

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**เครื่องจำลองการบดเคี้ยวเพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรม**



นายพรหมมาตร์ สุประพาส  
นายทศพล ธารรำลึก  
นายพงศธรณ์ เลิศเจริญ

วันที่  
พ.ศ. ๒๕๕๙

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **76644**  
วัน,เดือน,ปี..... **-3 S.ค. 2550**

b. **418 50425**  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Chewing Simulator for Dental Wear Test




A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of  
Bachelor of Science  
Department of Applied Physics  
Faculty of Science


King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
Academic Year 2006,  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษเรื่อง** เครื่องจำลองการบดเคี้ยวเพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรม  
**นักศึกษา** นายพรหมมาตร์ สุประพาส  
 นายทศพล ธารรำลึก  
 นายพงศธรณ์ เลิศเจริญ  
**ภาควิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์  
**สาขาวิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม  
**อาจารย์ที่ปรึกษา** รศ. อนุพงษ์ สรงประภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	
กรรมการ	
กรรมการ	
กรรมการที่ปรึกษา	

  
 .....  
 (รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)  
 หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง เครื่องจำลองการบดเคี้ยวเพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรม

นักศึกษา นายพรหมมาตร์ สุประพาส  
นายทศพล ธารรำลึก  
นายพงศธรณ์ เลิศเจริญ

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา 2549  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. อนุพงษ์ สรวงประภา

#### บทคัดย่อ

ปัญหาฟันผุซึ่งต้องมีการรักษาด้วยการอุดฟัน หรือ ทำครอบฟัน นั้นนำไปสู่การสูญเสียทางเศรษฐกิจทั้งค่าทันตวัสดุราคาแพง ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และ คุณภาพชีวิตของคนไทยที่อาจได้รับวัสดุซึ่งคือคุณภาพอีกทั้ง การวิจัยพัฒนาเพื่อทดแทนการนำเข้าก็กระทำ ได้เพียงบางส่วน เนื่องจากยังไม่มีหน่วยงานที่สามารถควบคุมตรวจสอบมาตรฐานของวัสดุเหล่านั้นอย่างมีประสิทธิภาพ เพราะเครื่องมือของต่างประเทศมีราคาแพง การพัฒนาเครื่องมือดังกล่าวขึ้นเองด้วยวัสดุและเทคโนโลยีภายในประเทศที่มีราคาถูก สำหรับการจำลองเงื่อนไขการบดเคี้ยวของฟัน กับทันตวัสดุในสภาพของช่องปากคนไทยจึงมีความจำเป็น ในโครงการพิเศษนี้จึงขอเสนอเครื่องจำลองการบดเคี้ยวเพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรมซึ่งได้ประดิษฐ์ขึ้น โดยยึดมาตรฐานและลักษณะการทำงานมาจากเครื่องมือของต่างประเทศ จำลองการเคี้ยวของฟันในระบบการเคลื่อนที่แบบ 2 มิติ ให้คล้ายกับการเคี้ยวของฟันจริงๆมากที่สุด โดยการประยุกต์ใช้ลูกเบี้ยว(CAM)เป็นตัวกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่ ประกอบเข้ากับเพลลาและขับเคลื่อนด้วย AC Motor ซึ่งควบคุมด้วยวงจรคอนโทรลเลอร์ รวมกันประกอบขึ้นเป็นเครื่องมือให้สามารถใช้งานได้ ตลอดจนอธิบายถึงวิธีการทดลองตรวจสอบการเคลื่อนที่รูปหยดน้ำคาของเครื่องมือและนำผลมาเปรียบเทียบกับทฤษฎีอยู่ภายในโครงการนี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Special Project Title</b>	Chewing Simulator for Dental Wear Test
<b>Name</b>	Mr. Prommat suprapat Mr. Tosson Tanrumluek Mr. Pongsatorn Lertcharoen
<b>Department</b>	Apply Physics
<b>Program</b>	Apply Physics – science and Industry Instrumentation
<b>Academic</b>	2006
<b>Special Project Advisor</b>	Assoc.Prof Anupong Srongprapa

### ABSTRACT

The cavity problem which can be cured by using the tooth filling and tooth crown has lead to the great economic loss caused by the high cost of the dental materials which have to be imported from the abroad. Moreover, the Thai's standard of living could get worse due to the inferior quality of the dental materials. Furthermore, there are also a few research of the substitute material since the controlling and examining of the material's quality is still inefficient. Therefore, it's very necessary for the Thai to invent and develop the material which has a lower cost than the imported material. This paper presents the chewing simulator machine to examine the dental wear. The invention of this chewing simulator machine based on the function and the quality standard of the foreign equipment. The simulation of the chewing has done in 2 dimensions which is the most similar to the real chewing process in human being. This paper use cams as the determinant of the motion combining with axle and AC motor which is controlled by the controller system. In addition, we also explain and analyze the test result of the tear shape motion of the dental material and compare the result to the related theories.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่อุปกรณ์และเครื่องมือในการฝึกงาน

ขอขอบพระคุณ รศ. อุนพงศ์ สรวงประภา และรุ่นพี่ทุกท่าน ที่ช่วยดูแลให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาและคอยช่วยเหลือให้เราสามารถทำงานครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และ ญาติพี่น้อง ที่ขอให้คำปรึกษาและการสนับสนุนทางด้านการศึกษา

ขอขอบพระคุณ นาย ธรรมศักดิ์ วิมลเกียรติคุณ ที่ขอให้คำปรึกษาและคอยช่วยเหลือทางด้าน Machinery ให้เราสามารถทำงานครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



นายพรหมมาตร์ สุประพาส

นายทศพล ชารร่าลิก

นายพงศธรณ์ เลิศเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อโครงการพิเศษ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ	3
1.3 ขอบข่ายของโครงการพิเศษ	3
1.4 ตารางแสดงระยะเวลาในการทำงาน	4
1.5 ประโยชน์ของโครงการพิเศษ	5
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 ธรรมชาติของฟัน	6
2.2 วัสดุที่ใช้บูรณะฟัน	16
2.3 เครื่องมือจำลองการบดเคี้ยวของฟัน	18
2.4 ทฤษฎีเพลาถูกเบี้ยว	23
2.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	33
2.6 เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างเครื่องมือทดสอบการสึก 2 แนว และ เครื่องจำลองการบดเคี้ยวเพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรม	36
บทที่ 3 ส่วนประกอบและระบบของเครื่องจำลองการบดเคี้ยว	
3.1 ส่วนประกอบหลักของระบบเชิงกลของเครื่องที่พัฒนาขึ้น	37
3.2 ส่วนประกอบหลักทางอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมเครื่องมือ	45
3.3 ส่วนซอฟต์แวร์ ( Software )	50
3.4 ผลงานที่ประดิษฐ์ขึ้นมา	52
บทที่ 4 ระบบของเครื่องมือและวิธีการทดลอง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในทางวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลอง	65
4.3 ส่วนของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์	66

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1สรุปการวิจัย	67
5.2 แนวทางในการพัฒนาโครงการ	68

เอกสารอ้างอิง  
ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบฟัน	7
รูปที่ 2.2 ลักษณะของฟันน้ำนม	8
รูปที่ 2.3 ลักษณะของฟันแท้	8
รูปที่ 2.4 ฟันตำแหน่งต่างๆ	8
รูปที่ 2.5 แสดงภาพบันทึกการเคลื่อนไหวของขากรรไกรทั้งที่ระดับฟัน และข้อต่อขากรรไกร	10
รูปที่ 2.6 แสดงภาพบันทึกวงเคี้ยวในแนวหน้าตรง	11
รูปที่ 2.7 ภาพจำลองพฤติกรรมกรเคี้ยวของฟันกรามล่างซ้าย	12
รูปที่ 2.8 แสดงค่าแรงกัดฟันเฉลี่ยที่ตำแหน่งต่างๆของขากรรไกร	14
รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบดเคี้ยวและช่วงเวลาของวงการเคี้ยว ในรูปแบบของครึ่งคลื่นรูปไซน์ (half of a sine wave)	15
รูปที่ 2.10 Oral Wear Simulator	18
รูปที่ 2.12 chewing simulator ของ MTS Systems Corporation	19
รูปที่ 2.13 chewing simulator ของบริษัท Sabri	20
รูปที่ 2.14 chewing simulator ของบริษัท willytec	20
รูปที่ 2.15 เครื่องมือทดสอบการสึก 2 แนวของ MEE	21
รูปที่ 2.16 เครื่องมือทดสอบค่าแรงดึงของวัสดุ (Tensile testing machine) model instron 5566	22
รูปที่ 2.17 เครื่องมือทดสอบแรงกดของวัสดุ (Materials testing system) model enduretec BOSE ElectroForce (ELF) 320022	23
รูปที่ 2.18 ส่วนประกอบต่างๆ ของลูกเบี้ยว	23
รูปที่ 2.19 ชนิดของลูกเบี้ยว	24
รูปที่ 2.20 แสดงลูกเบี้ยวแบบ 2 มิติ	25
รูปที่ 2.21 Roller follower	25
รูปที่ 2.22 Knife-Edge follower	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.23 Flat – faced follower	26
รูปที่ 2.24 dwell – rise – dwell	27
รูปที่ 2.25 dwell – rise-return- dwell	28

**สารบัญรูป (ต่อ)**

	หน้า
รูปที่ 2.26 Uniform velocity or Uniform motion	28
รูปที่ 2.27 Simple Harmonic	29
รูปที่ 2.28 Uniform acceleration motion	29
รูปที่ 2.29 แสดงการออกแบบลูกเบี้ยว	30
รูปที่ 2.30 Flat follower Cam or Pointed follower cam	31
รูปที่ 2.31 ลักษณะพื้นฐานของลูกเบี้ยวในโครงงาน	32
รูปที่ 2.32 เป็นส่วนหนึ่งของการขึ้นตอนการออกแบบลูกเบี้ยว (cam)	33
รูปที่ 2.33 แสดงขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	34
รูปที่ 3.1 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะการวางของลูกเบี้ยวแกน X	37
รูปที่ 3.2 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะการวางของลูกเบี้ยวแกน Y	38
รูปที่ 3.3 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะการวางของส่วนเคลื่อนที่จำลองพื้นบน	39
รูปที่ 3.4 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะการวางของส่วนเคลื่อนที่จำลองพื้นล่าง	39
รูปที่ 3.5 ภาพแสดงแบบจำลองลำดับการเคลื่อนที่	40
รูปที่ 3.6 (ก) จุดเริ่มต้นของวงจรเกียร์ ลูกเบี้ยวจะอยู่ในระยะเริ่มต้น	40
ในระยะนี้ลูกเบี้ยวจะยังไม่เริ่มเคลื่อนที่เป็นระยะที่พื้นบนและพื้นล่างห่างกันสุด	
รูปที่ 3.6 (ข) ลูกเบี้ยวเริ่มเคลื่อนที่ ที่มุม 60 องศา พื้นบนและพื้นล่างเริ่มเคลื่อนที่เข้าหากัน	41
รูปที่ 3.6 (ค) ลูกเบี้ยวเคลื่อนที่ที่มุม 120 องศา เริ่มเข้าสู่ระยะบดกัดอาหาร	41
รูปที่ 3.6 (ง) ลูกเบี้ยวเคลื่อนที่มาอยู่ในระยะที่ พื้นบนและพื้นล่างสบกันพอดี	41
รูปที่ 3.6 (จ) เป็นระยะที่พื้นบนและพื้นล่างเริ่มห่างออกจากกัน	42
รูปที่ 3.6 (ฉ) เป็นระยะที่ลูกเบี้ยวเริ่มกลับเข้าสู่ระยะเริ่มต้นอีกครั้ง	42
รูปที่ 3.7 (ก) ,(ข) และ (ค) แสดงแต่ละส่วนของชุดใส่ฟัน	43
รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการวางของส่วนชุดฟัน	44
รูปที่ 3.9 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะการวางตัวของส่วน โครงเครื่อง	45
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรส่วนเพาเวอร์ซัพพลาย (power supply)	45
รูปที่ 3.11 แสดงรูปวงจรส่วนคีย์แพค	46
รูปที่ 3.12 แสดงรูปวงจรส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์	47
รูปที่ 3.13 แสดงรูปวงจรส่วนแสดงผลออกทางจอ LCD	47

รูปที่ 3.14 แสดงรูปส่วนวงจร EEPROM	48
รูปที่ 3.15 แสดงรูปส่วนวงจร RAM	48
รูปที่ 3.16 แสดงส่วนวงจรหลักของระบบอิเล็กทรอนิกส์	49

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.17 แสดงโพล์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม	51
รูปที่ 3.18 แสดงการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์	52
รูปที่ 3.19 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของระบบขับเคลื่อนชุดฟัน	53
รูปที่ 3.20 ลูกเบี้ยวแกน Y	54
รูปที่ 3.21 ลูกเบี้ยวแกน X ลูกที่ 1	54
รูปที่ 3.22 ลูกเบี้ยวแกน X ลูกที่ 2	54
รูปที่ 3.23 ชุดจำลองฟันต	55
รูปที่ 3.24 โครงเหล็ก	56
รูปที่ 3.25 แสดงถึง โครงสร้างของเครื่องมือและส่วนประกอบต่างๆ เมื่อทำการประกอบเสร็จ	56
รูปที่ 3.26 แสดงวงจรควบคุมเครื่องมือ	57
รูปที่ 3.27 แสดงมอเตอร์ AC ขนาด 40 วัตต์ และ Speed control box	57
รูปที่ 3.28 แสดงแผงวงจรควบคุม	58
รูปที่ 3.29 แสดงจอ LCD แบบ 20X4	58
รูปที่ 3.30 แสดง Keypad แบบ 4X4	59
รูปที่ 3.31 แสดง Switch Relay	59
รูปที่ 3.32 แสดง Photomicrosensor	60
รูปที่ 4.1 จะแสดงถึง โครงสร้างของเครื่องมือและส่วนประกอบต่างๆเมื่อทำการประกอบเสร็จ	61
รูปที่ 4.2 อุปกรณ์การทดสอบ	62
รูปที่ 4.3 LED ต่อกับ Battery	62
รูปที่ 4.4 รูปการติดตั้ง แหล่งกำเนิดแสง LED ไว้ที่ส่วนจำลองฟันล่าง	63
รูปที่ 4.5 รูปแสดงการจับภาพการเคลื่อนที่ของ LED	63
รูปที่ 4.6 นำปากกาติดเข้ากับส่วนจำลองฟันล่าง	64
รูปที่ 4.7 ติดการดาบบนกระดานแข็ง	64
รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการลากเส้นด้วยปากกา	65
รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะเส้นทางการเคลื่อนที่ของฟันแบบ 2 มิติ จากทฤษฎี	65

และจากการทดลอง

รูปที่ 4.10 ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จาก Photomicrosensor และวงจร Relay	66
รูปที่ 5.1 วงการเลี้ยงที่ได้จากการทดลอง	67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

สุขภาพช่องปากที่ดี หมายถึง สภาวะของช่องปากและอวัยวะที่เกี่ยวข้องสามารถทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ โดยทำให้บุคคลสามารถรับประทานอาหาร พุด และเข้าสังคมได้ อันแสดงว่าช่องปากปราศจากโรคภัยใดๆ และช่วยส่งเสริมให้สุขภาพโดยทั่วไปดีขึ้น ปัญหาของสุขภาพในช่องปาก ที่พบกันส่วนใหญ่ คือ โรคฟันผุ และโรคเหงือก หรือ ปรีทันต์ จากการสำรวจและวิจัยการระบาดของโรคฟันผุในประเทศไทยนั้นพบว่าอัตราของโรคมัมน้ำมันสูงขึ้น จากค่าเฉลี่ย ตอน อุดของอายุ 10 – 14 ปี ใน พ.ศ. 2503 เท่ากับ 0.4 ซี่ / คน เพิ่มขึ้น 1.5 และ 1.6 ซี่ / คน ใน พ.ศ. 2527 และ 2537 ตามลำดับ จำนวนเด็กอายุ 12 ปี ที่เป็นโรคฟันผุ โดยเฉพาะในเขตชนบท เพิ่มจากร้อยละ 40 เป็นร้อยละ 48 ใน พ.ศ. 2527 และ 2537 ตามลำดับ ส่วนกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีลักษณะชุมชนเมือง และมีวิถีชีวิต และเศรษฐกิจต่างจากชนบทมาก พบว่า ค่าเฉลี่ยฟัน ตอน อุด ของเด็กอายุ 12 ปี เพิ่มจาก 0.6 ซี่ / คน เป็น 2.9 ซี่ / คน ใน พ.ศ. 2503 และ 2537 ตามลำดับ จากงานสำรวจและวิจัยขึ้นนี้พบว่า มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ โดยทั่วไปร้อยละ 80 ของฟันผุจะเป็นส่วนของฟันกรามที่ใช้บดเคี้ยว ผลที่ตามมาคือการต้องเข้ารับการรักษา ซึ่งทำได้หลายวิธีเช่น การอุดฟัน การรักษารากฟัน และครอบฟัน รวมถึงการถอนฟัน และการใส่ฟันปลอม แต่ช่วงอายุที่มีฟันแท้ขึ้นนั้น การถอนฟันทิ้งไป จะทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้ เช่น การสูญเสียความสามารถในการพุดหรือการบริโภคอาหาร การมีปัญหาด้านสังคม เช่น การไม่กล้ายิ้ม หรือขาดความมั่นใจ เป็นต้น ในทางทันตกรรมได้มีวิธีการในการบูรณะฟันเพื่อทำการบูรณะส่วนที่สูญเสียไปของฟันเนื่องจากการผุโดยวัสดุที่ใช้ในการบูรณะฟันที่สำคัญได้แก่ อมัลกัม (Amalgam) , เรซินคอมโพสิต (Resin Composites) , Sealant , ฟลูออไรด์ (Fluorine) ฯลฯ ทันตวัสดุเหล่านี้จำเป็นจะต้องนำเข้าจากต่างประเทศทั้งสิ้นด้วยราคาที่แพง เช่น ลวด amalgam ราคา 6500 บาทต่อความยาว 400 เมตร, composites ราคา 900 ถึง 2500 บาทต่อ 1 หลอดขนาด 4 กรัม , fluorine หลอดละ 500 บาท , pit & fissure sealant ราคา หลอดละ 700 – 2500 บาท ( ข้อมูลจากบริษัท เชียงไฮ้ ทันตกรรม ) ปัญหาอีกคือค่าใช้จ่ายจากการนำเข้าทันตวัสดุเหล่านี้ที่รัฐบาลซึ่งได้มอบหลักประกันสังคมให้กับประชาชนจะต้องมีภาระสูญเสียงบประมาณมหาศาล ในแต่ละปี และมีผลต่อประชาชนผู้ไม่ได้ใช้หลักประกันทำให้ต้องจ่ายค่ารักษาที่แพง

ปัญหาทางด้านทันตวัสดุในประเทศไทย คือ ยังขาดองค์กรหรือหน่วยงานที่จะทำหน้าที่ควบคุมหรือกำหนดหลักเกณฑ์มาตรฐานของทันตวัสดุ ที่จะนำเข้ามาจำหน่ายและนำไปใช้กับผู้ป่วย โดยมีได้มีการศึกษาหรือทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานสากลอย่างเพียงพอจึงมักพบว่าวัสดุเหล่านี้ เอกสารเป็นเอกสารที่สว่นไวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาดคุณภาพ จึงทำให้เกิดปัญหาในการใช้งาน ส่งผลกระทบต่อผู้ที่มาทำการรักษา ซึ่งเสี่ยงไม่ได้ที่ จะต้องเข้ารับการบูรณะฟันด้วยทันตวัสดุที่อาจมีข้อบกพร่องเหล่านี้ ปัญหาอีกประการ คือ ประเทศไทยเป็นประเทศที่อยู่ในเขตร้อน อากาศร้อน และความชื้นสูง สภาพนี้มีผลกระทบต่อคุณสมบัติ ของวัสดุที่ผลิตและผ่านการทดสอบในประเทศที่มีสภาพอากาศแตกต่างจากประเทศไทยที่แม้พบว่า ให้ผลดีในต่างประเทศ และมีอายุการใช้งานได้นาน แต่อาจพบได้ว่าไม่เหมาะสมและหมดอายุเร็วกว่า เมื่อใช้ในประเทศไทย

ด้วยเหตุนี้จึงต้องทำการทดสอบวัสดุทางทันตกรรมในแง่ของการทนต่อสภาพการบดเคี้ยว ในสภาวะที่สอดคล้องกับสภาพในช่องปากของคนไทย การทดสอบด้วยการติดตามการสึกของวัสดุ อุดหรือครอบฟันคนไข้ต้องใช้เวลานานจึงต้องมีการใช้เครื่องมือเพื่อช่วยย่นระยะเวลาของการ ทดสอบซึ่งได้มีการพัฒนาขึ้นในต่างประเทศรองรับการทดสอบในแบบต่างๆ ของมาตรฐาน ISO โดยมีตั้งแต่ในการทดสอบเพียงครั้งละ 1 ตัวอย่าง ไปจนถึง 8 ตัวอย่างพร้อมๆกัน ซึ่งมีราคาในระดับ 1,000,000บาทขึ้นไป จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจำเป็นต้องพิจารณาในการนำเข้ามา ใช้งานในประเทศไทยปัจจุบันจึงยังไม่มีเครื่องมือเหล่านั้นได้มีการพัฒนาเครื่องมือในลักษณะดังกล่าว ขึ้นบ้างแล้วในประเทศไทยโดยห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องมือทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อม ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในส่วน ของระบบทดสอบตามแบบของ OHSU (8ตัวอย่างพร้อมกัน) และแบบของ MINESOTA(ครั้งละ 1 ตัวอย่าง)ซึ่งมีราคาต้นทุนต่ำและได้มีการนำไปใช้งานทดสอบจริงที่หน่วยวิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และ หน่วยวิจัยทันตวัสดุศาสตร์ คณะทันต แพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดลตามลำดับ ซึ่งโรงพยาบาลทันตกรรมของทั้งสองมหาวิทยาลัยเป็น ตัวอย่างของหน่วยงานมีขีดความสามารถในการพัฒนาและผลิตวัสดุทางทันตกรรมได้เอง อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีอีกหลายหน่วยงานทางทันตกรรมประดิษฐ์ ซึ่งก็มีศักยภาพในลักษณะเดียวกันที่มีเป้าหมายใน การลดการนำเข้าวัสดุจากต่างประเทศก็มีความต้องการเครื่องมือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแบบ MINESOTAที่สามารถทดสอบได้หลายตัวอย่างพร้อมกันในราคาถูกดังนั้นการผลิตเครื่องมือ ดังกล่าวที่มีส่วนช่วยในงานวิจัยทันตวัสดุจึงมีความจำเป็น โครงการนี้จะเป็นประโยชน์ในด้านของ สุขภาพของประชาชนรวมถึงประโยชน์ต่อประเทศชาติ ทำให้มีเครื่องทดสอบที่มีราคาถูกสนับสนุน งานวิจัยทางด้านทันตวัสดุให้มากขึ้น ส่งเสริมการผลิตวัสดุทางด้านทันตกรรม เพื่อลดปริมาณการ นำเข้าจากต่างประเทศ ช่วยประหยัดงบประมาณของชาติได้อย่างมาก เพิ่มคุณภาพของวัสดุทางทัน ตกรรมทำให้มีอายุในการใช้งานยาวนานขึ้นซึ่งเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพทางช่องปากของคนไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

1.2.1) เพื่อทำการศึกษาทำความเข้าใจกับลักษณะธรรมชาติการเคี้ยวอาหารของมนุษย์

1.2.2) เพื่อทำการศึกษาและสร้างเครื่องมือระบบอัตโนมัติตามมาตรฐานแบบ MINNESOTA ชนิด 6 samples ในการเลียนแบบลักษณะธรรมชาติของการบดเคี้ยวอาหารของฟันมนุษย์ที่ทำให้การสึกกร่อนเกิดขึ้นตลอดเวลา เป็นสาเหตุหนึ่งที่น่าไปสู่ ปัญหาฟันผุ แล้วเมื่อมีการอุดหรือครอบฟันด้วยวัสดุสังเคราะห์ ก็จะต้องมีการทดสอบวิจัยและพัฒนาให้มีความแข็งแรงมากขึ้นไปจนทำให้เกิดการสึกของฟันคู่สบ ในขณะที่เดียวกันก็ต้องมีความทนทานมีอายุการใช้งานยืนยาวไม่แตกร้าวในสภาพการบดเคี้ยวซ้ำๆ

## 1.3 ขอบข่ายของโครงการพิเศษ

โครงการพิเศษนี้ทำขึ้นเพื่อจะทำการจำลองการบดเคี้ยวเพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรมตามความเหมาะสมของระยะเวลาของโครงการพิเศษซึ่งจะมีความสามารถดังต่อไปนี้

- สามารถทำงาน ได้ครั้งละ 6 samples
- สามารถทำงานอย่างเป็นอิสระต่อกัน กรณีที่ วิเคราะห์ตัวอย่าง ไม่ครบ 6 sample
- มีระบบเก็บค่าเมื่อไฟฟ้าดับ ไฟตกหรือมีการขัดจังหวะ
- ระบบป้องกันอันตรายต่อการเข้าใกล้บริเวณทดสอบขณะทำการทดลองระบบจะหยุดทำงานชั่วคราว
- โปรแกรมจำนวนรอบต่อการทดสอบ 100 – 100,000 รอบต่อครั้ง
- ปรับค่าแรงกดได้ตั้งแต่ 1 – 20 กิโลกรัม หรือมากกว่านั้น
- ความเร็วในการทำงาน 50 - 90 รอบต่อนาที
- ใช้กระแสไฟ 220 V AC 50/60 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ตารางแสดงระยะเวลาในการทำงาน

	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
ขั้นตอนและวิธีดำเนินการ								
1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการของงานวิจัย								
2. ทำการสร้างและทดสอบระบบ								
3. ทำการทดลองและจัดเก็บข้อมูล								
4. ตรวจสอบความถูกต้องของพารามิเตอร์ทั้งหมด								
5. จัดทำเอกสารประกอบ								
6. ตรวจสอบความถูกต้องครั้งสุดท้าย								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 ประโยชน์ของโครงการพิเศษ

1.5.1) เป็นการใช้ชิ้นส่วนและความรู้ที่พัฒนาขึ้นในประเทศทำให้ได้เครื่องมือทดสอบที่มีราคาถูกเมื่อเทียบกับเครื่องที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ แต่มีคุณภาพความแม่นยำทัดเทียมกัน

1.5.2) ทำให้หน่วยวิจัยทางทันตกรรมประดิษฐ์ของประเทศไทย สามารถทดสอบมาตรฐานความคงทนของวัสดุอุด เคลือบร่องฟันและวัสดุครอบฟันที่นำเข้าจากต่างประเทศในเงื่อนไขที่เลียนแบบสภาพแวดล้อมของการบดเคี้ยวในช่องปากของคนไทย ตลอดจนวิจัยพัฒนาวัสดุสังเคราะห์ขึ้นเองในประเทศ โดยย่นระยะเวลาของการทดสอบจากการเก็บข้อมูล ติดตามผลของการรักษาคอนโซ่ ซึ่งต้องใช้เวลานานเป็น เดือน หรือ ปี ให้เหลือเพียง 1-3 วัน ทำให้มีการปรับแต่งส่วนผสมเพื่อให้ได้วัสดุที่ดีที่สุด และผลิตขึ้นเองทดแทนการนำเข้าประหยัดรายจ่ายของประเทศ

1.5.3) ประชาชนคนไทยจะได้มีวัสดุอุด เคลือบร่องฟัน และวัสดุครอบฟันที่เหมาะสมมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ลดปัญหาของการปวดฟันซ้ๆทำให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ธรรมชาติของฟัน

ฟันเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของร่างกาย คือ การเคี้ยวอาหาร ฟันช่วยฉีก ตัดและบด ให้อาหารเป็นชิ้นเล็กลงเพื่อที่จะทำให้ระบบในการย่อยอาหารสามารถทำงานได้ง่ายขึ้น แต่นอกจากนี้ฟันยังทำหน้าที่ปกป้องอวัยวะในช่องปากไม่ให้ได้รับอันตรายจากภายนอก และยังช่วยในการพูด การออกเสียงให้ถูกต้องอย่างชัดเจน และฟันยังบอกถึงบุคลิกภาพในการกินอาหาร ด้วยแต่ละชุดฟันของคนจะประกอบด้วยฟันหลายแบบไม่เหมือนกันฟันแต่ละซี่จะมีลักษณะแตกต่างกันในเรื่องของรูปร่างยังรวมถึงขนาดและสีของฟัน รวมทั้งตำแหน่งที่อยู่ของฟันด้วยการที่ฟันแต่ละซี่อยู่ในตำแหน่งที่ต่างกันแล้วจะสามารถบอกได้ถึงรูปร่างของฟันแต่ละซี่ว่าสามารถที่จะทำงานร่วมกันได้อย่างไร ดังนั้นหน้าที่ของฟันจึงจำเป็นที่ฟันแต่ละซี่ต้องมีรูปร่างและการทำงานสอดคล้องกันและสัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวของขากรรไกรด้วย

##### 2.1.1 ส่วนประกอบของฟัน แบ่งออกเป็น 4 ส่วนลักษณะตามรูปที่ 2.1

2.1.1.1 ส่วนสารเคลือบฟัน (enamel) เป็นส่วนที่คลุมบนตัวฟันโดยตลอด มีมากที่สุดแต่เปราะมาก โดยทั่วไปจะมีสีขาวแต่อาจจะมองเห็นเป็นสีเหลืองอันเนื่องจากแสงสะท้อนสีเหลืองออกมาจากเนื้อฟันภายใน ส่วนสารเคลือบฟันจะมีส่วนประกอบเป็นสารอนินทรีย์ประมาณร้อยละ 96 สารอนินทรีย์นี้ประกอบด้วยผลึกของไฮดรอกซี - อะพาไทท์ (Crystals of hydroxyapatite) นับล้านๆ ผลึกอยู่ ส่วนประกอบที่เหลืออีกร้อยละ 4 คือน้ำและสารอนินทรีย์ ซึ่งมีลักษณะเป็นคอลลาเจนและสารมิวโคโพลีแซคคาไรด์แต่ส่วนประกอบเหล่านี้อาจจะเปลี่ยนแปลงได้ตามอายุ สภาพแวดล้อมและการใช้งานซึ่งจะมีผลทำให้สีของเคลือบฟันเปลี่ยนแปลงไปได้

2.1.1.2 ส่วนเนื้อฟัน (dentine) เป็นสารสีเหลืองอยู่ถัดสารเคลือบฟันเข้าไปเนื้อฟัน ชั้นนี้มีส่วนประกอบคล้ายกับสารในกระดูกแต่อ่อนนุ่มกว่า มีเส้นใยคอลลาเจนเชื่อมยึดไซโทพลาซึมของเซลล์ที่ในโพรงฟัน เนื้อฟันจะประกอบด้วยสารอนินทรีย์ซึ่งเป็นผลึกของไฮดรอกซีอะพาไทท์ประมาณร้อยละ 70 ที่เหลือร้อยละ 30 ส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งเป็นคอลลาเจนมิวโคโพลีแซคคาไรด์ (mucopolysaccharide ground substance) และน้ำ

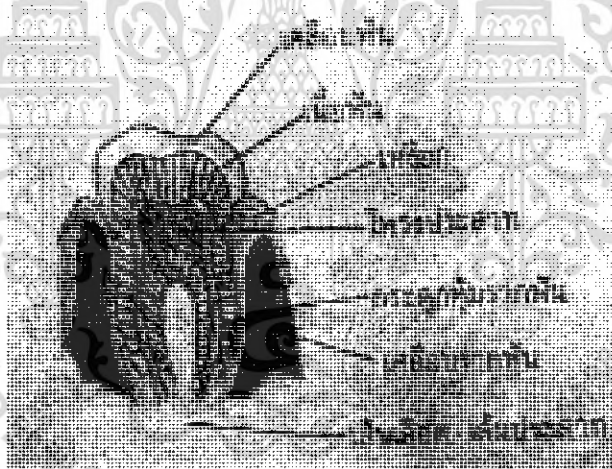
2.1.1.3 ส่วนเคลือบรากฟัน (cementum ) เป็นส่วนที่คลุมรากฟันโดยตลอด มีส่วนประกอบคล้ายกระดูกแต่แข็งกว่ากระดูก อ่อนกว่าสารเคลือบฟันและเนื้อฟัน ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการยึดระหว่างฟันกับขากรรไกรด้วยเยื่อเกี่ยวพันชนิดเพอร์ไอคอนทัลลิกแมนต์ ส่วนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลือบรากฟันที่มีสีเหลืองจะประกอบด้วยสารอนินทรีย์ ซึ่งเป็นผลึกไฮดรอกซีอะพาไทต์ประมาณร้อยละ 45-50 ส่วนที่เหลือจะเป็นสารอนินทรีย์และน้ำเช่นเดียวกับสารเคลือบฟันและเนื้อฟัน

2.1.1.4 ส่วนเนื้อเยื่อในของฟัน (dental pulp) หรือส่วนโพรงประสาท เป็นเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue) ซึ่งประกอบด้วยหลอดเลือด หลอดน้ำเหลืองและเส้นประสาท ทำหน้าที่นำอาหารสู่ฟัน ส่งทอดความรู้สึกจากฟัน หล่อเลี้ยงฟันโดยผ่านเข้าทางรูเปิดปลายรากไปยังช่องว่างใจกลางฟันซึ่งเรียกว่าโพรงฟัน (pulp cavity) โพรงฟัน แบ่งเป็น 2 ส่วน

2.1.1.4.1 คดองรากฟัน (pulp canal) เป็นโพรงฟันส่วนที่อยู่ในรากฟัน

2.1.1.4.2 โพรงฟันในตัวฟัน (pulp chamber) เป็นโพรงฟันส่วนที่อยู่เฉพาะในตัวฟัน ส่วนของโพรงฟันในตัวฟันที่มีรูปร่างไปตามยอดแหลมของปุ่มฟัน เรียกว่ายอดโพรงฟัน (pulpal horn) ในฟันที่เพิ่งขึ้นมาใหม่ๆนั้นจะมียอดโพรงฟันที่ยาวและแหลมมาก แต่เมื่อมีอายุมากขึ้นจะค่อยๆตีบตันจางหายไปเอง

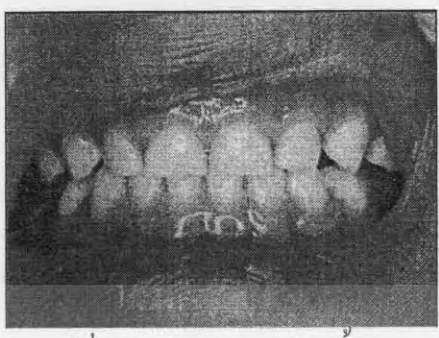


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบฟัน

2.1.2 ชนิดของฟัน ฟันของคน มี 2 ชนิด คือ

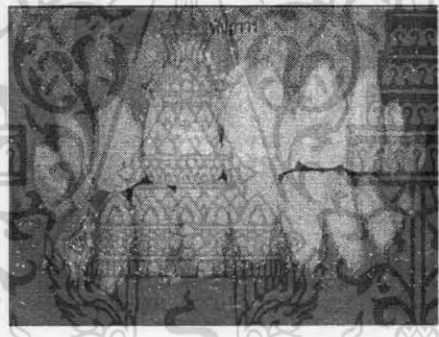
2.1.2.1 ฟันน้ำนม ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.2 เริ่มงอกขึ้นในช่องปากเมื่อเด็กมีอายุได้ประมาณ 6 - 7 เดือนบริเวณฟันหน้าล่าง 2 ซี่ และจะทยอยขึ้นมาตามลำดับจนครบ 20 ซี่เมื่ออายุประมาณ 2 - 3 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



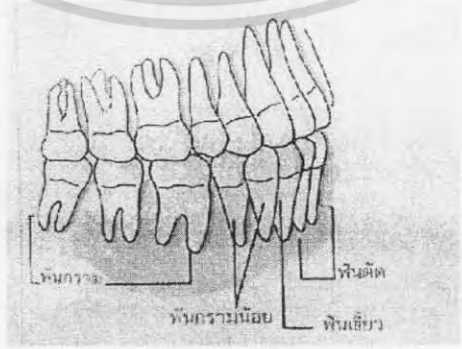
รูปที่ 2.2 ลักษณะของฟันน้ำนม

2.1.2.2 ฟันแท้ ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 จะเกิดขึ้นในช่องปากเมื่อเด็กอายุได้ 6 ปี โดยที่จะขึ้นถัดจากฟันน้ำนมซี่สุดท้าย คือฟันกรามแท้ซี่ที่ 1 ส่วนฟันแท้ซี่อื่นๆ ก็จะทยอยขึ้นมาแทนที่ฟันน้ำนมที่หลุดไปจนครบ



รูปที่ 2.3 ลักษณะของฟันแท้

2.1.3 หน้าที่ภายในช่องปากของฟันตำแหน่งต่างๆ พิจารณาได้จากรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ฟันตำแหน่งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.1 ฟันตัดหน้าซี่กลาง (central incisor): ขากรรไกรบน 2 ซี่ ขากรรไกรล่าง 2 ซี่: ทำหน้าที่ตัดอาหารให้ขาด

2.1.3.2 ฟันตัดหน้าซี่ข้าง (lateral incisor): ขากรรไกรบน 2 ซี่ ขากรรไกรล่าง 2 ซี่: ทำหน้าที่ตัดอาหาร

2.1.3.3 ฟันเขี้ยว (cuspid or canine): ขากรรไกรบน 2 ซี่ ขากรรไกรล่าง 2 ซี่: ทำหน้าที่ตัดฉีกหรือแยกอาหารออกจากกัน

2.1.3.4 ฟันกรามน้อย (premolar): ขากรรไกรบน 4 ซี่ ขากรรไกรล่าง 4 ซี่: ทำหน้าที่ตัดและฉีกอาหาร

2.1.3.5 ฟันกราม (molar): ขากรรไกรบน 6 ซี่ ขากรรไกรล่าง 6 ซี่: ทำหน้าที่เคี้ยวและบดอาหาร

#### 2.1.4 การเกิดฟันผุ

การเกิดโรคฟันผุมาจากปัจจัย 4 ประการ ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน ได้แก่ แผ่นคราบจุลินทรีย์อาหารประเภทแป้ง น้ำตาล ตัวฟัน และเวลาโดยแบคทีเรียที่มีอยู่ตามปกติในช่องปากจะทำปฏิกิริยากับคราบ (Plaque) ที่ติดค้างอยู่ตามซอกฟัน และผิวเคลือบฟัน ซึ่งเราขจัดออกไปได้ไม่หมด เกิดเป็นกรดขึ้น ซึ่งกรดสามารถทำลายผิวเคลือบฟันก่อให้เกิดโรคฟันผุขึ้นได้หาก pH ในปากมีค่าต่ำกว่า 5.5 บ่อยๆ และเป็นเวลานาน การอุดฟันเป็นวิธีการหนึ่งในการรักษาฟันผุเพื่อป้องกันมิให้ฟันผุลุกลามต่อไป เป็นการบูรณะฟันให้กลับมามีความสวยงามอีกครั้งและสามารถที่จะทำหน้าที่บดเคี้ยวอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพการอุดฟันในดุลยพินิจของทันตแพทย์ มีข้อพิจารณาโดยทั่วไปคือฟันซี่ที่ผุจะต้องไม่ลุกลามเข้าไปในโพรงประสาทฟันและฟันจะต้องมีส่วนที่เหลือเพียงพอต่อการยึดของวัสดุที่ใช้ในการอุดนอกจากนี้สภาพเหงือกบริเวณฟันซี่ที่จะอุดควรอยู่ในสภาพปกติซึ่งบางกรณีทันตแพทย์อาจแนะนำให้ผู้ป่วยขูดหินปูนก่อนที่จะทำการอุดฟัน

#### 2.1.5 ระบบการบดเคี้ยวของฟันภายในช่องปาก

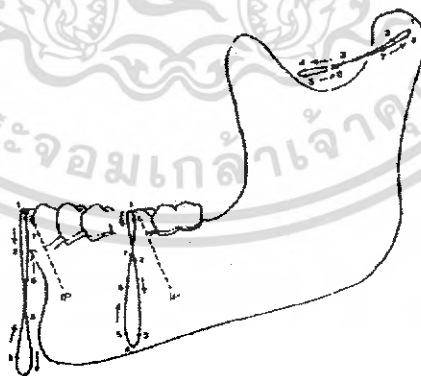
ระบบการบดเคี้ยว (Occlusion) หมายถึงระบบของการกดทับของฟันบนและล่าง ซึ่งจะประกอบด้วยกล้ามเนื้อ เส้นประสาทของกล้ามเนื้อ (Neuro Muscular) ข้อต่อขากรรไกร (Temporomandibular joint) กระดูกกรามทั้งบนและล่าง และเนื้อเยื่อหุ้มรอบรากฟัน (Periodontium) นอกจากนี้ระบบการบดเคี้ยวยังมีความหมายมากไปกว่ายอดฟัน (Cusps) ของฟันล่างกระทบกับยอดฟันของฟันบนในขณะที่มีการกระทบปกติ (Centric occlusion) ยังประกอบด้วย การสัมผัสทั้งหมดระหว่างการบดเคี้ยวและกลืน (Functional occlusion) การบดเคี้ยวที่ไม่ตั้งใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Parafunctional occlusion) ได้แก่ กัดฟันโดยไม่ตั้งใจ (Bruxism) มักพบขณะนอนหลับ, ขบฟัน (Clenching) และบด - ถูฟัน (Grinding)

แต่ระบบการบดเคี้ยวเป็นระบบการทำงานของเส้นประสาทที่อยู่ยากซับซ้อนมากที่สุด ประกอบด้วยประสาทรับความรู้สึกจากสิ่งที่กระตุ้น (Sensory nerve) ส่งไปที่ระบบประสาทส่วนกลาง (The Central nervous system) แล้วจากนั้นก็แปลความรู้สึกสู่ประสาทควบคุมกล้ามเนื้อให้ทำงาน (Motor nerve) เพื่อตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นจากภายนอก (Stimuli) ทำให้เกิดระบบทำงานของกล้ามเนื้อที่ใช้บดเคี้ยว (Masticatory system) ซึ่งมีลักษณะเฉพาะต่อการตอบสนองจากสิ่งกระตุ้นจากภายนอกเพื่อให้ได้ทั้งความแข็งแรงและทนทานต่ออันตราย (Injury) ต่างๆ ดังนั้นระบบการบดเคี้ยวจึงเป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญของการทำงานของอวัยวะภายในช่องปาก (Oral function) และเกี่ยวข้องกับโดยตรงต่อการศึกษาทางทันตกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการทำบูรณะฟันภายในช่องปาก (Oral rehabilitation) ซึ่งได้แก่ การอุดฟัน, การใส่ฟันปลอม และการแก้ไขการบดเคี้ยวที่ผิดปกติในฟันธรรมชาติ (occlusal adjustment in natural dentition)

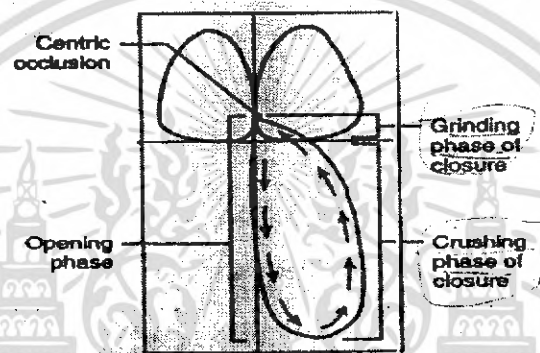
การศึกษากการเคลื่อนไหวของขากรรไกรขณะบดเคี้ยวพบว่ารายละเอียดการเคลื่อนไหวของขากรรไกรขณะบดเคี้ยวของขากรรไกรของคนมีลักษณะดังรูปที่ 2.5 มีลักษณะผสมคือ ทั้งฉีกหรือตัด (cutting / incision) บดให้แตก (crushing and grinding / mastication) และบดให้ละเอียด (milling / triturating) อย่างไรก็ตาม การบดให้แตกและการบดให้ละเอียดไม่อาจแยกจากกันได้ชัดเจน



รูปที่ 2.5 แสดงภาพบันทึกการเคลื่อนไหวของขากรรไกรทั้งที่ระดับฟันและข้อต่อขากรรไกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

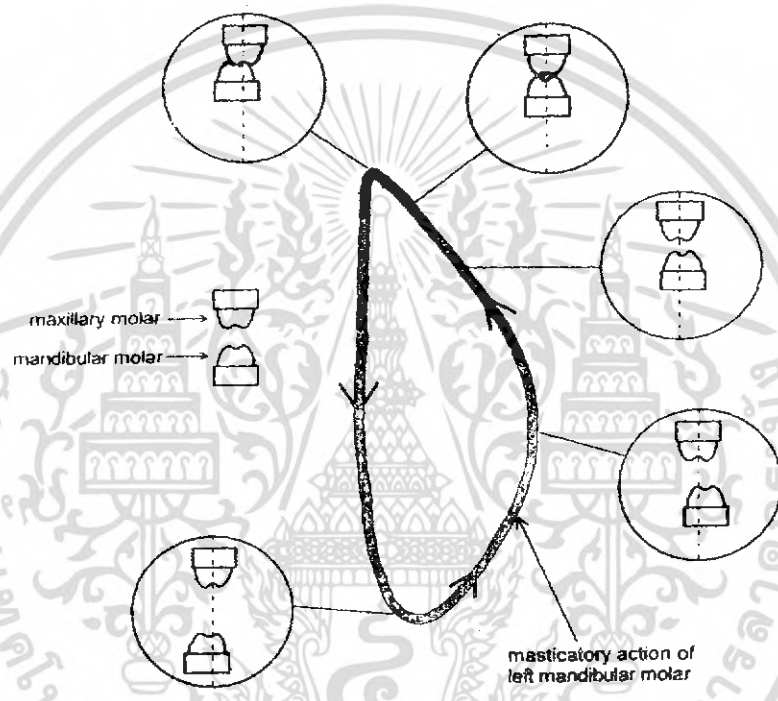
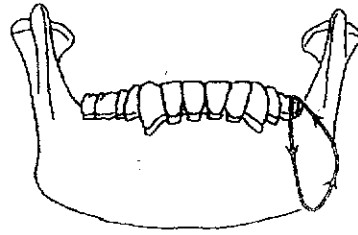
การเคลื่อนไหวของกระดูกขากรรไกรล่างขณะบดเคี้ยวมีลักษณะเป็นวงของการอ้าและหุบปาก ขึ้นขากรรไกรไปข้างหน้า (protrusive movement) ถอยขากรรไกรไปด้านหลัง (retrusive movement) หมุนรอบแนวระนาบ (horizontal plane) และการเคลื่อนที่ออกไปด้านข้าง (lateral shifting) การเคลื่อนไหวเหล่านี้จะอยู่ภายในกรอบของการเคลื่อนที่ไปสุดขอบ (border movement)



รูปที่ 2.6 แสดงภาพบันทึกวงเคี้ยวในแนวหน้าตรง

การเคลื่อนไหวของขากรรไกรขณะบดเคี้ยวอาหารมีลักษณะเป็นจังหวะ (rhythmic) ประกอบไปด้วยวงเคี้ยว (chewing stroke) หลายครั้ง รูปแบบของวงเคี้ยวแต่ละวงเมื่อมองจากด้านหน้าจะมีรูปร่างเหมือนหยดน้ำตา (tear-shaped) ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.6 วงการเคี้ยวสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง; ช่วงแรก (opening phase), เริ่มจากการอ้าปากลงมาจากตำแหน่งสบสับหว่าง (intercuspal position) ในแนวตรงจนปลายฟันบนและล่างห่างกันเป็นระยะทาง ประมาณ 16 - 18 มิลลิเมตร หรือขึ้นกับขนาดของอาหารแต่ละคำ จากนั้นเบี่ยงออกไปทางด้านข้าง ประมาณ 5 - 6 มิลลิเมตรจากแนวกลางเริ่มเข้าสู่การหุบปาก; ช่วงที่สอง (crushing phase), ระยะแรกที่ฟันจับอาหารให้อยู่ระหว่างฟันเรียกว่า ระยะบดให้แตก เมื่อฟันเข้าใกล้กันการเบี่ยงด้านข้างจะลดลงประมาณ 3 - 4 มิลลิเมตร จากจุดเริ่มต้น ปุ่มข้างแก้ม (buccal cusp) ของฟันล่างเกือบสัมผัสปุ่มข้างแก้ม (buccal cusp) ของฟันบน ขากรรไกรจะเคลื่อนต่อเพื่อบดอาหาร ; ช่วงที่สาม (grinding phase) เรียกว่า ระยะบดละเอียด , ซึ่งนำไปสู่การสบฟันเข้าสู่ตำแหน่งสบสับหว่างด้านที่ขากรรไกรเคลื่อนออกไปเรียกว่า ด้านทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ภาพจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของฟันกรามต่างด้ายซ้าย

พิจารณาลักษณะการเคลื่อนที่ของฟันกรามล่างด้านซ้ายดังรูปที่ 2.7 ฟันกรามล่างจะเลื่อนลงจากตำแหน่งสบสับหว่างเป็นระยะทางประมาณ 16 - 18 มิลลิเมตร จากนั้นฟันกรามล่างก็จะเลื่อนออกจากตำแหน่งกึ่งกลางของฟันกรามบนไปทางด้ายซ้ายประมาณ 4 - 5 มิลลิเมตร พร้อมกันนั้นก็เลื่อนขึ้นไปด้านบนเพื่อกลับไปตำแหน่งสบสับหว่าง (intercuspal occlusion) อีกครั้ง

2.1.5.1 การสัมผัสกันของฟันขณะเคี้ยวอาหาร (Tooth contacts during mastication) จากการศึกษาเกี่ยวกับการบดเคี้ยวในอดีตได้มีข้อเสนอว่าฟันไม่สัมผัสกันระหว่างการเคี้ยวอาหาร เนื่องจากการตอบสนองอย่างเฉียบพลันของระบบประสาท - กล้ามเนื้อ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาต่อมาโดยระบบเทเลเมทรี (Telemetry systems) ด้วยการส่งคลื่นวิทยุและการส่งกระแสไฟฟ้าผ่านวัสดุบูรณะฟันชนิดอินเลย์ (inlays) พบว่า ฟันสัมผัสกันในขณะที่บดเคี้ยวอาหารในตำแหน่งสบในศูนย์ (centric occlusion, CO) และข้างและหน้าโดยตำแหน่งการสบในศูนย์ และสัมผัสมากจนเมื่อขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหารเล็กลงจนถึงระยะสุดท้ายก่อนกลืน โดยที่ช่วงเวลา (duration) ความถี่ (frequency) และแรงกัดของฟันสบขึ้นอยู่กับขนาดของก้อนอาหาร (bolus) และกำลัง (power) ที่ต้องการเพื่อบดอาหารแต่ละประเภท

ระยะเวลาที่ฟันสัมผัสกันระหว่างการบดเคี้ยวอาหาร โดยเฉลี่ยคือ 194 มิลลิวินาที โดยการสัมผัสกันของฟัน อาจจำแนกได้เป็น 2 แบบ คือ

- 1) สัมผัสแบบเลื่อน (gliding contact) ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างระยะบด (grinding phase)
- 2) สัมผัสแบบเดี่ยว (single contact) ซึ่งเกิดขึ้นในตำแหน่งสบสับหว่างมากที่สุด (maximum intercuspal position)

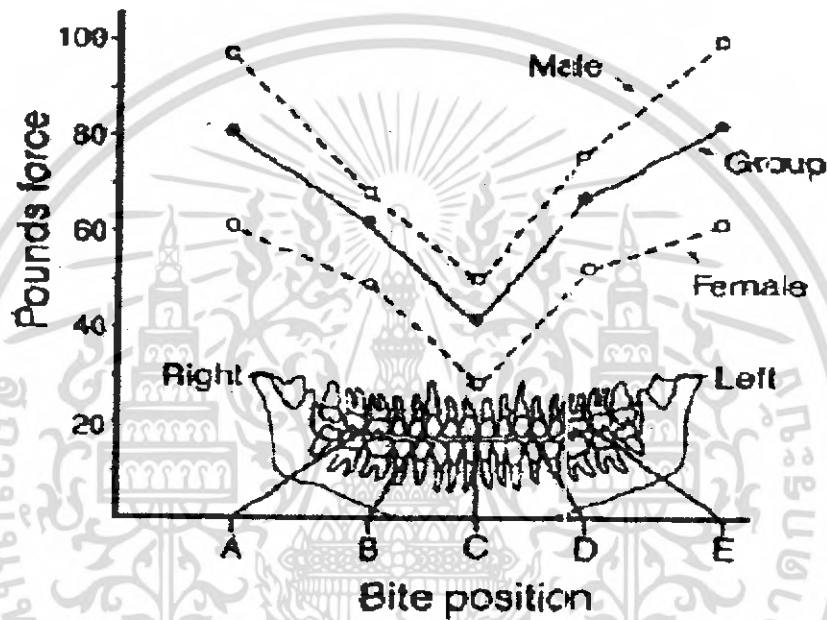
ดังนั้นด้านบดเคี้ยวของฟันหลังจึงมีความสำคัญในการบดเคี้ยวในการสบฟันปกติที่มีฟันบนคร่อมฟันล่าง ตำแหน่งที่ฟันสัมผัสด้านทำงานมักเป็นด้านใกล้แก้ม (buccal aspects) ของปุ่มค้ำใกล้แก้มของฟันกรามล่าง (mandibular supporting buccal cusps) และพื้นเอียง (slopes) ของด้านใกล้ลิ้น (lingual aspects) ของปุ่มใกล้แก้มของฟันบน (maxillary buccal cusps) ส่วนด้านสบดุล (balancing side) ของขากรรไกร อาจพบหรือไม่พบฟันสบก็ได้

2.1.5.2 อัตราเคี้ยว (rate of chewing): อัตราเคี้ยวอาจพิจารณาได้จาก เวลาที่ใช้ในการเคี้ยว 1 ครั้ง (1 วงเคี้ยว) หรือจำนวนวงเคี้ยวที่เกิดขึ้นในเวลาที่กำหนดซึ่งมักใช้ 1 นาทีเป็นหลักอัตราเคี้ยวมีค่าแตกต่างกันในแต่ละคนและมักเป็นลักษณะเฉพาะของบุคคลนั้นๆ และขึ้นกับชนิดของอาหารด้วย เช่น การเคี้ยวหมากฝรั่งใช้เวลา 0.77 วินาทีต่อการเคี้ยว 1 ครั้ง และเคี้ยวแครอทใช้เวลาประมาณ 0.58 วินาที แต่คนส่วนใหญ่อัตราการเคี้ยวมักอยู่ในช่วง 49 - 120 ครั้งต่อนาทีหรือเฉลี่ยประมาณ 70 - 80 ครั้งต่อนาที

2.1.5.3 แรงบดเคี้ยว (Forces of mastication): เรื่องแรงบดเคี้ยวเป็นอีกหัวข้อหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการบำบัดรักษาทางทันตกรรมให้ผู้ป่วยสามารถเคี้ยวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่เกิดปัญหาทั้งต่ออวัยวะบดเคี้ยวและวัสดุบูรณะฟัน แม้ว่าจะมีรายงานเรื่องแรงบดเคี้ยวจากฟันปลอมว่าแรงบดเคี้ยวจากฟันปลอมทั้งปากมีค่าน้อยกว่าแรงบดเคี้ยวจากฟันแบบธรรมชาติ โดยอาจมีค่าเพียงหนึ่งในสี่ของฟันธรรมชาติ การสร้างฟันปลอมหรือการบูรณะฟันก็ต้องพิจารณาเรื่องการจัดให้ฟันปลอมหรือฟันที่บูรณะนั้นใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพและวัสดุมีความทนรับแรงบดเคี้ยวได้ การศึกษาเรื่องแรงบดเคี้ยวอาจพิจารณาได้เป็น 2 กรณี คือ แรงกัดฟันสูงสุดและแรง บดเคี้ยวอาหาร ในขณะที่แรงกัดฟันสูงสุดมีรายงานว่าสูงถึง 975 ปอนด์ (443 กิโลกรัม) แรงบดเคี้ยวอาหารตามปกติจะน้อยกว่า บางรายงาน เช่น การศึกษาของ Gibbs และคณะ ได้รายงานว่าแรงบดเคี้ยวอาหารของบุคคลประมาณร้อยละ 36.2 ของแรงกัดฟันสูงสุด บุคคลทั่วไปมีแรงกัดฟันมากที่สุดแตกต่างกัน พบว่าแรงกัดฟันของผู้ชายมากกว่าแรงกัดฟันของผู้หญิง

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าประมาณ 118 ถึง 142 ปอนด์ (53.6 ถึง 64.4 กิโลกรัม) ในขณะที่แรงกัดฟันของผู้หญิงมีค่าเพียงประมาณ 79 ถึง 99 ปอนด์ (35.8 ถึง 44.9 กิโลกรัม) โดยแรงกัดฟันมีความสัมพันธ์กับรูปร่างของโครงสร้างกระดูกใบหน้า แรงกัดฟันจะเพิ่มขึ้นตามอายุจากเด็กจนถึงวัยรุ่น (adolescence) และแรงกัดฟันจะเพิ่มขึ้นได้จากการฝึกฝนและออกกำลังกาย

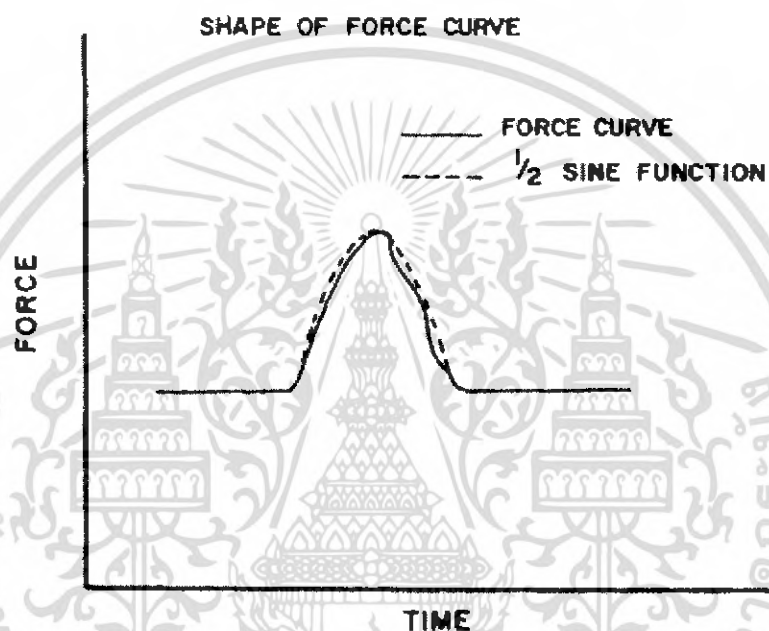


รูปที่ 2.8 แสดงค่าแรงกัดฟันเฉลี่ยที่ตำแหน่งต่างๆของขากรรไกร

แรงกัดของฟันแต่ละซี่มีค่าแตกต่างกันดังแสดงในกราฟรูปที่ 2.8 แรงกัดฟันของฟันกรามใหญ่มีค่ามากกว่าแรงกัดฟันของฟันหน้าตัด แรงกัดของฟันกรามใหญ่ซี่ที่หนึ่ง (First molar) มีค่าประมาณ 91 ถึง 198 ปอนด์ ในขณะที่แรงกัดของฟันหน้าตัดซี่ที่หนึ่ง (central incisor) มีค่าเพียง 29 ถึง 51 ปอนด์ โดยที่แรงกัดฟันมากที่สุดมักจะเกิดที่บริเวณฟันกรามใหญ่ซี่ที่หนึ่ง ดังนั้นการบดเคี้ยวอาหารที่แข็งแรงจึงมักเกิดขึ้นที่บริเวณฟันกรามใหญ่ซี่ที่หนึ่งและบริเวณใกล้เคียงได้แก่ ฟันกรามน้อยซี่ที่สอง

ด้วยการใช้ strain gauges เพื่อหาค่าแรงกัดของฟันบริเวณฟันกราม แรงที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของอาหาร และการมีวัสดุในการเคี้ยวอาหารหลากหลายอย่าง ในการบดเคี้ยวอาหารหลายๆขนาด จะเกิดกราฟของแรงกับระยะเวลาขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากแรงของการบดเคี้ยวรูปร่างของกราฟแรงสามารถประมาณได้กับ ครึ่งลูกของคลื่นรูปไซน์ (sine wave) จากกราฟแสดงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงขนาดของแรง ที่เกิดขึ้นระหว่างการบดเคี้ยว ซึ่งช่วงระยะเวลาของแรงที่เกิดขึ้นอยู่ระหว่าง 0.25 – 0.33 วินาที คิดเป็น 1/3 ถึง 1/4 ของช่วงเวลาทั้งหมด เมื่อทั้ง 2 ตัวแปร ทั้งเวลาและแรง มีความสัมพันธ์กันฟังก์ชันของคลื่นรูปไซน์ จากการทดสอบนี้สามารถที่จะนำไปเป็นเงื่อนไขของ ออกแบบเป็นระบบของเครื่องจำลองการบดเคี้ยวได้



รูปที่ 2.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบดเคี้ยวและช่วงเวลาของวงการเคี้ยว ในรูปแบบของ ครึ่งคลื่นรูปไซน์ (half of a sine wave)

ช่วงเวลาของการบดเคี้ยวที่ก่อให้เกิดค่าของแรง ตามที่แสดงในกราฟรูปที่ 2.9 นั้น เป็นช่วงเริ่มแรกที่ฟันสัมผัสกับก้อนชิ้นอาหาร และ ค่าของแรงจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ถึงค่าสูงสุดคือตำแหน่งของฟันอยู่ในตำแหน่งสบในศูนย์ (centric occlusion, CO) และค่าของแรงจะลดลงมาเรื่อยๆ ก้อนอาหารนั้นถูกกลืน หรือฟันอยู่ในตำแหน่งเริ่มต้น ดังนั้นในหนึ่งวงการเคี้ยวจะไม่มีแรงเกิดขึ้น ตลอดเวลา แรงจะเกิดขึ้นในช่วงของการจับอาหารเพื่อบดให้แตก (crushing phase) จนถึง ช่วงบดให้ละเอียด (grinding phase) ส่วนในช่วงแรก (opening phase) จะไม่มีแรงเกิดขึ้น ดังรูปที่ 2.9

## 2.2 วัสดุที่ใช้บูรณะฟัน

วัสดุที่นำไปใช้ควรมีคุณสมบัติที่เทียบเท่าหรือใกล้เคียงกับคุณสมบัติของฟันตามธรรมชาติ เช่น ทนต่อแรงบดเคี้ยว สีเหมือนกัน ไม่เป็นพิษ และสามารถอยู่ในภาวะสิ่งแวดล้อมได้โดยไม่เปลี่ยนแปลง เช่น ไม่ละลายในน้ำลาย จะต้องสามารถผลิตและควบคุมรูปร่างให้ได้ตามความต้องการ โดยการให้ความร้อน ปฏิกริยาเคมี และวิธีการอื่นๆ วัสดุเหล่านี้ได้แก่

2.2.1 อมัลกัม ( amalgam ) หรือโลหะเข้าปรอท หมายถึง โลหะผสมที่ได้จากการผสมระหว่างปรอทกับโลหะอื่นๆ โลหะนั้นอาจเป็นโลหะบริสุทธิ์ชนิดเดียวหรือหลายชนิด (โลหะผสม) ก็ได้ ในทางทันตกรรมโลหะที่ใช้เป็นวัสดุบูรณะฟันก่อนผสมกับปรอทเป็นโลหะผสมของเงินกับดีบุกจึงเรียกว่า โลหะผสมเงิน - ดีบุก (silver - tin alloy) เมื่อโลหะผสมนี้ผสมกับปรอท ได้สารประกอบใหม่เรียกว่า เงิน - ดีบุก อมัลกัม (silver - tin amalgam) หลักการบูรณะฟันด้วย เงิน - ดีบุก อมัลกัม มีดังนี้ บดผงโลหะผสมเงิน - ดีบุกกับปรอทให้รวมกันจนอยู่ในภาวะปั้นได้ (plasticity) มีลักษณะนุ่ม แต่เมื่อปั้นเป็นก้อนได้แล้วนำไปอุดในโพรงฟันเตรียมไว้ ถ้าทิ้งไว้จะแข็งตัว แต่เงิน - ดีบุก อมัลกัม มีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ กำลังความแข็งแรงสูง วิธีผสมสะดวกง่าย ราคาถูก กว่าแบบอื่นจึงได้รับความนิยมมาถึงปัจจุบันจนเรียกกันว่าโลหะผสมสัญนิยมของ อมัลกัม โลหะอื่นๆ ที่ผสมเป็นเพียงช่วยให้ได้คุณสมบัติบางประการตามต้องการส่วนผสมประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

### 2.2.1.1 ส่วนผง ประกอบด้วย

- เงิน เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของโลหะผสม ประมาณ 2 ใน 3 ส่วน
- เมื่อผสมกับปรอท ได้สารเงิน - ปรอท
- ดีบุก ประมาณ 1 ใน 3 ส่วน
- ทองแดง ผสมในโลหะผสมในปริมาณเล็กน้อย เพื่อช่วยเพิ่ม กำลังความ

แข็งแรง

- สังกะสี ผสมเล็กน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้เงิน ดีบุก และทองแดงถูกออกซิไดซ์

ขณะหลอม

### 2.2.1.2 ส่วนของเหลว ได้แก่ ปรอท ปรอทที่ใช้ผสมควรบริสุทธิ์ 99.99 เปอร์เซ็นต์

## 2.2.2 เรซินคอมโพสิต ( Resin Composites ) ส่วนใหญ่จะเอาไปทำการเคลือบหลุมร่องฟัน

2.2.3 พอร์ซเลน(Porcelain) ส่วนใหญ่จะเอาผงพอร์ซเลนไปใช้ทำเป็นเนื้อฟันเคลือบฟันและน้ำยาเคลือบข้อมด้วยสีต่างๆ (dye) เพื่อที่จะช่วยให้ทราบถึงความหนา เมื่อเผาสีข้อมเหล่านี้ที่ถูกเผาใหม่ไม่ติดเนื้อพอร์ซเลน

## 2.2.4 สารเคลือบฟันมี 2 ชนิด ได้แก่ฟลูออไรด์และสารเคลือบร่องฟัน

2.2.4.1 ฟลูออไรด์แบ่งออกได้อีก 2 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.1.1 ฟลูออไรด์เฉพาะที่ ได้แก่

- บาสีฟัน
- น้ำยาบ้วนปาก
- ฟลูออไรด์เจล

2.2.4.1.2 ฟลูออไรด์ชนิดรับประทาน

- น้ำยาฟลูออไรด์
- ยาเม็ดฟลูออไรด์

ข้อดี ของฟลูออไรด์ คือ

- ทำให้เคลือบฟันแข็งแรง ทนทานต่อกรดมากขึ้น
- ช่วยลดปริมาณกรดที่เกิดจากจุลินทรีย์
- ช่วยซ่อมแซมรอยผุในระยะเริ่มแรก

ข้อเสีย ของฟลูออไรด์ มักจะเกิดจากพิษของฟลูออไรด์ คือ

- พิษแบบเฉียบพลัน โดยจะมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง อาจรุนแรงถึงชีวิตถ้าทานมากๆ ในครั้งเดียว
- พิษแบบเรื้อรัง เนื่องมาจากได้รับฟลูออไรด์ต่อเนื่องหลายปี หรือทำให้เคลือบฟันผิดปกติ เรียกว่าฟันตกกระ

2.2.4.2 สารเคลือบร่องฟัน (Sealant) เป็นสารชนิดไฟโรเบอร์ซิน มีลักษณะปกติเป็น

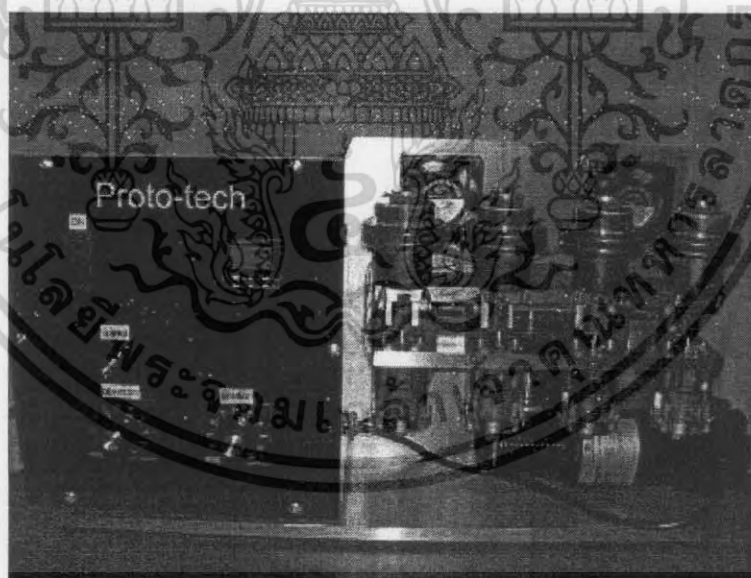
ของเหลวสามารถนำไปใส่ในร่องฟันได้อย่างสะดวกและจะแข็งตัวในเวลาไม่นานนักโดยการใช้สารเคมีผสมหรือใช้แสงช่วยให้แข็งตัวเมื่อแข็งแล้วจะมีความแข็งใกล้เคียงกับวัสดุอุดฟันหน้าสารเคลือบร่องฟันมีทั้งชนิดที่ไม่มีส่วนประกอบที่เป็นตัวยาช่วยป้องกันหรือหยุดยั้งการเกิดโรคฟันผุ และชนิดที่มีฟลูออไรด์ป้องกันฟันผุมีคุณสมบัติยึดติดกับผิวฟันได้ดีจึงทำให้มีความคงอยู่และปิดทับร่องฟันได้นาน ซิลแลนที่มีทั้งชนิดไม่มีสี สีขาว หรือสีเหลือง ชนิดที่ใสจะมีลักษณะคล้ายสีเคลือบฟันการหาร่องรอยจะทำได้ยาก ส่วนชนิดที่มีสีขาวหรือสีเหลืองจะช่วยให้มองเห็นได้ชัดเจน จึงสะดวกต่อการใส่ซิลแลนที่ลงในร่องฟัน และสามารถตรวจร่องรอยการยึดติดของซิลแลนที่เหตุผลในการเคลือบร่องฟันคือ ช่วยป้องกันฟันผุได้ดีเมื่อใช้ทาลงไปบนด้านบดเคี้ยวของฟันหลังคือ ฟันกรามน้อยและฟันกรามใหญ่นั่นเอง โดยวัสดุชนิดนี้จะไปยึดติดอยู่กับหลุม และร่องบนด้านบดเคี้ยวของฟันเพื่อทำหน้าที่เป็นเสมือนเกราะป้องกัน ไม่ให้เคลือบฟันสัมผัสกับกรด และคราบจุลินทรีย์นั่นเอง ผลที่ได้ก็คือ เคลือบฟันจะไม่ถูกทำลายโดยกรด ทำให้ฟันไม่ผุ การแปรงฟันร่วมกับการใช้ไหมขัดฟันตามปกติ จะช่วยกำจัดคราบอาหารและคราบจุลินทรีย์บริเวณผิวที่ราบเรียบบนตัวฟันได้ดี แต่ในบางครั้งขนแปรงที่มีขนาดใหญ่ จะไม่สามารถซอกซอนเข้าไปถึงในส่วนที่อยู่ลึกสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้นั้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้เห็นว่าประโยชน์ที่ได้นั้นมากกว่าเสียไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของร่องแคบๆบนตัวฟันได้ Sealant จึงไปทำหน้าที่ป้องกันส่วนที่ว่านั้น โดยมันจะไปปิดผนึกทางเข้าออกระหว่างคราบจุลินทรีย์และคราบอาหารกับร่องนั้น

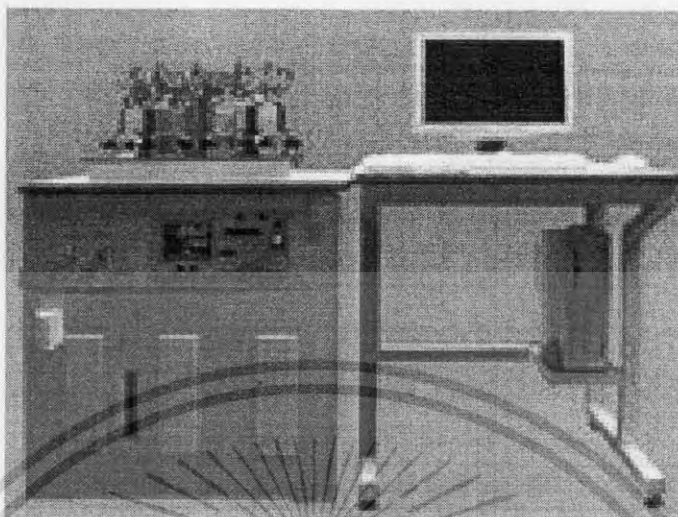
### 2.3 เครื่องมือจำลองการบดเคี้ยวของฟัน

ระบบการบดเคี้ยว หมายถึง การกัดสับของฟันบนและฟันล่าง ซึ่งการเคลื่อนที่ จะเป็นไปในรูปแบบ 3 มิติ แต่ในการจำลองการบดเคี้ยวในรูปแบบของ 3 มิตินั้น ค่อนข้างทำได้ยาก ราคาแพง จึงได้เริ่มจำลองการบดเคี้ยวแบบ 2 มิติขึ้นมาก่อน และการทดลองจะต้องปฏิบัติตามมาตรฐานสากลคือ ISO/TS 14569 ซึ่งเป็นมาตรฐานทางทันตกรรม ว่าด้วยเรื่อง การแนะนำในการทดสอบการสึกกร่อนของการทดสอบการบดเคี้ยว และมีระเบียบวิธีทดสอบอยู่หลายแบบด้วยกัน เช่น ระเบียบวิธีทดสอบ DIN,Acta,Zurich,Alabama,Freiburg,Minnesota,OHSU,Newcastle เป็นต้น เครื่องมือจำลองในการบดเคี้ยวที่ถูกสร้างและพัฒนาขึ้นมาอย่างค่อเนื่องในต่างประเทศ แต่ระเบียบวิธีที่นิยมในปัจจุบัน ได้แก่ ระเบียบวิธี Ohio state university (OHSU) และ Minnesota ตัวอย่างของเครื่องจำลองการบดเคี้ยวของฟันตามระเบียบวิธี OHSU ของต่างประเทศแบบหลายตัวอย่าง ได้แก่ เครื่องของบริษัท Proto-tech ดังรูปที่ 2.10 สามารถทดสอบชิ้นวัสดุได้ 4 คู่ตัวอย่าง



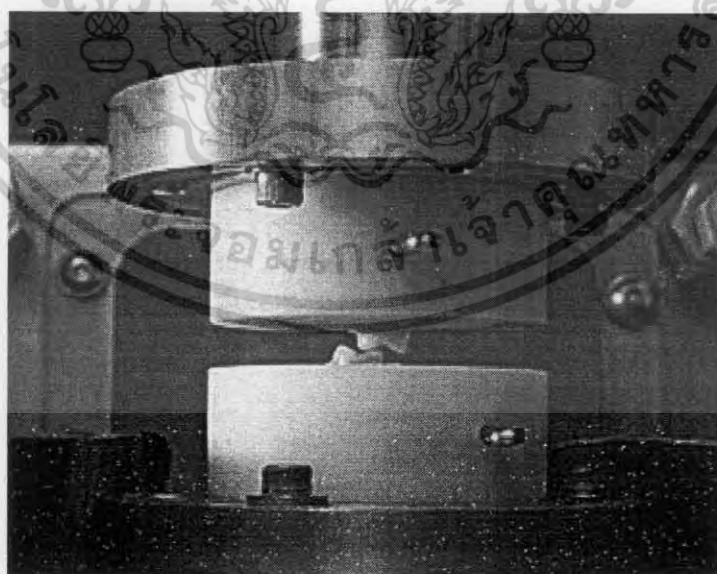
รูปที่ 2.10 Oral Wear Simulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 Oral Wear Simulator ของ MEE

ในประเทศไทยเองก็ได้มีการพัฒนาเครื่องทดสอบวัสดุบูรณะฟันแบบ OHSU เช่นกัน โดย Medical and Environmental Equipment Research Laboratory (MEE) ที่สามารถทำการทดสอบวัสดุได้ครั้งละ 8 คู่ตัวอย่างด้วยกัน ลักษณะของเครื่องดังรูปที่ 2.11 ตัวอย่างของเครื่องจำลองการบดเคี้ยวของฟันตามระเบียบวิธี Minnesota ก็เช่นเครื่อง chewing simulator ของ MTS Systems Corporation ลักษณะดังรูปที่ 2.12 ทดสอบได้ครั้งละ 1 คู่ตัวอย่าง

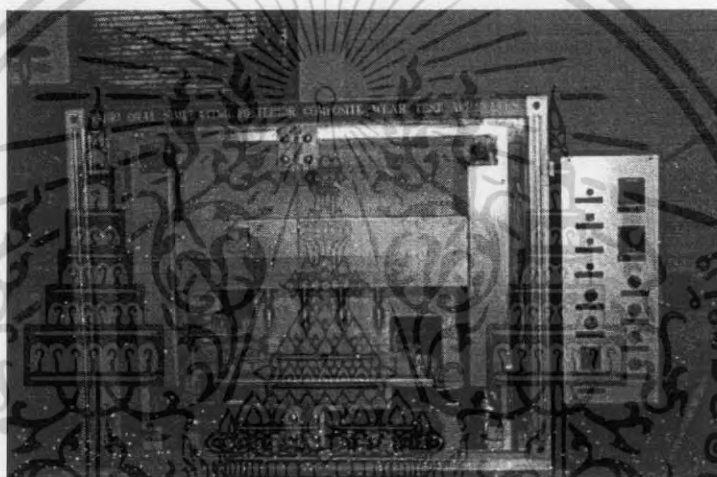


รูปที่ 2.12 chewing simulator ของ MTS Systems Corporation

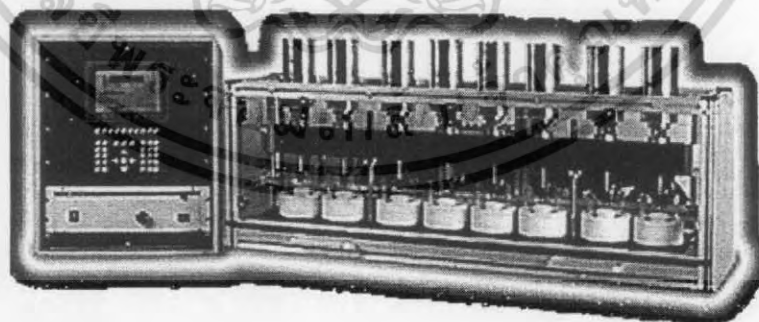
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งมีหลักการการจำลองการเคี้ยวแบบ 2 มิติ โดยใช้ระบบ servohydraulic มาช่วยในการเคลื่อนที่ ทั้งในแนวขนานและตั้งฉากกับตัวอย่างสำหรับระบบเครื่องที่สามารถทดสอบได้ครั้งละหลายตัวอย่างก็เช่น

เครื่อง chewing simulator ของบริษัท Sabri ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.13 ทดสอบได้ครั้งละ 4 คู่ชิ้นวัสดุตัวอย่าง ในขณะที่เครื่อง chewing simulator ของบริษัท willytec ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 2.14 สามารถทดสอบได้ครั้งละ 8 คู่ชิ้นวัสดุตัวอย่าง โดยต่างก็มีหลักการควบคุมอัตโนมัติในการเคลื่อนที่ 2 แกนด้วย สเต็ปมอเตอร์ (stepping motor)



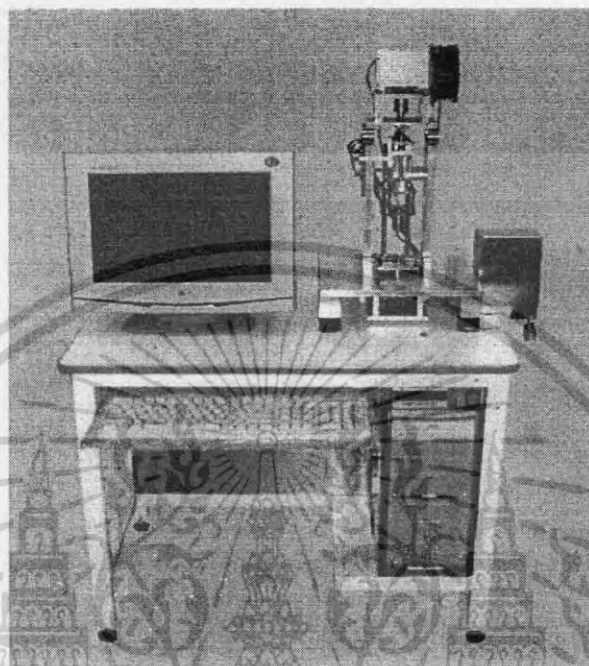
รูปที่ 2.13 chewing simulator ของบริษัท Sabri



รูปที่ 2.14 chewing simulator ของบริษัท willytec

ในส่วนของประเทศไทย MEE ก็มีเครื่องทดสอบการบดเคี้ยวโดยใช้ระเบียบวิธีการทดสอบของ Minnesota เช่นกัน คือเครื่องทดสอบการสึก 2 แกน (2-Axis Wear Simulator) ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

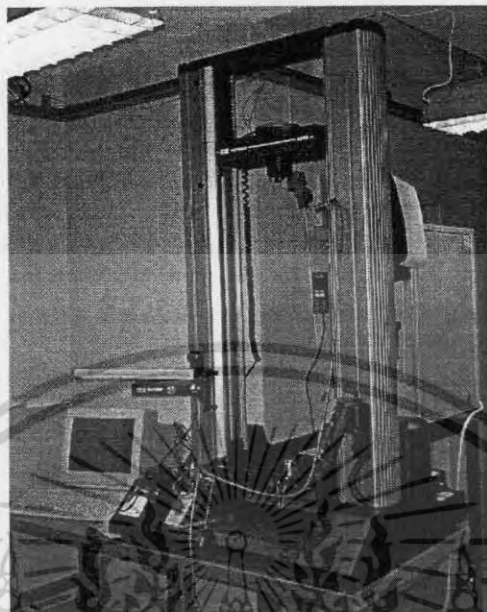
มีคุณสมบัติ คือ ทดสอบได้ครั้งเพียงละ 1 คู่ตัวอย่าง ควบคุมการทำงานสตีปมอเตอร์ 2 ตัว โดยคอมพิวเตอร์



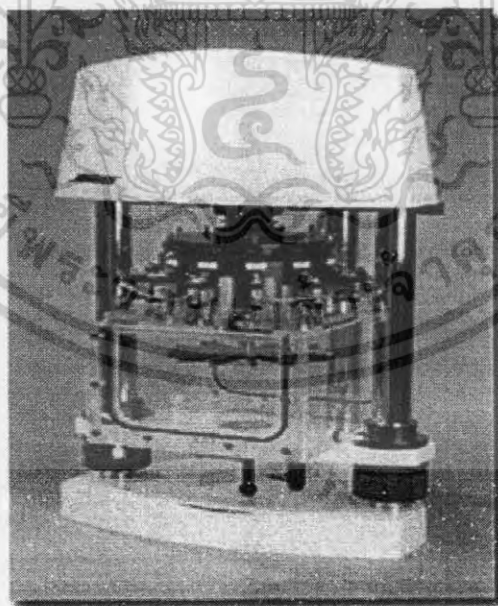
รูปที่ 2.15 เครื่องมือทดสอบการสึก 2 แนวของ MEE

ขณะที่ฟันสัมผัสกันหรือขณะที่บดเคี้ยวอาหาร จะเกิดแรงบดเคี้ยว ซึ่งแรงนี้จะมีค่าสูงสุดต่ำสุดขึ้นอยู่กับลักษณะของอาหาร เพศ ลักษณะโครงสร้างของใบหน้า หรือแม้แต่ชนิดของฟัน ก็มีค่าแรงกัดแตกต่างกันด้วย การทดสอบหาค่าแรงบดเคี้ยวจึงมีความสำคัญ ดังนั้นการทดสอบเพื่อหาแรงบดเคี้ยวให้ได้จริงตามธรรมชาติจึงต้องมีเครื่องมือทดสอบค่าแรงกัด ที่สามารถปรับแรงบดกัดที่แตกต่างกันได้ เครื่องมือที่ทำการทดสอบที่มีใช้กันในปัจจุบันที่สามารถปรับแรงกัดได้คือ พวกกลุ่มเครื่องมือทดสอบสมบัติทางกายภาพ(Physical testing) ดังตัวอย่างเช่น เครื่องมือทดสอบค่าแรงดึงของวัสดุ (Tensile testing machine) model instron 5566 ดังรูป 2.16 และ เครื่องมือทดสอบแรงกดของวัสดุ (Materials testing system) model enduretec ดังรูป 2.17 เครื่องมือเหล่านี้ ใช้ระบบ servo hydrolic ในการควบคุมน้ำหนักที่กดลงมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 เครื่องมือทดสอบค่าแรงดึงของวัสดุ (Tensile testing machine) model instron 5566 ช่วงของแรงกดระหว่าง 0 – 10 kN ความเร็วต่อรอบ 0.01 mm/min - 500 mm/min



รูปที่ 2.17 เครื่องมือทดสอบแรงกดของวัสดุ (Materials testing system) model enduretec BOSE ElectroForce (ELF) 3200 ช่วงของแรงกด 10 – 225 N อัตราความเร็วต่อรอบ 0.1 – 100 Hz เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดของเครื่องมือจำพวกนี้คือ ทดสอบได้ในแนวตั้งฉากกับวัสดุเท่านั้น ในขณะที่วงการเคลื่อนของฟันมีทั้งในแนวขนานและตั้งฉากกับวัสดุส่วนใหญ่จึงใช้ servo hydraulic 2 ตัว มาใช้ทั้งในแนวตั้งฉาก และขนานกับวัสดุที่ทำการทดสอบ ข้อเสียที่ตามมาคือรูปแบบของวงการเคลื่อนจะไม่ใกล้เคียงแบบตามธรรมชาติที่จะมีส่วนโค้งเว้า คล้ายๆกับรูปหยดน้ำ แต่จะเป็นเส้นตรงแทน ซึ่งก็จะประมาณว่าใกล้เคียงกันได้ เพราะว่า รูปแบบของวงการเคลื่อนมีขนาดเล็กมาก

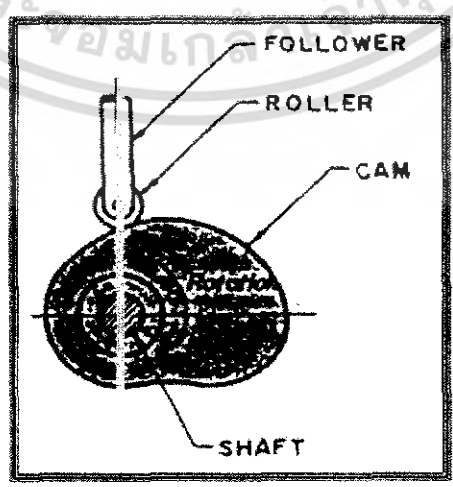
ในการทดสอบการเคลื่อนของฟันที่สามารถจำลองการเคลื่อนได้เสมือนจริงมากที่สุดก็คือ ระเบียบวิธีการทดสอบของ Minnesota อย่างไรก็ดี การพัฒนาระบบในลักษณะของการใช้สเต็ปมอเตอร์สำหรับการทดสอบหลายชิ้นงานพร้อมกันจะคิดปัญหาหาค่าที่สูงของมอเตอร์ ทำให้ได้ระบบเครื่องที่มีราคาไม่ถูกเท่าที่ควร ผู้เสนอโครงการวิจัยจึงคิดที่จะใช้ AC มอเตอร์แบบที่สามารถควบคุมให้ปรับความเร็วรอบได้เพียง 1 ตัว ประกอบกับเพลาลูกเบี้ยว (camshaft) ที่ออกแบบเป็นพิเศษเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

2.4 ทฤษฎีเพลาลูกเบี้ยว หรือ เรียกอีกอย่างว่า ลูกเบี้ยว (Camshaft Theory)

ลูกเบี้ยว (CAMS) ในโครงการพิเศษนี้มีความสำคัญคือ เป็นตัวกำหนดลักษณะการเคลื่อนที่ในส่วนจำลองฟันของเครื่องจำลองการเคลื่อนเพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรมให้ได้ลักษณะการเคลื่อนที่ 2 มิติที่ต้องการ ซึ่งในการนำมาประยุกต์ใช้จำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจและศึกษาในถึงทฤษฎีเพลาลูกเบี้ยว (Camshaft Theory) เสียก่อน

ลูกเบี้ยว (CAMS) เป็นกลไกที่ยึดติดกับเพลาหมุน (Shaft) เมื่อเพลาหมุนทำให้ลูกเบี้ยวเคลื่อนที่ จะทำให้กระเดื่องหรือตัวตาม (Follower) ที่สัมผัสกับลูกเบี้ยวโดยตรงเคลื่อนที่ในทิศทางที่กำหนด

ลูกเบี้ยว (CAMS) จะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.18 ส่วนประกอบต่างๆของลูกเบี้ยวนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. Follower : เป็นส่วนเคลื่อนที่ ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่ของส่วนนี้นั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะรูปแบบส่วนโค้งของ CAM โดยมี Roller เป็นตัวสัมผัส(อาจเป็นแบบอื่นก็ได้ เช่น หัวสัมผัสแบบระนาบ เป็นต้น)

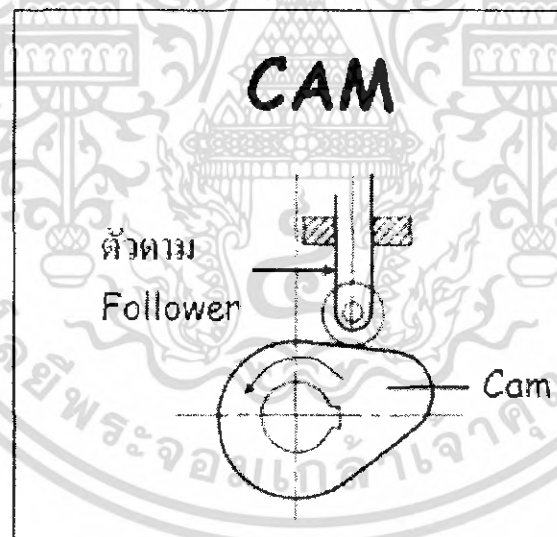
ข. CAM : เป็นส่วนโค้งสัมผัสของ CAM มีลักษณะรูปทรงแตกต่างกันไปตามการใช้งาน โดยกำหนดได้จากลักษณะการเคลื่อนที่ที่เราต้องการ หรือ ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์

ค. Shaft : ส่วนแกนของ CAM เป็นส่วนของเพลลา

#### 2.4.1 ชนิดของกลไกลูกเบี้ยว

ส่วนใหญ่กลไกของลูกเบี้ยว จะประกอบไปด้วย 3 ชั้นหลักดังรูปต่อไปนี้ คือ

- 1) ลูกเบี้ยว
- 2) ตัวตาม
- 3) พื่นนึ่ง



รูปที่ 2.19 ชนิดของลูกเบี้ยว

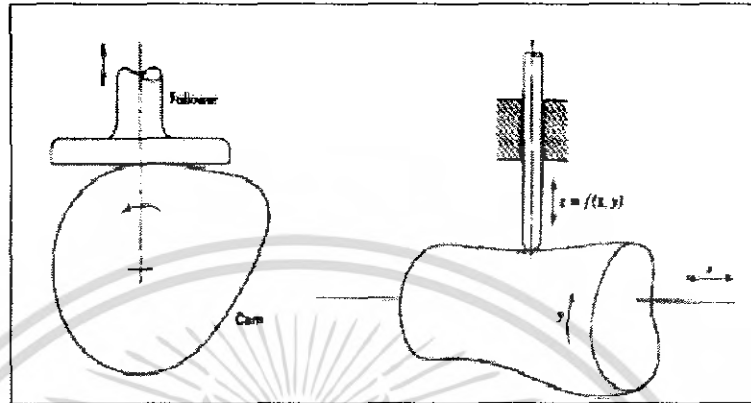
การแบ่งชนิดของลูกเบี้ยวออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ดังต่อไปนี้

2.1) การแยกตามชนิดของลูกเบี้ยวหรือรูปร่าง

2.1.1) ลูกเบี้ยวแบบ 1 มิติ คือ ลูกเบี้ยวที่มีทิศการเคลื่อนที่ในแนวแกน X

2.1.2) ลูกเบี้ยวแบบ 2 มิติ คือ ลูกเบี้ยวที่มีทิศการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และ แกน Y

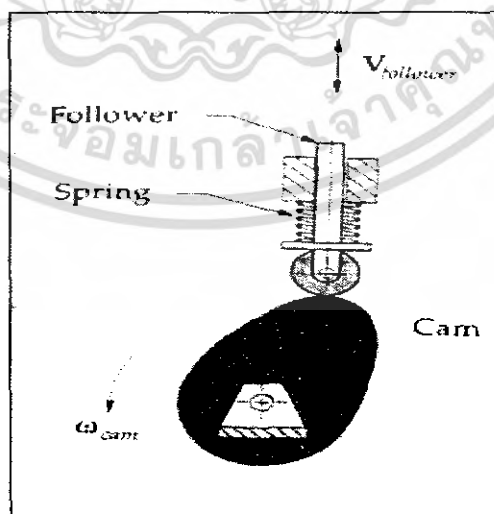
เอกสารนี้ร่วมกันทั้ง 2 แขนง ดังรูปต่อไปนี้ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แสดงลูกเบี้ยวแบบ 2 มิติ

2.2) การแยกตามการเคลื่อนที่หรือตำแหน่งของตัวตาม(Follower)แบ่งออก 3 ชนิดใหญ่  
ดังต่อไปนี้

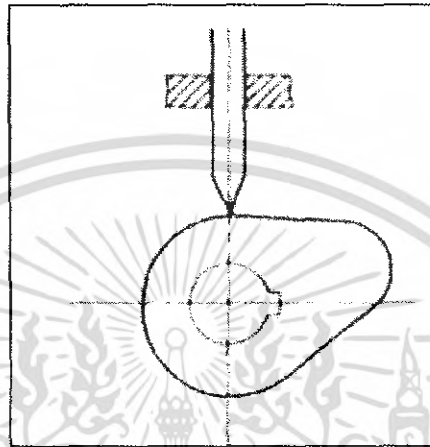
2.2.1) แบบ Roller follower คือ ลักษณะของตัวตาม(follower)เป็นแบบลูกกลิ้ง  
หน้าสัมผัสเป็นแบบส่วนโค้งสัมผัสส่วนโค้ง มีเนื้อที่ในการสัมผัสน้อย การเคลื่อนที่ที่ค่อนข้างเป็นไป  
อย่างราบรื่นไม่เสียคสึ



รูปที่ 2.21 Roller follower

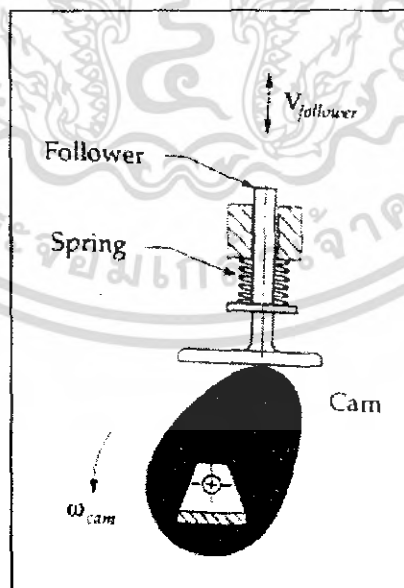
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2) แบบ Knife-Edge follower คือ ตัวตาม (follower) จะเป็นแบบ ปลายแหลม มีเคลื่อนขึ้นลงจะมีแรงเสียดทานสูง เหมาะสมที่จะใช้กับงานที่เบาๆ และมีภาระน้อยๆ (ดังรูปที่ 2.22 )



รูปที่ 2.22 Knife-Edge follower

2.2.3) แบบ Flat – faced follower ตัวตาม (follower) จะเป็นแบบ หน้าสัมผัสแบน ขึ้นลงตาม follower ( ดังรูปที่ 2.23 )



รูปที่ 2.23 Flat – faced follower

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

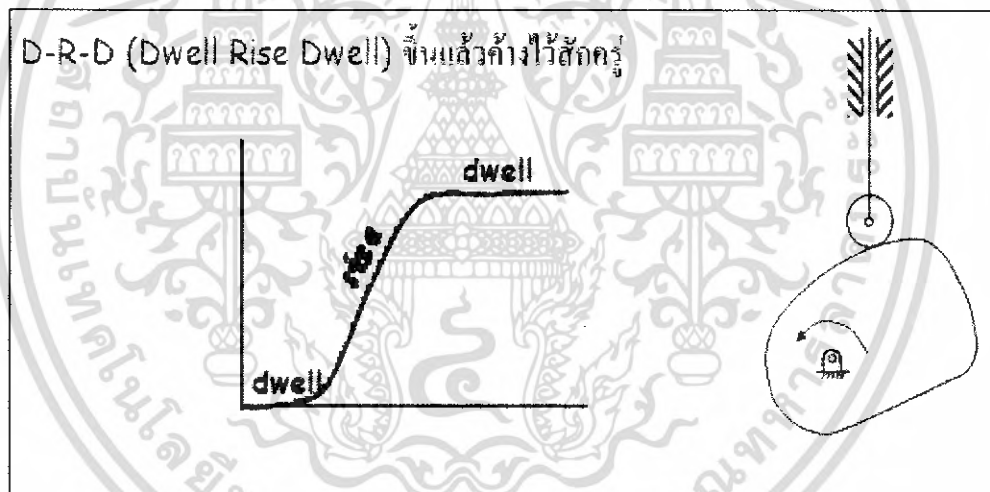
2.3) การแบ่งชนิดของลูกเบี้ยวตามจังหวะการเคลื่อนที่ขึ้นลงของตัวตามแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 แบบ DRD (dwell – rise – dwell) เป็นลักษณะการเคลื่อนที่ของ follower เริ่มจากตำแหน่งของ follower คงที่ จากนั้นจึงเปลี่ยนตำแหน่งขึ้นแล้วคงที่ก่อนที่จะกลับลงมาสู่ตำแหน่งเดิม (ดังรูปที่ 21)

Dwell คือ ช่วงหยุดนิ่ง (rest, repos) ของตัวตาม ( Follower ) (ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงการขจัด)

Rise คือ ช่วงการเคลื่อนที่ออกของตัวตาม ( Follower ) (ระยะการขจัดระหว่างศูนย์กลางของลูกเบี้ยวกับ ตัวตามเพิ่มขึ้น)

Fall คือ ช่วงการเคลื่อนที่เข้าของตัวตาม ( Follower )



รูปที่ 2.24 dwell – rise – dwell

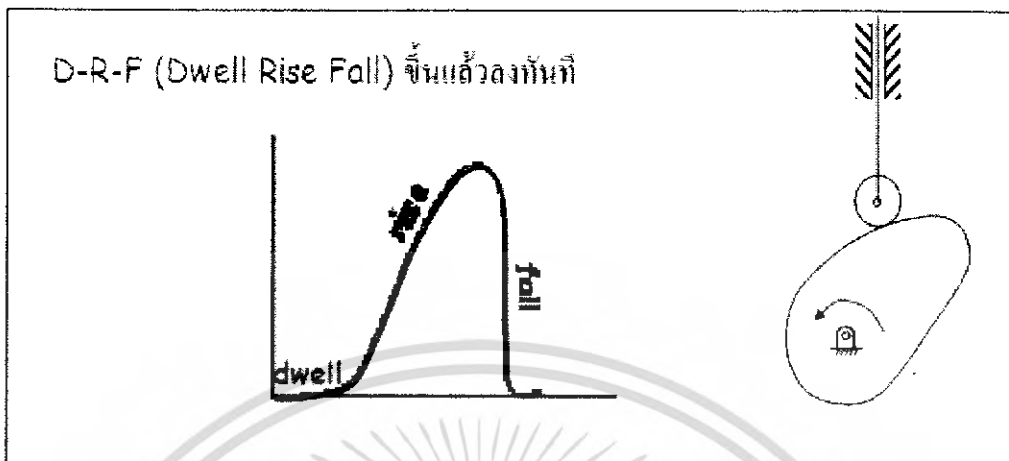
กรณีที่ 2 แบบ DRF (dwell – rise- Fall) เป็นลักษณะการเคลื่อนที่ของ follower ที่เริ่มคงที่ได้ช่วงหนึ่งแล้วเปลี่ยนตำแหน่งขึ้นจนสูงสุดแล้วเปลี่ยนกลับลงมาสู่ตำแหน่งเดิมทันที(ดังรูปที่ 22)

Dwell คือ ช่วงหยุดนิ่ง (rest, repos) ของตัวตาม ( Follower ) (ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงการขจัด)

Rise คือ ช่วงการเคลื่อนที่ออกของตัวตาม ( Follower ) (ระยะการขจัดระหว่างศูนย์กลางของลูกเบี้ยวกับ ตัวตามเพิ่มขึ้น)

Fall คือ ช่วงการเคลื่อนที่เข้าของตัวตาม ( Follower )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

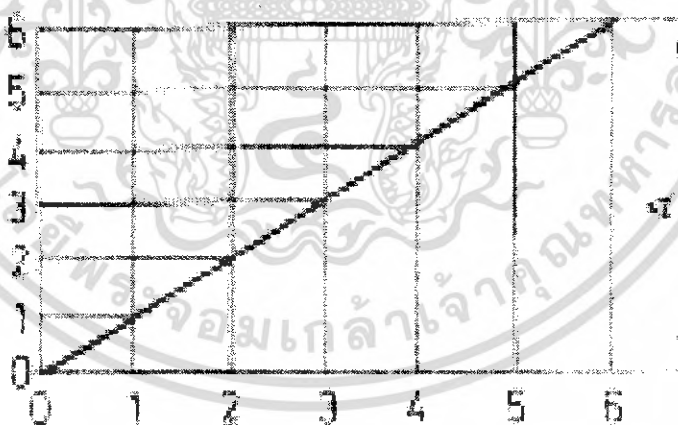


รูปที่ 2.25 dwell – rise-return- dwell

ลักษณะการที่เคลื่อนที่แบบต่างของ Follower ในลักษณะที่ทำการจำลองจากกราฟ CAM มี

ดังนี้

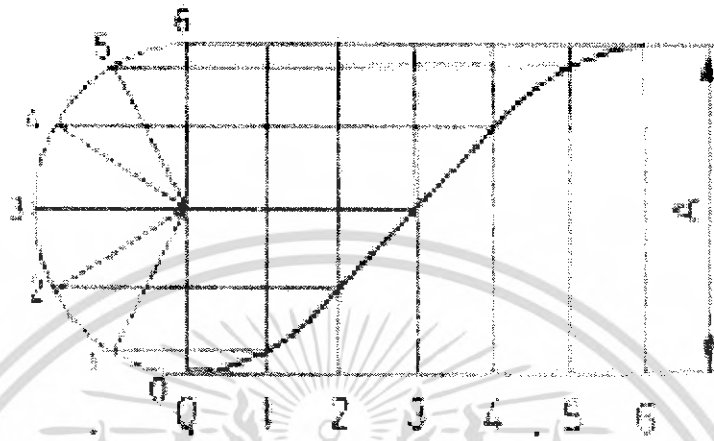
ก. การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ (ดังรูปที่ 2.26) (Uniform velocity or Uniform motion)



รูปที่ 2.26 Uniform velocity or Uniform motion

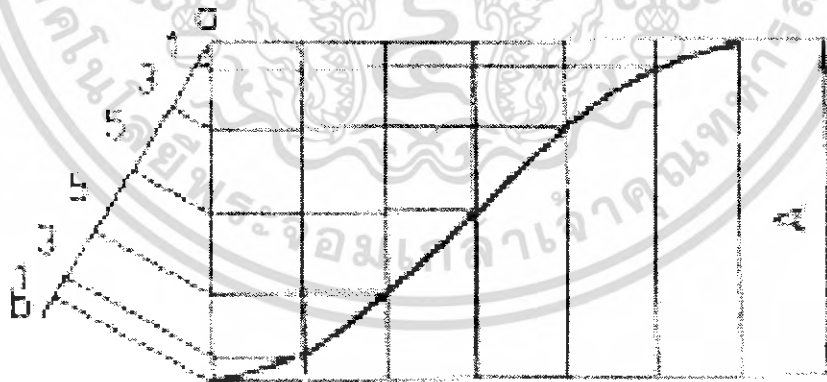
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. การเคลื่อนที่แบบ Simple Harmonic (ดังรูปที่ 2.27)



รูปที่ 2.27 Simple Harmonic

ค. การเคลื่อนที่ด้วยความเร่งคงที่ (ดังรูปที่ 2.28) (Uniform acceleration motion)

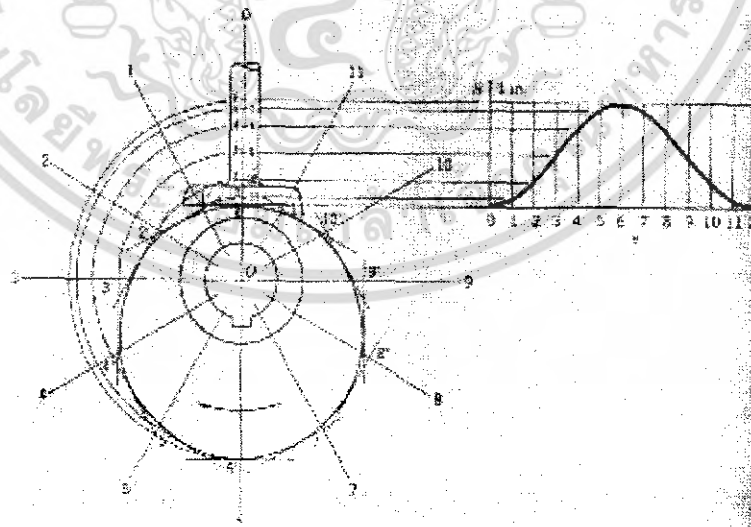


รูปที่ 2.28 Uniform acceleration motion

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่ควรพิจารณาในการเลือกการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว ( CAM ) และ ตัวตาม ( Follower )

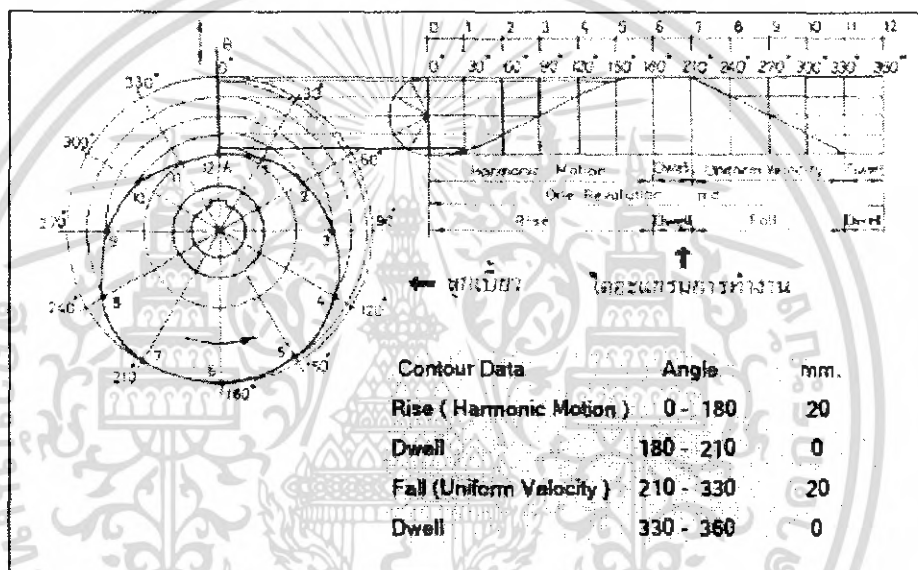
- 1) ขนาดของความเร่งจะมีความสัมพันธ์กับแรงที่มากระทำต่อตัวตาม โดยแรงเฉื่อย (Inertia force, Force d'inertie) ที่เกิดขึ้น ซึ่งมีทิศสวนกับความเร่งและอาจจะมีค่า มากกว่าแรงสถิตย์ จึงควรเลือกขนาดของความเร่งของตัวตามให้น้อย ผลที่ตามมาคือ เส้น โกงังการขจัดควรจะเป็นเส้นโค้งสม่ำเสมอ คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงความชันอย่างกะทันหันของกราฟความเร่ง (ไม่มีจุดหัก Cusp)
  - 2) อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร่ง (Jerk) จะทำให้เกิดการกระตุกซึ่งเปรียบเสมือนกับมีแรงมากระทำอย่างกะทันหัน จึงควรมีการเปลี่ยนแปลงความเร่งที่น้อย ๆ หรือสม่ำเสมอ
  - 3) ความเร็วของตัวตาม ( Follower ) ซึ่งจะมีผลต่อกำลังที่จะใช้ในการขับของตัวตาม จึงควรเลือกเลือกขนาดความเร็วที่น้อย ความเร็วที่สูงยังทำให้เกิดความเร็วไหลมาก ซึ่งจะทำให้เกิดการสึกหรอ (Wear, Usure) เสียงรบกวน (Noise, Bruit) และการสั่นสะเทือน
- การหาแผนผังการขจัดหรือการเคลื่อนที่ (Contour) โดยวิธี Pointed follower cam จำเป็นต้องมีการสลับหรือเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของก้านต่อ โดยยึดลูกเบี้ยวให้อยู่กับที่แล้วให้ตัวตามเคลื่อนที่รอบลูกเบี้ยว ซึ่งไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่สัมพันธ์ระหว่างลูกเบี้ยวกับตัวตาม และมีกระบวนการหาแผนผังการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยว ( CAM ) ที่ได้เป็นไปตามรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.29 แสดงการออกแบบลูกเบี้ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1) หมุนตัวตามไปรอบ ๆ ศูนย์กลางของลูกเบี้ยว โดยที่ลูกเบี้ยวและตัวตามยังคงสัมผัสกันตลอดเวลา ในทิศทางตรงกันข้ามกับการหมุนของลูกเบี้ยว
- 2) เคลื่อนตัวตามไปยังตำแหน่งที่แบ่งส่วนไว้บนลูกเบี้ยว
- 3) วาดเส้นการเคลื่อนที่ของลูกเบี้ยวจากตำแหน่งสัมผัสต่าง ๆ ของหน้าสัมผัสของตัวตาม จากกราฟการเคลื่อนที่ของ ลูกเบี้ยว (CAM) นำมาสร้างรูปแบบ ลูกเบี้ยว(CAM) ได้ดังรูปที่ 2.29 ซึ่งเป็นลักษณะการการสร้างลูกเบี้ยวแบบ Flat follower Cam or Pointed follower cam วิธีหนึ่ง



รูปที่ 2.30 Flat follower Cam or Pointed follower cam

#### 2.4.2 ปัจจัยประกอบการในการออกแบบลูกเบี้ยว (Cam Design Factor)

ในการใช้งานของระบบที่ความเร็วปานกลางหรือสูงนั้น จำเป็นต้องวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของระบบให้แน่นอนเสียก่อน ปัจจัยต่าง ๆ ที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบลูกเบี้ยว คือ

2.4.2.1 เส้นรูปร่างของลูกเบี้ยว (Cam contour, Contour de Came) ควรจะมีผิวเรียบมน ไม่มีการ เปลี่ยนแปลงความโค้งแบบกะทันหัน

2.4.2.2 ขนาดของความเร่งเป็นลบ (เคลื่อนที่ลง) สูงสุดของตัวตาม ควรจะมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพราะถ้ายังมีขนาดมาก รัศมีความโค้งของลูกเบี้ยวบริเวณนั้นจะมีขนาดเล็ก จะทำให้เกิดความเข้มของความเค้นที่บริเวณนั้น

2.4.2.3 มุมกดสูงสุด (Max. pressure angle) ควรจะมีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งถ้ามุมกดสูงสุด มีค่ามากจะทำให้เกิดแรงเสียดทานที่ร่องตัวตามมาก ทำให้เกิดการสึกหรอมากตามมา โดยที่

มุมกดสูงสุดควรอยู่ประมาณ 25°-30°

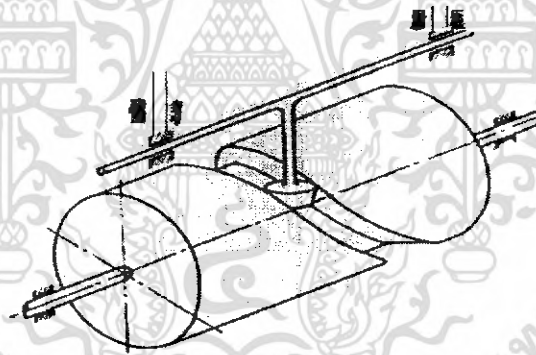
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.4 ขนาดของลูกเบี้ยว ควรมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อให้ความคลุยกภาพ (Balance) ของ ระบบดีขึ้น แบริงก็รับแรงเหวี่ยงน้อยลง

2.4.2.5 ความเร็วของตัวตามควรมีขนาดน้อย เพื่อลดกำลังที่ใส่ให้กับระบบ และการสึกหรอ

2.4.2.6 ตัวตามควรมีความแกร่ง และเบาที่สุดเท่าที่จะทำได้แนวทางในการออกแบบลูกเบี้ยว (Cams design) พื้นฐานของโครงการพิเศษ

นอกจากการต้องกำหนดครุปร่าง ขนาดและวัสดุที่จะนำมาประกอบกันเป็นต้นแบบ ตาม ขั้นตอนปกติของการสร้างเครื่องมือแล้วส่วนสำคัญที่สุดของระบบเชิงกลคือการกำหนดแนวการเคลื่อนที่ของชิ้นงานทดสอบโดยการหมุนของลูกเบี้ยว (cam) ซึ่งในโครงการนี้มีลักษณะรูปร่าง พื้นฐานเป็นดังรูปที่ 2.30 หลักของการสร้างนั้นจะต้องสร้างลูกเบี้ยวให้มีความสัมพันธ์กันระหว่างการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และในแนวแกน Y ทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบ 2 มิติขึ้นเป็นรูปร่างแนว การเคลื่อนที่ของฟันล่างจากการเคี้ยวที่ต้องการ เนื่องจากจุดเด่นของเครื่องมืออยู่ที่การใช้ AC motor เพียงตัวเดียวในการขับเคลื่อนลูกเบี้ยวให้เคลื่อนไปในทิศทางตามแกน X และ Y พร้อมกันทั้งสอง แกน ดังนั้นต้องพิจารณาพิถีพิถันการหมุนของลูกเบี้ยวให้มีความสัมพันธ์กันตามระยะทางที่กำหนด

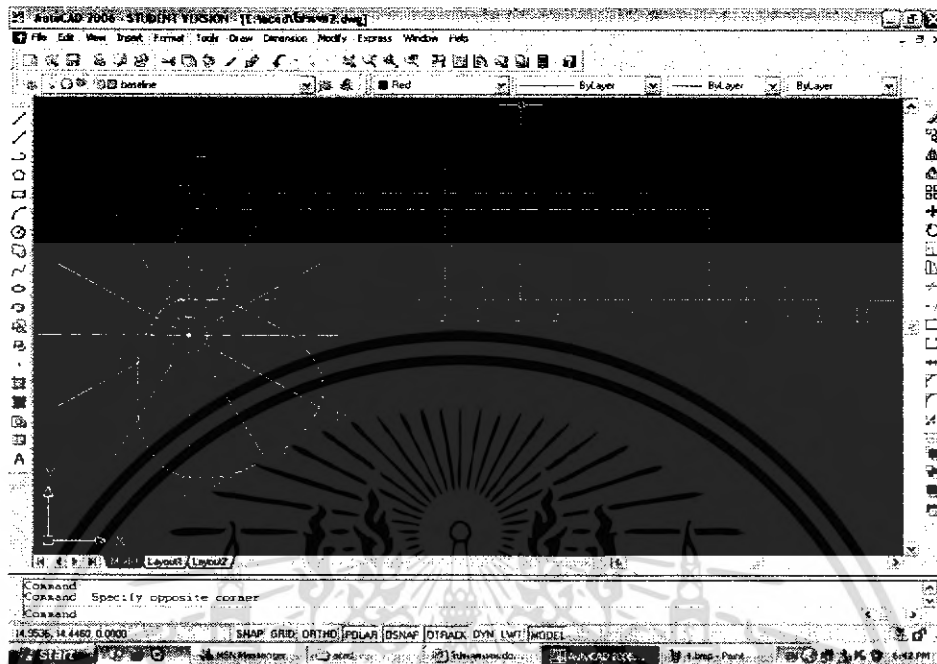


รูปที่ 2.31 ลักษณะพื้นฐานของลูกเบี้ยวในโครงการ

พื้นฐานการออกแบบสร้างลูกเบี้ยว เมื่อกำหนดแนวเส้นทางการเคี้ยวของฟันกระทำ โดยการวาดเส้นทางการเคี้ยวของฟันจากนั้นทำการแบ่งส่วนเส้นทางการเคี้ยวของฟัน กำหนดจุดพิคค เริ่มต้น แล้วให้ลากเส้นตรงจากจุดพิคคเริ่มต้นไปยังจุดที่แบ่งส่วนเส้นทางการเคี้ยวของฟัน เมื่อ ลากเส้นเรียบร้อยแล้วให้ทำการวัดระยะในแนวแกน X และแกน Y จากจุดพิคคเริ่มต้นถึงจุดแบ่งแต่ละจุด เมื่อทำการวัดแล้วให้วาดกราฟการเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสลูกเบี้ยวในแต่ละแกน คือ แกน X และแกน Y ตามลำดับ จากนั้นทำการวาดลูกเบี้ยวของแต่ละแกน โดยให้จุดเริ่มต้นอยู่ที่จุด 0 ของแต่ละแกน เมื่อต้องการความแม่นยำสูงก็ใช้โปรแกรม AutoCAD มาช่วย มีขั้นตอนหนึ่งแสดงดังรูปที่

2.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 เป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนการออกแบบลูกเบี้ยว (cam)

## 2.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

### 2.5.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นอุปกรณ์ที่นำเอาไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor) มารวมกับหน่วยความจำและอุปกรณ์ไอโอต่างๆเอาไว้ในตัวเดียวกัน สามารถทำงานได้ทันทีเมื่อป้อนไฟเลี้ยง 5 V เข้าไปและสัญญาณนาฬิกาในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำงาน

### 2.5.2 บอกลักษณะการทำงานของขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89S52 มีทั้งหมด 40 ขา แสดงดังรูป ที่ 2.33

## PDIP

(T2) P1.0	1	40	VCC
(T2 EX) P1.1	2	39	PO.0 (AD0)
P1.2	3	38	PO.1 (AD1)
P1.3	4	37	PO.2 (AD2)
P1.4	5	36	PO.3 (AD3)
(MOSI) P1.5	6	35	PO.4 (AD4)
(MISO) P1.6	7	34	PO.5 (AD5)
(SCK) P1.7	8	33	PO.6 (AD6)
RST	9	32	PO.7 (AD7)
(RXD) P3.0	10	31	EAVPP
(TXD) P3.1	11	30	ALE/PROG
(INT0) P3.2	12	29	PSEN
(INT1) P3.3	13	28	P2.7 (A15)
(TD) P3.4	14	27	P2.6 (A14)
(T1) P3.5	15	26	P2.5 (A13)
(WR) P3.6	16	25	P2.4 (A12)
(RD) P3.7	17	24	P2.3 (A11)
XTAL2	18	23	P2.2 (A10)
XTAL1	19	22	P2.1 (A9)
GND	20	21	P2.0 (A8)

รูปที่ 2.33 แสดงขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โดยแต่ละขามีหน้าที่ดังนี้

- VCC      ต่อไฟเลี้ยง ( Supply Voltage )
- GND      ต่อกราวด์ ( Ground )
- Port 0 ( P0.0-P0.7 ) เป็นพอร์ตแบบสองทิศทางขนาด 8 บิต สามารถทำงานได้สองหน้าที่คือ เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตทั่วไป และใช้เป็นพอร์ตสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกก็อรับ/ส่งข้อมูลและกำหนดแอดเดรสไบต์ต่ำ
- Port 1 ( P1.0-P1.7 ) เป็นพอร์ตแบบสองทิศทางขนาด 8 บิต มีการต่อความต้านทานพูลอัพ ( pull-up resistor ) ไว้ภายใน ทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตทั่วไป นอกจากนี้ยังใช้งานเป็นขาอินพุตเอาต์พุตของไทมเมอร์ 2 ( Timer )
- Port 2 ( P2.0-P2.7 ) เป็นพอร์ตแบบสองทิศทางขนาด 8 บิต มีการต่อความต้านทานพูลอัพ ( pull-up resistor ) ไว้ภายใน ทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตทั่วไป และใช้เป็นพอร์ตสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกคือกำหนดแอดเดรสไบต์สูง
- Port 3 เป็นพอร์ตแบบสองทิศทางขนาด 8 บิต มีการต่อความต้านทานพูลอัพ ( pull-up resistor ) ไว้ภายใน ทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตทั่วไป นอกจากนี้ยังใช้

เอกสารนี้เป็นขาสัญญาฉบับควบคุมการติดต่อกับหน่วยความจำการอินเทอร์รัปต์ ( Interrupt ) โยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- RST เป็นขาอินพุตที่ใช้รับสัญญาณสำหรับรีเซ็ตชิพ ( CPU ) ชิพจะถูกรีเซ็ตเมื่อขานี้เป็นลอจิก “1” นาน 2 เมซินไซเคิล ( Machine Cycle ) หรือ 24 ไซเคิล หรือ 24 ไซเคิลของสัญญาณนาฬิกา
- ALE/PROG ทำหน้าที่เป็นขาเอาต์พุตเมื่อชิพต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก คือจะทำการส่งสัญญาณพัลส์ ( Pulse ) ออกมาที่ขาเพื่อทำการแลตแอดเดรสไบต์ค่าของหน่วยความจำภายนอก และขาจะเป็นอินพุตเมื่ออยู่ระหว่างโปรแกรมแฟลช ( Flash )
- PSEN เป็นขาเอาต์พุต ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ขานี้จะแอกทีฟ 2 ครั้งในแต่ละเมทซินไซเคิล
- EA/VPP เป็นขาอินพุตและต้องการลอจิก “0” เพื่อยอมให้ชิพสามารถเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 0000H ถึง FFFFH นอกจากนี้แล้วขาายังใช้รับไฟ 12 โวลต์ เพื่อใช้ในระหว่างทำการ โปรแกรมแฟลช
- XTAL 1 เป็นขาอินพุตของวงจรออสซิลเลเตอร์แอมพลิไฟเออร์ ( Oscillator Amplifier ) และยังเป็นอินพุตของวงจรถ่ายสัญญาณนาฬิกาภายใน XTAL 2 เป็นขาเอาต์พุตของวงจรออสซิลเลเตอร์แอมพลิไฟเออร์

## 2.6.2 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

- โปรแกรมผ่านพอร์ตอนุกรมมาตรฐานแบบแฟลช ( Flash Memory ) ขนาด 8 กิโลไบต์ โปรแกรมผ่านพอร์ตอนุกรมมาตรฐาน SPI ( SPI Serial Interface ) สามารถโปรแกรมและลบซ้ำได้นับ 1,000 ครั้ง
- มีหน่วยความจำแบบ EEPROM ขนาด 2 กิโลไบต์สามารถโปรแกรมและลบซ้ำได้นับ 1,000 ครั้ง
- ใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 5 โวลต์ ( ทำงานได้ในช่วง 4-6 โวลต์ )
- ทำงานได้ด้วยสัญญาณนาฬิกาดังแต่ 0-24 MHz
- สามารถป้องกันหน่วยความจำได้ 3 ระดับ
- มีหน่วยความจำข้อมูล ( RAM ) ขนาด 256 ไบต์
- มีพอร์ต 32 พอร์ตอิสระสามารถเข้าถึงในระดับบิตได้
- มีไทมเมอร์ / เคานเตอร์ขนาด 16- bit ทั้งหมด 3 ตัว
- รองรับการอินเตอร์รัปต์ได้ 8 แหล่ง
- สามารถสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมได้ด้วย UART Channel
- มีโหมดการทำงานแบบ Low Idle และ Power Down สำหรับการประหยัดพลังงาน
- มี Watchdog Timer เพื่อเพิ่มเสถียรภาพการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 เปรียบเทียบข้อแตกต่างระหว่างเครื่องมือทดสอบการสึก 2 แนว และ เครื่องจำลองการบิดเคี้ยว เพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรม

เครื่องมือทั้งสองนั้นก็ใช้ทดสอบวัสดุทางทันตกรรมเช่นเดียวกัน ใช้ระเบียบวิธี Minnesota มาเป็นเงื่อนไขด้วยเช่นกันแต่เครื่องจำลองการบิดเคี้ยวเพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรม จะมีข้อได้เปรียบดังนี้

2.6.1 ใช้ AC motor เป็นกลไกควบคุมการทำงาน ดีกว่า step motor ของ เครื่องมือทดสอบการสึก 2 แนว ตรงที่ประหยัดงบประมาณมากกว่า

2.6.2 มีชุดทดสอบมากกว่า จะทำให้ประหยัดเวลาในการทดสอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาถึง การเลียนแบบลักษณะธรรมชาติของการบดเคี้ยวอาหารของฟันมนุษย์ และ วัสดุทางด้านทันตกรรมประดิษฐ์ ซึ่งจะมีทั้งข้อดีและข้อเสียและปัญหาที่แตกต่างกันออกไป จึงได้ทำการพัฒนาแนวความคิดขึ้นมาในการออกแบบประดิษฐ์ส่วนต่างๆของเครื่องมือต้นแบบ

#### 3.1 ส่วนประกอบหลักของระบบเชิงกลของเครื่องที่พัฒนาขึ้น แบ่งออกเป็นส่วนต่างๆ ดังนี้

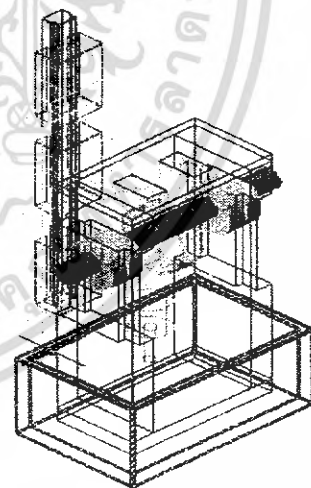
เครื่องจำลองการบดเคี้ยวเพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรมต้นแบบเป็นการเลียนแบบ ลักษณะธรรมชาติของการบดเคี้ยวอาหารของฟันมนุษย์ที่ ทำให้มีการสึกกร่อนเกิดขึ้นตลอดเวลา โดยที่มีมาตรฐานเทียบเท่ากับต่างประเทศ มีส่วนประกอบหลักๆของเครื่องมือ

3.1.1 ส่วนกลไกการทำงานของลูกเบี้ยว เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุดในการเคลื่อนที่ ของการจำลองการบดเคี้ยว ลูกเบี้ยวจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1) ลูกเบี้ยวแกน X จะเคลื่อนที่ตามแนวแกน X ระยะประมาณ 3 – 5 มิลลิเมตร



(ก)



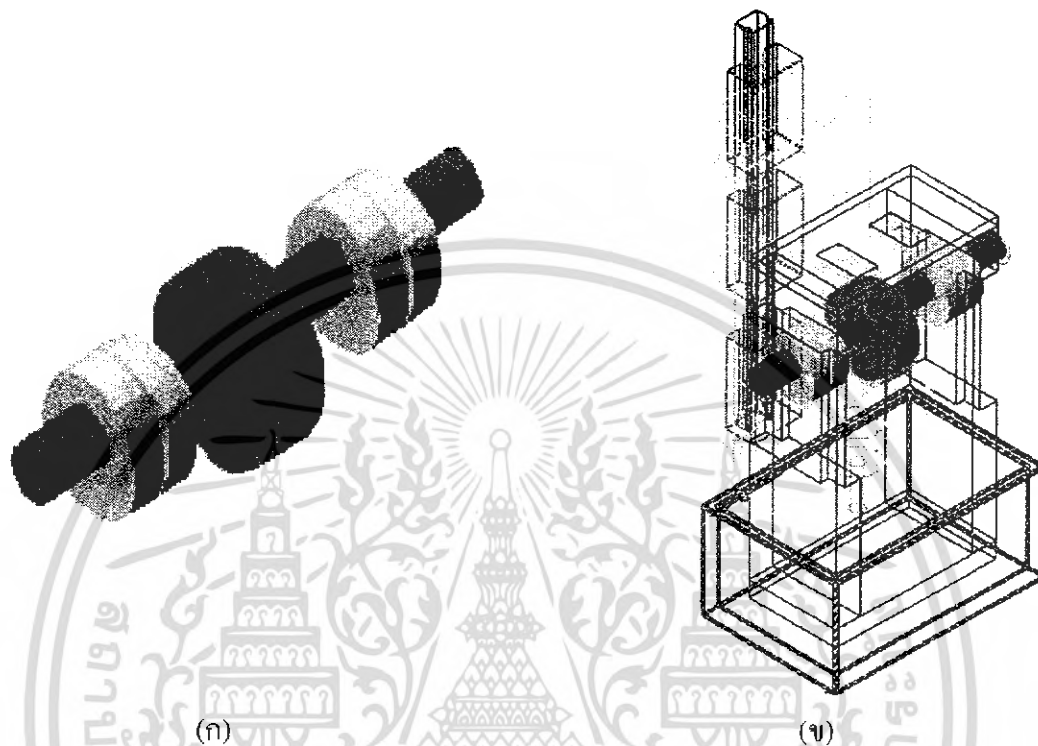
(ข)

รูปที่ 3.1 (ก) และ (ข)แสดงลักษณะการวางของลูกเบี้ยวแกน X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ลูกเบี้ยวแกน Y จะเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแนวแกน Y ระยะประมาณ 15 – 16

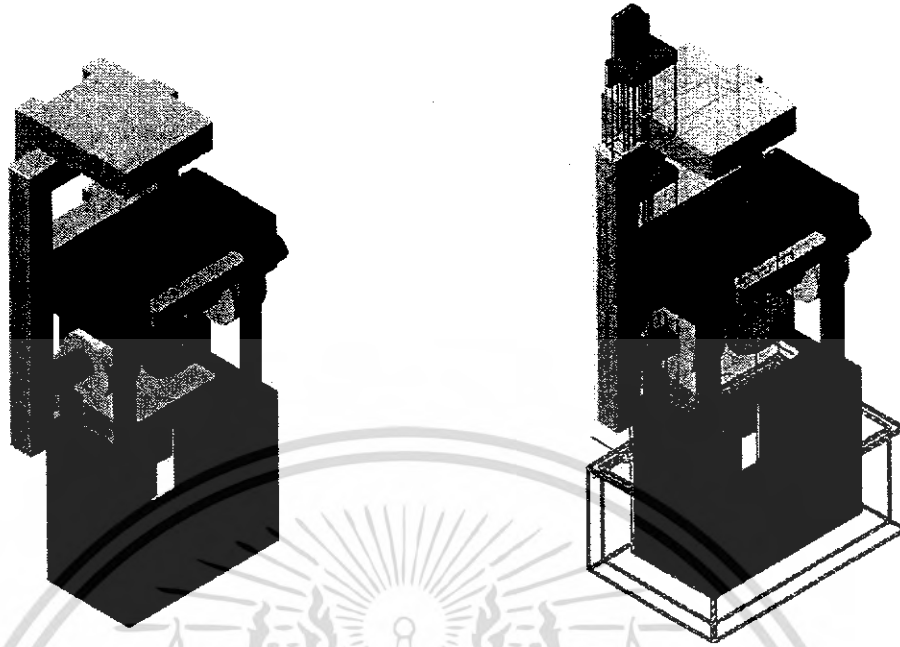
มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะการวางของลูกเบี้ยวแกน Y

3.1.2 ส่วนเคลื่อนที่จำลองฟันบน จะทำหน้าที่รับน้ำหนักที่จะถูกกดลงมาด้วยการถ่วงค้ำ น้ำหนักและชุดล่างจะประกอบเข้ากับแท่งเหล็กจำลองฟันบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

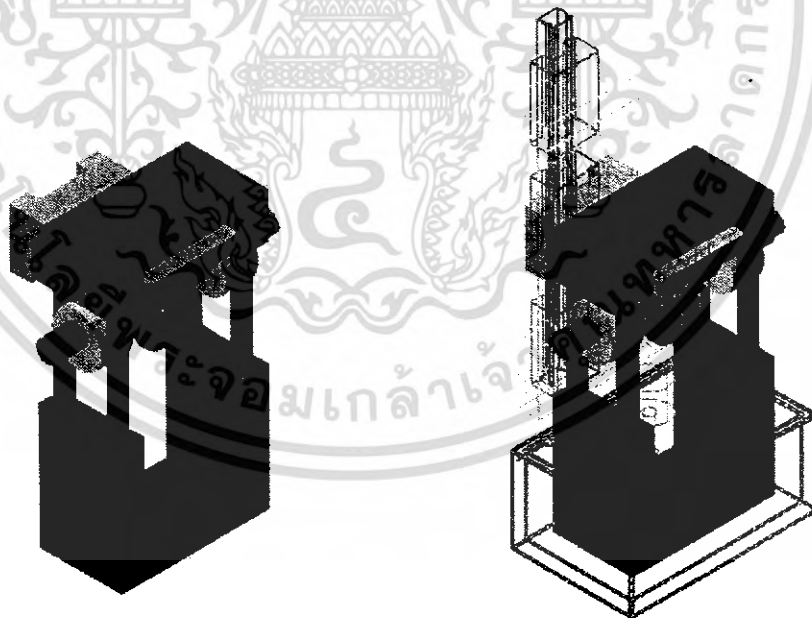


(ก)

(ข)

รูปที่ 3.3 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะการวางของส่วนเคลื่อนที่จำลองพื้นบน  
 3.1.3 ส่วนเคลื่อนที่จำลองพื้นล่าง จะทำหน้าที่เป็นตัวคอยบังคับแนวการเคลื่อนที่ของ แกน

X



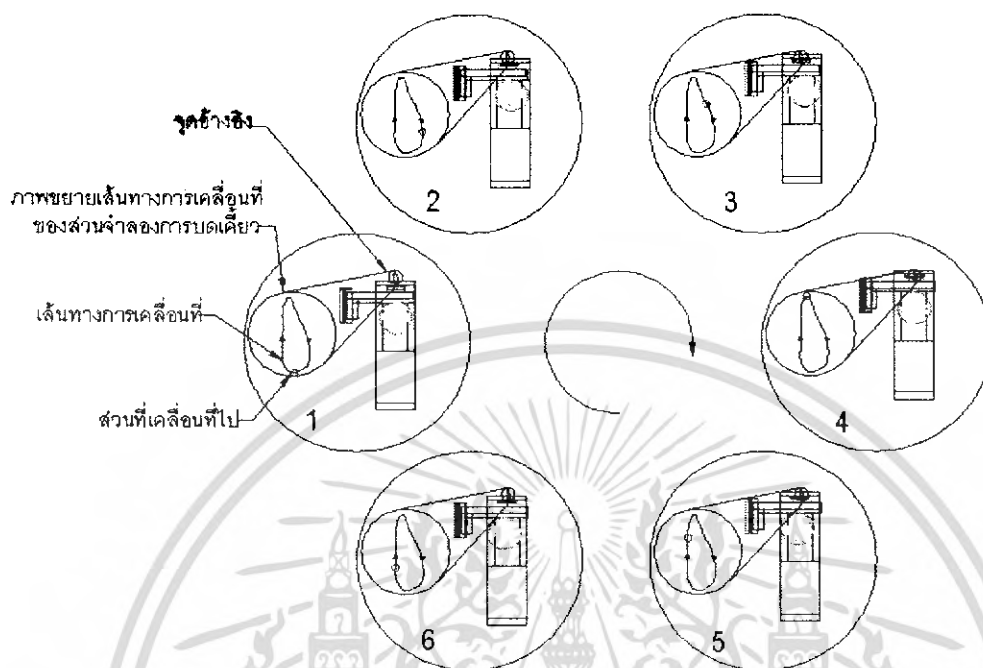
(ก)

(ข)

รูปที่ 3.4 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะการวางของส่วนเคลื่อนที่จำลองพื้นล่าง

3.1.4 ส่วนภาพจำลองลำดับการเคลื่อนที่ของชุดจำลองพื้น(มองจากด้านข้าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

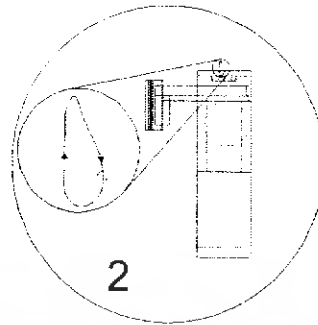


รูปที่ 3.5 ภาพแสดงแบบจำลองลำดับการเคลื่อนที่

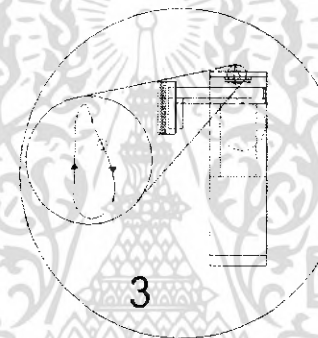


รูปที่ 3.6 (ก) จุดเริ่มต้นของวงการเคี้ยว ลูกเบี้ยวจะอยู่ในระยะเริ่มต้น  
 ในระยะนี้ลูกเบี้ยวจะยังไม่เริ่มเคลื่อนที่เป็นระยะที่ฟันบนและฟันล่างห่างกันสุด

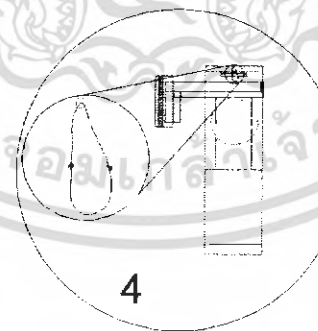
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 (ข) ลูกเบี้ยวเริ่มเคลื่อนที่ ที่มุม 60 องศา ฟันบนและฟันล่างเริ่มเคลื่อนที่เข้าหากัน

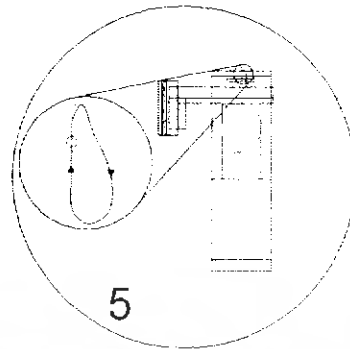


รูปที่ 3.6 (ค) ลูกเบี้ยวเคลื่อนที่ที่มุม 120 องศา เริ่มเข้าสู่ระยะบดคัอาหาร

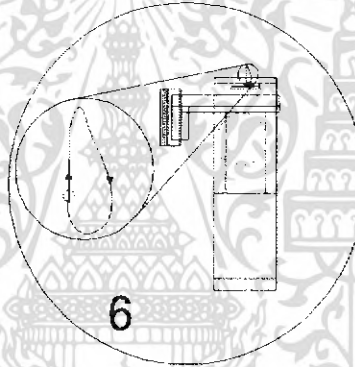


รูปที่ 3.6 (ง) ลูกเบี้ยวเคลื่อนที่มาอยู่ในระยะที่ ฟันบนและฟันล่างสบกันพอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



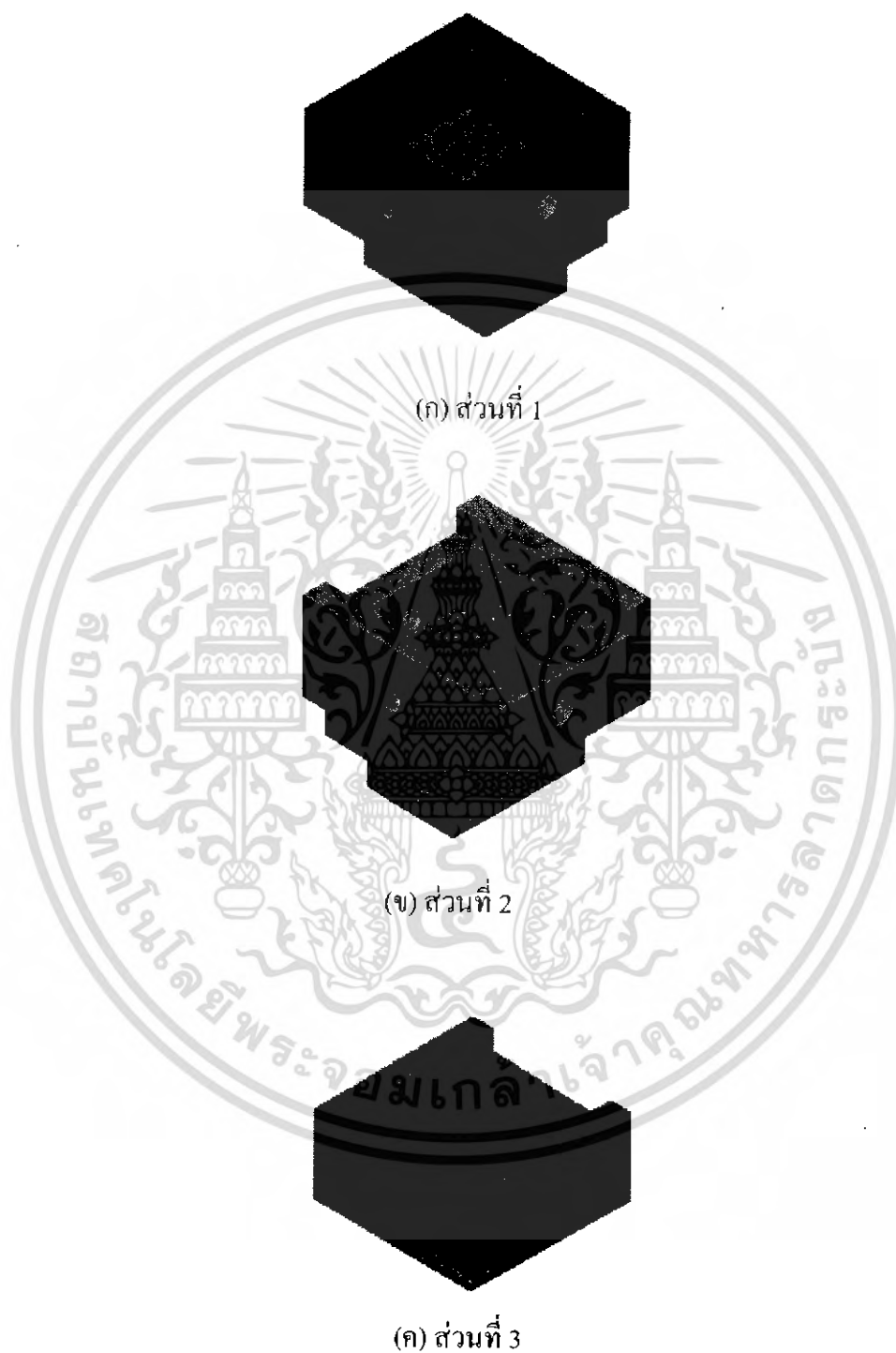
รูปที่ 3.6 (จ) เป็นระยะที่พื้นบนและพื้นล่างเริ่มห่างออกจากกัน



รูปที่ 3.6 (ฉ) เป็นระยะที่ลูกเบี้ยวเริ่มกลับเข้าสู่ในระยะเริ่มต้นอีกครั้ง

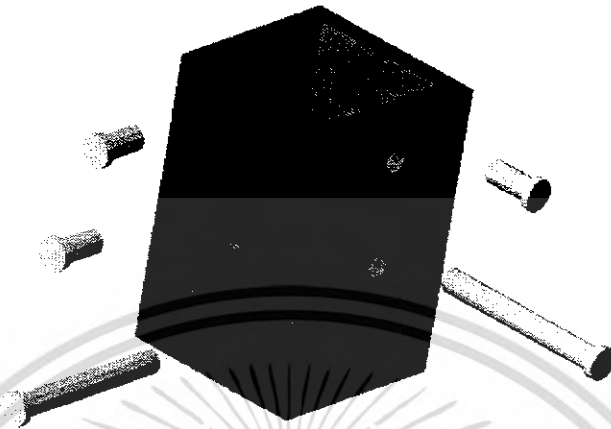
3.15 ส่วนชุดใส่พื้น จะทำหน้าที่ใส่พื้น และสามารถปรับเลื่อนซ้ายขวาและปรับขึ้นลงได้ เพื่อที่จะทำการเซตชุดพื้นล่างให้ตรงกับชุดพื้นบนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 (ก) ,(ข) และ (ค) แสดงแต่ละส่วนของชุดใส่ฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

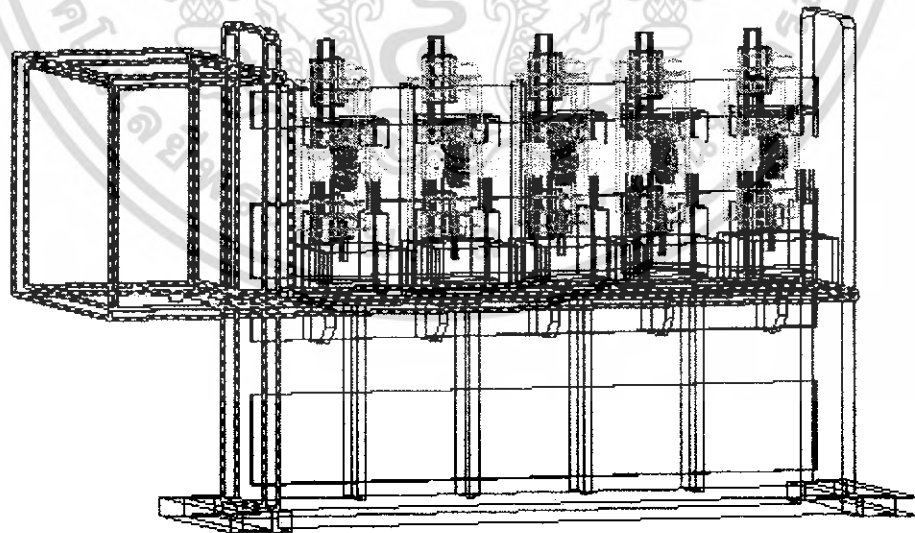


รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการวางของส่วนชุดฟัน

### 3.15 ส่วนโครงสร้างของเครื่องมือ

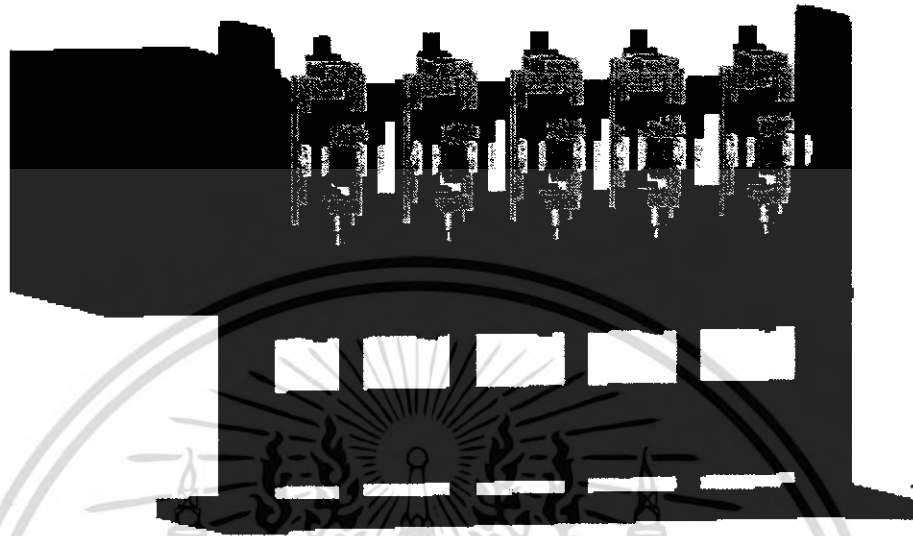
ส่วนโครงของเครื่องมือเป็นส่วนประกอบต่างเข้าด้วยกัน มีลักษณะการวางตัวดังรูป

ต่อไปนี้เป็น



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

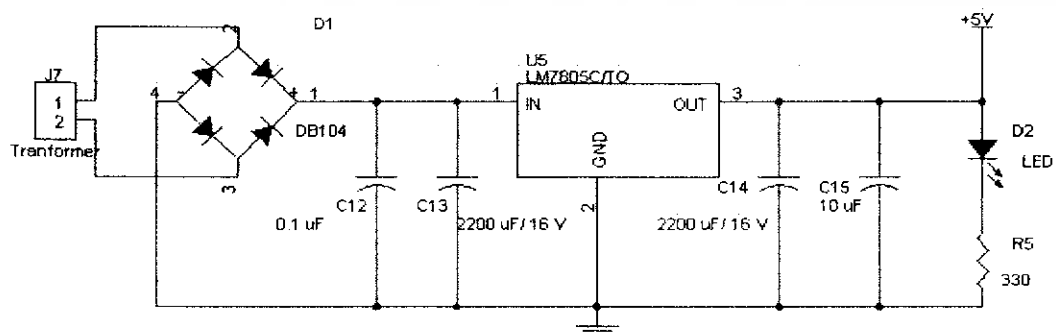
รูปที่ 3.9 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะการวางตัวของส่วน เครื่องมือ

### 3.2 ส่วนประกอบหลักทางอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมเครื่องมือ

การทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการสั่งการควบคุมเครื่องมือ โดยที่ประกอบด้วย ส่วนวงจรต่างๆดังนี้

#### 1) ส่วนวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย (Power Supply)

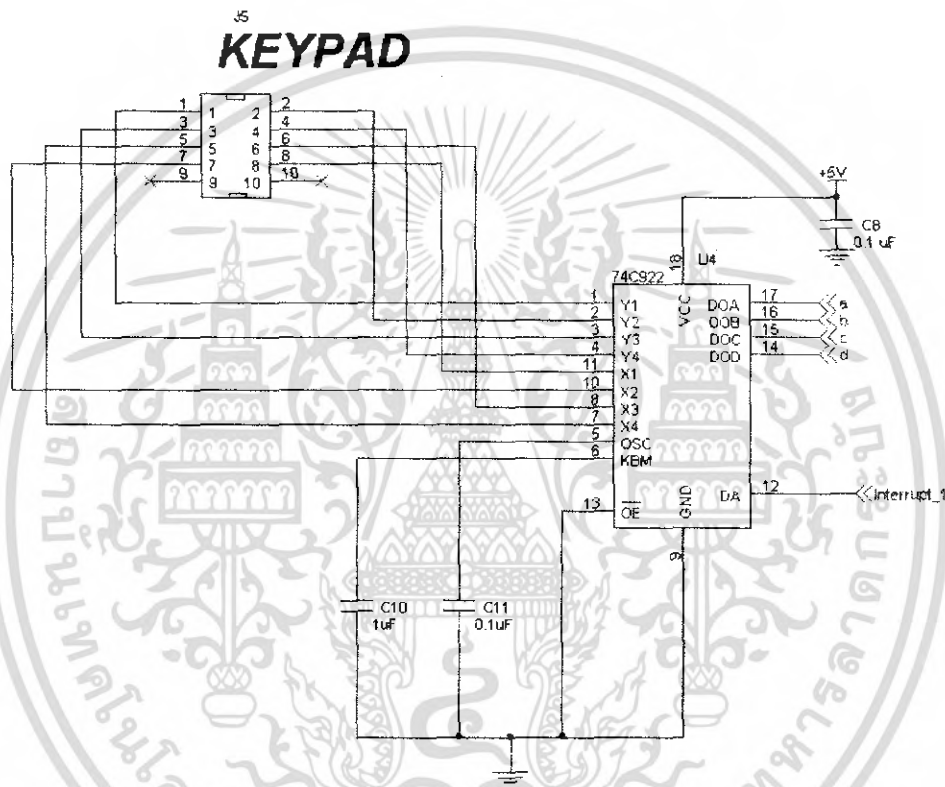
เป็นวงจรที่จ่ายไฟกระแสตรง (DC) 5 โวลต์ให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด โดยที่ วงจรนี้จะเป็นตัวแปลงไฟกระแสตรงให้มีแรงดันไม่เกิน 5 โวลต์หรือเท่ากับ 5 โวลต์ โดยที่มีตัวเรกกูเรเตอร์ ( Regulator ) โดยใช้ไอซีเบอร์ LM 7805C/TO ซึ่งตัวเรกกูเรเตอร์เป็นตัวรักษาแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ แสดงดังรูปที่ 3.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.10 แสดงวงจรส่วนเพาเวอร์ซัพพลาย (power supply)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2) ส่วนวงจรคีย์แพด ( Keypad)

เป็นวงจรที่รับสัญญาณจากแป้นคีย์แพดขนาด 4x4 ตัวอักษร เมื่อเราทำการกดแป้นคีย์แพด จะได้สัญญาณไฟฟ้าแล้วจะถูกส่งไปยังไอซีเบอร์ 74C922 เพื่อที่จะทำการแปลงสัญญาณขนาด 4 บิตทางเอาต์พุต เพื่อส่งสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปประมวลผลและแสดงผลต่อไป แสดงวงจรวงจรดังรูปที่ 3.11

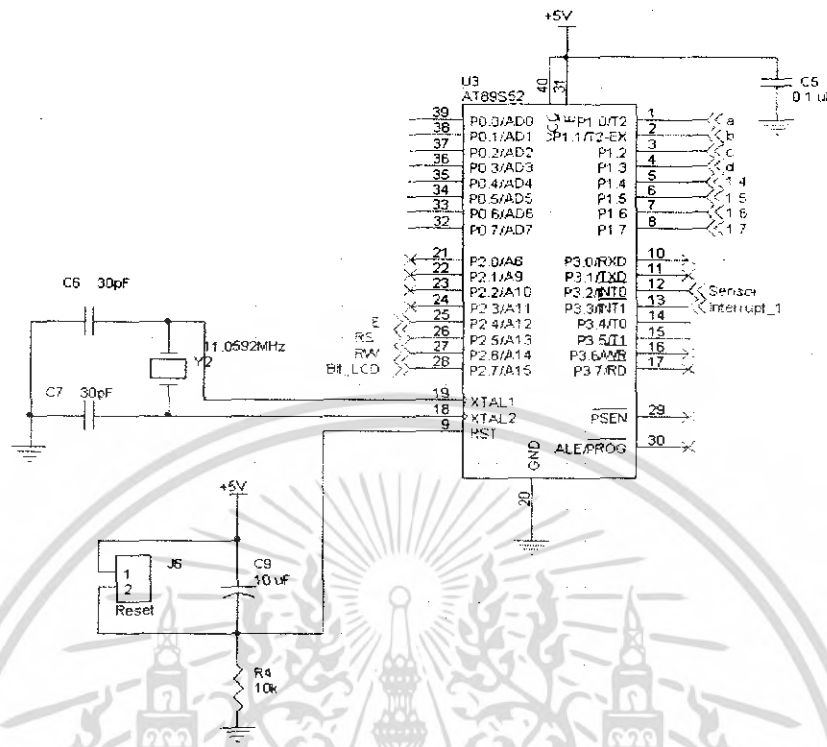


รูปที่ 3.11 แสดงรูปวงจรวงจรส่วนคีย์แพด

## 3) ส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ ( Microcontroller )

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ คือ MCS-51 ซึ่งเป็นตัวที่สามารถป้อนโปรแกรมให้สามารถทำงาน ได้ แต่การต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ประกอบด้วยไอซี AT89S52 , ตัวส่งสัญญาณนาฬิกา ( Crystal , XTAL ) ให้ความถี่ 11.0592 MHz และวงจรรีเซต ( Reset ) แสดงวงจรวงจรดังรูปที่ 12 ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะรับสัญญาณจากวงจรคีย์แพด,วงจร Sensor ,วงจร EEPROM แล้วแสดงผลที่ได้ออกทางหน้าจอ LCD

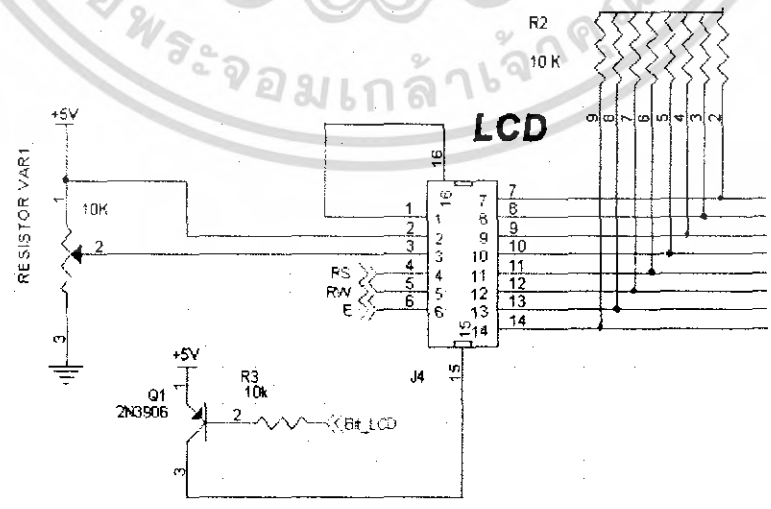
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงรูปวงจรส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์

4) ส่วนวงจรแสดงผลออกทาง LCD

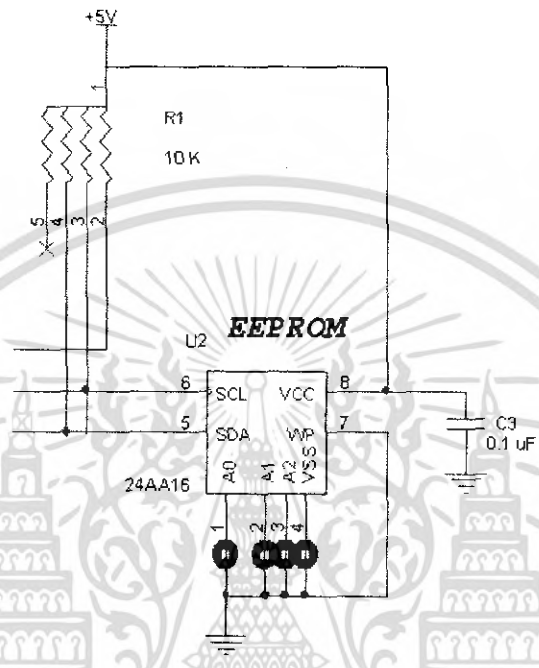
เป็นส่วนที่รับค่ามาจากส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์และ ส่วนต่างๆ เพื่อที่จะมาแสดงผลออกทางจอLCD จึงทำให้สามารถกำหนดค่าได้ถึง 99,999 ครั้ง ดังแสดงในรูปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ภายใต้กฎหมายคุ้มครองสิทธิและผลประโยชน์ของผู้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ส่วนวงจร EEPROM

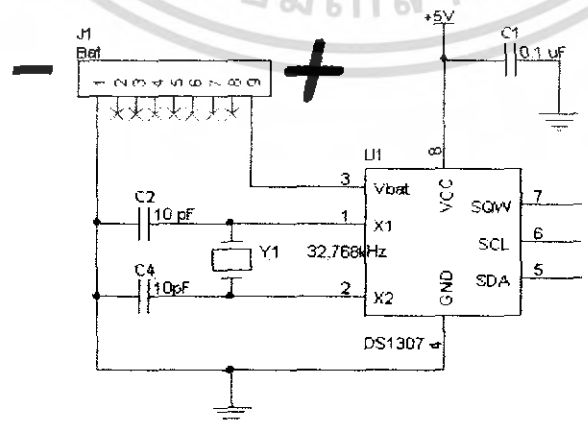
เป็นส่วนที่คอยเก็บข้อมูล ชุดคำสั่งหรือโปรแกรม ไว้ที่ไว้ที่ได้รับข้อมูลมาจากส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.14 แสดงรูปส่วนวงจร EEPROM

6) ส่วนวงจร RAM

เป็นส่วนที่คอยเก็บ ฐานข้อมูล และ data ต่างๆ เอาไว้ไว้ที่ได้รับข้อมูลมาจากส่วน ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่จะต้องให้ไฟเลี้ยงไว้เสมอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการรูปที่ 3.15 แสดงรูปส่วนวงจร RAM ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.3 ส่วนซอฟต์แวร์ ( Software )

ส่วนของโปรแกรมที่ใช้ทั้งหมด ประกอบด้วยส่วนของโปรแกรมหลักที่ใช้คือ ส่วนรับค่า จากคีย์แพด ส่วนรับค่าจากสัญญาณ Sensor ส่วนประมวลผล ( Microcontroller ) และ ส่วนแสดงผลออกทางLCD

#### 3.3.1 โฟลว์ชาร์ต (Flowchart) การทำงานของ โปรแกรม

เริ่มแรกโปรแกรมจะแสดงผลทางหน้าจอ LCD เพื่อที่จะแนะนำการใช้งานของ โปรแกรม จากนั้นก็ทำการใส่จำนวนรอบ คีย์แพดก็ทำการรับค่าเพื่อที่จะไปส่งให้ระบบ Controller ทั้งหมดทำงาน Photomicrosensor จะทำหน้าที่นับจำนวนรอบ โดยจะจับสัญญาณที่ตัดผ่านและจะ ส่งข้อมูลไปที่ Controller เมื่อ Photomicrosensor ทำการนับจำนวนรอบจนครบ Controller ก็จะทำ การรับสัญญาณจาก Relay ซึ่งเป็น Switch แบบ Normally close ส่วน Controller จะส่งสัญญาณ high ( 1 ) ไป เพื่อหยุดการทำงานของ Ac Motor

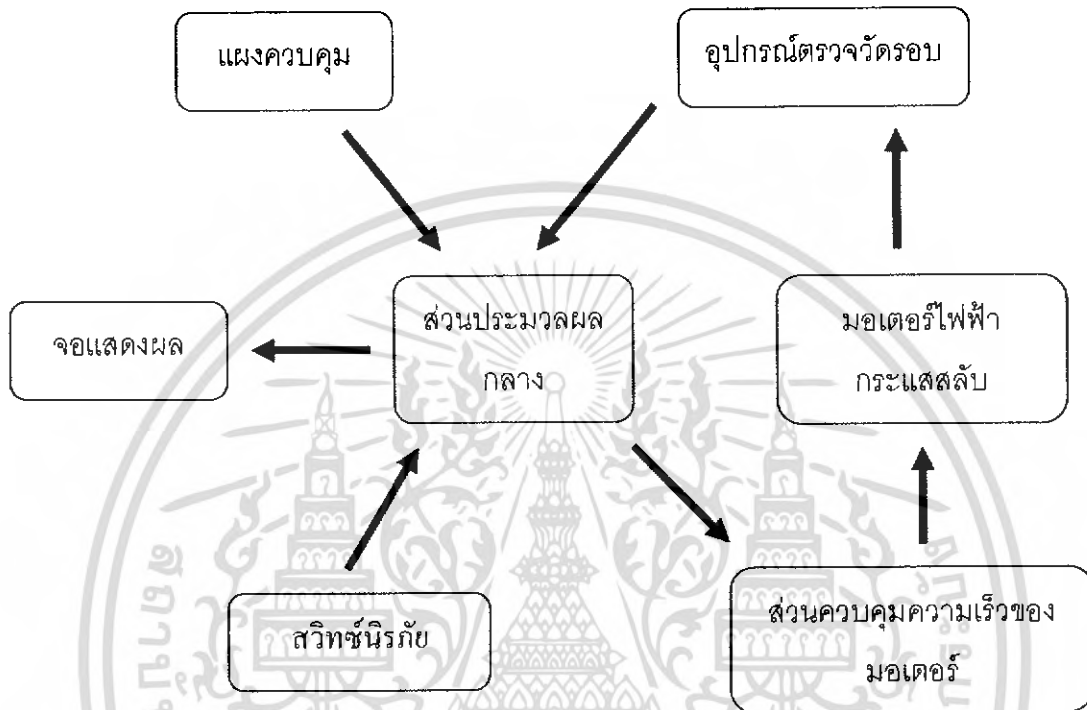
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Flow chart แสดงการทำงานของระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะที่หรือใช้เฉพาะหน่วยงานนั้น ไม่ควรเปิดเผยหรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แผนผังการทำงานของเครื่องจำลองการบิดเบี้ยวเพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรม



รูปที่ 3.18 แสดงการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์

### 3.4 ผลงานที่ประดิษฐ์ขึ้นมา

#### 3.4.1 ส่วนระบบการเคลื่อนที่ของฟัน

ชิ้นส่วนต่างๆในระบบการเคลื่อนที่ของฟัน ประกอบไปด้วย

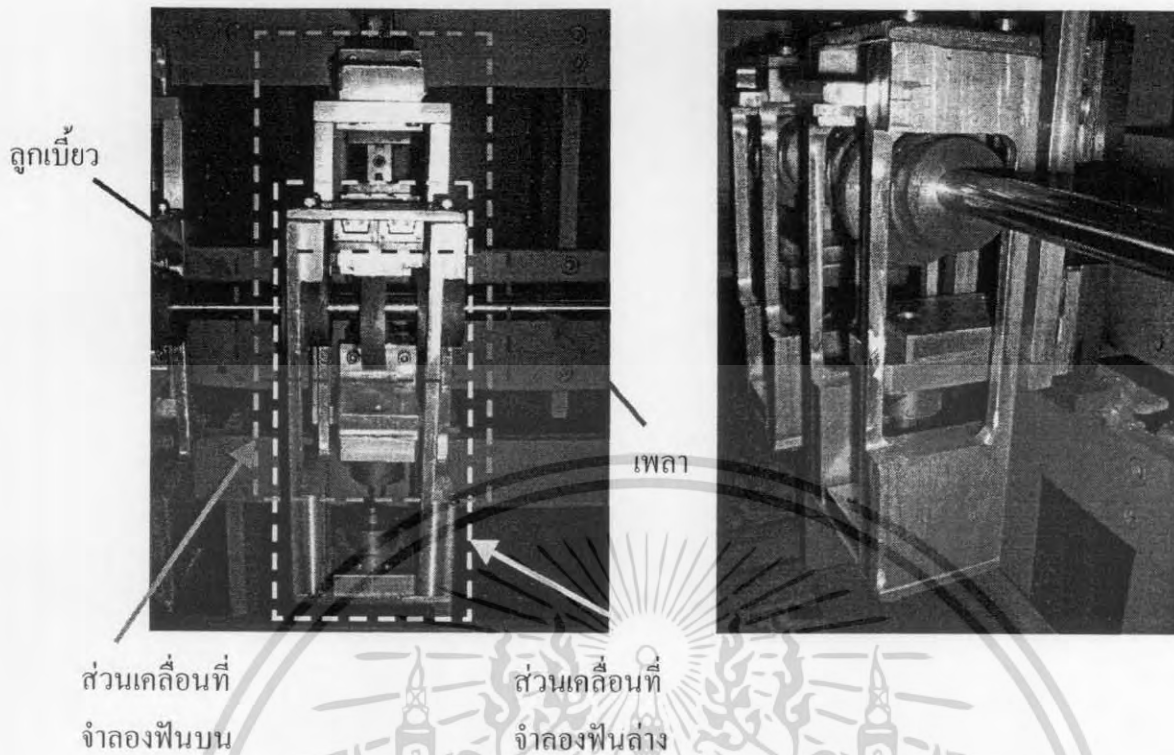
3.4.1 เพลา

3.4.2 ลูกเบี้ยว

3.4.3 ส่วนเคลื่อนที่จำลองฟันบน

3.4.4 ส่วนเคลื่อนที่จำลองฟันล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของระบบขับเคลื่อนชุดพื้น

ก) เพลลา

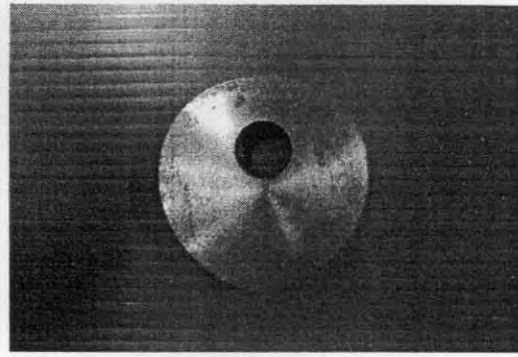
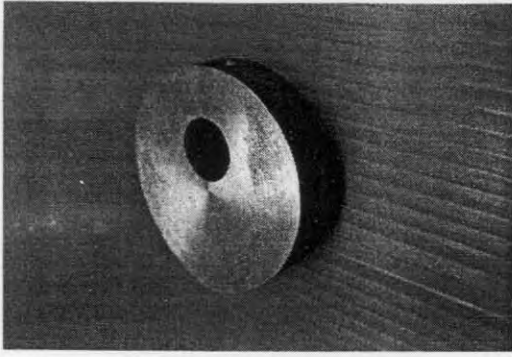
เป็นแท่งอะลูมิเนียมกลมตัน เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 mm ความยาวประมาณ 800 mm เสียบเข้าไปในแบริ่งที่ถูกเชื่อมติดกับโครงหลักที่เป็นเหล็ก โดยเหลือปลายด้านขวาเล็กน้อยเพื่อเชื่อมต่อกับมอเตอร์ใช้ในการหมุน

ข) ลูกเบี้ยว

เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากที่สุดในการจำลองการเคลื่อนที่ ใน 1 ชุดตัวอย่างจะประกอบไปด้วยลูกเบี้ยวทั้งหมด 5 ลูก ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามหน้าที่ในการบังคับทิศทาง การเคลื่อนที่ของตัวอย่างได้แก่

1) ลูกเบี้ยวบังคับทิศทางเคลื่อนที่ตามแนวแกน Y มีขนาดใหญ่ที่สุด และใน 1 ชุดตัวอย่างจะมีอยู่เพียง 1 ลูก ทำหน้าที่บังคับให้ส่วนเคลื่อนที่จำลองพื้นล่างเคลื่อนขึ้น-ลงตามแนวแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

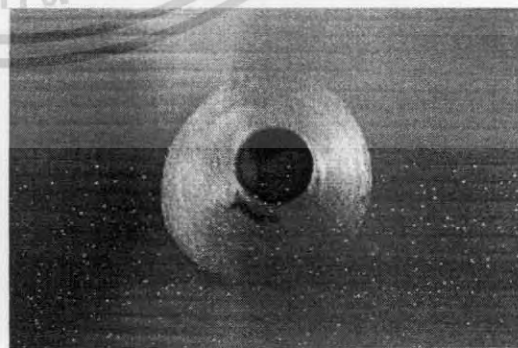
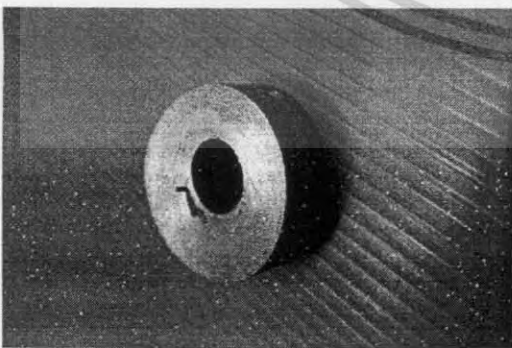


รูปที่ 3.20 ลูกเบี้ยวแกน Y

2) ลูกเบี้ยวบังคับทิศทางเคลื่อนที่ตามแนวแกน X มีลักษณะพิเศษคือทำงานเป็นคู่ ซึ่งใน 1 ชุดตัวอย่างจะมี 2 คู่ด้วยกัน ทำหน้าที่บังคับส่วนเคลื่อนที่จำลองฟันต่างโดยหมุนสัมพันธ์กับกรอบบังคับทิศทางตามแนวแกน X ให้เคลื่อนที่กลับไปกลับมา ลูกเบี้ยวทั้ง 2 ชนิดนี้จะประกอบเข้ากับเพลาดังรูป



รูปที่ 3.21 ลูกเบี้ยวแกน X ลูกที่ 1



รูปที่ 3.22 ลูกเบี้ยวแกน X ลูกที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

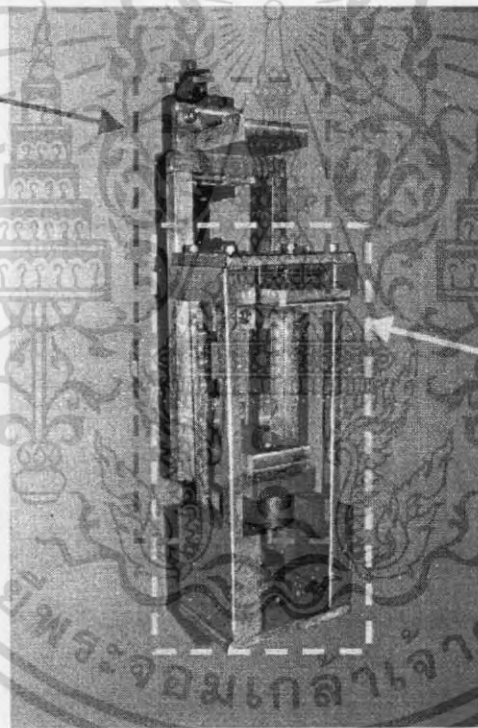
ค) ส่วนเคลื่อนที่จำลองพื้นบน

จะประกอบไปด้วยแผ่นฐานอะลูมิเนียมที่ติดเข้ากับลูกเลื่อนให้เคลื่อนที่ได้ตามแนวแกน Y ทั้งหมด 2 ชุด โดยชุดบนทำหน้าที่รับน้ำหนักที่จะถูกกดลงมาด้วยการถ่วงค้ำน้ำหนัก และชุดล่างจะประกอบเข้ากับแท่งเหล็กจำลองพื้นบน

ง) ส่วนเคลื่อนที่จำลองพื้นล่าง

ประกอบไปด้วยแผ่นฐานอะลูมิเนียมที่ติดเข้ากับลูกเลื่อนให้เคลื่อนที่ได้ตามแนวแกน Y 1 ชุด ด้านบนของแผ่นฐานจะประกอบกับลูกเลื่อนที่ใช้ในการเคลื่อนที่ให้ได้ตามแนวแกน X กับกรอบบังคับทิศทางตามแนวแกน X ซึ่งติดกัน โดยด้านบนของกรอบบังคับทิศทางตามแนวแกน X นั้นติดกับลูกเลื่อน ส่วนด้านล่างจะติดตั้งแท่งเหล็กจำลองพื้นล่างเอาไว้ เมื่อรวมทั้ง 4 ส่วนเข้าด้วยกันจะมีลักษณะดังรูป

ส่วนเคลื่อนที่  
จำลองพื้นบน



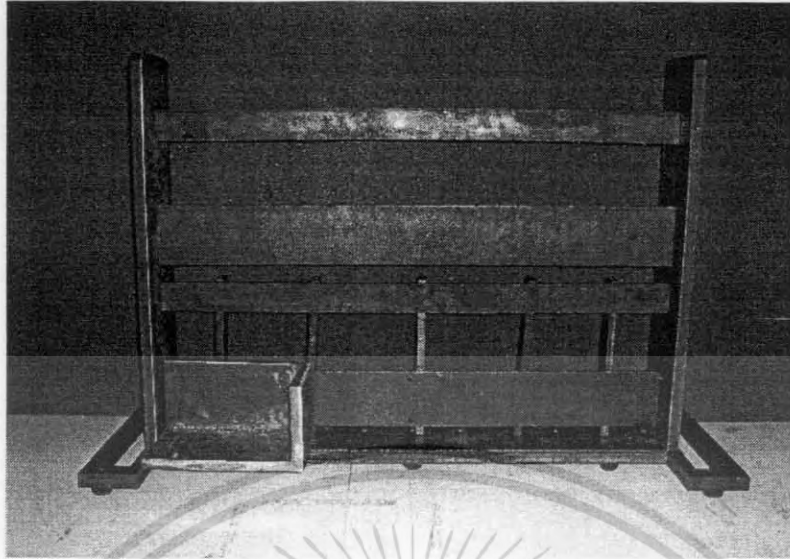
ส่วนเคลื่อนที่  
จำลองพื้นล่าง

รูปที่ 3.23 ชุดจำลองพื้น

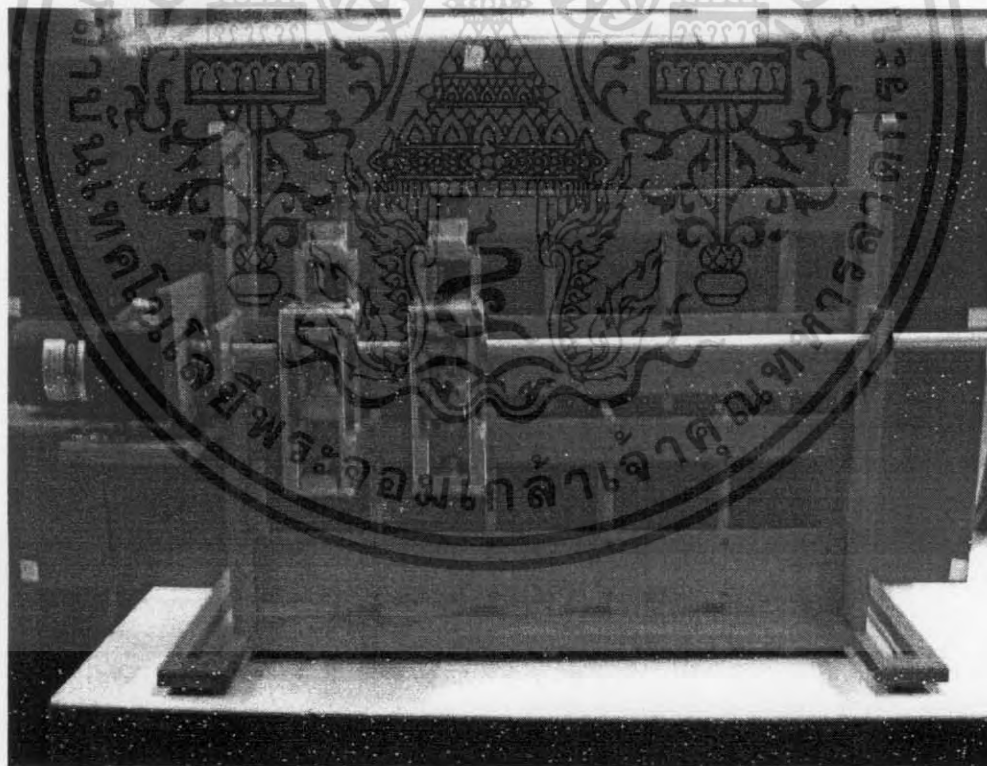
### 3.4.2 ส่วน โครงสร้างของเครื่องมือ

เนื่องจากตัวเครื่องต้องการความแข็งแรงทนทานจึงได้ใช้เหล็กเป็นส่วนประกอบหลักของ โครงเครื่องทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 3.24 และ ดังรูปที่ 3.25 จะแสดงถึง โครงสร้างของเครื่องมือ และส่วนประกอบต่าง ๆ เมื่อทำการประกอบเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 โครงเหล็ก



รูปที่ 3.25 แสดงถึงโครงสร้างของเครื่องมือและส่วนประกอบต่าง ๆ เมื่อทำการประกอบเสร็จ

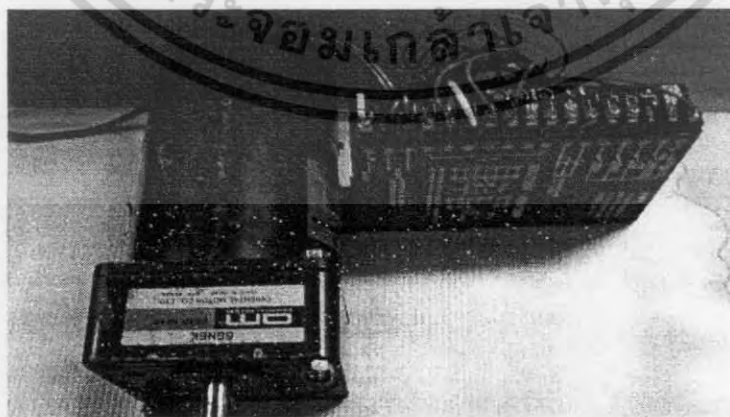
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.3 ส่วนระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคุมเครื่องมือ ประกอบไปด้วยส่วนต่างดังนี้



รูปที่ 3. 26 แสดงวงจรควบคุมเครื่องมือ

- 1) มอเตอร์ AC ขนาด 40 วัตต์ และ Speed control box  
( โดยใช้ มอเตอร์ยี่ห้อ ORIENTAL MOTOR ขนาด 40 วัตต์ 220 โวลต์ ความถี่ 50/60 HZ ) เป็นตัวควบคุมความเร็วของเครื่องมือ โดย ac motor จะต่อเข้ากับ driver control ซึ่งกล่องควบคุมนี้ จะปรับความเร็ว โดยอาศัยตัวต้านทานปรับค่าได้

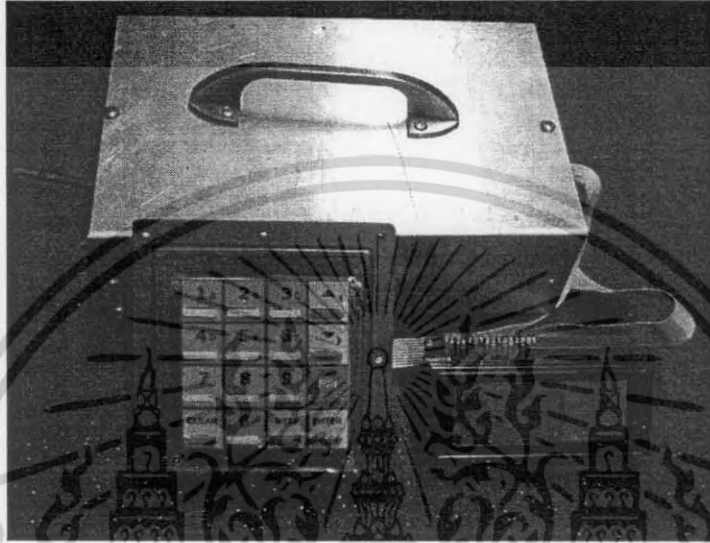


รูปที่ 3.27 แสดงมอเตอร์ AC ขนาด 40 วัตต์ และ Speed control box

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แผงวงจรควบคุม (โดยใช้ board controller MCS - 52 )

( โดยใช้ Microcontroller เบอร์ AT89S52 ) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องมือ โดยคอนโทรลเลอร์ ภายในประกอบด้วยวงจรควบคุม หม้อแปลงแปลงไฟจาก 220 โวลต์ เป็น 9 โวลต์ แบบ single step ส่วนนี้จะไปประกอบกับ ac motor



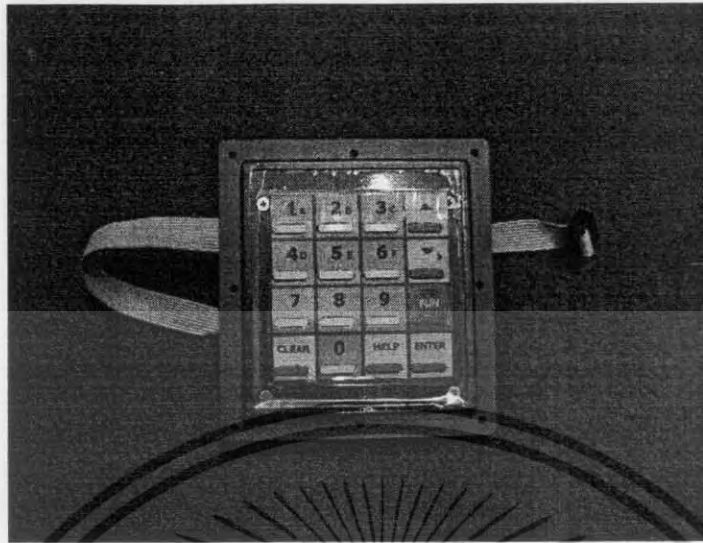
รูปที่ 3.28 แสดงแผงวงจรควบคุม

3) จอ LCD แบบ 20X4 และ Keypad แบบ 4X4

( โดยใช้ คีย์แพดของยี่ห้อ ETT ) ทำหน้าที่แสดงผลเป็นตัวหนังสือ และฟังก์ชันการทำงานต่างๆ และในส่วนของ keypad จะใช้คีย์ข้อมูลและคำสั่งกับเครื่องมือ สามารถ คีย์จำนวนรอบ สั่งเครื่องทำงานและให้หยุดการทำงาน



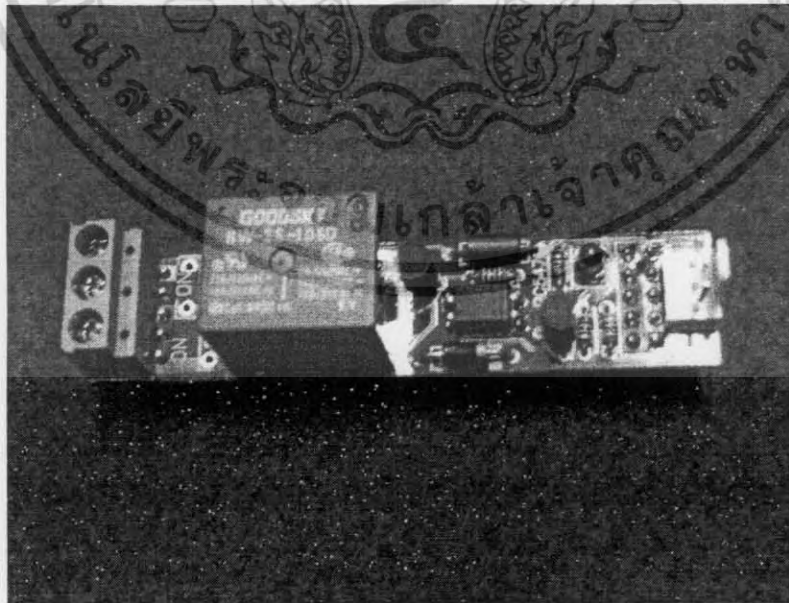
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.29 แสดงจอ LCD แบบ 20X4 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.30 แสดง Keypad แบบ 4X4

#### 4) Switch Relay

(โดยใช้ห้อยของ ETT) ทำหน้าที่เป็น OUTPUT โดยเลือกใช้ RELAY ทำหน้าที่เป็น SW ใช้ได้กับไฟ AC หรือ DC, แยกการทำงานของ INPUT/OUTPUT ด้วย OPTOISOLATION, ขั้วต่อใช้งาน ที่ต่อออกมาให้เป็นขั้ว NO, NC, COM ใช้ RELAY 5V COIL หน้าสัมผัส ขนาด 5A/250VAC



รูปที่ 3.31 แสดง Switch Relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5) Photomicrosensor

(โดยใช้หัวของ OMRON เบอร์ EE-SE670 แบบ NPN) เป็นเซนเซอร์นับจำนวนรอบ โดยอาศัยหลักการตัดแสง ประกอบด้วยขาเชื่อมต่อทั้งหมด 4 ขา หลักการทำงานคือ เมื่อมีวัตถุตัดผ่าน ตัวเซนเซอร์ จะส่งสัญญาณไปที่คอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.32 แสดง Photomicrosensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

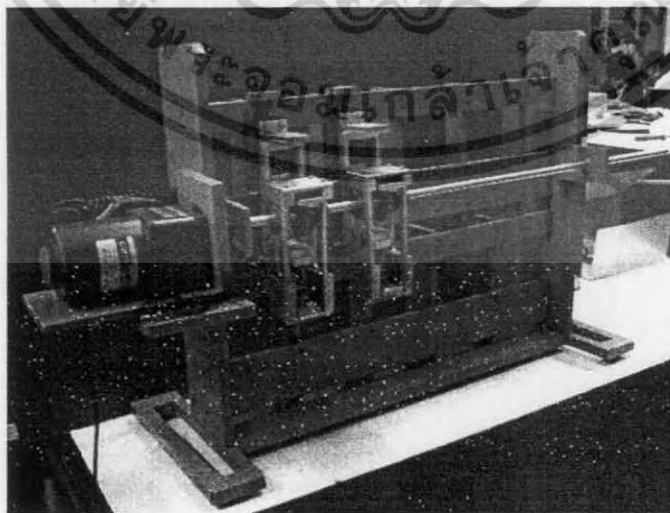
### ผลการทดลองและอภิปรายผล

การทดสอบการทำงานของเครื่องจำลองการบังคับเคี้ยวเพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรม พิจารณาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือส่วนระบบการทำงานเชิงกลของตัวเครื่องและส่วนของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

#### 4.1 ส่วนระบบการทำงานเชิงกลของตัวเครื่อง

##### 4.1.1 ขั้นตอนการทดสอบการทำงานของระบบขับเคลื่อนชุดฟัน

เมื่อทำการสั่งให้ระบบทำงานทำให้เพลลาที่ติดกับมอเตอร์หมุน ทำให้ลูกเบี้ยวหมุนไปตามทิศทางการหมุนของเพลลาด้วย โดยลูกเบี้ยวบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของฟันล่างให้ยกขึ้น พอถึงตำแหน่งที่ลูกเบี้ยวหมุนให้ส่วนโค้งลดลงแผ่นฐานก็จะเคลื่อนที่ลงตามส่วนโค้งที่ลดลงทำให้แผ่นฐานเคลื่อนที่ลงตามความสัมพันธ์ของส่วนโค้งลูกเบี้ยวและเนื่องจากน้ำหนักของแผ่นฐานที่ทำให้แผ่นฐานเคลื่อนที่ติดกับลูกเบี้ยวตลอดเวลาด้วย ในส่วนของการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X ก็เช่นกัน โดยมีลูกเบี้ยวบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X เป็นตัวกำกับ ซึ่งการทำงานนั้นลูกเบี้ยวบังคับตามแนวแกน X นี้จะมี 2 ชุด บังคับกรอบบังคับทิศตามแนวแกน X ทั้งทางด้านซ้ายและขวาทำให้เกิดความสมดุลในการเคลื่อนที่ ดังรูป เมื่อเกิดการหมุนลูกเบี้ยวแกน X ลูกแรกจะบังคับให้กรอบบังคับทิศเคลื่อนที่มาข้างหน้า จากนั้นเมื่อถึงจุดสูงสุดของลูกเบี้ยวลูกแรกที่ทำให้กรอบบังคับทิศเคลื่อนมาทางด้านหน้าสุดแล้วลูกเบี้ยวตัวที่สองก็จะทำหน้าที่ดันกรอบบังคับทิศทางให้กลับไปยังทิศทางเดิมกลับไปกลับมา ซึ่งความสัมพันธ์ของลูกเบี้ยวทั้งสองแกนนี้เมื่อเพลลาหมุนจะทำให้เกิดรูปแบบการเคลื่อนที่รูปหยดน้ำ ซึ่งเป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ของฟันได้



รูปที่ 4.1 จะแสดงถึงโครงสร้างของเครื่องมือและส่วนประกอบต่างๆเมื่อทำการประกอบเสร็จ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ในเขตเห็นใบเขียวจะเห็นตามการค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

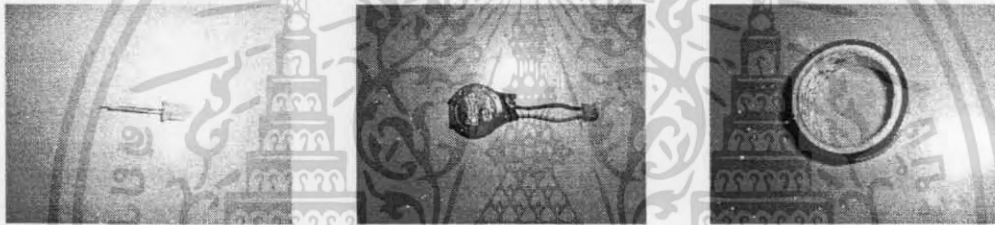
#### 4.1.2 วิธีการทดสอบการเคลื่อนที่

เครื่องจำลองการบดเคี้ยวเพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรมซึ่งได้ประดิษฐ์ขึ้นโดยอ้างระเบียบวิธีแบบ MINNASOTA การเคลื่อนที่ที่ต้องเป็นรูปหยดน้ำตา ในการสร้างระบบการเคลื่อนที่ของเครื่องมือก็ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น เพื่อให้ตรงตามจุดประสงค์จึงต้องทำการทดสอบการเคลื่อนที่ของชุดตัวอย่างว่าเป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้หรือไม่ โดยวิธีการทดสอบด้วยการสังเกตเพื่อเปรียบเทียบ และทดสอบด้วยวิธีการลากเส้นด้วยปากกา

##### 4.1.2.1 วิธีการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบ

อุปกรณ์การทดสอบ มีดังนี้

- 1) LED
- 2) Battery
- 3) เทปกาว



(ก.) LED

(ข.) Battery

(ค.) เทปกาว

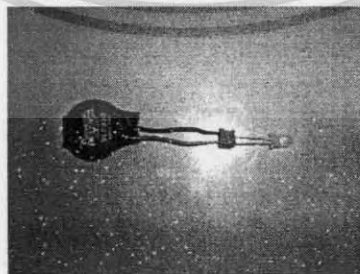
รูปที่ 4.2 (ก.) LED

(ข.) Battery

(ค.) เทปกาว

ขั้นตอนการทดสอบ

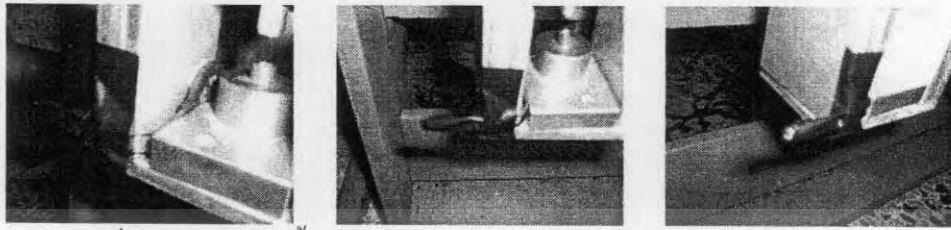
- 1) ต่อ LED เข้ากับ Battery ดังรูป เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสงใส่การสังเกตการเคลื่อนที่



รูปที่ 4.3 LED ต่อกับ Battery

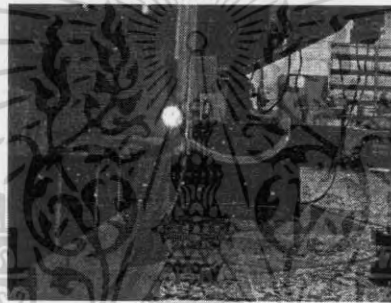
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) จากนั้นนำเทปกาวสีดำพันรอบ LED ให้เหลือช่องเพียงเล็กน้อยตรงปลายเพื่อให้แสงผ่านออกมาเป็นจุดเล็กที่สุด แล้วนำชุดแหล่งกำเนิดแสงไปติดไว้ยังส่วนจำลองพื้นล่างของเครื่องมือ  
 ค้างรูป



รูปที่ 4.4 รูปการติดตั้ง แหล่งกำเนิดแสง LED ไว้ที่ส่วนจำลองพื้นล่าง

3) สั่งมอเตอร์ให้ทำงานจากนั้นสังเกตลักษณะการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดแสงโดยบันทึกเป็นไฟล์ midia โดยจับภาพบริเวณที่เป็นปลายเปิดแสงจาก LED ดังรูป



รูปที่ 4.5 รูปแสดงการจับภาพการเคลื่อนที่ของ LED

4) สังเกตการเคลื่อนที่ของ LED เมื่อไม่ได้วางการเคียวตามต้องการ ให้ปรับตำแหน่งของลูกเบี้ยวไปอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ลักษณะวงการเคียวตามที่ต้องการ

#### 4.1.2.2 วิธีการทดสอบด้วยการลากเส้นด้วยปากกา

หลังจากที่ทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยการทดสอบเพื่อปรับเทียบแล้ว ซึ่งเป็นการสังเกตด้วยตาอย่างคร่าวๆ ให้ได้ลักษณะวงการเคียวที่ต้องการ จากนั้นทดสอบอีกวิธีโดยการทดสอบด้วยการลากเส้นด้วยปากกาให้ได้ภาพเส้นทางการเคียวรูปหยดน้ำตาแล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับทฤษฎีและการออกแบบต่อไป

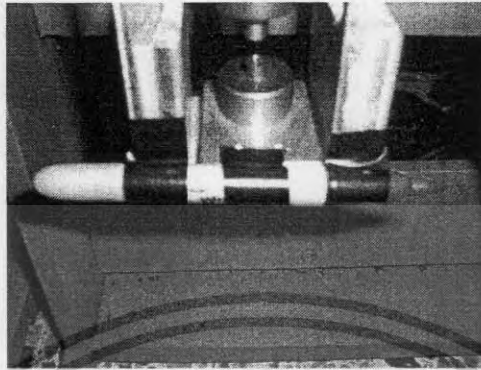
อุปกรณ์การทดสอบ มีดังนี้

- 1) ปากกา
- 2) กระดาษ
- 3) เทปกาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

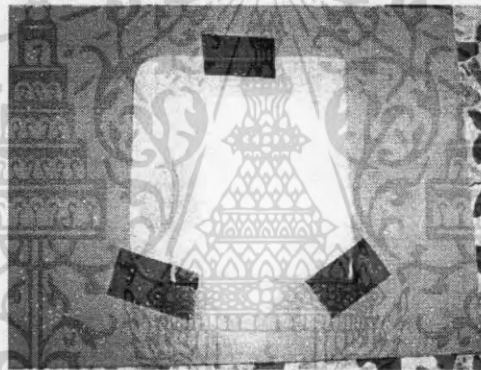
### ขั้นตอนการทดสอบ

1) นำปากกาติดเข้ากับส่วนจำลองฟันล่างด้วยเทปกาวให้แน่นหนา โดยให้ขนานกับระนาบของฟันและปล่อยให้ปลายปากกายื่นออกมาข้างหนึ่งเล็กน้อยดังรูป



รูปที่ 4.6 นำปากกาติดเข้ากับส่วนจำลองฟันล่าง

2) นำกระดาษที่เตรียมไว้ติดเข้ากับแผ่นกระดานแข็งๆ ดังรูปด้วยเทปกาว



รูปที่ 4.7 ติดกระดาษบนกระดานแข็ง

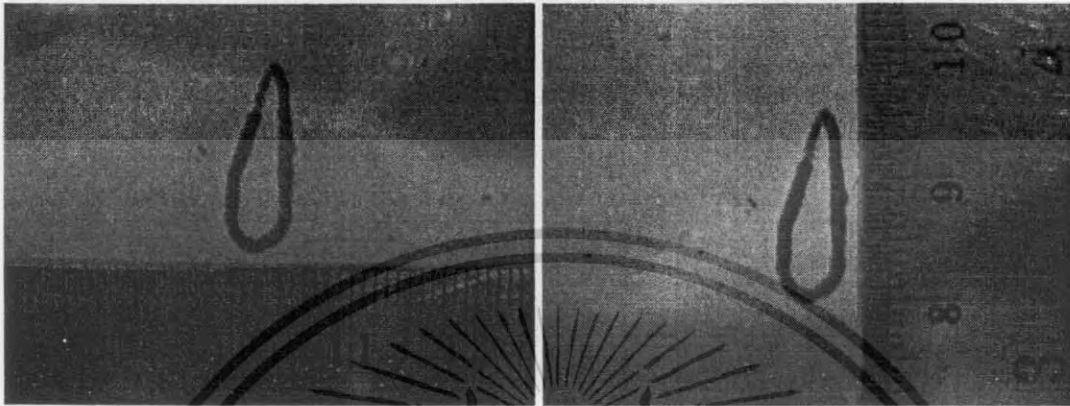
3) จากนั้นนำกระดาษที่ติดกับกระดานแข็งๆ เรียบร้อยแล้วไปวางตั้งฉากกับปลายปากกา โดยยึดแผ่นกระดานเข้ากับโครงด้วยเทปกาวหรือจับเอาไว้ให้แน่นที่สุดเพื่อทำการบันทึกภาพเส้นทางการเคลื่อนที่จากปลายปากกา

4) ทำการเดินเครื่องให้ส่วนจำลองฟันเคลื่อนที่แล้วบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

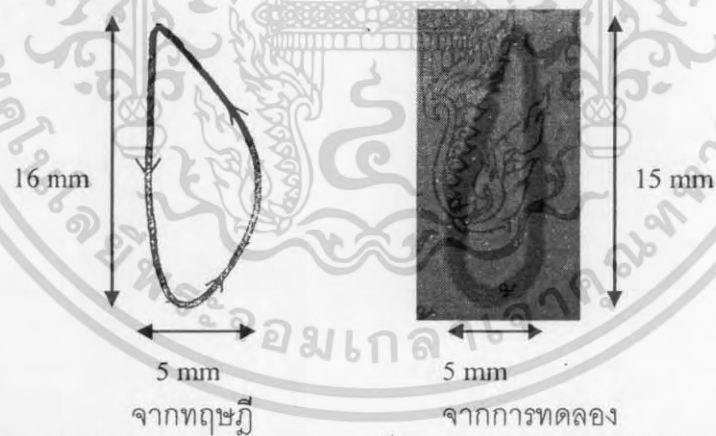
#### 4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองทดสอบลักษณะการเคลื่อนที่รูปหยดน้ำของเครื่องจำลองการบดเคี้ยวเพื่อทดสอบการสึกทางทันตกรรม ด้วยการทดสอบการลากเส้นด้วยปากกาได้ผลดังรูป



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยวิธีการลากเส้นด้วยปากกา

เมื่อนำผลที่ได้มาวัดด้วยไม้บรรทัดดังรูปที่ 71 นั้น จะเห็นได้ว่า ระยะเอียงหรือระยะตามแนวแกน X มีค่าประมาณ 5 mm และระยะยกหรือระยะตามแนวแกน Y มีค่าประมาณ 15 mm ซึ่งจากภาพที่ได้และค่าระยะตามแนวแกน X และ Y ที่วัด ปรากฏว่าใกล้เคียงกับรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้ เปรียบเทียบดังรูปที่ 69

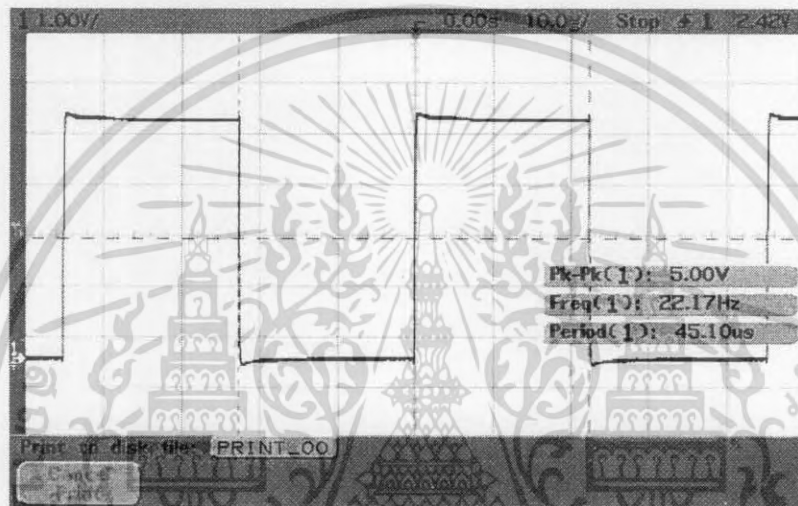


รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะเส้นทากการเคี้ยวของฟันแบบ 2 มิติ จากทฤษฎี และจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 ส่วนของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์

เมื่อทำการตั้งโปรแกรมจะแสดงผลทางหน้าจอ LCD จากนั้นก็ทำการใส่จำนวนรอบ ก็แพดก็ทำการรับค่าเพื่อที่จะไปสั่งให้ระบบ Controller ทั้งหมดทำงาน Photomicrosensor จะทำหน้าที่นับจำนวนรอบ โดยจะจับสัญญาณที่ตัดผ่านและจะส่งข้อมูลไปที่ Controller เมื่อ Photomicrosensor ทำการนับจำนวนรอบจนครบ Controller ก็จะทำการรับสัญญาณจาก Relay ซึ่งเป็น Switch แบบ Normally close ส่วน Controller จะส่งสัญญาณ high ( 1 ) ไป เพื่อหยุดการทำงานของ Ac Motor โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเอาท์พุทของไมโครคอนโทรลเลอร์คือ 5.0 โวลต์



รูปที่ 4.10 ลักษณะของสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จาก Photomicrosensor และวงจร Relay

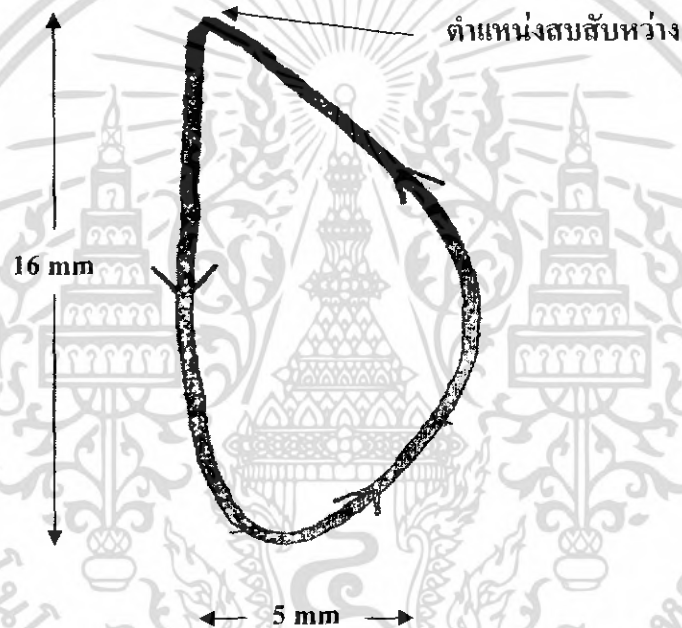
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอนะ

#### 5.1 สรุปการวิจัย

ตามวัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษนี้เพื่อศึกษาลักษณะการเคี้ยวตามธรรมชาติของมนุษย์ ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายรูปหยดน้ำตา (tear-shaped) ตามที่กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 การเคลื่อนไหวขึ้นอยู่กับลักษณะของขากรรไกร การเคลื่อนไหวขากรรไกรขณะบดเคี้ยวอาหารมีลักษณะเป็นจังหวะ ประกอบไปด้วยวงเคี้ยว หลายครั้ง ซึ่งลักษณะวงเคี้ยวแต่ละครั้ง ตามที่ได้ทดลองจะมีลักษณะดังรูปที่ 71



รูปที่ 5.1 วงการเคี้ยวที่ได้จากการทดลอง

จากการทดลองพบว่าลักษณะการเคี้ยวเริ่มจากการอ้าปากลงมาจากตำแหน่งสบสับหว่าง ในแนวตรงจนปลายฟันบนและล่างห่างกันเป็นระยะทางประมาณ 16 มิลลิเมตร และระยะที่ 2 ฟันจะเบียดไปด้านข้างประมาณ 5 มิลลิเมตร จากนั้น ฟันก็จะเลื่อนไปที่ตำแหน่งสบสับหว่างอีกครั้ง ลักษณะรูปแบบดังกล่าว จะเป็นไปตามระเบียบวิธี minnesota

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## เอกสารอ้างอิง

- Mechanics and Design of Cam Mechanisms Fan Y . Chen , Pergamon Press , (1982)
- Fluorides and teeth เสวต ทักษิณบรรจง,คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล,ปี พ.ศ.2528
- ทันตวัสดุศาสตร์ เจน รัตนไพศาล,ไทยวัฒนาพานิช จำกัด,ปี พ.ศ.2533
- สุขภาพช่องปากของประชากรไทย การวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหาของประเทศ.สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.),ปี พ.ศ. 2540
- ตำรา ทันตกายวิภาคศาสตร์ประยุกต์ ชัยศรี สุชาติถ้ำพงศ์,บัณฑิต ติไซน์,ปี พ.ศ. 2535
- เอกสารคำสอนเรื่อง แนะนำวิชาการระบบการบดเคี้ยว สำหรับนิสิตทันตแพทย์ชั้นปีที่ 3 ผศ.ทญ. พนมพร วาณิชชานนท์ ภาควิชาทันตกรรมบดเคี้ยว คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เอกสารคำสอนเรื่อง การบดเคี้ยวและการกลืน ( Mastication and Deglutition ) สำหรับนิสิตทันตแพทย์ชั้นปีที่ 3 ผศ.ทญ. พนมพร วาณิชชานนท์
- Technical Specification ISO/TS 14569 – 2 ,Thai Industrial Standards Institute
- Bruxing – type Dental Wear Simulator for Rankinh of Dental Restorative Materials , S.H. Teoh , et.al , j.BiomedMater Res 43(2) pp. 175 – 83 (1998)
- Development of an Artificial Oral Environment for the testing of Dental Restoratives : Bi-axial Force and Movement Control R.DeLong and W.H. Douglas 62(1) : 32-36( 1983)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Source code program

```
#include <REG52.H>
#include <stdio.h>
#include <intrins.h>
#include "LCD8bit.C"
#include "keypad.C"
#include "DS1307_1.C"

unsigned char number,buffer[4],num[4];
unsigned int datav,c0,c1,c2,c3,c4,count;//,count,temp;

sbit bitLED = P1^4; // LED indicator active high
sbit startbit = P1^6; // Motor Control
sbit bitLCD = P1^7; // Backlight LCD active low

bit MOTOR_STOP;
bit Finished;
bit complete;

// address to save data in RAM(DS1307)
#define addcheck 0x09
#define addmode 0x0A

#define addsetcycle5 0x10
#define addsetcycle4 0x11
#define addsetcycle3 0x12
#define addsetcycle2 0x13
#define addsetcycle1 0x14
#define addsetcycle0 0x15
#define addcycle5 0x20
#define addcycle4 0x21
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define addcycle3      0x22
#define addcycle2      0x23
#define addcycle1      0x24
#define addcycle0      0x25
#define addposition    0x30
#define addTimeD3      0x31
#define addTimeD2      0x32
#define addTimeD1      0x33
#define addTimeD0      0x34
#define addTimeS3      0x3A
#define addTimeS2      0x3B
#define addTimeS1      0x3C
#define addTimeS0      0x3D
static unsigned int TimeD, TimeS, tock;
static unsigned char p, check, mode, position, setcycle[6],
                    cycle[6], Dtime[3], Stime[3];
static unsigned long actualsetcycle,actualcycle;
// *****
static char code *Line1 = " Chewing Tester ";
static char code *Line2 = "  MERL Lab  ";
static char code *Line3 = " Applied Physics ";
static char code *Line4 = " ==>> KMITL <<== ";
// *****
static char code *Line5 = " Pls Enter Round ";
static char code *Line6 = "   For   ";
static char code *Line7 = " Chewing Tester ";
// *****
//static char code *Line8 = "*****";
static char code *Line9 = "!!  Running  !!";
static char code *LineA = "!!  Pls Wait  !!";
//static char code *LineB = "*****";

```

//สารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/static char code *LineC = "*****";
static char code *LineD = "!! Mission !!";
static char code *LineE = "!! Completed !!";
//static char code *LineF = "*****";
// *****

void timer0(void) interrupt 1 using 1
{
    TH0 = 0xDC;           // 1101 1100
    TL0 = 0x00;           // 0000 0000
    tock++;
}

//----- Initialize -----
void initialize(void)
{
    msec(3000);
    //////////////////////////////////////
    SCON = 0x50; //serial port
    TMOD = 0x25; //of the 8051
    TH1 = 0xFD;    //9600
    TR1 = 1;
    TI = 1;
    //////////////////////////////////////
    EA = 1;           // Enable global interrupt.
    EX0 = 0;          // Enable external interrupt0.
    IT0 = 1;          // Detect at falling edge.
    EX1 = 0;          // Enable external interrupt1.
    IT1 = 1;          // Detect at falling edge.
    ET0 = 1;          // Enable timer0 interrupt
    TR0 = 1;          // Start timer 0
    tock = 0;
}
// *****

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void external1(void) interrupt 2 using 2
{
    EX0 = 0;
    _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();
    _nop_();_nop_();_nop_();_nop_();
    keyflag = 1;
}

// *****
void Show_Houy(void)
{
    LCD_CLR();
    print_LCD(0x80,Line1);
    print_LCD(0xC0,Line2);
    print_LCD(0x94,Line3);
    print_LCD(0xD4,Line4);
    msec(500);
    LCD_CLR();
    print_LCD(0x80,Line5);
    print_LCD(0xC0,Line6);
    print_LCD(0x94,Line7);
    msec(100);
}

// *****
void getdata(void)
{
    set = 0 ;
    keydata = 0 ;
    clearkeybuffer();
    count = 0 ;
    while(!set)          // Link to case 15 in KEYPAD programming
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

c1 = keybuffer[1]; //joe
c2 = keybuffer[2]; //joe
c3 = keybuffer[3]; //joe
c4 = keybuffer[4]; //joe
count =
(keybuffer[4]*10000+keybuffer[3]*1000)+(keybuffer[2]*100)+(keybuffer[1]*10)+keybuffer[0];
LCDWI(0xD4); //joe
LCDWD(' '); //joe 1
LCDWD(' '); //joe 2
LCDWD(' '); //joe 3
LCDWD(' '); //joe 4
LCDWD(' '); //joe 5
LCDWD(' '); //joe 6
LCDWD(' '); //joe 7
LCDWD(c4+48); //joe 8 Number to LCD decoder
LCDWD(c3+48); //joe 9 Number to LCD decoder
LCDWD(c2+48); //joe 10 Number to LCD decoder
LCDWD(c1+48); //joe 11 Number to LCD decoder
LCDWD(c0+48); //joe 12 Number to LCD decoder
setkey();
findbutton();
}
}
// *****
void convertdata(void)
{
    num[0] = keybuffer[0];
    num[1] = keybuffer[1];
    num[2] = keybuffer[2];
    num[3] = keybuffer[3];
    num[4] = keybuffer[4];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    datav = (num[4]*10000)+(num[3]*1000)+(num[2]*100)+(num[1]*10)+num[0]; // 5
digit
}
// *****

void model(void)
{
    msec(10); //joe
    LCD_CLR(); //joe
//    print_LCD(0x80,Line8); //joe
    print_LCD(0xC0,Line9); //joe
    print_LCD(0x94,LineA); //joe
//    print_LCD(0xD4,LineB); //joe
    startbit = 0; // Start Motor
    count = 0;
    while(count<=(datav-1))
    {
        while(!INT0)
        {
            msec(10); //joe
        }
        while(INT0);
        count++;
        LCD_CLR();
        LCDWI(0xD4); //joe
        LCDWD('C'); //joe
        LCDWD('O'); //joe
        LCDWD('U'); //joe
        LCDWD('N'); //joe
        LCDWD('T'); //joe
        LCDWD(' '); //joe
        LCDWD(' '); //joe
        LCDWD((count/10000)+48); //joe
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        count = (count%10000);
        LCDWD((count/1000)+48);//joe
        count = (count%1000);
        LCDWD((count/100)+48);//joe
        count = (count%100);
        LCDWD((count/10)+48);//joe
        LCDWD((count%10)+48);//joe
        msec(10);
    }

    startbit = 1;    // Start Motor
    msec(20);        // joe
    LCD_CLR();       // joe
//    print_LCD(0x80,LineC); // joe
    print_LCD(0xC0,LineD); // joe
    print_LCD(0x94,LineE); // joe
//    print_LCD(0xD4,LineF); // joe
}
//-----Main-----
void main(void)
{
    while(1)
    {
//-----
        startbit = 1;
        EA = 1;
        EX0 = 0;
        IT0 = 1;
        EX1 = 1;
        IF1 = 1;
        msec(100);
        count = 0;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
msec(100);  
bitLCD = 0;  
initialize();  
i_LCD();  
Show_Hour();  
getdata();  
convertdata();  
mode1();  
}  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Source code LCD and keypad

```
#include <Atmel/t89c51ac2.H>
#include <intrins.h>
#include <stdio.h>
//code const float stepsize = 0.001220703125;
void msec(unsigned int);
void i_LCD(void);
void LCDWI(char c);
void LCDWD(char c);
void pulseE(void);
void LCD_CLR(void);
void print_LCD(char line, char *str);
void Output_Control(char TempChar);
unsigned int Input_Data(void);
void CSLow(void);
void CSHigh(void);
float Volt;
float Consentration;
unsigned int offset;
unsigned int tock;
int ringtime;
bit mode;
bit btn1;
bit btn2;
bit enable;
sbit a = P1^7;
sbit E = P4^0;
sbit RS = P4^1;
sbit ADCS = P1^4;
sbit DIN = P1^7;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

sbit DOUT      =   P1^6;
sbit CLK       =   P1^5;
sbit Buzzer = P3^0;
sbit Button1= P3^1;
sbit Button2= P3^2;

void timer0(void) interrupt 1 using 1
{
    TH0 = 0xDC;
    TL0 = 0x00;
    if(--ringtime <= 0)
        Buzzer = 0;
    tock++;
}

void main(void)
{
    unsigned int Value;
    char str[9];
    msec(100);

    TMOD = 0x01;
    EA = 1; // Enable global interrupt
    ET0 = 1; // Enable timer0 interrupt
    TR0 = 1; // Start timer 0
    tock = 0;
    Buzzer = 0;
    mode = 1;
    ringtime = 0;
    offset = 0;
    enable = 0;
    i_LCD();
    print_LCD(0x80, "Alco 50%");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while(1){
    if(tock >= 20){
        tock = 0;
        btn1 = Button1;
        btn2 = Button2;
        if(!btn1){
            ringtime = 1;
            Buzzer = 1;
            mode = ~mode;
            if(mode)
                print_LCD(0x80, "Alco 50%");
            else
                print_LCD(0x80, "Alco 70%");
        }
        if(!btn2){
            ringtime = 1;
            Buzzer = 1;
            offset = Concentration;
            enable = 1;
        }
        CSLow();
        DOUT = 1; // Don't forget to pull input port to
high
        Output_Control(0x0D);
        Value = Input_Data();
        CSHigh();
        Volt = (float)Value;
        Concentration = (Volt-1300)/25;
        sprintf(str,"%3d mg%%",(int)Concentration-offset);
        print_LCD(0xC0,str);
        if(!mode && (Concentration > 70) && enable){
            ringtime = 100;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Buzzer = 1;
    }

    if(mode && (Concentration > 50) && enable){
        ringtime = 100;
        Buzzer = 1;
    }
}
}

/*-----*/
void msec(unsigned int x){
    unsigned char j;
    while(x-- > 0)
        for(j=0;j<255;j++); //for 89e51 11.0592MHz = 109
}

/*-----*/
void LCDWI(char c){
    char i;
    E = 0;
    RS = 0;
    _nop_();

    i = c;
    c &= 0xF0;
    P2 = c;

    c = i;
    c = (i << 4);
    c &= 0xF0;
    P2 = c;
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        pulseE();

        msec(5);
    }

    /*-----*/

void LCDWD(char c){
    char i;
    E = 0;
    RS = 1;
    _nop_();

    i = c;
    c &= 0xF0;
    P2 = c;

    c = i;
    c = (i << 4);
    c &= 0xF0;
    P2 = c;
    pulseE();
    msec(5);
}

/*-----*/

void LCD_CLR(void){
    LCDWI(1);
    msec(50);
}

/*-----*/

void i_LCD(void){
    E = 0;
    RS = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

msec(500);
P2 = 0x03; // 0000 0011

pulseE();

msec(50);

pulseE();

msec(50);

pulseE();

msec(50);

P2 = 0x02; // 0000 0010

pulseE();

pulseE();

pulseE();

msec(50);

LCDWI(0x28); // set b-bit bus, more than 2 line, 5*7 dots // 0010 1000
LCDWI(0x0c); // on display, off cursor, no blink // 0000 1100
LCDWI(0x06); // mode DDRAM auto address increment // 0000 0110
LCD_CLR();
msec(100);
}

/*-----*/

void pulseE(void){
    E = 1;
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

_nop_();
_nop_();
_nop_();
_nop_();
_nop_();
_nop_();
_nop_();
_nop_();
}

/*-----*/
void CSLow(void)
{
  ADCS = 0;
}
/*-----*/
void CSHigh(void)
{
  ADCS = 1;
}
////////////////////////////////////
void Output_Control(char TempChar){
  unsigned char Count;
  unsigned char Mask = 0x08; // 0000 1000
  for(Count = 0;Count < 4;Count++)
  {
    if(TempChar&Mask)
      DIN = 1;
    else
      DIN = 0;
    _nop_();
  }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        _nop_();
    Mask >>= 0x01;
    CLK = 0;
}
}
////////////////////////////////////
unsigned int Input_Data(void){
    unsigned char Count;
    unsigned int Mask = 0x8000; // 1000 0000 0000 0000
    unsigned int Result = 0x0000;
    for(Count = 0;Count < 13;Count++)
    {
        if(DOUT){
            Result |= Mask;
        }
        _nop_();
        CLK = 1;
        _nop_();
        Mask >>= 0x01;
        CLK = 0;
        _nop_();
    }
    Result >>= 0x03;
    Result &= 0x0FFF;
    return(Result);
}
/*-----*/

void print_LCD(char a, char *s){
    LCDWI(a);
    while(*s != 0)
        LCDWD(*s++);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
!-----Set Keypad-----
```

```
//
```

```
// for keypad 4*4 16 key
```

```
//
```

```
// use 74hc922 for encode key
```

```
//
```

```
// pin 17 A ----> P2.0
```

```
// pin 16 B ----> P2.1
```

```
// pin 15 C ----> P2.2
```

```
// pin 14 D ----> P2.3
```

```
//
```

```
// pin 12 DA ----> P3.3 interrupt 1
```

```
bit set;
```

```
bit keyflag;
```

```
static unsigned char keydata, keybuffer[6];
```

```
void shiftkeyleft(void);
```

```
void shiftkeyright(void);
```

```
void findbutton(void);
```

```
void clearkeybuffer(void);
```

```
void setkey(void);
```

```
!-----
```

```
void shiftkeyleft(void){
```

```
int i;
```

```
for(i = 5; i > 0; i--)
```

```
keybuffer[i] = keybuffer[i-1];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
//-----
void shiftkeyright(void){
    int i;
    for(i = 0; i < 5; i++)
        keybuffer[i] = keybuffer[i+1];
}
//-----
void findbutton(void){
    unsigned char temp;
    temp = keydata;
    switch(temp){
/* case 0:{ keydata = 1; shifkeyleft(); } break;
    case 1:{ keydata = 2; shifkeyleft(); } break;
    case 2:{ keydata = 3; shifkeyleft(); } break;
    case 3:{ } break;
    case 4:{ shifkeyleft(); } break;
    case 5:{ shifkeyleft(); } break;
    case 6:{ shifkeyleft(); } break;
    case 7:{ } break;
    case 8:{ keydata = 7; shifkeyleft(); } break;
    case 9:{ keydata = 8; shifkeyleft(); } break;
    case 10:{ keydata = 9; shifkeyleft(); } break;
    case 11:{ } break;
    case 12:{ shiftkeyright();} break;
    case 13:{ keydata = 0; shifkeyleft(); } break;
    case 14:{ } break;
    case 15:{ set = 1;} break;        // Enter
*/
    case 0:{ keydata = 1; shifkeyleft(); } break;
    case 1:{ keydata = 2; shifkeyleft(); } break;
    case 2:{ keydata = 3; shifkeyleft(); } break;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

case 3: { } break;

case 4: { keydata = 4; shiftkeyleft(); } break;

case 5: { keydata = 5; shiftkeyleft(); } break;

case 6: { keydata = 6; shiftkeyleft(); } break;

case 7: { } break;

case 8: { keydata = 7; shiftkeyleft(); } break;

case 9: { keydata = 8; shiftkeyleft(); } break;

case 10: { keydata = 9; shiftkeyleft(); } break;

case 11: { } break;

case 12: { shiftkeyright(); } break;

case 13: { keydata = 0; shiftkeyleft(); } break;

//case 14: { LC_CLR(); print_LC (0x80,help); msec(1500); } break;

case 15: { set = 1; } break;

}

}

//-----

void clearkeybuffer(void){

int i;

for(i = 0; i < 6; i++)

    keybuffer[i] = 0;

}

//-----

void setkey(void){

keyflag = 0;

EX1 = 1;          // Enable external interrupt1.

_nop_();_nop_();_nop_();_nop_();_nop_();

_nop_();_nop_();_nop_();_nop_();_nop_();

while(!keyflag){

    if(INT1 == 0)

    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

keydata = P1;          // xxxx DCBA
keydata &= 0x0F;      // 0000 1111
}
else
{
    EX1 = 1;
    keyflag = 0;
}
}
EX1 = 0;                // Disable external interrupt1.
}

```

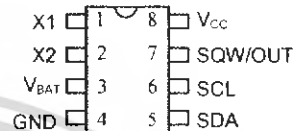


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

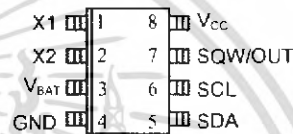
### FEATURES

- Real time clock counts seconds, minutes, hours, date of the month, month, day of the week, and year with leap year compensation valid up to 2100
- 56 byte nonvolatile RAM for data storage
- 2-wire serial interface
- Programmable squarewave output signal
- Automatic power-fail detect and switch circuitry
- Consumes less than 500 nA in battery backup mode with oscillator running
- Optional industrial temperature range -40°C to +85°C
- Available in 8-pin DIP or SOIC
- Recognized by Underwriters Laboratory

### PIN ASSIGNMENT



DS1307 8-Pin DIP (300 mil)



DS1307Z 8-Pin SOIC (150 mil)

### PIN DESCRIPTION

V <sub>CC</sub>	- Primary Power Supply
X1, X2	- 32.768 kHz Crystal Connection
V <sub>BAT</sub>	- +3V Battery Input
GND	- Ground
SDA	- Serial Data
SCL	- Serial Clock
SQW/OUT	- Square wave/Output Driver

### ORDERING INFORMATION

DS1307	8-Pin DIP
DS1307Z	8-Pin SOIC (150 mil)
DS1307N	8-Pin DIP (Industrial)
DS1307ZN	8-Pin SOIC (Industrial)

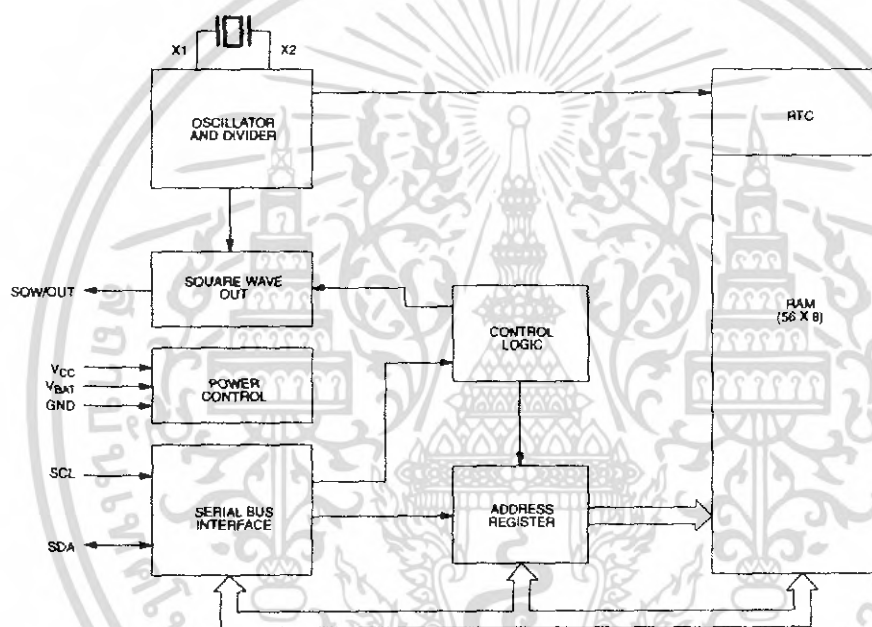
### DESCRIPTION

The DS1307 Serial Real Time Clock is a low power, full BCD clock/calendar plus 56 bytes of nonvolatile SRAM. Address and data are transferred serially via a 2-wire bi-directional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with less than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power sense circuit which detects power failures and automatically switches to the battery supply.

## OPERATION

The DS1307 operates as a slave device on the serial bus. Access is obtained by implementing a START condition and providing a device identification code followed by a register address. Subsequent registers can be accessed sequentially until a STOP condition is executed. When  $V_{CC}$  falls below  $1.25 \times V_{BAT}$  the device terminates an access in progress and resets the device address counter. Inputs to the device will not be recognized at this time to prevent erroneous data from being written to the device from an out of tolerance system. When  $V_{CC}$  falls below  $V_{BAT}$  the device switches into a low current battery backup mode. Upon power up, the device switches from battery to  $V_{CC}$  when  $V_{CC}$  is greater than  $V_{BAT} + 0.2V$  and recognizes inputs when  $V_{CC}$  is greater than  $1.25 \times V_{BAT}$ . The block diagram in Figure 1 shows the main elements of the Serial Real Time Clock.

DS1307 BLOCK DIAGRAM Figure 1



## SIGNAL DESCRIPTIONS

**V<sub>CC</sub>, GND** - DC power is provided to the device on these pins.  $V_{CC}$  is the +5 volt input. When 5 volts is applied within normal limits, the device is fully accessible and data can be written and read. When a 3-volt battery is connected to the device and  $V_{CC}$  is below  $1.25 \times V_{BAT}$ , reads and writes are inhibited. However, the Timekeeping function continues unaffected by the lower input voltage. As  $V_{CC}$  falls below  $V_{BAT}$  the RAM and timekeeper are switched over to the external power supply (nominal 3.0V DC) at  $V_{BAT}$ .

**V<sub>BAT</sub>** - Battery input for any standard 3-volt lithium cell or other energy source. Battery voltage must be held between 2.0 and 3.5 volts for proper operation. The nominal write protect trip point voltage at which access to the real time clock and user RAM is denied is set by the internal circuitry as  $1.25 \times V_{BAT}$  nominal. A lithium battery with 48 mAh or greater will back up the DS1307 for more than 10 years in the absence of power at 25 degrees C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 2 of 11 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SCL (Serial Clock Input)** - SCL is used to synchronize data movement on the serial interface.

**SDA (Serial Data Input/Output)** - SDA is the input/output pin for the 2-wire serial interface. The SDA pin is open drain which requires an external pullup resistor.

**SQW/OUT (Square Wave/ Output Driver)** - When enabled, the SQWE bit set to 1, the SQW/OUT pin outputs one of four square wave frequencies (1 Hz, 4 kHz, 8 kHz, 32 kHz). The SQW/OUT pin is open drain which requires an external pullup resistor. SQW/OUT will operate with either Vcc or Vbat applied.

**X1, X2** - Connections for a standard 32.768 kHz quartz crystal. The internal oscillator circuitry is designed for operation with a crystal having a specified load capacitance (CL) of 12.5 pF.

For more information on crystal selection and crystal layout considerations, please consult Application Note 58, "Crystal Considerations with Dallas Real Time Clocks." The DS1307 can also be driven by an external 32.768 kHz oscillator. In this configuration, the X1 pin is connected to the external oscillator signal and the X2 pin is floated.

Please review Application Note 95, "Interfacing the DS1307 with a 8051-Compatible Microcontroller" for additional information.

## RTC AND RAM ADDRESS MAP

The address map for the RTC and RAM registers of the DS1307 is shown in Figure 2. The real time clock registers are located in address locations 00h to 07h. The RAM registers are located in address locations 08h to 3Fh. During a multi-byte access, when the address pointer reaches 3Fh, the end of RAM space, it wraps around to location 00h, the beginning of the clock space.

## DS1307 ADDRESS MAP Figure 2

00H	SECONDS
	MINUTES
	HOURS
	DAY
	DATE
	MONTH
	YEAR
07H	CONTROL
08H	RAM
3FH	56 x 8

## CLOCK AND CALENDAR

The time and calendar information is obtained by reading the appropriate register bytes. The real time clock registers are illustrated in Figure 3. The time and calendar are set or initialized by writing the appropriate register bytes. The contents of the time and calendar registers are in the Binary-Coded Decimal (BCD) format. Bit 7 of Register 0 is the Clock Halt (CH) bit. When this bit is set to a 1, the oscillator is disabled. When cleared to a 0, the oscillator is enabled.

**Please note that the initial power on state of all registers is not defined. Therefore it is important to enable the oscillator (CH bit=0) during initial configuration.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานของนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The DS1307 can be run in either 12-hour or 24-hour mode. Bit 6 of the hours register is defined as the 12- or 24-hour mode select bit. When high, the 12-hour mode is selected. In the 12-hour mode, bit 5 is the AM/PM bit with logic high being PM. In the 24-hour mode, bit 5 is the second 10 hour bit (20-23 hours).

On a 2-wire START, the current time is transferred to a second set of registers. The time information is read from these secondary registers, while the clock may continue to run. This eliminates the need to re-read the registers in case of an update of the main registers during a read.

### DS1307 TIMEKEEPER REGISTERS Figure 3

BIT7								BIT0	
00H	CH	10 SECONDS			SECONDS				00-59
X		10 MINUTES			MINUTES				00-59
X	12 / 24	10 HR A/P	10 HR	HOURS				01-12 00-23	
X	X	X	X	X	DAY				1-7
X	X	10 DATE			DATE				01-28/29 01-30 01-31
X	X	X	10 MONTH	MONTH				01-12	
		10 YEAR			YEAR				00-99
07H	OUT	X	X	SQWE	X	X	RS1	RS0	

### CONTROL REGISTER

The DS1307 Control Register is used to control the operation of the SQW/OUT pin.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
OUT	X	X	SQWE	X	X	RS1	RS0

**OUT (Output control):** This bit controls the output level of the SQW/OUT pin when the square wave output is disabled. If SQWE=0, the logic level on the SQW/OUT pin is 1 if OUT=1 and is 0 if OUT=0.

**SQWE (Square Wave Enable):** This bit, when set to a logic 1, will enable the oscillator output. The frequency of the square wave output depends upon the value of the RS0 and RS1 bits.

**RS (Rate Select):** These bits control the frequency of the square wave output when the square wave output has been enabled. Table 1 lists the square wave frequencies that can be selected with the RS bits.

### SQUAREWAVE OUTPUT FREQUENCY Table 1

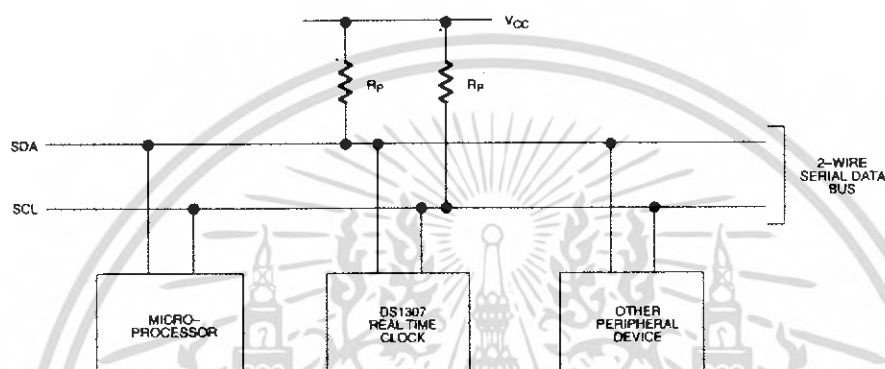
RS1	RS0	SQW OUTPUT FREQUENCY
0	0	1 Hz
0	1	4.096 kHz
1	0	8.192 kHz
1	1	32.768 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 4 of 11 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2-WIRE SERIAL DATA BUS

The DS1307 supports a bi-directional 2-wire bus and data transmission protocol. A device that sends data onto the bus is defined as a transmitter and a device receiving data as a receiver. The device that controls the message is called a master. The devices that are controlled by the master are referred to as slaves. The bus must be controlled by a master device which generates the serial clock (SCL), controls the bus access, and generates the START and STOP conditions. The DS1307 operates as a slave on the 2-wire bus. A typical bus configuration using this 2-wire protocol is shown in Figure 4.

### TYPICAL 2-WIRE BUS CONFIGURATION Figure 4



Figures 5, 6, and 7 detail how data is transferred on the 2-wire bus.

- Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.
- During data transfer, the data line must remain stable whenever the clock line is HIGH. Changes in the data line while the clock line is high will be interpreted as control signals.

Accordingly, the following bus conditions have been defined:

**Bus not busy:** Both data and clock lines remain HIGH.

**Start data transfer:** A change in the state of the data line, from HIGH to LOW, while the clock is HIGH, defines a START condition.

**Stop data transfer:** A change in the state of the data line, from LOW to HIGH, while the clock line is HIGH, defines the STOP condition.

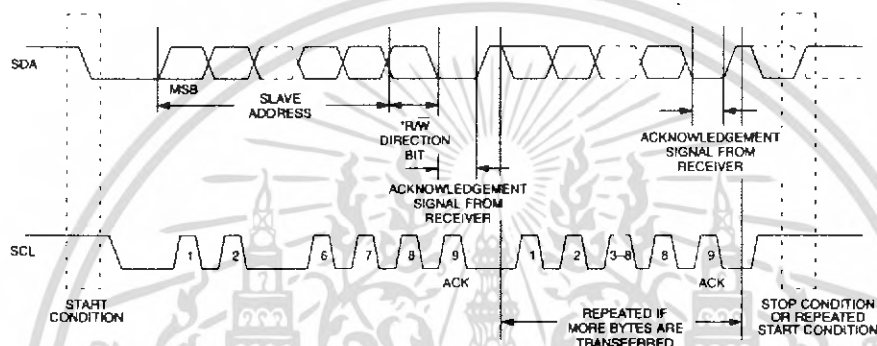
**Data valid:** The state of the data line represents valid data when, after a START condition, the data line is stable for the duration of the HIGH period of the clock signal. The data on the line must be changed during the LOW period of the clock signal. There is one clock pulse per bit of data.

Each data transfer is initiated with a START condition and terminated with a STOP condition. The number of data bytes transferred between START and STOP conditions is not limited, and is determined by the master device. The information is transferred byte-wise and each receiver acknowledges with a ninth bit. Within the 2-wire bus specifications a regular mode (100 kHz clock rate) and a fast mode (400 kHz clock rate) are defined. The DS1307 operates in the regular mode (100 kHz) only.

**Acknowledge:** Each receiving device, when addressed, is obliged to generate an acknowledge after the reception of each byte. The master device must generate an extra clock pulse which is associated with this acknowledge bit.

A device that acknowledges must pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse in such a way that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. Of course, setup and hold times must be taken into account. A master must signal an end of data to the slave by not generating an acknowledge bit on the last byte that has been clocked out of the slave. In this case, the slave must leave the data line HIGH to enable the master to generate the STOP condition.

## DATA TRANSFER ON 2-WIRE SERIAL BUS Figure 5



Depending upon the state of the R/W bit, two types of data transfer are possible:

**Data transfer from a master transmitter to a slave receiver.** The first byte transmitted by the master is the slave address. Next follows a number of data bytes. The slave returns an acknowledge bit after each received byte. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.

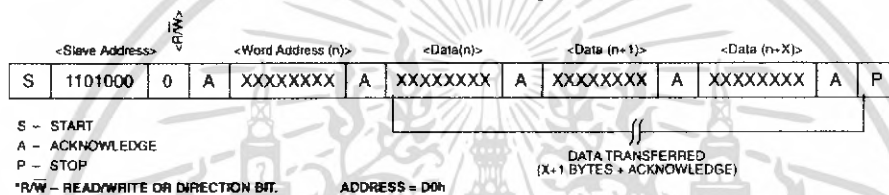
**Data transfer from a slave transmitter to a master receiver.** The first byte (the slave address) is transmitted by the master. The slave then returns an acknowledge bit. This is followed by the slave transmitting a number of data bytes. The master returns an acknowledge bit after all received bytes other than the last byte. At the end of the last received byte, a 'not acknowledge' is returned.

The master device generates all of the serial clock pulses and the START and STOP conditions. A transfer is ended with a STOP condition or with a repeated START condition. Since a repeated START condition is also the beginning of the next serial transfer, the bus will not be released. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.

The DS1307 may operate in the following two modes:

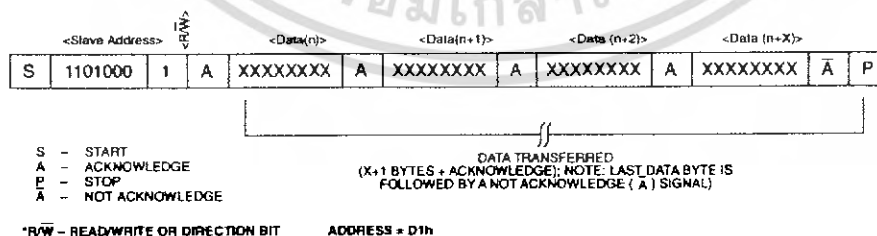
1. **Slave receiver mode (DS1307 write mode):** Serial data and clock are received through SDA and SCL. After each byte is received an acknowledge bit is transmitted. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer. Address recognition is performed by hardware after reception of the slave address and \*direction bit (See Figure 6). The address byte is the first byte received after the start condition is generated by the master. The address byte contains the 7 bit DS1307 address, which is 1101000, followed by the \*direction bit ( $\overline{R/\overline{W}}$ ) which, for a write, is a 0. After receiving and decoding the address byte the device outputs an acknowledge on the SDA line. After the DS1307 acknowledges the slave address + write bit, the master transmits a register address to the DS1307 This will set the register pointer on the DS1307. The master will then begin transmitting each byte of data with the DS1307 acknowledging each byte received. The master will generate a stop condition to terminate the data write.

### DATA WRITE - SLAVE RECEIVER MODE Figure 6



2. **Slave transmitter mode (DS1307 read mode):** The first byte is received and handled as in the slave receiver mode. However, in this mode, the \*direction bit will indicate that the transfer direction is reversed. Serial data is transmitted on SDA by the DS1307 while the serial clock is input on SCL. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer (See Figure 7). The address byte is the first byte received after the start condition is generated by the master. The address byte contains the 7-bit DS1307 address, which is 1101000, followed by the \*direction bit ( $\overline{R/\overline{W}}$ ) which, for a read, is a 1. After receiving and decoding the address byte the device inputs an acknowledge on the SDA line. The DS1307 then begins to transmit data starting with the register address pointed to by the register pointer. If the register pointer is not written to before the initiation of a read mode the first address that is read is the last one stored in the register pointer. The DS1307 must receive a Not Acknowledge to end a read.

### DATA READ - SLAVE TRANSMITTER MODE Figure 7



**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\***

Voltage on Any Pin Relative to Ground	-0.5V to +7.0V
Operating Temperature	0°C to 70°C (-40°C to 85°C for industrial)
Storage Temperature	-55°C to +125°C
Soldering Temperature	260°C for 10 seconds DIP See JPC/JEDEC Standard J-STD-020A for Surface Mount Devices

\* This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

**RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS**

(0°C to 70°C or -40°C to +85°C)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	4.5	5.0	5.5	V	1
Logic 1	V <sub>IH</sub>	2.2		V <sub>CC</sub> +0.3	V	1
Logic 0	V <sub>IL</sub>	-0.3		+0.8	V	1
V <sub>BAT</sub> Battery Voltage	V <sub>BAT</sub>	2.0		3.5	V	1

**DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**(0°C to 70°C or -40°C to +85°C; V<sub>CC</sub>=4.5V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Input Leakage	I <sub>LI</sub>			1	μA	10
I/O Leakage	I <sub>LO</sub>			1	μA	11
Logic 0 Output	V <sub>OL</sub>			0.4	V	2
Active Supply Current	I <sub>CCA</sub>			1.5	mA	9
Standby Current	I <sub>CCS</sub>			200	μA	3
Battery Current (OSC ON); SQW/OUT OFF	I <sub>BAT1</sub>		300	500	nA	4
Battery Current (OSC ON); SQW/OUT ON (32 kHz)	I <sub>BAT2</sub>		480	800	nA	4

**AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS**(0°C to 70°C or -40°C to +85°C;  $V_{CC}=4.5V$  to 5.5V)

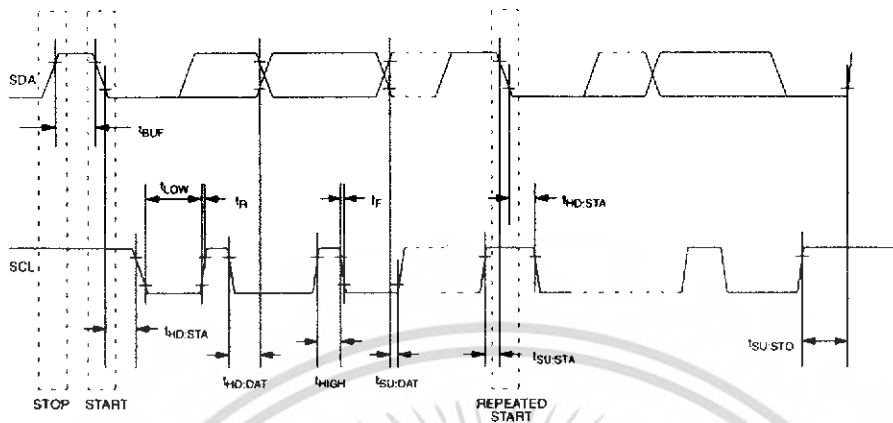
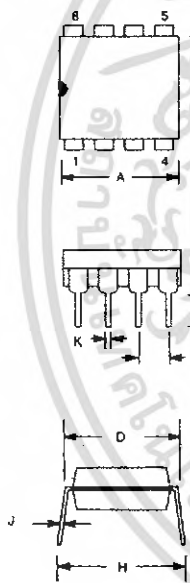
PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
SCL Clock Frequency	$f_{SCL}$	0		100	kHz	
Bus Free Time Between a STOP and START Condition	$t_{BUF}$	4.7			$\mu s$	
Hold Time (Repeated) START Condition	$t_{HD:STA}$	4.0			$\mu s$	5
LOW Period of SCL Clock	$t_{LOW}$	4.7			$\mu s$	
HIGH Period of SCL Clock	$t_{HIGH}$	4.0			$\mu s$	
Set-up Time for a Repeated START Condition	$t_{SU:STA}$	4.7			$\mu s$	
Data Hold Time	$t_{HD:DAT}$	0			$\mu s$	6, 7
Data Set-up Time	$t_{SU:DAT}$	250			ns	
Rise Time of Both SDA and SCL Signals	$t_R$			1000	ns	
Fall Time of Both SDA and SCL Signals	$t_F$			300	ns	
Set-up Time for STOP Condition	$t_{SU:STO}$	4.7			$\mu s$	
Capacitive Load for each Bus Line	$C_B$			400	pF	8
I/O Capacitance	$C_{I/O}$		10		pF	
Crystal Specified Load Capacitance			12.5		pF	

**NOTES:**

1. All voltages are referenced to ground.
2. Logic zero voltages are specified at a sink current of 5 mA at  $V_{CC}=4.5V$ ,  $V_{OL}=GND$  for capacitive loads.
3.  $I_{CCS}$  specified with  $V_{CC}=5.0V$  and SDA, SCL=5.0V.
4.  $V_{CC}=0V$ ,  $V_{BAT}=3V$ .
5. After this period, the first clock pulse is generated.
6. A device must internally provide a hold time of at least 300 ns for the SDA signal (referred to the  $V_{IHMIN}$  of the SCL signal) in order to bridge the undefined region of the falling edge of SCL.
7. The maximum  $t_{HD:DAT}$  has only to be met if the device does not stretch the LOW period ( $t_{LOW}$ ) of the SCL signal.
8.  $C_B$  - total capacitance of one bus line in pF.
9.  $I_{CCA}$  - SCL clocking at max frequency = 100 kHz.
10. SCL only.
11. SDA and SQW/OUT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 9 of 11 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

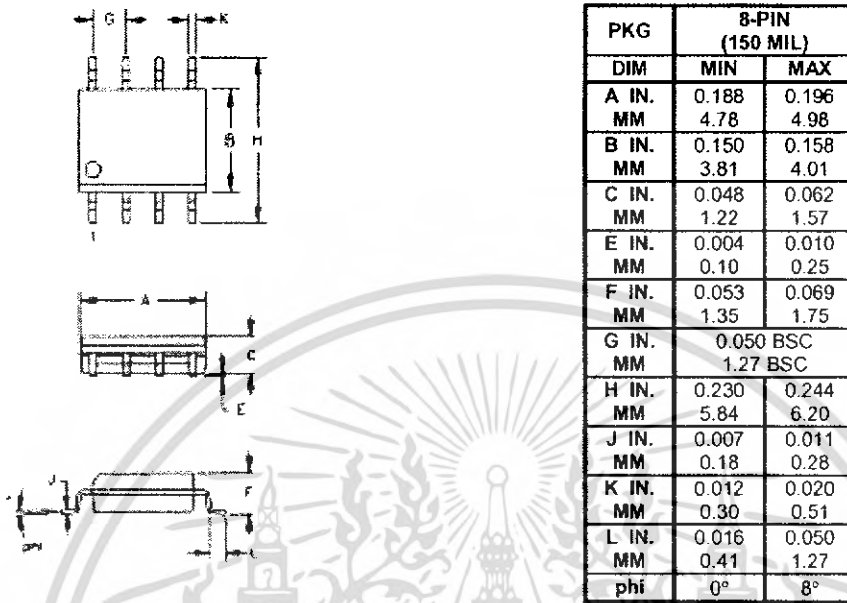
## TIMING DIAGRAM Figure 8

DS1307 64 X 8 SERIAL REAL TIME CLOCK  
3-PIN DIP MECHANICAL DIMENSIONS

PKG	8-PIN	
	MIN	MAX
A IN.	0.360	0.400
MM	9.14	10.16
B IN.	0.240	0.260
MM	6.10	6.60
C IN.	0.120	0.140
MM	3.05	3.56
D IN.	0.300	0.325
MM	7.62	8.26
E IN.	0.015	0.040
MM	0.38	1.02
F IN.	0.120	0.140
MM	3.04	3.56
G IN.	0.090	0.110
MM	2.29	2.79
H IN.	0.320	0.370
MM	8.13	9.40
J IN.	0.008	0.012
MM	0.20	0.30
K IN.	0.015	0.021
MM	0.38	0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 10 of 11 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DS1307Z 64 X 8 SERIAL REAL TIME CLOCK 8-PIN SOIC (150-MIL) MECHANICAL DIMENSIONS



56-G2008-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานใน of ศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

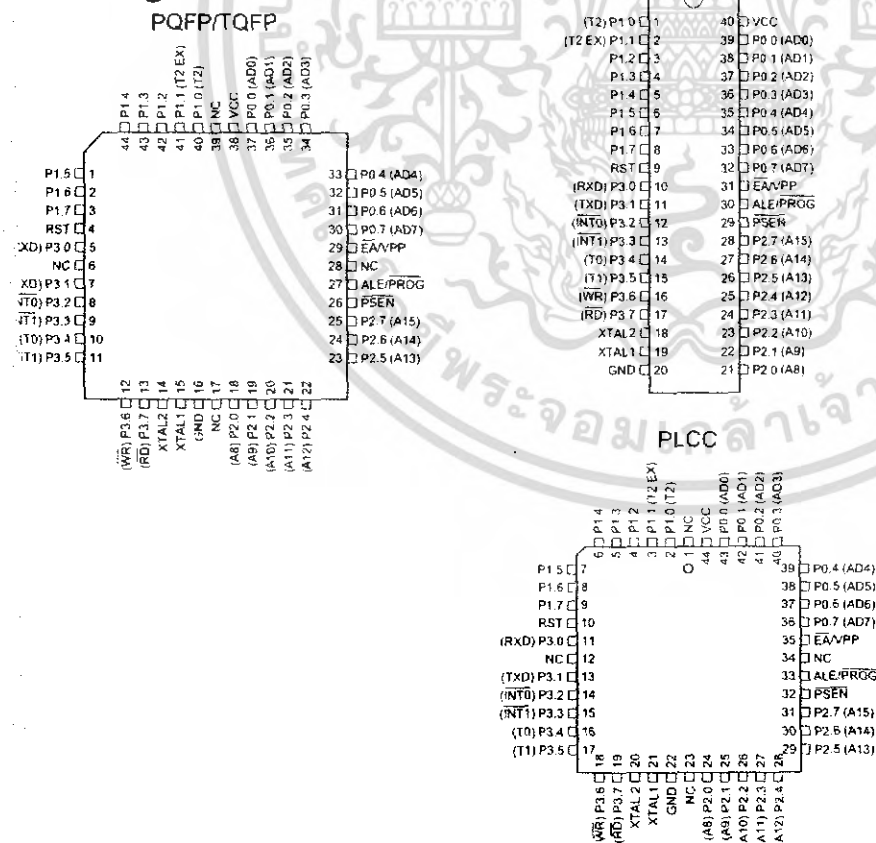
## Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 8K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
- Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Eight Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

## Description

The AT89C52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard 80C51 and 80C52 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C52 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

## Pin Configurations



**8-bit  
Microcontroller  
with 8K Bytes  
Flash**

**AT89C52**

**Not Recommended  
for New Designs.  
Use AT89S52.**

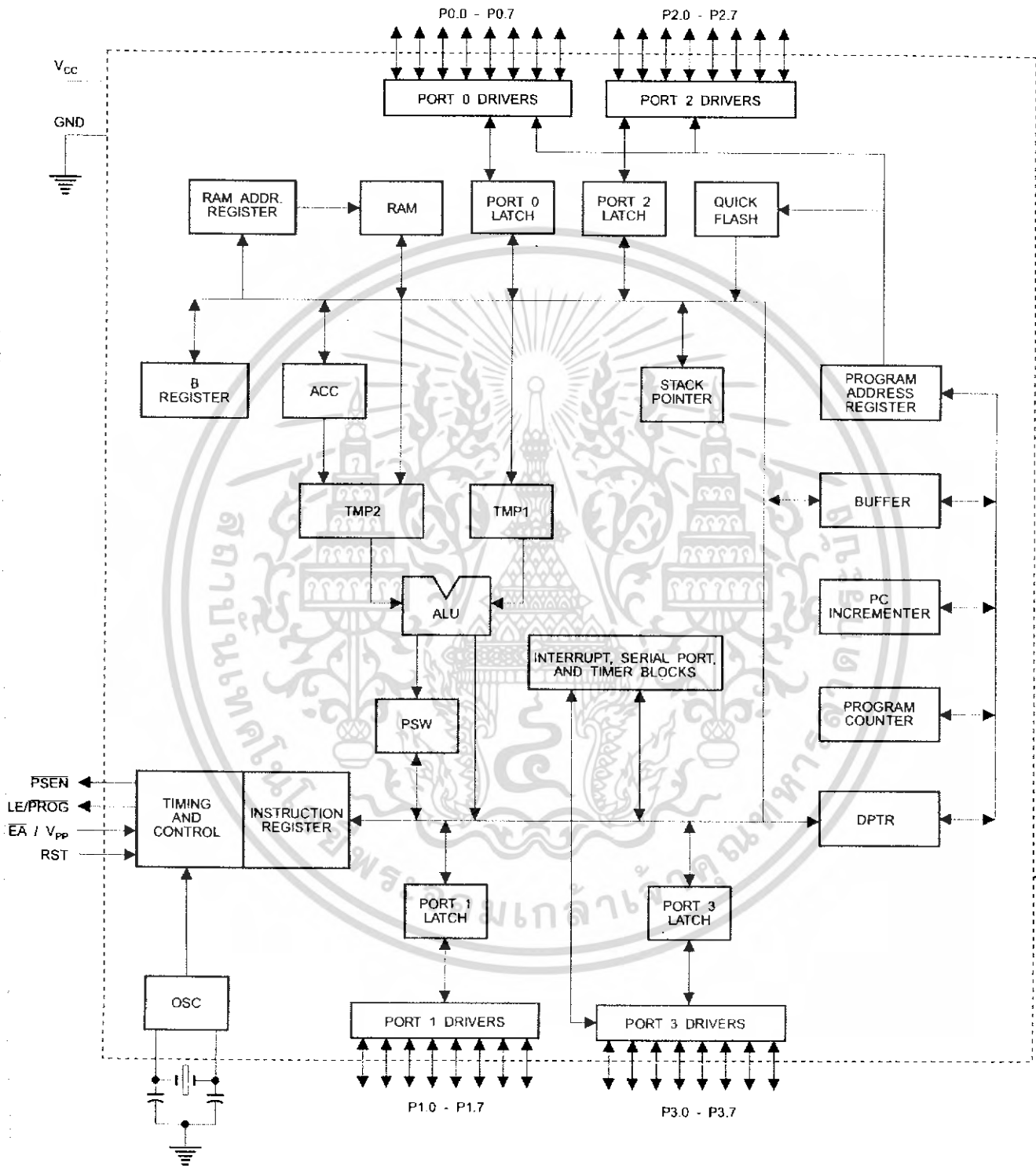
Rev. 0313H-02/00

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้เฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





### Block Diagram



### AT89C52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89C52 provides the following standard features: 8K bytes of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full-duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89C52 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next hardware reset.

## Pin Description

### VCC

Supply voltage.

### GND

Ground.

### Port 0

Port 0 is an 8-bit open drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed lower address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

### Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

In addition, P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively, as shown in the following table.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)

### Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

### Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51, as shown in the following table.

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{WR}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{RD}$ (external data memory read strobe)

### RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

### ALE/PROG

Address Latch Enable is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external



ming or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of FR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

### SEN

rogram Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C52 is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory.

### EA/VPP

External Access Enable. EA must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, EA will be internally latched on reset.

EA should be strapped to V<sub>CC</sub> for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V<sub>PP</sub>) during Flash programming when 12-volt programming is selected.

### XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

### XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Table 1. AT89C52 SFR Map and Reset Values

0F8H								0FFH
0F0H	B 00000000							0F7H
0E8H								0EFH
0E0H	ACC 00000000							0E7H
0D8H								0DFH
0D0H	PSW 00000000							0D7H
0C8H	T2CON 00000000	T2MOD XXXXXX00	RCAP2L 00000000	RCAP2H 00000000	TL2 00000000	TH2 00000000		0CFH
0C0H								0C7H
0B8H	IP XX000000							0BFH
0B0H	P3 11111111							0B7H
0A8H	IE 0X000000							0AFH
0A0H	P2 11111111							0A7H
98H	SCON 00000000	SBUF XXXXXXXX						9FH
90H	P1 11111111							97H
88H	TCON 00000000	TMOD 00000000	TL0 00000000	TL1 00000000	TH0 00000000	TH1 00000000		8FH
80H	P0 11111111	SP 00000111	DPL 00000000	DPH 00000000			PCON 0XXX0000	87H

## AT89C52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Special Function Registers

map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in Table 1.

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke

new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

**Timer 2 Registers** Control and status bits are contained in registers T2CON (shown in Table 2) and T2MOD (shown in Table 4) for Timer 2. The register pair (RCAP2H, RCAP2L) are the Capture/Reload registers for Timer 2 in 16-bit capture mode or 16-bit auto-reload mode.

**Interrupt Registers** The individual interrupt enable bits are in the IE register. Two priorities can be set for each of the six interrupt sources in the IP register.

**Table 2. T2CON – Timer/Counter 2 Control Register**

T2CON Address = 0C8H				Reset Value = 0000 0000B				
Bit Addressable								
Bit	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/T2	CP/RL2
	7	6	5	4	3	2	1	0

Symbol	Function
TF2	Timer 2 overflow flag set by a Timer 2 overflow and must be cleared by software. TF2 will not be set when either RCLK = 1 or TCLK = 1.
EXF2	Timer 2 external flag set when either a capture or reload is caused by a negative transition on T2EX and EXEN2 = 1. When Timer 2 interrupt is enabled, EXF2 = 1 will cause the CPU to vector to the Timer 2 interrupt routine. EXF2 must be cleared by software. EXF2 does not cause an interrupt in up/down counter mode (DCEN = 1).
RCLK	Receive clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its receive clock in serial port Modes 1 and 3. RCLK = 0 causes Timer 1 overflow to be used for the receive clock.
TCLK	Transmit clock enable. When set, causes the serial port to use Timer 2 overflow pulses for its transmit clock in serial port Modes 1 and 3. TCLK = 0 causes Timer 1 overflows to be used for the transmit clock.
EXEN2	Timer 2 external enable. When set, allows a capture or reload to occur as a result of a negative transition on T2EX if Timer 2 is not being used to clock the serial port. EXEN2 = 0 causes Timer 2 to ignore events at T2EX.
TR2	Start/Stop control for Timer 2. TR2 = 1 starts the timer.
C/T2	Timer or counter select for Timer 2. C/T2 = 0 for timer function. C/T2 = 1 for external event counter (falling edge triggered).
CP/RL2	Capture/Reload select. CP/RL2 = 1 causes captures to occur on negative transitions at T2EX if EXEN2 = 1. CP/RL2 = 0 causes automatic reloads to occur when Timer 2 overflows or negative transitions occur at T2EX when EXEN2 = 1. When either RCLK or TCLK = 1, this bit is ignored and the timer is forced to auto-reload on Timer 2 overflow.

## Internal Memory

The AT89C52 implements 256 bytes of on-chip RAM. The upper 128 bytes occupy a parallel address space to the Special Function Registers. That means the upper 128 bytes have the same addresses as the SFR space but are physically separate from SFR space.

When an instruction accesses an internal location above address 7FH, the address mode used in the instruction

specifies whether the CPU accesses the upper 128 bytes of RAM or the SFR space. Instructions that use direct addressing access SFR space.

For example, the following direct addressing instruction accesses the SFR at location 0A0H (which is P2).

```
MOV 0A0H, #data
```





Instructions that use indirect addressing access the upper 128 bytes of RAM. For example, the following indirect addressing instruction, where R0 contains 0A0H, accesses the data byte at address 0A0H, rather than P2 (whose address is 0A0H).

```
MOV @R0, #data
```

Note that stack operations are examples of indirect addressing, so the upper 128 bytes of data RAM are available as stack space.

## Timer 0 and 1

Timer 0 and Timer 1 in the AT89C52 operate the same way as Timer 0 and Timer 1 in the AT89C51.

## Timer 2

Timer 2 is a 16-bit Timer/Counter that can operate as either a timer or an event counter. The type of operation is selected by bit  $C/\overline{T}2$  in the SFR T2CON (shown in Table 2). Timer 2 has three operating modes: capture, auto-reload (up or down counting), and baud rate generator. The modes are selected by bits in T2CON, as shown in Table 3. Timer 2 consists of two 8-bit registers, TH2 and TL2. In the timer function, the TL2 register is incremented every machine cycle. Since a machine cycle consists of 12 oscillator periods, the count rate is 1/12 of the oscillator frequency.

Table 3. Timer 2 Operating Modes

CLK +TCLK	CP/RL2	TR2	MODE
0	0	1	16-bit Auto-reload
0	1	1	16-bit Capture
1	X	1	Baud Rate Generator
X	X	0	(Off)

In the Counter function, the register is incremented in response to a 1-to-0 transition at its corresponding external

input pin, T2. In this function, the external input is sampled during S5P2 of every machine cycle. When the samples show a high in one cycle and a low in the next cycle, the count is incremented. The new count value appears in the register during S3P1 of the cycle following the one in which the transition was detected. Since two machine cycles (24 oscillator periods) are required to recognize a 1-to-0 transition, the maximum count rate is 1/24 of the oscillator frequency. To ensure that a given level is sampled at least once before it changes, the level should be held for at least one full machine cycle.

## Capture Mode

In the capture mode, two options are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 is a 16-bit timer or counter which upon overflow sets bit TF2 in T2CON. This bit can then be used to generate an interrupt. If EXEN2 = 1, Timer 2 performs the same operation, but a 1-to-0 transition at external input T2EX also causes the current value in TH2 and TL2 to be captured into RCAP2H and RCAP2L, respectively. In addition, the transition at T2EX causes bit EXF2 in T2CON to be set. The EXF2 bit, like TF2, can generate an interrupt. The capture mode is illustrated in Figure 1.

## Auto-reload (Up or Down Counter)

Timer 2 can be programmed to count up or down when configured in its 16-bit auto-reload mode. This feature is invoked by the DCEN (Down Counter Enable) bit located in the SFR T2MOD (see Table 4). Upon reset, the DCEN bit is set to 0 so that timer 2 will default to count up. When DCEN is set, Timer 2 can count up or down, depending on the value of the T2EX pin.

# AT89C52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1. Timer in Capture Mode

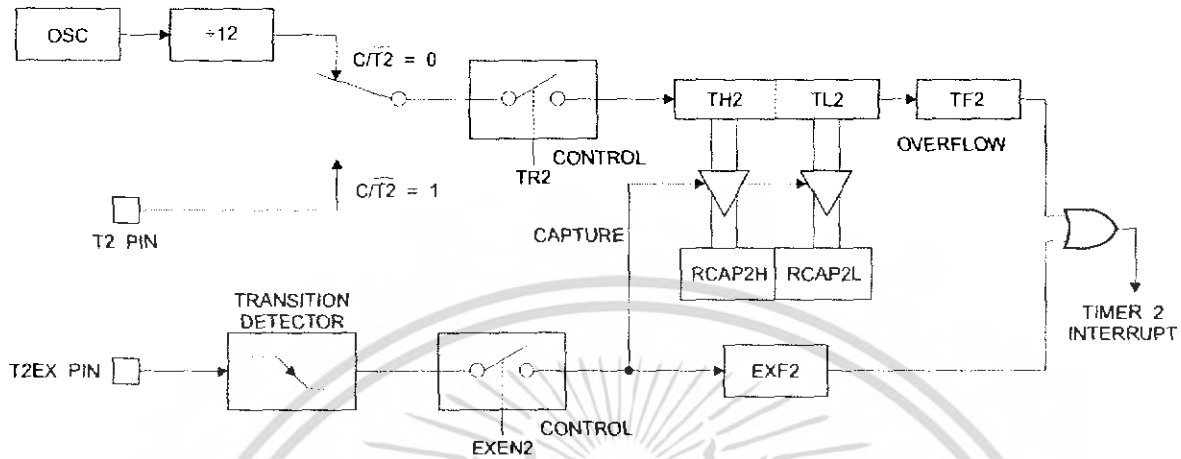


Figure 2 shows Timer 2 automatically counting up when DCEN = 0. In this mode, two options are selected by bit EXEN2 in T2CON. If EXEN2 = 0, Timer 2 counts up to 0FFFFH and then sets the TF2 bit upon overflow. The overflow also causes the timer registers to be reloaded with a 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L. The values in RCAP2H and RCAP2L are preset by software. If EXEN2 = 1, a 16-bit reload can be triggered either by an overflow or by a 1-to-0 transition at external input T2EX. This transition also sets the EXF2 bit. Both the TF2 and EXF2 bits can generate an interrupt if enabled. Setting the DCEN bit enables Timer 2 to count up or down, as shown in Figure 3. In this mode, the T2EX pin controls

the direction of the count. A logic 1 at T2EX makes Timer 2 count up. The timer will overflow at 0FFFFH and set the TF2 bit. This overflow also causes the 16-bit value in RCAP2H and RCAP2L to be reloaded into the timer registers, TH2 and TL2, respectively. A logic 0 at T2EX makes Timer 2 count down. The timer underflows when TH2 and TL2 equal the values stored in RCAP2H and RCAP2L. The underflow sets the TF2 bit and causes 0FFFFH to be reloaded into the timer registers. The EXF2 bit toggles whenever Timer 2 overflows or underflows and can be used as a 17th bit of resolution. In this operating mode, EXF2 does not flag an interrupt.



Figure 2. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 0)

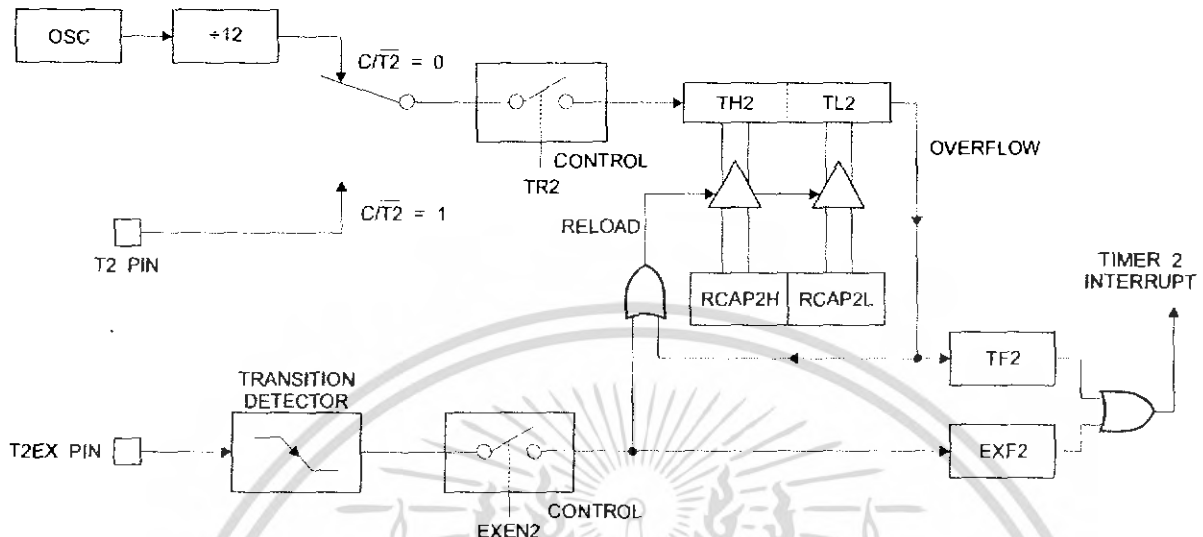


Table 4. T2MOD - Timer 2 Mode Control Register

T2MOD Address = 0C9H							Reset Value = XXXX XX00B	
Not Bit Addressable								
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	-	-	-	-	-	-	T2OE	DCEN
Symbol	Function							
	Not implemented, reserved for future							
T2OE	Timer 2 Output Enable bit.							
DCEN	When set, this bit allows Timer 2 to be configured as an up/down counter.							

## AT89C52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 3. Timer 2 Auto Reload Mode (DCEN = 1)

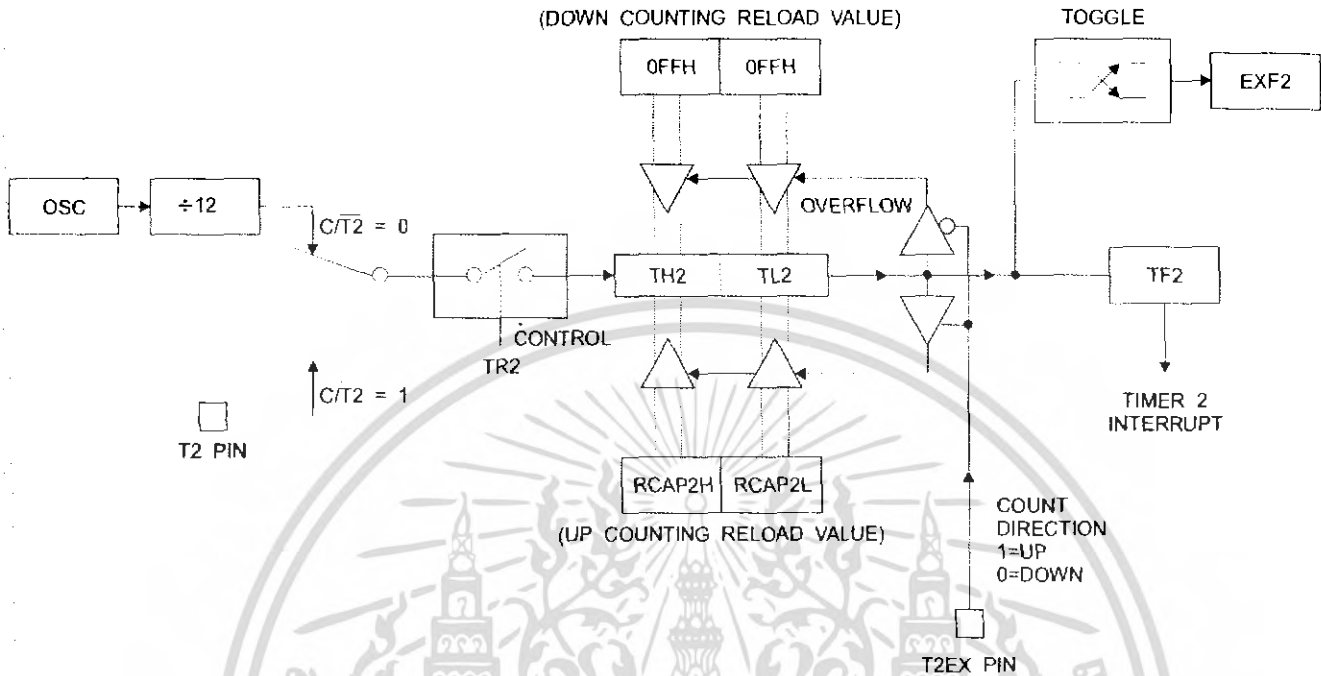
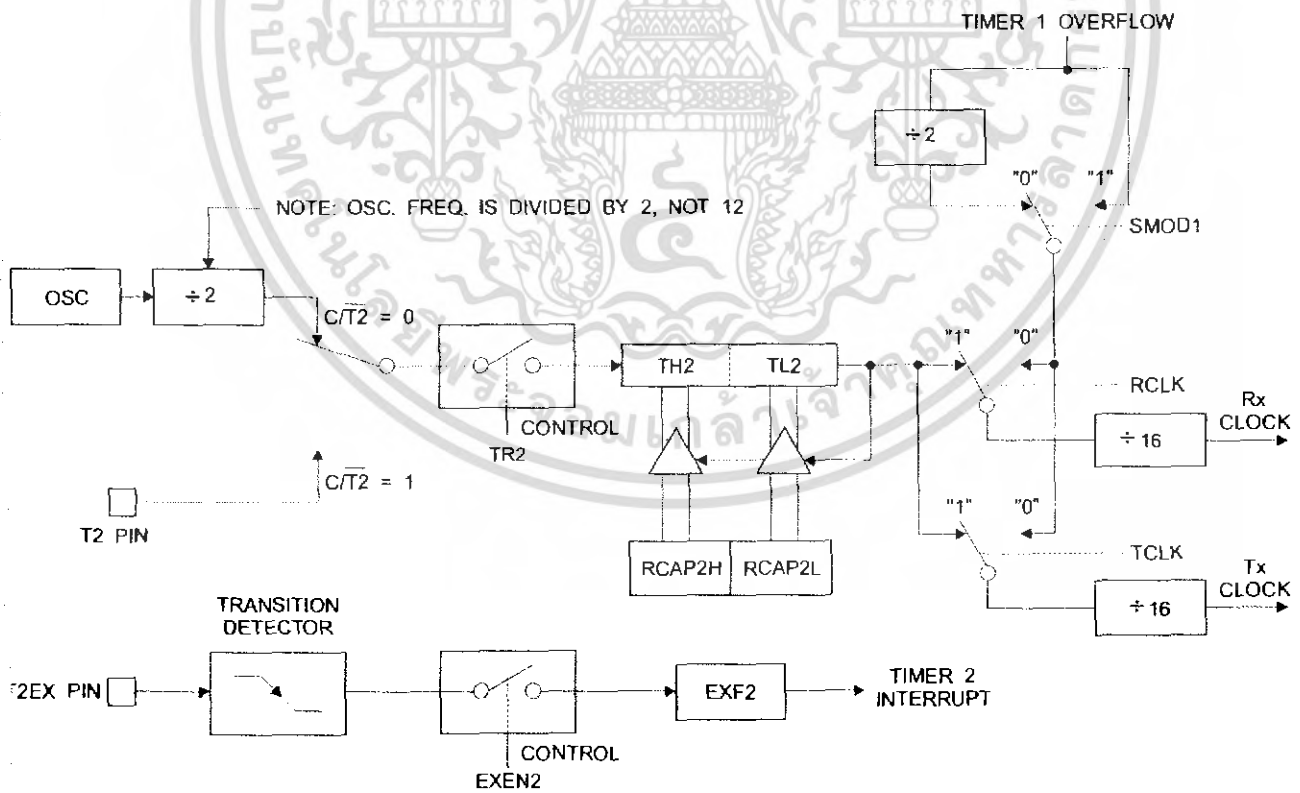


Figure 4. Timer 2 in Baud Rate Generator Mode



### Baud Rate Generator

Timer 2 is selected as the baud rate generator by setting RCLK and/or TCLK in T2CON (Table 2). Note that the baud rates for transmit and receive can be different if Timer 2 is used for the receiver or transmitter and Timer 1 is used for the other function. Setting RCLK and/or TCLK puts Timer 2 into its baud rate generator mode, as shown in Figure 4.

The baud rate generator mode is similar to the auto-reload mode, in that a rollover in TH2 causes the Timer 2 registers to be reloaded with the 16-bit value in registers RCAP2H and RCAP2L, which are preset by software.

The baud rates in Modes 1 and 3 are determined by Timer 2's overflow rate according to the following equation.

$$\text{Modes 1 and 3 Baud Rates} = \frac{\text{Timer 2 Overflow Rate}}{16}$$

The Timer can be configured for either timer or counter operation. In most applications, it is configured for timer operation ( $CP/\overline{T2} = 0$ ). The timer operation is different for Timer 2 when it is used as a baud rate generator. Normally, as a timer, it increments every machine cycle (at 1/12 the oscillator frequency). As a baud rate generator, however, it

increments every state time (at 1/2 the oscillator frequency). The baud rate formula is given below.

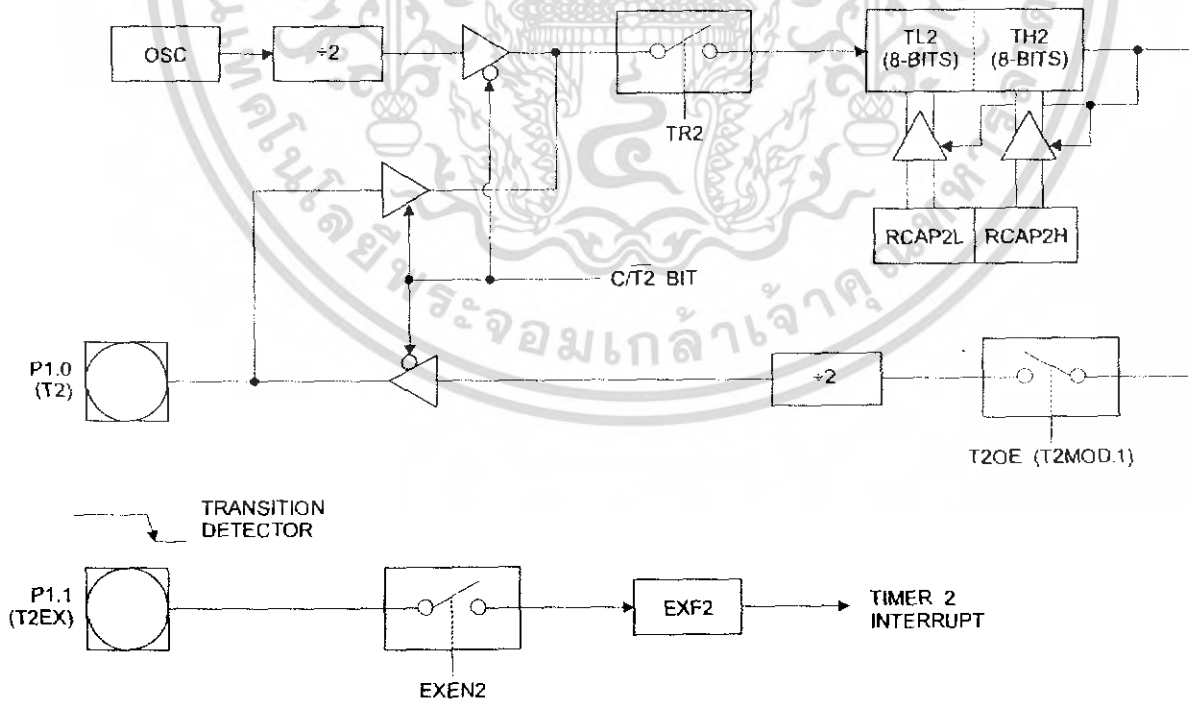
$$\frac{\text{Modes 1 and 3}}{\text{Baud Rate}} = \frac{\text{Oscillator Frequency}}{32 \times [65536 - (\text{RCAP2H}, \text{RCAP2L})]}$$

where (RCAP2H, RCAP2L) is the content of RCAP2H and RCAP2L taken as a 16-bit unsigned integer.

Timer 2 as a baud rate generator is shown in Figure 4. This figure is valid only if RCLK or TCLK = 1 in T2CON. Note that a rollover in TH2 does not set TF2 and will not generate an interrupt. Note too, that if EXEN2 is set, a 1-to-0 transition in T2EX will set EXF2 but will not cause a reload from (RCAP2H, RCAP2L) to (TH2, TL2). Thus when Timer 2 is in use as a baud rate generator, T2EX can be used as an extra external interrupt.

Note that when Timer 2 is running ( $TR2 = 1$ ) as a timer in the baud rate generator mode, TH2 or TL2 should not be read from or written to. Under these conditions, the Timer is incremented every state time, and the results of a read or write may not be accurate. The RCAP2 registers may be read but should not be written to, because a write might overlap a reload and cause write and/or reload errors. The timer should be turned off (clear TR2) before accessing the Timer 2 or RCAP2 registers.

Figure 5. Timer 2 in Clock-out Mode



## AT89C52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Programmable Clock Out

A 50% duty cycle clock can be programmed to come out on I/O pin 1.0, as shown in Figure 5. This pin, besides being a regular I/O pin, has two alternate functions. It can be programmed to input the external clock for Timer/Counter 2 or to output a 50% duty cycle clock ranging from 61 Hz to 4 kHz at a 16 MHz operating frequency.

To configure the Timer/Counter 2 as a clock generator, bit T2OE (T2MOD.1) must be cleared and bit TR2 (T2CON.2) must be set. Bit TR2 (T2CON.2) starts and stops the timer. The clock-out frequency depends on the oscillator frequency and the reload value of Timer 2 capture registers (RCAP2H, RCAP2L), as shown in the following equation.

$$\text{Clock-Out Frequency} = \frac{\text{Oscillator Frequency}}{4 \times [65536 - (\text{RCAP2H}, \text{RCAP2L})]}$$

In the clock-out mode, Timer 2 roll-overs will not generate an interrupt. This behavior is similar to when Timer 2 is used as a baud-rate generator. It is possible to use Timer 2 as a baud-rate generator and a clock generator simultaneously. Note, however, that the baud-rate and clock-out frequencies cannot be determined independently from one another since they both use RCAP2H and RCAP2L.

## UART

The UART in the AT89C52 operates the same way as the UART in the AT89C51.

## Interrupts

The AT89C52 has a total of six interrupt vectors: two external interrupts (INT0 and INT1), three timer interrupts (Timers 0, 1, and 2), and the serial port interrupt. These interrupts are all shown in Figure 6.

Each of these interrupt sources can be individually enabled or disabled by setting or clearing a bit in Special Function Register IE. IE also contains a global disable bit, EA, which enables all interrupts at once.

Note that Table 5 shows that bit position IE.6 is unimplemented. In the AT89C51, bit position IE.5 is also unimplemented. User software should not write 1s to these bit positions, since they may be used in future AT89 products.

Timer 2 interrupt is generated by the logical OR of bits TF2 and EXF2 in register T2CON. Neither of these flags is cleared by hardware when the service routine is vectored to. In fact, the service routine may have to determine whether it was TF2 or EXF2 that generated the interrupt, and that bit will have to be cleared in software.

Timer 0 and Timer 1 flags, TF0 and TF1, are set at the end of the cycle in which the timers overflow. The values are then polled by the circuitry in the next cycle. However,

the Timer 2 flag, TF2, is set at S2P2 and is polled in the same cycle in which the timer overflows.

**Table 5. Interrupt Enable (IE) Register**

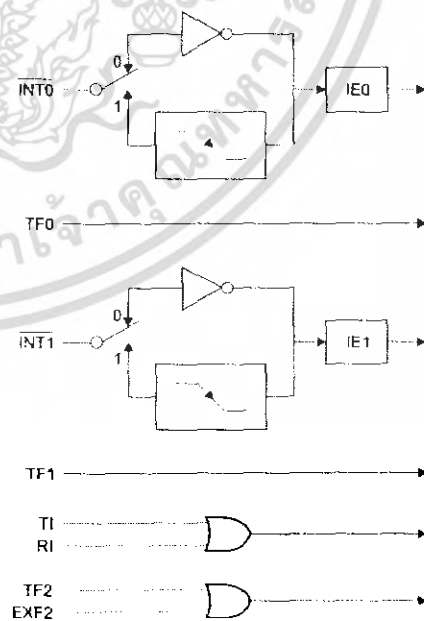
(MSB)								(LSB)
EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0	
Enable Bit = 1 enables the interrupt.								
Enable Bit = 0 disables the interrupt.								

Symbol	Position	Function
EA	IE.7	Disables all interrupts. If EA = 0, no interrupt is acknowledged. If EA = 1, each interrupt source is individually enabled or disabled by setting or clearing its enable bit.
-	IE.6	Reserved.
ET2	IE.5	Timer 2 interrupt enable bit.
ES	IE.4	Serial Port interrupt enable bit.
ET1	IE.3	Timer 1 interrupt enable bit.
EX1	IE.2	External interrupt 1 enable bit.
ET0	IE.1	Timer 0 interrupt enable bit.
EX0	IE.0	External interrupt 0 enable bit.

User software should never write 1s to unimplemented bits, because they may be used in future AT89 products.

**Figure 6. Interrupt Sources**





## Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier that can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 7. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left disconnected while XTAL1 is driven, as shown in Figure 8. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

## Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

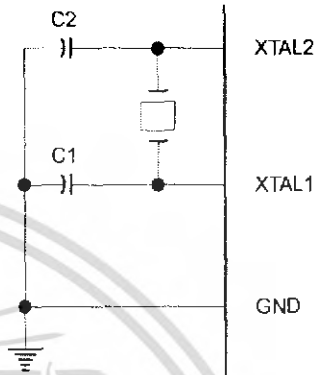
Note that when idle mode is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution from where it left off, up to two machine cycles before the external reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when idle mode is terminated by a reset, the instruction following the one that invokes idle mode should not write to a port pin or to external memory.

## Power-down Mode

In the power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before  $V_{CC}$

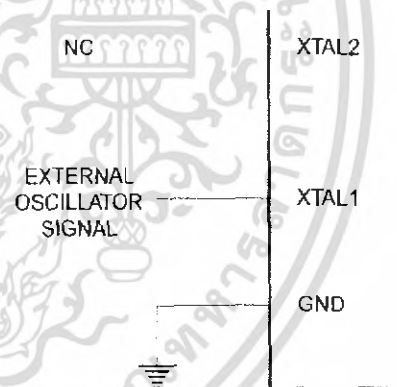
is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Figure 7. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF  $\pm$  10 pF for Crystals  
= 40 pF  $\pm$  10 pF for Ceramic Resonators

Figure 8. External Clock Drive Configuration



## Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

Mode	Program Memory	ALE	$\overline{PSEN}$	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power-down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power-down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

## AT89C52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Program Memory Lock Bits

The AT89C52 has three lock bits that can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the following table.

### Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				Protection Type
LB1	LB2	LB3		
1	U	U	U	No program lock features.
2	P	U	U	MOV <sub>C</sub> instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, $\overline{EA}$ is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash memory is disabled.
3	P	P	U	Same as mode 2, but verify is also disabled.
4	P	P	P	Same as mode 3, but external execution is also disabled.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the  $\overline{EA}$  pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value and holds that value until reset is activated. The latched value of  $\overline{EA}$  must agree with the current logic level of that pin in order for the device to function properly.

## Programming the Flash

The AT89C52 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage ( $V_{PP}$ ) program enable signal. The Low-voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C52 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C52 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective side marking and device signature codes are listed in the following table.

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Side Mark	AT89C52 xxxx yyww	AT89C52 xxxx - 5 yyww

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 52H (032H) = FFH	(030H) = 1EH (031H) = 52H (032H) = 05H

The AT89C52 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.

**Programming Algorithm** Before programming the AT89C52, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figure 9 and Figure 10. To program the AT89C52, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise  $\overline{EA}/V_{PP}$  to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse ALE/ $\overline{PROG}$  once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

**Data Polling** The AT89C52 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written data on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data is valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

**Ready/Busy** The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/ $\overline{BSY}$  output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate  $\overline{BUSY}$ . P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

**Program Verify** If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

**Chip Erase** The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding ALE/ $\overline{PROG}$  low for 10 ms. The code array is written with all 1s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be reprogrammed.





**Reading the Signature Bytes** The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

- (030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (031H) = 52H indicates 89C52
- (032H) = FFH indicates 12V programming
- (032H) = 05H indicates 5V programming

## Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written, and the entire array can be erased, by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

## Flash Programming Modes

Mode	RST	PSEN	ALE/PROG	EA/V <sub>pp</sub>	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data	H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data	H	L	H	L	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H	L		H/12V	H	H	H
	Bit - 2	H	L		H/12V	H	H	L
	Bit - 3	H	L		H/12V	H	L	L
Chip Erase	H	L	(1)	H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte	H	L	H	L	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

## AT89C52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 9. Programming the Flash Memory

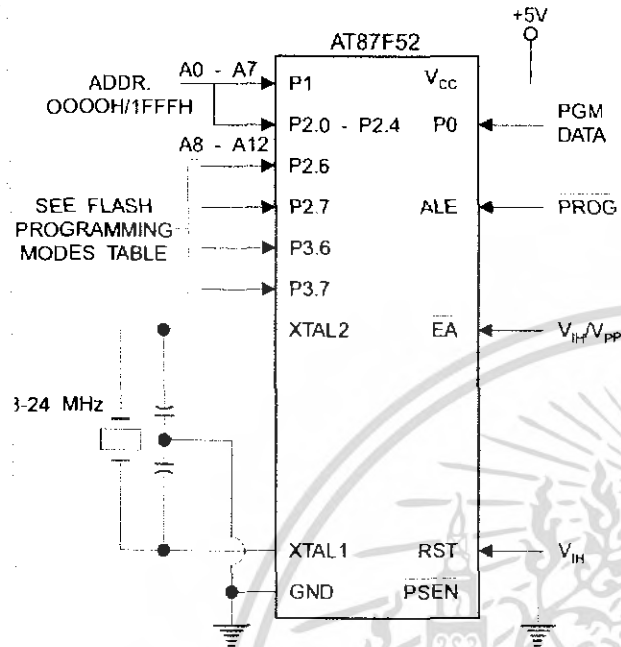
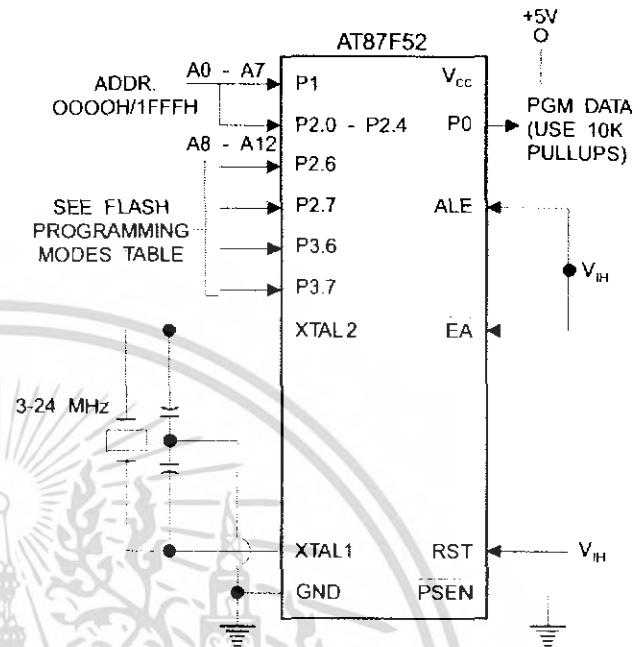


Figure 10. Verifying the Flash Memory



## Flash Programming and Verification Characteristics

$T = 0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$V_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
$I_P^{(1)}$	Programming Enable Current		1.0	mA
$f_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3	24	MHz
$t_{VGL}$	Address Setup to $\overline{PROG}$ Low	$48t_{CLCL}$		
$t_{HAX}$	Address Hold after $\overline{PROG}$	$48t_{CLCL}$		
$t_{VGL}$	Data Setup to $\overline{PROG}$ Low	$48t_{CLCL}$		
$t_{HDX}$	Data Hold After $\overline{PROG}$	$48t_{CLCL}$		
$t_{ASH}$	P2.7 (ENABLE) High to $V_{PP}$	$48t_{CLCL}$		
$t_{VGL}$	$V_{PP}$ Setup to $\overline{PROG}$ Low	10		$\mu\text{s}$
$t_{HSL}^{(1)}$	$V_{PP}$ Hold after $\overline{PROG}$	10		$\mu\text{s}$
$t_{PGH}$	$\overline{PROG}$ Width	1	110	$\mu\text{s}$
$t_{QV}$	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
$t_{QV}$	ENABLE Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
$t_{IQZ}$	Data Float after $\overline{ENABLE}$	0	$48t_{CLCL}$	
$t_{HBL}$	$\overline{PROG}$ High to $\overline{BUSY}$ Low		1.0	$\mu\text{s}$
$t_{BWC}$	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

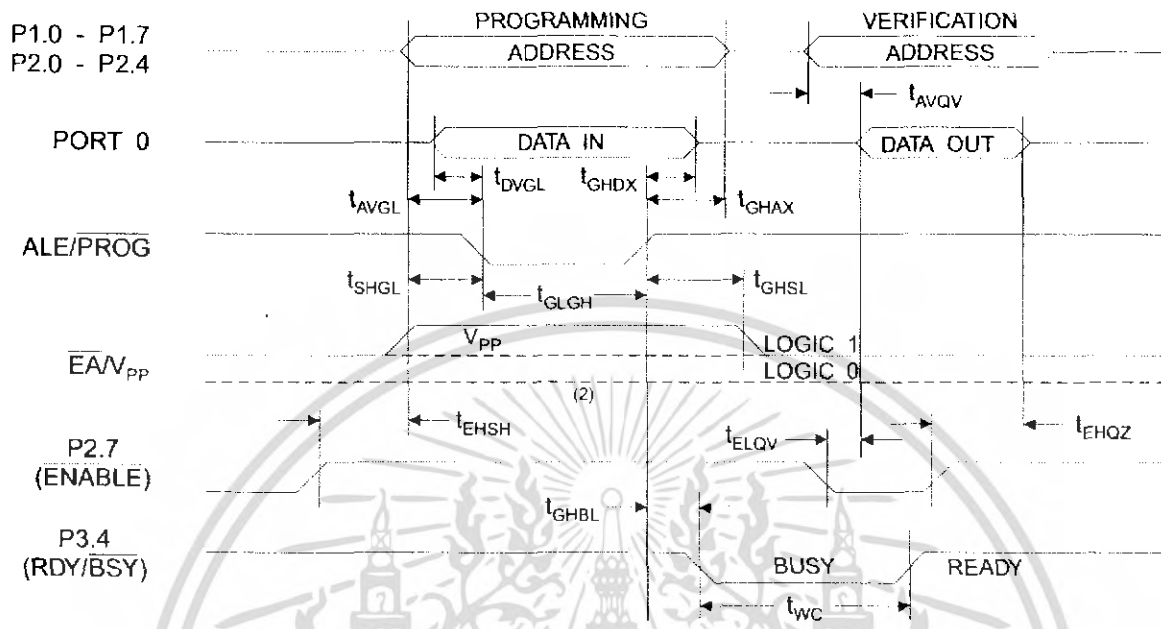
1. Only used in 12-volt programming mode.



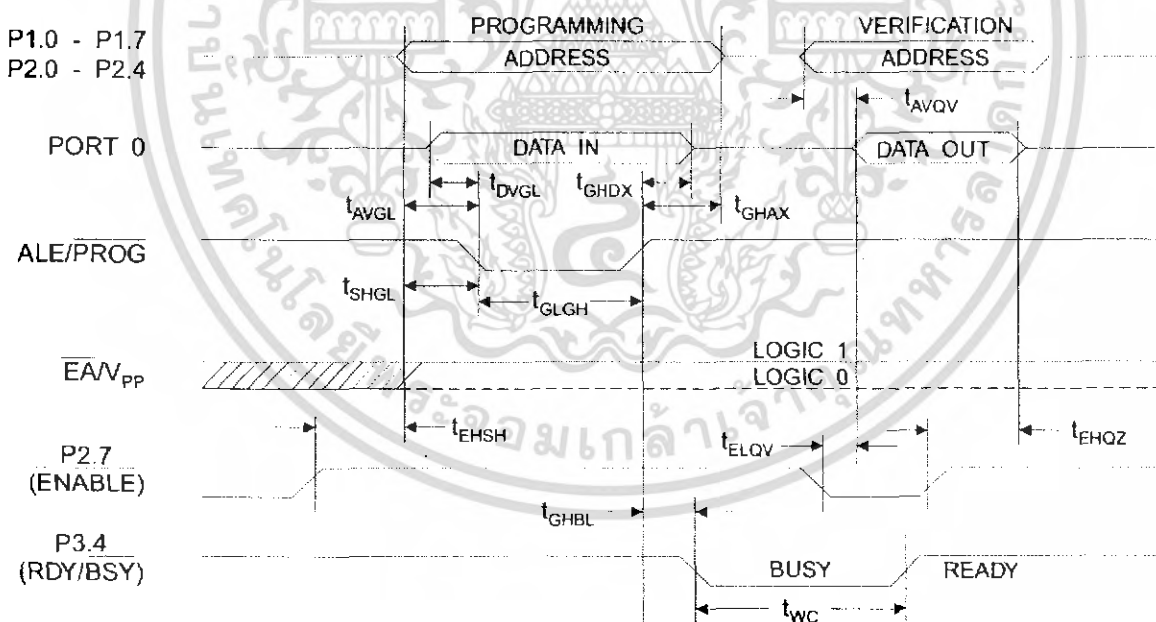
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในบริษัทฯ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Flash Programming and Verification Waveforms - High-voltage Mode ( $V_{PP}=12V$ )



## Flash Programming and Verification Waveforms - Low-voltage Mode ( $V_{PP}=5V$ )



## AT89C52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings\*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground.....	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.6V
DC Output Current.....	15.0 mA

\*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

## DC Characteristics

The values shown in this table are valid for  $T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$  and  $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$ , unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
$V_{IL}$	Input Low-voltage	(Except $\bar{E}A$ )	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
$V_{IL1}$	Input Low-voltage ( $\bar{E}A$ )		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
$V_{IH}$	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
$V_{IH1}$	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
$V_{OL}$	Output Low-voltage <sup>(1)</sup> (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
$V_{OL1}$	Output Low-voltage <sup>(1)</sup> (Port 0, ALE, PSEN)	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
$V_{OH}$	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, PSEN)	$I_{OH} = -60 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
$V_{OH1}$	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
$I_{IN}$	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	$\mu\text{A}$
$I_{IT}$	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}, V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	$\mu\text{A}$
$I_{IL}$	Input Leakage Current (Port 0, $\bar{E}A$ )	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		$\pm 10$	$\mu\text{A}$
RST	Reset Pull-down Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
$C_{IO}$	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
$I_{CC}$	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		25	mA
		Idle Mode, 12 MHz		6.5	mA
	Power-down Mode <sup>(1)</sup>	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	$\mu\text{A}$
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	$\mu\text{A}$

- Notes:
- Under steady state (non-transient) conditions,  $I_{OL}$  must be externally limited as follows:  
 Maximum  $I_{OL}$  per port pin: 10 mA  
 Maximum  $I_{OL}$  per 8-bit port:  
 Port 0: 26 mA      Ports 1, 2, 3: 15 mA  
 Maximum total  $I_{OL}$  for all output pins: 71 mA  
 If  $I_{OL}$  exceeds the test condition,  $V_{OL}$  may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
  - Minimum  $V_{CC}$  for Power-down is 2V.





## AC Characteristics

Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/PROG, and PSEN = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

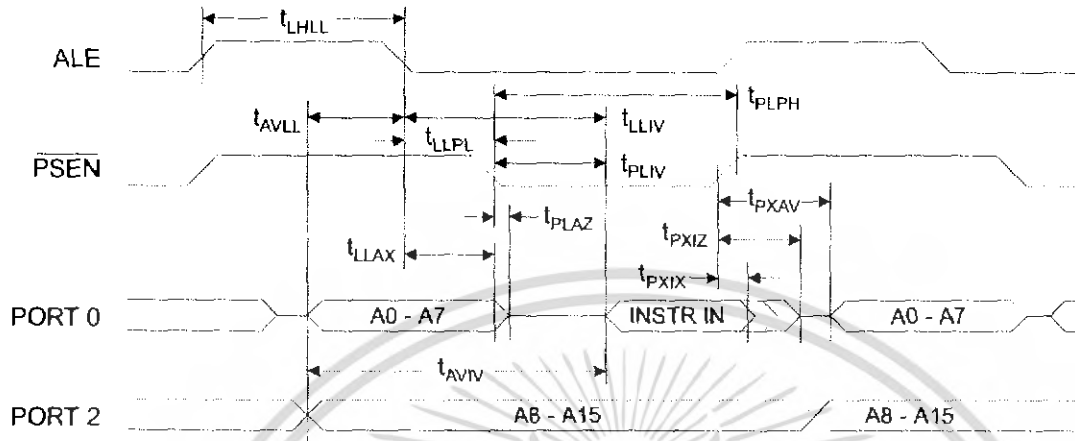
### External Program and Data Memory Characteristics

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$f_{CLCL}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
$t_{HLL}$	ALE Pulse Width	127		$2t_{CLCL}-40$		ns
$t_{AVLL}$	Address Valid to ALE Low	43		$t_{CLCL}-13$		ns
$t_{LAX}$	Address Hold After ALE Low	48		$t_{CLCL}-20$		ns
$t_{LIV}$	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{CLCL}-65$	ns
$t_{LPL}$	ALE Low to PSEN Low	43		$t_{CLCL}-13$		ns
$t_{PLPH}$	PSEN Pulse Width	205		$3t_{CLCL}-20$		ns
$t_{PLIV}$	PSEN Low to Valid Instruction In		145		$3t_{CLCL}-45$	ns
$t_{PIX}$	Input Instruction Hold after PSEN	0		0		ns
$t_{PIZ}$	Input Instruction Float after PSEN		59		$t_{CLCL}-10$	ns
$t_{PAX}$	PSEN to Address Valid	75		$t_{CLCL}-8$		ns
$t_{PVI}$	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{CLCL}-55$	ns
$t_{LAZ}$	PSEN Low to Address Float		10		10	ns
$t_{LRH}$	RD Pulse Width	400		$6t_{CLCL}-100$		ns
$t_{LWH}$	WR Pulse Width	400		$6t_{CLCL}-100$		ns
$t_{LDV}$	RD Low to Valid Data In		252		$5t_{CLCL}-90$	ns
$t_{LDX}$	Data Hold After RD	0		0		ns
$t_{LDZ}$	Data Float After RD		97		$2t_{CLCL}-28$	ns
$t_{LDV}$	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{CLCL}-150$	ns
$t_{LDV}$	Address to Valid Data In		585		$9t_{CLCL}-165$	ns
$t_{LWL}$	ALE Low to RD or WR Low	200	300	$3t_{CLCL}-50$	$3t_{CLCL}+50$	ns
$t_{LWL}$	Address to RD or WR Low	203		$4t_{CLCL}-75$		ns
$t_{LWX}$	Data Valid to WR Transition	23		$t_{CLCL}-20$		ns
$t_{LWH}$	Data Valid to WR High	433		$7t_{CLCL}-120$		ns
$t_{LDX}$	Data Hold After WR	33		$t_{CLCL}-20$		ns
$t_{LAZ}$	RD Low to Address Float		0		0	ns
$t_{LH}$	RD or WR High to ALE High	43	123	$t_{CLCL}-20$	$t_{CLCL}+25$	ns

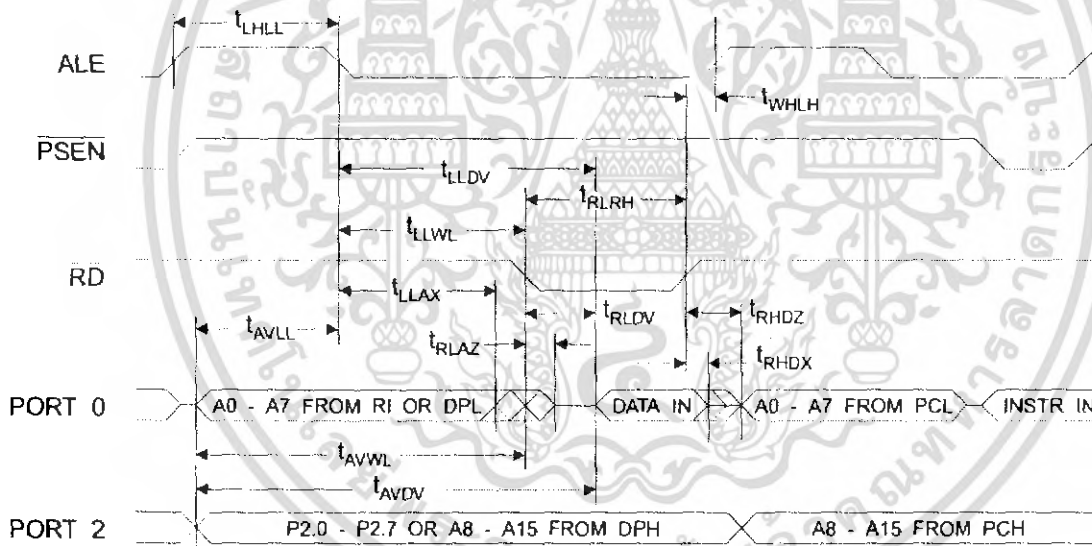
## AT89C52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

External Program Memory Read Cycle



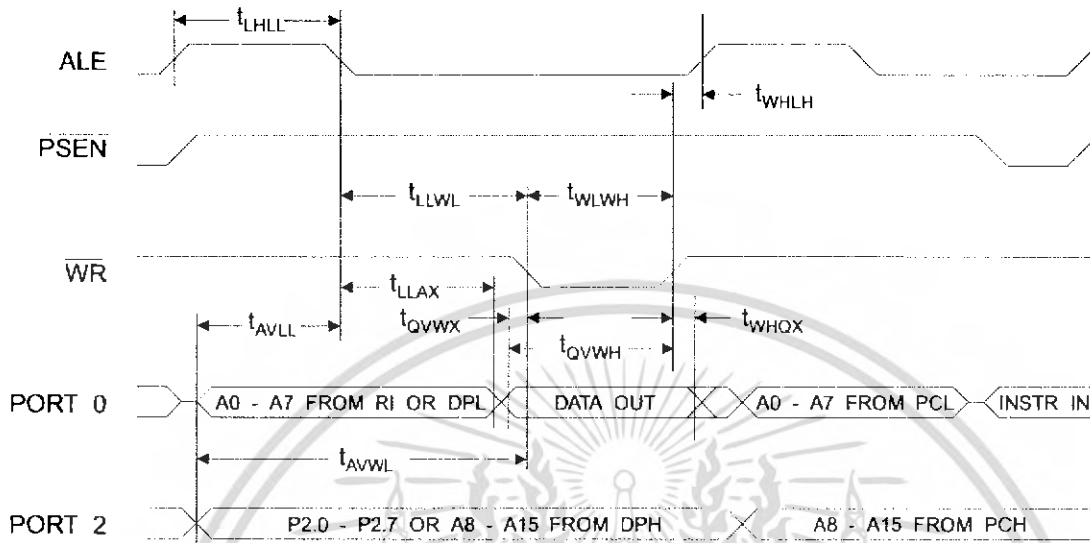
External Data Memory Read Cycle



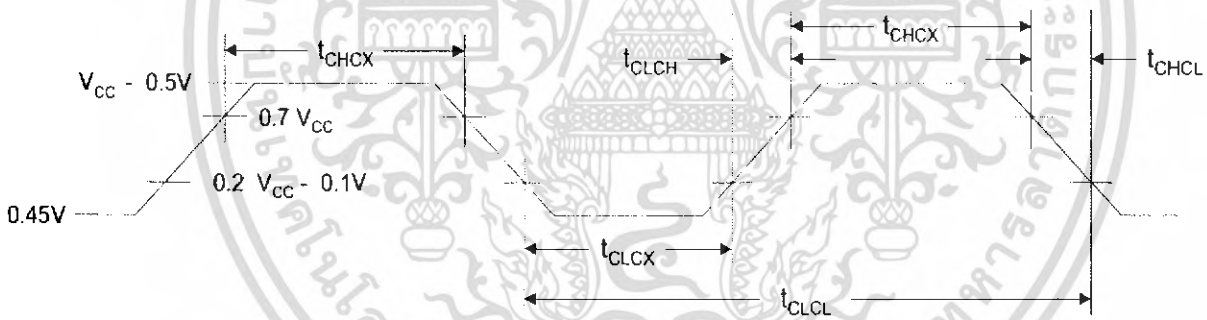
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### External Data Memory Write Cycle



### External Clock Drive Waveforms



### External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$f_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
$T_{CL}$	Clock Period	41.6		ns
$t_{CHCX}$	High Time	15		ns
$t_{CLCX}$	Low Time	15		ns
$t_{CHCL}$	Rise Time		20	ns
$t_{CLCL}$	Fall Time		20	ns

## AT89C52

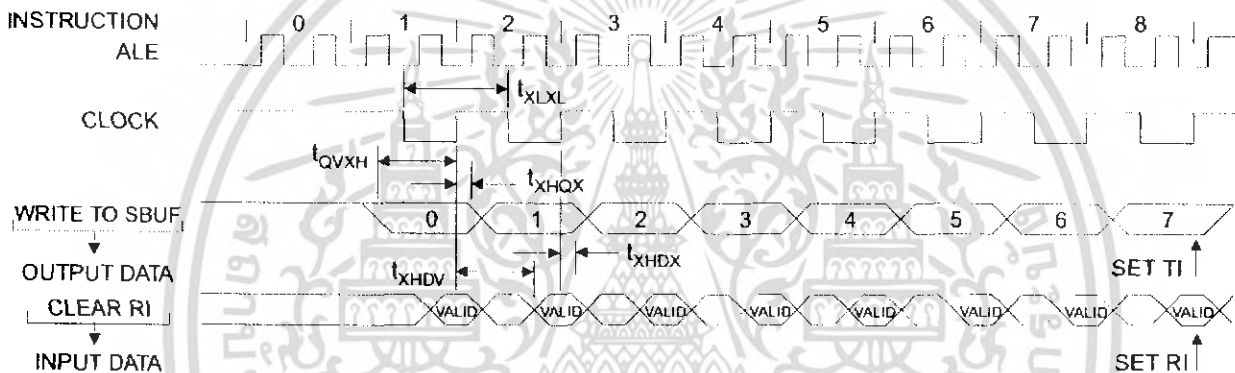
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

The values in this table are valid for  $V_{CC} = 5.0V \pm 20\%$  and Load Capacitance = 80 pF.

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$t_{XLXL}$	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		$\mu s$
$t_{QVXH}$	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL} - 133$		ns
$t_{XHGX}$	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL} - 117$		ns
$t_{XHDX}$	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
$t_{XHDV}$	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL} - 133$	ns

## Shift Register Mode Timing Waveforms



## Testing Input/Output Waveforms (1)

## Float Waveforms (1)



1. AC Inputs during testing are driven at  $V_{CC} - 0.5V$  for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at  $V_{IH}$  min. for a logic 1 and  $V_{IL}$  max. for a logic 0.

- Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when a 100 mV change from the loaded  $V_{OH}/V_{OL}$  level occurs.





## Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range	
12	5V ± 20%	AT89C52-12AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)	
		AT89C52-12JC	44J		
		AT89C52-12PC	40P6		
		AT89C52-12QC	44Q		
			AT89C52-12AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
			AT89C52-12JI	44J	
			AT89C52-12PI	40P6	
			AT89C52-12QI	44Q	
16	5V ± 20%	AT89C52-16AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)	
		AT89C52-16JC	44J		
		AT89C52-16PC	40P6		
		AT89C52-16QC	44Q		
			AT89C52-16AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
			AT89C52-16JI	44J	
			AT89C52-16PI	40P6	
			AT89C52-16QI	44Q	
20	5V ± 20%	AT89C52-20AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)	
		AT89C52-20JC	44J		
		AT89C52-20PC	40P6		
		AT89C52-20QC	44Q		
			AT89C52-20AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
			AT89C52-20JI	44J	
			AT89C52-20PI	40P6	
			AT89C52-20QI	44Q	
24	5V ± 20%	AT89C52-24AC	44A	Commercial (0° C to 70° C)	
		AT89C52-24JC	44J		
		AT89C52-24PC	40P6		
		AT89C52-24QC	44Q		
			AT89C52-24AI	44A	Industrial (-40° C to 85° C)
			AT89C52-24JI	44J	
			AT89C52-24PI	40P6	
			AT89C52-24QI	44Q	

### Package Type

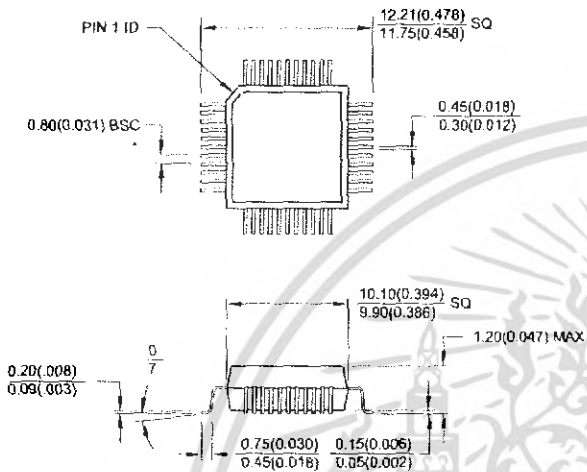
4A	44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
4J	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
4P6	40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
4Q	44-lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)

## AT89C52

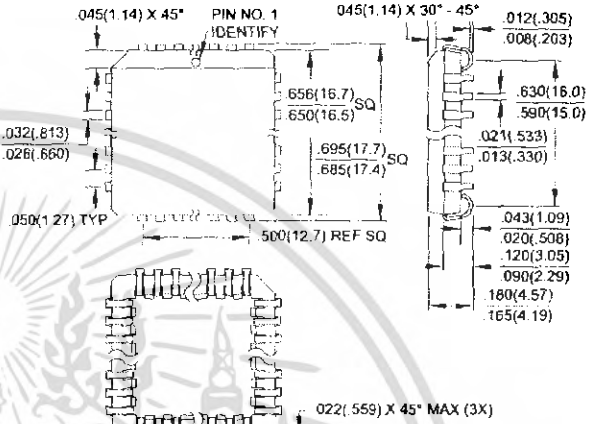
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Packaging Information**

**44A, 44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)**  
 Dimensions in Millimeters and (Inches)\*  
 JEDEC STANDARD MS-026 ACB

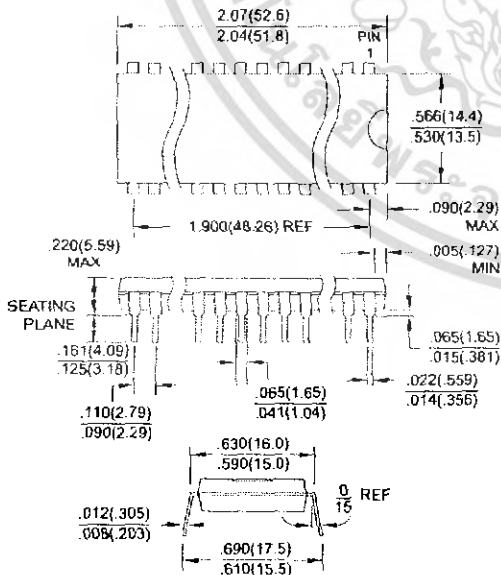


**44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)**  
 Dimensions in Inches and (Millimeters)  
 JEDEC STANDARD MS-018 AC

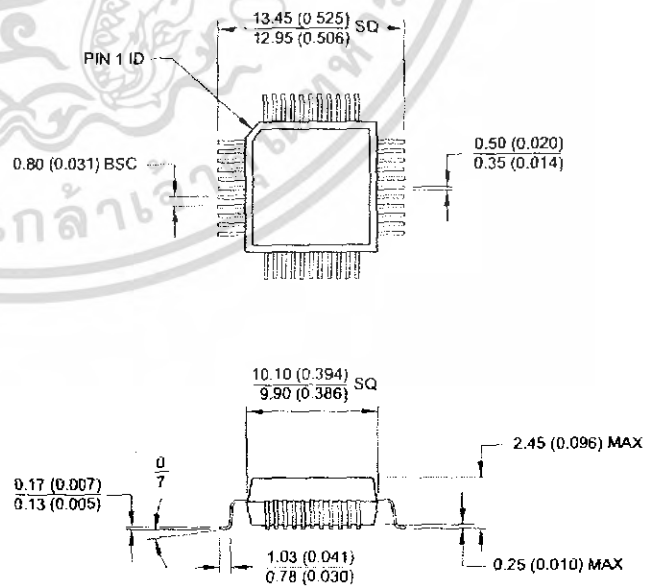


Controlling dimension: millimeters

**40P6, 40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)**  
 Dimensions in Inches and (Millimeters)



**44Q, 44-lead, Plastic Quad Flat Package (PQFP)**  
 Dimensions in Millimeters and (Inches)\*  
 JEDEC STANDARD MS-022 AB



Controlling dimension: millimeters



## Atmel Headquarters

**Corporate Headquarters**  
 2325 Orchard Parkway  
 San Jose, CA 95131  
 TEL (408) 441-0311  
 FAX (408) 487-2600

### Europe

Atmel U.K., Ltd.  
 Coliseum Business Centre  
 Riverside Way  
 Camberley, Surrey GU15 3YL  
 England  
 TEL (44) 1276-686-677  
 FAX (44) 1276-686-697

### Asia

Atmel Asia, Ltd.  
 Room 1219  
 Chinachem Golden Plaza  
 77 Mody Road Tsimhatsui  
 East Kowloon  
 Hong Kong  
 TEL (852) 2721-9778  
 FAX (852) 2722-1369

### Japan

Atmel Japan K.K.  
 9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.  
 1-24-8 Shinkawa  
 Chuo-ku, Tokyo 104-0033  
 Japan  
 TEL (81) 3-3523-3551  
 FAX (81) 3-3523-7581

## Atmel Operations

### Atmel Colorado Springs

1150 E. Cheyenne Mtn. Blvd.  
 Colorado Springs, CO 80906  
 TEL (719) 576-3300  
 FAX (719) 540-1759

### Atmel Rousset

Zone Industrielle  
 13106 Rousset Cedex  
 France  
 TEL (33) 4-4253-6000  
 FAX (33) 4-4253-6001

### Fax-on-Demand

North America:  
 1-(800) 292-8635

International:  
 1-(408) 441-0732

*e-mail*  
 literature@atmel.com

*Web Site*  
 http://www.atmel.com

*BBS*  
 1-(408) 436-4309

### Atmel Corporation 1999.

Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are authorized for use as critical components in life support devices or systems.

Atmel, Atmel logo, and/or Atmel are registered trademarks and trademarks of Atmel Corporation.

Other names and product names in this document may be trademarks of others.



Printed on recycled paper.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

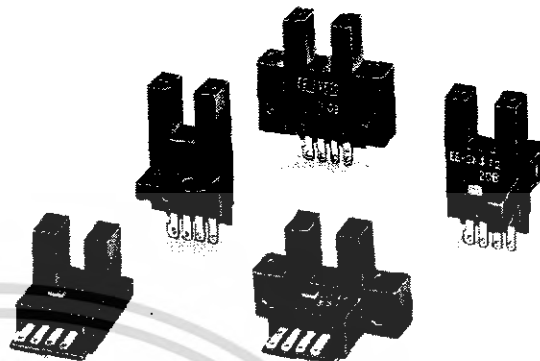
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Photomicrosensor






EE-SX670(A)/  
470

Photomicrosensor with 100-mA  
Switching Capacity that can be Built  
into Equipment

- Standard, L-shaped, T-shaped, and close mounting: 5-series models available.
- Select from fifteen output variations, including Light-ON or Light-OFF/ON models.
- Response frequency as high as 1 kHz.
- Easy operation monitoring with bright light indicator.
- Wide operating voltage range (5 to 24 VDC) makes smooth connection of the photomicrosensor with TTLs, relays, and programmable controllers (PC) possible.
- Dust-proof slit.
- EE-SX670A/671A/672A/673A/674A models come with a Light-OFF indicator, which lights when an object is detected.



## Ordering Information

Appearance	Sensing method	Sensing distance	Output configuration	Model	Weight
 Standard	Transmissive type (channel-type)	5 mm (channel width)	Light-OFF/ON (see note 1)	*EE-SX670	Approx. 3.1 g
			Light-ON	*EE-SX670A (see note 2)	
 L-shaped			Light-OFF/ON (see note 1)	*EE-SX671	Approx. 3.0 g
			Light-ON	*EE-SX671A (see note 2)	
 T-shaped			Light-OFF/ON (see note 1)	*EE-SX672	Approx. 2.4 g
			Light-ON	*EE-SX672A (see note 2)	
 Close-mounting			Light-OFF/ON (see note 1)	*EE-SX673	Approx. 2.3 g
			Light-ON	*EE-SX673A (see note 2)	
 Close-mounting			Light-OFF/ON (see note 1)	EE-SX674	Approx. 3.0 g
			Light-ON	EE-SX674A (see note 2)	
			Light-ON	EE-SX474	

- Note: 1. The Light-OFF/ON models can be used as Light-ON models when the L terminal and positive (+) terminal are short-circuited. A L terminal and positive (+) terminal short circuit Connector (EE-1001-1) is available.
2. These models are fitted with a LIGHT OFF indicator light.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Specifications

### ■ Ratings

Item	Standard	L-shaped	T-shaped	Close-mounting
	EE-SX670(A), EE-SX470	EE-SX671(A), EE-SX471	EE-SX672(A), EE-SX472	EE-SX673(A), EE-SX473, EE-SX674(A), EE-SX474
Supply voltage	5 to 24 VDC $\pm 10\%$ , ripple (p-p): 10% max.			
Current consumption	35 mA max.			
Standard reference object	Opaque: 2 x 0.8 mm			
Sensing distance	5 mm			
Differential distance	0.025 mm			
Control output	At 5 to 24 VDC: 100-mA load current ( $I_C$ ) with a residual voltage of 0.8 V max. 40-mA load current ( $I_C$ ) with a residual voltage of 0.4 V max.			
Indicator (see note 1)	Light indicator (red)			
Response frequency (see note 2)	1 kHz max. (3 kHz average)			
Connecting method	Dedicated connectors: EE-1009/1006(A)/1010/1001-01/1001; direct soldering			
Light source	GaAs infrared LED with a peak wavelength of 940 nm			
Receiver	Si phototransistor with a sensing wavelength of 850 nm max.			

- Note:** 1. The indicator is GaP red LED (peak emission wavelength: 690 nm).  
2. The response frequency was measured by detecting the following rotating disks.



### ■ Characteristics

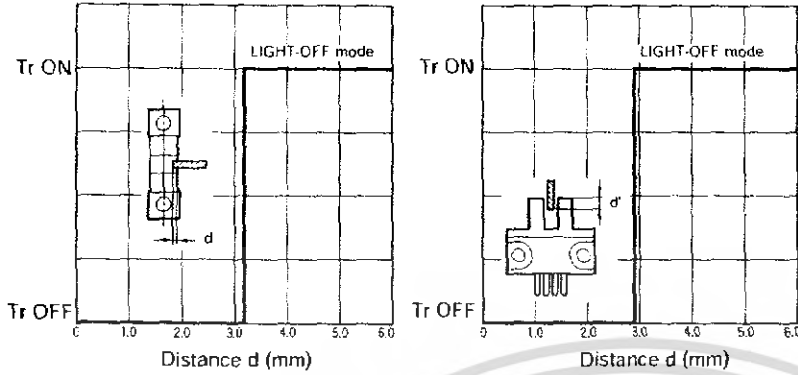
Ambient illumination (see note)	Fluorescent light: 1,000 lx max.
Enclosure ratings	IEC IP50
Ambient temperature	Operating: $-25^{\circ}$ to $55^{\circ}$ C Storage: $-30^{\circ}$ to $80^{\circ}$ C
Ambient humidity	Operating: 5% to 85% Storage: 5% to 95%
Vibration resistance	Destruction: 20 to 2,000 Hz, (with a peak acceleration of 10G), 1.5-mm double amplitude for 2 hrs (with 4-minute cycles) each in X, Y, and Z directions
Shock resistance	Destruction: 500 m/s <sup>2</sup> (approx. 50G) for 3 times each in X, Y, and Z directions
Soldering heat resistance	$260 \pm 5^{\circ}$ C when the portion between the tip of the terminals and the position 1.5 mm from the terminal base is dipped into the solder for $10 \pm 1$ seconds
Material	Case: Polybutylene phthalate (PBT), Cover: Polycarbonate (PC), Emitter/receiver: Polycarbonate (PC)

- Note:** The ambient illuminance is measured on the surface of the receiver.

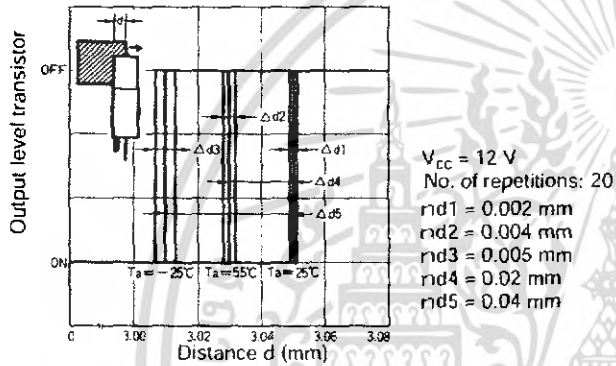
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Engineering Data

## Sensing Position Characteristics (Typical)



## Repeated Sensing Position Characteristics (Typical)



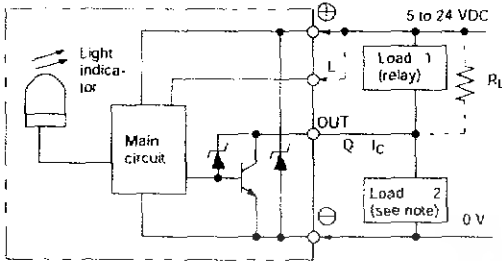
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Operation

## Output Circuit Diagrams

EE-SX670, -SX671, -SX672, -SX673, -SX674

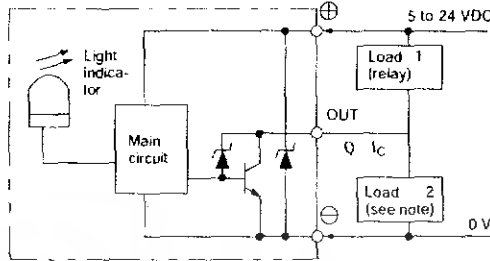
Light ON/OFF



**Note:** When using on voltage output, always insert a resistor in RL and use load 2.

EE-SX470, -SX471, -SX472, -SX473, -SX474

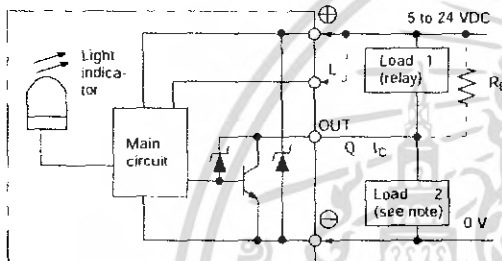
Light ON



**Note:** Voltage output (when the sensor is connected to a transistor circuit).

EE-SX670A, -SX671A, -SX672A, -SX673A, -SX674A

Light ON/OFF



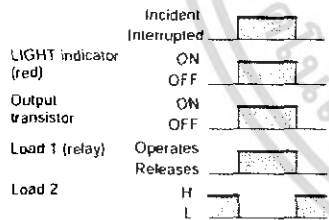
**Note:** When using on voltage output, always insert a resistor in RL and use load 2.

## Timing Chart

EE-SX670, -SX671, -SX672, -SX673, -SX674

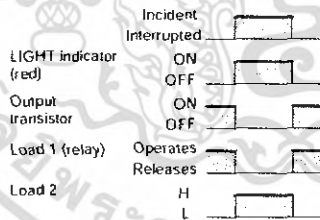
Light ON

(When terminals L and ⊕ are short-circuited)



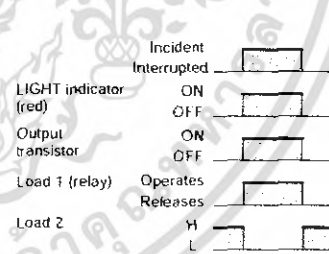
Light OFF

(When terminals L and ⊕ are open)



EE-SX470, -SX471, -SX472, -SX473, -SX474

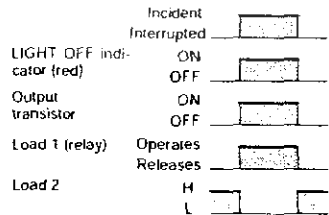
Light ON



EE-SX670A, -SX671A, -SX672A, -SX673A, -SX674A

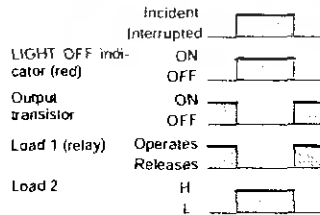
Light ON

(When terminals L and ⊕ are short-circuited)



Light OFF

(When terminals L and ⊕ are open)

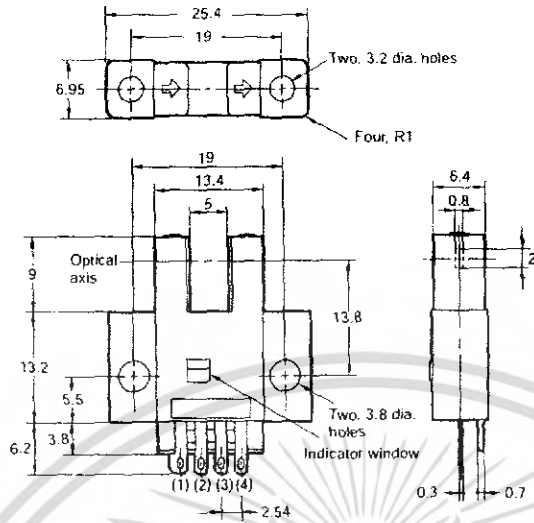
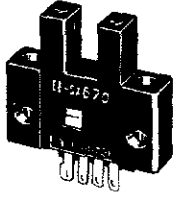


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Dimensions

Note: All units are in millimeters unless otherwise indicated.

EE-SX670  
EE-SX670A  
EE-SX470

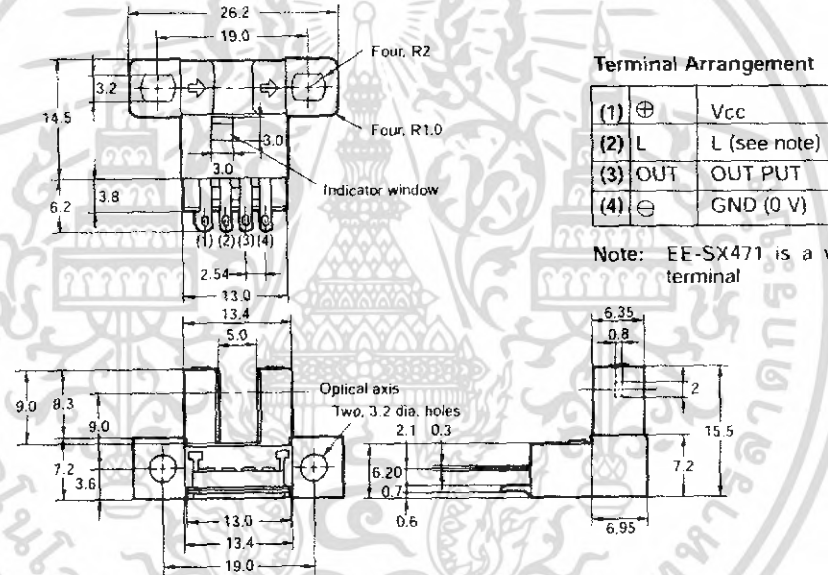


**Terminal Arrangement**

(1)	⊕	Vcc
(2)	L	L (see note)
(3)	OUT	OUT PUT
(4)	⊖	GND (0 V)

Note: EE-SX470 is a vacant terminal

EE-SX671  
EE-SX671A  
EE-SX471



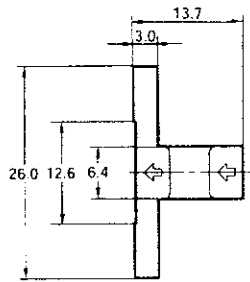
**Terminal Arrangement**

(1)	⊕	Vcc
(2)	L	L (see note)
(3)	OUT	OUT PUT
(4)	⊖	GND (0 V)

Note: EE-SX471 is a vacant terminal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EE-SX672  
EE-SX672A  
EE-SX472

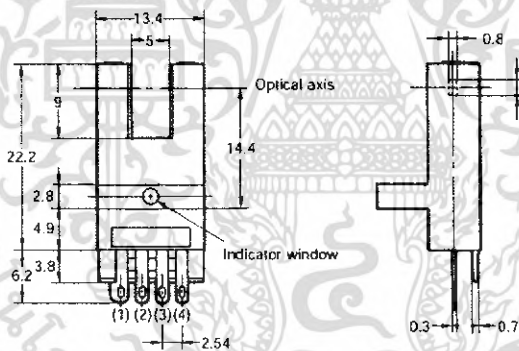
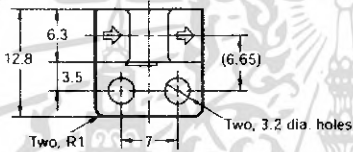
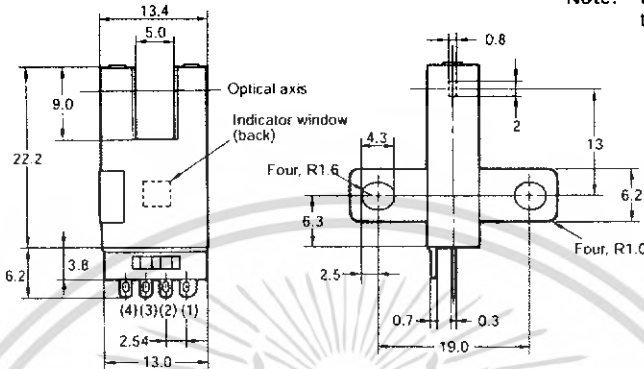


Terminal Arrangement

(1)	⊕	Vcc
(2)	L	L (see note)
(3)	OUT	OUT PUT
(4)	⊖	GND (0 V)

Note: EE-SX472 is a vacant terminal

EE-SX673  
EE-SX673A  
EE-SX473



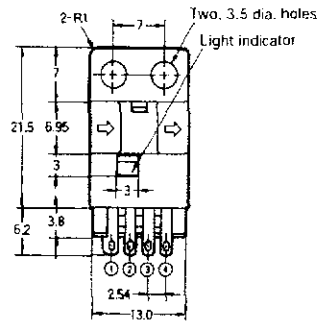
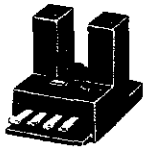
Terminal Arrangement

(1)	⊕	Vcc
(2)	L	L (see note)
(3)	OUT	OUT PUT
(4)	⊖	GND (0 V)

Note: EE-SX473 is a vacant terminal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

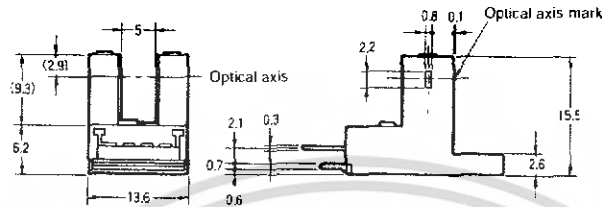
EE-SX674  
EE-SX674A  
EE-SX474



**Terminal Arrangement**

(1)	⊕	Vcc
(2)	L	L (see note)
(3)	OUT	OUT PUT
(4)	⊖	GND (0 V)

**Note:** EE-SX474 is a vacant terminal



**Applicable Connectors**

EE-1009, EE-1010, EE-1001-1, EE-1001, EE-1006, EE-1006A  
Refer to page 70 for details.

**Precautions**

Refer to page NO TAG, *Precautions in Technical Information*, for general precautions.

When direct soldering to the terminal, use the following guidelines.

**Soldering Conditions**

Item	Temperature	Permissible time	Remarks
Soldering iron	350°C max.	3 sec max.	The portion between the base of the terminals and the position 1.5 mm from the terminal base must not be soldered.

The terminal base uses a polycarbonate resin, which could be deformed by excessive soldering heat.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



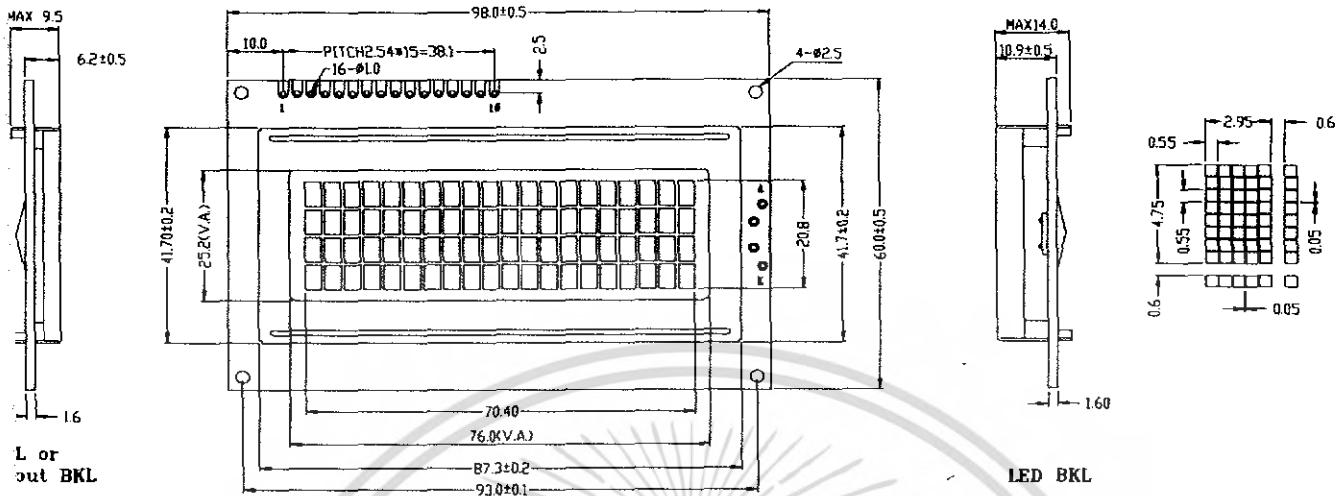
**ALL DIMENSIONS SHOWN ARE IN MILLIMETERS.**

To convert millimeters into inches, multiply by 0.03937. To convert grams into ounces, multiply by 0.03527.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Line Dimension**



**Feature**

- 5X8 dots with cursor
- Built-in controller (KS0066U or Equivalent)
- +5V power supply (Also available for +3.0V)
- 1/16 duty cycle
- BKL to be driven by pin 1, pin 2, or pin 15, pin 16, or A, K
- V optional

**Interface pin connections**

INO	Symbol	Function
1	VSS	GND
2	VDD	+5V
3	V0	Contrast adjustment
4	RS	H/L Register select signal
5	R/W	H/L Read/Write signal
6	E	H/L Enable signal
7	DB0	H/L Data bus line
8	DB1	H/L Data bus line
9	DB2	H/L Data bus line
10	DB3	H/L Data bus line
11	DB4	H/L Data bus line
12	DB5	H/L Data bus line
13	DB6	H/L Data bus line
14	DB7	H/L Data bus line
15	A	+4.2V for BKL
16	K	Power supply for BKL(0V)

**Mechanical Data**

Item	Standard	Unit
Module dimension	98.0x60.0	mm
Viewing area	78.0x25.2	mm
Dot size	0.55x0.55	mm
Character size	2.95x4.75	mm

**Absolute Maximum Rating**

Item	Symbol	Standard			Unit
		Min	Typ	Max	
Power supply	VDD-VSS	-0.3	-----	5.5	V
Input voltage	VI	-0.3	-----	VDD	V

**Electronical characteristics**

Item	Symbol	Condition	Standard			Unit
			Min	Typ	Max	
Input voltage	VDD	+5V	4.7	5.0	5.5	V
		+3.3V	2.7	3.0	5.3	V
Supply current	I <sub>DD</sub>	VDD=5V	-----	3	5	mA
Recommended LCD driving voltage for normal temp version module	VDD-V0	-20°C	-----	-----	-----	V
		0°C	4.7	5.0	5.5	
		25°C	4.3	4.5	4.7	
		50°C	4.1	4.3	4.5	
LED forward voltage	V <sub>F</sub>	25°C	-----	4.2	4.6	V
LED forward current	I <sub>F</sub>	25°C	-----	240	-----	mA
EL power supply current	I <sub>EL</sub>	V <sub>EL</sub> =110V AC 400Hz	-----	-----	-----	mA

**Display character address code:**

Display position	1	2	3	---	---	---	---	19	20
DDRAM address	00	01	02	---	---	---	---	12H	13H
DDRAM address	40	41	42	---	---	---	---	52H	53H
DDRAM address	14	15	16	---	---	---	---	26H	27H
DDRAM address	54	55	56	---	---	---	---	66H	67H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 11 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้