สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัติ

AUTOMATIC PAGE TURNING MACHINE

T055007

โดย

นาย ยศพนธ์ ตั้งเพิ่มพูน

นาย วรพันธ์ พงษ์นภางค์

นาย วัชระ สุขธำรงตระกูล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ มนต์ศักดิ์ พิมสาร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่ 5500?

เลขทะเบียน

วัน,เดือน,ปี - 4 มิ.ย. 2548

b.

i.

เครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัติ
AUTOMATIC PAGE TURNING MACHINE

โดย

นาย ยศพนธ์ ตั้งเพิ่มพูน

นาย วรพันธ์ พงษ์นภางค์

นาย วัชระ สุขธำรงตระกูล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ มนต์ศักดิ์ พิมสาร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัติ

AUTOMATIC PAGE TURNING MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นาย ยศพนธ์ ตั้งเพิ่มพูน รหัสประจำตัว 43010619
2. นาย วรพันธ์ พงษ์นภางค์ รหัสประจำตัว 43010755
3. นาย วัชระ สุขธำรงตระกูล รหัสประจำตัว 43010758

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ มนต์ศักดิ์ พิมสาร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัติ

นาย ยศพนธ์ ตั้งเพิ่มพูน 43010619
นาย วรพันธ์ พงษ์นภางค์ 43010755
นาย วัชระ สุขธำรงตระกูล 43010758
อาจารย์ มนต์ศักดิ์ พิมสาร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการสร้างเครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัติ ที่สามารถเปิดหน้าหนังสือแบบไป-มาได้ โดยเครื่องดังกล่าวนี้สามารถควบคุมการเปิดหน้าหนังสือได้โดยการใช้สวิตช์ ซึ่งอาจจะใช้ได้กับเท้า หรือปาก หรือส่วนอื่นที่สามารถเคลื่อนไหวได้ของร่างกาย ดังนั้นผู้จัดทำจึงหวังว่าเครื่องดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อคนพิการ และผู้อื่นที่มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องนี้ เช่น นักดนตรีที่ไม่สามารถละมือจากเครื่องดนตรีได้ คนพิมพ์งานที่ไม่อยากเสียเวลากับการเปิดหนังสือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC PAGE TURNING MACHINE

Mr. Yodsapon Tangpermpoon 43010619
Mr. Worapan Pongnapang 43010755
Mr. Watchara Sukthumrongtrakul 43010758
Mr. Monsak Pimsarn Advisor

ABSTRACT

The objective of this project is to develop an automatic page turning machine that can turn a page backward and forward. Turning operation of this machine is controlled by a switch which can be activated by a foot or a mouth or any moving part of body. Therefore, we truly hope that this machine will be useful for a handicap or anyone who may need it, for instance, a musician who cannot take hands away from an instrument and a typist who does not want to waste time for turning a page by hands.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ อาจารย์มนต์ศักดิ์ พิมสาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก และ อาจารย์ในภาคเครื่องกลทุกท่านที่ช่วยให้คำปรึกษา

รวมไปถึงเพื่อนๆ และรุ่นพี่ต่อเนื่องในภาคเครื่องกล เพื่อนภาคโทรคมนาคม ภาคอิเล็กทรอนิกส์ ภาคคอมพิวเตอร์ที่ให้ความรู้ในเรื่องไฟฟ้า ให้ยืมสถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ และขอบคุณทุกคนที่มีส่วนช่วยในการสนับสนุนโครงงานนี้

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นาย ยศพนธ์ ตั้งเพิ่มพูน
นาย วรพันธ์ พงษ์นภางค์
นาย วัชระ สุขธำรงตระกูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย		I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		II
กิตติกรรมประกาศ		III
สารบัญ		IV
สารบัญตาภาพ		VI
สารบัญตาราง		VIII
บทที่	1 บทนำ	1
	1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงาน	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
	1.3 หลักการทำงานและขอบเขตการทำงาน	1
	1.4 กรรมวิธีที่ใช้ในการออกแบบ	2
บทที่	2 หลักการและทฤษฎี	3
	2.1 ปรัชญาของการออกแบบ	3
	2.2 พื้นฐานของผู้ออกแบบเครื่องกล	4
	2.3 ขั้นตอนของการออกแบบ	5
	2.4 สปริง	8
	2.5 เฟืองตรง	10
	2.6 พื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51 และสเต็ปปิงมอเตอร์	14
	2.7 ชุดแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (Power Supply)	23
บทที่	3 การออกแบบและการคำนวณ	24
	3.1 แนวคิดการออกแบบเครื่อง	24
	3.2 การออกแบบโครงฐาน	24
	3.3 การออกแบบชุดแขนกลไก	26
	3.4 การออกแบบชุดกวาดหน้ากระดาษ	29
	3.5 การออกแบบวงจรควบคุม	29
	3.6 การเขียนโปรแกรมควบคุม	30
บทที่	4 ส่วนประกอบและขั้นตอนการทำงาน	36
	4.1 ส่วนประกอบต่างๆ	36
	4.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้าที่
บทที่ 5	วิธีและผลการทดลอง	40
	5.1 วิธีการทดลอง	40
	5.2 ผลการทดลอง	40
บทที่ 6	วิจารณ์และสรุปผล	46
	6.1 วิจารณ์ผลการทดลอง	46
	6.2 สรุปผลการทดลอง	46
	6.3 แผนการพัฒนาเครื่องและข้อเสนอแนะ	46
บรรณานุกรม		48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูป 1.1 แสดงแผนภาพวิธีกรรมที่ใช้ในการออกแบบ	2
รูป 2.1 แผนภาพของการออกแบบที่มีวงป้อนกลับ	5
รูป 2.2 การเรียกชื่อส่วนของฟันเฟือง	10
รูป 2.3 ผลของค่าไดอะมิทรัลพิตช์ต่อขนาดของฟันเฟือง สำหรับค่าวงกลมพิตช์ที่กำหนด เมื่อไดอะมิทรัลพิตช์เล็กลง ขนาดของฟันเฟืองจะโตขึ้น	12
รูป 2.4 การทำงานของฟันเฟืองที่ขบกัน	13
รูป 2.5 โครงสร้างภายในของ MCS – 51	14
รูป 2.6 แสดงตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS – 51	15
รูป 2.7 โครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพล่า	20
รูป 2.8 แสดงการกระตุ้นแบบเฟสเดี่ยว	20
รูป 2.9 แสดงการกระตุ้นแบบ 2 เฟส	21
รูป 2.10 แสดงการกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป	21
รูป 2.11 แสดงวงจรการเชื่อมต่อของ MCS-51 และวงจรการขับมอเตอร์	22
รูป 2.12 แสดงการต่อคริสตัลให้กับ AT89C51	22
รูป 2.13 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นกระแสตรงขนาด 5 v	23
รูป 3.1 โครงฐานจำลองที่ทำจากไม้	24
รูป 3.2 ขนาดและมิติต่างๆ ของโครงฐาน (หน่วย mm)	25
รูป 3.3 โครงฐานจริงทำจากอลูมิเนียม	25
รูป 3.4 มุมการกวาดของแขนกลไก (หน่วย mm)	26
รูป 3.5 ชุดแขนกลไกจำลองที่ทำจากไม้	26
รูป 3.6 ตำแหน่งการติดตั้งสปริงและลักษณะการยกแขนกลไก	27
รูป 3.7 การหาค่าแรงในการดึงแขนกลไกเพื่อให้ได้ค่า Torque ที่ใช้	27
รูป 3.8 ข้อมูลเฉพาะของมอเตอร์เกี่ยวกับค่า Torque	28
รูป 3.9 ชุดเฟืองทดกำลัง	28
รูป 3.10 ชุดกวาดหน้ากระดาษ	29
รูป 3.11 การหาค่าแรงในการขับตลับเมตรเพื่อให้ได้ค่า Torque ที่ใช้	29
รูป 3.12 ชุดวงจรควบคุม	30
รูป 4.1 โครงฐานทั้งด้านหน้า และด้านหลัง	36
รูป 4.2 ชุดแขนกลไกทั้ง 2 ข้าง	36
รูป 4.3 (ก) ชุดกวาดหน้ากระดาษด้านหน้า	37
รูป 4.3 (ข) ชุดขับสายพานให้ตัวกวาดจากด้านหลัง	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้าที่

รูป 4.4 (ก) ชุดควบคุมการเปิดหน้ากระดาษ 37
รูป 4.4 (ข) ชุดควบคุมการปรับองศาของโต๊ะ 37
รูป 4.5 (ก) Power Supply 38
รูป 4.5 (ข) MCS-51 38
รูป 4.6 ภาพโดยรวมของชุดแผงวงควบคุม 38
รูป 4.7 การเปิดหนังสือแบบย้อนหลัง 38
รูป 4.8 การเปิดหนังสือแบบไปข้างหน้า 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้าที่
ตาราง 2.1	ขนาดเฟืองมาตรฐาน	12
ตาราง 2.2	สรุปบางส่วนของ MCS-51	17
ตาราง 2.3	แสดงหน้าที่พิเศษของพอร์ต 3 นี้ด้วยคือ P3.0 และ P3.1	23
ตาราง 5.1	แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1	40
ตาราง 5.2	แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2	41
ตาราง 5.3	แสดงผลการทดลองครั้งที่ 3	41
ตาราง 5.4	แสดงผลการทดลองครั้งที่ 4	42
ตาราง 5.5	แสดงผลการทดลองครั้งที่ 5	42
ตาราง 5.6	แสดงผลการทดลองครั้งที่ 6	43
ตาราง 5.7	แสดงผลการทดลองครั้งที่ 7	43
ตาราง 5.8	แสดงผลการทดลองครั้งที่ 8	44
ตาราง 5.9	แสดงผลการทดลองครั้งที่ 9	44
ตาราง 5.10	แสดงผลการทดลองครั้งที่ 10	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

การอ่านหนังสือเป็นการผ่อนคลาย และการเรียนรู้อย่างหนึ่งในชีวิต การอ่านหนังสือมักจะมาควบคู่ไปในชีวิตประจำวันเสมอ แต่ถ้าคนพิการทางแขนซึ่งต้องการที่จะอ่านหนังสือแต่ไม่สามารถอ่านได้ด้วยตัวเองหรือสามารถทำได้อย่างลำบากเนื่องจากไม่มีแขนที่จะใช้เปิดหนังสือ ดังนั้นเราจึงเกิดแนวความคิดที่จะสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกที่จะช่วยให้คนพิการทางแขนสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการอ่านหนังสือ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการสร้างเครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัติ ที่สามารถเปิดหน้าหนังสือแบบไป-มาได้ โดยเครื่องดังกล่าวนี้สามารถควบคุมการเปิดหน้าหนังสือได้โดยการใช้สวิตช์ ซึ่งอาจจะใช้ได้กับเท้า หรือปาก หรือส่วนอื่นที่สามารถเคลื่อนไหวได้ของร่างกาย ดังนั้นผู้จัดทำจึงหวังว่าเครื่องดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อคนพิการ และผู้อื่นที่มีความจำเป็นต้องใช้เครื่องนี้ เช่น นักดนตรีที่ไม่สามารถละมือจากเครื่องดนตรีได้ คนพิมพ์งานที่ไม่อยากเสียเวลากับการเปิดหนังสือ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 สามารถสร้างเครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัติโดยควบคุมด้วย Joystick หรือชุดคอนโทรลแบบต่างๆได้

1.2.2 เครื่องสามารถเปิดหนังสือไปข้างหน้าและย้อนกลับได้

1.2.3 สามารถทำเป็นต้นแบบและนำมาพัฒนาต่อไปได้

1.3 หลักการทำงานและขอบเขตการทำงาน

การทำงานของเครื่อง จะมีอยู่ 2 จังหวะ การทำงาน คือ

1.3.1 เป็นการเปิดเลื่อนเพื่อแยกหน้ากระดาษให้ได้เพียง 1 แผ่น

1.3.2 การกวาดหน้ากระดาษให้อยู่อีกฝั่งหนึ่ง

ขอบเขตของเครื่องเปิดหนังสือ

เครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัติที่ทำการออกแบบนี้ ต้องการให้การเปิดหนังสือเสมือนเปิดด้วยมือคน ซึ่งสามารถเปิดกลับไป-กลับมาได้ และสามารถเปิดหนังสือได้หลายขนาด โดยมีการออกแบบโครงฐานให้มีสล็อตเลื่อนเพื่อให้สามารถวางหนังสือได้ในขนาดที่แตกต่างกัน และชุดแขนกลไกก็สามารถปรับเลื่อนได้ถ้าหน้าหนังสือมีขนาดเล็กใหญ่ไม่เท่ากัน นอกจากนี้ตัวโครงฐานยังสามารถปรับองศาการวางหนังสือเพื่อการอ่านที่เหมาะสมแก่ผู้ใช้แต่ละคนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 กรรมวิธีที่ใช้ในการออกแบบ

การออกแบบเราควรต้องรู้ว่าวัตถุประสงค์เป็นอย่างไร จะเริ่มต้นอย่างไร ต้องทำอะไรต่อบ้าง ต่อไปจะเกิดอะไรขึ้น มีอะไรบ้างเป็นตัวควบคุมและสุดท้ายงานออกแบบจะสิ้นสุดลงที่ใด

รูป 1.1 แสดงแผนภาพวิธีกรรมที่ใช้ในการออกแบบ

1.4.1 เปรียบเทียบกับการเปิดหนังสือด้วยมือคน

1.4.2 ออกแบบกลไกให้คล้ายกับการเปิดหนังสือด้วยมือคน

1.4.3 ใช้หลักการออกแบบด้วยวิชา Machinery

1.4.4 ใช้หลักการออกแบบการทดกำลังและโครงสร้างต่าง ๆ จากวิชา Machine Design

1.4.5 ใช้หลักการออกแบบวงจรไฟฟ้าควบคุม

1.4.6 ทำการทดลองวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดสามารถอ่านได้ใน วิทยานิพนธ์เล่มนี้

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

เครื่องจักรกลเป็นส่วนประกอบของชิ้นส่วนต่างๆที่ต่ออยู่ด้วยกัน เคลื่อนที่สัมพันธ์กัน และส่งแรงจากแหล่งต้นกำลังเพื่อเอาชนะความต้านทานต่างๆของเครื่องจักรกลและใช้ทำงานได้ ชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลโดยทั่วไปจะเป็นชิ้นส่วนเกร็ง (rigid) ข้อต่อที่ใช้จะต้องเลือกและจัดให้ทำงานสัมพันธ์กัน โดยอาจเปลี่ยนพลังรูปอื่นให้อยู่ในรูปพลังงานกลหรืออาจรับพลังงานกลจากแหล่งภายนอกส่งเข้ามา และเปลี่ยนแปลงให้ทำงานได้ในลักษณะที่ต้องการ

การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเกี่ยวข้องกับการออกแบบรูปร่าง พื้นฐานทางด้านการคำนวณ และหลักการเลือกใช้วัสดุสำหรับทำชิ้นส่วนตามความเหมาะสม กับการใช้เครื่องจักรกลกับงานลักษณะต่างกัน

การออกแบบเครื่องจักรกลเป็นศิลปะของการพัฒนาทางความคิดใหม่ๆ ทางด้านเครื่องจักรกล แล้วแสดงความคิดนั้นลงบนกระดาษในรูปของแบบ เครื่องจักรกลใหม่ๆเกิดขึ้นได้ก็เพราะความต้องการในการใช้งาน และเกิดจากมโนภาพที่ได้จากบุคคลหลายฝ่าย เช่น ผู้ใช้เครื่องจักรกล ผู้ผลิตเครื่องจักรกล ดังนั้นด้วยผลความคิดเห็นต่างๆทำให้เกิดการดัดแปลงปรับปรุงเครื่องจักรกลอยู่ตลอดเวลา ค้นพบวิธีการแก้ปัญหาต่างๆอย่างมากจนกระทั่งพบวิธีที่ดีที่สุด

สิ่งหนึ่งที่จะขาดเสียมิได้ก็คือศิลปะในการออกแบบ ผู้ออกแบบที่ดีควรมีศิลปะในการออกแบบด้วย ศิลปะการออกแบบอาจอธิบายได้ดังนี้คือ "ผู้ออกแบบใช้ความสามารถในการประยุกต์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์สร้างแบบที่สามารถผลิตได้โดยวิธีการทางวิศวกรรมซึ่งไม่เพียงแต่จะทำงานได้เท่านั้น แต่จะต้องผลิตได้โดยวิธีที่ประหยัดที่สุด และทำงานได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด"

2.1 ปรัชญาของการออกแบบ

ผู้ออกแบบจะเริ่มต้นด้วยการขีดเขียนและสร้างสรรค์แบบใหม่ๆขึ้นมา แม้ว่าในการสร้างเครื่องจักรกลชนิดใหม่ที่ไม่เคยมีใช้มาก่อน จะต้องใช้ความคิดโดยอาศัยพื้นความรู้ต่างๆ อาศัยประสบการณ์และใช้เวลามากหรือน้อยก็ตาม ผู้ออกแบบจะได้ผลกำไรจากความชำนาญทางด้านวิศวกรรมและด้านอุตสาหกรรมเพิ่มขึ้นหลายประการ

การออกแบบส่วนมากจะทำตามแบบอย่างที่มีใช้อยู่ในอุตสาหกรรม เช่น เครื่องกลึงรุ่นใหม่ก็มีลักษณะคล้ายกับเครื่องกลึงรุ่นเก่า รถยนต์รุ่นใหม่ก็คล้ายกับรถยนต์รุ่นเก่า เพียงแต่มีการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงให้ดีขึ้น เพราะมีความรู้มากขึ้น มีประสบการณ์มากขึ้น ในบางครั้งการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงจะทำเมื่อต้องการประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อเพิ่มหรือรักษาระดับราคาหรือเพิ่มผลการแข่งขันทางด้านการตลาด

ปรัชญาของการออกแบบงานเฉพาะอย่างขึ้นอยู่กับลักษณะของอุตสาหกรรมหรือชนิดของเครื่องจักรกล การออกแบบในบางครั้งจะมีแบบต่างๆหลายแบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าผู้ออกแบบจะประสงค์จะให้งานออกมาในรูปใด งานออกแบบบางชนิดผู้ออกแบบจะต้องค่อยๆเปลี่ยนแปลงปรัชญาให้เหมาะสมกับธรรม

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชาติของงานนั้น เช่น เมื่อออกแบบเครื่องบินจะต้องทำด้วยความแม่นยำสูง ระวังทางด้านความต้านแรงและน้ำหนัก ซึ่งเป็นการออกแบบที่เสียค่าใช้จ่ายสูง เมื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบถังความดันขนาดใหญ่ ผู้ออกแบบไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงความแม่นยำสูงเหมือนกับเครื่องบินหรือไม่ต้องคำนึงถึงน้ำหนักเป็นต้น

ที่กล่าวมาทั้งหมดมิได้ตั้งใจจะกล่าวถึงปรัชญาของการออกแบบทั้งหมดในอุตสาหกรรม แต่ประสงค์จะชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างบางอย่างบางประการ ซึ่งในการออกแบบจริงๆแล้ว ควรจะต้องพิจารณาถึงปรัชญาที่เหมาะสมกับงานนั้นๆเป็นหลักสำคัญ

2.2 พื้นฐานของผู้ออกแบบเครื่องกล

ผู้ออกแบบเครื่องจักรกลที่ดีควรจะต้องมีพื้นฐานความรู้ดังต่อไปนี้เป็นอย่างดี

1. มีพื้นฐานความรู้ทางด้านความแข็งแรงของวัสดุเป็นอย่างดี เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเค้นส่วนของเครื่องจักรกลจะต้องแข็งแรง และแข็งแกร่งเพียงพอที่จะรับแรงต่างๆที่เกิดขึ้นได้

2. มีความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุวิศวกรรมที่ใช้กับเครื่องจักรกลเป็นอย่างดี ทั้งทางด้านโลหะวิทยา กรรมวิธีทางความร้อนต่างๆ และคิดตามการพัฒนาทางด้านวัสดุอยู่ตลอดเวลา เพื่อจะได้นำวัสดุที่เหมาะสมที่สุดมาใช้

3. มีความรู้ทางด้านกรรมวิธีการผลิตต่างๆ หลักเศรษฐศาสตร์ของวิธีการผลิต เพราะชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่ผลิตขึ้นมาจะต้องแข่งขันกันทางด้านราคา บางครั้งการออกแบบชิ้นส่วนชิ้นหนึ่งอาจเหมาะกับ โรงงานผลิตแห่งหนึ่ง แต่ไม่เหมาะกับโรงงานผลิตอีกแห่งหนึ่งก็ได้ เช่น โรงงานผลิตที่มีแผนกเชื่อมที่ดี แต่ไม่มีแผนกหล่อ จะพบว่าการผลิตโดยวิธีเชื่อมจะประหยัดที่สุด แต่ในขณะเดียวกันโรงงานอีกแห่งหนึ่งอาจตัดสินใจใช้วิธีหล่อเพราะมีแผนกหล่อที่ดีอยู่ (และอาจมีแผนกเชื่อมหรือไม่มีก็ได้)

4. มีความรู้เป็นพิเศษเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่จะมีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุ เช่น บรรยากาศที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน อุณหภูมิต่ำมากๆ หรือสูงมากๆ เป็นต้น

5. เตรียมพร้อมสำหรับการตัดสินใจอย่างฉลาดได้ว่า

(ก) ควรเลือกใช้ชิ้นส่วนที่มีจำหน่ายอยู่แล้วหรือต้องการออกแบบใหม่

(ข) ควรใช้สูตรสำเร็จที่ได้จากประสบการณ์ในการออกแบบชิ้นส่วนหรือไม่

(ค) ควรทดสอบชิ้นงานก่อนการผลิตหรือไม่

(ง) ต้องออกแบบเป็นพิเศษเพื่อควบคุมการสั่นสะเทือน ระดับเสียงดัง และอื่นๆหรือไม่

6. มีความเข้าใจถึงความสวยงามบางประการ ซึ่งจะทำให้ผลิตผลจูงใจและดึงดูดใจผู้ใช้

7. มีความรู้ทางด้านเศรษฐศาสตร์และการแข่งขันทางด้านราคาเพราะเหตุว่าวิศวกรมีหน้าที่ในการประหยัดเงินของผู้ว่าจ้าง การจะเพิ่มราคาสินค้าได้จะต้องมีการปรับปรุง เปลี่ยนแปลง เช่น เพิ่มสมรรถนะ เพิ่มสิ่งดึงดูดใจ หรือเพิ่มความทนทานให้มากขึ้น

8. มีสัญชาตญาณในการเป็นนักประดิษฐ์และสร้างสรรค์ สิ่งสำคัญที่สุดก็คือจะต้องทำให้เกิดประสิทธิผลสูงที่สุด ความคิดสร้างสรรค์อาจเกิดขึ้นเพราะมีความขยันขันแข็งที่จะแก้ไขสิ่งที่ไม่ถูกใจและมีความเต็มใจที่จะทำ

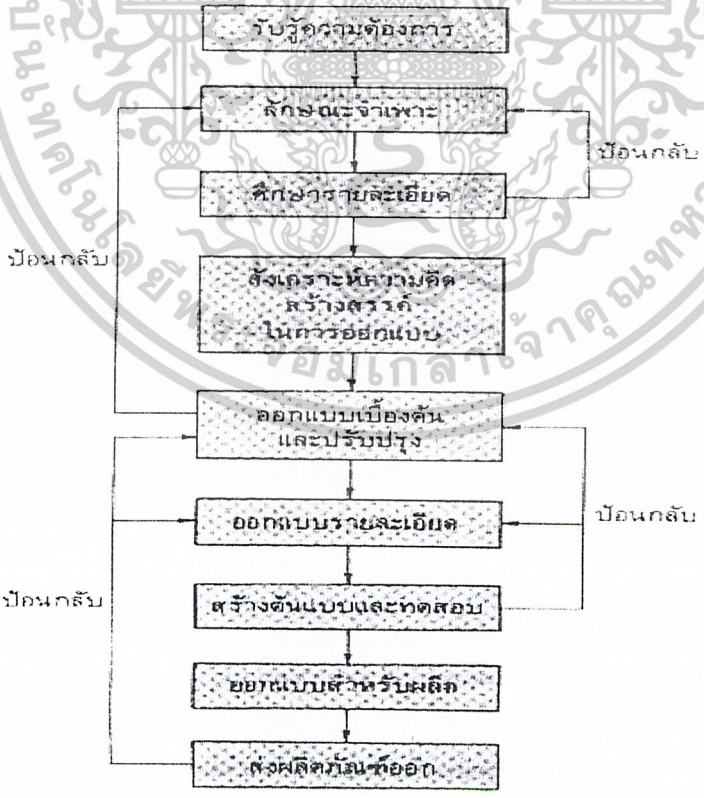
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกติแล้วยังมีอีกหลายสิ่งหลายอย่างที่ควรจะพิจารณาโดยละเอียดอีก เช่น เครื่องจักรกลจะใช้งานได้อย่างปลอดภัยหรือไม่ มีอะไรป้องกันการเผอเรอขณะใช้งานของผู้ใช้เครื่องจักรหรือไม่ มีการสั่นสะเทือนจนอาจเกิดอันตรายหรือไม่ การประกอบชิ้นส่วนหรือการซ่อมบำรุง ทำได้ยากหรือง่าย เป็นต้น

เป็นสิ่งที่แน่นอนที่สุดว่า ไม่มีวิศวกรคนใดที่จะมีความรู้เป็นพิเศษเกี่ยวกับสิ่งที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด และตัดสินใจในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้อย่างดีที่สุด องค์กรขนาดใหญ่ขึ้นย่อมจะมีผู้ชำนัญพิเศษในด้านต่างๆมากขึ้นซึ่งจะช่วยในการเป็นที่ปรึกษาได้อย่างดี วิศวกรส่วนมากจะรู้ขั้นตอนการออกแบบแล้วเป็นอย่างดี และจะดียิ่งขึ้นถ้าได้ใช้บุคคลหลายฝ่ายที่มีความชำนัญพิเศษต่างกันมาร่วมมือกันออกแบบ การออกแบบเป็นงานอาชีพอย่างหนึ่งซึ่งมีเสน่ห์ดึงดูดใจผู้ออกแบบ เพราะต้องใช้พื้นความรู้อย่างกว้างขวางทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ งานวิศวกรรมก็คืองานออกแบบ

2.3 ขั้นตอนของการออกแบบ

การออกแบบเป็นกระบวนการที่น่าสนใจมากว่าควรจะเริ่มต้นอย่างไร ควรจะเริ่มต้นจากกระดาษเปล่าแผ่นหนึ่ง แล้วเริ่มลงมือแสดงความคิดเห็นลงไป ต่อไปจะเกิดอะไรขึ้น มีอะไรบ้างที่เป็นตัวควบคุมหรือมีผลต่อการตัดสินใจ และสุดท้ายงานออกแบบจะสิ้นสุดลงที่ใด ดังนั้นจึงกล่าวถึงขั้นตอนในการออกแบบทั่วไปซึ่งงานบางประเภทไม่เป็นไปตามขั้นตอนดังกล่าวนี้ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบและกรรมวิธีในการออกแบบ ดังจะเขียนเป็นแผนภาพได้ดังรูป 2.1



รูป 2.1 แผนภาพของการออกแบบที่มีวงป้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. รับรู้ความต้องการ การออกแบบอาจเริ่มต้นขึ้นจากการที่วิศวกรได้รับรู้ความต้องการและตัดสินใจที่จะทำอะไรบางสิ่งบางอย่างขึ้น หรืออาจได้รับข้อมูลจากลูกค้าที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ในด้านการใช้งาน และคุณภาพของผลิตภัณฑ์อาจเป็นแรงผลักดันให้มีการออกแบบขึ้นได้ การแข่งขันกันทางด้านธุรกิจและอุตสาหกรรม ทำให้เกิดความต้องการในการออกแบบอุปกรณ์ กระบวนการ และเครื่องจักรกลใหม่ๆ สิ่งสำคัญก็คือ ต้องยอมรับรู้ว่าเกิดความต้องการขึ้นแล้ว ใช้ประสบการณ์พื้นฐานที่มีอยู่ทำความเข้าใจกับความต้องการนั้นให้ถ่องแท้

2. ลักษณะจำเพาะ รวบรวมรายละเอียดของสิ่งที่ต้องการออกแบบให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งอาจประกอบไปด้วย คุณลักษณะ ขนาด ราคา จำนวนที่ต้องการผลิต อายุการใช้งาน อุณหภูมิใช้งาน ความเชื่อถือได้ และสิ่งที่คาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงได้บ้าง เช่น น้ำหนัก ขนาดต่างๆ พร้อมทั้งบางสิ่งบางอย่างที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการออกแบบ เช่น กรรมวิธีการผลิต ความชำนาญของช่าง และการแข่งขันทางด้านการตลาด เป็นต้น การออกแบบงานบางประเภทต้องทำตามเกณฑ์ (code) เช่น หม้อไอน้ำภาชนะความดัน ก็จำเป็นจะต้องศึกษาเกณฑ์ให้ทราบถึงสิ่งที่สำคัญต่างๆที่เป็นข้อควรระมัดระวังและปฏิบัติตาม

3. ศึกษารายละเอียด เมื่อได้ลักษณะจำเพาะต่างๆ แล้วขั้นต่อไปก็คือศึกษารายละเอียด ทั้งนี้ก็เพื่อแยกแยะถึงสิ่งที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายหรือความล้มเหลว ทั้งทางด้านเทคนิคและด้านเศรษฐศาสตร์ โดยปกติแล้วผู้ที่รับผิดชอบในการศึกษารายละเอียด มักจะเป็นวิศวกรที่ผ่านงานออกแบบมาแล้วอย่างมาก มีพื้นความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ต่างๆ เป็นอย่างดี รู้วิธีการเลือกใช้วัสดุ รู้วิธีการผลิต และความต้องการของแผนกขาย ผู้ที่ทำการศึกษารายละเอียดมักจะเป็นผู้รับผิดชอบโครงการทั้งหมด มีบ่อยครั้งที่ผลจากการศึกษารายละเอียดจะทำให้ลักษณะจำเพาะต้องเปลี่ยนไปเพื่อความสำเร็จของโครงการ จึงทำให้มีวงป้อนกลับไปยังลักษณะจำเพาะดังรูป 2.1

4. สังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบ เมื่อศึกษารายละเอียดแล้ว ต่อไปก็จะถึงขั้นการ สังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ท้าทายและน่าสนใจที่สุดในการออกแบบ เพราะถ้าไม่มีสิ่งขัดจำกัดอันใดแล้ว ผู้ออกแบบจะทำหน้าที่เป็นวิศวกร นักประดิษฐ์ และจิตรกรในเวลาเดียวกัน ซึ่งในขณะนี้เขาจะเป็นนักสร้างสรรค์

การสังเคราะห์คือการวิเคราะห์และทำให้อำนวยประโยชน์มากที่สุด ในขั้นนี้จะต้องสังเคราะห์ความคิดใหม่กับความคิดเก่าเพื่อทำให้เกิดความคิดใหม่ขึ้น ความคิดสร้างสรรค์เป็นสิ่งที่สั่งสอนกันไม่ได้ แม้ว่าจะใช้วิธีกระตุ้นก็ตาม แต่ก็เชื่อได้ว่าการศึกษาที่เหมาะสมทำให้มนุษย์มีกระบวนการคิดสร้างสรรค์กว้างขวางขึ้น

5. ออกแบบเบื้องต้นและปรับปรุง หลังจากผ่านกระบวนการสังเคราะห์ความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบแล้ว อาจจะมีวิธีการออกแบบที่เหมาะสมกับลักษณะจำเพาะและความต้องการหลายวิธี จึงจำเป็นที่จะต้องตัดสินใจเลือกเอาวิธีใดวิธีหนึ่งเป็นแบบเบื้องต้นและปรับปรุงต่อไป

ในขั้นนี้จำเป็นจะต้องมีแบบแสดงเครื่องจักรกล หรือระบบที่มีความเกี่ยวข้องกัน เพื่อหาความสัมพันธ์ต่างๆ ของระบบทั้งหมด แบบควรมีขนาดสำคัญพร้อมทั้งรูปประกอบ รูปด้านข้างอย่างสมบูรณ์ นอกจากนั้นยังต้องพิจารณาทางด้านคิเนมาติก (kinematic) ของระบบด้วยเพื่อความมั่นใจว่าจะทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้วในขั้นนี้จะยังไม่ได้ผลสมบูรณ์ จึงต้องมีวงป้อนกลับไปยังลักษณะจำเพาะดังรูป 2.1 เพื่อทำให้มีความสมบูรณ์ครบถ้วน พร้อมกันนั้นก็จะมีการปรับปรุง เพื่อพิสูจน์ให้เห็นถึงแนวความคิด เพื่อหาวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสม เพื่อประเมินผลของอุปกรณ์ หรือค้นหาสิ่งที่ยังไม่แน่ชัดจากข้อมูลทางเทคนิคและประสบการณ์ที่ผ่านมา ดังนั้นช่วงการออกแบบเบื้องต้นอาจจะช้าหรือเปลี่ยนแปลงไปตามข้อมูลที่ได้ อันที่จริงแล้วการปรับปรุงจะเกิดขึ้นในขั้นตอนต่อไปของแผนภาพในรูป 2.1

6. ออกแบบรายละเอียด การออกแบบรายละเอียดเกี่ยวข้องกับขนาดจริงและขนาดของส่วนประกอบ อื่นๆทั้งหมดทั้งที่จะผลิตขึ้นเอง หรือผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จที่จะซื้อมาใช้ ซึ่งจะประกอบเข้าด้วยกันทั้ง หมดเป็นระบบ ดังนั้นจึงต้องมีแบบรายละเอียดของชิ้นส่วนทุกชิ้น แสดงรูปด้านต่างๆเท่าที่จำเป็น โดยต้องกำหนดทั้งขนาด พิกัดความเผื่อไว้ให้ครบถ้วน วัสดุที่ใช้ กรรมวิธีทางความร้อน (ถ้ามี) จำนวนชิ้นส่วน ชื่อชิ้นส่วน และบางครั้งอาจจะต้องใช้แบบประกอบของชิ้นงานสำเร็จด้วย

โดยปกติช่างเขียนแบบจะทำงานไปพร้อมกับวิศวกร เพื่อเขียนแบบที่วิศวกรกำหนดขึ้น วิศวกรจะต้องให้ข้อมูลต่างๆที่จำเป็น เช่น รูปแบบเบื้องต้นที่วิศวกรควรจะร่างขึ้นมาก่อน จะต้องให้ขนาด ชนิดของวัสดุโดยใช้เทคนิคในการวิเคราะห์และประสบการณ์ที่ผ่านมา ซึ่งหมายความว่า วิศวกรต้องใช้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์ กลศาสตร์ ความแข็งแรงของวัสดุ กลศาสตร์ของไหล การสั่นสะเทือน โลหะวิทยา กระบวนการผลิต โดยที่วิศวกรอาจจะหาผู้ช่วยที่มีความชำนาญพิเศษเฉพาะสาขามาช่วยได้

7. สร้างต้นแบบและทดสอบ หลังจากที่มีรายละเอียดต่างๆสมบูรณ์ มีแบบแยกชิ้น แบบประกอบ รวมทั้งวัสดุและรายการชิ้นส่วนต่างๆแล้ว จึงส่งแบบที่สมบูรณ์ทั้งหมดไปยังโรงงานเพื่อสร้างต้นแบบ

เมื่อสร้างต้นแบบเสร็จเรียบร้อยก็เตรียมประเมินผลและทดสอบ ผลจากการทดสอบอาจทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงการออกแบบเบื้องต้น หรือแบบรายละเอียดบางประการ ซึ่งแสดงไว้เป็นวงป้อนกลับดังรูป 2.1 หลังการเปลี่ยนแปลงปรับปรุงชิ้นส่วนบางชิ้นแล้วจะทดสอบและประเมินผลใหม่อีกครั้ง หรืออาจต้องทำอีกหลายครั้ง จนกระทั่งวิศวกรผู้ออกแบบพึงพอใจที่งานของเขามีสมรรถนะตามต้องการ เมื่อถึงขั้นนี้แล้วจะส่งแบบชิ้นส่วนและรายการวัสดุไปยังแผนกวิศวกรรมการผลิตเพื่อปรับปรุงให้เหมาะสมกับการผลิตต่อไป

8. ออกแบบสำหรับผลิต ในขั้นนี้จะพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงบางอย่างเพื่อความเหมาะสม (โดยมากจะพิจารณาจากหลักเศรษฐศาสตร์) ของวิธีการผลิตที่ดีที่สุด เนื่องจากการผลิตชิ้นงานน้อยชิ้นกับชิ้นงานมากชิ้นอาจต้องใช้วิธีการผลิตต่างกัน จึงต้องหาวิธีการผลิตที่ประหยัดที่สุด

บางครั้งอาจรวมชิ้นงานหลายชิ้นเข้าเป็นชิ้นเดียวกัน หรือเปลี่ยนใช้ชิ้นส่วนที่มีในท้องตลาดแทนอีกประการหนึ่งวิศวกรการผลิตอาจเลือกใช้วัสดุที่มีคุณภาพใกล้เคียงกว่าแต่ราคาถูกกว่าก็ได้ จากนั้นจึงเขียนแบบแก้ไขใหม่ให้เรียบร้อยแล้วจึงส่งฝ่ายผลิต เพื่อผลิตและส่งผลิตภัณฑ์ออกจำหน่าย

9. ส่งผลิตภัณฑ์ออก โดยปกติมักจะผลิตชิ้นงานต้นแบบแล้วทดสอบอีกครั้งหนึ่ง ถ้ามีปัญหาที่แก้ไขไม่ได้ก็จะส่งกลับไปยังแผนกออกแบบเบื้องต้นและปรับปรุง หรืออาจเสนอแนะข้อคิดเห็นไปได้ดังที่ได้แสดงโดยวงป้อนกลับในรูป 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่กล่าวมาทั้งหมดนี้อาจไม่สมบูรณ์ทางด้านรายละเอียดต่างๆ หรืออาจจะใช้ได้กับกระบวนการผลิตบางอย่าง บางระบบเท่านั้น เพราะการที่จะรู้รายละเอียดถึงกรรมวิธีการออกแบบในงานต่างๆจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาและเข้าไปมีส่วนร่วมในงานนั้นๆ

2.4 สปริง

สปริงเป็นชิ้นส่วนที่มีความยืดหยุ่นซึ่งมีใช้อยู่ในเครื่องจักรกลทั่วไป ถึงแม้ว่าชิ้นส่วนอื่นๆของเครื่องจักรกลจะมีคุณสมบัติในการยืดหยุ่นเหมือนกัน แต่สปริงจะมีการยืดหยุ่นมากกว่า สปริงอาจจะมีรูปร่างต่างกันและทำจากวัสดุหลายชนิด แม้แต่ของไหล เช่น อากาศ ก๊าซ และของเหลว ก็สามารถนำมาใช้ทำหน้าที่เป็นสปริงได้ สปริงที่จะกล่าวถึงในบทนี้ส่วนมากทำจากโลหะและโลหะผสม แต่พวกอโลหะบางชนิดก็กำลังเริ่มเข่ามาสู่ความสนใจของนักออกแบบที่จะนำมาใช้ทำสปริง สปริงอาจจะทำหน้าที่ได้หลายประเภทดังนี้

- ใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับกลไกต่างๆ งานประเภทนี้ได้ใช้มาตั้งแต่ดั้งเดิมและก็ยังคงจะมีใช้กันมากต่อไปอีก เช่น ลานนาฬิกา กล้องถ่ายหนัง และของเด็กเล่น เป็นต้น
- ใช้วัดแรง เช่น ตาชั่งสปริง ไดนาโมมิเตอร์ และอุปกรณ์ปรับต่างๆ เป็นต้น
- ใช้ทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิม เช่น ตัวตามลูกเบี้ยว (cam followers) ก้านวาล์ว เป็นต้น
- ใช้ส่งแรงจากชิ้นส่วนหนึ่งไปยังอีกชิ้นส่วนหนึ่ง เช่น สปริงแผ่นคลัตช์ คัปปลิง เป็นต้น

2.4.1 วัสดุสำหรับลวดสปริง

จุดประสงค์ของการใช้สปริง ส่วนมากจะเป็นไปในรูปของการเก็บพลังงานเอาไว้ในตัวสปริง ความเค้นที่เกิดขึ้นในสปริงขณะรับแรงจะมีค่าสูงมาก ดังนั้นจึงต้องนำวัสดุที่มีความแข็งแรงสูงมาใช้ทำสปริง โดยทั่วไปเหล็กสำหรับใช้ทำสปริงจะเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนสูงกว่า 0.5% แล้วผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อให้มีความยืดหยุ่นสูง เนื่องจากความสามารถในการยืดหยุ่นเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสปริง ทั้งนี้เพื่อให้สปริงมีการยืดหดได้มากนั่นเอง นอกจากนี้แล้วยังมีวัสดุประเภทโลหะผสม เหล็กกล้าไร้สนิม และอื่นๆ ที่ต้องใช้กับงานเป็นพิเศษ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนหรือทนทานต่ออุณหภูมิสูงๆ

สปริงขด (helical spring) ที่มีขนาดของลวดสปริงไม่เกิน 12 mm จะใช้วิธีขณะเย็น (wound cold) แต่ถ้าขนาดของลวดสปริงโตขึ้นก็มักจะใช้วิธีขดขณะร้อน (wound hot) ในกรณีของลวดสปริงขนาดเล็กอาจจะนำไปผ่านกรรมวิธีทางความร้อนก่อนจะนำมาขดหรือหลังจากขดแล้วก็ได้ สปริงที่ขดขณะเย็นควรที่จะนำมาอบเพื่อคลายความเค้น (stress relieved) ที่อุณหภูมิประมาณ 260 $^{\circ}$C นานประมาณ15 ถึง 60 นาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของสปริง ขนาดของลวดสปริง สำหรับวัสดุบางชนิดดังที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นขนาดที่หาซื้อได้ทั่วไป

1. Hard-drawn wire (ASTM A227) เป็นวัสดุที่มีราคาถูกที่สุด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.05 mm จนถึง 16 mm ขดขณะเย็นได้ มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.45% ถึง 0.75% คุณภาพผิวต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุชิ้นอื่น ดังนั้นไม่ควรใช้กับชิ้นงานที่ต้องการอายุการทำงานยาวนานมาก และในชิ้นงานที่ต้องการความแม่นยำในการทำงานมาก อุณหภูมิขณะใช้งานไม่ควรสูงกว่า 120 °C หรือต่ำกว่า 0 °C

2. Music Wire (ASTM A228) ทำโดยวิธี hard-drawn แต่ใช้เหล็กกล้าที่มีคุณภาพสูง คุณภาพผิวดีเป็นพิเศษ มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.70% ถึง 1.00% ขดขณะเย็นได้ ลวดชนิดนี้เป็นลวดที่มีการใช้กันมากที่สุดในจำพวกสปริงขนาดเล็ก มีความแข็งแรงสูง และสามารถทนแรงที่กระทำซ้ำกันได้ดีมาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.10 mm จนถึง 6.35 mm แต่มิให้นำไปใช้งานในที่ซึ่งอุณหภูมิสูงกว่า 120 °C หรือต่ำกว่า 0 °C

3. Oil-tempered wire (ASTM A229) ผลิตโดยวิธีรีดเย็น แล้วจึงชุบแข็งและอบเหนียว (tempered) มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.55% ถึง 0.75% มักใช้วิธีขดขณะเย็นแล้วอบคลายความเค้นที่อุณหภูมิประมาณ 230 °C ผิวไม่สู้จะดีนักแต่ก็ดีกว่า hard-drawn wire ลวดสปริงชนิดนี้ก็มีใช้กันแพร่หลายทั่วไป เพราะราคาถูกกว่า music wire มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.50 mm จนถึง 16 mm แต่ก็สามารถหาขนาดซึ่งใหญ่ หรือเล็กกว่านี้ได้ อุณหภูมิที่ใช้งานอยู่ระหว่าง 0 °C ถึง 180 °C

4. Valve spring quality carbon steel (ASTM 230) เป็น oil-tempered wire ที่มีคุณภาพสูงสุด มีคาร์บอนผสมอยู่ระหว่าง 0.60% ถึง 0.75% มีผิวดีเป็นพิเศษเทียบเท่า music wire จึงเหมาะสำหรับใช้กับงานที่อาจจะเสียหายเนื่องมาจากความล้า มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.50 mm ถึง 6.25 mm

5. Chrome vanaduim steel (ASTM 231) เป็นโลหะผสมที่นิยมใช้กันมากเมื่อโลหะอื่นๆ ไม่สามารถที่จะทนความเค้นสูงๆได้ เหมาะสำหรับรับแรงที่กระทำซ้ำกันเป็นอย่างยิ่ง รับแรงกระแทกได้ดี มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.50 mm - 12.50 mm มักใช้ทำสปริงสำหรับวาล์วเครื่องยนต์ของเครื่องบิน ใช้ได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 230 °C

6. Chrome silicon steel (ASTM A401) เป็นโลหะผสมที่สามารถรับแรงได้สูง และมีคุณสมบัติในการรับแรงกระแทกได้ดี ใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 250°C มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่0.80 mm - 12 mm

7. Stainless steel (chrome nickel ASTM A313 หรือ AISI 302) เป็นโลหะที่มีราคาแพง รับแรงได้สูง และสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเหมาะสำหรับรับแรงกระแทรก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 0.20 mm - 12.50 mm ในการผลิตจะใช้วิธีรีดเย็นแล้วคลายความเค้นที่อุณหภูมิสูง

2.4.2 ความแข็งตึงของสปริง

ความแข็งตึงของสปริง(spring stiffness) หมายถึงปริมาณของแรงที่ใช้ในการทำสปริง ยืดหดหนึ่งความยาวในแนวแกนของสปริง ซึ่งยังมีชื่อเรียกอีกหลายอย่างต่างกันไป เช่น ค่าคงที่ของสปริง(spring constant) อัตราสปริง(spring rate) โมดุลัสของสปริง แและเกรเดียนของสปริง(spring gradient) เป็นต้น ถ้าให้ δ เป็นระยะยุบตัวของสปริงภายใต้แรงกด F ค่าความแข็งตึงของสปริงคือ

$$K = F / \delta \qquad (2.1)$$

ค่าความแข็งตึงนี้ก็เป็นค่าที่สำคัญ ซึ่งผู้ใช้ต้องเลือกให้ถูกต้องกับชิ้นงานจึงจะทำให้เครื่องจักรกลทำงานได้ตามความมุ่งหมาย

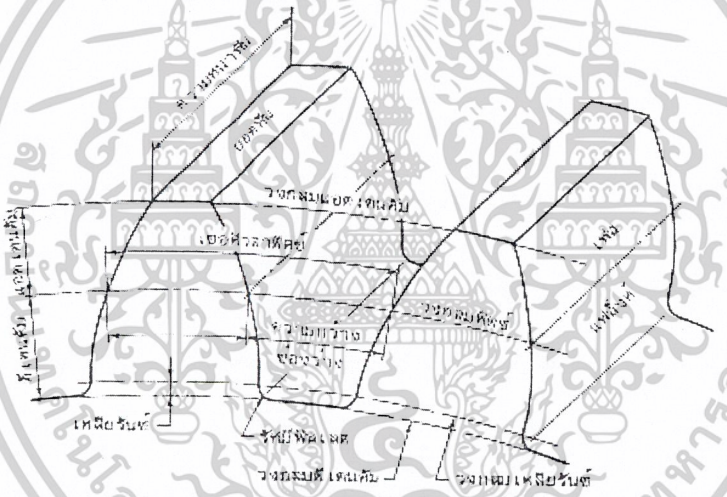
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 เฟืองตรง

เฟืองตรง(spur gear) เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรกลชนิดหนึ่งที่พบอยู่ในเครื่องจักรกลทั่วไป โดยใช้ทำหน้าที่ส่งกำลังและกำลังหมุนจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งที่ขนานกัน ส่วนมากเฟืองขับ (driving gears) จะมีขนาดเล็กกงว่าเฟืองตาม (driven gears) และมีชื่อเรียกเป็นพิเศษว่า พิเนียน (pinion) ส่วนเฟืองใหญ่เรียกว่าเฟือง แต่การใช้งานบางโอกาสก็อาจใช้เฟืองใหญ่เป็นเฟืองขับก็ได้ เนื่องจากว่าเฟืองที่ยังผิดและยะงใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ยังคงใช้ระบบหน่วยอังกฤษอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งก็จำเป็นต่อการเปลี่ยนเฟืองของเครื่องจักรกลที่ชำรุดเสียหาย ฉะนั้นเฟืองในระบบหน่วยอังกฤษก็ยังคงต้องผลิตออกมาอีกเป็นเวลานาน ดังนั้น ในบทนี้จึงจะกล่าวถึงการออกแบบหรือการเลือกขนาดของเฟือง ทั้งในระบบหน่วยอังกฤษ และในระบบหน่วยเอสไอ (SI) คละกันไป

2.5.1 คำจำกัดความ

ในการให้คำจำกัดความเรียกชื่อส่วนต่างๆ ของเฟือง ให้พิจารณารูป 2.1 ดังต่อไปนี้



รูป 2.2 การเรียกชื่อส่วนของฟันเฟือง

วงกลมพิตช์ (pitch circle) เป็นมิติหลักในการเรียกขานของเฟือง โดยบอกขนาดของเฟืองด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ (pitch diamrter) ในทางทฤษฎีแล้ว เฟืองคู่ที่ขบกันจะต้องมีเส้นสัมผัสกัน ณ วงกลมพิตช์

เซอคิวลาพิตช์ (circular pitch) p เป็นระยะที่วัดบนวงกลมพิตช์ จากจุดหนึ่งบนฟันเฟืองไปยังอีกจุดหนึ่ง ณ ตำแหน่งเดียวกันบนฟันถัดไป จากรูป 2.2 จะเห็นได้ว่าระยะนี้มีค่าเท่ากับผลรวมของความกว้างฟันและความกว้างช่องว่างระหว่างฟัน

โมดุล (module) m เป็นอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์กับจำนวนฟันบนเฟือง หน่วยที่ใช้วัดโมดุลคือมิลลิเมตร โมดุลนี้เป็นดัชนีสำหรับบอกขนาดของฟันเฟืองในระบบหน่วยเอสไอ

ไดอะมิทรัลพิตช์ (diametral pitch) P เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันบนเฟืองกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ ฉะนั้นจึงเป็นส่วนกลับของโมดุล ไดอะมิทรัลพิตช์นี้เป็นดัชนีสำหรับบอกขนาดของฟัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟืองในระบบหน่วยอังกฤษ ซึ่งกำลังได้รับการเปลี่ยนแปลงให้เป็นระบบเอสไออยู่ ดังนั้นความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์จึงใช้บอกเป็นนิ้ว

แอดเดนดัม (addendum) a หรือช่วงสูงบน เป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างยอดฟัน (top land) ถึงวงกลมพิตช์

ดีเดนดัม (dedendum) d หรือช่วงสูงล่าง เป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างโคนฟัน (bottom land) ถึงวงกลมพิตช์ ฉะนั้นความสูงของฟันเฟืองคือ ผลรวมระหว่าง a กับ d

เคลียรันซ์ (clearance) c ในการที่เฟืองสองอันขบกัน ดีเดนดัมของเฟืองหนึ่งต้องมีค่ามากกว่าแอดเดนดัมของอีกเฟืองหนึ่ง เพื่อที่จะไม่ให้เกิดการขัดกันขึ้น ผลต่างระหว่างค่าดีเดนดัมและแอดเดนดัมนี้เรียกว่าเคลียรันซ์ c (ดูรูป 2.2 ประกอบ)

แบ็คแล็ช (backlash) คือผลต่างระหว่างความกว้างช่องว่างระหว่างฟันเฟืองหนึ่งกับความกว้างของฟันเฟืองอีกอันหนึ่งที่ขบกัน โดยวัดตามแนวเส้นวงกลมพิตช์ ฉะนั้นในการขับด้วยเฟืองที่มีแบ็คแลช เฟืองขับจะสามารถหมุนไปได้เป็นมุมเล็กน้อยก่อนที่เฟืองตามจะหมุนไป แบ็คแลชนี้จำเป็นจะต้องมีอยู่เสมอ ทั้งนี้เพื่อให้มีช่องว่างสำหรับน้ำมันหล่อลื่น และเพื่อให้เฟืองสามารถขยายตัวได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ตลอดจนมีเพื่อไว้สำหรับความผิดพลาดในการตัดรูปร่างของฟันเฟือง

ความหนาของฟัน (face width) b คือความหนาของฟันเฟืองวัดในทิศทางเดียวกับแนวแกนของเฟือง ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่าความหนาเฟือง

แฟล็งค์ (flank) คือผิวทางด้านหน้าของฟันเฟือง ซึ่งอยู่ระหว่างวงกลมพิตช์กับวงกลมดีเดนดัม

อัตราทด (velocity ratio) m_ω คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วเชิงมุมของเฟืองขับต่อความเร็วเชิงมุมของเฟืองตาม ถ้าให้ "1" และ "2" แทนเฟืองขับและเฟืองตามตามลำดับ จากความรู้ทางด้านกลศาสตร์จะได้ว่า

$$m_\omega = \omega_1 / \omega_2 = n_1 / n_2 = d_1 / d_2 = N_1 / N_2 \qquad (2.2)$$

โดยที่ w = ความเร็วเชิงมุม, rad/s

n = ความเร็วรอบ, rpm

d = เส้นผ่านศูนย์กลาง , mm หรือ in

N = จำนวนฟัน

อัตราส่วนเฟือง (gear ratio) m_g คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันของเฟืองต่อจำนวนฟันของพิเนียน ถ้าพิเนียนเป็นตัวขับแล้ว

2.5.2 มาตราฐานการบอกขนาดของฟัน

ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ดัชนีสำหรับบอกขนาดของฟันเฟือง อาจจะบอกเป็นพิตช์ในระบบหน่วยอังกฤษ หรือบอกเป็นโมดุลในระบบหน่วยเอสไอจากคำจำกัดความที่ผ่านมาจะได้ว่า

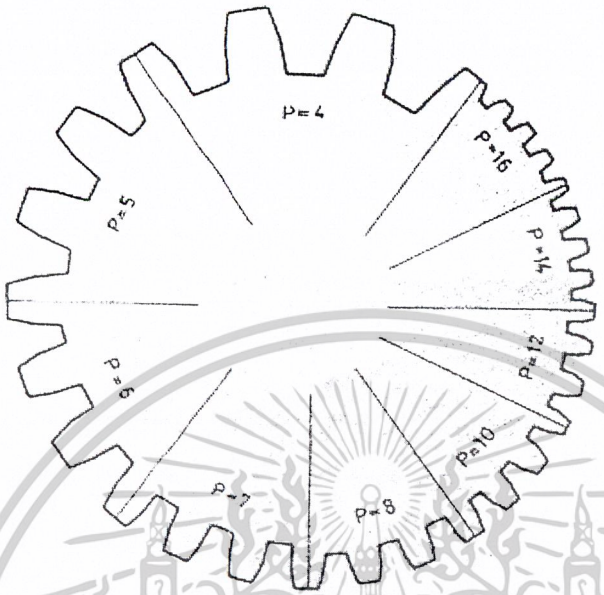
ไดอะมิทรัลพิตช์ $P = N / d$ โดยที่ d มีหน่วยเป็น in (2.3)

โมดุล $m = d / N$ โดยที่ d มีหน่วยเป็น mm (2.4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเซอคิวลาพิตช์ $P = \pi d / N = \pi m$ (2.5)

ดังนั้น $Pp = \pi$ (2.6)



รูป 2.3 ผลของค่าไดอะมิทรัลพิตช์ต่อขนาดของฟันเฟือง สำหรับค่าวงกลมพิตช์ที่กำหนด เมื่อไดอะมิทรัลพิตช์เล็กลง ขนาดของฟันเฟืองจะโตขึ้น

โมดุล m, mm	โมดุล m, mm	โมดุล m, mm	ไดอะมิทรัลพิตช์ P, $in.^{-1}$	ไดอะมิทรัลพิตช์ P, $in.^{-1}$	ไดอะมิทรัลพิตช์ P, $in.^{-1}$
1	4	16	20	5	1.25
1.25	5	20	16	4	1
1.5	6	25	12	3	0.75
2	8	32	10	2.5	0.625
2.5	10	40	8	2	0.50
3	12	50	6	1.5	

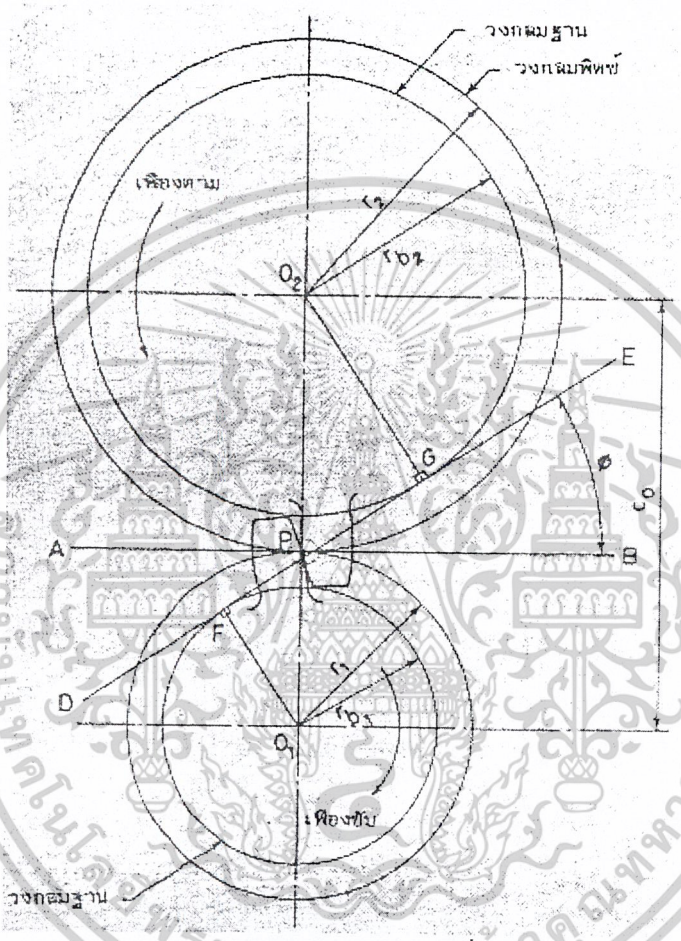
ตาราง 2.1 ขนาดเฟืองมาตรฐาน

สำหรับเฟืองที่ผลิตโดยวิธีการหล่อ ควรจะได้ค่าเซอคิวลาพิตช์ ทั้งนี้เพราะจะทำให้สามารถทำแบบหล่อได้สะดวก ส่วนเฟืองที่ผลิตโดยวิธีการตัดกลึง (machined) มักจะเรียกเป็นไดอะมิทรัลพิตช์หรือโมดุล เพราะมีอุปกรณ์ในการตัดฟันเฟืองเป็นมาตรฐานอยู่แล้ว ในการเลือกใช้เฟือง ควรจะเลือกให้ตรงกับอุปกรณ์ตัดฟันมาตรฐานที่มีอยู่แล้ว ดังในตาราง 2.1 โปรดสังเกตด้วยว่า เมื่อขนาดโมดุลโตขึ้น ความหนาฟันเฟืองก็จะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนขนาดของไดอะมิทรัลพิตช์โตขึ้น ความหนาฟันเฟืองจะลดลงดังรูป 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 กฎการขับของเฟืองและการทำงานของฟันเฟือง

เฟืองสองอันที่ขบกันจะทำให้อัตราทดคงที่ก็ต่อเมื่อเฟืองคู่นั้นเป็นไปตามกฎการขับเฟือง ซึ่งกล่าวได้ว่า รูปร่างของฟันเฟืองจะต้องทำให้เส้นตั้งฉากร่วม (common normal) ที่ลาก ณ จุดสัมผัสระหว่างฟันทั้งสองผ่านจุดคงที่จุดหนึ่ง ซึ่งอยู่บนเส้นที่โยงระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟืองทั้งสองและจุดนี้เรียกว่าจุดพิตช์ (pitch point)



รูป 2.4 การทำงานของฟันเฟืองที่ขบกัน

ในการทำความเข้าใจกับข้อความนี้ให้พิจารณารูป 2.4 จุดคงที่ดังกล่าวนี้คือจุด P ซึ่งอยู่บนเส้นที่โยงระหว่างจุดศูนย์กลาง 0_1 และ 0_2 ของเฟืองทั้งสอง รูปร่างของฟันเฟืองที่เป็นไปตามกฎของการขับนี้เรียกว่า คอนจูเกตเคอฟ (conjugate curves) และที่นิยมใช้กันมากก็คืออินโวลูตเคอฟ (involute curves) โดยเริ่มต้นจากวงกลมที่เรียกว่าวงกลมฐาน (base circle) เส้นตั้งฉากกับอินโวลูตเคอฟ DE ในรูป 2.4 เป็นแนวเส้นที่แรงปฏิกิริยาที่ฟันเฟืองกระทำเรียกว่า แนวของการกระทำเรียกว่า แนวของการกระทำ (line of action) หรือ แนวแรงกด (pressure line) และมุม ϕ ในรูปเรียกว่ามุมกด (pressure angle) เฟืองที่ผลิตขึ้นใช้กับเครื่องจักรกลในปัจจุบันนี้มีมุมกด 20 และ 25 องศา เป็นส่วนมาก สำหรับเฟืองที่มีมุมกดเท่ากับ 14.5 องศา ก็ยังคงมีผลิตออกมาใช้บ้าง ทั้งนี้ก็เพื่อใช้สำหรับการเปลี่ยนเฟืองของเครื่องจักรกลเก่าที่ยังคงมีใช้อยู่ ตาราง 2.2 แสดงมาตรฐานของฟันเฟืองที่เป็นอินโวลูตเคอฟ สำหรับมุมกด 14.5 องศา 20 องศา และ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องศา ซึ่งบอกทั้งในเทอมของไดอะมิทรัลพิตช์และโมดุล ในกรณีที่จะป้องกันมิให้เกิดการขัดกันขึ้น ผู้ผลิตก็อาจจะไม่ใช้ความยาวของฟันทั้งหมดตามมาตรฐาน full depth (FD) แต่จะตัดความสูงของฟันออกเล็กน้อยและเรียกมาตรฐานนี้ว่า stub teeth

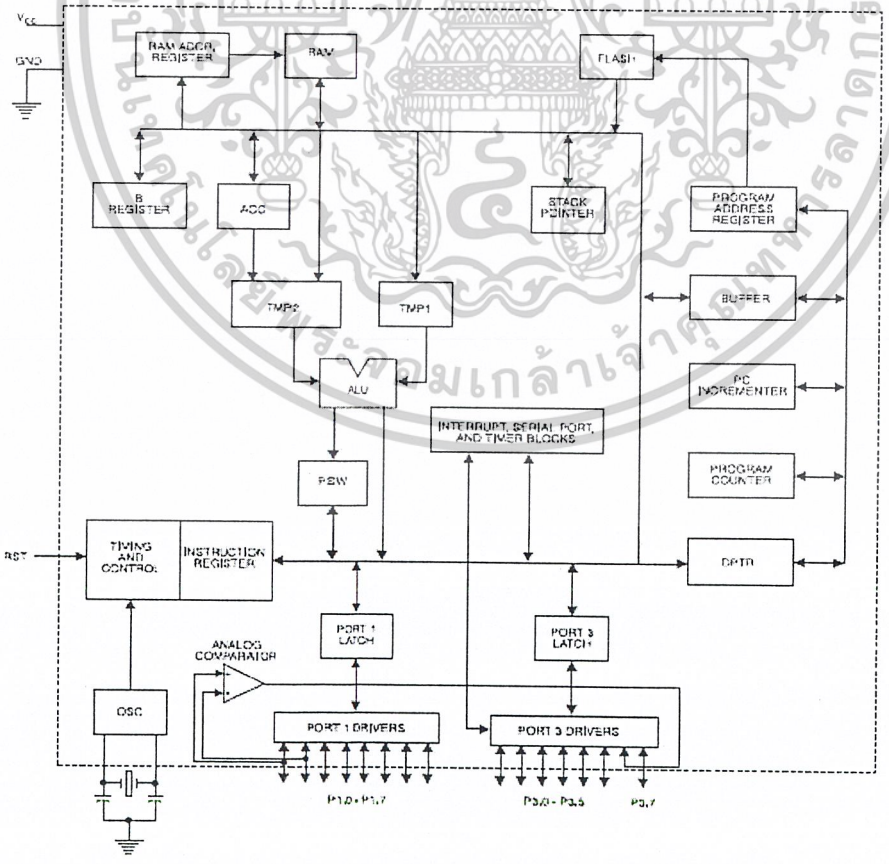
2.6 พื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS - 51 และสเต็ปปิงมอเตอร์

2.6.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เป็นชื่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่รวมเอาหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณเอาต์พุต หน่วยความจำ วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบ

2.6.2 โครงสร้างของ MCS - 51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้ในครั้งนี้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS - 51 ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายเบอร์ขึ้นกับโครงสร้างภายในของมัน โดยใช้เป็นส่วนควบคุมการทำงานของชุดควบคุมมอเตอร์ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน้าที่รับคำสั่งควบคุมจากคอมพิวเตอร์มาประมวลผลเพื่อกำหนดตำแหน่งให้กับมอเตอร์รวมทั้งส่งค่าตำแหน่งปัจจุบันของมอเตอร์ให้กับคอมพิวเตอร์



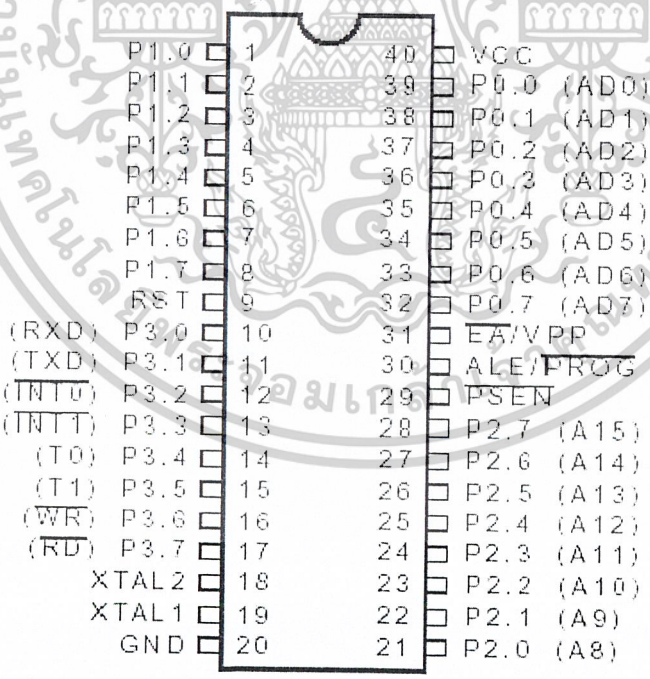
รูป 2.5 โครงสร้างภายในของ MCS - 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS – 51 มีดังนี้

- มีหน่วยความจำ ROM 4 k byte
- มีหน่วยความจำ RAM 128 byte
- มี Port I/O ขนาด 8 บิต 4 Port
- มี Timer 16 บิต 2 ตัว
- สามารถ Interrupt ได้ 5 แหล่ง
- มีวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรนาฬิกาบนชิพ
- มี Port อนุกรมที่สามารถรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex ความเร็วสูง
- อ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 k
- อ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 k
- สามารถประมวลผลทีละบิตได้
- สามารถอ้างหน่วยความจำแต่ละบิตได้ 210 ตำแหน่ง
- หนึ่งวัฏจักรคำสั่งกินเวลาประมาณ 1 ไมโครวินาที ขณะทำงานด้วย Clock 12 MHz

เบอร์พื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ประกอบด้วย 8051, 8031, 8751 ซึ่งแตกต่างกันที่ชนิดและหน่วยความจำภายใน



รูป 2.6 แสดงตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS - 51

2.6.4 หน้าที่การใช้งานของแต่ละขาของ MCS - 51

- ขา Vss (ขา 20) สำหรับต่อลง Ground
- ขา Vcc (ขา 40) สำหรับต่อแหล่งจ่ายไฟตรง +5 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขาพอร์ต 0 (ขา 32 – 39) มี 8 ขา ใช้เป็นพอร์ต 0 (P0.0 – P0.7) เป็นได้ทั้งเอาต์พุตและอินพุตพอร์ตและใช้ในการติดต่อหน่วยความจำเป็นไบต์ต่ำ (A0 – A7)
- ขาพอร์ต 1 (ขา 1 – 8) มี 8 ขา ใช้เป็นพอร์ต 1 (P1.0 – P0.7) เป็นได้ทั้งเอาต์พุตและอินพุตพอร์ต โดยทั่วไปมีวงจรพูลอัพภายใน
- ขาพอร์ต 2 (ขา 21 – 28) มี 8 ขา ใช้เป็นพอร์ต 2 (P2.0 – P2.7) เป็นได้ทั้งเอาต์พุตและอินพุตพอร์ตและใช้ในการติดต่อหน่วยความจำเป็นไบต์สูง
- ขาพอร์ต 3 (ขา 10 – 17) มี 8 ขา ใช้เป็นพอร์ต 3 (P3.0 – P3.7) เป็นได้ทั้งเอาต์พุตและอินพุตพอร์ตโดยมีวงจรพูลอัพภายในและยังใช้ในหน้าที่พิเศษต่าง ๆ ดังนี้
  - ขา P3.0 ใช้รับข้อมูลภายนอกแบบอนุกรม
  - ขา P3.1 ใช้ส่งข้อมูลออกภายนอกแบบอนุกรม
  - ขา P3.2 ใช้เป็นอินพุตอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 0
  - ขา P3.3 ใช้เป็นอินพุตอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 1
  - ขา P3.4 สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของไทเมอร์ 0
  - ขา P3.5 สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของไทเมอร์ 1
  - ขา P3.6 ใช้เป็นสัญญาณการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำข้อมูลภายนอก
  - ขา P3.7 ใช้เป็นสัญญาณการอ่านข้อมูลไปยังหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

การใช้งานพอร์ต 3 ในหน้าที่พิเศษนี้จะต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการใช้งานก่อนทุกครั้ง

- ขา RST (ขา 9) ใช้ในการรีเซตค่าภายในทั้งหมด
- ขา ALE/PROG (ขา 30) เป็นขาที่ใช้ในการส่งสัญญาณควบคุมการแลตช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ จาก P0 ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก
- ขา PSEN (ขา 29) ใช้ส่งสัญญาณสโครบเพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรม
- ขา EA/Vpp (ขา 31) เป็นขาสำหรับใช้เลือกให้ MCS – 51 ทำงานจากโปรแกรมภายในหรือภายนอก
- ขา XTAL (ขา 19) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นขาอินพุต
- ขา XTAL (ขา 18) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นขาเอาต์พุต

2.6.5 โครงสร้างหน่วยความจำใน MCS – 51

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. หน่วยความจำโปรแกรม
2. หน่วยความจำข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

MCS – 51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในอย่างน้อย 128 ไบต์ไปจนถึง 256 ไบต์ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบริเวณ 128 ไบต์แรกเรียกว่า Lower 128 และในบริเวณ 128 ไบต์หลังที่มีเพิ่มในบางเบอร์มีชื่อเรียกว่า Upper 128

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบริเวณ 128 ไบต์แรกและหลังจะมีวิธีการเข้าถึงข้อมูลในหน่วยความจำทั้งสองส่วนไม่เหมือนกัน

เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	หน่วยความจำโปรแกรม	หน่วยความจำข้อมูล	จำนวนไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต
AT89C1051	แบบแฟลช ขนาด 1 กิโลไบต์	แรม 64 ไบต์	1
AT89C2051	แบบแฟลช ขนาด 2 กิโลไบต์	แรม 128 ไบต์	2
AT89C51	แบบแฟลช ขนาด 4 กิโลไบต์	แรม 128 ไบต์	2
AT89C52	แบบแฟลช ขนาด 8 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	2
AT89C55	แบบแฟลช ขนาด 20 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3
AT89S8252	แบบแฟลช ขนาด 8 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์ อีอีพรอม 2 กิโลไบต์	3
AT89S53	แบบแฟลช ขนาด 12 กิโลไบต์	แรม 256 ไบต์	3

ตาราง 2.2 สรุปบางส่วนของ MCS-51

2.6.6 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register : SFR)

ใน MCS – 51 รีจิสเตอร์จะใช้หน่วยความจำ RAM ภายในชิพ โดยส่วนหนึ่งรีจิสเตอร์พิเศษต่าง ๆ จะเริ่มที่หน่วยความจำตั้งแต่ 80 H ถึง FFH ซึ่งหน่วยความจำมีทั้งหมด 128 ตำแหน่ง แต่จะเป็นรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษเพียง 2 ตำแหน่ง แต่ถ้าเป็น 8032/8051 จะใช้ 26 ตำแหน่งหรือมี SFR 26 ตัว

สำหรับรายละเอียดเบื้องต้นของ SFR มีดังนี้

2.6.6.1 รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรม (Program Status Word) รีจิสเตอร์นี้เรียกย่อ ๆ ว่า PSW จะอยู่ที่ตำแหน่ง D0H ซึ่งสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ โดยรีจิสเตอร์ตัวนี้จะเป็นตัวบอกสภาวะต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 แยกเป็นบิต คือ

1. แฟลกตัวทด (Carry Flag) เป็นบิตที่ 7 ของ PSW บิตนี้จะมีความสำคัญหากมีการกระทำทางคณิตศาสตร์ โดยบิตนี้จะเซตเมื่อเกิดการทดของบิตที่ 7 ขณะทำการบวกเลขหรือเซตเมื่อเกิดการยืมของบิตที่ 7 เมื่อเกิดการลบเลข
2. แฟลกตัวทดช่วย (Auxiliary Carry Flag) เป็นบิตที่ 6 เมื่อมีการบวกแบบ Binary Code Decimal (BCD) บิต AC หรือบิตตัวทดช่วยจะถูกเซตเมื่อมีการทดจากบิตที่ 3 ไปบิตที่ 4 หรือถ้าใน Low Nibble มีค่าระหว่าง 0AH – 0FH BCD BCD DAA BCD
3. แฟลกศูนย์ เป็นบิตที่ 5 ของ PSW เป็นแฟลกใช้งานทั่วไป เมื่อผู้เขียนโปรแกรมกำหนดค่าที่บิตนี้แล้ว ไม่ว่าจะกระทำคำสั่งใด ๆ ที่ บิตนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55007

4. บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงค์ (Register Select 1) เป็นบิตที่ 4 และ 3 ทำให้เลือกใช้รีจิสเตอร์ R0 – R7 ได้ 4 ชุด
5. แฟลกโอเวอร์โฟลว บิตที่ 2 จะถูกเซตเมื่อกระทำทางคณิตศาสตร์แล้วเกิดโอเวอร์โฟลว คือ จำนวนที่ได้จากการกระทำมีค่าเกินกว่าจำนวนไบต์ที่จะเป็นไปได้ คือ มากกว่า 128 หรือน้อยกว่า – 128
6. บิตพาริตี้ (Parity Bit) เป็นบิตที่บอกค่าพาริตี้ของรีจิสเตอร์ A โดยเป็นบิตที่ 0 ของ PSW

2.6.6.2 แอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator : ACC) มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง E0H เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ รีจิสเตอร์นี้สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต

2.6.6.3 รีจิสเตอร์ B อยู่ที่ตำแหน่ง F0H เป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถใช้งานได้ทั่วไปได้ แต่ส่วนใหญ่จะใช้รีจิสเตอร์นี้คูณหรือหารกับรีจิสเตอร์ A

2.6.6.4 สแต็กพอยน์เตอร์ (Stack Pointer : SP) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต อยู่ที่ตำแหน่ง81 H รีจิสเตอร์นี้ชี้ข้อมูลหรือดาต้าพอยน์เตอร์ (Data Pointer : DPTR) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับชี้ตำแหน่งรหัสโปรแกรมหรือข้อมูลในหน่วยความจำ โดยเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ซึ่งประกอบด้วยรีจิสเตอร์ 2 ตัว คือ DPL อยู่ตำแหน่งที่ 82H โดยจะเก็บเป็น 8 บิตต่ำและ DPH ตำแหน่งที่ 83H โดยจะเก็บค่า 8 บิตสูง

2.6.6.5 รีจิสเตอร์พอร์ต (Port Register) มีขนาด 8 บิตที่ใช้เก็บข้อมูลของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 มี 4 ตัว คือ รีจิสเตอร์พอร์ต 0 หรือ P0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H, รีจิสเตอร์พอร์ต 1 หรือ P1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 90H รีจิสเตอร์พอร์ต 2 หรือ P2 มีแอดเดรสอยู่ที่ A0H และรีจิสเตอร์พอร์ต 3 หรือ P3 มีแอดเดรสอยู่ที่ B0H รีจิสเตอร์ทุกตัวสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต เมื่อต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลออกไปยังพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์นี้ทุกครั้ง

2.6.6.6 รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer : SBUF) รายละเอียดของรีจิสเตอร์นี้จะได้กล่าวในบทต่อไป

2.6.6.7 รีจิสเตอร์ไทเมอร์ (Timer Register) ใน MCS – 51 เบอร์ 8051 จะมีรีจิสเตอร์ที่ใช้นับเวลาขนาด 16 บิตอยู่ 2 ตัว คือ Timer 0 อยู่ที่ตำแหน่ง 8AH และ 8CH โดยหมายถึง TL0 และ TH0 ตามลำดับ รีจิสเตอร์อีกตัวคือ Timer 1 อยู่ที่ตำแหน่ง 8BH เป็น TL1 และ 8DH เป็น TH1 การใช้งาน Timer จะต้องกำหนดการทำงานในรีจิสเตอร์ TMOD ซึ่งอยู่ตำแหน่งที่ 88H ก่อน

2.6.6.8 รีจิสเตอร์ควบคุม (Control Register) แบ่งเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. รีจิสเตอร์ PCON เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลของวงจรสื่อสารอนุกรมและกำหนดการทำงานในโหมดประหยัดพลังงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51
2. รีจิสเตอร์ SCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรสื่อสารอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51
3. รีจิสเตอร์ TCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51
4. รีจิสเตอร์ TMOD เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดโหมดหรือลักษณะในการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51
5. รีจิสเตอร์ IE หรือ IP เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการสนองการอินเตอร์รัปต์ โดย IE เป็นรีจิสเตอร์สำหรับเอ็นเอเบิลหรือใช้ในการกำหนดลักษณะของการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ ในขณะที่ IP เป็นรีจิสเตอร์สำหรับกำหนดลำดับความสำคัญของการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ว่า จะให้ซีพียูตอบสนองการเกิด อินเตอร์รัปต์ในลักษณะใดก่อนหลัง

2.6.7 สเต็ปปิงมอเตอร์

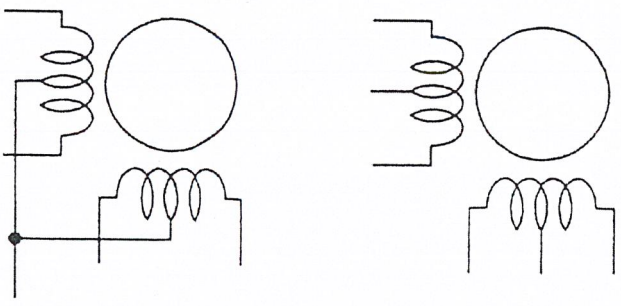
สเต็ปปิงมอเตอร์มีความแตกต่างจากมอเตอร์ทั่ว ๆ ไป โดยเมื่อป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับมัน มันจะหมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งแตกต่างจากมอเตอร์ทั่ว ๆ ไป ซึ่งมันจะหมุนทันทีและตลอดเวลา สเต็ปปิงมอเตอร์สามารถกำหนดตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลขได้อย่างละเอียด โดยการใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวกำหนดและจัดเก็บตัวเลขเหล่านั้นไว้

สเต็ปปิงมอเตอร์ สามารถใช้งานในระบบเปิด (Open loop system) นั่นก็คือ มันทำงานได้โดยไม่ต้องการการป้อนกลับ (Feedback) แต่ทุกวิธีที่ต้องการกำหนดตำแหน่งได้อย่างถูกต้องจำเป็นที่ต้องการการป้อนกลับไปยังระบบให้รับรู้

เช่นเดียวกับมอเตอร์ทั่วไป การที่จะทำให้เกิดการหมุนของโรเตอร์ (Rotor) ได้ต้องมีการกระทำของสนามแม่เหล็ก การหมุนทำได้ทั้งแบบต่อเนื่องและแบบกลับทิศทางไปมา โดยการจัดวางของแปรงถ่านและการจัดวางคอมมิวเตเตอร์ และทำการสวิตชิ่งกำลังไฟฟ้าให้เกิดแรงดึงดูดของแม่เหล็ก (Magnetic attraction) ที่ขั้วแม่เหล็ก ผลก็คือเกิดสนามแม่เหล็กหมุนสเตเอตร์โดยการจ่ายกำลังไฟฟ้าทีละคู่ขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงข้ามตลอดเวลา และเมื่อต้องการหยุดหมุนทำได้โดยการหยุดการเกิดขั้วแม่เหล็กที่จุดหนึ่งโดยทำการสวิตชิ่งในลำดับต่อไปเสีย การหมุนสลับทิศทางก็ทำได้เช่นเดียวกับที่กล่าวมา เพียงแต่การทำสวิตชิ่งกำลังไฟฟ้าให้เกิดสนามแม่เหล็กหมุนในทิศทางกลับกัน โดยกลับลำดับการสวิตช์ของมัน

สเต็ปปิงมอเตอร์ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง จนในปัจจุบันสเต็ปปิงมอเตอร์ที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุด คือ สเต็ปปิงมอเตอร์แบบยูนิโพลาร์ (uni-polar stepping motor) มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์แสดงในรูป 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบ 5 สาย 4 เฟส แบบ 6 สาย 4 เฟส

รูป 2.7 โครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพล่า

2.6.8 ชนิดของสเต็ปปิงมอเตอร์

สเต็ปปิงมอเตอร์แบ่งตามพื้นฐานได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. ชนิดวาริเบิลรีลักแตนซ์ (Variable Reluctance : VR) สเต็ปปิงมอเตอร์ชนิดนี้มีจุดด้อยในเรื่องของความถูกต้องของตำแหน่งและทำงานได้ไม่ดีนักเมื่อมีสเต็ปในการหมุนสูง
2. ชนิดเพอร์มาเนนต์แมกเน็ต (Permanent Magnet : PM) มีข้อดีในเรื่องของความถูกต้องของตำแหน่งและความเร็วมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชนิดอื่น
3. ชนิดไฮบริด (Hybrid) เป็นชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยเฉพาะนำมาใช้กับอุปกรณ์ในเครื่องคอมพิวเตอร์

2.6.9 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปปิงมอเตอร์

การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของมอเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ป ทำได้โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนแบบซีเควนเชียลในรูปแบบที่ถูกต้องด้วยการกระตุ้นเฟสของขดลวดสเต็ปปิงมอเตอร์ มีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ

1. การกระตุ้นเฟสเดียว (Single Phase Excitation) เป็นการป้อนสัญญาณให้กับสเต็ปปิงมอเตอร์ทีละขด ดังแสดงในรูป 2.8

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON			
2		ON		
3			ON	
4				ON
5	ON			
6		ON		

รูป 2.8 แสดงการกระตุ้นแบบเฟสเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกระตุ้น 2 เฟส (Two Phase Excitation) เป็นการป้อนสัญญาณให้กับขดลวดของสเต็ปปิงมอเตอร์ทีละ 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปดังรูป 2.9

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON	ON		
2		ON	ON	
3			ON	ON
4	ON			ON
5	ON	ON		
6		ON	ON	

รูป 2.9 แสดงการกระตุ้นแบบ 2 เฟส

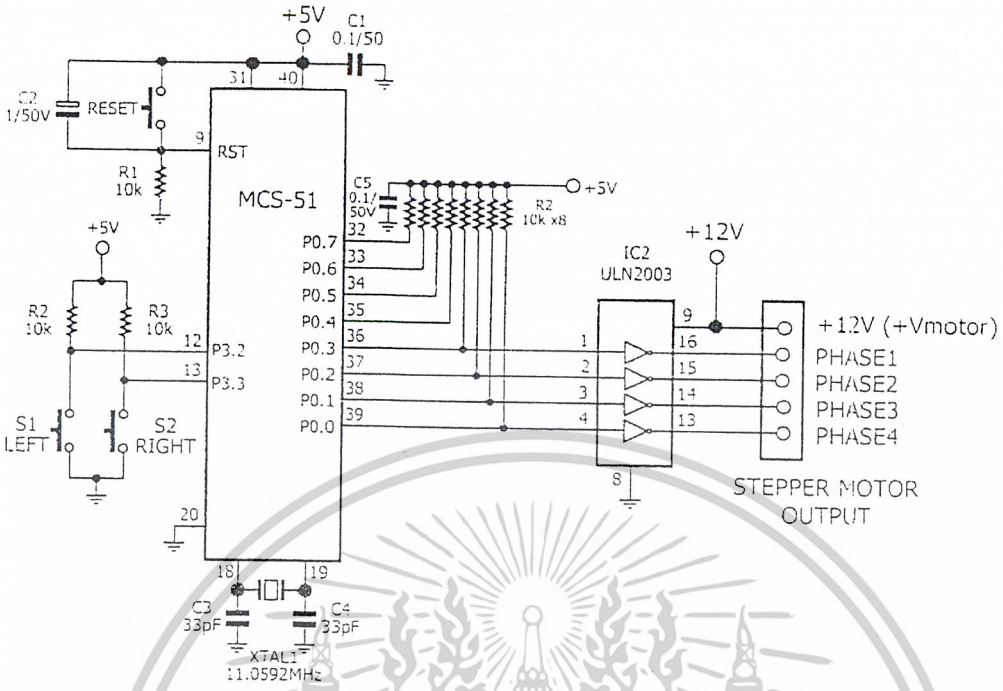
การเพิ่มจำนวนของขดลวดที่ถูกกระตุ้นนี้ทำให้เพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเฟสเดียว โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงดึงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อไปด้วยแรงดึงจาก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียก็คือ การกระตุ้นแบบนี้ต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ามากขึ้น

3. การกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป (Half Step) เป็นรูปแบบที่เกิดจากการผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบเฟสเดียวและ 2 เฟสเพื่อเพิ่มจำนวนของสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นจะเพิ่มมากขึ้นอีก เพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลงและแต่ละสเต็ปที่เกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน ความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น กระตุ้นแบบนี้ต้องทำการหมุนถึง 2 สเต็ปจึงจะได้เท่ากับ 1 สเต็ปเต็มเหมือนกับการกระตุ้น 2 แบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายไฟใช้เท่ากับแบบ 2 เฟส

Step No.	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4
1	ON			
2	ON	ON		
3		ON		
4		ON	ON	
5			ON	
6			ON	ON
7				ON
8	ON			ON
9	ON			
10	ON	ON		

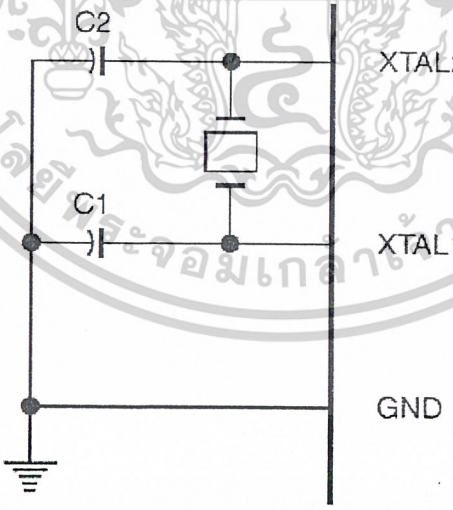
รูป 2.10 แสดงการกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.11 แสดงวงจรการเชื่อมต่อของ MCS-51 และวงจรการขับมอเตอร์

ส่วนของการต่อ XTAL ให้กับ AT89C51 เราจะใช้ XTAL ค่า 11.059 MHz เป็นตัวกำหนดสัญญาณนาฬิกาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูป 2.12 แสดงการต่อคริสตัลให้กับ AT89C51

C1 และ C2 ในรูป 2.12 ใช้ค่าในช่วง 20 pF – 40 pF สำหรับการใช้คริสตัล และ 30 pF – 50 pF สำหรับการใช้ Ceramic Resonators

ส่วนพอร์ต 3 นอกจากจะเป็น I/O พอร์ตแล้วยังทำงานในหน้าที่อื่นด้วยดังตาราง 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)

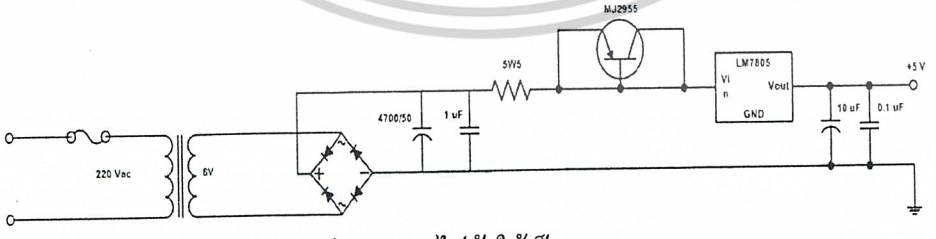
ตาราง 2.3 แสดงหน้าที่พิเศษของพอร์ต 3 นี้ด้วยคือ P3.0 และ P3.1

ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้หน้าที่พิเศษของพอร์ต 3 นี้ด้วยคือ P3.0 และ P3.1 โดยจะนำมาเป็นส่วนของการส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์ในลักษณะการสื่อสารแบบอนุกรมตามแบบ RS-232 ข้อมูลที่ส่งคือ (ทิศทางแกน X)+(จำนวนที่หมุน)+ (ทิศทางแกน Y)+(จำนวนที่หมุน)+(FFH)

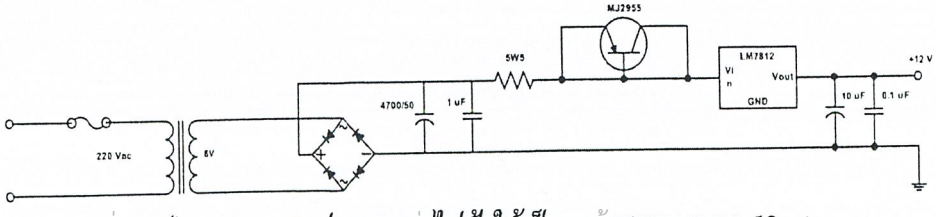
ส่วนที่ 2 คือ ส่วนของวงจรขับมอเตอร์ เนื่องจากวงจรที่ใช้เป็นแบบสเต็ปปิงมอเตอร์สามารถควบคุมได้โดยการป้อนพัลส์ (Pulse) ให้แต่ละเฟสของมอเตอร์ แต่เอาท์พุทของพอร์ตไม่สามารถที่จะไปขับมอเตอร์ได้โดยตรงและเพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จึงจำเป็นต้องมีชุดขับกระแสต่อระหว่างพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์กับมอเตอร์ในโครงงานนี้ได้ใช้ IC ULN2803A เป็นตัวขับกระแสและแรงดันให้กับมอเตอร์

2.7 ชุดแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า (Power Supply)

ชุดแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยหม้อแปลงขนาด 12 โวลต์ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 220 Volt-AC เป็น 12 Volt-AC , วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นกระแสตรงขนาด 12 Volt-DC เพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์แต่ละตัวและ 5 Volt-DC เพื่อจ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูป 2.13 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นกระแสตรงขนาด 5 v.



รูป 2.14 วงจรแปลงกระแสไฟฟ้าให้เป็นกระแสตรงขนาด 12 v.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

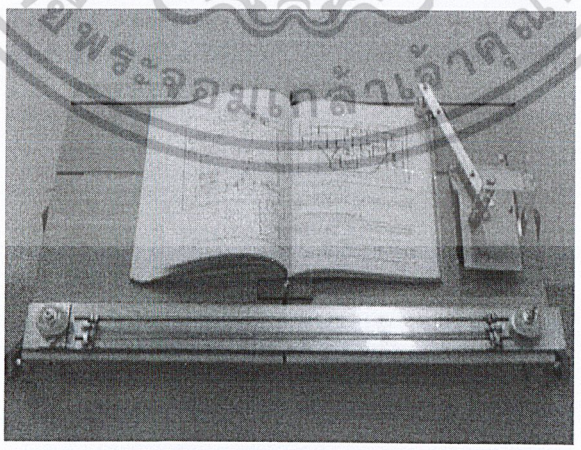
บทที่ 3
การออกแบบและการคำนวณ

3.1 แนวคิดการออกแบบเครื่อง

เริ่มจากแนวความคิดที่ต้องการสร้างเครื่องเปิดหนังสือให้สามารถเปิดได้ทีละ 1 หน้า โดยสามารถเปิดไปข้างหน้าและย้อนกลับ ซึ่งประการแรกคือต้องสามารถเกลี่ยกระดาษให้ขึ้นมาหน้าเดียวให้ได้ก่อน ต่อมาจึงเป็นการกวาดกระดาษจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ซึ่งใน 2 ส่วนนั้นเป็นหัวใจหลักของการทำงานของเครื่อง เพราะจะต้องทำการออกแบบกลไกที่ต้องการให้สามารถทำงานได้ และส่วนสำคัญส่วนสุดท้ายซึ่งขาดไม่ได้คือวงจรไฟฟ้าที่ใช้ในการควบคุม จ่ายไฟให้มอเตอร์ ทุกตัวสามารถทำงานได้สัมพันธ์และต่อเนื่องกันเพื่อความเข้าใจในแต่ละส่วนของเครื่อง ผู้เขียนจึงขอกล่าวถึงในรายละเอียดของส่วนต่างๆ เป็นข้อๆ ดังนี้

3.2 การออกแบบโครงฐาน

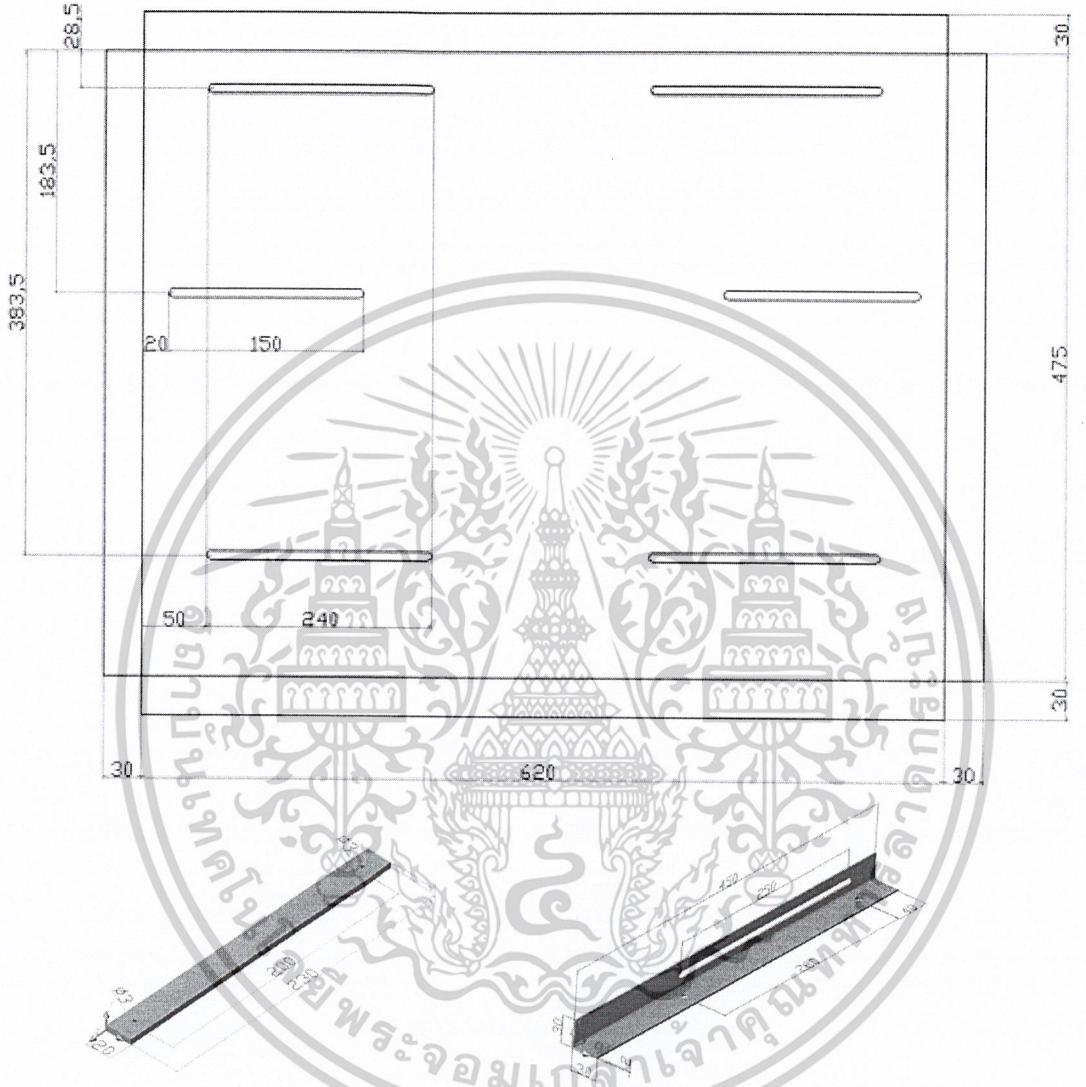
จากการสำรวจในห้องสมุดต่างๆ แล้วพบว่า หนังสือจำนวนมากมีขนาดดังนี้ 171x240 mm., 187x262 mm., 236x300 mm. เป็นต้น ซึ่งหนังสือดังกล่าวเป็นหนังสือนิตยสารทั่วไป, หนังสือเรียนที่เป็นภาษาไทย, หนังสือ text book ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานของหนังสือเหล่านั้นอยู่แล้ว จึงนำข้อมูลนี้มาเป็นขอบเขตในการสร้างโครงฐานของเครื่องให้ทราบว่าควรมีขนาดและมิติต่างๆ อย่างไร เพื่อที่จะสามารถทำงานได้ครอบคลุมถึงหนังสือแต่ละประเภท และยังออกแบบให้มีระยะสำหรับวางกลไกหรืออุปกรณ์ของเครื่องโดยได้การทดลองทำโครงฐานจำลองที่ใช้ไม้เป็นวัสดุ แล้วทดลองวางกลไกและได้ทำการทดลองเปิดหนังสือบนโครงฐานนั้นจริงๆ ดังรูป 3.1



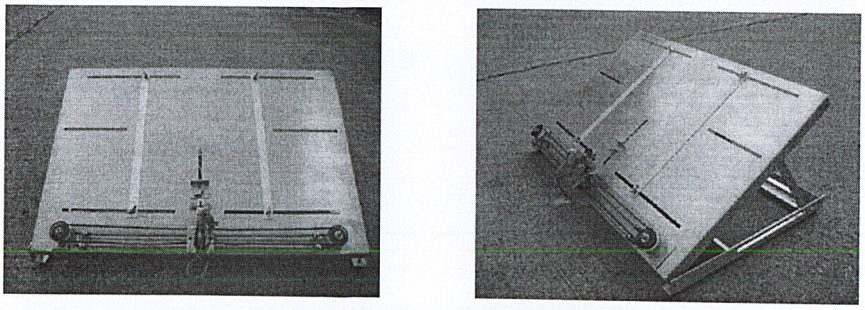
รูป 3.1 โครงฐานจำลองที่ทำจากไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้ถูกนำมาใช้กำหนดขนาดและมิติของโครงฐานจริง โครงฐานที่สร้างขึ้นนี้ทำจากอลูมิเนียมมีความหนา 2 mm. โครงฐานจริงมีรายละเอียดดังรูป 3.2 ซึ่งมีความแข็งแรงมากเพียงพอต่อการทำงาน มีน้ำหนักเบา และไม่เป็นสนิม หลังจากทำการสร้างโครงฐานจริงแล้วจะมีลักษณะดังรูป 3.3



รูป 3.2 ขนาดและมิติต่างๆ ของโครงฐาน (หน่วย mm)

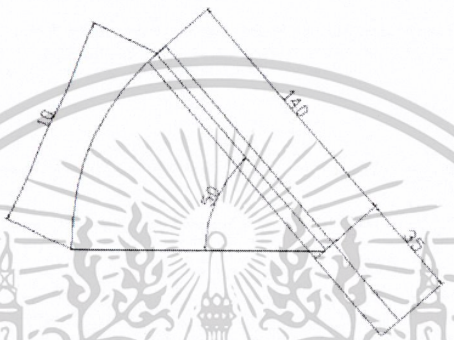


รูป 3.3 โครงฐานจริงทำจากอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

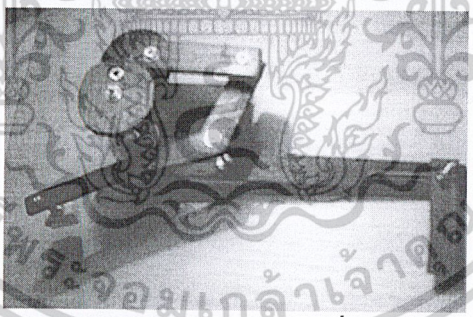
3.3 การออกแบบชุดแขนกลไก ซึ่งมี 3 ส่วน ประกอบด้วย

3.3.1 ชุดแขนเกลี่ยหน้ากระดาษ การออกแบบกลไกของชุดนี้ ผู้จัดทำได้มีแนวมาจากการเปิดหนังสือของคนในการอ่านหนังสือ โดยการใช้นิ้วชี้เกลี่ยที่มุมบนของหน้ากระดาษ ซึ่งส่วนใหญ่การกระทำเช่นนี้จะเกลี่ยได้หน้ากระดาษมาเพียงหน้าหนึ่งแล้วจึงทำการกวาดหน้ากระดาษไปยังอีกด้านหนึ่ง ผู้จัดทำจึงได้ออกแบบกลไกและได้จัดทำกลไกจำลองด้วยไม้แล้วทดลองทำการเปิดหนังสือ หลักการออกแบบแขนกลไก คือต้องกำหนดระยะการเคลื่อนที่ของกลไกคือความยาวของแขนกลไก มุมที่ทำการกวาด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูป 3.4



รูป 3.4 มุมการกวาดของแขนกลไก (หน่วย mm)

ซึ่งชุดแขนกลไกจำลองมีลักษณะดังรูป 3.5

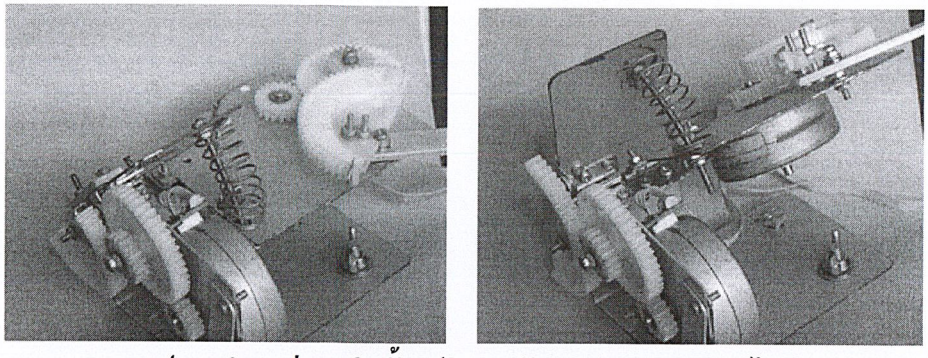


รูป 3.5 ชุดแขนกลไกจำลองที่ทำจากไม้

แล้วจึงปรับแก้มิติต่างๆ ของแขนกลไก แล้วทำการสร้างชุดแขนกลไกด้วยอลูมิเนียมเส้นหนา 3 mm. หน้ากว้าง 13 mm. ซึ่งเหตุที่เลือกใช้วัสดุนี้เพราะสามารถหาได้ในโรง Shop ของภาค ส่วนโครงของแขนกลไกใช้เหล็กหนา 1 mm. นำมาตัดพับ เจาะรูยึดกลไกต่างๆ แล้วพ่นสี การเคลื่อนที่ของกลไกมีต้นกำลังคือมอเตอร์ไฟฟ้า

3.3.2 ชุดยกแขนกลไก ออกแบบให้ยกด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า และกดแขนกลไกให้สัมผัสกับหน้ากระดาษ โดยส่งผ่านแรงด้วยสปริง เพื่อให้แขนกลไกสามารถยืดหยุ่นได้ขณะทำการเกลี่ยกระดาษ โดยติดตั้งในตำแหน่งดังรูป 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.6 ตำแหน่งการติดตั้งสปริงและลักษณะการยกแขนกลไก

3.3.3 ชุดมอเตอร์และระบบส่งกำลัง โครงงานนี้ได้ใช้ต้นกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าโดยใช้เป็นแบบสเต็ปปิงมอเตอร์ซึ่งสามารถควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สาเหตุที่ใช้สเต็ปปิงมอเตอร์นี้เพราะการทำงานของเครื่องนั้นต้องมีมอเตอร์หลายตัวทำงานสัมพันธ์กันเป็นลำดับ และสามารถควบคุมจำนวนรอบ, ความเร็วรอบ, และองศาการหมุนได้ ซึ่งจะต้องเขียนโปรแกรมควบคุมลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการเขียนโปรแกรมภาษา C ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อของชุดวงจรควบคุมต่อไป สเต็ปปิงมอเตอร์จึงมีคุณสมบัติเพียงพอที่จะนำมาใช้กับโครงงานชิ้นนี้

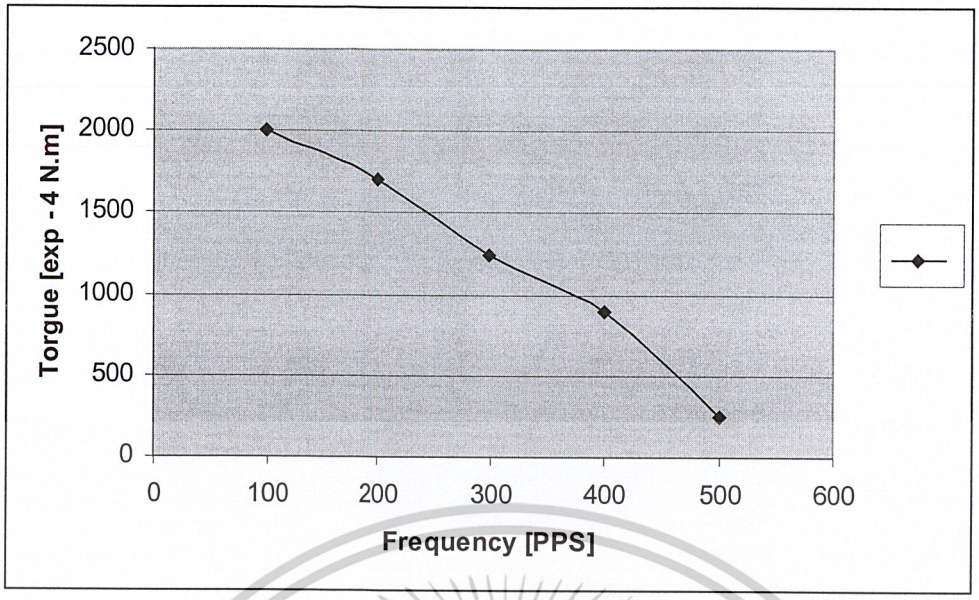
วิธีการหาค่า Torque ที่แขนกลไกต้องการในการเกลี่ย กระทำได้โดยนำชุดแขนกลไกติดตั้งบนโครงฐาน แล้วทำการดึงแขนกลไกเพื่อให้เกลี่ยหน้ากระดาษด้วยตราชั่งสปริง ดังรูป 3.7

รูป 3.7 การหาค่าแรงในการดึงแขนกลไกเพื่อให้ได้ค่า Torque ที่ใช้

ก็จะสามารถทราบแรงที่กระทำ เพื่อที่จะนำมาหาค่า Torque ได้

ซึ่งจากที่ได้ทำการหาสเต็ปปิงมอเตอร์ตามท้องตลาดทั่วไปพบว่า ถ้าเป็นของใหม่จะหาซื้อได้ยากและมีราคาสูง ส่วนใหญ่ที่สามารถหาซื้อได้ในราคาต่ำจะเป็นของใช้แล้ว หรือหลุดออกมาจากโรงงาน ซึ่งการเลือกซื้อมอเตอร์แบบนี้จะไม่มีเอกสารข้อมูลที่บอกค่า Torque และคุณสมบัติต่างๆ ที่จำเป็นจะต้องใช้อ้างอิง ผู้จัดทำจึงเลือกหามอเตอร์ที่ร้านขายวงจรไฟฟ้าใกล้ๆสถาบัน พบว่ามีสเต็ปปิงมอเตอร์ของใหม่, ราคาถูก, และมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับที่ต้องการ แต่ค่า Torque ยังน้อยกว่าที่ได้ทำการคำนวณเอาไว้ ซึ่งผู้จัดทำได้ตัดสินใจเลือกใช้มอเตอร์ดังกล่าวแล้วนำมาทดกำลังเพื่อให้ได้ Torque ที่ต้องการ ซึ่งสเต็ปปิงมอเตอร์ดังกล่าวมีข้อมูลเฉพาะดังรูป 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



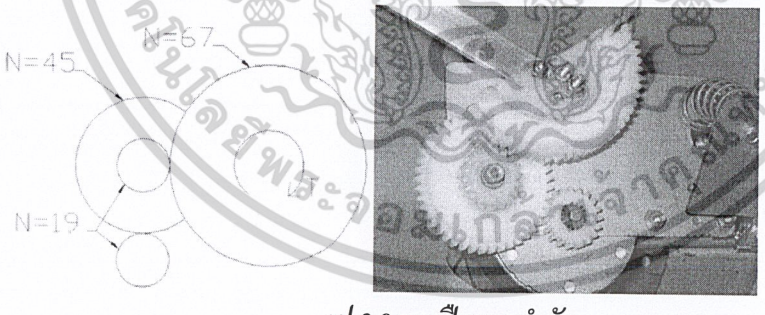
รูป 3.8 ข้อมูลเฉพาะของมอเตอร์เกี่ยวกับค่า Torque

จากการทดลองเปิดหนังสือในห้องสมุด สามารถแสดงค่าแรง F ที่ใช้เปิดได้ดังนี้

T = FX N.m จากแรงที่ใช้มากที่สุดของการเกลี่ยกระดาษคือ 6 N.

$T = FX = 6x4.2x10^{-2} = 25.2x10^{-2} = 0.252$ N.m. แล้วจึงนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการเลือกใช้ Motor

จากนั้นจึงทำการทดกำลังเพื่อให้มอเตอร์สามารถขับชุดแขนกลไกและชุดยกแขนกลไกได้ จากการเลือกหาเฟืองมาใช้พบว่า เฟืองของใหม่มีราคาสูงกว่าเฟืองที่ใช้แล้วอยู่มาก ผู้จัดทำจึงเลือกใช้เฟืองมือสองที่มีขายอยู่ทั่วไปในย่านคลองถม ซึ่งชุดเฟืองทดกำลังประกอบด้วยเฟืองขนาดต่างๆ ดังรูป 3.9



รูป 3.9 ชุดเฟืองทดกำลัง

จากชุดเฟืองที่เลือกใช้ อัตราทดเฟืองได้จาก

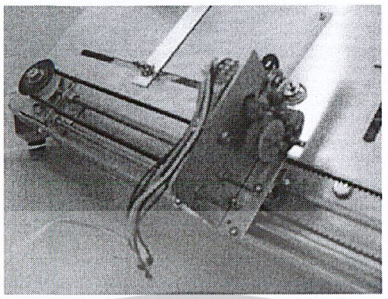
$$m_{\omega_1} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{45}{19} \quad , \quad m_{\omega_2} = \frac{N_4}{N_3} = \frac{67}{19}$$

$$m_{\omega_{รวม}} = m_{\omega_1} \times m_{\omega_2} = \frac{45}{19} \times \frac{67}{19} = 8.3518$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ชุดกวาดหน้ากระดาษ

หลังจากการเกลี่ยหน้ากระดาษมาได้ 1 แผ่นแล้ว ก็จะมีกลไกที่ทำหน้าที่กวาดกระดาษจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง ซึ่งจากการออกแบบของผู้จัดทำจึงได้ตัวกวาดมีลักษณะดังรูป 3.10



รูป 3.10 ชุดกวาดหน้ากระดาษ

ในส่วนชุดกวาดหน้ากระดาษนี้ ผู้จัดทำได้นำเอามอเตอร์มาใช้ในการขับสายพาน ซึ่งวิธีการหาค่า Torque ที่มอเตอร์ใช้ในการขับตลับเมตรออกมานั้น กระทำได้โดยนำตลับเมตรมาทำการดึงด้วยตราชั่งสปริง ดังรูป 3.11

รูป 3.11 การหาค่าแรงในการขับตลับเมตรเพื่อให้ได้ค่า Torque ที่ใช้

โดยมีการเคลื่อนที่ไปบนรางไปทางซ้ายและขวาโดยมีสายพานที่ต่อกับมอเตอร์เป็นตัวขับ ซึ่งตัวกวาดที่ทำจากตลับเมตรจะยืดเข้า-ออกโดยใช้มอเตอร์เป็นตัวขับด้วยเช่นกัน เหตุผลที่ใช้ตลับเมตรเป็นวัสดุเพราะวัสดุที่ยืดออกเป็นเส้นตรง มีความยืดหยุ่นพอสมควร และม้วนเก็บได้โดยมีขนาดเล็ก ซึ่งตลับเมตรมีคุณสมบัติที่เหมาะสมมาก ที่จะนำมาใช้ในส่วนนี้

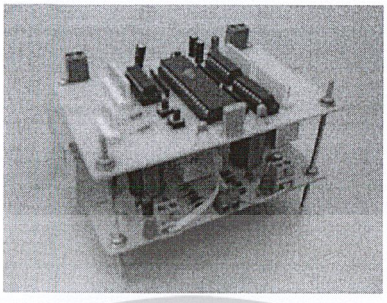
3.5 วงจรควบคุม ประกอบด้วย

3.5.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ซึ่งเป็นตัวควบคุมระบบทั้งหมด ถูกป้อนคำสั่งซึ่งคอมไพลมาจากภาษา C

3.5.2 ตัว ULN ทำหน้าที่เหมือนสะพานไฟ รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วขับกระแสให้แก่ Motor ซึ่งการออกแบบวงจรนี้ต้องการทราบความต้องการของระบบและการทำงานจึงจะสามารถออกแบบได้ กล่าวคือ ระบบมี Motor 6 ตัว มีการทำงานสัมพันธ์เป็นลำดับกัน ซึ่งต้องใช้ ULN 3 ตัว จึงจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถขับมอเตอร์ 6 ตัวได้ เนื่องจาก ULN 1 ตัว สามารถขับมอเตอร์ได้ 2 ตัว และใช้ MCS-51 เพียง 1 ตัว ก็สามารถควบคุม ULN ได้ทั้งหมด หลังจากทำการสร้างเสร็จแล้วจะได้วงจรควบคุมซึ่งมีลักษณะดังรูป 3.11



รูป 3.12 ชุดวงจรควบคุม

3.6 การเขียนโปรแกรมควบคุม

ได้เลือกใช้ภาษา C มาใช้เขียนคำสั่งควบคุมและป้อนคำสั่งให้กับ Microcontroller โดยมีการเขียนดังนี้

```
#include <AT89X51.H>
#include <ABSACC.H>
        unsigned char bdata backup_port;
        unsigned char bdata temp ;
sbit bit0 = backup_port^0;sbit bit1 = backup_port^1;sbit bit2 = backup_port^2;sbit bit3 =
backup_port^3;
sbit bit4 = backup_port^4;sbit bit5 = backup_port^5;sbit bit6 = backup_port^6;sbit bit7 =
backup_port^7;
sbit tempbit = temp^1;

        unsigned char bdata input_state;//1= forward and 0 = backward
sbit forward = input_state^0;
sbit backward = input_state^1;

void delay(unsigned char count)
{
        unsigned char i,j;
        for(i = 0; i <= count; i++)
                for(j = 0; j <= 254;   j++) {;  }
}

void  clockwise1()
{
                tempbit = bit3;
                bit3=bit2;
                bit2=bit1;
                bit1=bit0;
                bit0=tempbit;

}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void counterclockwise1()
{
        tempbit= bit0;
        bit0=bit1;
        bit1=bit2;
        bit2=bit3;
        bit3=tempbit;
}
void clockwise2()
{
        tempbit = bit7;
        bit7=bit6;
        bit6=bit5;
        bit5=bit4;
        bit4=tempbit;

}

void counterclockwise2()
{
        tempbit= bit4;
        bit4=bit5;
        bit5=bit6;
        bit6=bit7;
        bit7=tempbit;
}
void motor1(unsigned char rotate1)// function contorl motor1
{       backup_port=P0;
        if (rotate1==1) //clockwise
        clockwise1();
        if (rotate1==0) //counterclockwise
        counterclockwise1();
        P0=backup_port;
}
void motor2(unsigned char rotate2)// function contorl motor2
        {       backup_port=P0;
        if (rotate2==1) //clockwise
        clockwise2();
        if (rotate2==0) //counterclockwise
        counterclockwise2();
        P0=backup_port;
}
void motor3(unsigned char rotate3)// function contorl motor3
        {       backup_port=P2;
        if (rotate3==1) //clockwise
        clockwise1();
        if (rotate3==0) //counterclockwise
        counterclockwise1();
        P2=backup_port;
        }
void motor4(unsigned char rotate4)// function contorl motor3
        {       backup_port=P2;
        if (rotate4==1) //clockwise
        clockwise2();
        if (rotate4==0) //counterclockwise
        counterclockwise2();
        P2=backup_port;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                }
void motor5(unsigned char rotate5)// function contorl motor5
        {       backup_port=P1;
                if (rotate5==1) //clockwise
                clockwise1();
                if (rotate5==0) //counterclockwise
                counterclockwise1();
                P1=backup_port;
}
void motor6(unsigned char rotate6)// function contorl motor6

        {       backup_port=P1;
                if (rotate6==1) //clockwise
                clockwise2();
                if (rotate6==0) //counterclockwise
                counterclockwise2();
                P1=backup_port;
}

void main()
{
        unsigned char l,k;// a number of pulse
        unsigned char a=80;//You can assign a = 0-254 for time delay that you want.The
all of a's value is indenpendent,You can set it to be difference.
        unsigned char b=10;// This delay is to delay between a motor and  another motor.
        unsigned char rotate=1;// 1=clockwise and 0 = counterclockwise
        P3=0xFF;// set intitial as input port
        P0=0x00;
        P2=0x00;
        P1=0x00;
        while (1)
        {
        input_state=P3;
        if (forward==0)//forward
                        {       P0=0x11;//set patern for driving step motor 1 2 >>>22
                                P2=0x11;//set patern for driving step motor 3 4
        >>>22

                                P1=0x11;//set patern for driving step motor 5 6 >>>22
                                for(l = 0; l <=5; l++) //step 0
                                        {motor2(1);
                                         delay(5);
                                        }
                                        delay(50);
                                for(l = 0; l <=5; l++)
                                        {motor4(1);
                                         delay(5);
                                        }
                                        delay(50);
                                for(l = 0; l <=35; l++) //step1.1
                                        {motor1(1);
                                         delay(5);
                                        }
                                        delay(50);
                                for(l = 0; l <=2; l++) //step2
                                        for(k = 0; k <=45; k++)
                                        {motor5(0);
                                         delay(5);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            }
            delay(50);
for(l = 0; l <=4; l++) //step2
            for(k = 0; k <=199; k++)
            {motor6(0);
             delay(5);
            }
            delay(50);
for(l = 0; l <=44; l++) //step3.1
            {motor4(0);
             delay(5);
            }
            delay(50);
for(l = 0; l <=44; l++) //step3.2
            {motor2(0);
             delay(5);
            }
            delay(50);
for(l = 0; l <=35; l++) //step3.3
            {motor3(1);
             delay(5);
            }
            delay(50);
for(l = 0; l <=2; l++) //step4
            for(k = 0; k <=130; k++)
            {motor5(1);
             delay(5);
            }
            delay(50);
for(l = 0; l <=4; l++) //step5
            for(k = 0; k <=199; k++)
            {motor6(1);
             delay(5);
            }
            delay(50);
for(l = 0; l <=35; l++)//step6
            {motor1(0);
            delay(5);
            }
            delay(50);
for(l = 0; l <=35; l++) //step6.1
            {motor1(0);
             delay(5);
            }
            delay(50);
for(l = 0; l <=40; l++) //step7.1
            {motor2(1);
             delay(5);
            }
            delay(50);
for(l = 0; l <=40; l++) //step7.2
            {motor4(1);
             delay(5);
            }
            delay(50);
for(l = 0; l <=2; l++) //step8
            for(k = 0; k <=85; k++)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                {motor5(0);
                                 delay(5);
                                }
                                delay(50);
P0=0x00;
P2=0x00;
P1=0x00;
                }

if (backward==0)//backward
                {       P0=0x11;//set patern for driving step motor 1 2 >>>22
                        P2=0x11;//set patern for driving step motor 3 4
>>>22
                        P1=0x11;//set patern for driving step motor 5 6 >>>22
                        for(l = 0; l <=5; l++) //step 0
                                {motor4(1);
                                 delay(5);
                                }
                                delay(50);
                        for(l = 0; l <=5; l++)
                                {motor2(1);
                                 delay(5);
                                }
                                delay(50);
                        for(l = 0; l <=35; l++) //step1.1
                                {motor3(1);
                                 delay(5);
                                }
                                delay(50);
                        for(l = 0; l <=2; l++) //step 1.2
                                for(k = 0; k <=45; k++)
                                {motor5(1);
                                 delay(5);
                                }
                                delay(50);
                        for(l = 0; l <=4; l++) //step2
                                for(k = 0; k <=199; k++)
                                {motor6(0);
                                 delay(5);
                                }
                                delay(50);
                        for(l = 0; l <=44; l++) //step3.1
                                {motor2(0);
                                 delay(5);
                                }
                                delay(50);
                        for(l = 0; l <=44; l++) //step3.2
                                {motor4(0);
                                 delay(5);
                                }
                                delay(50);
                        for(l = 0; l <=35; l++) //step1.1
                                {motor1(1);
                                 delay(5);
                                }
                                delay(50);
                        for(l = 0; l <=2; l++) //step 4
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                for(k = 0; k <130; k++)
                {motor5(0);
                 delay(5);
                }
                delay(50);
        for(l = 0; l <=4; l++) //step5
                for(k = 0; k <=199; k++)
                {motor6(1);
                 delay(5);
                }
                delay(50);
        for(l = 0; l <=35; l++)//step6
                {motor3(0);
                delay(5);
                }
                delay(50);
        for(l = 0; l <=35; l++) //step1.1
                {motor1(0);
                 delay(5);
                }
                delay(50);
        for(l = 0; l <=40; l++) //step7.1
                {motor4(1);
                 delay(5);
                }
                delay(50);
        for(l = 0; l <=40; l++) //step7.2
                {motor2(1);
                 delay(5);
                }
                delay(50);
        for(l = 0; l <=2; l++) //step8
                for(k = 0; k <=85; k++)
                {motor5(1);
                 delay(5);
                }
                delay(50);
P0=0x00;
P2=0x00;
P1=0x00;
                }
        P3=0xFF;
  }
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

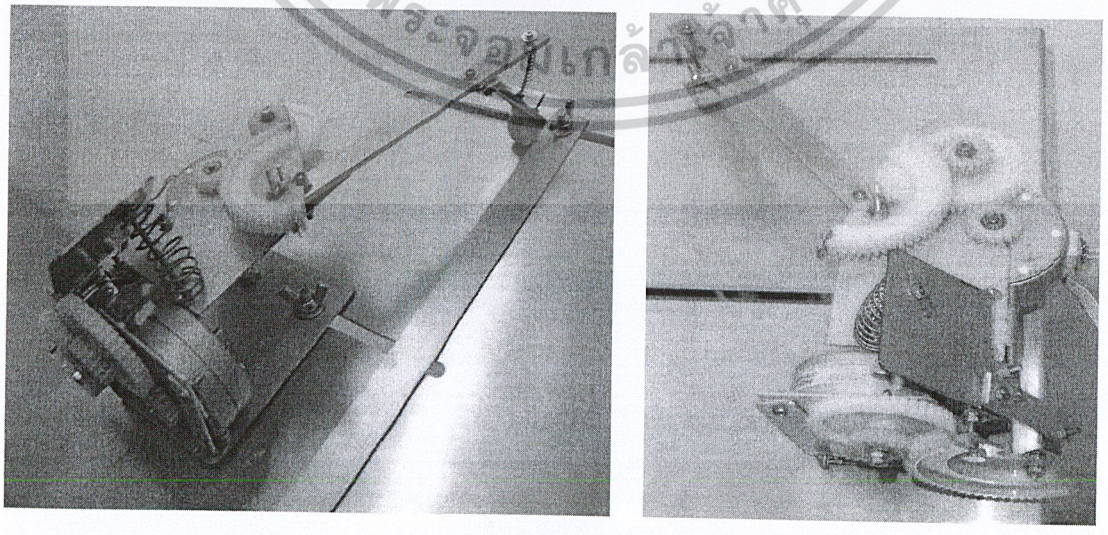
บทที่ 4
ส่วนประกอบและขั้นตอนการทำงาน

4.1 ส่วนประกอบต่างๆ

4.1.1 โครงฐาน เป็นส่วนโครงของเครื่องซึ่งเป็นที่วางหนังสือ จับยึดหนังสือ และเป็นโครงเพื่อยึดส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ แขนกลไก และตัวกวาดหน้าหนังสือ นอกจากนี้โครงฐานยังสามารถปรับองศาการอ่านหนังสือได้ด้วยซึ่งโครงฐานนี้ทำจากอลูมิเนียมแผ่นพับ และสำหรับขอบเขตของหนังสือที่จะสามารถนำมาเปิดกับเครื่องเปิดหนังสือเครื่องนี้ได้ คือ กว้าง 30 cm และยาว 40 cm (ขนาดของหนังสือเมื่อได้เปิดกางออกมาแล้ว)

รูป 4.1 โครงฐานทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

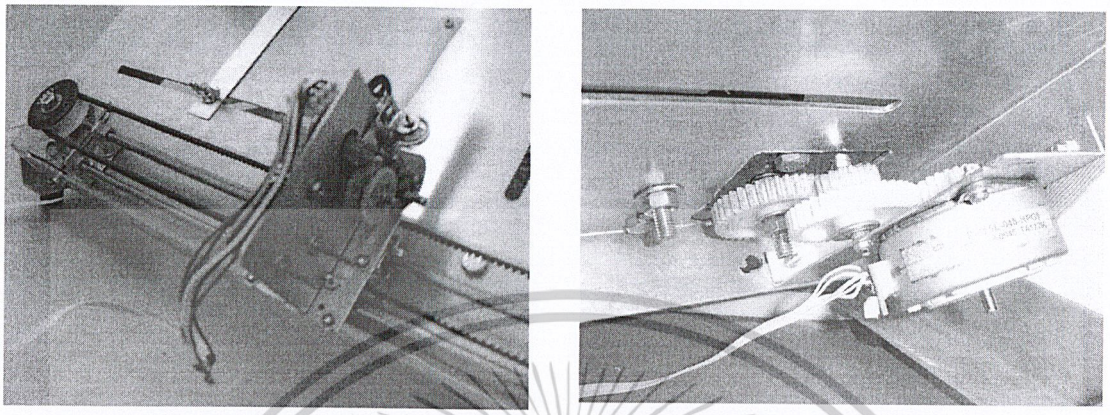
4.1.2 ชุดแขนกลไก เป็นส่วนที่ใช้เปิดเลื่อนแยกหน้ากระดาษ ซึ่งมีทั้งด้านซ้ายและด้านขวาเพื่อใช้ในการเปิดไปข้างหน้าและย้อนกลับได้ ชิ้นส่วนของแขนกลไกทำจากเหล็กและอลูมิเนียม



รูป 4.2 ชุดแขนกลไกทั้ง 2 ข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

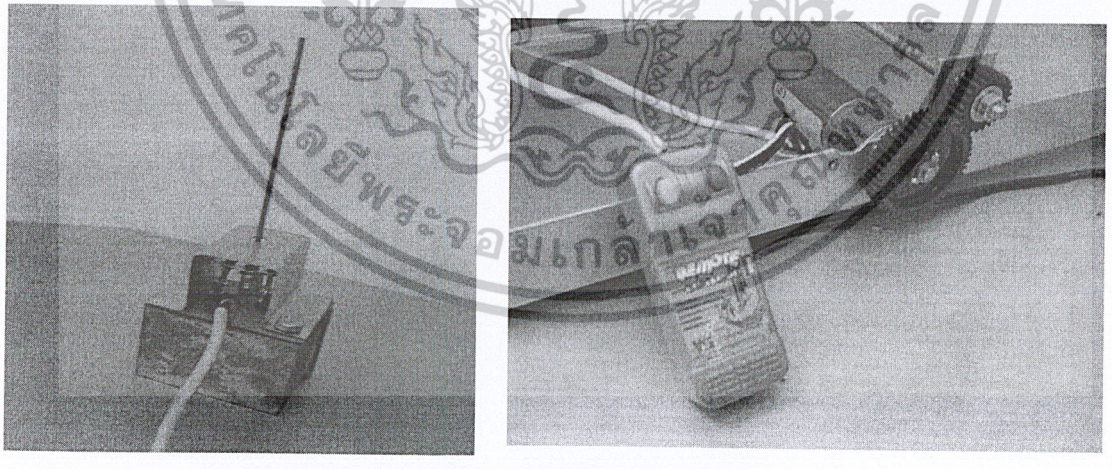
4.1.3 ชุดกวาดหน้ากระดาษ ทำหน้าที่กวาดหน้ากระดาษจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่ง หลังจากการเกลี่ยหน้ากระดาษมาได้แล้ว 1 แผ่น ตัวกวาดสามารถเลื่อนไปมาได้ซ้ายและขวา ซึ่งการเลื่อนของมันจะใช้มอเตอร์ในการขับสายพานให้สายพานเลื่อนไปมาได้พร้อมกับตัวกวาดที่ยึดติดกับอยู่กับสายพาน



(ก) *(ข)*

รูป 4.3 (ก) ชุดกวาดหน้ากระดาษด้านหน้า
(ข) ชุดขับสายพานให้ตัวกวาดจากด้านหลัง

4.1.4 ชุดควบคุมการทำงาน ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องนี้โดยการกดสวิตซ์ของชุดควบคุม หรือคันโยกเป็นเสมือนการป้อนอินพุทให้แก่เครื่อง ชุดควบคุมการทำงานมีอยู่ 2 ชุด คือ ชุดควบคุมการเปิดหน้ากระดาษ และชุดควบคุมการปรับองศาของโต๊ะ

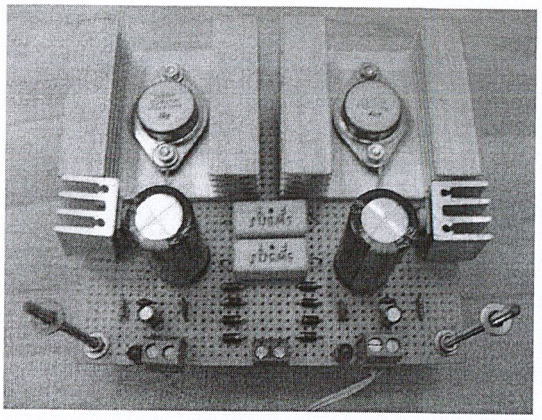


(ก) *(ข)*

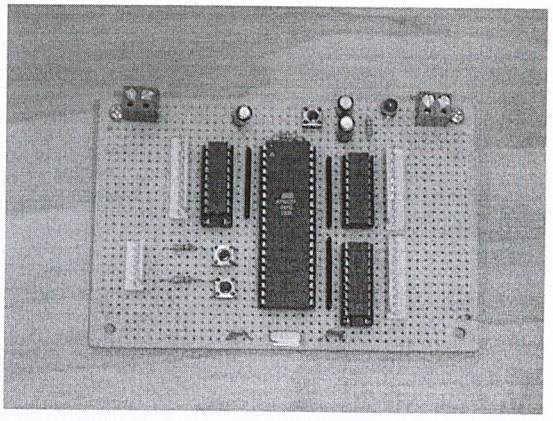
รูป 4.4 (ก) ชุดควบคุมการเปิดหน้ากระดาษ
(ข) ชุดควบคุมการปรับองศาของโต๊ะ

4.1.5 ชุดแผงวงจรควบคุม เป็นตัวรับสัญญาณมาจากชุดควบคุม แล้วส่งผ่านไปยังเครื่อง ซึ่งประกอบไปด้วย Power Supply และ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



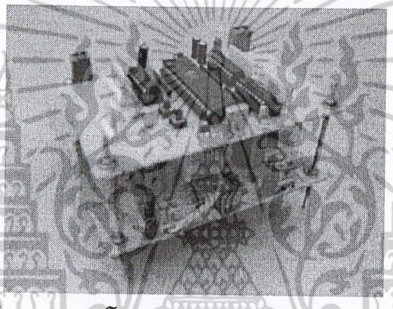
(ก)



(ข)

รูป 4.5 (ก) Power Supply

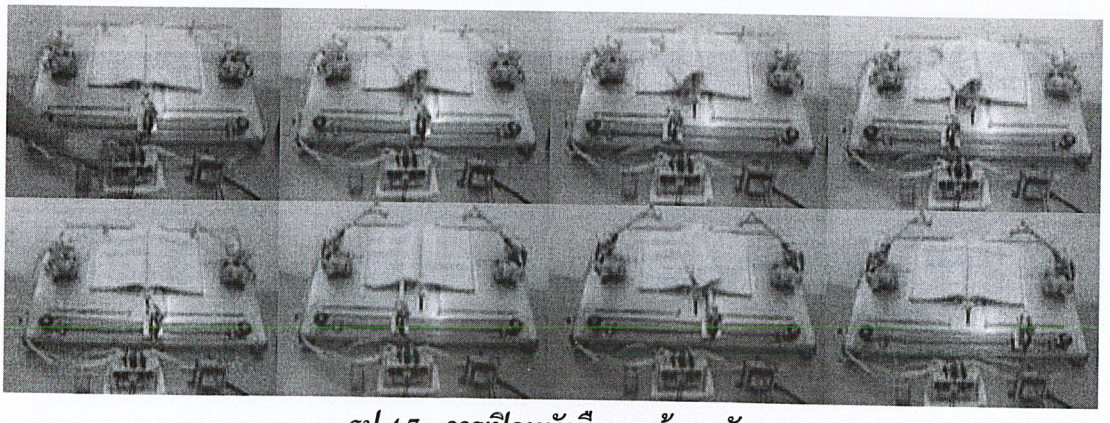
(ข) MCS-51



รูป 4.6 ภาพโดยรวมของชุดแผงวงควบคุม

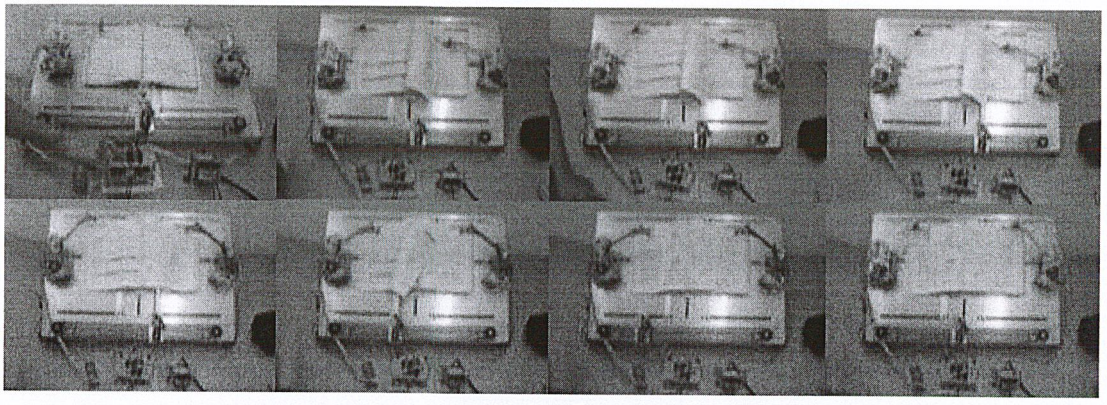
4.2 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง

เครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัติเครื่องนี้ ได้ถูกออกแบบกลไกให้คล้ายกับการเปิดหนังสือด้วยมือคน โดยใช้ Stepping Motors 6 ตัวในการขับกลไก กลไกจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีการป้อนไฟฟ้าเข้าไป ซึ่งชุดแผงวงจรจะเป็นตัวรับสัญญาณมาจากชุดควบคุมแล้วส่งผ่านไปยังเครื่อง ดังนั้นขั้นตอนการทำงานของเครื่องเปิดหนังสือเครื่องนี้ จึงไม่มีอะไรซับซ้อนมากนัก ซึ่งขั้นตอนการทำงานของเครื่องสามารถดูได้จาก รูป 4.1 และ 4.2 โดยภาพนิ่งที่ได้มานั้นเป็นภาพที่ได้มาจาก Clip VDO การทำงานจริงของเครื่อง



รูป 4.7 การเปิดหนังสือแบบย้อนหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.8 การเปิดหนังสือแบบไปข้างหน้า

ขั้นตอนที่ 1 ป้อน Input ผ่านชุดควบคุม ซึ่งสามารถเปิดไปข้างหน้า หรือย้อนกลับได้

ขั้นตอนที่ 2 ชุดแขนกลไกจะเคลื่อนตัวเพื่อเกลี่ยหน้ากระดาษให้แยกออกมา 1 แผ่น

ขั้นตอนที่ 3 ชุดกวาดหน้ากระดาษจะเคลื่อนตัวจากตำแหน่งตรงกลางโต๊ะ ไปยังด้านที่หน้ากระดาษได้ถูกเกลี่ย ขึ้นมาแล้ว

ขั้นตอนที่ 4 ชุดกวาดหน้ากระดาษจะทำการยึดแผ่นเหล็กที่มีคุณสมบัติคล้ายตลับเมตรออกมา เพื่อเตรียมกวาดหน้ากระดาษ

ขั้นตอนที่ 5 ชุดแขนกลไกจะทำการยกตัวขึ้น และชุดกวาดหน้ากระดาษก็จะเคลื่อนตัวเพื่อกวาดหน้ากระดาษไปยังอีกด้านหนึ่งของหนังสือ

ขั้นตอนที่ 6 เมื่อชุดกวาดหน้ากระดาษเคลื่อนตัวมาอีกด้านจนสามารถเปิดหน้าหระดาษได้ และสุดระยะของมัน มันจะดึงแผ่นเหล็กกลับเข้ามา

ขั้นตอนที่ 7 ชุดแขนกลไกจะเคลื่อนตัวลงมาทับหน้ากระดาษที่ตำแหน่งเดิม และชุดกวาดหน้ากระดาษก็จะเคลื่อนตัวมาที่ตำแน่งตรงกลางโต๊ะดังเดิม เครื่องจะหยุดการทำงานทั้งหมด ซึ่งถือว่าจบการทำงานใน 1 วัฏจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิธีและผลการทดลอง

5.1 วิธีการทดลอง

สำหรับวิธีการทดลองเครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัตินั้น ผู้จัดทำได้ทำการสุ่มทดสอบจากหนังสือจำนวน 10 เล่ม ที่มีความแตกต่างกันในเรื่องของขนาด และคุณลักษณะของเนื้อกระดาษ ซึ่ง 2 เล่มแรก (การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1 และ Thermodynamic vol.2) เป็นหนังสือตัวอย่างที่ทางผู้จัดทำได้นำมาทดลองใช้ออกแบบเครื่องตั้งแต่เริ่มโครงงาน ส่วนอีก 8 เล่มได้ทำการสุ่มหยิบมาจากห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยวิธีการทดลองนั้นได้นำเอาหนังสือแต่ละเล่มมาเปิด ด้วยเครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัติ ซึ่งจะเปิดแบบไปข้างหน้าและแบบย้อนกลับอย่างละ 10 ครั้ง

5.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองเครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัติ ได้ผลดังนี้

O – เปิดได้ , X – เปิดไม่ได้

ผลการทดลองครั้งที่ 1 : ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์, ชาญ ถนัดงาน, "การออกแบบเครื่องจักรกล" เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 10. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2541 (กระดาษบาง ไม่มัน)

การเปิดหน้าหนังสือ / ครั้งที่	เปิดไปข้างหน้า	เปิดย้อนกลับ
1	O	O
2	O	O
3	O	X
4	O	O
5	O	O
6	X	O
7	O	O
8	O	O
9	X	O
10	O	X

ประสิทธิภาพการเปิดหนังสือมีค่า 80 %

ตาราง 5.1 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 2 : Yunus A.Cengel, Michael A.Boles, "Thermodynamic", vol.2, Prentice Hall, 1989 (กระดาษบาง มัน)

ครั้งที่ \ การเปิดหน้าหนังสือ	เปิดไปข้างหน้า	เปิดย้อนกลับ
1	O	O
2	O	O
3	O	O
4	X	O
5	O	X
6	O	O
7	X	X
8	X	O
9	O	O
10	X	O

ประสิทธิภาพการเปิดหนังสือมีค่า 70 %

ตาราง 5.2 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 2

ผลการทดลองครั้งที่ 3 : William E.Pinney, "Management Science", Second Edition, Harpar Inernational Edition รหัส HD 30.25 255 (กระดาษบาง ไม่มัน ค่อนข้างเก่า)

ครั้งที่ \ การเปิดหน้าหนังสือ	เปิดไปข้างหน้า	เปิดย้อนกลับ
1	O	O
2	O	O
3	O	O
4	X	O
5	O	X
6	O	O
7	O	O
8	X	O
9	O	X
10	O	X

ประสิทธิภาพการเปิดหนังสือมีค่า 75 %

ตาราง 5.3 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 4 : "The lotus guide to 1-2-3 Advanced Macro Command", Addison Wesley รหัส HF 5548.4.L67 (กระดาษหนา ไม่มัน เก่า)

ครั้งที่ \ การเปิดหน้าหนังสือ	เปิดไปข้างหน้า	เปิดย้อนกลับ
1	O	O
2	O	O
3	O	X
4	X	O
5	O	X
6	O	O
7	X	O
8	X	X
9	O	X
10	X	X

ประสิทธิภาพการเปิดหนังสือมีค่า 55 %

ตาราง 5.4 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 4

ผลการทดลองครั้งที่ 5 : "Functional Analysis Optimization", Oxford รหัส HB 135 F872 (กระดาษหนา ไม่มัน ใหม่)

ครั้งที่ \ การเปิดหน้าหนังสือ	เปิดไปข้างหน้า	เปิดย้อนกลับ
1	O	O
2	X	O
3	O	O
4	X	O
5	O	X
6	O	O
7	X	X
8	X	X
9	X	O
10	X	X

ประสิทธิภาพการเปิดหนังสือมีค่า 50 %

ตาราง 5.5 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 6 : "Probability Theory and Statical Inference", Cambridge รหัส HB 139 S65p

(กระดาษค่อนข้างหนา มัน ใหม่)

การเปิดหน้าหนังสือ / ครั้งที่	เปิดไปข้างหน้า	เปิดย้อนกลับ
1	X	O
2	O	O
3	O	X
4	O	O
5	O	O
6	O	X
7	O	X
8	X	O
9	X	X
10	O	O

ประสิทธิภาพการเปิดหนังสือมีค่า 65 %

ตาราง 5.6 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 6

ผลการทดลองครั้งที่ 7 : "Autometod office System", HRW รหัส HF 5547.5 G5

(กระดาษบาง ไม่มัน เก่า)

การเปิดหน้าหนังสือ / ครั้งที่	เปิดไปข้างหน้า	เปิดย้อนกลับ
1	O	O
2	O	O
3	O	O
4	O	O
5	O	O
6	O	O
7	O	O
8	X	O
9	O	X
10	X	O

ประสิทธิภาพการเปิดหนังสือมีค่า 85 %

ตาราง 5.7 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 8 : "The Electronic Office", South Western รหัส HF 5547 T55t

(กระดาษค่อนข้างบาง ค่อนข้างมัน)

ครั้งที่ \ การเปิดหน้าหนังสือ	เปิดไปข้างหน้า	เปิดย้อนกลับ
1	O	O
2	X	O
3	O	O
4	O	X
5	O	O
6	O	O
7	O	O
8	O	X
9	X	O
10	O	X

ประสิทธิภาพการเปิดหนังสือมีค่า 75 %

ตาราง 5.8 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 8

ผลการทดลองครั้งที่ 9 : "Developing MS-office", Ms Press รหัส HF 5548.2 562d

(กระดาษหนา ไม่มัน)

ครั้งที่ \ การเปิดหน้าหนังสือ	เปิดไปข้างหน้า	เปิดย้อนกลับ
1	X	O
2	O	O
3	O	X
4	O	O
5	O	X
6	X	O
7	X	X
8	X	O
9	O	X
10	O	X

ประสิทธิภาพการเปิดหนังสือมีค่า 55 %

ตาราง 5.9 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองครั้งที่ 10 : "World wide telecommunications", Wiley Interscience รหัส HF 5541.T4 V55 (กระดาษบาง มัน)

การเปิดหน้าหนังสือ / ครั้งที่	เปิดไปข้างหน้า	เปิดย้อนกลับ
1	O	O
2	O	O
3	O	O
4	O	O
5	O	X
6	O	O
7	O	X
8	O	O
9	X	O
10	O	O

ประสิทธิภาพการเปิดหนังสือมีค่า 85 %

ตาราง 5.10 แสดงผลการทดลองครั้งที่ 10

จากผลการทดสอบเครื่อง ประสิทธิภาพโดยรวมของการเปิดหนังสือมีค่า 69.5 % สิ่งที่เกิดขึ้นที่มีผลทำให้เปิดหน้ากระดาษไม่ได้ เนื่องจาก

- ชุดแขนกลไก
  - การเกลี่ยหน้ากระดาษไม่สามารถแยกหน้ากระดาษออกมาได้เพียง 1 แผ่น ซึ่งในบางครั้งอาจเกลี่ย ขึ้นมาได้ 2-3 แผ่น หรือบางครั้งเกลี่ยหน้ากระดาษไม่ได้เลย
  - ยกไม่ได้ระดับตามที่ได้โปรแกรมไว้ ทำให้เมื่อกวาดหน้ากระดาษไปแล้ว ชุดแขนกลไกไม่ได้ลงมาทับกระดาษเหมือนสภาวะเริ่มต้น
- ชุดกวาดหน้ากระดาษ
  - ไม่เลื่อนไปตามตำแหน่งที่ได้โปรแกรมไว้ในบางจังหวะ ทำให้การทำงานของเครื่องข้ามขั้นตอนในการกวาดหน้ากระดาษไป
- ชุดแผงวงจร
  - เกิดความร้อนขึ้นสูงมากบนชุดแผงวงจร โดยเฉพาะตัวขับกระแส (ULN) และ MCS-51 ทำให้เมื่อป้อน Input เข้าไปแล้วไม่มีการตอบสนองใดๆ
- คุณลักษณะของเนื้อกระดาษ
  - เนื้อกระดาษที่มีความหนาและไม่มันทำให้ยากแก่การเปิดหนังสือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
วิจารณ์และสรุปผล

6.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

1. การทำงานของเครื่องเปิดหนังสือในการเปิดหน้าหนังสือแต่ละหน้า จะต้องมีการป้อนอินพุทโดยการกดสวิตซ์ ซึ่งจะมีสวิตซ์เพื่อเปิดหน้ากระดาษไปข้างหน้า และย้อนกลับ ตัว Microcontroller จะเป็นเหมือนสมองสั่งงาน เพื่อให้เครื่องทำงานได้ตามลำดับ ซึ่งมันจะจ่ายไฟให้แก่เครื่อง และให้เครื่องทำงานได้ตามลำดับจนครบ 1 วัฏจักร แล้วตัวมันจะหยุดจ่ายไฟให้กับเครื่อง จนกระทั่งมีการป้อนอินพุทเข้าไปใหม่อีกครั้ง ตัว Microcontroller ก็จะจ่ายไฟให้แก่เครื่องทำงานตามที่ได้โปรแกรมเอาไว้จนครบ 1 วัฏจักร

2. การเปิดหน้ากระดาษบางครั้งเกิดความผิดพลาดขึ้น เช่น แขนกลไกไม่สามารถเกลี่ยกระดาษขึ้นมาได้ หรือบางครั้งอาจเกลี่ยติดขึ้นมา 2-3 แผ่น การโก่งหน้ากระดาษไม่เหมาะสมกับตัวกวาดหน้ากระดาษ ซึ่งเหล่านี้ปัญหาส่วนหนึ่งเกิดจากแรงที่กดลงไปที่หน้ากระดาษไม่คงที่ซึ่งมีผลต่อแรงเสียดทานที่กระทำต่อกระดาษ, ชนิดของกระดาษเป็นแบบหนาและมัน รวมถึงน้ำหนักของกระดาษ, ชุดควบคุมรวนทำให้กลไกไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ตามต้องการ ซึ่งเกิดจากการใช้งานที่ต่อเนื่องกันในเวลาอันสั้น ทำให้ตัวขับกระแส (ULN) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขับมอเตอร์เกิดความร้อน

3. สำหรับชุดควบคุมการทำงาน (Joystick) เพื่อความสะดวกสบายของผู้ใช้งาน ซึ่งตรงส่วนนี้สามารถออกแบบได้มากมายขึ้นกับลักษณะการใช้งาน

6.2 สรุปผลการทดลอง

1. เป็นเครื่องที่ใช้งานได้ง่าย

2. สามารถเปิดหนังสือได้หลายขนาด

3. เครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัติช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ที่ต้องการเปิดหน้ากระดาษแต่ไม่สามารถละมือจากกิจกรรมนั้นได้ รวมไปถึงผู้พิการทางแขนด้วย

4. ประสิทธิภาพการเปิดหน้าของเครื่องเปิดหนังสืออัตโนมัติมีค่า 69.5 %

5. คุณลักษณะของเนื้อกระดาษมีผลต่อการเปิดหน้าหนังสือของเครื่อง

6. คุณสมบัติของวัสดุที่สัมผัสกับกระดาษ ซึ่งติดอยู่ที่ปลายชุดแขนกลไก เพื่อที่จะเกลี่ยกระดาษแยกหน้านั้นต้องมีความยืดหยุ่น และเกาะกระดาษได้ดี

7. ความร้อนที่เกิดขึ้นบนชุดแผงวงจรทำให้เครื่องไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ

6.3 แผนการพัฒนาเครื่องและข้อเสนอแนะ

1. ชุดแขนกลไกสามารถปรับแก้ให้มีขนาดเล็กลงได้ ซึ่งจะไม่เป็นอุปสรรคต่อการอ่านหนังสือและยังทำให้เบาลงซึ่งเป็นผลดีต่อการขับกลไกของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แรงที่กดเพื่อเกลี่ยหน้ากระดาษแต่ละหน้าไม่คงที่ ทำให้การเกลี่ยและการโก่งของหน้ากระดาษมีลักษณะที่เปลี่ยนไปเรื่อยๆ จึงจำเป็นต้องมีตัวช่วยในการกำหนดระยะหดของสปริงที่กด หรือควบคุมแรงกดให้แก่แขนกลไก เพื่อที่จะทำให้แรงกดเท่ากันทุกครั้ง

3. ชุดแขนกลไกที่ทำงานเสมือนนิ้วชี้ ควรปรับแก้ให้มี Linkage ที่ทำหน้าที่เสมือนนิ้วโป้งเพื่อเก็บและหนีบหน้ากระดาษหลังจากการเปิดหน้าหนังสือแล้ว ให้เรียบและพร้อมก่อนที่จะมีการเปิดครั้งต่อไป

4. ควรเปลี่ยนตัวขับกระแสให้สามารถจ่ายกระแสได้มากขึ้น เพราะเมื่อมันร้อนแล้วจะทำให้เครื่องรวนได้ ซึ่งในขั้นตอนนี้ต้องทำการปรับปรุงแผงวงจรใหม่สำหรับตัวขับกระแส

5. ควรต่อวงจรโดยแผ่นวงจรกัดทองแดงซึ่งจะทำให้ตัดปัญหาการช็อตและการเกิดคลื่นรบกวน รวมถึงความร้อนของแผงวงจร ทำให้วงจรมีประสิทธิภาพ

6. เวลาที่ใช้ในการทำงานของเครื่องใน 1 วัฏจักร สามารถที่จะประหยัดเวลาได้มากกว่านี้ ดังนั้นควรจะต้องป้อนโปรแกรมใหม่ให้กับ MCS-51 เลือกคุณสมบัติมอเตอร์ที่เหมาะสม รวมถึงการทดเฟืองที่เหมาะสมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์, ชาญ ฉนัดงาน, "การออกแบบเครื่องจักรกล", เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 10. บริษัท ซี เอ็ดยูเคชั่น จำกัด, ปี พ.ศ.2541

[2] ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์, ชาญ ฉนัดงาน, "การออกแบบเครื่องจักรกล", เล่ม 2, พิมพ์ครั้งที่ 10. บริษัท ซี เอ็ดยูเคชั่น จำกัด, ปี พ.ศ.2541

[3] ชัยวัฒน์ ลิ้พรจิตรวิไล, วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, "MCS-51 Microcontroller Theory & Practical Approach : Atmel AT89c5X" , Innovetive Experiment Co.,Ltd

[4] ประภากร สุวรรณะ,"เอกสารประกอบการเรียนการสอนเรื่องการออกแบบ Power Supply", ชุดที่ 1-5

[5] Barry Daris," Understanding DC Power Supplies&Oscilator", Prentice Hall

[6] http://web.mit.edu/newsoffice/nr/1999/pageturner.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้