



ต้นแบบซีเอ็นซีสำหรับใช้ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
CNC PROTOTYPING FOR AUTOMOBILE PARTS

โดย

นายจรเชษฐ์	เย็นเยือก
นายเฉลิมเกียรติ	สุวรรณชื่น
นายชวลิต	กิตติกุศลธรรม
นายชินวุธ	เห็นดี
นายธีรา	รัตสาร

29 กย 2541
วัน เดือน ปี.....
เลขทะเบียน..... 038091
เลขเรียกหนังสือ..... T.3111. A 1457

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

038091

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นแบบซีเอ็นซีสำหรับขบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
CNC PROTOTYPING FOR AUTOMOBILE PARTS

โดย

นายจรเขษฎ์	เย็นเยือก	รหัส 36014086
นายเฉลิมเกียรติ	สุวรรณชื่น	รหัส 36014089
นายชวลิต	กิตติคุณธรรม	รหัส 36014100
นายชินวุธ	เห็นดี	รหัส 36014118
นายธีรา	รัตสาร	รหัส 36014200

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช

อาจารย์กวิน สนธิเพิ่มพูน

อาจารย์อำนาจ คณะรัฐ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ต้นแบบซีเอ็นซีสำหรับขบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

CNC PROTOTYPING FOR AUTOMOBILE PARTS

ผู้จัดทำ

- | | | |
|--------------------|--------------|----------|
| 1. นายจรเขษฎร์ | เย็นเยือก | 36014086 |
| 2. นายเฉลิมเกียรติ | สุวรรณชื่น | 36014089 |
| 3. นายชวลิต | กิตติกุลธรรม | 36014100 |
| 4. นายชินวุธ | เห็นดี | 36014118 |
| 5. นายธีรา | รัตสร | 36014200 |

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.พรศักดิ์ อรรถวานิช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์กวิน สนธิเพิ่มพูน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้นแบบซีเอ็นซีสำหรับขบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

ผู้จัดทำ

นาย จรเชษฐ	เย็นเยือก
นาย เฉลิมเกียรติ	สุวรรณชื่น
นาย ชวลิต	กิตติคุณธรรม
นาย ชินวุธ	เห็นดี
นาย ธีรา	วัตรสาร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. พรศักดิ์	อรรณวนิช
อาจารย์กวิน	สนธิเพิ่มพูน
อาจารย์อำนาจ	คณะรัฐ

บทคัดย่อ

ปริญญาโทฉบับนี้มีจุดประสงค์ในการสร้างต้นแบบซีเอ็นซี (CNC Milling Machine) เพื่อนำไปใช้ในการผลิตชิ้นส่วนตัวถังรถยนต์โดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเป็นการสร้างต้นแบบซีเอ็นซีขนาดใหญ่ เพื่อนำไปใช้ในการกัดต้นแบบตัวถังยานยนต์ (Mold) จากโฟม โดยเป็นการเลียนแบบมาจากการเคลื่อนที่ของเครน 3 มิติ การออกแบบโครงสร้างของต้นแบบซีเอ็นซีได้ศึกษาและอ้างอิงจากความสามารถในการรับภาระโดยไม่เกิดการโก่งตัวของคาน เสาสูง และแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ทางพลศาสตร์ (Dynamics Movement)

รวมทั้งการวิเคราะห์โครงสร้างของตัวถังรถยนต์บนคอมพิวเตอร์ โดยอาศัยหลักทฤษฎีทางสถิตศาสตร์ (Mechanics Static) , พลศาสตร์ (Mechanics Dynamic) , กลศาสตร์ของไหล (Fluid Mechanics) และวัสดุศาสตร์ (Material Science) ไปคำนวณในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Analysis) บนคอมพิวเตอร์อย่างคร่าวๆ แล้วจึงผลิตต้นแบบตัวถังยานยนต์ (Mold) จากโฟม โดยใช้ต้นแบบซีเอ็นซีที่สร้างขึ้นในการกัดโฟม

ทุกขั้นตอนของการปฏิบัติงานจะถูกออกแบบ เพื่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

CNC PROTOTYPING FOR AUTOMOBILE PARTS

Mr. Zhorachaid Yanyark

Mr. Chalermkiet Suwannachuen

Mr. Chawalit Kittikusolatham

Mr. Chinawut Hendee

Mr. Theera Rattarasarn

Advisor

Assist. Prof. Pornsak Attavanich

Mr. Kawin Sonthipermpoon

Mr. Amnat Kanarat

Academic Year 1996

Abstract

This thesis aims to study mainly about the construction of a CNC Milling Machine for manufacturing of car bodies and their components using computer technology . The main concept of this project is based upon a crane's 3 dimensional axis . The design of this CNC Milling Machine is based upon the ability to with stand a certian amount of load (Dynamics Movement) while remaining rigid throughout the beam and column .

This project also analyzes the car body and the components using the theory's of Mechanics , Fluid Mechanics and Material Science in which are used initially in calculating and analyzing through Numerical Analysis on the computer. After this procedure comes the construction of the car body (Mold) from foam , which is manufactured by the basic CNC Milling Machine that was completed earlier.

All the steps , every procedure of this complicated process is designed for the movement of the machine in every plane to have the least displacement as possible.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การสร้างต้นแบบซีเอ็นซีสำหรับขบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์	2
บทที่ 3 ทฤษฎีและการคำนวณ	13
บทที่ 4 วิธีการประกอบเครื่องซีเอ็นซีต้นแบบ	19
บทที่ 5 การวิเคราะห์และตรวจสอบเครื่องซีเอ็นซีต้นแบบ	26
บทที่ 6 เทคโนโลยีและการทำงานของเครื่องซีเอ็นซีต้นแบบ	30
บทที่ 7 ทฤษฎี CAD/CAM	41
บทที่ 8 กรรมวิธีในการพัฒนารูปแบบโครงสร้างยานยนต์	44
บทที่ 9 การออกแบบชิ้นส่วนรถยนต์โดยใช้คอมพิวเตอร์	67
บทที่ 10 โฟมและไฟเบอร์กลาส	70
บทที่ 11 สรุปและวิจารณ์	81
ภาคผนวก	
บรรณานุกรม	
กิตติกรรมประกาศ	

บทที่ 1

บทนำ

จากสภาวะเศรษฐกิจที่เจริญเติบโตสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบันนี้ เป็นผลทำให้เกิดการแข่งขันกันทางด้านการค้าและยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อยๆ รถยนต์ซึ่งได้กลายเป็นสิ่งจำเป็นปัจจัยหนึ่งในการดำรงชีวิตของมนุษย์ จึงหนีไม่พ้นสภาวะที่รุนแรงของการแข่งขันนี้ และเพื่อตอบสนองความต้องการที่ไม่มีที่สิ้นสุดของผู้บริโภค ผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องคิดค้นและพัฒนากระบวนการผลิต ให้รวดเร็ว มีประสิทธิภาพและราคาประหยัด เครื่องจักรกลอัตโนมัติ ได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นมา ให้สามารถทำงานซ้ำๆ กันได้ตลอดเวลาที่ต้องการ แต่เครื่องจักรเหล่านี้มีข้อเสียคือการเปลี่ยนแปลงรูปแบบผลิตภัณฑ์ต้องใช้เวลามาก และมีขีดจำกัดในด้านความสามารถของเครื่องจักร

เครื่องจักรกลเอ็นซี (NC Machine) และเครื่องจักรกลซีเอ็นซี (CNC Machine) จึงถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นตามลำดับ เพื่อความสะดวกในการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของผลิตภัณฑ์ ความถูกต้องแม่นยำ และการแก้ไขข้อมูลในภายหลัง โครงการงาน “ต้นแบบซีเอ็นซีสำหรับกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์” นี้ถูกจัดทำขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการในการสร้างเครื่องกัดแนวตั้ง (CNC Milling Machine) ที่มีคุณภาพ มีประสิทธิภาพ และราคาถูก โดยการกัดแม่พิมพ์ (Mold) จากโฟม จากนั้นนำแม่พิมพ์ไปผลิตชิ้นส่วนของยานยนต์

บทที่ 2

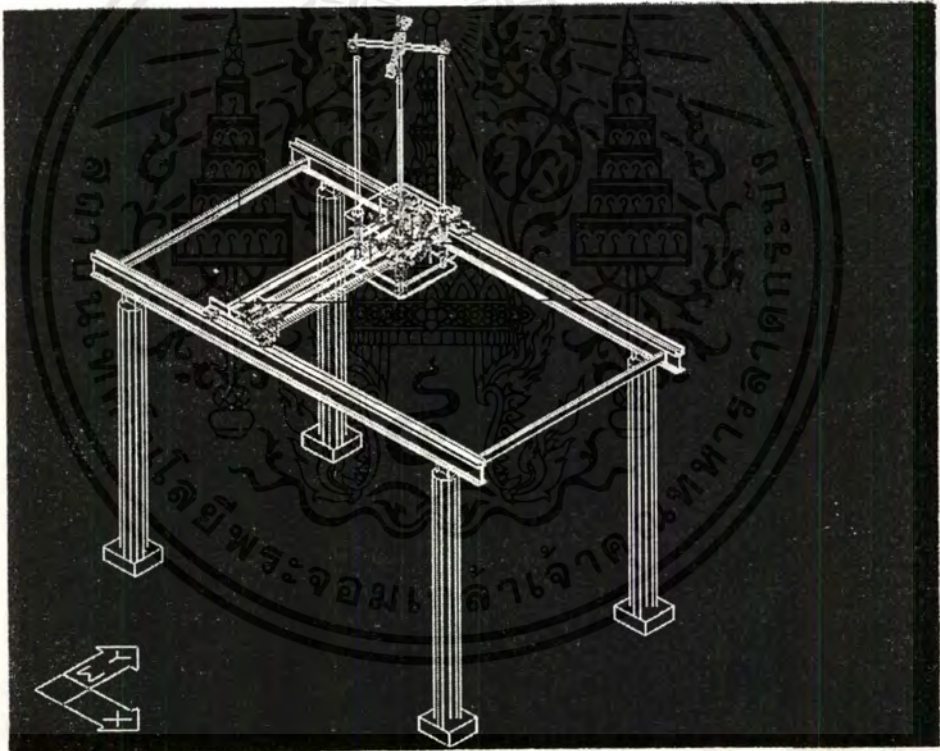
การสร้างต้นแบบซีเอ็นซีสำหรับผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

การทำโครงการแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. ทำการสร้างต้นแบบเครื่องกัดซีเอ็นซี สำหรับผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
2. ทำการวิเคราะห์และผลิตชิ้นส่วนยานยนต์บางชิ้นโดยอาศัยเครื่องซีเอ็นซีต้นแบบที่สร้างขึ้น

2.1 การออกแบบและปรับปรุงเครื่องกัดซีเอ็นซี

เครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine) ขนาดใหญ่ที่ต้องการนั้นต้องมีขนาดมิติ ที่สามารถกัดทำแม่พิมพ์ (Mold) รถยนต์ได้ทั้งคัน โดยจะมีขนาดมิติประมาณ 4ม. x 2ม. x1.5ม. ดังนั้นจึงต้องทำการออกแบบโครงสร้าง ให้ได้ตามขนาดที่ต้องการโดยเครื่องซีเอ็นซี ที่จัดทำขึ้นได้เลียนแบบมาจากการเคลื่อนที่ของแครน ซึ่งสามารถแบ่งโครงสร้างออกได้เป็น โครงสร้างหลัก และ โครงสร้างย่อย ดังรูป 2.1

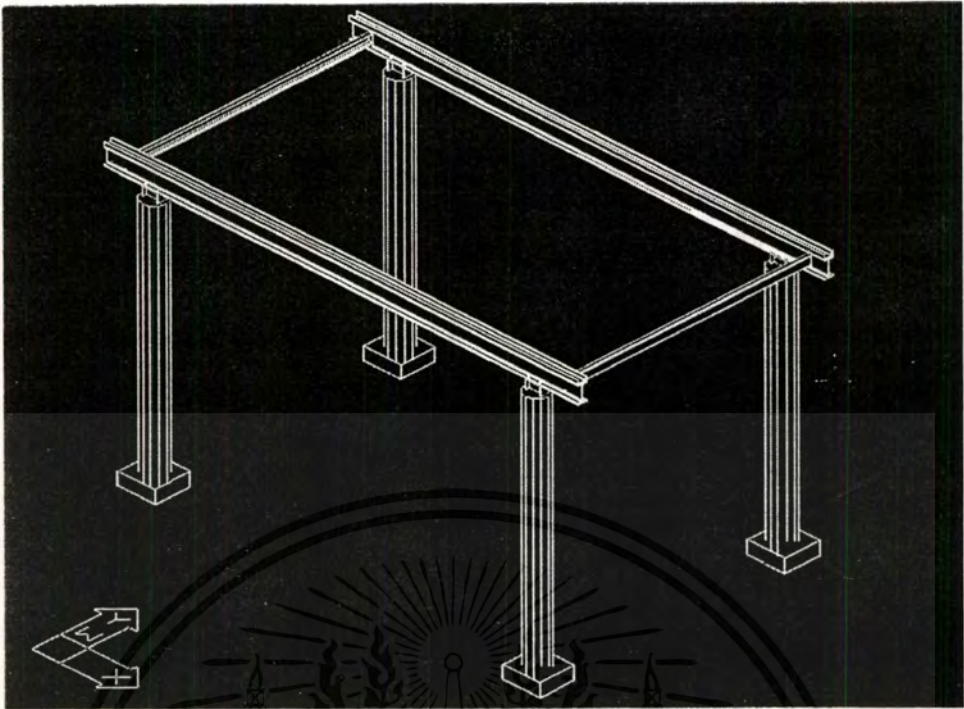


รูปที่ 2.1 รูปแสดงโครงสร้างของเครื่องกัดซีเอ็นซี

2.1.1 โครงสร้างหลัก ประกอบไปด้วย

- เสา ทำจากเหล็กมาตรฐานรูปตัวไอ (Standard I - Beam) ความสูง 3 ม.
- คานแกนxทำจากเหล็กมาตรฐานรูปตัวไอ(Standard I - Beam) ความยาว 6 ม.และเหล็กฉากความยาว 6 ม.
- คานแกนyทำจากเหล็กมาตรฐานรูปตัวไอ(Standard I - Beam) ความยาว3ม.2 ท่อน ยึดติดกันด้วยเหล็กฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 รูปแสดงโครงสร้างหลักของเครื่องกัดซีเอ็นซี

2.1.2 โครงสร้างย่อย ประกอบไปด้วย

- เผลา
 - ⇒ เผลาขับแกน x ทำจากเผลาดัน ขนาด 1 นิ้ว ยาว 3 เมตร
 - ⇒ เผลาล้อแกน x ทำจากเผลาดัน ขนาด 1 นิ้ว ยาว 0.14 เมตร 4 ท่อน
- ล้อ และ แบร์ริง
- ไกด์ (Guide)
 - ⇒ ไกด์ (Guide) ของแกน z ทำจากเผลากลวง ขนาด 2 นิ้ว ยาว 2 เมตร ทั้งหมด 4 ท่อน
 - ⇒ ไกด์ (Guide) ของเหล็กถ่วงน้ำหนักทำจากเผลากลวง ขนาด 2 นิ้ว ยาว 1.6 เมตร
- เฟืองต่างๆ
- เหล็กถ่วงน้ำหนัก (Weight) ทำจากเหล็กตันขนาด 30 ซม. x 30 ซม. x 13 ซม. น้ำหนัก 84.5 กก.
- ลวดสลิง (Spring)
- บอลสกรู (Ball Screw)
 - ⇒ บอลสกรู (Ball Screw) ของแกน z ใช้ขนาด 2.5 ม.
 - ⇒ บอลสกรู (Ball Screw) ของแกน y ใช้ขนาด 1.5 ม.
- การยึดและข้อต่อต่างๆ (Coupling)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กลไกการเคลื่อนที่

2.2.1 แกน x เคลื่อนที่โดยเฟืองที่ติดกับเพลลา ซึ่งถูกขับด้วยมอเตอร์ไปบนเฟืองสะพาน (มีความคลาดเคลื่อนสูง แต่ไม่สามารถหาบอลสลกรู ที่มีขนาดยาวถึง 4.5 ม. ได้)

2.2.2 แกน y เคลื่อนที่โดยบอลสลกรูซึ่งขับด้วยมอเตอร์

2.2.3 แกน z เคลื่อนที่โดยบอลสลกรูซึ่งขับด้วยมอเตอร์ แต่เนื่องจากบอลสลกรูไม่สามารถรับภาระ (Load) ได้ จึงต้องมีการถ่วงน้ำหนักช่วย

2.3 สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบและปรับปรุง

2.3.1 ความสามารถในการรับภาระของอุปกรณ์เหล่านั้น ได้แก่ เสา คาน เพลลา แบริ่ง น๊อตและโบลต์ (Nut&Bolt) รอยเชื่อม บอลสลกรู มอเตอร์

⇒ เสา คาน และ เพลลา ใช้การคำนวณ

⇒ แบริ่ง น๊อตและโบลต์(Nut&Bolt) รอยเชื่อม ใช้การเปิดคู่มือ

⇒ บอลสลกรู มีการออกแบบเพื่อไม่ให้มีการรับแรง โดยการใช้ล้อ (ในแนวแกน x และ y) และ มีการใช้เหล็กถ่วงช่วยถ่วงน้ำหนัก (ในแนวแกน z)

2.3.2 ความผิดพลาด หรือ ความคลาดเคลื่อนของเครื่องที่ยอมให้มีได้ วิธีป้องกัน ได้แก่

⇒ การใช้ไกด์ (Guide) แกน z แบบ 4 เส้น (ตอนแรกออกแบบไว้ 2 เส้นซึ่งจะไม่สามารถรับแรงได้ในทุกแนวแรง)

⇒ มีการออกแบบทำไกด์ (Guide) ในแนวแกน x และ y (ทำล้อหนีบไว้) เพื่อป้องกันการส่ายในขณะเคลื่อนที่

⇒ มีการออกแบบทำที่กดเพลลาแกน x เพื่อป้องกันการดื่นของเพลลา อันเนื่องมาจากการคดงอของเฟืองสะพาน

⇒ ทำการหล่อเสา และ ชิงลวดสลึงเพื่อช่วยลดการสั่นของเครื่อง

⇒ มีการปรับตั้งระดับในขณะทำอุปกรณ์ที่สำคัญ ทั้งเครื่อง

2.3.3 สนิม และ ความผิดพลาดที่ต้องมีระบบหล่อลื่น

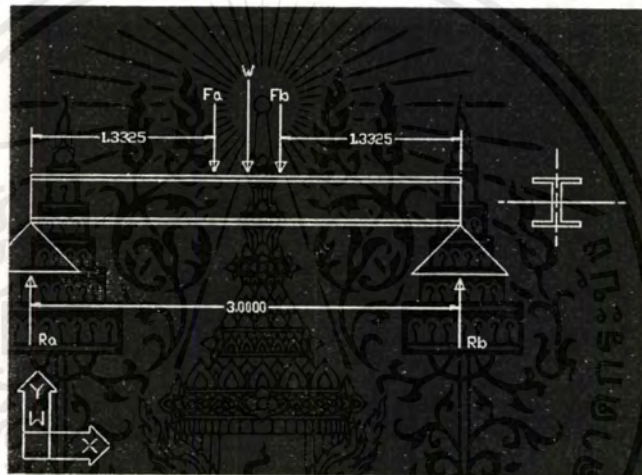
บทที่ 3

ทฤษฎีและการคำนวณ

3.1 สถิตศาสตร์ (Statics)

- คิดที่แนวแกน X ภาระที่รับ
- น้ำหนักเหล็กแผ่น 75x75 cm. (2แผ่น) = 2x40 = 80 kg.
 - น้ำหนักอุปกรณ์ต่างๆ = 160 kg.
 - น้ำหนักมอเตอร์แกน Z = 13 kg.

เนื่องจากแกน X มีคานรับน้ำหนักเป็นเหล็กรูปตัวไอ (I-Beam) ขนาดเท่ากัน 2 ท่อน เพราะฉะนั้นทั้งสองท่อนจึงแบ่งกันรับน้ำหนักท่อนละเท่ากัน ๆ จากรูปที่ 3.1 จะแสดงการรับภาระของแต่ละท่อน



รูปที่ 3.1 แสดงการรับภาระของคานที่พาดบนแกน X

F_a , F_b คือแรงที่เกิดจากภาระของอุปกรณ์ร่วมกับแรงที่มอเตอร์กระทำโดยผ่านแบร์ริง

$$F_a = F_b = \frac{160 + 13 + 80}{4} = 63.25 \text{ kg} = 619.85 \text{ N}$$

จากตาราง 11 (ภาคผนวก)

เลือกใช้เหล็กรูปตัวไอ (Standard I-Beam) มี $A = 200 \text{ mm}$, $B = 100 \text{ mm}$.

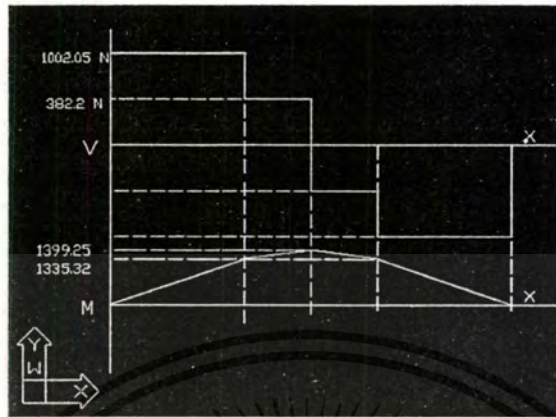
ได้ $W = 26 \text{ kg/m}$ เพราะฉะนั้นยาว 3 m. = 78 kg.

$$I_x = 2180 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 142 \text{ cm}^4$$

$$R_a = R_b = \left\{ 619.85 + \left(78 \times \frac{9.8}{2} \right) \right\} = 1002.05 \text{ N}$$

รูปที่ 3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและโมเมนต์ตัด
กับระยะทางของคานที่พาดบนแกน X



$$M_{\max} \text{ ที่ } X = L/2$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= (Ra)(1.5) - (Fa)(0.1675) \\ &= 1503.075 - 103.82 \\ &= 1399.25 \text{ Nm.} \end{aligned}$$

$$EI \left(\frac{d^2y}{dx^2} \right) = -M_{\max} \quad (\text{ให้ } E = 200 \text{ Gpa จากหน้า 306 หนังสือ SOLID})$$

$$\left(\frac{d^2y}{dx^2} \right) = -1399.25/EI_x = -1399.25/(200 \cdot 10^9)(2180 \cdot 10^8)$$

$$\left(\frac{d^2y}{dx^2} \right) = -320.93 \cdot 10^{-6}$$

$$\left(\frac{dy}{dx} \right) = (-320.93 \cdot 10^{-6})x + C_1 \quad (1.1)$$

$$y = (-160.465 \cdot 10^{-6})x^2 + C_1x + C_2 \quad (1.2)$$

จากเงื่อนไขขอบเขตของคาน

[x=0 ; y=0] ในสมการ (2) ได้

$$C_2 = 0$$

[x=L ; y=0] ในสมการ 2 ได้

$$0 = (-160.465 \cdot 10^{-6})L^2 + C_1L$$

$$C_1L = (160.465 \cdot 10^{-6})L^2$$

$$C_1 = (160.465 \cdot 10^{-6})L$$

แทนค่า C_1, C_2 ลงสมการ (1.1), (1.2)

$$\theta = dy/dx = (-320.93 \cdot 10^{-6})x + (160.465 \cdot 10^{-6})L \quad (1.3)$$

แทนค่า x=0 ลงไปใน (1.3)

$$\theta = dy/dx = (160.465 \cdot 10^{-6})L$$

$$y = (-160.465 \cdot 10^{-6})x^2 + (160.465 \cdot 10^{-6})(x)(L)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่จุดกึ่งกลางคานที่ ($x = L/2$)

$$y = (-160.465 * 10^{-6})L^2/4 + (160.465 * 10^{-6})(L^2/2)$$

$$y = (40.116 * 10^{-6})$$

เนื่องจากแกน x ของเรามี $L = 3\text{m}$.

∴ ระยะการเบี่ยงเบน

$$\theta = (160.465 * 10^{-6})(3)$$

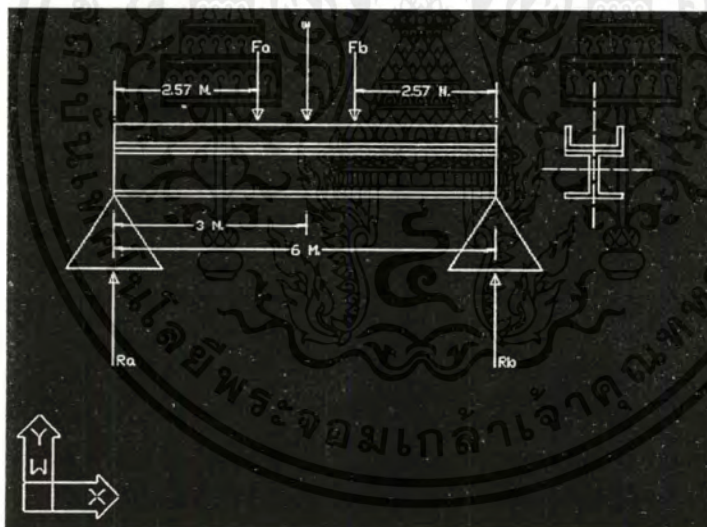
$$= 481.395 * 10^{-6}$$

$$y = (40.116 * 10^{-6})(9) = 361.05 * 10^{-6}$$

จะเห็นได้ว่าการโก่งตัวเกิดขึ้นน้อยมาก ∴ STANDARD I-BEAM ขนาด (200 * 100) mm. สามารถใช้ได้ตามที่ต้องการ

คานพาดเสา

รูปที่ 3.3 แสดงการรับภาระของคานที่พาดอยู่บนเสา



จากตาราง 11 (ภาคผนวก)

เลือกใช้ STANDARD I-BEAM ขนาด 200*100 mm. (A * B)

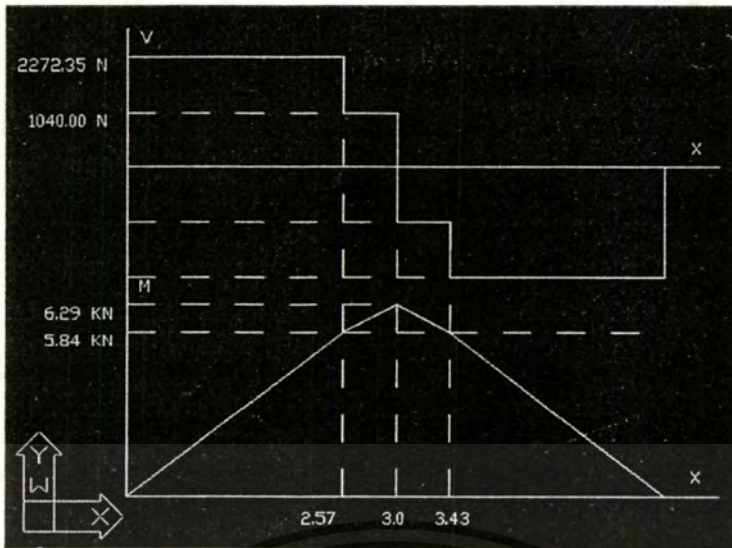
$$I_x = 2180 \text{ cm}^4 = 2180 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_y = 142 \text{ cm}^4 = 142 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$w = 26 \text{ kg/m} = 26 * 6 = 156 \text{ kg} = 1.53 \text{ kN}$$

$$A = 33.06 \text{ cm}^2 = 33.06 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือนและโมเมนต์ดัดกับระยะทางของคานที่พาดอยู่บนเสา

$$\begin{aligned}
 M_{\max} \text{ ที่ } x=L/2 & \\
 M_{\max} &= (R_A)(3) - (F_A)(0.43) \\
 &= (2272.35)(3) - (1232.35)(0.43) \\
 &= 6.82 - 0.53 \\
 &= 6.29 \text{ KNm}
 \end{aligned}$$

จาก $Ei_x(d^2y/dx^2) = -M_{\max}$

ใช้ค่า E จากค่า E ของเหล็กกล้า ประมาณ $200 \text{ GPA} = 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

$$\begin{aligned}
 d^2y/dx^2 &= -6290/(200 \times 10^9)(220.9)(10^{-3}) \\
 &= -1.425 \times 10^{-3}
 \end{aligned}$$

$$dy/dx = (-1.425 \times 10^{-3}) * C_1 \dots\dots\dots(1)$$

$$y = (-0.7125 \times 10^{-3}) X^2 + C_1 X + C_2 \dots\dots\dots(2)$$

จากเงื่อนไขขอบเขต

$$[x=0; y=0]$$

แทนค่าลงในสมการ (2) ได้ $C_2 = 0$

$$[x=L; y=0]$$

แทนลงในสมการ (2) อีกครั้ง

$$0 = (-0.7125 \times 10^{-3}) L^2 + C_1 L + 0$$

$$C_1 L = (+0.7125 \times 10^{-3}) L^2$$

$$C_1 = (0.7125 \times 10^{-3}) L$$

แทนค่า C_1, C_2 ลงสมการ (1), (2)

$$\theta = dy/dx = (-1.425 \times 10^{-3}) X + (0.7125 \times 10^{-3}) L$$

ที่ $X = 0$

$$\theta = dy/dx = (0.7125 * 10^{-3})L$$

$$y = (-0.7125 * 10^{-3})X^2 + (0.7125)(10^{-3})(L)(X)$$

ระยะเบี่ยงเบนสูงสุดอยู่ที่ $X = L/2$

$$y = (-0.7125 * 10^{-3}) L^2/4 + (0.7125)(10^{-3})(L^2/2)$$

$$y = (0.7125 * 10^{-3})L^2/4 = 178 * 10^{-6} = 0.178 * 10^{-3}$$

จาก $L = 6 \text{ m}$

$$\theta = 4.275 * 10^{-3} \text{ องศา}$$

$$y = 6.408 * 10^{-3} \text{ เมตร}$$

จะเห็นได้ว่าความเกิดการโก่งตัวสูงสุดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงพิจารณาใช้เหล็กขนาดที่เราเลือกใช้ได้

เสาสูง



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของเหล็กรูปตัวไอ (I-Beam) ที่ใช้ทำเสา

ภาระทั้งหมดที่เสาทั้ง 4 ต้องรับ (อ้างอิงจากการคำนวณที่ผ่านมา)

$$\text{ภาระที่คานพาดเสาต้องรับ} = 503 \text{ กิโลกรัม} = 4.9294 \text{ KN}$$

$$\text{น้ำหนักของคานพาดเสา} = 2.08 \text{ KN} * 2 = 4.16 \text{ KN}$$

$$\text{ดังนั้น ภาระทั้งหมด} = 4.9336 \text{ KN}$$

จากบทที่ 10 (หนังสือ Timber & Steel Design)

$$\text{สมมติค่า } P/A \text{ ที่ยอมให้} = 37.5 \text{ N/cm}^2$$

$$\text{ดังนั้น เนื้อที่หน้าตัดที่ต้องการ} = 32.89 \text{ cm}^2$$

ลองเลือกใช้ standard I - beam ขนาด $200 * 26$ ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด $= 33.06 \text{ cm}^2$ $r = 2.07 \text{ cm}$

$$C_c = \sqrt{2\pi^2 E/F_y}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_y = \text{กำลังจุดคานงของเหล็ก} = 2520 \text{ kg/cm}^2$$

$$2520 \text{ kg/cm}^2 = 24.696 \text{ KN/cm}^2$$

$$E = 20 * 10^6 \text{ N/cm}^2$$

$$C_c = \sqrt{2\pi^2 (20 * 10^6) / (24.696 * 10^3)} = 126.435$$

$$\text{อัตราส่วนความชะงืด } KL/r = (2.1)(3.05 * 100) / 2.07 = 309.42 > C_c$$

(ค่า X ในการออกแบบคานปล้อยอิสระข้างหนึ่ง = 2.1)

$$\text{ดังนั้น ใช้สูตร } F_c = 12\pi^2 E / 23(KL/r)^2$$

$$= 12\pi^2 (20 * 10^6) / 23 (309.42)^2$$

$$= 1.076 \text{ KN/cm}^2$$

รูปตัดที่เลือกจะรับน้ำหนักได้

$$1.76 * 33.06 = 35.57 \text{ KN} > 1.234 \text{ KN}$$

ดังนั้น ใช้เสาเหล็กแบบ Standard I - beam 200 * 26 ได้

3.2 พลศาสตร์ (Dynamics)

กล่าวถึงการเคลื่อนที่ของวัตถุ และผลของแรงที่ทำให้วัตถุเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ พลศาสตร์จะอาศัยกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน แบ่งออกได้เป็น 2 แขนงย่อยคือ

2.1 คินแมติกส์ (Kinematics) กล่าวถึงลักษณะการเคลื่อนที่เชิงเรขาคณิตของวัตถุ โดยไม่คำนึงแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่นั้น ดังนั้น คินแมติกส์จึงกล่าวถึง การขจัด (Displacement), ความเร็ว (Velocity), ความเร่ง (Acceleration) และเวลา (Time)

2.2 จลศาสตร์ (Kinetics) กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำต่อวัตถุ มวลของวัตถุและการเคลื่อนที่ของวัตถุ จลศาสตร์จึงใช้ในการคาดคะเน ลักษณะการเคลื่อนที่อันเป็นผลมาจากแรงที่กระทำหรือใช้ในการกำหนดแรงที่กระทำต่อวัตถุ เพื่อให้วัตถุมีการเคลื่อนที่ตาม

ส่วนการคำนวณ

การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงของอนุภาค (Rectilinear Motion of particles)

$$\text{ความเร็วขณะใดขณะหนึ่ง} \quad v = \frac{ds}{dt} \quad \text{_____ (2.1)}$$

$$\text{ความเร่งขณะใดขณะหนึ่ง} \quad a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} \quad \text{_____ (2.2)}$$

แทนค่าสมการ (2.1) ลงในสมการ (2.2) จะได้

$$v dv = a ds \quad \text{_____ (2.3)}$$

ให้ความเร่งเป็นฟังก์ชันของการขจัด $a = f(s)$

จากสมการ (2.3) อินทิเกรตทั้งสองข้าง จะได้

$$\begin{aligned} \int v dv &= \int f(s) ds \\ \int v dv &= f(s) \int ds \\ \frac{v^2}{2} &= f(s) \cdot s \\ \therefore a &= \frac{v^2}{2s} \quad \text{_____ (2.4)} \end{aligned}$$

กำหนดให้ความเร็วสูงสุดที่ชุดเครื่องกักเคลื่อนที่ได้เท่ากับ 5 m/min

$$v = \frac{5 \text{ m/min}}{60 \text{ s}} = 0.0833 \text{ m/s} \approx 0.01 \text{ m/s}$$

ให้ความเร่งมีค่าเท่ากันในทุกแกน; $\bar{a}_x = \bar{a}_y = \bar{a}_z = \bar{a}$

ถ้าต้องการให้ชุดเครื่องกักมีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่สูง จะต้องทำให้ชุดเครื่องกักมีความเร่งสูงด้วย

โดยสมมติให้ค่าความเร่งของชุดเครื่องกักมีค่า $\bar{a} = 1 \text{ m/s}^2$ (จะได้ค่า F สูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้)

และกำหนดให้พื้นผิวเป็นพื้นผิวลื่น (ไม่คิดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่พื้นผิว, $\mu = 0$)

การเคลื่อนที่ของวัตถุเกร็งในแนวเส้นตรง (Rectilinear Translation)

คือ การเคลื่อนที่ที่ซึ่งตรงบนวัตถุเกร็งจะขนานกับตำแหน่งเดิม และจุดบนวัตถุจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง

$$\sum F_x = m\bar{a}_x$$

$$\sum F_y = m\bar{a}_y$$

$$\sum \bar{M} = 0$$

น้ำหนักของแต่ละแกนรับภาระ

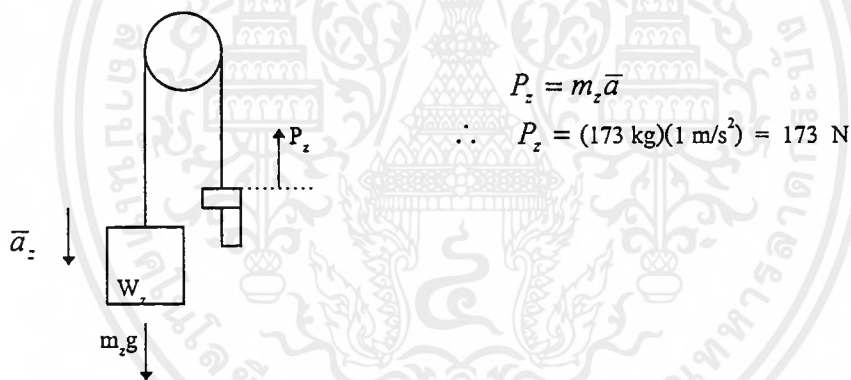
แกน z ; $m_z = 173 \text{ kg}$

แกน y ; $m_y = 273 \text{ kg}$

แกน x ; $m_x = 503 \text{ kg}$

คิดแรงที่แกน z ;

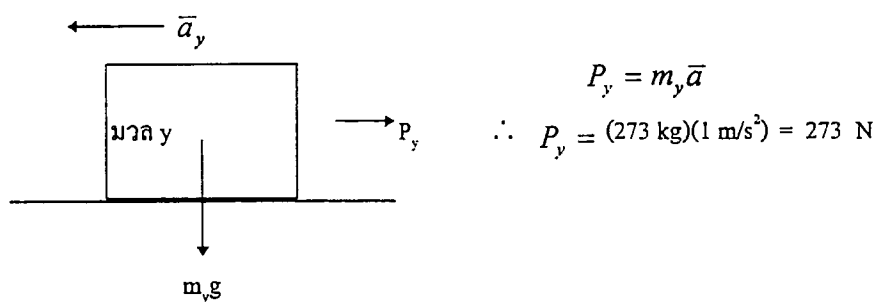
FBD :



รูปที่ 3.8 แสดงการเคลื่อนที่อิสระของน้ำหนักถ่วงในแนวแกน Z

คิดแรงที่แกน y ;

FBD ;

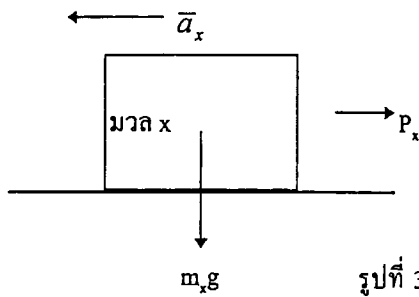


รูปที่ 3.9 แสดงการเคลื่อนที่อิสระของวัตถุในแนวแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิดแรงที่แกน x ;

FBD ;



$$P_x = m_x \bar{a}$$

$$\therefore P_x = (503 \text{ kg})(1 \text{ m/s}^2) = 503 \text{ N}$$

รูปที่ 3.10 แสดงการเคลื่อนที่อิสระของวัตถุในแนวแกน X

สมการเคลื่อนที่ (Equation of Motion)

พิจารณาอนุภาคมวล m ถูกกระทำด้วยแรง $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots$ ซึ่งมีแรงลัพธ์ เป็น $\sum \vec{F}$

ดังนั้น $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

เมื่อการเคลื่อนที่ที่กำหนดด้วย rectangular coordinates (x-y-z)

$$\sum F_x = ma_x$$

$$\sum F_y = ma_y$$

$$\sum F_z = ma_z$$

โดยที่ $\vec{a} = a_x i + a_y j + a_z k$; $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$

$$\sum \vec{F} = i \sum F_x + j \sum F_y + k \sum F_z ; \quad \sum F = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2 + (\sum F_z)^2}$$

จาก $\sum \vec{F} = m\vec{a}$

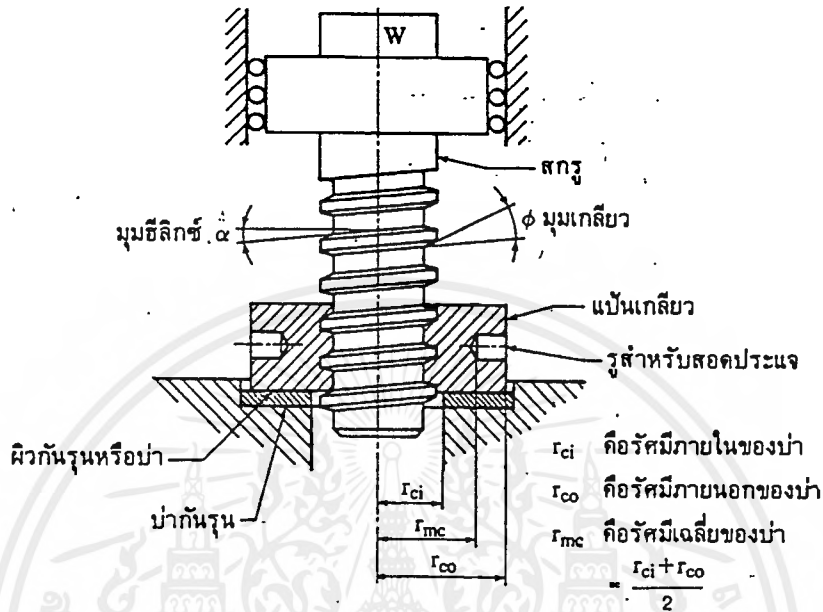
$$\sum \vec{F} = m_x a_x i + m_y a_y j + m_z a_z k$$

ให้ $a_y = a_x = a_z = 1.25 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$

จะได้ $\therefore \sum \vec{F} = (1.25 \times 10^{-3}) [503i + 273j + 173k]$

3.3 โมเมนต์บิดสำหรับหมุนสกรูส่งกำลัง

พิจารณาสกรูส่งกำลังดังรูปที่ P.2.1 ซึ่งมีมุมเฮลิคัล α องศา และมุมเกลียวของสกรู ϕ องศา ในการยกน้ำหนัก W ขึ้นลง ทำได้โดยการหมุนแป้นเกลียวซึ่งตั้งอยู่บนที่รองรับ เรียกว่า บ่า (collar) สมมติให้แรง F ที่ใช้ยกน้ำหนักขึ้นกระทำอยู่บนเกลียวที่มีรัศมีเฉลี่ยของสกรู $r_m = (r_o + r_i) / 2$ ณ ตำแหน่ง O ดังรูปที่ P.2.2 ในขณะที่ยกน้ำหนักขึ้นจะมีแรงเสียดทาน F_f กระทำบนผิวหน้าของเกลียวด้านการเคลื่อนที่ของสกรู



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการใช้สกรูส่งกำลังเป็นแม่แรง

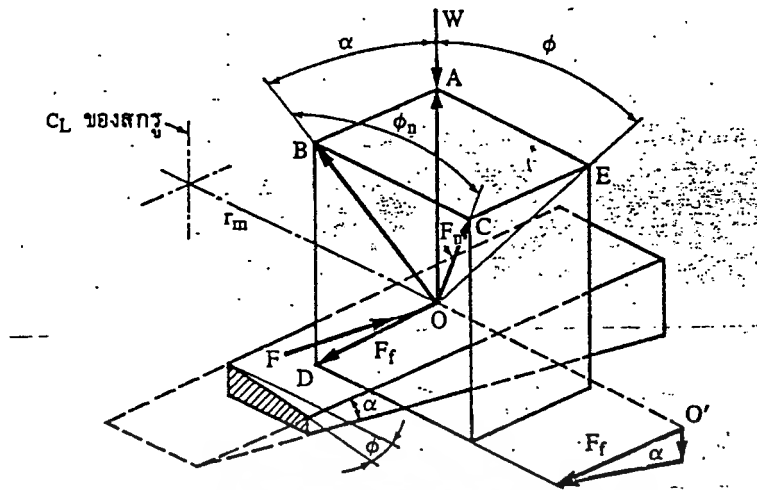
- โดยที่ F_n คือแรงปฏิกิริยาซึ่งมีทิศตั้งฉากกับผิวหน้าของเกลียว
 OA คือเวกเตอร์ของแรงที่มีขนาดเท่ากับน้ำหนัก W แต่ทิศทางตรงข้าม
 OB คือเวกเตอร์ของแรงรวมระหว่างแรง F_f และ OA
 f_s คือสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวหน้าของเกลียวและแป้นเกลียว

รวมแรงในแนวตั้งจะได้

$$F_n \cos \phi_n \cos \alpha = W + F_f \sin \alpha$$

แต่ $F_f = f_s F_n$ แทนค่าในสมการข้างบนนี้จะได้ว่า

$$F_n = \frac{W}{\cos \phi_n \cos \alpha - f_s \sin \alpha} \quad (2.5)$$



รูปที่ 3.12 แผนภาพแรงปฏิกิริยาบนเกลียวเนื่องจากการยกน้ำหนัก

ในการหาโมเมนต์บิดที่เกิดจากการใช้แรง F เพื่อยกน้ำหนักขึ้น ให้รวมโมเมนต์รอบแกนกลางของสกรู

$$T_R = Fr_m = r_m [F_r \cos \alpha + F_n \cos \phi_n \sin \alpha]$$

$$T_R = r_m [f_s F_n \cos \alpha + F_n \cos \phi_n \sin \alpha]$$

แทนค่า F_n จากสมการที่ (2.5) ลงในสมการข้างบน และให้ d_m แทนเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของสกรู จะได้โมเมนต์ที่ใช้ ในการยกน้ำหนัก

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left(\frac{f_s \cos \alpha + \cos \phi_n \sin \alpha}{\cos \phi_n \cos \alpha - f_s \sin \alpha} \right)$$

หรือ

$$T_R = \frac{Wd_m}{2} \left(\frac{f_s + \cos \phi_n \tan \alpha}{\cos \phi_n - f_s \tan \alpha} \right) \quad (2.6)$$

โดยที่ T_R คือ โมเมนต์บิดที่ใช้ในการยกน้ำหนักขึ้น

d_m คือ เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของสกรู

นอกจากแรงที่กระทำต่อสกรูดังกล่าวที่ได้กล่าวมาแล้ว สกรูในรูปที่ P2.1 ยังมีแรงเสียดทานที่บ่ารองรับอีกด้วย ด้วยแรงเสียดทานนี้ ทำให้ต้องใช้เวลาหรือ โมเมนต์บิดในการยกน้ำหนักขึ้นหรือลงมากขึ้น ถ้าให้ f_c แทนสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวหน้าของบ่ารองรับและเป็นเกลียว แรงเสียดทานจะเท่ากับ

$$F_c = f_c W$$

ถ้าสมมติให้แรงเสียดทานนี้กระทำที่รัศมีเฉลี่ยของบ่ารองรับ r_{mc} โมเมนต์บิดที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะแรงเสียดทานนี้คือ

$$T_{fc} = r_{mc} f_c W$$

ดังนั้น โมเมนต์บิดที่ต้องใช้ในการยกน้ำหนักขึ้นหรือลงสำหรับสกรูส่งกำลังที่มุมเกลียว ϕ และ α องศา คือ

$$\text{มุมเกลียว } \phi \text{ องศา; } T_R = \frac{Wd_m}{2} \left[\frac{f_s + \cos \phi \tan \alpha}{\cos \phi - f_s \tan \alpha} \right] + r_{mc} f_c W \quad (2.7)$$

$$\text{มุมเกลียว } \phi \text{ องศา; } T_L = \frac{Wd_m}{2} \left[\frac{f_s - \cos \phi \tan \alpha}{\cos \phi + f_s \tan \alpha} \right] + r_{mc} f_c W \quad (2.8)$$

โดยที่ T_L คือโมเมนต์บิดที่ใช้ในการยกน้ำหนักลง

เนื่องจากในการทำเครื่องกัด CNC นี้ ได้มีการกำหนดขนาดและกำลังของมอเตอร์ไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว (จึงไม่มีความจำเป็นต้องทำการคำนวณ) แต่หากไม่ทราบค่าโมเมนต์บิดของมอเตอร์ก็สามารถใช้สมการข้างต้นในการคำนวณได้

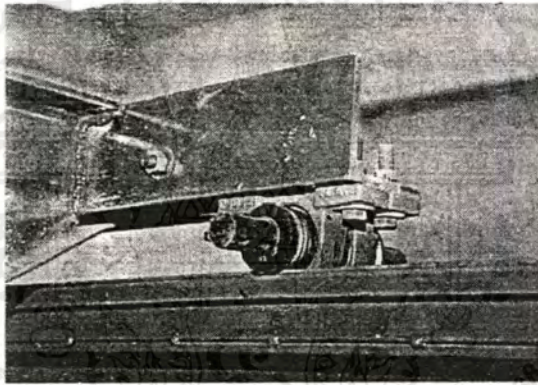




วิธีการประกอบเครื่องกัดซีเอ็นซี (CNC Milling Machine)

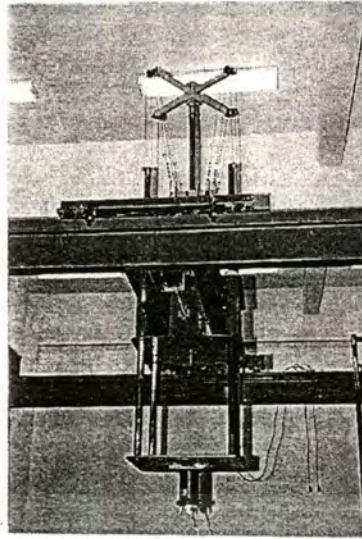
เริ่มต้นการประกอบเครื่องซีเอ็นซี โดยการนำเหล็กรูปตัวไอ (I-BEAM) ขนาด 20 x 10 ซม. ยาว 300 ซม. 2 เส้น ซึ่งตัดส่วนล่างออกโดยใช้แก๊สมาวางให้ได้ระดับด้วยลูกน้ำ จากนั้นนำเหล็กฉาก(U - CHANNEL) มาจับหนายแล้วเชื่อมติดกับเหล็กรูปตัวไอ (I - BEAM) ทั้งสอง โดยติดเข้าตรงส่วนปลายของเหล็กรูปตัวไอ (I - BEAM) ส่วนล่างของเหล็กฉาก (U - CHANNEL) จะติดตึกตาข้างละ 2 ตัว เพื่อเสียบเพลานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ผ่านแบริ่ง (BEARING) ทั้งสอง จากนั้นนำเพลาดันขนาด 2 นิ้ว มาปาดหน้าแล้วกัดร่องขนาดกว้าง 7.5 ซม. ลึก 7.5 ซม. เจาะรูตรงกลางขนาด 1 นิ้ว แล้วตัดเพลา เพื่อทำล้อ 8 ล้อ ความหนาล้อละ 20 ซม.

ก่อนที่จะนำล้อมาสวมเข้ากับเพลาก็ต้องทำการชุบแข็งเสียก่อน โดยใช้เครื่องอบที่ความร้อน 850 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่มความแข็งแรงเพราะล้อแต่ละตัวจะต้องสามารถรับภาระ (Load) ได้ประมาณ 50 กก. ในขณะที่เคลื่อนที่อยู่โดยจะต้องไม่เกิดการหดตัวใดๆ ทั้งสิ้น นำล้อทั้งหมดมาสวมเข้ากับเพลาล้อแล้วล็อก (Lock) ล้อไม่ให้เคลื่อนที่ออกจากเพลาล้อที่อยู่บนเพลาเดียวกันจะห่างจากกัน 75 ซม.



รูปที่ 4.1 จากรูปจะเห็นเหล็กรูปตัวไอ (I - BEAM) ส่วนที่โดนตัดแล้วต่อเข้ากับแผ่นเหล็กฉาก (U - CHANNEL) ตึกตา 2 ตัวในรูปติดอยู่กับเหล็กฉาก (U - CHANNEL) เพื่อที่จะนำเพลาล้อและล้อมาสวมเข้าไปในแบริ่ง

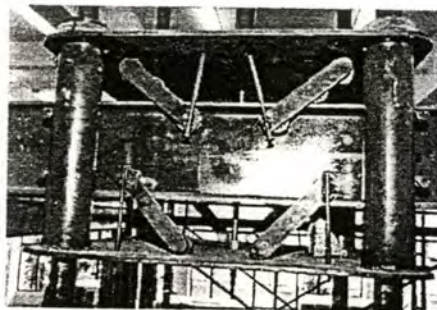
สำหรับการเคลื่อนที่ตามแนวแกน x จะมีตัวล็อกกันสายติดอยู่โดยชิ้นส่วนนี้สามารถปรับความแน่นของการจับโดยการขันน็อตดังแสดงในรูป 4.2



รูปที่ 4.2 แนวเหล็กรูปตัวไอ คือ แนวการเคลื่อนที่ตามแกน x เหล็กสีดำที่ติด แบร็ง อยู่ซึ่งแนบติดอยู่กับเหล็กรูปตัวไอ คือ ตัวล็อก กันการส่ายของการเคลื่อนที่ตามแกน x

ต่อจากนั้นจะเริ่มทำแกน z , แกน z จะสร้างได้โดยเริ่มจากการสังัดเหล็กแผ่นขนาด 75 x 75 ซม. หนา 10 มม. จำนวน 3 แผ่น หนักแผ่นละ 40 กก. ลบเหลี่ยมทั้งทั้ง 4 มุม แล้วเจาะรู ตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มม. สำหรับแผ่นบนและแผ่นล่างของแกน z เจาะรูทั้ง 4 มุมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 89 มม. ขึ้นต่อไปคือการตัดเพลากลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 89 มม. ยาว 45 มม. มา 4 ท่อน โคนที่ส่วนปลายของเพลากลวงแต่ละตัวจะทำการกลึงให้เป็นเกลียวยาวขนาด 3.5 ซม. เพื่อให้ง่ายต่อการจับ จากนั้นใส่เพลาทั้ง 4 เข้าไปในรู ของแผ่นเหล็กทั้งสองเพื่อให้แผ่นบนและแผ่นล่างขนานกันในแนวตั้ง ห่างจากกัน 41.5 ซม. ส่วนที่เป็นเกลียว ที่ขนาดยาว 3.5 ซม. จะใส่ขันน็อตมาจากแผ่นบน ล็อคเกลียวนั้นด้วยฝาท่อ แล้วเชื่อมส่วนล่างของเพลากลวงทั้งสี่เข้ากับแผ่นเหล็กที่อยู่ด้านล่าง

นำสไลด์แบร็ง (Slide bearing) ใส่เข้าไปในท่อกลวง โดยใส่ส่วนบนของเพลากลวง 1 ตัว และส่วนล่างของเพลากลวงอีก 1 ตัว เส้นผ่านศูนย์กลางของสไลด์แบร็ง (Slide bearing) คือ 50 มม. เจาะรูในท่อเพื่อทำการ "ตีฟ" เกลียว แล้วขันน็อตเข้าไปเพื่อที่จะยึดสไลด์แบร็ง (Slide bearing) ให้อยู่กับที่ จากนั้นทำการจับแผ่นบนและแผ่นล่างเข้ากับเหล็กรูปตัวไอ (I-BEAM) ดังรูป 4.3

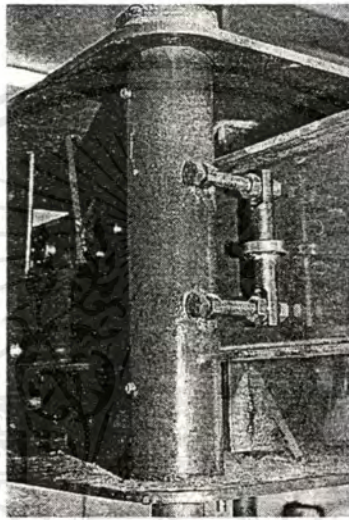


รูปที่ 4.3 รูปท่อกลวงซึ่งภายในบรรจุสไลด์แบร็งทั้งส่วนบนและส่วนล่างเพื่อใช้เป็นไกด์ (Guide) ของแกน z

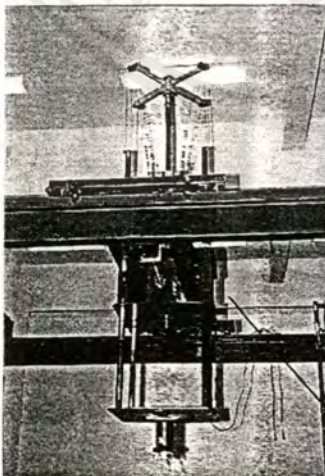
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นส่วนที่ใช้ยึดแกน z , ส่วนยึดเหล่านี้จะต้องสามารถเคลื่อนที่ตามแกน y ได้ในขณะที่รับน้ำหนักทั้งหมดประมาณ 160 กก. เพื่อที่จะแบ่งเบาภาระในการรับน้ำหนักแกน z เราได้ใช้น็อตยาวจำนวนข้างละ 4 ตัว เชื่อมติดเข้ากับเหล็ก เจาะรูเข้าไปในแผ่นเพื่อขันสกรูตรงส่วนปลาย นอกจากนั้นจะเห็นเพลากลวงทั้งหมด 2 ตัว ซึ่งมีน็อตสำหรับล็อกส่วนของสไลด์เบริง (Slide Bearing) ให้อยู่กับที่ ส่วนบนของเหล็กแผ่นด้านบนจะเห็นฝาท่อที่ใช้ในการจับส่วนที่เป็นเกลียว

เมื่อทำการต่อแผ่นบนและแผ่นล่าง เข้ากับเหล็กรูปตัวไอ (I-BEAM) เรียบร้อยแล้ว จะต้องทำการล็อกเหล็กรูปตัวไอ (I-BEAM) ให้อยู่ห่างจากท่อพอสมควร เพื่อกันมิให้เหล็กรูปตัวไอ (I-BEAM) กระแทกเข้ากับท่อในขณะที่เคลื่อนที่ตามแนวแกน y โดยตัวล็อกนั้นสามารถปรับระดับความแน่น การปรับความแน่นของเบริงควรจะให้พอดีไม่ให้แน่นหรือหลวมเกินไป



รูปที่ 4.4 จากรูปจะเห็นว่าตัวล็อกกันการส่ายและเสียดสีตามแกน y ซึ่งประกอบด้วย เบริง 1 ตัว สามารถปรับระดับความแน่นในการขันสกรู การขันสกรูแน่นจนเกินไปจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ตามแกน y ผิดเกินไป แม้จะกันการเสียดสีได้ก็ตาม ตัวล็อกชนิดนี้มีทั้งหมด 4 ตัว



ข้างในมี SLIDE BEARING

รูปที่ 4.5 รูปแสดงการนำโค้ดแกน z ใส่เข้าไปในท่อที่มีสไลด์เบริงอยู่ การใส่

จะต้องหาจารบี เพื่อกันสนิมและเพิ่มการหล่อลื่นให้สะดวกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

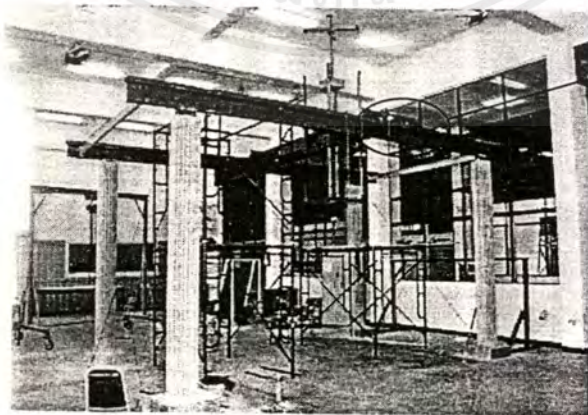
ต่อจากนั้นนำท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มม. ยาว 213 ซม. ใส่เข้าไปในสไลด์เบร็ิงดังรูปที่ 4.5 เมื่อทำเช่นนี้เรียบร้อยแล้วต่อไปต้องเชื่อมท่อเหล็ก (50 ซม.) เข้ากับแผ่นเหล็กที่เหลื้ออีกแผ่นหนึ่งเพื่อทำให้ชิ้นส่วนแกน z เสริมสมบูรณ์ ชิ้นส่วนล่างของแกน z บวกเข้ากับน้ำหนักของมอเตอร์และน้ำหนักของท่อเหล็ก 4 ช้าง จะมีน้ำหนักรวมทั้งหมดประมาณ 57 กก. ถ้าปล่อยชิ้นส่วนนี้ไว้เฉยๆ ชิ้นส่วนนี้จะเคลื่อนหลุดออกมาจากสองแผ่นแรก เราจะแก้ปัญหานี้โดยการถ่วงน้ำหนักให้สมดุลในแนวแกน z เพื่อลดภาระของมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) ที่ติดอยู่ที่แผ่นล่าง มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) นี้ มีแรงขนาด 4 นิวตันเมตร { บอลสกรู (Ball Screw) ในแกน z จะมีระยะห่างระหว่างปลายเกลียวถึงปลายเกลียวที่อยู่ติดกันน้อยกว่า เมื่อเทียบกับแกน y นั้นหมายความว่าอัตราทดของในแกน z จะสูงสุดคือใช้โมเมนต์บิด (Torque) ในการหมุนต่ำสุด เหตุที่ใช้ มอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) ขนาดใหญ่ เพราะ ไม่สามารถมอเตอร์กระแสสลับ (AC Motor) ที่มีกำลังพอที่จะเคลื่อนการ z ได้ }

ในการถ่วงน้ำหนักดังได้กล่าวมาแล้ว จะทำได้โดยการเจาะรูไว้ที่ส่วนบนของท่อ (50 ซม.) ทั้ง 4 แล้วนำลวดสลิง (Sling) คล้องเข้ากับเบร็ิงลงมายังเหล็กถ่วงซึ่งหนัก 84 กก.



รูปที่ 4.6 ในรูปนี้จะเห็นว่ามอเตอร์กระแสตรง (DC MOTOR) ที่ติดเข้ากับแผ่นล่างเพื่อขับแกน z รูปนี้แสดงถึงการถ่วงน้ำหนักตามแกน z เพื่อให้สมดุล เห็นได้ว่าตรงส่วนกลางของเหล็กถ่วงจะมีสไลด์เบร็ิงสวมอยู่เพื่อที่จะสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแนวแกน z ได้

การเคลื่อนที่ตามแนวแกน x จะมีตัวล้อคเช่นเดียวกับแกน y เพียงแต่ตัวล้อคนี้มีไว้เพื่อป้องกันการส่ายในขณะเคลื่อนที่ตามแนวแกน x ชิ้นส่วนบนทั้งหมดของเครื่องซีเอ็นซีนี้แสดงในรูปที่ 4.7

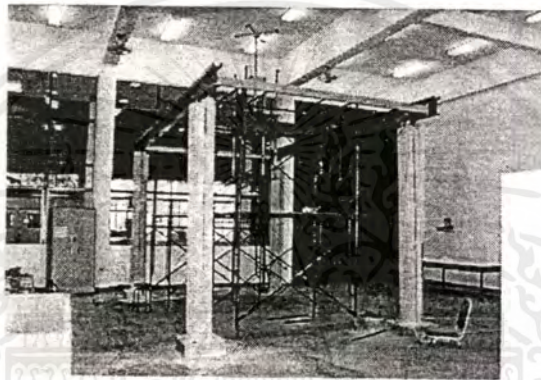


รูปที่ 4.7 รูปแสดงส่วนบนทั้งหมดของเครื่องซีเอ็นซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

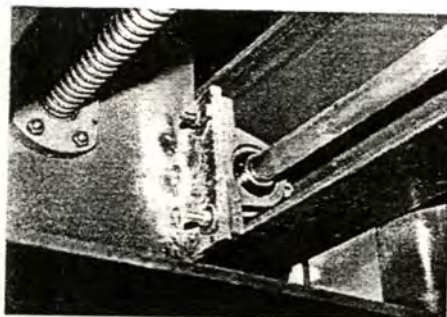
เมื่อติดตั้งตามนี้เรียบร้อยแล้ว จะเป็นการเสร็จสิ้นชิ้นส่วนบนของเครื่องซีเอ็นซี ต่อจากนั้นจะเป็นการทำโครงสร้างของเสา ซึ่งทำได้โดยการนำเหล็กรูปตัวไอมาเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กขนาด 45x45 ซม. 4 คู่ ในแนวตั้งเจาะรูแผ่นที่มุมทั้งสี่ เพื่อทำการขันสกรูเข้าไป สกรูนี้มีไว้เพื่อปรับระดับความสูงภายหลัง จากนั้นนำเสาเหล็กรูปตัวไอซึ่งเชื่อมอยู่กับแผ่นเหล็กทั้งสี่ต้น มาเชื่อมติดกับแผ่นเหล็กอีกชิ้นหนึ่งขนาด 10x20 ซม. เพื่อที่จะนำมาเจาะรูแล้วขันนอตยึดติดกับเหล็กรูปตัวไออีกเส้นที่จะทำรางวิ่ง

ก่อนที่จะตั้งเหล็กรูปตัวไอ (I - BEAM) ในแนวขนานกับพื้นขึ้นไปจะต้องนำเฟืองสะพานทั้งหมด 5 เส้น มาเชื่อมให้เข้ากับเหล็กรูปตัวไอ (I - BEAM) นั้น โดยการตั้งระดับและทดลองวิ่งจากการนำเฟืองมาลองขบดูเพื่อให้แน่ใจว่าจะสามารถวิ่งได้ เฟืองสะพานนี้จะเป็นแนวในการเคลื่อนที่ตามแกน x ในเวลาถัดมา เมื่อทำการเชื่อมเหล็กรางและเหล็กรูปตัวไอ (I - BEAM) ในแนวนอนเข้ากับเสาเรียบร้อยแล้วจะต้องมีเหล็กอีกสองเส้นมาค้ำให้โครงสร้างส่วนฐานมีระยะห่าง 3.1 เมตร ส่วนความยาวตามแกน x เท่ากับ 6 เมตร ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงโครงสร้างส่วนฐาน ส่วนของเสาที่เป็นเหล็กรูปตัวไอ (I - BEAM) จะถูกหุ้มด้วยเสาปูน เพื่อกันการสลายตามแนวแกน y นอกจากนี้ยังมีสลิงอีกสองเส้นในการยึด

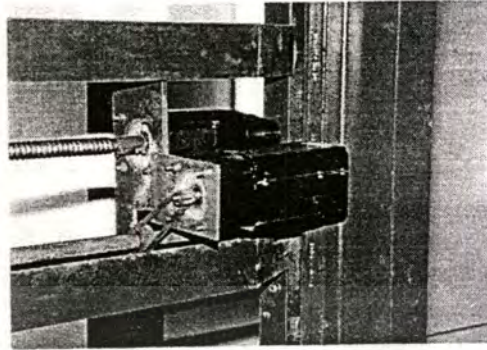
เนื่องจากในห้องที่ทำการติดตั้งเครื่องซีเอ็นซี ขนาดใหญ่ไม่มีเครนยก จึงจำเป็นต้องสร้างอุปกรณ์ที่จะยกน้ำหนักประมาณ 350 กก. ขึ้นไปตั้งบนส่วนฐาน วิธีการยกคือ สร้างโครงรูปตัวยูเชื่อมเข้ากับรางตรงส่วนฐานซีเอ็นซีแล้วนำออกจำนวนตัวคล้อยไว้ที่โครงเหล็กตัวยูแล้วใช้คนทั้งหมด 20 คน ช่วยกันดันชิ้นส่วนบนขึ้นไปบนฐาน เมื่อยกส่วนบนขึ้นไปเรียบร้อยแล้ว สามารถที่จะทดลองการเคลื่อนที่ตามแนวแกน x สำหรับการเคลื่อนที่ตามแนวแกน y จะทำได้โดยการใช้อบอลสกรู (Ball Screw) ติดตั้งตามแนวแกน y แล้วหมุนผ่านหัวบอล ซึ่งติดอยู่กับหน้าแปลน ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กลไกการขับแกน y ด้วยบอลสกรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 แสดงการเคลื่อนที่ผ่านหัวบอลของบอลสกรูที่ติดอยู่กับหน้าแปลน ส่วนเพลาดันที่เสียบผ่าน ตึกตาเป็นส่วนที่ต่อจากมอเตอร์แกน x เพื่อทำการขับเฟืองต่อไป



รูปที่ 4.10 แสดงเซอร์โวมอเตอร์กระแสสลับ (AC servo motor) สำหรับการเคลื่อนที่ตามแนวแกน x และ y มอเตอร์ทั้งสองนี้จะติดอยู่กับหน้าแปลน

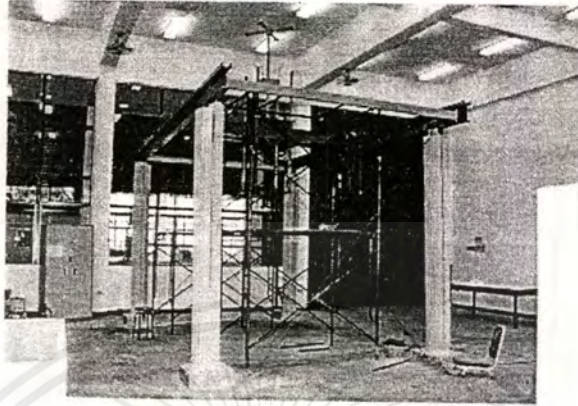
จะเห็นว่ามอเตอร์ที่ใช้ขับแกน x จะติดเฟืองทด เนื่องจากพื้นที่ในการติดตั้งมีจำกัด อีกเหตุหนึ่ง คือ เพลาของมอเตอร์จะเคลื่อนผ่านเบร็ง ซึ่งไม่สามารถปรับการเคลื่อนที่ให้ขึ้นลงตามเฟืองสะพานได้ จึงต้องทดลงไปยังเฟืองทดอีกทีหนึ่ง เพื่อให้การเคลื่อนที่ตามแนวตั้งของเพลามีความอิสระมากพอ อัตราการทดของเฟืองเท่ากับ 16 - 30-37 นั่นคือ เฟืองมอเตอร์แกน x หมุนหนึ่งรอบ เฟืองบนสะพานจะเคลื่อนที่ 6 ซม.



รูปที่ 4.11 ชิ้นส่วนที่แสดงดังรูปทำขึ้นเพื่อทดเพลาและเฟืองลงบนเฟืองสะพานตลอดการเคลื่อนที่ จะเห็นว่าเพลาส่วนนี้สามารถขึ้นลงตามแนวตั้งได้ จึงต้องใช้เฟืองทดดังที่อธิบายไว้ในรูปที่ 4.10

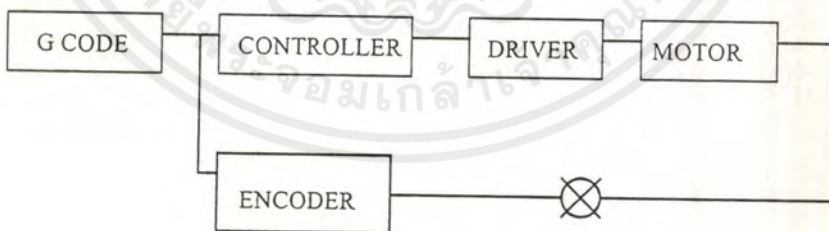
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประกอบทุกอย่างดังได้กล่าวมาเป็นการเสร็จสิ้นการทำส่วนของเครื่องกล (Mechanics) ซึ่งใช้เวลาทำทั้งหมดประมาณสองเดือน



รูปที่ 4.12 รูปส่วนประกอบทางเครื่องกล (Mechanics) ทั้งหมดเมื่อเสร็จสิ้น

ต่อไปจะเป็นส่วนของการควบคุมซึ่งจะเริ่มจากการป้อนจี-โค้ด (G-Code) เข้าไปในคอนโทรลเลอร์ (Controller) ซึ่งคอนโทรลเลอร์จะไปควบคุมไดรฟ์เวอร์ (Driver) และไดรฟ์เวอร์จะไปขับมอเตอร์อีกทอดหนึ่ง เพื่อจะไปขับเคลื่อนชิ้นส่วนต่างๆ ตามความต้องการของผู้ใช้ และจะทราบถึงระยะการเคลื่อนที่ของส่วนต่างๆ โดยเอ็นโคดเดอร์ (Encoder)



รูปที่ 4.13 แผนภาพแสดงการทำงานของส่วนควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การวิเคราะห์และตรวจสอบ

5.1 ผลการวิเคราะห์และตรวจสอบ

5.1.1. การวิเคราะห์วัสดุและชิ้นงาน

การกำหนดและเลือกใช้วัสดุสำหรับการสร้างเครื่องกัดซีเอ็นซีแนวตั้งนี้ จะพิจารณาเลือกวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายในท้องตลาดทั่วไป ส่วนวัสดุที่เป็นเหล็กกล้าซื้อจากร้านค้าเหล็กทั่วไป เหล็กเหล่านี้อาจมีคุณสมบัติไม่ตรงกับเหล็กตามมาตรฐานที่เลือกใช้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์วัตถุดิบก่อนที่จะนำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนของเครื่องกัด

5.1.2. การตรวจสอบการทำงานและความเที่ยงตรง

การตรวจสอบได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการตรวจสอบการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องกัด ส่วนที่สองเป็นการตรวจสอบความแม่นยำของเครื่องกัด วิธีการตรวจสอบทั้งสองได้กำหนดขึ้นโดยคณะผู้จัดทำเอง และตามมาตรฐานสากล

เครื่องกัดซีเอ็นซีแนวตั้ง ได้ผ่านการตรวจสอบการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องดังนี้

ก.) ความสามารถในการเคลื่อนที่ของหัวกัดในแนวยาว , แนวขวางและแนวตั้งทั้งด้วยมือและอัตโนมัติ

การเคลื่อนที่ในแนวแกน X = 4000 mm.

การเคลื่อนที่ในแนวแกน Y = 1700 mm.

การเคลื่อนที่ในแนวแกน Z = 1500 mm.

ข.) การทดสอบเครื่องจักรหยุดตรงตามตำแหน่ง (Positioning) หรือความละเอียดของการเคลื่อนที่เป็นการทดสอบการเคลื่อนที่ของหัวกัด (แนวแกน x , แนวแกน y และแนวแกน z) ซึ่งจะมีผลทำให้การตัดปาดผิวเกิดความคลาดเคลื่อนจากขนาดที่ต้องการไป เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย โฟมเนื้อละเอียด , ดอกกัด (End Mill) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 mm. , เครื่องมือวัด CMM (Coordinate Measuring Machine)

การทดสอบเป็นการทดสอบทีละแกนโดยใช้วัสดุชิ้นงานคือ โฟม จับยึดบนโต๊ะงาน จับยึดดอกกัดเข้ากับชุดหัวจับของเครื่อง ทำการกัดชิ้นงานโดยให้เคลื่อนที่ไปทั้งในแนวแกน x แนวแกน y และแนวแกน z แล้วบันทึกค่าระยะทางของการเคลื่อนที่ในแต่ละแกน ในการทดสอบแต่ละแกนทำการทดสอบ 5 ครั้ง นำชิ้นงานที่ได้จากการกัดทั้ง 3 แกน มาวัดด้วยเครื่องวัด CMM (Coordinate Measuring Machine)

จากการทดสอบ ค่าที่ได้อาจเป็นค่าที่มีความผิดพลาดไปจากค่าจริง เมื่อเกิดการผิดพลาดขึ้นจึงต้องไปปรับค่าจากพารามิเตอร์ (Parameter) หมายเลข 330 ในชุดควบคุมซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สัมพันธ์กับชุดบอลสกรู และชุดอ่านการเคลื่อนที่ (Encoder) โดยมีสูตรการหาค่าความสัมพันธ์ ของระยะนำเลื้อนของบอลสกรู (lead) กับชุดอ่านการเคลื่อนที่

$$N = (L \times 1000) / \text{จำนวน line ของชุดอ่านการเคลื่อนที่}$$

เมื่อ $N =$ ค่าความสัมพันธ์

$L =$ ระยะนำเลื่อนของบอลล์สกรู

จำนวน line ของชุดอ่านการเคลื่อนที่ = 600

แล้วนำค่า N ไปใส่ในพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น และทำการปรับยึดอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆ ให้แน่นอีกครั้ง เช่น ชุดอ่านการเคลื่อนที่ อุปกรณ์สายพาน ชุดข้อต่อของบอลล์สกรู แล้วทำการทดสอบใหม่ ค่าที่ยอมรับได้สำหรับความคลาดเคลื่อนควรจะอยู่ประมาณไม่เกิน 0.01 mm.

ค.) การทำงานของระบบควบคุมไฟฟ้า สำหรับการบังคับชุด Servo Moter ให้เดินหน้า ถอยหลัง และหยุดให้ตรงตามตำแหน่ง วิธีการตรวจสอบโดยการเขียนโปรแกรมแล้วกักงาน จากนั้นนำชิ้นงานนั้นมาวัดด้วยเครื่องมือตรวจสอบขนาด

จากที่กล่าวมาข้างต้นนี้ เป็นหลักการและวิธีการในการวิเคราะห์และตรวจสอบเครื่องกัดซีเอ็นซีแนวตั้ง แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ค่าที่ได้จะมีค่าผิดพลาดสูง เนื่องจากอุปกรณ์ และการประกอบเครื่องกัดมีความคลาดเคลื่อนสูง

5.2 การตรวจสอบการทำงานและความเที่ยงตรง

5.2.1. ความสามารถในการเคลื่อนที่ของหัวกัด

ก.) การทดสอบการเคลื่อนที่ โดยสั่งให้เคลื่อนที่ทีละแกน ในระยะที่เซทไว้บนหน้าจอ แล้วใช้เครื่องมือวัดวัดระยะทางการเคลื่อนที่ที่แท้จริงของเครื่องกัดในแต่ละแกน เพื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ โดยขั้นแรกทำการทดสอบการเคลื่อนที่ในระยะสั้น โดยกำหนดให้แกน X , Y และ Z เคลื่อนที่เป็นระยะ 500 mm. ทีละแกน ทำการทดสอบเป็นช่วงๆ จำนวน 5 ครั้ง จากนั้นนำค่าที่กำหนดมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงโดยเครื่องมือวัด เพื่อดูค่าความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของหัวกัดในระยะสั้น ในแต่ละแนวแกน

ครั้งที่	แกน X (mm.)			แกน Y (mm.)			แกน Z (mm.)		
	ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อน	ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อน	ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อน
1	500	499	-1	500	500	0	500	500	0
2	500	502	+2	500	501	+1	500	499	-1
3	500	501	+1	500	499	-1	500	499	-1
4	500	499	-1	500	499	-1	500	500	0
5	500	500	0	500	501	+1	500	500	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.) การทดสอบการเคลื่อนที่ในระยะยาว กำหนดให้แกน X เคลื่อนที่เป็นระยะทาง 2000 มม. แกน Y เคลื่อนที่เป็นระยะทาง 1500 มม. และแกน Z เคลื่อนที่เป็นระยะทาง 1000 มม.

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของหัวกัดในระยะยาว ในแต่ละแนวแกน

ครั้งที่	แกน X (mm.)			แกน Y (mm.)			แกน Z (mm.)		
	ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อน	ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อน	ค่าที่กำหนด	ค่าที่วัดได้	ค่าความคลาดเคลื่อน
1	2000	1998	-2	1500	1499	-1	1000	1000	0
2	2000	1999	-1	1500	1500	0	1000	1000	0
3	2000	2000	0	1500	1499	-1	1000	999	-1
4	2000	2000	0	1500	1500	0	1000	1000	0
5	2000	2002	+2	1500	1501	+1	1000	1001	+1

5.2.2. การทดสอบการหยุดตรงตามตำแหน่ง

การทดสอบการกลับสู่ตำแหน่งเดิมของแต่ละแนวการเคลื่อนที่ ทำการเขียนโปรแกรมให้แต่ละแนวการเคลื่อนที่ ให้เคลื่อนที่ไปยังจุดที่กำหนด แล้วเคลื่อนที่กลับมาที่จุดเริ่มต้น ในการทดสอบกำหนดให้ตำแหน่งจุดเริ่มต้นในแต่ละแกนเป็นจุด $X=0$, $Y=0$ และ $Z=0$ แล้วโปรแกรมให้แกน X แกน Y และแกน Z เคลื่อนที่ไป 1000 มม. แล้วเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้น แต่เคลื่อนที่ทีละแกน ทำการทดสอบเป็นช่วงจำนวน 5 ครั้ง จากนั้นนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกัน เพื่อดูค่าความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความผิดพลาดของการเคลื่อนที่ของหัวกัดในการกลับสู่ตำแหน่งเดิม

ครั้งที่	แกน X (mm.)		แกน Y (mm.)		แกน Z (mm.)	
	ตำแหน่งเริ่มต้น	ตำแหน่งสุดท้าย	ตำแหน่งเริ่มต้น	ตำแหน่งสุดท้าย	ตำแหน่งเริ่มต้น	ตำแหน่งสุดท้าย
1	0	+1	0	0	0	-1
2	0	0	0	0	0	0
3	0	-2	0	+1	0	0
4	0	-1	0	+1	0	0
5	0	0	0	0	0	0

บทที่ 6

เทคโนโลยีและการใช้งานซีเอ็นซีต้นแบบ

6.1 การทำงานของเครื่องจักรซีเอ็นซี

หลักการทำงานของเครื่องจักรเอ็นซีหรือซีเอ็นซี จะคล้ายคลึงกับเครื่องจักรกลทั่วไป กล่าวคือโดยพื้นฐานเบื้องต้นแล้วเครื่องจักรเอ็นซีก็จะทำงานผลิตชิ้นงานเหมือนกับเครื่องจักรกลทั่วไป เช่น เครื่องกัดเอ็นซีก็จะทำงานเหมือนกับเครื่องกัดทั่วไป เพียงแต่ว่าระบบควบคุมเอ็นซีของเครื่องจะทำงานในขั้นตอนต่าง ๆ แทนช่างควบคุมเครื่อง อย่างไรก็ตามก่อนที่จะเครื่องจักรกลเอ็นซีจะสามารถทำงานได้นั้น ระบบควบคุมของเครื่องจะต้องได้รับการบอกกล่าวเสียก่อนว่า จะให้ทำอะไรและจะต้องบอกกล่าวเป็นภาษาที่ระบบควบคุมสามารถเข้าใจได้ นั่นคือจะต้องป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องผ่านแป้นพิมพ์ (Keyboard) หรือแท็บเล็ตก็ได้

เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมที่ป้อนเข้าไปแล้ว ก็จะนำไปควบคุมให้เครื่องจักรกลทำงาน แต่เนื่องจากเครื่องจักรกลเอ็นซีไม่มีมือสำหรับหมุน มือหมุน ให้หัวกัดเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นในแต่ละแนวแกนที่จะให้หัวกัดเคลื่อนที่ จะต้องมียอเตอร์ประกอบอยู่

เมื่อระบบควบคุมอ่านโปรแกรมแล้ว ก็จะเปลี่ยนรหัสโปรแกรมนั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อไปควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน แต่เนื่องจากสัญญาณที่ออกจากระบบควบคุมนี้มีกำลังน้อย ไม่สามารถไปหมุนขับให้มอเตอร์ทำงานได้ ดังนั้นจึงต้องส่งสัญญาณนี้เข้าไปในภาคขยายสัญญาณของระบบขับ (Drive Amplified) และส่งต่อไปยังมอเตอร์ป้อนของแนวแกนที่ต้องการเคลื่อนที่ ความเร็วและระยะทางการเคลื่อนที่ของหัวกัดจะต้องกำหนดให้ระบบควบคุมรู้ ช่างควบคุมเครื่องอาศัยสายตามองดูตำแหน่งของคมตัดกับชิ้นงาน ก็รู้ว่าจะต้องเลื่อนหัวกัดไปอีกเป็นระยะทางเท่าใด แต่ระบบควบคุมเอ็นซีมองไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องออกแบบอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่สามารถจะบอกตำแหน่งของหัวกัดให้ระบบควบคุมรู้ได้ อุปกรณ์ชุดนี้เรียกว่า "ระบบวัดขนาด" (Measuring System) ทำหน้าที่ส่งสัญญาณไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับระยะทางที่หัวกัดเคลื่อนที่กลับไปยังระบบควบคุม ทำให้ระบบควบคุมรู้ว่าหัวกัดเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าใดแล้ว

จากหลักการควบคุมการทำงานดังกล่าวทำให้ เครื่องจักรกลซีเอ็นซีสามารถผลิตชิ้นงานให้มีรูปทรง และขนาดที่ต้องการได้ จากลักษณะสร้างและการทำงานที่เหนือกว่าเครื่องจักรกลทั่วไป ทำให้เครื่องจักรกลเอ็นซี และซีเอ็นซีเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอัตโนมัติและมีปริมาณความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ

6.2 ระบบควบคุมเครื่องจักรกลด้วยตัวเลข

เครื่องจักรกลซีเอ็นซีจะประกอบด้วยองค์ประกอบใหญ่อยู่ 2 ส่วน คือ

1. เครื่องจักรกล เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตัดเฉือนชิ้นงานตามขั้นตอนการทำงานที่กำหนดไว้
- 2: ระบบซีเอ็นซี เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมขั้นตอนการตัดเฉือนทั้งหมด

ข้อมูลที่อธิบายรายละเอียดของขั้นตอนที่ใช้ในการตัดเฉือนชิ้นงานจะถูกป้อนเข้าไปในระบบควบคุมของเครื่องจักรก่อน ในรูปแบบของโปรแกรมเอ็นซีซึ่งถูกจัดเตรียมโดยช่างเขียนโปรแกรม ช่างควบคุมเครื่องจะเป็นผู้ป้อนโปรแกรมเข้าไปในระบบควบคุม ซึ่งอาจป้อนด้วยมือผ่านแป้นพิมพ์โดยตรง หรือลิงค์จากเครื่องคอมพิวเตอร์เลยก็ได้ หลังจากนั้นก็จะเดินเครื่องทดลองโปรแกรม และสังเกตสภาวะการตัดเฉือนชิ้นงานในแต่ละขั้นตอน บ่อย

ครั้งที่ช่างควบคุมเครื่องจะต้องจัดเตรียมโปรแกรมหรือเขียนโปรแกรมด้วยตนเอง หรือแก้ไขปรับปรุงโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพในการตัดเฉือนสูงสุด ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ช่างควบคุมเครื่องจะต้องมีความรู้ทั้งระบบควบคุมของเครื่องจักรกล และการเขียนโปรแกรมเอ็นซีด้วย

6.3 องค์ประกอบของเครื่องจักรกลที่ควบคุมได้

องค์ประกอบหรือชิ้นงานของเครื่องจักรกล ที่ทำหน้าที่เคลื่อนที่เข้าตัดเฉือนชิ้นงานและองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ช่วยเสริมการทำงานตัดเฉือนให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จะถูกควบคุมโดยโปรแกรมเอ็นซีด้วยวิธีการควบคุมต่าง ๆ กัน ช่างชำนาญงานที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลเอ็นซีหรือซีเอ็นซี จะต้องมีความคุ้นเคยกับหน้าที่การทำงานและขีดจำกัดในการทำงานของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีนั้นเป็นอย่างดี ช่างจะใช้วิธีการทำงานแบบง่าย ๆ โดยการจับยึดชิ้นงานเข้ากับโต๊ะงานและคาดว่าจะได้วิธีการตัดเฉือนที่ดีที่สุดไม่ได้ ในทางตรงข้ามช่างจะต้องจัดวางแผนชิ้นการทำงานไว้ล่วงหน้าเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดี ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ช่างจะต้องรู้ว่าองค์ประกอบส่วนใดของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีที่สามารถควบคุมได้ และมีวิธีการควบคุมอย่างไร องค์ประกอบของเครื่องจักรกลเอ็นซีและซีเอ็นซีที่สามารถควบคุมได้จะกล่าวถึงในที่นี้ได้แก่

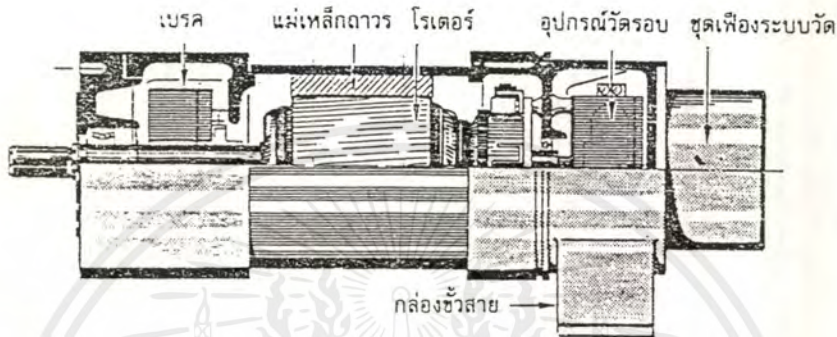
- การขับเคลื่อน (Feed Drives)
- อุปกรณ์วัดขนาด (Measuring Devices)

6.4 การขับเคลื่อน

ระบบขับเคลื่อนโดยทั่วไปจะใช้มอเตอร์กระแสตรงในการหมุนขับและควบคุมการทำงาน ด้วยวงจรรีเลย์ทรอนิกส์จากภายนอก มอเตอร์ชนิดนี้จะสามารถหมุนและเบรกให้หยุดได้ทั้งสองทิศทาง ขณะตัดเฉือนชิ้นงาน การเคลื่อนที่ป้อนจะต้องเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและสามารถต้านแรงกระทำจากภายนอกได้ เช่น แรงตัดเฉือน เป็นต้น ด้วยเหตุนี้ระบบขับเคลื่อนจึงต้องได้รับการออกแบบให้มีความแข็งแรงสูง มีการเคลื่อนที่คงที่และสม่ำเสมอ สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนอัตราป้อนได้อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ในขณะทำงาน คมตัดอาจทื่อ หรือการเคลื่อนที่ของแท่นหัวกัดถูกกีดขวาง หรือการเร่งอัตราป้อนให้เคลื่อนที่เร็วและหยุดโดยทันทีทันใด สาเหตุเหล่านี้จะทำให้มอเตอร์รับภาระมากเกินไป (Over Loading) ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องมีการป้องกันอุบัติเหตุเหล่านี้โดยทั่วไปแล้วจะใช้คลัทช์แบบลูกลิ้ง (Over Running Clutch) ร่วมกับวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ระบบขับเคลื่อนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพคือ การเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบขับเคลื่อนให้เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องจักร

6.5 มอเตอร์ (Motor)

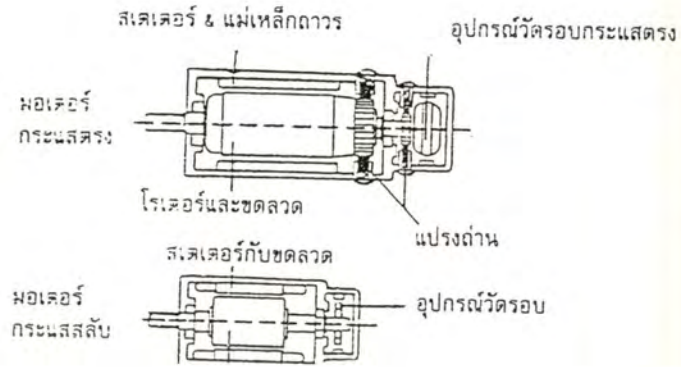
6.5.1.) มอเตอร์กระแสตรง (DC Motors) ลักษณะสร้างของมอเตอร์กระแสตรงจะใช้เป็นแม่เหล็กถาวรที่มี 4, 6 หรือ 8 ขั้วประกอบด้วยระบบเบรก (brake) แกนมอเตอร์ (Rotor) อุปกรณ์วัดรอบ (Tachogenerator) และ อุปกรณ์วัด (Measuring box) ดังรูป 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor)

การใช้มอเตอร์กระแสตรง ทำให้สามารถปรับอัตราป้อนได้ละเอียดและมีวงจรวัดความเร็วที่แม่นยำ แต่ก็มีข้อเสียตรงที่มอเตอร์ชนิดนี้ต้องใช้แปรงถ่าน ซึ่งจะต้องคอยทำความสะอาดและเปลี่ยนเมื่อแปรงถ่านหมด นอกจากนี้แปรงถ่านยังทำให้แกนมอเตอร์สึกหรออันเป็นผลทำให้กำลังมอเตอร์ลดลง ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือหากต้องการกำลังขับสูง มอเตอร์ก็จะมีขนาดใหญ่ด้วย และเมื่อใช้ความเร็วรอบสูง ๆ จะทำให้แรงบิดน้อยลง ดังนั้นจึงมักใช้กับเครื่องจักรกลเอ็นซีขนาดเล็กและขนาดกลาง

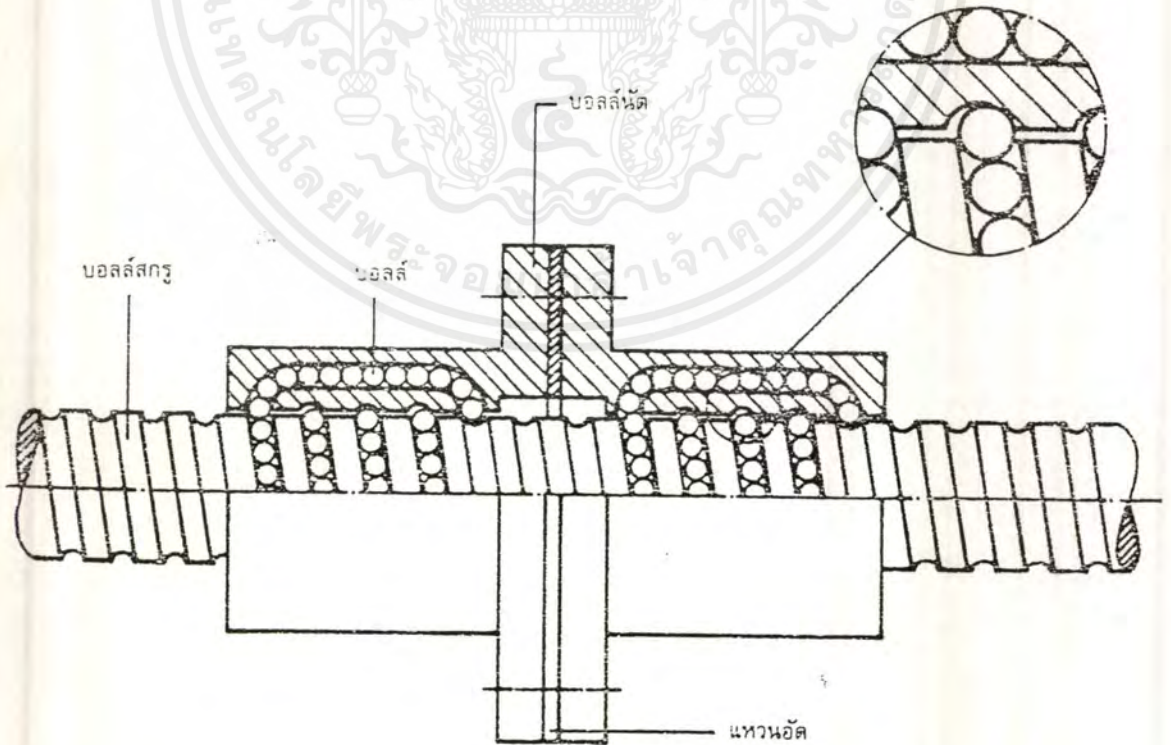
6.5.2.) มอเตอร์กระแสสลับ (Alternate-current motors) ส่วนมากจะเป็นมอเตอร์แบบซิงโครนัส (Synchronous motor) ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้คือ ไม่ต้องใช้แปรงถ่าน ทำให้สามารถลดงานบำรุงรักษาได้มาก และมอเตอร์ขนาดเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์กระแสตรง จะสามารถให้แรงบิดได้ดีกว่าและมีขนาดเล็กกว่าด้วย ดังแสดงในรูป 6.2 ส่วนข้อเสียของมอเตอร์แบบนี้คือ วงจรวัดความเร็วจะมีความซับซ้อนมากกว่าวงจรวัดความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง



รูปที่ 6.2 แสดงมอเตอร์กระแสสลับ (Alternate-current motors)

6.6 บอลล์สกรู (Ball Screws)

หัวใจของระบบขับเคลื่อนของเครื่องจักรกลซีเอ็นซีก็คือ การส่งกำลังขับเคลื่อนด้วยบอลล์สกรู ซึ่งจะมีลูกบอลไหลหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา บอลล์สกรูจะประกอบด้วยสกรูกับนัตที่มีลักษณะเป็นเกลียวกลม ร่องเกลียวกลมบนสกรู และในนัตจะขุมแข็งและเฉียระไนผิวเรียบมันเพื่อลดความฝืดและเพิ่มความเที่ยงขนาดในการเคลื่อนที่ดังแสดงในรูป 6.3



รูปที่ 6.3 แสดงการส่งกำลังขับเคลื่อนด้วยบอลล์สกรู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมอเตอร์หมุนขับเคลื่อน นัตก็จะเคลื่อนที่ไปตลอดความยาวของสกรู พาให้แทนเลื่อน และหัวกัตเคลื่อนที่ไปตามรางเลื่อน ภายในของตัวนัตจะประกอบด้วยชุดของลูกบอลจำนวนมาก ดังแสดงในรูป 6.3 ทำให้มั่นใจได้ว่า ความเสียดทานในการส่งกำลังขับเคลื่อนไปยังแทนเลื่อนจะมีน้อยมาก นัตจะถูกแบ่งออกเป็นสองซีก และชั้นประกอบยึดเข้าด้วยกันโดยมีการเตรียมอัดแรงไว้ก่อน (Preloaded) ทำให้สามารถลดระยะคลอน (Backlash) ให้เหลือน้อยที่สุดจนแทบจะไม่มีเลยก็ได้ ทำให้การเคลื่อนที่ของแทนเลื่อนมีความเที่ยงตรงสูง สามารถทำงานซ้ำๆ กันได้

6.7 อุปกรณ์วัดขนาด

การเคลื่อนที่ของหัวกัตจะได้รับกำลังขับเคลื่อนมาจากการหมุนของบอลสกรู อุปกรณ์เปลี่ยนค่าวัด จะบันทึกการเคลื่อนที่หมุนของแผ่นจานสัญญาณ ที่ติดติดอยู่กับบอลสกรูและส่งต่อไปยังระบบควบคุมของเครื่อง ระบบควบคุมก็จะใช้สัญญาณที่ได้รับนี้ไปคำนวณหาระยะทางการเคลื่อนที่ของหัวกัตจากสัญญาณการหมุนของแผ่นจานสัญญาณ ดังรูป 6.4



รูปที่ 6.4 แสดงอุปกรณ์วัดขนาด

6.8 สัญลักษณ์และรหัสคำสั่ง

6.8.1.) สัญลักษณ์และตัวอักษร

สัญลักษณ์ ตัวอักษร	ความหมาย	ช่วงป้อนข้อมูล	
		ค่าตัวเลข	พารามิเตอร์
%	เริ่มต้นโปรแกรมหรือเรียกใช้โปรแกรม	0-99999999	-
A	แนวแกนหมุนรอบแกน X	± 30000.000	Q0-Q99
B	แนวแกนหมุนรอบแกน Y	± 30000.000	Q0-Q99
C	แนวแกนหมุนรอบแกน Z	± 30000.000	Q0-Q99
D	นิยามของพารามิเตอร์	0-12	-
F	อัตราป้อน	0-15999	Q0-Q99
F	เวลาหยุดแช่ในคำสั่ง G04	0-19999.999	Q0-Q99
F	แฟคเตอร์ของการย่อ/ขยายในคำสั่ง G72	0-99.999	-
G	คำสั่งเตรียมการทำงาน	0-99	-
H	มุมของโพลาริโคออดิเนตแบบลูกโซ่	± 5400.000	Q0-Q99
H	มุมของโพลาริโคออดิเนตแบบสัมบูรณ์	± 360.000	Q0-Q99
H	มุมของการหมุนในคำสั่ง G73	± 360.000	Q0-Q99
I	โคออร์ดิเนตแกน X ของศูนย์กลางวงกลม	± 30000.000	Q0-Q99
J	โคออร์ดิเนตแกน Y ของศูนย์กลางวงกลม	± 30000.000	Q0-Q99
K	โคออร์ดิเนตแกน Z ของศูนย์กลางวงกลม	± 30000.000	Q0-Q99
L	การตั้งหมายเลขโปรแกรมย่อยในคำสั่ง G98	0-254	-
L	การกระโดดข้ามไปที่หมายเลขโปรแกรมย่อย	1- 254.65535	-
L	ความยาวเครื่องมือในคำสั่ง G99	± 30000.000	Q0-Q99
M	คำสั่งช่วยการทำงาน	0-99	-
N	หมายเลขบรรทัดในโปรแกรม	1-9999 1-65534	- -
P	พารามิเตอร์ในวัฏจักรการตัดเฉือน	01 - 07	-
P	พารามิเตอร์ในนิยามพารามิเตอร์	01 - 03	-
Q	พารามิเตอร์ของโปรแกรม	0 - 99	-
R	รัศมีของโพลาริโคออดิเนต	± 30000.000	Q0-Q99
R	รัศมีโค้งในคำสั่ง G25/G26/G27	0 - 19999.999	Q0-Q99
R	ความยาวลบมุมเส้นตรงในคำสั่ง G24	0 - 19999.999	Q0-Q99
R	รัศมีเครื่องมือในคำสั่ง G99	± 30000.000	Q0-Q99
S	ความเร็วรอบ	0 - 9000.000 0 - 30000.000	- -

สัญลักษณ์ ตัวอักษร	ความหมาย	ช่วงป้อนข้อมูล	
		ค่าตัวเลข	พารามิเตอร์
R	รัศมีของโพลาริโคออดิเนต	± 30000.000	Q0-Q99
R	รัศมีโค้งในคำสั่ง G25/G26/G27	0 - 19999.999	Q0-Q99
R	ความยาวลบมุมเส้นตรงในคำสั่ง G24	0 - 19999.999	Q0-Q99
R	รัศมีเครื่องมือในคำสั่ง G99	± 30000.000	Q0-Q99
S	ความเร็วรอบ	0 - 9000.000 0 - 30000.000	- -
T	รายละเอียดของเครื่องมือในคำสั่ง G99	0 - 254	-
T	เรียกใช้เครื่องมือ	0 - 254	-
U	แนวแกนย่อยที่ขนานกับแกน X	± 30000.000	Q0 - Q99
V	แนวแกนย่อยที่ขนานกับแกน Y	± 30000.000	Q0 - Q99
W	แนวแกนย่อยที่ขนานกับแกน Z	± 30000.000	Q0 - Q99
X	คำสั่งในแนวแกน X	± 30000.000	Q0 - Q99
Y	คำสั่งในแนวแกน Y	± 30000.000	Q0 - Q99
Z	คำสั่งในแนวแกน Z	± 30000.000	Q0 - Q99
*	สิ้นสุดบรรทัด	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.8.2.) คำสั่งรหัส G

คำสั่งรหัส G-CODE	ความหมาย / การทำงาน
G00	การแทนที่แนวเส้นตรงแบบเคลื่อนที่เร็ว
G01	การแทนที่แนวเส้นตรง
G02	การแทนที่แนวส่วนโค้งตามเข็มนาฬิกา
G03	การแทนที่แนวส่วนโค้งทวนเข็มนาฬิกา
G04	เวลาหยุดแช่
G05	การแทนที่แนวส่วนโค้งแบบไม่ต้องกำหนดข้อมูลทิศทางของการเคลื่อนที่
G06	การแทนที่แนวส่วนโค้งที่สัมพันธ์กับขอบรูป
G07	บรรทัดโปรแกรมที่มีแนวแกนเดียว
G10	การแทนที่แนวเส้นตรงแบบเคลื่อนที่เร็วโดยกำหนดตำแหน่งเป็นโพลาร์โคออร์ดิเนต
G11	การแทนที่แนวเส้นตรงที่กำหนดตำแหน่งเป็นโพลาร์โคออร์ดิเนต
G12	การแทนที่แนวส่วนโค้งตามเข็มนาฬิกาโดยกำหนดตำแหน่งเป็นโพลาร์โคออร์ดิเนต
G13	การแทนที่แนวส่วนโค้งทวนเข็มนาฬิกาโดยกำหนดตำแหน่งเป็นโพลาร์โคออร์ดิเนต
G15	การแทนที่แนวส่วนโค้งแบบไม่กำหนดทิศทางโดยกำหนดตำแหน่งเป็นโพลาร์โคออร์ดิเนต
G17	เลือกระนาบการทำงาน X,Y เครื่องมืออยู่ในแนวแกน Z
G18	เลือกระนาบการทำงาน X,Z เครื่องมืออยู่ในแนวแกน Y
G19	เลือกระนาบการทำงาน Z,Y เครื่องมืออยู่ในแนวแกน X
G24	ลบคมเส้นตรงด้วยระยะ R
G25	ลบคมเส้นโค้งด้วยรัศมี R
G26	การเคลื่อนที่เข้าหาขอบรูปแนวเส้นสัมผัสด้วยรัศมี R
G27	การเคลื่อนที่ออกจากขอบรูปแนวเส้นสัมผัสด้วยรัศมี R
G28	การทำภาพเหมือนกลับด้าน (Mirror Image)
G29	ส่งถ่ายค่าตำแหน่งสุดท้ายเป็นจุดเริ่มต้น
G30	ขนาดวัสดุ (Blank) สำหรับการถ่ายภาพกราฟฟิค-จุดต่ำสุด
G31	ขนาดวัสดุ (Blank) สำหรับการถ่ายภาพกราฟฟิค-จุดสูงสุด
G38	บรรทัดที่หยุดการทำงานของโปรแกรม
G39	เรียกใช้โปรแกรมผ่านคำสั่ง G79
G40	ยกเลิกการชดเชยขนาดรัศมีมีดกัดตามเส้นขอบรูป
G41	ยกเลิกการชดเชยขนาดรัศมีมีดกัดด้านซ้ายของเส้นขอบรูป
G42	ยกเลิกการชดเชยขนาดรัศมีมีดกัดด้านขวาของเส้นขอบรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งรหัส G-CODE	ความหมาย / การทำงาน
G43	การชดเชยขนาดความยาวของเครื่องมือที่มีค่าเป็น +
G44	การชดเชยขนาดความยาวของเครื่องมือที่มีค่าเป็น -
G50	ลบหรือยกเลิกการป้องกัน
G54	การย้ายจุดอ้างอิง
G55	การใช้หัววัด (Touch Probe) ที่อ้างอิงจากผิวงาน
G70	ป้อนข้อมูลเป็นนิ้ว (ขณะเริ่มโปรแกรม)
G71	ป้อนข้อมูลเป็นเมตร (ขณะเริ่มโปรแกรม)
G72	การย่อ/ขยาย
G73	การหมุนระบบโคออร์ดิเนต
G74	การกัดร่อง
G75	การกัดเข้าสี่เหลี่ยมตามเข็มนาฬิกา
G76	การกัดเข้าสี่เหลี่ยมทวนเข็มนาฬิกา
G77	การกัดเข้าทรงกระบอกตามเข็มนาฬิกา
G78	การกัดเข้าทรงกระบอกทวนเข็มนาฬิกา
G79	เรียกใช้วัฏจักรการทำงาน
G83	วัฏจักรการเจาะรู
G84	วัฏจักรการตีปเกลียว
G90	การกำหนดขนาดแบบสัมบูรณ์
G91	การกำหนดขนาดแบบต่อเนื่องหรือแบบลูกโซ่
G98	การกำหนดหมายเลขโปรแกรมย่อย
G99	การกำหนดรายละเอียดของเครื่องมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.8.3.) คำสั่งรหัส M

คำสั่งรหัส	ความหมาย / การทำงาน	ผลการทำงาน	
		เริ่มต้นบรรทัด	สิ้นสุดบรรทัด
M00	หยุดการทำงานของโปรแกรม เพลงงานหยุดหมุน สารหล่อเย็นหยุดไหล		o
M02	หยุดการทำงานของโปรแกรม เพลงงานหยุดหมุน สารหล่อเย็นหยุดไหล เลื่อนกลับไปบรรทัดที่ 1		o
M03	เพลงงานหมุนตามเข็มนาฬิกา	o	
M04	เพลงงานหมุนทวนเข็มนาฬิกา	o	
M05	เพลงงานหยุดหมุน		o
M06	เปลี่ยนเครื่องมือ โปรแกรมหยุดการทำงาน (ขึ้นอยู่กับการตั้งพารามิเตอร์ของเครื่อง) เพลงงานหยุดหมุน, สารหล่อเย็นหยุดไหล		o
M08	เปิดสวิตช์สารหล่อเย็น	o	
M09	ปิดสวิตช์สารหล่อเย็น		o
M13	เพลงงานหมุนตามเข็มนาฬิกาและเปิดสวิตช์สารหล่อเย็น	o	
M14	เพลงงานหมุนทวนเข็มนาฬิกาและเปิดสวิตช์สารหล่อเย็น	o	
M30	สิ้นสุดโปรแกรมและเลื่อนกลับไปบรรทัดแรก		o
M89	เรียกใช้วัฏจักรการทำงาน		o
M90	ความเร็วการเคลื่อนที่ตามมุมของขอบรูปคงที่	o	
M91	ในบรรทัดของการกำหนดตำแหน่ง ระบายอ้างอิงของชิ้นงานจะถูกแทนที่ด้วยจุดอ้างอิง	o	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งรหัส	ความหมาย / การทำงาน	ผลการทำงาน	
		เริ่มต้นบรรทัด	สิ้นสุดบรรทัด
M92	ในบรรทัดของการกำหนดตำแหน่ง ระบุอ้างอิงของชิ้นงานจะถูกแทนที่ด้วยตำแหน่งที่กำหนดโดยผู้ผลิตเครื่องจักรกลด้วยค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรกล เช่น ตำแหน่งเปลี่ยนเครื่องมือเป็นต้น	o	
M93	รหัสคำสั่ง M สำรองสำหรับ HEIDENHAIN	o	
M94	การลดค่าการแสดงผลของแกน C ให้น้อยกว่า 360 องศา	o	
M95	การปรับการเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน (เส้นทางเดินเข้าหาชิ้นงาน เล็กกว่า 180 องศา)		o
M96	การปรับการเคลื่อนที่เข้าหาชิ้นงาน (เส้นทางเดินเข้าหาชิ้นงาน โตกว่า 180 องศา)		o
M97	การแก้ไขจุดตัดของเส้นทางมีดกัดให้ถูกต้องสำหรับมุมภายนอก		o
M98	สิ้นสุดการชดเชยเส้นทางมีดกัด ขณะมีดกัดเคลื่อนที่ออกจากชิ้นงาน		o
M99	เรียกใช้วัฏจักรการทำงาน		o

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ทฤษฎีของ CAD/CAM

7.1 ทฤษฎีของ CAD/CAM

CAD (Computer Aided Design) และ CAM (Computer Aided Manufacturing) เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการออกแบบ (Design) และกระบวนการผลิต (Manufacturing) ตามลำดับ โดยในหัวข้อนี้ เราจะอธิบายถึง CAD , CAM และ CAD/CAM Tools โดยพื้นฐานของการนำไปใช้งานจริง การใช้ CAD/CAM ในเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

จากส่วนประกอบต่างๆ เราอาจกล่าวได้ว่าเครื่องมือทาง CAD (CAD Tools) เป็นส่วนร่วมกัน (Intersect) ของ 3 เขตย่อย คือ รูปทางเรขาคณิต (Geometric Modeling) คอมพิวเตอร์กราฟฟิค (Computer Graphics) และเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบ (Design Tools) ความหมายโดยรวมคือ แนวความคิดในการใช้รูปแบบทางเรขาคณิตและคอมพิวเตอร์กราฟฟิคมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบนั่นเอง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้วเครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ (CAD Tools) ก็เหมือนกับเครื่องมือชิ้นหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบ (Design Tools) { คำสั่งในการวิเคราะห์ (Analysis Codes) , กระบวนการหรือชุดโปรแกรมที่ทำให้ผู้ใช้สามารถเรียนรู้ได้เอง (Heuristic Procedure) แบบฝึกหัดในการออกแบบ (Design Practice) ฯลฯ } ร่วมกับฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ซึ่งส่วนของการพัฒนาด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ เป็นตัวชี้ระดับความสามารถของระบบ CAD/CAM แต่ละระบบรวมถึง เครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ (CAD Tools) ด้วย โดยทั่วไปนักออกแบบจะต้องการเครื่องมือ (Tools) ซึ่งสามารถช่วยในการแก้ปัญหาที่รวดเร็วและเชื่อถือได้กับปัญหาพวกที่ต้องการทำซ้ำ (Iterations) และทดสอบกับตัวแปรมากกว่าหนึ่งตัว

จุดประสงค์ใหญ่ของนิยาม CAD/CAM ข้างต้นคือ

1. เพื่อขยายประโยชน์ที่ได้จากระบบ CAD/CAM นอกเหนือออกไปจากการเขียนแบบ (Drafting) และการทำให้เหมือนของจริง (Visualization)
2. เพื่อปรับปรุงระบบ CAD/CAM ในปัจจุบันให้ใช้กับการออกแบบและวิเคราะห์ในกรณีพิเศษที่ต้องการ
3. เพื่อชักนำให้มีการพัฒนาระบบ CAD/CAM ในการออกแบบ (Design) และกระบวนการผลิต (Manufacturing Process) ให้ดียิ่งๆ ขึ้นไป

ในส่วน of เครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ (CAD Tools) สามารถนิยามได้ว่าเป็นส่วนร่วมกัน (Intersection) ของส่วน 3 ส่วน คือเครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ (CAD Tools) , แนวคิดของเครือข่ายการทำงาน (Networking Concepts) และ เครื่องมือในการผลิต (Manufacturing Tools) ส่วนประกอบที่สำคัญที่ช่วยส่งเสริม CAM ไปสู่สิ่งแวดล้อมในการผลิต (Manufacturing Environment) มีตัวประกอบหลักที่ช่วยให้ประสบความสำเร็จในการสนับสนุนอยู่ 2 ตัว คือ

1. การเชื่อมต่อระหว่าง CAD และ CAM ต้องเป็นแบบ 2 ทาง คือ ผู้ออกแบบ (Designer) ต้องนึกถึงความต้องการของวิศวกรการผลิตที่ทำงาน CAM และวิศวกรการผลิตต้องคิดว่า ผู้ออกแบบ (Designer) ที่ทำงานในส่วนของ CAD ต้องการอะไร
2. เลือกระบบ CAM (ทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์) ใดๆ ก็จะทำให้เหมาะสมในการผลิต CAD/CAM Tools ซึ่งเป็นผลของส่วนร่วมกัน (Intersection)

7.2 CAD/CAM ในงานอุตสาหกรรม

ในอดีต CAD/CAM ใช้ในงานอุตสาหกรรมอากาศยาน , อุตสาหกรรมรถยนต์ และอุตสาหกรรมต่อเรือ แต่ต่อมามีการใช้ในอุตสาหกรรมอย่างอื่นแพร่หลายขึ้น เช่น การแกะสลัก การหล่อ เป็นต้น เทคโนโลยีทางด้าน CAD/CAM ช่วยลดช่องว่างระหว่างการสร้างสรรค์เทคโนโลยี , การจัดการ และการใช้ระบบ CAD/CAM ภาพที่ 7.4 แสดงชนิดของระบบ CAD/CAM ในงานอุตสาหกรรม

ส่วนประกอบของระบบ CAD/CAM ที่สำคัญ คือ รูปแบบทางเรขาคณิต(Geometric Modeling),กราฟฟิค (Graphics) , การออกแบบ (Design) , การผลิต (Manufacturing) และโปรแกรมมิ่งซอฟต์แวร์ (Programming Software) ในส่วนโมเดลลิ่ง (Modeling) มี 3 ชนิด คือ วายร์เฟรมโมเดลลิ่ง (Wireframe Modeling) , เซอร์เฟสโมเดลลิ่ง (Surface Modeling) และโซลิดโมเดลลิ่ง (Solid Modeling)

กราฟฟิค (Graphics) ประกอบไปด้วย การเปลี่ยนรูปทรงเรขาคณิต (Geometric Transformations) , การเขียนแบบ (Drafting) , ส่วนตัวหนังสือ (Documentation) , การให้แสงเงา (Shading) , การให้สี (Coloring) , การแบ่งชั้นภาพ (Layering) นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์การใช้งานอื่นอีก คือ การคำนวณหาคุณสมบัติของมวลวัตถุ , การทำการวิเคราะห์ไฟไนต์อีลิเมนต์[Finite Element Analysis (FEA)],การทำการวิเคราะห์ไฟไนต์โมเดลลิ่ง (Finite Modeling Analysis) , การจำลองแบบการเคลื่อนที่(Mechanisms Modeling) และการเช็คขอบเขต (Interference Checking)

ในการออกแบบอาจต้องมีการเขียนโปรแกรมเพื่อช่วยในการทำงานเชื่อมต่อระหว่างระบบของเราและตัวซอฟต์แวร์ จากการทำผ่านขั้นตอนต่างๆ ข้างบนมาแล้วโมเดล (Model) ของเราก็พร้อมจะถูกส่งไปยังส่วนของ CAM ซึ่งประกอบด้วยการวางแผนการทำงาน (Process Planning) , การสร้างทางเดินมีดกัด (Tool path) , การตรวจสอบ (Inspection) และการประกอบชิ้นงาน (Assembly) ตามลำดับ

7.3 การประยุกต์ CAD/CAM ในงานเครื่องกล

1. การเขียนแบบ 2 มิติ (Two-Dimensional Drafting)

ในการวาดรูป 2 มิติ ซอฟต์แวร์ทางด้าน CAD/CAM สามารถวาดรูปที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะสามารถวาดลงบนกระดาษได้ สามารถตรวจสอบได้และแก้ไขแบบได้สะดวกรวดเร็ว รวมทั้งยังเชื่อมต่อในส่วนการผลิตและส่วนทำ เอ็นซี โปรแกรม (NC Program) ได้

2. ที่เก็บสัญลักษณ์ (Symbol Libraries)

ในการวาดรูปที่มีลักษณะเหมือนกันหลายๆ ครั้ง เราสามารถทำรูปนั้นเก็บไว้ในห้องสมุดภาพ(Libraries) ได้ เมื่อจะใช้งานก็สามารถเรียกออกมาใช้ได้อย่างสะดวกรวดเร็ว

3. การทำรายงานทั่วไป (Report Generation)

ส่วนประกอบไมโครแคด (MicroCAD) ส่วนมากสามารถให้ความสะดวกในการทำรายงานและรายการวัสดุ ในรายงานต่างๆ จะให้ข้อมูลราคา รายการวัสดุ สี และชนิดวัสดุ ซึ่งสามารถแสดงบนหน้าจอให้เห็นหรือจะไม่แสดงบนหน้าจอให้เห็นก็ได้

ซอฟต์แวร์ไมโครแคด (MicroCAD) ให้ความสะดวกในการเก็บข้อมูลรายการต่างๆ ในรูปของไฟล์ (File) ไฟล์เหล่านี้ถูกอ่านและจัดการโดยโปรแกรมตัวอื่น โดยเขียนด้วยภาษาเบสิก (Basic) , แอลไอเอสพี (LISP) หรือภาษาอื่นๆ

4. การออกแบบพารามेटริก (Parametric Design)

เกี่ยวกับการออกแบบพารามेटริก (Parametric Design) นี้ ภาพที่วาดจะเก็บไว้บนแผ่นดิสค์ มิติของวัตถุยังเป็นตัวแปร เช่น เมื่อสกรูถูกแทรกบนหน้าจอ ผู้ใช้จะต้องใส่ค่าข้อมูล (เช่น ชนิดของหัว , ความยาว , เส้นผ่าศูนย์กลาง เป็นต้น) ลงไปจากนั้น สกรูเหมือนกันจะถูกสร้างขึ้นซึ่งการทำเช่นนี้จะให้ความสะดวกแก่เราอย่างมากในการสร้างแบบ

5. การทำ 3 มิติ

6. การทำไฟไนต์อีลิเมนต์[Finite Element Analysis (FEA)]

7. งานการผลิต (Manufacturing)

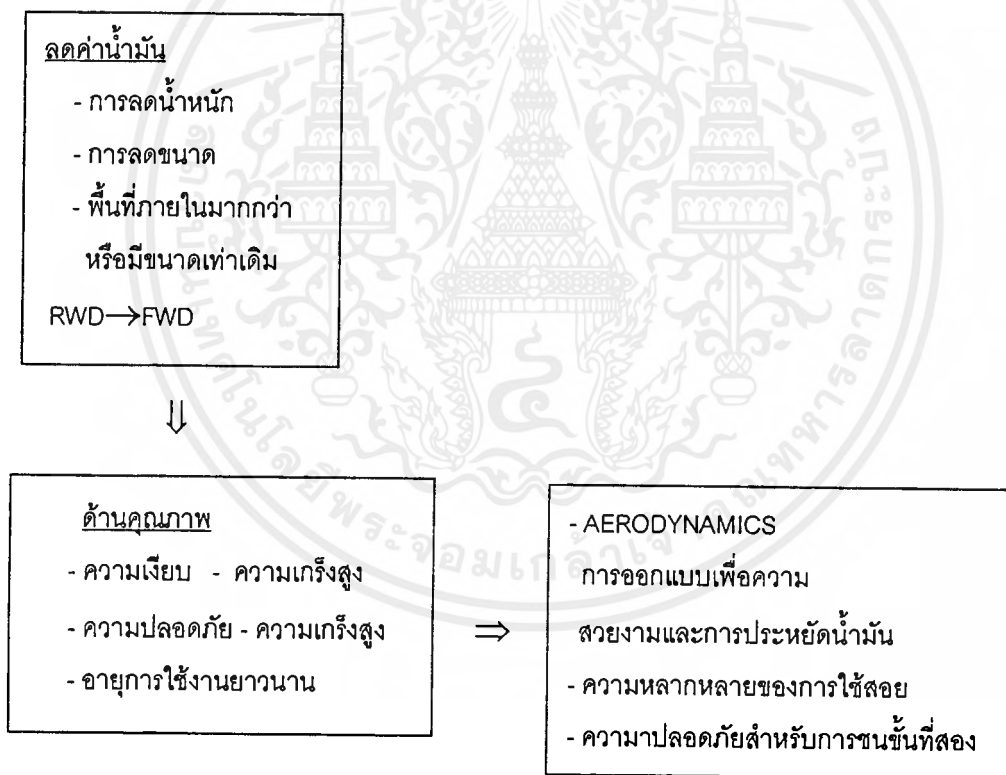
บทที่ 8

กรรมวิธีในการพัฒนารูปแบบโครงสร้าง

8.1 สิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการพัฒนารูปแบบโครงสร้าง

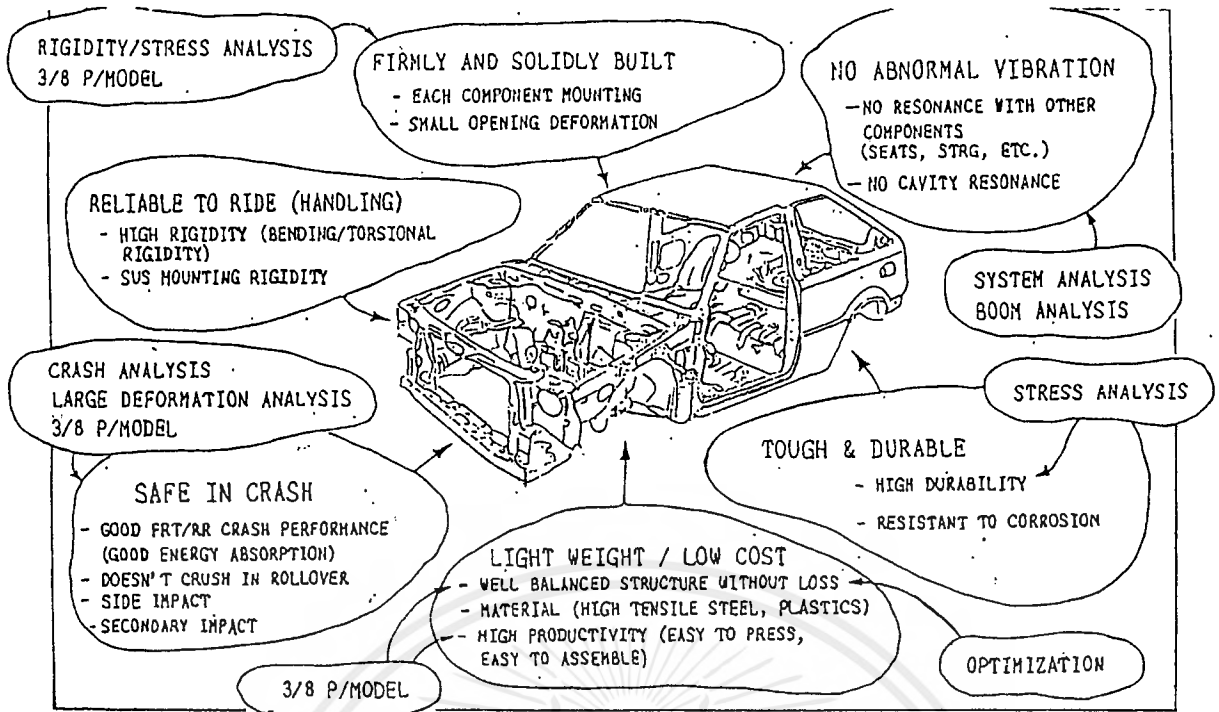
- 1.) สิ่งที่สำคัญสำหรับการพัฒนาความสามารถของโครงสร้างตัวถัง
- 2.) สิ่งที่สำคัญสำหรับการพัฒนาความสามารถในการออกแบบ
- 3.) กรรมวิธีเพื่อให้ได้ตามข้อ 1.) คล้ายกับการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (Numerical Analysis)
- 4.) กรรมวิธีเพื่อให้ข้อ 2.) คล้ายกับรูปแบบพลาสติก 3/8 (Analogous)
- 5.) การนำหลักการวิเคราะห์เชิงตัวเลขไปใช้อย่างถูกต้อง, รูปแบบพลาสติก 3/8 ร่วมกับกรรมวิธีทาง CAD
- 6.) การร่นระยะเวลาในการพัฒนาโดยกรรมวิธีการ Front Loading

8.2 อิทธิพลของโครงสร้างตัวถัง



- ช่วงต้นของทศวรรษที่ 1990 →
- 1) การรักษาสภาพแวดล้อม-การทำกรรีไซเคิล
 - 2) การประหยัดพลังงาน -การประหยัดน้ำมัน
 - 3) ความปลอดภัยของยานพาหนะ - การรับแรงอัดด้านข้าง , ถุงลมนิรภัย (Airbag)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.1 ลักษณะจำเพาะและวิธีการวิเคราะห์ที่ต้องการบนตัวถังรถยนต์

8.3 การวิเคราะห์ทางด้านสถิตศาสตร์ (STATICS)

8.3.1. ความจำเป็นของการวิเคราะห์ STATICS

- 1.) ใช้พัฒนาความแข็งแรงของโครงสร้างเพื่อเพิ่มความมั่นคงทางการขับขี่และความปลอดภัย
- 2.) เพื่อความมั่นคงทางด้านความแข็งแรง
- 3.) เพื่อความแน่นอนของแรง/ความแข็งแรงของทุกชิ้นส่วนและรอยต่อระหว่างชิ้นส่วนเหล่านั้น
- 4.) ลดน้ำหนักโดยการเพิ่มระดับความแข็งแรงและการนำความรู้ทางความเค้นมาใช้
- 5.) เพื่อความแน่นอนของคุณค่าผลิตภัณฑ์โดยการป้องกันการเบี่ยงของวัสดุ

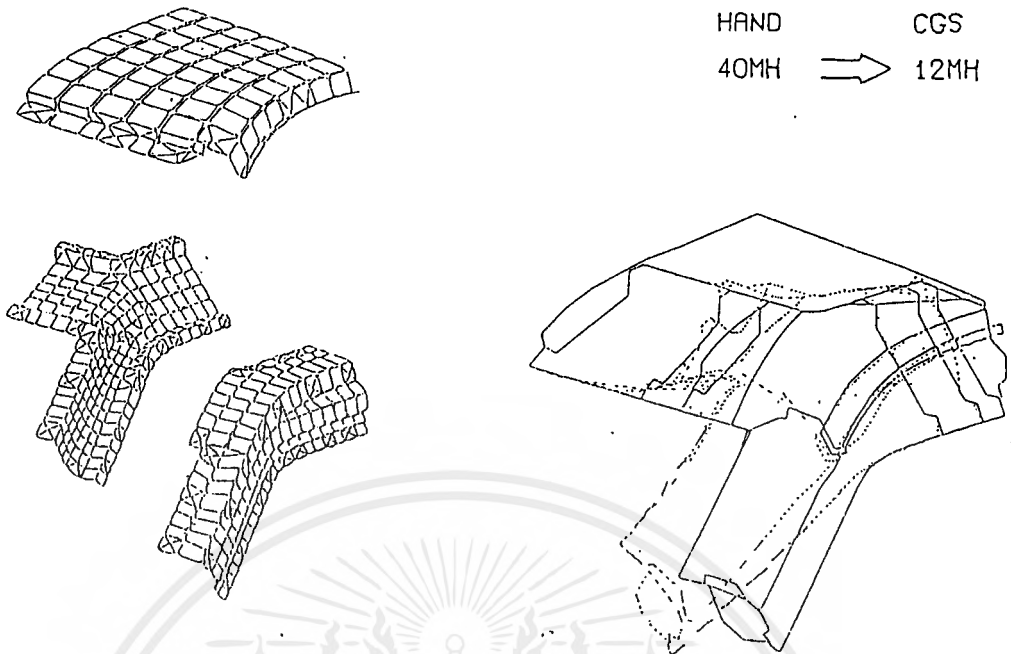
8.3.2. แนวทางที่ใช้ในปัจจุบัน

- 1.) การวิเคราะห์การโก่งงอ/การบิดของโครงสร้างโดยการวิเคราะห์เป็นชิ้นเดียวกัน
- 2.) การวิเคราะห์ความเค้นของทุกชิ้นส่วน
- 3.) การวิเคราะห์ความแข็งแรง/ความแข็งแรงของทุกชิ้นส่วน
- 4.) การสังเกต
- 5.) รูปลักษณะของการป้องกันการยุบตัวของโครงสร้าง

8.3.3 โปรแกรม (Software) ที่ใช้

- 1.) NASTRAN
- 2.) ABAQUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.2 การวิเคราะห์ชิ้นส่วนเกร็ง

8.4 การวิเคราะห์สำหรับการชน

8.4.1 ความจำเป็นสำหรับการวิเคราะห์การชน

- 1.) ลดจำนวนรูปแบบของรถยนต์โดยการตัดค่าของความเสียหายประกอบเข้ากับการออกแบบรูปลักษณะพื้นฐานของรถยนต์ให้เหมาะสม
- 2.) พัฒนาและออกแบบโครงสร้างตัวถังเพื่อลดอุบัติเหตุรถชน
- 3.) พัฒนาและออกแบบโครงสร้างตัวถังเพื่อลดอุบัติเหตุชั้นสอง

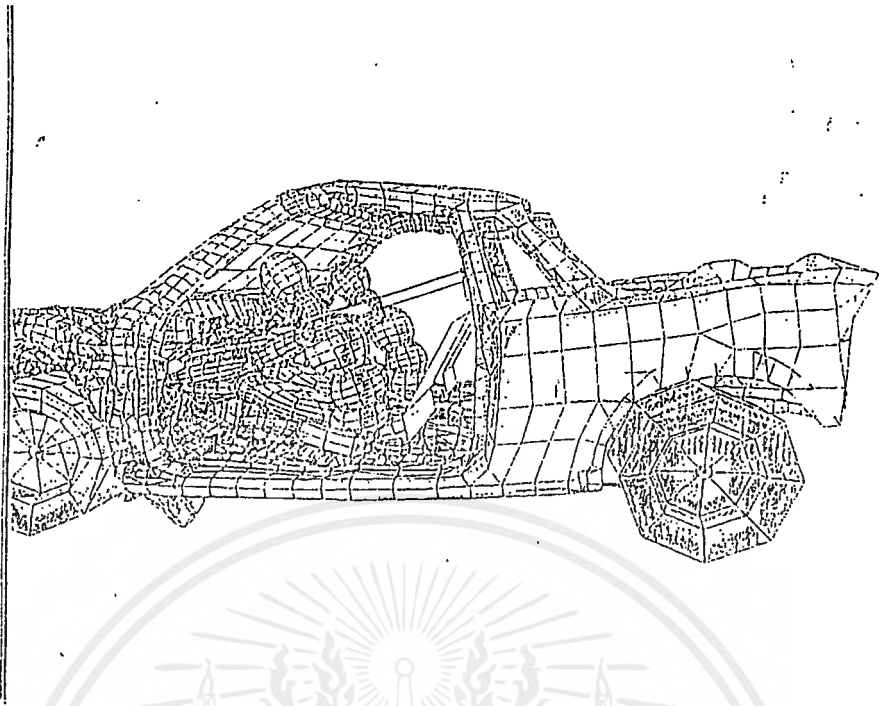
8.4.2 กรรมวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

- 1.) การวิเคราะห์การชนด้านหน้าด้วยความเร็วสูง
- 2.) เข้าใจถึงระดับพลังงานที่ถูกดูดซึมโดยชิ้นส่วนที่แข็ง
- 3.) ปริมาณการยุบตัวเนื่องจากการชน
- 4.) วิเคราะห์ปฏิกิริยาของหุ่นทดลองที่อยู่ในรถขณะชน

8.4.3 โปรแกรม (Software) ที่ใช้

- 1.) NASTRAN
- 2.) ABAQUS
- 3.) PAM - CRASH
- 4.) MVMA - 2D , MADYMO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.3 การจำลองการชนบนคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม PAM-CRASH

8.5 การวิเคราะห์ระดับเสียง

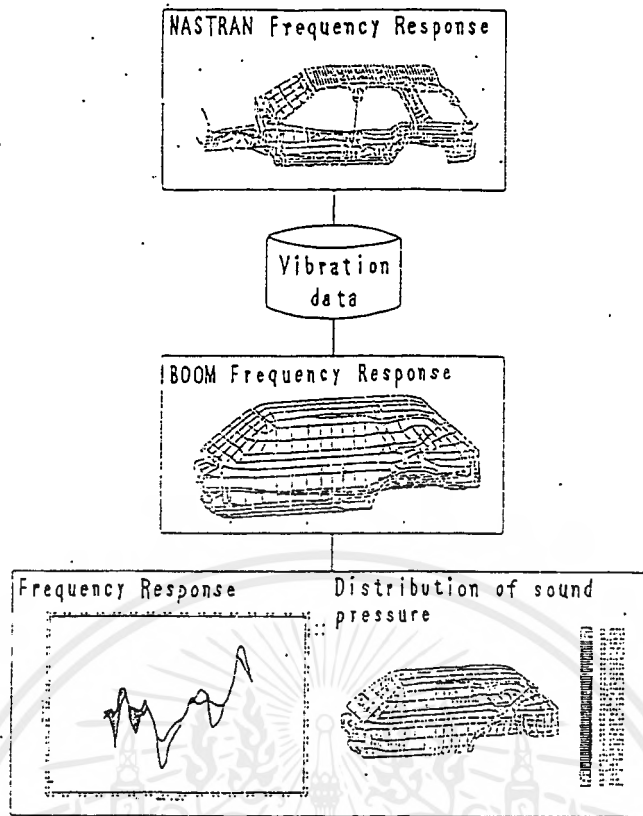
8.5.1. ความจำเป็นของการวิเคราะห์ระดับเสียง

- 1.) ความเงียบของเสียงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะพัฒนาโครงสร้างให้ได้ระดับเสียงที่เงียบที่สุดเท่าที่เป็นไปได้
- 2.) ไม่สามารถที่จะแข่งขันในตลาดโดยใช้วิธีการควบคุมเสียงแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) โดยวิธีการวัดระดับเสียงจากชิ้นส่วนของรถยนต์ที่สำเร็จรูป การวิเคราะห์ลักษณะเสียงที่เกิดจากโครงสร้างในขั้นตอนการออกแบบมีความจำเป็นอย่างยิ่ง

8.5.2. แนวทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

- 1.) การกำหนดของเสียงภายในช่องว่างของชิ้นส่วนรถยนต์
- 2.) การตีค่าของเสียงที่เกิดจากลักษณะโครงสร้างรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

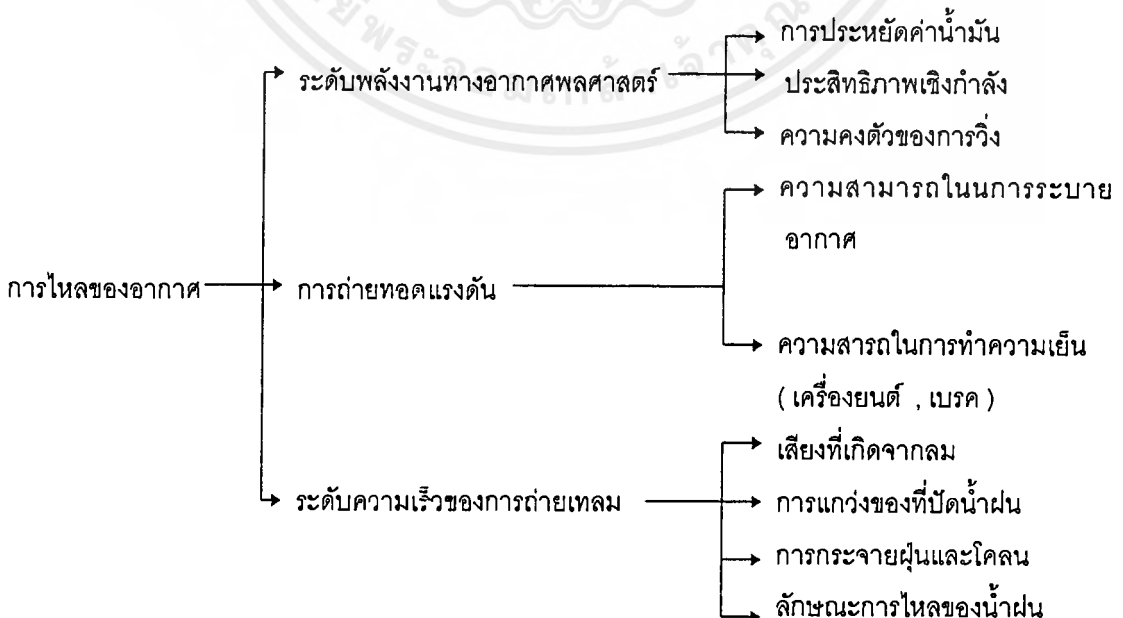


รูปที่ 8.4 แผนภาพแสดงการวิเคราะห์ระดับเสียง

8.6 การวิเคราะห์ทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics)

8.6.1. ความจำเป็นของการวิเคราะห์ทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics)

1.) ปรับปรุงทางด้านอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamics) - ความสัมพันธ์ระหว่างระดับคุณภาพเชิงอากาศพลศาสตร์ และประโยชน์ใช้สอยโดยการคาดคะเนลักษณะโครงสร้างทางอากาศพลศาสตร์ล่วงหน้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) การร่นระยะเวลาของการพัฒนาโดยการคำนวณ C_0 และ C_1 ที่ระยะเริ่มต้นของการพัฒนา

8.6.2. แนวทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

- 1.) แนวทางสำหรับการลดค่าของ C_0
- 2.) การป้องกันการผิดรูปของน้ำมัน
- 3.) ความสามารถในการเย็นตัวของเครื่องยนต์ -- การเปิดตัว Bumper ฯลฯ
- 4.) การลดระดับเสียงที่เกิดจากลม
- 5.) การระบายอากาศภายในห้องผู้โดยสาร

8.7 ความจำเป็นสำหรับกรรมวิธีการ Front Loading

- 1.) เพิ่มประสิทธิภาพในการออกแบบ
- 2.) ลดต้นทุนการผลิตสำหรับอุปกรณ์และแบบจำลอง / แบบทดสอบ
- 3.) ร่นระยะเวลาในการพัฒนา

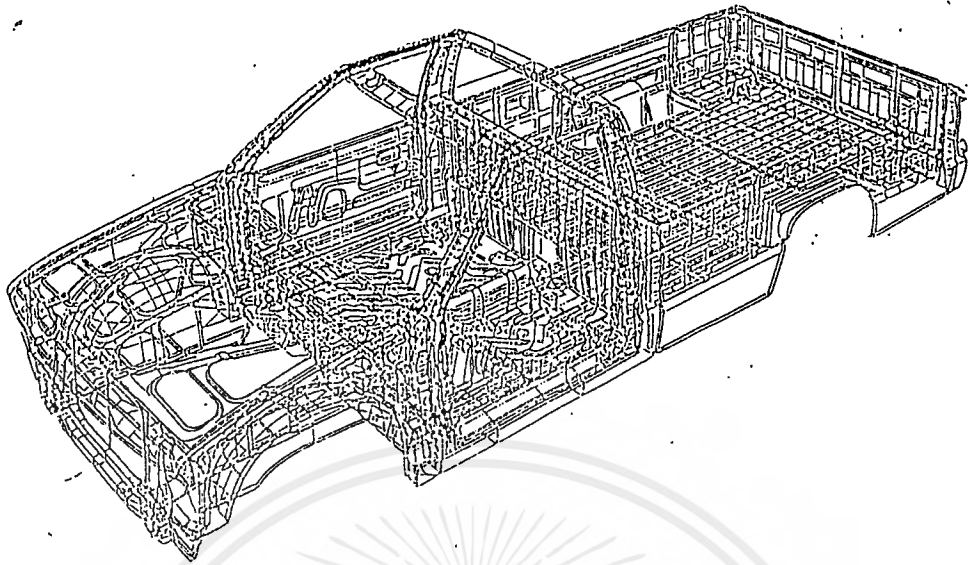
8.8 การพัฒนาโครงสร้างรถยนต์และ CAD/CAM

8.8.1. กรรมวิธีในการออกแบบโครงสร้างของรถยนต์ในระดับพื้นฐาน

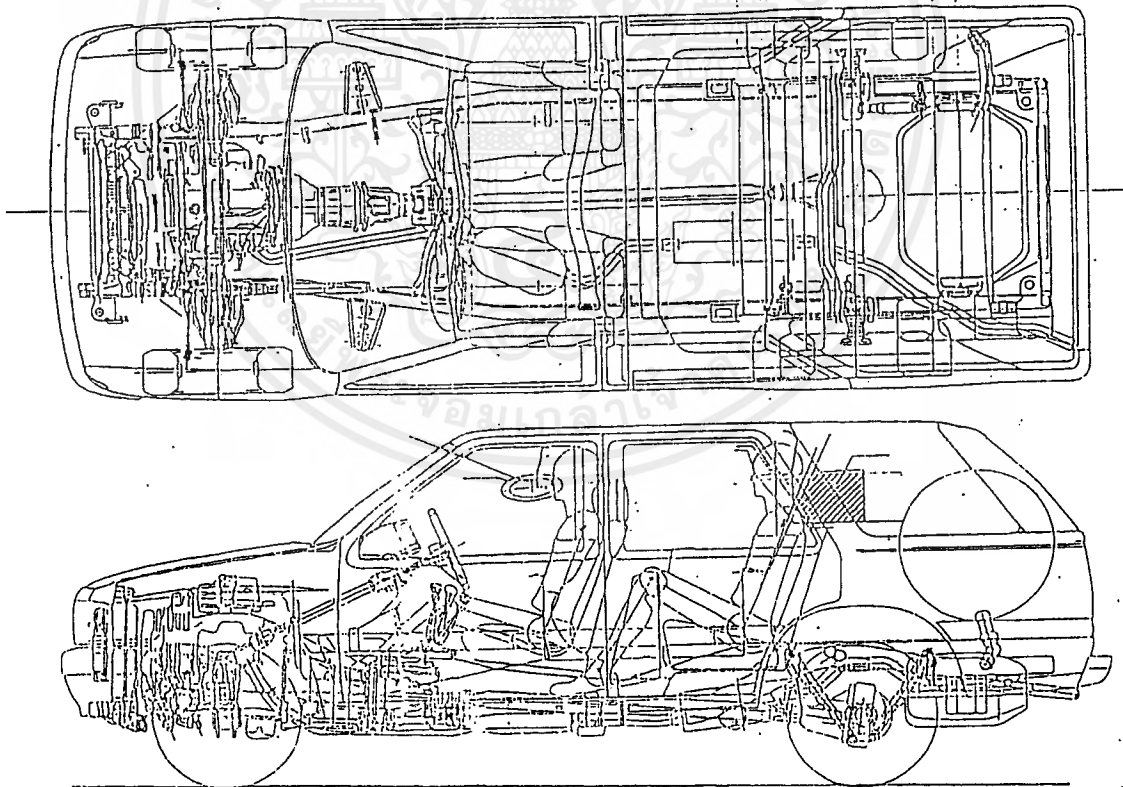
8.8.2. การนำ CAD/CAM ไปใช้ในแต่ละกระบวนการ

- 1.) แบบแผนของตัวรถยนต์
- 2.) ข้อมูลจากศูนย์ออกแบบทางอุตสาหกรรม
- 3.) ขั้นตอนของแนวคิด
- 4.) ชิ้นส่วนหลักแต่ละชิ้นและการออกแบบพื้นผิว
- 5.) การออกแบบจุดต่อของชิ้นส่วน
- 6.) การออกแบบจุดยึดของแต่ละชิ้นส่วน
- 7.) การเขียนแบบ
- 8.) การนำไปใช้งานในการผลิต
 - การออกแบบแม่พิมพ์
 - แบบแผนของแม่พิมพ์
 - การสร้างเทปของเอ็นซี (NC)

8.8.3. การพัฒนาขั้นตอนของโครงสร้างดังที่เห็นในข้อมูล (ปัจจุบันและอนาคต)



รูปที่ 8.5 โครงสร้างตัวถังรถยนต์



รูปที่ 8.6 รูปแบบการวางแชสซีภายในตัวถังรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

การออกแบบชิ้นส่วนรถยนต์โดยอาศัยคอมพิวเตอร์

9.1 หลักการออกแบบตัวถังรถยนต์

1. ในการออกแบบต้องคำนึงถึงจุดประสงค์การใช้งานเป็นหลัก เช่น เนื้อที่ใช้สอยและสมรรถนะ เป็นต้น
2. ในการออกแบบต้องคำนึงถึงประเภทและจุดประสงค์ในการใช้งานเป็นหลักว่าจะทำงานประเภทใดใช้ที่สภาพภูมิประเทศอย่างไร จึงจะสามารถนำส่วนที่ออกแบบมารวมกับจุดประสงค์ในการใช้งาน แล้วจึงออกแบบเป็นรถยนต์ได้ โดยหลักใหญ่ๆ จะคำนึงถึงความปลอดภัย, ความแข็งแรง, ความทนทาน และความสวยงามเป็นหลัก อาจมีด้านอากาศพลศาสตร์เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นในการออกแบบต้องคิดครอบคลุมให้ทั่วทุกจุดรวมทั้งประโยชน์ใช้สอยของชิ้นส่วนเล็กๆ น้อยๆ ซึ่งอาจนำมาเสริมความแข็งแรงของโครงสร้าง (Passive Safty) ลักษณะกระฉก ตำแหน่งคนขับ ทิศนวิสัย ฯลฯ อันจะช่วยเสริมความปลอดภัย (Active Safty)
3. เนื่องจากการออกแบบรถยนต์ทั้งหมด จำเป็นต้องใช้ความรู้ความชำนาญและประสบการณ์อย่างมาก ในที่นี้จึงขอศึกษาจากแบบที่มีอยู่แล้ว นำมาคิดแปลงแก้ไขให้เหมาะกับการใช้งาน ซึ่งจะสามารถร่นระยะเวลาได้มาก

9.2 การสร้างแบบโดยใช้คอมพิวเตอร์

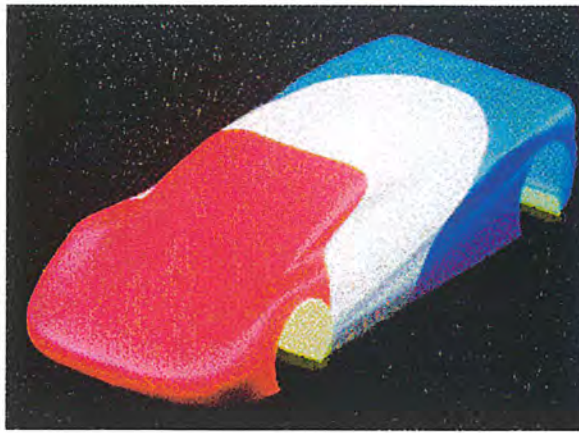
เริ่มจากการนำแบบเดิมมาพิจารณาตัดแปลงให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศของไทย แล้วทำการเขียนแบบลงบนกระดาษ (อย่างคร่าวๆ) และเมื่อได้แบบบนกระดาษแล้วจึงนำไปเขียนบนคอมพิวเตอร์ ต่อก็นำแบบจากกระดาษมาสร้างรูป 3 มิติบนคอมพิวเตอร์ โดยสร้างเป็นเส้นโค้ง บนระนาบ 3 มิติ $(i, j, k), (x, y, z)$



รูปที่ 9.1 รูปแสดงพื้นผิวตัวรถยนต์ที่ออกแบบบนคอมพิวเตอร์

เมื่อได้เส้นโค้งต่างๆครบแล้ว นำเส้นเหล่านั้นมาสร้างเป็นพื้นผิว (surface) บนระนาบ 3 มิติ ก็จะได้รูปทรงรถตามที่ต้องการดังรูป 9.1

แต่เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตที่มีอยู่เป็นเครื่องกัดแนวตั้ง 3 แกน เพราะฉะนั้นชิ้นส่วนจึงจำเป็นต้องไม่มีมุมส่วนเว้า จึงต้องตัดแบ่งตัวรถออกเป็นส่วนต่างๆ เพื่อมิให้เกิดมุมส่วนเว้าบนชิ้นงานกัดดังรูป 9.2



รูปที่ 9.2 รูปแสดงการแบ่งตัวถังรถยนต์ออกเป็นส่วนๆ เพื่อใช้ในการกัด

เมื่อแบ่งชิ้นส่วนออกมาแล้วจึงจะนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นนั้นไปเข้าสู่กระบวนการทางคอมพิวเตอร์ ต่อไป

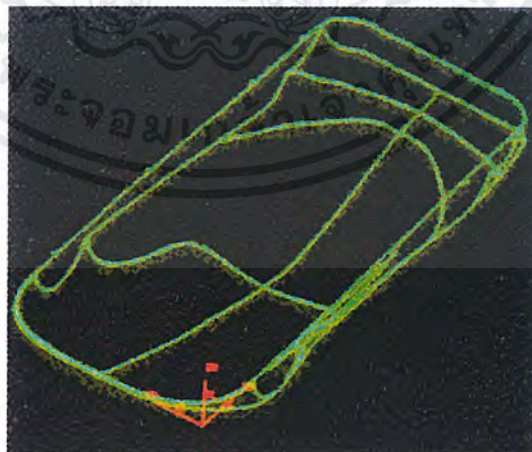
9.3 การออกแบบการผลิตโดยอาศัยคอมพิวเตอร์

นำชิ้นส่วนที่แบ่งแล้วที่ละชิ้น มาสร้างเป็นแม่พิมพ์ (Mold) บนคอมพิวเตอร์ โดยการสร้างเส้นทางการกัด (Generate Tool Path) ขึ้นมา เพื่อใช้ควบคุมเครื่องกัดแนวตั้งให้สร้างแม่แบบขึ้นงานจริงโดยจะนำเส้นทางการกัด (Tool Path) มาแปลงเป็นจีโค้ด (G - CODE) เพื่อใช้ควบคุมเครื่องต่อไป

9.3.1 การสร้างเส้นทางการเดินของหัวกัด (Generate Tool Path)

ขั้นตอนออกแบบแนวทางการกัดบนคอมพิวเตอร์ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

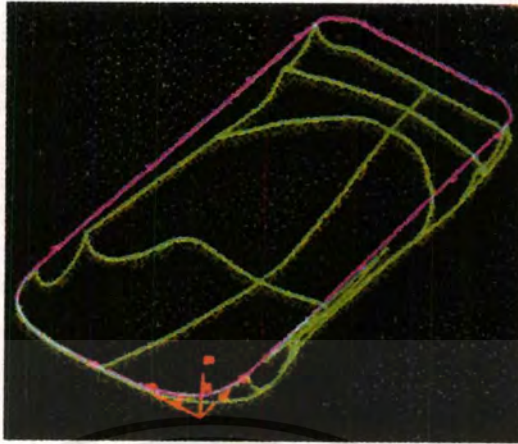
1. เข้าไปที่โหมดเมนูแฟคเจอริง (Manufacturing) เพื่อตั้งชื่อเส้นทาง (Path) การทำงาน



รูปที่ 9.3 รูปชิ้นส่วนที่จะสร้างเส้นทางการเดินหัวกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

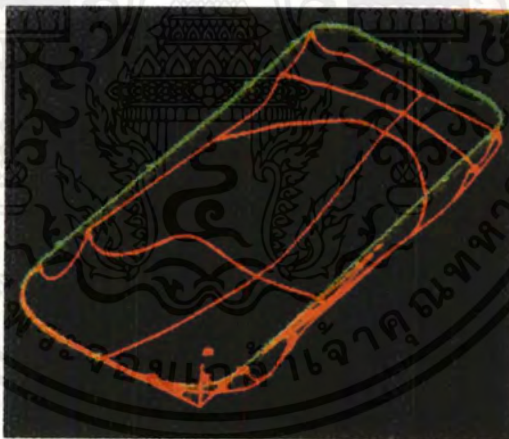
2. ทำการสร้างขอบเขตของชิ้นงานที่จะกัด (Boundary) โดยการเลือกที่ขอบของชิ้นงานนอกสุด



รูปที่ 9.4 รูปแสดงขอบเขตของชิ้นงานที่สร้างขึ้น (เส้นสีม่วง)

3. ทำการสร้างเส้นทางการกัดใหม่ (New Path) ในกรณีที่ยังไม่เคยสร้างเส้นทางการกัดมาก่อนเลย โดยเลือกลักษณะของการกัดชิ้นงานด้วย [ในที่นี้จะยกตัวอย่างการกัดแบบฟิกคอนทัวร์ (Fix Contour)]

4. ทำการเลือกส่วนที่จะทำการกัด (Geometry)

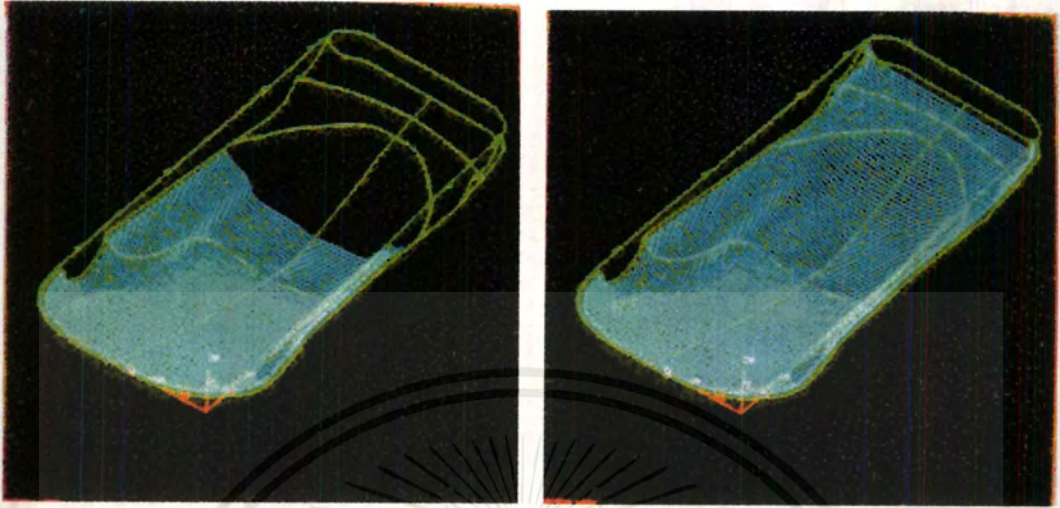


รูปที่ 9.5 รูปแสดงการเลือกชิ้นส่วนที่จะกัด (ส่วนสีแดง)

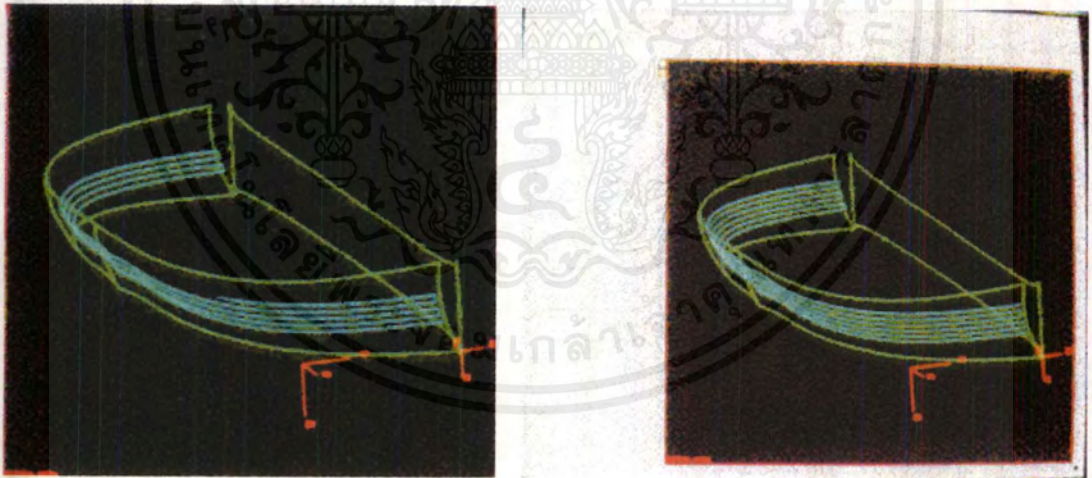
5. เลือกชนิดของหัวกัด (Tool) พร้อมเขตค่าต่างๆ ของหัวกัด
6. เลือกวิธีการขับ [Drive Method (ในที่นี้เลือกเป็น Boundary)] แล้วทำการเลือกขอบเขตของชิ้นงานที่จะกัด (Boundary) โดยใส่ชื่อขอบเขตของชิ้นงานที่จะกัด (Boundary) ที่สร้างขึ้นมา
7. เลือกรูปแบบการกัด (Pattern) เลือกวิธีการกัด (แนวทางการเดินของหัวกัด) และเขตค่าต่าง ๆ ที่จำเป็น
8. เลือกแนวแกนหัวกัด (Tool Axis) ว่าเครื่องที่เราจะทำการกัดมีการตั้งค่าหัวกัดอย่างไร
9. ทำการเขตค่ารายละเอียดอื่นๆ เช่น อัตราป้อน (Feed Rate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ทำการสร้างเส้นทางการกัด (Generate Tool Path)

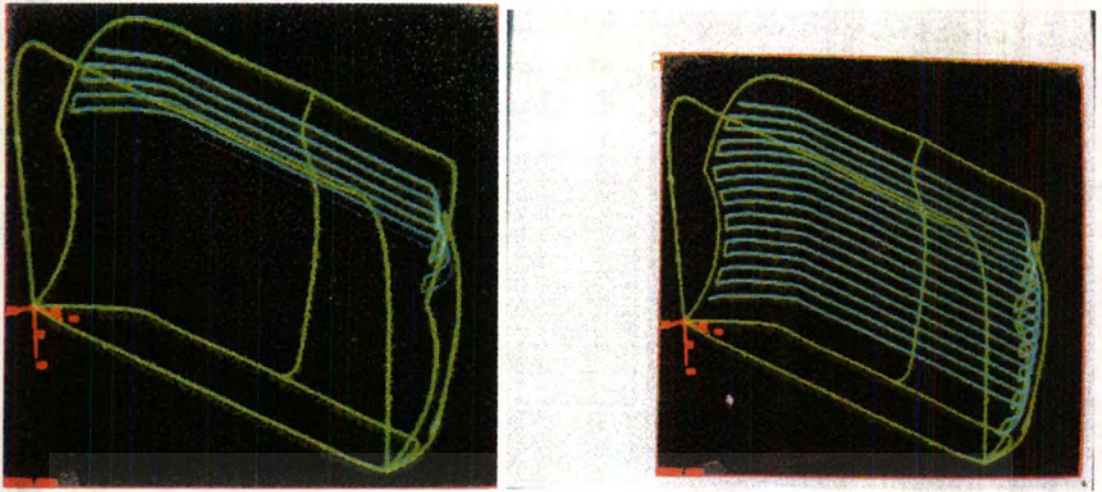


รูปที่ 9.6 รูปแสดงการสร้างเส้นทางการกัด (ส่วนหลังคา)

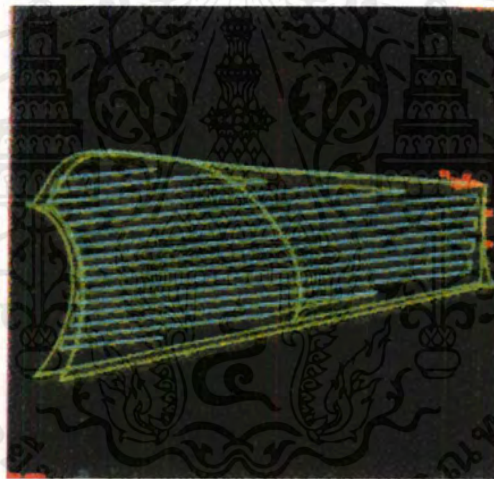


รูปที่ 9.7 รูปแสดงการสร้างเส้นทางการกัด (ส่วนกันชนหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.8 รูปแสดงการสร้างเส้นทางการกัด (ส่วนกันชนหลัง)



รูปที่ 9.9 รูปแสดงการสร้างเส้นทางการกัด (ส่วนด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 10

โฟมและไฟเบอร์กลาส (Foam & Fiber Glass)

10.1 โฟม (FOAM)

ในบทนี้จะกล่าวถึงกรรมวิธีในการผลิตโฟมจากพลาสติกที่สำคัญๆ เท่านั้น

โฟม แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

1. แบบที่มีโครงสร้างเป็นโฟมทั่วทั้งชิ้นและ
2. แบบที่ตรงกลางมีโครงสร้างเป็นโฟม แต่ที่ขอบเป็นผิวเรียบไม่เป็นโฟม

แบบที่สองนี้เรียกว่า โฟมโครงสร้าง (Structural Foam) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า อินทิกรัลโฟม (Integral Foam) ในระยะหลังๆ นี้วัสดุโฟมได้เข้ามาในตลาดอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้ไม่เฉพาะว่าพลาสติกทุกชนิดจะสามารถทำให้เป็นโฟมได้อย่างเดียวเท่านั้น แต่สามารถผลิตชิ้นงานโฟมได้ทุกกรรมวิธีด้วย แต่ในบทนี้จะไม่กล่าวถึงกรรมวิธีผลิตชิ้นงานโฟมจากกรรมวิธี การฉีด (Injection) , Extrusion , Calendering และ การอัด (Compression) เพราะกรรมวิธีเหล่านี้ได้กล่าวถึงมาในบทก่อนๆ ในการผลิตชิ้นงานปกติแล้ว และในกรรมวิธีผลิตชิ้นงานจากโฟมก็ใช้หลักการเดียวกัน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทำโฟม โพลีสไตรีน (Polystyrene) และโพลียูรีเทน (Polyurethane) อย่างละเอียด เพราะวัสดุทั้งสองนี้มีมากที่สุดในตลาด วัสดุโฟมสามารถแยกออกได้หลายลักษณะเช่น แยกตามโครงสร้างของเซล (Cell - structure) แยกตามความแข็งหรือแยกตามกรรมวิธีการผลิตก็ได้

การแบ่งแยกตามโครงสร้างของเซล แบ่งออกได้เป็นแบบเซลปิด เซลเปิด และเซลผสม

- เซลปิด หมายถึง โฟมที่มีโพรงของเซลไม่ต่อกัน
- เซลเปิด หมายถึง โฟมที่มีโพรงของเซลต่อกันจนทำให้เกิดก๊าซ หรือ อากาศหมุนเวียนถึงกันได้
- ถ้าโฟมประกอบด้วยเซลปิดและเซลเปิดอยู่ด้วยกันเรียกว่า แบบเซลผสม

โครงสร้างของเซลนี้จะขึ้นอยู่กับกรรมวิธีของการทำให้เกิดฟองโฟม และชนิดของสารทำให้เกิดโฟม

การแบ่งชนิดของโฟมตามความแข็ง จะแบ่งออกได้เป็น

- แบบด้านการแปรรูปมากและยืดหยุ่นได้น้อย เช่น โฟมพีเอส (PS) , โฟมพีวีซีแบบแข็ง [PVC (แข็ง)] , โฟมพียูอาร์แบบแข็ง [PUR (แข็ง)] , โฟมยูเอฟ (UF) , โฟมพีเอฟ (PF) , โฟมยูพี (UP) , โฟมอีพี (EP) , โฟมพีไออาร์ (PIR) , โฟมพีเอ็มไอ (PMI)
- แบบด้านการแปรรูปน้อยและยืดหยุ่นได้ดี เช่น โฟมพียูอาร์แบบอ่อน [PUR (อ่อน)] , โฟมพีวีซีแบบอ่อน [PVC (อ่อน)]

ในบทนี้จะกล่าวถึงอินทิกรัลโฟม (Integral Foam) เป็นพิเศษเพราะเป็นโฟมที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ ยืดหยุ่นได้เล็กน้อย ในขณะที่มีความคงตัวสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตอนท้ายของบทจะได้กล่าวถึงคุณสมบัติที่สำคัญของโฟมแบบต่างๆ เช่น

- มีความหนาแน่นต่ำ
- มีความเค้นภายในตัวน้อย
- มีความเป็นฉนวนความร้อนดี
- แปรรูปง่าย
- ทำรูปทรงต่างๆ ได้มากด้วยเครื่องมือง่ายๆ ราคาถูก

โฟมแบบมีความหนาแน่นน้อยนั้นรวมไปถึงการใช้วัสดุเนื้อทำให้ราคาถูก มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนและความเย็นที่ดี ไม่ว่าจะเป็นการทำให้ฟูในแม่แบบหรือทำให้ฟูอิสระ ชิ้นงานโฟมจะมีความเครียดภายในน้อยมาก เนื่องจากความดันในการทำงานผลิตชิ้นงานโฟมนี้ต่ำมาก ดังนั้นแม่แบบจึงไม่จำเป็นต้องเป็นเหล็กเสมอไป อาจใช้ไม้หรือพลาสติกแข็งที่ทำจาก เทอร์โมเซตติง (Thermosetting) มาใช้ทำแม่แบบผลิตชิ้นงานจำนวนมากๆ ได้

10.1.1 การผลิตโฟม

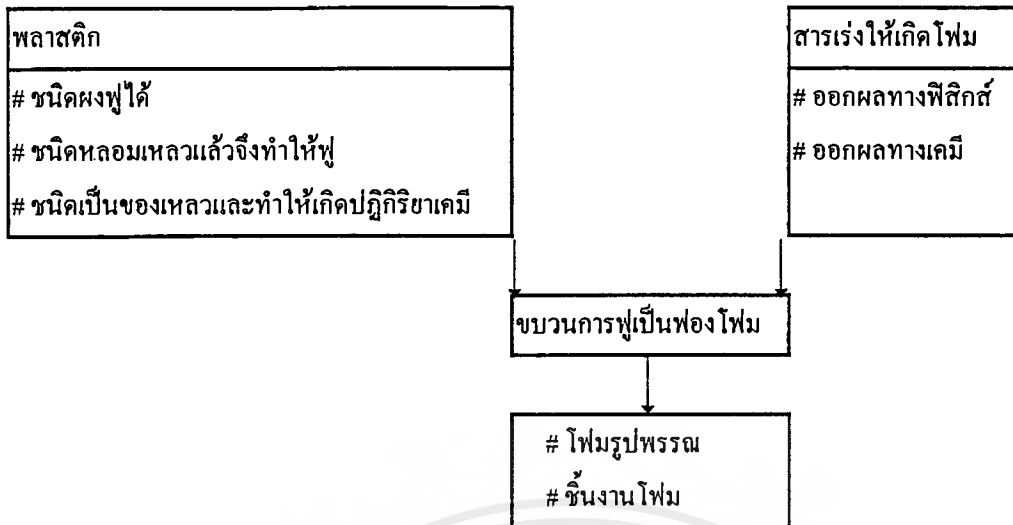
โฟมพลาสติกประกอบด้วยโครงสร้างของเซลซึ่งได้จากการใช้สารเร่งให้ฟูเป็นฟอง สารเร่งให้เกิดฟองโฟมนี้หมายถึง สารที่เมื่อได้รับความร้อนถึงจุดหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาเป็นก๊าซขึ้น ทำให้พลาสติกฟูเป็นฟอง และในขณะที่ขยายตัวออกนี้ จะต้องขยายแม่แบบออกให้ปริมาตรเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ได้ชิ้นงานซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าพลาสติกปกติที่ไม่ได้ทำเป็นโฟมพลาสติกที่เหมาะสมที่จะนำมาเป็นโฟม จะต้องเป็นพลาสติกที่สามารถลดความหนาแน่นได้นั่นเอง

พลาสติกที่ทำเป็นโฟมได้ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ

- กลุ่มที่สามารถเร่งให้ผงฟูเป็นโฟมได้ เช่น โฟมพีเอส (PS)
- กลุ่มที่หลอมเหลวแล้วจึงทำให้ฟู เช่น โฟมพีเอส (PS) , โฟมอีพี (EP) , โฟมพีวีซี (PVC)
- กลุ่มสารเริ่มต้นเป็นของเหลวและทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเป็นโฟม เช่น โฟมพียูอาร์ (PUR) , โฟมยูเอฟ (UF), โฟมพีเอฟ (PF)

สารทำให้ฟูนี้แบ่งออกเป็นสารที่ออกผลทางฟิสิกส์และเคมี และนอกจากนี้แล้วยังต้องเติมสารอื่นๆ เช่น สเตบิลไลเซอร์ (Stabiliser) และ นิวเคลียเตอร์ (Nucleator) ลงไป เพื่อป้องกันการสลายตัวของโฟมหลังจากฟูออกแล้ว และโดยการใช้ นิวเคลียเตอร์ (Nucleator) นี้เองที่สามารถทำให้เกิดโครงสร้างของเซลในรูปที่ 10.1 แสดงขั้นตอนการผลิตโฟม

นอกจากพลาสติกทั้งสามกลุ่มที่กล่าวไปแล้วนั้นยังมีพลาสติกเหลว (Pasty) เช่น พีวีซี (PVC) ที่สามารถทำให้เกิดโฟมโดยใช้อากาศได้ แต่กรรมวิธีนี้ไม่นิยมใช้กัน



รูปที่ 10.1 แผนภูมิการผลิตโฟม

10.1.2 ชนิดของพลาสติกที่ใช้ทำโฟม

พลาสติกที่ใช้ทำโฟมที่สำคัญ ได้แก่ โพลีสไตรีน (Polystyrene) และโพลียูรีเทน (Polyurethane) เทคนิคการทำโฟมนั้น เริ่มต้นมาตั้งแต่ราวๆ ค.ศ. 1950 ซึ่งในครั้งแรกผลิตได้เฉพาะโฟมที่มีความหนาแน่นสม่ำเสมอเท่านั้น ส่วน อินทิกรัลโฟม (Integral Foam) เพิ่งจะทำได้ในระยะหลังๆ นี้เอง

โฟมทั้งสองชนิดนี้ ส่วนใหญ่จะใช้ทำอวนความร้อน วัสดุหีบห่อและสำหรับโฟม โพลียูรีเทน (Polyurethane) จะใช้ในอุตสาหกรรมเบาอีกด้วย สำหรับโฟมที่ใช้รองลงมา ได้แก่ โฟมปฏิกิริยาจาก พียูอาร์ (PUR) , ยูเอฟ (UF) , พีเอฟ (PF) , ยูพี (UP) และ อีพี (EP) ทั้งนี้เพราะมีปัญหาในการทำโฟมมากกว่า และคุณสมบัติก็ใช้ได้ไม่กว้างขวางมากนัก โฟมจากเทอร์โมพลาสติกนอกจากจะใช้ พีเอส (PS) เป็นส่วนใหญ่แล้ว เอสบี (SB) , เอบีเอส (ABS) , พีอี (PE) , พีพี (PP) , พีวีซี (PVC) , พีพีโอ (PPO) และ พีเอ็มไอ (PMI) ปรับปรุงและ พีซี (PC) ก็ยังสามารถทำเป็นโฟมได้อีกด้วย

10.1.3 สารเร่งให้เกิดโฟม

ดังที่ได้แสดงไว้ในรูป 10.1 แล้วว่าสารเร่งให้เกิดโฟมนั้นมีสองชนิดคือ แบบออกผลทางฟิสิกส์ และออกผลทางเคมีในตารางที่ 10.1 เป็นตัวอย่างของสารเร่งให้เกิดโฟมออกผลทางฟิสิกส์ พร้อมทั้งจุดเดือด บางชนิดและในตาราง 10.2 เป็นตัวอย่างสารเร่งออกผลทางเคมีพร้อมทั้งช่วงอุณหภูมิของการแตกตัวและการเกิดฟองก๊าซ

สารเร่งให้เกิดโฟมออกผลทางฟิสิกส์จะทำให้พลาสติกฟูตัวเหนืออุณหภูมิจุดเดือด โดยการเกิดฟองก๊าซ และทำให้ปริมาตรของพลาสติกโตขึ้น จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่อุณหภูมิคงที่และทำให้เกิดก๊าซขึ้น และเป็นผลทำให้พลาสติกฟูออกตัว

ตารางที่10.1 สารเร่งให้เกิดฟองโฟมออกทางฟิลิกส์

สารเร่ง	จุดหรือช่วงเดือด(°C)
Pentane	30 - 38
Neopentane	9.5
Hexane	60 - 70
Isohexane	55 - 62
Heptane	96 - 100
Isoheptane	88 - 92
Benzol	80 - 82
Toluol	110 - 112
Methyl chloride	23.76
Methylene chloride	40.0
Trichloroethylene	87.2
Dichloroethane	83.5
Dichlorotetrafluorethane	3.6
Trichlorotrifluoromethane	23.8
Trichlorofluoroethane	47.6
Dichlorodifluoromethane	29.8

ตารางที่10.2 สารเร่งออกผลทางเคมี

สารเร่ง	ช่วงอุณหภูมิของการเกิดปฏิกิริยา(°C)	การเกิดก๊าซ
N,N' -dimethyl- N,N' -dinitroso-terephthalamide	90 - 105	126
Azobisisobutyronitrile (Azio-butter acid dinitrile)	90 - 115	130
4,4' -oxybis-benzol-sulfonyl-hydrazide	130 - 140	125
N,N'-dinitrosopentamethylene-tetramine	130 - 190	265
Azobisformamide (Azodicarbonamide)	160 - 200	220
P -Toluolsulfonyl-semicarbazide	225 - 235	146
5 -phenyltetrazol	240 - 250	190
Trihydrazinotriazin	265 - 290	225

เทคนิคการทำโฟมชนิดที่ต้องการให้มีความหนาแน่นสม่ำเสมอ จะใช้สารเร่งแบบออกผลทางฟิลิกส์ การทำโฟมเทอร์โมพลาสติกและโฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane) ก็จะใช้หลักการทางฟิลิกส์เช่นเดียวกัน

สารเร่งออกผลทางเคมีจะเกิดฟองก๊าซขึ้นในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า ซึ่งจะทำให้เฉพาะในช่วงการหลอมของเทอร์โมพลาสติกเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทำโฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane) นั้นไม่จำเป็นต้องใส่สารเร่งเพิ่มเติมก็สามารถทำโฟมได้ ทั้งนี้เพราะในระหว่างปฏิกิริยาของไอโซไซยาเนต (Isocyanate) และน้ำ จะมีคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) แยกตัวออกมาเร่งพลาสติกให้เกิดโฟมได้ ในทางปฏิบัติจะเติมสารเร่งทางฟิสิกส์เข้าไปอีกเล็กน้อย เพื่อให้โฟมมีคุณสมบัติตามต้องการ

10.1.4 กรรมวิธีการทำโฟมโดยย่อ

พลาสติกเกือบทุกชนิดสามารถทำเป็นโฟมได้ และสามารถใช้กรรมวิธีการทำงานที่กล่าวมาแล้ว ได้ทุกกรรมวิธี นอกจากนี้ยังมีเทคนิคในการทำงานอีกหลายวิธี เช่น การทำเป็นรูปทรงต่างๆ ทำเป็นก้อน ทำเป็นแผ่น ในตารางที่ 12.3 แสดงถึงกรรมวิธีต่างๆ ที่ใช้ผลิตชิ้นงานโฟมและในระยะหลังๆ นี้ก็ได้มีกรรมวิธีอื่นๆ เกิดขึ้นมาอีกเป็นจำนวนมาก

ลักษณะของวัสดุที่ใช้	โฟมแบบมีความหนาแน่นสม่ำเสมอ		อินทิกรัลโฟม (Integral Foam)	
	กรรมวิธี	พลาสติก	กรรมวิธี	พลาสติก
เทอร์โมพลาสติก หลอมเหลว	Extrusion Calandring Compression	PS , SB , ABS PVC , PE	Extrusion Calandring Injection Foaming	PS , SB , ABS PVC , PE PRO - ปรับปรุง
ผงที่สามารถทำให้ฟูได้	กรรมวิธีผลิต Styropor	PS		
สารพลาสติกเหลว ที่จะทำปฏิกิริยาเป็น โฟมได้	การหล่อโฟมอย่าง ต่อเนื่องและไม่ ต่อเนื่องในแบบ หรือฉีดลงบนสาย พานให้ยาวต่อเนื่อง	PF , UF , PUR PUR , UF	การหล่อโฟม ปฏิกิริยา (RSG) -	PUR

10.2 ไฟเบอร์กลาส (FIBER GLASS)

10.2.1 การผลิตชิ้นงานไฟเบอร์กลาส

ตามหลักการสามารถนำพลาสติกทุกชนิดมาเคลือบเส้นใยได้ แต่ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการเทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting) เช่น ยูพี เรซิน (UP-resin) , อีพี เรซิน (EP- resin) และ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) สองสามชนิด เช่น พีอี (PE) , พีเอ (PA) , พีโอเอ็ม (POM) การเสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยจะทำให้ได้วัสดุเคลือบที่มีความแข็งแรงสูงขึ้นไปกว่าเดิมมาก เช่น มีความคงตัวสูง และรับแรงได้มาก ในบทนี้จะยกตัวอย่างเฉพาะการเสริมความแข็งแรงของเรซินโพลีเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester resin) เท่านั้น ด้วยเหตุผลดังนี้คือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) การเสริมความแข็งแรงเรซินปฏิกิริยา (Reaction resin) อื่นๆ เช่น อีพีเรซิน (EP-resin) นั้น มีกรรมวิธีคล้ายกับ ยูพีเรซิน (UP-resin) มาก

ข) การเสริมความแข็งแรงของเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) สามารถทำพร้อมๆ กับ การฉีด (Injection) หรืองาน Extrusion ที่ได้กล่าวถึงมาแล้วได้

10.2.2 วัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการทำไฟเบอร์กลาส

1. เรซินโพลีเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester resin ; UP-resin)

โพลีเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester) จัดอยู่ในประเภทเทอร์โมเซตติง (Thermosetting) ซึ่งได้จากการละลายโพลีเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester) ในสารละลายปฏิกิริยาที่ไม่อิ่มตัว เช่น โพลีเอสเตอร์สไตลีนแบบไม่อิ่มตัว (Styrene Unsaturated Polyester) ได้มาจากปฏิกิริยาเคมี จากส่วนผสมของกรดอินทรีย์ไม่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัว กับ แอลกอฮอล์โพลีวาเลนต์ (Polyvalent Alcohols) ปฏิกิริยาเคมีลักษณะนี้เรียกว่า เอสเตอริฟิเคชัน (Estering)

วัสดุตัวอย่างที่ใช้ ผลิตโพลีเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว (unsaturated polyester) ได้แก่

- กรดอินทรีย์ไม่อิ่มตัว : Adipinic Acid , Isophthalic Acid
- กรดอินทรีย์ไม่อิ่มตัว : Fumalic Acid ,Malaic Acid
- Polyvalent Alcohols : Ethylene glycol , Butandiol

เมื่อนำเอาโพลีเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester) ไปละลายในสารละลายปฏิกิริยาจะได้ เรซินโพลีเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester resin ; UP -resin) ซึ่งเป็นวัสดุเหลวเหนียว (ความหนืดประมาณ 500 ถึง 1000 mPas) เนื่องจากการทำปฏิกิริยาสองชั้น [ของกรดไม่อิ่มตัวกับสไตลีน (Styrene)] จะยังสามารถปฏิกิริยาต่อไปได้ ซึ่งเรียกว่า Reaction resin แล้วแต่การเลือกวัสดุเริ่มต้น จะแบ่งเรซินมาตรฐาน (Standard resin) ออกเป็นเรซินทนความร้อน ทนสารเคมี และมีการยืดหยุ่นได้ ในกรรมวิธีการผลิตหลายกรรมวิธี ผู้ทำงานจะนำเอาเรซินโพลีเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester resin) บริสุทธิ์แล้วผสมส่วนผสมเอง (เช่น ใช้ เรซิน + สารปฏิกิริยา + สารเสริม) เอง

ยูพีเรซิน (UP-resin) ที่นำมาผลิตชิ้นงานโดยวิธีอัดขึ้นรูปนั้น จะมีสารผสม และสารปฏิกิริยาผสมอยู่เรียบร้อยแล้ว ซึ่งแบ่งออกเป็น ผงอัดแบบร้อน และแบบเป็นฝุ่น สำหรับการอัดเรซินโพลีเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester resin) นั้น โดยปกติจะเคลือบใยแก้วหรือสิ่งทอไว้ก่อนแล้วจึงนำมาอัดขึ้นรูป

2. สารปฏิกิริยา

การเกิดปฏิกิริยาเกาะตัวกันเป็นตาข่าย (แข็งตัว) ของยูพีเรซิน (UP-resin) จะเกิดขึ้นได้โดยการทำให้พันธะคู่ (double bond) ของโมเลกุลที่ยังเหลืออยู่แตกออก แล้วให้ทำปฏิกิริยาเกาะตัวกันใหม่เป็นแบบตาข่าย ซึ่งจะทำให้ได้โดยใช้ความร้อนและ Hardener เรียกว่า การทำให้แข็งตัวโดยใช้ความร้อน หรือ ใช้ Hardener กับสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเรียกรวมๆ ว่า "สารปฏิกิริยา" ในการใช้ความร้อนกับสารปฏิกิริยาจะทำให้สไตลีน (Styrene) เป็นปฏิกิริยา Polymerisation เป็นโพลีสไตลีน (Polystyrene) โดยจะมีโพลีเอสเตอร์แบบไม่อิ่มตัว (Unsaturated Polyester) ผสมอยู่ด้วย การทำให้ยูพีเรซิน (UP-resin) แข็งตัวเป็น Copolymerisation โดยจัดอยู่ในกลุ่มของ Polycondensation การแข็งตัวของยูพีเรซิน (UP-resin) จะใช้ Organic Peroxide เป็น Hardener และสารประกอบของ Amine และ Cobalt เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารอื่นที่ใช้ นอกจากนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hardener : Benzoylperoxide (จากกลุ่ม Diaroylperoxide) Methyl ethyl ketone peroxide และ Cyclohexanoperoxide (จากกลุ่ม ketone peroxide)

Hardener จะออกผลที่อุณหภูมิคงที่หนึ่ง ซึ่งเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มต้นของปฏิกิริยา

ตัวเร่ง : Cobalt naphtenate และ Cobalt octoat (จากกลุ่มตัวเร่ง Cobalt) Dimethyl paratoluidine , Dimethyl aniline และ Diethyl aniline (จากกลุ่มตัวเร่ง Amine)

ตัวเร่งจะเป็นสาเหตุให้ Hardener สลายตัวเช่นเดียวกับความร้อน กรรมวิธีทำให้ยูพีเรซิน (UP-resin) แข็งตัวแบ่งออกตามชนิดของสารปฏิกิริยา ดังแสดงไว้ในตาราง 10.1

ตารางที่ 10.1 Hardener และ hardener ผสมตัวเร่งสำหรับยูพีเรซิน (UP-resin)

Hardener (ลักษณะที่มีขาย)	อุณหภูมิเริ่มปฏิกิริยาในกรรมวิธี แข็งตัวด้วยความร้อน (C)	ตัวเร่งในกรรมวิธีแข็งตัวเย็น (ลักษณะที่มีขาย)
Benzoyl Peroxide (BP) (เหนียว , แข็ง)	70	Dimethyl aniline (เหลว)
Methyl ethyl ketone peroxide (MEKP) (เหลว)	80	Cobalt octate (เหลว)
Cyclo hexanone peroxide (CHP) (เหลว , เหนียว , แข็ง)	90	Cobalt octate (เหลว)

Hardener และตัวเร่งจะต้องเก็บไว้แยกกันในที่เย็น เวลาใช้จะต้องผสมกับ Up -resin คนละครึ่ง (ไม่พร้อมกัน)

3. เส้นใยเสริมความแข็งแรง

เส้นใยที่ใช้เสริมความแข็งแรงที่ใช้กันมาก ได้แก่ ใยแก้วที่ได้จากการหลอมละลายแล้วดึงสายใยยาวไม่รู้จบ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 10 ถึง 20 ไมโครเมตร ซึ่งสามารถนำมาปั่นหรือทอได้ เพื่อไม่ให้ใยแก้วจับยึดติดกับ Reaction resin ได้ดีจะต้องทำการเคลือบผิวเสียก่อน ซึ่งส่วนใหญ่ก็จะใช้พลาสติกเป็นผิวเคลือบ ใยแก้วที่นำมาเสริมความแข็งแรงนี้จะมีอยู่หลายรูปแบบ นอกจากจะใช้เส้นใยยาวไม่รู้จบแล้ว ยังใช้แบบเรียงกันเป็นมัดที่มีความยาวต่างๆ กันจากที่เป็นมัดนี้สามารถนำมาสานหรือทอให้เป็นแผ่นได้

ใยแก้วเมื่ออบ Reaction resin และแข็งตัวดีแล้ว จะทำให้แข็งแรงมาก คุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานที่ได้นั้นแล้ว แต่ว่าจะเลือกใช้แบบรับแรงทิศทางเดียว (ใช้ Rovings) หรือใช้รับแรงที่สานเป็นเสื่อนั้นจะรับแรงได้ทุกแนวแต่รับได้ไม่สูงนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สารเสริมอื่นๆ

สารเสริมที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของชิ้นงาน

ก) สารเติม ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานให้ดีขึ้น เช่น ความคงตัว Elasticity module ความแข็ง (ยิ่งเติมลงไปมากยิ่งจะทำให้การทนต่อแรงกระแทกได้น้อย) และช่วยให้ทนต่อความร้อนได้ดี จะทนต่อสารเคมีได้น้อยลง แต่คุณสมบัติทางไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลง สารเติมที่สำคัญ ได้แก่ ผงซอลค์ แป้ง Kaolin และควอซ

ข) สี ใช้เพิ่มความสวยงามแก่ชิ้นงาน ซึ่งใช้ได้ทั้งสีฝุ่นและสีเหลว สีฝุ่นโดยปกติแล้วจะผสมให้เข้ากับเรซินได้ยากมาก จึงแนะนำให้ใช้สีที่เป็นของเหลวและจะต้องเป็นชนิดที่ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานด้วยยูพีเรซิน (UP-resin)

ค) สารป้องกันแสง ใช้ป้องกันรังสีอุลตราไวโอเล็ต ทำให้ชิ้นงานคงทนยิ่งขึ้น สารเสริมที่มีอิทธิพลต่อการทำงานกับเรซิน

- สารป้องกันติด เป็นสารที่ใช้ช่วยให้ถอดชิ้นงานออกจากแม่แบบง่ายขึ้น หรือ ให้ถอดออกได้ ซึ่งจะใช้แผ่นกันบางๆ (Cell - glass , Terephthalic acid ester) แผ่นฟิล์ม เคลือบ แลคเคอร์ (Polyvinyl Alcohol , Acetyl Cellulose) ซิผึ้ง หรือ ซิลิโคน (Silicone)

- สารกันไหล ใช้ป้องกันการไหลลงของ resin เหลวในแนวตั้ง สารกันไหลชนิดพิเศษ ได้แก่ สาร Thixotropy (เช่น high disperse sillicic acid) สารกันไหลจะใช้กับสารพลาสติกที่ขึ้นรูปโดยการอัดด้วย เพื่อป้องกันการติดแบบ (เช่นใช้ Maganesium dioxide)

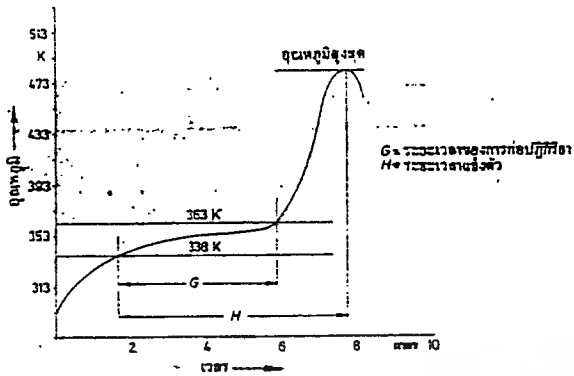
- สารเติม จะมีอิทธิพลต่อการทำงานเรซินมาก เช่น การหดตัวเมื่อแข็งของยูพีเรซิน (UP-resin) (ประมาณ 8 ถึง 9 % โดยปริมาตร) ลดลงและจะทำให้ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาแข็งตัวอยู่ในขอบเขตที่จำกัด

10.2.3 การแข็งตัวของยูพีเรซิน (UP-resin)

การแข็งตัว (หรือการจับตัวกันเป็นตาข่าย) ของยูพีเรซิน (UP-resin) เป็นกรรมวิธี Copolymerisation ซึ่งแบ่งออกเป็น

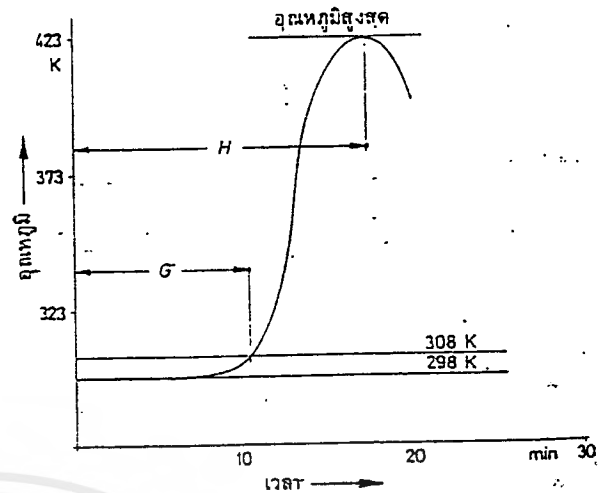
ก. การแข็งตัวโดยใช้ความร้อน ด้วย Reaction resin (UP-resin) + Hardener (peroxide) + ความร้อน (อุณหภูมิสูงกว่า 70° C)

ข. การแข็งตัวเย็น ด้วย Reaction resin (UP-resin) + Hardener (peroxide) + ตัวเร่ง (Initiator) ที่อุณหภูมิประมาณ 30° C กรรมวิธี Copolymerisation ของยูพีเรซิน (UP-resin) จะสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแข็งตัว ในการนี้จะทำให้ปริมาตรหดตัวลงประมาณ 8 ถึง 9% ขั้นตอนการแข็งตัวสามารถแสดงให้เห็นด้วยเส้นโค้ง อุณหภูมิ/เวลา ซึ่งเรียกเส้นโค้ง Polymerisation รูป 10.1 และ 10.2 เป็นเส้นโค้ง Polymerisation ของการแข็งตัวแบบร้อน และแบบเย็น



รูปที่ 10.1

เส้นโค้งของการแข็งตัวของ UP-resin



รูปที่ 10.2

เส้นโค้งของการแข็งตัวของ UP-resin

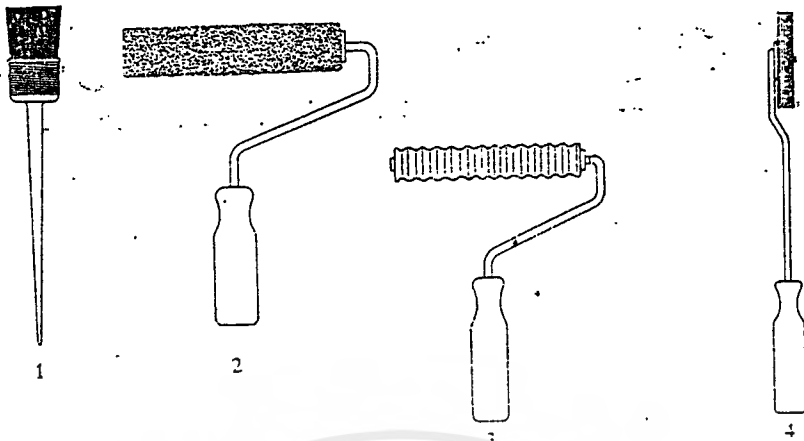
การขึ้นรูป UP-resin จะกระทำในช่วงไม่เกิดระยะเวลาของการก่อปฏิกิริยา (G)!
และจะถอดแบบเอาชิ้นงานออกได้ หลังจากเลยเวลาแข็งตัว (H) ไปแล้ว

อิทธิพลของตัวเร่ง Cobalt ต่อระยะเวลาการก่อปฏิกิริยา แสดงไว้ในรูป 13.4 ในกรณีขึ้นชิ้นที่ทำขึ้นโดยกรรมวิธีแข็งตัวเย็น ควรจะต้องมีการปล่อยให้แข็งตัวเพิ่มเติม หลังจากถอดออกจากแบบแล้ว

10.2.4 การผลิตชิ้นงานไฟเบอร์กลาสด้วยมือ

การทำชิ้นงานไฟเบอร์กลาสด้วยมือ สามารถจะทำชิ้นงานได้ทุกขนาดรวมทั้งชิ้นงานยากๆ ซึ่งโดยปกติจะต้องใช้สารปกปิดผิวให้ทนต่อดินฟ้าอากาศและสารเคมี ซึ่งมีผิวปิดบนผิวละเอียด และผิวเจลโค้ท (Gel-Coat) ผิวละเอียดจะใช้ฟุ้งกันหรือปิ่นพ่นลงบนผิวของสารกันติดแม่แบบ ความหนาของผิวละเอียดโดยประมาณจะใช้ 0.3 - 0.6 มม. และที่ผิวละเอียดนี้สามารถใส่สีลงไปได้ตามต้องการ สำหรับชิ้นส่วนที่ต้องการความแข็งแรงสูง แนะนำให้วางใยแก้ว หรือใยเคมีลงบนผิวละเอียด ขณะที่ยังไม่แข็งตัว

ในการเคลือบชั้นต่อไปก็จะใช้ เรซินเทและปูใยแก้วสลับกันไป การทาเรซินให้ใช้ฟุ้งกันหรือใช้ปิ่นพ่น ข้อสำคัญของการใช้ใยแก้ว ส่วนใหญ่จะใช้ใยแก้วแบบเป็นผืนวางบนผิวเรซินที่ทาไว้ จะต้องระวังไม่ให้มีฟองอากาศขังอยู่ โดยการใช้ฟุ้งกันหรือลูกกลิ้ง ดังในรูป 10.3



รูปที่ 10.3 พูกันและลูกกลิ้งสำหรับการเคลือบด้วยมือ

1. พูกัน

2. ลูกกลิ้ง

3. และ 4. ลูกกลิ้งเป็นร่องทำจาก Polytetrafluor ethylene polyethylene หรืออะลูมิเนียม

แผ่นใยแก้วที่ใช้กันมากที่สุดทำด้วยมือ

แผ่นใยแก้ว	มีน้ำหนักต่อพื้นที่ประมาณ 225 - 900 g/m ²
ROVING ทอ	มีน้ำหนักต่อพื้นที่ประมาณ 300 - 900 g/m ²
ใยแก้วทอ	มีน้ำหนักต่อพื้นที่ประมาณ 40 - 500 g/m ²

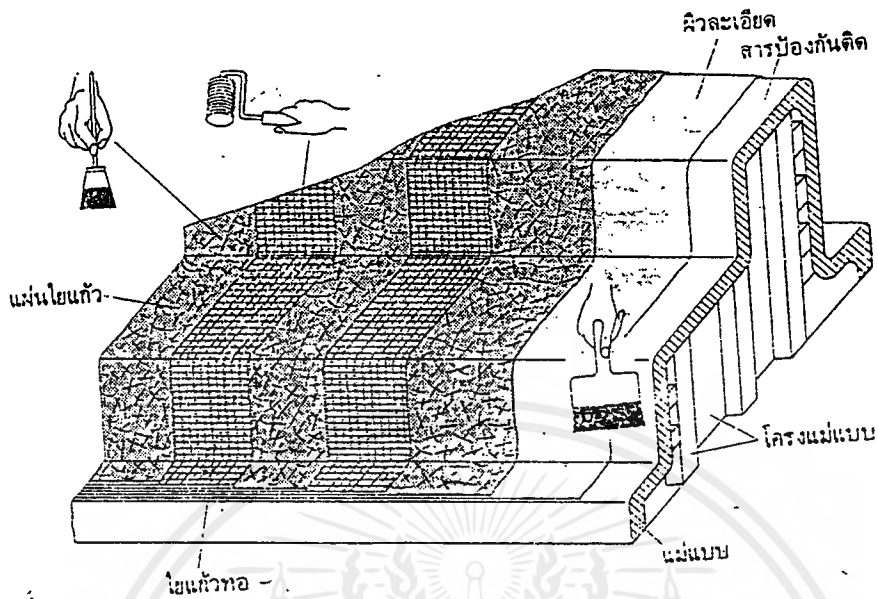
การเคลือบด้วยมือ โดยปกติจะทำชิ้นงานที่มีความหนาอยู่ระหว่าง 2-10 มม. เพื่อป้องกันเรซินที่ผิวด้านหลังไม่แห้งสนิท เนื่องจากอากาศที่มีออกซิเจน จะต้องทามาปิดด้วยเรซินที่ทำให้แห้งด้วยอากาศ

การเคลือบด้วยมือ มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ก.) ทาสารกันติดที่แม่แบบ ปล่อยให้แห้ง
- ข.) ทาผิวละเอียด
- ค.) หลังจากผิวเริ่มปฏิกิริยาเหนียวตัวทาเรซินพร้อมทั้งปะวัสดุเสริมความแข็งแรงทับลง
- ง.) ทาผิวสุดท้ายด้วยเรซินชนิดที่แห้งในอากาศ
- จ.) หลังจากแข็งตัวพอประมาณแล้ว ก็ให้ถอดออกจากแบบ ทำความสะอาดเครื่องมือ
ทำความสะอาดเรียบร้อยชิ้นงาน
- ฉ.) ทำให้แห้งเพิ่มเติม (โดยการอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานเคลือบด้วยมือจะต้องทำงานอย่างมีระบบ ดังในรูป 10.4 แสดงการวางชั้นของแผ่นใยแก้วกับใยแก้วทอเป็นผืนผ้า ในชั้นงานยากๆ บางครั้งอาจจะต้องทาผิวด้านหลังด้วยเรซินที่แห้งในอากาศ



รูปที่ 10.4 วิธีการเคลือบไฟเบอร์กลาสด้วยมือ

วัสดุเสริมความแข็งแรง จะต้องไม่ใช่วิธีการต่อชน แต่จะต้องหวีให้ขอบตอบางและวางเกยกัน 3 - 5 มม. แม่แบบทำไฟเบอร์กลาส แบบทำงานด้วยมือ ส่วนมากจะมีโครงสร้างเบาเพราะใช้กับชิ้นงานจำนวนน้อยชิ้น และการทำงานมีแรงกระทำน้อย (เพียงใช้มือกดเท่านั้น) แม่แบบทำไฟเบอร์กลาสใช้ไม้หรือปูนพลาสติก การทำไฟเบอร์กลาสด้วยมือเป็นกรรมวิธีที่ต้องเสียค่าแรงมาก ดังนั้นส่วนใหญ่จึงใช้ทำชิ้นส่วนใหญ่ๆ และยากๆ เท่านั้น

บทที่ 11

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

11.1. ด้านเครื่องซีเอ็นซี (Hard Ware)

1.) กลไกการขับเคลื่อนแกน X มีอัตราทดรอบต่ำเกินไป ทำให้การตั้งค่าพารามิเตอร์ (Set Parameter) ของชุดควบคุม (Controller) ทำได้ยากและไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้ตั้งไว้ทำให้เกิดการกระตุกและระยะทางไม่ถูกต้องตามความเป็นจริง การแก้ไขทำได้โดยการเพิ่มชุดเฟืองทดรอบ (Gear Box) เพื่อเพิ่มอัตราทดรอบของการขับเคลื่อนแกน X

(2) วัสดุที่ใช้ในการกัด ไม่สามารถเทพอมให้ขึ้นรูปได้ และการซื้อโฟมสำเร็จรูปสำหรับกัดก็มีราคาสูงเกินไป จึงใช้โฟมขาวแทน ทำให้เกิดผลงานที่ไม่ค่อยดีนัก

(3) การทดสอบค่าความคลาดเคลื่อน (Testing) ยังไม่สามารถทดสอบค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นโดยละเอียดได้ เนื่องจากขาดอุปกรณ์วัดที่ดีพอและมีความละเอียดสูง จึงใช้การทดสอบแบบง่ายๆ แทน รวมทั้งวัสดุที่จะใช้ทดสอบก็มีจำนวนจำกัด งบประมาณไม่พอที่จะซื้อวัสดุมาทดสอบจำนวนมากๆ ได้

11.2. ด้านโปรแกรม (Soft Ware)

(1) Program UG (UniGraphics) ที่ใช้มีการเปลี่ยน Version ทำให้ต้องเสียเวลาในการทำการศึกษา

(2) ระบบไฟฟ้าของศูนย์วิจัยคอมพิวเตอร์มีปัญหาบ่อยครั้งทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน

ภาคผนวก
(APPENDIX)



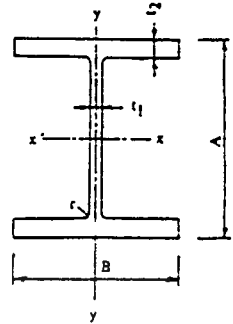
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 BEGIN PGM ROOF MM
2 F 400
3 L X 23.1351 Y 92.3098 Z -0.9761 R0 F MAX
4 L X 23.1351 Y 92.569 Z -1.8456 R0 F MAX
5 L X 23.1351 Y 92.8282 Z -2.3974 R0 F MAX
6 L X 23.1351 Y 93.3465 Z -3.2198 R0 F MAX
7 L X 23.1351 Y 93.8648 Z -3.8465 R0 F MAX
8 L X 23.1351 Y 94.9015 Z -4.8728 R0 F MAX
9 L X 23.1351 Y 95.4198 Z -5.2715 R0 F MAX
10 L X 23.1351 Y 96.4564 Z -6.0011 R0 F MAX
11 L X 23.1351 Y 97.4931 Z -6.6286 R0 F MAX
12 L X 23.1351 Y 98.5297 Z -7.1801 R0 F MAX
13 L X 23.1351 Y 100.603 Z -8.1249 R0 F MAX
14 L X 23.1351 Y 102.6763 Z -8.91R0 F MAX
15 L X 23.1351 Y 104.7496 Z -9.5823 R0 F MAX
16 L X 23.1351 Y 106.8228 Z -10.1884 R0 F MAX
17 L X 23.1351 Y 108.8961 Z -10.6951 R0 F MAX
18 L X 23.1351 Y 113.0427 Z -11.5567 R0 F MAX
19 L X 23.1351 Y 117.1893 Z -12.269R0 F MAX
20 L X 23.1351 Y 121.3358 Z -12.8467 R0 F MAX
21 L X 23.1351 Y 125.4824 Z -13.2928 R0 F MAX
22 L X 23.1351 Y 129.629 Z -13.6667R0 F MAX
23 L X 23.1351 Y 133.7755 Z -13.9586 R0 F MAX
24 L X 23.1351 Y 142.0687 Z -14.353R0 F MAX
25 L X 23.1351 Y 150.3618 Z -14.5331R0 F MAX
26 L X 23.1351 Y 158.6549 Z -14.5459R0 F MAX
27 L X 23.1351 Y 175.2412 Z -14.3734R0 F MAX
28 L X 23.1351 Y 183.5343 Z -14.3753R0 F MAX
29 L X 23.1351 Y 191.8275 Z -14.4669R0 F MAX
30 L X 23.1351 Y 225.0 Z -15.0778 R0 F MAX
31 L X 23.1351 Y 258.1726 Z -14.4669R0 F MAX
32 L X 23.1351 Y 266.4657 Z -14.3753R0 F MAX
33 L X 23.1351 Y 274.7588 Z -14.3734R0 F MAX
34 L X 23.1351 Y 291.3451 Z -14.5459R0 F MAX
35 L X 23.1351 Y 299.6382 Z -14.5331R0 F MAX
36 L X 23.1351 Y 307.9314 Z -14.353 R0 F MAX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 คุณสมบัติของเหล็กรูปค้ WF

WIDE FLANGE SHAPES



Dimensions and properties

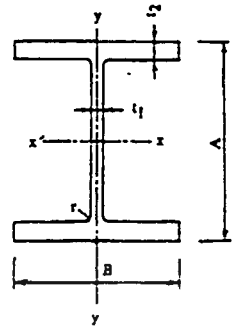
Dimensions mm.					Sectional Area cm ²	Weights		Moment of Inertia cm. ⁴		Radius of Gyration cm.		Modulus of Section cm. ³	
A	B	t ₁	t ₂	r		kg./m.	kg./ft.	I _x	I _y	r _x	r _y	S _x	S _y
100	100	6	8	10	21.90	17.2	5.24	383	134	4.18	2.47	76.5	26.7
125	125	6.5	9	10	30.31	23.8	7.25	847	294	5.29	3.11	136	47.0
150	150	7	10	11	40.14	31.5	9.61	1,640	563	6.39	3.75	219	75.1
171	174	6	9	12	41.74	32.8	9.99	2,300	791	7.43	4.35	269	90.9
175	175	7.5	11	12	51.21	40.2	12.3	2,880	984	7.50	4.38	330	112
196	199	6.5	10	13	52.69	41.4	12.6	3,850	1,310	8.54	4.99	392	132
200	200	8	12	13	63.53	49.9	15.2	4,720	1,600	8.62	5.02	472	160
248	249	8	13	16	84.70	66.5	20.3	9,930	3,350	10.8	6.29	901	269
250	250	9	14	16	92.18	72.4	22.1	10,800	3,650	10.8	6.29	967	292
298	299	9	14	18	110.8	87	26.5	18,800	6,240	13.0	7.51	1,270	417
300	300	10	15	18	119.8	94	28.7	20,400	6,750	13.1	7.51	1,360	450
344	348	10	16	20	146.0	115	34.9	33,300	11,200	15.1	8.78	1,940	646
350	350	12	19	20	173.9	136	41.6	40,300	13,600	15.2	8.84	2,300	776
394	398	11	18	22	186.8	147	44.7	56,100	18,900	17.3	10.1	2,850	951
400	400	13	21	22	218.7	172	52.3	66,600	22,400	17.5	10.1	2,330	1,120
100	50	4	6	7	9.941	7.8	2.38	163	12.6	4.05	1.13	32.6	504
100	50	5	7	8	11.85	9.3	2.84	187	14.8	3.98	1.12	37.5	5.91
125	50	4.5	6.5	8	13.39	10.5	3.20	343	23.6	5.06	1.33	54.9	7.86
125	50	6	8	9	16.84	13.2	4.03	413	29.2	4.95	1.32	66.1	9.73
150	75	6	9	9	22.12	17.4	5.29	315	63.7	6.07	1.70	109	17.0
148	100	6	9	11	26.84	21.1	6.42	1,020	151	6.17	2.37	138	30.1
175	90	6	9	9	26.32	20.7	6.30	1,350	110	7.17	2.04	154	24.4
169	125	5.5	8	12	29.65	23.3	7.10	1,530	261	7.18	2.97	181	41.8
200	100	5.5	8	11	27.16	21.3	6.50	1,840	134	8.24	2.22	184	26.8
194	150	6	9	13	39.01	30.6	9.34	2,690	507	8.30	3.61	277	67.6
250	125	6	9	12	37.66	29.6	9.01	4,050	294	10.4	2.79	324	47
244	175	7	11	16	56.24	44.1	13.5	6,120	984	10.4	4.18	502	113
300	150	6.5	9	13	46.78	36.7	11.2	7,210	508	12.4	3.29	481	67.7
294	200	8	12	18	72.38	56.8	17.3	11,300	1,600	12.5	4.71	771	160
350	175	7	11	14	63.14	49.6	15.1	13,600	984	14.7	3.95	775	112
340	250	9	14	20	101.5	79.7	24.3	21,700	3,650	14.6	6.00	1,280	292
400	200	8	13	16	84.12	66	20.1	23,700	1,740	16.8	4.54	1,190	174
390	300	10	16	22	136.0	107	32.5	38,700	7,210	16.9	7.28	1,980	481
450	200	9	14	18	96.76	76	23.2	33,500	1,870	18.6	4.40	1,490	187
440	300	11	18	24	157.4	124	37.7	56,100	8,110	18.9	7.19	2,550	541
500	200	10	16	20	114.2	99.7	27.3	47,800	2,140	20.5	4.33	1,610	214
488	300	11	18	25	193.5	129	39.1	71,900	8,110	20.8	7.04	2,910	541
600	200	11	17	22	134.4	106	32.2	77,600	2,280	24.0	4.12	2,590	228
588	300	12	20	28	192.5	151	46.1	118,000	9,020	24.8	6.95	4,320	601

Standard length : 8-12 m. (0.5 m. interval)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 คุณสมบัติของเหล็กรูปตัวย H

H PILES



Dimensions and properties

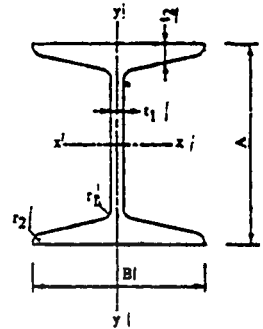
Dimensions mm.					Sectional Area cm ²	Weights		Moment of Inertia cm. ⁴		Radius of Gyration cm.		Modulus of Section cm. ³	
A	B	t ₁	t ₂	r		kg./m.	kg./ft.	I _x	I _y	r _x	r _y	S _x	S _y
200	204	12	12	13	71.53	56.2	17.1	4,980	1,700	8.35	4.88	498	167
244	252	11	11	16	82.06	64.4	19.6	8,790	2,940	10.3	5.98	720	233
250	255	14	14	16	104.7	82.2	25.1	11,500	3,880	10.3	6.09	919	304
294	302	12	12	18	107.7	84.5	25.8	16,900	5,520	12.5	7.16	1,150	365
300	305	15	15	18	134.8	106	32.3	21,500	7,100	12.6	7.26	1,440	466
338	351	13	13	20	135.3	106	32.4	28,200	9,380	14.4	8.33	1,670	534
344	354	16	16	20	166.6	131	39.9	35,300	11,800	14.6	8.43	2,050	669
350	357	19	19	20	198.4	156	47.5	42,800	14,400	14.7	8.53	2,450	809
388	402	15	15	22	178.5	140	42.7	49,000	16,300	16.6	9.54	2,520	809
394	405	18	18	22	214.4	168	51.3	59,700	20,000	16.7	9.65	3,030	985
400	408	21	21	22	250.7	197	60.0	70,900	23,800	16.8	9.75	3,540	1,170

Standard length : 8-12 m. (0.5 m. interval)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 คุณสมบัติของเหล็กรูปค I

STANDARD I BEAMS



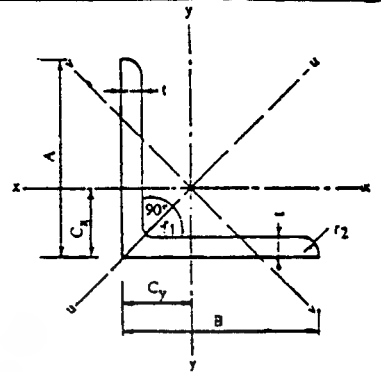
Dimensions and properties

Dimensions mm.						Area cm. ²	Weight kg./m.	Moment of Inertia cm. ⁴		Radius of Gyration cm.		Modulus of Section cm. ³	
A	B	t ₁	t ₂	r ₁	r ₂			I _x	I _y	r _x	r _y	S _x	S _y
125	75	5.5	9.5	9	4.5	20.45	16.1	540	59.0	5.14	1.70	86.4	15.7
150	75	5.5	9.5	9	4.5	21.83	17.1	820	59.1	6.13	1.65	109	15.8
200	100	7	10	10	5	32.06	25.0	2,180	142	8.11	2.07	218	28.4
200	150	9	16	15	7.5	64.14	50.4	4,490	771	8.37	3.47	449	103
250	125	7.5	12.5	12	6	48.79	38.3	5,190	345	10.3	2.66	415	55.2
250	125	10	19	21	10.5	79.73	55.5	7,340	560	10.2	2.81	587	89.6
300	150	8	13	12	6	61.53	48.3	9,500	600	12.4	3.12	533	80
300	150	10	18.5	19	9.5	83.47	65.5	12,700	886	12.4	3.26	849	118
300	150	11.5	22	23	11.5	97.38	76.8	14,700	1,120	12.3	3.33	981	149
350	150	9	15	13	6.5	74.53	58.5	15,200	715	14.3	3.10	871	95.4
350	150	12	24	25	12.5	111.1	87.2	22,500	1,230	14.2	3.33	1,280	164
400	150	10	18	17	8.5	91.73	72.0	24,000	887	16.2	3.11	1,200	113
400	150	12.5	25	27	13.5	122.1	95.3	31,700	1,290	16.1	3.25	1,530	172
450	175	11	20	19	9.5	116.8	91.7	39,200	1,550	18.3	3.64	1,740	177
450	175	13	26	27	13.5	146.1	115	48,300	2,100	18.3	3.79	2,170	240
600	190	13	25	25	12.5	169.4	133	98,200	2,540	24.1	3.87	3,270	267
600	190	16	35	38	19	224.5	176	120,000	3,700	24.0	4.06	4,330	390

Standard length : 6 - 12 m. (0.5 m. interval)

ตารางที่ 12 คุณสมบัติของเหล็กฉากแบบขาเท่ากัน

ANGLES
EQUAL LEGS



Dimensions and properties

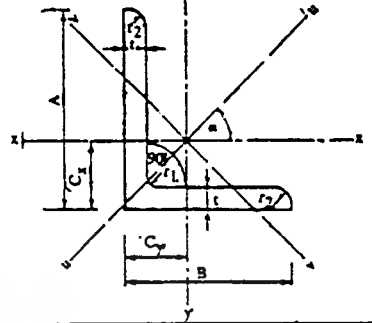
Dimensions mm.				Area cm. ²	Weight kg/m.	C.G. cm.	Moment of Inertia cm. ⁴			Radius of Gyration cm.			Modulus of Section cm. ³ I
A = B	t	r ₁	r ₂				C _x = C _y	I _x = I _y	max I _u	min I _v	r _x = r _y	Max r _u	
50	4	6.5	3	3.89	3.1	1.37	9.1	14.4	3.7	1.53	1.92	.98	2.49
50	6	6.5	4.5	5.64	4.4	1.44	12.6	20.0	5.2	1.50	1.88	.96	3.55
60	5	6.5	3	5.80	4.6	1.66	19.6	31.2	8.1	1.84	2.32	1.18	4.52
65	6	8.5	4	7.53	5.9	1.81	29.4	46.6	12.1	1.98	2.49	1.27	6.27
65	8	8.5	6	9.76	7.7	1.88	36.6	55.3	15.3	1.94	2.44	1.25	7.97
65	10	8.5	6	12.00	9.4	1.96	44.4	70.2	18.7	1.92	2.42	1.25	9.79
70	6	8.5	4	8.13	6.4	1.94	37.1	58.9	15.3	2.14	2.59	1.37	7.33
75	6	8.5	4	8.73	6.9	2.06	46.1	73.2	19.0	2.30	2.90	1.47	8.47
75	9	8.5	6	12.69	10.0	2.17	64.4	102	26.7	2.25	2.84	1.45	12.1
75	12	8.5	6	16.56	13.0	2.29	81.9	129	34.5	2.22	2.79	1.44	15.7
80	6	8.5	4	9.33	7.3	2.19	56.4	89.6	23.2	2.46	3.10	1.58	9.7
90	7	10	5	12.22	9.6	2.46	93	148	38.3	2.76	3.48	1.77	14.2
90	10	10	7	17.00	13.3	2.53	125	199	51.6	2.71	3.42	1.74	19.5
90	13	10	7	21.71	17.0	2.59	156	248	65.3	2.68	3.35	1.73	24.8
100	7	10	5	13.62	10.7	2.71	129	205	53.1	3.08	3.68	1.97	17.7
100	10	10	7	19.00	14.9	2.83	175	278	71.9	3.03	3.33	1.95	24.4
100	13	10	7	24.31	19.1	2.94	220	348	91	3.00	3.75	1.93	31.1
130	9	12	6	22.74	17.9	3.53	366	583	150	4.01	5.06	2.57	38.7
130	12	12	8.5	29.76	23.4	3.64	467	743	192	3.96	5.00	2.54	49.9
130	15	12	8.5	36.75	28.8	3.76	568	902	234	3.93	4.95	2.53	61.5
150	12	14	7	34.77	27.3	4.14	740	1176	304	4.61	5.82	2.96	68.2
150	15	14	10	42.74	33.6	4.24	888	1410	365	4.56	5.75	2.92	82.6
150	19	14	10	53.38	41.9	4.40	1090	1730	451	4.52	5.59	2.91	103
200	15	17	12	57.75	45.3	5.47	2180	3470	891	6.14	7.75	3.93	150
200	20	17	12	76.00	59.7	5.67	2320	4490	1160	6.09	7.68	3.90	197
200	25	17	12	93.75	73.6	5.87	3420	5420	1410	6.04	7.51	3.88	242
200	29	17	12	107.6	84.5	6.01	3870	6120	1610	5.99	7.54	3.87	276
250	25	24	12	119.4	93.7	7.10	6550	11000	2860	7.63	9.62	4.59	338
250	35	24	18	162.6	123	7.45	9110	14400	3790	7.48	9.42	4.83	519

Standard length : 6-12 m. (0.5 m. interval)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 13 คุณสมบัติของเหล็กฉากแบบขาไม่เท่ากัน

ANGLES
UNEQUAL LEGS



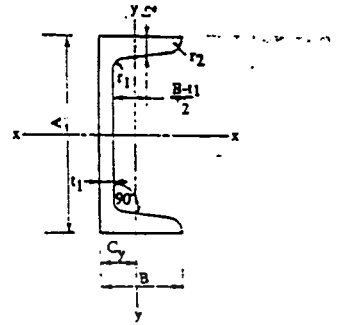
Dimensions and properties

Dimensions mm.					Area cm. ²	Weight kg./m.	Center of Gravity cm.		Moment of Inertia cm. ⁴				Radius of Gyration cm.				Tan α	Modulus of Section cm. ³	
A	B	t	r ₁	r ₂			C _x	C _y	I _x	I _y	max. I _u	min. I _v	r _x	r _y	max. r _u	min. r _v		S _x	S _y
90	75	6	8.5	4	9.627	7.56	2.84	1.90	76.9	48.6	101	24.2	2.83	2.25	3.25	1.58	0.681	12.1	8.68
90	75	9	8.5	6	14.04	11.00	2.75	2.01	109.0	68.1	143	34.1	2.78	2.20	3.19	1.56	0.676	17.4	12.40
90	75	12	8.5	6	18.36	14.40	2.87	2.12	139.0	86.8	182	44.0	2.75	2.17	3.14	1.55	0.672	22.6	16.10
100	75	7	10.0	5	11.87	9.32	3.06	1.84	113.0	57.0	144	30.7	3.15	2.19	3.49	1.61	0.548	17.0	10.10
100	75	10	10.0	7	16.50	13.00	3.18	1.94	159.0	75.1	194	41.3	3.11	2.15	3.43	1.58	0.543	23.2	13.70
100	75	13	10.0	7	21.66	16.50	3.30	2.06	199.0	94.8	242	52.2	3.08	2.12	3.39	1.57	0.538	29.7	17.40
125	75	7	10	5	13.62	10.7	4.10	1.64	219	60.4	243	36.4	4.01	2.11	4.23	1.63	0.362	26.1	10.3
125	75	9	10	7	17.19	13.5	4.18	1.71	271	73.7	300	44.5	3.97	2.07	4.18	1.61	0.359	32.6	12.7
125	75	10	10	7	19.00	14.9	4.23	1.75	298	80.9	330	49.0	3.96	2.06	4.17	1.61	0.357	36.1	14.1
125	75	13	10	7	24.31	19.1	4.35	1.87	376	101.0	414	61.9	3.93	2.04	4.13	1.60	0.352	46.1	17.9
125	90	7	10	5	14.67	11.5	3.84	2.11	233	102.0	279	56.2	3.99	2.64	4.36	1.96	0.510	26.9	14.8
125	90	9	10	7.0	18.54	14.6	3.91	2.18	289	126	345	69.2	3.95	2.60	4.32	1.93	0.507	33.6	18.4
125	90	10	10	7.0	20.50	16.1	3.95	2.22	318	138	380	76.1	3.94	2.59	4.30	1.93	0.506	37.2	20.4
125	90	13	10	7.0	26.26	20.6	4.08	2.34	401	165	479	87.2	3.91	2.51	4.27	1.82	0.499	47.5	24.8
150	90	9	12	6.0	20.94	16.4	4.96	2.00	484	133	537	80.2	4.81	2.52	5.06	1.95	0.362	48.2	19.0
150	90	12	12	8.5	27.36	21.5	5.07	2.10	619	168	634	102.0	4.75	2.47	5.00	1.93	0.357	62.3	24.3
150	90	15	12	8.5	33.75	26.50	5.20	2.22	753	202	831	124	4.72	2.45	4.96	1.92	0.353	76.8	29.9
150	100	9	12	6.0	21.84	17.10	4.77	2.32	502	179	530	101	4.79	2.86	5.15	2.15	0.441	49.0	23.3
150	100	12	12	8.5	28.56	22.40	4.88	2.41	642	229	738	133	4.74	2.83	5.08	2.15	0.435	63.4	30.2
150	100	15	12	8.5	35.25	27.70	5.01	2.53	781	276	897	161	4.71	2.80	5.04	2.14	0.432	78.2	27.0

Standard length : 6-12 m. 0.5 m. interval)

ตารางที่ 14 คุณสมบัติของเหล็กรูปค C

CHANNELS



Dimensions and properties

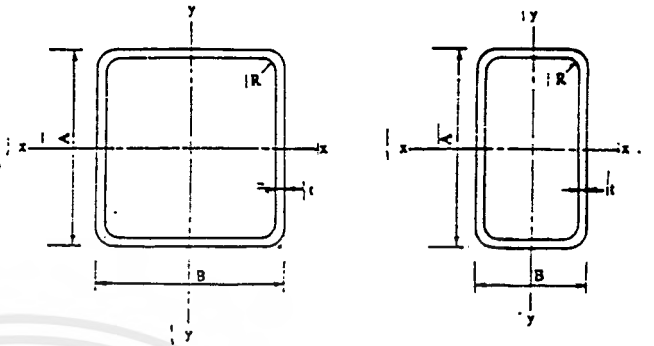
Dimensions mm.						Area cm. ²	Weight kg./m.	Center of Gravity cm.		Moment of Inertia cm. ⁴		Radius of Gyration cm.		Modulus of Section cm. ³	
A	B	t ₂	t ₁	r ₁	r ₂			C _x	C _y	I _x	I _y	r _x	r _y	S _x	S _y
100	50	5	7.5	8	4	11.92	9.36	0	1.55	189	26.9	3.98	1.50	37.8	7.82
125	65	5	8	8	4	17.11	13.40	0	1.94	425	65.5	4.99	1.96	68.0	14.4
150	75	6.5	10	10	5	22.71	18.60	0	2.31	884	122	6.04	2.27	115	23.6
150	75	9	12.5	15	7.5	30.59	24.00	0	2.31	1,050	147	5.86	2.19	140	28.2
180	75	7	10.5	11	5.5	27.20	21.40	0	2.15	1,380	137	7.13	2.24	154	25.5
200	80	7.5	11	12	6	31.33	24.60	0	2.24	1,950	177	7.89	2.38	195	30.8
200	90	8	13.5	14	7	38.65	30.30	0	2.77	2,490	286	8.03	2.72	249	45.9
230	90	8.5	13.5	15	7.5	42.14	33.10	0	2.58	3,490	303	9.10	2.58	304	47.3
250	90	9	13	14	7	44.07	34.60	0	2.42	4,180	306	9.74	2.54	335	46.5
250	90	11	14.5	17	8.5	51.17	40.20	0	2.39	4,690	342	9.57	2.58	375	51.7
300	90	9	13	14	7	48.57	38.10	0	2.23	6,440	325	11.5	2.59	429	48.0
300	90	10	15.5	19	9.5	55.74	43.80	0	2.33	7,400	373	11.5	2.59	494	56.0
300	90	12	16	19	9.5	51.90	48.60	0	2.25	7,870	391	11.3	2.51	525	57.9
380	100	10.5	16	18	9	69.39	54.50	0	2.41	14,500	557	14.5	2.83	762	73.3
380	100	13	20	24	12	85.71	67.30	0	2.50	17,600	671	14.3	2.80	924	89.5

Standard length 6-12 m. 0.5 m. interval)

ตารางที่ 15 คุณสมบัติของท่อเหล็กรูปสี่เหลี่ยม

STRUCTURAL TUBING

Square and Rectangular



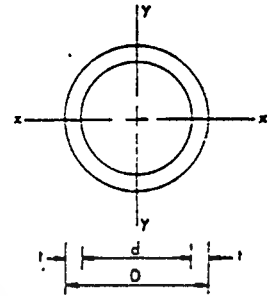
Dimensions and properties

Dimensions mm.			Sectional Area cm. ²	Weight kg./m.	Moment of Inertia cm. ⁴	Modulus of Section cm. ³	Radius of Gyration cm.
A × B	t	R					
100 × 50	3.2	6.4	8.927	7.01	112	22.5	3.55
					38.0	15.2	2.06
100 × 50	2.3	4.6	6.552	5.14	84.8	17.0	3.60
					29.0	11.6	2.10
90 × 90	3.2	6.4	10.85	8.51	135	29.9	3.52
	2.3	4.6					
75 × 75	3.2	6.4	8.927	7.01	75.5	20.1	2.91
	2.3	4.6					
60 × 60	2.3	4.6	5.172	4.06	28.3	9.44	2.34
50 × 50	2.3	4.6	4.252	3.34	15.9	6.34	1.93
50 × 50	1.6	3.2	3.032	2.38	11.7	4.68	1.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 16 คุณสมบัติของท่อเหล็กรูปคัลกลม

PIPE



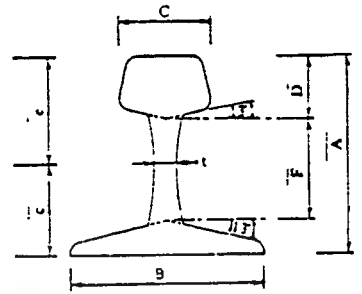
Dimensions and properties

Nominal Size in.	Outside Diameter in.	Thickness in.	Moment of Inertia in. ⁴	Section Modulus in. ³	Radius of Gyration in.
	D	t	I	S	r
1/2"	0.831	0.104	0.0163	0.0393	0.260
3/4"	1.047	0.104	0.0353	0.0674	0.335
1"	1.316	0.128	0.0868	0.1319	0.423
1 1/4"	1.657	0.128	0.1843	0.2225	0.542
1 1/2"	1.889	0.128	0.2811	0.2976	0.624
2"	2.354	0.144	0.6244	0.5305	0.783
2 1/2"	2.969	0.144	1.3017	0.8769	1.000
3"	3.469	0.160	2.3243	1.3400	1.171
3 1/2"	3.959	0.160	3.5133	1.7748	1.344
4"	4.459	0.176	5.5493	2.4890	1.515

Inside Diameter $d = D - 2t$
 Moment of Inertia $I = \frac{D^4 - d^4}{20}$
 Section Modulus $S = \frac{2I}{D}$
 Radius of Gyration $r = \frac{1}{4} \sqrt{D^2 + d^2}$

ตารางที่ 17 คุณสมบัติของเหล็กรางรถไฟ

CRANE RAILS



Dimensions and properties

Rail	Weight kg./m.	Dimensions mm.						Area cm. ²	Center of Gravity cm.		Moment of Inertia cm. ⁴	Radius of Gyration cm.	Section of Modulus cm. ³
		A	B	C	D	t	F		c	e			
P.S. 50 kg.	50.4	114.46	127.00	67.37	46.94	14.29	70.64	64.2	6.88	7.77	1,740	5.20	225
A.S. 30 lb.	39.9	127.00	127.00	63.50	38.10	13.89	66.68	50.7	6.05	6.65	1,100	4.66	165
A.S. 37 kg.	37.2	122.24	122.24	62.71	36.12	13.49	64.69	47.3	5.84	6.38	952	4.49	149
A.S. 30 kg.	30.1	107.95	107.95	60.33	30.95	12.30	57.55	38.3	5.21	5.59	606	3.98	108
R.A. 112 lb.	55.7	168.28	139.70	69.06	42.86	15.08	96.34	71.3	7.69	9.14	2,646	5.09	290
B.S. 100 lb.	49.6	152.40	146.05	69.35	46.82	14.29	84.14	63.30	7.30	7.98	2,001	5.62	252
B.S. 90 lb.	44.6	142.88	136.53	66.68	43.66	13.89	78.58	56.95	6.80	7.48	1,600	5.30	214
B.S. 80 lb.	39.7	133.35	127.00	63.50	40.88	13.49	73.02	50.68	6.37	6.96	1,227	4.92	176
B.S. 75 lb.	37.1	128.59	122.24	61.91	39.69	13.10	70.25	47.41	6.23	6.63	1,056	4.72	159
B.S. 70 lb.	34.8	123.83	117.48	60.33	38.10	12.70	67.47	44.37	5.93	6.45	923	4.56	143
B.S. 60 lb.	29.8	114.30	109.54	57.15	35.72	11.11	61.91	38.00	5.56	5.57	677	4.22	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 18 ทนแรงอัดคานขอมไฟ

กำลังรูดคานของเหล็ก 2520 กก. ค้อตาราง ซม. โมดูลัสขี้คหขุ่น 2.04×10^6 กก. ค้อตาราง ซม.

Main and Secondary Members Kl/r not over 120						Main Members Kl/r 121 to 200				Secondary Members l/r 121 to 200			
Kl/r	Fa kg./cm. ²	Kl/r	Fa kg./cm. ²	Kl/r	Fa kg./cm. ²	Kl/r	Fa kg./cm. ²	Kl/r	Fa kg./cm. ²	l/r	Fas kg./cm. ²	l/r	Fas kg./cm. ²
1	1509.3	41	1338.2	81	1068.6	121	712.6	161	405.3	121	716.2	161	509.8
2	1506.5	42	1332.6	82	1060.7	122	702.5	162	400.3	122	709.6	162	506.7
3	1503.6	43	1326.9	83	1052.8	123	692.4	163	395.4	123	703.0	163	503.7
4	1500.6	44	1321.1	84	1044.9	124	682.2	164	390.6	124	696.1	164	500.7
5	1497.5	45	1315.3	85	1036.9	125	671.9	165	385.9	125	689.1	165	497.9
6	1494.4	46	1309.4	86	1028.8	126	661.6	166	381.2	126	682.0	166	495.1
7	1491.1	47	1303.5	87	1020.7	127	651.3	167	376.7	127	675.0	167	492.4
8	1487.8	48	1297.5	88	1012.6	128	641.2	168	372.2	128	667.9	168	489.7
9	1484.4	49	1291.4	89	1004.4	129	631.3	169	367.8	129	661.0	169	487.2
10	1481.0	50	1285.3	90	996.1	130	621.6	170	363.5	130	654.3	170	484.6
11	1477.4	51	1279.1	91	987.8	131	612.1	171	359.2	131	647.8	171	482.2
12	1473.8	52	1272.9	92	979.4	132	602.9	172	355.1	132	641.4	172	479.8
13	1470.1	53	1266.6	93	971.0	133	593.9	173	351.0	133	635.1	173	477.5
14	1466.3	54	1260.3	94	962.5	134	586.0	174	347.0	134	629.1	174	475.3
15	1462.5	55	1253.9	95	954.0	135	576.4	175	343.0	135	623.1	175	473.1
16	1458.6	56	1247.4	96	945.4	136	568.0	176	339.1	136	617.3	176	471.0
17	1454.6	57	1240.9	97	936.8	137	559.7	177	335.3	137	611.7	177	469.0
18	1450.5	58	1234.3	98	928.1	138	551.6	178	331.5	138	606.2	178	467.0
19	1446.4	59	1227.7	99	919.4	139	543.7	179	327.9	139	600.8	179	465.0
20	1442.2	60	1221.0	100	910.6	140	536.0	180	324.2	140	595.5	180	463.2
21	1437.9	61	1214.3	101	901.7	141	528.4	181	320.7	141	590.4	181	461.4
22	1433.5	62	1207.5	102	892.8	142	521.0	182	317.1	142	585.4	182	459.6
23	1429.1	63	1200.7	103	883.8	143	513.7	183	313.7	143	580.5	183	457.9
24	1424.6	64	1193.8	104	874.8	144	506.6	184	310.3	144	575.7	184	456.3
25	1420.1	65	1186.9	105	865.7	145	499.6	185	307.0	145	571.0	185	454.7
26	1415.4	66	1179.9	106	856.6	146	492.3	186	303.6	146	566.4	186	463.2
27	1410.7	67	1172.8	107	847.4	147	486.1	187	300.4	147	562.0	187	451.7
28	1406.0	68	1165.7	108	838.2	148	479.6	188	297.2	148	557.7	188	450.3
29	1401.2	69	1158.6	109	828.9	149	473.2	189	294.1	149	553.4	189	449.0
30	1396.3	70	1151.4	110	819.5	150	466.9	190	291.0	150	549.3	190	447.7
31	1391.3	71	1144.1	111	810.1	151	460.7	191	288.0	151	545.2	191	446.4
32	1386.3	72	1136.8	112	800.6	152	454.7	192	285.0	152	541.3	192	445.3
33	1381.2	73	1129.4	113	791.1	153	448.7	193	282.0	153	537.4	193	444.1
34	1376.0	74	1122.0	114	781.5	154	442.9	194	279.1	154	533.7	194	443.0
35	1370.8	75	1114.5	115	771.8	155	437.2	195	276.3	155	530.0	195	442.0
36	1365.5	76	1107.0	116	762.1	156	431.7	196	273.5	156	526.4	196	441.0
37	1360.2	77	1099.4	117	752.3	157	426.2	197	270.7	157	522.9	197	440.1
38	1354.8	78	1091.8	118	742.5	158	420.8	198	268.0	158	519.5	198	439.3
39	1349.3	79	1084.1	119	732.6	159	415.6	199	265.3	159	516.2	199	438.5
40	1343.8	80	1076.4	120	722.6	160	410.3	200	262.3	160	512.9	200	437.7

*K taken as 1.0 for Secondary members.

Note. $C_e = 126.4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. สนั่น เจริญเผ่า, วินิต ช่อวิเชียร : การออกแบบโครงสร้างไม้ และ โครงสร้างเหล็ก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ.2530
2. สมชัย นรเศรษฐ์โสภณ : กลศาสตร์ของแข็ง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2533
3. ชนะ กสิภาร์ : ความแข็งแรงของวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ. 2528
4. ผศ. สมาน เจริญกิจพูลผล : กลศาสตร์วิศวกรรม : พลศาสตร์, ฟิสิกส์เชิงเตอร์การพิมพ์, กรุงเทพฯ พ.ศ.2527
5. ดร. วรวิทย์ อึ้งภากรณ์, ชาญ ถนัดงาน : การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม1 , ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด , กรุงเทพฯ พ.ศ. 2521
6. Andrew pytel , Feradinand L. singer : Strength of materials , 4th.ed. , Harper collins publishers , Inc. , NEWYORK ,1987
7. Ferdinand P.beer, E.russell Johnston , Jr. : " Vector Mechanic" , 3RD.ED. , McGRAW-HILL BOOK COMPANY ,NEWYORK ,1977
8. Ferdinand P.beer, E.russell Johnston , Jr. : "Mechanics for engineers : Dynamic ,4TH.ED. , McGRAW-HILL BOOK COMPANY ,NEWYORK ,1987
9. Takashi Kitahara : Automobile engineering couse , Drive train , chassis \$ body, ISUZU Advanced engineering center Ltd.
10. รศ. บรรณเจง ศรีนิต : เทคโนโลยีพลาสติก , สสท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
11. ผศ. ชาลี ตระการกุล : เทคโนโลยีซี เอ็น ซี , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

กิตติกรรมประกาศ

- ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนช่วยในการทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
 - ขอขอบคุณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ตลอดระยะเวลาในการศึกษา
 - ขอขอบคุณ พี่มณฑา เทียมเมือง ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทำ work shop และการยืมอุปกรณ์
 - ขอขอบคุณ พี่เกี้ยว พิภักดี เจ้าหน้าที่ประจำสำนักวิจัยคอมพิวเตอร์ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการให้ความรู้เกี่ยวกับคอมพิวเตอร์
 - ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ความสนุกสนาน ความบันเทิง ในการทำโครงการ
 - ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้กำลังใจในการทำโครงการ
 - ขอขอบคุณ เพื่อน อี๊ด ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน เป็นอย่างยิ่ง
 - ขอขอบคุณกำลังใจส่วนตัวของแต่ละคนที่หนีจากไปเพราะไม่มีเวลาให้
 - ขอขอบคุณรุ่นน้องที่คอยช่วยเหลือ รุ่นพี่มาโดยตลอด
- สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

