

เครื่องกัด PCB

PCB PROTOTYPE MACHINE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

พ.ศ.  
๒๕๖๕  
๖๕๕๕

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 46465  
วัน, เดือน, ปี 2 เม.ย. 2546

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

การบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้ 109

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องกัด PCB
TITLE	PCB PROTOTYPE MACHINE
โดย	นายเทพ แซ่ก้อ รหัสประจำตัว 43015816 นายไพโรจน์ กั้นทะนัน รหัสประจำตัว 43015830
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.นภพินท์ อนันตรศิริชัย
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2544

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง

  
(ผศ. นภพินท์ อนันตรศิริชัย)  
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

เครื่องกัดแผ่น PCB

นักศึกษา

นายเทพ แซ่ก๊อ

รหัส 43015816

นายไพโรจน์ กันทะนัน

รหัส 43015830

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์ ผศ.นภพินท์ อนันตรศิริชัย

ระดับการศึกษา

ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม

ภาควิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา

2544

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเครื่องกัด PCB ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้ในการกัดแผ่น PCB เพื่อที่จะนำไปใช้งานซึ่งในการควบคุมปริมาณน้ำยาที่ออกจากปั้มน้ำยาจะวาวด์เป็นตัวควบคุมปริมาณน้ำยาที่จะไหลออกไปที่หัวฉีด ส่วนนี้จะประกอบด้วย ถังน้ำยา ปั้มน้ำยา ท่อส่ง ส่วนควบคุม และส่วนหัวฉีด อีกนัยหนึ่ง ในการควบคุมสเต็ปิ่งมอเตอร์ จะใช้การควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะมีการตรวจจับเพื่อนำค่าที่ได้ไปประมวลผลสำหรับการนำไปเพื่อควบคุมความเร็ว การหน่วงเวลา การหยุดสเต็ปิ่งมอเตอร์ การควบคุมการเปลี่ยนทิศทางของสเต็ปิ่งมอเตอร์และออกแบบชุดฉายแสงเพื่อใช้ในการทำลายวงจรที่จะนำไปใช้ในการในการกัดลายวงจรต่อไปซึ่งจะประกอบด้วยหลอดไฟ เครื่องดูดฝุ่นและส่วนที่ใช้ตั้งเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PROJECT TITLE** PCB PROTOTYPE MACHINE

**STUDENT** MR.THEP SAEGUE 43015816  
MR.PIROGE KANTHANAN 43015830

**ADVISOR** ASSIS.PROF.NOPPIN ANANTRASIRICHAJ

**COURSE** BACHELOR OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
IN TELECOMMUNICATION

**DEPARTMENT** INFORMATION ENGINEERING

**YEAR** 2001

**ABSTRACT**

This thesis present PCB Prototype machine, machine is used etching PCB for use to operation. On the control of ferric chloride from chemical pump are value which control ferric chloride flow out the injection reservoir pump, discharge pipe, controller and injection are the component of system by the way on the control of stepping motor are use microcontroller MCS-51

The project has two components. The one controlled the light witch set by the controller from six incandescent lamps and the one use vacuum out the box for PCB and film sucked press the box .

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเนื่องมาจาก ความร่วมมือของสมาชิกในกลุ่มทุกท่าน ขอบคุณ ผศ.นภพินท์ อนันตรศิริชัย และอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำแนวความคิดความรู้ต่างๆ และแนวทางการแก้ปัญหา ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบคุณบุคลากรแผนกออกแบบและสร้างอุปกรณ์ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) สำหรับคำปรึกษาทางด้านข้อมูล อุปกรณ์และเครื่องมือในการสร้างและออกแบบ ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือสุดท้ายที่ควรจะระลึกถึงอย่างยิ่ง บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนในด้านการศึกษาและเป็นกำลังใจมาโดยตลอด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ส่วนประกอบของโครงการ	1
บทที่ 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 และสแต็ปปีงมอเตอร์	4
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 และสแต็ปปีงมอเตอร์	4
2.1.1 การพัฒนาทางเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ของ INTEL	4
2.1.2 คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	4
2.1.3 โครงสร้างภายนอกของ MCS-51	6
2.1.4 โครงสร้างภายในของ MCS-51	8
2.1.5 การจัดหน่วยความจำ	10
2.1.6 การเข้าถึงข้อมูลคำสั่ง	12
2.1.7 ไทมเมอร์/คาน์เตอร์	18
2.1.8 โครงสร้างการอินเตอร์รัพต์	22
2.2 สแต็ปปีงมอเตอร์	25
2.2.1 นิยามของสแต็ปปีงมอเตอร์	25
2.2.2 การทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์	25
2.2.3 การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสแต็ปปีงมอเตอร์	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.1 เฟืองตรง	29
3.2 เฟืองเอียง	29
3.3 เฟืองก้างปลา	29
3.4 เฟืองคอกกอก	31
3.5 เฟืองหนอน	32
3.6 เฟืองสะพาน	32
3.7 รูปร่างของเฟือง	33
3.8 ทฤษฎีเฟืองหนอน	36
บทที่ 4 ทฤษฎีและการออกแบบ	46
4.1 เครื่องสูบน้ำหรือปั๊ม	46
4.2 ถังบรรจุน้ำยาเคมี	46
4.3 น้ำยาเคมี	47
4.4 ที่ปรับความดัน	47
4.5 เกจวัดความดัน	47
4.6 ลิ้นบังคับทิศทาง	47
4.7 เครื่องกรอง	47
4.8 หัวฉีด	48
4.9 ระบบท่อ	48
4.10 หลักการออกแบบระบบ Pump	50
4.11 การกระจายของละอองเคมี	56
4.12 การสูญเสีย Head เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงท่อ	62
4.13 การสูญเสีย Head ที่ข้อต่อข้ออและลิ้น(Fitting loss)	64
4.14 การสูญเสีย Head ที่บริเวณปากทางเข้าและปากทางออก(Entrance and Exit loss)	65
4.15 ปากทางเข้า(Entrance)	66
4.16 ปากทางออก(Exit)	66
4.17 Total head	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 การออกแบบและสร้างเครื่อง	67
5.1 การออกแบบวงจร	67
5.1.1 ชุดเพาเวอร์ซัพพลาย 12 โวลท์	67
5.1.2 วงจรตั้งเวลา	68
5.1.3 วงจรควบคุมการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์	68
5.1.3.1 การออกแบบการควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์	71
5.2 การออกแบบและสร้างส่วนประกอบของตัวเครื่อง	73
5.2.1 ชุดฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มไวแสง	73
5.2.2 เครื่องกัด PCB	74
บทที่ 6 หลักการทำงาน	76
6.1 เครื่องกัด PCB	76
6.2 ชุดฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มไวแสง	77
6.3 การใช้งาน	77
บทที่ 7 อภิปรายผล ข้อเสนอแนะและสรุปผลการทดลอง	78
7.1 อภิปรายผล	78
7.2 ข้อเสนอแนะ	79
7.3 สรุปผลการทดลอง	80
บรรณานุกรม	81
ภาคผนวก ก. รูปออกแบบลายวงจรและโปรแกรมในการควบคุม	82
ภาคผนวก ข. คู่มือการใช้งานไอซี	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 1.1 BLOCK DIAGRAM	1
รูปที่ 1.2 ชุดควบคุมการฉายแสง	2
รูปที่ 1.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมปริมาณน้ำยา	2
รูปที่ 1.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมการทำงานของสตีปปีงมอเตอร์	3
รูปที่ 2.1 แสดงการจัดตำแหน่งขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51	6
รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	9
รูปที่ 2.3 แสดงการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล	10
รูปที่ 2.4 แสดงการจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่างๆ	11
รูปที่ 2.5 แสดงการใช้รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปแต่ละกลุ่มจากบิต RS0,RS1	16
รูปที่ 2.6 แสดงวงจรการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 1 ในโหมด 0 และโหมด 1	19
รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 1 ในโหมด 2	19
รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 0 ในโหมด 3	20
รูปที่ 3.1 เฟืองตรง	29
รูปที่ 3.2 เฟืองเอียง	30
รูปที่ 3.3 เฟืองก้ำปลา	30
รูปที่ 3.4 เฟืองดอกจอก	31
รูปที่ 3.4 เฟืองดอกจอกที่ใช้ในรถยนต์	31
รูปที่ 3.6 เฟืองหนอนและเฟืองสะพาน	32
รูปที่ 3.7 รูปร่างและส่วนต่างๆของเฟืองตรง	33
รูปที่ 3.8 การสร้างความโค้ง Inviolate	35
รูปที่ 3.9 เกลียวหนอนและล้อเฟืองหนอน	36
รูปที่ 3.10 ชนิดของล้อเฟืองหนอน	38
รูปที่ 3.11 ลักษณะของเกลียวหลายปาก	40
รูปที่ 3.12 Pressure Angle ของเกลียวหนอน	41
รูปที่ 3.13 ชุดเฟืองหนอนแม้จะมีขนาดต่างกันแต่อัตราส่วนความเร็วจะไม่เปลี่ยนแปลง	42
รูปที่ 3.14 ภาพหน้าตัดแสดงการเกิด Under Cutting	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.15 ลักษณะของ Hob	44
รูปที่ 3.16 แสดงส่วนต่าง ๆ ของชุดเฟืองหนอนและพื้นฐานการร่างแบบ	45
รูปที่ 4.1 หัวฉีดที่ให้ลักษณะละอองสารเคมีเป็นรูปกรวยกลางและกรวยตัน หัวฉีดแบบกรวยตัน	48
รูปที่ 4.2 ความเร็วสูงสุดในท่อและท่อส่งที่ยอมรับให้ใช้ได้	49
รูปที่ 4.3 Composite Rating Chart ซึ่งใช้แสดงขอบเขตการทำงานที่เหมาะสม ของปั๊ม โมเดลที่มีหลายขนาด	51
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงลักษณะการทำงานของปั๊มซึ่งเรียกว่า Pump Characteristic Curves หรือ Performance Curves	52
รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มและท่อเก่าเมื่อจุดที่ปั๊มทำงานอยู่ ทางด้านชั้นมือและขวามือของจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด	54
รูปที่ 4.6 ลักษณะการกระจายของละอองสารเคมีเมื่อเปรียบเทียบความสูงและระยะหัวฉีด	56
รูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนขนาดท่อ	63
รูปที่ 4.8a ค่า K สำหรับการเปลี่ยนขนาดท่อแบบค่อย ๆ เปลี่ยน	63
รูปที่ 4.8b ค่า K สำหรับการเปลี่ยนขนาดท่อแบบกระทันหัน	64
รูปที่ 5.1 แสดงวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย 12 โวลต์	67
รูปที่ 5.2 แสดงวงจรการตั้งเวลา	68
รูปที่ 5.3 แสดงการวงจรการควบคุมการทำงานของสเต็ปปีงมอเตอร์	69
รูปที่ 5.4 แสดงชุดฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มไวแสง	73
รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะของเฟือง แกน หัวฉีดและส่วนของโรเลอร์	74
รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะเครื่องกัดแผ่น PC	75
รูปที่ 5.7 แสดงโต๊ะวางชุดเครื่องกัด PCB และชุดฉายแสง	75
รูปที่ 6.1 แสดงการทำงานของเครื่องกัดแผ่นปริ้น	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูล MCS-51	5
ตารางที่ 2.2 แสดงหน้าที่พิเศษของแต่ละขาของพอร์ต P3	7
ตารางที่ 2.3 แสดงบิตควบคุมที่อยู่ในรีจิสเตอร์ TMOD	20
ตารางที่ 2.4 แสดงการเลือกโหมดการทำงานของ TMR/COUNTER โดย บิต M1,M2	21
ตารางที่ 2.5 แสดงบิตควบคุมที่อยู่ในรีจิสเตอร์ TCON	21
ตารางที่ 2.6 หน้าที่การทำงานของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ IE	22
ตารางที่ 2.7 หน้าที่การทำงานของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ TCON	23
ตารางที่ 2.8 หน้าที่การทำงานของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ IP	24
ตารางที่ 2.9 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นของโปรแกรมบริการอินเตอร์รัพต์แต่ละชนิดที่เกิดขึ้นที่พอร์ตของ 8051	25
ตาราง ที่ 2.10 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ	27
ตาราง ที่ 2.11 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ 2 เฟส	28
ตาราง ที่ 2.12 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสเต็ป	28
ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความราบเรียบของผนังท่อ © สำหรับท่อที่ทำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ	56
ตารางที่ 4.2 <sup>3</sup> สัมประสิทธิ์ความหยาบละเอียดของท่อ, C	58
ตารางที่ 4.3 <sup>3</sup> สัมประสิทธิ์ความหยาบละเอียดของแมนนิง, m	59
ตารางที่ 4.4 <sup>3</sup> ค่า k สำหรับพื้นที่หน้าตัดการไหลเพิ่มขึ้นหรือลดลงทันทีทันใด	60
ตารางที่ 4.5 ค่า K และ Le/D สำหรับประตุน้ำและข้อต่อ	61
ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของข้อต่อข้ออและลินต่าง ๆ	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันความเจริญทางเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในการพัฒนาทางด้านศักยภาพทางอุตสาหกรรมมากขึ้น รูปแบบการทำงานล้วนเป็นแบบอัตโนมัติที่เข้ามาแทนรูปแบบของการใช้แรงงานซึ่งมีคุณภาพมากกว่า เช่นเดียวกันในการออกแบบ PCB และสร้างรูปแบบให้ได้ตามที่ออกแบบไว้ หากจะทำได้ด้วยวิธีการเดิมๆ คือทำด้วยมือซึ่งทำให้เกิดปัญหาในขั้นตอนหลายๆ ขั้นตอนและงานที่ได้ก็ยังคงขาดคุณภาพ

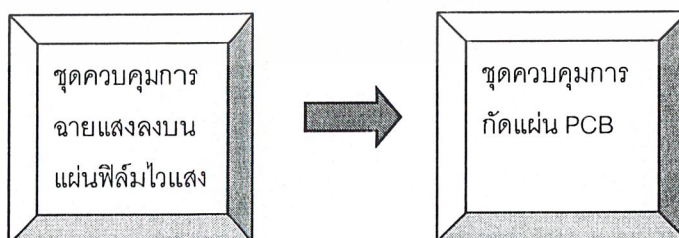
จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะสร้างและออกแบบเครื่องกัด PCB เพื่อช่วยในงานที่ได้ออกมามีคุณภาพและเกิดปัญหาน้อยที่สุด โดยจะออกแบบและสร้างให้การทำงานของระบบเป็นแบบอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้การนำไปใช้งานที่ต้องการความละเอียดของงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

### 1.2 วัตถุประสงค์

เครื่องกัด PCB จำแนกตามวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องกัด PCB ดังนี้

1. เพื่อศึกษาและออกแบบพัฒนา Hardware ของชุดออกแบบและสร้าง PCB
2. เพื่อสร้างเครื่องมือช่วยอำนวยความสะดวกในการสร้าง PCB ในรูปแบบอัตโนมัติ
3. ใช้งบประมาณในการออกแบบสร้างเครื่องต่ำเพื่อช่วยในการประหยัดงบประมาณและเป็นแนวทาง ในการสร้างเครื่องกัด PCB ไว้ใช้เอง
4. เพื่อนำวิชาความรู้ที่ได้ศึกษามาประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 1.3 ส่วนประกอบของโครงการ

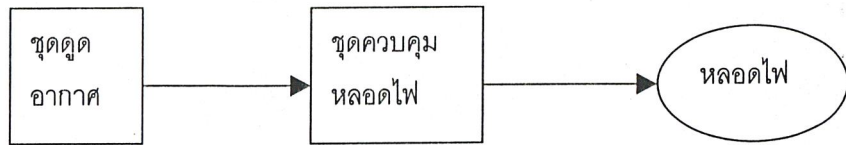


รูปที่ 1.1 BLOCK DIAGRAM

#### 1. ชุดควบคุมการฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มไวแสงแบ่งออกได้ดังนี้

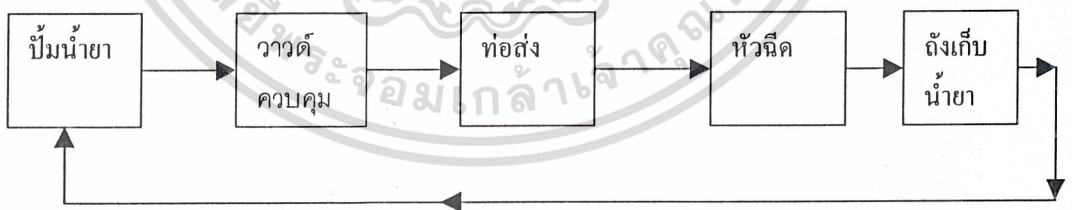
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. ชุดควบคุมการฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มไวแสงแบ่งออกได้ดังนี้



รูปที่ 1.2 ชุดควบคุมการฉายแสง

- 1.1 ชุดชุดอากาศ เป็นกล่องของชุดชุดอากาศ โดยจะมีเครื่องดูดฝุ่นเป็นตัวดูดอากาศออกจากกล่องเพื่อให้แผ่นฟิล์มสามารถติดแนบกับลายวงจรได้อย่างมีประสิทธิภาพ
  - 1.2 ชุดควบคุมหลอดไฟ เป็นวงจรหรือไฟที่ใช้ควบคุมหลอดไฟซึ่งวงจรนี้จะใช้ในการควบคุมระยะเวลาในการฉายแสง
  - 1.3 หลอดไฟ เป็นแสงที่ใช้ในการให้แสงสว่างลงบนแผ่นฟิล์มไวแสงเพื่อให้ลายวงจรติดกับแผ่น PCB ตามที่เราต้องการ
2. ชุดควบคุมการทำเครื่องกัดแผ่นปริ้น (PCB) จะแบ่งส่วนประกอบออกเป็น 2 ส่วนคือ
- 2.1 ส่วนของปั้มน้ำยา

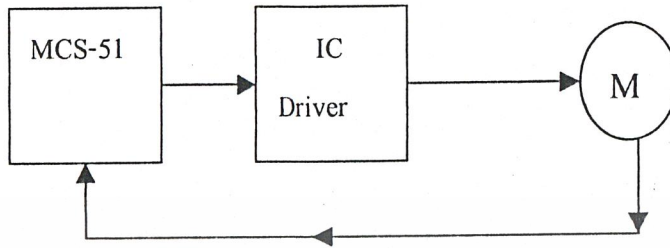


รูปที่ 1.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของชุดควบคุมปริมาณน้ำยา

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ควบคุมปริมาณน้ำยาให้ออกไปที่หัวฉีดในปริมาณที่ต้องการ โดยจะต่อท่อออกจากปั้มไปที่ส่วนที่เป็นหัวฉีดปริมาณน้ำยาที่ปั้มจะใช้วาวด์เป็นตัวควบคุมปริมาณน้ำยาที่จะให้ไหลออกไปที่หัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ส่วนการควบคุมสแต็ปปีงมอเตอร์



รูปที่ 1.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์

ส่วนนี้จะเป็นตัวควบคุมการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์โดยตรง โดยการนำโปรแกรมที่ได้ไปประมวลผลเพื่อทำการควบคุมความเร็ว ทิศทางการหมุน ระยะเวลาในการทำงาน และการหยุดการทำงานของสแต็ปปีงมอเตอร์

## บทที่ 2

### ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 และสตีปิ้งมอเตอร์

#### 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

##### 2.1.1 การพัฒนาทางเทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์ของ INTEL

นับตั้งแต่บริษัท INTEL ได้ทำการผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 48 ขึ้นมาจนในปัจจุบันนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS - 48 ได้มีการพัฒนาก้าวหน้าไปมากมาย แต่ทางบริษัท INTEL ก็ไม่ได้หยุดการพัฒนาไว้เพียงเท่านั้นบริษัท INTEL ได้พยายามหาทางปรับปรุงไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่ๆ ออกมาเพื่อหลีกเลี่ยงข้อจำกัดบางอย่างที่มีอยู่ในตระกูล MCS - 48 และเพื่อประยุกต์ใช้งานให้ทันกับความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีที่พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 51 จึงได้ถือกำเนิดขึ้นมา โดยมีการใช้เทคโนโลยี HMOS ความจำมากกว่าในตระกูล MCS - 48 ถึง 4 เท่า และยังเพิ่มความสามารถของวงจรภายในให้มีมากขึ้น เช่น มีพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมเพื่อรับและส่งข้อมูลได้ด้วยตัวเอง เพิ่มคำสั่งที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมให้มากขึ้นแต่ใช้เวลาในแต่ละคำสั่งสั้นลง และคำสั่งที่เพิ่มขึ้นช่วยทำให้การเขียนโปรแกรมคล่องตัวและสะดวกขึ้นมากกว่าเดิมมาก ด้วยเหตุนี้การนำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 51 ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ซึ่งสามารถทำได้สะดวกและคล่องตัวมากกว่าการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 48

##### 2.1.2 คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

คุณสมบัติทั่วไปที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต
- มีวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาภายในไอซี
- มีขาสัญญาณอินพุตเอาต์พุตจำนวน 32 บิต
- สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (external data memory) โดยอ้างตำแหน่งแอดเดรสได้ถึง 64 กิโลไบต์
- สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (external program memory) โดยอ้างตำแหน่งแอดเดรสได้ถึง 64 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในตัว (on-chip program memory) ขนาด 4 กิโลไบต์ โดยเฉพาะเบอร์ 8052 จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้ถึง 8 กิโลไบต์สำหรับเบอร์ 8031 และ M8032 จะไม่มีหน่วยความจำในส่วนนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีหน่วยความจำข้อมูลภายในตัว (on-chip data memory) ขนาด 128 ไบต์ โดยเฉพาะเบอร์ 8032 และ 8052 จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้ถึง 256 ไบต์

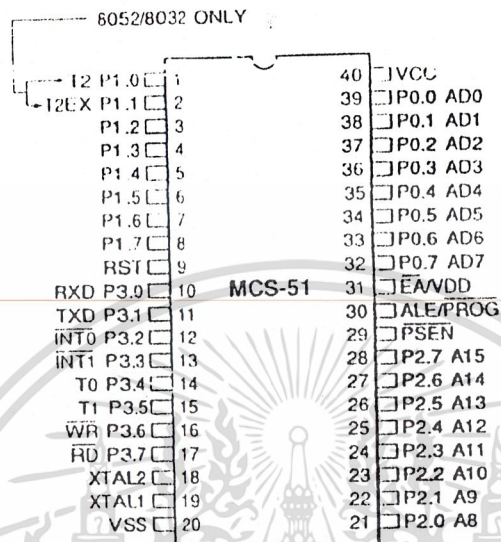
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูล MCS-51

ชื่อเบอร์	หน่วยความจำภายใน		จำนวนไทเมอร์/เคาน์เตอร์	จำนวนอินเทอร์รัปต์
	เก็บโปรแกรม	เก็บข้อมูล		
8052AH	8K x 8 ROM	256 x 8 RAM	3 x 16-Bit	6
8051AH	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8051	4K x 8 ROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8032AH	ไม่มี	256 x 8 RAM	3 x 16-Bit	6
8031AH	ไม่มี	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8031	ไม่มี	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8751H	4K x 8 EPROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5
8751H-12	4K x 8 EPROM	128 x 8 RAM	2 x 16-Bit	5

- หน่วยความจำข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ด้วย ทำให้การควบคุมหรือการตรวจสอบสถานะบิตทำได้ง่าย ส่งผลให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายมากขึ้น
- มีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ (timer/counters) ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว โดยเฉพาะเบอร์ 8032 หรือ 8052 จะมีไทเมอร์/เคาน์เตอร์จำนวน 3 ตัว
- การอินเทอร์รัปต์สามารถทำได้จาก 5 แหล่งกำเนิดโดยเฉพาะเบอร์ 8032 และ 8052 จะทำการอินเทอร์รัปต์ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด โดยการอินเทอร์รัปต์ยังสามารถจัดระดับความสำคัญได้เป็น 2 ระดับ
- มีพอร์ตสื่อสารอนุกรมภายในตัวเอง ซึ่งทำงานเป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ (full duplex)
- มีคำสั่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และทางตรรกศาสตร์
- คำสั่งโดยส่วนใหญ่ใช้เวลาทำงานเพียง 1 ไมโครวินาทีเมื่อใช้คริสตอลความถี่เพียงชุดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3 โครงสร้างภายนอกของ MCS-51



รูปที่ 2.1 แสดงการจัดตำแหน่งขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 สำหรับหน้าที่การใช้งานของแต่ละขามีดังนี้

- ขา  $V_{cc}$  เป็นขาป้อนแรงดันไฟเลี้ยง + 5 โวลต์
- ขา  $V_{ss}$  เป็นขากาวด์
- ขาพอร์ต 0 (Port 0) มี 8 ขา ได้แก่ขา  $P_{0.0} - P_{0.7}$  เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทางสำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้ขาพอร์ตเหล่านั้นอยู่ในสถานะปล่อยลอย ซึ่งในสถานะนี้เองที่สามารถนำมาใช้พอร์ตอินพุตอิมพีแดนซ์สูงได้ นอกจากพอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกด้วย โดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสไบต์ต่ำ ( $A_0 - A_7$ ) ซึ่งจะใช้งานเป็นแบบมัลติเพล็กซ์กับการรับส่งข้อมูลขนาด 8 บิต ( $D_0 - D_7$ )
- ขาพอร์ต 1 (Port 1) มี 8 ขา ได้แก่ขา  $P_{1.0} - P_{1.7}$  เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากนี้สำหรับเบอร์ 8032 และ 8052 ขาพอร์ต P<sub>1,0</sub> และ P<sub>1,1</sub> จะถูกนำมาใช้งานเป็นขา T2 และ T2EX ตามลำดับด้วย

- ขาพอร์ต 2 (Port 2) มี 8 ขาได้แก่ขา P<sub>2,0</sub> - P<sub>2,7</sub> เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากนี้พอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกด้วย โดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสไบต์สูง (A<sub>8</sub> - A<sub>15</sub>)
- ขาพอร์ต 3 (Port 3) มี 8 ขาได้แก่ขา P<sub>3,0</sub> - P<sub>3,7</sub> เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทางสำหรับใช้งานทั่วไปโดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากนี้พอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในหน้าที่พิเศษต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2
- ขารีเซต (RST) ใช้สำหรับการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการรีเซตต้องคงสถานะเป็น 1 อย่างน้อยนาน 2 แมกซีนไซเคิลในขณะที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่
- ขา ALE/PROG เป็นขาสัญญาณเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการแลตช์ (latch) ค่าตำแหน่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (Address Latch Enable) เมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก นอกจากนี้ขานี้ยังทำหน้าที่เป็นอินพุตรับพัลส์ในการโปรแกรม (program pulse input) ในส่วนของหน่วยความจำ EPROM สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในเป็น EPROM

ขาพอร์ต	หน้าที่พิเศษ
P 3.0	RXD (serial input port)
P 3.1	TXD (serial output port)
P 3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P 3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P 3.4	TO (Timer 0 external input)
P 3.5	T1 (Timer 1 external input)
P 3.6	$\overline{\text{WR}}$ (external data memory write strobe)
P 3.7	$\overline{\text{RD}}$ (external data memory read strobe)

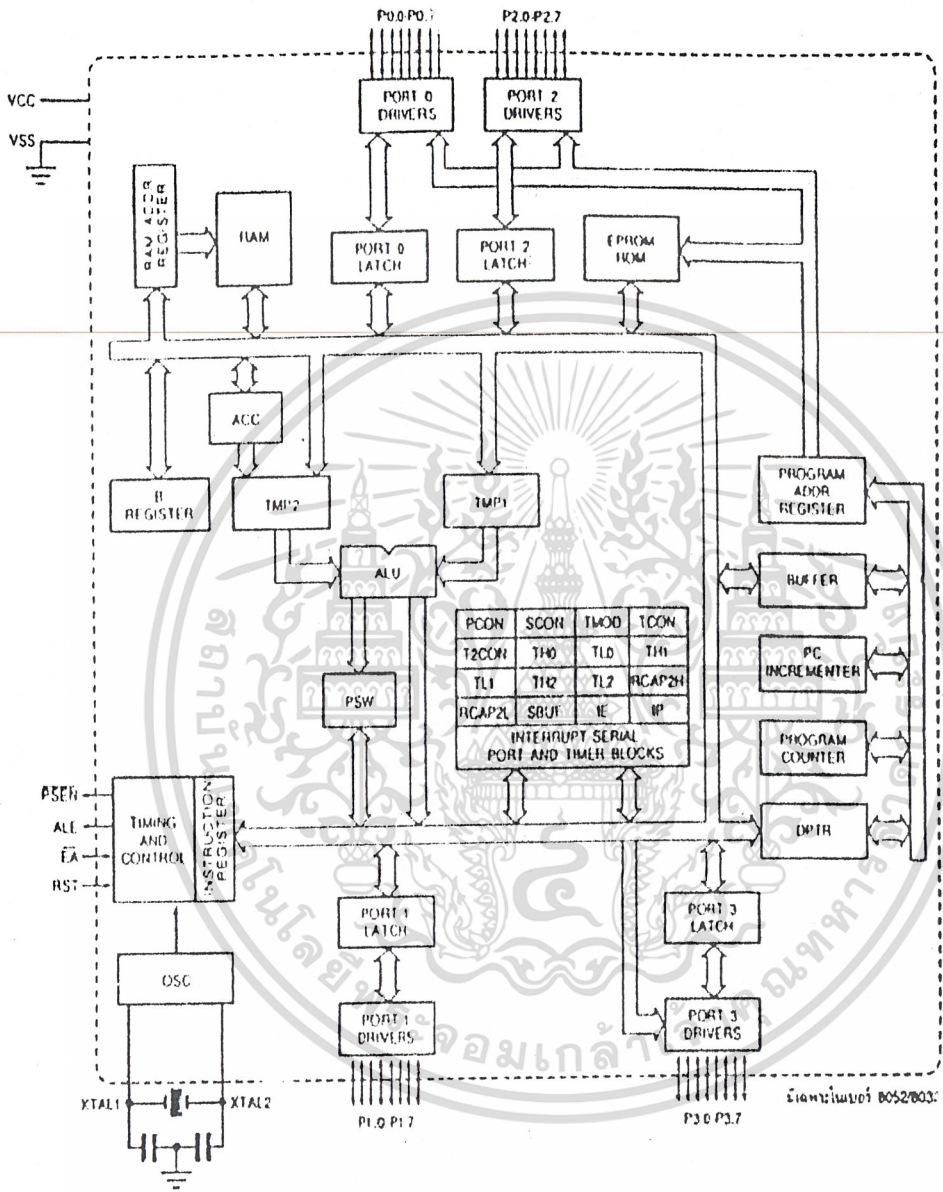
ตารางที่ 2.2 แสดงหน้าที่พิเศษของแต่ละขาของพอร์ต P3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา  $\overline{\text{PSEN}}$  (Program Store Enable) ทำหน้าที่เป็นสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบจำนวน 2 ครั้งในแต่ละแมชีนไซเกิด แต่ในขณะที่ติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะไม่มีส่งสัญญาณสโตรบแต่อย่างใด
- ขา  $\overline{\text{EA/VPP}}$  (External Access enable/VPP) เป็นขาสำหรับการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมจากภายในหรือจากภายนอก โดยถ้ามีสถานะเป็น 0 จะหมายถึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกที่ตำแหน่งแอดเดรส 0-0FFFH (0-1FFFH ถ้าเป็นเบอร์ 8052) อย่างไรก็ตามถ้าบิตป้องกัน (security bit) ในหน่วยความจำ EPROM ถูกโปรแกรมไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกเลย นอกจากนี้ขาที่ยังทำหน้าที่รับแรงดันไฟสำหรับการโปรแกรม ( $V_{pp}$ ) ขนาด 21 โวลต์ เพื่อใช้ในระหว่างการโปรแกรม EPROM
- ขา  $\text{XTAL}_1$  และขา  $\text{XTAL}_2$  เป็นขาอินพุตและเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์ตติ้งออสซิลเลเตอร์แอมพลิไฟเออร์ (inverting oscillator amplifier) สำหรับใช้ต่อร่วมกับคริสตัลภายนอก

#### 2.1.4 โครงสร้างภายในของ MCS-51

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แสดงดังในรูปที่ 2.2 โดยส่วนที่มีเครื่องหมายดอกจัน (\*) จะมีเฉพาะในเบอร์ 8032 และ 8052 เท่านั้น



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

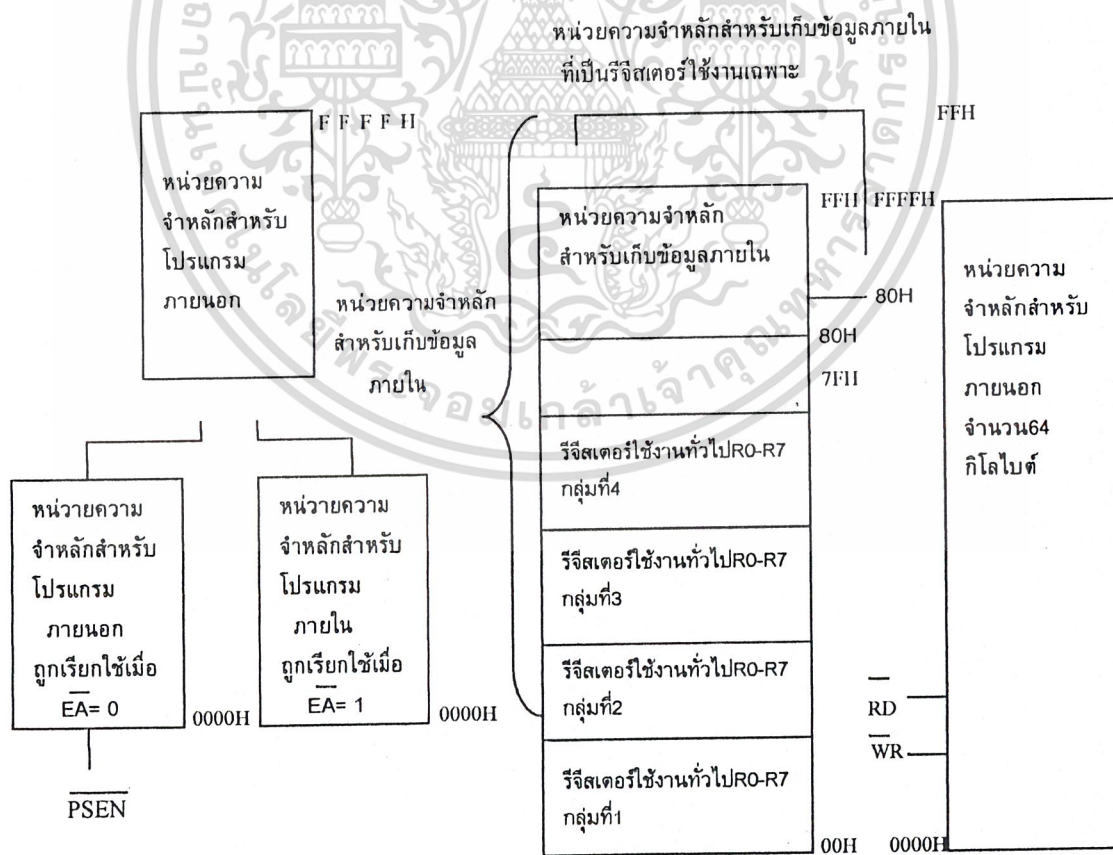
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.5 การจัดหน่วยความจำ

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลMCS-51แบ่งชนิดหรือหน้าที่ของหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรม (program memory) และหน่วยความจำข้อมูล (data memory)

หน่วยความจำโปรแกรมจะใช้สำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งบางเบอร์จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้อยู่ภายในตัว โดยอาจจะมีขนาดไม่เท่ากันหรือเป็นหน่วยความจำต่างชนิดกัน เช่น บางเบอร์เป็น ROM และบางเบอร์อาจเป็น EPROM และบางเบอร์อาจไม่มีหน่วยความจำในส่วนนี้เลย โปรแกรมการทำงานจะถูกเก็บไว้ยังหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมด

สำหรับหน่วยความจำข้อมูลจะใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่าง ๆ จากการทำงานของโปรแกรม ซึ่งใน MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้อยู่จำนวนหนึ่ง แต่อาจมีขนาดมากน้อยต่างกันไปในแต่ละเบอร์สำหรับการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลแสดงไว้ดังในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในหน่วยความจำโปรแกรม

และหน่วยความจำข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.1 หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมภายในและหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะถูกเลือกใช้งานถ้าหาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 1 โดยจะถูกใช้งานในช่วงแอดเดรส 0-0FFFH (หรือช่วงแอดเดรส 0-1FFFH ในเบอร์ 8052) นอกเหนือจากช่วงแอดเดรสนี้จะใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมด

ตำแหน่งแอดเดรส	(MSB)	บิตแอดเดรส							(LSB)	รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ
	WDT	T32	SERR	IZC	P3HZ	P2HZ	P1HZ	ALF		
018H	FF	FF	FD	FC	FB	FA	F9	F8	IOCON	
0FCH	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0	B	
0E0H	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0	ACC	
0D0H	CY	AC	F0	RS1	RS0	0V	F1	P	PSW	
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
0CDH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TH2	
0CCH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TL2	
0CBH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								RCAP2H	
0CAH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								RCAP2L	
0C8H	TF2	EXI2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	C/T2	CP/RL2	T2CON	
	CF	CE	CD	CC	CB	CA	C9	C8		
0B8H	PCT	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	FX0		IP	
	BF	-	BD	BC	BB	BA	B9	B8		
0B0H	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	P3	
0A8H	EA	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0		IE	
	AF	-	AD	AC	AB	AA	A9	A8		
0A0H	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	P2	
99H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								SBUF	
98H	SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RBB	T1	R1	SCON	
	9F	9E	9D	9C	9B	9A	9E	9E		
90H	97	96	95	94	93	92	91	90	P1	
8DH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TH1	
8CH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TH0	
8BH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TL1	
8AH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TL0	
89H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TMOD	
88H	TF1	TR1	TF0	TRO	IE1	IT1	IE0	IT0	TCON	
	8F	8E	8D	8C	8B	8A	89	88		
87H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								PCON	
83H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								DPH	
82H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								DPL	
81H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								SP	
80H	87	86	85	84	83	82	81	80	P0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2.4 แสดงการจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่าง ๆ ในการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีตรงกันข้ามถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 ในช่วงแอดเดรส 0-0FFFH (หรือช่วงแอดเดรส 0-1FFFH ในเบอร์ 8052) จะถูกใช้จากหน่วยความจำภายนอก หรือกล่าวได้ว่าถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมดตลอดช่วงแอดเดรส

### 2.1.5.2 หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำข้อมูลภายในและหน่วยความจำข้อมูลภายนอก สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในยังแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนย่อยคือ ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปและส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษหรือ SFR (Special Function Register) โดยส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปจะถูกใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่าง ๆ จากการทำงานของโปรแกรม ส่วนรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษจะถูกใช้งานเป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานและบอกสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์เป็นอย่างน้อย และบางเบอร์อาจมีถึงขนาด 256 ไบต์

### 2.1.6 การเข้าถึงข้อมูลของคำสั่ง

มีด้วยกันหลายวิธีดังนี้

- การเข้าถึงข้อมูลโดยตรง (direct addressing)
- การเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม (indirect addressing)
- การเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (register instructions)
- การเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของคำสั่ง (register – specific instructions)
- การเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง (immediate constants)
- การเข้าถึงข้อมูลที่มีตัวชี้อ้างอิง (indexed addressing)

คำสั่งแต่ละคำสั่งที่ต้องการนำไปใช้งานอาจจะมีวิธีการเข้าถึงข้อมูลได้วิธีเดียวหรือหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของคำสั่งแต่ละคำสั่ง นอกจากนี้วิธีการเข้าถึงข้อมูลหน่วยความจำก็สามารถทำได้แตกต่างกันออกไป

วิธีการเข้าถึงข้อมูลในแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

- การเข้าถึงข้อมูลโดยตรง การเข้าถึงข้อมูลวิธีนี้จะระบุค่าตำแหน่งหน่วยความจำที่เก็บข้อมูลโดยตรงในคำสั่งข้อมูลที่น่ามาประมวลผล โดยวิธีนี้จะเป็นค่าของข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้ เก็บข้อมูลทั่วไปเฉพาะในช่วง 128 ไบต์ล่างและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์

ในกรณีตรงกันข้ามถ้าขาสัญญา EA มีค่าเป็น 0 ในช่วงแอดเดรส 0-0FFFH (หรือช่วงแอดเดรส 0-1FFFH ในเบอร์ 8052) จะถูกใช้จากหน่วยความจำภายนอก หรือกล่าวได้ว่าถ้าขาสัญญา EA มีค่าเป็น 0 จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมดตลอดช่วงแอดเดรส

### 2.1.5.2 หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำข้อมูลภายในและหน่วยความจำข้อมูลภายนอก สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในยังแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนย่อยคือ ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปและส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษหรือ SFR (Special Function Register) โดยส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปจะถูกใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่าง ๆ จากการทำงานของโปรแกรม ส่วนรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษจะถูกใช้งานเป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานและบอกสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์เป็นอย่างน้อย และบางเบอร์อาจมีถึงขนาด 256 ไบต์

### 2.1.6 การเข้าถึงข้อมูลของคำสั่ง

มีด้วยกันหลายวิธีดังนี้

- การเข้าถึงข้อมูล โดยตรง (direct addressing)
- การเข้าถึงข้อมูล โดยทางอ้อม (indirect addressing)
- การเข้าถึงข้อมูล ในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (register instructions)
- การเข้าถึงข้อมูล ในรีจิสเตอร์เฉพาะของคำสั่ง (register – specific instructions)
- การเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเอง โดยตรง (immediate constants)
- การเข้าถึงข้อมูลที่มีตัวชี้อ้างอิง (indexed addressing)

คำสั่งแต่ละคำสั่งที่ต้องการนำไปใช้งานอาจจะมีวิธีการเข้าถึงข้อมูลได้วิธีเดียวหรือหลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของคำสั่งแต่ละคำสั่ง นอกจากนี้วิธีการเข้าถึงข้อมูลหน่วยความจำก็สามารถทำได้แตกต่างกันออกไป

วิธีการเข้าถึงข้อมูลในแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

- การเข้าถึงข้อมูลโดยตรง การเข้าถึงข้อมูลวิธีนี้จะระบุค่าตำแหน่งหน่วยความจำที่เก็บข้อมูลโดยตรงในคำสั่งข้อมูลที่น่ามาประมวลผล โดยวิธีนี้จะเป็นค่าของข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปเฉพาะในช่วง 128 ไบต์ล่างและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์

การใช้งานเฉพาะเท่านั้นและเนื่องจากหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปในช่วง 128 ไบต์ล่างกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะมีขนาดรวมกันทั้งสิ้น 256 ไบต์ ดังนั้นค่าตำแหน่งหน่วยความจำที่ต้องใช้เป็นเลขไบนารีขนาด 8 บิต คำสั่งที่ใช้วิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรงแบบนี้จะมีความยาวอย่างน้อยที่สุด 2 ไบต์ โดยไบต์แรกจะเป็นไบต์ที่บอกรหัสของคำสั่ง (opcode) ส่วนไบต์ที่สองซึ่งตามหลังไบต์ที่เป็นคำสั่งจะเป็นไบต์ที่ระบุค่าตำแหน่งหน่วยความจำที่มีข้อมูลที่ต้องการนำมาประมวลผล ดังตัวอย่างคำสั่งต่อไปนี้

ADD A, 08 H                      นำค่าในหน่วยความจำตำแหน่ง 08 H มาบวกกับค่าในรีจิสเตอร์ A  
ผลลัพธ์ที่ได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A

**-การเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม** วิธีนี้ค่าตำแหน่งความจำที่ต้องการจะติดต่อกับจะเก็บไว้ในรีจิสเตอร์เฉพาะของคำสั่ง ดังนั้นการเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม คือ แทนที่ผู้เขียนโปรแกรมจะระบุค่าตำแหน่งข้อมูลโดยตรง วิธีการนี้จะใช้ค่าที่เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ที่ระบุในรหัสคำสั่งซึ่งไปยังตำแหน่งของหน่วยความจำแทน หน่วยความจำที่สามารถใช้วิธีการเข้าถึงข้อมูลด้วยวิธีนี้จะป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปในบริเวณ 128 ไบต์ล่าง และ 128 ไบต์บนรวมทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกซีพียูรีจิสเตอร์ที่สามารถนำมาเป็นตัวชี้ ตำแหน่งของหน่วยความจำมีดังนี้

- รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป RO,R1 ของแต่ละกลุ่มรีจิสเตอร์ทั้ง 4
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SP (stack pointer)
- รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR (data pointer)
- รีจิสเตอร์แต่ละตัวจะมีหน้าที่ที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งสามารถอธิบายหน้าที่ที่ทำงานของรีจิสเตอร์ต่างๆ ข้างต้นดังนี้

**รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป RO,R1** เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต รีจิสเตอร์นี้สามารถชี้ตำแหน่งในหน่วยความจำได้เพียง 256 ตำแหน่งเท่านั้น โดยบริเวณหน่วยความจำของ 8051 ที่สามารถใช้รีจิสเตอร์ RO,R1 ระบุตำแหน่งได้ดังนี้จะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปช่วง 128 ไบต์ล่าง ส่วนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะไม่สามารถใช้รีจิสเตอร์ทั้งสองชี้ตำแหน่งนี้ได้ และจะต้องมีเครื่องหมาย @ นำหน้ารีจิสเตอร์ RO หรือ R1 ด้วย นอกจากนี้ยังสามารถใช้รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป RO,R1 ชี้ตำแหน่งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปที่อยู่ภายในซีพียูของ 8051 ได้แล้ว รีจิสเตอร์ทั้งสองยังสามารถชี้ตำแหน่งหน่วย

ความจำเป็นเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิพได้อีกด้วย แต่เนื่องจากรีจิสเตอร์ทั้งสองมีขนาดเพียง 8 บิต จึงมีข้อจำกัดตรงที่ไม่สามารถชี้หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกได้เกิน 256 ไบต์ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ADD A,@RO

นำค่าในหน่วยความจำตำแหน่งที่ตรงกับค่าในรีจิสเตอร์ RO มาบวก  
กับค่าในรีจิสเตอร์ A ผลลัพธ์ที่ได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A

รีจิสเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะ SP มีขนาด 8 บิต เหมือนรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป RO,R1 แต่รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SP ไม่สามารถชี้ตำแหน่งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิพได้ รีจิสเตอร์ SP มีคำสั่งใช้เฉพาะคือ PUSH, POP, CALL ซึ่ง 8051 จะทำการเพิ่มหรือลดค่าในรีจิสเตอร์ SP ให้เอง ในสถานะที่ 8051 ถูกรีเซตหรือเพิ่มจ่ายพลังงาน ค่าในรีจิสเตอร์ SP จะมีค่าเท่ากับ 07H เสมอ

บริเวณหน่วยความจำที่รีจิสเตอร์ SP ชี้อยู่เรียกว่า สแตก ซึ่งเป็นบริเวณของหน่วยความจำที่เก็บไว้ใช้ทำคำสั่งที่ใช้รีจิสเตอร์ SP เป็นตัวชี้ตำแหน่งข้อมูล รหัสคำสั่งที่ใช้รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SP เป็นตัวชี้ข้อมูล ไม่จำเป็นต้องระบุตำแหน่งของรีจิสเตอร์ SP เพราะ 8051 ทราบเองจากรหัสคำสั่งดังตัวอย่างต่อไปนี้

PUSH ACC

นำค่าในรีจิสเตอร์ A ไปเก็บไว้ในสแตก สมมติใน  
ขณะรีจิสเตอร์ ใช้งานเฉพาะ SP มีค่า 15H

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ดังนั้นรีจิสเตอร์ตัวนี้สามารถชี้ตำแหน่งหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิพรีจิสเตอร์ได้มากถึง 64 กิโลไบต์ รีจิสเตอร์ตัวนี้ที่มีใช้ในคำสั่งที่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลหรือโปรแกรมที่อยู่ภายนอกชิพ 8051 ดังตัวอย่างต่อไปนี้

MOVX A,@DPTR

นำค่าในหน่วยความจำตำแหน่งที่เท่ากับค่าในรีจิสเตอร์  
DPTR ในขณะนั้นมาไว้ในรีจิสเตอร์ A

การเข้าถึงข้อมูลทางอ้อมโดยรีจิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวนี้ เป็นรีจิสเตอร์ที่เก็บค่าตำแหน่งของข้อมูลที่ต้องประมวลผลจะต้องระบุเครื่องหมาย "@" ไว้ข้างหน้าดังตัวอย่าง

MOV A,@RO            นำค่าในหน่วยความจำที่ชี้โดยรีจิสเตอร์ RO ไปไว้ในรีจิสเตอร์ A  
 MOVX @DPTR,A       นำค่าในรีจิสเตอร์ A ไปไว้ในหน่วยความจำที่ชี้โดยรีจิสเตอร์  
 DPTR

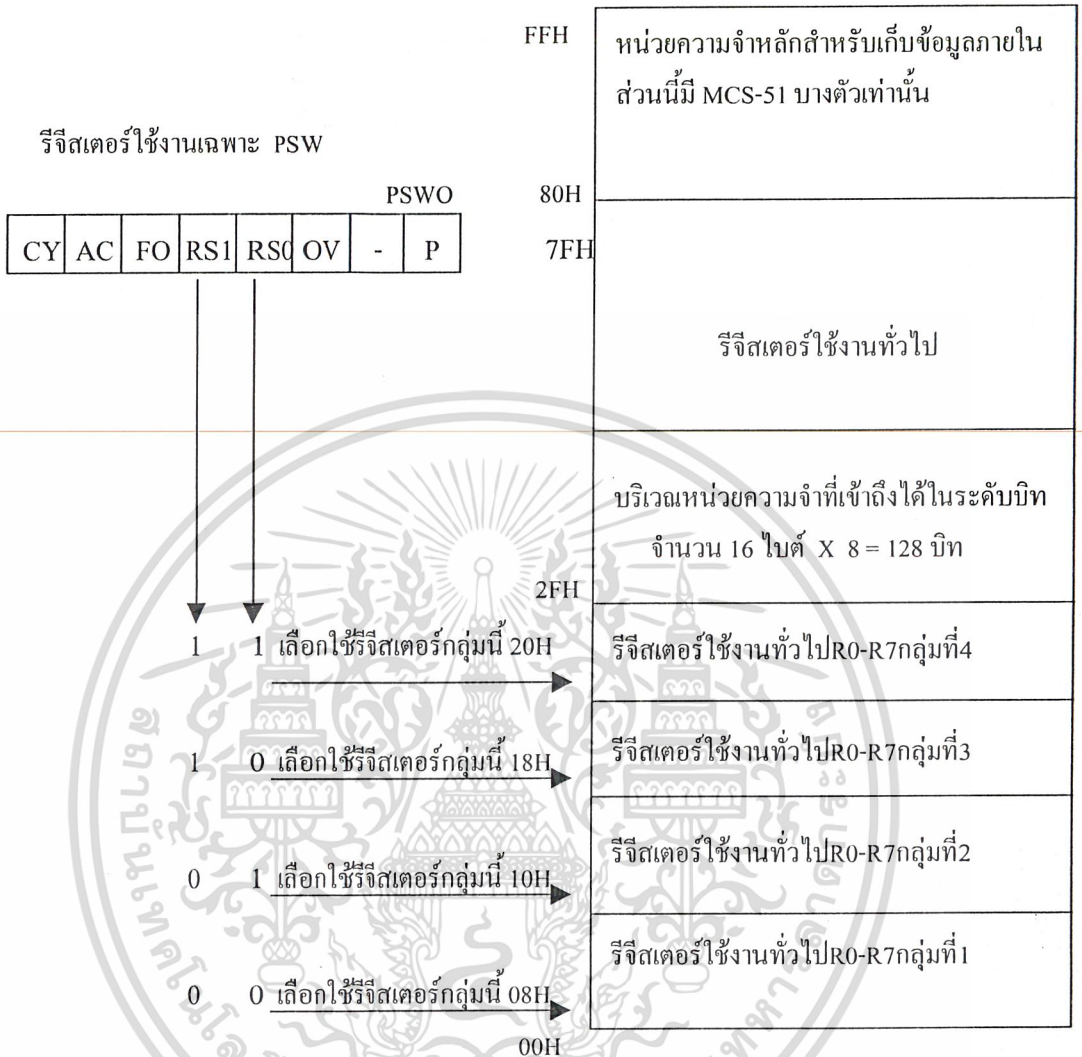
การใช้รีจิสเตอร์ DPTR เป็นตัวชี้ตำแหน่งหน่วยความจำจะต้องโหลดค่าตำแหน่งที่ต้องการไปไว้ในรีจิสเตอร์ DPTR ก่อน

การใช้รีจิสเตอร์ SP เป็นตัวชี้ข้อมูลในหน่วยความจำมีวิธีการที่แตกต่างกันออกไปผู้เขียนโปรแกรมไม่จำเป็นต้องระบุค่าของรีจิสเตอร์ SP เพราะรีจิสเตอร์ตัวนี้จะทำการเพิ่มหรือลดค่าเองโดยอัตโนมัติ ดังตัวอย่าง

PUSH ACC            จะเพิ่มค่าในรีจิสเตอร์ SP จากนั้นจะนำค่าในรีจิสเตอร์ A ไปไว้ในหน่วยความจำที่ชี้โดยรีจิสเตอร์ SP

POP ACC              นำค่าในหน่วยความจำที่ชี้โดยรีจิสเตอร์ SP ไปไว้ในรีจิสเตอร์ A จากนั้นรีจิสเตอร์ SP จะลดค่าลงเอง

- การเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป วิธีนี้เป็นการเข้าถึงข้อมูลที่อยู่ในรีจิสเตอร์ RO-R7 ของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปในแต่ละกลุ่ม รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปในแต่ละกลุ่มทั้ง 4 กลุ่มคือบริเวณหนึ่งของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ชี้เก็บข้อมูลบริเวณ 128 ไบต์ล่าง 00-1FH หรือตำแหน่งที่ 32 ไบต์ล่างสุดของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่ชี้เก็บข้อมูลทั่วไป ดังนั้นถ้าผู้เขียนโปรแกรมต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลในรีจิสเตอร์ทั้ง 32 ตัวซึ่งแต่ละตัวจะมีตำแหน่งในหน่วยความจำที่แน่นอนก็จะสามารถชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำที่ตรงกับรีจิสเตอร์ในแต่ละตัวด้วยวิธีการเข้าถึงข้อมูลโดยตรงหรือทางอ้อมดังที่กล่าวมาแล้ว เหตุที่ต้องมีการเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปนี้ก็เพื่อลดขนาดของคำสั่งให้สั้นลง เพราะหากมีการเข้าถึงข้อมูลของรีจิสเตอร์ RO-R7 จะทราบเองว่าจะต้องเลือกรีจิสเตอร์ใช้งานกลุ่มใดใน 4 กลุ่ม โดยดูจากค่าในบิต RSO,RSI ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการใช้รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปแต่ละกลุ่มจากบิต RS0,RS1

คำสั่งที่มีการเข้าถึงข้อมูลใช้รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปจึงต้องการเลขไปนารีเพียง 3 บิต จะเป็นตัวบอกรีจิสเตอร์ที่ต้องการใช้เท่านั้น ดังนั้นคำสั่งที่มีการใช้รีจิสเตอร์ RO-R7 โดยวิธีนี้จะมี ความยาวของคำสั่งต่ำที่สุด 1 ไบต์ (รหัสคำสั่ง 5 บิต รวมกับอีก 3 บิต ที่ต้องระบุรีจิสเตอร์) ดังแสดง ในตัวอย่างต่อไปนี้

ADD A,R1

นำค่าในรีจิสเตอร์ทั่วไป R1 มาบวกกับค่าในรีจิสเตอร์ A ผลลัพธ์เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A

-การเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์เฉพาะของคำสั่ง บางคำสั่งของ 8051 จะระบุไว้ว่าต้องปฏิบัติกรับข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวใด เช่น รีจิสเตอร์ A รีจิสเตอร์ DPTR รีจิสเตอร์ SP ในรหัสคำสั่งของคำสั่งที่ใช้วิธีการเข้าถึงข้อมูลประเภทนี้ 8051 จะทราบเองว่าต้องทำงานกับรีจิสเตอร์ตัวใดโดยไม่จำเป็นต้องระบุตำแหน่งของรีจิสเตอร์ที่ใช้โดยคำสั่ง เช่น

INC DPTR                    มีขนาด 1 ไบต์ เพราะไม่ต้องระบุตำแหน่งรีจิสเตอร์ DPTR

MUL AB                      มีขนาด 1 ไบต์ เพราะไม่ต้องระบุตำแหน่งรีจิสเตอร์ A,B

จากคำสั่งทั้งสองนี้จะเห็นได้ว่า Operate ตัวแรกของคำสั่งเป็นรีจิสเตอร์ DPTR , A, B ตามลำดับผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องระบุตำแหน่งของรีจิสเตอร์ทั้งสอง เพราะว่า 8051 จะทราบเองจากรหัสของคำสั่ง

-การเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง เป็นการกำหนดค่าข้อมูลที่จะนำไปประมวลผลโดยตรง ข้อมูลที่จะนำมาประมวลผลในคำสั่งจะอยู่ตามหลังรหัสคำสั่ง โดยการใช้เครื่องหมาย “#” ระบุหน้าข้อมูลที่ต้องการ เช่น

ADD A,#12H                นำค่า 12H มาบวกค่าในรีจิสเตอร์ A ผลลัพธ์เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A

-การเข้าถึงข้อมูลโดยใช้ตัวอ้างอิง สำหรับข้อมูลที่วิธีการอ้างอิงแบบนี้จะเป็นข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมเท่านั้น แสดงว่าเราสามารถอ่านข้อมูลนี้ออกมาได้แต่ไม่สามารถนำข้อมูลไปเก็บโดยใช้วิธีนี้ได้ จุดประสงค์ของการอ้างอิงข้อมูลแบบนี้มีไว้เพื่อใช้ในการเปิดหาค่าข้อมูลในหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม ซึ่งเป็นหน่วยความจำแบบถาวร (ROM) ข้อมูลในส่วนนี้จะไม่สูญหายแม้จะไม่มีพลังงาน ในการทำงาน of คำสั่งที่ใช้การเข้าถึงข้อมูลวิธีนี้จะใช้ค่าของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะว่า DPTR หรือ PC มารวมกับค่าในรีจิสเตอร์ A เพื่อชี้ไปยังตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมที่เก็บข้อมูลไว้ ดังนั้นค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR,PC จะต้องมียุทธศาสตร์กับตำแหน่งเริ่มต้นของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมในส่วนที่เก็บข้อมูล โดยใช้ค่าของรีจิสเตอร์ A เป็นตัวระบุว่าจะข้อมูลอยู่ห่างจากตำแหน่งเริ่มต้นในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR หรือ PC เท่าใด จุดประสงค์ของวิธีการอ้างอิงข้อมูลคือ ใช้ในการเปิดหาข้อมูลซึ่งอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมซึ่งเรียงต่อกันไป ตัวอย่างการใช้งานของวิธีการเข้าถึงข้อมูลชนิดนี้มีดังนี้

MOVC A,@A+DPTR

MOVC A,@A+PC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเข้าถึงข้อมูลแบบอ้างอิงวิธีนี้ยังมีที่ใช้ในกลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรมโดยการบังคับให้โปรแกรมกระโดดไปทำงานที่ตำแหน่งใด ๆ ในความจำซึ่งมีค่าตำแหน่งเท่ากับผลรวมของค่ารีจิสเตอร์ DPTR และ A ดังตัวอย่างต่อไปนี้

JMP @A,+DPTR

### 2.1.7 ไทเมอร์ / เคาน์เตอร์

ใน 8051 จะมีตัวจับเวลา / ตัว (Timer / Counter) นับขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว คือ ไทเมอร์ / เคาน์เตอร์ 0 และ ไทเมอร์ / เคาน์เตอร์ 1 โดยแต่ละตัวสามารถกำหนดให้เป็นตัวจับเวลาหรือตัวนับได้ โดยการเซตหรือเคลียร์บิต C/T ที่ตั้งรีจิสเตอร์ควบคุม TMOD ซึ่งอยู่ในกลุ่มรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษในการกำหนดให้ทำงานเป็นตัวจับเวลา ตัวรีจิสเตอร์ TH1 และ TH2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเก็บค่าจำนวนพัลส์ที่เข้ามาเพิ่มค่าทุก ๆ แมกซีนไซเคิล โดยแต่ละแมกซีนไซเคิลจะประกอบด้วย 12 คาบของสวิตเตอร์ ดังนั้นอัตราการนับแต่ละครั้งจะใช้เวลาเท่ากับ  $1/12$  ของความถี่ของสวิตเตอร์ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้งานเป็นอินเทอร์รัพต์ RTC (Real Time Clock) และถ้าให้ทำงานเป็นตัวนับ รีจิสเตอร์ตัวนับจะเพิ่มค่าทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะจาก “1” เป็น “0” ที่ขา TO หรือ T1 โดยอัตราความถี่สูงสุดที่สามารถนับได้คือไม่เกิน  $1/14$  ของความถี่ของสวิตเตอร์

ตัวจับเวลา / ตัวนับสามารถโปรแกรมให้มันทำงานได้ต่างกันถึง 4 โหมด โดยการเริ่มค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ซึ่งสามารถกล่าวถึงการทำงานในแต่ละ โหมดได้ดังนี้

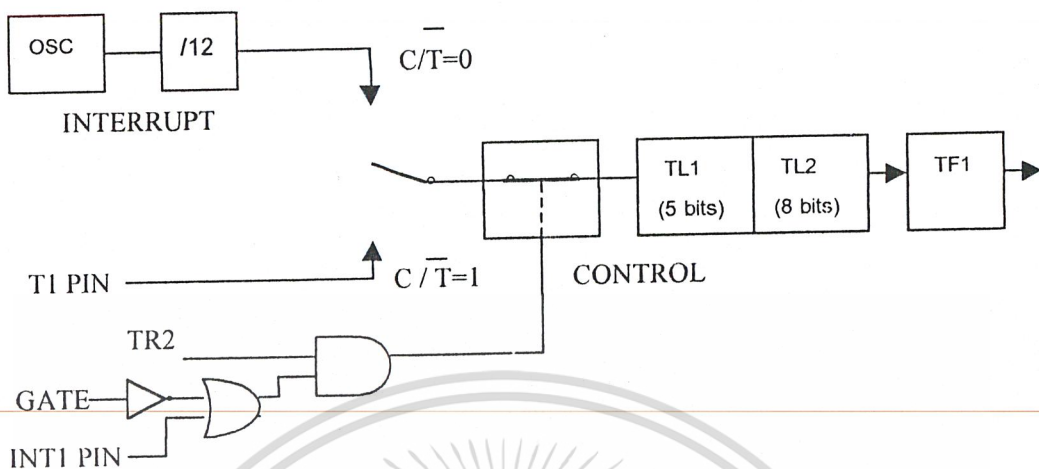
โหมด 0 รีจิสเตอร์ตัวนับจะถูกกำหนดให้มี 13 บิต ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ TH1 8 บิต และ TL1 อีก 5 บิตอันดับต่ำ ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นตัวจับเวลาหรือตัวนับได้โดยเซตหรือเคลียร์ที่บิต C/T ในตั้งรีจิสเตอร์ TMOD การทำงานของรีจิสเตอร์จะนับขึ้นครั้งละ 1 เมื่อมีสัญญาณเข้ามา 1 ลูก และเมื่อนับจนเป็น “1” หหมดทุกบิต ก็กลายมาเป็น “0” หหมดทุกบิตใหม่ ซึ่งจะเป็นการเกิดโอเวอร์โฟลว์ (Overflow) ไปทศแฟลกออินเทอร์รัพต์ให้เป็น 1

โหมด 1 การทำงานเหมือนกับโหมด 0 ทุกอย่างยกเว้นรีจิสเตอร์ตัวนับจะเป็นขนาด 16 บิต

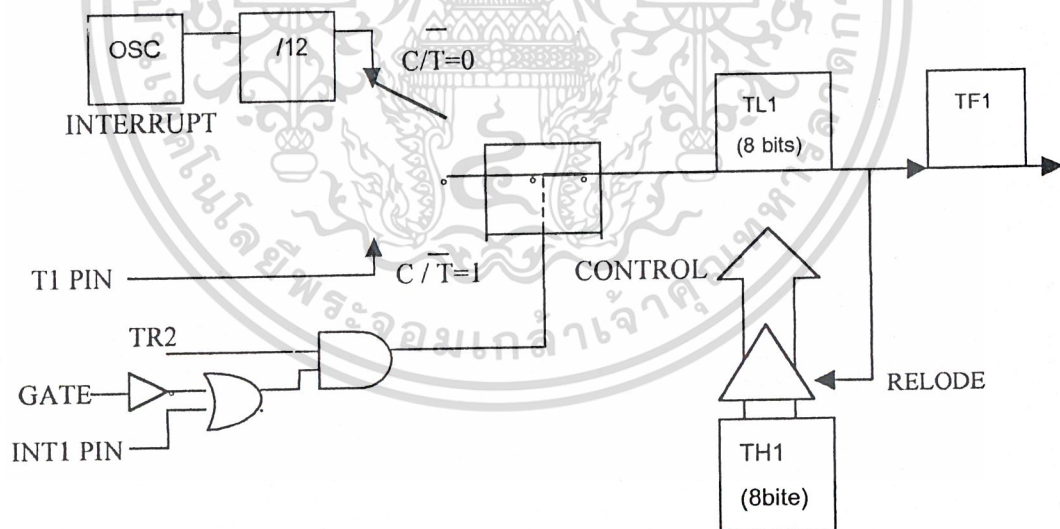
โหมด 2 จะใช้รีจิสเตอร์ TL1 เป็นตัวนับเพียงตัวเดียวและเมื่อ TL1 นับจนเป็น “1” หหมดทุกบิต ก็จะมีการโหลดค่าจากรีจิสเตอร์ TH1 โดยอัตโนมัติและการทำงานทศลงแฟลกออินเทอร์รัพต์ TF1 ให้เป็น “1” ค่าใน TH1 นี้สามารถตั้งค่าด้วยซอฟต์แวร์

โหมด 3 เป็นการเพิ่มตัวจับเวลาขึ้นอีก 1 ตัว แต่จะเป็นขนาด 8 บิตทั้งคู่ ซึ่งลักษณะการทำงานอื่น ๆ จะเหมือนกับโหมด 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

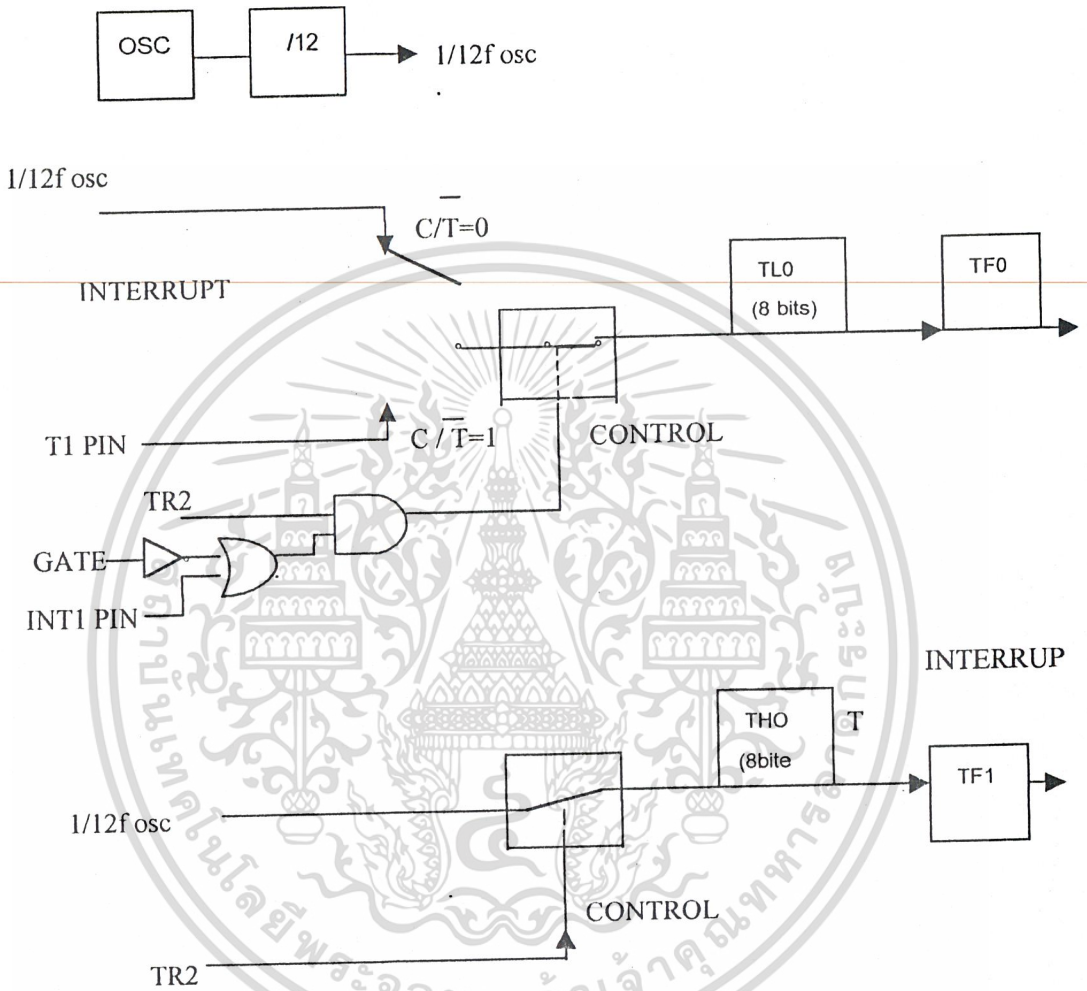


รูปที่ 2.6 แสดงวงจรการทำงานของตัวจับเวลา/ตัวนับที่ 1 ในโหมด 0 และ โหมด 1



รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของตัวจับเวลา/ ตัวนับที่ 1 ในโหมด 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรการทำงานของตัวจับเวลา/ ตัวนับที่ 0 ในโหมด 3

ส่วนรายละเอียดของบิตควบคุมในรีจิสเตอร์ TMOD และรีจิสเตอร์ TCON แสดงได้ดังนี้

TIMER/COUNTER 1				TIMER/COUNTER 0			
GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0

ตารางที่ 2.3 แสดงบิตควบคุมที่อยู่ในรีจิสเตอร์ TMOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- GATE : เซตเป็น “1” จะเป็นการอินเวิลต์ตัวจับเวลา / ตัวนับให้ถูกควบคุมด้วยขา INTx ต้องมีสถานะสูงและบิต TRx ใน TCON จะต้องเป็น “1” จึงจะเริ่มทำงาน แต่ถ้า GATE เป็น “0” ตัวจับเวลาตัวนับเวลาจะถูกควบคุมให้เริ่มทำงานด้วยบิต TRX เท่านั้น
- C/T : เป็นบิตควบคุมการเลือกการทำงานเป็นตัวจับเวลาหรือตัวนับ ถ้าเป็น “0” จะทำงานเป็นตัวจับ เวลา ถ้าเป็น “1” ทำงานเป็นตัวนับ
- M1,M0 : เป็นตัวเลือกโหมดการทำงานดังนี้

M1	M0	โหมดการทำงาน
0	0	โหมด 0
0	1	โหมด 1
1	0	โหมด 2
1	1	โหมด 3

ตารางที่ 2.4 แสดงการเลือกโหมดการทำงานของ TIMER/COUNTER โดย บิต M1,M2

TF1	TR1	TF0	IE1	IT1	IE0	IT0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

ตารางที่ 2.5 แสดงบิตควบคุมที่อยู่ในรีจิสเตอร์ TCON

- TFx : เป็นแฟล็กอินเตอร์จะถูกเซตด้วยฮาร์ดแวร์เมื่อเกิดโอเวอร์โพล์ของตัวจับเวลา/ตัวนับ และจะเคลียร์ตัวเองโดยอัตโนมัติ เมื่อทำงานอินเตอร์รัทนั้นเสร็จเรียบร้อยแล้ว
- TRx : เป็นบิตควบคุมให้ตัวจับเวลา/ตัวนับเวลาเริ่มทำงานโดยการเซตให้เป็น “1” และให้หยุดการทำงานด้วยการเคลียร์ให้เป็น “0” โดยซอฟต์แวร์
- IEx : เป็นแฟล็กอินเตอร์รัทจากสัญญาณภายนอก เซตด้วยฮาร์ดแวร์เมื่อสัญญาณขอการอินเตอร์รัทปรากฏที่ขา INTx และจะเคลียร์ตัวเองโดยอัตโนมัติ เมื่อกระโดดไปทำงานบริการอินเตอร์รัทที่ขอเข้ามาเรียบร้อยแล้ว

Itx : เป็นบิตควบคุมรูปแบบสัญญาณอินเทอร์รัพต์ภายนอกจะเซต/เคลียร์ด้วยซอฟต์แวร์โดยเซตเป็น “1” จะถูกอินเทอร์รัพต์ด้วยสัญญาณขอบขาลง และถ้าเคลียร์เป็น “0” จะถูกอินเทอร์รัพต์โดยสัญญาณระดับแรงดันต่ำ

### 2.1.8 โครงสร้างการอินเทอร์รัพต์

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 จะรับสัญญาณอินเทอร์รัพต์จากอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ 5 แหล่ง เราสามารถกำหนด ลำดับความสำคัญของอินเทอร์รัพต์ได้ 2 ระดับ โดยไม่ต้องอาศัยวงจรภายนอกช่วย แต่ละแหล่งของอินเทอร์รัพต์นั้นจะกำหนดเป็นเวกเตอร์เฉพาะ (ตัวชี้แอดเดรส) ดังนั้นเมื่อมีการอินเทอร์รัพต์ ตัวโปรเซสเซอร์จะกระโดดไปที่ส่วนของโปรแกรมที่ต้องทำงานตามวัตถุประสงค์ของอินเทอร์รัพต์นั้น หลังจากเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของโปรแกรมเคาน์เตอร์ลงในสแต็ก

การจัดการและการควบคุมอินเทอร์รัพต์มีรีจิสเตอร์พิเศษ 2 ตัว สำหรับการกำหนดรูปแบบการทำงานต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ รีจิสเตอร์พิเศษ IE (interrupt enable , ที่อยู่แอดเดรส 0AH) และ IP (Interrupt priority, ที่อยู่แอดเดรส 0B8H) การกำหนดรูปแบบการอินเทอร์รัพต์ ทำได้โดยการเซตหรือรีเซตตำแหน่งบิตใน IE อย่างเหมาะสม ดังแสดงความหมายของแต่ละบิตใน IE ในตารางที่ 2.6 สำหรับในตารางที่ 2.7 แสดงความหมายของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ TCON

EA	X	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0
----	---	-----	----	-----	-----	-----	-----

ตารางที่ 2.6 หน้าที่การทำงานของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ IE

สัญลักษณ์	ตำแหน่ง	หน้าที่
EA	IE.7	ทำการดิสเอบิลท์อินเทอร์รัพต์ ถ้า EA="0" จะไม่เป็นการตอบรับอินเทอร์รัพต์ใด ๆ ทั้งหมด ถ้า EA="1" แต่ละอินเทอร์รัพต์จะถูกอินเอบิลท์หรือดิสเอบิลท์โดยการเซต หรือเคลียร์อินเอบิลท์บิต
	IE.6	สงวนไว้ไม่ใช้งาน
ET2	IE.5	ทำการอินเอบิลท์หรือดิสเอบิลท์อินเทอร์รัพต์จากโอเวอร์โฟลว์ของไทเมอร์ 2 ถ้า ET2=0 อินเทอร์รัพต์จากไทเมอร์ 2 จะถูกดิสเอบิลท์
ES	IE.4	ทำการอินเอบิลท์หรือดิสเอบิลท์อินเทอร์รัพต์จากพอร์ตอนุกรม ถ้า ES="0" อินเทอร์รัพต์นี้จะถูกดิสเอบิลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ET1	IE.3	การทำอินาเบิ้ลหรือคิสเอเบิ้ลอินเตอร์รัพต์จากโอเวอร์โพล์ของไทเมอร์ 1 ถ้า ET1=0 อินเตอร์รัพต์จากไทเมอร์ 2 จะถูกคิสเอเบิ้ล
EX1	IE.2	ทำการอินาเบิ้ลหรือคิสเอเบิ้ลอินเตอร์รัพต์จากภายนอก 1 ถ้า EX1= "0" อินเตอร์รัพต์จะถูกคิสเอเบิ้ล
ETO	IE.1	ทำการอินาเบิ้ลหรือคิสเอเบิ้ลอินเตอร์รัพต์จากโอเวอร์โพล์ของไทเมอร์ 0 ถ้า ETO= 0 อินเตอร์รัพต์จากไทเมอร์ 2 จะถูกคิสเอเบิ้ล
EXO	IE.0	ทำการอินาเบิ้ลหรือคิสเอเบิ้ลอินเตอร์รัพต์จากภายนอก 0 ถ้า EXO= "0" อินเตอร์รัพต์นี้จะถูกคิสเอเบิ้ล

TF2	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

ตารางที่ 2.7 หน้าที่การทำงานของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ TCON

สัญลักษณ์

TF1

ตำแหน่ง

TCON.7

หน้าที่

เป็นโอเวอร์โพล์เฟลคของไทเมอร์ 1 จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์ เมื่อไทเมอร์/คาน์เตอร์นี้เกิดโอเวอร์โพล์จะถูกเคลียร์โดยฮาร์ดแวร์เมื่อโปรเซสเซอร์เข้าสู่การอินเตอร์รัพต์ที่

TRI

TCON.6

บิตควบคุมการรันของไทเมอร์ 1 จะถูกเซตและเคลียร์โดยซอฟต์แวร์เพื่อให้ไทเมอร์/คาน์เตอร์ทำงานหรือหยุดงานทำงาน

TFO

TCON.5

เป็นโอเวอร์โพล์ของไทเมอร์ 0 จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์ เมื่อไทเมอร์/คาน์เตอร์นี้เกิดโอเวอร์โพล์จะถูกเคลียร์โดยฮาร์ดแวร์เมื่อโปรเซสเซอร์เข้าสู่การอินเตอร์รัพต์ที่

TRO

TCON.4

บิตควบคุมการรันไทเมอร์ 0 จะถูกเซตและเคลียร์โดยซอฟต์แวร์ เพื่อให้ไทเมอร์/คาน์เตอร์ทำงานหรือหยุดทำงาน

IE1	TCOn.3	แฟล็กแสดงการอินเทอร์รัพต์ที่ 1 ทำงานที่ขอบขา จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์เมื่อตรวจพบสัญญาณอินเทอร์รัพต์จากภายนอกที่ขอบขา และจะถูกเคลียร์เมื่อเข้าสู่กระบวนการอินเทอร์รัพต์
IT1	TCON.2	บิตกำหนดรูปแบบการอินเทอร์รัพต์จากภายนอก 1 จะถูกเซตหรือเคลียร์โดยซอฟต์แวร์ เพื่อกำหนดให้เกิดอินเทอร์รัพต์ที่ขอบขาสูงหรือที่ระดับ LOW ของสัญญาณอินเทอร์รัพต์ภายนอก
IE0	TCON.1	แฟล็กแสดงการอินเทอร์รัพต์ที่ 0 จะถูกเซตโดยฮาร์ดแวร์เมื่อตรวจพบสัญญาณอินเทอร์รัพต์จากภายนอก และจะถูกเคลียร์เมื่อเข้าสู่กระบวนการอินเทอร์รัพต์
IT0	TCON.0	บิตกำหนดรูปแบบการอินเทอร์รัพต์เป็น 0 จะถูกเซตหรือเคลียร์โดยซอฟต์แวร์ เพื่อกำหนดให้เกิดอินเทอร์รัพต์ที่ขอบขาสูงหรือที่ระดับ LOW ของสัญญาณอินเทอร์รัพต์ภายนอก

X	XP	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0
---	----	-----	----	-----	-----	-----	-----

ตารางที่ 2.8 หน้าที่การทำงานของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ IP

สัญลักษณ์	ตำแหน่ง	หน้าที่
-	IP.7	สงวนไว้ไม่ใช้งาน
-	IP.6	สงวนไว้ไม่ใช้งาน
PT2	IP.5	บิตกำหนดระดับความสำคัญของอินเทอร์รัพต์ไทมเมอร์ 2 ถ้า PT2="1" อินเทอร์รัพต์จะมีความสำคัญระดับสูง
PS	IP.4	บิตกำหนดระดับความสำคัญของอินเทอร์รัพต์ของพอร์ตอนุกรม ถ้า PS="1" อินเทอร์รัพต์จะมีความสำคัญระดับสูง
PT1	IP.3	บิตกำหนดระดับความสำคัญของอินเทอร์รัพต์ไทมเมอร์ 1 ถ้า PT1="1" อินเทอร์รัพต์จะมีความสำคัญระดับสูง
PX1	IP.2	บิตกำหนดระดับความสำคัญของอินเทอร์รัพต์จากภายนอก 1 ถ้า PX1="1" อินเทอร์รัพต์จะมีความสำคัญระดับสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PTO	IP.1	บิตกำหนดระดับความสำคัญของอินเทอร์รัพต์ไทมเมอร์ 0 ถ้า PTO="1" อินเทอร์รัพต์จะมีความสำคัญระดับสูง
PX0	IP.0	บิตกำหนดระดับความสำคัญของอินเทอร์รัพต์จากภายนอก 0 ถ้า PX0="1" อินเทอร์รัพต์จะมีความสำคัญระดับสูง

ชนิดของอินเทอร์รัพต์	ลำดับ ความสำคัญ	ตำแหน่งเริ่มต้นของตำแหน่ง บริการอินเทอร์รัพต์
อินเทอร์รัพต์ภายนอกชนิด 0 (IE0)	1	0003H
อินเทอร์รัพต์ของไทมเมอร์ 0 (TF0)	2	000BH
อินเทอร์รัพต์ภายนอกชนิด 1 (IE1)	3	0013H
อินเทอร์รัพต์ของไทมเมอร์ 1 (TF1)	4	001BH
อินเทอร์รัพต์ของทิวาสารอนุกรม(TI+R1)	5	0023H

ตารางที่ 2.9 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นของโปรแกรมบริการอินเทอร์รัพต์แต่ละชนิดที่เกิดขึ้นที่พอร์ตของ 8051

## 2.2 สเต็ปป์มอเตอร์

### 2.2.1. นิยามของสเต็ปป์มอเตอร์

- ป้อนอินพุตด้วยพัลส์ที่มีความถี่ค่าหนึ่ง
- จะสเต็ปป์ไปหนึ่งสเต็ปป์ในแต่ละพัลส์
- ขนาดของสเต็ปป์ขึ้นอยู่กับารออกแบบสเต็ปป์มอเตอร์

### 2.2.2 การทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์

สเต็ปป์มอเตอร์มีความแตกต่างจากมอเตอร์ทั่วๆไป โดยเมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับมันๆ จะหมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงก็หยุดซึ่งแตกต่างจากมอเตอร์ทั่วๆไป โดยเมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าก็จะหมุนตลอดเวลาสเต็ปป์มอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลขได้อย่างละเอียดโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกำหนดและจัดเก็บตัวเลขเหล่านั้นไว้

สเต็ปป์มอเตอร์สามารถใช้งานในระบบเปิด (open loop system) นั่นก็คือมันทำงานได้โดยไม่ต้องมีการป้อนกลับ (feedback) แต่ทุกวิธีที่ต้องการกำหนดตำแหน่งได้อย่างถูกต้องจำเป็นต้องมีการป้อนกลับไปยังระบบให้รับรู้และอะไรจะเป็นตัวบอกได้ว่าตำแหน่งถูกหรือเกิดผิดพลาด

วิธีหนึ่งที่ใช้กัน โดยทั่วไปกับสเต็ปป์มอเตอร์คือ การใช้สวิตช์ติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งที่ต้องการตรวจจับ (limit switch) เมื่อสเต็ปป์มอเตอร์เริ่มหมุนและหมุนจนกระทั่งถึงตำแหน่งของสวิตช์ตรวจจับสัญญาณก็จะถูกป้อนกลับเข้าสู่ระบบให้รับรู้ และทราบการทำงานของสเต็ปป์มอเตอร์ตลอดเวลา ซึ่งโดยปกติในวงจรคอนโทรลจะมีการกำหนดจุดอ้างอิง (reference point) ไว้ด้วยเพื่อให้เริ่มทำงานและอ้างอิงตำแหน่งได้อย่างถูกต้อง

ตัวอย่างง่ายเช่นถ้าคุณเริ่มจ่ายไฟให้กับฟลิปไดรฟ์ คุณจะได้ยินเสียงมันเคลื่อนที่เพื่อหาจุดอ้างอิงที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นวงจรไคร่จะเริ่มทำงานได้โดยมันจะทราบถึงทุกๆ สเต็ปที่กำลังเคลื่อนหัวอ่าน/เขียน ไปยังแต่ละแทร็คบนดิสก์

เช่นเดียวกับมอเตอร์ทั่วๆ ไปการที่จะทำให้เกิดการหมุนของโรเตอร์ (rotor) ใต้ต้องมีการกระทำของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นระหว่าง โรเตอร์และสเตเตอร์ (stator) ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดวางขั้วแม่เหล็ก (pole) การหมุนทำได้ทั้งแบบต่อเนื่องและกลับทิศทางไปมาโดยกระบวนการทางไฟสลับหรือการจ่ายกระแสสลับ และการจัดแยกคอมมิวเตเตอร์และการทำสวิตช์ซึ่งกำลังไฟฟ้าให้เกิดแรงดึงดูดของแม่เหล็ก (magnetic attraction) ที่ขั้วแม่เหล็กสร้างและหยุดสลับกัน ผลคือเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นบนสเตเตอร์โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามตลอดเวลา และเมื่อต้องการหยุดหมุนได้โดยการหยุดการเกิดขั้วแม่เหล็กที่จุดหนึ่ง โดยการสวิตซ์ขั้วแม่เหล็กในลำดับต่อไปเสีย การหมุนกลับทิศทางก็ทำได้เช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วเพียงแต่ทำการสวิตซ์ขั้วแม่เหล็กทำให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในทิศทางกลับกัน หรือกลับลำดับการสวิตซ์ขั้วแม่เหล็ก

โครงสร้างแม่เหล็กบนสเตเตอร์ประกอบด้วยชิ้นแม่เหล็กวงแหวนที่มีขั้วยื่นออกมาแต่ละขั้วเหล่านั้นจะมีคอยล์พันสวมอยู่ ดังนั้นเมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าผ่านคอยล์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic) ขึ้นด้านตรงกันข้ามของแต่ละขั้วแม่เหล็กจะได้รับกระแสไฟฟ้าขณะเดียวกัน แต่ว่าจะไหลวนทิศทางตรงกันข้ามทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้ามขึ้น ดังแสดงในรูป ดังนั้นถ้าเพิ่มจำนวนของขั้วแม่เหล็กมากขึ้นจะเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อวงรอบมากขึ้นไปด้วย

อย่างไรก็ตามผู้ใช้งานสามารถเพิ่มจำนวนของสเต็ปได้อีกวิธีหนึ่งโดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนโครงสร้างภายใน โดยทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขั้วแม่เหล็ก 2 ขั้วที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้โรเตอร์หยุดหมุนอยู่ระหว่างกลาง 2 ขั้วแม่เหล็กนั้นหรือเคลื่อนที่ไปครึ่งสเต็ปเท่านั้นและวิธีการนี้ยังช่วยให้เกิดแรงบิด (torque) มากขึ้นด้วย

สเต็ปี่มอเตอร์โดยทั่วไปมีจำนวนขั้วแม่เหล็กต่อรอบมาก ปกติอยู่ที่ประมาณ 100-400 สเต็ปี่ต่อรอบ การมีจำนวนสเต็ปี่มากเช่นนี้ได้เพิ่มที่สเตเตอร์ แต่ทำได้โดยเพิ่มจำนวนขั้วแม่เหล็ก

สำหรับยูนิโพลาร์จะมีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ซึ่งแต่ละขดจะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามกัน การกลับขั้วแม่เหล็กทำได้โดยการพ่วงจอร์สวิทซ์ซึ่งกลับขั้วไฟฟ้าจากขดลวดหนึ่งไปอีกขดลวดหนึ่งเท่านั้น วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์แบบนี้จะง่ายกว่าแบบไฟโพลาร์เพราะมันต้องการเพียงสวิตช์ธรรมดาในการปิดเปิดกำลังไฟฟ้าให้ขดลวดบนสเตเตอร์ในทิศทางที่ต้องการได้ทันที

อย่างไรก็ตามมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์จะมีข้อดีคือว่าในตรงที่มีแรงบิดน้อยกว่าเพราะมีเพียงครึ่งหนึ่งของขดลวดที่ถูกกระตุ้นให้ทำงานเท่านั้นในระยะเวลาหนึ่ง

การดูว่าสเต็ปี่มอเตอร์ตัวใดพันแบบใดสักเกตได้ง่ายถ้าแบบไฟโพลาร์จะมีสายจากมอเตอร์ 4 เส้นและถ้าเป็นยูนิโพลาร์จะมี 5 หรือ 6 สาย หรืออ่านจากป้ายที่ติดอยู่กับตัวมอเตอร์ก็ได้

### 2.2.3. การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเต็ปี่มอเตอร์

การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของสเต็ปี่มอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปี่ทำได้โดยการจ่ายไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีแควนเซียนในรูปแบบที่ถูกต้องด้วยการแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ แบบเวฟ, แบบ 2 เฟส และแบบครึ่งสเต็ปี่

แบบเวฟเป็นการกระตุ้นแบบที่ง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งและเรียงถัดกันไป เช่น 1,2,3,4,1 หรือ 1,4,3,2,1 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการหมุน ดังนั้นจึงมีเพียงขดลวดเส้นเดียวในเวลาที่ถูกระตุ้นนั้น วงจรแบบนี้จึงมีราคาถูกและง่าย

สเต็ปี่ที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

ตาราง ที่ 2.10 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบเวฟ

แบบ 2 เฟสเป็นการกระตุ้นอีกวิธีหนึ่งซึ่งคล้ายกับแบบเวฟ แต่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกันและเรียงถัดไปเหมือนแบบเวฟคือ 12,23,34,41,12 หรือ 14,43,32,21,14 ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ต้องการหมุนข้อดีคือจะทำให้ได้แรงบิดมากกว่าแบบเวฟแต่จะกินไฟมากขึ้น

สแต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 2.11 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบ2เฟส

แบบครึ่งสแต็ปเป็นรูปแบบที่ผสมมาจากทั้ง2แบบแรกเพื่อเพิ่มจำนวนของสแต็ปต่อรอบอีเท่าตัวจะทำการกระตุ้นดังนี้ 1,12,2,23,3,34,4,41,1 หรือ 1,14,4,43,3,32,2,21,1 แรงบิดที่ได้จะเพิ่มมากขึ้นอีกเพราะช่วงสแต็ปมีระยะสั้นลงและแต่ละสแต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด2ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องทำการหมุนถึงสองสแต็ปจึงจะได้เท่ากับ1สแต็ปเหมือนกับการควบคุม2แบบแรก

สแต็ปที่	เฟสที่1	เฟสที่2	เฟสที่3	เฟสที่4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตาราง ที่ 2.12 แสดงขั้นตอนการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสแบบครึ่งสแต็ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## ทฤษฎีและการออกแบบเฟือง

3.1 เฟืองตรง เป็นเฟืองที่มีลักษณะดังรูปที่ 1 เฟืองชนิดนี้ใช้กับงานที่มีความต้องการเพิ่มหรือลดความเร็วรอบของเฟืองใช้งานประเภท Heavy duty tractor ที่ต้องการแรงบิดสูง



รูปที่ 3.1 เฟืองตรง

3.2 เฟืองเอียง (Helical Gear) รูปที่ 3.2 ใช้สำหรับการส่งกำลังขับเคลื่อนระหว่างเพลาที่ขนานกันหรือเพลาที่ทำมุมต่อกัน เฟืองเอียงมีลักษณะการจับที่เรียบ และมีเสียงเงียบกว่าเฟืองตรงในขณะที่มีขนาดและระยะพิตเท่ากัน อย่างไรก็ตามเมื่อเฟืองชนิดนี้หมุน จะทำให้เกิดแรงรุนที่ปลายเพลา (End Thrust) จึงจำเป็นต้องใช้แบริ่งรองรับเพลาเพื่อแก้ปัญหา

3.3 เฟืองก้างปลา (Herringbone Gear) รูปที่ 3.3 เฟืองชนิดนี้เปรียบเสมือนกับนำเฟืองเอียง 2 ตัว มาประกบกัน ซึ่งข้างหนึ่งจะมีฟันบิดในทิศทางบิดขวาและอีกข้างหนึ่งจะมีทิศทางการบิดซ้าย เฟืองชนิดนี้จะให้ปฏิกิริยาการส่งกำลังขับเคลื่อนที่เรียกว่าเฟืองเอียง และยังกำจัดอาการรุนแรงที่ปลายเพลาให้หมดไปด้วย ดังนั้นเฟืองชนิดนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้แบริ่งช่วยรองรับเพลาในการส่งกำลัง

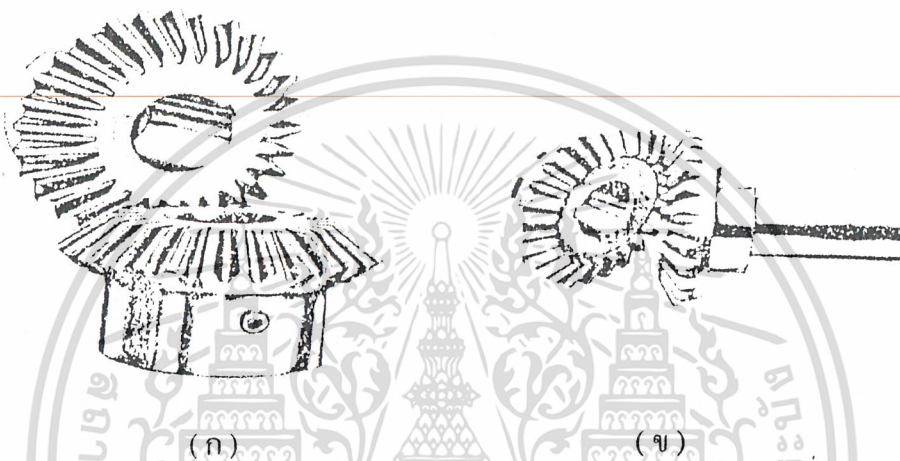


รูปที่ 3.2 เฟืองเฉียง

รูปที่ 3.3 เฟืองก้างปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เฟืองคอกจอก (Bevel Gear) รูปที่ 3.4(ก) เมื่อเพลา 2 เพลาวางทำมุมต่อกันเส้นแนวแกนตัดกันเป็นมุม 90 องศา ปกติจะใช้เฟืองคอกจอกเป็นตัวส่งกำลัง เมื่อเพลาทำมุมฉากและเฟืองสองตัวมีขนาดเท่ากัน เราเรียกเฟืองคอกจอกชนิดนี้ว่า “Mitre Gear” การส่งกำลังขับของเฟืองคอกจอกไม่จำเป็นที่เพลาจะทำมุมฉากเสมอไป แกนเพลาอาจจะตัดกันเป็นมุมมากหรือน้อยกว่าก็ได้



รูปที่ 3.4 เฟืองคอกจอก

เราเรียกเฟืองคอกจอกชนิดนี้ว่า Angular Bevel Gear รูปที่ 3.3(ข) โดยปกติเฟืองคอกจอกจะมีฟันตรงคล้ายกับเฟืองตรงมากแต่ยังมีเฟืองคอกจอกอีกชนิดหนึ่งมีรูปแบบของฟันบิดเฉียง ดังรูปที่ 3.5 เรียกเฟืองคอกจอกชนิดนี้ว่า Hypoid Gear เพลาของเฟืองชนิดนี้จะทำมุม 90 องศาต่อกัน แต่ไม่อยู่ในแกนเดียวกัน ดังนั้นเพลาทั้งสองจึงไม่ตัดกัน Hypoid Gear ใช้กับงานส่งกำลังในรถยนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.5 เฟืองคอกจอกที่ใช้ในรถยนต์ ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

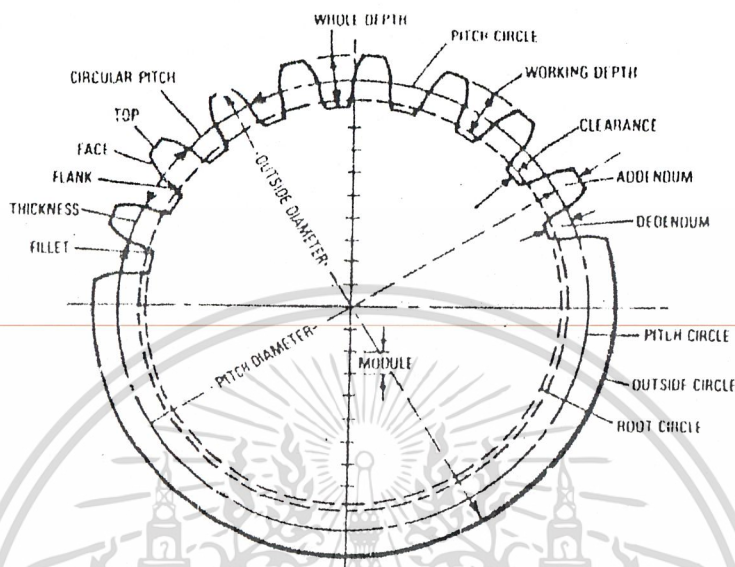


รูปที่ 3.6 เฟืองหนอนและเฟืองสะพาน

3.5 เฟืองหนอน (Worm Gear) เมื่อเฟืองสองเฟืองทำมุมฉากต่อกันและต้องคำนึงถึงการลดกำลังขับ เฟืองหนอนและเกลียวหนอน (Worm Gear and Worm Shaft) ดังรูปที่ 3.6(ก) เป็นชุดเฟืองที่เหมาะสมกับการใช้งานเกลียวหนอนที่ใช้ขับล้อเฟืองหนอนปกติจะเป็นเกลียวปากเคียวหรืออาจจะมีหลายปากก็ได้ เกลียวหนอนสองปากจะหมุนขับล้อเฟืองหนอนได้เร็วเป็นสองเท่าของเกลียวหนอนปากเคียว ขณะที่มิระยะพิตเท่ากัน

3.6 เฟืองสะพาน (Rack Gear) รูปที่ 6(ข)เป็นเฟืองที่ใช้ส่งกำลังขับในแนวเส้นตรงที่มีลักษณะหมุนกลับไปกลับมา เฟืองชนิดนี้เป็นแผ่นเฟืองที่มีควรวาบแบบมีฟันตรง เพื่อจับกับเฟืองเฉียง

### 3.7 รูปร่างของเฟือง (Gear Terminology)



รูปที่ 3.7 รูปร่างและส่วนต่างๆ ของเฟืองตรง

สิ่งแรกที่จะต้องทำความเข้าใจก็คือ ความรู้เกี่ยวกับกลุ่มคำที่ใช้เรียกส่วนต่างๆ ของเฟือง เพราะเป็นสิ่งจำเป็นที่จะนำไปสู่การคำนวณและการตัดเฟือง กลุ่มคำส่วนใหญ่จะใช้ได้ทั้งเฟืองระบบนิ้วและระบบเมตริก แม้ว่าวิธีการคำนวณทั้งสองระบบจะแตกต่างกันก็ตาม

#### ADDENDUM

คือระยะห่างตามผิวโค้งระหว่างวงกลมพิตช์กับเส้นผ่าศูนย์กลางนอกสุดหรือความสูงของพื้นเหนือวงกลมพิตช์

#### CHORDAL ADDENDUM

คือระยะห่างตามผิวโค้งจากยอดฟันไปยังจุดที่ซึ่งวัดความหนาของฟันตามเส้นคอรัค

#### CORDAL THICKNESS

คือความหนาของฟันวัดที่วงกลมพิตช์หรือความยาวที่เส้นคอรัค ที่ลากตัดส่วนโค้งของฟันตามวงกลมพิตช์ จากขอบฟันด้านหนึ่งไปยังขอบฟันอีกด้านหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CIRCULAR PITCH**

คือระยะห่างจากจุด ๆ หนึ่งบนฟัน ๆ หนึ่งไปยังจุดเดียวกันของฟันที่อยู่ถัดไปด้านบนวงกลมพืด

**CIRCULAR THICKNESS**

คือความหนาของฟันวัดตามเส้นรอบวงกลมพืด

**CLEARANCE**

คือระยะห่างวัดตามผิวโค้งระหว่างยอดฟันกับ โคนฟันของเฟืองที่นำมาขบกัน

**DEDENDUM**

คือระยะห่างวัดตามผิวโค้งจากวงกลมพืดถึงร่องฟัน Addendum จะเท่ากับ Addendum บวก Clearance

**DIAMETRAL PITCH**

คืออัตราส่วนจำนวนฟันกับเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพืดของเฟือง

**LINEAR PITCH**

คือระยะห่างจากจุด ๆ หนึ่งบนฟัน ๆ หนึ่งไปยังจุดเดียวกันของฟันถัดไปตามแนวเส้นพืดของเฟืองสะพาน

**MODULE (ระบบเมตริก)**

คือเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพืดของเฟืองหารด้วยจำนวนฟัน ซึ่งเป็นขนาดจริงไม่เหมือนกัน Diametral Pitch ซึ่งเป็นอัตราส่วนของจำนวนฟันกับเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพืด

**OUTSIDE DIMETER**

คือขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุดของเฟือง ซึ่งเท่ากับวงกลมพืดบวกด้วย 2 เท่าของ Addendum

**PITCH CIRCLE**

คือวงกลมซึ่งมีรัศมีเท่ากับครึ่งหนึ่งของเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพืด ซึ่งมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่แกนกลางของเฟือง

**PITCH CIRCUMFERANCE**

คือเส้นรอบวงกลมพืด

**PITCH DIAMETER**

คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมพืดเท่ากับวงกลมพืดบวกด้วย 2 เท่าของ Addendum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PRESSURE ANGLE**

คือมุมระหว่างเส้นตรงที่ลากผ่านจุดสัมผัสของฟันเฟืองสองฟันที่ขบกัน และเส้นสัมผัสวงกลมพื้นฐาน (Base Circle) ของเฟืองทั้งสองและเส้นที่ทำมุมฉากกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟือง

**ROOTH CIRCLE**

คือวงกลมที่เกิดจาก โคนของร่องฟันเฟือง

**TOOTH THICKNESS**

คือความหนาของฟันวัดบนวงกลมพีต

**WHOLE DEPTH**

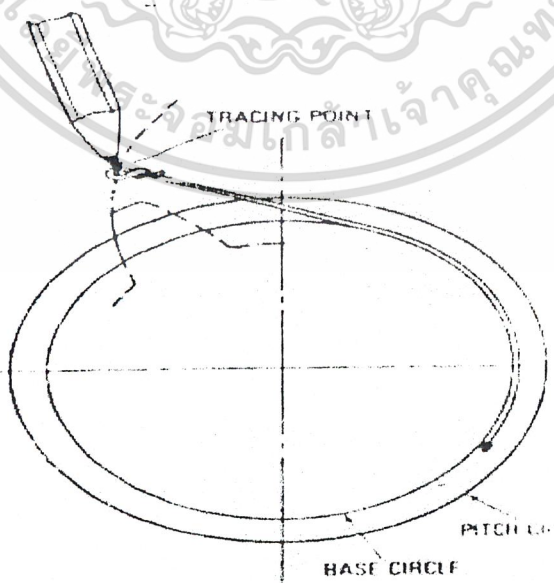
คือความลึกเต็มของฟันหรือระยะที่เท่ากับ Addendum + Dedendum

**WORKING DEPTH**

คือระยะที่ฟันของเฟืองตัวหนึ่งขบเข้ากับช่องว่างของฟันเฟืองอีกตัวหนึ่ง ซึ่งเท่ากับ 2 เท่าของ Addendum

**INVOLUTE CURVE**

ถ้าเราพันเชือกไว้บนวงกลม โดยดึงปลายเชือกด้านหนึ่งไว้ด้วยหมุด เมื่อคลี่ปลายเชือกด้านที่เหลือแล้วดึงให้ตึงตลอดเวลา แนวของปลายเชือกที่เคลื่อนไป มีลักษณะเป็นเส้นโค้งแบบ Involute (ดังรูป 1.13) ลักษณะของฟันเฟืองจะมีความโค้งฟันเป็น Involute นี้



รูปที่ 3.8 การสร้างความโค้ง Involute

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1 เฟืองหนอน ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งมีลักษณะและความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับเฟืองเฉียง (Helical Gear) ดังนั้นความหมายของเฟืองหนอนอาจจะกล่าวได้ว่าหมายถึง รูปแบบโดยเฉพาะของเฟืองเฉียง ซึ่งมีฟันที่ถูกตัดแปลงเป็นพิเศษ เพื่อจับกับเฟืองคู่ของมัน ที่มีมุม Helix ของฟันใหญ่ มีฟันอยู่ในรูปของเกลียว ฟันไปรอบเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพิต



รูปที่ 3.9 เกลียวหนอนและล้อเฟืองหนอน

### 3.8 ทฤษฎีเฟืองหนอน

เฟืองหนอนเป็นชุดเฟืองที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการทดความเร็วรอบครั้งละมาก ๆ ระหว่างเพลาคับกับเพลาดาม ซึ่งทำให้อัตราส่วนแรงบิด (Torque) ของเพลาดามเพิ่มมากขึ้น โยปกติ ล้อเฟืองหนอน (Worm Wheel) จะถูกขับเคลื่อนด้วยเกลียวหนอน (Worm Shaft) ที่เป็นเกลียวปากเดียว ซึ่งลักษณะของการขับเคลื่อนนั้นไม่สามารถจะกลับทิศทางหรือหมุนถอยหลังได้ เช่นเดียวกับเฟืองอัดโน้มนัดที่ล้อตัวเอง เพื่อไม่ให้เกิดการหมุนกลับ ในการใช้งานของเฟืองประเภทนี้จะมีประสิทธิภาพในการส่งกำลังไม่มากนัก โดยปกติไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเฟืองจะสูญเสียกำลังเข้าไปครึ่งหนึ่งบนเพลากลียวหนอน แต่การสูญเสียกำลังเข้าไปนั้นก็ไม่ใช่สิ่งจำเป็นสำหรับการใช้งานประเภทงานที่มีการเคลื่อนที่ (Adjustment) ซึ่งไม่ได้ใช้ในการส่งกำลังขับโดยตรง ถ้าชุดเฟืองหนอนประเภทนี้ถูกใช้อย่างต่อเนื่องกัน นอกจากจะสูญเสียกำลังไปครึ่งหนึ่งแล้วจะยังเป็นผลให้การสึกหรอเพิ่มอัตราส่วนมากขึ้นในชุดเฟืองด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.8.2 ประโยชน์ของเฟืองหนอน

1. เมื่อต้องการให้ประสิทธิภาพในการส่งกำลังจับเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตามต้องการ
2. เมื่อต้องการลดความเร็วลงมาก ๆ
3. เมื่อต้องการให้ได้เปรียบเชิงกล ซึ่งหมายถึงการให้แรงในการทำงานผ่านได้ด้วยดี เมื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานของการเคลื่อนที่

ในการออกแบบและสร้างชุดเฟืองหนอน นอกจากจะให้ประสิทธิภาพในการส่งกำลังสูงแล้ว ยังต้องมีกลไกที่แข็งแรง และมีเสียงเงียบในขณะที่ส่งกำลังจับอีกด้วย ความทนทานและประสิทธิภาพของชุดเฟืองหนอนแบบใหม่ ๆ แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จและการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในวงงานอุตสาหกรรมรถยนต์ โดยเฉพาะเพลาท้ายส่งกำลังของรถบรรทุกและรถโดยสารมอเตอร์ที่ใช้ลดความเร็วรอบให้อยู่ในพิสัยต่าง ๆ เพื่อส่งกำลังจับของเครื่องจักรกล และในเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องต่อกำลังจับกับส่วนอื่น ๆ เป็นต้น

### 3.8.3 รูปร่างของเฟืองหนอน

รูปร่างของล้อเฟืองหนอน แบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้ 3 ชนิดดังนี้ ดังรูปที่ 3.10

1. แบบ A เป็นแบบที่นิยมกันมากในการส่งกำลังจับทั่ว ๆ ไป เช่น เพลาของ Gear Cutter และเครื่องมือกลอื่น ๆ เช่น อุปกรณ์เครื่องยก, กว้าน เพลาท้ายรถบรรทุกและรถโดยสาร เป็นต้น เฟืองชนิดนี้ฟันจะขบกันแบบสนิทธระหว่างหน้าสัมผัสของฟันเฟืองและเกลียว ซึ่งทำให้แรงและความสึกหรอแผ่กระจายไปตลอดพื้นที่ของชุดเฟือง
2. แบบ B มีฟันตัดเป็นแนวตรงขวางกับหน้าฟัน โดยปกติล้อเฟืองชนิดนี้ใช้แทนเฟืองเฉียง รูปแบบของเฟืองชนิดนี้จึงคล้ายคลึงกับเฟืองเฉียง
3. แบบ C เป็นแบบที่สามารถผ่อนกำลังจากหลักให้เบาที่สุด ซึ่งเกลียวหนอนสามารถหมุนด้วยมือได้ และมีความเที่ยงตรงในการทำงานสูง เช่น การทำงานของหัวแบ่ง



รูปที่ 3.10 ชนิดของล้อเฟืองหนอน

### 3.8.4 การแบ่งเฟืองหนอนตามลักษณะการหมุน

เฟืองหนอนแบ่งตามลักษณะการหมุน ได้ดังนี้

1. Reversible
2. Non-Reversible

Reversible ชุดเฟืองหนอนชนิดนี้ ได้แก่ เพลาท้ายรถยนต์ ล้อเฟืองต้องจับเกลียวตัวหนอนเมื่อรถแล่นลงจากเนินเขาหรือที่สูง เป็นต้น

Non-Reversible ชุดเฟืองหนอนประเภทนี้ล้อเฟืองไม่สามารถหมุนจับเกลียวหนอนได้ (ไม่สามารถหมุนถอยหลังได้) เหมือนกับเฟืองที่ล็อกตัวเอง เพื่อป้องกันการหมุนกลับทิศทาง เช่น ในการส่งกำลังของก้านในกลไกของหัวแบ่ง และใน Steering Mechanism

### 3.8.5 ลักษณะการส่งกำลังขับเคลื่อนตัวเอง (Principle of Self Locking Drive)

ถ้าวางชิ้นโลหะชิ้นหนึ่งไว้บนระนาบ แล้วเอียงระนาบนั้นขึ้นอย่างช้า ๆ ชิ้นโลหะจะยังคงค้างอยู่บนระนาบ เมื่อมุมของระนาบนั้นยังอยู่ในขอบเขตที่พอควร กล่าวคือ มุมของระนาบอยู่ระหว่าง 5 - 15 องศา ค่าของมุมที่แปรค่าไปนี้ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานระหว่างผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเอียงของระนาบในที่นี้ก็เปรียบเทียบกับมุมเอียงของฟันเฟืองหนอน เมื่อมุมเอียงของฟันน้อยล้อยู่มากก็ไม่สามารถหมุนขับเคลื่อนหนอนได้ แต่เมื่อมุมเอียงของฟันมีขนาดโตขึ้นล้อยู่มากก็สามารถหมุนขับเคลื่อนได้

ในเฟืองที่ต้องการล้อยึดตัวเอง เพื่อป้องกันการหมุนกลับ จะมีมุมของฟันไม่มากไปกว่าสามองศา ประสิทธิภาพของแรงเสียดทานระหว่างผิวของล้อยึดเฟืองและเกลียวหนอน โดยทั่วไปมุมเอียงของเฟืองชนิดนี้จะโตไม่เกิน 5 องศา ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานได้ไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์

### 3.8.6 ประสิทธิภาพสูงสุด

ประสิทธิภาพการทำงานของเฟืองหนอนจะมากขึ้น เมื่อมุมเอียงเกลียว Lead or Slant Angle เพิ่มขึ้นและเกลียวเป็นเกลียวหลายปาก อีกทั้งยังต้องมีสัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทานต่ำอีกด้วย ความสัมพันธ์ของมุมเอียงและจำนวนปากเกลียวเป็นดังนี้

จำนวนปาก	มุมเอียงเกลียว
1	5 องศา ลงมา
2	5 – 12 องศา
3 หรือ 4	10 – 14 องศา
5 หรือ 6	15 – 36 องศา
7 หรือมากกว่า	20 องศาขึ้นไป

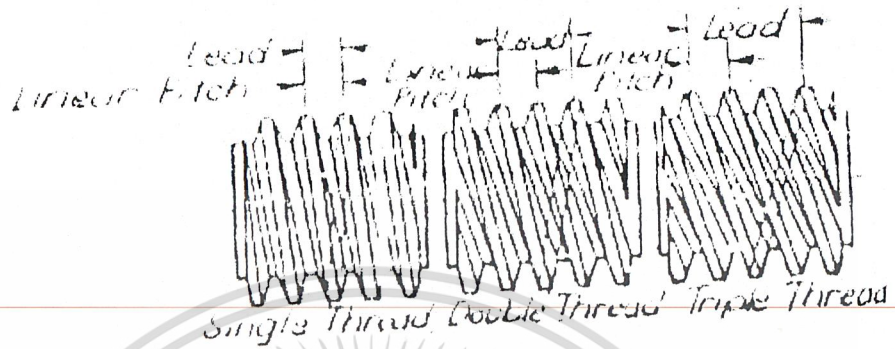
โดยปกติประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด เมื่อมุมเอียงของเกลียวเป็นมุม 40 องศา จะให้ประสิทธิภาพการทำงานถึง 90 หรือ 95 เปอร์เซ็นต์ ค่าจะเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยเมื่อมุมเอียงอยู่ระหว่าง 35 ถึง 45 องศา แต่ถ้ามุมเอียงน้อยกว่า 30 องศาแล้ว ประสิทธิภาพของการทำงานจะลดลงอย่างรวดเร็ว

### 3.8.7 การใช้เกลียวปากเดียวและเกลียวหลายปาก

แม้ว่าเกลียวหลายปากดังรูปที่ 3.11 เมื่อนำมาใช้งานภายใต้ภาวะการเดียวกันกับเกลียวปากเดียว จะให้ประสิทธิภาพการทำงานมากกว่าก็ตาม แต่เกลียวหลายปากก็มีได้ถูกนำมาใช้งานเสมอไป เกลียวปากเดียวจะใช้ได้ดีเมื่อใช้กับงานที่ต้องการอัตราทดสูง และเป็นงานที่ต้องการการล้อยึดตัวเองเพื่อป้องกันการหมุนกลับ

สมมติว่า ต้องการอัตราทด 100 ต่อ 1 ประสิทธิภาพของเกลียวปากเดียวจะไม่เกิน 60 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าใช้เฟืองตัวหนอนสองชุดประกอบเข้าด้วยกัน ในรูปของชุดเฟืองประกอบ (Compound Drive) โดยแต่ละชุดมีอัตราทด 10 ต่อ 1 ก็จะได้อัตราทดรวม 100 ต่อ 1 เช่นเดียวกัน แต่ชุดเฟืองประกอบจะมีประสิทธิภาพ ของการทำงานถึง 80 เปอร์เซ็นต์ หรืออาจจะมากกว่า จากความ

เอกสารนี้จึงถูกนำมาสร้างชุดเฟืองหนอนในรูปของเกลียวหลายปากขึ้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

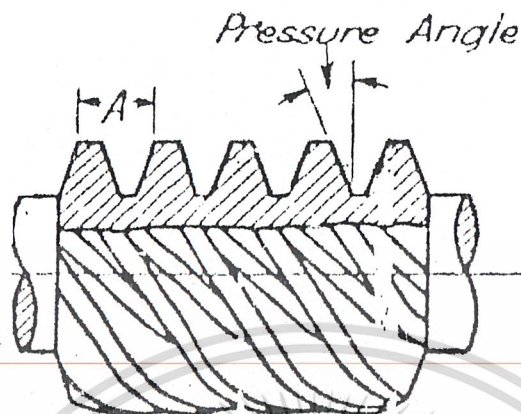


รูปที่ 3.11 ลักษณะของเกลียวหลายปาก

### 3.8.8 มุมของเกลียวหนอน

ถ้าพิจารณาที่รูปหน้าตัดของเกลียวหนอนก็จะพบความแตกต่างของเกลียวหนอนที่จำนวนปากของเกลียว ซึ่งอาจจะมีปากเดียว สองปาก สามปาก สี่ปาก หรือมากกว่าก็ได้ โดยปกติแล้วแต่ละด้านของเกลียวจะมีมุมโต 14.5 องศา (เท่ากับ Pressure Angle ของด้อยเฟือง) หรือมุมรวมเกลียวเท่ากับ 29 องศา นั่นเอง

มุมเกลียว 29 องศาจากรูปที่ 3.12 เป็นมุมที่ใช้กับเกลียวปากเดียว หรือ เกลียวสองปาก ถ้าเป็นเกลียวสามปาก หรือ เกลียวสี่ปาก จำเป็นจะต้องเพิ่ม Pressure Angle มากขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด Undercutting ซึ่งจะทำให้เกิดความอ่อนแอที่โคนฟันขึ้นภายหลัง ดังนั้นมุมรวมของเกลียวหนอนอาจจะสูงถึง 60 องศา



รูปที่ 3.12 Pressure Angle ของเกียร์หยอน

จากคำแนะนำของ AGMA (AMERICAN GEAR MANUFACTURER'S ASSOCIATION) สำหรับเกียร์สามและสี่ปาก ให้ใช้มุมเกียร์ 40 องศา และจะต้องเข้าใจเสียก่อนว่า เมื่อเกียร์หยอนเป็นเกียร์หลายปาก มุม Helix จะมากกว่าเกียร์หยอนที่เป็นเกียร์ปากเดียว ในขณะที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมพืดเท่ากัน ถ้ามุมของเกียร์ไม่เพิ่มมากขึ้นมากขึ้น ก็จะเป็นผลเสียต่อพื้นที่ของฟันเฟือง และในบางกรณีเกียร์หยอนและล้อเฟืองหยอนจะไม่สามารถประกอบเข้ากันตามปกติได้

### 3.8.9 วัสดุที่ใช้ทำชุดเฟืองหยอน

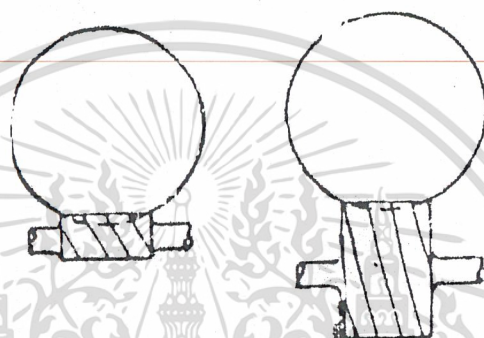
ประสิทธิภาพของชุดเฟืองหยอน นอกจากจะขึ้นอยู่กับมุมเกียร์และจำนวนปากเกียร์แล้วยังขึ้นอยู่กับวัสดุที่มีสมบัติของแรงเสียดทานต่ำอีกด้วย สำหรับงานรับภาระเบา ๆ และงานที่ใช้เป็นบางครั้งคราว เกียร์หยอนมักจะทำด้วย Mid Steel และล้อเฟืองทำด้วยเหล็กหล่อ ซึ่งจะต้องมีการหล่อขึ้นอย่างเพียงพอ เพื่อลดแรงเสียดทาน

สำหรับการรับภาระหนัก ๆ ปกติล้อเฟืองจะทำด้วย Phosphor Bronze และ เกียร์หยอนทำจากเหล็กกล้า ผ่านการชุบผิวแข็ง นอกจากนี้ยังมีวัสดุอีกชนิดหนึ่งที่ดีที่สุดสำหรับการทำเกียร์หยอน วัสดุนี้คือ Nickle Chrome Steel

### 3.8.10 การหล่อขึ้น

การหล่อขึ้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง สำหรับประสิทธิภาพการทำงานของเฟืองหยอน ปฏิกริยาและลักษณะการจับกันของฟันที่หมุนจับกันตลอดเวลาจะเป็นต้นเหตุให้เกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนและความเสียดทานเกิดขึ้น โดยปกติเกลิยวอนจะอยู่ส่วนล่างของชุดเฟืองและจมอยู่ในอ่างน้ำมัน ดังนั้นน้ำมันที่ใช้ในการหล่อลื่นควรจะมีน้ำหนักของตัวมันเองสูง เพื่อจะได้ไม่กระเด็น ในขณะที่เฟืองหมุนซบกัน ตัวหล่อลื่นที่ดีที่สุดประกอบด้วยน้ำมันละหุ่งผสมกับน้ำมันแร่ (Mineral Oil) 5 – 10 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันไม่ให้ข้นเกินไป



WORMS MAY BE MADE DIFFERENT SIZES WITHOUT ALTERING VELOCITY RATIO

รูปที่ 3.13 ชุดเฟืองหนอนแม้จะมีขนาดต่างกันแต่อัตราส่วนความเร็วจะไม่เปลี่ยนแปลง

### 3.8.11 การหลีกเลี่ยง Undercutting

ถ้าตัดเฟืองหนอนด้วย Standard Tooth Form Cutter จะเกิด Under Cutting ขึ้นที่ผิวด้านข้าง ฟันดังรูปที่ 14 ในกรณีดังนี้

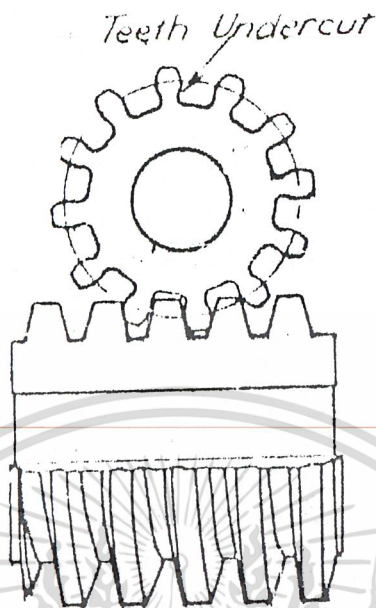
เมื่อมุม Pressure Angle 14.5 องศา จำนวนฟันน้อยกว่า 30 ฟัน

เมื่อมุม Pressure Angle 20 องศา จำนวนฟันน้อยกว่า 24 ฟัน

อย่างไรก็ตาม เราจะไม่รู้สึกเลยว่าได้มี Under Cutting เกิดขึ้นบนล้อเฟือง เว้นเสียแต่ว่าจำนวนของ ฟันล้อเฟืองจะน้อยกว่า 20 ฟัน และในทางปฏิบัติแม้ล้อเฟืองจะมีจำนวนของฟันน้อยกว่า 12 ฟันก็สามารถทำงานได้อย่างน่าพอใจ การหลีกเลี่ยง Under Cutting อาจทำได้ 2 วิธี คือ

1. กลึงขึ้นงานล้อเฟือง Wheel Blank) ให้มีขนาดโตกว่าปกติ แล้วกัดฟันให้ได้ความลึกมาตรฐาน ในกรณีที่มีความจำเป็นที่จะต้องรักษาระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของเฟือง
2. โดยการเพิ่ม Pressure Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ภาพหน้าตัดแสดงการเกิด Under Cutting

### 3.8.12 มาตรฐานระยะห่างระหว่างศูนย์ (Standard Center Distance)

ในวงการอุตสาหกรรม ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางถูกกำหนดไว้เป็นมาตรฐานเพื่อสะดวกในการใช้งานครั้งนี้

$1 \frac{1}{8}$ ,  $1 \frac{1}{3}$ ,  $1 \frac{1}{4}$ ,  $2 \frac{1}{4}$ , 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,  $10 \frac{1}{2}$ , 12, 14, 17, 20, 24 และ 18 นิ้ว  
ในกรณีที่ไม่สามารถเลือกใช้มาตรฐานระยะห่างระหว่างศูนย์ตามข้อมูลข้างบนนี้ได้ ก็ยังสามารถเลือกระยะห่างระหว่างศูนย์ได้อีกชุดหนึ่งดังนี้

$1 \frac{1}{4}$ ,  $1 \frac{5}{8}$ , 2,  $2 \frac{1}{2}$ ,  $3 \frac{1}{2}$ ,  $4 \frac{1}{2}$ ,  $6 \frac{1}{2}$ ,  $7 \frac{1}{2}$ ,  $8 \frac{1}{2}$ ,  $9 \frac{1}{2}$ , 10, 13, 15,  $16 \frac{1}{2}$  และ 18 นิ้ว

มาตรฐานระยะห่างระหว่างศูนย์สำหรับเฟืองหนอนที่ใช้ในพลาสติกกำลัง มีดังนี้

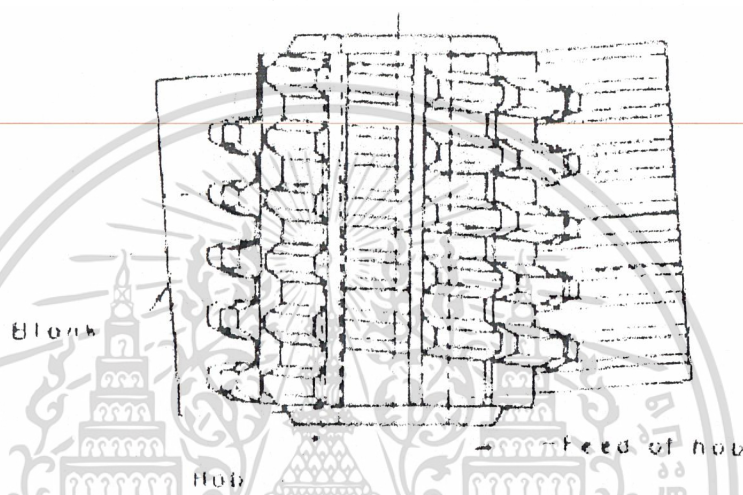
3,  $3 \frac{1}{4}$ ,  $3 \frac{1}{2}$ ,  $3 \frac{3}{4}$ , 4,  $4 \frac{1}{2}$ , 5,  $5 \frac{1}{2}$ , 6,  $6 \frac{1}{2}$ , 7,  $7 \frac{1}{2}$ , 8,  $8 \frac{1}{2}$ , 9 และ 10 นิ้ว

### 3.8.13 การคำนวณเฟืองหนอน (Worm Gear calculation)

รูปแบบโดยทั่ว ๆ ไป ของล้อเฟืองหนอนจะมีผิวหน้าโค้งเพื่อรองรับเฟืองเกลียวหนอนซึ่งถูกสร้างด้วยกรรมวิธี Hobbing ลักษณะรูปร่างของ Hob ดังรูปที่ 3.15 ถอดแบบมาจากเกลียวหนอน เว้นแต่ว่าเส้นผ่าศูนย์กลางวงกลมนอก (OD) มีขนาดโตกว่าเกลียวหนอนเท่ากับ 2 เท่าของ Clearance เกลียวหนอนและ Hob จะสร้างขึ้นทั้งบนเครื่องกลึง และเครื่องกัด โดยมีพื้นฐานการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณขึ้นอยู่กับ Real Pitch (เหมือนกับเฟืองตรง) หรือ Normal Pitch (เหมือนกับเฟืองเฉียงของเฟือง) ซึ่งจะทำให้การคำนวณง่ายขึ้น



รูปที่ 3.15 ลักษณะของ Hob

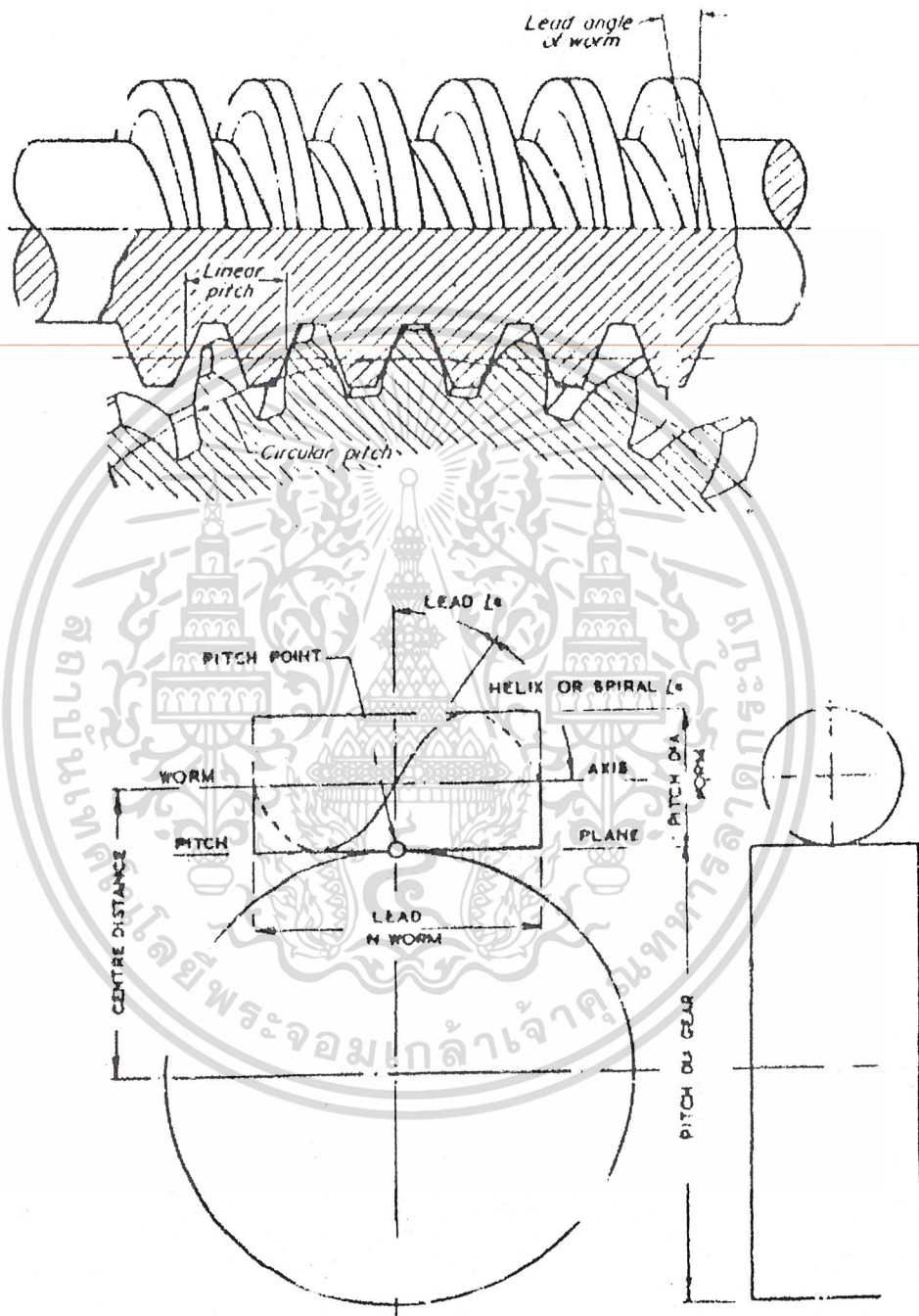
### 3.8.14 พื้นฐานการคำนวณขึ้นอยู่กับ Real Pitch

โดยปกติ Hob และเกลิยวหนอนจะถูกตัดด้วยการกลึง ซึ่งในกรณีนี้การคำนวณจะขึ้นอยู่กับพื้นฐานของ Linear Pitch (ระยะพิตที่วัดในแนวแกน) และการคำนวณจะง่ายขึ้นเมื่อระยะพิตเป็นเศษส่วนทศนิยมและระยะห่างระหว่างศูนย์กลางอยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนด ซึ่งอย่างไรก็ดีเมื่อมุมเอียงของฟันมีมากกว่า 15 องศา ความลึกของฟันและ Addendum ก็ควรจะมีพื้นฐานการคำนวณขึ้นอยู่กับ Normal Pitch (ระยะพิตที่วัดตั้งฉากกับแนวฟัน) เพื่อหลีกเลี่ยงความลึกที่มากเกินไป และเป็นผลต่อความหนาของฟันอีกด้วย

### 3.8.15 พื้นฐานการคำนวณขึ้นอยู่กับ Normal Pitch

เมื่อมุมเอียงของฟันมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยปกติจะถูกตัดด้วย Standard Rack Cutter เพราะเครื่องกลึงทั่ว ๆ ไป ไม่สามารถถึงงานที่มีระยะ Lead ยาว ๆ ได้ ในกรณีเช่นนี้พื้นฐานการคำนวณจะขึ้นอยู่กับ Normal Pitch เช่นเดียวกับการตัดเฟืองเฉียงเพราะว่า Normal Pitch เท่ากับระยะพิตของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
Cutter  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงส่วนต่างๆ ของชุดเฟืองหนอนและพื้นฐานการร่างแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ทฤษฎีและหลักการออกแบบ

#### 4.1 เครื่องสูบลมหรือปั๊ม

เครื่องสูบลมหรือปั๊มคือเครื่องกลสำหรับใช้สูบของไหลเพื่อทำให้ของไหลนั้นเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนระดับความสูง การสูบของไหล ( Pumping ) หมายถึงการนำเอาพลังงานจำนวนหนึ่งใส่ให้กับของไหลแล้วทำให้ของไหลเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง เช่น ไหลไปตามท่อหรือทางไหลอื่นๆ เป็นต้น หรือทำให้ของไหลเคลื่อนที่เพื่อเปลี่ยนระดับความสูงจากระดับหนึ่งไปยังอีกอย่างหนึ่งโดยเฉพาะอย่างยิ่งในที่ซึ่งระดับความสูงกว่า หากของไหลที่สูบเป็นน้ำเรียกว่า ปั๊มน้ำ ถ้าเป็นของไหลที่เป็นเคมีก็จะเรียกว่า ปั๊มน้ำยาเคมี และถ้าใช้เครื่องสูบลมกับอากาศก็จะเรียกเครื่องสูบลมนั้นว่า เครื่องสูบลมอากาศหรือเครื่องดูดอากาศ ( Air Pump or Vacuum Pump )

##### 4.1.1 เครื่องสูบลมแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

เครื่องสูบลมแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลางคือเครื่องสูบลมแบบปั๊มแรงเหวี่ยง ปั๊มชนิดนี้เป็นชนิดที่นิยมสำหรับเครื่องพ่นชนิดความดันต่ำ เพราะว่ามีอายุการใช้งานยาวนานและสามารถใช้พ่น เวทเทปิลพาเคอร์ และของเหลวที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนได้เป็นอย่างดี ความสามารถในการปั๊มสูงมีส่วนคิดเพิ่มขึ้นเพราะว่าของเหลวที่ไม่ได้ใช้สามารถนำกลับไปที่ตั้งเก็บได้ โดยของเหลวที่ส่งกลับดังนี้จะทำให้เกิดการปนเปื้อนรักษาสารแขวนในของเหลวไว้คงเดิม ปั๊มแรงเหวี่ยงต้องปฏิบัติงานที่อัตรา 3000 ถึง 4000 รอบต่อนาที ถ้าต้องการใช้การขับจาก PTO ของแทรกเตอร์ที่อัตรา 540 หรือ 1000 รอบต่อนาที จำเป็นต้องใช้เกียร์เร่งหรือสายพานเร่งหรือมอเตอร์ไฮดรอลิกช่วย มอเตอร์ไฮดรอลิกที่ขับด้วยระบบไฮดรอลิกของแทรกเตอร์ ช่วยให้ PTO มีอิสระที่จะไปใช้งานอื่นได้และช่วยรักษาความเร็วของปั๊มให้สม่ำเสมอด้วย

ควรติดตั้งปั๊มแรงเหวี่ยงไว้ต่ำกว่าถังบรรจุของเหลวเพื่อให้ความโน้มถ่วงช่วยในการต่อโดยต่อท่อพลาสติกขนาดเล็กจากเรือนปั๊ม ไปยังช่วงในถังเก็บเพื่อป้องกันอากาศค้างในปั๊มและช่วยให้ปั๊มล่อตัวเองได้

4.2 ถังบรรจุน้ำยาสารเคมี ถังโลหะเป็นถังที่ใช้บรรจุสารเคมีโดยทั่วไป แต่ต้องระวังในเรื่องการกัดกร่อนของสารเคมีทุกชนิดและมีน้ำหนักเบา การเลือกวัสดุที่ทำถังบรรจุสารเคมีของเครื่องพ่นยาขึ้นอยู่กับชนิดของสารเคมีและราคาของถัง โครงสร้างและลักษณะของถังบรรจุก็มีผลต่อการทำงานของเครื่องพ่นยา ฝาดังควรจะมีช่องระบายลมและปิดสนิทป้องกันฝุ่นผง ฝาดังควรจะมีวงสะดวกรับน้ำหนักของถังและสามารถยกขึ้นลงได้สะดวก การทำความสะอาดถังและการบรรจุน้ำยาเคมี ถังบรรจุน้ำยาเคมี จะต้องมีการระบายน้ำยาเคมีอยู่ตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะระบายน้ำยาเคมีออกได้หมด

4.3 **น้ำยาเคมี** จะใช้ กรด Ferric chloride หรือ Cupric Chloride มีคุณสมบัติในการกัด โลหะต่างๆ เช่น ทองแดง เหล็ก อลูมิเนียมเป็นต้น

4.4 **ที่ปรับความดัน** น้ำยาเคมีที่ถูกส่งออกมาจากท่อทางของปั๊มจะถูกส่งตรงเข้ามายัง pressure regulator ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง จะทำหน้าที่ปรับความดันให้ได้ตามที่ต้องการ เราสามารถตั้งความดันได้ โดยกดที่คันสปริง ซึ่งเป็นตัวการสำคัญในการปรับความดันระดับต่าง ๆ ความดันที่เกิดจากที่ตั้งไว้ก็จะถูกระบายออก โดยน้ำยาเคมีจะไหลกลับคืนสู่ถังเป็นบางส่วนซึ่งในกรณีเช่นนี้มันจะทำหน้าที่เป็น relief valve ไปในตัว

การที่เราต้องปรับความดันให้ได้ระดับต่าง ๆ นั้นขึ้นอยู่กับงานที่ใช้ ชนิดและขนาดของหัวฉีด ปริมาณที่จะพ่น ความเร็วในการทำงาน ซึ่งมีความสัมพันธ์กันทั้งหมดคงจะเห็นได้ดังกล่าวต่อไป

4.5 **เกจวัดความดัน** หลังจากที่ได้ปรับความดันแล้ว น้ำยาเคมีจะไหลเข้าสู่เกจวัดความดัน เพื่อให้เราอ่านค่าความดันบนหน้าปัด ซึ่งส่วนมากจะบอกค่าความดันเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ กิโลกรัมต่อตาราง เซนติเมตร ควบคู่กัน

4.6 **ลิ้นบังคับทิศทาง** ของเหลวที่ออกมาจากเกจวัดความดันจะถูกนำเข้าสู่ลิ้นบังคับทิศทางต่อไป ซึ่งมีอยู่ 3 ตำแหน่ง คือ

ก. “Spray on” ถ้าผลัดคันบังคับลิ้นมาตำแหน่งนี้ของเหลวจะไหลผ่านออกไปยัง Spray boom ซึ่งสามารถที่จะควบคุมด้วยว่าให้ไหลเฉพาะ Spray boom ด้านซ้ายด้านเดียว หรือ ด้านขวา ด้านเดียว หรือพร้อมกันทั้งสองด้าน

ข. “Suck back” ณ ที่ตำแหน่งนี้ ลิ้นจะเปิดให้ท่อทางออกที่ต่อไปยัง Spray boom ทั้งสองข้างต่อเชื่อมเข้ากับท่อทางดูดของปั๊ม ดังนั้นของเหลวทุกหยดที่ค้างอยู่ในท่อ Spray boom ตามหัวฉีด จะถูกดูดกลับคืนสู่ถังบรรจุน้ำยาหมด ซึ่งทำให้สามารถตัดการพ่นยาได้อย่างทันที ไม่มีเหลือเป็นหยดไหลรินออกมา ซึ่งถ้าหยดใด ๐ เหล่านี้มาในส่วนของพีชเข้าก็อาจทำให้ใบไหม้และเสียหายได้ เราจะผลัดคันบังคับมาที่ตำแหน่งนี้เมื่อต้องการหยุดการพ่นยาทันทีทันใด เช่น เมื่อสุดหัวงาน เป็นต้น

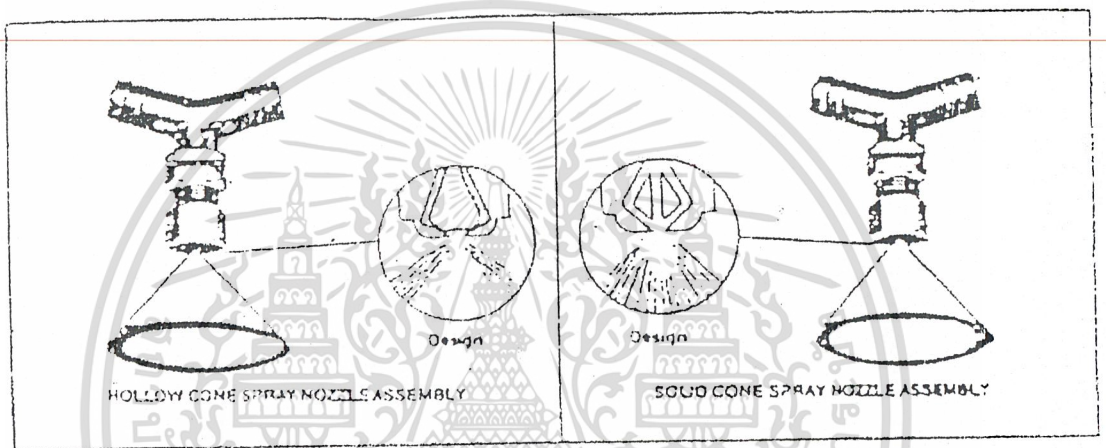
“Neutral” ณ ที่ตำแหน่งนี้ของเหลวที่ถูกดูดเข้ามาจะถูกส่งกลับคืนสู่ถังทั้งหมด ทำให้เกิดการไหลเวียนได้ดีเป็นการช่วยให้เกิด agitation อย่างหนึ่ง

4.7 **เครื่องกรอง** เครื่องกรองทำหน้าที่ป้องกันมิให้สิ่งสกปรกต่าง ๆ ผ่านเข้าไปอุดหัวฉีดทำ ความสึกหรอให้แก่ปั๊ม และการรบกวนการควบคุมการทำงานของเครื่องพ่น จะใช้กรองเมื่อสารของเหลวมีวัสดุเจือปนที่มีขนาดเล็กมากแขวนลอยอยู่ เครื่องกรองที่ติดตั้งภายในท่อส่งสารเคมีหรือท่อ ดูดหรือที่หัวฉีดจะมีขนาดเล็ก ๆ และช่องว่างของตะแกรงหรือเครื่องกรองนี้จะเล็กกว่าช่องหรือทางออกที่หัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 หัวฉีด หัวฉีดเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการพ่นสารเคมี ซึ่งให้สารเคมีกระจายเป็นละอองออกมา หัวฉีดจะทำหน้าที่สำคัญ 4 อย่าง คือ

- การกำหนดจำนวนน้ำยาสารเคมี (meter liquid)
- พ่นน้ำยาสารเคมีให้เป็นละออง (Atomizes liquid)
- กระจายน้ำยาสารเคมีตามลักษณะเฉพาะ (Disperses the droplets)
- ให้การเคลื่อนที่ของละอองน้ำยาสารเคมี (Propels the droplets)



รูปที่ 4.1 หัวฉีดที่ให้ลักษณะละอองสารเคมีเป็นรูปกรวยกลางและกรวยตัน

หัวฉีดแบบกรวยตัน

หัวฉีดทำหน้าที่ให้น้ำยาสารเคมีในลักษณะของอัตราไหลของสารเคมี และการเป็นละอองน้ำยา (Atomization) อัตราการไหลของสารเคมีจะแปรเปลี่ยนไปตามรากที่สองของความดัน ส่วนมากเครื่องพ่นสารเคมีทางเกษตรจะ ใช้ความดันขนาด 0.7 ถึง 7 บาร์

#### 4.9 ระบบท่อ

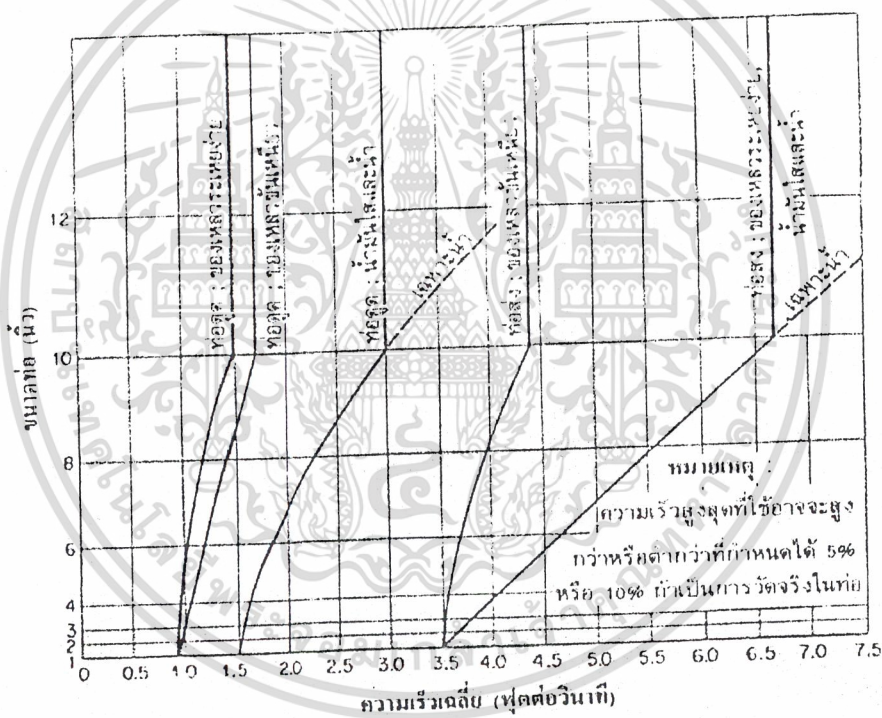
ท่อและสายใช้สำหรับลำเลียงสารเหลวจากถังมายังหัวฉีด การเลือกใช้วัสดุจึงขึ้นอยู่กับต่อความทนทานต่อการกัดกร่อนของวัสดุนั้น และขนาดของท่อซึ่งจะต้องใหญ่พอที่ป้องกันมิให้ความดันตกลง และความทนทานต่อการปริแตกภายใต้ความดัน

การเลือกขนาดของท่อส่งเป็นสิ่งที่น่าสนใจได้ยากถ้าไม่มีการคำนวณเปรียบเทียบราคาของท่อรวมติดตั้งและราคาพลังงานที่ต้องใช้ในการสูบน้ำ เพราะถึงแม้ว่าท่อขนาดขนาดเล็กจะมีราคารวมติดตั้งถูกกว่าท่อขนาดใหญ่แต่จะมีการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดสูงกว่า ดังนั้นจะต้องใช้ต้นกำลังโตและเสียค่าเชื้อเพลิงหรือพลังงานไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำสูงกว่า ซึ่งถ้าชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของปั๊มสูงพอ ค่าใช้จ่ายในการสูบน้ำรวมค่าสึกหรอของระบบที่มีท่อส่งขนาดใหญ่ก็ถูกกว่าระบบที่มีท่อส่งขนาดเล็ก

การคำนวณเปรียบเทียบราคาอาจเริ่มโดยการเลือกขนาดท่อจากความเร็วสูงสุดในท่อคุณแและท่อส่งที่ยอมให้ใช้ได้ดังรูปที่ 4.2 จากนั้นเลือกท่อที่มีขนาดเดียวกับค่าที่คำนวณได้และที่โตกว่ามา 3-4 ขนาด ทำตารางแล้วคำนวณราคารวมอุปกรณ์และค่าติดตั้งของแต่ละขนาด สำหรับราคาท่อและอุปกรณ์จะแพงขึ้นตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่โตขึ้น ส่วนค่าติดตั้งอาจจะไม่แตกต่างกันมากซึ่งอาจถือว่าเท่ากันได้ถ้าขนาดไม่แตกต่างกันมาก



รูปที่ 4.2 ความเร็วสูงสุดในท่อและท่อส่งที่ยอมให้ใช้ได้

#### 4.9.1 การออกแบบท่อส่งน้ำ

หลักการเบื้องต้นในการออกแบบท่อส่งน้ำมีดังต่อไปนี้ คือ

1. ในการกำหนดแนวท่อน้ำควรจะกำหนดให้แนวท่อจากปั๊มถึงจุดที่ต้องการใช้น้ำเป็นแนวตรงสั้น และอยู่ในระดับหรือมีความลาดเทสม่ำเสมอมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จะต้องคำนึงถึงความสะดวกสบายในการติดตั้งและบำรุงรักษาไว้ด้วย เช่นในกรณีที่เป็นท่อใต้ดินแนวท่อจะต้องไม่ปิดทับด้วยแผ่นคอนกรีตหนาซึ่งการซ่อมจะทำได้ก็ต่อเมื่อทุบแผ่นคอนกรีตแล้วเท่านั้น

3. ในกรณีแนวท่อตัดผ่านถนน ควรจะมีท่อหรือปลอกที่แข็งแรงฝังลอคถนนแล้วให้ท่อส่งซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเดินในท่อดังกล่าวอีกทีหนึ่ง

4. อุปกรณ์ของระบบท่อควรมีเท่าที่จำเป็นเพราะส่วนใหญ่มีราคาแพงและเสียพลังงานในการไหลผ่านมาก การเปลี่ยนทิศทางแนวท่อควรใช้อุปกรณ์ที่มีรัศมีมีความโค้งยาวเพื่อให้การสูญเสียพลังงานที่อุปกรณ์เหล่านี้มีน้อยที่สุด

5. ในกรณีที่แนวท่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับขึ้น ๆ ลง ๆ ช่วงท่อส่วนโค้งขึ้นนี้อาจจะมีโพรงอากาศอยู่มากจนทำให้น้ำไหลไม่เต็มท่อ ดังนั้นควรพิจารณาติดตั้งวาล์วระบายอากาศไว้ในตำแหน่งดังกล่าวด้วย

6. ท่อควรจะวางบนดินในร่องที่กระทุ้งแน่นหรือบนฐานรากที่เหมาะสมเพื่อป้องกันมิให้เกิดความเค้นในเส้นท่อหรือที่หน้างานของปั๊ม เนื่องจากทรุดตัวไม่เท่ากัน

7. ในกรณีที่เป็นท่อซีเมนต์ใยหิน ท่อที่ต่อเข้าด้วยกันนั้นมิได้ยึดติดกันแน่นเป็นท่อเดียวกันเหมือนท่อเหล็ก ดังนั้นแรงดันที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์คัมภายในท่ออาจจะทำให้รอยต่อเหล่านี้หลุดออกจากกันได้ ดังนั้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลก็จำเป็นต้องมีแท่นคอนกรีตยึดทุกแห่ง ลักษณะของแท่นคอนกรีตยึดอุปกรณ์ท่อชนิดต่าง ๆ อาจดูได้จากแบบมาตรฐานของการประปาส่วนภูมิภาคซึ่งให้ไว้ในภาคผนวก

8. ในกรณีที่ท่อส่งมีความยาวมาก ผู้ออกแบบจะต้องวิเคราะห์และพิจารณาหาทางป้องกันวอเตอร์แฮมเมอร์ (Water Hammer) ด้วย

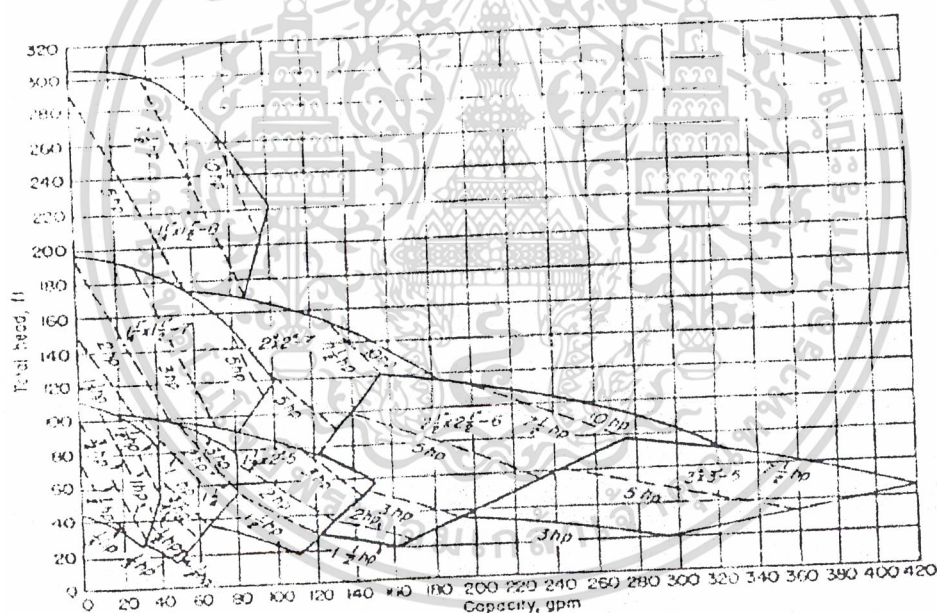
#### 4.10 หลักการออกแบบระบบ Pump

4.10.1 การพิจารณาจากกราฟแสดงลักษณะการทำงานของปั๊ม เมื่อได้เลือกปั๊มโดยพิจารณาจากวัตถุประสงค์ใช้งาน ความเร็วจำเพาะ และลักษณะการคูดยกน้ำทางค้ำคูดแล้วก็จะสามารถบอกรได้ว่าควรใช้ปั๊มแบบใด แต่เนื่องจากในแต่ละแบบหรือ โมเดลของบริษัทผู้ผลิตรายหนึ่งยังมีขนาดและช่วงการทำงานเหมาะสมแตกต่างกันออกไปอีก และปั๊มแต่ละบริษัทก็มีการออกแบบแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำค่าอัตราการสูบและเฮดหรือกราฟเฮดของระบบ (System Head Curve) มาพิจารณาร่วมกับกราฟแสดงลักษณะการทำงานของปั๊มจึงจะได้เครื่องขนาดที่เหมาะสมตามความต้องการใช้งานอย่างถูกต้อง

ในกรณีที่บริษัทผู้ผลิตปั๊มผลิตแบบหรือ โมเดลเดียวกันหลายขนาด เขาก็จะเอาช่วงหรือขอบเขตการทำงานที่เหมาะสมของแต่ละขนาดมาเขียนรวมอยู่ในกราฟแผ่นเดียวกันดังในรูปที่ 4.3 รูปดังกล่าวนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวนี้ เรียกว่า Composite Rating Chart ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงขอบเขตการทำงานที่เหมาะสมของปั๊มขนาดต่าง ๆ ที่เป็นโมเดลเดียวกัน เช่น ต้องการสูบน้ำด้วยอัตรา 200 แกลลอนต่อนาที มีเฮดเท่ากับ 100 ฟุต ปั๊มที่ควรใช้สำหรับโมเดลนี้ควรเป็นขนาด และต้นกำลังที่ใช้เท่ากับ 7 แรงม้า เป็นต้น ตัวเลขตัวแรกของขนาดเป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของหน้างานท่อส่ง ตัวที่สองเป็นของท่อดูด และตัวที่ 3 เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด

ถึงแม้ว่า Composite Rating Chart จะให้ขนาดของปั๊มที่เหมาะสมของโมเดลใดโมเดลหนึ่งทีเลือกเอาไว้ แต่ผู้ที่เลือกใช้จะไม่ทราบการทำงานที่แท้จริงของปั๊มเครื่องดังกล่าว กล่าวคือไม่ทราบอัตราการสูบและเฮด ตลอดจนประสิทธิภาพการทำงานที่แท้จริงว่าเท่ากับเท่าไร สิ่งนี้จึงมีความสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกใช้มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งปั๊มขนาดใหญ่



รูปที่ 4.3 Composite Rating Chart ซึ่งใช้แสดงขอบเขตการทำงานที่เหมาะสมของปั๊ม โมเดลที่มีหลายขนาด

จุดที่ปั๊มทำงานหรืออัตราการสูบและเฮดที่จะได้จากปั๊มจำเป็นต้องดูจากจุดตัดระหว่างกราฟ H-Q (H-Q Curve) และกราฟเฮดของระบบ (System Head Curve) โดยปกติแล้วบริษัทผู้ผลิตจะไม่แสดงกราฟ H-Q เพียงอย่างเดียวเพราะจะไม่ช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้เท่าไรนัก แต่จะให้กราฟแสดงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

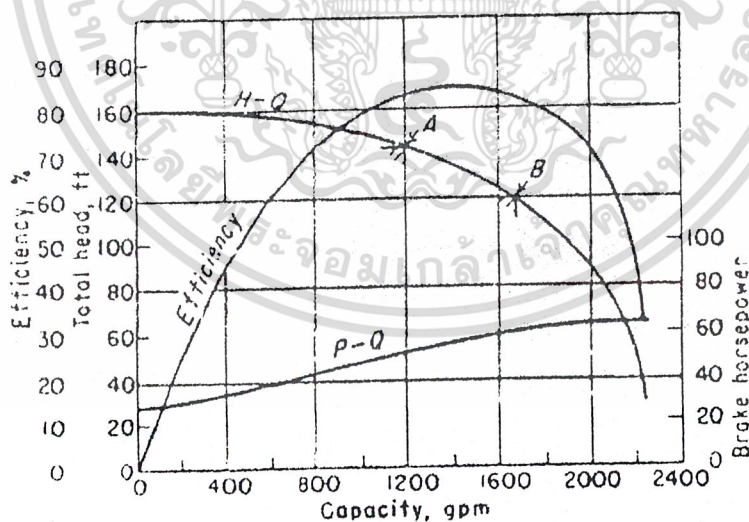
รายละเอียดอย่างอื่นมาด้วย เช่น ประสิทธิภาพการทำงานแรงม้าที่ต้องการ NPSH และกราฟ H-Q เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงรอบการหมุน หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัด เป็นต้น กราฟเหล่านี้จะรวมเสนอในแค็ตตาล็อกที่เรียกว่า Pump Characteristic Curve หรือ Performance Curve

Performance Curves อาจแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ

1. กราฟ H-Q (H-Q Curve) ร่วมกราฟประสิทธิภาพ (Eff-Q-Curve) และแรงม้าที่ต้องการ (Bhp-Q Curve) ดังแสดงในรูปที่ 4.4

2. กราฟ H-Q หลายเส้นของปั๊มที่มีใบพัดขนาดใดขนาดหนึ่ง แต่ละเส้นสำหรับรอบการหมุนคงที่ขนาดหนึ่งซึ่งรวมทั้งความเร็วมาตรฐานของมอเตอร์ด้วย กราฟเหล่านี้มักจะแสดงควบคู่กับเส้นแสดงประสิทธิภาพการทำงานที่เท่ากัน (Iso-efficiency Curve)

3. กราฟ H-Q หลายเส้น แต่ละเส้นได้จากใบพัดเดียวกันแต่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างกัน



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงลักษณะการทำงานของปั๊มซึ่งเรียกว่า Pump Characteristic Curves หรือ Performance Curves

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน Characteristic Curves ของปั๊มบางโมเดลหรือบางบริษัทจะให้ข้อมูล NPSH มาด้วย ค่าดังกล่าวนี้จะมีความสำคัญต่อการติดตั้งปั๊มเหนือระดับของของเหลวมากดังที่ได้ต่อไป

สำหรับอัตราการสูบและเสดขนาดโคขนาดหนึ่งอาจจะมีปั๊มหลายขนาดและหลายโมเดลที่ใช้กันได้ ดังนั้นจะต้องนำ Characteristic Curves ของปั๊มที่อยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้มาพิจารณาเปรียบเทียบกันว่า ปั๊มเครื่องใดจะทำงานได้ตรงกับความต้องการอย่างมีประสิทธิภาพโดยมีราคาไม่สูงจนเกินไป

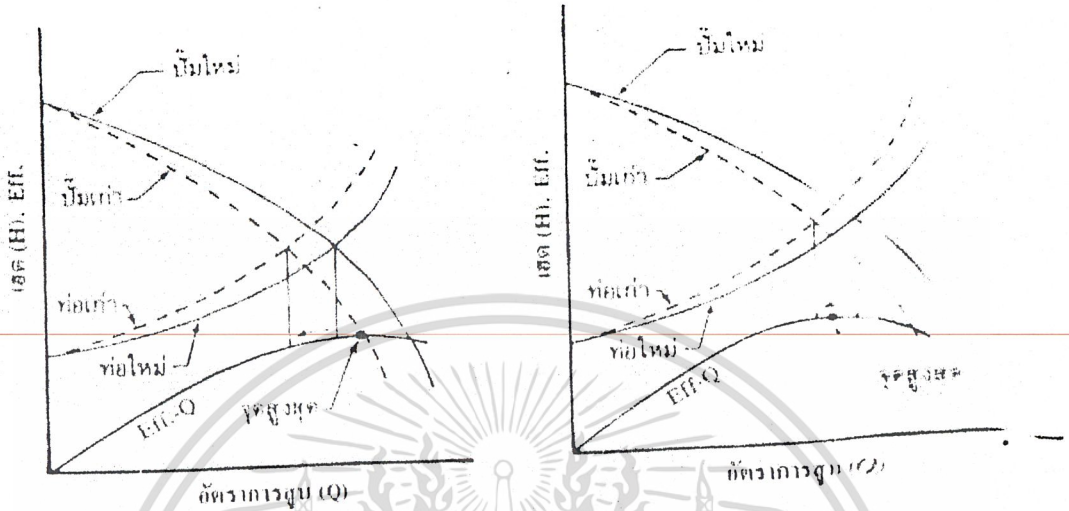
การเลือกปั๊มโดยพิจารณาจาก Characteristic Curves และกราฟเสดของระบบ (System Head Curve) มีหลักเกณฑ์อย่างกว้าง ๆ ดัง คือ

1. ถ้าต้องการควบคุมเสดให้สม่ำเสมอตลอดช่วงการทำงานให้เลือกปั๊มที่มีกราฟ H-Q แบบ
2. ถ้าต้องการควบคุมอัตราการสูบให้สม่ำเสมอเมื่อระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงให้เลือกปั๊มที่มีกราฟ H-Q ชัน
3. เลือกปั๊มที่ให้ประสิทธิภาพที่จุดทำงาน (Working Point) สูง คุณภาพของการปั๊มก็มีหลายระดับ เช่นเดียวกับสินค้าอื่น ๆ ปั๊มที่มีราคาถูกอาจจะให้ประสิทธิภาพสู้ปั๊มราคาแพงไม่ได้ ถ้าเป็นปั๊มขนาดใหญ่ความแตกต่างของประสิทธิภาพการทำงานเพียง 2 หรือ 3 เปอร์เซ็นต์อาจจะมีผลต่อค่าพลังงานที่ใช้มาก
4. จุดที่กราฟเสดของระบบตัดกับกราฟ H-Q หรือจุดที่ปั๊มทำงานควรจะอยู่ใกล้และถัดไปทางขวามือของจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดของปั๊มนั้น การที่ไม่เลือกปั๊มที่มีจุดที่ทำงานอยู่ทางซ้ายมือของจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดก็เพราะว่า เมื่อใช้งานไปนาน ๆ การสึกหรอของปั๊มและการเพิ่มความฝืดของท่อจะทำให้จุดที่ปั๊มทำงานอยู่ต่ำลงและจะเลื่อนไปทางซ้ายมือ ดังรูปที่ 4.5 การเลือกจุดที่ปั๊มทำงานอยู่ทางขวามือจะไม่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มลดลงเร็วเหมือนกับเลือกจุดทางซ้ายมือ
5. ปั๊มที่มี NPSH น้อยจะมีปัญหาในการออกแบบติดตั้งน้อย ไม่เลือกปั๊มที่มี NPSH มากจนไม่สามารถจัดให้ได้โดยการออกแบบติดตั้ง
6. ในกรณีที่ต้องให้ปั๊มทำงานร่วมกันแบบขนาน ควรจะเลือกปั๊มชนิดเดียวกันทำงานร่วมกัน ไม่ใช่ปั๊มที่มีกราฟ H-Q แบบและไม่มั่นคง (Unstable)

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วเมื่อใช้ปั๊มไปนาน ๆ เสดของระบบจะสูงขึ้นเนื่องจากท่อส่งน้ำมีอายุการใช้งานนานขึ้น นอกจากนั้นอาจจะมีสาเหตุมาจากระดับน้ำทางด้านท่อลดลงเนื่องจากมีการใช้น้ำกันมากขึ้น ถ้าคาดว่าจะเกิดปัญหาเหล่านี้ก็ควรจะเลือกใช้ปั๊มที่มีกราฟ H-Q ชัน เพราะว่าการเปลี่ยนแปลงเสดจะไม่ทำให้อัตราการสูบของปั๊มที่มีกราฟ H-Q ชันเปลี่ยนแปลงไปมากเหมือนปั๊มที่มีเส้นกราฟ

แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มและท่อเก่าเมื่อจุดที่ปั๊มทำงานอยู่ทางด้าน斬มือและขวามือของจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

#### 4.10.2 หลักการออกแบบระบบ Pump โดยการคำนวณ

ในการออกแบบระบบสูบน้ำสิ่งที่เราต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกได้แก่ head ของระบบ (System head) ซึ่งคำว่า head ของระบบ หมายถึง head ที่เกิดจากผลรวมระหว่างค่าความต้านทานที่เกิดตามทีต่าง ๆ ในระบบท่อความต้านทานแบบนี้ประกอบด้วย head ความฝืด (Friction head) เริ่มตั้งแต่ที่ปากทางเข้าสู่ท่อจุด (Entrance loss) การสูญเสีย head ที่ข้อต่อข้อต่อต่าง ๆ ที่มีอยู่ในระบบ (Fitting loss) การสูญเสีย head เนื่องจากความยาวท่อ (Loss in pipe length) และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งไว้ให้ระบบ (Equipment loss) ตลอดไป

จนถึงการสูญเสีย head ที่บริเวณทางออก (Exit loss) ค่า head ของระบบนี้เมื่อนำมารวมเข้ากับค่า static head ก็เรียกว่า head รวม (Total head)

##### 2.1 การสูญเสีย head เนื่องจากความเสียดทานภายในท่อ

เมื่อน้ำหรือของเหลวไหลไปภายในท่อปิด ไม่ว่าจะเป็นการไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) หรือการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ก็จะต้องเกิดการสูญเสีย head เนื่องจากปัจจัย 2 ประการ คือ ความฝืดของผิวผนังภายในท่อและความยาวของท่อนั้น ถ้าท่อเรียบและสั้นการสูญเสีย

จะมีน้อย แต่ถ้าท่อที่มีผนังภายในหยาบหรือท่อนั้นมีความยาวมาก การสูญเสียก็จะมากขึ้น และถ้ายังมีความยาวในการไหลในระดับ turbulent การสูญเสียก็จะยิ่งมากขึ้นอีก

การคำนวณหาอัตราการสูญเสีย head อันเนื่องมาจากความยาวและ head ความฝืดภายในท่อมีหลายวิธี แต่ที่นิยมใช้อยู่ภายในคือการคำนวณโดยใช้สูตรของ William and Hazen คือ

$$V = 1.318 CR^{67} S^{54}$$

เมื่อ  $V$  = ความเร็วของน้ำในท่อ ฟุต/วินาที

$C$  = สัมประสิทธิ์ความเรียบของผนังท่อ

$R$  = Hydraulic radius ฟุต

$S$  = Hydraulic gradient ซึ่งเป็นอัตราการสูญเสีย head เนื่องจากความฝืดต่อความยาวท่อ 1 หน่วย (ฟุต/ฟุต)

ค่าสัมประสิทธิ์ไฮดรอลิก  $R$  คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่หน้าตัดของของเหลวที่ไหลในท่อ กับพื้นที่บริเวณที่เปียกน้ำ (Wetted perimeter) ซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับ  $D/4$  เมื่อ  $D$  เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อมิหน่วยฟุต

จากสูตรนี้ ถ้าทราบความเร็วของน้ำที่ไหลในท่อ ก็สามารถคำนวณหาค่าไฮดรอลิกเกรเดียนท์ ( $S$ ) ได้ซึ่งจะทำให้ทราบ ใ้คว้ากับการสูญเสีย head เนื่องจากความฝืดของท่อหนึ่งหน่วยความยาวของท่อหรือท่อ 1 ฟุตเป็นเท่าใด ดังนั้นถ้าต้องการทราบค่ารวมของการสูญเสีย head เนื่องจากความฝืดตลอดความยาวท่อ ( $L$ ) ก็เพียงแต่นำค่า  $L$  ไปคูณเข้าเท่านั้น ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของความเรียบของผนังท่อ (Coefficient of pipe smoothness) หรือค่า  $C$  ที่ใช้ในสูตรนี้ได้จากตารางข้างล่าง ค่านี้จะสูงขึ้นเมื่อผิวผนังด้านในของท่อมีความราบเรียบมากขึ้น เช่น เหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียวเมื่อใช้งานไปนาน ๆ ค่า  $C$  จะลดลง เนื่องจากผนังท่อที่มีความขรุขระเพิ่มมากขึ้น

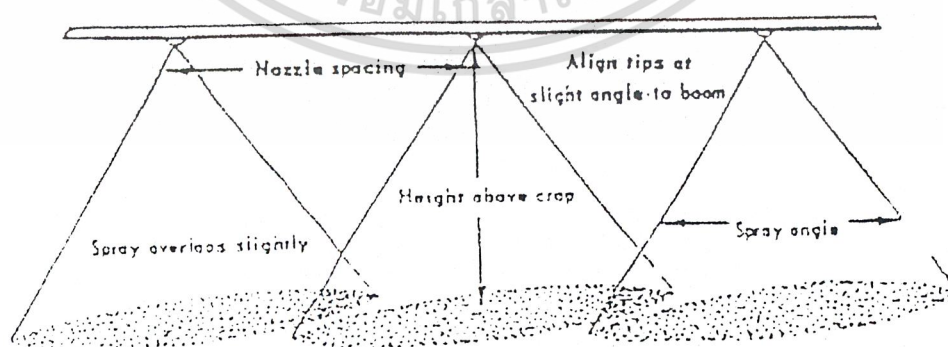
ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความราบเรียบของผนังท่อ © สำหรับท่อที่ทำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ

ชนิดของท่อ	C-values
ท่อเหล็กหล่อใหม่	130
ท่อเหล็กหล่อเก่า	100
ท่อเหล็กหล่อเคลือบแอสฟัลต์	130
ท่อซีเมนต์แอสเบสทอส	130-140
ท่อซีเมนต์ผิวเรียบ หรือท่อเหล็กเคลือบภายในด้วยซีเมนต์เรียบ	130-140
ท่อซีเมนต์ผิวธรรมดา(ผิวหยาบ)	110-120
ท่อเหล็กเหนียวใหม่	120-130
ท่อเหล็กเหนียวเก่า	80-100
ท่อที่ทำด้วยวัสดุ Polyvinyl chloride (PVC)	140-150
ท่อเหล็กม้วนมีตะเข็บ	130-140
ท่อเหล็กย้ำมุด	90-110

#### 4.11 การกระจายของละอองสารเคมี

ในการพ่นสารเคมีบนพื้นที่ ตำแหน่งความสูงของแขนพ่นหรือหัวฉีด จะขึ้นอยู่กับ

1. ระยะห่างระหว่างหัวฉีด
2. มุมของละอองสารเคมีที่พ่นจากหัวฉีด และ
3. พื้นที่ที่ต้องการพ่นซ้อนเพื่อให้รับสารเคมีสม่ำเสมอ



รูปที่ 4.6 ลักษณะการกระจายของละอองสารเคมีเมื่อเปรียบเทียบความสูงและระยะหัวฉีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการกระจายของละอองสารเคมีออกจากหัวฉีด แต่ละชนิดจะมีผลต่อองค์ประกอบดังกล่าว หัวฉีดแบบให้ลักษณะการกระจายเป็นกรวยกลาง ความสูงต่ำของแขนพ่นจะมีผลกระทบต่อความสม่ำเสมอของสารเคมีบนพื้นที่ มากกว่าหัวฉีดที่ให้ลักษณะการกระจายแบบรูปพัดและแบบกรวยตัน อย่างไรก็ตามการวางตำแหน่งแขนพ่นสูงเกินไป จะทำให้เกิดบริเวณที่ได้รับสารเคมีเข้มข้นมาก แต่มีผลกระทบกระเทือนต่อความสม่ำเสมอของสารเคมีบนพื้นที่ทั้งหมดน้อยกว่าการวางตำแหน่งแขนพ่นให้ต่ำเกินไป ความสูงของแขนพ่นควรจะอยู่ในตำแหน่งที่ความกว้างทั้งหมดของลักษณะการกระจายละอองสารเคมีของหัวฉีดแต่ละหัวบนพื้นที่ได้รับสารเคมี มีค่ามากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของระยะห่างของหัวฉีดแต่ละหัว

ความสูงของแขนพ่นที่มีผลต่อความสม่ำเสมอของการกระจายละอองสารเคมีบนพื้นที่ปริมาณน้ำยาสารเคมีที่ใช้ต่อพื้นที่ ที่ออกจากเครื่องพ่นสารเคมีจะขึ้นอยู่กับ

- ระยะห่างระหว่างหัวฉีดแต่ละหัวที่แขนพ่น
- ความดันที่หัวฉีดและขนาดของหัวฉีด

ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบดังกล่าว สามารถทำให้ทราบถึงปริมาณของน้ำยาสารเคมีที่ออกต่อหัวฉีดแต่ละหัวได้ดังนี้

แกลลอนต่อชั่วโมง = 0.0101 อัตราต่อการไหลสารเคมี (แกลลอนต่อเอเคอร์) x ความเร็ว (ไมล์ต่อชั่วโมง) x ระยะระหว่างหัวฉีด (นิ้ว)

$W_n$  แสดงถึง พลังงานต่อหนึ่งหน่วยมวล เนื่องจากปั๊ม

$W$  = พลังงานของปั๊มที่ใช้ปั๊มของไหลตามเงื่อนไขที่กำหนด J/kg

$N$  = ประสิทธิภาพของปั๊ม

$H$  แสดงถึง หัวสูญเสียน้ำรวม (Total head loss) ซึ่งประกอบด้วย

1. หัวสูญเสียน้ำหนัก (Major head loss,  $h$ ) เป็นความสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานภายในท่อ
2. หัวสูญเสียน้ำรอง (Minor head loss,  $h$ ) เป็นความสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านส่วนอื่น ๆ เช่น หัวต่อ, ลิ้น, ช่องทางเข้า-ออก

หัวเสียน้ำหนักมีหลักสูตรใช้คำนวณต่อไปนี้

3. สมการคาร์บี-ไวล์บาช (Dobey-Wciaback)

$$h = f L \frac{V}{D 2g}$$

$$D 2g$$

โดยที่  $h$  = หัวสูญเสียหลัก

จุดต่อนิวตัน (J/N)

$f$  = ตัวประกอบความเสียดทาน หาได้จากแผนภาพ โมดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L = ความยาวท่อ เมตร

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ เมตร

V = ความเร็วเฉลี่ย เมตร

#### 4. สมการของฮาเซิน-วิลเลียม (Hazen-Williamg)

$$V = 0.354CD$$

โดยที่ V = ความเร็วเฉลี่ย m/s

D = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ m

S = หัวสูญเสียนำต่อหน่วยความยาว h

C = สัมประสิทธิ์ความหยาบละเอียดของท่อดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 <sup>3</sup> สัมประสิทธิ์ความหยาบละเอียดของท่อ, C

ชนิดของท่อ	C
ท่อ PVC	140-150
ท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ (แบบเล็ก)	140
ท่อคอนกรีตปี้ม	135
ท่อเหล็กหล่อใหม่ ท่อเหล็กเรียบ ท่อเหล็กคอนกรีต	130
ท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ (แบบไม้) ท่อไม้คาดท่อเหล็กเชื่อม	120
ท่อเหล็กหมุดย้า ท่อเหล็กหล่ออายุการใช้งาน 10 ปี	110
ท่อเหล็กหล่อเก่า	100
ท่อเหล็กหล่อ อายุการใช้งาน 20 ปี	90-100
ท่อเหล็กหล่อ อายุการใช้งาน 30 ปี	75-90

#### 5. สูตรของแมนนิง (Manning)<sup>3</sup>

$$V = 1.49 R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{ระบบหน่วย SL})$$

N

$$V = 1.49 R_h^{2/3} S^{1/2} \quad (\text{ระบบหน่วยอังกฤษ})$$

<sup>3</sup> Fox R.W. 1985. Introduction to Fluid Smechaics. Wiley .pp 356-371

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่
- $V$  = ความเร็วเฉลี่ยของหน้าตัดการไหล
  - $R_h$  = รัศมีไฮดรอลิก
  - $S$  = ความลาดเชิงชลศาสตร์หรือหัวสูญเสียน้ำต่อหน่วยความยาว  $h_f L$
  - $N$  = สัมประสิทธิ์ความหยาบละเอียดของ Manningh ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 <sup>3</sup> สัมประสิทธิ์ความหยาบละเอียดของแมนนิง, n

ชนิดของท่อหรือช่องทางการไหล	N
ท่อเหล็กหล่อ-ท่อเหล็กเหนียว	0.014
ท่อเหล็กเหนียวชุบสังกะสี ท่อคอนกรีต	0.017
ท่อเหล็กเหล็องเรียบ ท่อแก้ว	0.011
ท่อทองเหลืองเรียบ ท่อแก้ว	0.012
พื้นลาดคอนกรีต	0.016
พื้นคูคลอง	0.033
ลำน้ำธรรมชาติ	0.0225-0.045 0.035-0.125

หัวสูญเสียน้ำรอง การคำนวณหาหัวสูญเสียน้ำรองสามารถทำได้ในรูปสมการต่อไปนี้

$$h_{LM} = \frac{KV^2}{2g}$$

โดยที่ K คือสัมประสิทธิ์การสูญเสีย หรือ โดยการเทียบเป็นความยาวของท่อต่อตรงที่ให้ค่าหัวสูญเสียที่เรียกกันว่า ความยาวสมมูล (equivalent length) ,  $L_e$

$$h_{LM} = \frac{f L_e V^2}{D 2g}$$

<sup>3</sup> Fox R.W. 1985. Introduction to Fluid Smechaics. Wiley .pp 356-371

หัวสูญเสียการไหลของส่วนต่าง ๆ มีดังนี้

1. ที่ทางเข้าและทางออกของอ่างเก็บน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.4 โดยทางออก

จากท่อที่จมอยู่ใต้ผิวน้ำเข้าสู่อ่างเก็บน้ำจะมีค่า  $k=1$  เสมอ

2. พื้นที่หน้าตัดการไหลเพิ่มขึ้นหรือลดลง แบ่งออกได้เป็น
  - ก. พื้นที่หน้าตัดการไหลเพิ่มขึ้นทันทีทันใด
  - ข. พื้นที่หน้าตัดการไหลลดลงทันทีทันใด
  - ค. พื้นที่หน้าตัดการไหลค่อย ๆ เพิ่มขึ้น (ข้อขยาย)
  - ง. พื้นที่หน้าตัดการไหลค่อย ๆ ลดลง (ข้อลด)

สำหรับพื้นที่หน้าตัดการไหลเพิ่มขึ้นหรือลดลงทันทีทันใดในทิศทางไหล ค่า  $k$  จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของพื้นที่ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 <sup>3</sup> ค่า  $k$  สำหรับพื้นที่หน้าตัดการไหลเพิ่มขึ้นหรือลดลงทันทีทันใด

A / A	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
พื้นที่เพิ่มขึ้น	1.0	0.8	0.66	0.50	0.37	0.26	0.17	0.09	0.05	0.01	0.0
พื้นที่ลดลง	0.5	0.48	0.40	0.36	0.30	0.22	0.16	0.10	0.06	0.02	0.0

$$H = KV_{1/28}^2 \quad \text{สำหรับพื้นที่เพิ่มขึ้น}$$

$$H = KV_{2/28}^2 \quad \text{สำหรับพื้นที่ลดลง}$$

สำหรับพื้นที่หน้าตัดการไหลค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในทิศทางไหล ค่า  $K$  จะขึ้นอยู่กับค่า pressure recovery coefficient คือ  $K = C_{p1} - C_p$ ,  $C_{p1}$  = ideal pressure recovery coefficient =  $1 - (A_2 / A_1)$

$C$  = actual pressure recovery coefficient หาได้จากกราฟในรูปที่ โดย  $h_{LM} = KV_1 / 2g^2$

สำหรับพื้นที่หน้าตัดการไหลค่อย ๆ ลดลงในทิศทางไหล ค่า  $K$  จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนพื้นที่  $(A_2 / A_1)$  และมุมทรงกรวย ( $e$ ) ดังตารางที่ โดย  $h_{LM} = KV_1 / 2g^2$

1. ประตุน้ำและข้อต่อ ค่า  $K$  และ  $Le/D$  สำหรับประตุน้ำและข้อต่อชนิดต่าง ๆ ที่ใช้โดยทั่วไปแสดงไว้ดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่า K และ Le/D สำหรับประตุน้ำและข้อต่อ

ชนิด	K	Le/D
ประตุน้ำ (เปิดเต็มที่)		
- แบบเกตวาล์ว (gate valve)	0.19	7
- แบบโกลบวาล์ว (glove valve)	10	350
- แบบมุม (angle valve)	5	175
- แบบสวิง (swing check valve)	205	135
- แบบลิฟต์ (lift check valve)		
- 1. Glove lift	10	350
- 2. Angle lift	5	175
ข้อต่อมาตรฐาน		
- 90 องศา	0.8	30
- 45 องศา	0.42	15
ข้อต่อกลับ (close-return bend)	2.2	75
ข้อต่อสามารถทางมาตรฐาน		
- ไหลตรง	0.9	20
- ไหลแยก	1.8	60

เมื่อคำนวณได้ค่าหัวสูญเสียทั้งสองแล้ว จะได้สูญเสียในหน่วยของ J/N ซึ่งจะทำให้เป็นหน่วย J/Kg ได้โดยการคูณด้วยค่า  $g=9.81$  เมตรต่อ (วินาที)<sup>2</sup>

$$h_f = 9.81 h_r$$

ในการคำนวณงานที่ใช้ในการปั้มน้ำ คำนวณ โดยการเอาอัตราการไหลโดยมวล คูณกับงานต่อหนึ่งหน่วยงาน (Kg) ที่คำนวณได้จากสมการ

$$\text{งานที่ใช้สำหรับปั้มน้ำ} = m \times W_p \quad \text{วัตต์}$$

ซึ่ง  $m=QP$

$m$  = อัตราการไหลโดยมวล

กิโลกรัมต่อวินาที

$P$  = ความหนาแน่นของของไหล

กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$Q$  = อัตราการไหลโดยปริมาตร

ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

และในการหาค่าของกำลังมอเตอร์ปั้มน้ำจะได้ว่า

$$\text{กำลังมอเตอร์ (Hp)} = \frac{\text{งานที่ใช้ในการปั้มน้ำ}}{746}$$

กำลังน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.12 การสูญเสีย head เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดท่อ

ในระบบการวางท่อ บางครั้งอาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงขนาดของท่อจากที่ใช้อยู่เดิม ให้โตขึ้นหรือเล็กลง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสูญเสีย head ขึ้น และอาจคำนวณออกมาได้เช่นกัน การเปลี่ยนแปลงท่อทำได้โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า ข้อลด (Reducer) เมื่อต้องการเปลี่ยนขนาดท่อที่จะใช้ต่อไปให้เล็กลง และข้อเพิ่มหรือข้อขยาย (Enlarger) เมื่อต้องการให้ท่อที่จะใช้ต่อไปมีขนาดโตขึ้น อันที่จริงข้อลดและข้อเพิ่มนี้ก็คืออุปกรณ์ขึ้นเดียวกันนั่นเอง สุดแล้วแต่ว่าจะเอาค่านไหนมาใช้เท่านั้น ข้อลดหรือข้อเพิ่มนี้มีอยู่ 2 แบบ คือ แบบที่ค่อย ๆ เปลี่ยนขนาด (รูปที่ 4.7a) กับแบบที่เปลี่ยนขนาดโดยฉับพลัน (รูปที่ 4.7b) การเปลี่ยนแปลงทั้งสองแบบนี้ให้ผลทางด้าน การสูญเสีย head ต่างกัน

ถ้าหากในการเปลี่ยนแปลงขนาดท่อแบบค่อยเป็นค่อยไปของ  $h_f$  จะขึ้นอยู่กับมุมลาดที่เกิดขึ้นระหว่างส่วนต่อของท่อทั้งสองขนาด หรือมุม  $\phi$  ในรูปที่ 4.7a ส่วนสมการที่ใช้ในการคำนวณก็คือ

$$h_f = k(v_1 - v_2)^2 / 2g \quad (2.1)$$

เมื่อ  $V_1$  = ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวในท่อเล็ก เป็นฟุต/วินาที

$V_2$  = ความเร็วเฉลี่ยของของเหลวในท่อใหญ่ เป็นฟุต/วินาที

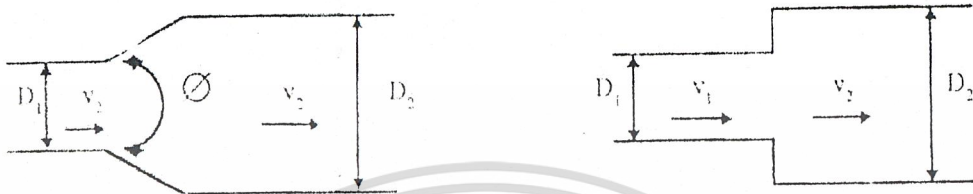
ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของค่า  $h_f$  จึงขึ้นอยู่กับความลาดชันของมุม  $\phi$  ที่เกิดขึ้นระหว่างท่อทั้งสองขนาดดังรูปที่ 4.8a

ส่วนการเปลี่ยนแปลงขนาดแบบกระทันหันหรือทันทีทันใดที่เรียกว่า sudden change นั้น การหาค่า  $h_f$  คงใช้สูตรเดียวกัน คือใช้สมการที่ 2.1 แต่การเปลี่ยนแปลงของค่า  $k$  จะขึ้นอยู่กับอัตราระหว่างขนาดของท่อทั้งสอง ดังในรูปที่ 4.8b

$$h_f = k(v_1 - v_2)^2 / 2g \quad (2.2)$$

เมื่อ  $v_1$  = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำทางด้านที่เข้ามา

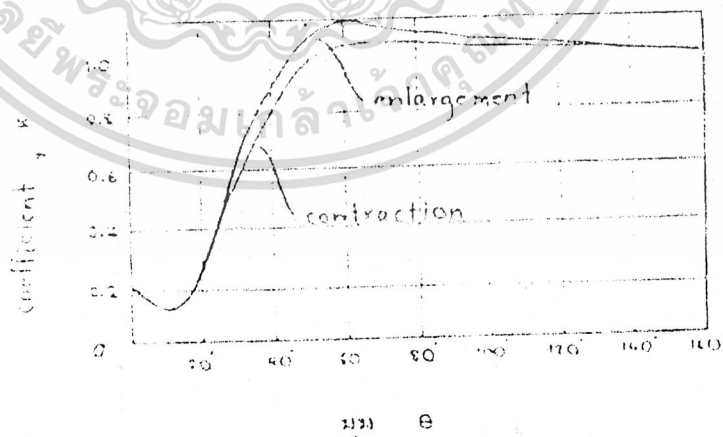
$v_2$  = ความเร็วเฉลี่ยของน้ำทางด้านที่นำออกไป



a) การเปลี่ยนขนาดท่อแบบค่อย ๆ เปลี่ยน

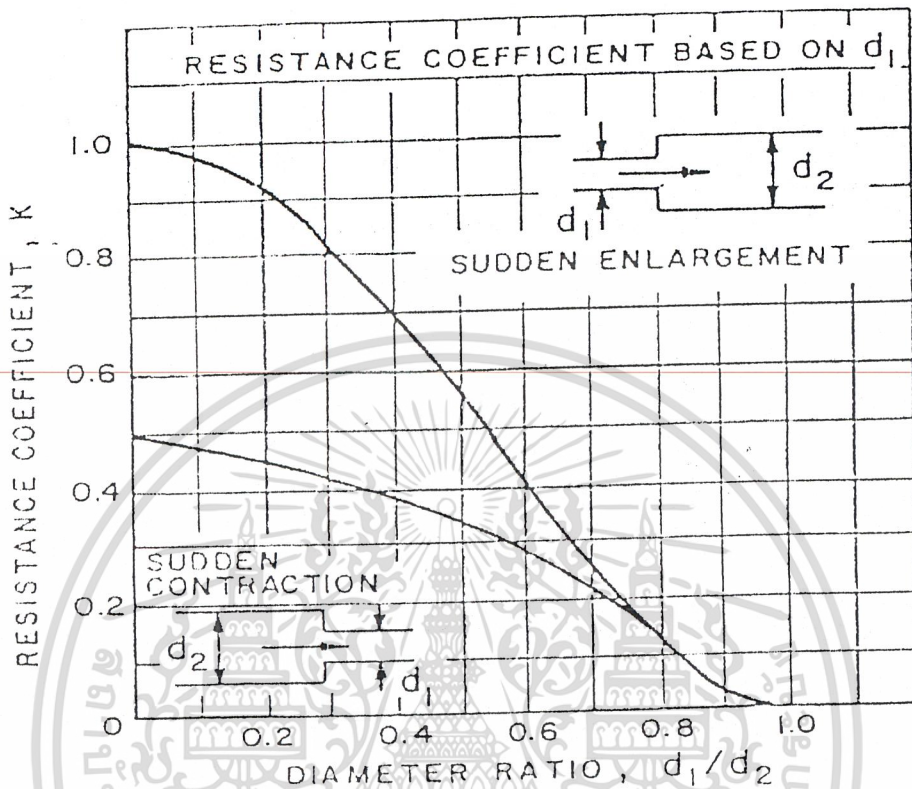
b) การเปลี่ยนขนาดท่อแบบกะทันหัน

รูปที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนขนาดท่อ



รูปที่ 4.8a ค่า K สำหรับการเปลี่ยนขนาดท่อแบบค่อย ๆ เปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8b) ค่า  $K$  สำหรับการเปลี่ยนขนาดท่อแบบกระทันหัน

#### 4.13 การสูญเสีย head ที่ข้อต่อข้องอและดัด (Fitting loss)

เมื่อน้ำไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ที่จำเป็นจะต้องมีต้องใช้ระบบหารวางท่อ เช่น ข้อต่อ ข้องอ ประคบน้ำ หรือดัด ก็ย่อมต้องมีการสูญเสีย head เกิดขึ้นเนื่องจากความต้านทานที่อุปกรณ์เหล่านั้นมีต่อการไหลของน้ำ ค่า head ที่สูญเสียไปอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ประกอบท่อแบบต่างๆ ที่รวมเรียกว่า fitting loss นี้จะคำนวณได้โดยใช้ค่าของ velocity head ของน้ำที่ไหลผ่านจุดนั้น กับค่า  $k$  ของอุปกรณ์ตัวนั้น

$$h_f = K v^2 / 2g$$

เมื่อ  $K$  คือค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย head เนื่องจากอุปกรณ์นั้น ค่า  $K$  สำหรับอุปกรณ์ประกอบท่อต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของข้อต่อข้องอและลื่นต่าง ๆ

ชนิดของอุปกรณ์	ค่าสัมประสิทธิ์ (K)
Globe Valve	10.0
Angle Valve	5.0
Check Valve (Swing-open Type)	0.5-2.5
Gate Valve (Fully Open)	0.2
Close Return Bend (ข้องอตัวงู)	2.2
Standard Tee (ข้อต่อสามทาง)	1.8
Standard Elbow (ข้องอ 90 องศา)	0.9
Long Sweep Elbow (ข้อโค้ง 90 องศา)	0.6
45 Elbow (ข้องอ 45 องศา)	0.2
Diaphragm Valve : ประกอบด้วยแผ่นไคอะแฟรมทำหน้าที่เป็นลิ้นปิด-เปิด	
Butterfly Valve : มักใช้ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ	

โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียจะขึ้นอยู่กับขนาดท่อวัสดุใช้ทำท่อ และการออกแบบซึ่งโดยมากมักมีอยู่ 2 แบบคือ แบบต่อด้วยเกลียวและแบบต่อด้วยหน้าแปลน (flange) การตัดต่อโดยใช้ข้อต่อเกลียวมักจะเป็นท่อขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 4-5 นิ้ว ส่วนทำที่ขนาดใหญ่กว่านี้ส่วนมากจะเป็นข้อต่อแบบใช้หน้าแปลน เพราะต่อได้ง่ายและสะดวกกว่าแบบเกลียว รูปที่ 2.3 เป็นรูปที่ใช้หาค่าของ fitting loss ได้อีกวิธีหนึ่ง ซึ่งให้ความถูกต้องมากกว่าข้อมูลที่ให้ไว้ในตารางที่ 4.6

#### 4.14 การสูญเสีย head ที่บริเวณปากทางเข้าและปากทางออก (Entrance and Exit losses)

เมื่อน้ำไหลเข้าสู่ระบบ pump ที่บริเวณปากท่อคุณ ก็จะเริ่มมีการสูญเสีย head เนื่องจากความต้านทานที่เกิดขึ้นบริเวณปากทางเข้า (Entrance loss) และเมื่อไหลพ้นออกจากระบบไปก็จะมีการสูญเสียที่บริเวณปากทางออก (Exit loss) ค่าการสูญเสียทั้งสองประการนี้ แม้จะดูเป็นเรื่องเล็กน้อย แต่จำเป็นที่จะต้องนำมาคำนวณด้วย เพื่อป้องกันการผิดพลาดจากการเลือก pump ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป การสูญเสียที่บริเวณปากทางเข้าออกนี้ขึ้นอยู่กับ

1. ขนาดของท่อ
2. วัสดุที่ใช้ทำท่อ
3. ลักษณะการออกแบบ

• สำหรับการคำนวณ ยังใช้สูตรเดิมคือ  $h_f = K v^2 / 2g$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.15 ปากทางเข้า (Entrance)

การออกแบบปากทางเข้าที่จะให้น้ำผ่านเข้าสู่ท่อคูด มีส่วนสำคัญมากที่จะทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (K) ที่แตกต่างกันไป ปากท่อคูดส่วนมากจะมีอยู่สองแบบ คือ แบบตรง (Straight Mouth) และแบบปากกระฆัง (Bell Mouth) ซึ่งแต่ละแบบจะมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียต่างกัน ดังรูปที่ 2.4a และลักษณะการติดตั้งจะทำให้ค่า K ที่แตกต่างกันไปอีกเหมือนกัน

#### 4.16 ปากทางออก (Exit)

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของปากทางออก ขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ที่นำมาติดตั้งไว้ที่จุดนั้น เช่น ก้อนน้ำ หัวฉีด (Jet หรือ Nozzle) หรืออาจเป็นปลายท่อที่ปล่อยให้น้ำไหลผ่านออกไปเรื่อย ๆ การหาค่า (K) สำหรับปากทางออกที่ปล่อยให้น้ำไหลผ่านออกไป โดยไม่มีอุปกรณ์ติดตั้งอย่างใดอย่างหนึ่งก็คิดขวางไว้ ค่า K จะเท่ากับ 1.0 หรือค่าการสูญเสีย head ที่จุดนั้น จะเท่ากับค่า head ความเร็ว หรือ  $V^2/2g$  แต่ถ้ามีอุปกรณ์อย่างใดอย่างหนึ่งไว้ก็ให้คำนวณค่าการสูญเสีย head โดยใช้ค่า K ของอุปกรณ์ชนิดนั้นตามที่ได้อ้างไว้แล้ว

#### 4.17 Total head

ค่ารวมของการสูญเสีย head ในระบบ pump ทำได้ด้วยการบวกค่าการสูญเสีย head ที่จุดต่าง ๆ ตั้งแต่ปากทางเข้า การสูญเสียเนื่องจากความยาวของท่อคูดและท่อส่ง ข้อต่อและข้องอต่าง ๆ ถัดกันกลับ ประตูน้ำ ไปจนถึงปากทางออก ค่าที่ได้ก็คือค่าการสูญเสีย head รวม (Total head loss) ซึ่งเมื่อนำมาบวกเข้ากับค่า static head ของระบบนี้ก็จะได้ค่า Total head ของระบบนั้น ๆ ซึ่งก็หมายความว่า เครื่องสูบน้ำที่ใช้จะต้องมีความสามารถที่จะสร้าง head ขนาดนั้นขึ้นให้ได้ จึงจะสามารถส่งน้ำไปได้ตลอดระบบที่วางไว้ ถ้า head ของเครื่องสูบน้ำมีค่าน้อยกว่า head ของระบบก็จะส่งไปไม่ถึงปลายทาง

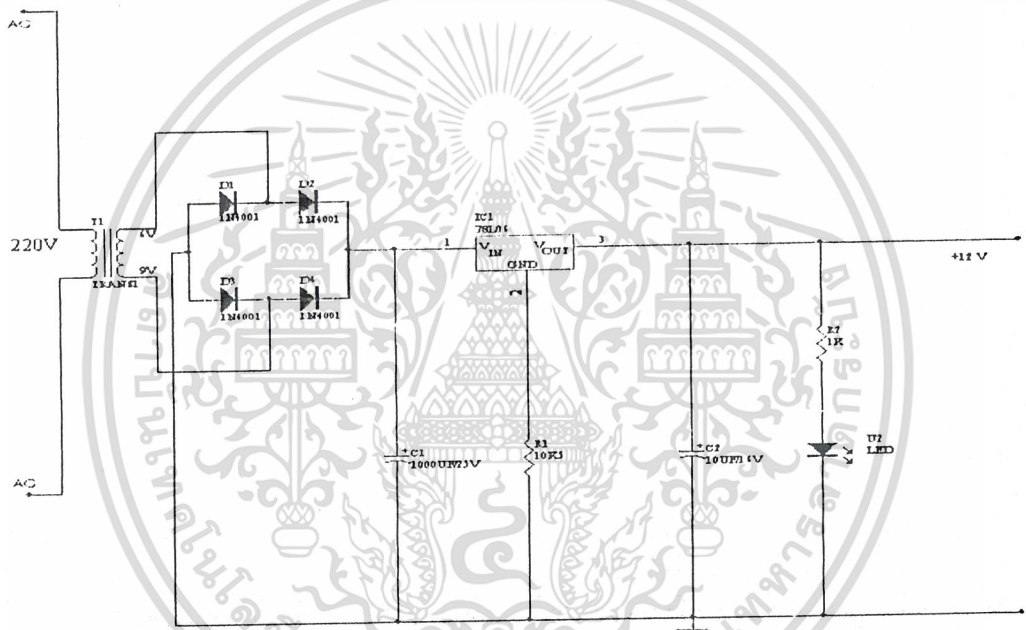
## บทที่ 5

### การออกแบบและสร้างเครื่อง

#### 5.1 การออกแบบวงจร

##### 5.1.1 ชุดเพาเวอร์ซัพพลาย 12 โวลต์

วงจรเพาเวอร์ซัพพลายชุดนี้จัดเป็นวงจรเรกติฟายเออร์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ วงจรนี้จะมีวงจรเรกติไฟฟายเออร์พร้อม เมื่อเราจ่ายไฟ 220 โวลต์ วงจรนี้ก็จะทำงานได้เลย



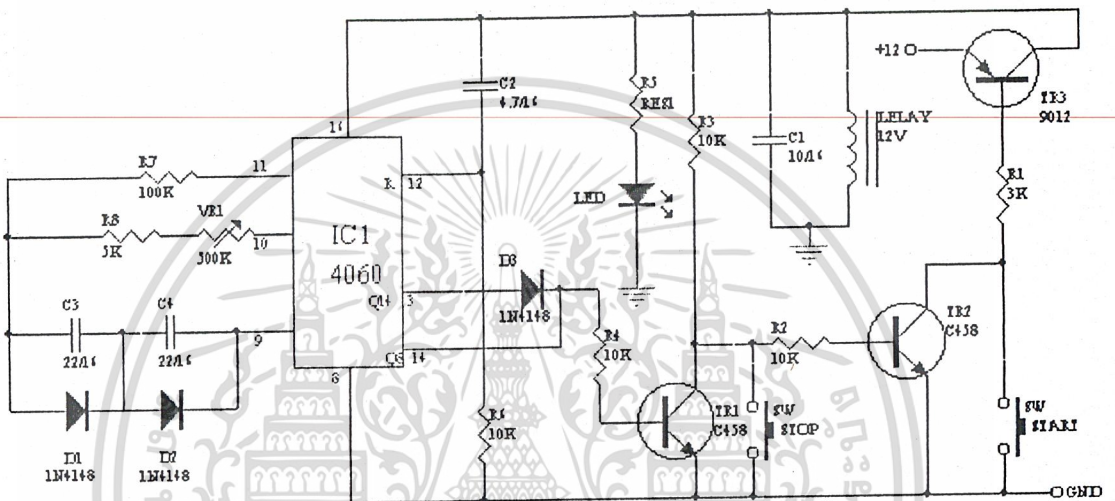
รูปที่ 5.1 แสดงวงจรเพาเวอร์ซัพพลาย 12 โวลต์

**หลักการทำงาน** จากรูปเมื่อเราจ่ายเข้าหม้อแปลง T1 หม้อแปลงจะทำการแปลงไฟฟ้าบ้านจาก 220 โวลต์ ให้ใช้งานที่ 15 โวลต์ กระแสกลับผ่านไดโอด D1-D4 ไดโอดจะทำหน้าที่เป็นตัวแปลงไฟกระแสสลับเป็นกระแสตรง โดยที่มี C1 เป็นฟิลเตอร์ให้ไฟเรียบก่อนเข้า IC1 ตัว IC1 จะทำหน้าที่จำกัดแรงดันออกทางเอาต์พุตที่ขา G ของ IC1 จะต่อกับค่าความต้านทาน  $1.5K\Omega$  จะได้แรงที่เอาต์พุตเท่ากับ 12 โวลต์ตามต้องการ C2 จะเป็นฟิลเตอร์ทางเอาต์พุตให้แรงดันเรียบขึ้นจะมี LED แสดงเพื่อให้เห็นว่ามีไฟทางด้านเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 วงจรตั้งเวลา

วงจรตั้งเวลาชุดนี้เป็นวงจรตั้งเวลาปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า 220 โวลต์ได้ทุกชนิดโดยที่รีเลย์สามารถต่อกับเครื่องใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 300 วัตต์ใช้ไฟเลี้ยง 12 โวลต์ กระแสประมาณ 45 มิลลิแอมป์ ใช้วอลุ่มในการปรับตั้งเวลา

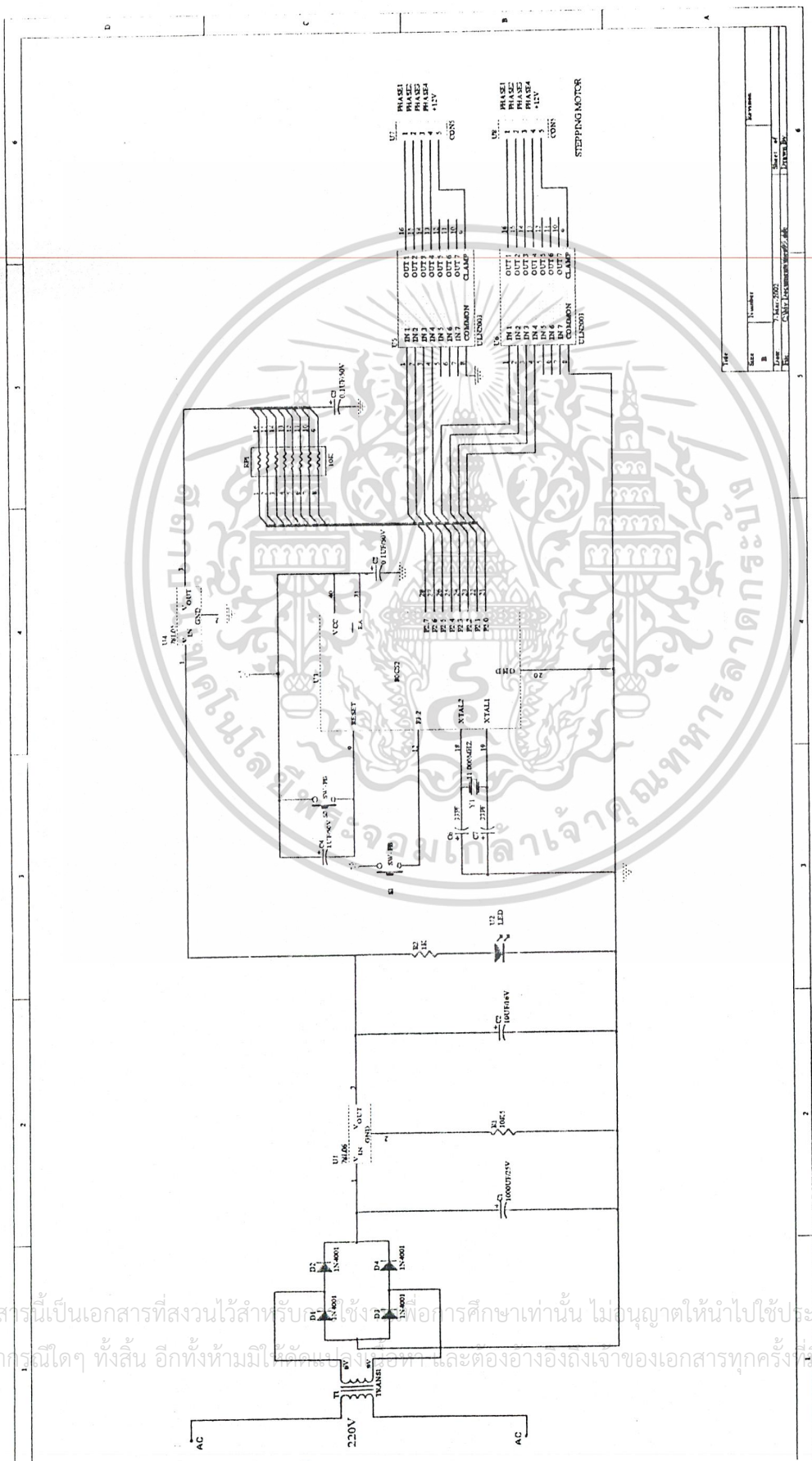


รูปที่ 5.2 แสดงวงจรการตั้งเวลา

หลักการทํางาน เมื่อจ่ายเข้า TR3 ตอนแรกวงจรจะยังไม่สามารถทํางานได้ดังนั้นวงจรตั้งเวลาจะยังไม่ทํางานเมื่อกดสวิตซ์สตาร์ทจะทำให้ TR3 ทํางานทำให้กระแสถูกจ่ายไปยังวงจรตั้งเวลาหลอด LED จะติดรีเลย์จะดูดหน้าสัมผัสต่อเข้ากับ TR2 จะนำกระแสโดยขา B ได้รับแรงไฟจาก R1,R3 เมื่อTR2 สามารถทํางานได้ทำให้ TR3 สามารถนำกระแสได้แม้ว่าจะปล่อยสวิตซ์วงจรก็จะยังทํางานอยู่ วงจรตั้งเวลาจะทํางานโดย IC1 จะทำหน้าที่ตั้งเวลา โดยการปรับค่า VR1 ทำให้ TR1 ทํางานช็อคแรงดันที่จ่ายให้ขา B ของ TR2 ต่อลงกราวด์ ดังนั้น TR2 จะไม่สามารถทํางานได้ส่งผลทำให้ TR3 หยุดการนำกระแสทำให้ไม่มีแรงดันไฟจ่ายเข้ามาที่วงจรตั้งเวลาหลอด LED ก็จะดับ รีเลย์ก็จะปล่อยหน้าสัมผัส หากต้องหยุดการทํางานของวงจรถูกกดสวิตซ์ STOP

5.1.3 วงจรควบคุมการทํางานของสเตรปมอเตอร์

ในวงจรการควบคุมสเตรปมอเตอร์จะมีชุดเพาเวอร์ซัพพลาย 12 โวลต์ และชุดควบคุมสเตรปมอเตอร์รวมกันเพราะสเตรปมอเตอร์ต้องการแรงดัน 12 โวลต์กระแสตรง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 แสดงการวางการควบคุมการทำงานของสเต็ปมิ่งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำและดองอองถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

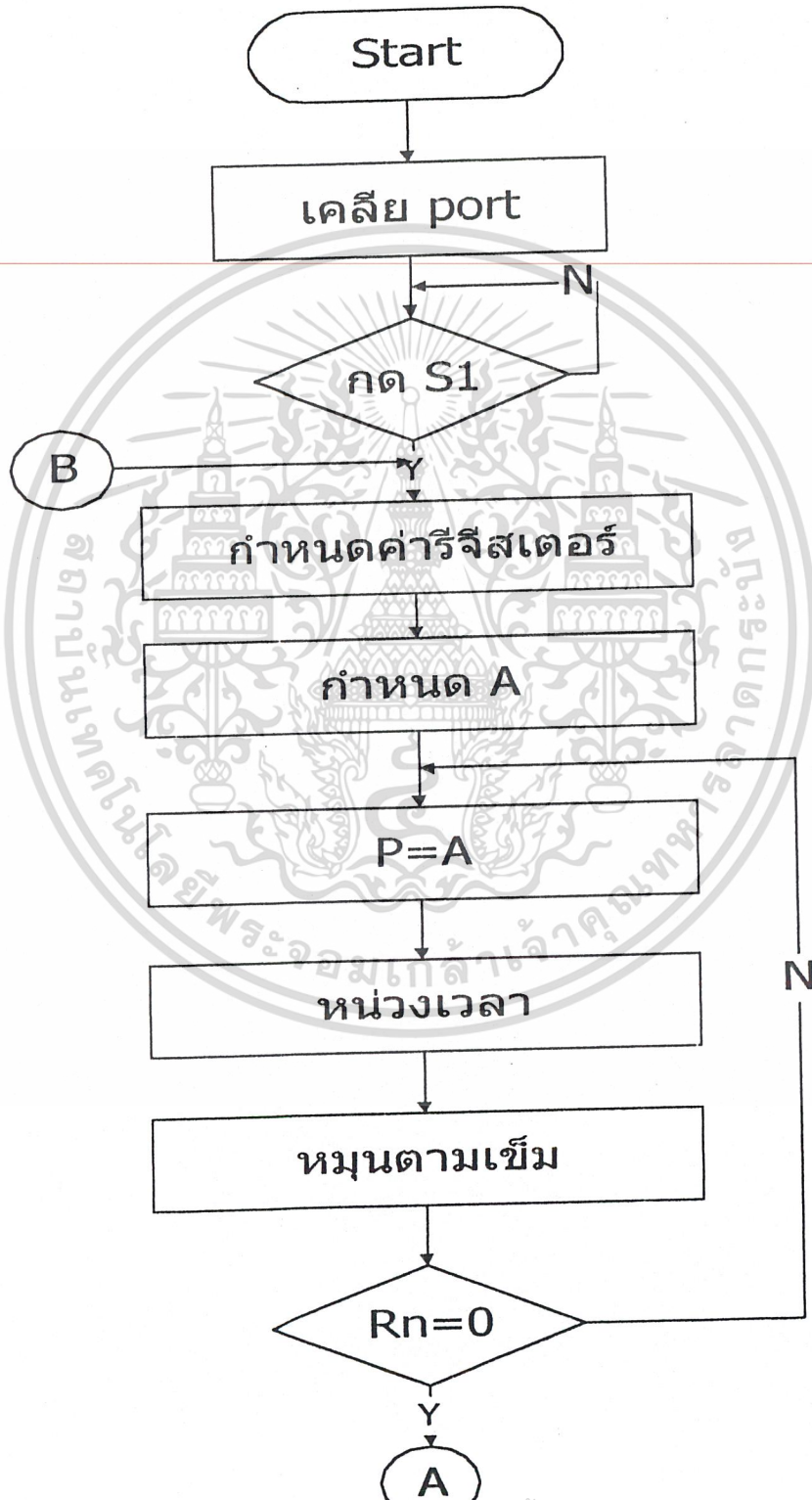
หลักการทํางาน เมื่อจ่ายไฟฟ้า 220 โวลต์ เข้ามาที่ชุดเพาเวอร์ซัพพลายชุดเพาเวอร์ซัพพลายชุดเพาเวอร์ซัพพลายจะทำการเปลี่ยนไฟ 220 โวลต์เป็นไฟ 12 โวลต์กระแสตรงจากนั้นก็ผ่าน IC เมอร์ ULN 7805 ซึ่งเป็นไอซีเร็กกูเรเตอร์ให้แรงดันทางด้านเอาต์พุตเป็น 5 โวลต์กระแสตรงหลอด LED จะติดสว่าง จากนั้นจะต่อเข้ากับไอซี MCS-51 ซึ่งเป็นตัวควบคุมการทำงานของสเตปปีงมอเตอร์เมื่อ กดสวิทช์ S1 จะส่งพัลส์ไปในวงจรทำให้วงจรทํางานตามที่ได้ออกแบบไว้ ค่าความต้านทาน  $10K\Omega$  จะทำหน้าที่พูลอัพให้สูงขึ้นเพื่อเข้าไปที่ IC เมอร์ ULN 2003 จะทำหน้าที่ขยับสเตปปีงมอเตอร์โดยการอัปเดตให้สูงขึ้นเพื่อใช้ในการขยับสเตปปีงมอเตอร์

### 5.1.3.1 การออกแบบการควบคุมสเตปปีงมอเตอร์

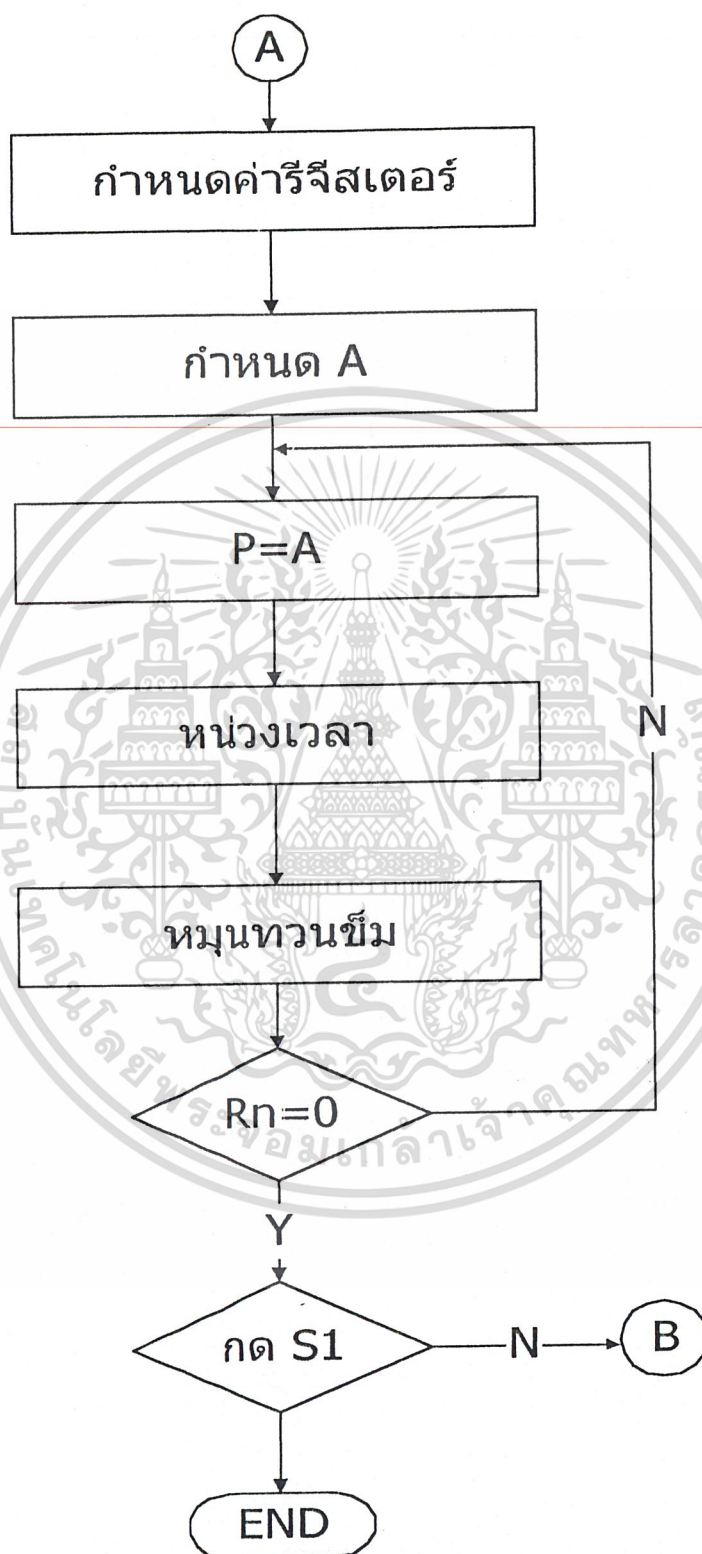
ในการออกแบบควบคุมสเตปปีงมอเตอร์ก่อนอื่นจะต้องทํการศึกษาเรื่องของชุดคำสั่งของไมโครโปรเซสเซอร์ MCS-51 และการคุณลักษณะการทํางานสเตปปีงเสียก่อนก่อนทำการออกแบบและในการออกแบบสามารถทำได้ดังนี้

1. ทํากาเขียน Flowchart แสดงลำดับการทํางานตามที่ใช้ต้องการ
2. ทํากาออกแบบ โปรแกรมและลองทํากาซิมูเลท ( Simulat ) คว้าได้ผลตามที่ต้องการหรือไม่ทำเช่นนี้เรื่อยๆ จนกว่าจะได้ผลการทดลองตามต้องการ
3. นำโปรแกรมที่ได้ไปทํากาเขียนใส่ IC MCS-51 แล้วลองต่อวงจรตามรูปที่ 5.3 แล้วลองทํากาทดลองคว้าได้ผลตามที่ต้องการหรือไม่

## FLOWCHART



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การออกแบบและสร้างส่วนประกอบของตัวเครื่อง

### 5.2.1 ชุดฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มไวแสง ประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

1. เครื่องดูดฝุ่น จะเป็นเครื่องดูดฝุ่นที่ใช้กับอาคารบ้านเรือนทั่วไปซึ่งจะใช้ในการดูดอากาศออกจากกล่องทดลองของชุดฉายแสง
2. กล่องทดลองการฉายแสง ใช้ในการวางแผ่นต้นแบบและแผ่นฟิล์มไวแสงเพื่อที่จะใช้แสงฉายลงมาให้แผ่นฟิล์มต้นแบบติดกับแผ่นปริ้นเพื่อจะนำไปใช้ในการกัดต่อไป
3. หลอดไฟ ใช้ในการฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มไวแสงเพื่อให้แผ่นฟิล์มต้นแบบติดกับแผ่นปริ้น



รูปที่ 5.4 แสดงชุดฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มไวแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

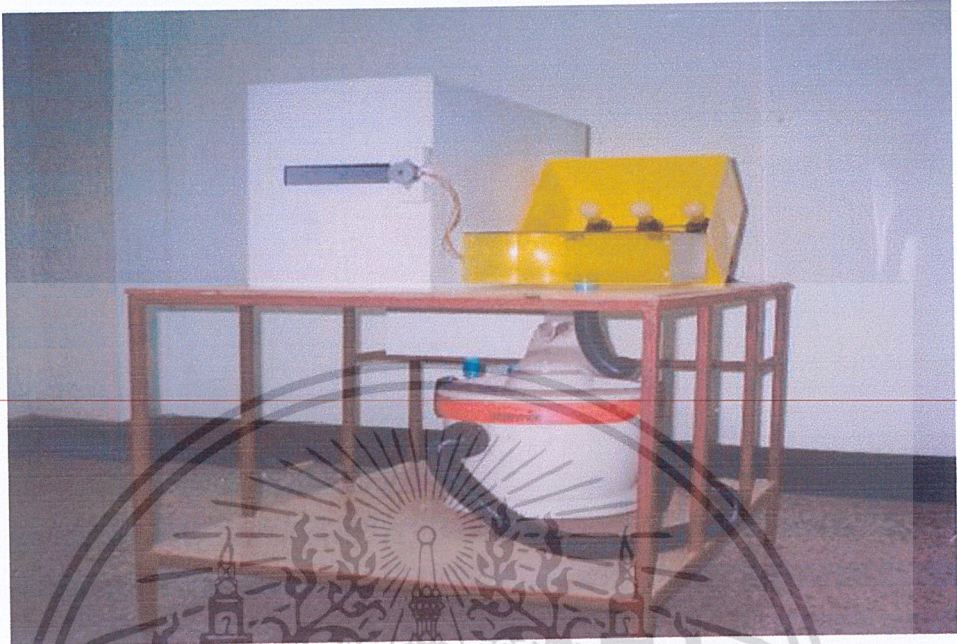
### 5.2.2 เครื่องกัดแผ่น PCB จะประกอบด้วย 6 ส่วนดังนี้

1. สเตปปีงมอเตอร์ ใช้สำหรับหมุนให้โรเลอร์ทำงานให้ได้ตามต้องการโดยมีส่วนควบคุมการหมุนของสเตปปีงมอเตอร์อีกที
2. ชุดควบคุมสเตปปีงมอเตอร์ ใช้ควบคุมการทำงานของสเตปปีงมอเตอร์ให้หมุนไปในทิศทางและเวลาที่ต้องการ
3. โรเลอร์ จะมีอยู่ 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นเฟืองและส่วนที่เป็นแกนนำสองส่วนนี้มาประกอบกันจะใดเป็นโรเลอร์
4. โครงสร้างของกล่องกัดแผ่นปริน จะใช้ในการวางส่วนที่เป็นโรเลอร์และสเตปปีงมอเตอร์และหัวฉีด
5. ปั้ม (Pump) ใช้ในการฉีดน้ำยาให้ออกที่หัวฉีดซึ่งจะใช้เป็นระบบหมุนเวียนโดยจะมีถังพักน้ำยา (ในทางปฏิบัติการนำไปใช้งานจริงนั้นจะต้องเป็นปั้มที่มีความทนทานต่อน้ำยาเคมีคือกรดเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric Chloride) ซึ่งคุณลักษณะของปั้ม ได้ที่ภาคผนวกในที่นี้จะแสดงลักษณะของปั้มที่ใช้ในการทดลอง)
6. หัวฉีด จะใช้ในการฉีดน้ำยาลงบนแผ่นปรินซึ่งหัวฉีดจะใช้แรงดัน 4 บาร์



รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะของเฟือง แกน หัวฉีดและส่วนของโรเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงลักษณะเครื่องกัดแผ่น PCB

### 5.2.3 โต๊ะวางชุดเครื่องกัด PCB และชุดฉายแสง

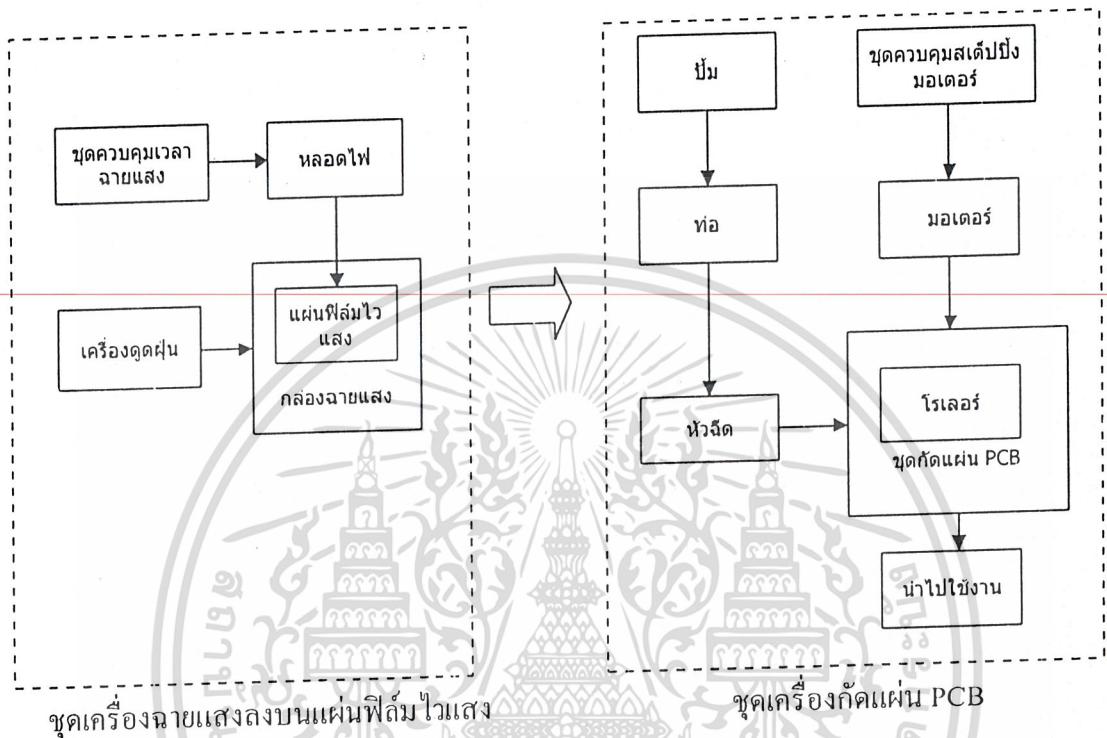


รูปที่ 5.7 แสดงโต๊ะวางชุดเครื่องกัด PCB และชุดฉายแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### หลักการทํางาน



รูปที่ 6.1 แสดงหลักการทํางานของเครื่องกัดแผ่นปริ้น

6.1 เครื่องกัดแผ่น PCB มีหลักการทํางานโดยอาศัยการทํางานร่วมกันของระบบวงจรการหมุนเวียนน้ำยาที่ระบบการควบคุมการทํางานทางอิเล็กทรอนิกส์และส่วนของระบบกลไก ซึ่งจะทํางานร่วมกันอย่างเป็นระบบในการกัดแผ่น PCB ให้เสร็จสมบูรณ์

ในระบบวงจรการหมุนเวียนน้ำยานั้นจะประกอบไปด้วย น้ำยากัดแผ่น PCB ท่อส่งผ่านน้ำยา หัวฉีด และมอเตอร์ปั้มน้ำยา ในระบบนี้จะใช้มอเตอร์ปั้มน้ำยาเป็นตัวขับเคลื่อนน้ำยาในระบบส่งผ่านไปยังหัวฉีดที่ติดตั้งอยู่ภายในกล่องกัด PCB ให้เกิดการฉีดพ่นน้ำยาให้เป็นละออง ในระดับความดันที่ประมาณ 4 บาร์ ซึ่งเป็นระดับความดันที่หัวฉีดทํางานได้ดี หัวฉีดน้ำยานี้จะถูกกำหนดให้พ่นละอองน้ำยาไปยังตำแหน่งที่แผ่น PCB น้ำยาจะทำการกัดทองแดงในส่วนที่ไม่ต้องการออกไป หลังจากนั้นน้ำยาก็จะตกลงสู่ด้านล่างกล่องในส่วนของถังพักน้ำยาเพื่อทำการตกตะกอนก่อนที่น้ำยาจะถูกดูดกลับไปยังมอเตอร์ปั้มน้ำยาเพื่อทํางานในรอบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบการควบคุมการทำงานทางอิเล็กทรอนิกส์ จะเป็นส่วนของโปรแกรมการทำงานที่ใช้ในการควบคุมชุดกลไกโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ควบคุมการหมุนของสเต็ปปีงมอเตอร์ตามทิศทางที่ได้ทำการออกแบบเอาไว้ในช่วงของการทำงาน

ในระบบกลไกจะมีส่วนของสเต็ปปีงมอเตอร์ที่ถูกควบคุมการทำงานจากไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ส่วนของแกนจับและส่วนของแกนลำเลียง โดยเมื่อสเต็ปปีงมอเตอร์ถูกควบคุมให้หมุน มอเตอร์จะหมุนจับแกนจับที่มีลักษณะเฟืองแบบเฟืองหนอนขบกันกับเฟืองตรงของแกนลำเลียงทำให้เกิดการส่งกำลังการหมุนจากมอเตอร์ที่ยึดกับแกนจับโดยตรงแบบรอบต่อรอบและจากแกนจับไปยังแกนลำเลียงเป็น 14 รอบต่อ 1 รอบ ซึ่งแกนลำเลียงนี้จะเป็นตัวลำเลียงแผ่น PCB ให้เคลื่อนที่เข้าไปในกล่องเพื่อเข้าสู่กระบวนการกัดแผ่น PCB และให้เคลื่อนที่กลับในกรณีที่สิ้นสุดการทำงาน

6.2 เครื่องฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มไวแสง จะมีส่วนการทำงานอยู่ 2 ส่วนหลักได้แก่ ส่วนควบคุมการฉายแสงและส่วนของการดูดอากาศ

ในส่วนของระบบควบคุมการฉายแสงนั้นประกอบไปด้วยวงจรเครื่องตั้งเวลาที่สามารถปรับตั้งได้ วงจรนี้จะต่อไปยังหลอดไฟเพื่อควบคุมระยะเวลาที่ใช้ในการเปิดไฟส่องแสงไปยังแผ่นฟิล์มไวแสงให้แผ่นฟิล์มไวแสงติดแน่นกับแผ่น PCB

ในส่วนของระบบของการดูดอากาศได้นำเครื่องดูดฝุ่นมาใช้โดยมีกล่องที่ต่อท่อดูดอากาศเข้ากับเครื่องดูดฝุ่นและในส่วนทางด้านบนของกล่องได้ทำการเจาะรูเล็ก ๆ เอาไว้เพื่อให้อากาศผ่านรูด้านบนนี้เข้าไปข้างในกล่องและผ่านไปยังท่อดูดของเครื่องดูดฝุ่น ดังนั้นเมื่อเรานำแผ่น PCB แผ่นฟิล์มไวแสงและแผ่นใสที่มีลายวงจรที่ต้องการมาวางซ้อนกันบนกล่องที่เจาะรูเล็ก ๆ จะทำให้แผ่นเหล่านี้ขวางปิดรูไว้ไม่ให้อากาศผ่านไป เพราะฉะนั้นแผ่นลายวงจรก็จะถูกดูดให้แนบติดกับกล่องในขณะที่เครื่องทำการดูดอากาศ ระบบนี้จะถูกนำไปใช้งานร่วมกับระบบการหน่วงเวลาของหลอดไฟในขณะที่ใช้งาน

### 6.3 การใช้งาน

#### 6.3.1 เครื่องกัดแผ่นปริน

- ทำการจ่ายไฟให้ปั๊มที่ใช้สำหรับหมุนเวียนน้ำยาและชุดควบคุมระบบการเคลื่อนที่ของมอเตอร์สเต็ปปีง
- นำแผ่นปรินที่มีลายวงจรพร้อมที่จะทำการกัดมาวางตรงทางเข้าออกของเครื่องให้อยู่ตรงกึ่งกลางมากที่สุด
- เมื่อทำการวางแผ่นวงจรพร้อมกัดเสร็จแล้วก็จะทำการเปิดสวิทช์ควบคุมของมอเตอร์สเต็ปปีง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มอเตอร์จะทำการหมุนขับแกนลำเลียงแผ่นลายวงจรเข้าสู่ภายในกล่อง เพื่อเริ่มต้นการกัดแผ่นลายวงจร
- ชุดควบคุมมอเตอร์นี้จะถูกโปรแกรมให้ขับมอเตอร์ในทิศทางไป-กลับ ด้วยความเร็วที่คำนวณและเวลาที่ได้ทำการทดลองในการกัดแผ่น PCB
- แผ่นปรินท์จะถูกขับออกมาโดยตรงทางเข้า-ออกอีกครั้งเมื่อมีการกัดตามกระบวนการนี้สิ้นสุดลง
- แผ่นปรินท์ที่ผ่านกระบวนการนี้เสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะสามารถนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไปตามต้องการ เช่น นำไปเจาะรูหาอุปกรณ์ หรือในกรณีของไมโครสตริปก็จะนำไปใช้งานได้ตามต้องการ

### 6.3.2 เครื่องฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มไวแสง

- นำแผ่น PCB ที่ต้องการมาทำการติดกับแผ่นฟิล์มไวแสงให้แนบสนิท จากนั้นนำแผ่นใสที่มีลายวงจรที่ได้ทำการถ่ายเอกสารมาประกบกับแผ่นฟิล์มไวแสงบนแผ่น PCB อีกชั้นหนึ่ง
- นำแผ่น PCB ที่ทำการในขั้นตอนแรกนั้นมาวางบนเครื่องฉายแสง
- ทำการเปิดเครื่องดูดอากาศให้ทำการดูดอากาศภายในกล่องออกก็จะทำให้เกิดการดูดแผ่นใสที่ติดอยู่กับแผ่น PCB ให้แนบกับตัวกล่อง
- ให้เราทำการรีดแผ่นใสบนเครื่องฉายแสงให้แนบสนิทอีกครั้ง
- ทำการปิดฝาเครื่องฉายแสงให้สนิท
- ปิดสวิทช์ควบคุมการฉายแสงให้ทำงาน วงจรควบคุมจะทำการฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มไวแสงให้ติดกับแผ่นทองแดง ตามช่วงเวลาทำการกำหนดไว้
- เมื่อถึงเวลาที่กำหนดแผ่น PCB ก็จะถูกเคลือบไว้โดยแผ่นฟิล์มไวแสงในส่วนของลายวงจรที่ต้องการ
- ปิดเครื่องและนำแผ่น PCB ที่ผ่านกระบวนการนี้ไปใช้งานในขั้นตอนต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### อภิปรายผล ข้อเสนอแนะและสรุปผลการทดลอง

#### 7.1 อภิปรายผล

ในการออกแบบและสร้างเครื่องกัด PCB (PCB PROTOTYPE MACHINE) ได้นำหลักการควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาใช้ในการควบคุมมอเตอร์หลังจากได้ศึกษาและทำการทดลองการทำงานจึงได้ออกแบบและสร้างส่วนควบคุมการทำงานของสเตปป์มอเตอร์นำไปใช้ในการควบคุมโรเตอร์ให้ไปในทิศทางที่ต้องการและส่วนการทำงานของปั๊มจะให้น้ำยาเคมีให้หมุนเวียนไปในทิศทางที่ต้องการ จากการทดลองเครื่องกัด PCB สามารถทำงานตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้โดยในการทดลองนั้นจะใช้น้ำเปล่าในการทดลองเพราะว่าในทางปฏิบัติจริงๆ แล้วส่วนของโรเตอร์ ชุดการทำงานของเครื่องกัด PCB และปั๊มที่จะนำมาใช้ในการทดลองจะต้องทนต่อการกัดกร่อนของกรดเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric Chloride) ซึ่งส่วนนี้จะมีราคาค่อนข้างสูงเพราะฉะนั้นในการทำการทดลองจะทำการทดลองเฉพาะหลักการการทำงานเท่านั้นในการนำไปใช้งานผู้งานสามารถซื้อปั๊มที่มีความทนทานต่อกรดเฟอร์ริกคลอไรด์นำมาใช้งานได้ตามต้องการ และส่วนของเครื่องฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มไวแสงในการทดลองนั้นจะทดลองเฉพาะหลักการการทำงานเท่านั้นเพราะว่าแผ่นฟิล์ม ไวแสงที่ใช้ในการทดลองมีราคาค่อนข้างสูงทำให้ไม่สามารถนำมาใช้ในการทดลองเพราะว่าจำกัดทางด้านงบประมาณในการสร้างและออกแบบเครื่องกัด PCB ในการนำเครื่องกัด PCB ไปใช้งานนั้น ส่วนที่เป็นส่วนคุมระยะเวลาในการกัดแผ่น PCB นั้นจะต้องขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าจะใช้เวลาเท่าใดเพราะว่าระยะเวลาในการกัดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและความเข้มข้นของปริมาณน้ำยาที่ใช้ในการกัด อย่างไรก็ตามเครื่องกัด PCB ให้ผลในการทำงานเป็นที่น่าพอใจเพราะสามารถทำงานตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้จึงถือว่าเครื่องนี้ประสบความสำเร็จในการออกแบบและสร้างในระดับหนึ่ง

#### 7.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการใช้งานของเครื่องจึงสรุปข้อเสนอแนะได้ดังนี้

1. ควรออกแบบให้การควบคุมการทำงานของเครื่องสามารถใช้งานได้และสะดวกในการใช้งานมากที่สุด
2. ควรออกแบบส่วนของโครงสร้างของเครื่องให้มีความทนทานต่อกรดเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric Chloride) เพื่อจะได้นำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์
3. ควรออกแบบส่วนที่มีการหมุนของน้ำยาควรจะทำถังพักน้ำยาโดยที่ทางด้านข้างของถังควรจะมีออกแบบให้มีความเอียงเล็กน้อยเพื่อให้ น้ำยาไหลลงมายังถังพักน้ำยาได้อย่างสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ในการออกแบบชุดฉายแสงลงบนแผ่นฟิล์มไวแสงนั้นจะต้องคำนึงถึงปริมาณแสงที่จะฉายลงบนแผ่นฟิล์มไวแสงเพราะว่าการนำไปใช้งานนั้นปริมาณแสงที่ใช้กันไม่เท่ากันอาจทำให้เกิดความผิดพลาดได้โดยที่ลายวงจรบางส่วนนั้นยังอาจไม่ติดลงบนแผ่นทองแดงก็ได้ดังนั้นก็ควรจะคำนึงถึงส่วนนี้ด้วย
5. ในการออกแบบส่วนของเฟืองที่ใช้ในส่วนของโรเตอร์จะต้องคำนึงเฟืองตรงและเฟืองหนอนว่าจะขบกันพอดีหรือไม่เพราะว่าส่วนนี้จะเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการควบคุมส่วนของโรเตอร์ให้ทำงานได้ตามต้องการ

### 7.3 สรุป

จากที่ได้การศึกษออกแบบและสร้างเครื่อง PCB (PCB PROTOTYPE MACHINE) และได้ทำการทดลองซึ่งเครื่องสามารถทำงานได้ตามต้องการแต่ส่วนของน้ำยาเคมีและปั้มน้ำยาเคมีจะยังไม่นำมาใช้ในการทดลองเพราะว่าปั้มน้ำยาเคมีจะมีราคาค่อนข้างสูง จึงไม่ได้นำมาทดลองซึ่งจะได้พัฒนาให้เครื่องสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพต่อไป

จึงกล่าวได้ว่าการออกแบบและสร้างเครื่องกัด PCB (PCB PROTOTYPE MACHINE) ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

## บรรณานุกรม

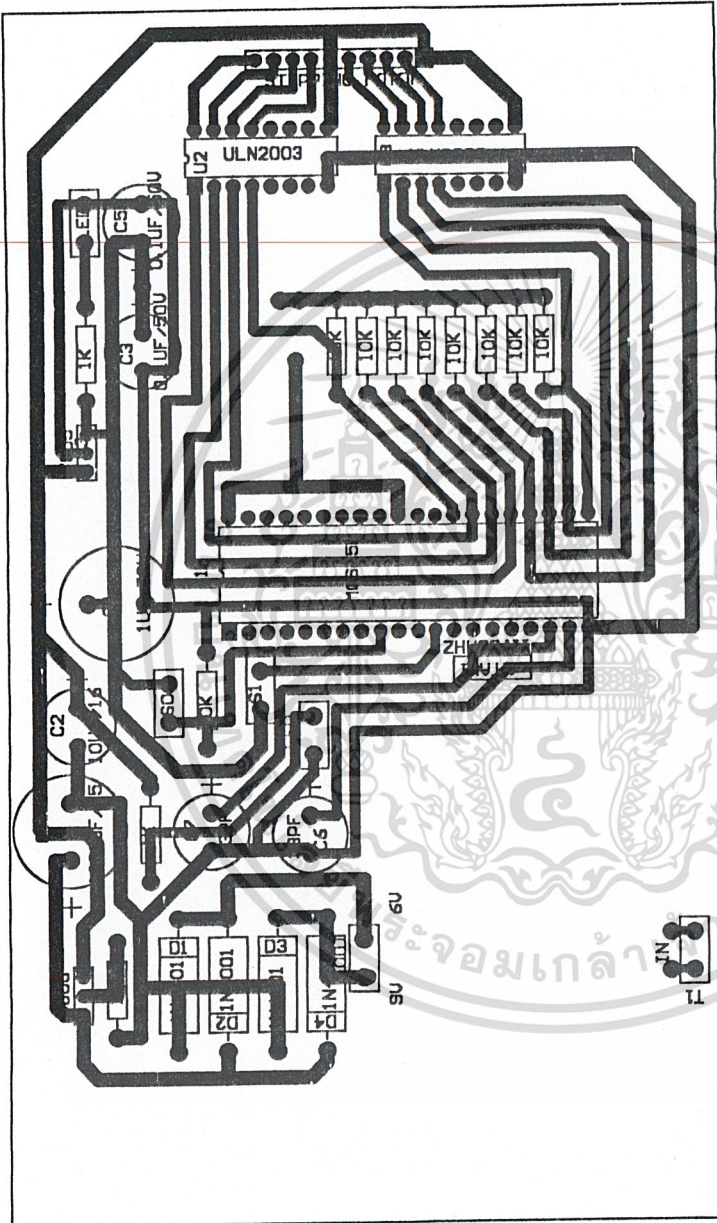
1. รวมโครงการอิเล็กทรอนิกส์ “ ไมโครคอมพิวเตอร์ ” , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน) , พ.ศ. 2539
2. รวมโครงการอิเล็กทรอนิกส์ “ เครื่องควบคุม ”, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน) , พ.ศ. 2539
3. ไมโครโปรเซสเซอร์ 1 “ Z80 68HC11 MCS51/MCS96 ” ,บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน) , พ.ศ. 2538
4. ไมโครโปรเซสเซอร์ 2 “ MCS51 80CS535 ” ,บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน) , พ.ศ. 2539
5. สุนทร วิฑูรพจน์ “ การโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 ” , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่นจำกัด (มหาชน) , พ.ศ. 2537
6. จำเนียร ศิลปวานิช “ เฟื่อง ”, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี, พ.ศ. 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.  
แสดงรูปการออกแบบลายวงจรและโปรแกรมในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 แสดงลายวงจร PCB ควบคุมสเต็ปป์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมการควบคุมสเตปปีงมอเตอร์

```
ORG 0000H
MOV P2,#00H
MOV P3,#00H
LOOP: MOV A,P3
      JZ,LOOP
      MOV R0,#06H
LOOP1: MOV R1,#0FH
LOOP2: MOV R2,#0FFH
      MOV A,#11H
      FWD: MOV P2,A
          LCALL DELAY
          RL A
          DJNZ R2,FWD
          DJNZ R1,LOOP2
          MOV R3,#0FH
LOOP3: MOV R4,#0FFH
      MOV A,#11H
      RWD: MOV P2,A
          LCALL DELAY
          RR A
          DJNZ R4,RWD
          DJNZ R3,LOOP3
          DJNZ R0, LOOP1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
DELAY: MOV R5,#60H
DEL: MOV R6,#0E6H
DEL1: NOP
DJNZ R6,DEL1
DJNZ R5,DEL
RET
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.  
คู่มือการใช้งาน ไอ ซี



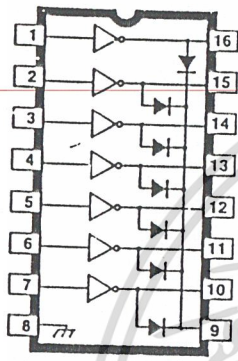
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

**2003 THRU  
2024**

Data Sheet  
29304F

**HIGH-VOLTAGE, HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**



Dwg. No. A-9594

Note that the ULN20xxA series (dual in-line package) and ULN20xxL series (small-outline IC package) are electrically identical and share a common terminal number assignment.

Ideally suited for interfacing between low-level logic circuitry and multiple peripheral power loads, the Series UI N20xxA/L high-voltage, high-current Darlington arrays feature continuous load current ratings to 500 mA for each of the seven drivers. At an appropriate duty cycle depending on ambient temperature and number of drivers turned ON simultaneously, typical power loads totaling over 230 W (350 mA x 7, 95 V) can be controlled. Typical loads include relays, solenoids, stepping motors, magnetic print hammers, multiplexed LED and incandescent displays, and heaters. All devices feature open-collector outputs with integral clamp diodes.

The ULN2003A/L and ULN2023A/L have series input resistors selected for operation directly with 5 V TTL or CMOS. These devices will handle numerous interface needs — particularly those beyond the capabilities of standard logic buffers.

The ULN2004A/L and ULN2024A/L have series input resistors for operation directly from 6 to 15 V CMOS or PMOS logic outputs.

The ULN2003A/L and ULN2004A/L are the standard Darlington arrays. The outputs are capable of sinking 500 mA and will withstand at least 50 V in the OFF state. Outputs may be paralleled for higher load current capability. The ULN2023A/L and ULN2024A/L will withstand 95 V in the OFF state.

These Darlington arrays are furnished in 16-pin dual in-line plastic packages (suffix "A") and 16-lead surface-mountable SOICs (suffix "L"). All devices are pinned with outputs opposite inputs to facilitate ease of circuit board layout. All devices are rated for operation over the temperature range of -20°C to +85°C. Most (see matrix, next page) are also available for operation to -40°C; to order, change the prefix from "ULN" to "ULQ"

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**

Output Voltage, $V_{CE}$	
(ULN200xA and ULN200xL) .....	50 V
(ULN202xA and ULN202xL) .....	95 V
Input Voltage, $V_{IN}$ .....	30 V
Continuous Output Current,	
$I_C$ .....	500 mA
Continuous Input Current, $I_{IN}$ .....	25 mA
Power Dissipation, $P_D$	
(one Darlington pair) .....	1.0 W
(total package) .....	See Graph
Operating Temperature Range,	
$T_A$ .....	-20°C to +85°C
Storage Temperature Range,	
$T_S$ .....	-55°C to +150°C

**FEATURES**

- TTL, DTL, PMOS, or CMOS-Compatible Inputs
- Output Current to 500 mA
- Output Voltage to 95 V
- Transient-Protected Outputs
- Dual In-Line Plastic Package or Small-Outline IC Package

x = digit to identify specific device. Characteristic shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix on next page.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2003 THRU 2024  
**HIGH-VOLTAGE  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

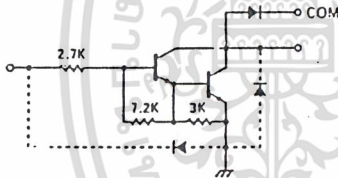
**DEVICE PART NUMBER DESIGNATION**

$V_{CE(MAX)}$	50 V	95 V
$I_{C(MAX)}$	500 mA	500 mA
Logic	Part Number	
5V TTL, CMOS	ULN2003A* ULN2003L*	ULN2023A* ULN2023L
6-15 V CMOS, PMOS	ULN2004A* ULN2004L*	ULN2024A ULN2024L

\* Also available for operation between -40°C and +85°C. To order, change prefix from "ULN" to "ULQ".

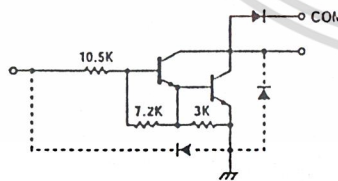
**PARTIAL SCHEMATICS**

ULN20x3A/L (Each Driver)

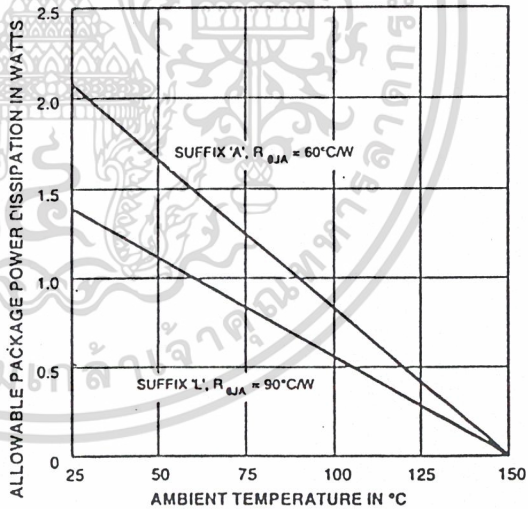


Dwg. No. A-9551

ULN20x4A/L (Each Driver)



Dwg. No. A-9696A



Dwg. GP-006A

X = Digit to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown. See matrix above.



115 Northeast Cutoff, Box 15036  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000  
Copyright © 1974, 1998 Allegro MicroSystems, Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

Types ULN2003A, ULN2003L, ULN2004A, and ULN2004L  
ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +25°C (unless otherwise noted).

Characteristic	Symbol	Test Fig.	Applicable Devices	Test Conditions	Limits			
					Min.	Typ.	Max.	Units
Output Leakage Current	$I_{CEX}$	1A	All	$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	< 1	50	$\mu\text{A}$
				$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	< 1	100	$\mu\text{A}$
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	1B	ULN2004A/L	$V_{CE} = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}, V_{IN} = 1.0\text{ V}$	—	< 5	500	$\mu\text{A}$
				$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$	—	0.9	1.1	V
		2	All	$I_C = 200\text{ mA}, I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$	—	1.1	1.3	V
				$I_C = 350\text{ mA}, I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$	—	1.3	1.6	V
Input Current	$I_{IN(ON)}$	3	ULN2003A/L	$V_{IN} = 3.85\text{ V}$	—	0.93	1.35	mA
			ULN2004A/L	$V_{IN} = 5.0\text{ V}$	—	0.35	0.5	mA
			$V_{IN} = 12\text{ V}$	—	1.0	1.45	mA	
	$I_{IN(OFF)}$	4	All	$I_C = 500\text{ }\mu\text{A}, T_A = 70^\circ\text{C}$	50	65	—	$\mu\text{A}$
Input Voltage	$V_{IN(ON)}$	5	ULN2003A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	2.4	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 250\text{ mA}$	—	—	2.7	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 300\text{ mA}$	—	—	3.0	V
		ULN2004A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 125\text{ mA}$	—	—	5.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	6.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 275\text{ mA}$	—	—	7.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 350\text{ mA}$	—	—	8.0	V	
Input Capacitance	$C_{IN}$	—	All		—	15	25	pF
Turn-On Delay	$t_{PLH}$	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Turn-Off Delay	$t_{PHL}$	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Clamp Diode Leakage Current	$I_R$	6	All	$V_R = 50\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	50	$\mu\text{A}$
				$V_R = 50\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	—	100	$\mu\text{A}$
Clamp Diode Forward Voltage	$V_F$	7	All	$I_F = 350\text{ mA}$	—	1.7	2.0	V

Complete part number includes suffix to identify package style: A = DIP, L = SOIC.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

**Types ULN2023A, ULN2023L, ULN2024A, and ULN2024L  
ELECTRICAL CHARACTERISTICS at +25°C (unless otherwise noted).**

Characteristic	Symbol	Test Fig.	Applicable Devices	Test Conditions	Limits			Units
					Min.	Typ.	Max.	
Output Leakage Current	$I_{CEX}$	1A	All	$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	< 1	50	$\mu\text{A}$
				$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	< 1	100	$\mu\text{A}$
		1B	ULN2024A/L	$V_{CE} = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}, V_{IN} = 1.0\text{ V}$	—	< 5	500	$\mu\text{A}$
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$	2	All	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 250\text{ }\mu\text{A}$	—	0.9	1.1	V
				$I_C = 200\text{ mA}, I_B = 350\text{ }\mu\text{A}$	—	1.1	1.3	V
				$I_C = 350\text{ mA}, I_B = 500\text{ }\mu\text{A}$	—	1.3	1.6	V
Input Current	$I_{IN(ON)}$	3	ULN2023A/L	$V_{IN} = 3.85\text{ V}$	—	0.93	1.35	mA
			ULN2024A/L	$V_{IN} = 5.0\text{ V}$	—	0.35	0.5	mA
			ULN2024A/L	$V_{IN} = 12\text{ V}$	—	1.0	1.45	mA
	$I_{IN(OFF)}$	4	All	$I_C = 500\text{ }\mu\text{A}, T_A = 70^\circ\text{C}$	50	65	—	$\mu\text{A}$
Input Voltage	$V_{IN(ON)}$	5	ULN2023A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	2.4	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 250\text{ mA}$	—	—	2.7	V
				$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 300\text{ mA}$	—	—	3.0	V
		ULN2024A/L	$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 125\text{ mA}$	—	—	5.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 200\text{ mA}$	—	—	6.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 275\text{ mA}$	—	—	7.0	V	
			$V_{CE} = 2.0\text{ V}, I_C = 350\text{ mA}$	—	—	8.0	V	
Input Capacitance	$C_{IN}$	—	All	—	15	25	pF	
Turn-On Delay	$t_{PLH}$	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Turn-Off Delay	$t_{PHL}$	8	All	$0.5 E_{IN}$ to $0.5 E_{OUT}$	—	0.25	1.0	$\mu\text{s}$
Clamp Diode Leakage Current	$I_R$	6	All	$V_R = 95\text{ V}, T_A = 25^\circ\text{C}$	—	—	50	$\mu\text{A}$
				$V_R = 95\text{ V}, T_A = 70^\circ\text{C}$	—	—	100	$\mu\text{A}$
Clamp Diode Forward Voltage	$V_F$	7	All	$I_F = 350\text{ mA}$	—	1.7	2.0	V

Complete part number includes suffix to identify package style: A = DIP, L = SOIC.



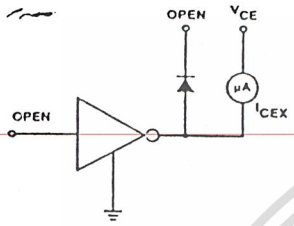
115 Northeast Cutoff, Box 15035  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

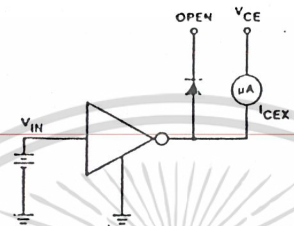
**TEST FIGURES**

FIGURE 1A



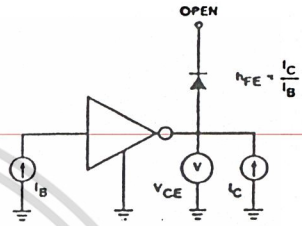
Dwg. No. A-9729A

FIGURE 1B



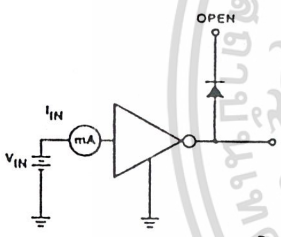
Dwg. No. A-9730A

FIGURE 2



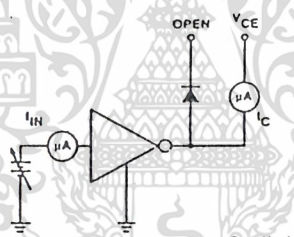
Dwg. No. A-9731A

FIGURE 3



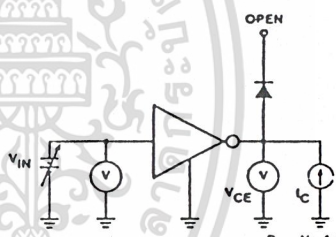
Dwg. No. A-9732A

FIGURE 4



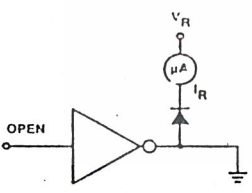
Dwg. No. A-9733A

FIGURE 5



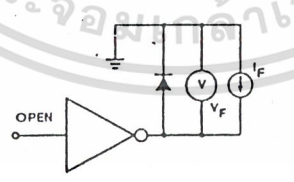
Dwg. No. A-9734A

FIGURE 6



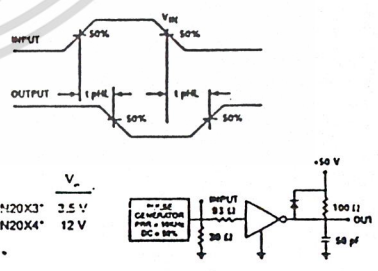
Dwg. No. A-9735A

FIGURE 7



Dwg. No. A-9736A

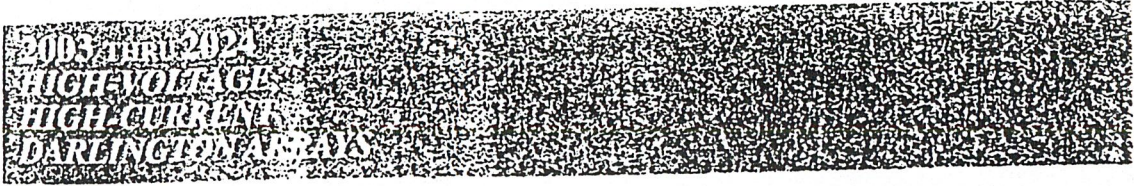
FIGURE 8



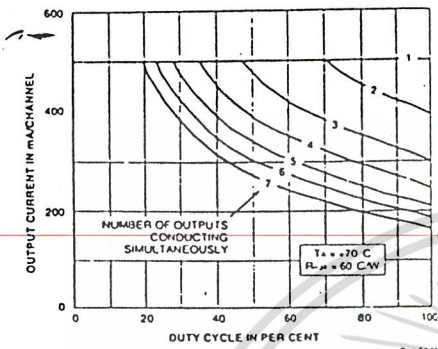
\* Complete part number includes a final letter to indicate package.

X = Digit to identify specific device. Specification shown applies to family of devices with remaining digits as shown.

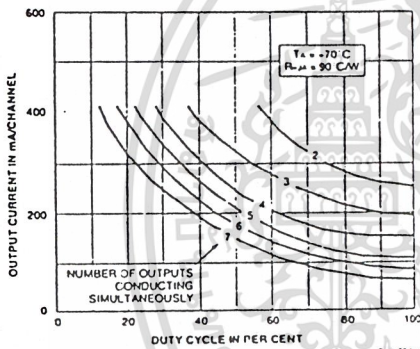
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



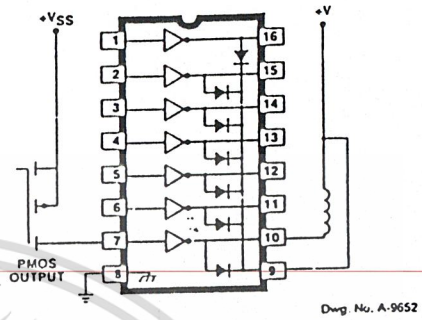
**ALLOWABLE COLLECTOR CURRENT AS A FUNCTION OF DUTY CYCLE**  
(Dual In-line-Packaged Devices, Suffix 'A,')



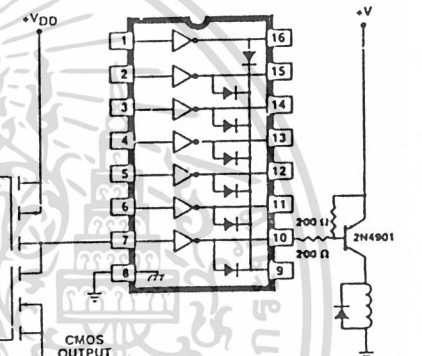
(Small-Outline-Packaged Devices, Suffix 'L,')



**TYPICAL APPLICATIONS**

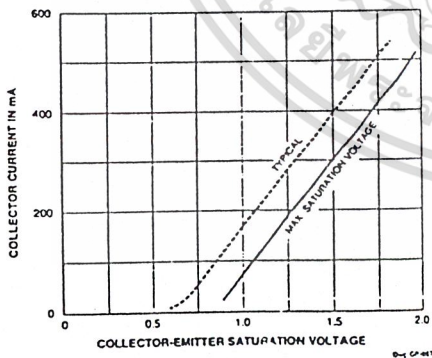


Dwg. No. A-9652



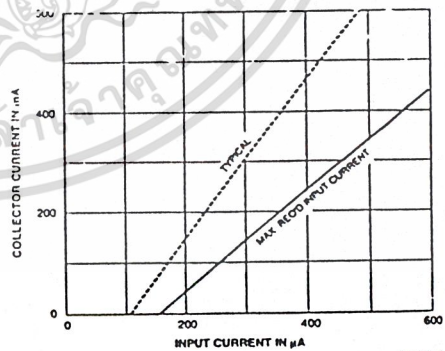
Dwg. No. A-9654A

**SATURATION VOLTAGE AS A FUNCTION OF COLLECTOR CURRENT**



Dwg. G-4611

**COLLECTOR CURRENT AS A FUNCTION OF INPUT CURRENT**



Dwg. G-4612

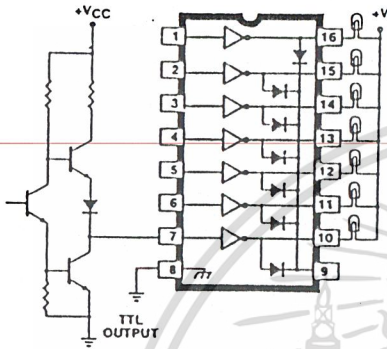


115 Northeast Cutoff, Box 15036  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

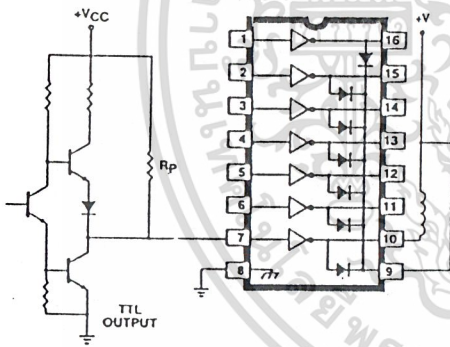
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

**TYPICAL APPLICATIONS**



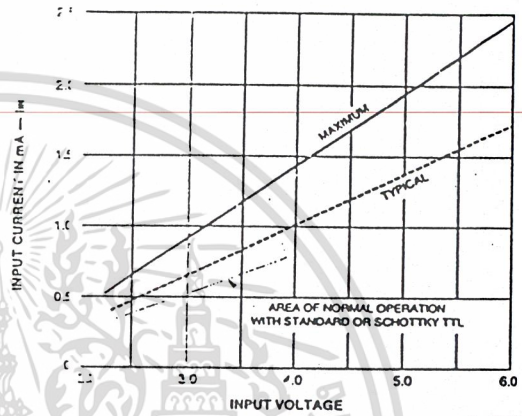
Doc. No. A-9613A



Doc. No. A-16,175

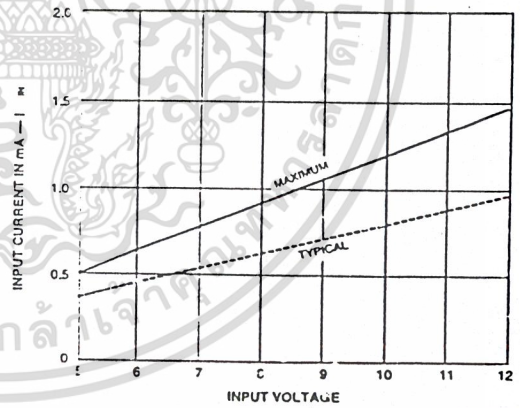
**INPUT CURRENT  
AS A FUNCTION OF INPUT VOLTAGE**

Types: ULN2003A, ULN2003L, ULN2023A, and  
ULN2023L



Doc. CP-661

Types: ULN2004A, ULN2004L, ULN2024A, and  
ULN2024L



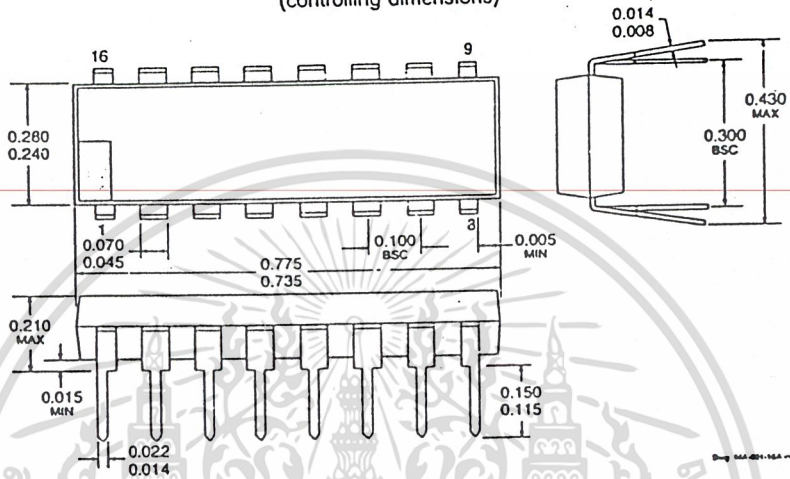
Doc. CP-661

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

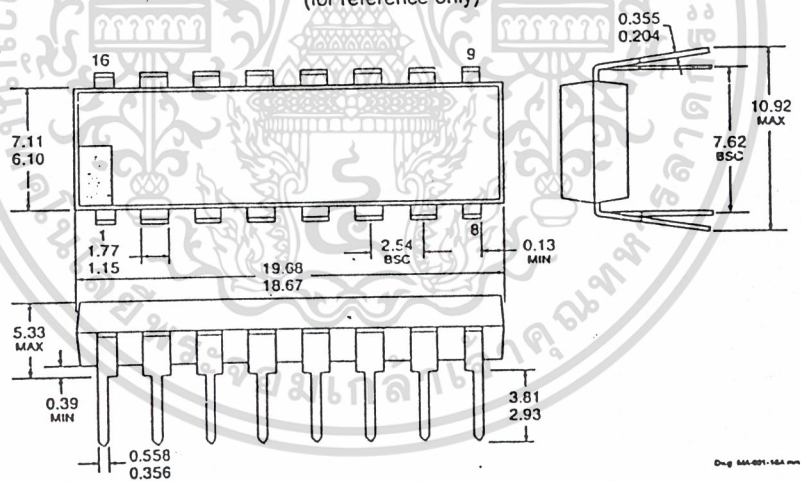
**2003 THRU 2024  
HIGH-VOLTAGE,  
HIGH-CURRENT  
DARLINGTON ARRAYS**

**PACKAGE DESIGNATOR "A"**

Dimensions in Inches  
(controlling dimensions)



Dimension in Millimeters  
(for reference only)



- NOTES: 1. Leads 1, 8, 9, and 16 may be half leads at vendor's option.  
2. Lead thickness is measured at seating plane or below.  
3. Lead spacing tolerance is non-cumulative.  
4. Exact body and lead configuration at vendor's option within limits shown.



115 Northeast Cutoff, Box 15036  
Worcester, Massachusetts 01615-0036 (508) 853-5000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้