

แบบจำลองการเต้นของหัวใจ  
Cardio-Vascular Simulator



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน... 46003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้...  
ฉบับ, เดือน, ปี 27 ก.พ. 2546

b.....

611 284304

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2544

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องจำลองการเต้นของหัวใจ

Cardio-Vascular Simulator

ผู้จัดทำ

1. นาย ชงชัย เลิศทรัพย์ถาวร รหัส 42015347
2. นาย ปพจน์ หารรักษาคุณาทัย รหัส 42015355
3. นาย สุทัศน์ อัสสัมภินพงศ์ รหัส 42015374
4. นาย สุเมธ อินทระมารุต รหัส 42015375



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องจำลองการเดินของหัวใจ

นาย ชงชัย เลิศทรัพย์ถาวร 42015347

นาย ปพจน์ หารรักษาญาติ 42015355

นาย สุทัศน์ อสัมภินพงศ์ 42015374

นาย สุเมธ อินพระมารุต 42015375

รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2544

### บทคัดย่อ

ปฏิญญาฉบับนี้ เป็นการสร้างแบบจำลองการเดินของหัวใจ ประกอบด้วยชุดลูกเบี้ยว ชุด Follower และระบบกลไก มีหลักการทำงานคือ ชุดลูกเบี้ยวจะเป็นตัวสร้างจังหวะการเดินของหัวใจ ชุด Follower และชุดกลไกจะเป็นตัวเปลี่ยนการหมุนของลูกเบี้ยวเป็นระยะขจัด ซึ่งจังหวะของระยะขจัดนี้จะมี ความสัมพันธ์โดยตรงกับสัญญาณคลื่นหัวใจและสามารถเปลี่ยนความถี่และแอมพลิจูดของสัญญาณคลื่นหัวใจได้



## Cardio-Vascular Simulator

Thongchai Lertsubthaworn

Papoj Hunsakunathai

Sutus Asumpinpong

Sumet Intaramarut

Assoc. Prof. Dr. Mongkon Mongkonwongroj Advisor

### ABSTRACT

This project described the design and development of cardiology patient simulator. The simulator is a mechanical system, which consists of mechanical element. The mechanical elements in this system are cams, follower mechanism and actuator. The actuators generate the cardio pulse single. In this work, the cams need to be adjusted to obtain the correct pulse single by varying both speed amplitude and angle.



### กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สำเร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือและร่วมมือจากหลายๆฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ รศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และที่ปรึกษาโท ที่ให้ความเอาใจใส่ สอบถาม แนะนำและช่วยเหลือเสมอมาซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้พวกกระผมมีวันนี้ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่งซึ่งได้เลี้ยงดูพวกกระผมเป็นอย่างดีตลอดมา พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่อย่างเสมอมาในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ พวกผมขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



นาย ธงชัย เลิศทรัพย์ถาวร  
นาย ปพนันท์ หารรักษาอุทัย  
นาย สุทัศน์ อสัมภินพงศ์  
นาย สุเมธ อินทรมารุต

## สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 หลักการทำงาน	3
2.1 หลักการทำงาน	3
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างลูกเบี้ยว	10
3.1 กราฟแสดงการเดินของหัวใจ	10
3.2 ทฤษฎีการซ้อนทับ	10
3.3 การหาสมการการเคลื่อนที่	10
3.4 ทฤษฎีผลต่างจากการแบ่งย่อยของนิวตัน	12
3.5 การพล็อตการกระจัดเชิงมุม	14
3.6 การสร้างลูกเบี้ยว	14
3.7 ข้อมูลต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยว	15
บทที่ 4 การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	29
4.1 อุปกรณ์การทดลอง	29
4.2 ขั้นตอนการทดลอง	29
4.3 ผลการทดลอง	30
4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง	38
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุป	39
5.2 ข้อเสนอแนะ	39
บรรณานุกรม	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
ภาคผนวก	41
ภาคผนวก ก. แบบขึ้นส่วนประกอบ	42
ภาคผนวก ข. โปรแกรมคอมพิวเตอร์	66



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้าที่
3-1	ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวตั้งกราฟที่ 1	16
3-2	ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวตั้งกราฟที่ 2	18
3-3	ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวตั้งกราฟที่ 3	20
3-4	ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวตั้งกราฟที่ 4	22
3-5	ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวตั้งกราฟที่ 5	24
3-6	ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวตั้งกราฟที่ 6	26
3-7	ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวตั้งกราฟที่ 7	28
4-1	กราฟที่ได้จากการทดลองเทียบกับกราฟของจริงที่ตำแหน่ง LV	30
4-2	กราฟที่ได้จากการทดลองเทียบกับกราฟของจริงที่ตำแหน่ง RV	33
4-3	กราฟที่ได้จากการทดลองเทียบกับกราฟของจริงที่ตำแหน่ง Pulmonary	35
4-4	กราฟที่ได้จากการทดลองเทียบกับกราฟของจริงที่ตำแหน่ง Displaced Left Ventricular Area	36
4-5	กราฟที่ได้จากการทดลองเทียบกับกราฟของจริงที่ตำแหน่ง Ectopic Area	37

## สารบัญภาพ

รูปที่		หน้าที่
2-1	กลไกชุดจำลองการเดินหัวใจ	3
2-2	ทิศทางการหมุนของลูกเบี้ยว	4
2-3	ชุด Link ที่1	4
2-4	ชุด Link ที่2	5
2-5	ชุด Link ที่3	5
2-6	ชุด Link ที่4	6
2-7	ชุด Link ที่5	6
2-8	ชุด Link ที่6	7
2-9	การแบ่งกราฟออกเป็นช่วงเพื่อทำลูกเบี้ยว	7
2-10	มุมมองสากการปรับลูกเบี้ยว	8
2-11	สกรูปรับความสูงของกราฟ	8
2-12	เครื่องป้อนกระดาษ	9
3-1	แสดงกราฟการเดินของจีพอร์ที่ตำแหน่ง LV ของคนปกติ	10
3-2	ลักษณะกราฟที่ 1	15
3-3	ลักษณะลูกที่สร้างได้จาก Auto CAD ลูกที่ 1	15
3-4	ลักษณะกราฟที่ 2	17
3-5	ลักษณะลูกที่สร้างได้จาก Auto CAD ลูกที่ 2	17
3-6	ลักษณะกราฟที่ 3	19
3-7	ลักษณะลูกที่สร้างได้จาก Auto CAD ลูกที่ 3	19
3-8	ลักษณะกราฟที่ 4	21
3-9	ลักษณะลูกที่สร้างได้จาก Auto CAD ลูกที่ 4	21
3-10	ลักษณะกราฟที่ 5	23
3-11	ลักษณะลูกที่สร้างได้จาก Auto CAD ลูกที่ 5	23
3-12	ลักษณะกราฟที่ 6	25
3-13	ลักษณะลูกที่สร้างได้จาก Auto CAD ลูกที่ 6	25
3-14	ลักษณะกราฟที่ 7	27
3-15	ลักษณะลูกที่สร้างได้จาก Auto CAD ลูกที่ 7	27
4-1	อธิบายกราฟเพื่อใช้ในการปรับตั้ง	30

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มา

โรคหัวใจนั้นมีหลายชนิดซึ่งแต่ละชนิดมีอาการที่ต่างกันไปแล้วแต่ว่าจะเกิดกับส่วนใดของหัวใจมนุษย์ซึ่งทำให้การเต้นของหัวใจผิดไปจากคนปกติ โดยทั่วไปหัวใจมนุษย์จะเต้น 1 จังหวะหรือ 1 loop ต่อ 1 cycle และเฉลี่ยโดยประมาณ 60 - 80 ครั้งต่อนาที แล้วแต่อายุของคนคนนั้นและกิจกรรมที่กำลังปฏิบัติอยู่ในขณะนั้นๆด้วย

ปัจจุบันการศึกษาทางการแพทย์ยังใช้การลงปฏิบัติกับผู้ป่วยจริงอยู่โดยมิได้มีการฝึกกับแบบจำลองใดๆมาก่อนหน้านั้นและในความเป็นจริงนักศึกษาอาจไม่ได้พบกับผู้ป่วยเป็นโรคต่างๆเกี่ยวกับหัวใจซึ่งมีหลายชนิดได้ครบทุกโรคตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาอยู่ทำให้ขาดความชำนาญในการวินิจฉัยโรคไป และหน้าที่ของแพทย์ก็คือทำให้ผู้ป่วยมีสุขภาพที่ดีขึ้นไม่ใช่แค่ลงซึ่งเราไม่รู้ว่า การที่มีนักศึกษาจำนวนมากไปทำการศึกษากับผู้ป่วยจริงนั้นมีผลกระทบทางด้านใดบ้างต่อผู้ป่วยมากแค่ไหนเพราะในผู้ป่วยบางรายอาจมีความอ่อนล้า, สิ้นหวังหรือคิดไปในทางที่ไม่ให้กำลังใจตัวเองอยู่ซึ่งอาจมีผลต่อชีวิตของผู้ป่วยได้

ขณะนี้ในประเทศไทยมีเครื่องจำลองการเต้นของหัวใจเพียง 1 ตัวอยู่ที่โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้าซึ่งมีราคาสูงมาก อาจารย์ที่ปรึกษาจึงได้เสนอหัวข้อเป็นโปรเจกขึ้นมาซึ่งรัฐบาลก็ให้เงินสนับสนุนมาเพื่อที่จะสร้างเครื่องจำลองการเต้นของหัวใจขึ้นเพื่อที่จะผลิตให้เองในวงการศึกษาด้านการแพทย์ของประเทศไทย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 สร้างเครื่องจำลองการเต้นของหัวใจขึ้นให้ได้กราฟตามลักษณะของคนปกติและคนที่ป่วยเป็นโรคต่างๆเกี่ยวกับหัวใจ

1.2.2 เพิ่มประสบการณ์และศักยภาพในการวินิจฉัยโรคของนักศึกษาแพทย์จากการสัมผัสการเต้นของหัวใจ

1.2.3 เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

1.2.4 เพื่อลดต้นทุนในการนำเข้าเครื่องจากต่างประเทศ

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 สร้างเครื่องจำลองการเต้นหัวใจในรูปแบบของ model ที่ใช้งานจริงได้

1.3.2 ปรับตั้งให้เครื่องทำงานได้ตามลักษณะการเต้นของหัวใจของคนปกติและผู้ที่ป่วยเป็นโรคหัวใจชนิดต่างๆ

## 1.4 วิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาข้อมูลทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ
- 1.4.2 ทำการศึกษาออกแบบระบบและส่วนประกอบของเครื่อง
- 1.4.3 นำหลักการทางทฤษฎีมาประยุกต์ออกแบบ Cam ตามบทที่ 3
- 1.4.4 ทำการทดลองและบันทึกผลการทดลองซึ่งมีรายละเอียดดังบทที่ 4
- 1.4.5 สรุปผลและเพิ่มข้อเสนอแนะ



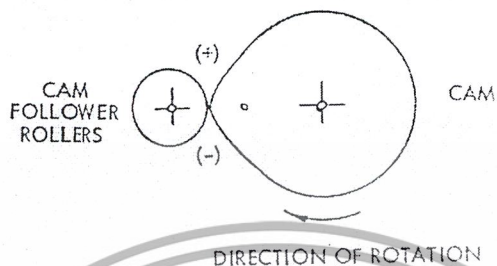
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



RIGHT SIDE

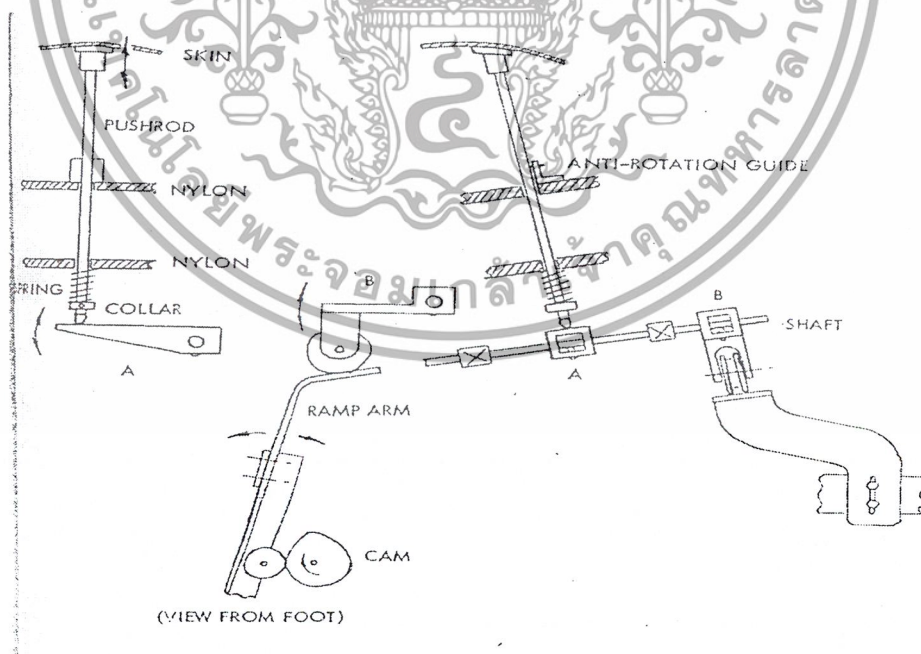
#7 CAROTID

CAM NO. 1



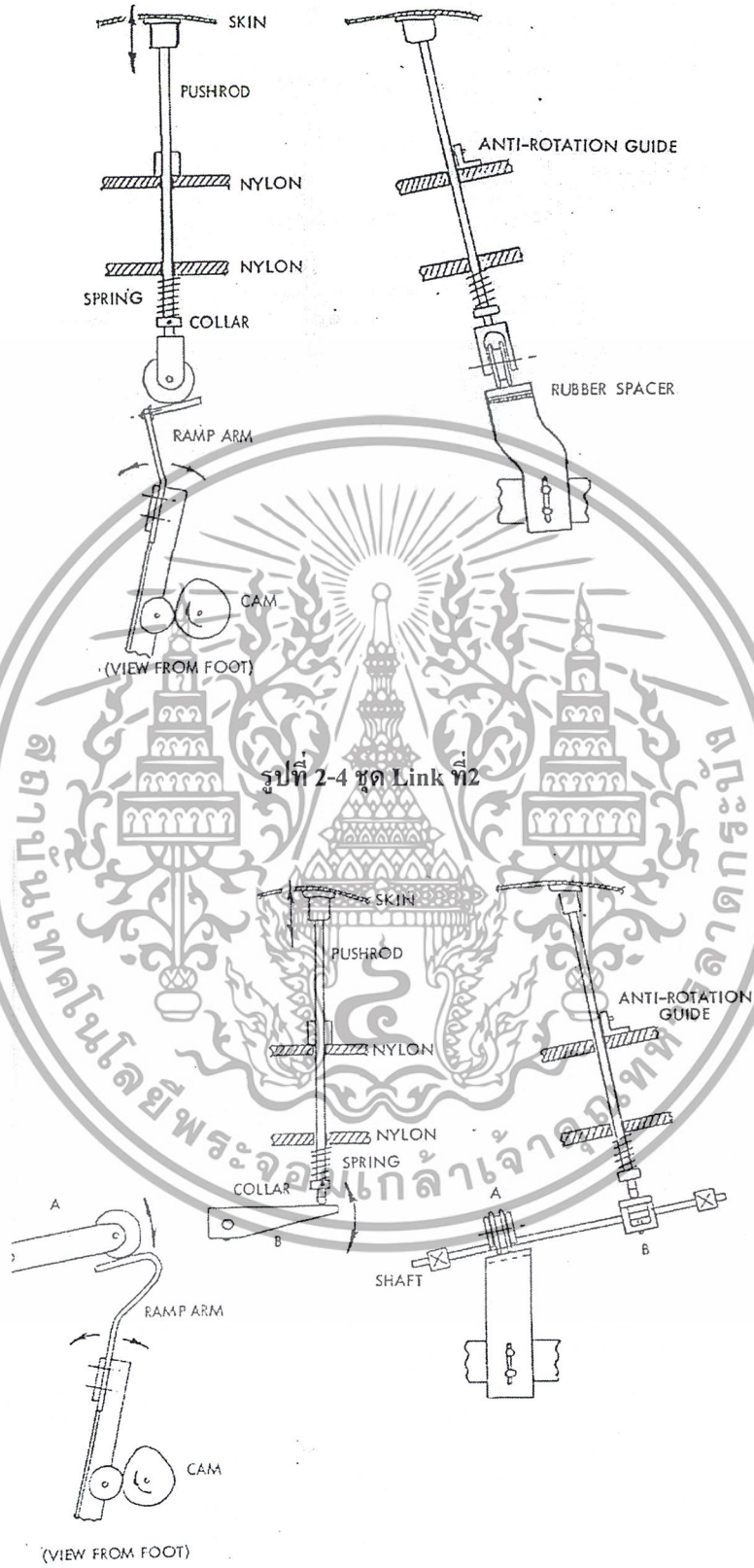
รูปที่ 2-2 ทิศทางการหมุนของลูกเบี้ยว

เนื่องจากตำแหน่งของจุดแสดงผลจะรวมอยู่ที่ทางด้านซ้ายของหุ่นแต่การวางชุดลูกเบี้ยวเป็นไปลักษณะตามยาวจึงต้องมีชุด Link เพื่อส่งถ่ายถึงหัวการหมุนจากชุด Follower จากตำแหน่งต่าง ๆ มารวมอยู่ที่บริเวณหน้าอกด้านซ้าย ซึ่งมีการวางชุด Link ดังนี้



รูปที่ 2-3 ชุด Link ที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-5 ชุด Link ที่ 3

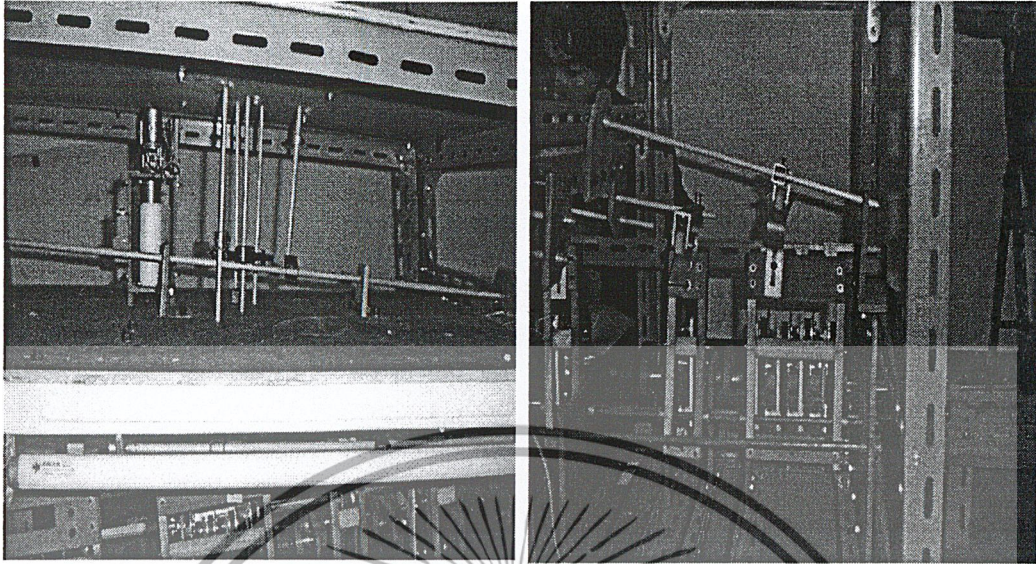
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-6 ชุด Link ที่ 4

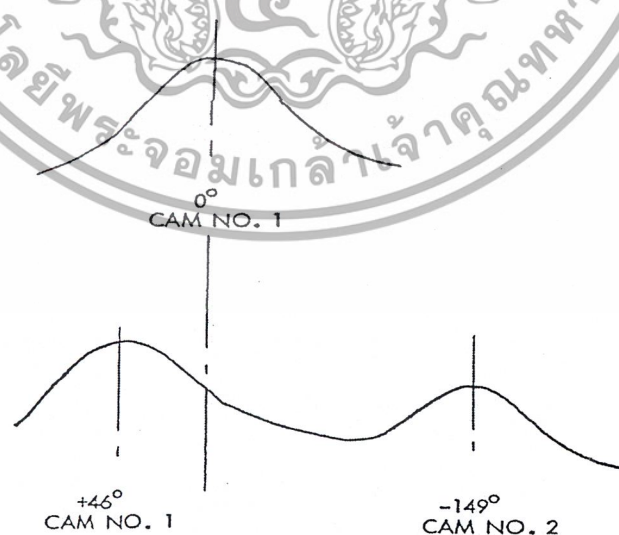
รูปที่ 2-7 ชุด Link ที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



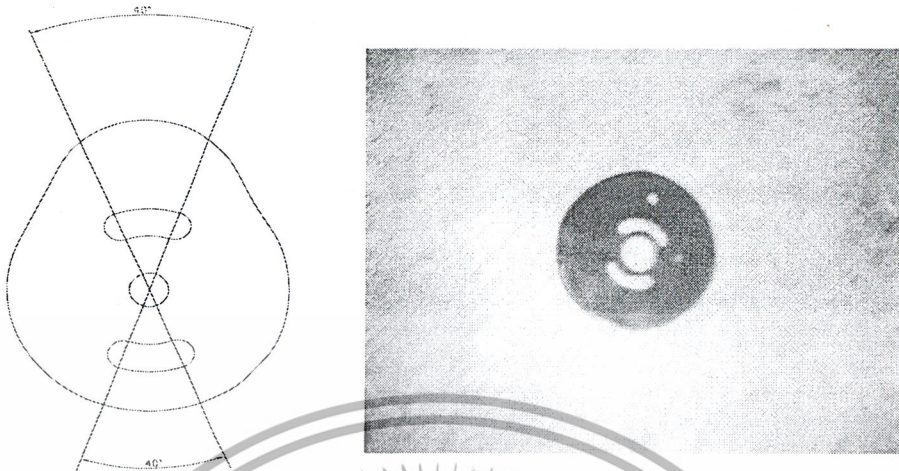
รูปที่ 2-8 ชุด Link ที่ 6

2.1.2 วิธีสร้างกราฟจากลูกเบี้ยวมากกว่า 1 ลูกขึ้นไป สามารถสร้างได้โดยตั้งมุมมองของลูกเบี้ยวแต่ละตัวและการปรับสกรูเพื่อปรับ Amplitude เหตุที่ต้องสร้างจากลูกเบี้ยว 2 ลูกเพราะบางกราฟ เมื่อสร้างเป็นลูกเบี้ยวลูกเดียวแล้ว Follower ไม่สามารถเข้าไปในซอกเล็กๆ ได้หรืออาจจะต้องใช้ตัวตามแบบเข็มเพื่อให้เข้าไปในซอกได้ แต่ถ้าเราแบ่งช่วงกราฟออกแล้วสร้างจากลูกเบี้ยว 2 ตัวจะทำให้ Follower สามารถทำได้ง่ายและเข้าถึงทุกจุด



รูปที่ 2-9 การแบ่งกราฟออกเป็นช่วงเพื่อทำลูกเบี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



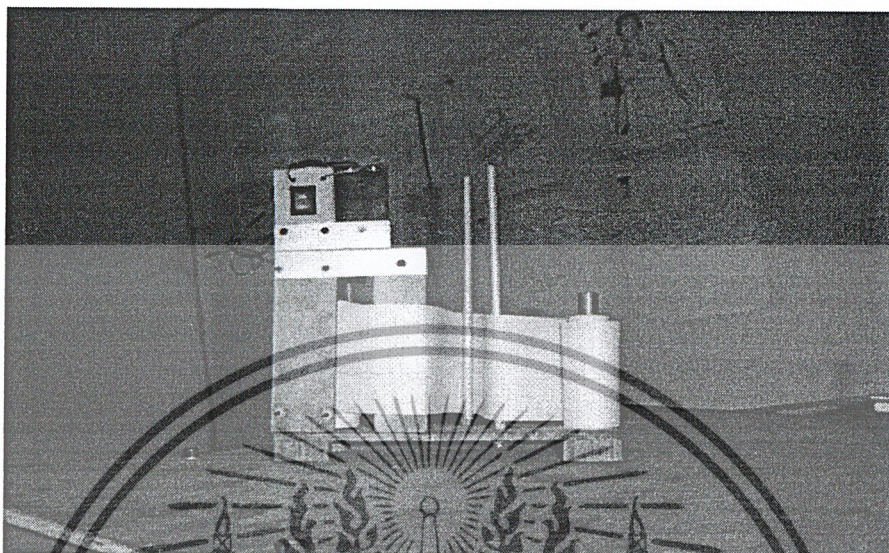
รูปที่ 2-10 มุมองศาการปรับดูแคบ



รูปที่ 2-11 สกรูปรับความสูงของกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การพล็อตกราฟ เราทำได้โดยสร้างเครื่องป้อนกระดาษขึ้นมาแล้วนำปากกาไปติดกับ push rod ให้ push rod เป็นตัวพล็อตกราฟ



รูปที่ 2-12 เครื่องป้อนกระดาษ

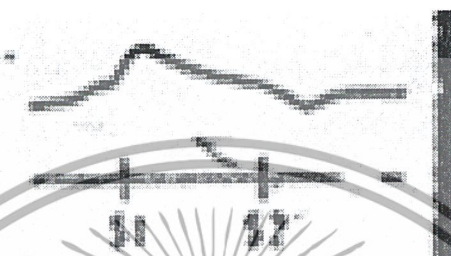


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบและสร้างลูกเบี้ยว

#### 3.1 กราฟแสดงการเดินของหัวใจ



รูปที่ 3-1 แสดงกราฟการเดินของซีพอร์ที่ตำแหน่ง LV ของคนปกติ

จากกราฟแสดงการเดินของหัวใจจะสังเกตเห็นได้ว่าการแบ่งเส้นกราฟออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วง S1 และ ช่วง S2

#### 3.2 ทฤษฎีการซ้อนทับ

จากรูปที่ 2-9 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟบางเส้นนั้นจะมีการใช้ลูกเบี้ยวเพียงลูกเดียวดังเช่นที่ตำแหน่ง LV ของโรค Mitral Stenosis & Regurgitation แต่บางกราฟก็มีการใช้ลูกเบี้ยว 2 ลูกดังเช่น ที่ตำแหน่ง LV ของโรค Aortic Stenosis ซึ่งใช้ลูกเบี้ยวลูกที่ 1 และลูกที่ 2 ในการเขียนเป็นเส้นกราฟ

การใช้ลูกเบี้ยว 2 ลูกในการเขียนเส้นกราฟนี้เรียกว่า “ทฤษฎีการซ้อนทับ” ซึ่งจะกล่าวได้ว่า

เส้นกราฟจะถูกแสดงออกโดยลูกเบี้ยวลูกที่มีแอมพลิจูดสูงที่สุดในขณะนั้นกล่าวคือ เมื่อเส้นกราฟ S1 ในลูกเบี้ยวลูกที่ 1 มีแอมพลิจูดสูงกว่าเส้นกราฟ S1 ของลูกเบี้ยวลูกที่ 2 แต่เส้นกราฟ S2 ของลูกเบี้ยวลูกที่ 2 มีแอมพลิจูดสูงกว่าเส้นกราฟ S2 ของลูกเบี้ยวลูกที่ 1 เพราะฉะนั้นถ้าเดินลูกเบี้ยวทั้ง 2 พร้อมกันเส้นกราฟที่ปรากฏจะเป็นเส้นกราฟ S1 ของลูกเบี้ยวลูกที่ 1 และเส้นกราฟ S2 ของลูกเบี้ยวลูกที่ 2 ซึ่งการใช้ทฤษฎีนี้ในการออกแบบลูกเบี้ยวสามารถลดจำนวนลูกเบี้ยวลงมาได้

#### 3.3 การหาสมการการเคลื่อนที่

ในการหาสมการการเคลื่อนที่ของเส้นกราฟ S1 และ S2 นั้นจะใช้วิธีการประมาณค่าในช่วงโดยใช้วิธีผลต่างของนิวตัน โดยรายละเอียดในการหาสมการการเคลื่อนที่เป็นดังต่อไปนี้

3.3.1 นำเส้นกราฟแสดงการเดินของหัวใจมาแบ่งเป็นเส้นกราฟ S1 และ S2

3.3.2 นำเส้นกราฟ S1 และ S2 มาหาพิกัดของจุดต่างๆ บนเส้นกราฟโดยจะแบ่งเส้นกราฟ S1 เป็น

10 ส่วนเท่าๆกัน และหาพิกัด 10 จุดบนเส้นกราฟ S1 ส่วนเส้นกราฟ S2 นั้นจะทำการแบ่งออกเป็น 18 ส่วนเท่าๆกัน และหาพิกัดทั้ง 18 จุด

3.3.3 เลือกพิกัดของเส้นกราฟแต่ละจุดมาหาค่าคงที่ ( $C_0, C_1, C_2, \dots, C_n$ ) โดยใช้โปรแกรมเทอร์โบปาสคาลซึ่งโปรแกรมเขียนได้ดังนี้

```

PROGRAM NEWDIV
VAR X : ARRAY [ 1..10] OF REAL ;
    FX : ARRAY [ 1..10, 1..10] OF REAL ;
    I, ICOL, IROW, N, M : INTEGER ;
BEGIN
    WRITELN ('PLEASE ENTER NUMBER OF POINT');
    READLN (N);
    FOR IROW := 1 TO N DO
    BEGIN
        WRITEN (' PLEASE ENTER X', N-1, ' VALUE');
        READLN (X [IROW]);
        WRITEN (' PLEASE ENTER Y', N-1, ' VALUE');
        READLN (FX [IROW]);
    END;
    M := N;
    FOR ICOL := 2 TO N DO
    BEGIN
        M := M-1;
        FOR IROW := 1 TO M DO
        BEGIN
            FX [ IROW, ICOL] := FX[IROW+1, ICOL-1] - FX[IROW, ICOL-1];
            FX [ IROW, ICOL] := FX[IROW, ICOL] / X[IROW + ICOL - 1] - X
                [IROW]);
        END ;
    END ;
    FOR I := 1 TO N DO
        WRITELN ('C', I-1, ' = ', FX[1, I]:10);
    READLN ;
END ;

```

วิธีการใช้โปรแกรมจากค่าคงที่มีดังนี้

3.3.3.1 ทำการรันโปรแกรม จะปรากฏข้อความว่า ‘PLEASE ENTER NUMBER OF POINT’

3.3.3.2 กรอกจำนวนของพิกัดที่จะนำมาใช้หาสมการการเคลื่อนที่แล้วหน้าจอก็จะปรากฏข้อความว่า ‘PLEASE ENTER  $X_0$  VALUE

3.3.3.3 กรอกว่า  $X_1$  ลงในหน้าจอ แล้วหน้าจอก็จะปรากฏข้อความว่า “PLEASE ENTER  $Y_1$  VALUE

3.3.3.4 กรอกว่า  $Y_0$  ลงในหน้าจอ แล้วหน้าจอก็จะให้กรอกค่าพิกัดต่อไปเรื่อยๆจนครบทุกค่า

3.3.3.5 เมื่อกรอกค่าพิกัดจนครบโปรแกรมจะแสดงผลค่าคงที่ออกมา แล้วนำค่าคงที่ที่หามาได้มาหาสมการการเคลื่อนที่ที่ได้ดังนี้

$$y = C_0 + C_1(x - x_0) + C_2(x - x_0)(x - x_1) + C_3(x - x_0)(x - x_1)(x - x_2) \quad (1) \\ + \dots + C_n(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-1})$$

#### 3.4 ทฤษฎีผลต่างจากการแบ่งย่อยของนิวตัน

เราสามารถทำการประมาณค่าในช่วงพหุนาม (polynomial interpolation) โดยทั่วไปได้ นั่นคือ หากเรามีข้อมูลทั้งหมด  $n+1$  ข้อมูลที่ตำแหน่ง  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$  เราสามารถสร้างฟังก์ชันพหุนามโดยทั่วไปขึ้นมาได้

ลักษณะของฟังก์ชันในรูปแบบของฟังก์ชันพหุนาม สามารถเขียนได้ในรูปแบบดังนี้

$$y = C_0 + C_1(x - x_0) + C_2(x - x_0)(x - x_1) + C_3(x - x_0)(x - x_1)(x - x_2) \\ + \dots + C_n(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-1})$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์  $C_i, i = 0, 1, 2, \dots, n$  สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$C_0 = f(x_0)$$

$$C_1 = f[x_1, x_0]$$

$$C_2 = f[x_2, x_1, x_0]$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$\vdots$$

$$C_n = f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_1, x_0]$$

โดยวงเล็บสี่เหลี่ยมแสดงถึงผลต่างจากการแบ่งย่อย (divided difference) เช่น ผลต่างจากการแบ่ง

ย่อยครั้งที่ 1 คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f[x_i, x_j] = \frac{f(x_i) - f(x_j)}{x_i - x_j} \quad (2)$$

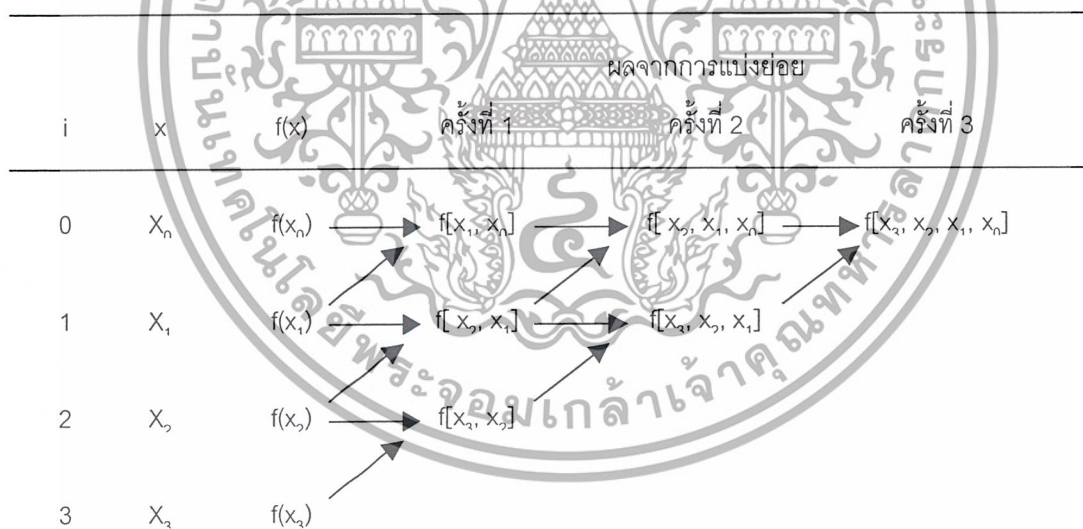
ในทำนองเดียวกันผลต่างจากการแบ่งย่อยครั้งที่ 2 คือ

$$f[x_i, x_j, x_k] = \frac{f(x_i, x_j) - f(x_j, x_k)}{x_{ji} - x_k} \quad (3)$$

ดังนั้นผลต่างจากการแบ่งย่อยครั้งที่ n คือ

$$f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_1, x_0] = \frac{f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_1] - f[x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_0]}{x_n - x_0} \quad (4)$$

ค่าของผลต่างจากการแบ่งย่อยนั้น สามารถทำการคำนวณแบบสืบเนื่องไปที่ละขั้นตอนได้ดังนี้



ค่าที่คำนวณได้ในแถวบนแรก ก็คือค่าคงตัวที่  $C_i$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots, n$  นั่นเอง ดังนั้นเมื่อเราคำนวณค่าเหล่านี้ได้ เราจึงสามารถแทนกลับลงในสมการ ซึ่งก่อให้เกิดฟังก์ชันพหุนามคือ

$$f(x) = f(x_0) + (x - x_0)f[x_1, x_0] + (x - x_0)(x - x_1)f[x_2, x_1, x_0] + \dots \quad (5)$$

$$+ (x - x_0)(x - x_1)\dots(x - x_{n-1})f[x_n, x_{n-1}, \dots, x_0]$$

### 3.5 การพล็อตการกระจัดเชิงมุม

เนื่องจากค่าสมการการเคลื่อนที่ที่คำนวณได้นั้นยังคงเป็นเชิงเส้นอยู่ ในการสร้างลูกเบี้ยวจำเป็นที่จะต้องมาพล็อตค่าลงบนวงกลมมาตรฐานเพื่อที่จะทำให้เกิดเป็นลูกเบี้ยวของเส้นกราฟเกิดขึ้น โดยมีวิธีการทำดังนี้

3.5.1 นำสมการการเคลื่อนที่ที่คำนวณมาได้ มาทำการหาแอมพลิจูดของแต่ละจุด โดยแบ่งเส้นกราฟเป็นช่วงที่เท่ากัน

หมายเหตุ จะแบ่งเส้นกราฟเป็นกี่ช่วงนั้นขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการนั่นเอง

3.5.2 เพื่อที่จะทำการพล็อตค่าลงบนวงกลมมาตรฐาน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm เพราะฉะนั้นนำค่าแอมพลิจูดที่คำนวณได้นั้นไปบวกกับ 25 mm

3.5.3 นำค่าแอมพลิจูดที่คำนวณได้ในขั้นตอน 4.5.2 ไปคำนวณหาค่าพิคัด x, y ที่จะพล็อตลงไปเป็นลูกเบี้ยว โดยใช้โปรแกรม MS Excel

$$\text{มุมของแต่ละจุดบนลูกเบี้ยว} = \frac{\text{ช่วงของเส้นกราฟของแต่ละจุด} \times 2\pi}{\text{จำนวนช่วงทั้งหมด}} \quad (\text{rad}) \quad (6)$$

$$\text{ค่าพิคัด } x \text{ ของแต่ละจุด} = (\text{ค่าแอมพลิจูด} + 25) \times \text{COS}(\text{มุมของแต่ละจุดบนลูกเบี้ยว}) \quad (\text{mm}) \quad (7)$$

$$\text{ค่าพิคัด } y \text{ ของแต่ละจุด} = (\text{ค่าแอมพลิจูด} + 25) \times \text{SIN}(\text{มุมของแต่ละจุดบนลูกเบี้ยว}) \quad (\text{mm}) \quad (8)$$

3.5.4 นำค่าพิคัด x, y ที่คำนวณได้ไปวาดแบบจุดต่อจุดลงใน Auto CAD จะได้รูปลูกเบี้ยวออกมา

### 3.6 การสร้างลูกเบี้ยว

ลูกเบี้ยวที่เราจะสร้างขึ้นมานั้น ทำมาจากแผ่นพลาสติกมีความหนา 2 mm โดยมีวิธีการสร้างดังต่อไปนี้

3.6.1 นำเส้นกราฟการเดินของหัวใจที่เราต้องการจะนำมาสร้างเป็นลูกเบี้ยวมาหาสมการการเคลื่อนที่ ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อ 3.3

3.6.2 นำสมการการเคลื่อนที่ที่คำนวณได้มาทำการพล็อตการกระจัดเชิงมุมลงบน Auto CAD

3.6.3 พิมพ์ภาพการกระจัดเชิงมุมออกมา

3.6.4 นำไปติดบนแผ่นพลาสติก

3.6.5 ทำการตัดพลาสติกด้วยเลื่อยฉลุตามรูป

3.6.6 ทำการตกแต่งลูกเบี้ยวที่ตัดออกมาด้วยกระดาษทราย

3.6.7 ทำการเจาะร่องปรับแต่งลูกเบี้ยวเป็นมุม 40 องศา

### 3.7 ข้อมูลต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยว

เมื่อพิจารณาเส้นกราฟแสดงการเดินของหัวใจจะสังเกตเห็นได้ว่ามีเส้นกราฟที่แตกต่างกันทั้งหมด 9 เส้นกราฟโดยมีข้อมูลต่างๆดังต่อไปนี้

#### 3.7.1 ลูกเบี้ยวลูกที่ 1



รูปที่ 3-2 ลักษณะกราฟที่ 1

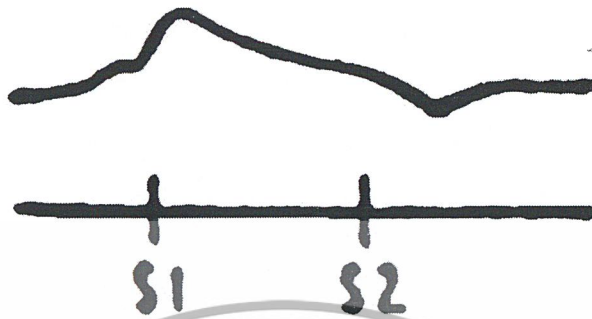
รูปที่ 3-3 ลักษณะลูกที่สร้างได้จาก Auto CAD ลูกที่ 1

ตารางที่ 3-1 ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวดังกราฟที่ 1

ช่วงของ เส้นกราฟ	ค่าของ amplitude	amp + 25	มุมของแต่ละ จุดบนลูกเบี้ยว	cos	sin	พิกัด X	พิกัด Y
1	18	26.8	14.4	0.9686	0.2487	25.9585	6.6652
2	18	26.8	28.8	0.8763	0.4817	23.4848	12.9096
3	18	26.8	43.2	0.728	0.6845	19.5372	18.3446
4	18	26.8	57.6	0.5358	0.8443	14.3994	22.6272
5	18	26.8	72	0.309	0.9511	8.2812	25.4895
6	19	26.9	86.4	0.0628	0.998	1.68932	26.8462
7	20	27	100.8	-0.1874	0.9823	-5.0598	26.5221
8	23	27.3	115.2	-0.4258	0.9048	-11.6243	24.701
9	29	27.9	129.6	-0.6374	0.7705	-17.7835	21.4969
10	41	29.1	144	-0.809	0.5878	-23.5419	17.105
11	42	29.2	158.4	-0.9298	0.3681	-27.1502	10.7485
12	40	29	172.8	-0.9921	0.1253	-28.7709	3.6337
13	32	28.2	187.2	-0.9323	-0.1253	-27.97722	-3.5335
14	24	27.4	201.6	-0.9298	-0.3681	-25.47652	-10.086
15	20	27	216	-0.809	-0.5878	-21.843	-15.8706
16	19	26.9	230.4	-0.6374	-0.7705	-17.1461	-20.72645
17	19	26.9	244.8	-0.4258	-0.9048	-11.4513	-24.3391
18	19	26.9	259.2	-0.1874	-0.9823	-5.0411	-26.4238
19	19	26.9	273.6	0.0628	-0.998	1.68932	-26.8462
20	19	26.9	288	0.309	-0.9511	2.3121	-25.5846
21	19	26.9	302.4	0.5358	-0.8443	14.413	-22.7117
22	19	26.9	316.8	0.728	-0.6845	19.6101	-18.4131
23	19	26.9	331.2	0.8763	-0.4817	23.5725	-12.9577
24	19	26.9	345.6	0.9686	-0.2487	26.05534	-6.69
25	19	26.9	360	1	0	26.9	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 ลูกเบี้ยวลูกที่ 2



รูปที่ 3-4 ลักษณะกราฟที่ 2



รูปที่ 3-5 ลักษณะลูกที่สร้างได้จาก Auto CAD ลูกที่ 2

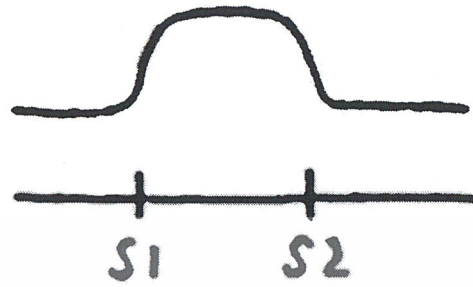
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-2 ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวดังกราฟที่ 2

ช่วงของ เส้นกราฟ	ค่าของ amplitude	amp + 25	มุมของแต่ละ จุดบนลูกเบี้ยว	cos	sin	พิกัด X	พิกัด Y
1	20	27	14.4	0.9686	0.2487	26.1522	6.7149
2	21	27.1	28.8	0.8763	0.4817	23.7477	13.0541
3	22	27.2	43.2	0.728	0.6845	19.8288	18.6184
4	25	27.5	57.6	0.5358	0.8443	14.7345	23.2183
5	28	27.8	72	0.309	0.9511	8.5902	26.4406
6	33	28.3	86.4	0.0628	0.998	1.77724	28.2434
7	34	28.4	100.8	-0.1874	0.9823	-5.32216	27.89732
8	32	28.2	115.2	-0.4258	0.9048	-12.0076	25.51536
9	30	28	129.6	-0.6374	0.7705	-17.8472	21.574
10	28	27.8	144	-0.809	0.5878	-22.4902	16.3408
11	27	27.7	158.4	-0.9298	0.3681	-25.75546	10.1964
12	27	27.7	172.8	-0.9921	0.1253	-27.4812	3.4708
13	26	27.6	187.2	-0.9323	-0.1253	-27.38	-3.4583
14	25	27.5	201.6	-0.9298	-0.3681	-25.5695	-10.1228
15	24	27.4	216	-0.809	-0.5878	-22.1666	-16.1057
16	21	27.1	230.4	-0.6374	-0.7705	-17.27354	-20.8806
17	19	26.9	244.8	-0.4258	-0.9048	-11.4513	-24.3391
18	21	27.1	259.2	-0.1874	-0.9823	-5.07854	-26.6203
19	23	27.3	273.6	0.0628	-0.998	1.7144	-27.2454
20	23	27.3	288	0.309	-0.9511	8.4357	-25.96503
21	23	27.3	302.4	0.5358	-0.8443	14.62734	-23.0494
22	23	27.3	316.8	0.728	-0.6845	19.9017	-18.6868
23	23	27.3	331.2	0.8763	-0.4817	23.923	-13.1504
24	23	27.3	345.6	0.9686	-0.2487	26.4428	-6.7895
25	23	27.3	360	1	0	27.3	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.7.3 ลูกเบี้ยวลูกที่ 3



รูปที่ 3-6 ลักษณะกราฟที่ 3



รูปที่ 3-7 ลักษณะลูกที่สร้างได้จาก Auto CAD ลูกที่ 3

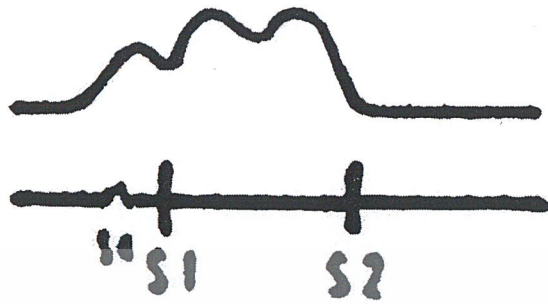
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-3 ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวดังกราฟที่ 3

ช่วงของ เส้นกราฟ	ค่าของ amplitude	amp + 25	มุมของแต่ละ จุดบนลูกเบี้ยว	cos	sin	พิกัด X	พิกัด Y
1	18	26.8	14.4	0.9686	0.2487	25.9585	6.6652
2	18	26.8	28.8	0.8763	0.4817	23.48484	12.90956
3	18	26.8	43.2	0.728	0.6845	19.5372	18.3446
4	18	26.8	57.6	0.5358	0.8443	14.3594	22.6272
5	18	26.8	72	0.309	0.9511	8.2812	25.4895
6	21	27.1	86.4	0.0628	0.998	1.70188	27.0458
7	31	28.1	100.8	-0.1874	0.9823	-5.26594	27.6026
8	36	28.6	115.2	-0.4258	0.9048	-12.1779	25.8773
9	37	28.7	129.6	-0.6374	0.7705	-18.2934	22.1133
10	38	28.8	144	-0.809	0.5878	-23.2992	16.9286
11	38	28.8	158.4	-0.9298	0.3681	-26.7782	10.6013
12	38	28.8	172.8	-0.9921	0.1253	-28.5725	3.60864
13	37	28.7	187.2	-0.9323	-0.1253	-28.4733	-3.5961
14	36	28.6	201.6	-0.9298	-0.3681	-26.59288	-10.5277
15	30	28	216	-0.809	-0.5878	-22.652	-16.4584
16	21	27.1	230.4	-0.6374	-0.7705	-17.2735	-20.881
17	19	26.9	244.8	-0.4258	-0.9048	-11.45402	-24.3391
18	19	26.9	259.2	-0.1874	-0.9823	-5.0411	-26.4238
19	19	26.9	273.6	0.0628	-0.998	1.68932	-26.8462
20	19	26.9	288	0.309	-0.9511	8.3121	-25.5846
21	19	26.9	302.4	0.5358	-0.8443	14.413	-22.7117
22	19	26.9	316.8	0.728	-0.6845	19.6101	-18.4131
23	19	26.9	331.2	0.8763	-0.4817	23.5725	-12.9577
24	19	26.9	345.6	0.9686	-0.2487	26.05534	-6.69003
25	19	26.9	360	1	0	26.9	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.7.4 ลูกเบี้ยวลูกที่ 4



รูปที่ 3-8 ลักษณะกราฟที่ 4



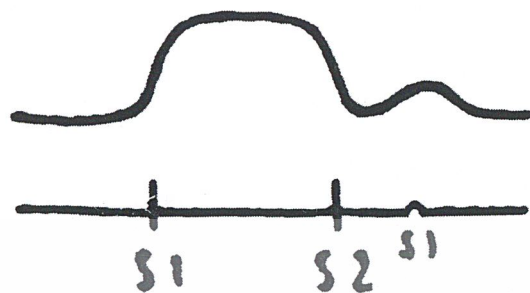
รูปที่ 3-9 ลักษณะลูกที่สร้างได้จาก Auto CAD ลูกที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-4 ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวดังกราฟที่ 4

ช่วงของ เส้นกราฟ	ค่าของ amplitude	amp + 25	มุมของแต่ละ จุดบนลูกเบี้ยว	cos	sin	พิกัด X	พิกัด Y
1	19	26.9	14.4	0.9686	0.2487	26.05534	6.69003
2	19	26.9	28.8	0.8763	0.4817	23.57247	12.9577
3	19	26.9	43.2	0.728	0.6845	19.5832	18.4131
4	19	26.9	57.6	0.5358	0.8443	14.41302	22.7117
5	21	27.1	72	0.309	0.9511	8.3739	25.7748
6	25	27.5	86.4	0.0628	0.998	1.727	27.445
7	30	28	100.8	-0.1874	0.9823	-5.2472	27.5044
8	31	28.1	115.2	-0.4258	0.9048	-11.9649	25.4249
9	29	27.9	129.6	-0.6374	0.7705	-17.78346	21.497
10	32	28.2	144	-0.809	0.5878	-22.8138	16.576
11	37	28.7	158.4	-0.9298	0.3681	-26.9853	10.5645
12	37	28.7	172.8	-0.9921	0.1253	-28.4733	3.59611
13	35	28.5	187.2	-0.9323	-0.1253	-28.27485	-3.5711
14	34	28.4	201.6	-0.9298	-0.3681	-26.4063	-12.5154
15	37	28.7	216	-0.809	-0.5878	-23.2183	-21.7486
16	38	28.8	230.4	-0.6374	-0.7705	-18.3571	-22.1904
17	34	28.4	244.8	-0.4258	-0.9048	-12.0927	-25.6963
18	25	27.5	259.2	-0.1874	-0.9823	-5.1535	-27.0133
19	20	27	273.6	0.0628	-0.998	1.6956	-26.946
20	19	26.9	288	0.309	-0.9511	8.3121	-25.5846
21	19	26.9	302.4	0.5358	-0.8443	14.413	-22.7117
22	19	26.9	316.8	0.728	-0.6845	19.6101	-18.41305
23	19	26.9	331.2	0.8763	-0.4817	23.5725	-12.9577
24	19	26.9	345.6	0.9686	-0.2487	26.0553	-6.69
25	19	26.9	360	1	0	26.9	0

## 3.7.5 ลูกเบี้ยวลูกที่ 5



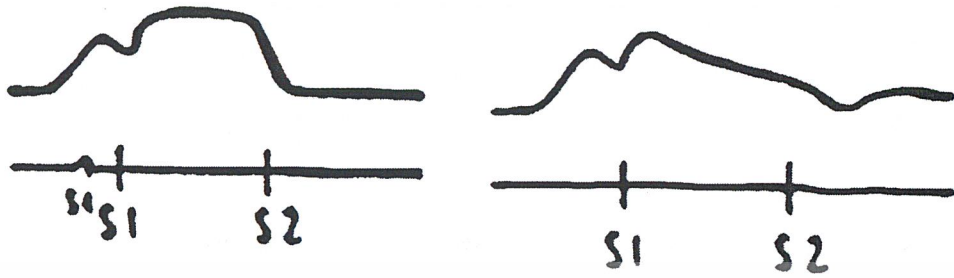
รูปที่ 3-11 ลักษณะตุกที่สร้างได้จาก Auto CAD ตุกที่ 5

ตารางที่ 3-5 ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวดังกราฟที่ 5

ช่วงของ เส้นกราฟ	ค่าของ amplitude	amp + 25	มุมของแต่ละ จุดบนลูกเบี้ยว	cos	sin	พิกัด X	พิกัด Y
1	19	26.9	14.4	0.9686	0.2487	26.05534	6.69
2	19	26.9	28.8	0.8763	0.4817	23.5725	12.9577
3	19	26.9	43.2	0.728	0.6845	19.6101	18.4131
4	19	26.9	57.6	0.5358	0.8443	14.413	22.7117
5	19	26.9	72	0.309	0.9511	8.3121	25.5846
6	19	26.9	86.4	0.0628	0.998	1.68932	26.8462
7	19	26.9	100.8	-0.1874	0.9823	-5.04106	26.42387
8	19	26.9	115.2	-0.4258	0.9048	-11.454	24.3391
9	19	26.9	129.6	-0.6374	0.7705	-17.1461	20.7264
10	19	26.9	144	-0.809	0.5878	-21.7621	15.81182
11	19	26.9	158.4	-0.9298	0.3681	-25.01162	9.9019
12	19	26.9	172.8	-0.9921	0.1253	-26.6875	3.3706
13	19	26.9	187.2	-0.9323	-0.1253	-26.6875	-3.3706
14	19	26.9	201.6	-0.9298	-0.3681	-25.0116	-9.90189
15	19	26.9	216	-0.809	-0.5878	-21.7621	-15.8118
16	20	27	230.4	-0.6374	-0.7705	-17.2098	-20.8035
17	21	27.1	244.8	-0.4258	-0.9048	-11.53918	-24.5201
18	24	27.4	259.2	-0.1874	-0.9823	-5.13476	-26.915
19	24	27.4	273.6	0.0628	-0.998	1.72072	-27.3452
20	22	27.2	288	0.309	-0.9511	6.18	-25.8699
21	20	27	302.4	0.5358	-0.8443	14.4666	-22.7961
22	19	26.9	316.8	0.728	-0.6845	19.6101	-18.4131
23	19	26.9	331.2	0.8763	-0.4817	23.5725	-12.9577
24	19	26.9	345.6	0.9686	-0.2487	26.0553	-6.69
25	19	26.9	360	1	0	26.9	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.7.6 ลูกเบี้ยวลูกที่ 6



รูปที่ 3-12 ลักษณะกราฟที่ 6



รูปที่ 3-13 ลักษณะลูกที่สร้างได้จาก Auto CAD ลูกที่ 6

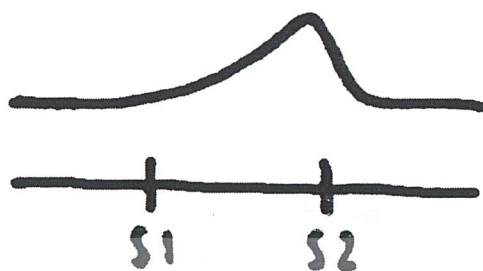
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-6 ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวตั้งกราฟที่ 6

ช่วงของ เส้นกราฟ	ค่าของ amplitude	amp + 25	มุมของแต่ละ จุดบนลูกเบี้ยว	cos	sin	พิกัด X	พิกัด Y
1	19	26.9	14.4	0.9686	0.2487	26.0553	6.69
2	20	27	28.8	0.8763	0.4817	23.6601	13.0059
3	24	27.4	43.2	0.728	0.6845	19.9746	18.7553
4	28	27.8	57.6	0.5358	0.8443	14.8952	23.4715
5	32	28.2	72	0.309	0.9511	8.7138	26.821
6	32	28.2	86.4	0.0628	0.998	1.77096	28.1436
7	28	27.8	100.8	-0.1874	0.9823	-5.1097	27.3079
8	24	27.4	115.2	-0.4258	0.9048	-11.6669	24.3391
9	20	27	129.6	-0.6374	0.7705	-17.2098	20.7264
10	19	26.9	144	-0.809	0.5878	-21.7621	15.8118
11	19	26.9	158.4	-0.9298	0.3681	-25.0116	9.9019
12	19	26.9	172.8	-0.9921	0.1253	-26.6875	3.3706
13	19	26.9	187.2	-0.9323	-0.1253	-26.6875	-3.3706
14	19	26.9	201.6	-0.9298	-0.3681	-25.0116	-9.9019
15	19	26.9	216	-0.809	-0.5878	-21.7621	-15.8118
16	19	26.9	230.4	-0.6374	-0.7705	-17.1461	-20.7264
17	19	26.9	244.8	-0.4258	-0.9048	-11.454	-24.3391
18	19	26.9	259.2	-0.1874	-0.9823	-5.0411	-26.4239
19	19	26.9	273.6	0.0628	-0.998	1.6893	-26.8462
20	19	26.9	288	0.309	-0.9511	8.3121	-25.5846
21	19	26.9	302.4	0.5358	-0.8443	14.41302	-22.7117
22	19	26.9	316.8	0.728	-0.6845	19.6101	-18.4131
23	19	26.9	331.2	0.8763	-0.4817	23.5725	-12.9577
24	19	26.9	345.6	0.9686	-0.2487	26.0553	-6.69
25	19	26.9	360	1	0	26.9	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.7.7 ลูกเบี้ยวลูกที่ 7



รูปที่ 3-14 ลักษณะกราฟที่ 7



รูปที่ 3-15 ลักษณะลูกที่สร้างได้จาก Auto CAD ลูกที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-7 ตารางค่าคงที่ต่างๆที่ใช้สร้างลูกเบี้ยวดังกราฟที่ 7

ช่วงของ เส้นกราฟ	ค่าของ amplitude	amp + 25	มุมของแต่ละ จุดบนลูกเบี้ยว	cos	sin	พิกัด X	พิกัด Y
1	1.9	26.9	14.4	0.9686	0.2487	26.05534	6.69003
2	1.9	26.9	28.8	0.8763	0.4817	23.57247	12.957
3	1.9	26.9	43.2	0.728	0.6845	19.5832	18.4131
4	1.9	26.9	57.6	0.5358	0.8443	14.41302	22.7117
5	1.9	26.9	72	0.309	0.9511	8.3121	25.5846
6	1.9	26.9	86.4	0.0628	0.998	1.68932	26.8462
7	2	27	100.8	-0.1874	0.9823	-5.0598	26.5221
8	2.1	27.1	115.2	-0.4258	0.9048	-11.5392	24.5201
9	2.2	27.2	129.6	-0.6374	0.7705	-17.3373	20.9576
10	2.3	27.3	144	-0.809	0.5878	-22.0857	16.0469
11	2.5	27.5	158.4	-0.9298	0.3681	-25.5695	10.1228
12	2.7	27.7	172.8	-0.9921	0.1253	-27.48117	3.47081
13	2.9	27.9	187.2	-0.9323	-0.1253	-27.6796	-3.49587
14	3.2	28.2	201.6	-0.9298	-0.3681	-26.2204	-10.38042
15	3.5	28.5	216	-0.809	-0.5878	-23.0565	-16.7523
16	3.8	28.8	230.4	-0.6374	-0.7705	-18.3571	-22.1904
17	3.5	28.5	244.8	-0.4258	-0.9048	-12.13245	-25.7868
18	2.8	27.8	259.2	-0.1874	-0.9823	-5.20972	-27.3079
19	2.3	27.3	273.6	0.0628	-0.998	1.7144	-27.2454
20	2.1	27.1	288	0.309	-0.9511	8.3739	-25.7748
21	2	27	302.4	0.5358	-0.8443	14.4666	-22.7961
22	2	27	316.8	0.728	-0.6845	19.683	-18.4815
23	2	27	331.2	0.8763	-0.4817	23.6601	-13.0059
24	2	27	345.6	0.9686	-0.2487	26.1522	-6.7149
25	2	27	360	1	0	27	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

#### 4.1 อุปกรณ์การทดลอง

4.1.1 เครื่องจำลองการเต้นของหัวใจ ( Cardio –Vascular Simulator )

4.1.2 เครื่องป้อนกระดาศ

4.1.3 ไขควง

4.1.4 ประแจ L เบอร์ 3

4.1.5 Power Supply

4.1.6 ปากกาที่ใช้พล็อตกราฟ

#### 4.2 ขั้นตอนการทดลอง

4.2.1 ต่อ Power Supply เข้ากับมอเตอร์/ DC ของเครื่องจำลองการเต้นของหัวใจ จากนั้นปรับ Voltage ให้อยู่ในช่วงใช้งาน (12 – 15 V) โดยหาจากการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง Voltage กับ จำนวนลูกคลื่น จำนวนลูกคลื่นที่เราต้องการคือ 60-80 ครั้ง/นาที

4.2.2 เลือกรોકที่เราต้องการพล็อตกราฟโดยดูจากตารางปรับ index bar แล้วทำการปรับ index bar ให้ได้ตาม code ที่กำหนดในตารางโดยการหมุน index bar เข้าหาตัว

4.2.3 นำปากกาพล็อตกราฟไปติดที่ก้านกระทุ้งตามตำแหน่งที่เราจะทำการพล็อตกราฟ

4.2.4 ทำการจ่ายไฟเข้ามอเตอร์เพื่อเดินเครื่อง

4.2.5 เปิดเครื่องป้อนกระดาศโดยตั้งให้กระดาศแนบกับปากกา

4.2.6 ในกรณีที่ใช้ลูกเบี้ยว 2-3 ลูกในกราฟให้ทำการพล็อตทีละ 1 ลูกก่อนเพื่อดูลักษณะของกราฟ

4.2.7 ปิดเครื่องป้อนกระดาศและเครื่องจำลองการเต้นของหัวใจ

4.2.8 ทำการเปรียบเทียบกับกราฟจริงว่าลูกใดที่ละ follower เป็นลูกที่ 1, 2, 3

4.2.9 ทำการปรับลูกเบี้ยวเรียงตามลำดับการเตะ ( โดยลูกเบี้ยวนั้นหมุนตามเข็มนาฬิกา )

4.2.10 ทำการพล็อตกราฟออกมาโดยปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 4, 5

4.2.11 เมื่อได้กราฟออกมาแล้วทำตามขั้นตอนที่ 7, 8

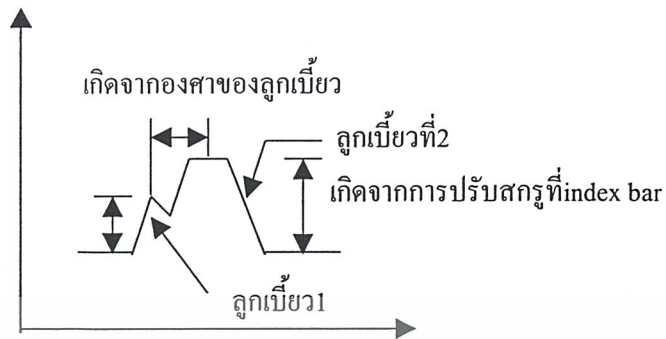
4.2.12 ปรับจนกว่ากราฟจะตรงกับกราฟของจริง

4.2.13 ปรับแก้ไขลักษณะของกราฟจากการปรับองศาของลูกเบี้ยวและสกรูที่ index bar โดยองศาที่ปรับที่ตัวลูกเบี้ยวจะเป็นตัวกำหนดความห่างของคลื่นที่ได้จากลูกเบี้ยวทั้ง 2 ลูก ที่เราจะทำมารวมเป็นกราฟเดียวกัน ส่วนการปรับสกรูจะเป็นตัวกำหนดความสูง-ต่ำของคลื่นที่เกิดจากลูกเบี้ยวแต่ละตัว สังเกตการปรับจากรูปที่ 4.1

4.2.14 ในกรณีที่ จะทำการพล็อตกราฟของจุดอื่นๆก็ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 1-13 ข้างต้นที่กล่าว

มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




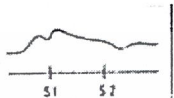



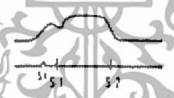

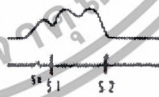



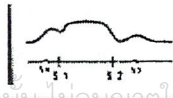
รูปที่ 4-1 อธิบายกราฟเพื่อใช้ในการปรับตั้ง

4.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4-1 กราฟที่ได้จากการทดลองเทียบกับกราฟของจริงที่ตำแหน่ง LV


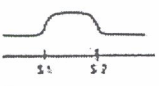
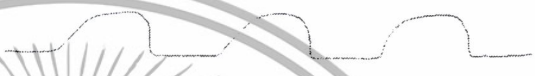

ชื่อโรค	รูป	ตำแหน่ง Left Ventricular Area
Normal	plot	
	ของจริง	
Innocent Murmur	plot	
	ของจริง	
Hypertension	plot	
	ของจริง	

ตารางที่ 4-1 กราฟที่ได้จากการทดลองเทียบกับกราฟของจริงที่ตำแหน่ง LV (ต่อ)

ชื่อโรค	รูป	ตำแหน่ง Left Ventricular Area
Angina Pectoris	plot	
	ของจริง	
Mitral Valve Prolapse	plot	
	ของจริง	
Aortic Stenosis	plot	
	ของจริง	
Idiopathic Hypertrophic Subaortic stenosis	plot	
	ของจริง	
Ventricular Septal Defect	plot	
	ของจริง	
Mitral Regurgitation, acute	plot	
	ของจริง	

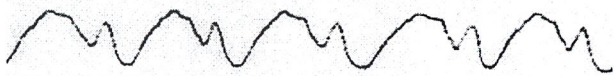
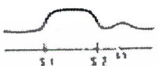

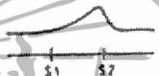



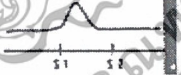

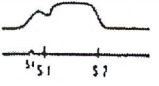

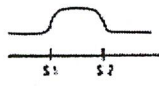
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-1 กราฟที่ได้จากการทดลองเทียบกับกราฟของจริงที่ตำแหน่ง LV (ต่อ)

ชื่อโรค	รูป	ตำแหน่ง Left Ventricular Area
Mitral Stenosis & Regurgitation	plot	
	ของจริง	
Coarctation of the Aorta	plot	
	ของจริง	


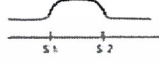

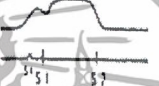
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-2 กราฟที่ได้จากการทดลองเทียบกับกราฟของจริงที่ตำแหน่ง RV

ชื่อโรค	รูป	ตำแหน่ง Right Ventricular Area
Mitral Stenosis	plot	
	ของจริง	
Mitral Regurgitation, Chronic	plot	
	ของจริง	
Cardiomyopathy	plot	
	ของจริง	
Atrial Septal Defect	plot	
	ของจริง	
Primary Pulmonary Hypertension	plot	
	ของจริง	
Mitral Regurgitation, acute	plot	
	ของจริง	


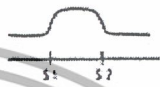




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-2 กราฟที่ได้จากการทดลองเทียบกับกราฟของจริงที่ตำแหน่ง RV (ต่อ)


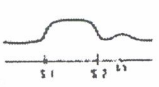

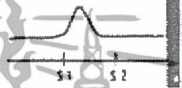




ชื่อโรค	รูป	ตำแหน่ง Right Ventricular Area
Mitral Stenosis & Regurgitation	plot	
	ของจริง	
Pulmonary Stenosis	plot	
	ของจริง	



ตารางที่ 4-3 กราฟที่ได้จากการทดลองเทียบกับกราฟของจริงที่ตำแหน่ง Pulmonary


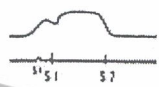
ชื่อโรค	รูป	ตำแหน่ง Pulmonary Ar ea
Mirtal Stenosis	plot	
	ของจริง	
Atrial Saptal Defect	plot	
	ของจริง	
Primary Pulmonary Hypertension	plot	
	ของจริง	

ตารางที่ 4-4 กราฟที่ได้จากการทดลองเทียบกับกราฟของจริงที่ตำแหน่ง Displaced Left Ventricular Area

ชื่อโรค	รูป	ตำแหน่ง Displaced Left Ventricular Area
Mitral Regurgitation, Chronic	plot	
	ของจริง	
Aortic Regurgitation	plot	
	ของจริง	
Cardiomyopathy	plot	
	ของจริง	
Patant Ductus Arteriosus	plot	
	ของจริง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-5 กราฟที่ได้จากการทดลองเทียบกับกราฟของจริงที่ตำแหน่ง Ectopic Area

ชื่อโรค	รูป	ตำแหน่ง Ectopic Area
Ventricular Aneurysm	plot	
	ของจริง	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองเราพบว่า

4.4.1 ลูกเบียร์ที่เราทำการสร้างขึ้นสามารถสร้างกราฟที่ใกล้เคียงกับของจริงแต่การปรับมุมของลูกเบียร์และการปรับสกรูมีผลโดยตรงต่อกราฟที่ได้ดังนั้น ในกรณีของกราฟที่ต้องใช้ลูกเบียร์ 2 ลูก ในการสร้างกราฟ ผลที่ได้ออกมาอาจจะไม่เหมือนกับกราฟของจริงโดยตรงแต่จะให้ลักษณะของกราฟที่ใกล้เคียงกันกับกราฟจริง แต่ถ้าเราสังเกตลักษณะของกราฟให้ดีๆจะพบว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ทั้งนี้เกิดจากระบบของเราไม่มี Damper

4.4.2 ที่ตำแหน่ง Left Ventricular Area จำนวนโรคที่แสดงผลทั้งหมด 20 โรคเราสังเกตพบว่า กราฟส่วนใหญ่ที่เครื่องแสดงผลออกมามีลักษณะที่คล้ายกับกราฟของจริงซึ่งมีกราฟที่มีลักษณะไม่เหมือนคือ โรค Idiopathic Hypertrophic Subaortic Stenosis ซึ่งเกิดจากการใช้ลูกเบียร์เพียงลูกเดียว สาเหตุอาจเกิดจากการสร้างลูกเบียร์และการตัดลูกเบียร์ ในบางโรคที่ใช้ลูกเบียร์ 2 ลูกและ 3 ลูกเราพบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะซ้อนกันของคลื่นไม่ตรงตำแหน่งนักดังนั้นกราฟที่ได้จึงมีลักษณะใกล้เคียงกับของจริง

4.4.3 ที่ตำแหน่ง Right Ventricular Area ลักษณะกราฟที่ได้จากลูกเบียร์ 1 ลูกมีลักษณะคล้ายกับของจริงอย่างชัดเจน ส่วนในกรณีบางโรคที่ใช้ 2 ลูกเบียร์และ 3 ลูกเบียร์ยังแสดงผลเหมือนเดิมคือการซ้อนทับของคลื่นยังไม่ตรงตำแหน่ง

4.4.4 ที่ตำแหน่ง Pulmonary ที่ตำแหน่งนี้ผลของกราฟเกิดจากการใช้ลูกเบียร์เพียงลูกเดียวเท่านั้น เมื่อเราสังเกตลักษณะของกราฟเปรียบเทียบกับกราฟจริง เราพบว่ามีความใกล้เคียงกันสาเหตุที่ไม่เหมือนกันอาจจะเกิดจากการออกแบบลูกเบียร์และการตัดลูกเบียร์

4.4.5 ที่ตำแหน่ง Displaced Left Ventricular Area เราพบว่าลักษณะของกราฟที่ได้ยังคงได้กราฟที่คล้ายกันกับกราฟที่ตำแหน่งอื่นๆแต่เมื่อเราสังเกตผลกราฟที่ได้จากโรค Mitral Regurgitation, Chronic ที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งนี้ลักษณะกราฟของเราที่ได้มีช่วงจังหวะการซ้อนทับที่ใกล้เคียงกับกราฟของจริง

4.4.6 ที่ตำแหน่ง Ectopic Area ที่ตำแหน่งนี้มีเพียงโรคเดียวเท่านั้นที่แสดงผลคือโรค Ventricular Aneurysm ซึ่งเมื่อเราดูลักษณะกราฟที่ได้เราพบว่าเกิดปัญหาแบบเดิมคือการซ้อนทับของคลื่นที่เกิดจากลูกเบียร์ 2 ลูก การซ้อนทับของเราไม่ตรงตำแหน่งกับกราฟจริงดังนั้นกราฟที่ได้จึงมีความคล้ายคลึงกันไม่เหมือนกันโดยตรง

## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุป

จากโครงการเราสามารถสร้างจังหวะการเดินของหัวใจจากลูกเบี้ยวและระบบกลไกโดยลูกเบี้ยวจะเป็นตัวสร้างรูปแบบของจังหวะการเดินของหัวใจและจากการทดลองเราพบว่ามุมของใบลูกเบี้ยว ความสูงของสกรูและความเร็วรอบของลูกเบี้ยวมีผลกระทบต่อการสร้างกราฟดังนั้น ในการสร้างกราฟที่ต้องอาศัยลูกเบี้ยว 2 ลูกขึ้นไปจะต้องมีการปรับในสิ่งต่างๆเหล่านี้ จากหลักการทำงานของโครงการนี้เราสามารถประยุกต์เพิ่มโรคได้โดยการนำกราฟจังหวะการเดินของหัวใจมาแบ่งเป็นช่วงๆแล้วสร้างลูกเบี้ยวได้ ในกรณีที่มีลูกเบี้ยวตั้งแต่ 2 ลูกขึ้นไปเราจะทำการปรับมุมลูกเบี้ยวและปรับสกรูให้คลื่นที่ได้จากลูกเบี้ยวแต่ละลูกซ้อนกันได้รูปแบบ โดยรวมเหมือนกับกราฟจริง

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในโครงการนี้เราได้สร้างแบบจำลองจังหวะการเดินของหัวใจ โดยระบบของเรามีปัญหาที่สำคัญ 2 อย่างคือ ความแข็งแรงและความไม่เสถียร โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 ให้ทำการออกแบบชิ้นงานในแต่ละส่วน โดยให้หลักวิชากลศาสตร์วัสดุเพื่อให้ได้ชิ้นงานในแต่ละส่วนที่แข็งแรงเพิ่มขึ้น

5.2.2 สร้าง Damper เพิ่มจะทำให้ระบบกลับเข้าสู่สภาวะเสถียรเร็วขึ้น

5.2.3 เลือกวิธีตัดลูกเบี้ยวที่ให้ความเที่ยงตรง เนื่องจากงานตัดลูกเบี้ยวโครงการนี้เราใช้เลื่อยฉลุในการตัดทำให้ได้ลูกเบี้ยวที่ไม่ตรงกับลูกเบี้ยวที่ออกแบบไว้

5.2.4 การปรับมุมของใบลูกเบี้ยว ควรมีสเกลที่ละเอียดเพื่อช่วยในการปรับงานให้มีความใกล้เคียงกับกราฟจริงมากที่สุด

## บรรณานุกรม

- [1] โครงการสวัสดิการวิชาการ สถาบันพระบรมราชชนกกระทรวงสาธารณสุขการพยาบาลผู้ใหญ่และผู้สูงอายุ เล่ม 4 พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2541 โรงพิมพ์ยุทธรินทร์ นนทบุรี มี 375 หน้า
- [2] พิชัย คูศิริวานิชกร, “การใช้ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ในเครื่องระบบ ICU Computer”, วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ปีการศึกษา 2539
- [3] เรียงชัย วีระพงษ์, “ระบบแสดงสัญญาณจากร่างกายผู้ป่วยหนัก”, วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, ปีการศึกษา 2531



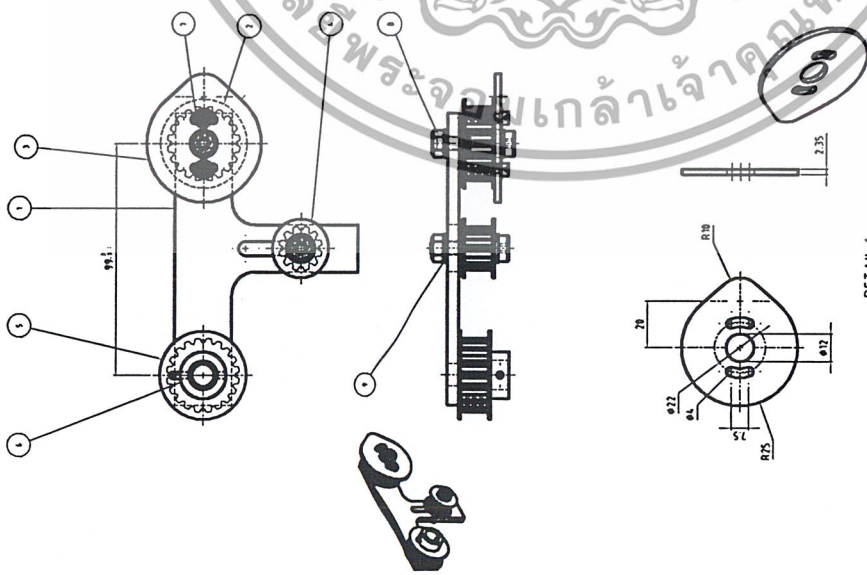


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

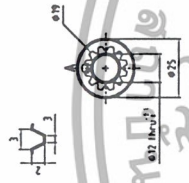


ภาคผนวก ก.  
แบบขึ้นส่วนประกอบ

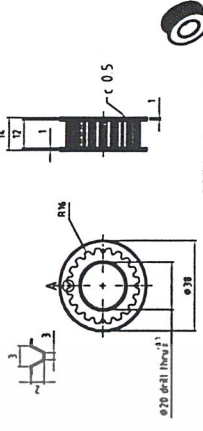
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



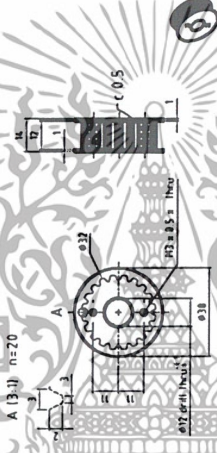
A (3 1) n=12



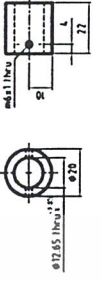
A (3 1) n=20



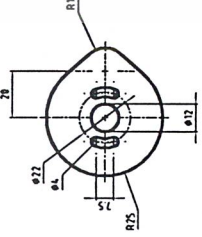
A (3 1) n=20



<math>\phi 17.85</math> throat

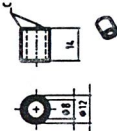


DETAIL 7



DETAIL 6

<math>C0.5</math> light side

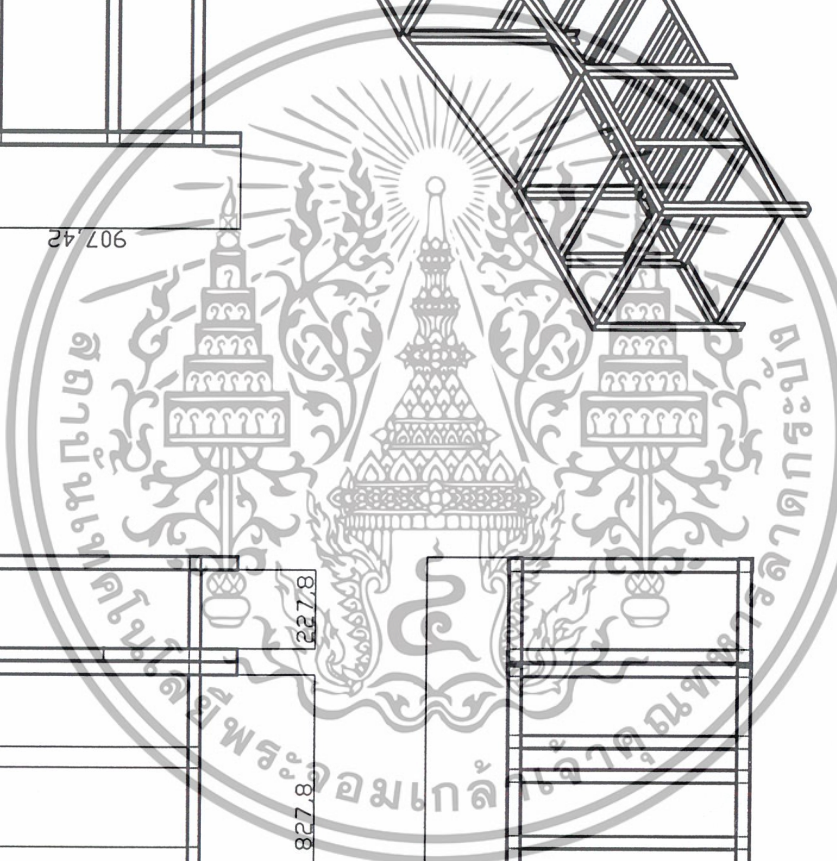
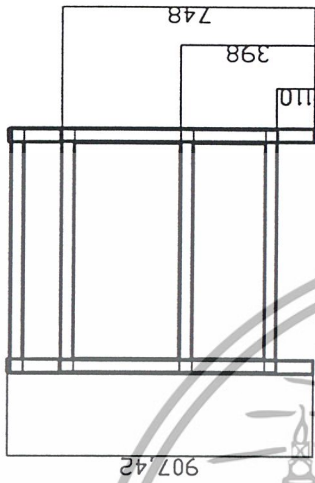
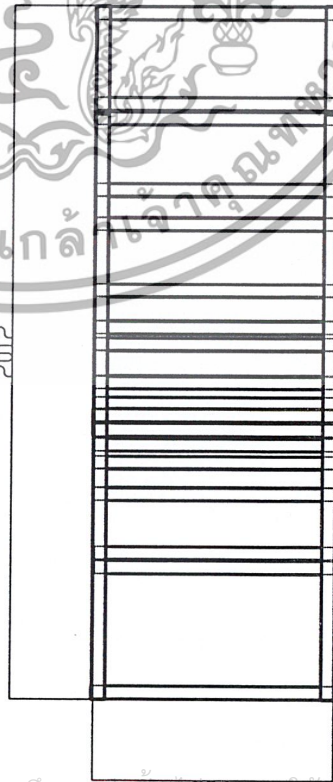
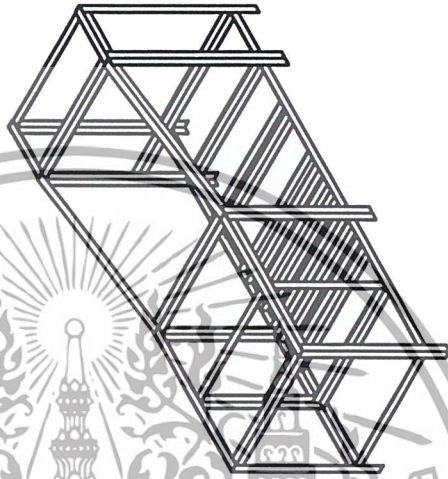
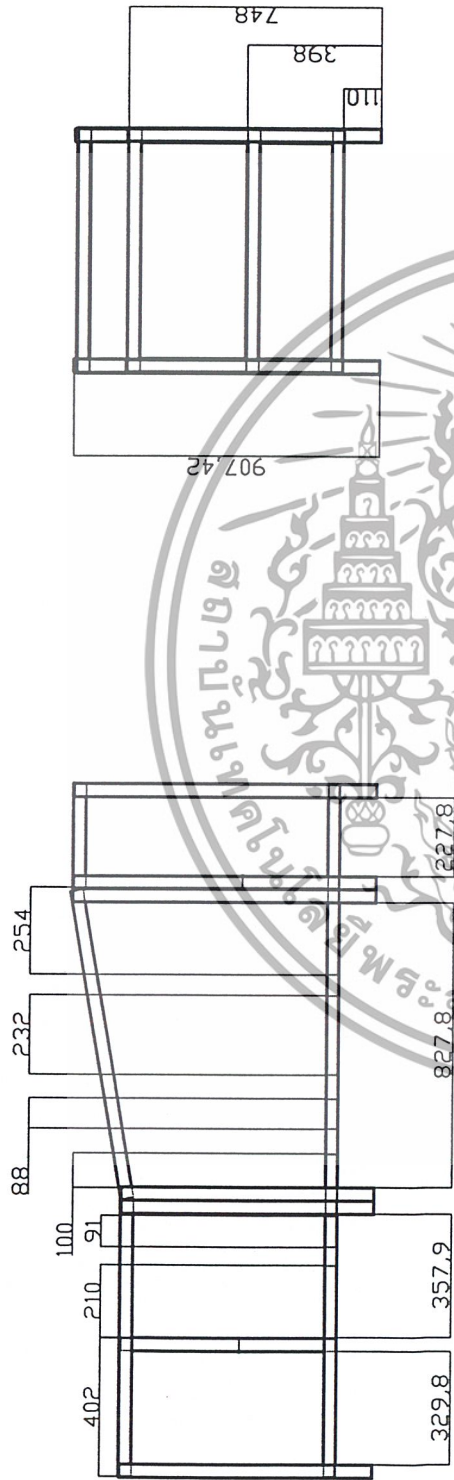


DETAIL 8

9	4	WASHER	STD
8	2	NUT	STD
7	2	BRAZE	BRAZE
6	1	BUSH1	AL
5	1	LOWER TIMING GEAR	AL
4	1	MIDDLE TIMING GEAR	AL
3	1	CAM	PLASTIC
2	1	UPPER TIMING GEAR	AL
1	1	T-BAR	WOOD
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by HPAPOJ	Checked by	Approved by - date	Date
		File name	Scale
			30/03/02

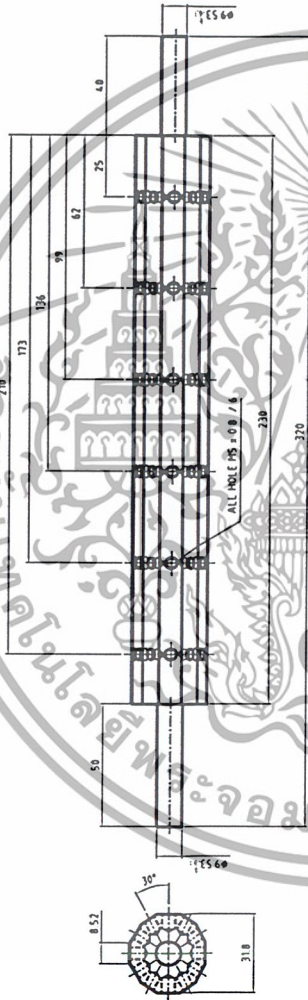
KMITL		CARDIOLOGY-SIMULATOR	
		MED2	Edition 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



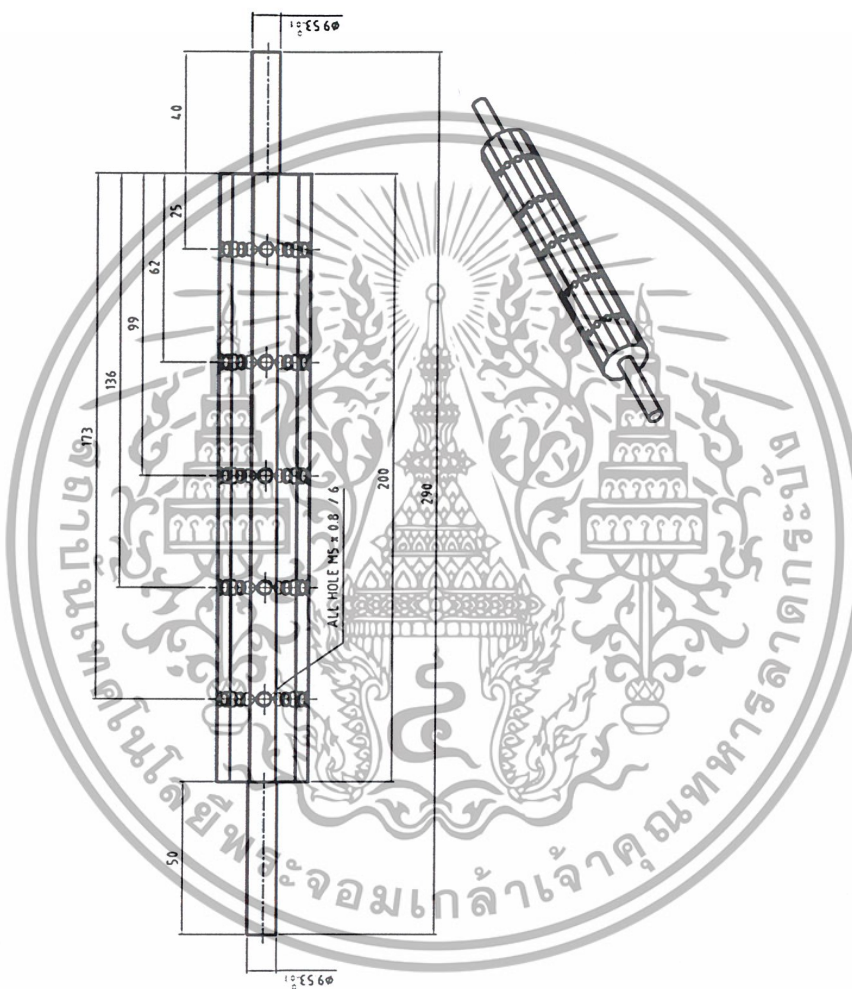
Itemref	Quantity	FRAME	STEEL
Designed by HPAPOJ	Title/Name, designation, material, dimension etc		MATERIAL
Checked by	Approved by - date	File name	Date 30/03/02
KMITL			Scale -
CARDIOLOGY-SIMULATOR			Edition 0
			ME02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



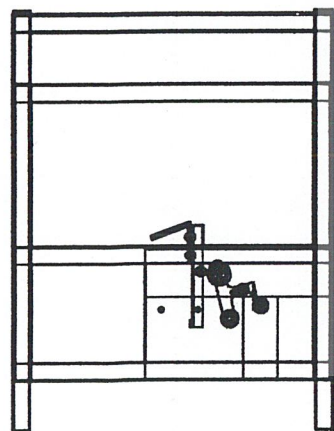
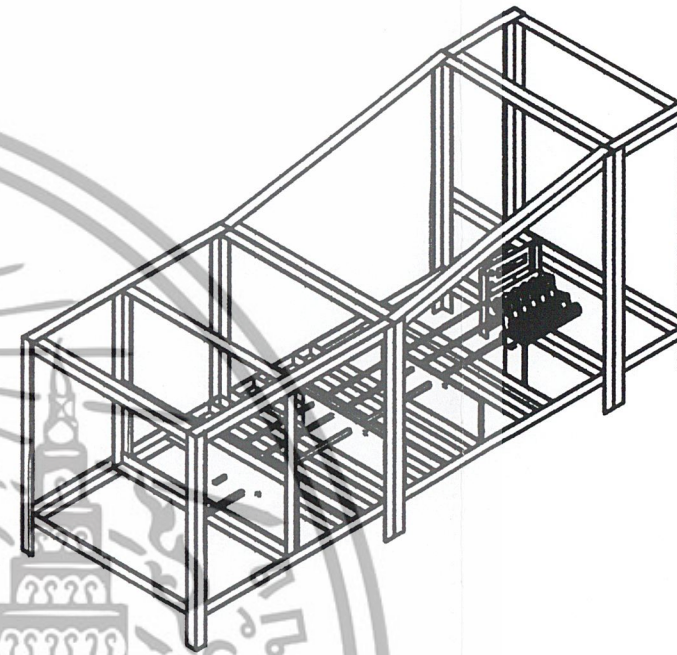
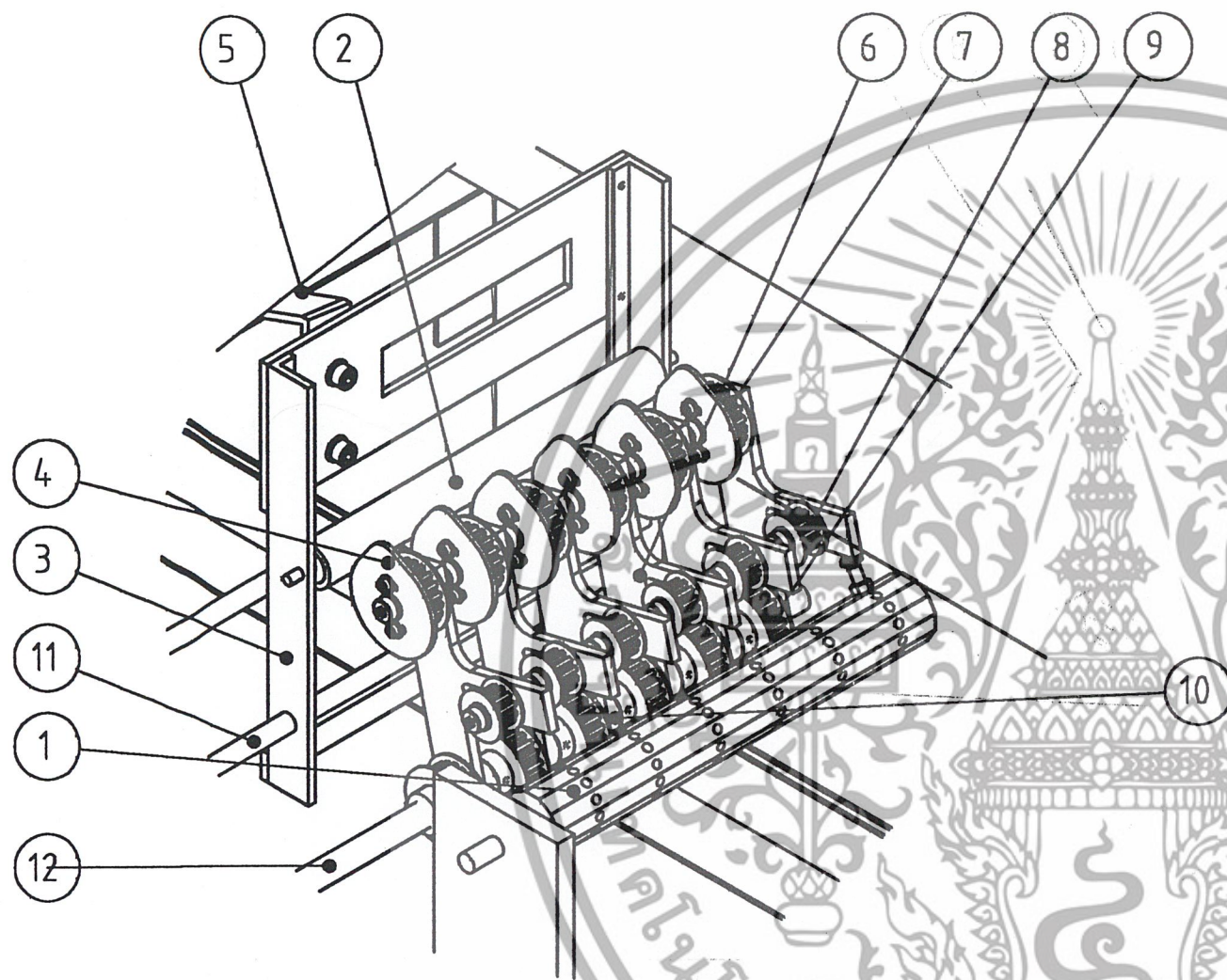
Itemref	Quantity	INDEX BAR	STEEL
Designed by H.PAPOJ		Title/Name; designation, material, dimension etc	MATERIAL
	Checked by	Approved by - date	Date 30/03/02
		File name	Scale -
KMITL		CARDIOLOGY-SIMULATOR	
		ME02	Edition 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



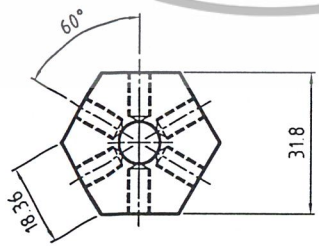
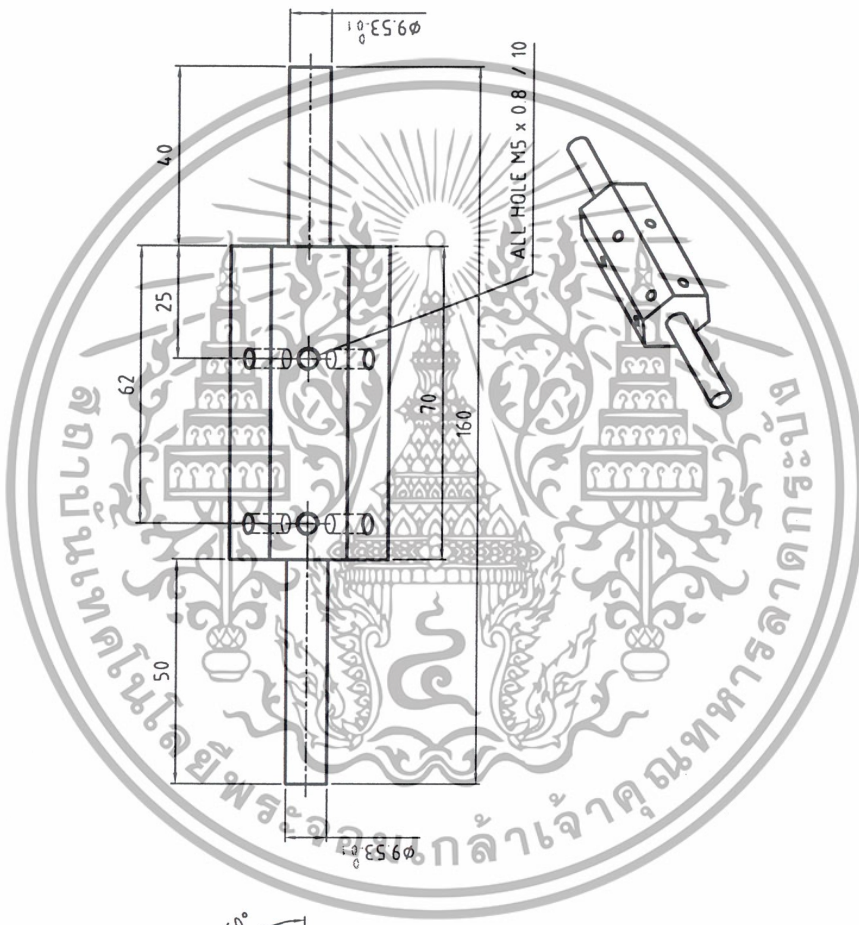
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		STEEL
Designed by HPAPOJ	Checked by	Approved by - date	File name	MATERIAL
				Date 30/03/02
				Scale -
KMITL		CARDIOLOGY-SIMULATOR		
		ME02		Edition 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



12	3	CAM DRIVE SHAFTS			
11	1	FIXED SHAFT 1.5 M			
10	20	BUSHES			
9	20	LOWER TIMING GEARS			
8	20	MIDDLE TIMING GEARS			
7	20	UPPER TIMING GEARS			
6	20	T-BARS			
5	6	RAMP ARM			
4	20	CAMS			
3	6	C-BOX			
2	6	CAM FOLLOWER			
1	6	INDEX BAR			
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference		
Designed by H.PAPOJ	Checked by	Approved by - date	File name	Date 30/03/02	Scale -
KMITL			CARDIOLOGY-SIMULATOR		
			ME02	Edition 0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



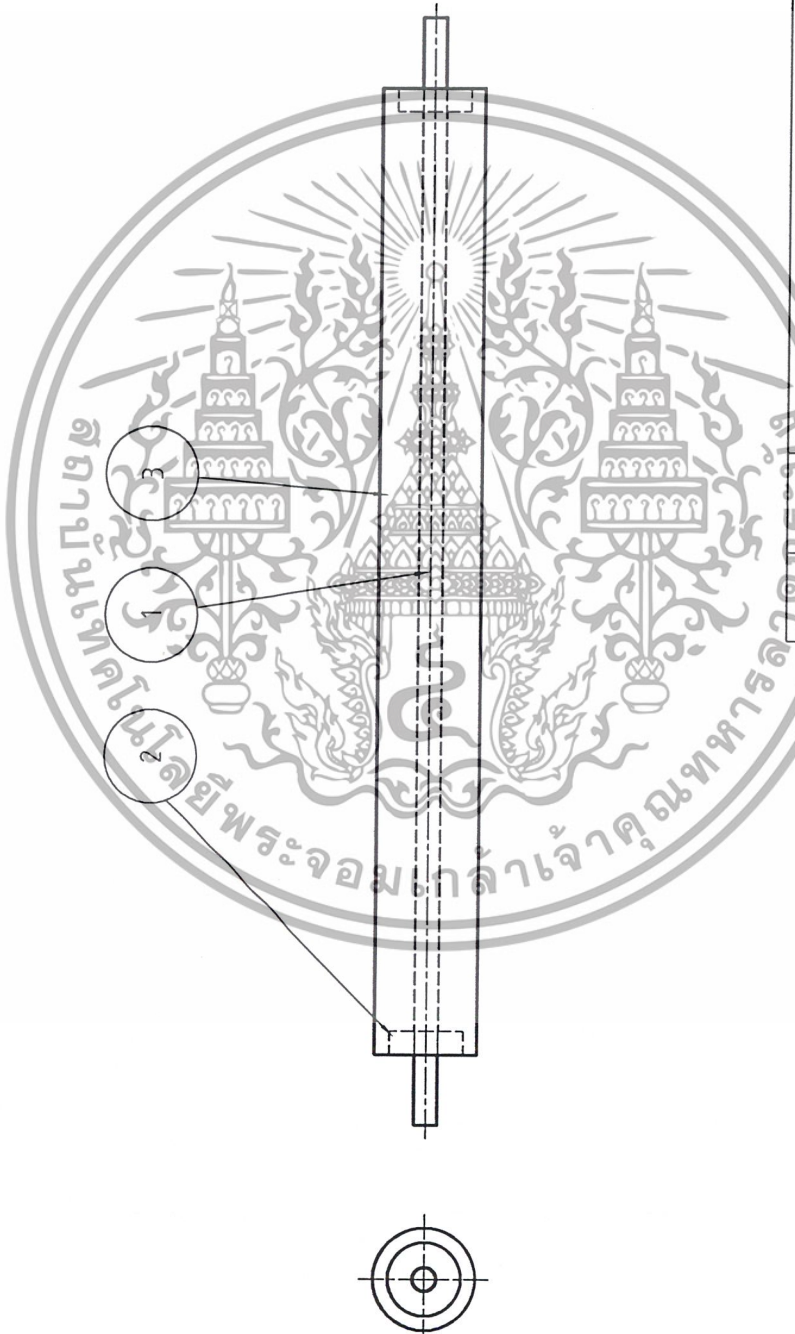
Itemref	Quantity	INDEX BAR	STEEL
Designed by H.PAPOJ	3	Title/Name, designation, material, dimension etc	MATERIAL
Checked by	Approved by - date	File name	Date 30/03/02
			Scale -
KMUTL		CARDIOLOGY-SIMULATOR	
		ME02	Edition 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



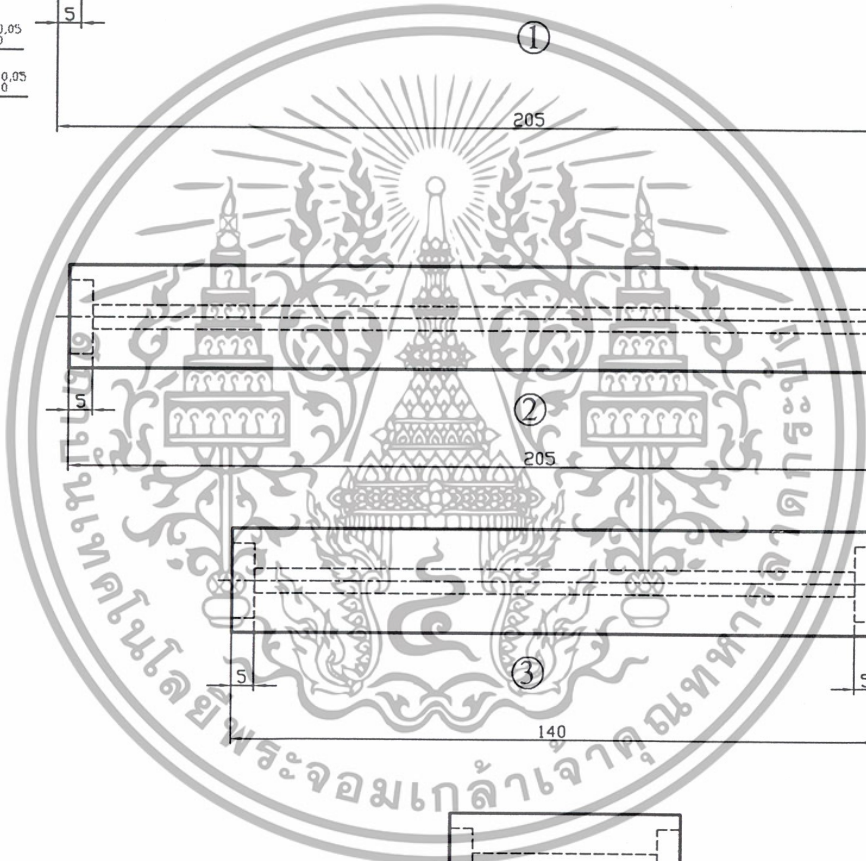
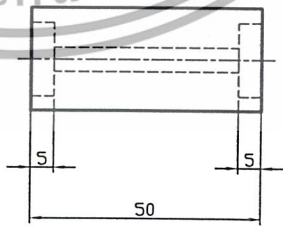
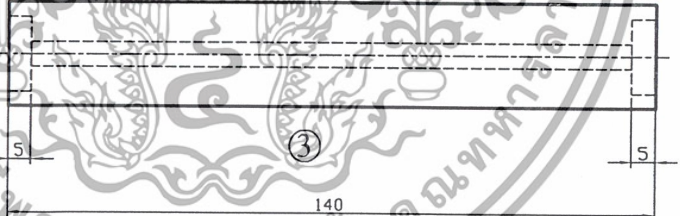
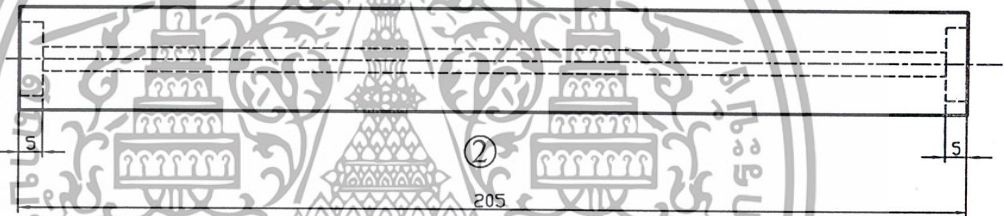
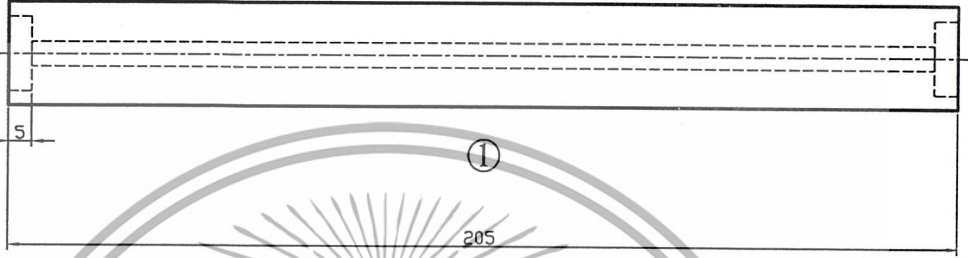
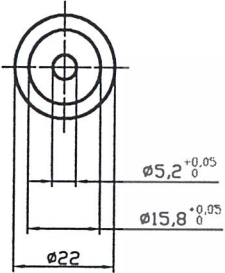
Itemref	Quantity	INDEX BAR	STEEL
Designed by HPAPOJ	Title/Name, designation, material, dimension etc		MATERIAL
Checked by	Approved by - date	File name	Date 30/03/02
Scale			.
KMITL		CARDIOLOGY-SIMULATOR	
		ME02	Edition 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3	1	CAM-FOLLOWER	PLASTIC
2	1	BEARING	STD
1	1	SHAFT	STEEL
Itemref		Title/Name, designation, material, dimension etc	MATERIAL
Designed by HPAPOJ	Checked by	Approved by - date	Date 30/03/02
		File name	Scale -
<b>KMITL</b>		<b>CARDIOLOGY-SIMULATOR</b>	
		ME02	Edition 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

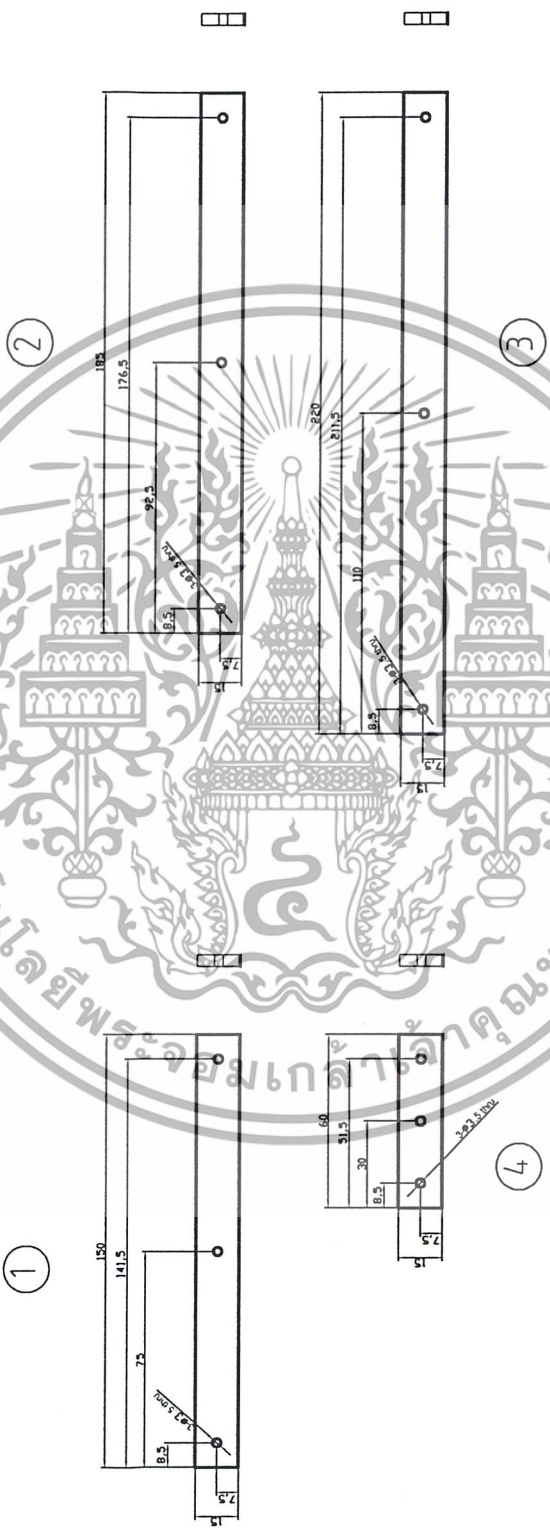
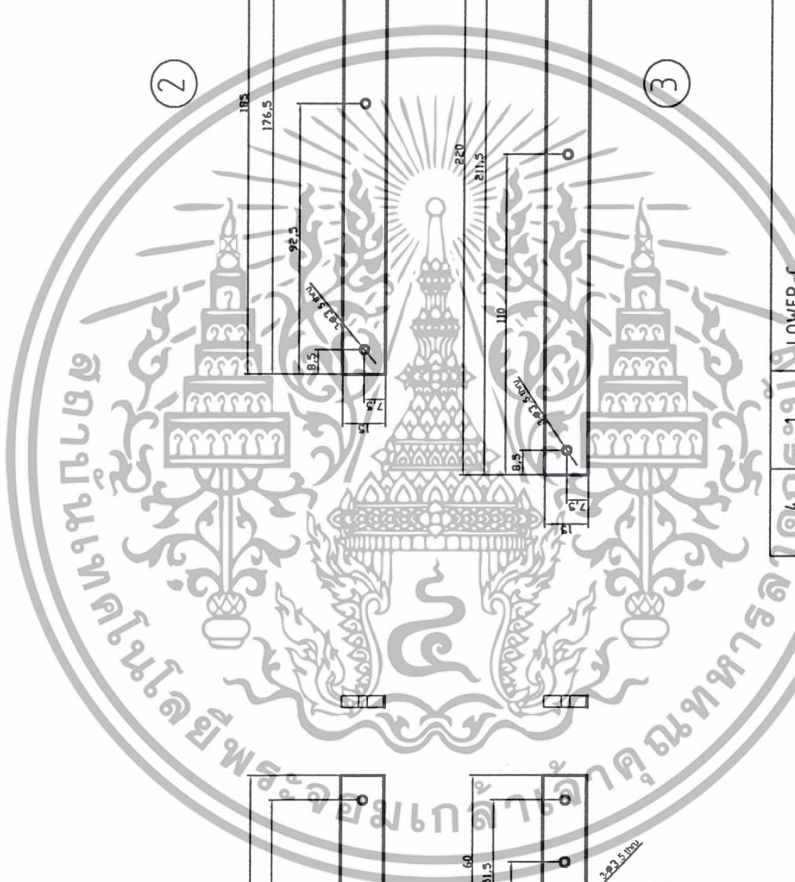


4	3	CAM FOLLOWER	STEEL
3	1	CAM FOLLOWER	STEEL
2	1	CAM FOLLOWER	STEEL
1	1	CAM FOLLOWER	STEEL
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No /Reference
Designed by H.PAPOJ	Checked by	Approved by - date	File name
			Date 30/03/02
			Scale
KMITL			CARDIOLOGY-SIMULATOR
			ME02
			Edition 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในโครงการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์อื่นใด  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ KMITL ขอสงวนลิขสิทธิ์



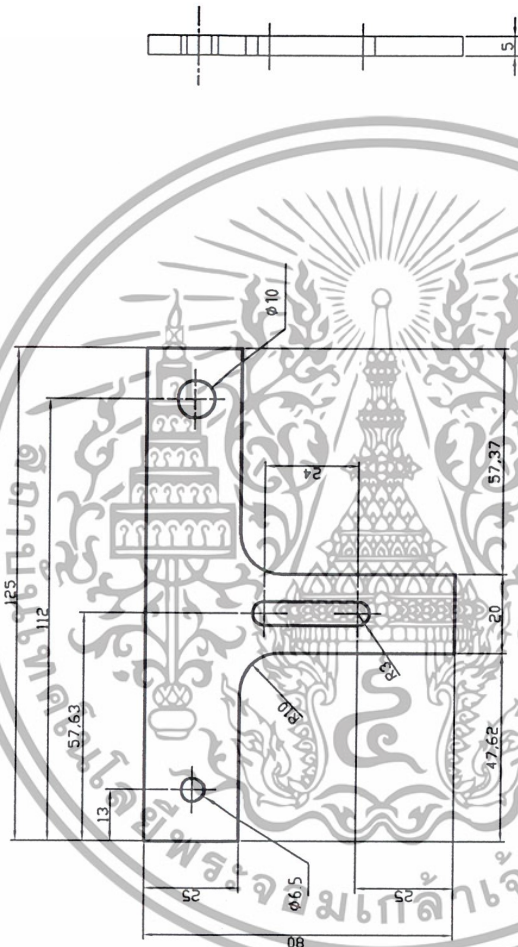




4	LOWER-C	WOOD
3	LOWER-C	WOOD
2	LOWER-C	WOOD
1	LOWER-C	WOOD
Itemref Quantity Title/Name, designation, material, dimension etc MATERIAL		
Designed by H.P.APOJ	Checked by	Date 30/03/02
Approved by - date	File name	Scale -
KMITL		ME02
		Edition 0

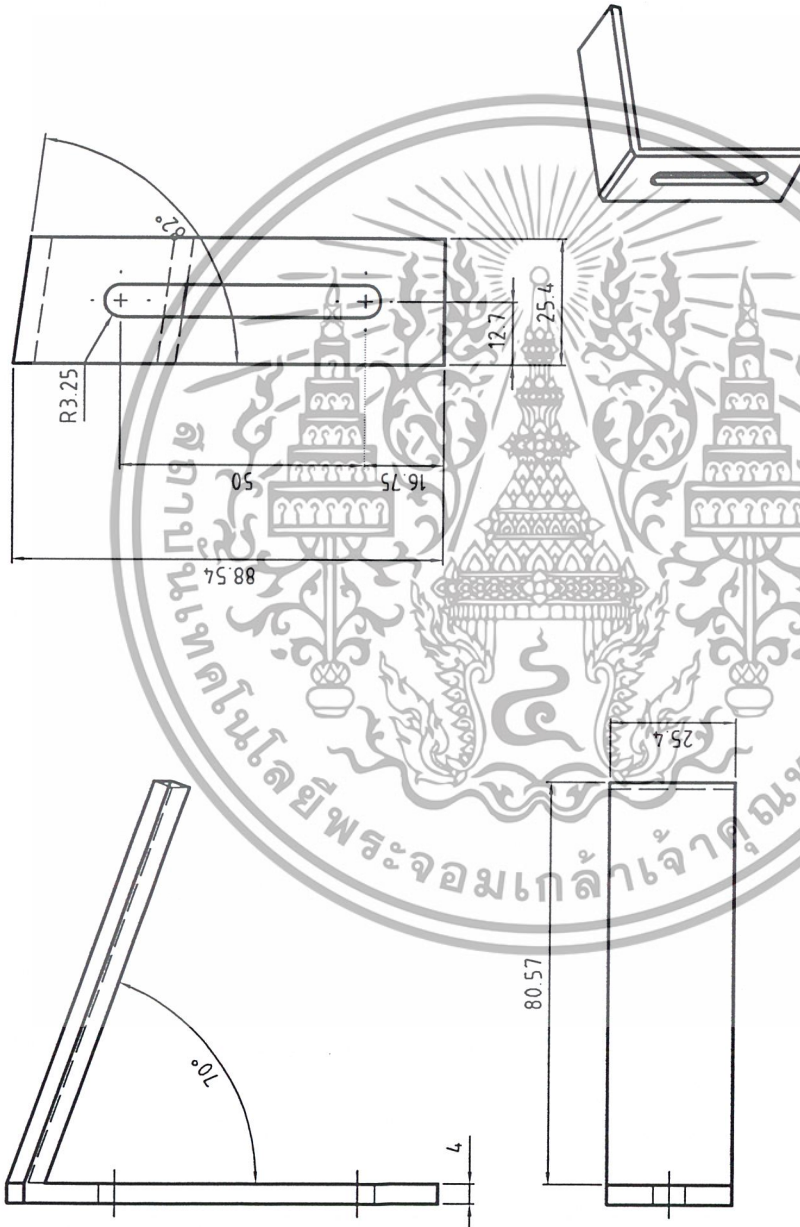
**CARDIOLOGY-SIMULATOR**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1	T-bar	WOOD		
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc		
Designed by H.PAPOJ	Checked by	Approved by - date	File name	MATERIAL
			Date	Scale
			30/03/02	-
KMITL		CARDIOLOGY-SIMULATOR		
		MF02	Edition	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



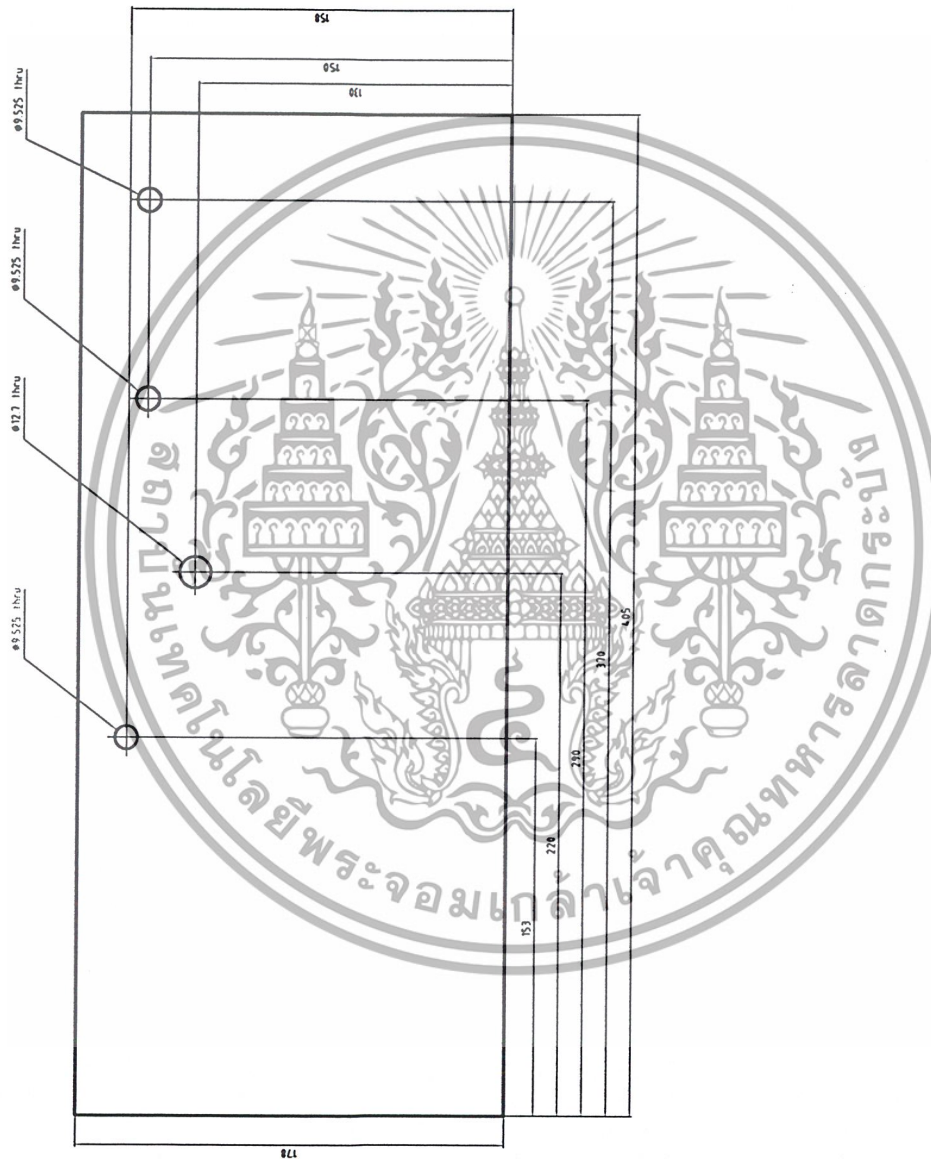
Itemref	6	RAMP ARM	AL
Quantity		Title/Name, designation, material, dimension etc	MATERIAL
Designed by HIPAPOJ		Checked by	Date 30/03/02
		Approved by - date	File name
			Scale
KMITL		CARDIOLOGY-SIMULATOR	
		MII02	Edition 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



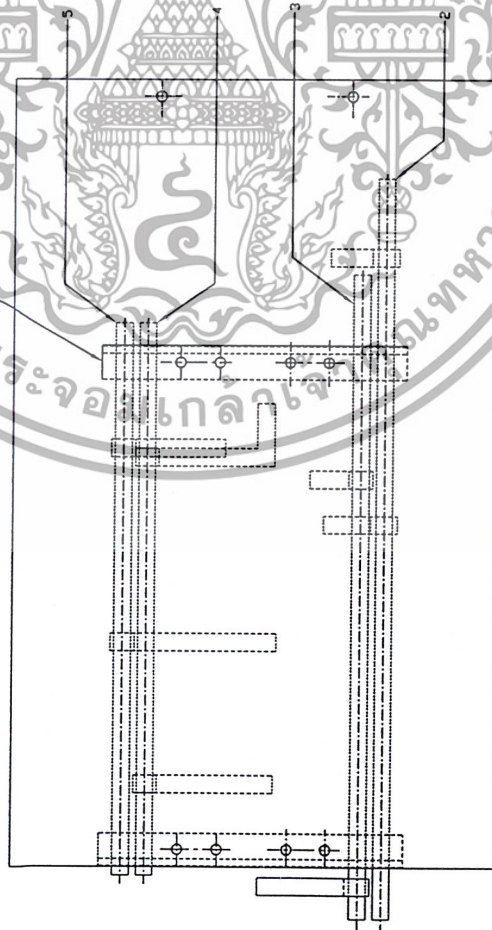
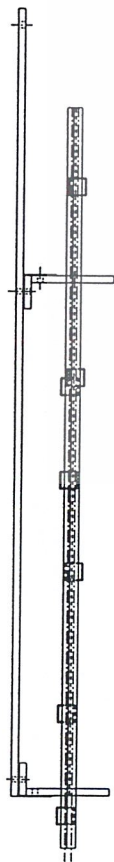
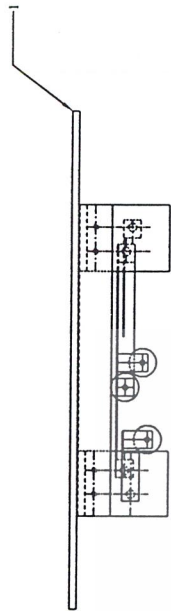
WOOD PLATE		WOOD	
Itemref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	
1		MATERIAL	
Designed by H.PAPOJ	Checked by	Approved by - date	Date 30/03/02
		File name	Scale -
<b>KMITL</b>		<b>CARDIOLOGY-SIMULATOR</b>	
		ME02	Edition 0
		SHEET 2/2	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Itemref	Quantity	WOOD PLATE	WOOD
Designed by H.PAPOJ	Title/Name, designation, material, dimension etc		MATERIAL
Checked by	Approved by - date	File name	Date 30/03/02
KMITL			Scale -
CARDIOLOGY-SIMULATOR			Edition 0
ME02			SHEET 1/2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



6	support	38.1*38.1	เหล็กฉาก	2
5	link 4	Ø95*620	อลูมิเนียม	1
4	link 3	Ø9.5*620	อลูมิเนียม	1
3	link 2	Ø9.5*Ø30	อลูมิเนียม	1
2	link 1	Ø9.5*Ø20	อลูมิเนียม	1
1	แม่แบบฐาน	800*560	ไม้ดีด	1
วันที่		รายการ	ขนาด	วัสดุ
ผู้สอน		นาย สุวัฒน์ อธิมัทพรหม		
ผู้ออกแบบ		นาย ศุภเชษ อภิมากรบาศ		
มาตรฐาน		ชื่อโรงงาน		
1:6		ภาพประกอบชิ้นที่ 2		
		KMPL		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้















เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมเทอร์โบปาสกาลใช้หาค่าคงที่ของสมการการเคลื่อนที่

```
PROGRAM NEWDIV
```

```
VAR X : ARRAY [ 1..10] OF REAL ;
```

```
FX : ARRAY [ 1..10, 1..10] OF REAL ;
```

```
I, ICOL, IROW, N, M : INTEGER ;
```

```
BEGIN
```

```
WRITELN ('PLEASE ENTER NUMBER OF POINT') ;
```

```
READLN (N) ;
```

```
FOR IROW := 1 TO N DO
```

```
BEGIN
```

```
WRITEN (' PLEASE ENTER X', N-1, ' VALUE') ;
```

```
READLN (X [IROW]) ;
```

```
WRITEN (' PLEASE ENTER Y', N-1, ' VALUE') ;
```

```
READLN (FX [IROW]) ;
```

```
END ;
```

```
M := N ;
```

```
FOR ICOL := 2 TO N DO
```

```
BEGIN
```

```
M := M-1 ;
```

```
FOR IROW := 1 TO M DO
```

```
BEGIN
```

```
FX [ IROW, ICOL ] := FX[IROW+1, ICOL-1] - FX[IROW, ICOL-1] ;
```

```
FX [ IROW, ICOL ] := FX[IROW, ICOL] / X[IROW + ICOL - 1] - X  
[IROW]) ;
```

```
END ;
```

```
END ;
```

```
FOR I := 1 TO N DO
```

```
WRITELN (' C', I-1, ' = ', FX[1, I]:10) ;
```

```
READLN ;
```

```
END ;
```