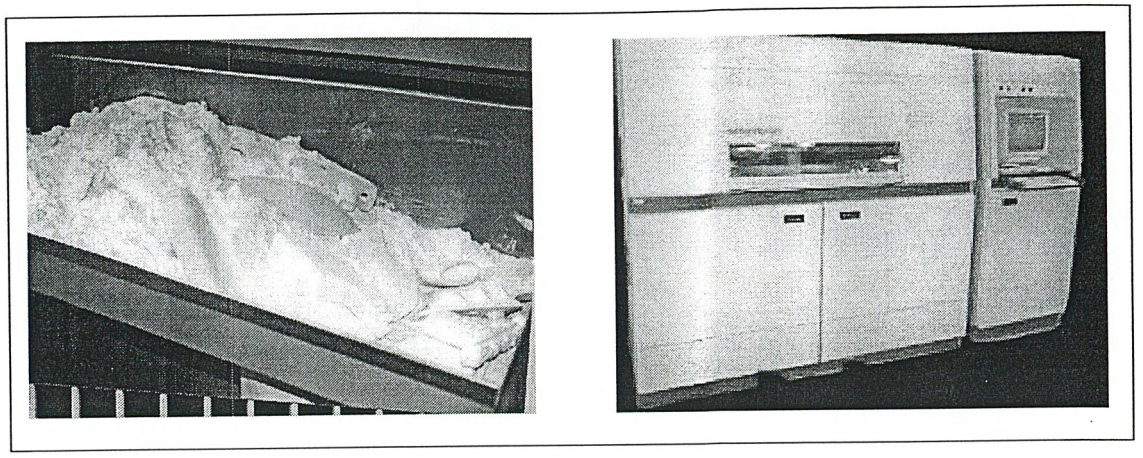
2.1.5.4 ซิเลคทิฟเลเซอร์ซินเทอร์ริ่ง(SELECTIVE LASER SINTERING ;SLS)

พัฒนาและผลิตโดยบริษัท DTM ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยนำวิธีการซินทอร์ริ่ง (sintering) ซึ่งใช้คาร์บอนไดอ๊อกไซด์เลเซอร์ (Cabon Dioxide Laser) สแกนไปบนชั้นบางของผงละเอียดของวัสดุ เช่น พลาสติก และโลหะต่างๆ ให้หลอมเหลวและแข็งตัวรวมเป็นเนื้อเดียวกันระหว่างผงกับผิวของชั้นล่างและด้านข้าง (รูปที่ 2.22) พื้นที่ที่ไม่เป็นเนื้อของชิ้นงานหรือที่ไม่โดนสแกนผ่านยังคงถูกปกคลุมโดยผง ซึ่งทำหน้าที่เป็นฐานพยุงสำหรับชั้นต่อไป บริษัทอื่นที่ใช้เลเซอร์ในการ sintering ได้แก่ บริษัท EOS ประเทศเยอรมันโดยผลิตแยกรุ่นสำหรับใช้กับเทอร์โมพลาสติกอย่างเดียวและเฉพาะโลหะ



รูปที่ 2.22 ภาพเครื่อง RP รุ่น Sinterstation และภาพวาดแสดงส่วนประกอบของเทคโนโลยี SLS ของ บ.DTM [3]

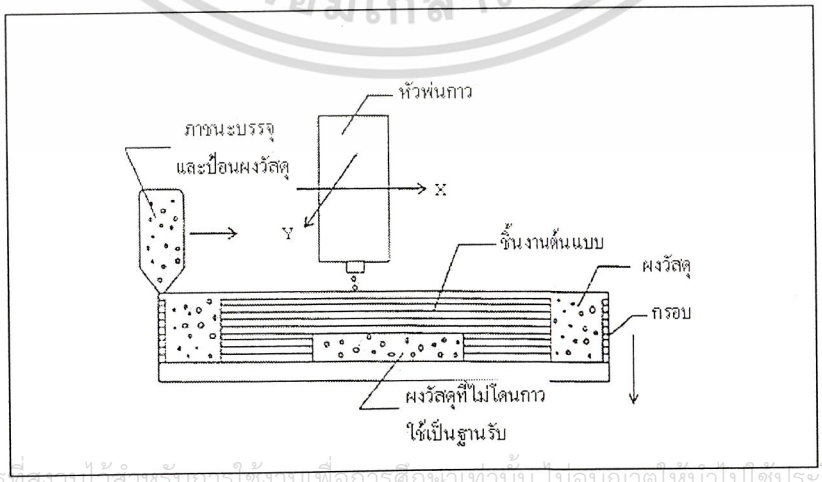
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ชิ้นงานที่ได้จากเทคโนโลยีที่ใช้ผงวัสดุในขณะขจัดผงหรือฐานพยุงออก
ชิ้นงานโลหะจากเทคโนโลยี SLS เพื่อใช้เป็นแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก (RAPID TOOLING)(ภาพทางซ้าย) [3]
เครื่อง RP โดยบริษัท EOS ประเทศเยอรมัน(ภาพทางขวา) [3]

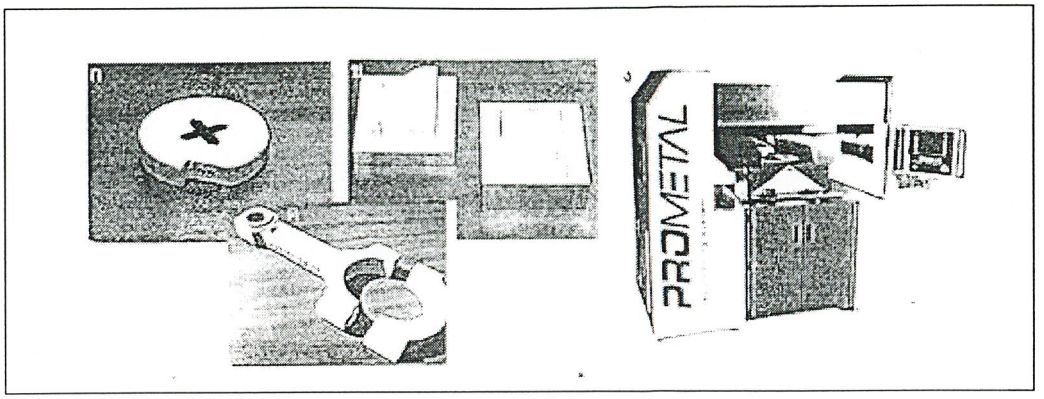
2.1.5.5 ทรีไดเมนชั่นพรินติ้ง(THREE DIMENSION PRINTING ;3DP)

มีวิธีการทำงานคล้ายกับเทคโนโลยี SLS คือใช้ผงวัสดุ เช่น โลหะและเซรามิค แต่ใช้หัวพ่นกาว (รูปที่ 2.24) ที่มีลักษณะการทำงานแบบเดียวกับเครื่องพิมพ์อิงเจ็ต (ink-jet) ทำการพ่นหรือยิงกาวให้ผงวัสดุจับตัวเป็นเนื้อเดียวกัน เมื่อสร้างเสร็จทั้งชิ้นแล้ว ผงโลหะวัสดุที่ไม่โดนกาวจะถูกขจัดออก แล้วจึงนำชิ้นงานนั้นไปเข้าเตาอบให้ความร้อน หรือทำการ sintering ให้โลหะหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน เทคโนโลยีนี้ถูกประดิษฐ์และพัฒนาที่ MIT (Massachusetts Institute of Technology) ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปัจจุบันบริษัท Extrude Hone Corp. ได้พัฒนาเป็นโปรเมทัลโปรเซส (ProMetal Process) ที่สามารถยิงได้ 320,000 หยดต่อวินาที นอกจากนี้บริษัทโซลิเจนท์ (Soligen Inc.) ได้ดำเนินการพัฒนาและจำหน่ายโดยเรียกว่าไดเร็คเชลโปรดักชั่นแคสติ้ง(Direct Shell Production Casting ;DSPC) สำหรับสร้างแม่พิมพ์ที่ใช้ผง แม่พิมพ์ที่ใช้ผงเซรามิคเป็นวัสดุโดยการสร้างเนื้อของส่วนที่เป็น negative ของชิ้นงานเพื่อใช้ชิ้นงานเซรามิคนั้นเป็นพิมพ์หล่อโลหะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

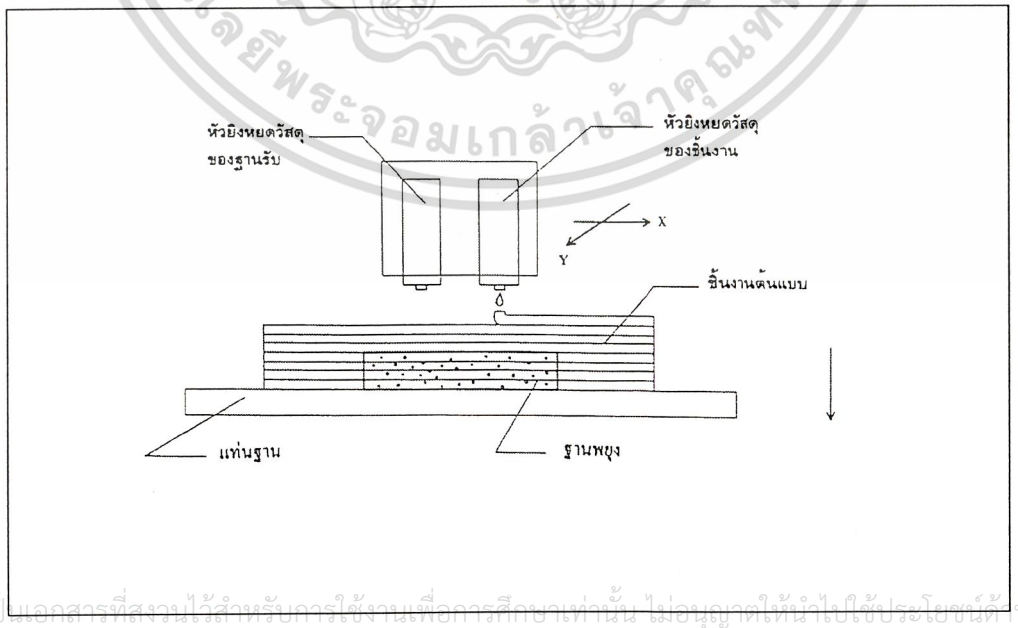
รูปที่ 2.24 แสดงส่วนประกอบของเทคโนโลยี 3DP[3]



รูปที่ 2.25 เทคโนโลยี 3DP ใช้เป็น (Rapid Tooling) สร้างชิ้นส่วน (ก) เป็นพิมพ์งานสำหรับงานเอ็กทรูด (Extrude) และ (ข) พิมพ์ฉีด (ค) ชิ้นส่วนโลหะสำหรับเครื่องยนต์ (ง) เครื่อง RP ชื่อโปรเมทัล (ProMetal) ที่นำเทคโนโลยี 3DP [3]

2.1.5.6 บอลลิสติกพาทิเคิลเมนูแฟคเจอร์ริ่ง (Ballistic Particle Manufacturing ;BPM)

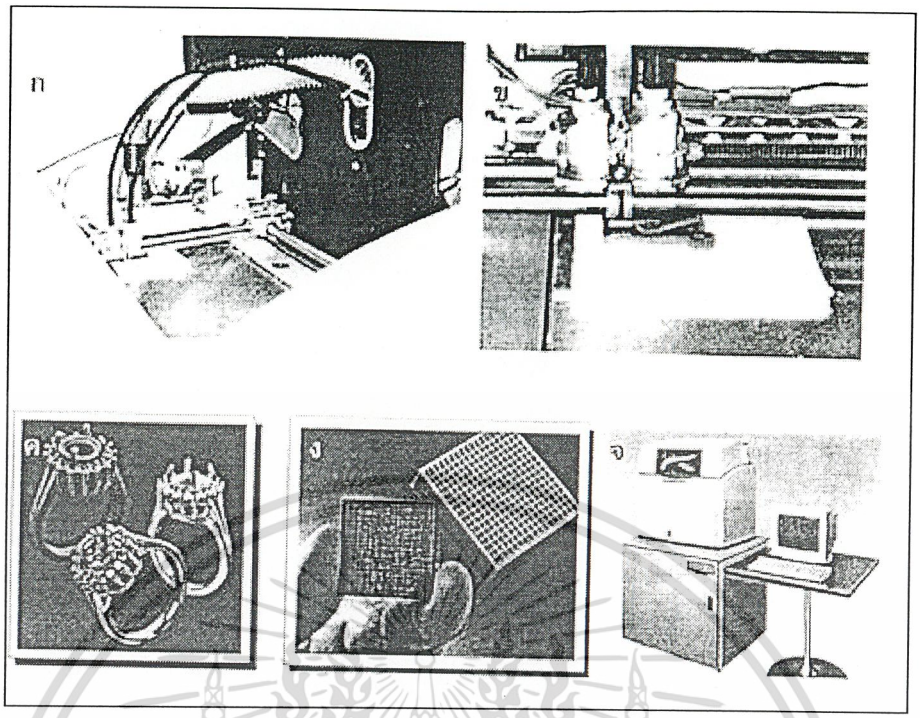
มีหลักการทำงานคล้ายเทคโนโลยี 3DP และ FDM ผสมกัน คือ ใช้วัสดุจำพวกเทอร์โมพลาสติกสำหรับชิ้นงานต้นแบบที่ต้องการ แต่ใช้แวกซ์สำหรับฐานพยุง วัสดุทั้งสองจะถูกหลอมเหลวด้วยความร้อนและใช้อิงเจท (ink-jet) จำนวนสองหัวสำหรับพ่นวัสดุของชิ้นงานและของแวกซ์ (รูปที่ 2.26) หัวอิงเจท (ink-jet) ทำหน้าที่ยิงเป็นหยดซึ่งสแกนไปตามตำแหน่งที่ต้องการ บริษัท Sander Prototype ประเทศสหรัฐอเมริกาได้ประยุกต์ใช้หัวมิลลิ่งคัตเตอร์ (milling cutter) ปาดหน้าผิวทุกครั้งก่อนสร้างชั้นถัดไป เพื่อควบคุมความเรียบผิวและให้ความหนาของชั้นคงที่และบางลง (รูปที่ 2.27) แวกซ์ที่ใช้เป็นฐานพยุง เมื่อสัมผัสน้ำอุ่นจะละลายออกได้ง่าย บริษัท 3D Systems ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี โดยใช้หัว ink-jet ติดตั้งเป็นแถวยาวจำนวน 96 หัว ในเครื่องรุ่น Actua 2100 และเรียกเป็นเทคโนโลยีมัลติเจทโมเดลลิ่ง (Multi-Jet Modeling ;MJM)



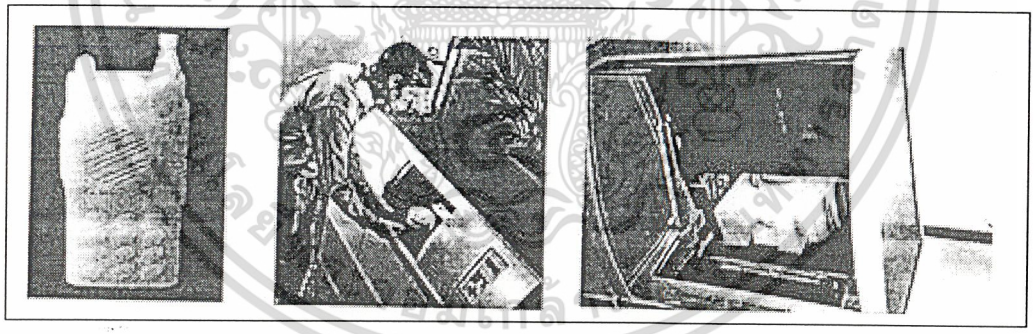
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.26 แสดงส่วนประกอบของเทคโนโลยี 3DP[3]

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.27 เทคโนโลยี BPM ในเครื่อง ModelMaker II โดยบริษัทแซนเดอร์โปรโทไทพ์ (Sanders Prototype) ก และ ข) ภายในเครื่อง ค) ชิ้นส่วนเครื่องประดับยนต์ ง) ชิ้นงานขนาดเล็กแสดงความละเอียดที่เครื่องสามารถสร้างได้ และ จ) ภาพเครื่อง ModelMaker II[3]



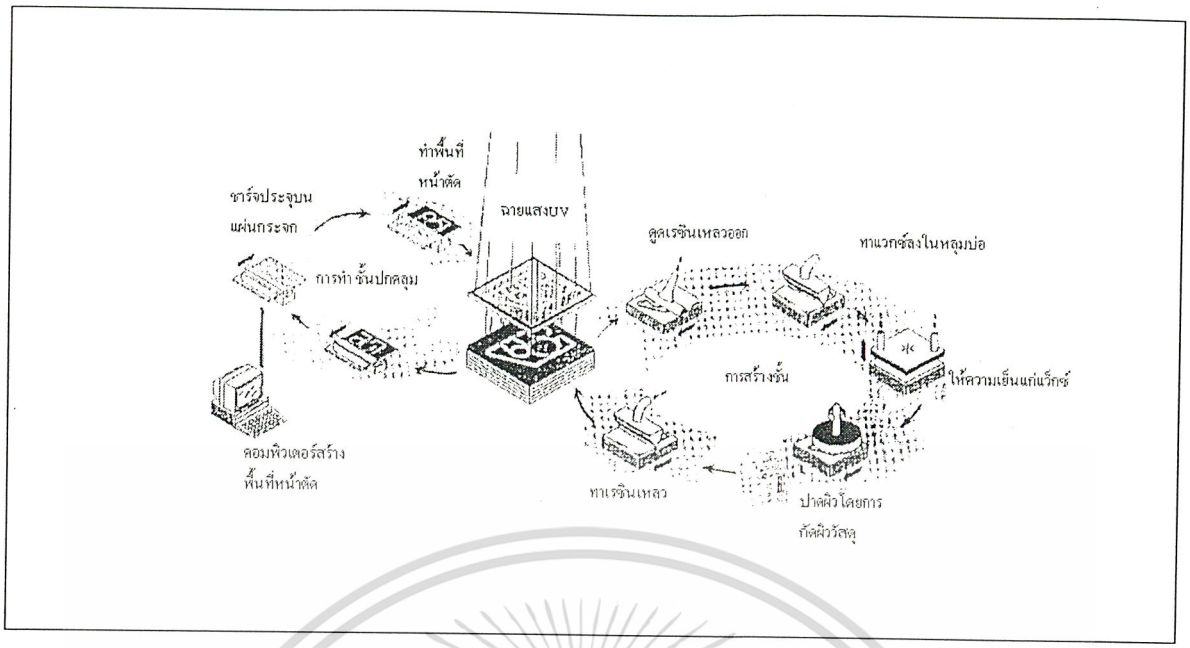
รูปที่ 2.28 ชิ้นงานตัวอย่าง ภายนอกเครื่อง และห้องสร้างชิ้นงานของเครื่อง Actua 2100 (เทคโนโลยี MJM) [3]

2.1.5.7 โซลิดกราวด์เคอร์ริ่ง (SOLID GROUND CURING ;SGC)

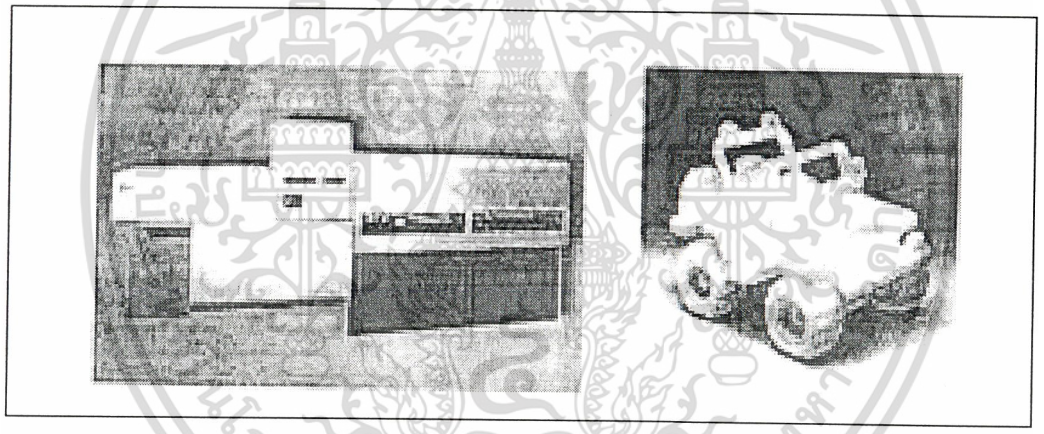
พัฒนาในประเทศอิสราเอลโดยบริษัทคูบิทัล (Cubital) วัสดุที่ใช้เป็นเรซินเหลว ซึ่งจะแข็งตัวเมื่อได้รับแสง UV ที่ทะลุผ่านแสง mask แวกซ์เหลวจะถูกป้อนให้ปกคลุมบริเวณที่เป็นฐานพยุง เมื่อแวกซ์แข็งตัวแล้วจึงทำการปาดหน้าให้เรียบและควบคุมความหนาโดยใช้ milling cutter แผ่น mask หรือ photo-mask จะถูกสร้างโดยใช้หลักการเดียวกับเครื่องพิมพ์เลเซอร์ที่ทำการพิมพ์สีทึบแสงโดยใช้ผง toner สีดำ พิมพ์เป็น mask ลงบนแผ่นกระจกเฉพาะพื้นที่ที่ไม่เป็นพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน เพื่อให้ลำแสง UV ส่องผ่านเฉพาะพื้นที่ที่เป็นหน้าตัดของชิ้นงาน ผง toner สามารถล้างออกและพิมพ์ขึ้นใหม่สำหรับขั้นต่อๆ ไปได้ แวกซ์ที่ใช้สามารถละลายออกได้โดย ใช้น้ำอุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

49864



รูปที่ 2.29 ส่วนประกอบของเทคโนโลยี SGC [3]



รูปที่ 2.30 เครื่องและชิ้นงานต้นแบบจากเทคโนโลยี SGC[3]

2.2 องค์ประกอบชุดขับเคลื่อน[2]

การศึกษาในเรื่องนี้ ใช้การควบคุมการเคลื่อนที่แบบ 3 แกน โดยในแต่ละแกน ควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ไปขับบอลล์สกรู ซึ่งติดอยู่กับโต๊ะทำงานที่จะใช้ในการเคลื่อนที่ เมื่อต้องการให้เกิดการเคลื่อนที่ในแกนใดก็ใช้การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สั่งให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์ ในแกนนั้นๆ หมุนไปในทิศทางที่ต้องการไปขับบอลล์สกรู ให้ฐานรองรับงานในแกนนั้นๆ เคลื่อนที่ไปในตำแหน่งที่ถูกต้อง

2.2.1 สเต็ปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor)

หลักการทำงานของ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ จะมีเพลาหมุนเป็นสเต็ป โดยเมื่อป้อนอินพัลซ์ที่มีคสามถี่ค่าหนึ่งเข้าไป จะทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามรอบวงและหยุด ขนาดของสเต็ปขึ้นอยู่กับการออกแบบและการทำงานของสเต็ปเปอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ ซึ่งจะแตกต่างกับมอเตอร์ทั่วๆ ไปที่เมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าเข้าไปจะหมุนทันที และต่อเนื่องกันไปตลอดเวลาที่ให้กำลังไฟฟ้า

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ Stepping Motor แบ่งออกตามพื้นฐานได้ 3 ประเภทคือ

1. วาลิเอเบิลรีลัคแทนวซ์(Variable reluctance) มีโครงสร้างของสเตเตอร์ (Stator) แบบมัลติทูธ (multi-tooth) ทำจากเหล็กอ่อน ซึ่งไม่เกิดปรากฏการณ์ทางแม่เหล็ก จึงหมุนได้ไม่ติดขัด แต่มีจุดด้อยเรื่องความถูกต้องของตำแหน่ง และทำงานได้ไม่ดีนัก เมื่อ
สเต็ปในการหมุนสูง

2. เพอร์มาเน็นท์แมคเน็ต(Permanent magnet) มีโครงสร้างของโรเตอร์ (rotor) แบบเรียบ ไม่มีซี่ขั้วแม่เหล็ก และเป็นแม่เหล็กถาวร มีข้อดีในเรื่องความถูกต้องของตำแหน่งและความเร็วมากกว่าชนิดอื่นๆ

3. ไฮบริด(Hybrid) เป็นชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยเฉพาะการนำมาใช้ในอุปกรณ์ที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ มีแรงยึดเหนี่ยวสูง มีแรงบิดดึงและผลักได้ดี จึงทำให้มีความคงที่ในการทำงานดี แม่ว่าจะมีสเต็ปต่อรอบในการหมุนสูง

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ (stator) ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีเควนเชียลในรูปแบที่ถูกต้องแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ เวป(Wave), ทูเฟส(Two phase), และฮาฟสเต็ป (Half-step) ซึ่งทั้ง 3 แบบก็มีข้อดีข้อเสียต่างกันออกไป

แบบ Wave เป็นการกระตุ้นรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่ง และเรียงถัดกันไป ดังเช่นขดลวดที่ 1,2,3,4,1 หรือ 1,4,3,2,1 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการให้หมุน ดังนั้นจึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาที่ถูกกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบลูกคลื่น (Wave) จึงมีราคาถูกและง่าย 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

แบบทูเฟส (Two phase) เป็นการกระตุ้นอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งคล้ายแบบลูกคลื่น (Wave) แต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไป เช่นเดียวกับแบบลูกคลื่น (Wave) คือขดลวดที่ถูกกระตุ้น 12,23,34,41,12 หรือ 14,43,32,21,14 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุน การเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบลูกคลื่น (Wave) โรเตอร์จะเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดึงแบบเต็มแรง จาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อไปด้วยแรงดึงจาก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียคือ การกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้น แสดงการทำงานดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

แบบฮาฟ-สเต็ป (Half-step) เป็นรูปแบบที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบลูกคลื่น (Wave) และแบบทูเฟส (Two phase) ต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง 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

เมื่อมอเตอร์หมุนขับสกรู นัท(Nut) ก็จะเคลื่อนที่ไปตลอดความยาวของสกรู พาให้แผ่นเพลต (Plate) เลื่อนไปตามรางเลื่อน ภายในของนัท (Nut) จะประกอบไปด้วยชุดของลูกบอลจำนวนมาก ทำให้มั่นใจได้ว่าความเสียดทานในการส่งกำลังขับจากสกรูไปยังเพลต (Plate) จะมีน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การควบคุมการเคลื่อนที่ [2]

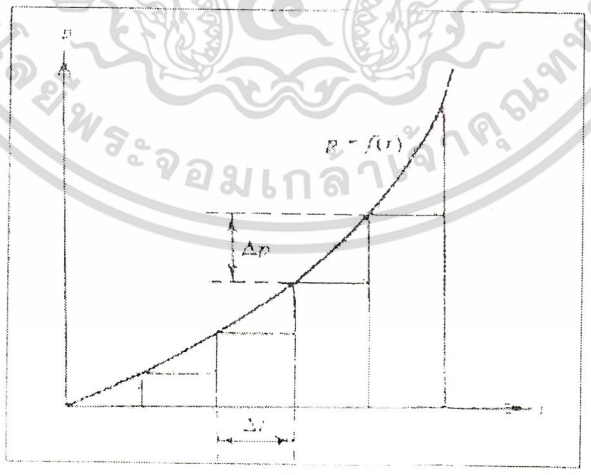
2.3.1 ดิจิตอลดิฟเฟอร์เรนเชียลอนาไลซ์เซอร์ (Digital Differential Analyzers;DDA Integrator)

ความต้องการพื้นฐานของระบบการผลิตก็คือการสร้างพิกัดการเคลื่อนที่ (coordinate movement) ซึ่งควบคุมโดยชุดควบคุมในแต่ละแกนที่แยกเป็นอิสระจากกัน เพื่อจะสร้างทางเดินของเครื่องมือ ให้เหมาะสมกับการขึ้นรูปชิ้นงานที่ต้องการสร้าง ซึ่งพิกัดการเคลื่อนที่จะเกี่ยวข้องกับการกำเนิดสัญญาณที่จะเป็นตัวกำหนดรูปร่างของชิ้นงานและการส่งสัญญาณนั้นจะอ้างอิงกับสัญญาณเข้า (input) ที่เข้ามา ซึ่งสัญญาณเข้า(input) นั้นต้องสอดคล้องกับลูปการควบคุม (control loop) ด้วย การที่สร้างสัญญาณขึ้นมาเพื่อนำไปใช้งานได้ จำเป็นต้องใช้วิธีอินเตอร์โพเรเตอร์ (interpolator) เข้ามาช่วย โดยอินเตอร์โพเรเตอร์ (interpolator) ที่ใช้กับเครื่องจักรในระบบ NC นั้นจะประกอบอยู่ในแผงวงจร แต่สำหรับเครื่องจักรในระบบซีเอนซี อินเตอร์โพเรเตอร์ (CNC interpolator) จะอยู่ในรูปของโปรแกรม (software)

DDA (Digital Differential Analyzers) เป็นรูปแบบที่พิเศษรูปแบบหนึ่งโดยใช้ภาษาดิจิตอลในขณะที่การคำนวณยังใช้วิธีแบบอนาลอก ซึ่งเป็นการรวมประโยชน์จากทั้งแบบดิจิตอลและอนาลอกเพื่อให้ได้ความแม่นยำในการคำนวณมากขึ้น

ส่วนประกอบพื้นฐานของ DDA คือ DDA อิทิเกรเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่คล้ายกับโอเปอร์เรชั่นแนลแอมปริไฟเออ (operational amplifier) ในคอมพิวเตอร์อนาลอก และยังทำหน้าที่สร้างเบสิกบล็อก (basic block) เพื่อใช้ในการประมวลผลในส่วนของการถ่ายโอนข้อมูลในรูปของภาษาดิจิตอล (n-bit) ระหว่างตัวประมวลผลก็จะถูกกำจัดไปโดยใช้วิธีอินคลีเมนทัล ทรานเฟอร์ คอมพูเทชั่น (incremental transfer computation) ซึ่งมีเพียงตัวแปรและสัญญาณ bit เท่านั้นที่จะถูกส่งถ่าย ทำให้ใช้สายสัญญาณในการถ่ายโอนข้อมูลเพียงแค่ 2 สายเท่านั้นแทนที่จะต้องใช้ทั้งหมด n+1 สาย

ดิจิตอล อินทิเกรชั่น(Digital integration) ใช้หลักในการรวมของพื้นที่สี่เหลี่ยมต่างๆ โดยการประมาณค่าของพื้นที่สี่เหลี่ยมที่อยู่ใต้กราฟ ซึ่งดิจิตอลดิฟเฟอร์เรนเชียลอนาไลซ์เซอร์ (Digital Differential Analyzers;DDA Integrator) ในเครื่องจักรระบบ NC จะใช้การประมาณค่าของพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งจะพิสูจน์โดยกำหนดตัวแปรของเวลาให้เท่ากับ t ดังที่แสดงในรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 ฟังชั่นก์การประมาณเชิงตัวเลขแบบต่อเนื่อง(Digital Approximation of a continous function) [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดิจิตอลอินทิเกรชั่น(Digital integration) จะถูกคำนวณโดยการประมาณค่าพื้นที่ใต้กราฟ ซึ่งเป็นผลรวมของสี่เหลี่ยมเล็กๆหลายรูป โดยที่กำหนดให้สี่เหลี่ยมแต่ละรูปมีความกว้างเท่ากับ t ซึ่งเป็นผลให้

$$Z(t) = \int_0^1 p\,dt = \sum_{i=1}^{k} p_i \Delta t \qquad (2.1)$$

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

$$Z_k = \sum_{i=1}^{k-1} p_i \Delta t + p_k \Delta t \qquad (2.2)$$

หรือ

$$Z_k = Z_{k-1} + \Delta Z_k \qquad (2.3)$$

เมื่อ

$$\Delta Zk = pk\Delta t \qquad (2.4)$$

ดิจิตอลอินทิเกรชั่น(Digital integration) แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยเริ่มจาก 1. ค่าของ p_k หาโดยการเพิ่มหรือลดค่าของ Δp_kออกจากค่าที่อยู่ในลำดับก่อนหน้า ดังสมการ

$$p_k = p_{k-1} + \Delta p_k \qquad (2.5)$$

หลังจากได้ค่า p_k แล้วก็นำไปแทนค่าในสมการที่ (2.4) แล้วนำค่าΔZ ที่ได้ไปคำนวณต่อในสมการที่ (2.3) DDA integrator จะดำเนินการซ้ำรอบไปเรื่อยๆ ที่ความถี่เท่ากับ f โดยเตรียมได้ดังสมการ

$$f = \frac{1}{\Delta t} \qquad (2.6)$$

ระหว่างทำการซ้ำในแต่ละรอบโดยสมการ (2.4) และ (2.5) ข้อมูล input และ output ที่เข้าสู่ ดิจิตอลดิฟเฟอร์เรนเชียลอนาไลซ์เซอร์ (Digital Differential Analyzers;DDA Integrator)จะถูกส่งในรูปของสัญญาณ 1-bit ดังนั้นค่าของ Δp และ ΔZ จะมีค่า 1 หรือ 0 เพียงเท่านั้น ซึ่งค่านี้จะถูกนำไปเก็บในดิจิตอลดิฟเฟอร์เรนเชียลอนาไลซ์เซอร์ (Digital Differential Analyzers:DDA Integrator)ในรูปของ n-bit register หรือ วงจรนับขึ้นลง ซึ่งถูกกำหนดค่าขอบเขตไว้โดย

$$\frac{p_k}{2^n} < 1 \qquad (2.7)$$

ซึ่งค่า Δp ที่เพิ่มขึ้นมา (ซึ่งมีค่าเป็น 1 หรือ 0) จะถูกเพิ่มเข้าไปยังบิตที่มีค่าน้อยที่สุด (LSB – leat significant bit) ซึ่งจะแสดงตำแหน่งของค่า p ในส่วนของเอาท์พุท หลังจากผ่านการคำนวณค่าของ n-bit ที่เข้ามาแล้ว ก็จะถูกแสดงผลออกมาเป็นค่า q

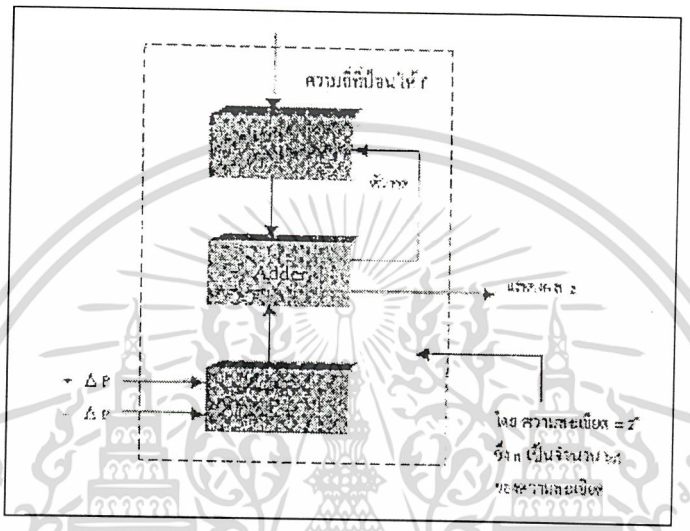
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_k = q_{k-1} + p_k \qquad (2.8)$$

ถ้าค่าของ q มีค่าเกินกว่า 2^n-1 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่อนุญาตให้มีได้ จะเกิดการไหลเกิน 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 2.32 แผนภาพการทำงาน(schematic diagram) ของ DDA อินทิเกรเตอร์ [2]

จากรูปที่ 2.32 จะเห็นว่าประกอบไปด้วย p และ q โดยที่การเพิ่มค่าของค่า p แสดงดังสมการที่ (2.5)Δp ที่เพิ่มเข้ามา (ซึ่งมีค่าเป็น 1 หรือ 0) การเพิ่มค่าของตัวมันเองจะใช้สมการที่ 1-7 ซึ่งจะเป็นการเพิ่มค่าในทุกๆ รอบที่มีการทำซ้ำ โดยค่า ΔZ ที่ได้จากแผนภาพในแต่ละรอบ จะถูกแสดงดังสมการ

$$\Delta Z_k = 2^{-n} p_k \tag{2.9}$$

ถ้านำสมการที่ 2.6 และ 2.9 มารวมกันจะสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

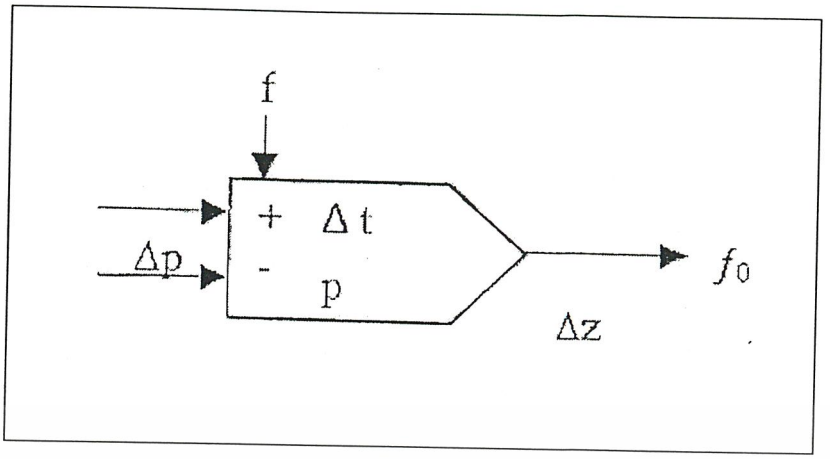
$$\Delta Z_k = C p_k \tag{2.10}$$

ซึ่งค่า C เป็นค่าคงที่ โดยมีค่าดังนี้

$$C = \frac{f}{2^n} \tag{2.11}$$

สัญลักษณ์ที่ใช้แทน DDA อินทิเกรเตอร์ แสดงดังรูปที่ 2.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 สัญลักษณ์ของ DDA อินทิเกรเตอร์[2]

DDA จะทำการส่งพัลส์ (pluse) ΔZ ออกมาซึ่งจะกลายไปเป็น Δp input ของ DDA อื่นๆ ซึ่งขึ้นกับเรา ออกแบบ โดยปรกติแล้วตัวของ DDA จะไม่สมค่าพัลส์ (pluse) ΔZ แต่ถ้าต้องการค่าผลรวมของ ΔZ จะต้องทำการเพิ่มตัวนับ(counter) เข้าไปด้วย

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

$$\begin{array}{rr} q_{k-1} & 101 \\ + & + \\ p_k & 101 \\ \hline \Delta Z \;\; q_k & 1\;\;010 \end{array}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

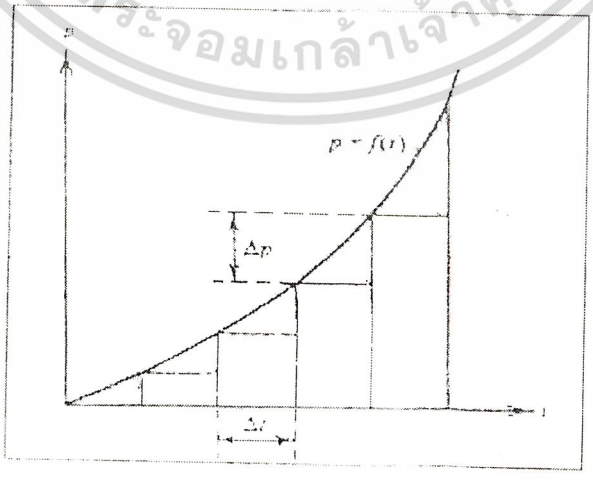
2.3.2 ฮาร์ดแวร์อินเตอร์โพเรเตอร์(DDA Hardware Interpolator)

การที่จะทำการกำหนดโครงร่างของเส้นทางเดินตัด จะต้องเกิดจากการรวมส่วนของเส้นตรงและเส้นโค้งเข้าด้วยกัน ซึ่งมันจำเป็นมากที่จะต้องกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายรวมทั้งอัตราป้อน (feed rate) ซึ่งเครื่องจะทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้ข้อมูลซึ่งผ่านการทำตัวประมวลเชิงเส้น (interpolation) มาก่อน ซึ่งเมื่อนำข้อมูลนี้มารวมกับวงจรอิเลคทรอนิคส์ (electronic unit) ก็จะกลายเป็นตัวประมวลเชิงเส้น (interpolator) เครื่องจะได้รับการควบคุมในแต่ละแกนโดยแยกตัวขับ (drive) ควบคุมในแต่ละแกนเป็นอิสระจากกัน วิธีการโดยทั่วไปของตัวประมวลเชิงเส้น (interpolator) มีอยู่ 2 วิธี คือ เชิงเส้น และวงกลม แต่ว่ายังมีตัวประมวลเชิงเส้นส่วนโค้ง (parabolic interpolator) ซึ่งได้รับความนิยมในเครื่อง NC ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอากาศยาน

ความสามรถในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเส้นตรง โดยการป้อนค่าจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายคือการใช้ ลิ-เนียอินเตอร์โพเรชั่น(linear interpolation) ซึ่งสามารถแสดงออกมาได้ทั้งระนาบ 2 มิติซึ่งประกอบด้วยการเคลื่อนที่แกนเดียว หรือ 2 แกน และระนาบ 3 มิติ ซึ่งประกอบด้วย การเคลื่อนที่ 3 แกน

2 – D อินเตอร์โพเรชั่น(Interpolation) ทำหน้าที่ส่งความเร็ว (ในหน่วย pulse / seconds) และทำหน้าที่รักษาอัตราส่วนระหว่างความถี่ของพัลส์ (pluse) ให้เท่ากับอัตราส่วนระหว่างระยะทางที่เพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างดังแสดงในรูป 2.34 ชิ้นงานจะถูกตัดเป็นเส้นตรงระว่างจุด A และจุด B ระยะทางของแกน X และแกน Y มีค่า 5 และ 3 BLUs ตามลำดับ ซึ่ง 1 BLUs มีค่าเท่ากับสัญญาณพัลส์ (pluse) ที่ออกมา 1พัลส์ (pluse) แสดงว่าอินเตอร์โพเรเตอร์ จะต้องส่งสัญญาณไปยังขบวนการควบคุม (control loop) ของแกน X จำนวน 5พัลส์ (pluse) พร้อมกับส่งสัญญาณไปยังคอนขบวนการควบคุม (control loop) ของแกน Y จำนวน 3พัลส์ พร้อมๆ กัน จะได้อัตราส่วนของความถี่ทั้งสองแกนมีค่าเท่ากับ 5:3

รูปที่ 2.34 แสดงไดอะแกรมของตัวประมวลเชิงเส้น 2 มิติ (2-D Interpolator) ในแต่ละแกนก็ต้องการ DDA อินทิเกรเตอร์ เฉพาะแกน อินทิเกรเตอร์ หมายเลข 1 จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณพัลส์ ไปยังแกน X และ อินทิเกรเตอร์หมายเลข 2 จะทำหน้าที่ส่งสัญญาณพัลส์ ไปยังแกน Y ซึ่ง DDA ทั้งสองตัวจะต้องทำงานพร้อมๆ กัน สัญญาณพัลส์ (pluse) ΔZ จะถูกส่งออกไปยังขบวนการควบคุม ซึ่งสัญญาณพัลส์ เหล่านี้จะไปกระตุ้นการทำงานของ สเต็ปปิ้งมอเตอร์ ในโอเพนลูป(open loop) โดยที่ พัลส์ หนึ่ง พัลส์ จะทำให้ สเต็ปปิ้งมอเตอร์ เคลื่อนที่ไปได้ 1 จังหวะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.34 ไดอะแกรมของ 2-D อินเตอร์โพเรเตอร์(Interpolator) [2]

ตัวอย่างที่ 3 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

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)

เพราะฉะนั้นจะหาความได้ = 6 blu / 1 sec

เนื่องจากในเครื่องจักรจริงจะมีการกำหนดความถี่สัญญาณนาฬิกา (clock) มาให้

สมมติให้ความถี่เท่ากับ 10 unit/sec ต้องการการเคลื่อนที่ 6 unit จะได้ว่าเราจะต้องใช้ เวลา 0.6 sec - - - #

จากสมการ $2^{-n} - 1$ ถ้าเราต้องการเคลื่อนที่ 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 1 step

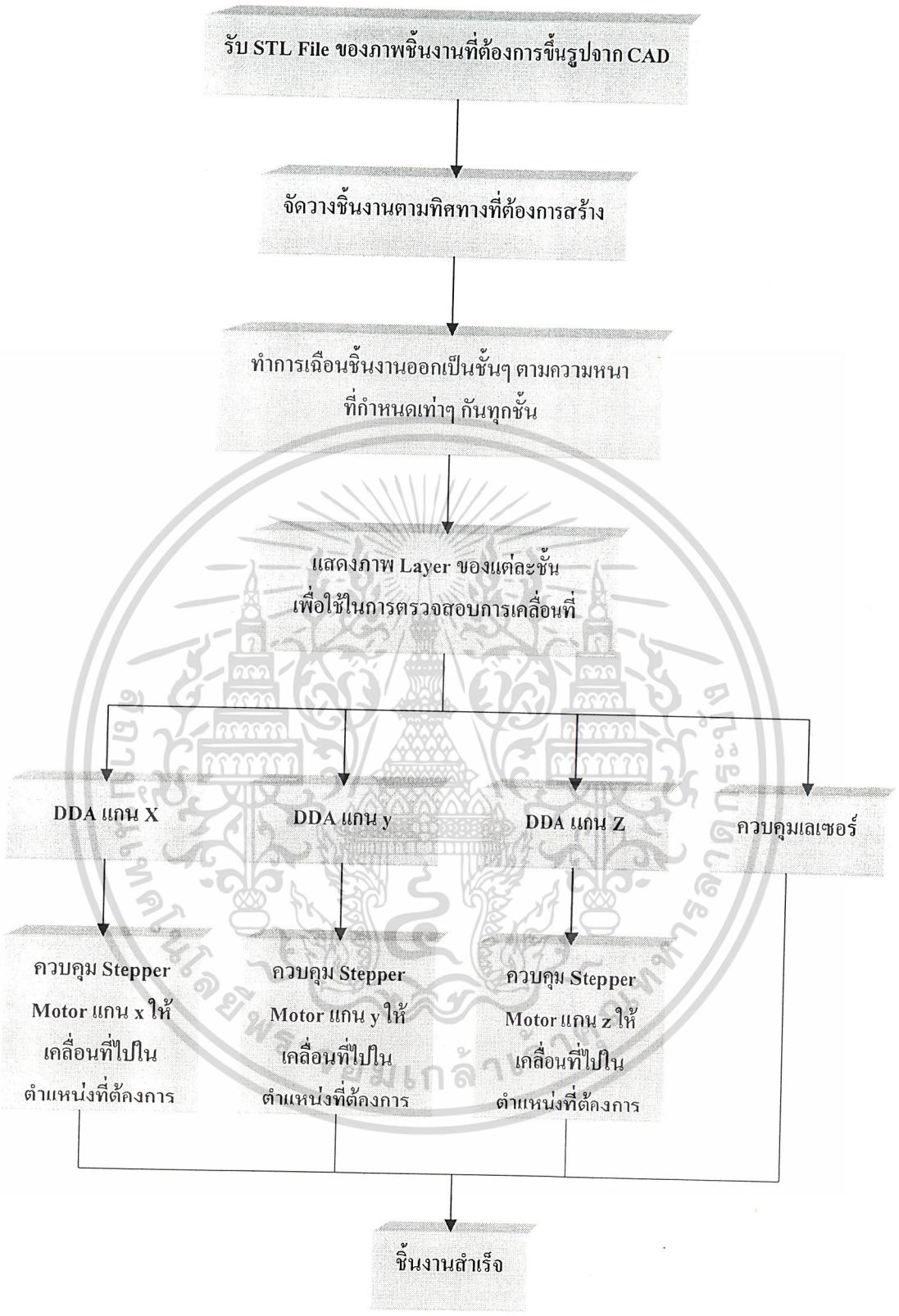
จะได้ความถี่ = 7 step / 0.6 sec

2.4 การออกแบบด้านซอฟแวร์

ในการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่อง RP ในการสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงาน โดยแบ่งการควบคุมออกเป็น 2 ส่วน

การควบคุมส่วนโครงสร้าง เป็นการควบคุมเกี่ยวกับ การรับข้อมูลภาพของชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูป , การเฉือนภาพเป็นชั้น ๆ และการควบคุมเครื่องให้ฉีดขึ้นรูปชิ้นงานตามที่ต้องการ ลำดับการทำงาน ดังรูปที่ 2.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

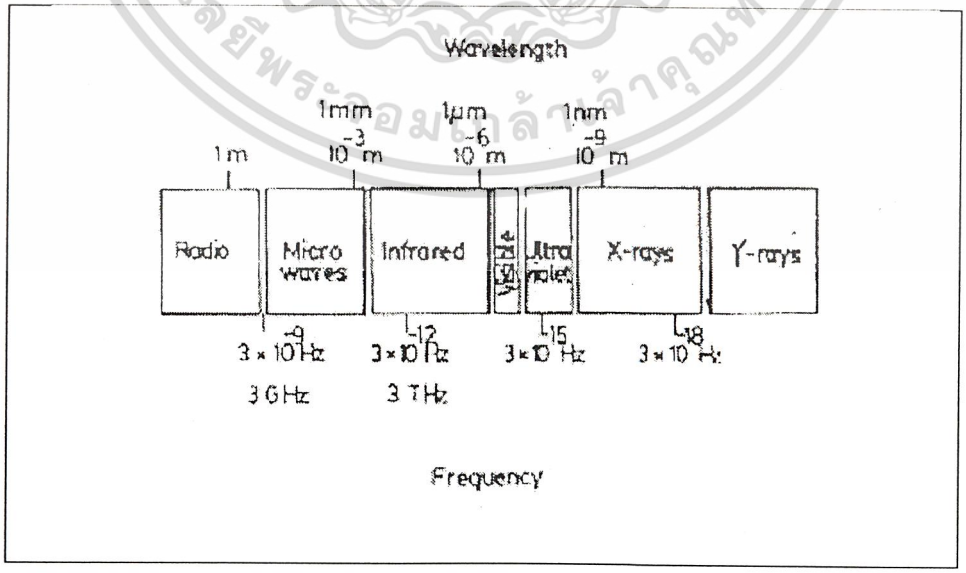


รูปที่ 2.35 การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในส่วนโปรแกรม(Software)[2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เลเซอร์ (Laser)[3]

เลเซอร์ (Laser) เป็นคำศัพท์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในวงการวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและวงการต่างๆ เลเซอร์อาจหมายถึงลำแสงที่บริสุทธิ์เท่าที่นักวิทยาศาสตร์จะผลิตออกมาได้ หรืออาจหมายถึงระบบเครื่องมือชนิดหนึ่งที่สามารถผลิตแสงบริสุทธิ์ หรืออาจหมายถึงวิทยาการที่เกิดจากการใช้วิทยาการหลายด้านทางวิทยาศาสตร์มาประยุกต์เข้าเป็นวิทยาการใหม่ที่มีบทบาทและการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบันนี้ ประเทศใดยิ่งเจริญก้าวหน้าในทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมากเท่าใด การนำเลเซอร์มาใช้ประยุกต์ในชีวิตประจำวันก็เพิ่มมากขึ้นเท่านั้น โดยความเป็นจริงแล้วเลเซอร์มิได้เป็นประดิษฐ์กรรมที่เพิ่งจะเริ่มขึ้นใหม่ตามที่เข้าใจกันโดยทั่วๆ ไป เครื่องเลเซอร์เครื่องแรกของโลกนั้นคือ รูบี้เลเซอร์ (Ruby Laser) ได้ถูกประดิษฐ์คิดค้นโดย T.H. Maiman [1] สำเร็จเมื่อ ค.ศ. 1960 หลังจากนี้แล้วก็ได้มีการประดิษฐ์คิดค้นและสามารถผลิตเลเซอร์ชนิดต่างๆ ออกมาอย่างมาก และแม้ในปัจจุบันนี้ก็ยังมีการค้นพบเลเซอร์ชนิดใหม่ๆ อยู่ตลอดเวลา ในปัจจุบันได้มีการนำเอาวิชาการและเครื่องเลเซอร์มาประยุกต์ใช้งานในวงการต่างๆ อย่างกว้างขวางและเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมากที่สุดแขนงหนึ่ง เครื่องเลเซอร์จึงได้รับการขนานนามโดยทั่วไปว่าเป็น "เครื่องมือวิทยาศาสตร์ยุคต์ใหม่ (Modern Scientific Instrument)" และมีบทบาทที่สำคัญในการพัฒนาประเทศอย่างมาก โดยเฉพาะด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีด้านอุตสาหกรรม ด้านการแพทย์ ด้านการเกษตร ด้านธุรกิจการค้า ตลอดจนด้านการทหาร เป็นต้น เรามีความจำเป็นต้องเข้าใจในเบื้องต้นเกี่ยวกับเลเซอร์เสียก่อน จากนั้นก็ทำการศึกษาได้อย่างละเอียดต่อไป ตามสภาพเป็นจริงแล้วแสงเลเซอร์ก็คือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) ซึ่งเกิดจากขบวนการทางฟิสิกส์ที่เรียกว่า Light Amplification by Stimulated Emission Radiation ซึ่งย่อให้สั้นลงแล้วจะเป็นคำ LASER ดังนั้นแสงเลเซอร์จึงเป็นคลื่นแสงที่มีคุณสมบัติทางสเปคตรัม (spectrum) เหมือนกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกประการ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) นั้นเป็นที่รู้จักและทราบเกี่ยวกับคุณสมบัติของมันเป็นอย่างดีในวงการวิทยาศาสตร์และวงการอื่นนานมาแล้ว กล่าวคือ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่มีช่วงคลื่นสั้น เริ่มตั้งแต่รังสีแกมม่า (gamma-rays) และต่อมาเป็นรังสีเอ็กซ์ (X-rays) และช่วงคลื่นจากยาวออกมาเรื่อยๆจนถึงช่วงสเปคตรัมที่ตาของมนุษย์มองเห็นได้คือ ช่วงวิบจีออร์ (VIBGYOR) และต่อไปก็เป็นช่วงรังสีอินฟาเรด (Infrared) ช่วงคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) คลื่นวิทยุ (Radio wave) ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 1 เมตร เป็นต้นไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.36 แสดงสเปคตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตั้งแต่รังสีแกมม่า (γ-rays) จนถึงคลื่นวิทยุ (Radio wave)[3]

ในปัจจุบันวิทยาศาสตร์สามารถผลิตแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น λ (wavelength) ตั้งแต่ย่านอินฟาเรด (infrared) ไปจนถึงย่านรังสีเอ็กซ์ (X-rays) ได้เป็นผลสำเร็จ ได้มีการค้นพบและประดิษฐ์เครื่องผลิตเอ็กซเรย์เลเซอร์ (X-rays laser) ออกมาเมื่อ ค.ศ.1984 โดย A.L.Robinson [2] ที่ Lawrence Radiation Laboratory, Livermore, California, U.S.A โดยทั่วไปแล้วเราจะพบข่าวเกี่ยวกับการก้าวหน้าทางวิชาการและการประยุกต์ของเลเซอร์อยู่เสมอ อาทิเช่น ในวงการแพทย์ วงการอุตสาหกรรม การนำเลเซอร์มาใช้เกี่ยวกับมาตรฐานของเวลา เนื่องจากเลเซอร์มีคุณสมบัติพิเศษที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางที่แน่นอนไม่บานปลาย และมีการเปลี่ยนแปลงของความเข้มของลำแสงน้อยๆ มาก เมื่อเคลื่อนไปห่างจากแหล่งกำเนิด ดังนั้นเราจึงสามารถยิงเลเซอร์ไปได้ไกลๆ กล่าวคือ ยิงแสงเลเซอร์ออกจากโลกไปกระทบกระจกพิเศษสะท้อนแสงเลเซอร์ (ซึ่งติดตั้งโดยนักบินยานอวกาศของสหรัฐ) บนดวงจันทร์แล้วสะท้อนกลับมายังโลกได้สำเร็จ โดยที่นักวิทยาศาสตร์สามารถวัดความเข้มของรังสีที่สะท้อนมาได้ ทำให้เราสามารถทราบระยะทางระหว่างโลกกับดวงจันทร์ได้อย่างแม่นยำ และเป็นการแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า เลเซอร์จะเป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ติดต่อสื่อสารโทรคมนาคม (Telecommunication) ในอวกาศได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้เรายังใช้แสงเลเซอร์วัดระยะทางและวงโคจรของดาวเทียมเหนือพื้นโลกได้อย่างแม่นยำ ในวงการอุตสาหกรรมได้มีการนำเลเซอร์ไปใช้ในการตัด เจาะ แผ่นโลหะ แผ่นเซลล์สุริยะ และวัสดุอื่นได้เป็นอย่างดี และโดยเฉพาะในกรณีที่เครื่องตัดเจาะแบบธรรมดาไม่สามารถทำได้ ในวงการแพทย์ได้มีการนำเลเซอร์ไปใช้ในการผ่าตัดหลายรูปแบบ อาทิ ผ่าตัดเนื้อร้าย มะเร็ง ผ่าตัดนัยน์ตา ผ่าตัดต้อ ตลอดจนจัดแต่งในทันตกรรม ในวงการธุรกิจ ได้มีการนำเลเซอร์มาใช้ในการพิมพ์ ซึ่งทำให้ภาพคมชัดและควบคุมการจัดสีสันได้สะดวกขึ้น ใช้เลเซอร์ร่วมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ในการอ่านรหัสสินค้า (Bar code) ทำให้การคิดเงิน การทำสต๊อค การจัดซื้อ และการคิดบัญชี ทำได้อย่างรวดเร็วแม่นยำขึ้นมาก

2.5.1 ประวัติการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของเลเซอร์ (Historical Development of Science and Technology of Laser)

วิทยาศาสตร์ด้านเลเซอร์ที่เจริญรุ่งเรืองมาจนปัจจุบันนี้ ได้มีรากฐานความเป็นมาจากการค้นคว้าวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของวิชาการด้านอื่นมาก่อน ได้มีการวิจัยพัฒนาและศึกษาข้อมูลทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทางแสง ทางฟิสิกส์ ของอะตอมและโมเลกุล ทางอิเล็กทรอนิกส์ และฯลฯ อย่างกว้างขวาง จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์รุ่นหลังสามารถนำความรู้ทางวิชาการและข้อมูลทางการวิจัยเหล่านั้นมาประยุกต์และสามารถผลิตเครื่องกำเนิดแสงเลเซอร์ได้เป็นผลสำเร็จ แสงเลเซอร์ได้ถูกผลิตออกมาได้สำเร็จเป็นครั้งแรกโดย T.H.Maiman [1] ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาของบริษัทแอร์คราฟ (Hughes Aircraft Co.) เมื่อปี ค.ศ. 1960 Maiman ได้ใช้ระบบรูบีเลเซอร์ (Ruby Laser System) ผลิตแสงเลเซอร์สีชมพูที่ช่วงคลื่น λ = 694.3 nm. ออกมาจากแท่งทับทิม (Ruby) ซึ่งกระตุ้นโดยการรับพลังงานแสงจากหลอดแฟลชแลมพ์ (flashlamp) นับได้ว่ารูบี้เลเซอร์เป็นเลเซอร์ระบบแรกของโลก และต่อจากนั้นก็ได้มีการตื่นตัวในวงการฟิสิกส์ ทำให้เกิดมีการศึกษาวิจัยและพัฒนาวิทยาการทางด้านเลเซอร์และการประยุกต์ของเลเซอร์มาตลอดจนถึงในปัจจุบัน

ก่อนที่จะได้มีการค้นพบและประดิษฐ์รูบีเลเซอร์ซึ่งเป็นระบบเลเซอร์ระบบแรกของโลกนั้น ได้มีการค้นคว้าวิจัยพัฒนาและความรู้ทางวิชาการสาขาอื่นทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ใกล้เคียงกับด้านเลเซอร์มาก่อนหน้านี้นานมาแล้วตามที่กล่าวไว้ในตอนต้น ประกอบกับได้มีการพัฒนาขีดความสามารถทางด้านเทคโนโลยีของไมโครเวฟภายหลังสงครามโลกครั้งที่สองไว้มากพอที่จะทำให้การผลิตแสงเลเซอร์ได้ง่ายในเวลาต่อมา หากเรามองย้อนหลังไปประมาณ 100-150 ปีที่แล้วมา เราจะพบว่าระหว่างปี ค.ศ. 1860-1865 James Clerk Maxwell ได้คิดค้นทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Theory) ซึ่งต่อมาไม่กี่ปี Herts ก็สามารถทำการคิดค้นพิสูจน์ในเชิงปฏิบัติว่ามีคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไฟล์ไปเผยแพร่ต่อ ไม่ว่าจะเป็นการเผยแพร่ฟรีหรือคิดค่าบริการ

แม่เหล็กไฟฟ้าจริงตามทฤษฎีของ Maxwell การค้นพบทางทฤษฎีและการทดลองครั้งนี้ถือได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์ทั้งหลายในเวลาต่อมาเข้าใจถึงทฤษฎีและสามารถก่อให้เกิดแสงเลเซอร์ได้เป็นผลสำเร็จ ในทศวรรษ 1920, 1930 และ 1940 นั้นได้มีการวิจัยและทดลองอย่างกว้างขวางในเรื่องของฟิสิกส์อะตอม และโมเลกุล (Atomic and Molecular Physics) การค้นพบทฤษฎีควอนตัม (Quantum Theory) ทฤษฎีเกี่ยวกับฟิสิกส์ของแข็ง (Solid State Theory) ทฤษฎีฟิสิกส์นิวเคลียร์ (Nuclear Physics) ตลอดจนการคิดค้นเครื่องเรดาร์ (Radar) และการผลิตคลื่นไมโครเวฟ (Microwave) ต่อมาในทศวรรษ 1950 ได้มีการประยุกต์ทฤษฎีและเทคโนโลยีทางด้านฟิสิกส์ของแข็ง (Solid State Theory) และอิเล็กโทรนิกส์จนสามารถทำให้นักวิทยาศาสตร์ผลิตสารกึ่งตัวนำ (Semi-conductor) เป็นผลสำเร็จ ซึ่งต่อมาได้พัฒนายิ่งขึ้นจนเป็นอินทรีเกรตเตทเซอร์คิต (Integrated Circuit, IC) การเจริญทางด้านการวิจัยและพัฒนาทางวิทยาศาสตร์สาขาต่างๆ เหล่านี้เป็นรากฐานก่อให้เกิดการพัฒนาทางด้านวิชาการสาขาอื่น ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแขนงใหม่ ซึ่งเรียกว่า เลเซอร์ฟิสิกส์และเทคโนโลยี (Laser physics and technology) ขึ้นในเวลาต่อมา การพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของเลเซอร์ฟิสิกส์และเทคโนโลยีนั้นพอสรุปเป็นสังเขปได้ดังต่อไปนี้

ปี ค.ศ.	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องทางด้านเลเซอร์
1860-1865	James Clerk Maxwell ตั้งทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Theory)
1880	โทรเลข (Telegraph)
1890	Heinrich Herts ทำการทดลองและพิสูจน์ได้ว่ามีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจริงตามทฤษฎีของ Maxwell
1890	วิทยุ (Radio)
1917	Albert Einstein ตั้งทฤษฎีสติมูลเลดเต็ดอิมิสชั่นของอะตอม (Theory of Stimulated Emission)
1900-1940	ทฤษฎีฟิสิกส์ของแข็ง (Solid State Physics) รูปแบบและโครงสร้างอะตอมและโมเลกุล (Atomic and Molecular Model) ทฤษฎีควอนตัม (Quantum Theory) เทคโนโลยีสุญญากาศ (Vacuum Technology) และ ฯลฯ
1938/39	การประดิษฐ์เครื่องเรดาร์ (Radar)
1945-1953	ทฤษฎีการประยุกต์ด้านไมโครเวฟ (Microwave) การค้นพบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor)
1954	J.P.Gordon, H.J.Zeiger, และ C.H.Townes ค้นพบการเกิดเมเซอร์ (MASER: Microwave Amplification by Stimulated Emission)
1956	N.Bloembergen เสนอทฤษฎีเกี่ยวกับเมเซอร์ชนิดใหม่ Proposal for a New Type of Solid state Maser เป็นรากฐานทางทฤษฎีของเลเซอร์แบบ Three Level Laser System
1958	Charles H. Townes and Arthur L. Schaelow เสนอแนวทางการทำให้เกิด Optical Maser "Theoretical Proposal on Optical Maser" ซึ่งเป็นรากฐานทางทฤษฎีการให้กำเนิดเลเซอร์ในเวลาต่อมา
1960	Theordore H. Maimann ได้ประดิษฐ์เลเซอร์เครื่องแรกของโลกคือ รูบีเลเซอร์ (Ruby Laser) เป็นผลสำเร็จ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการแพร่หลายทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางด้านเลเซอร์มาจนถึงปัจจุบัน
1961	Ali Javan ได้ประดิษฐ์เลเซอร์ระบบที่สองของโลกคือ ระบบฮีเลียมนีออนเลเซอร์ (Helium-Neon Laser ระบบแกสเลเซอร์ระบบแรกของโลก) เป็นผลสำเร็จ และฮีเลียมนีออนเลเซอร์ก็ยังคงมีใช้อย่างแพร่หลายจนถึงปัจจุบันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี ค.ศ.	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องทางด้านเลเซอร์
1961-ปัจจุบัน	เป็นยุคของการวิจัยพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของเลเซอร์ซึ่งได้มีการประดิษฐ์เลเซอร์แบบต่างๆ ออกมาหลายชนิด อาทิเช่น คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (Carbondioxide laser) นีโอดิเมียมแยกเลเซอร์ (Nd:YAG laser) อาร์กอนเลเซอร์ (Argon laser) ฟรีอิเล็กตรอนเลเซอร์ (Free Electron Laser) จนถึงเอ็กซเรย์เลเซอร์ (X-ray Laser) เป็นต้น ได้มีการพัฒนาคุณภาพของลำแสงเลเซอร์เพื่อนำๆปใช้งานให้เหมาะสมยิ่งขึ้น เช่น การผลิตคิวสวิตเลเซอร์ (Q-switched Laser) การผลิตโมดล็อคเลเซอร์หรือพิคโคเซ็คกันเลเซอร์ (Mod Locked Laser, Pico-ssecond Laser) และในปัจจุบันนี้นักฟิสิกส์มีขีดความสามารถทำเฟมโตเซ็คกันเลเซอร์ (Femto-second Laser) ได้แล้วทำให้สามารถใช้ศึกษางานที่เกี่ยวกับปฏิกิริยาที่ไวมาก หรือวัดระยะทางไกลๆ ได้อย่างแม่นยำมีความคลาดเคลื่อนเพียงไมโครเมตรเท่านั้น เป็นต้น

จากประสบการณ์ที่นักฟิสิกส์ได้เรียนรู้จากการพัฒนาระบบเรดาร์ (Radar) ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ประกอบกับความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในการผลิตคลื่นไมโครเวฟ (microwave) ความถี่สูงนั้น จึงทำให้ ปี ค.ศ. 1954 J.P.Gordon และคณะ [3, 4] สามารถผลิตเครื่องไมโครเวฟที่เรียกว่าเมเซอร์ (MASER) ได้สำเร็จ เมเซอร์ MASER นั้นย่อมาจาก Microwave Amplification by stimulated Emission Radiation และต่อมานักฟิสิกส์ได้ผลิตเมเซอร์ชนิดอื่นๆ ในรูปแบบต่างๆ ออกมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ในขณะเดียวกันนั้นความรู้ทางวิชาการด้านอิเล็กทรอนิกส์และทางด้านฟิสิกส์ของแข็งก็ได้เพิ่มพูนขึ้นเป็นลำดับ สำหรับพื้นความรู้ทางด้านสติมูลเลคเต็ดอิมิชั่น (Stimulated Emission) นั้น นักฟิสิกส์มีความรู้เพียงพอและค่อนข้างจะสมบูรณ์ ทั้งนี้เพราะ Albert Einstein [5] เป็นผู้ตั้งทฤษฎีนี้ไว้ในปี ค.ศ. 1917 นานมาแล้ว เพียงแต่รอให้ด้านเทคโนโลยีเจริญก้าวหน้าทันพอที่จะทำให้เกิดสภาวการณ์ได้ตามทฤษฎีเท่านั้น โอกาสที่จะทำให้เกิดแสงเลเซอร์ก็จะมีมากขึ้น ดังนั้นในปี ค.ศ. 1958 Charles H. Townes และ Authur L. Shalow [6] ได้นำหลักการเกิดสติมูลเลคเต็ดอิมิชั่นตามทฤษฎีของ A. Einatein มาประยุกต์ใช้กับระบบเมเซอร์ โดยได้เสนอผลงานทางทฤษฎีชี้นำว่า นักวิทยาศาสตร์มีความรู้ทางทฤษฎีและเทคโนโลยีพอที่จะผลิตเมเซอร์ (MASER) ความถี่สูงและมีช่วงคลื่นสั้นกว่าเดิม (สั้นกว่าย่าน microwave) จนไปถึงย่านสเปคตรัมที่ตาเปล่าสามารถมองเห็นได้ (ย่าน VIBGYOR) และเสนอให้เรียกชื่อไมโครเวฟที่มีช่วงคลื่นสั้นในย่านนั้นว่า ออฟติคัลเมเซอร์ (Optical MASER) ซึ่งคำว่าออฟติคัลเมเซอร์นี้ในภายหลังต่อมาได้ถูกเรียกให้เหมาะสมเสียใหม่ว่า เลเซอร์ (LASER) ตามอธิบายไว้แล้วในตอนต้น ตามข้อเสนอทางทฤษฎีเกี่ยวกับออฟติคัลเมเซอร์ของ Shalow และ Townes นี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์ทั้งหลายได้พยายามอย่างยิ่งยวดในการทำวิจัยและค้นคว้าเพื่อที่จะผลิตแสงออฟติคัลเมเซอร์ (Optical MASER) ออกมาให้ได้ ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ. 1960 T.H. Maiman ก็ได้ประสบความสำเร็จในการผลิตออฟติคัลเมเซอร์ (Optical MASER) หรือต่อมาเรียก เลเซอร์ (LASER) จากระบบรูบีเลเซอร์ (Ruby Laser) เป็นครั้งแรกของโลกในห้องปฏิบัติการวิจัยพัฒนาของบริษัทฮิวส์แอร์คราฟ (Hughes Aircraft Co.) โดยรูบีเลเซอร์ให้แสงเลเซอร์ที่ช่องความยาวคลื่น λ = 694.3 nm. (สีชมพู) และระบบรูบีเลเซอร์ยังนิยมใช้กันอยู่แพร่หลายจนถึงปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ประเภทของเลเซอร์ (Type of Lasers)

นับตั้งแต่ T.H. Maiman ได้ประสบผลสำเร็จในการประดิษฐ์ระบบรูบีเลเซอร์ (Ruby Laser) ในปีค.ศ. 1960 เป็นต้นมา เลเซอร์หลลายชนิด ตลอดจนการประยุกต์ใช้ก็ถูกผลิตและนำไปใช้อย่างมากมาย ทำให้เกิดมีเลเซอร์หลายชนิดและหลายรูปแบบตามความเหมาะสมและสภาวะของการทำให้เกิดแสงเลเซอร์ ตลอดจนการประยุกต์ใช้งานในการจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์นั้นทำได้หลายกรณี แต่โดยทั่วไปนั้นมักจะจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์ตาม สถานะ ของสารเลเซอร์ ในบางกรณีเราอาจจะพิจารณาจาก สภาวะของสารเลเซอร์หรือเลเซอร์มีเดียมก็ได้ ดังนั้นการแบ่งกลุ่มประเภทของระบบเลเซอร์ (Laser System) อาจทำได้ดังต่อไปนี้

2.5.2.1 การจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์ตามสถานะของสารเลเซอร์

ในกรณีนี้เราใช้สถานะของสารเลเซอร์เป็นหลักในการจัดแบ่ง กล่าวคือ สถานะที่เป็นแบบของแข็ง (Solid) เป็นแบบของเหลว (Liquid) และเป็นแบบแกส (Gas)

โซลิดสเตตเลเซอร์ (Solid State Lasers) ระบบเลเซอร์ชนิดนี้ใช้เลเซอร์มีเดียมในสถานะที่เป็นของแข็งในรูปแบบผลึก อาทิเช่น ผลึกรูบี (Ruby Crystal) หรือสารกึ่งตัวนำ (Semi-conduction) เช่น GaAs หรือในรูปแบบของการ์เน็ท (Garnet) เช่น นิโอดิเมียมยิทเทรียมอะลูมิเนียมการ์เน็ท (Neodymedium Yttrium Aluminium Garnet-Nd: YAG) หรือในรูปแบบของแข็งอสัณฐาน เช่น การใส่ธาตุนิโอดิเมียมเจือปนเป็นแบบ impurity ลงในแท่งแก้วเรียกว่า นิโอดิเมียมกลาส (Nedymium Glass-Nd: Glass) เป็นต้น

ลิควิดเลเซอร์ (Liquid Laser) เลเซอร์ระบบนี้ใช้เลเซอร์มีเดียมที่มีสถานะเป็นของเหลว (Liquid) สารพวกนั้นได้แก่ สารละลายสีย้อมผ้า (Dye Solution) ซึ่งมีตัวถูกละลายเป็นดาย (Dyes) ชนิดต่างๆ ละลายในตัวทำละลาย (Solvent) แอลกอฮอล์ อาร์ซีโตน เป็นต้น เลเซอร์มีเดียมเหล่านั้นได้แก่ Rhodamine 6G, Rhodamine B, Coumarin เป็นต้น โดยทั่วไป ลิควิดเลเซอร์ (Liquid Laser) มักจะถูกเรียกแทนด้วยคำ ดายเลเซอร์ (Dye Laser) เพื่อชี้เน้นถึงตัวเลเซอร์มีเดียม

แกสเลเซอร์ (Gas Laser) เลเซอร์ระบบนี้ใช้สารเลเซอร์มีเดียมที่มีสถานะเป็นแกส (gas) สารเลเซอร์มีเดียมเหล่านั้นได้แก่ แก๊สผสมระหว่างแก๊สฮีเลียม และแก๊สนีออน (He + Ne) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม แก๊สผสมระหว่างแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไนโตรเจน และแก๊สฮีเลียม ($CO_2 + N_2 + He$) แก๊สไนโตรเจน (N_2) แก๊สซีนอนคลอไรด์ (XeCl) แก๊สอาร์กอน (Argon) เป็นต้น

2.5.2.2 การจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์ตามสภาวะของสารเลเซอร์

ในกรณีนี้เราใช้สภาวะของสารเลเซอร์มีเดียมเป็นหลักในการพิจารณาจัดแบ่ง กล่าวคือ เราศึกษาและพิจารณาละเอียดลงไปว่า ในการที่ทำให้เกิดแสงเลเซอร์นั้น สารเลเซอร์มีสภาวะเป็นอะตอม (atoms) หรือโมเลกุล (molecules) หรืออยู่ในสภาวะแบบ (ions) เป็นต้น ทั้งนี้คุณสมบัติของแสงเลเซอร์ที่ได้ออกมานั้นจะไม่เหมือนกันและมีช่วงความยาวคลื่นต่างกันออกไป ในการจัดแบ่งตามเกณฑ์ดังกล่าวนี้ ประเภทของเลเซอร์จะถูกจัดแบ่งออกเป็น

อะตอมมิคเลเซอร์ (Atomic Laser) เลเซอร์ระบบนี้ใช้สารเลเซอร์มีเดียมที่อยู่ในสภาพเป็นอะตอม (atoms) แล้ว การเกิดแสงเลเซอร์ขึ้นนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์แบบสติมูลเลดเต็ดอิมิชั่น ระหว่างค่าระดับพลังงานของอะตอมในสารเลเซอร์มีเดียม ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานเป็นการเปลี่ยนแปลงระหว่างระดับอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Level Transition) ซึ่งให้ค่า $\Delta E = (E_2 - E_1)$ มากซึ่งจะยังผลให้แสงเลเซอร์มีค่าความถี่ $\nu = (E_2 - E_1) / h$ อยู่ในย่านที่ตาเปล่ามองเห็น (visible spectrum) ระบบเลเซอร์ดังกล่าวนี้ ได้แก่ ระบบฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ ระบบรูบีเลเซอร์ ไนโตรเจนเลเซอร์ เป็นต้น ในบางกรณีมีการเปลี่ยนแปลงค่าพลังงาน ค่าพลังงานระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์ (electronic level) ของอะตอมก็ตามที แสงเลเซอร์ที่ออกมาอยู่ในย่านอินฟาเรด (infrared) อาทิเช่น ระบบ Nd: YAG laser, Nd: Glass Laser เป็นต้น ซึ่งเราจัดเลเซอร์เหล่านี้อยู่ในพวกอะตอมมิคเลเซอร์เช่นเดียวกัน

โมเลคคูลาร์เลเซอร์ (Molecular Lasers) เลเซอร์ระบบนี้ใช้สารเลเซอร์มีเดียมที่อยู่ในสภาวะเป็นโมเลกุล (molecules) การเกิดแสงเลเซอร์นั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานแบบสติมูลเลดเต็ดอิมิสชั่นระหว่างระดับพลังงานของโมเลกุลในสารเลเซอร์มีเดียม โดยการเปลี่ยนแปลงนั้นเกิดขึ้นระหว่างระดับไวเบรชั่น (Vibration level) ของโมเลกุล ดังนั้น $\Delta E = (E_2 - E_1)$ จะน้อย ซึ่งจะยังผลให้แสงเลเซอร์ที่ออกมามีความถี่ในย่านอินฟาเรด (infrared) ซึ่งมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ระบบเลเซอร์เหล่านั้นได้แก่ ระบบคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น ในบางกรณีเช่น ระบบดายเลเซอร์ (Dye laser) ซึ่งโมเลกุลของดายทำหน้าที่เป็นเลเซอร์มีเดียม แสงเลเซอร์ที่ได้จากดายเลเซอร์ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าพลังงานระดับอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Level Transition) แสงดายเลเซอร์จึงอยู่ในย่าน Visible spectrum

ไอออนเลเซอร์ (Ion Lasers) เลเซอร์ระบบนี้ใช้สารเลเซอร์มีเดียมที่อยู่ในสภาวะแตกตัวเป็นไอออน (อะตอม/โมเลกุลที่ขาดอิเล็กตรอนไปตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป) ไอออนเหล่านั้นจะมีค่าระดับพลังงานแตกต่างไปจากสภาพเดิมของอะตอมโมเลกุล แต่เราสามารถทำให้เกิดสติมูลเลดเต็ดอิมอสชั่นขึ้นได้ ดังนั้นก็จะมีแสงเลเซอร์ปลดปล่อยออกมาได้ เลเซอร์ชนิดนี้ ได้แก่ อาร์กอนเลเซอร์ (Argon Laser) คริพตอนเลเซอร์ (Krypton Laser) หรือพวกเอ็กซิเมอร์เลเซอร์ (Excimer Laser) เป็นต้น

ดังนั้นเราจะเห็นว่า เลเซอร์มีหลายประเภทและรูปแบบซึ่งมีเกณฑ์ในการแบ่งประเภทและเรียกชื่อให้แตกต่างออกไปตามที่กล่าวไว้แล้วในตอนต้น อย่างไรก็ตามเราอาจจะสร้างกฎเกณฑ์ในการแบ่งประเภทของเลเซอร์ออกมาได้อีกหลายรูปแบบ กล่าวคือ สมมติเราถือเอากฎเกณฑ์ที่ว่า รับประทานได้ (edible) และรับประทานไม่ได้ (non-edible) มาเป็นเกณฑ์ในการจัดประเภทของเลเซอร์ เราก็สามารถแบ่งประเภทของเลเซอร์ออกมาได้เป็นสองประเภทคือ

ประเภทรับประทานได้ (edible Laser) เลเซอร์ประเภทนี้ ได้แก่ เลเซอร์ที่มีสารเลเซอร์มีเดียมเป็นจำพวกสารประกอบดาย (Dye compound) ที่ทำมาจากสิ่งมีชีวิต และสามารถรับประทานได้ เลเซอร์พวกนี้ก็คือ ดายเลเซอร์ (Dye Laser) บางชนิด เป็นต้น

ประเภทรับประทานไม่ได้ (Non edible Laser) เลเซอร์ประเภทนี้จะมีมากมาย ซึ่งได้แก่ เลเซอร์ที่ใช้สารเลเซอร์มีเดียมที่เรารับประทานไม่ได้ ถ้ารับประทานแล้วจะเป็นพิษต่อร่างกาย ระบบเหล่านั้นได้แก่ รูบีเลเซอร์ (Ruby Laser) ฮีเลียม-นีออนเลเซอร์ (Helium-neon Laser) Nd: YAG laser ระบบดายเลเซอร์ (Dye Laser) บางชนิดที่ดาย (dyes) ทำมาจากสิ่งไม่มีชีวิตและเป็นพิษต่อรางกาย เป็นต้น

ดังนั้นเราจะเห็นได้ว่า ในการจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์นั้น เราแบ่งตามลักษณะ คุณสมบัติ ของสารเลเซอร์หรือเลเซอร์มีเดียม (Laser medium) อย่างไรก็ตามนอกจากการจัดแบ่งประเภทของเลเซอร์แล้ว เราจะได้เรียนรู้เกี่ยวกับระบบเลเซอร์ต่างๆ เราจะพบว่าระบบเลเซอร์นั้นมีหลายระบบ ตั้งแต่ขนาดเล็กมากซึ่งได้แก่ระบบเลเซอร์จำพวกสารกึ่งตัวนำ (semiconductor laser) ไปจนถึงขนาดใหญ่มาก ซึ่งได้แก่ระบบ Nd: YAG Laser, ระบบ Excimer Laser, และระบบ Free Electron Laser (FEL) เป็นต้น โดยที่กำลังของแสงเลเซอร์ได้จากระบบเลเซอร์ต่างๆ นั้นจะมีค่าตั้งแต่ 1.0 มิลลิวัตต์ (milliwatt, MW) ไปจนถึง 15 กิโลวัตต์ (kilowatt, KW) ซึ่งทั้งนี้ก็แล้วแต่การนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆกัน

2.5.3 ระบบเลเซอร์ (Laser System)

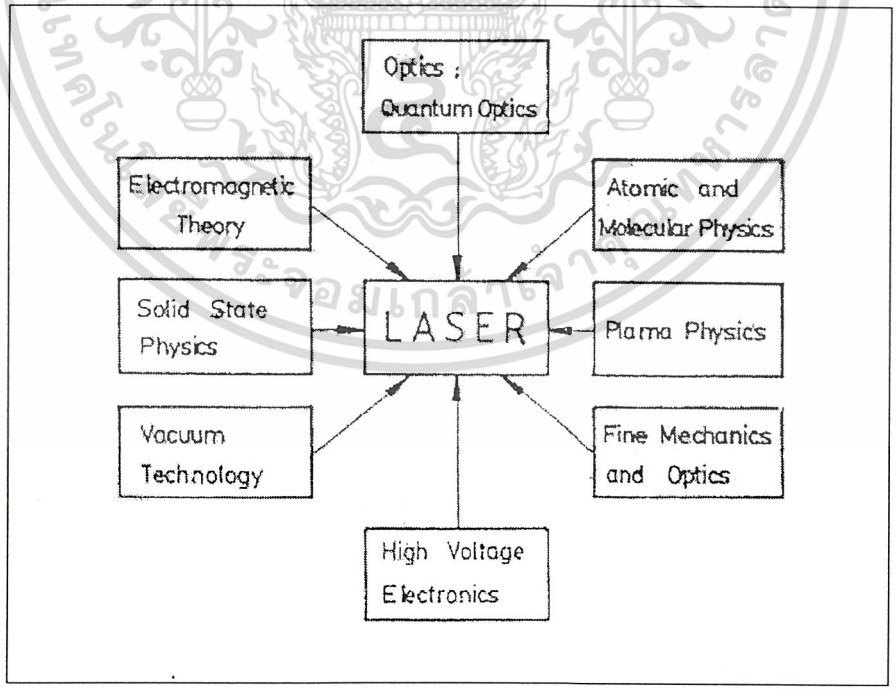
ตามที่ได้กล่าวมาเกี่ยวกับเลเซอร์ในตอนต้นนั้นเป็นการกล่าวนำให้ทราบถึงลักษณะทั่วไป ความสัมพันธ์ และประเภทของเลเซอร์โดยสังเขป เพื่อที่จะให้เห็นถึงพื้นฐานของวิทยาการเลเซอร์ซึ่งมีความสัมพันธ์กับวิชาการแขนงอื่น

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายแขนง ตลอดจนเข้าใจในองค์ประกอบของระบบเลเซอร์ให้ชัดเจนขึ้น เราจะกล่าวโดยสังเขปเกี่ยวกับองค์ประกอบที่สำคัญของระบบเลเซอร์ เพื่อเป็นฐานสำหรับบทต่อๆไป

วิทยาการเลเซอร์นั้นมีความสัมพันธ์กับวิทยาการของสาขาวิชาแขนงต่างๆทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยความเป็นจริงแล้ว เลเซอร์ (LASER) ก็คือผลของการประยุกต์ความรู้ของวิชาการแขนงต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั่นเอง ระบบเลเซอร์เป็นตัวอย่างที่ดีที่แสดงให้เห็นเด่นชัดในการนำผลของการวิจัยพัฒนาและเทคโนโลยีที่นักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบและที่สะสมเป็นความรู้ไว้อย่างมากในอดีต ออกมาประยุกต์ใช้ให้เกิดความรู้และประดิษฐ์กรรมใหม่ (innovation) เพื่อสนองตอบกับความต้องการของสังคม การประดิษฐ์คิดค้นระบบเลเซอร์จนได้ผลสำเร็จนั้น ถ้าเราจะลองสละเวลาเพียงเล็กน้อยและพิจารณามองย้อนหลังดูการพัฒนาในด้านนี้ เราจะพบว่าในกรณีนี้เป็นตัวอย่างที่ชัดเจนว่าทำไมนักวิทยาศาสตร์เชิงทฤษฎีและเชิงการทดลองในอดีต ทำการวิจัยและค้นคว้าหาข้อมูลต่างๆ ของธรรมชาติอย่างจริงจัง และเขาเหล่านั้นทำการวิจัยและพัฒนาวิชาการต่างๆ ไปทำไมกัน เราจะพบว่าหากมีการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาให้ต่อเนื่องอย่างจริงจังแล้ว ผลการวิจัยและข้อมูลต่างๆ ก็จะมีมากพอพร้อมที่จะถูกนำไปประยุกต์ให้เกิดสิ่งใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อสังคม การมุ่งหวังให้มีการคิดค้นประดิษฐ์กรรมใหม่ๆ ขึ้นมาโดยไม่สนับสนุนการวิจัยพัฒนาขั้นพื้นฐาน (Basic research and development) มาก่อนอย่างต่อเนื่องและจริงจังนั้น ย่อมเป็นการมุ่งหวังอย่างเพ้อฝัน ไม่อยู่ในขบวนการวิทยาศาสตร์ (scientific process) แต่ประการใด และการมุ่งหวังนั้นย่อมสำเร็จลงได้ยากหรืออาจจะต้องลงทุนอย่าสูงมาก

เนื่องจากเลเซอร์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และขบวนการผลิตแสงเลเซอร์นั้นเกี่ยวข้องกับวิชาการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์ อะตอม และโมเลกุล (Atomic and molecular physics) ฟิสิกส์ของแข็ง (solid state physics) ตลอดจนเทคโนโลยีด้านสูญญากาศ (vacuum technology) และอื่นๆ ฯลฯ ความสัมพันธ์ระหว่างเลเซอร์และวิทยาการสาขาต่างๆ เหล่านั้น เราสามารถสรุปเป็นแผนภาพได้ดังในรูปที่ 2.36 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.37 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลเซอร์ (LASER) กับวิชาการแขนงต่างๆทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

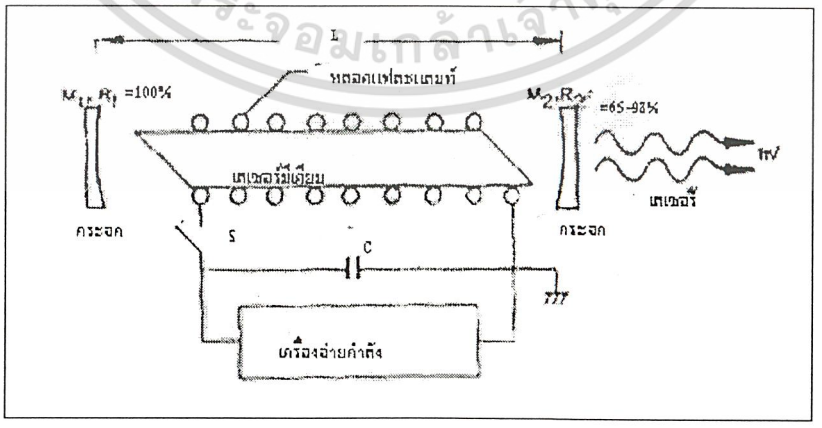
จากรูปที่ 2.36 เราจะเห็นถึงความสัมพันธ์และการประยุกต์ใช้ของวิชาการแขนงต่างๆ ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อทำให้เกิดวิทยาการใหม่คือ เลเซอร์ (LASER) ขึ้น แขนงวิชาการที่เกี่ยวข้องเป็นส่วนใหญ่คือ Optics, Quantum Optics, และ High Voltage Electronics ดังนั้นในการศึกษาวิชาการด้านเลเซอร์นั้นมักจะพบว่ามีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องมากในเรื่องอิเล็กทรอนิกส์ (electronics) และ ออฟทิค (optics) ในบางครั้ง เราจะพบตำราต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเลเซอร์นั้น มีเนื้อหาอยู่ในรูปแบบของออฟติคัลอิเล็กทรอนิกส์ (Optical Electronics) ซึ่งเป็นแขนงวิชาการใหม่ที่ผสมผสานเนื้อหาทางวิชาการด้านแสง (Optics) และความรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ (electronics) เข้าด้วยกันแล้วประยุกต์ใช้ในด้านเลเซอร์ ระบบเลเซอร์ (Laser System) โดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่สำคัญ 3 องค์ประกอบคือ

1. สารเลเซอร์ หรือที่เรียกว่า เลเซอร์มีเดียม (Laser medium) เลเซอร์มีเดียมนี้จะต้องมีคุณสมบัติพิเศษที่สามารถทำให้เกิดประชากรผกผัน (Population Inversion) ขึ้นภายในเนื้อสาร และสามารถทำให้เกิดขบวนการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอะตอมหรือโมเลกุลแบบสติมูลเลคเต็คอิมอสชั่นได้ ตัวอย่างเลเซอร์มีเดียมได้แก่ แท่งผลึกรูบี (Ruby crystal) , แกสผสมระหว่างแกสฮีเลียมและแกสนีออน (Helium + neon) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม , สารละลายสีย้อมผ้า (Dye Solutions) เป็นต้น

2. ระบบจ่ายกำลัง (Power Supply) ระบบจ่ายกำลังนี้จะเกี่ยวข้องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ศักดาสูง (High Voltage electronics circuit) ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกำลังทางไฟฟ้าที่ศักดาสูง เพื่อไปทำการกระตุ้นสารเลเซอร์หรือเลเซอร์มีเดียมให้เกิดมีประชากรผกผันขึ้น การกระตุ้นเลเซอร์มีเดียมนั้นทำได้หลายรูป ทั้งนี้แล้วแต่ความเหมาะสม ที่ต้องใช้กับเลเซอร์มีเดียมนั้นๆ โดยทั่วไปแล้วการกระตุ้นมักจะทำในรูปแบบของออฟติคัลพัมพิง (optical pumping) โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าตรงจำนวนมากที่ศักดาสูงผ่านหลอดแฟลชแลมพ์ หรือการดิชชาร์ทกระแสไฟตรง เป็นต้น

3. ออฟติคัลเรโซเนเตอร์ (optical resonator) ระบบเลเซอร์โดยส่วนมากแล้วมีความจำเป็นต้องมีออฟติคัลเรโซเนเตอร์ (optical resonator) ซึ่งทำหน้าที่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (หรือ โฟตอน - photon) ที่เกิดจากขบวนการสติมูลเลคเต็คอิมิสชั่นสะท้อนกลับไปมาผ่านเลเซอร์มีเดียม โดยที่เลเซอร์มีเดียมจะได้ขยาย (amplify) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นให้มีความเข้มสูงมากขึ้นจนในที่สุดก็จะเป็นแสงเลเซอร์ออกมาจากระบบออฟติคัลเรโซเนเตอร์ประกอบด้วยกระจกเคลือบไดอิเล็กตริกหลายๆชั้น ปิดหัวและปิดท้ายเลเซอร์มีเดียม เป็น $R_1 = 100\%$ และ $R_2 = 65\% - 98\%$

ระบบเลเซอร์ (Laser System) โดยทั่วไปนั้นจะมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 องค์ประกอบ ตามที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นนี้ รูปที่ 2.37 แสดงถึงเลเซอร์โดยทั่วไป และการจัดองค์ประกอบเหล่านั้นอยู่ในรูปแบบของระบบที่ทำงานจริง



รูปที่ 2.38 แสดงระบบเลเซอร์ (Laser System) โดยทั่วไปมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ เลเซอร์มีเดียม (Laser medium) เครื่องจ่ายกำลัง (power supply) และออฟติคัลเรโซเนเตอร์ (optical resonator) ซึ่งประกอบด้วยกระจก M_1 , M_2 [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 เลเซอร์ในปัจจุบันและอนาคต

ในปัจจุบันได้มีการนำเลเซอร์มาประยุกต์ใช้งานในวงการต่างอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในวงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วงการแพทย์ วงการอุตสาหกรรม โทรคมนาคม ธุรกิจ การบันเทิง การพิมพ์ภาพ ตลอดจรด้านการทหาร ในขณะเดียวกันในวงการวิจัยและพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้น ก็ได้มีการวิจัยและพัฒนาเลเซอร์ระบบใหม่ออกมาอยู่เสมอ ได้มีการพัฒนาเอ็กซเรย์เลเซอร์ (X-ray Laser) ได้ผลดีขึ้นตามลำดับ และการพัฒนาฟรีอิเล็กตรอนเลเซอร์ (Free Electron Laser) นั้นได้รุดหน้าไปไกลมากซึ่งคาดว่าภายในระยะ 3-5 ปี จากนี้ไปจะมีการผลิตระบบฟรีอิเล็กตรอนเลเซอร์ออกขายในท้องตลาด เพื่อการประยุกต์ใช้อย่างอเนกประสงค์ในวงการแพทย์นอกจากนี้นักฟิสิกส์สามารถผลิตลำแสงเลเซอร์ที่เป็นรูปแบบพัลส์ (pulse) มีความกว้างของพัลส์ (pulsewidth) น้อยมากจนถึงระดับเฟมโตเซ็คกัน (Femto second, 10^{-15} second) ระบบเฟมโตเซ็คกัน (Femto Second Laser) นี้มีประสิทธิภาพสูงใช้ในการตรวจวัด ในการศึกษาปฏิกิริยาที่ไวมาก อาทิเช่น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ได้เป็นอย่างดี และระบบเลเซอร์นี้ถูกใช้ในการทำให้เกิดแสงเอ็กซเรย์เลเซอร์ต่อไปได้อีกด้วย ในปัจจุบันเลเซอร์ได้ถูกนำไปใช้ในวงธุรกิจการค้า การบันเทิง และระบบโทรคมนาคม ตลอดจนในวงการแพทย์ ดังนั้นเราจะพบว่าเลเซอร์ได้มีบทบาทเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันมากขึ้นเป็นลำดับ และในอนาคตก็มีแนวโน้มสูงที่จะมีการประยุกต์ใช้เลเซอร์มากยิ่งขึ้น ในปัจจุบันเลเซอร์ (LASER) มิได้เป็นแสงลึกลับหรือแสงมหัศจรรย์อีกต่อไป เพราะมีการใช้อย่างแพร่หลาย และประชากรคุ้นเคยมากขึ้นเป็นลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

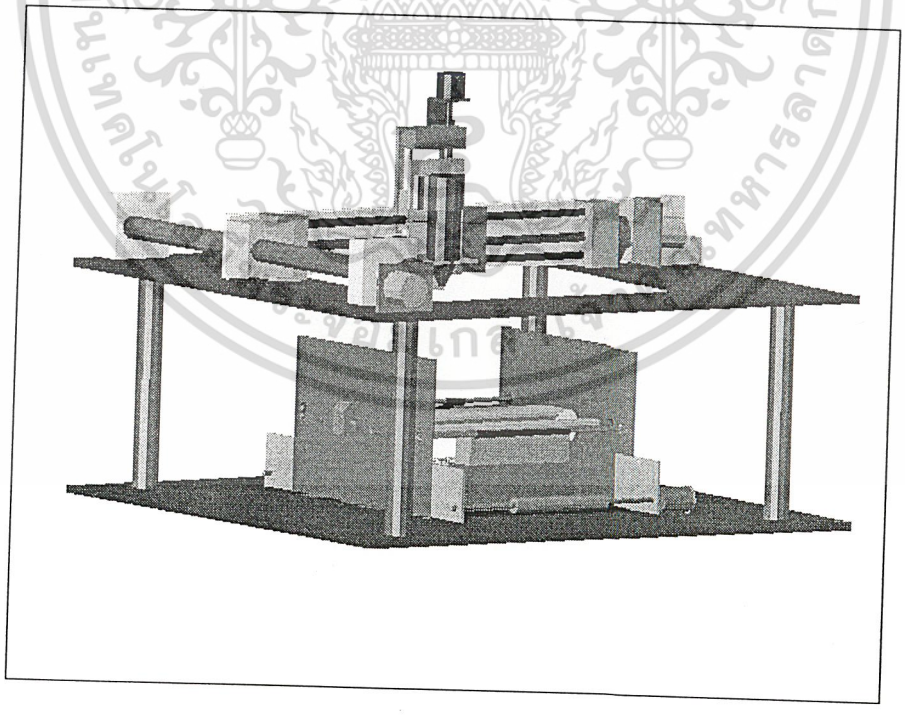
3.1 การดำเนินงานด้านโครงสร้าง

การดำเนินงานได้ทำการศึกษาระบบโครงสร้างของเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบจำลองอย่างรวดเร็วระบบลามิเนตเท็คอ๊อปเจ็คเมนูแฟคเจอร์ริ่ง (Laminated Object Manufacturing ;LOM) รายละเอียดการดำเนินงานด้านโครงสร้าง ได้แก่

3.1.1 การออกแบบและการดำเนินงานด้านโครงสร้าง

ได้ทำการออกแบบทางด้านโครงสร้างแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ชุดขับเคลื่อนแกน X Y Z โดยติดเครื่องมือ ตัดไว้ที่แกน Z และอีกส่วนที่ทำการออกแบบคือส่วนของชุดป้อนกระดาษ การจัดหาวัสดุอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการทำโครงสร้างได้แบ่งการจัดเตรียมวัสดุแบ่งเป็น

- สั่งซื้อจากแคตตาล็อก
- ทำขึ้นมาเอง
- ซื้อจากแหล่งที่จำหน่าย
- นำมาจากของเดิมที่มีอยู่แล้ว



รูปที่ 3.1 แบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบจำลองอย่างรวดเร็ว

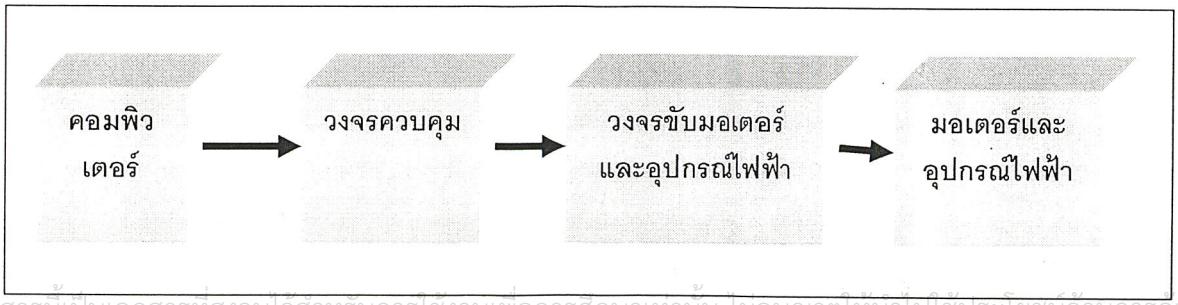
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง3.1 ตารางแสดงรายการวัสดุชุดป้อนกระดาษ

รายการชิ้นส่วน	จำนวน
1.แผ่นฐาน	1
2.ฝาประกบข้าง	2
3.แกนเหล็กหุ้มยาง	5
4.แกนเหล็ก	4
5.เฟืองขับสายพาน	4
6.สายพาน	2
7.DC มอเตอร์	4
8.ชุดแกน Z	1
9.ฐานรองตัดงาน	1
10.แบริ่ง	12
11.ฝาประกบแบริ่ง	8
12.เพลายึดเฟือง	2
13.แกนทำความร้อน	1
14.รางฟองน้ำ	1

3.2 การดำเนินการด้านวงจรไฟฟ้า

การออกแบบด้านวงจรไฟฟ้า ได้ทำการออกแบบวงจรควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดโดยมีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 3.2 วงจรควบคุมที่ทำการออกแบบใช้รีเลย์ในการเปิดและปิดการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมด เช่น ขดลวดความร้อน มอเตอร์กระแสตรง ผ่านไอซีสำเร็จรูปเบอร์ ULN 2003 ซึ่งเป็นไอซีที่ทำหน้าที่ป้องกันภาคคอนโทรลและขยายสัญญาณ 5 โวลต์จากภาคคอนโทรลเป็น 12 โวลต์เพื่อขับรีเลย์ ด้านสเต็ปปิ้งมอเตอร์ มีวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นวงจรสั่งการทำงานโดยที่จะรับสัญญาณกำหนดทิศทางและสัญญาณพัลล์ วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์มีไอซีสำเร็จรูปเบอร์ L297 เป็นไอซีสั่งการทำงาน

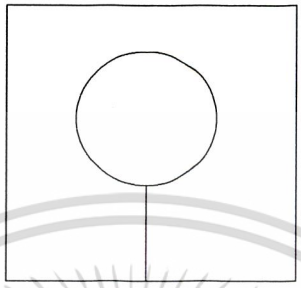


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของระบบควบคุมการทำงาน

3.3 การดำเนินการด้านโปรแกรม

การออกแบบทางด้านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นการศึกษาการเขียนโปรแกรม Visual Basic 6.0 ในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบจำลองอย่างรวดเร็ว ให้สามารถตัดชิ้นงานต้นแบบดังรูปที่3.2 โดยเป็นการใส่พิกัดเข้าไปในโปรแกรมเพื่อให้ตัดได้ตามรูป



รูปที่ 3.3 รูปชิ้นงานที่จะทำการตัด

3.4 การดำเนินงานด้านการขึ้นรูปชิ้นงาน

การดำเนินการด้านการขึ้นรูปชิ้นงาน ต้องศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุดิบที่จะนำมาทำการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ โดยได้แบ่งเป็นการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการขึ้นรูปชิ้นงาน ดังนี้

- การศึกษา ทดลอง เกี่ยวกับกระดาษที่จะทำการขึ้นรูป การเปรียบเทียบจากกระดาษที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน ทางด้านกายภาพ และการทนต่ออุณหภูมิ
- การศึกษา ทดลอง เกี่ยวกับคุณสมบัติของขดลวดความร้อน ศึกษาถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำการสร้างชิ้นงานต้นแบบจำลอง โดยแบ่งเป็นระดับอุณหภูมิที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด
- การศึกษา ทดลองการขึ้นรูปชิ้นงาน ภายหลังจากได้ศึกษาและทดลอง คุณสมบัติของกระดาษ ขดลวดความร้อน การเขียนโปรแกรม การทดลองการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบจำลองอย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

การสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ด้าน คือ ทางด้านโครงสร้าง (Hardware) ได้แก่การศึกษาระบบการทำงานของเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ โดยทางกลุ่มศึกษาระบบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบระบบลามิเนตเท็คอ๊อปเจคเมนูแฟคเจอร์ริ่ง (Laminated Object Manufacturing ;LOM) ทางด้านโปรแกรม (Software) ได้แก่ การศึกษาการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อ CAD/CAM ในกระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ทางด้านระบบไฟฟ้า ได้แก่ ทำการศึกษาวงจรที่ใช้นำมาควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า ทางด้านวัสดุเพื่อใช้ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ได้แก่ กระดาษกาว กระดาษเคลือบกาวทั้งชนิดหนาและบาง แล้วศึกษาคุณสมบัติที่ได้นำมาเปรียบเทียบกัน จากนั้นจึงทำการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่สร้างขึ้น การดำเนินการทั้งหมดได้ผลดังนี้

4.1 ผลการดำเนินการทางด้านโครงสร้าง

การดำเนินการทางด้าน Hardware นั้นทางกลุ่มตั้งใจที่จะนำเลเซอร์มาใช้ในการตัดวัตถุดิบ แต่เนื่องจากสาเหตุบางประการทำให้ทางกลุ่มต้องเปลี่ยนมาเป็นใช้ชุดขับเคลื่อน แกน X Y Z โดยติดเครื่องมือตัดไว้ที่แกน Zเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่สร้างขึ้นแบ่งโครงสร้างออกได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนชุดขับเคลื่อน X Y Z และชุดป้อนกระดาษ

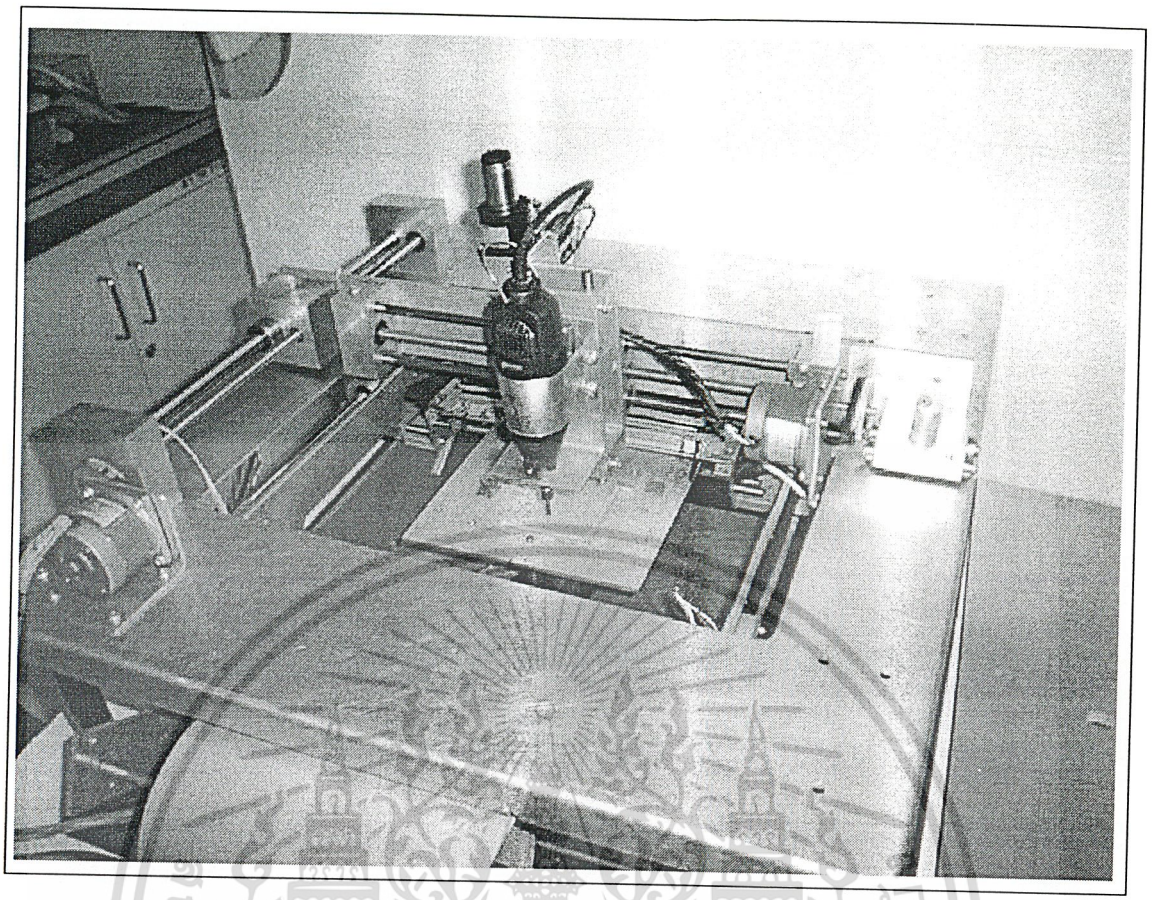
4.1.1 โครงสร้างหลักของเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน มีลักษณะดังนี้

ชุดขับเคลื่อนแกน X Y Z

- ส่วนฐานทำจากเหล็กแผ่นมีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร และมีเสา 4 เสาเพื่อใช้ยกชุดตัดอยู่บนชุดป้อนกระดาษ ความกว้าง x ยาวของฐานล่างประมาณ 65 x 70 เซนติเมตร
- เสาทั้ง 4 อันทำจากเหล็กมีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 21 มิลลิเมตร และมีความยาว 23เซนติเมตร ทั้งหัวและท้ายของเสาทั้ง 4 ได้ทำเกลียวขนาด M 6 x 1.0 มม.
- ชุดขับเคลื่อนที่แกน X Y Z แผ่นฐานทำจากอลูมิเนียมมีขนาดความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร พับขอบกว้างประมาณ 2 เซนติเมตรเพื่อเพิ่มความแข็งแรง มีขนาดความกว้าง x ยาวของแผ่นเป็น 64 x 70 เซนติเมตร
- ชุดควบคุมแกน X Y เป็นชุดที่ทำการเคลื่อนที่เครื่องมือตัดตามแนวระนาบ ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้พร้อมกันทั้ง 2 แกน ระยะทางการเคลื่อนที่ของแกน X ประมาณ 40 เซนติเมตร ระยะทางการเคลื่อนที่ของแกน Y ประมาณ 34 เซนติเมตร
- ชุดควบคุมแกน Z เป็นชุดที่ทำการเคลื่อนที่ของเครื่องมือตัดขึ้นและลง ระยะทางการเคลื่อนที่ขึ้นและลงประมาณ10 เซนติเมตร บนแกน Z จะใช้อลูมิเนียมรูปตัวแอลในการจับยึดเครื่องมือตัด
- การควบคุมการทำงานทำได้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากการต่อผ่านพอร์ตเครื่องพิมพ์ เข้าไปยังส่วนที่เคลื่อนที่ในแกนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

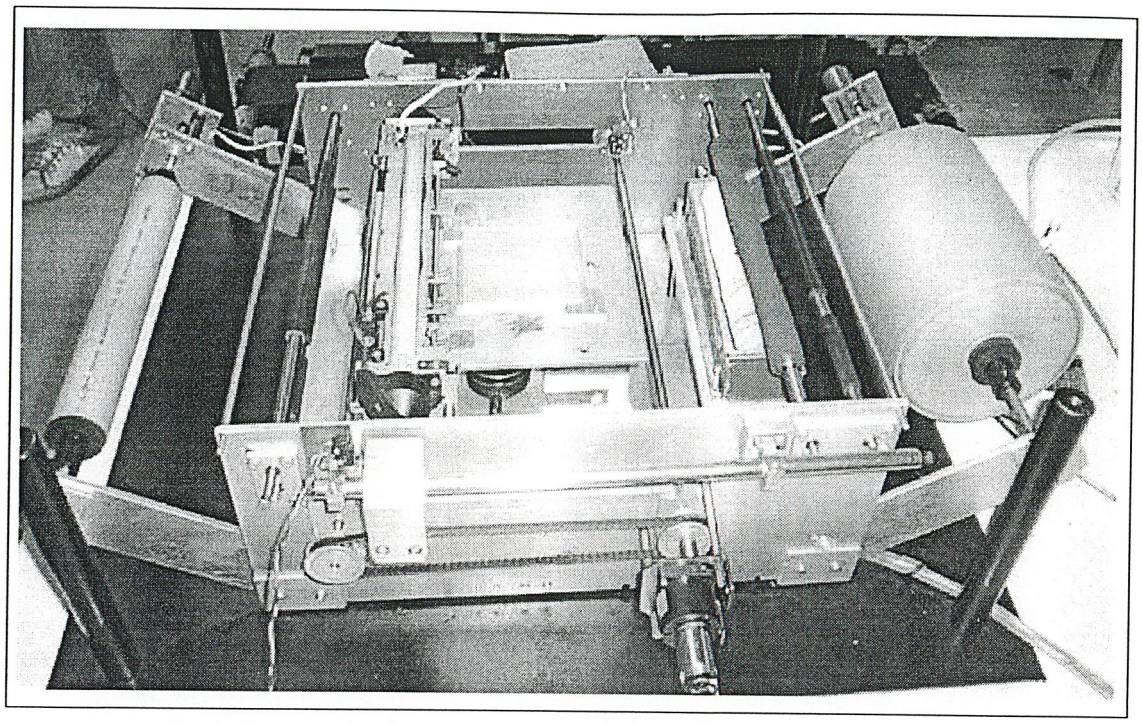


รูปที่ 4.1 ชุดขับเคลื่อนแกน X Y Z

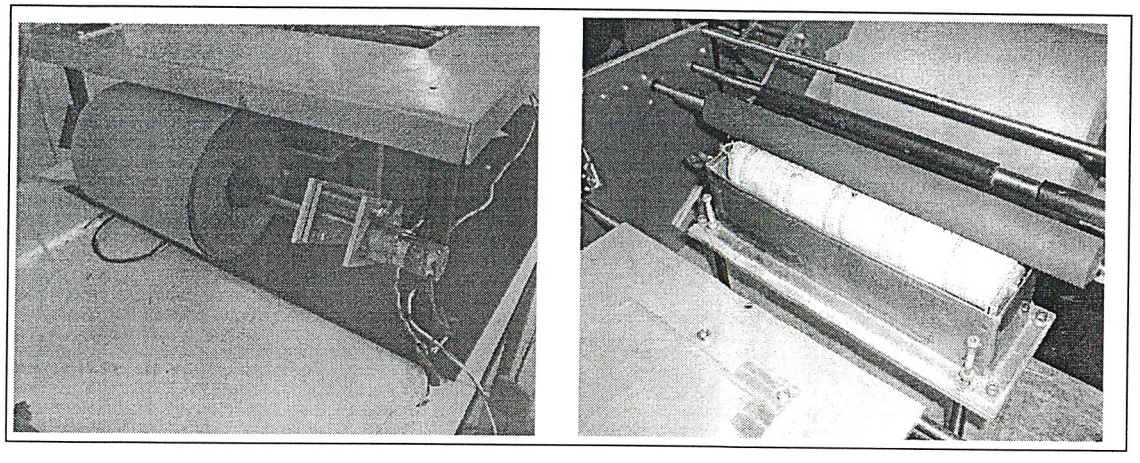
ชุดป้อนกระดาษ

- โครงสร้างส่วนใหญ่ทำจากอลูมิเนียมเกือบทั้งหมดมีขนาดของมิติ กว้าง x ยาวประมาณ 45 x 75 เซนติเมตร
- เพลาร้อยผ่านแกนม้วนกระดาษขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร ทั้งหัวและท้ายมีแบร์ริ่งรองรับ
- ตัวประคองม้วนกระดาษทำจากเหล็ก ส่วนบนเป็นลูกยางทำการลดขนาดให้ได้เท่ากับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของแกนม้วนกระดาษ
- รางน้ำทำจากสังกะสี มีขนาดประมาณ 5 x 20 x 5 เซนติเมตร ยึดติดกับฐานซึ่งสามารถปรับระดับได้ตามความหนาของกระดาษ
- ตัวม้วนผ้าป้อนน้ำทำจากเพลาเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร พันด้วยผ้าแล้วทำการเย็บด้วยมือเมื่อพันผ้าเสร็จขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 มิลลิเมตร เพื่อให้กระดาษกาวชุ่มน้ำตลอดเวลาสามารถหมุนได้ทำให้กระดาษเคลื่อนที่ได้ดี
- ฐานรองรับชิ้นงานเคลื่อนที่ขึ้น-ลงในแนวแกน Z ทำด้วยอลูมิเนียมมีขนาด กว้างx ยาว ประมาณ 20 x 20 เซนติเมตร ความหนาประมาณ 5 มิลลิเมตร ข้างล่างขับเคลื่อนด้วยสเต็ปปิ่งมอเตอร์
- ชุดขับเคลื่อนฮีทเตอร์ ทำจากอลูมิเนียมมีเพลาสแตนเลสขนาด 12 มิลลิเตร เป็นตัวประคองการเคลื่อนที่ขับเคลื่อนฮีทเตอร์ด้วยมอเตอร์กระแสตรง 12 โวลท์ โดยมีพูลเล่และสายพานที่ช่วยในการเคลื่อนที่
- ควบคุมการทำงานทั้งหมดด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

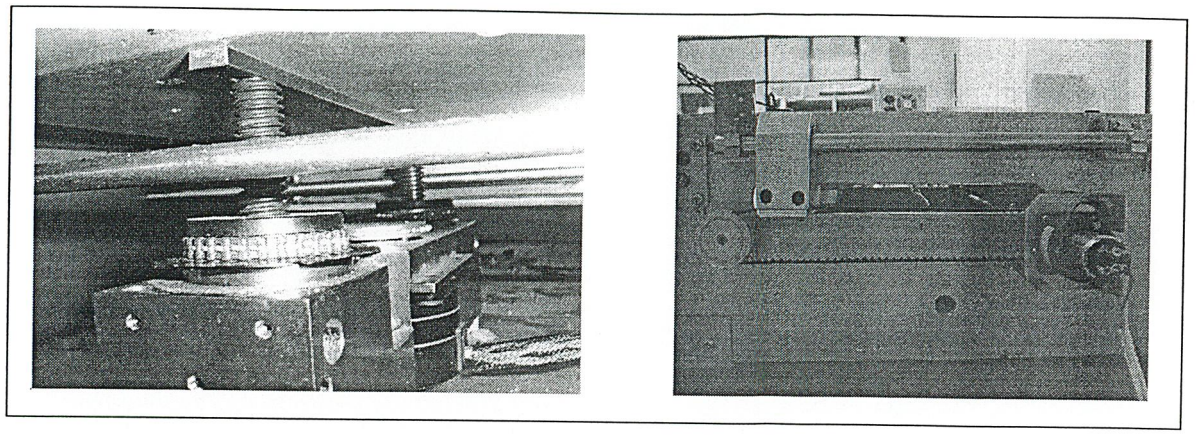


รูปที่ 4.2 ชุดป้อนกระดาษ

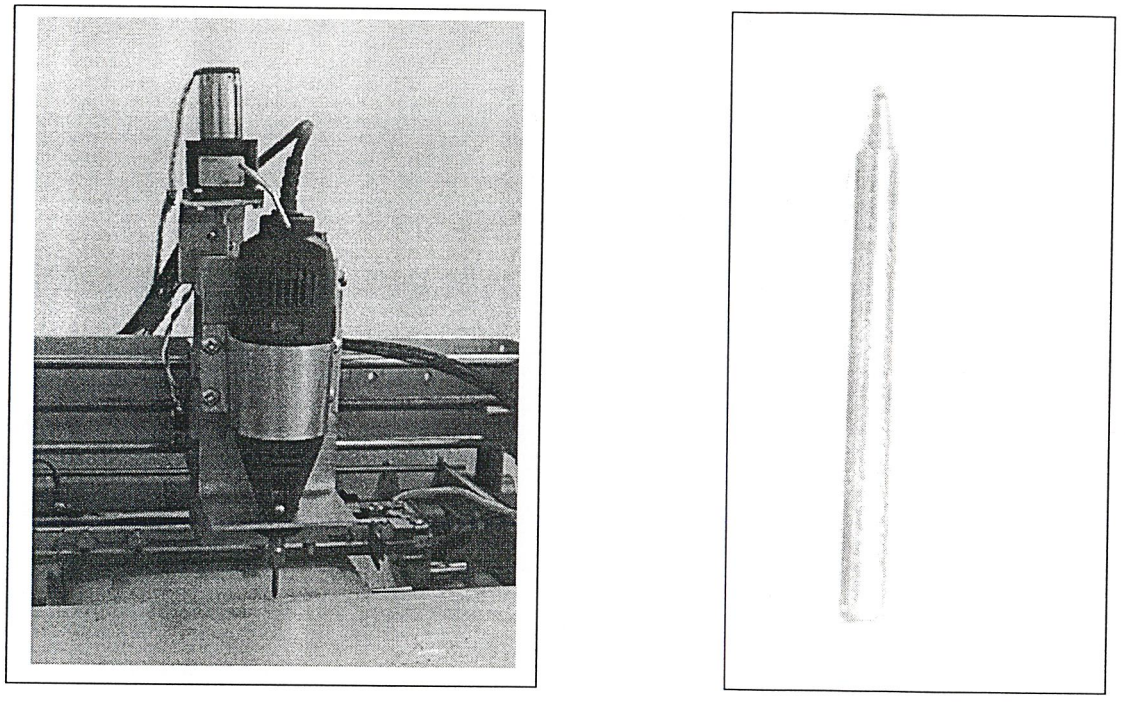


รูปที่ 4.3 ชุดขับเคลื่อนม้วนกระดาษและชุดป้อนน้ำให้กับกระดาษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ชุดขับเคลื่อนฐานรองรับชิ้นงานและชุดขับเคลื่อนขดลวดความร้อนรีดกระดาษ

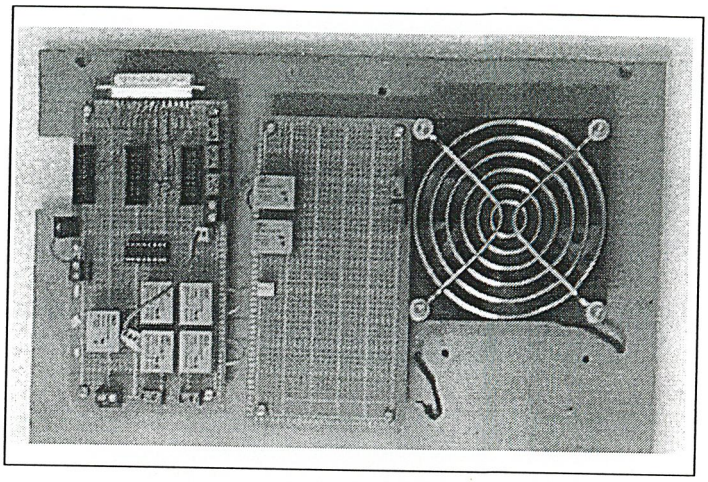


รูปที่ 4.5 ชุดตัด และ เครื่องมือตัด

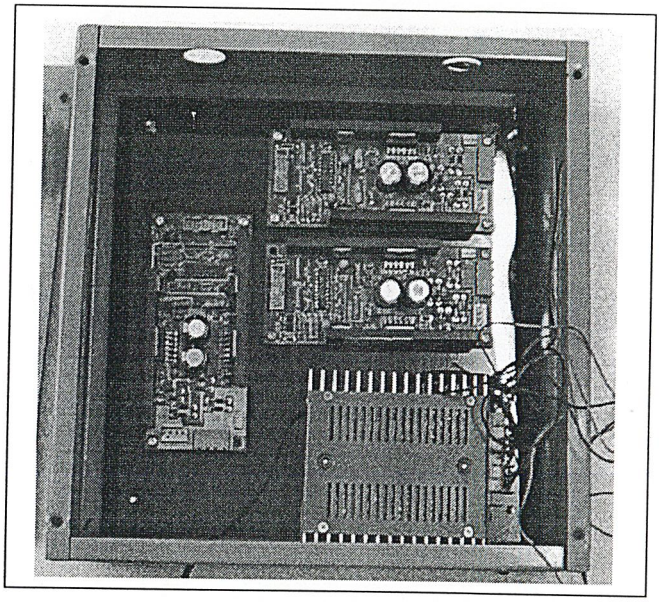
4.2 ผลการดำเนินการทางด้านวงจรไฟฟ้า

การดำเนินงานทางด้านวงจรไฟฟ้าได้ทำการสร้างวงจรไฟฟ้าขึ้นเพื่อทำการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับโครงสร้าง ทำให้ระบบการทำงานเป็นอัตโนมัติโดยส่วนใหญ่อุปกรณ์ไฟฟ้าทางด้านโครงสร้าง เป็นมอเตอร์กระแสตรง จึงใช้รีเลย์ ในการเปิด-ปิดการทำงานหรือหมุนกลับทิศทางและการเปิด – ปิด ของขดลวดความร้อน สเต็ปปิ่งมอเตอร์ใช้ในการขับเคลื่อนชุดเคลื่อนที่แกน X Y และขับเคลื่อนฐานรองรับชิ้นงานต้องต่อผ่านจากวงจรไปยังชุดไดร์ฟมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 วงจรควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมด

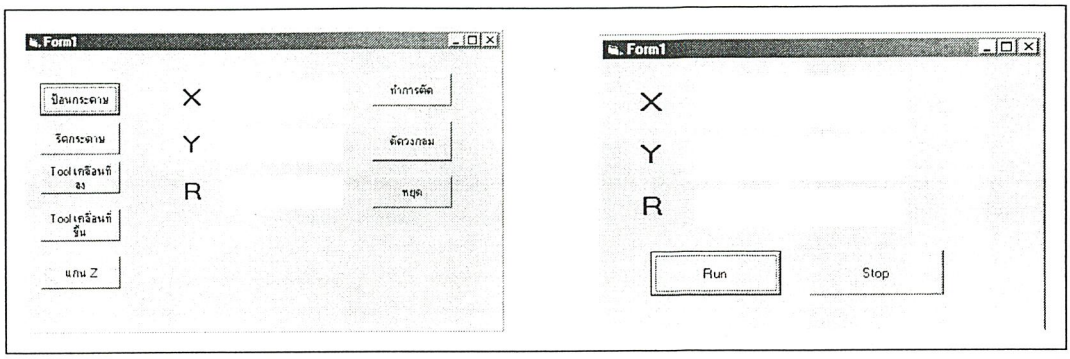


รูปที่ 4.7 ชุดวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์

4.3 ผลการดำเนินการทางด้านโปรแกรม

การดำเนินการทางด้านโปรแกรม เนื่องจากลดขอบเขตทางด้านนี้ลงจึงได้ดำเนินการทำโปรแกรมการควบคุมการทำงานของ โครงสร้างเท่านั้น เป็นโปรแกรมที่ทดลองว่าโครงสร้าง สามารถทำงานได้ตามที่เราต้องการหรือไม่ จากรูปที่ 4.9 เป็นหน้าตาของโปรแกรมที่ทางกลุ่มได้ใช้ทดสอบทีละขั้นตอนการทำงาน และอีกโปรแกรมในรูปที่ 4.10 เป็นการทำงานเป็นระบบอัตโนมัติโดยการรวมการทำงานทั้งหมดไว้ในปุ่มเดียว และสามารถหยุดการทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

4.4 ผลการดำเนินการทางด้านการขึ้นรูปชิ้นงาน

4.4.1 ผลการทดลองคุณสมบัติของกระดาษกาว

การทดลองหาอุณหภูมิการรีดกระดาษเพื่อให้สามารถยึดติดกันได้เป็นชั้น,ชนิดของกระดาษที่เหมาะสม,เวลาในการรีดกระดาษ

1) ผลการทดลองชนิดของกระดาษ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองชนิดของกระดาษ

ชนิดของกระดาษ	จำนวนครั้งที่ทำการรีด(อุณหภูมิ 80องศาเซลเซียส)				
	1	2	3	4	5
1. A 125	A	A	A	A	A
2. K 100	B	B	B	B	B
3. I 125	C	C	C	C	C
4. A 100	B	B	B	B	B
5. A 80	C	C	C	C	C

A หมายถึง กระดาษสามารถคงรูปได้ดีมากเมื่อสัมผัสกับน้ำและสัมผัสความร้อน

B หมายถึง กระดาษสามารถคงรูปได้ดีเมื่อสัมผัสกับน้ำและสัมผัสความร้อน

C หมายถึง กระดาษไม่สามารถคงรูปเมื่อสัมผัสกับน้ำแต่คงรูปเมื่อสัมผัสกับความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ผลการทดลองอุณหภูมิการรีด (กระดาษ A125)

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองอุณหภูมิการรีด (กระดาษ A125)

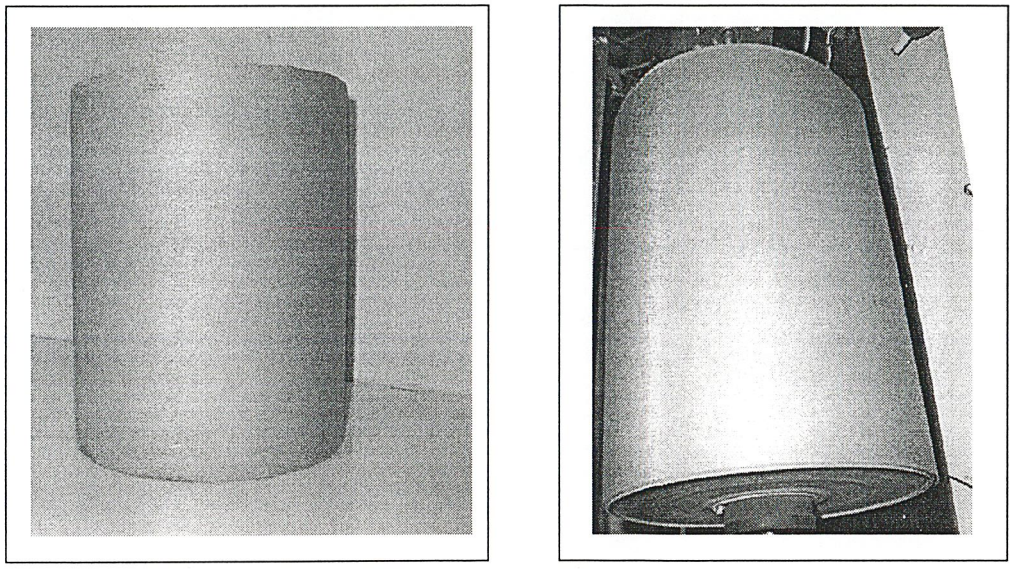
ชนิดของกระดาษ	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)				
	70	80	90	100	150
A 125	A	A	B	C	C

A หมายถึง กระดาษสามารถคงยึดติดกันเป็นชั้นได้และคงรูปเมื่อสัมผัสความร้อน

B หมายถึง กระดาษสามารถคงยึดติดกันเป็นชั้นได้และไม่คงรูปเมื่อสัมผัสความร้อน

C หมายถึง กระดาษไม่สามารถคงยึดติดกันเป็นชั้นได้และ ไม่คงรูปเมื่อสัมผัสความร้อน

หมายเหตุ เวลาในการรีดเท่ากันประมาณ 10 วินาทีเนื่องจากการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ขับขดลวดความร้อน



รูปที่ 4.9 กระดาษที่นำมาทดลอง (ซ้าย) I 125 (ขวา) A 125

4.4.2 ผลการทดลองคุณสมบัติของขดลวดความร้อน

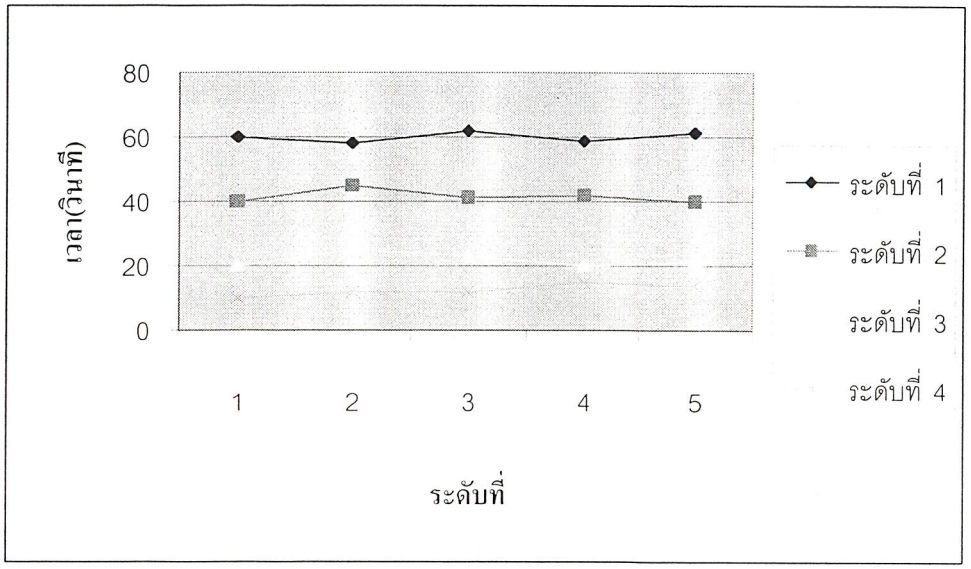
จากการทดลองอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการรีดกระดาษเพื่อให้สามารถติดกันได้เป็นชั้นคือประมาณ 70 – 80 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงทดลองปรับกระแสไฟฟ้าที่นำไปส่งให้ขดลวดความร้อน ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับขนาดแรงดัน 110 โวลท์ การปรับกระแสมี 4 ระดับ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองคุณสมบัติของขดลวดความร้อน

ระดับของกระแสไฟฟ้า	ครั้งที่				
	1	2	3	4	5
1	60	58	62	59	61
2	40	45	41	42	40
3	20	25	23	20	21
4	10	12	12	15	14

หมายเหตุ หน่วยของผลที่ได้เป็นวินาที



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการทดลอง

4.4.3 ผลการทดลองขึ้นรูปชิ้นงาน

การทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจากกระดาษ 1 ม้วนมีความยาวทั้งหมดประมาณม้วนละ 100 เมตร มีความกว้างของหน้ากระดาษประมาณ 21 เซนติเมตร การตัด 1 ชั้นนั้นใช้กระดาษประมาณ 30 เซนติเมตร ดังนั้นกระดาษ 1 ม้วนจะสามารถตัดได้ประมาณ 333 ชั้น แต่ละชั้นความหนาของกระดาษประมาณ 0.01 เซนติเมตร จะได้ความสูงของชิ้นงานประมาณ3.3 เซนติเมตร ได้ทำการทดลองใช้ฟองน้ำเป็นตัวทำให้กระดาษกาวนั้นเปียก แต่เมื่อทดลองไปแล้วผลที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมาคือฟองน้ำนั้นไม่สามารถอยู่ในรางได้เนื่องจากมีแรงกดระหว่างฟองน้ำกับเพลาลูกยางทำให้เมื่อมีการหมุนของม้วนกระดาษ กระดาษนั้นจะลากเอาฟองน้ำออกมา ปัญหาที่เกิดสามารถแบ่งได้ดังนี้

4.4.3.1 ระบบป้อนน้ำ

1. ฟองน้ำนั้นไม่สามารถทำให้กระดาษเปียกได้พอที่จะทำการติด
2. ฟองน้ำหลุดออกมาจากรางน้ำเมื่อมีการเคลื่อนที่ของกระดาษ
3. เกิดการรั่วซึมจากรางน้ำ

4.4.3.2 กระดาษ

1. กระดาษที่มีแกรมน้อยกว่า125 แกรมเมื่อสัมผัสกับน้ำจะย่นทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปได้ดี
2. กระดาษที่มีแกรมน้อยกว่า 125 แกรมเมื่อสัมผัสกับความร้อนที่อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ไม่สามารถติดกันได้
3. กระดาษที่มีแกรมน้อยกว่า 125 แกรมเมื่อค้างไว้ระหว่างขดลวดความร้อนจะทำให้กระดาษไหม้ได้
4. กระดาษแกรมน้อยจะขาดง่าย
5. กระดาษม้วนใหญ่เกินไป

4.4.3.3 เครื่องมือตัด

1. เครื่องมือตัดที่ใช้เป็นดอกเจาะปริ้นขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร
2. เมื่อทำการเคลื่อนลงมาตัดทำให้ดอกหัก
3. เครื่องมือตัดมีขนาดเล็ก

4.4.3.4 ระบบป้อนกระดาษ

1. มอเตอร์ 12 โวลท์ไม่สามารถขับเคลื่อนม้วนกระดาษได้
2. กระดาษม้วนใหญ่เกินไปทำให้มีน้ำหนักมาก

4.4.3.5 ขดลวดความร้อน

1. ไม่สามารถรู้อุณหภูมิของขดลวดความร้อนได้
2. เทอร์โมสตัดขาดระหว่างการทดลอง

4.4.3.6 ชุดขับเคลื่อน X Y Z

1. เพลาประคองแกน X มีขนาดเล็กเกินไป
2. สกรูขับเคลื่อนที่ซื้อมาใช้คด
3. สายพานหย่อน
4. ระบบการเคลื่อนที่แบบเพลาประคอง 2 ข้างทำให้แกน X ไม่สามาเคลื่อนที่ได้อย่างสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ปัญหา

1. ระบบป้อนน้ำ

ได้ทำการนำรางน้ำนั้นไปบัดกรีเสียใหม่และเปลี่ยนจากที่เคยใช้ฟองน้ำนั้นมาเป็นเพลาที่ภายนอกพันด้วยผ้าขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตรทำฐานให้ลอยขึ้นมาประมาณ 3 เซนติเมตรแทนเพราะเพลาสามารถหมุนได้เมื่อมีการเคลื่อนที่ของกระดาษทำให้ไม่หลุดออกจากรางน้ำและยังส่งผลที่ดีในการทำให้กระดาษนั้นเปียกชุ่มอีกด้วยเนื่องจากเพลาผ้าจะหมุนวนนำน้ำขึ้นมาตลอดเมื่อมีการหมุนทำให้เป็นการล้างคราบกาวไปในตัว

2. กระดาษ

จากปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทำการทดลองแล้วเลือกกระดาษชนิด 125 แกรมมาใช้งานซึ่งไม่ย่นเมื่อเวลาสัมผัสกันน้ำ สามารถทนความร้อนได้สูงกว่าและแข็งตัวเมื่อซ้อนเป็นชั้นทำให้เมื่อทำการตัดขอบที่ตัดจะไม่เป็นขุยมากนักได้ทำการลดขนาดของม้วนกระดาษลงมาเล็กน้อย

3. เครื่องมือตัด

จากปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อดอกเจาะปริ้นหักเราก็นำมันมาใช้ต่อโดยความยาวของมันจะสั้นลงด้วยปรากฏว่าเมื่อดอกเจาะปริ้นมีขนาดที่สั้นลงนั้นสามารถทำการกัดได้อย่างน่าพอใจ

4. ระบบป้อนกระดาษ

ได้เปลี่ยนมอเตอร์เป็นมอเตอร์กระแสตรงแรงดัน 24 โวลท์ ซึ่งสามารถให้แรงบิดที่มากกว่าสามารถทำการขับเคลื่อนม้วนกระดาษที่มีน้ำหนักมากได้

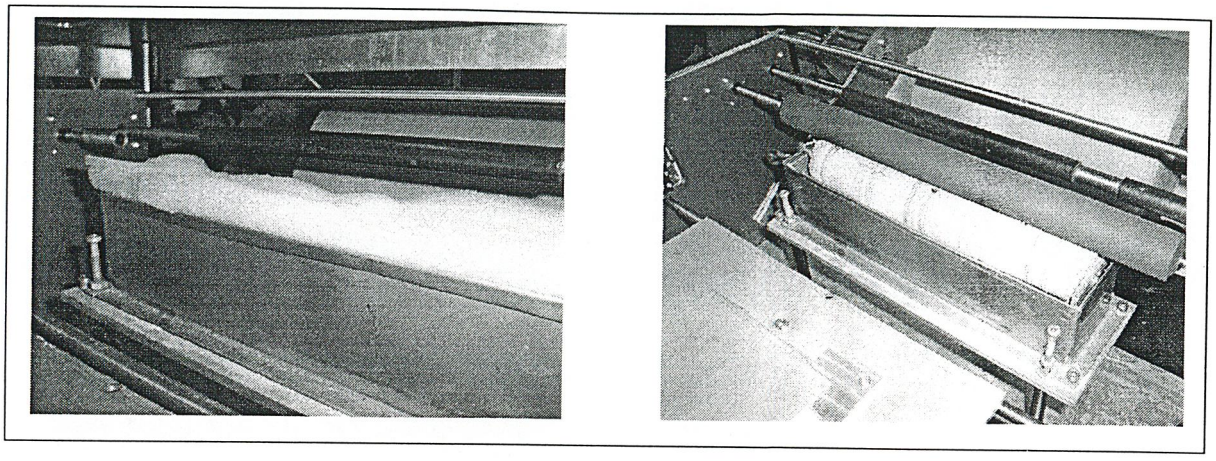
5. ขดลวดความร้อน

จากปัญหาข้างต้นได้ทำการถอดเอาเทอร์โมสตัดออกแล้วเปลี่ยนมาใช้วงจรปรับกระแสแทนทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ และยังทำการทดลองโดยใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิ ในการวัดค่าอุณหภูมิทำให้สามารถรู้อุณหภูมิและทำการทดองได้

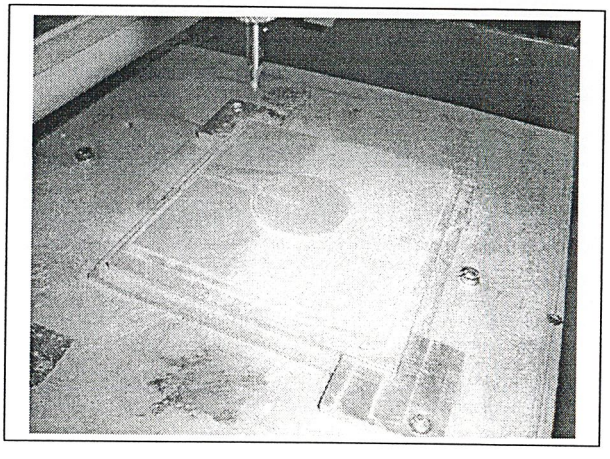
6. ชุดขับเคลื่อน X Y Z

จากปัญหาข้างต้นได้ทำการแก้ไขโดยการเปลี่ยนเพลาประคองแกน X ให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจากเดิมประมาณ 12 มิลลิเมตร มาเป็นขนาด 16 มิลลิเมตร ทำให้การเคลื่อนที่ดีขึ้นและยังเป็นการดัดสตัดเกลียวไปในตัวอีกด้วยและทำการตั้งสายพานใหม่ให้มีความตึงที่เหมาะสมทั้งยังเปลี่ยนแบบเพลาประคอง 2 ข้างมาเป็นเพลาประคองข้างเดียวอีกข้างเป็นล้อเลื่อนแทนจึงไม่เกิดการติดขัดขึ้นอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.11 การเปรียบเทียบรางน้ำระบบเก่าและใหม่



รูปที่ 4.12 ชิ้นงานเมื่อทำการขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินการ

5.1 สรุปผลการดำเนินการทางด้านโครงสร้าง

การดำเนินการด้านโครงสร้าง (Hardware) คือการศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบมาใช้งาน ซึ่งเป็นเครื่องจักที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่ทั้ง 3 แกน ด้วยการเคลื่อนที่แบบลิเนียอินเตอร์โพเรเตอร์ (Linear Interpolation) ระบบป้อนกระดาษอัตโนมัติและระบบการรีดกระดาษติดเป็นชั้น เครื่องมือตัดสามารถถอดออกมาเปลี่ยนได้อย่างสะดวกโดยยึดติดกับแกน Z ทั้งยังสามารถเปลี่ยนม้วนกระดาษได้โดยไม่ต้องถอดส่วนประกอบเครื่องทั้งหมดในการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบสามารถควบคุมการทำงานผ่านคอมพิวเตอร์ได้

5.2 สรุปผลการดำเนินการทางด้านโปรแกรม

การดำเนินการด้านโปรแกรม (Software) คือการศึกษาการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการควบคุมโครงสร้าง(Hardware) ผ่านทางพอร์ตปริ๊นเตอร์

5.3 สรุปผลการดำเนินการทางด้านการขึ้นรูปชิ้นงาน

ในส่วนของการขึ้นรูปชิ้นงาน ยังมีปัญหาทางด้านความช้าของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องมือตัดทำให้เพิ่มเวลาในการตัดมาก และความเร็วของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ในการตัดกระดาษ เครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นสามารถขึ้นรูปเป็นชิ้นงานที่ไม่มีความซับซ้อนมากนักได้ และขอบของชิ้นงานต้นแบบยังไม่เรียบพอ เนื่องจากข้อจำกัดหลายประการ คือ

1. เครื่องมือในการตัด
2. อุณหภูมิของขดลวดความร้อนไม่สามารถควบคุมได้ถ้าเวลาการตัดแต่ละชั้นไม่เท่ากัน

5.4 แนวทางการพัฒนาสำหรับเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบ

จากปัญหาที่เกิดขึ้น ในการศึกษาการสร้างเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบทางกลุ่มได้เสนอ การพัฒนาโดยการหาเครื่องมือตัดที่มีความแข็งแรงเมื่อกัดขอบแล้วจะได้ขอบที่เรียบ ควรมีการเพิ่มชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temp Control) เข้าไปเพื่อควบคุมอุณหภูมิของฮีทเตอร์ให้คงที่ไม่ว่าเวลาในการตัดแต่ละชั้นจะไม่เท่ากันก็ตาม

สำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นได้ทดลองการสั่งงานผ่านทางพอร์ทปริ๊นเตอร์แล้วสามารถทำได้ ถ้าสามารถนำโปรแกรมที่เคยมีรุ่นพี่ที่เขียนไว้แล้วมา รวมกับเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบจำลองของทางกลุ่มคาดว่าน่าจะสามารถนำมาสร้างชิ้นงานต้นแบบได้โดยการตัดขอบทีละชั้นและรับรูปที่วาดมาจากโปรแกรม Auto CAD,3D Studio max หรือว่าจะทำการเขียนโปรแกรมขึ้นมาใหม่ ทางกลุ่มคาดว่าจะเป็นประโยชน์อย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่สร้างขึ้นกับที่มีจำหน่าย

	LOM-1015 ที่มีจำหน่าย	LOM ที่สร้างขึ้น	ข้อแตกต่าง
	กระดาษกาว	กระดาษกาว	กระดาษกาวที่เราใช้ราคาถูกกว่า
ความหนาของกระดาษ	0.076-0.203 มม.	0.1 มม.	อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้
อุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นงาน	เลเซอร์ , ใบมีด คัตเตอร์	ดอกสว่าน,ดอกกัด	เครื่องมือที่เราใช้ราคาถูกกว่าแต่ให้ขอบที่ไม่เรียบมากนัก
การขึ้นรูป	ตัดตามขอบ	ตัดตามขอบ	เหมือนกัน
ขนาดชิ้นงานสูงสุด	32ซม. x 22ซม. x 20 ซม.	9 ซม. x 9ซม. x 4 ซม.	-
ขนาดของเครื่องจักร	1220 ซม. x 990 ซม.	1220 ซม. x 990 ซม.	-
ความเร็วในการสร้างชิ้นงาน	24-48 ชั่วโมง	N/A	-

จากการเปรียบเทียบ เครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้น กับเครื่องที่มีจำหน่ายอยู่แล้ว จะพบว่าเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการทำงานน้อยกว่า เนื่องจากข้อจำกัดในด้านต่างๆ เช่น เทคโนโลยี และเงินทุนในการสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. พลชัย โชติปรายนกุล,"เครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว",วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. คมสัน ระวิวรรณ,จิรพัฒน์ ฐานสันโดษ,นิพันธ์ บุญบันดาล,สุรศักดิ์ บงกชพรรณราย,"การศึกษาเครื่องสร้างชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว",ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. สัจจาทิพย์ ทัศนีย์พันธ์ ผศ.," เทคโนโลยีการผลิตต้นแบบรวดเร็ว" , วารสารRDIPT,สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

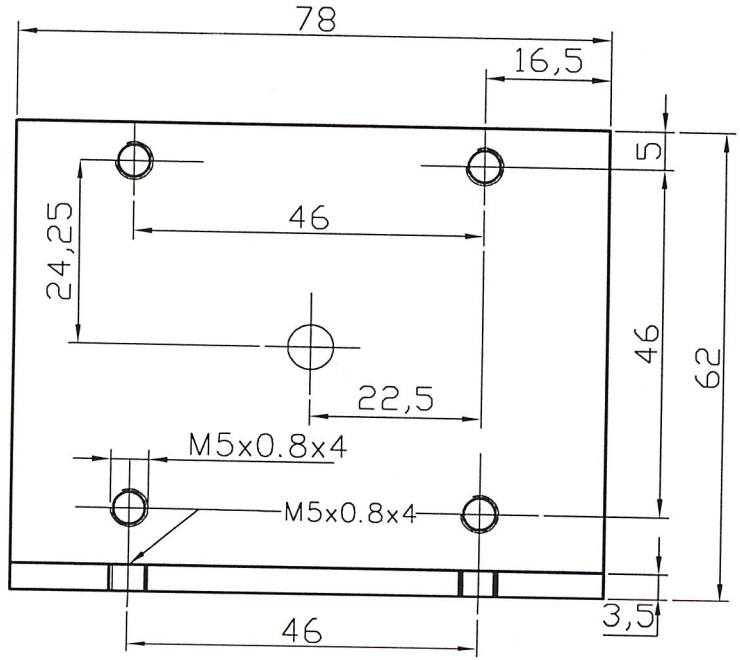
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

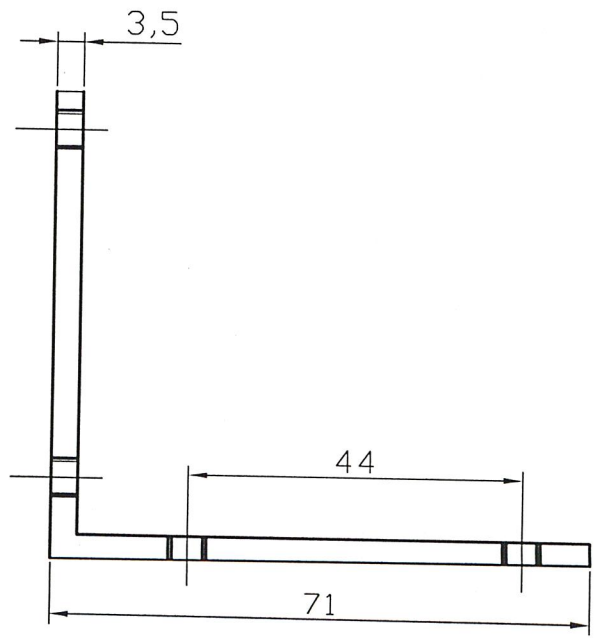
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

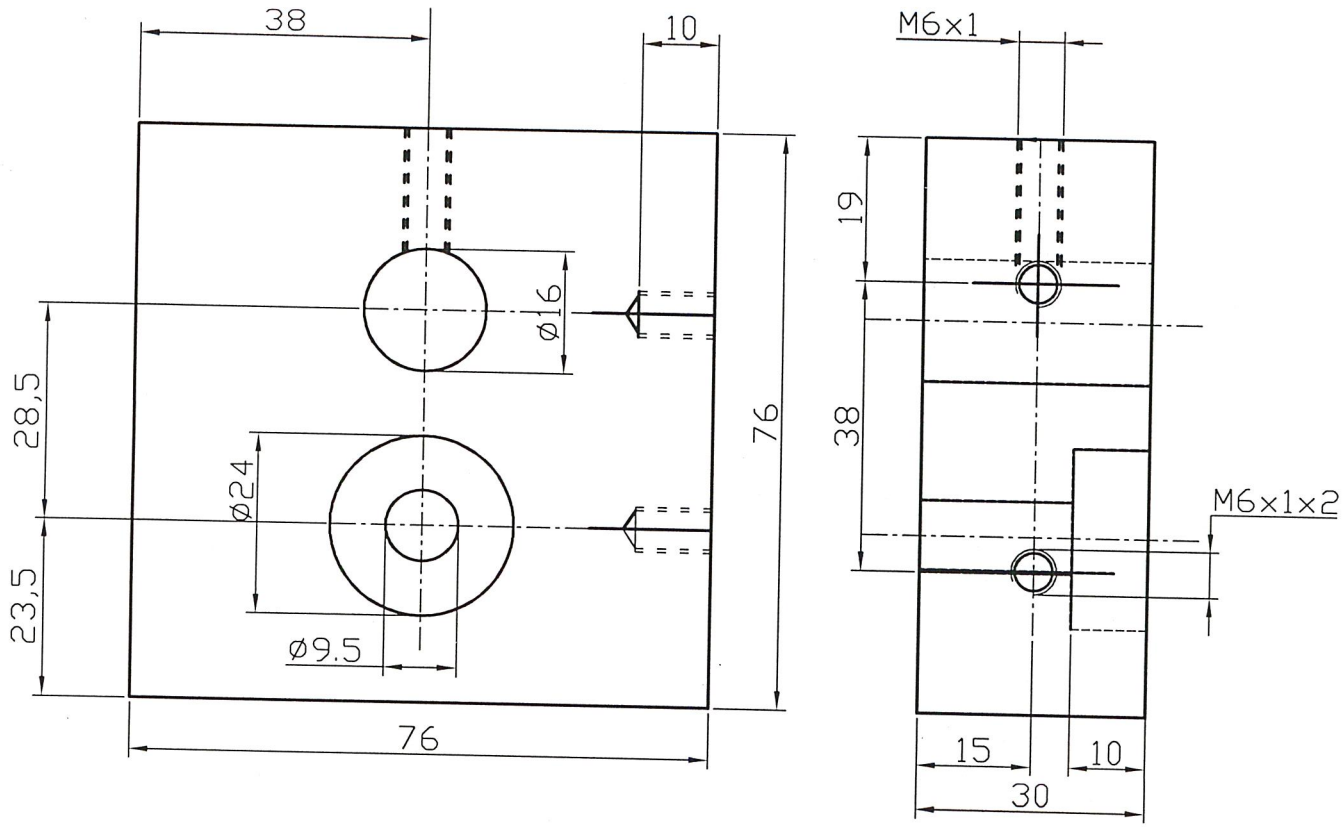
เทคโนโลยี	วัตถุดิบ	อุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นงาน	การขึ้นรูป	Post Processing		หมายเหตุ
				ฐานและฐานพยุง	การตบแต่งผิว	
SLA	เรซินเหลว	เลเซอร์	Scan (จุดต่อจุด)	*ล้างชิ้นงาน	รอให้แข็งตัวสนิทจึงขัดแต่งได้ง่าย	เนื้ออาจพองเมื่ออยู่ในเรซิ่นเหลว
		HeCd		*ฉาย UV	สามารถใช้เรซินเหลวทาเคลือบ	
		Argon		*แกะฐานและฐานพยุง		เรซินมีความหลากหลายให้เลือก
		Diode				
LOM	กระดาษกาว	เลเซอร์,ใบมีดคัตเตอร์	ตัดตามขอบ	*แกะฐานและฐานพยุง	ตบแต่งได้ทันที, ทาสีเคลือบ	เหมาะสำหรับชิ้นงานขนาดใหญ่
FDM	เส้น ABS	Heaterและหัวรีด	Scan	*แกะฐานและฐานพยุง	ตบแต่งได้ทันที	วัสดุมีให้เลือกหลายสี/เป็นลายเส้น
SLS	ผงพลาสติกหรือผงโลหะ	เลเซอร์ Co_2	Scan	*ปัดหรือเป่าผงออก	ตบแต่งได้ทันที	ผิวหยาบเหมือนกระดาษทราย
3DP	ผงวัสดุ+กาว	Ink-jet พ่นกาว	Scan	*ปัดหรือเป่าผงออก	ตบแต่งได้ทันที	ผิวหยาบเหมือนกระดาษทราย
BPM	เทอร์โมพลาสติก+แว็กซ์	Heater and Ink-Jet	Scan	*ใช้น้ำอุ่นล้างแว็ซ์	ตบแต่งน้อย	ผิวหยาบ
SGC	เรซินเหลว+แว็ซ์	หลอดแสงUV	Mask	*ใช้น้ำอุ่นล้างแว็ซ์	ตบแต่งน้อย	เรซินค่อนข้างเปราะ

ตารางที่ 1 สรุปเทคโนโลยี RP

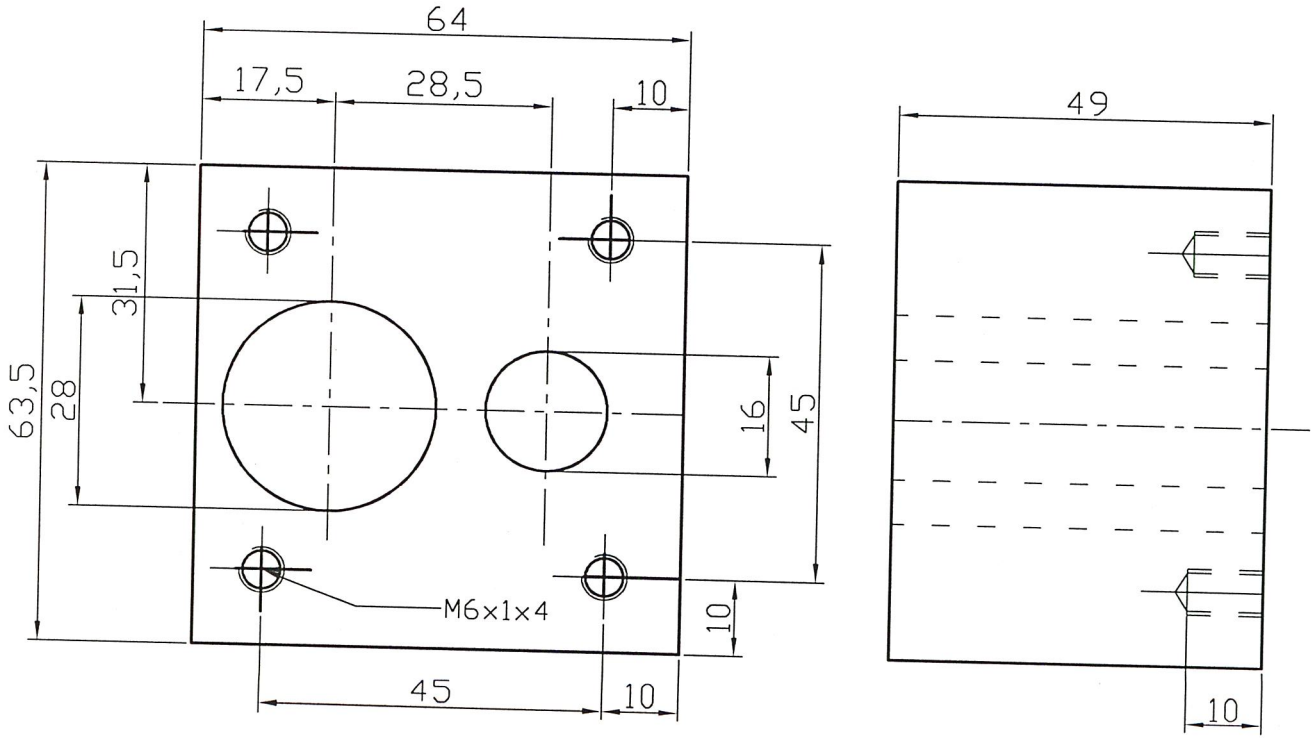




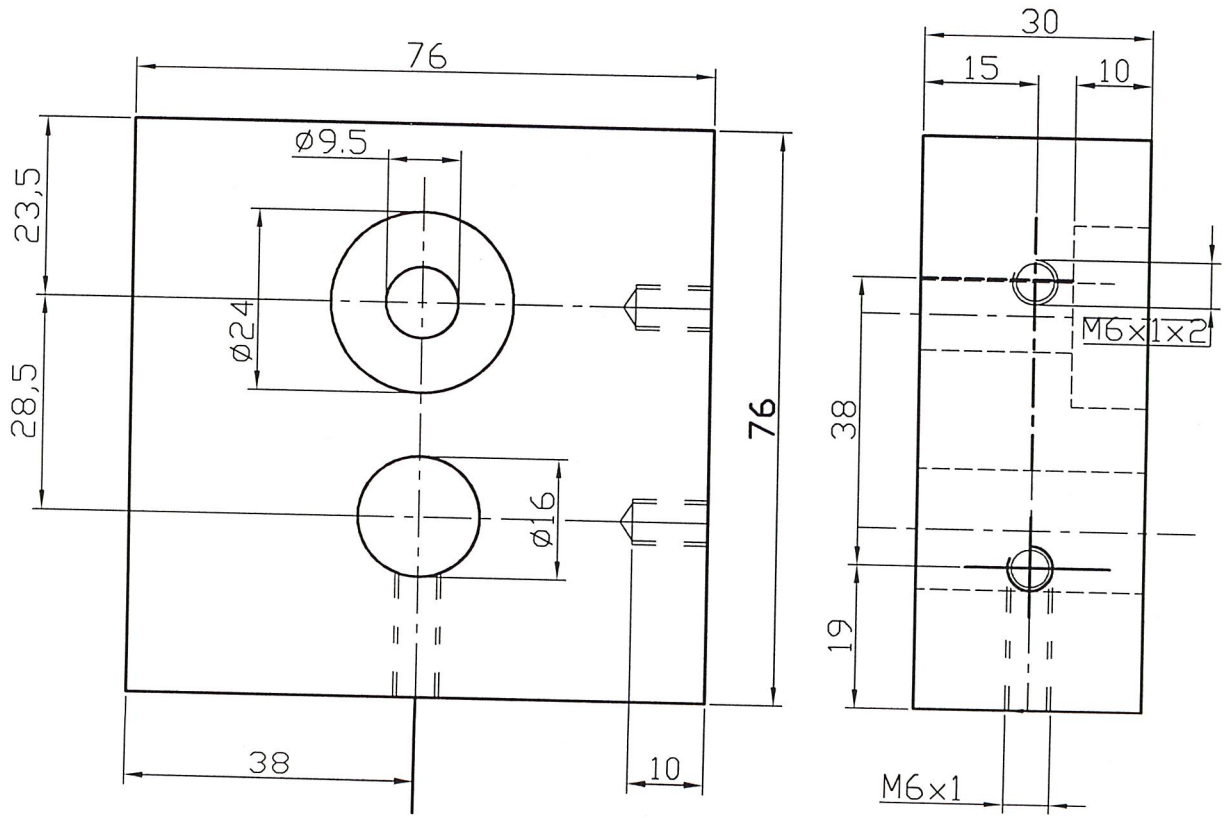
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		ตัวจับยึดมอเตอร์แกน Y				
		หมายเลข: A 01			Edition	Sheet W2



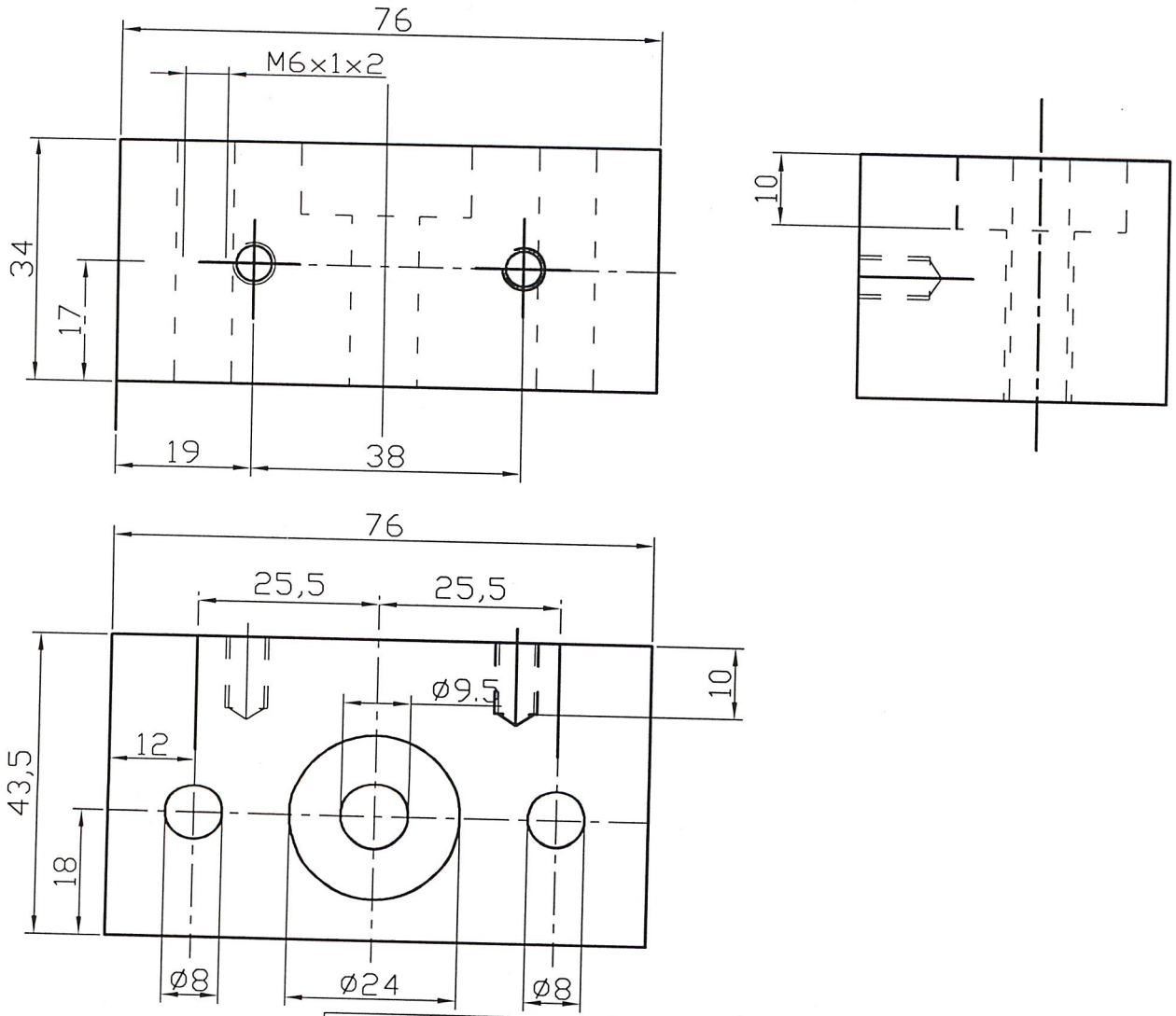
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		ตัวยึดแกน Y				
		หมายเลข: A 02			Edition	Sheet ผ3



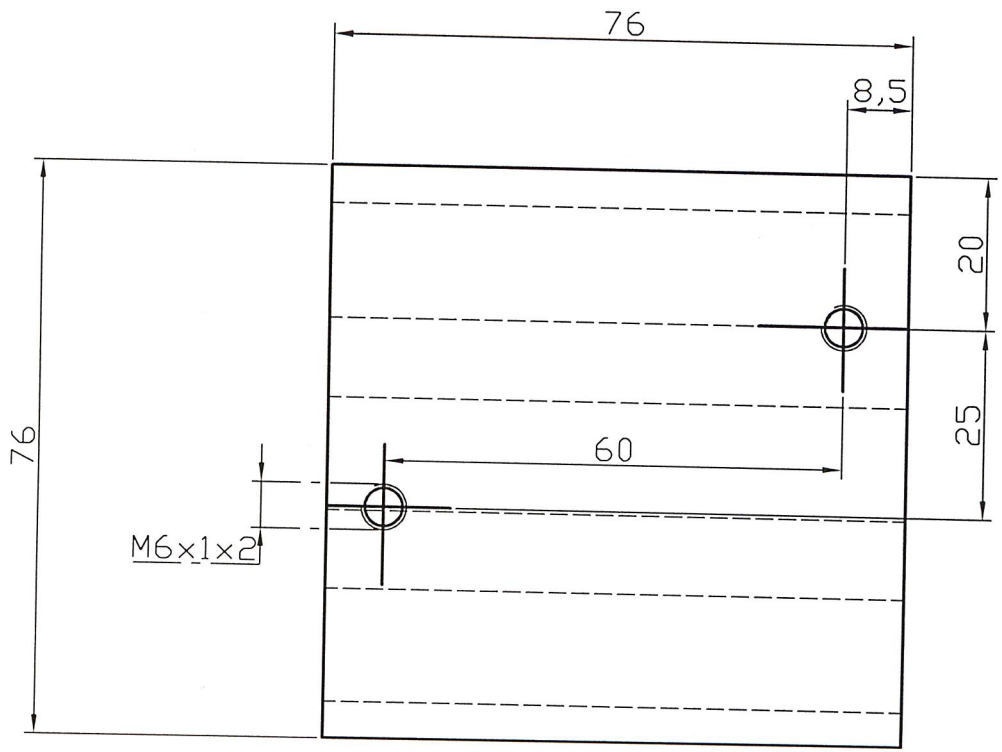
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		แท่งเครื่อนที่แกน Y			
		หมายเลข: A 03		Edition	Sheet ผ4

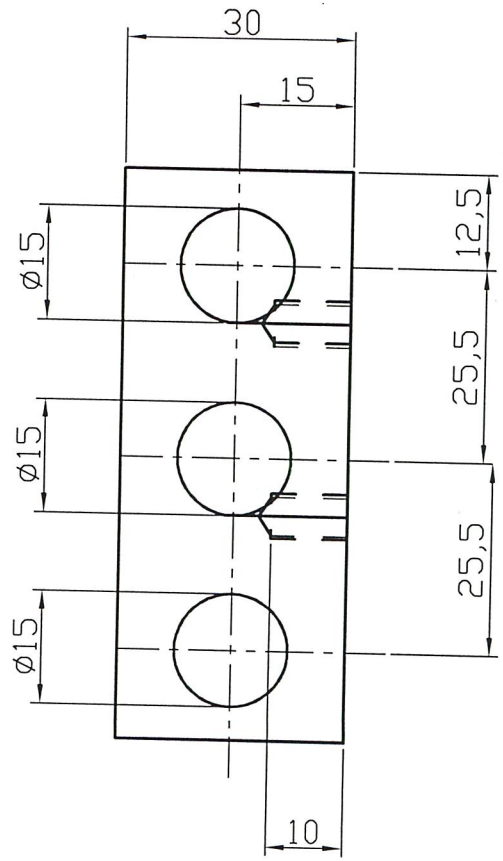


Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		ตัวยึดแกน Y			
		หมายเลข: A 04		Edition	Sheet ผ5

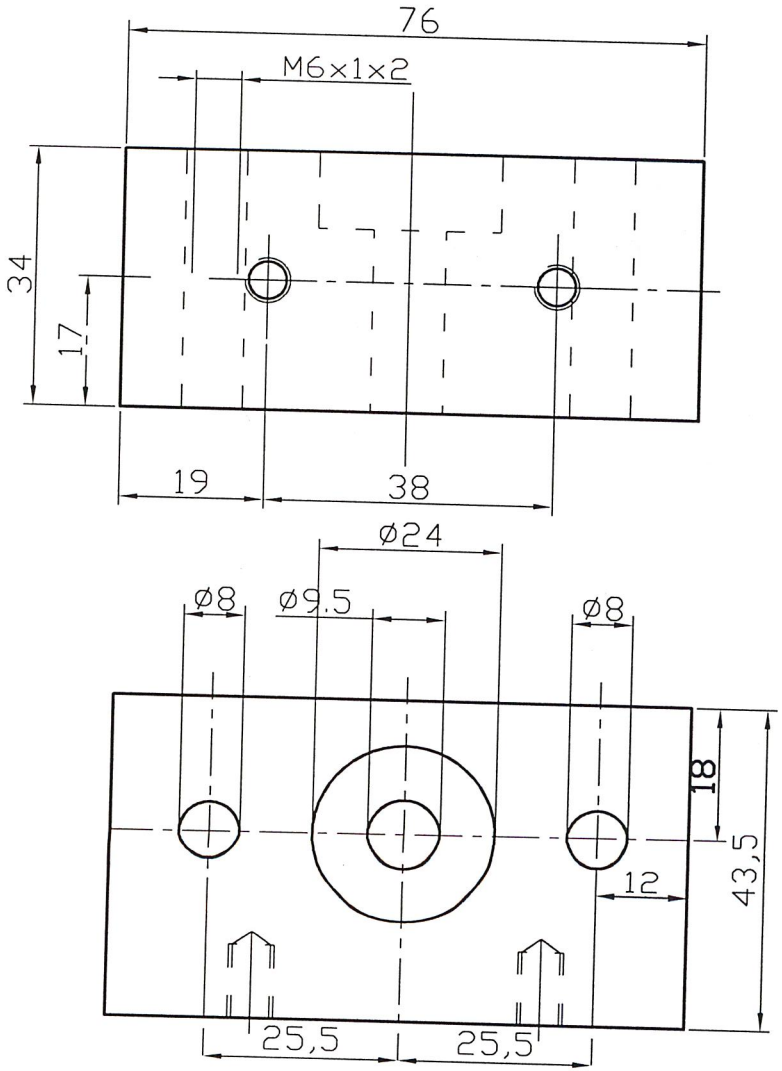


Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		แท่นยึดแกน X			
		หมายเลข: A 05		Edition	Sheet ผ6

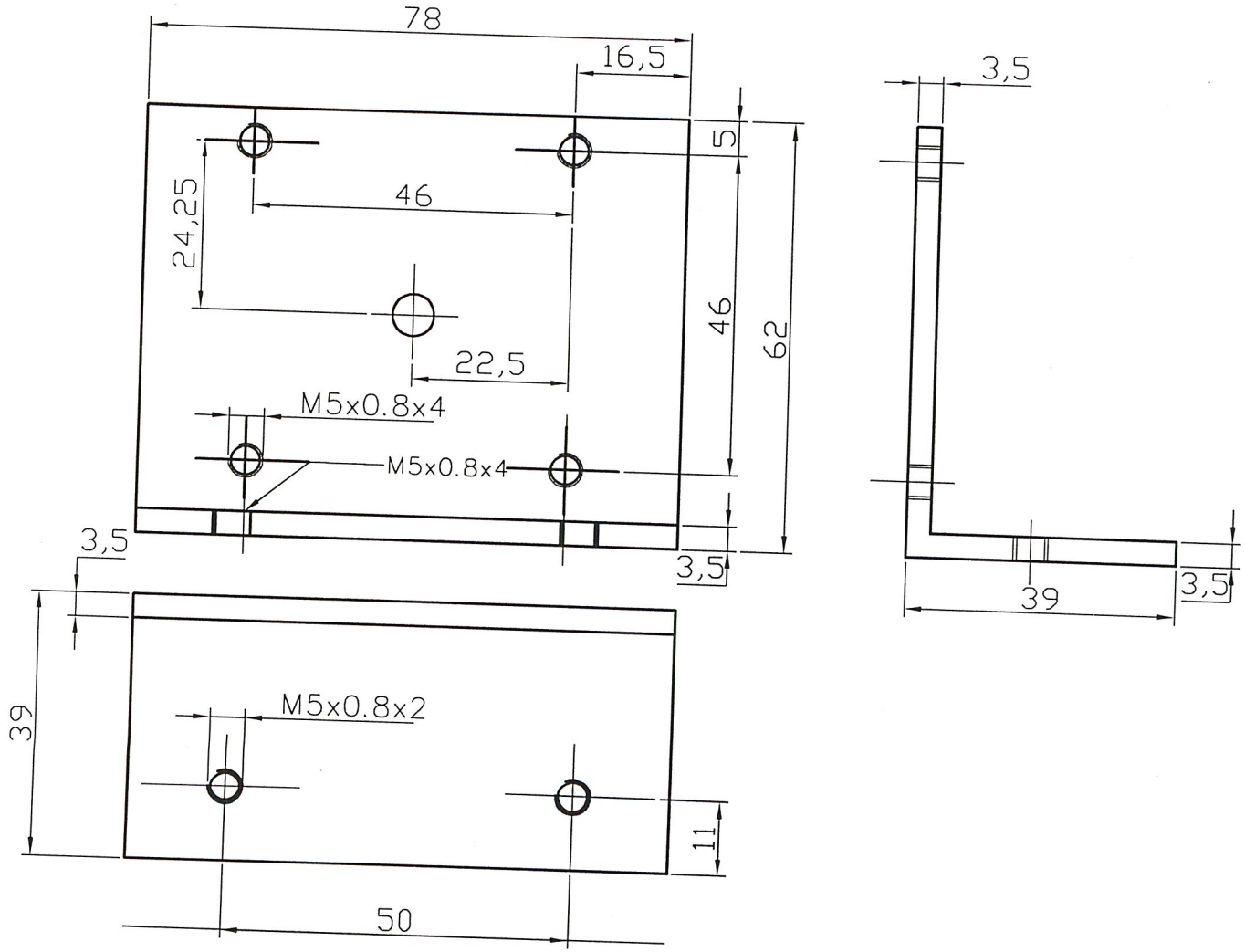




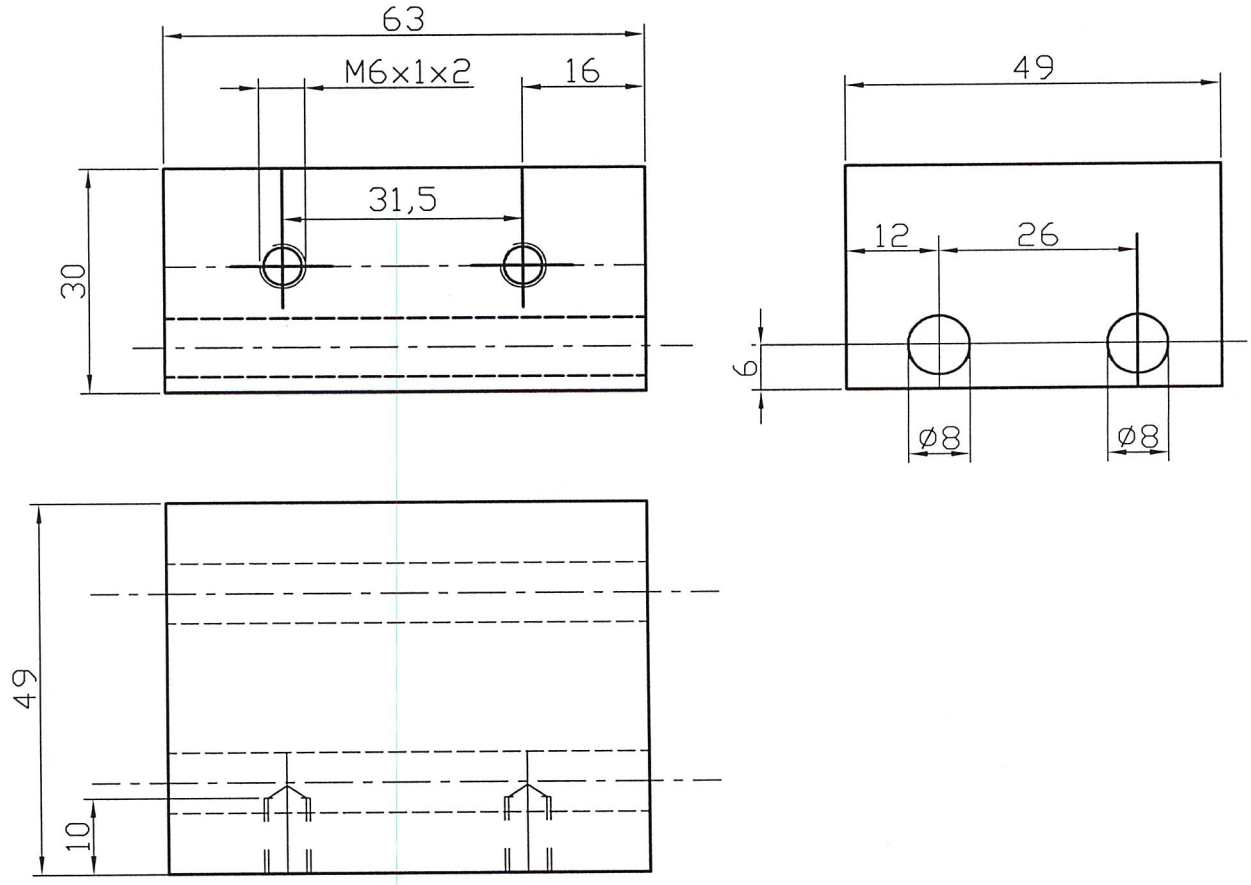
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		แท่นยึดเครื่องมือตัด				
		หมายเลข: A 06			Edition	Sheet ผ7



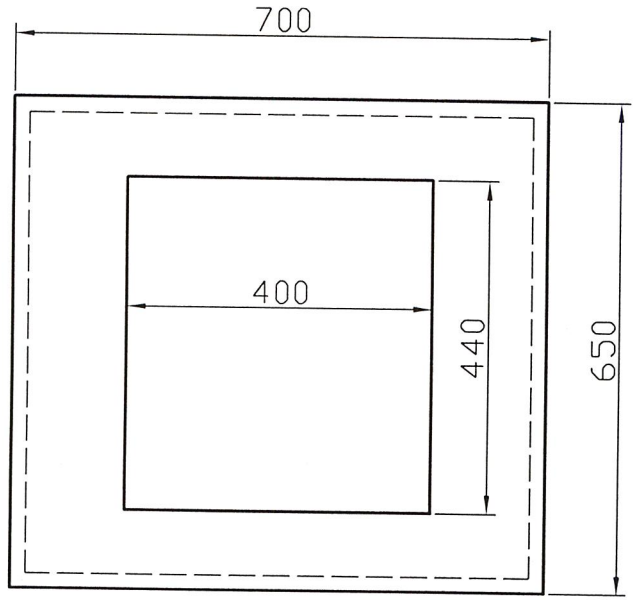
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		แท่นยึดแกนX			
		หมายเลข: A 07		Edition	Sheet ผ8

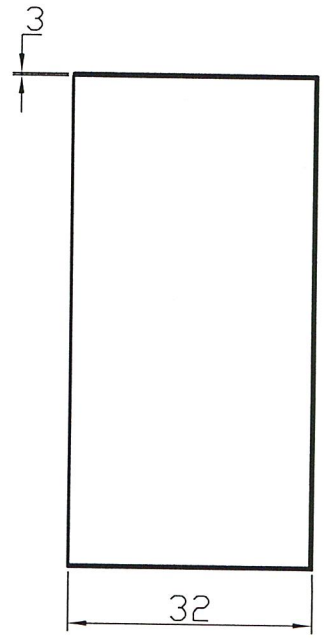


Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		แท่นยึดมอเตอร์แกนX				
		หมายเลข: A 08			Edition	Sheet ผ9

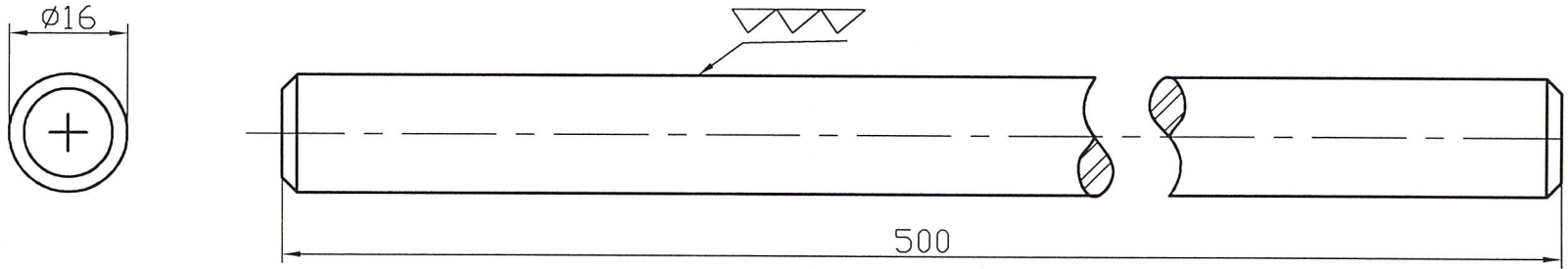


Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		แท่นประคองแกนX				
		หมายเลข: A 09			Edition	Sheet ผ10

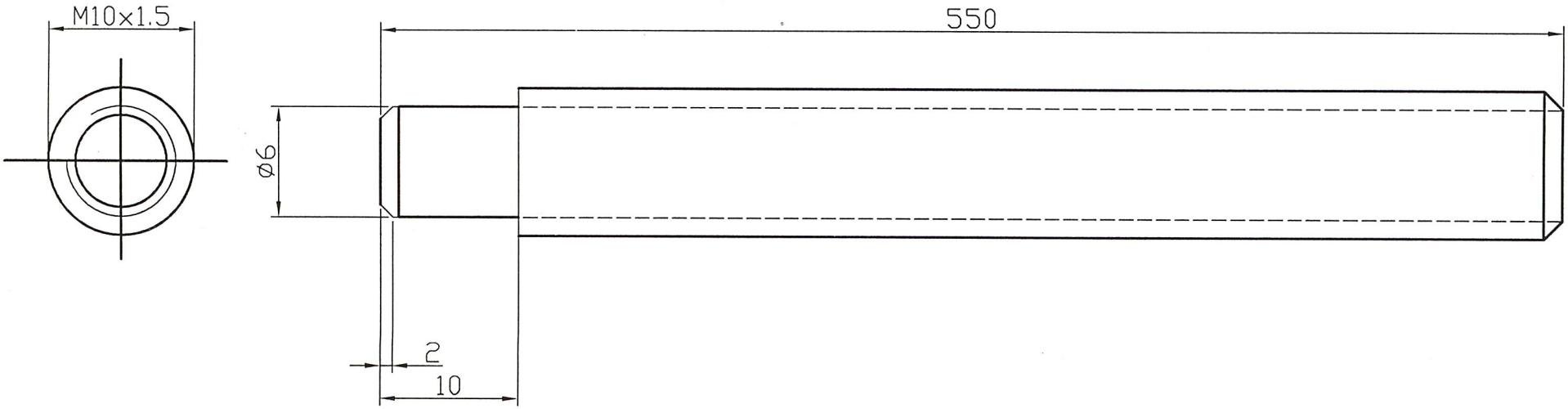




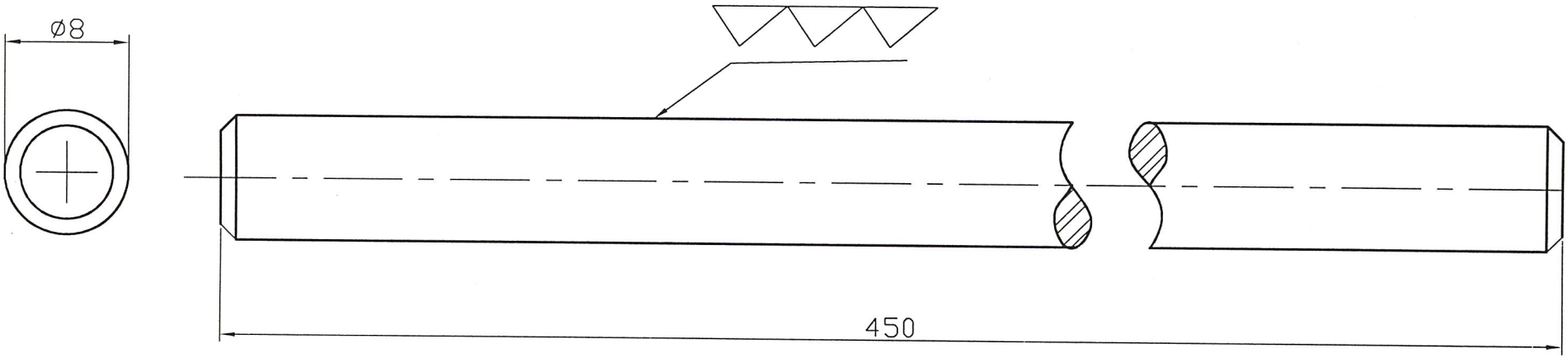
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		โต๊ะยึดแกน X,Y				
		หมายเลข: A 10			Edition	Sheet ผ11



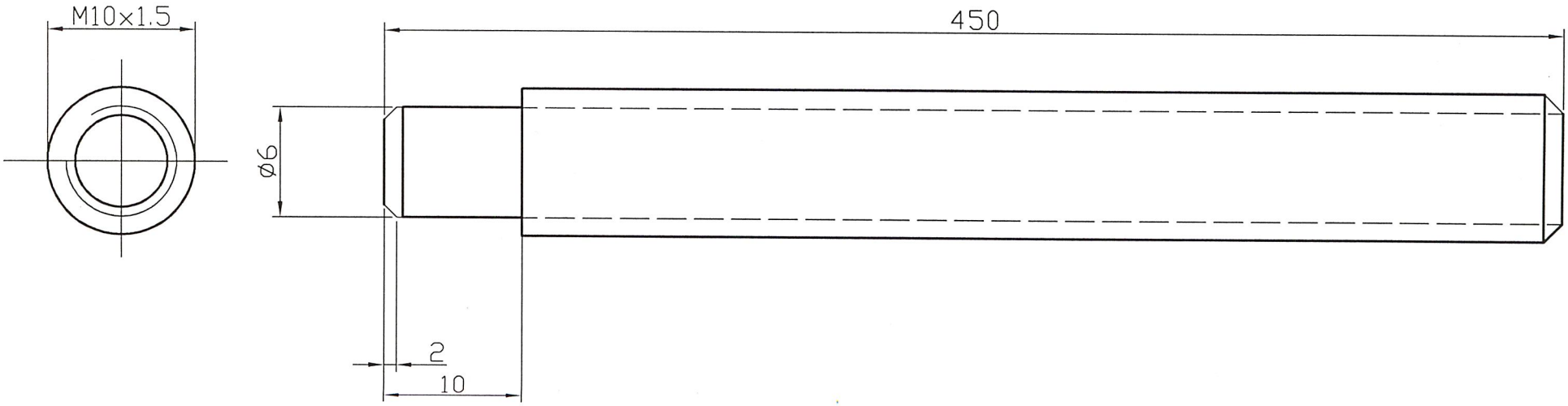
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		เพลาประคองแกน Y			
		หมายเลข: A 11		Edition	Sheet ผ12



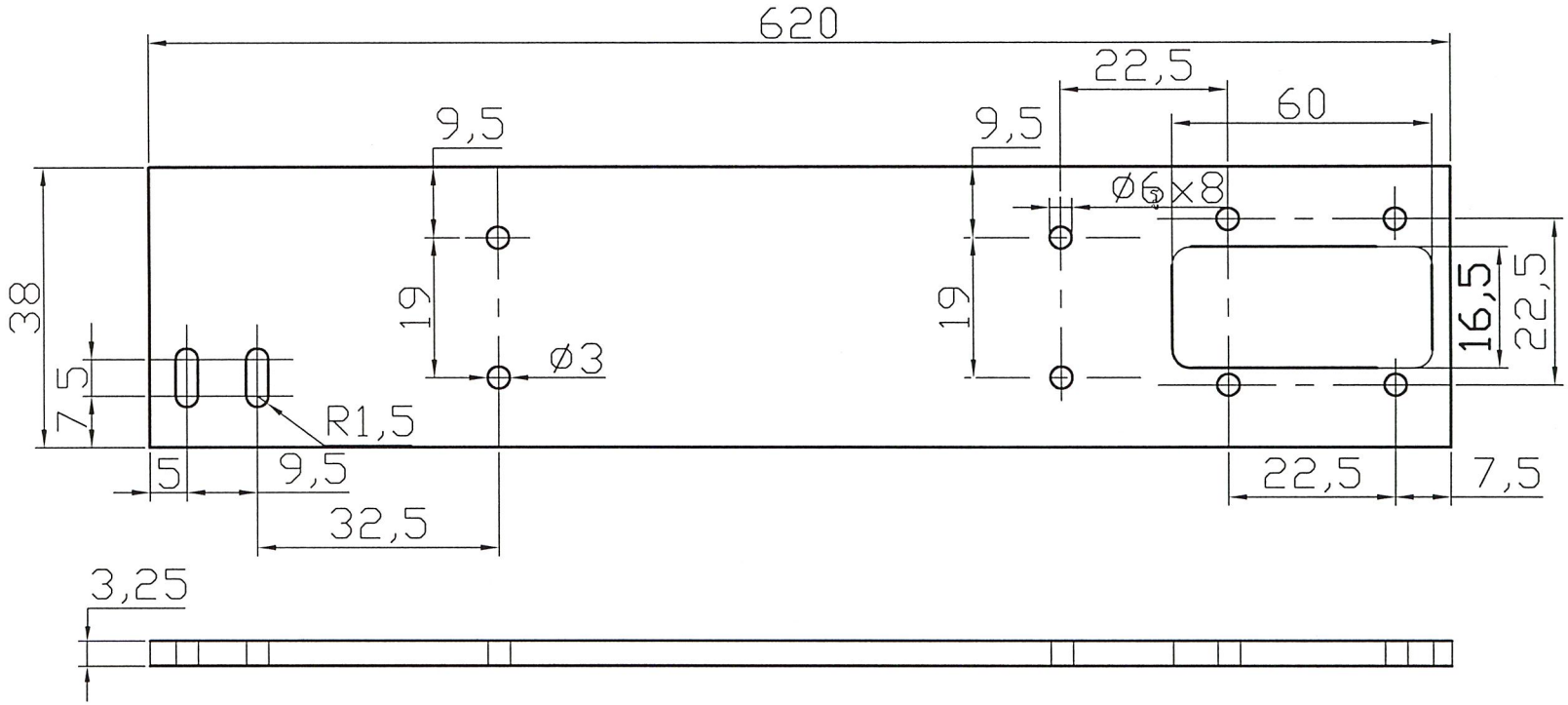
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 2:1
RPT GROUP		สกรูขับแกน Y				
		หมายเลข: A 12			Edition	Sheet ผ13



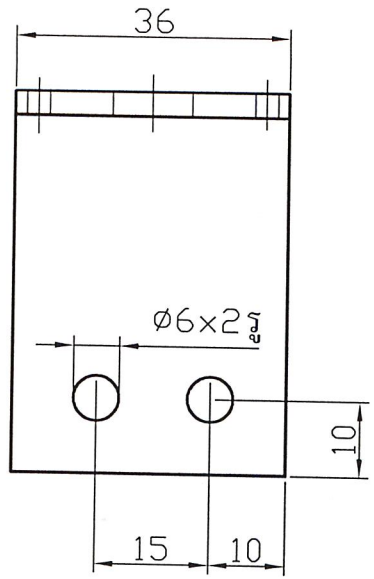
Itemref	Quantity=2	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 3:1
RPT GROUP		แกนล้อประคองแกน X			
		หมายเลข: A 13		Edition	Sheet ผ14

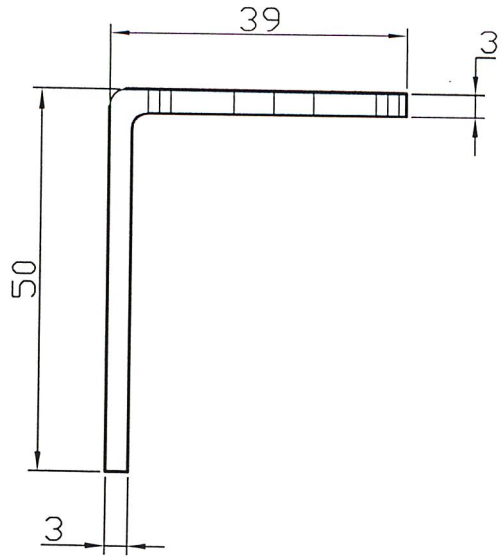


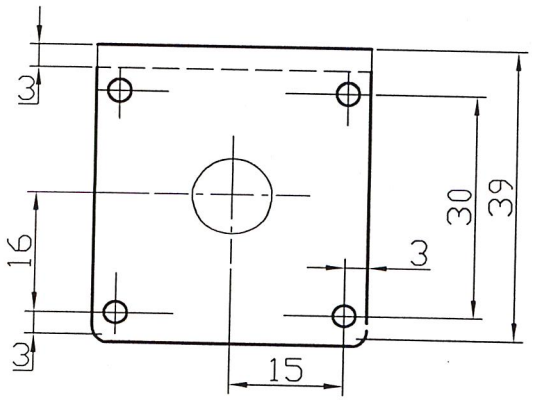
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 2:1
RPT GROUP		สกรูขับแกน X			
		หมายเลข: A 14		Edition	Sheet ผ15



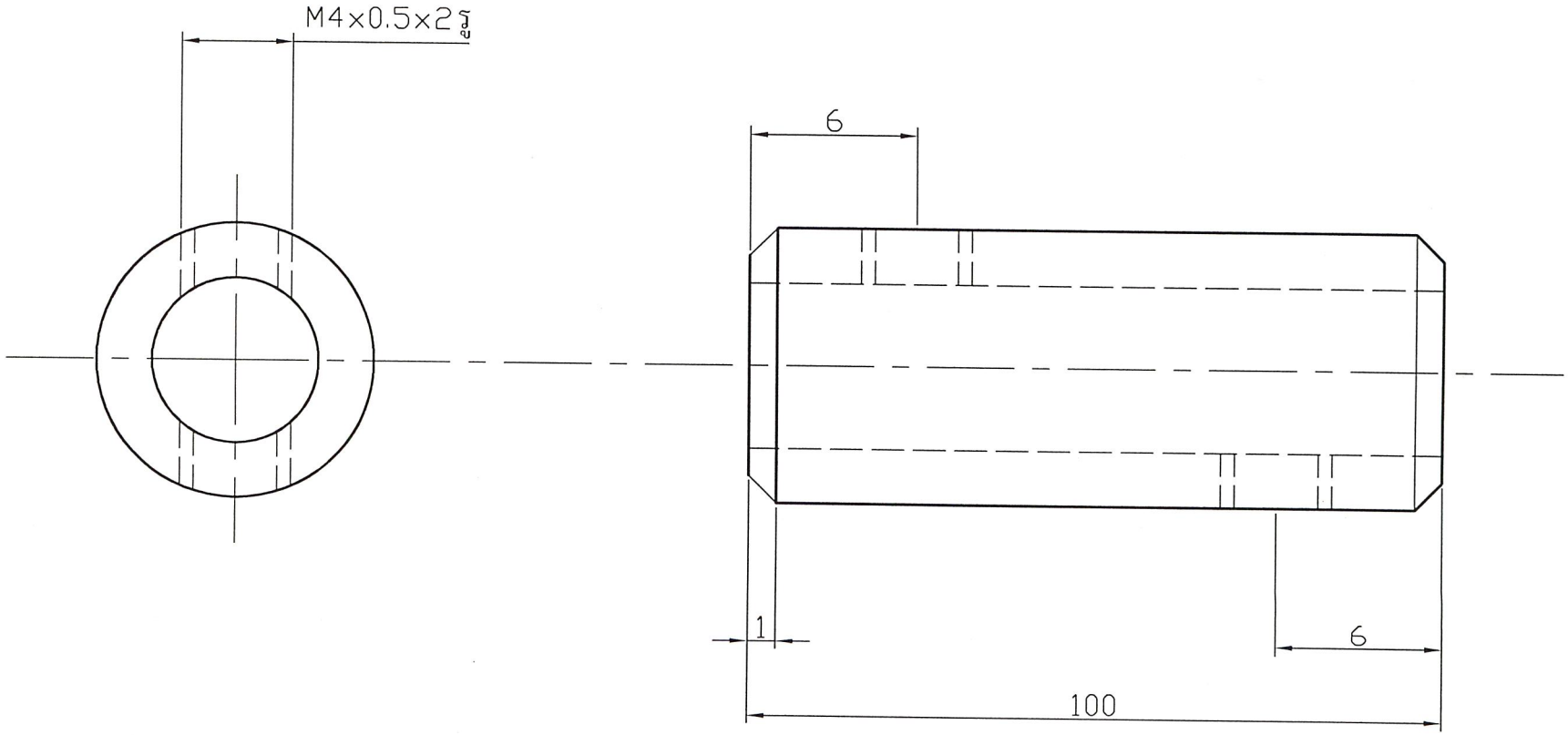
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 2:1
RPT GROUP		แท่นแกน X			
		หมายเลข: A 15		Edition	Sheet ฝ16



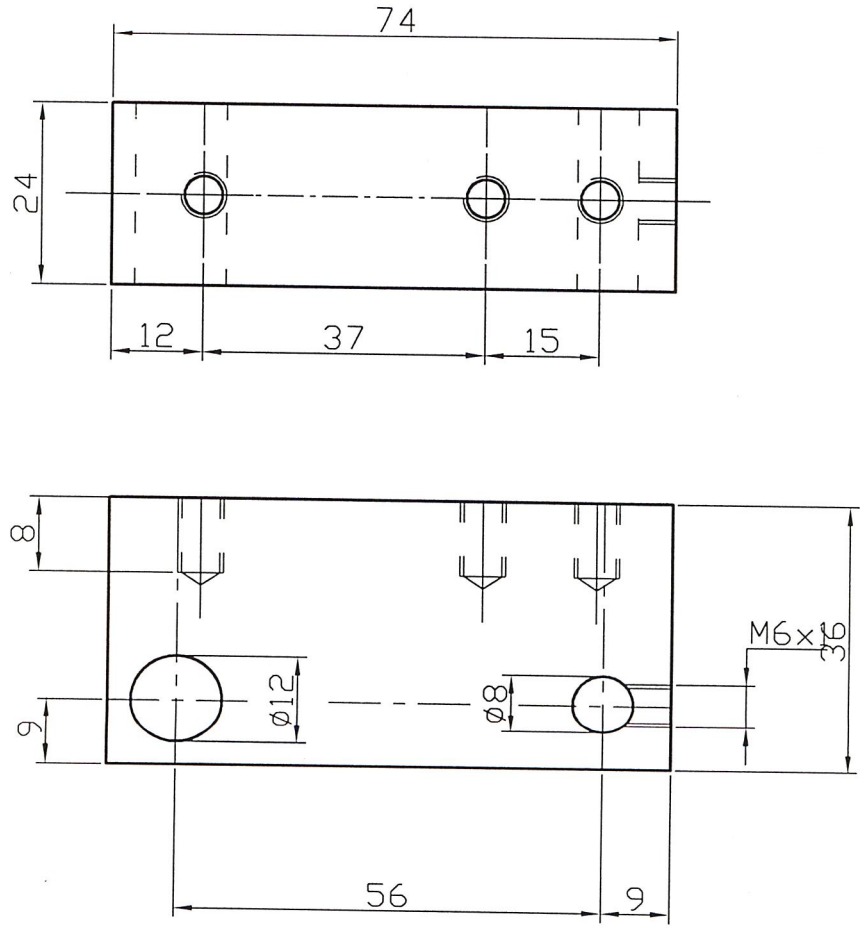




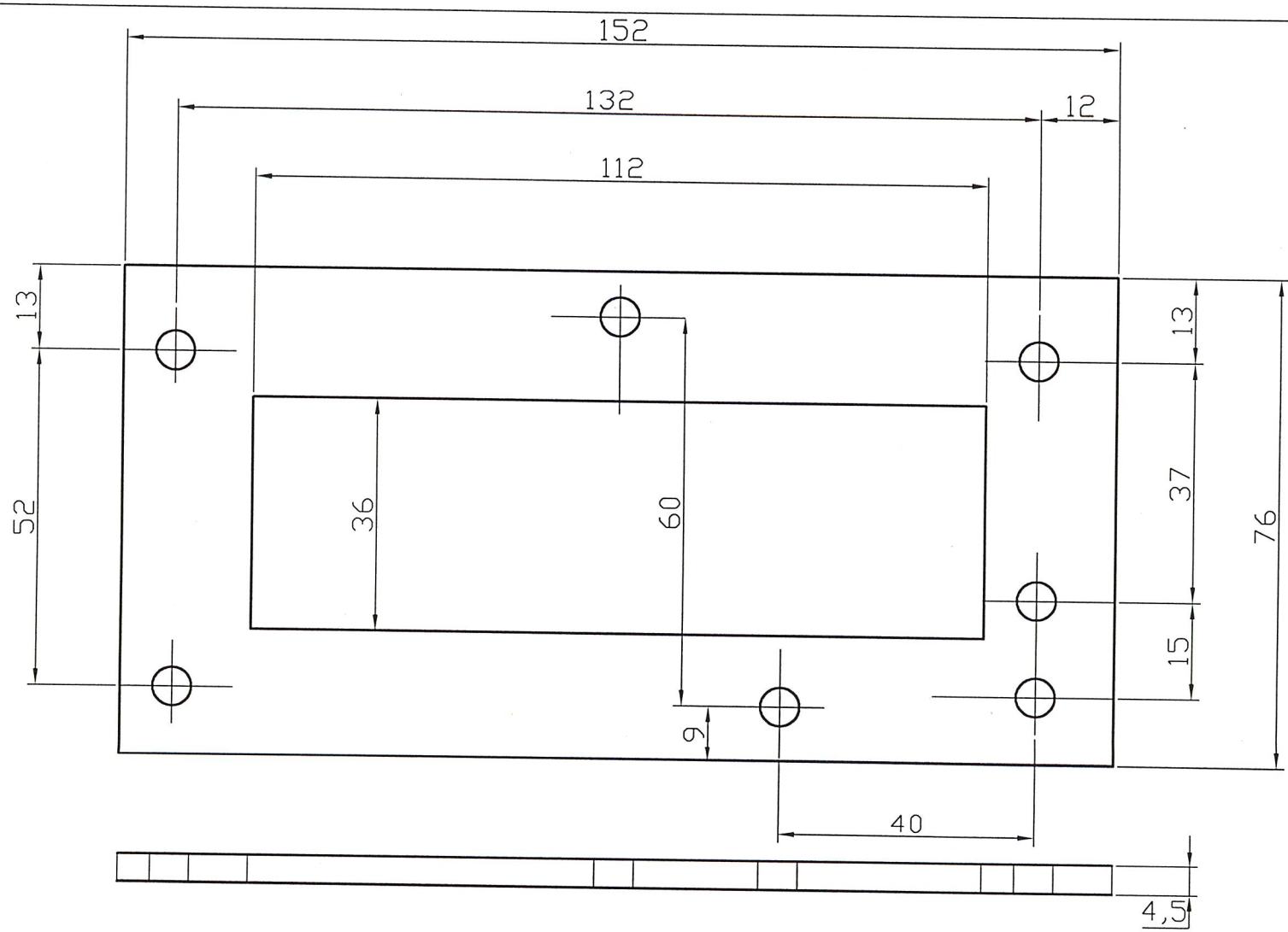
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		แท่นยึดมอเตอร์เลื่อนTOOL				
		หมายเลข: B 01			Edition	Sheet W17



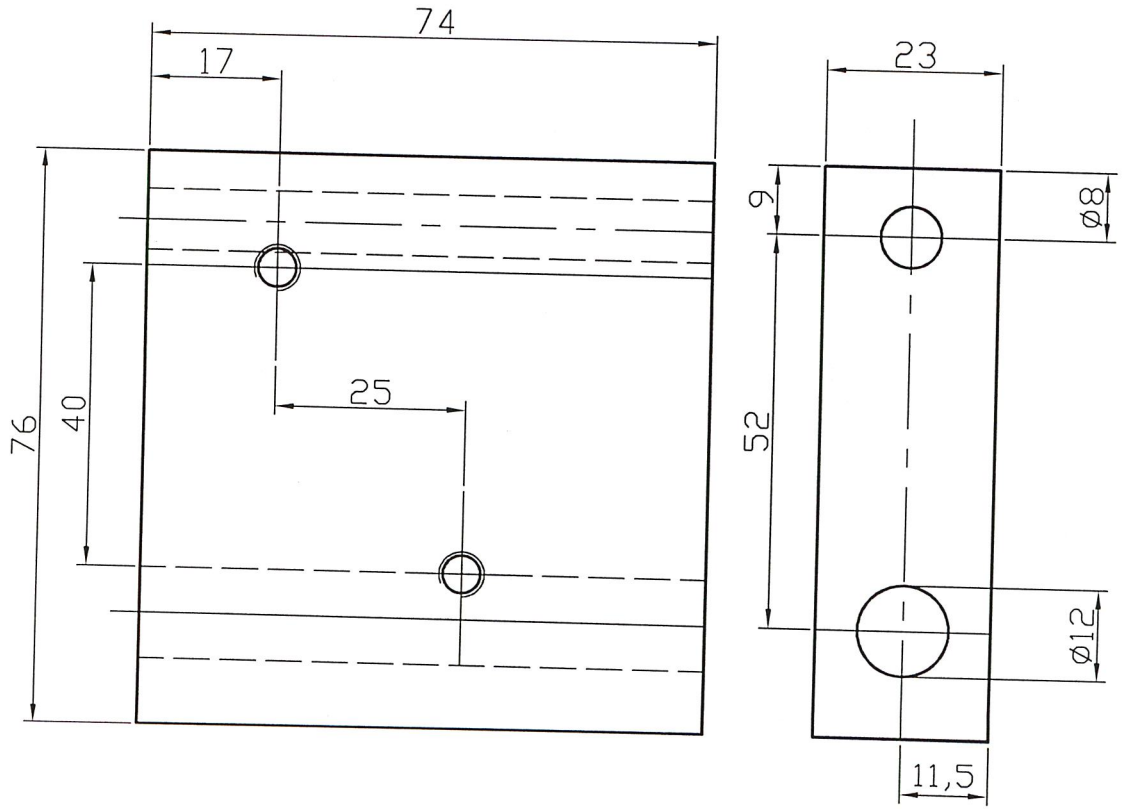
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 4:1
RPT GROUP			ปลอกยึดมอเตอร์ส่งกำลังขับTOOL			
			หมายเลข: B 02		Edition	Sheet ผ18



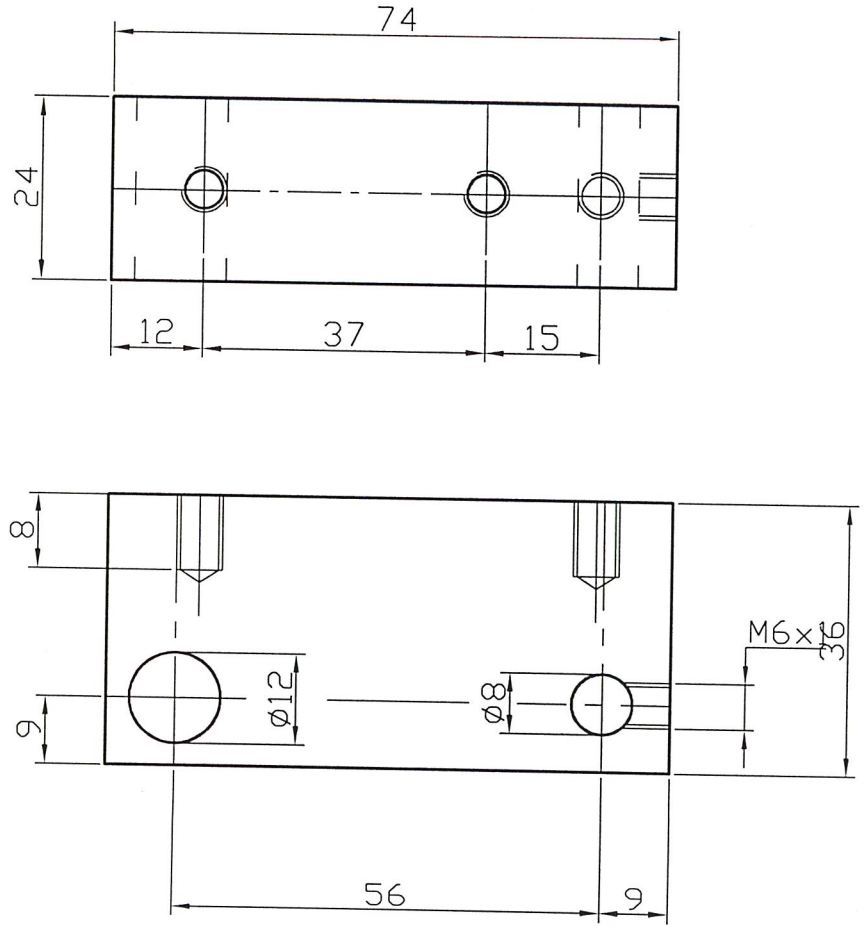
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		แท่นยึดแกนขับTOOL			
		หมายเลข: B 03		Edition	Sheet ผ19



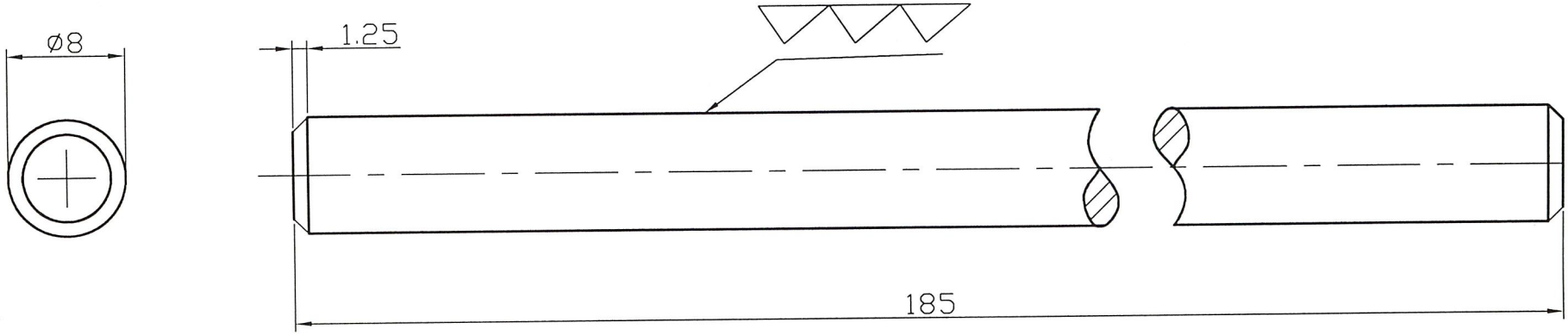
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		แท่นTOOLกับแกนX			
		หมายเลข: B 04		Edition	Sheet ผ20



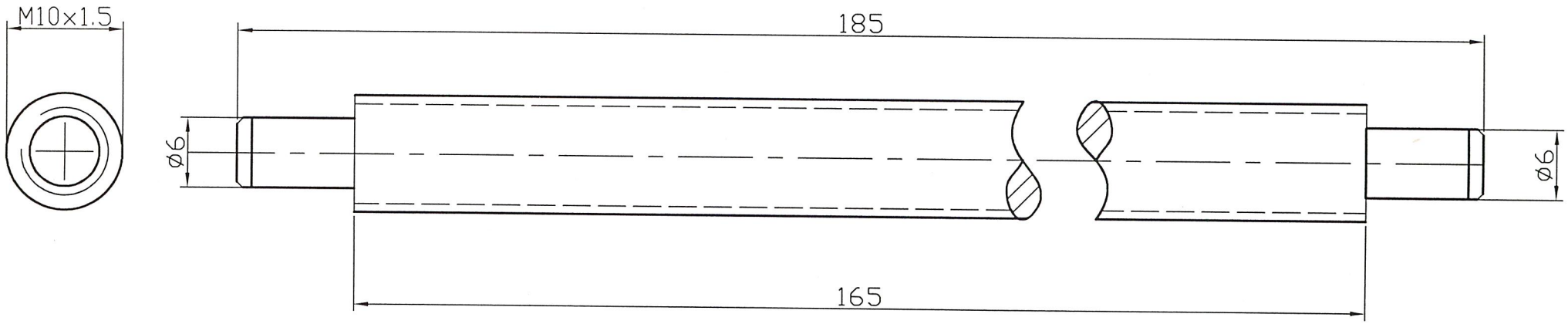
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		แท่นยึดTOOLขึ้นลง			
		หมายเลข: B 05		Edition	Sheet ผ21



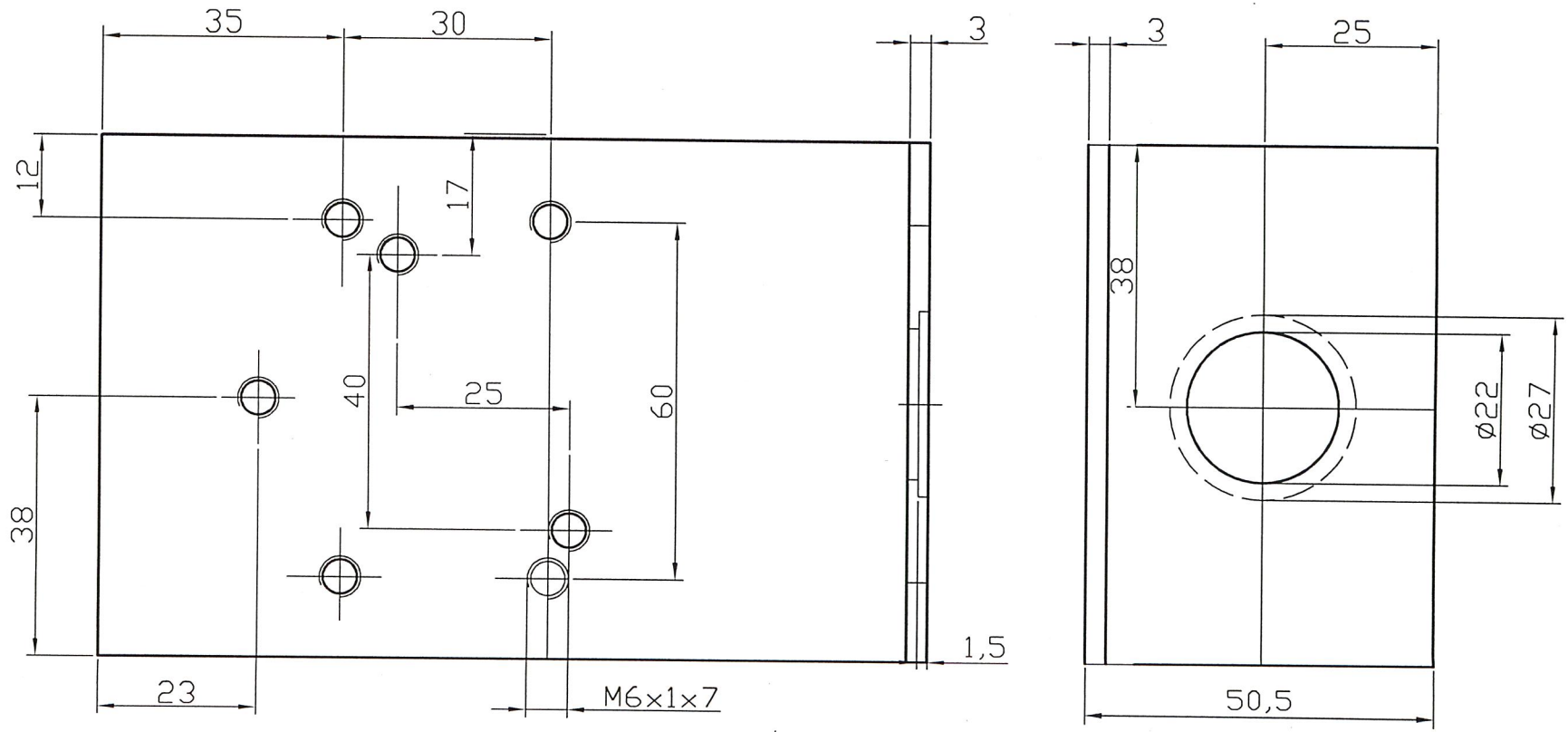
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		แท่นยึดแกนขับTOOL				
		หมายเลข: B 06			Edition	Sheet ผ22



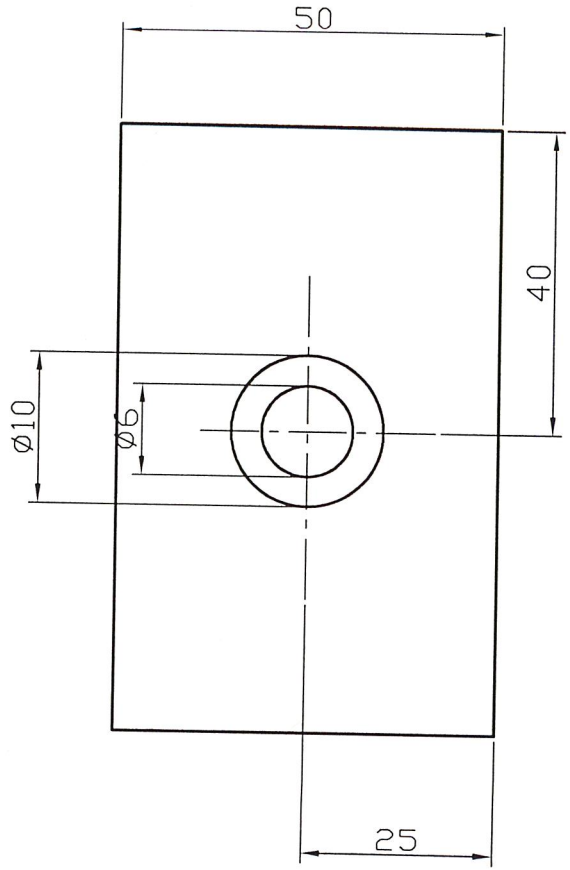
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 2:1
RPT GROUP		แกนประคองTOOL				
		หมายเลข: B 07			Edition	Sheet ฝ23

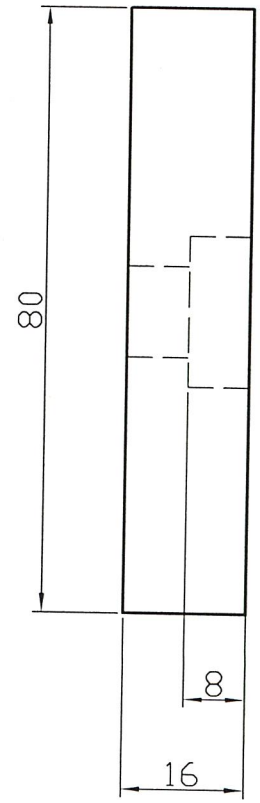


Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 2:1
RPT GROUP		แกนประคองTOOL			
		หมายเลข: B 08		Edition	Sheet ผ24

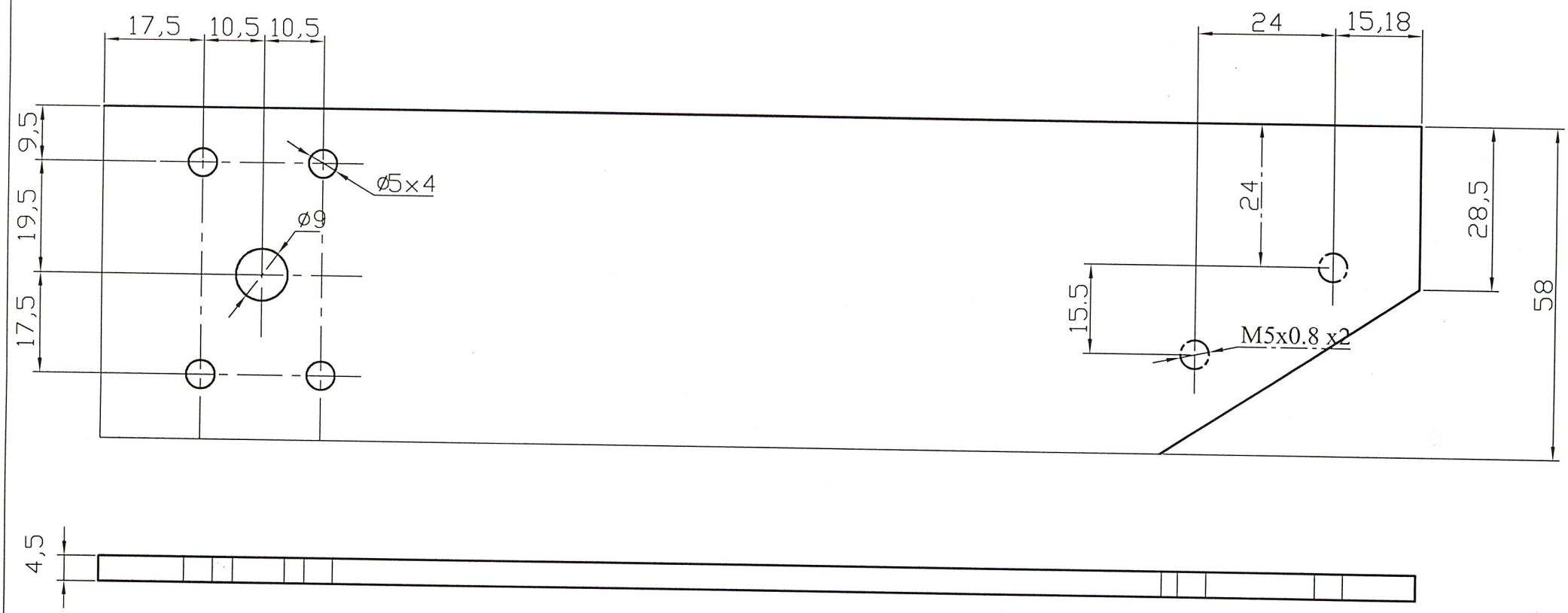


Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP	ฐานยึดเครื่องมือ				
	หมายเลข: B 09			Edition	Sheet ฝ25

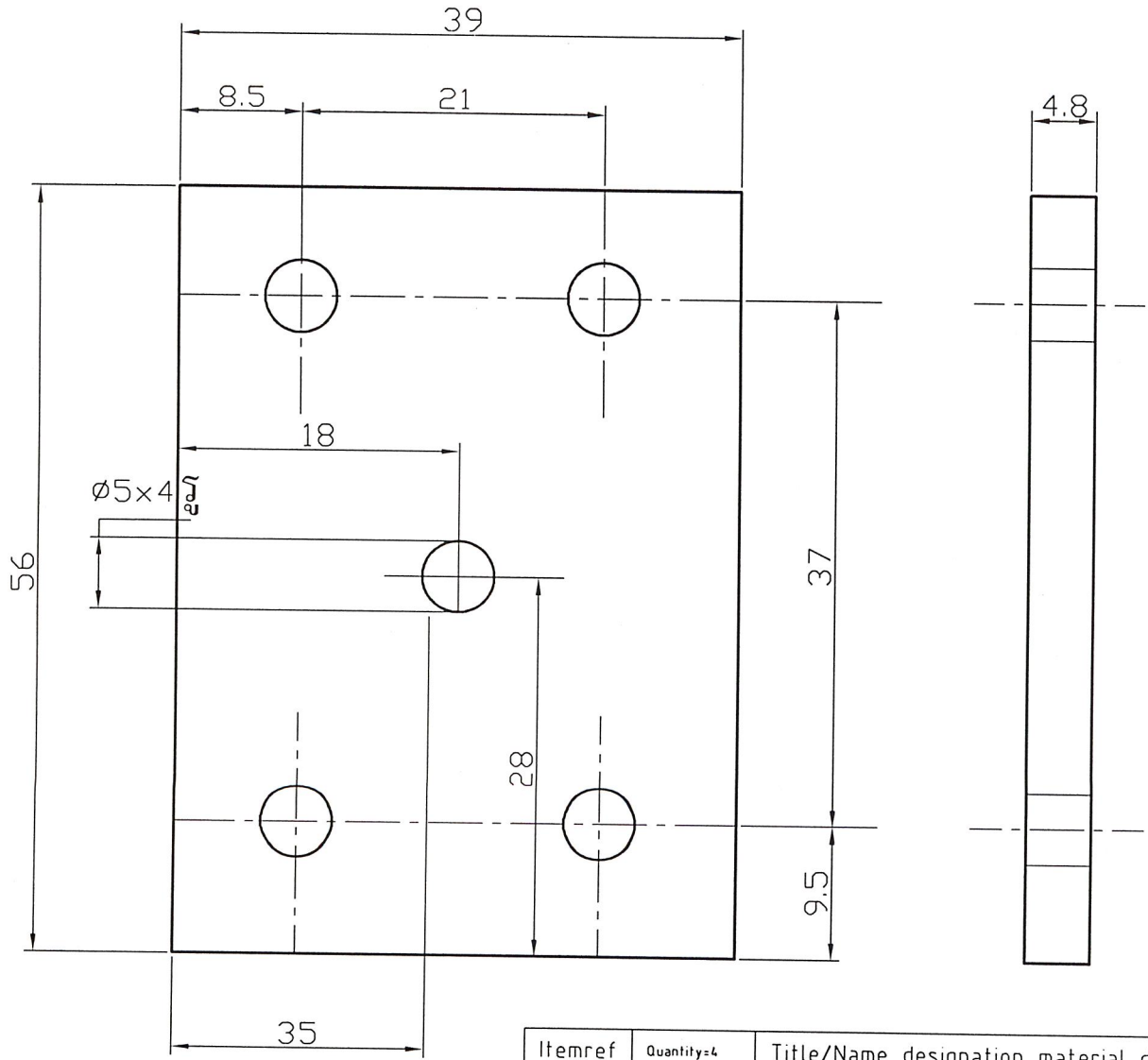




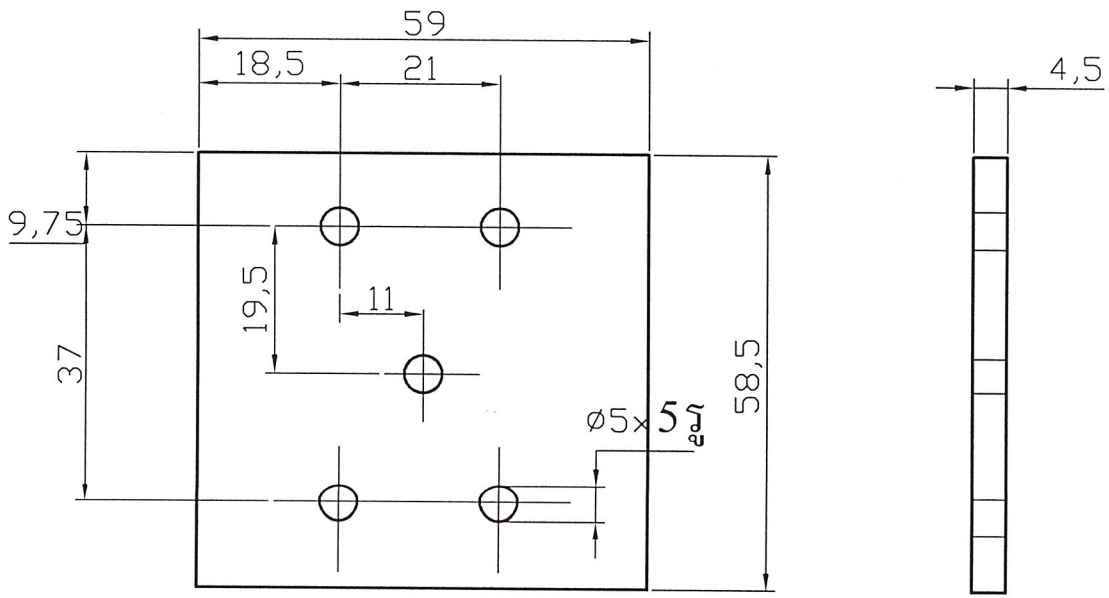
Itemref	Quantity=1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 2:1
RPT GROUP		แท่นปรับระดับเครื่องมือ				
		หมายเลข: B 10			Edition	Sheet W26



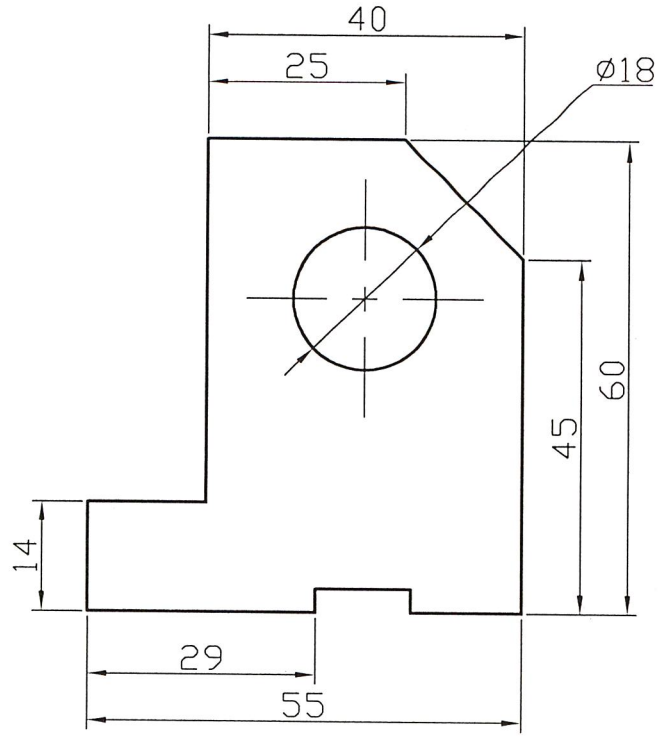
Itemref	Quantity=4	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 2:1
RPT GROUP		แท่นยึดแกนป้อนกระดาษ			
		หมายเลข: C1		Edition	Sheet ผ27

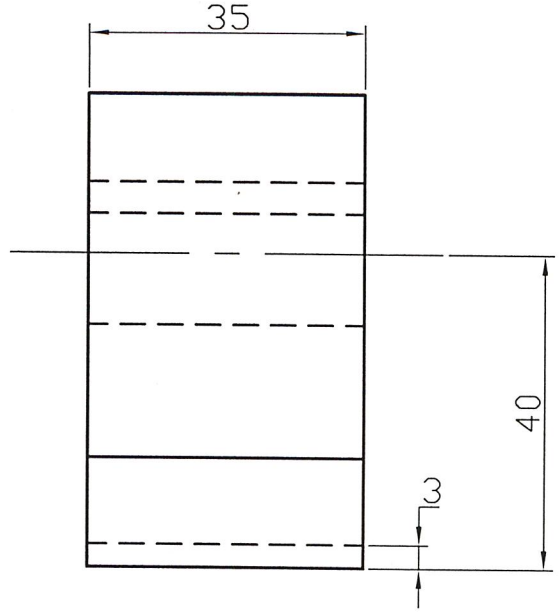


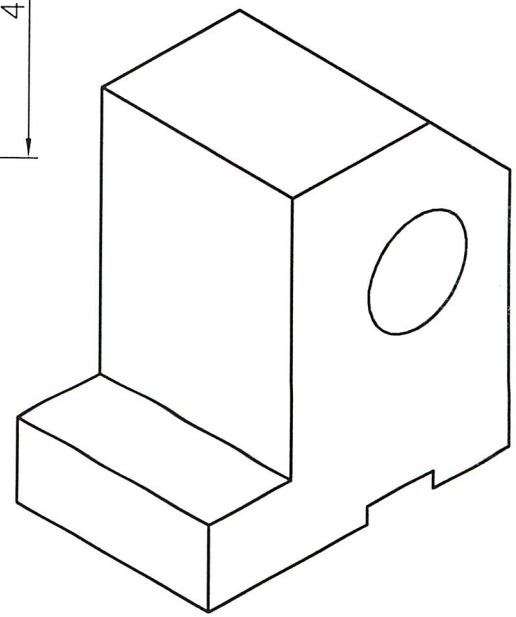
Itemref	Quantity=4	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 2:1
RPT GROUP		ฝาประกบเบริ่ง			
		หมายเลข: C2		Edition	Sheet ผ28

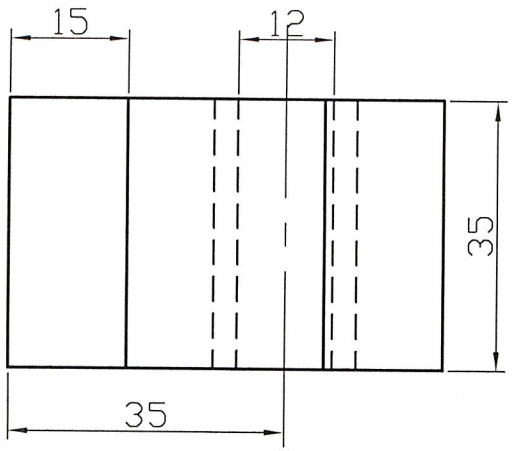


Itemref	Quantity= 4	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12//02	Scale 1:1
RPT GROUP		แท่นจับยึดมอเตอร์ป้อนกระดาษ			
		หมายเลข: C3		Edition	Sheet ผ29

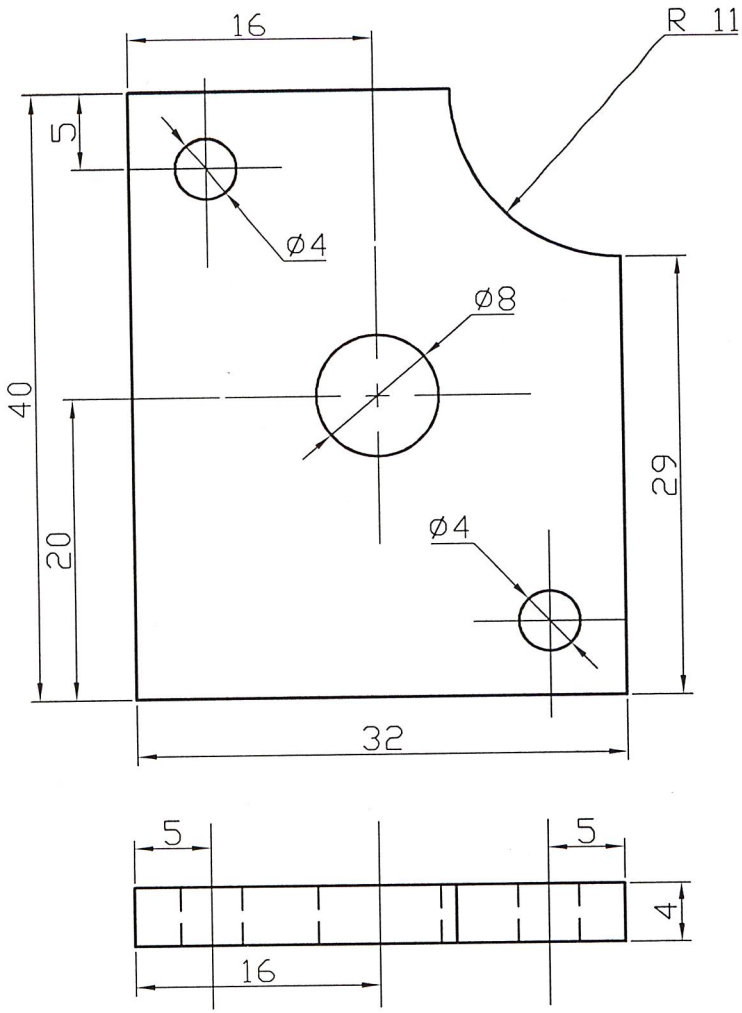


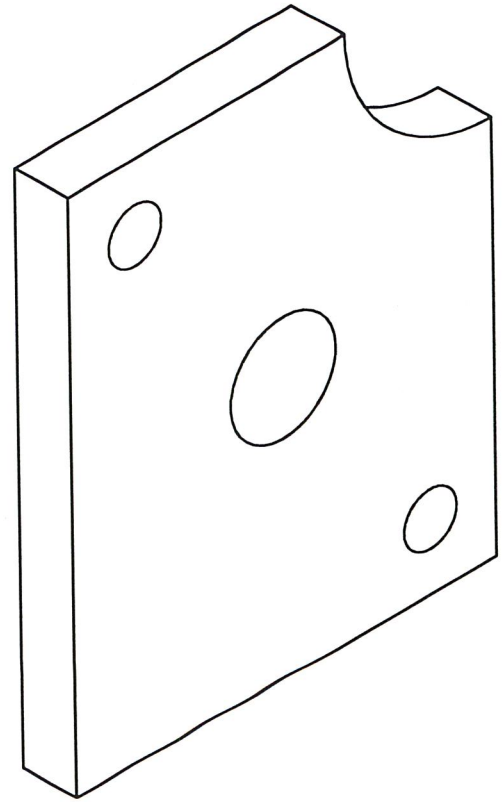




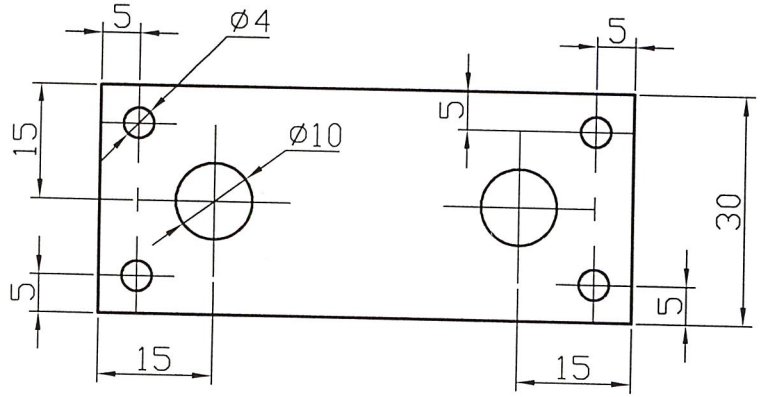


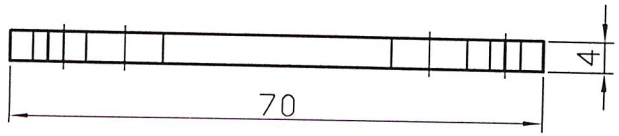
Itemref	Quantity 2	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 1:1
RPT_GROUP		แทนยึด HEARTER			
		DRAWING_NUMBER_D1		Edition EDITION	Sheet W30

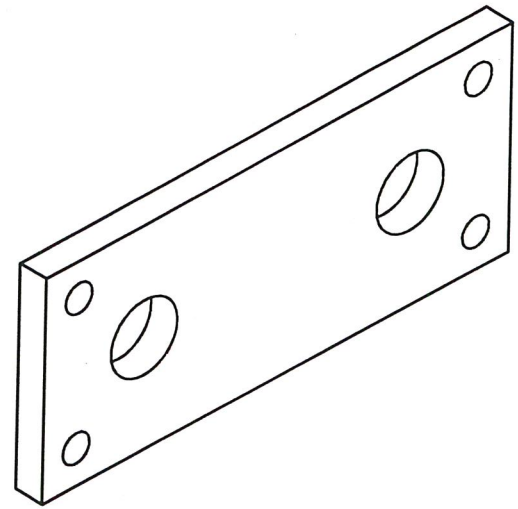




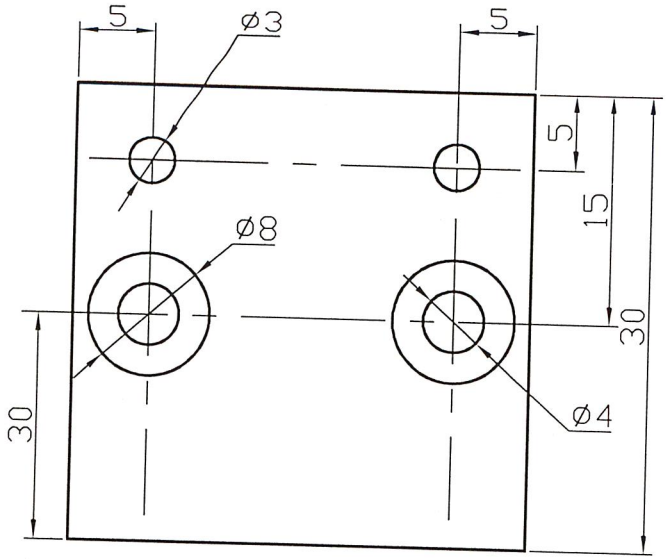
Itemref	Quantity=4	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 2:1
RPT_GROUP		TITLE			
		DRAWING_NUMBER_D2		Edition	Sheet W31

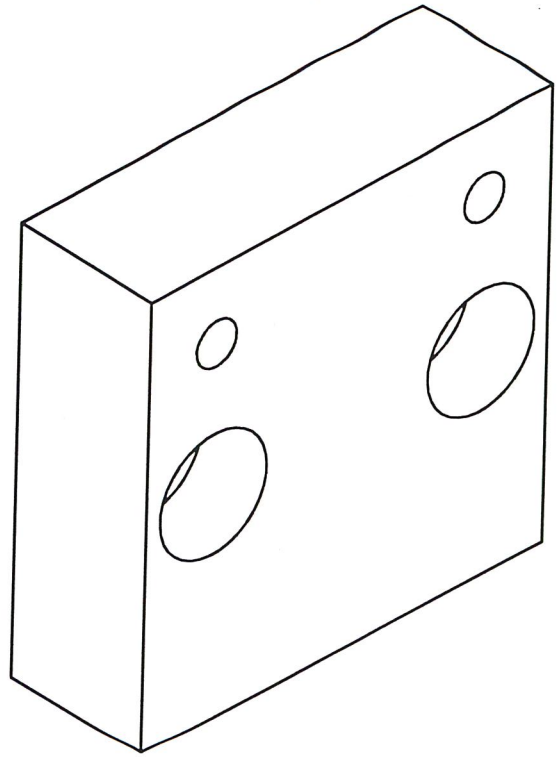


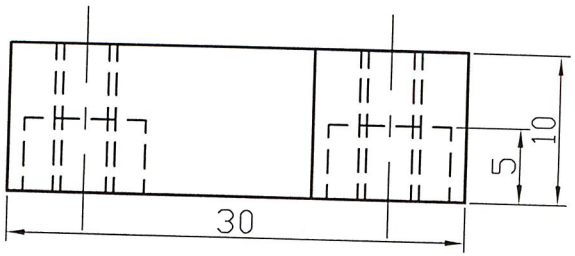




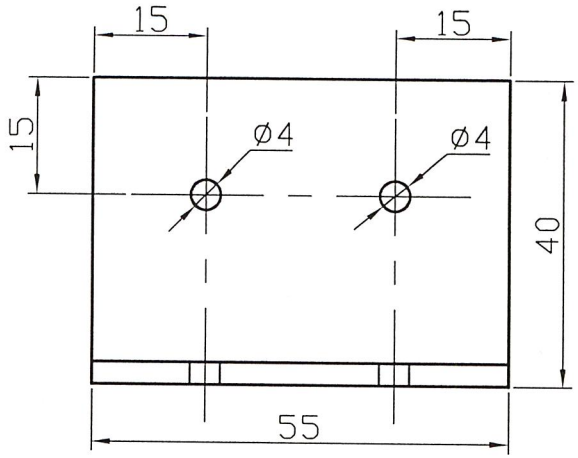
Itemref	Quantity2	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 1:1
RPT_GROUP		?????????????			
		DRAWING_NUMBER_D3		Edition	Sheet W32

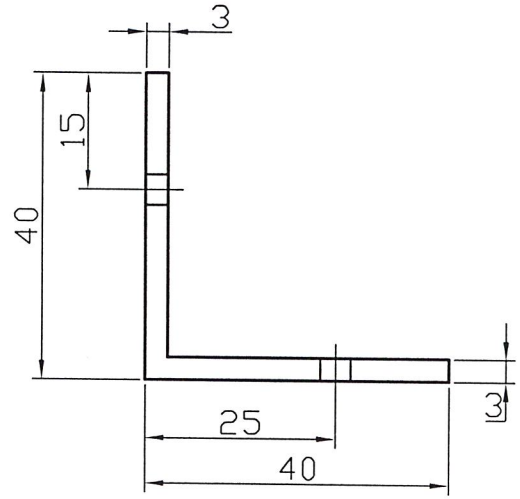


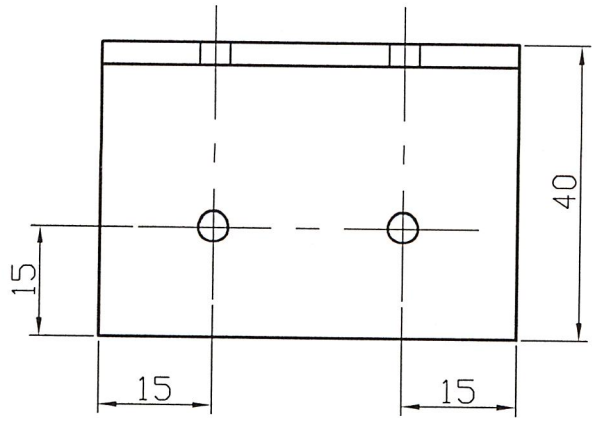




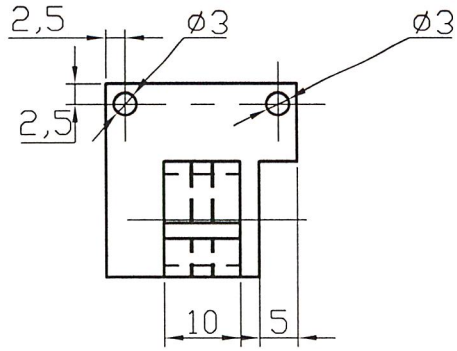
Itemref	Quantity4	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 1:1
RPT_GROUP		ตัวรองยึดเพลา			
		DRAWING_NUMBER_D4		Edition EDITION	Sheet ผ33

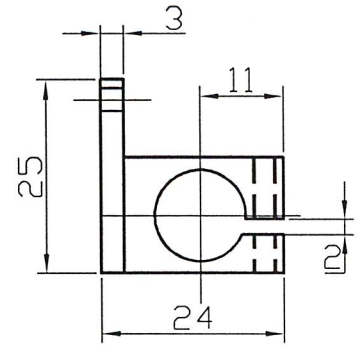


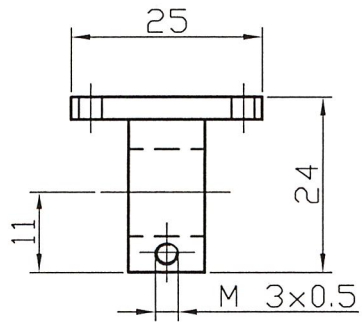


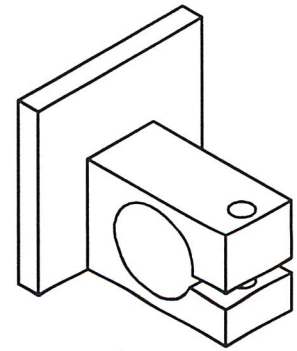


Itemref	Quantity4	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 1:1
RPT_GROUP		ฝาประกบฐาน			
		DRAWING_NUMBER_D5		Edition EDITION	Sheet ผ34

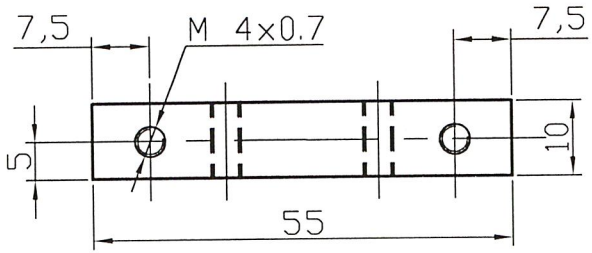


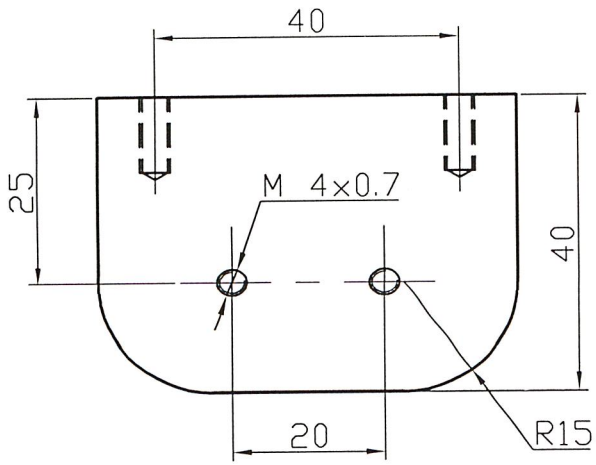


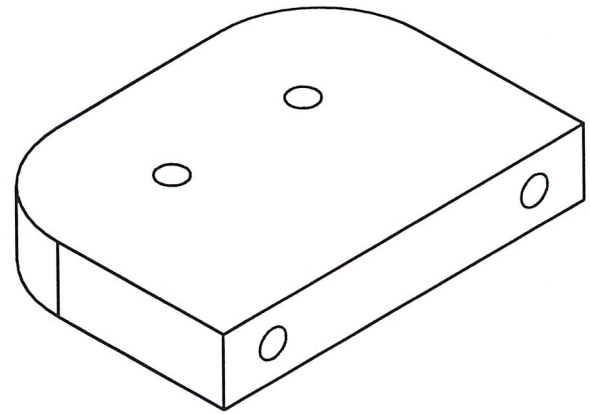




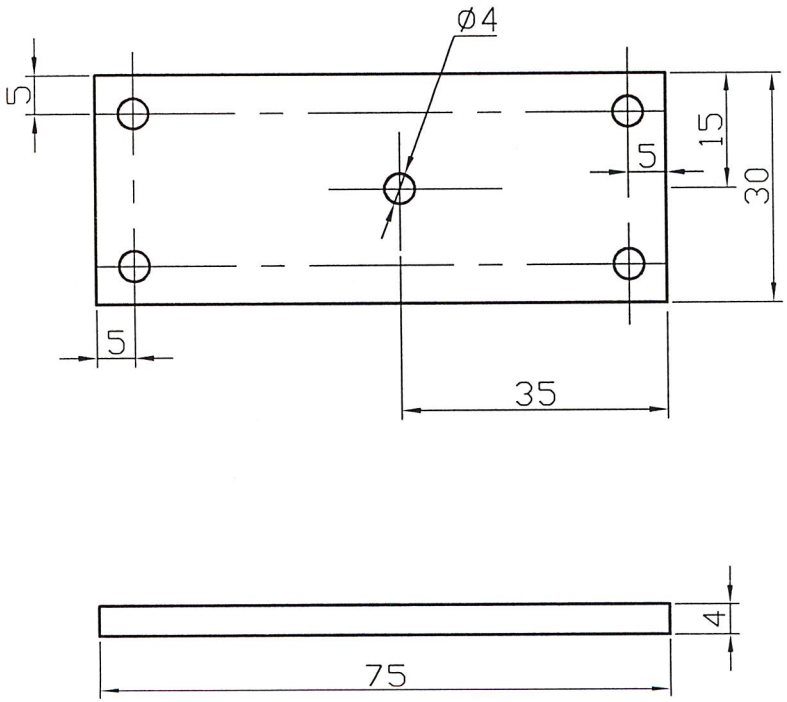
Itemref	Quantity4	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 1:1
RPT_GROUP		ตัวยึดเพลา			
		DRAWING_NUMBER_D6		Edition EDITION	Sheet ผ35



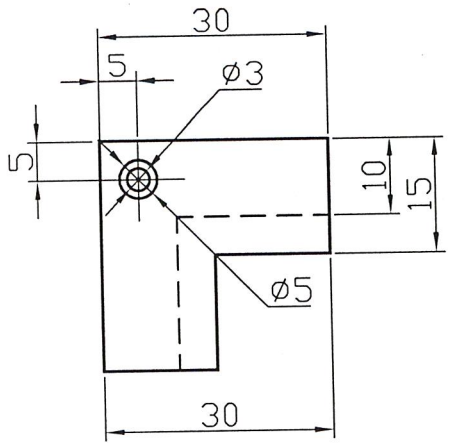


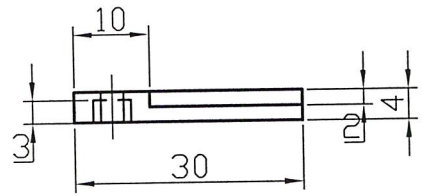


Itemref	Quantity2	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP	Checked by .	Approved by - date .	File name .	Date 28/12/02	Scale 1:1
RPT_GROUP		ขายึด HEARTER			
		DRAWING_NUMBER_D7		Edition	Sheet ผ36

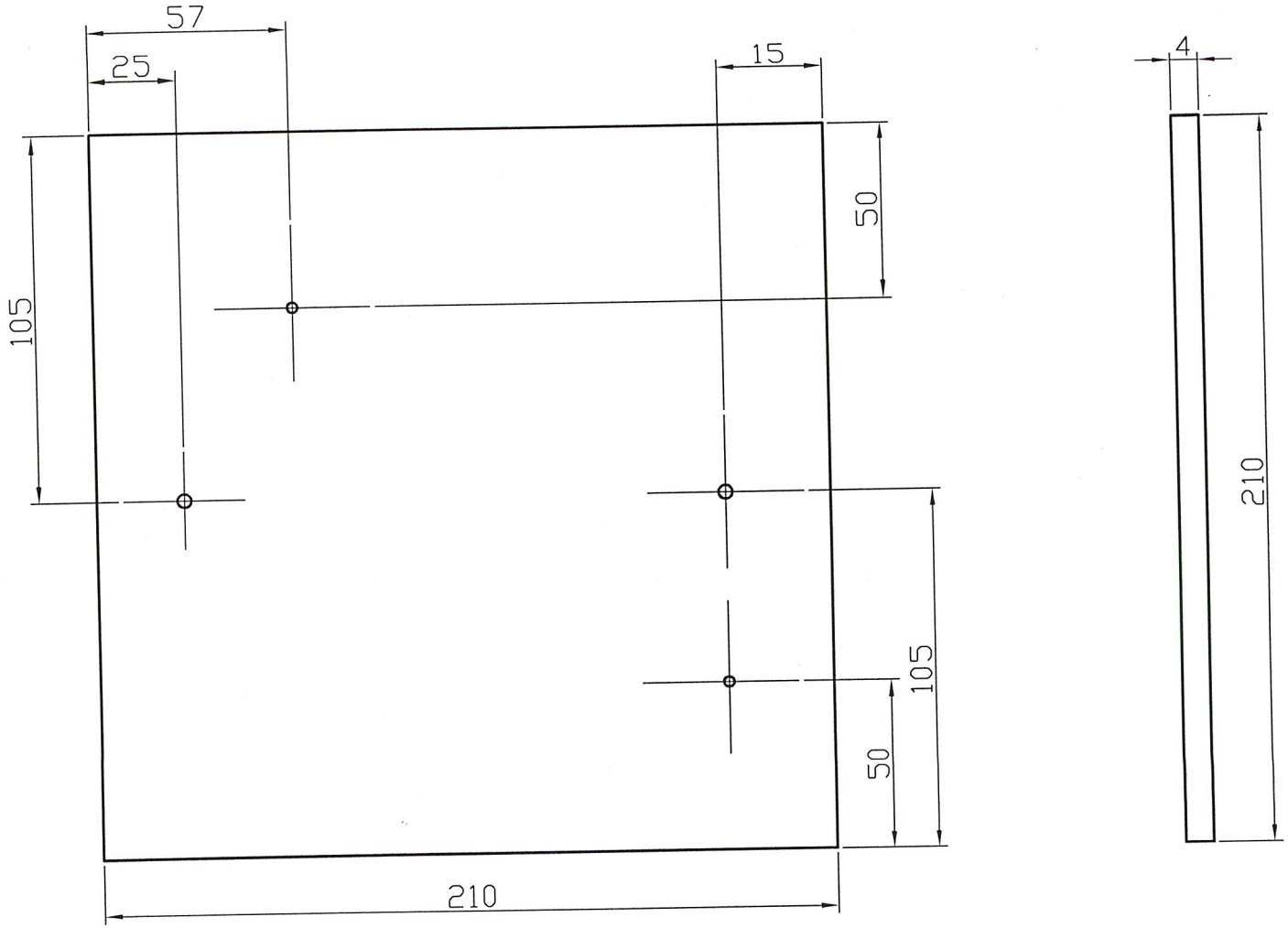


Itemref	Quantity2	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 1:1
RPT_GROUP		แผนหนีบสายพาน				
		DRAWING_NUMBER_D8			Edition	Sheet ผ37

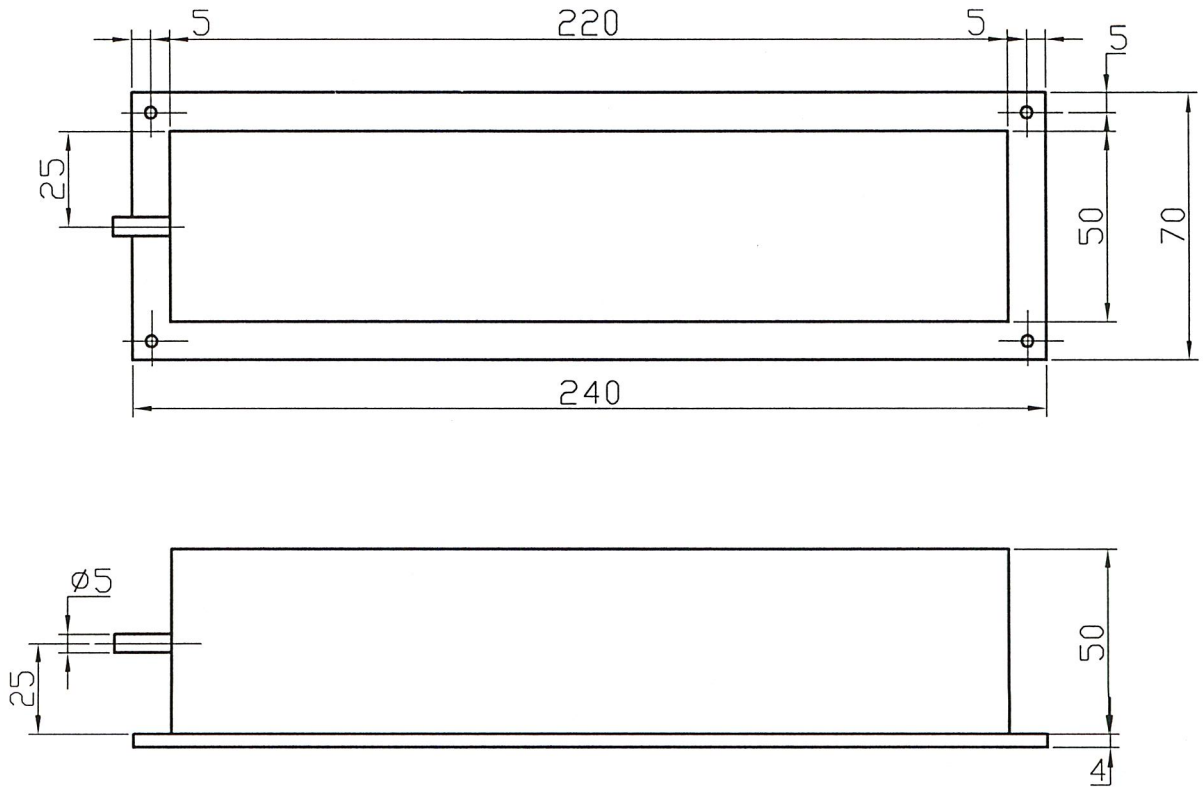




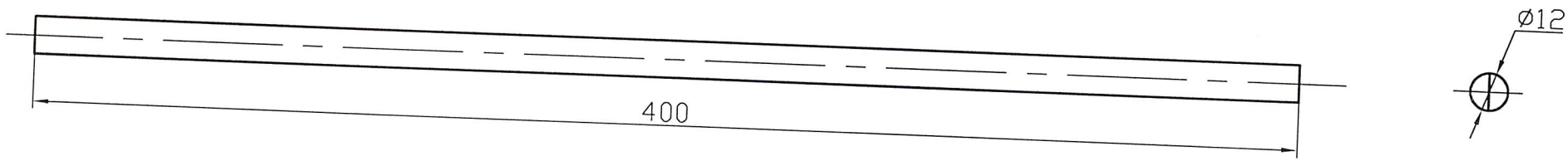
Itemref	Quantity2	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 1:1
RPT_GROUP		ตัวยึดแผนรองรับงาน			
		DRAWING_NUMBER_D9		Edition	Sheet ผ38



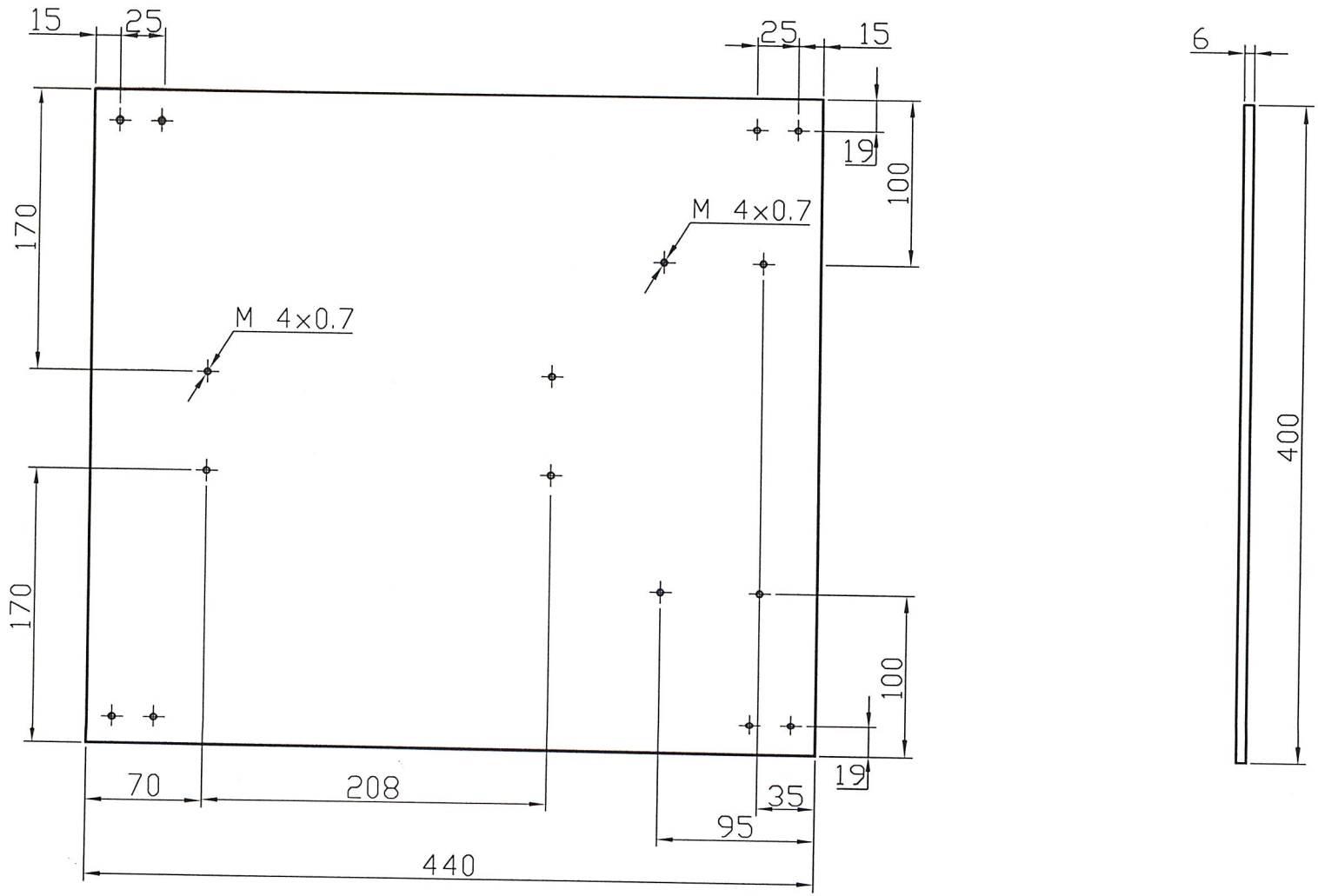
Itemref	Quantity1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 2:1
RPT_GROUP		แผ่นโต๊ะ				
		DRAWING_NUMBER_D10			Edition	Sheet ผ39



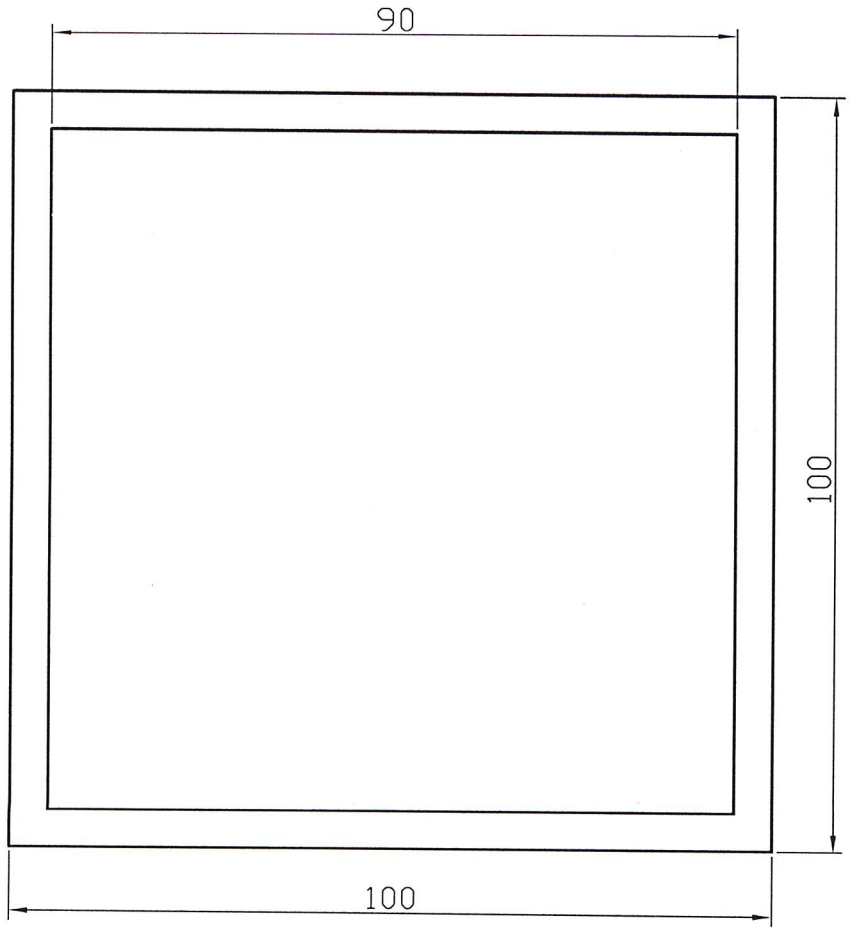
Itemref	Quantity1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 2:1
RPT_GROUP		รางน้ำ				
		DRAWING_NUMBER_D11			Edition	Sheet ผ40

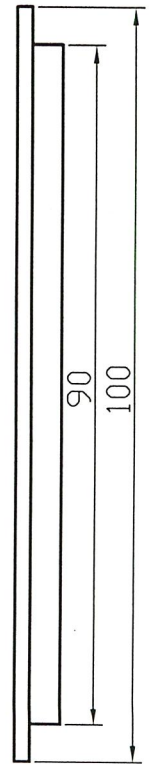


Itemref	Quantity2	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 2:1
RPT_GROUP		เพลา				
		DRAWING_NUMBER_D12			Edition	Sheet ผ41

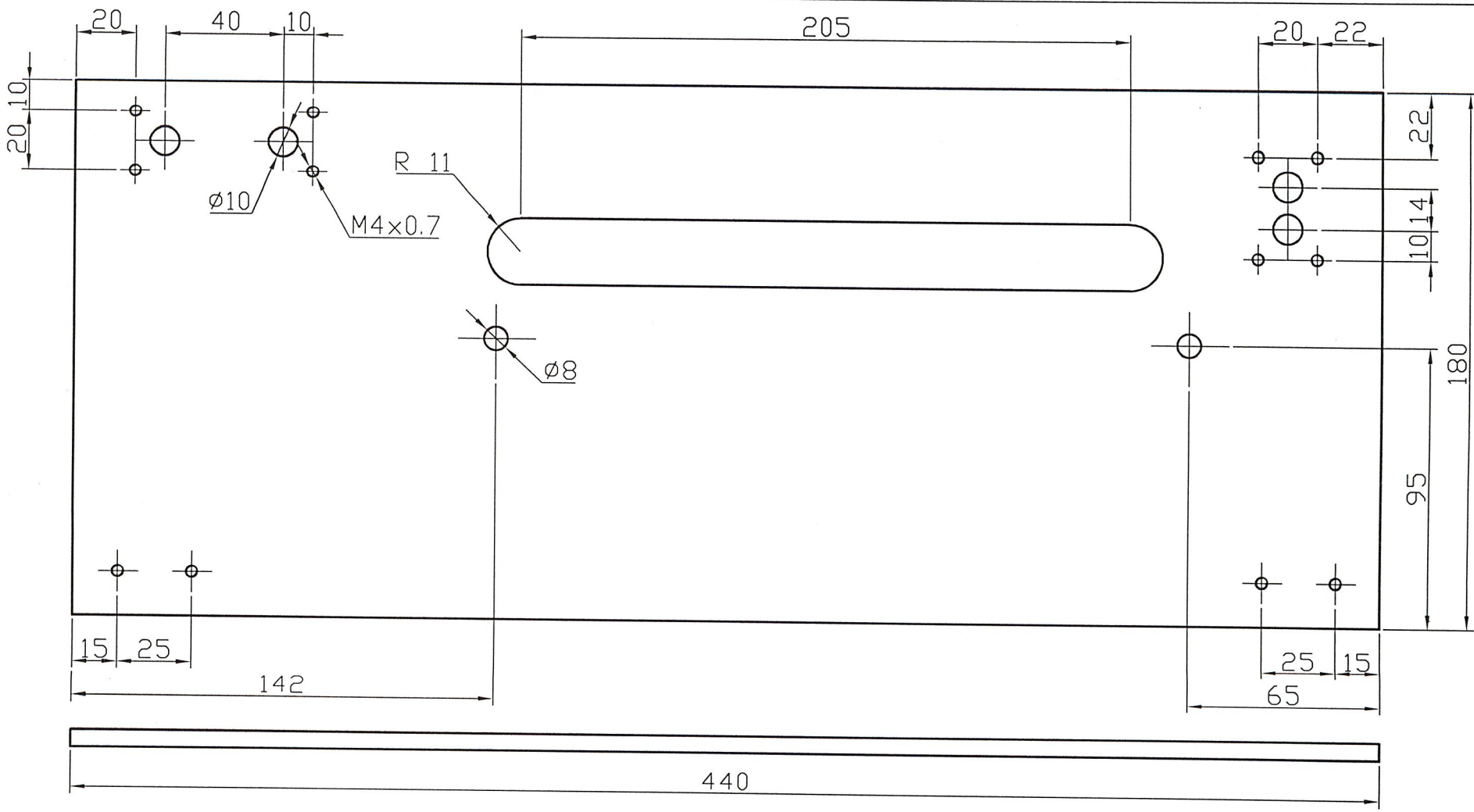


Itemref	Quantity1	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 4:1
RPT_GROUP		แผนฐาน			
		DRAWING_NUMBER_D13		Edition	Sheet ผ42





Itemref	Quantity1	Title/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP		Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 1:1
RPT_GROUP		แผนรองชิ้นงาน				
		DRAWING_NUMBER_D14			Edition	Sheet ผ43



Itemref	Quantity2	Title/Name, designation, material, dimension etc		Article No./Reference	
Designed by RPT_GROUP	Checked by	Approved by - date	File name	Date 28/12/02	Scale 2:1
RPT_GROUP		ฝาด้านข้าง			
		DRAWING_NUMBER_D15		Edition	Sheet ฝ44