สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ

AUTOMATIC SAUSAGE TABLE TOP STUFFER

โดย

นาย จรินทร์ แก้วมาลัย

นาย ณัฐพงษ์ ใจณวรรณ์

นาย ดนุพล แสงใสแก้ว

นายพีรพงศ์ วิริยางกูร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 72264
วัน,เดือน,ปี 12 มิ.ย. 2550

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาระบบควบคุมคณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ
AUTOMATIC SAUSAGE TABLE TOP STUFFER

ผู้จัดทำ นายจรินทร์ แก้วมาลัย 46010095
นายณัฐพงษ์ ใจณวรรณ์ 46010202
นายดนุพล แสงใสแก้ว 46010233
นายพีรพงศ์ วิริยางกูร 46010536

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.เกียรติวรรณ ทรงสัตย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.โยธิน เปรมปราณีรัชต์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผศ.พรสุข รติโรจน์อนันต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ

โดย

นายจรินทร์ แก้วมาลัย 46010095

นายณัฐพงษ์ ใจณวรรณ์ 46010202

นายดนุพล แสงใสแก้ว 46010233

นายพีรพงศ์ วิริยางกูร 46010536

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.เกียรติวรรณ ทรงสัตย์

รศ.ดร. โยธิน เปรมปราณีรัชต์

รศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์

ผศ.พรสุข รติโรจน์อนันต์

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ศึกษาขั้นตอนการสร้างและออกแบบเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ เพื่อนำไปใช้สำหรับอุตสาหกรรมขนาดย่อม โดยสามารถลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มผลผลิตของผู้ประกอบการได้ โครงสร้างของเครื่องประกอบด้วยถังบรรจุไส้กรอกและฝาอัดที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง สำหรับอัดไส้กรอกเข้าไปบรรจุในไส้เทียม ความเร็วของมอเตอร์มีความสำคัญต่อการบรรจุมากต้องควบคุมให้เหมาะสม ในที่นี้จะให้มอเตอร์หมุนเร็วขณะยังไม่แตะเนื้อไส้กรอกเพื่อย่นระยะเวลาการผลิต แต่ในขณะที่แตะเนื้อไส้กรอกจะให้มอเตอร์หมุนช้าเพื่อรักษาคุณภาพของการบรรจุ

โครงงานนี้ ใช้ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่ประกอบด้วย วงจรขับมอเตอร์แบบอนาล็อก (Analog Driver) เอ็นโค้ดเดอร์(Encoder) และไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) ปริมาตรหรือน้ำหนักของไส้กรอกที่ทำได้ขึ้นกับความสัมพันธ์ของระยะการเคลื่อนที่ลงต่อหน่วยเวลาของฝาอัด ขนาดไส้กรอก และปริมาตรของถังบรรจุไส้กรอก จากการทดลองพบว่า เครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติที่ได้สร้างขึ้นสามารถทำงานได้ตามเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC SAUSAGE TABLE TOP STUFFER

By

Mr. Jarin Kaewmalai 46010095

Mr. Nattapong Jainawan 46010202

Mr. Danupon Sangsaikaew 46010233

Mr. Peerapong Viriyangkoon 46010536

Advisor

Asst.Prof. Kiettiwan Songsataya

Assoc.Prof. Dr. Yothin Prempraneerach

Assoc.Prof. Panmanas Sirisomboon

Asst.Prof Pornsuk Ratiroch-anun

Academic year 2006

ABSTRACT

This project presents the design method and constructs an automatic sausage table top stuffer for the SME industrial level which the entrepreneurs can reduce the production cost and increase products in the same time. The automatic sausage table top stuffer composes of a sausage material tank and the press plate that drove by the DC motor to produce the sausages. The pressing speed of the press plate is very important. It needs to be controlled appropriately. Namely, the DC motor needs to be rotated quite fast when the press plate operates without touching the sausage material. On the other hands, the press plate has to keep the slow speed during the period of pressing the sausage material to maintain the sausages' quality.

Analog driver module, encoder module and micro-controller module are introduced for controlling such desired speed. The volume or weight of the produced sausages depends on the volume of the sausage material tank. The experiment results show the automatic sausage table top stuffer can reaches the project target.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากบุคคลหลายท่านโดยผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผศ.เกียรติวรรณ ทรงสัตย์ ผศ.พรสุข รติโรจน์อนันต์ รศ.ดร โยธิน เปรมปราณีรัชต์ และรศ.ดร.ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำความรู้ที่เป็นประโยชน์ตลอดจนความเอาใจใส่ดูแลสอบถามความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ พร้อมทั้งคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่างๆ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ที่อนุเคราะห์ให้ยืมอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทำงานอย่างครบครัน ขอขอบคุณพี่ๆธุรการที่อำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจ และให้คำแนะนำแลกเปลี่ยนความรู้ที่มีประโยชน์ตลอดการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาของผู้จัดทำ ที่ได้ให้การอุปการะมาอย่างดีเยี่ยมและส่งเสียให้เล่าเรียนมาจนได้มีวันนี้ อีกทั้งยังคอยให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำตลอดเวลา

คณะผู้จัดทำ
นาย จรินทร์ แก้วมาลัย
นาย ณัฐพงษ์ ใจณวรรณ์
นาย ดนุพล แสงใสแก้ว
นายพีรพงศ์ วิริยางกูร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ทฤษฎีเฟืองส่งกำลัง	3
2.1.1 คำจำกัดความ	3
2.1.2 มาตรฐานการบอกขนาดของฟัน	5
2.1.3 ชนิดของเฟืองส่งกำลัง และการขบของฟันเฟือง	6
2.1.4 การขบกันของเฟือง	8
2.2 ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)	11
2.2.1 วงจรสมมูลย์และค่าแรงบิด (Equivalent Circuit and Electromagnetic Toqu)	13
2.3 วงจรพัลส์วิดท์โมดูเลชั่น (Pulse Width Modulation)	16
2.3.1 วงจรกำเนิดกำเนิดลูกคลื่นสามเหลี่ยม	16
2.3.2 วงสร้างสัญญาณพัลส์	16
2.4 เซ็นเซอร์และเอ็นโค้ดเดอร์ (Sensor and Encoder)	17
2.4.1 ทาโคเจเนอเรเตอร์ (Tacho generator)	17
2.4.2 เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)	19
2.5 พื้นฐานภาษาซี	21
2.5.1 โครงสร้างภาษา C	21
2.5.1.1 พรีโปรเซสเซอร์ไดเรคทีฟ (Preprocessor directives)	21
2.5.1.2 การประกาศ (Declarations)	21
2.5.1.3 การกำหนดค่า (Definitions)	21
2.5.1.4 นิพจน์ (Expressisions)	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.5 สเตตเมนต์ (Statements) 21
2.5.1.6 ฟังก์ชั่น (Functions) 21
2.5.1.7 ฟังก์ชั่นหลัก (Main function) 21
2.6 คำสั่งควบคุมโปรแกรม (Program Control Statement) 22
2.6.1 ชุดคำสั่งกำหนดเงื่อนไข 22
2.6.1.1 คำสั่ง if...else... 22
2.6.1.2 คำสั่ง switch 23
2.6.2 ชุดคำสั่งการวนลูป 23
2.6.2.1 คำสั่งลูป while( ) 23
2.6.2.2 คำสั่งลูป do ... while( ) 23
2.6.2.3 คำสั่งลูป for 24
บทที่ 3 การออกแบบโครงสร้างเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ 25
3.1 การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ 25
3.1.1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่อง 25
3.1.2 การออกแบบชุดถังบรรจุ 26
3.1.3 การออกแบบชุดเฟืองส่งกำลัง 29
3.1.4 การคำนวณชุดเฟืองส่งกำลัง 30
3.1.5 การคำนวณชุดส่งกำลังมอเตอร์ 31
3.1.6 การคำนวณค่าทอร์กของมอเตอร์ 32
3.1.7 การเลือกมอเตอร์และเอ็นโค้ดเดอร์ 33
3.1.7.1 การเลือกมอเตอร์ 33
3.7.1.2 การเลือกเอนโค้ดเดอร์ 34
3.2 การออกแบบการควบคุมการทำงานของเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ 35
3.3 กำหนด Speed Profile ของมอเตอร์ในการทำงานของเครื่องบรรจุไส้กรอก 1 รอบการทำงาน 36
3.4 การออกแบบวงจรควบคุมอัตโนมัติ 37
3.4.1 อธิบายการทำงาน 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4 การทดลอง 43

4.1 การทดลองที่ 1 46

4.1.1 การทดลองความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความเร็วรอบของมอเตอร์ 46

4.2 การทดลองที่ 2 48

4.2.1 การทดลองวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ขณะไม่ใส้กรอก 48

4.3 การทดลองที่ 3 49

4.3.1 การทดลองวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ขณะมีใส้กรอก 49

4.4 การทดลองที่ 4 50

4.4.1 การทดลองหาค่ากำลังไฟฟ้า 50

4.5 การทดลองที่ 5 52

4.5.1 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องบรรจุไส้กรอก 52

4.6 การทดลองที่ 6 54

4.5.1 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องบรรจุไส้กรอก 54

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 58

5.1 สรุปผลการทดลอง 58

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะแนวทางการแก้ไข 58

ภาคผนวก 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 เฟืองส่งกำลัง	4
รูปที่ 2.2 ชนิดของเฟืองส่งกำลัง	7
รูปที่ 2.3 การขบเฟือง	8
รูปที่ 2.4 ลักษณะรูปร่างของฟันเฟือง	10
รูปที่ 2.5 มอเตอร์กระแสตรง	11
รูปที่ 2.6 แรงที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กในขดลวด	11
รูปที่2.7 แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	12
รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์	15
รูปที่2.9 แสดงสัญญาณเอาพุตของวงจรPWMในส่วนของวงจรสร้างลูกคลื่นสามเหลี่ยม	16
รูปที่2.10 แสดงเอาท์พุทของวงพัลซ์วิดโมดูเลชั่นในส่วนของวงจรสร้างพัลซ์	17
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างทาโคเจเนเรเตอร์	18
รูปที่ 2.12 โครงสร้างภายในของทาโคเจเนเรเตอร์	18
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างเอ็นโค้ดเดอร์	19
รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างกลไกของเอ็นโค้ดเดอร์	19
รูปที่ 2.15 แสดงสัญญาณเอ็นโค้ดเดอร์ 2 ช่อง มีมุมต่างเฟส 90 องศา	21
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องบรรจุไส้กรอก	25
รูปที่ 3.2 ถังบรรจุไส้กรอก	26
รูปที่ 3.3 ฝาอัดบรรจุไส้กรอก	27
รูปที่ 3.4 กรวยป้อนทั้ง 3 ขนาด	28
รูปที่ 3.5 ชุดเฟืองส่งกำลัง	29
รูปที่ 3.6 แสดงการคำนวณเฟือง	30
รูปที่ 3.7 แสดงการต่อชุดเฟืองทดความเร็วกับมอเตอร์	33
รูปที่ 3.8 การทำงานโดยรวมของเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ	35
รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ของความเร็วเชิงมุมกับการกระจัด	36
รูปที่ 3.10 โฟลวชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมทำงาน	37
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบระบบควบคุม	38
รูปที่ 3.12 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก	39
รูปที่ 3.13 แสดงการควบคุมมอเตอร์แบบ H-Bridge	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 3.14 ชุดวงจรขับมอเตอร์ 42
รูปที่ 4.1 ชุดขับมอเตอร์ 43
รูปที่ 4.2 ชุดวงจรควบคุมและวงจรแปลงสัญญาณแรงดันดิจิตอลเป็นอนาล็อก 44
รูปที่ 4.3 เอ็นโค้ดเดอร์และมอเตอร์ขับเพลาส่งกำลัง 44
รูปที่ 4.4 รูปเครื่องอัดไส้กรอกที่เสร็จสมบูรณ์ พร้อมนำไปใช้งานได้ 45
รูปที่4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความเร็วรอบของมอเตอร์ 47
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากการทำงานโดยรวม 52
รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบการทำงานของการรูปแบบการควบคุมและสัญญาณเอาท์พุทจากการทดลอง53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขนาดเฟืองมาตรฐาน	6
2.2 มาตรฐานของฟันเฟืองในเทอมโมดูล	9
2.3 มาตรฐานของฟันเฟืองในเทอมไดอะมิทรัลพิตช์	9
4.1 แสดงค่าแรงดันและความเร็วรอบของมอเตอร์	44
4.2 แสดงค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์	46
4.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของการทำงานแบบอัตโนมัติ	47
4.5 บันทึกผลการทดลอง	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมไปอย่างรวดเร็ว อาทิ ทางด้านวิศวกรรม อาหารได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เพื่อรองรับความต้องการของผู้บริโภคที่มีเพิ่มมากขึ้น แต่ในอีกมุมหนึ่งคืออุตสาหกรรมขนาดย่อมหรืออุตสาหกรรมในครัวเรือนยังมีการผลิตขั้นพื้นฐานและยุ่งยากเพราะมีการนำเทคโนโลยีมาใช้ในการผลิตน้อยมาก หากสามารถเพิ่มผลผลิตในอุตสาหกรรมขนาดย่อมให้มากขึ้น โดยลดเวลาและต้นทุนการผลิต

ปัจจุบันจะเห็นได้ว่า ตามท้องตลาดพบว่าไส้กรอกนั้นเป็นอาหารที่นิยม และแพร่หลายกันเป็นอย่างมาก เนื่องจากต้นทุนการผลิตต่ำ เช่น ไส้กรอกหมู ไก่ เนื้อ ไส้กรอกอีสาน กุนเชียง เป็นต้น แต่กำลังผลิตต่อวันนั้นมีจำนวนจำกัด เนื่องจากยังต้องอาศัยแรงงานคนในการผลิต หากมีการเพิ่มจำนวนไส้กรอกอาจต้องเพิ่มจำนวนแรงงาน และเพิ่มค่าใช้จ่ายจึงเป็นสาเหตุให้เกิดความคิดที่จะทำเครื่องบรรจุไส้กรอกแบบอัตโนมัติขึ้นมาเพื่อลดต้นทุนจากการนำเข้าและลดระยะเวลาในการผลิต อีกทั้งยังคลอบคลุมการผลิตไส้กรอกประเภทอื่นๆได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาขนาดเครื่องบรรจุไส้กรอกที่ผู้ประกอบการขนาดย่อมต้องการ
2. ออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติสำหรับอุตสาหกรรมขนาดย่อม

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาการทำงานของเครื่องอัดไส้กรอกอัตโนมัติ
2. สำรวจปริมาณและขนาดของไส้กรอกชนิดต่างๆและขนาดของถังอัดไส้กรอกที่เหมาะสมในการผลิตระดับอุตสาหกรรมขนาดย่อม
3. ออกแบบโครงสร้างหลักของเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ รวมทั้งอุปกรณ์การควบคุมต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์กระแสตรง เอนโค้ดเดอร์ และวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลต(PWM)
4. ศึกษาหลักการทำงานของชุดเฟืองส่งกำลัง การเลือกเฟือง
5. ออกแบบและติดตั้งชุดเฟืองทดให้เหมาะสมกับขนาดของถังและกำลังอัดต่อไส้กรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ศึกษาหลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง คำนวณหาความเร็วของมอเตอร์กระแสตรง ที่เหมาะสมกับเครื่องบรรจุไส้กรอก และการเลือกมอเตอร์

7. ออกแบบการติดตั้งชุดต้นกำลังส่งมอเตอร์กระแสตรง และศึกษาการทำงานของเอนโค้เดอร์ ศึกษาการทำงานของวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลต

8. ทดสอบความสัมพันธ์ของการทำงานระหว่างมอเตอร์กับ เอนโค้ดเดอร์

9. ทดสอบการทำงานของวงจรพัลส์วิดต์มอดูเลทในการควบคุมการหมุนของมอร์เตอร์

10. เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาซี เขียนลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ในการควบคุมขับเคลื่อนเพื่อขับชุดต้นกำลัง

11. ทดสอบการทำงานจริงของโครงงานที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

เครื่องบรรจุไส้กรอกเป็นการออกแบบเพื่อช่วยลดเวลาการทำงาน และเพิ่มความสะดวกให้แก่ผู้ประกอบการ การทำงานโดยรวมคือ มีต้นส่งกำลังเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อขับชุดเฟืองส่งกำลังไปยังเฟืองสะพานที่ติดตั้งในแนวดิ่ง เพื่ออัดไส้กรอกจากด้านบนของถังให้ลงมาด้านล่างของถัง ไส้กรอกที่ถูกอัดจะออกมาตามรูที่อยู่ด้านล่างของถังที่ต่อกับกรวย ซึ่งสามารถกำหนดขนาดของไส้กรอกได้โดยการเปลี่ยนขนาดของกรวยที่ต่ออยู่กับถัง การบรรจุไส้กรอกนั้นจะบรรจุลงในไส้เทียมหรือไส้หมู ในขั้นตอนการบรรจุไส้กรอกในขณะที่ฝาอัดยังไม่สัมผัสไส้กรอกความเร็วของมอเตอร์จะมีค่าสูง แต่เมื่อฝาอัดสัมผัสไส้กรอกความเร็วจะมีค่าที่ลดลง เพราะถ้าความเร็วมอเตอร์มีค่าสูงจะทำไส้กรอกแตกได้และเมื่อฝาอัดไส้กรอกหมดถัง มอเตอร์จะทำงานโดยการเปลี่ยนทิศทางการหมุนจะทำให้ฝาอัดเคลื่อนที่ขึ้นด้วยความเร็วที่สูงขึ้น การทดลองนี้ใช้พัลส์วิดต์มอดูเลท(PWM)เป็นตัวควบคุมมอเตอร์และมีเอ็นโค้ดเดอร์(Encoder)ในการควบคุมความเร็ว และทิศทางการหมุนโดยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมควบคุมการทำงาน

2.1 ทฤษฎีเฟืองส่งกำลัง

โครงงานนี้เราใช้เฟืองในการส่งถ่ายกำลังจากเฟืองขับ หรือ เรียกว่า พิเนียน (Pinion) จากต้นกำลังคือมอเตอร์ โดยเฟืองขับจะขับกับเฟืองตาม(Driven Gear)ไปยังเฟืองสะพาน(Rack Gear) ในการขับเคลื่อนให้ฝาอัดเคลื่อนที่ขึ้นลง เฟืองจึงเป็นอุปกรณ์จำเป็นอย่างยิ่งในการส่งถ่ายกำลังและยังให้ความแม่นยำอีกด้วย

2.1.1 คำจำกัดความ

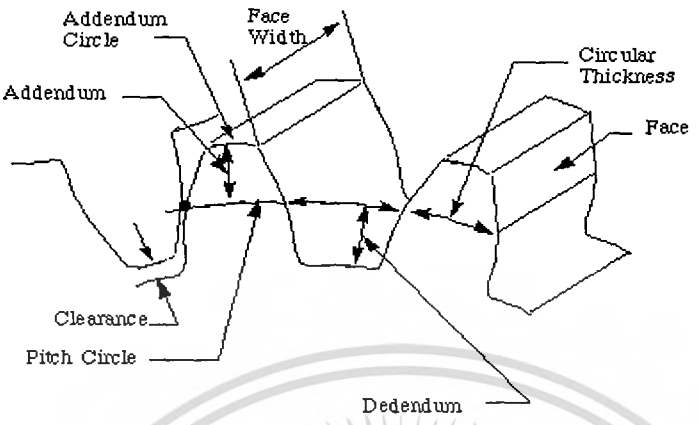
ก่อนที่จะกล่าวถึงชนิดของเฟืองสำหรับส่งกำลัง จำเป็นที่จะต้องเข้าใจกับคำจำกัดความในการเรียกชื่อส่วนต่างๆของเฟืองที่จะต้องใช้อยู่เสมอ โดยพิจารณาจากรูปที่ 2.1 ดังต่อไปนี้

วงกลมพิตช์(Pitch Circle) เป็นมิติหลักในการเรียกขนาดของเฟือง โดยการบอกขนาดของเฟืองด้วยเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ (Pitch Diameter)

เซอคิวลาร์พิตช์ (Circular pitch : p)หรือระยะพิตช์ เป็นระยะทางที่วัดจากจุดหนึ่งบนฟันเฟืองไปยังอีกจุดหนึ่งบนฟันเฟืองถัดไปบนวงกลมพิตช์

โมดูล (Module :m) เป็นอัตราส่วนระหว่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์กับจำนวนฟันของเฟือง โดยโมดูลนี้เป็นดัชนีบอกขนาดฟันเฟืองในระบบ เอสไอ (SI) มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 เฟืองส่งกำลัง

ไดอะมิทรัลพิตช์ (Diametral pitch :P) เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนฟันเฟืองกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังนั้นจึงเป็นส่วนกลับของโมดูล ไดอะมิทรัลพิตช์ เป็นดัชนีบอกขนาดฟันในระบบอังกฤษ มีหน่วยเป็น นิ้ว

แอดเดนดัม(Addendum : A) คือ ช่วงสูงบน (Top Land) เป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างยอดฟันถึงวงกลมพิตช์

ดีเดนดัม (Dedendum : B) คือ ช่วงสูงล่าง(Bottom) เป็นระยะที่วัดในแนวรัศมีระหว่างโคนฟัน ถึงวงกลมพิตช์ ดังนั้นความสูงของฟันเฟือง คือ ผลรวมระหว่าง A กับ D

เคลียร์แรนซ์ (Clearance : C) ในการขบกันของเฟือง ดีเดนดัมของเฟืองหนึ่งต้องมีค่ามากกว่าแอดเดนดัมของอีกเฟืองหนึ่งเพื่อที่จะไม่ให้เกิดการขัดกันขึ้นผลต่างระหว่างค่าสองค่านี้เรียกว่า เคลียร์แรนซ์

ความหนาของฟัน (Face Width) คือ ขนาดของฟันเฟืองที่วัดในทิศทางเดียวกับแนวแกนของเฟือง

อัตราทด (Velocity ratio : m_ω) คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วเชิงมุมของเฟืองต่อความเร็วเชิงมุมของเฟืองตาม

$$m_\omega = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{N_2}{N_1} \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ ω = ความเร็วเชิงมุม ,rad/s

n = ความเร็วรอบ , rpm

d = เส้นผ่านศูนย์กลางพิตช์ , mm หรือ in.

N = จำนวนฟัน

2.1.2 มาตรฐานการบอกขนาดของฟัน

ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ดัชนีสำหรับการบอกขนาดของฟันเฟืองอาจจะบอกเป็นพิตช์ในระบบอังกฤษ หรือบอกเป็นโมดูลในระบบเอสไอ จากคำจำกัดความที่ผ่านมาจะได้ว่า

ไดอะมิทรัลพิตช์ $$P = \frac{N}{d} \quad (2.2)$$

โดย d มีหน่วยเป็น in.

โมดูล $$m = \frac{d}{N} \quad (2.3)$$

โดยที่ d มีหน่วยเป็น mm

และเซอร์คิวลาพิตช์ $$p = \frac{\pi d}{N} = \pi m \quad (2.4)$$

สำหรับเฟืองที่ผลิตโดยการหล่อ ควรจะใช้ค่าเซอคิวลาพิตช์เพราะจะทำให้สามารถหล่อได้สะดวก ส่วนเฟืองที่ผลิตโดยวิธีการตัดกลึง(Machined) มักจะเรียกเป็นไดอะมิทรัลพิตช์ หรือโมดูลเพราะเป็นอุปกรณ์ในการตัดเฟืองมาตรฐาน การเลือกใช้เฟืองควรจะเลือกให้ตรงกับอุปกรณ์ตัดฟันมาตรฐานที่มีอยู่แล้ว ดังในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ขนาดเฟืองมาตรฐาน

Module m , mm	Module m , mm	Module m , mm	Diametral Pitch Dp , in^{-1}	Diametral Pitch Dp , in^{-1}	Diametral Pitch Dp , 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	

2.1.3 ชนิดของเฟืองส่งกำลัง และการขบของฟันเฟือง

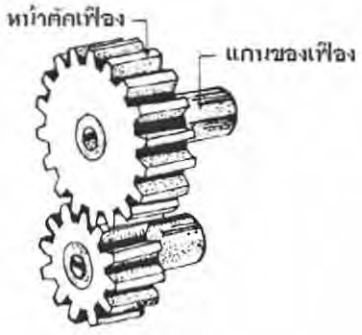
เฟืองเป็นชิ้นส่วนในเครื่องจักรกลประเภทหนึ่งที่ใช้ทำหน้าที่ในการส่งกำลัง หรือถ่ายทอดการหมุนจากเพลาหนึ่งไปยังอีกเพลาหนึ่งได้อย่างแม่นยำ ส่วนมากเฟืองขับ (Driving Gears) หรือเรียกว่า พิเนียน (Pinion) จะมีขนาดเล็กกว่า เฟืองตาม (Rack gears) แต่การใช้งานบางโอกาสอาจใช้เฟืองใหญ่เป็นเฟืองขับก็ได้ โดยทั่วไปเฟืองแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ได้แก่

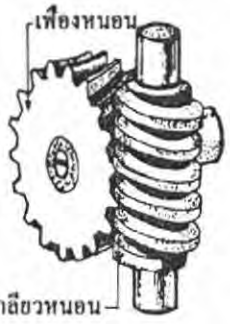
เฟืองตรง (Spur Gear) เป็นเฟืองที่มีลักษณะเป็นล้อทรงกระบอก มีฟันขนานกับแกนของตัวเฟือง มีหน้าตัดของฟันเฟืองขนานเท่ากันและเหมือนกันตลอดทั้งเฟือง

เฟืองหนอน (Worm Gear) เป็นเฟืองที่มักใช้ประกอบกับเกลียวหนอน โดยเกลียวหนอนจะส่งกำลังหมุนไปขับให้เฟืองหนอนหมุนตาม เฟืองชนิดนี้นิยมใช้ทดรอบความเร็วสูงๆให้เป็นความเร็วต่ำมากๆเช่น ในการทดรอบจากมอร์เตอร์ความเร็วสูง เป็นต้น

เฟืองดอกจอก(Bevel Gear) เป็นเฟืองที่มีลักษณะรูปร่างเป็นทรงกรวย (Cone) ฟันของเฟืองจะอยู่โดยรอบผิวของกรวยและจะขนานกับแกนของเฟือง เฟืองดอกจอกใช้สำหรับเปลี่ยนทิศทางการส่งกำลังระหว่างเพลาที่ตั้งฉากกัน เช่น การส่งกำลังไปยังเพลาของล้อรถ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เฟืองตรง

เฟืองหนอน

เฟืองดอกจอก

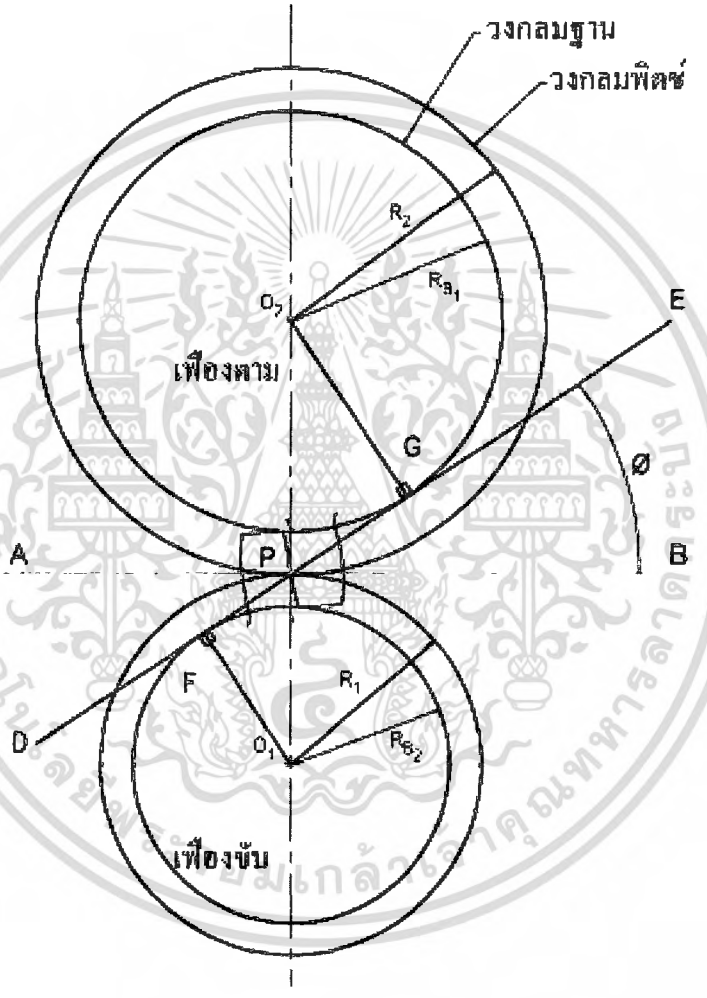
รูปที่ 2.2 ชนิดของเฟืองส่งกำลัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การขบกันของเฟือง

การที่เฟืองจะสามารถขบกันได้นั้น ก็ต่อเมื่อเฟืองคู่นั้นเป็นไปตามกฎการขบของเฟือง ซึ่งกล่าวว่า "รูปร่างของฟันเฟืองจะต้องทำให้เส้นตั้งฉากร่วมที่ลาก ณ จุดสัมผัสระหว่างฟันทั้งสองผ่านจุดสัมผัสคงที่จุดหนึ่งซึ่งอยู่บนเส้นโยงระหว่างจุดศูนย์กลางของเฟืองทั้งสอง จุดนี้เรียกว่าจุดพิตช์(Pitch point)"



รูปที่ 2.3 การขบเฟือง

เมื่อพิจารณา รูปที่2.3 จุดคงที่ดังกล่าวนี้คือ จุด P เส้น DE เรียกว่า เส้นอินโวลูตเคอฟ เป็นเส้นที่ลากจากจุดสัมผัสวงกลมฐานของเฟืองผ่านจุดคงที่ P เส้นตั้งฉากกับอินโวลูตเคอฟ จากจุดศูนย์กลางของเฟืองทั้งสองเป็นแนวเส้นแรงปฏิกิริยาที่ฟันเฟืองกระทำเรียกว่า แนวการกระทำ (Line of action) หรือแนว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กด(Pressure line)และมุม ϕ ในรูปเรียกว่า มุมกด (Pressure angle) เฟืองที่ผลิตใช้กับเครื่องจักรกลในปัจจุบันนี้มีมุมกดเท่ากับ $14\frac{1}{2}$, 20 และ 25 องศา จากตารางที่ 1.3และตารางที่ 1.4 แสดงมาตรฐานของฟันเฟืองที่เป็นอินโวลูตเคอฟสำหรับมุมกด$14\frac{1}{2}$,20 และ25องศา ซึ่งบอกในเทอมโมดูลและไดอะมิทรัลพิตช์ตามลำดับในกรณีที่จะไม่ให้เกิดการขัดกันอาจจะไม่ใช้ความยาวของฟันทั้งหมดตามมาตรฐาน Full Depth(FD) แต่จะตัดความสูงของฟันออกเล็กน้อยและเรียกมาตรฐานนี้ว่า Stub teeth

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานของฟันเฟืองในเทอมโมดูล

รายละเอียด	$14\frac{1}{2}^{O}$ FD	20^{O} FD พิตช์หยาบ*	20^{O} FD พิตช์ละเอียด*	20^{O} FD Stub	25^{O} FD
แอดเดนดัม	m	m	m	0.8 m	m
ดีเดนดัม	1.157m	1.25m	1.2m + 0.0.5	m	1.25m
เคลียร์แรนซ์	0.157m	0.25m	0.2m + 0.0.5	0.2m	0.25m
ความสูงที่ใช้งาน	2m	2m	2m	1.6m	2m
ความสูงทั้งหมด	2.157m	2.25m	2.2m + 0.05	1.8m	2.25m

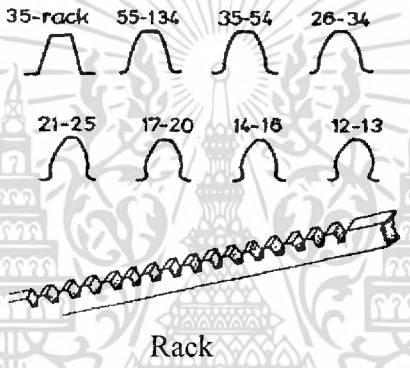
ตารางที่ 2.3 มาตรฐานของฟันเฟืองในเทอมไดอะมิทรัลพิตช์

รายละเอียด	$14\frac{1}{2}^{O}$ FD	20^{O} FD พิตช์หยาบ*	20^{O} FD พิตช์ละเอียด*	20^{O} FD Stub	25^{O} FD
แอดเดนดัม	$\frac{1}{P}$	$\frac{1}{P}$	$\frac{1}{P}$	$\frac{0.8}{P}$	$\frac{1}{P}$
ดีเดนดัม	$\frac{1.157}{P}$	$\frac{1.25}{P}$	$\frac{1.2}{P}$ + 0.002	$\frac{1}{P}$	$\frac{1.25}{P}$
เคลียร์แรนซ์	$\frac{0.157}{P}$	$\frac{0.25}{P}$	$\frac{0.2}{P}$ + 0.002	$\frac{0.20}{P}$	$\frac{0.25}{P}$
ความสูงที่ใช้งาน	$\frac{2}{P}$	$\frac{2}{P}$	$\frac{2}{P}$	$\frac{1.6}{P}$	$\frac{2}{P}$
ความสูงทั้งหมด	$\frac{2.157}{P}$	$\frac{2.25}{P}$	$\frac{2.2}{P}$ + 0.002	$\frac{1.8}{P}$	$\frac{2.25}{P}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* พิตช์ละเอียด (Fine Pitch) ให้นับตั้งแต่ขนาด 20P(โมดูล 1.25 ลงมา)ขึ้นไป นอกนั้นให้ถือว่า เป็นพิตช์หยาบ (Coarse Pitch)

ส่วนรูปร่าง และขนาดของฟันเฟืองนั้นมีหลายขนาด ดังรูปที่ 2.4 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนของฟันเฟือง เช่น เฟืองที่มีจำนวน 12 – 13 ฟัน จะมีลักษณะเป็นฐานคอด และฐานเฟืองจะตรงมากขึ้น เมื่อจำนวนฟันมีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆจนมากที่สุดคือ เฟืองสะพาน(Rack Gear) ซึ่งเป็นเฟืองที่มีฟันเรียงเป็นแนวเส้นตรง

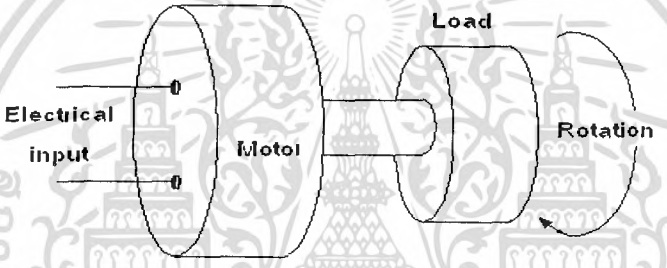


รูปที่ 2.4 ลักษณะรูปร่างของฟันเฟือง

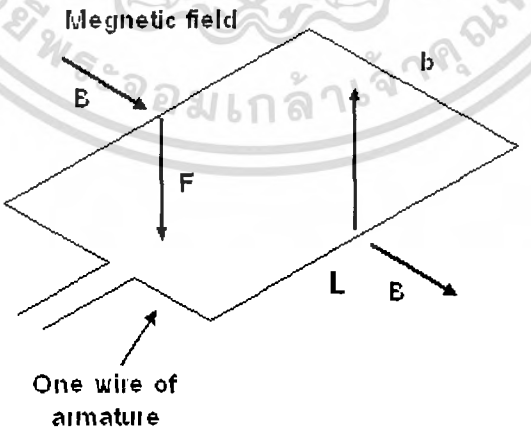
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(DC Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(Direct Current,DC Motor) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าพลังงานกล หรือจะกล่าวว่าเป็นระบบที่มีสัญญาณไฟฟ้าเป็นอินพุต และมีเอาท์พุตเป็นพลังงานกลก็ได้ โดยทั่วไปมอเตอร์จะประกอบด้วยขดลวดที่อาร์มาเจอร์(Armature Coil) ซึ่งสามารถที่จะหมุนไปได้อย่างอิสระ ขดลวดนี้จะวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก ซึ่งอาจจะเป็นแม่เหล็กถาวร หรือ ส่วนมากจะเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สร้างจากกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดฟิลด์(Field Coils) เมื่อมีกระแสไฟฟ้า i_a ไหลผ่านขดลวดอ์มาเจอร์(Armature Coil) ซึ่งวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก ก็จะทำให้เกิดแรงผลักทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์(Armature Coil) เกิดการหมุน ตามที่แสดงในรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 มอเตอร์กระแสตรง



รูปที่ 2.6 แรงที่เกิดขึ้นจากสนามแม่เหล็กในขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงกระทำ F ที่กระทำบนขดลวดความยาว L ที่มีกระแส i_a ไหลผ่าน และวางอยู่ในสนามแม่เหล็ก ที่มีความเข้มสนามแม่เหล็ก B และ F ที่กระทำเป็นมุมฉากกับ B จะมีค่าเป็น

$$F = Bi_aL$$

ถ้ามีขดลวดจำนวน N เส้นจะได้

$$F = NBi_aL$$

แรงกระทำ F นี้จะยังผลให้เกิดแรงบิด $T = Fb$ โดย b คือความกว้างของขดลวด ดังนั้น

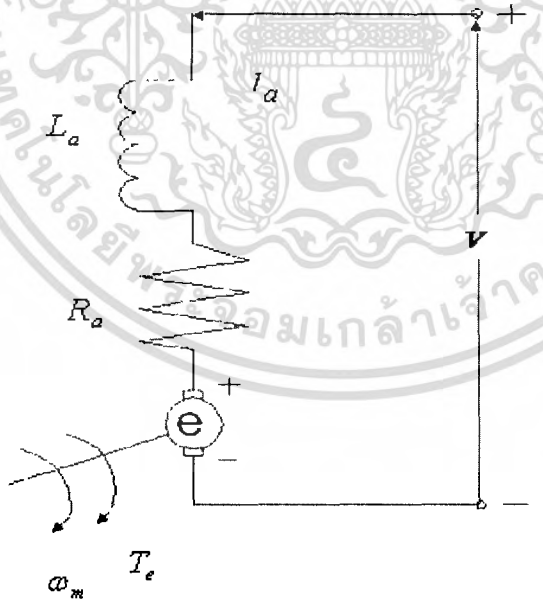
$$F = NBi_aLb$$

จะเห็นว่า แรงบิด T นี้จะเป็นสัดส่วนกับ Bi_a ส่วนพารามิเตอร์อื่นๆ จะคงที่สำหรับมอเตอร์หนึ่ง ๆดังนั้นสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$T = k_1Bi_a$$

โดยที่ $k_1 = NLb$

2.2.1 วงจรสมมูลย์ และค่าแรงบิด (Equivalent Circuit and Electromagnetic Toque)



รูปที่2.7 แสดงวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมดีซีมอเตอร์ V จะมีกระแสไหลเท่ากับ I_a โดยสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ได้เป็น

$$V = e + R_a i_a + L_a di_a / dt$$

จะได้พลังงานทางกล กับแรงบิดที่เกิดจากอากาศ T_e ที่ความเร็วในการหมุน ω_m ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในสภาวะคงตัวกระแสไฟฟ้า i_a จะมีค่าคงที่ทำให้

$$V = e + R_a i_a$$

กำลังไฟฟ้าจะได้เป็น

$$Vi_a = ei_a + R_a i_a^2$$

จากสมการจะพบว่า $R_a i_a^2$ จะเป็นค่า กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดอาร์มาเจอร์และ Vi_a เป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์ ดังนั้น ei_a เป็นกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านทางกล เรียกว่า P_a

$$P = \omega_m + T_e$$

ดังนั้น $T_a = ei_a / \omega_m$

จากสมการ $e = K_b \omega_m$ จากการเกิดอีเอ็มเอฟจะได้ค่าแรงบิด T_e

$$T_e = ei_a K_b$$

เมื่อ K_b เป็นค่าคงที่อีเอ็มเอฟ (rad / sec)

ให้โมเมนต์ของโหลดเป็นค่าแรงเฉื่อย J , $kg-m^2/\sec^2$ กับ ค่าประสิทธ์ความหนืด B_i , $N.m/(rad/\sec)$ เมื่อ ค่าแรงบิดความเร่ง , T_a, $N.m$ จะได้สมการความสัมพันธ์เป็น

$$J \frac{d\omega_m}{dt} + B_i \omega_m = T_e - T_1 = T_a$$

กำหนดให้ T_1 เป็นแรงบิดโหลด

จากสมการที่กำหนด เป็นสมการที่เกิดขึ้นในชั่วขณะ (dynamic) ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกับโหลด และสามารถสร้างบล็อกไดอะแกรม และฟังก์ชันได้จากสมการ

$$V = e + R_a i_a + L_a di_a / dt$$

$$J \frac{d\omega_m}{dt} + B_i \omega_m = T_e - T_1 = T_a$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

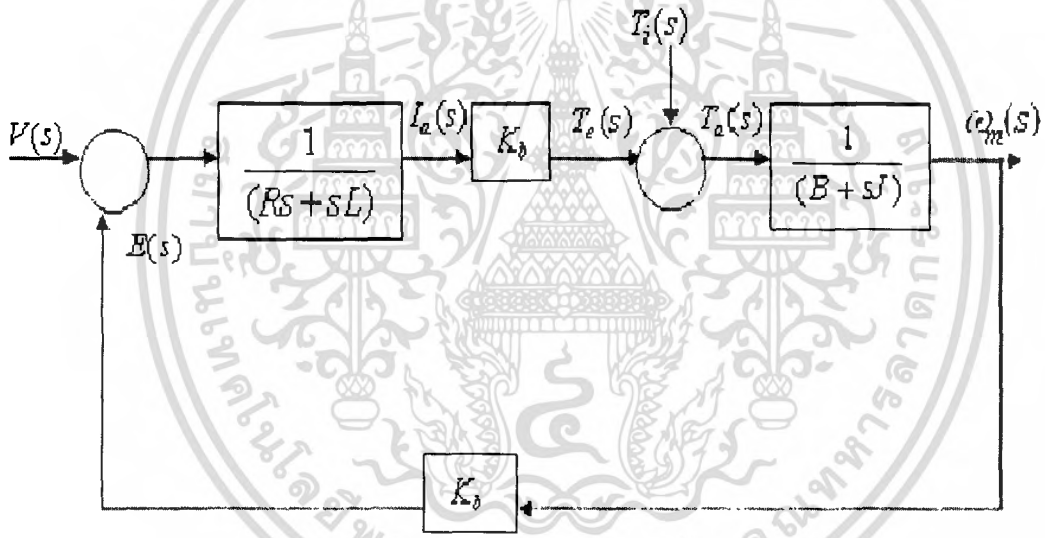
โดยรูปแบบการแปลงลาปลาส และจัดรูปแบบใหม่ได้เป็น

$$I_a(s) = \frac{V(s) - K_b\omega_m(s)}{R_a + sL_a}$$

$$\omega_m(s) = \frac{K_b I_a(s) - T_l(s)}{(B_i + sJ)}$$

จากสมการสามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ ได้เป็นบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมของดีซีมอเตอร์

2.3 วงจรพัลส์วิดท์โมดูเลชั่น(Pulse Width Modulation : PWM)

วงจรพัลซ์วิดโมดูเลชั่น(วงจร PWM) เป็นวงจรสร้างพัลซ์ที่สามารถปรับความกว้างของพัลซ์(duty cycle)ให้ได้ตามระดับโวลท์เตจอินพุตของวงจร เพื่อใช้ในการควบคุมวงจรขับมอเตอร์ โดยวงจร พัลซ์วิดโมดูเลชั่นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน ได้แก่ วงจรกำเนิดลูกคลื่นสามเหลี่ยม และ วงจรสร้างสัญญาณพัลส์

2.3.1 วงจรกำเนิดกำเนิดลูกคลื่นสามเหลี่ยม

ในส่วนของวงจรนี้จะทำการสร้างลูกคลื่นสามเหลี่ยมขึ้น ลูกคลื่นสามเหลี่ยมที่สร้างขึ้นจะเป็นสัญญาณคาบ มีทั้งส่วนของซีกบวกและซีกลบ ดังรูปที่ 2.9

รูปที่2.9 แสดงสัญญาณเอาพุตของวงจรPWMในส่วนของวงจรสร้างลูกคลื่นสามเหลี่ยม

2.3.2 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์

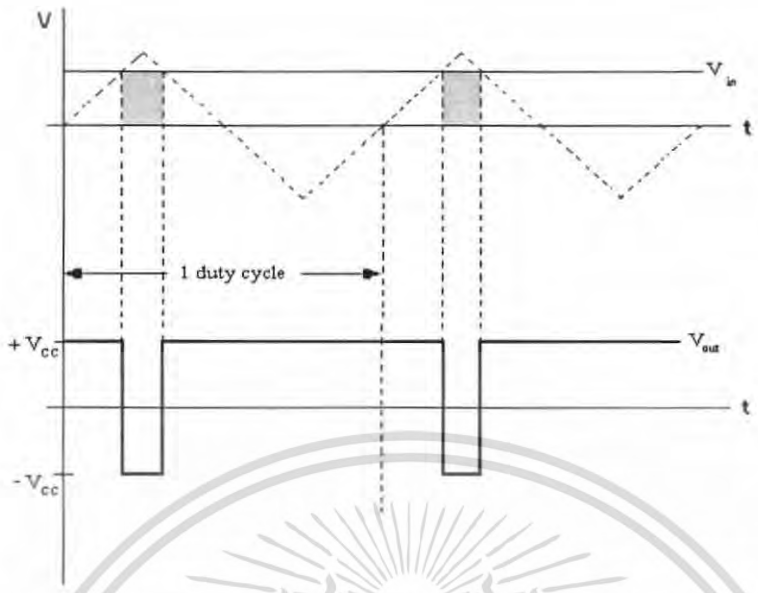
การสร้างสัญญาณพัลส์ วงจรนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบ(Comparator) ระหว่างค่าโวลเตจอินพุตและระดับโวลเตจของลูกคลื่นสามเหลี่ยม ในวงจรสร้างลูกคลื่นสามเหลี่ยม ถ้าโวลทเตจอินพุตมีค่ามากกว่าจะให้ค่าเอาพุท ด้วยแรงดันค่าบวกคงที่ค่าหนึ่งและถ้าโวลทเตจมีค่าน้อยกว่าจะให้ค่าแรงดันเป็นค่าลบคงที่ในขนาดที่เท่ากับแรงดันบวก

ในรูปที่ 2.10 รูปบน เส้นประ หมายถึง ลูกคลื่นสามเหลี่ยมที่สร้างมาจากวงจรพัลซ์วิดโมดูเลชั่น เส้นทึบ หมายถึง โวลท์เตจอินพุทของวงจรพัลซ์วิดโมดูเลชั่น

ในรูปที่ 2 .10 รูปล่าง เส้นหนา หมายถึง โวลท์เตจเอาท์พุตของวงจรพัลซ์วิดโมดูเลชั่นที่ได้จากการเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่2.10 แสดงเอาท์พุทของวงพัลซ์วิดโมดูเลชั่นในส่วนของวงจรสร้างพัลซ์

จะเห็นได้ว่าจากรูปที่ 2 ในส่วนที่แรงาจะเป็นส่วนเป็นส่วนที่โวลทเตจอินพุตมีค่าน้อยกว่าลูกคลื่นสามเหลี่ยม เอาท์พุตจึงมีค่าเป็นลบ และส่วนที่ไม่ได้แรงาค่าโวลทเตจอินพุตมีค่ามากกว่าลูกคลื่นสามเหลี่ยม โวลท์เตจเอาพุทจึงมีค่าเป็นบวก

2.4 เซ็นเซอร์และเอ็นโค้ดเดอร์ (Sensor and Encoder)

เซ็นเซอร์และเอ็นโค้ดเดอร์ เป็นส่วนประกอบสำคัญในระบบควบคุมที่มีการป้อนกลับในระบบควบคุมแบบลูปปิด (Close loop) ใช้สำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติการทำงานของระบบ เซ็นเซอร์และเอ็นโค้ดเดอร์ใช้เป็นตัวป้อนสัญญาณกลับเพื่อการควบคุม เซ็นเซอร์แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ แบบอนาล็อกเซ็นเซอร์และแบบดิจิตอลเซ็นเซอร์ แบบอนาล็อกได้แก่ ทาโคเจเนอเรเตอร์ และซิงโครซ์ ส่วนเซ็นเซอร์แบบดิจิตอลได้แก่ เอ็นโค้ดเดอร์

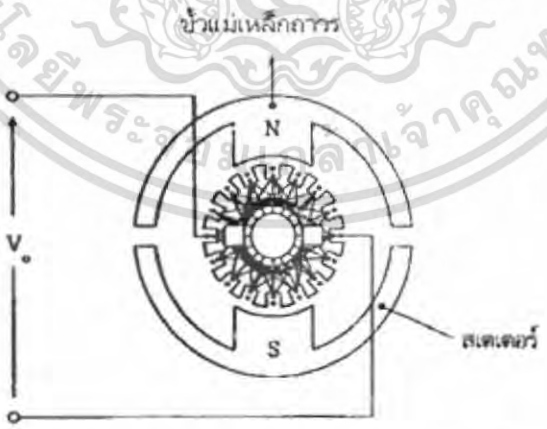
2.4.1 ทาโคเจเนอเรเตอร์ (Tacho generator)

ทาโคเจเนอเรเตอร์ เป็นเครื่องมือที่สามารถเปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าและให้กำเนิดเอาท์พุทโวล์ทเตจ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแมกนิจูดของความเร็วเชิงมุม ในระบบการบังคับมอเตอร์ โดยทั่วไปจะใช้ทาโคเจเนอเรเตอร์เป็นตัวแสดงความเร็วของเพลาของมอเตอร์หรือป้อนความเร็วกลับสำหรับการบังคับความเร็ว หรือสำหรับทำให้เสถียรภาพของระบบดีขึ้น

72264
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้งานทาโคเจเนอเรเตอร์มักจะต่อเข้ากับเพลาหมุนที่ต้องการตรวจวัดระยะขจัดเชิงมุม ที่เกิดขึ้น ซึ่งสามารถทำได้หลายลักษณะ เช่น การเชื่อมโดยตรงกับเพลาหมุนโดยใช้สายพาน เกียร์ หรือเฟืองทดที่มีอัตราทดก็ได้เช่นกัน ทาโคเจเนอเรเตอร์แบ่งได้ 2 ประเภทได้แก่ ดีซีทาโคเจเอนเรเตอร์(DC Tachogenerator) และ (AC Tachogenerator) รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างและลักษณะโครงสร้างของดีซีทาโคเจเนอเรเตอร์ ในความเป็นจริงแล้วดีซีทาโคเจเนอเรเตอร์ ก็คือ ดีซีเจเนอเรอเตอร์(DC Generator) ขนาดเล็กที่เปลี่ยนพลังงานทางกลให้กลายเป็นแรงดันเอาท์พุท แต่ข้อแตกต่างระหว่างดีซีทาโคเจเอนเรเตอร์กับดีซีเจเนอเรเตอร์ อยู่ที่จุดประสงค์หลักในการออกแบบเพื่อการนำไปใช้งาน กล่าวคือ ดีซีทาโคเจเนอเรเตอร์ถูกออกแบบให้มีความเที่ยงตรงสูงกว่า เพื่อนำไปใช้งานหลักเป็นอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดความเร็ว นั่นเอง

รูปที่ 2.11 ตัวอย่างทาโคเจเนเรเตอร์



รูปที่ 2.12 โครงสร้างภายในของทาโคเจเนเรเตอร์

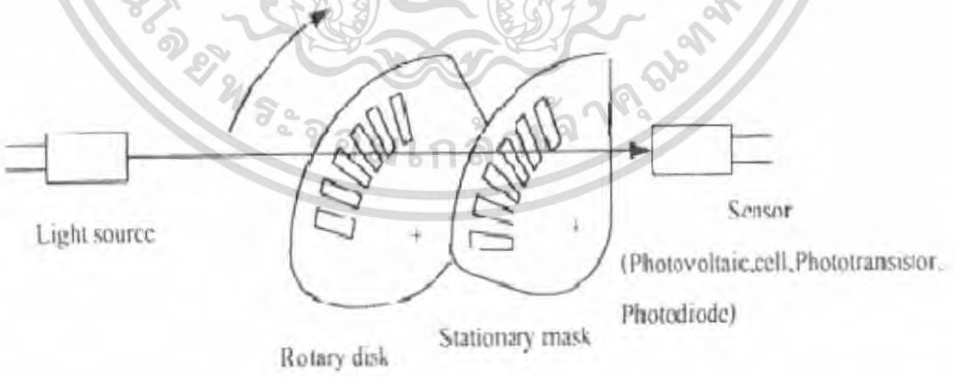
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)

การควบคุมตำแหน่งเพลาของมอเตอร์ ต้องใช้เอ็นโค้ดเดอร์สำหรับรักษาตำแหน่ง และสร้างสัญญาณป้อนกลับโดยที่ตัวเอ็นโค้ดเดอร์จะสร้างสัญญาณพัลซ์ที่แปรผันตรงกับการหมุนของเพลา ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการรับรู้ความเร็ว และตำแหน่งเพลาของมอเตอร์ในรูปของอัตราจำนวนพัลซ์ได้

เอ็นโค้ดเดอร์ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ ตัวกำเนิดแสง(Light Source) จานหมุน(Rotary Disk) บนแผ่นจานหมุนทำเป็นช่องโดยรอบดังแสดงในรูปที่ 2.14

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างเอ็นโค้ดเดอร์

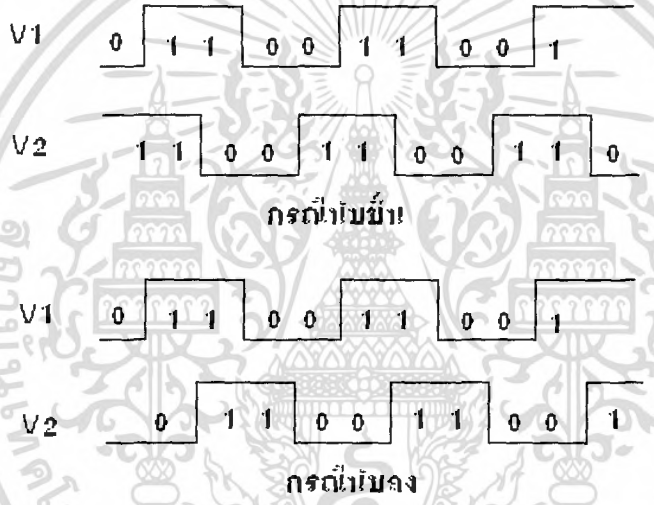


รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างกลไกของเอ็นโค้ดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความละเอียดของเอ็นโค้ดเดอร์ คือ จำนวนคาบเวลาของสัญญาณเอาท์พุทต่อการหมุนของเพลา 1 รอบ ซึ่งบอกเป็นจำนวนพัลซ์ต่อรอบ หรือจำนวนไซเกิลต่อองศา เอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้กันทั่วไปจะมีความละเอียดตั้งแต่15 ถึง 10,000 พัลซ์ต่อรอบ จำนวนพัลซ์ต่อ 1 รอบ ของสัญญาณที่เอ็นโค้ดเดอร์สร้างออกมาจะเท่ากับจำนวนช่องว่างบนแผ่นจานหมุน

สัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากเอ็นโค้ดเดอร์จะเป็นสัญญาณ 2 ชุด ได้จากเอ็นโค้ดเดอร์ชนิด 2 ช่อง เฟสของสัญญาณ 2 ช่องนี้จะต่างกัน 90 องศา เราเรียกสัญญาณ 2 ช่องนี้ว่าควอดดราเจอร์(Quadrature) ซึ่งเหมาะที่ใช้ในการรับรู้ทิศทางการหมุนของเพลามอเตอร์



รูปที่ 2.15 แสดงสัญญาณเอ็นโค้ดเดอร์ 2 ช่อง มีมุมต่างเฟส 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 พื้นฐานภาษาซี

ภาษาC เป็นตัวเลือกที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม สำหรับใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นตระกูล MCS-51, 86HC11, St และไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC จากไมโครชิพ(Microchip)

2.5.1 โครงสร้างภาษา C

โครงสร้างของ ภาษา C ในรูปแบบมาตรฐาน (ANSI Standard C) จะประกอบไปด้วยรายละเอียดดังนี้

2.5.1.1 พรีโปรเซสเซอร์ไดเรคทีฟ (Preprocessor Directives)

เป็นชุดคำสั่งในการจัดเตรียมข้อมูลสำหรับการประมวลผล โดยก่อนที่จะมีการคอมไพล(Compile) หรือแปรตัวโค้ดโปรแกรมให้เป็นภาษาเครื่องนั้น จะมาทำงานในส่วนนี้ก่อน จึงเรียกว่า พรีโปรเซสเซอร์

2.5.1.2 การประกาศ (Declarations)

ก่อนใช้งานตัวแปรหรือฟังชั่น ต้องมีการประกาศและสร้างตัวแปรหรือฟังก์ชั่นขึ้นมาก่อน

2.5.1.3 การกำหนดค่า (Definitions)

การประกาศและจองหน่วยความจำ หรือกำหนดค่าให้กับตัวแปรหรือฟังก์ชั่น

2.5.1.4 นิพจน์ (Expressisions)

นิพจน์ คือ การกระทำระหว่าง ตัวดำเนินการ (Operators) กับตัวถูกดำเนินการ(Operands) เพื่อให้เกิดค่าใดค่าหนึ่ง

2.5.1.5 สเตตเมนต์ (Statements)

คำสั่งการทำงาน หรือคำสั่งที่ใช้ในการทำงานตามความต้องการของผู้เขียนโปรแกรม

2.5.1.6 ฟังก์ชั่น (Functions)

ฟังก์ชั่น คือ ส่วนประกอบของโปรแกรมที่กำหนดให้ทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง จนเสร็จสิ้นโดยที่ฟังก์ชั่นจะประกอบไปด้วย การประกาศใช้งานตัวแปร การกำหนดค่าให้ตัวแปร นิพจน์และคำสั่งการทำงาน

2.5.1.7 ฟังก์ชั่นหลัก (Main Function)

เป็นฟังก์ชั่นที่ต้องมีการประกาศทุกครั้งเมื่อมีการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซี เพราะการทำงานของโปรแกรมจะเริ่มต้นที่ฟังก์ชั่นนี้ เป็นฟังก์ชั่นที่ใช้ในการเรียกฟังก์ชั่นอื่นๆในการทำงาน

2.6 คำสั่งควบคุมโปรแกรม (Program Control Statement)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดมุ่งหมายของการเขียนโปรแกรมคือ ต้องการให้โปรแกรมทำงานตามเงื่อนไขที่ต้องการไม่ว่าจะเป็นการทำงานในส่วนที่กำหนด การวนลูปชุดคำสั่งที่ต้องการ การทำงานในลักษณะนี้จะต้องมีชุดคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน นั่นคือ ชุดคำสั่งควบคุมที่มาพร้อมกับตัวภาษา และทุกๆ ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมก็จะมีชุดคำสั่งเหล่านี้ โดยจะแตกต่างกันไปในรายละเอียดเล็กน้อยขึ้นอยู่กับภาษานั้น สำหรับ ANSI C จะประกอบไปด้วยชุดคำสั่งควบคุมดังนี้

1. ชุดคำสั่งกำหนดเงื่อนไข (Conditional Statements)
2. ชุดคำสั่งการนลูป (Loop Statement)

2.6.1 ชุดคำสั่งกำหนดเงื่อนไข

คำสั่งกำหนดเงื่อนไขในลักษณะนี้ จะเป็นไปในรูปแบบที่มีทางเลือก อย่างใดอย่างหนึ่งในการ ทำงาน โดยขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ รายละเอียดของแต่ละคำสั่งมีดังนี้

2.6.1.1 คำสั่ง if…else…

คำสั่งการทำงานกำหนดเงื่อนไข จะแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ

1. condition then Statement จะตรวจสอบเงื่อนไข ถ้าเป็นจริง ก็จะเข้าไปทำงานในส่วนของ Statement ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จก็จะข้ามการทำงานในส่วนของ Statement ไปทำงานในลำดับถัดไปของโปรแกรม

รูปแบบการใช้งาน

```
If (expr) stmt;
```

2. if condition then Statement Statement2 จะตรวจสอบเงื่อนไข ถ้าเป็นจริง ก็จะเข้าไปทำงานในส่วนของ Statement ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จก็จะข้ามการทำงานในส่วนของ Statement2

รูปแบบการใช้งาน

```
If (expr) stmt; else stmt;
```

3. if condition then Statement1 elseif condition2 else Statement2 ในรูปแบบนี้จะตรวจสอบเงื่อนไขที่1 ก่อน ถ้าเป็นจริง ก็จะเข้าไปทำงานในส่วนของ Statement2 แต่ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จก็จะข้ามการทำงานในส่วนของ Statement2 ไปทำงานในบำดับถัดไปของโปรแกรม

รูปแบบการใช้งาน

```
If (expr) stmt; elseif (expr) stmt;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1.2 คำสั่ง switch

คำสั่งการทำงานที่ประกอบไปด้วยหลายๆ เงื่อนไข ถ้าใช้ชุดคำสั่งกำหลดเงื่อนไขด้วย if…else… อาจจะไม่สะดวกเท่ากับการใช้คำสั่ง switch แทน

รูปแบบการใช้งาน

```
switch (expr)    {
                 Case (expr) stmt;          //one or more case
                 [default:stmt]
```

2.6.2 ชุดคำสั่งการวนลูป

คำสั่งการวนลูป เป็นคำสั่งเงื่อนไขที่มีการทำงานซ้ำๆอยู่ในลูปของเงื่อนไข จนกว่าเงื่อนไขจะเป็นเท็จจึงออกจากการทำงานของลูป รายละเอียดของแต่ละคำสั่งมีดังนี้

2.6.2.1 คำสั่งลูป while( )

การทำงานของคำสั่ง จะเริ่มต้นตรวจสอบเงื่อนไขในคำสั่ง while ว่าเป็นจริงหรือไม่ ถ้าเป็นจริงจะทำคำสั่งที่อยู่ในลูปwhile()และจะทำซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าจะเป็นเท็จ จากนั้นจึงจะหลุดจากคำสั่งลูป while

รูปแบบการใช้งาน

```
While (expr) stmt;
หรือ
    While (expr)    {
                Stmt1;
                Stmt2;
                 …
    }
```

2.6.2.2 คำสั่งลูป do … while( )

คำสั่งการวนลูปด้วย do … while() จะแตกต่างกับคำสั่ง while() ตรงที่คำสั่งลูปนี้จะมีการทำงานในลูปอย่างน้อย 1 ครั้งก่อนที่จะตรวจสอบเงื่อนไขในการวนลูป

รูปแบบการใช้งาน

```
Do { stmts; }  While (expr);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.3 คำสั่งลูป for

เป็นคำสั่งการวนลูปที่มีจำนวนแน่นอน และได้กำหนดไว้แล้วในส่วนของการวนลูป การกำหนดเงื่อนไขจะกำหนดใน expr ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้น expr2 เป็นส่วนเปรียบเทียบเงื่อนไขและ expr3 เป็นส่วนเพิ่มเติมหรือลดค่าข้อมูล

รูปแบบการใช้งาน

```
For ( expr1; expr2; expr3 ) stmt;
หรือ
For ( expr1; expr2; expr3 ) {
        Stmt1;
        Stmt2;
}
```

บทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบโครงสร้างเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ

3.1 การออกแบบส่วนประกอบต่างๆ

การออกแบบเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ ได้มีการกำหนดให้ใช้ได้กับไส้กรอกหลากหลายประเภท เช่น ไส้กรอก แหนม กุนเชียง ไส้กรอกอีกสาน โดยใช้หลักการของแรงดันในการดันอาหาร ออกมาให้บรรจุเข้าไปในไส้เทียม

3.1.1 การออกแบบโครงสร้างของเครื่อง

การออกแบบโครงสร้างของเครื่อง ออกแบบโดยใช้เหล็กเป็นฐานมีขนาดกว้าง 300 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร หนา 24 มิลลิเมตร หุ้มด้วยสแตนเลส เพื่อป้องการเกิดสนิม เชื่อมด้วยเสาสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 38 มิลลิเมตร สูง 500 มิลลิเมตร ในการยึดฐานกับชุดส่งกำลัง เพื่อรองรับน้ำหนักของชุดส่งกำลัง มอเตอร์ต้นกำลังและแรงกดจากการอัดอาหารขณะเครื่องทำงาน

รูปที่ 3.1 โครงสร้างของเครื่องบรรจุไส้กรอก

3.1.2 การออกแบบชุดถังบรรจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

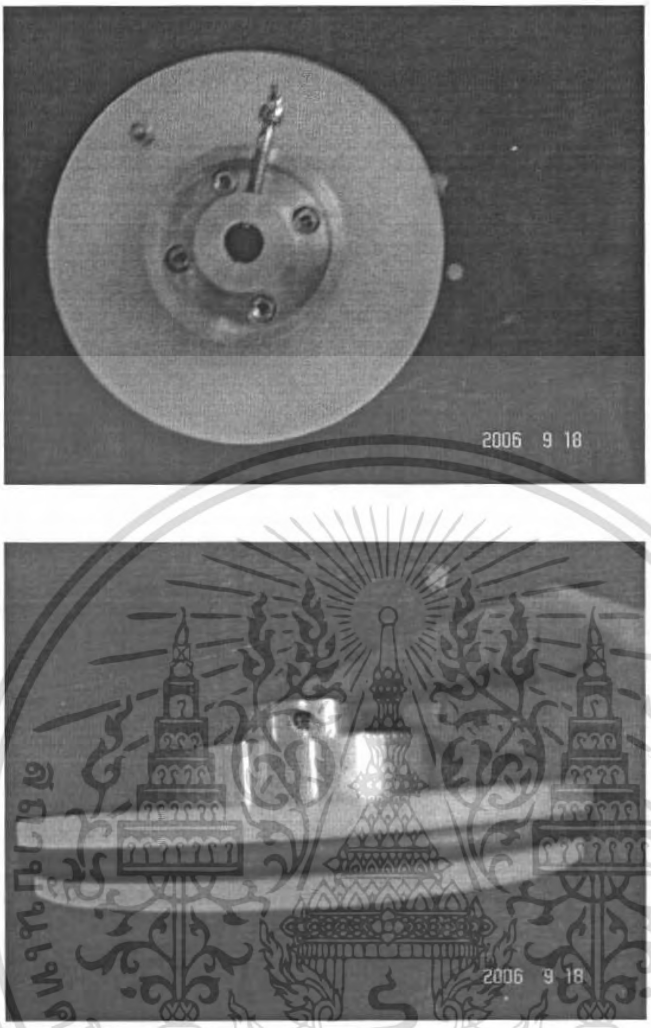
จากการสำรวจตามท้องตลาดพบว่า ปริมาณไส้กรอกในการผลิตในอุตสาหกรรมขนาดย่อมมีปริมาณประมาณ 12 ลิตร การออกแบบถังบรรจุไส้กรอกจึงใช้สแตนเลสขนาดหนา 2 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอกขนาด 219 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด 213 มิลลิเมตร และสูงจากก้นถัง 400 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถบรรจุไส้กรอกได้สูงสุดประมาณ 12 ลิตร โดยตัวถังมีการต่อท่อสแตนเลสเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 50 มิลลิเมตร ความหนา 3 มิลลิเมตร ยื่นออกมาจากถัง 52 มิลลิเมตร เพื่อเป็นทางออกของไส้กรอกจากแรงกด

ฝาอัดบรรจุไส้กรอกใช้พลาสติกหนาเกรดอาหารมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 209 มิลลิเมตร มีความหนาขนาด 25 มิลลิเมตร โดยการเซาะร่องเพื่อใส่โอริง (O-ring) ฝาอัดบรรจุนี้จะยึดติดกับเพลาต่อกับเฟืองสะพานในการขับให้ฝาอัดเคลื่อนที่ขึ้นลงได้

กรวยป้อนทำจากสแตนเลสโดยมี 3 ขนาดคือ ขนาดใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง17 มิลลิเมตรขนาดกลางมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร และขนาดเล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร โดยก้านกรวยขนาดใหญ่และกลางมีความยาว 22.5 มิลลิเมตร ส่วนก้านขนาดเล็กมีความยาว 20.5มิลลิเมตร

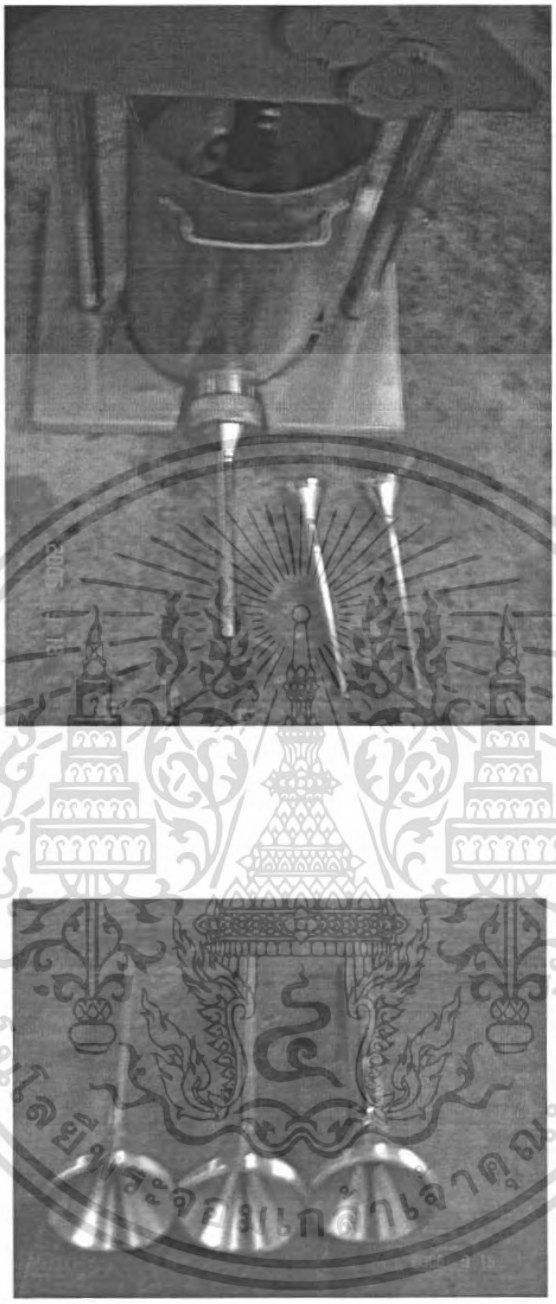
รูปที่ 3.2 ถังบรรจุไส้กรอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ฝาอัดบรรจุไส้กรอก

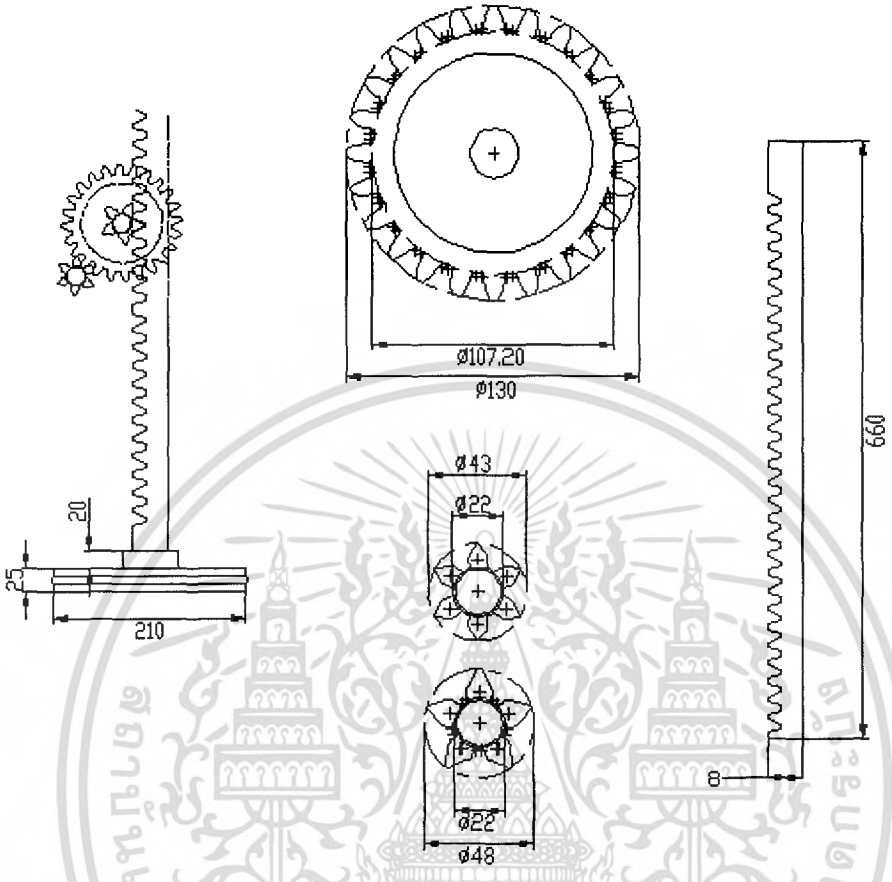
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 กรวยป้อนทั้ง 3 ขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การออกแบบชุดเฟืองส่งกำลัง

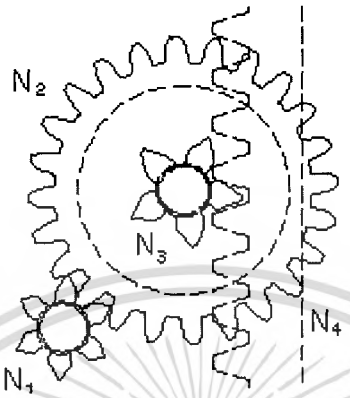


รูปที่ 3.5 ชุดเฟืองส่งกำลัง

การออกแบบชุดเฟืองส่งกำลัง โดยใช้เฟืองตรง 4 ตัว คือ เฟืองขนาด 5 , 6 , 26 ฟัน และเฟืองสะพาน 30 ฟัน จากรูปที่ 3.4 เฟือง 6 ฟัน จะต่อเข้ากับมอเตอร์ส่งกำลังและขบกับเฟือง 26 ฟัน โดยเฟือง 26 ฟันจะขบกับเฟือง 5 ฟัน ซึ่งจะขับให้เฟืองสะพานเคลื่อนที่ขึ้นลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 การคำนวณชุดเฟืองส่งกำลัง



รูปที่ 3.6 แสดงการคำนวณเฟือง

จากสมการ(2.1) $$m_\omega = \frac{n_1}{n_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$n_1 N_1 = n_2 N_2 \quad (3.1)$$

ดังนั้น ความเร็วของเฟืองตัวขับคูณด้วยจำนวนฟันของเฟืองตัวขับเท่ากับความเร็วของเฟืองตัวตามคูณด้วยจำนวนฟันของเฟือง

จากรูป ที่ 3.6 ให้ n_1, n_2, n_3 และ n_4 แทนความเร็วรอบของเฟือง N_1, N_2, N_3 และ N_4 ตามลำดับ จะได้

$$n_1 N_1 = n_2 N_2 \quad (3.2)$$

$$n_2 = n_1 N_1 / N_2 \quad (3.3)$$

แต่เฟือง N_2 อยู่บนแกนเดียวกัน N_3 เฟืองทั้งสองจึงหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน

$$n_2 = n_3$$

และ เฟือง N_3 ขบกับเฟืองสะพาน

$$n_3 N_3 = n_4 N_4 \quad (3.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า n_3 ด้วย n_2 ด้วยสมการ(3.3) ในสมการ (3.4)
จะได้

$$(n_1 N_1 / N_2) N_3 = n_4 N_4$$

$$n_4 = n_1 N_1 N_3 / N_2 N_4 \quad (3.5)$$

ดังนั้น หากทราบความเร็วจากต้นส่งกำลังคือ ความเร็วของมอเตอร์ ก็จะสามารถคำนวณหาความเร็วของเฟืองสะพาที่ใช้ในการอัดไส้กรอกได้

3.1.5 การคำนวณชุดส่งกำลังมอเตอร์

จากการทดลอง โดยใช้ถังบรรจุไส้กรอกนำมาบรรจุข้าวที่บดละเอียดซึ่งใช้แทนไส้กรอกจริงนำมาวางบนเครื่องชั่ง แล้วทดสอบแรงกดพบว่า ค่าที่อ่านได้จากเครื่องชั่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เริ่มออกแรงกดคือ 0 ถึง 40 กิโลกรัม ในเวลา 1 นาที และพบว่าปริมาณข้าวบดละเอียดที่ไหลออกมาจากกรวยมีปริมาตรเท่ากับ 1033.35 ลูกบาศก์เซนติเมตร จึงสามารถคำนวณหาความเร็วของต้นส่งกำลังได้จากปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนี้

ปริมาตรของไส้กรอกที่เปลี่ยนแปลงไป ในเวลา 1 นาที เท่ากับ			1,033,350	ลูกบาศก์มิลลิเมตร
จากสูตรการคำนวณหาปริมาตร	$(\pi)(106.5)^2 h$	=	1,033,350	ลูกบาศก์เซนติเมตร
ดังนั้น	h	=	29	มิลลิเมตร

ค่าความสูง h คือ ค่าที่เฟืองสะพานเคลื่อนที่ได้ใน 1 นาที

เนื่องจากเฟืองสะพานมีระยะพิตช์ (p) เท่ากับ			20	มิลลิเมตร
ดังนั้นเฟืองสะพานเคลื่อนที่ได้จำนวนพิตช์เท่ากับ	29/20	=	1.45	พิตช์

เนื่องจากเฟืองสะพานขับอยู่กับเฟือง N_3 จึงทำให้เฟือง N_3 หมุนไปด้วยระยะ 1.45 พิตช์

ในเวลา 1 นาที เฟือง N_3 จึงหมุนไปได้	1.45/5	=	0.29	รอบ
ดังนั้น เฟือง N_3 มีความเร็วรอบเท่ากับ			0.29	รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเฟือง N_3 อยู่บนแกนเดียวกันกับเฟือง N_2 จึงทำให้เฟือง N_2 มีความเร็วรอบ 0.29 rpm

จากสมการ(3.3) $n_1 = n_2 N_2 / N_1$

แทนค่า $n_1 = (26)(0.29) / (6)$

$n_1 = 1.257$ rpm

เนื่องจากความเร็วของเฟือง N_1 เป็นความเร็วที่เกิดจากการหมุนของมอเตอร์ ดังนั้นความเร็วรอบในการอัดไส้กรอกของมอเตอร์มีขนาดเท่ากับ 1.257 rpm

3.1.6 การคำนวณค่าทอร์กของมอเตอร์

จากการทดลองค่าแรงอัดมีค่าเท่ากับ 400 N แต่ในการคำนวณจะใช้ค่าแรงกดเท่ากับ 1000 N เนื่องจากการทดลองใช้ข้าวบดละเอียด ซึ่งไม่ใช่ไส้กรอกจริงและเพื่อให้ครอบคลุมถึงการอัดไส้กรอกอิสานซึ่งมีเนื้อไส้กรอกไม่ละเอียด อาจทำให้ได้แรงกดที่มีค่ามากกว่า

ในการคำนวณหาค่าทอร์ก จำเป็นต้องพิจารณาถึงผลกระทบของชุดเฟืองส่งกำลังที่มีผลโมเมนต์ออฟอินเนอร์เชียของมอเตอร์ด้วย จากรูปที่3.5 เราจะสามารถหาโมเมนต์อินเนอร์เชียจากผลสะท้อนของชุดเฟืองส่งกำลังจะได้สมการ

$$J_{REF} = \frac{WT[N]}{980.44(cm/\sec^2)}\left(\frac{L[cm/rev]}{N}\times\left(\frac{rev}{2\pi}\right)\right) \qquad (3.6)$$

แทนค่าในสมการ 3.6 จะได้ แรงกด $WT = 1000N$ ค่าอัตราการทด $N = \frac{N_2}{N_1} = \frac{26}{6}$

เมื่อ N3 หมุน1รอบสะพานเลื่อนที่ได้ระยะ $L = 10cm/rev$

$$J_{REF} = \frac{1000\ N}{980\ .44\ cm/\sec^2}\left(\frac{10\,x6}{26}\frac{cm}{rev}\frac{rev}{2\pi}\right)^2$$

$$= \frac{1000}{980.44}\cdot\frac{100x36}{26^2}\frac{1}{4\pi^2}\left(N\frac{\sec^2}{cm}cm^2\right)$$

$$= 0.137550 \text{ N.cm.sec}^2$$

ดังนั้น $J_{REF} = 0.137550$ N.cm.sec^2

$$= 0.137550\left(\frac{kg.m}{\sec^2}\right)(0.01\text{m})\sec^2$$

$$= 0.0013755 \text{ kg.m}^2$$

จะได้ J รวม $J_{EQ} = J_m + J_{REF}$

$$= 0.0012 + 0.0013755 \text{ kg.m}^2$$

$$= 0.0026 \text{ kg.m}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถคำนวณค่าทอร์กของมอเตอร์ได้จาก

$$T_m = T_a + T_L$$

$$T_m = J_{EQ}\frac{d\omega_1}{dt} + \frac{\omega_2}{\omega_1} r_2 mg$$

$$= \frac{0.0026x1.3}{60x0.05} + \frac{6}{26}(0.02x10x100)$$

$$= 4.616 \text{ N.m}$$

ดังนั้น จะได้ค่า ทอร์กของมอเตอร์ เท่ากับ 4.616 N.m

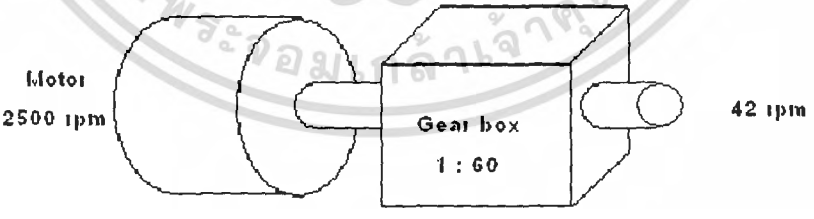
3.1.7 การเลือกมอเตอร์และเอ็นโคดเดอร์

3.1.7.1 การเลือกมอเตอร์

เนื่องจากคำนวณหาค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ 4.616 rpm และทอร์กของมอเตอร์ได้ 1.257 N.m เราควรเลือกมอเตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน มอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรงซึ่งจะมีความเร็วรอบที่สูงและทอร์กมีค่าต่ำ ดังนั้นจึงได้ออกแบบชุดเฟืองทดมอเตอร์(gear box) มาคัปปลิ้งกับมอเตอร์เพื่อให้ความเร็วรอบลดลงและมีค่าทอร์กที่เพิ่มขึ้น

มอเตอร์ที่เลือกจึงมีความเร็วรอบ 2500 rpm เมื่อต่อชุดเฟืองทดที่มีอัตราทดเท่ากับ 1:60 ความเร็วรอบที่ได้จึงมีค่าประมาณ 42 rpm และทอร์กมีค่าเท่ากับ 9 N.m มอเตอร์มีแรงดันสูงสุดเท่ากับ 90 v และทนกระแสสูงสุดเท่ากับ 1.4A

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามอเตอร์ที่นำมาใช้ต้องมีย่านการใช้งานครอบคลุมและเหมาะสมกับการใช้งานจริง



รูปที่ 3.7 แสดงการต่อชุดเฟืองทดความเร็วกับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1.2 การเลือกเอนโค้ดเดอร์

ในการเลือกเอ็นโคดเดอร์ควรเลือกเอ็นโคดเดอร์ที่มีค่าความละเอียดสูง เพราะจะทำให้ค่าที่วัดได้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น ปกติเอ็นโคดเดอร์ที่ใช้งานทั่วไปจะมีค่าตั้งแต่ 15 ถึง 10,000 พัลซ์ต่อรอบ

ในโครงงานนี้เราเลือกเอ็นโคดเดอร์ ที่มีความละเอียด 1,000 พัลซ์ต่อรอบ

การคำนวณความละเอียดของเอ็นโคดเดอร์

เอ็นโคดเดอร์ 1 พัลซ์ จะเคลื่อนที่ได้ 1/ 1,000 รอบ

และชุดเกียร์บอกซ์ หมุน 1 รอบจะทำให้สะพานเฟืองเคลื่อนที่ 2.3 cm

เนื่องจากเอ็นโคดเดอร์คัปปลิ้งกับชุดเกียร์บอกซ์

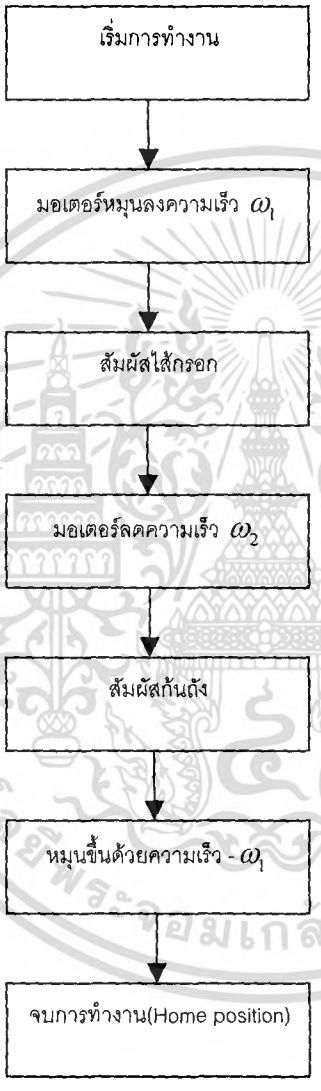
ดังนั้น เอ็นโคดเดอร์ 1 พัลซ์ จะทำให้สะพานเฟืองเคลื่อนที่ได้ (1/ 1,000)(2.3) = 0.0023 cm

ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ละเอียดที่สุดที่เอ็นโคดเดอร์สามารถวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบการควบคุมการทำงานของเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ

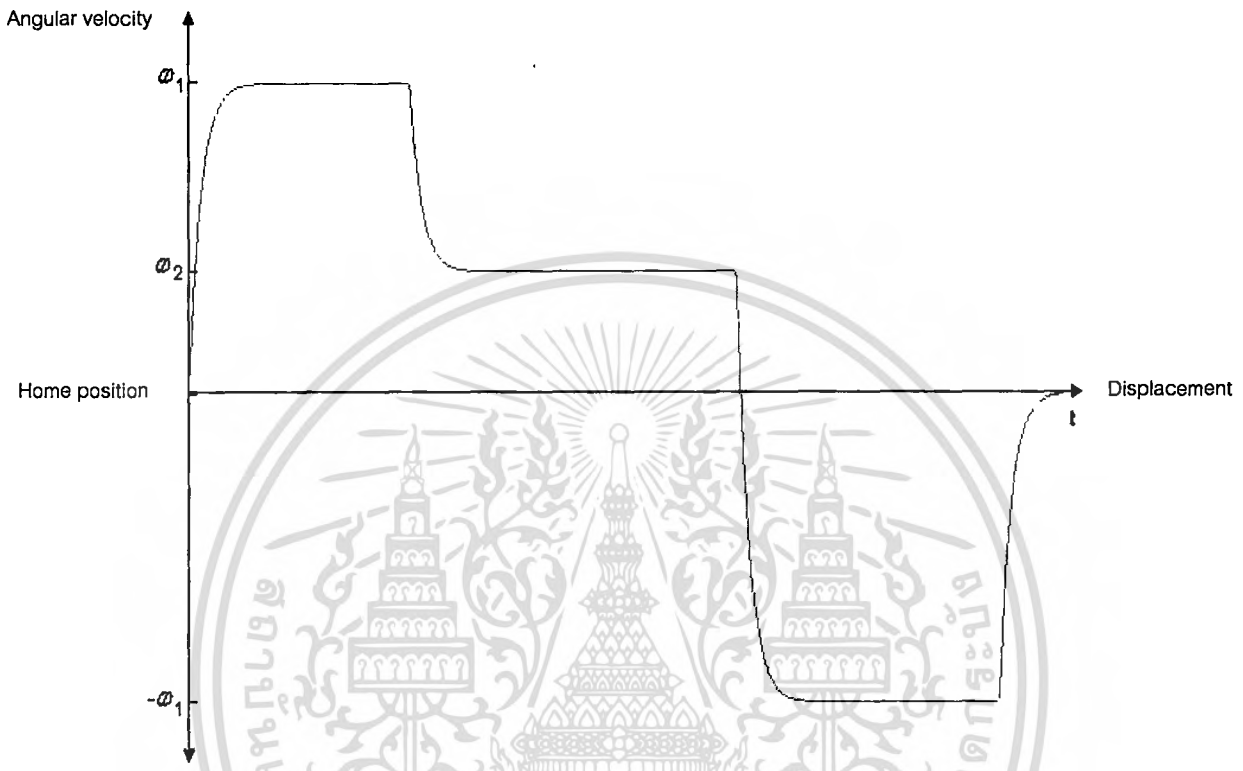
จากการศึกษาการทำงานของเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ สามารถนำมาออกแบบการควบคุมการทำงานของเครื่องบรรจุไส้กรอกได้คือ การควบคุมอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่อง เราสามารถนำข้อมูลต่างๆมาเขียนเป็นแบบจำลอง(Model) ดังรูป



รูปที่ 3.8 การทำงานโดยรวมของเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 กำหนดรูปแบบความเร็ว(Speed Profile)มอเตอร์ในการทำงานของเครื่องบรรจุไส้กรอก 1 รอบการทำงาน

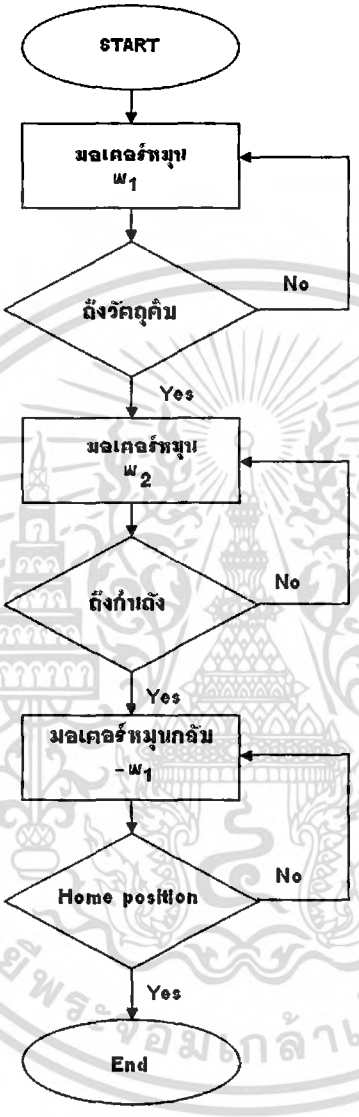


รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ของความเร็วเชิงมุมกับการกระจัด

เมื่อทำการ Start มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง ω_1 จนฝาอัดเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งของไส้กรอกที่บรรจุอยู่ภายในถัง ความเร็วของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงลดลงมาอยู่ที่ความเร็ว ω_2 ฝาอัดจะอัดไส้กรอกจนลงมาถึงก้นถังด้วยความเร็วคงที่ เมื่ออัดไส้กรอกจนหมดและฝาอัดสัมผัสกับก้นถังมอเตอร์จะกลับทิศทางการหมุนและหมุนด้วยความเร็ว $-\omega_1$ กลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้น(Home Position) และหยุดหมุน การกำหนดรูปแบบ (Speed Profile) ความเร็วมอเตอร์ในการทำงานของเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ 1 รอบการทำงาน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

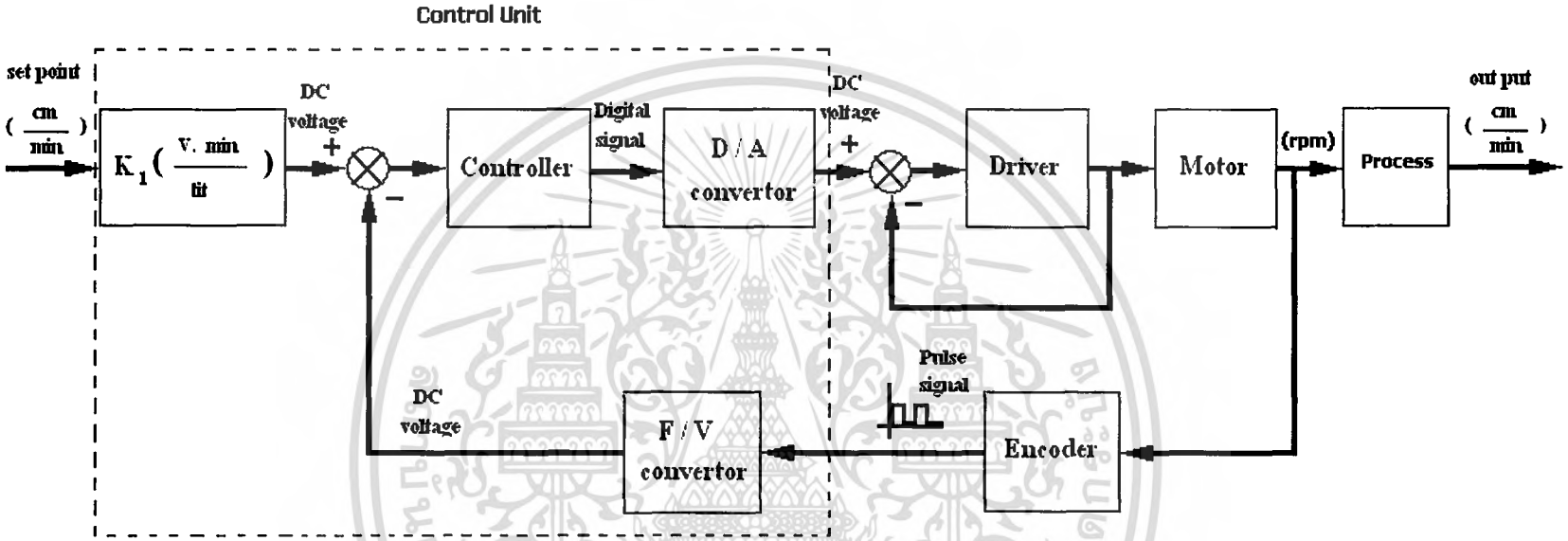
3.4 การออกแบบวงจรควบคุมอัตโนมัติ



รูปที่ 3.10 โฟลวชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมทำงาน

จากรูปเป็นการทำงานโดยรวมของเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ สามารถเขียนบล็อกไดอะแกรม ที่ใช้ในการออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



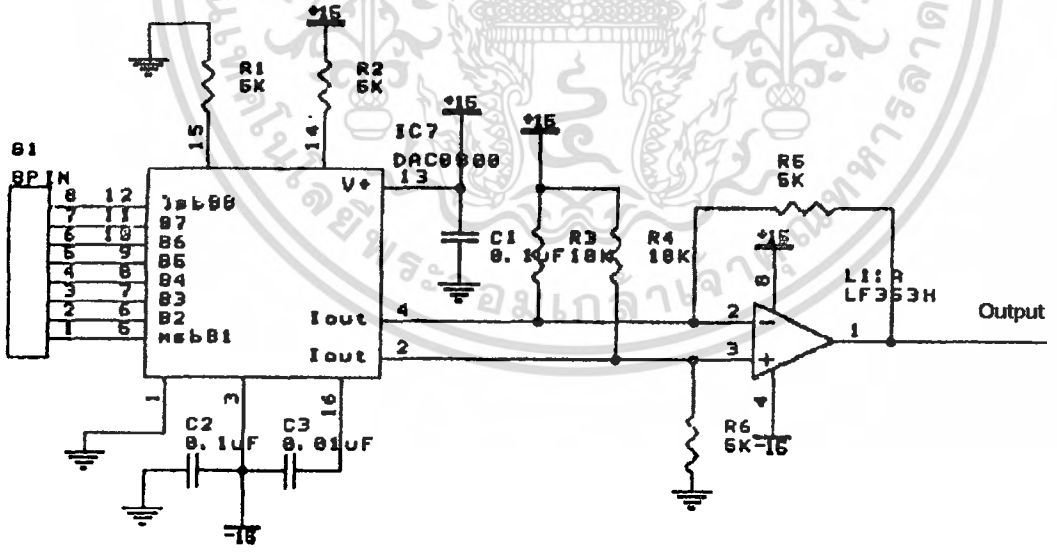
รูปที่ 3.11 บล๊อกไดอะแกรมที่ใช้ในการออกแบบระบบควบคุม

3 .4.1 อธิบายการทำงาน

ในการออกแบบขบวนการบรรจุไส้กรอก มีจุดประสงค์ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของฝาอัด ให้สอดคล้องกับกระบวนการทำงานในขั้นตอนต่างๆ การทำงานของเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ แสดงด้วยบล็อกไดอะแกรม ในรูปที่ 3.11

ชุดควบคุม(Control Unit)

ในการควบคุมกระบวนการทำงาน จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ตะกูล MCS-51 เบอร์ AT 89S8252 เป็นตัวควบคุม โดยชุดควบคุมจะรับค่าปรับตั้ง(Set Point) ค่าปรับตั้งจะเป็นค่าความเร็วของฝาอัดในกระบวนการ ค่าปรับตั้งที่ป้อนเข้ามาจะจะถูกปรับเปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าคงที่ เพื่อนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ป้อนกลับมาจากเอ็นโคดเดอร์ ซึ่งถูกแปลงมาจากสัญญาณความถี่เป็นระดับแรงดันคงที่เช่นกัน ค่าแรงดันที่นำมาเปรียบเทียบแล้วจะส่งไปยังตัวควบคุม(Controller) เพื่อใช้ในการประมวลผล ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณควบคุมที่เป็นสัญญาณดิจิตอลไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก(Digital to Analog Convertor) ดังรูปที่ 3.12 สัญญาณอนาล็อกที่ได้จะถูกส่งไปยังตัวขับมอเตอร์(Driver)เพื่อควบคุมความเร็วและทิศทางของชุดต้นกำลังต่อไป



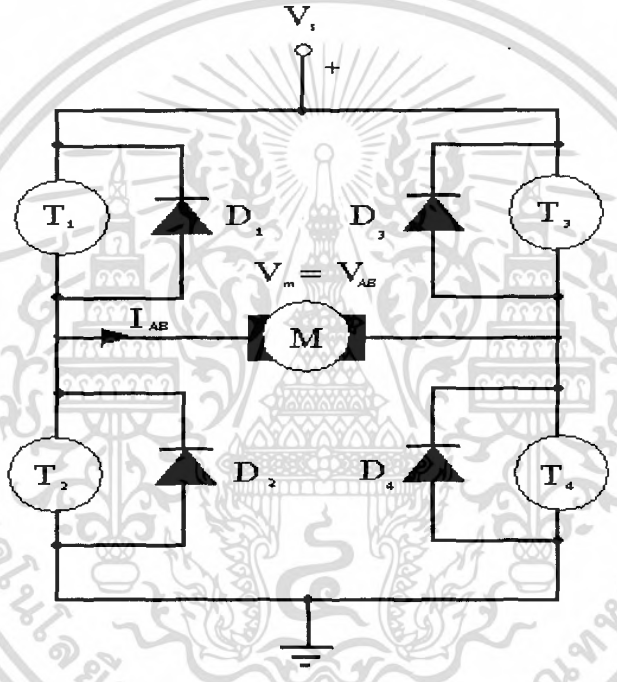
รูปที่ 3.12 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวขับเคลื่อนมอเตอร์(Driver)

เป็นตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยรับคำสั่งจากสัญญาณควบคุมที่มาจากชุดควบคุม ตัว Driver มีส่วนประกอบ ดังนี้

- ตัวควบคุมชนิดP.I.
- วงจร PWM
- วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ H – bridge
- ตัวตรวจจับแรงดันตกคร่อมมอเตอร์



รูปที่ 3.13 แสดงการควบคุมมอเตอร์แบบ H-Bridge

การควบคุมแบบ H-Bridge เป็นการควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ โดยสัญญาณที่ได้จาก พัลซ์วิดท์มอดูเลชั่น(PWM) มาควบคุมการเปิดปิดสวิตช์ทั้ง 4 ตัว

มอเตอร์

เป็นส่วนที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานในเชิงกล โดยมีอินพุทเป็นระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และเอาท์พุทเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder)

เป็นตัวตรวจจับสถานการณ์ทำงานของมอเตอร์ไปยังตัวควบคุม เอ็นโคดเดอร์มีอินพุทเป็นการเคลื่อนเชิงมุม และมีเอาท์พุทเป็นสัญญาณความถี่หรือสัญญาณพัลซ์(Pulse)

ขบวนการ(Process)

ประกอบไปด้วยชุดเฟืองส่งกำลัง และสะพานเฟืองในการขับเคลื่อนฝาอัดไส้กรอกให้เคลื่อนที่และเปลี่ยนทิศทางจากอินพุทการเคลื่อนที่เชิงมุมของมอเตอร์ ให้เป็นการเคลื่อนเชิงเส้น ทำให้ฝาอัดเคลื่อนที่ขึ้นลง ใช้ในการบรรจุไส้กรอกต่อไป

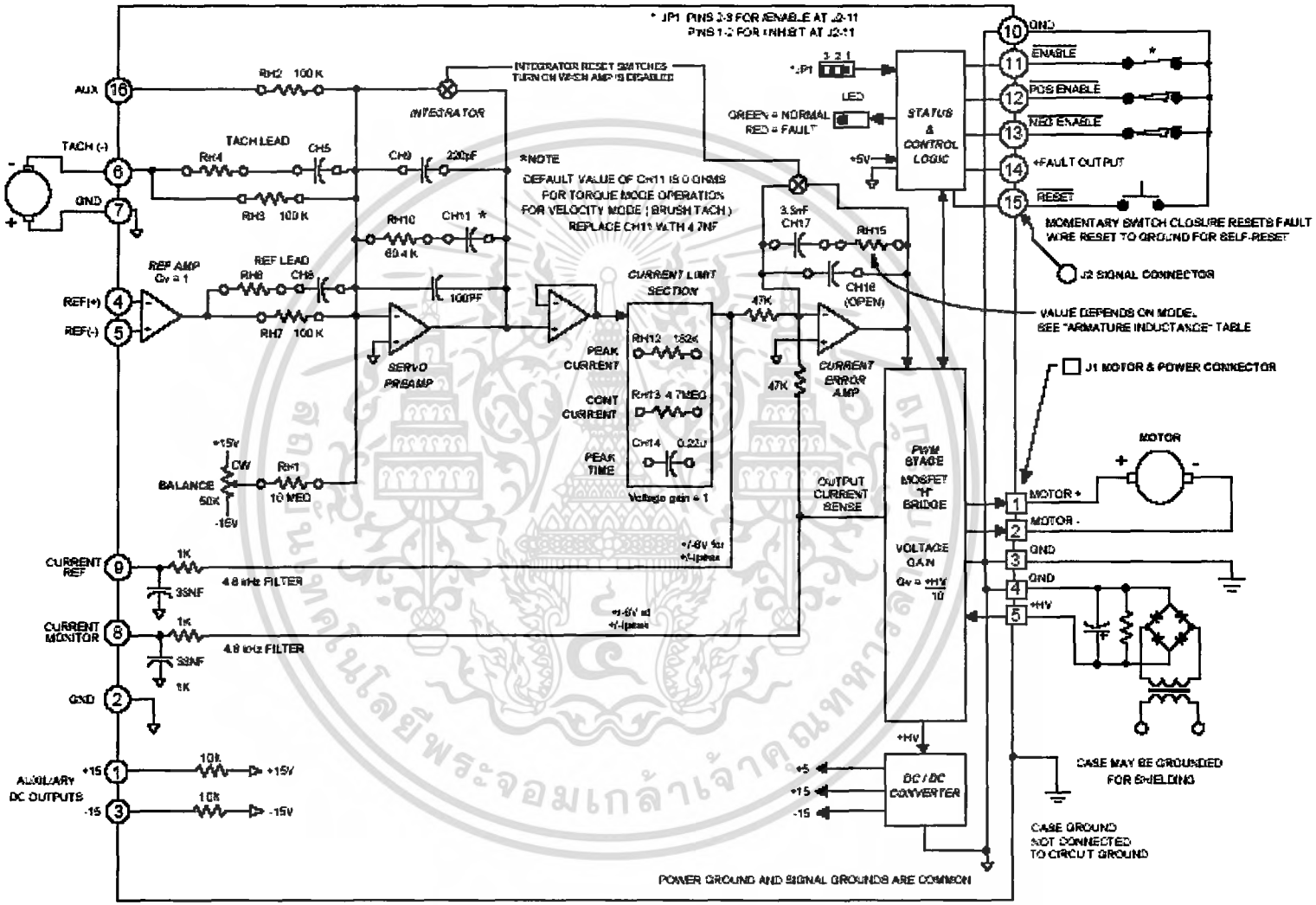
ในกระบวนการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในการขับเคลื่อนฝาอัด ซึ่งจะมี 3 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 มอเตอร์จะหมุนเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วสูง เมื่อฝาอัดเคลื่อนที่ลงไปจนสัมผัสกับโหลดหรือไส้กรอกไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งค่าปรับตั้ง(Set Point) ควบคุมให้มอเตอร์ลดความเร็วลงให้เหมาะสมกับการอัดไส้กรอก

ระยะที่ 2 มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วคงที่ในการอัดไส้กรอก จนกว่าจะสุดถึงก้นถังและเมื่อถึงก้นถังไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งค่าปรับตั้ง ให้เปลี่ยนทิศทางการหมุนและหมุนกลับด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้น ในส่วนนี้จะมีเอ็นโค้ดเดอร์เป็นเซ็นเซอร์(Sensor) ในการรับรู้ว่ามอเตอร์หมุนไปเป็นจำนวนพัลซ์เท่าใดและทำให้สะพานเฟืองหมุนไปได้ระยะเท่าใด เอ็นโค้ดเดอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้อนกลับของระบบนี้

ระยะที่ 3 เมื่อมอเตอร์สัมผัสก้นถังและหมุนกลับด้วยความเร็วสูง และเคลื่อนที่ไปจนถึงตำแหน่งเริ่มต้น(Home Position) ก็เป็นการจบการทำงานครบ 1 รอบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



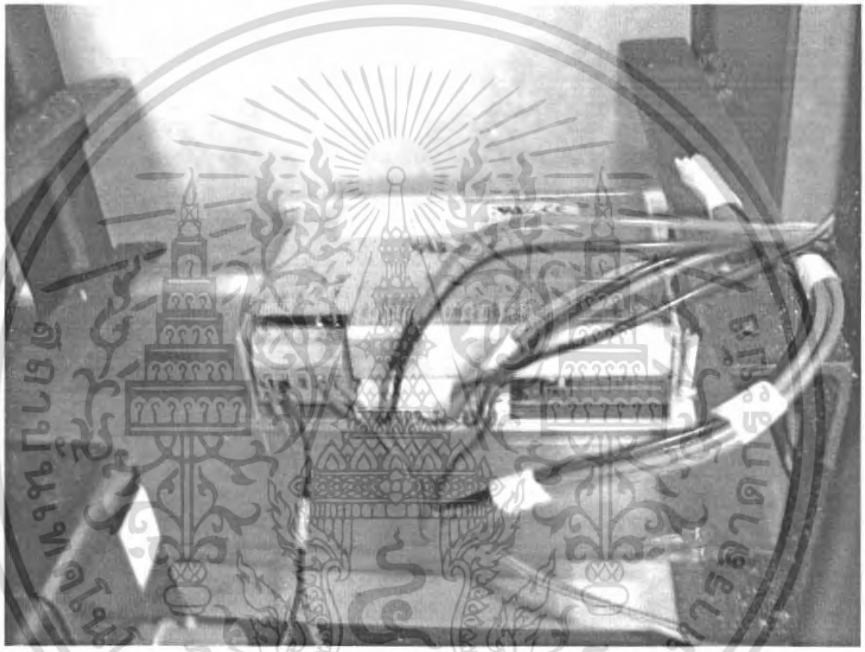
รูปที่ 3.14 ชุดวงจรขับมอเตอร์

บทที่4

การทดลอง

จากการออกแบบและสร้างเครื่องบรรจุไส้กรอก ได้เครื่องบรรจุไส้กรอกที่สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งประกอบด้วยชุดควบคุมมอเตอร์ ชุดเฟืองส่งกำลัง และถังบรรจุไส้กรอก

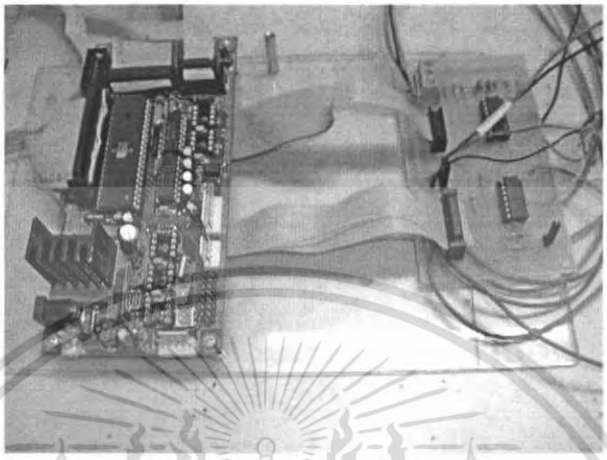
ในส่วนของชุดควบคุมมอเตอร์ประกอบด้วยชุดขับมอเตอร์(Driver) และวงจรควบคุมดังรูปที่ 4.1 เป็นชุดขับมอเตอร์ซึ่งใช้ไฟเลี้ยง 90 V



รูปที่ 4.1 ชุดขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

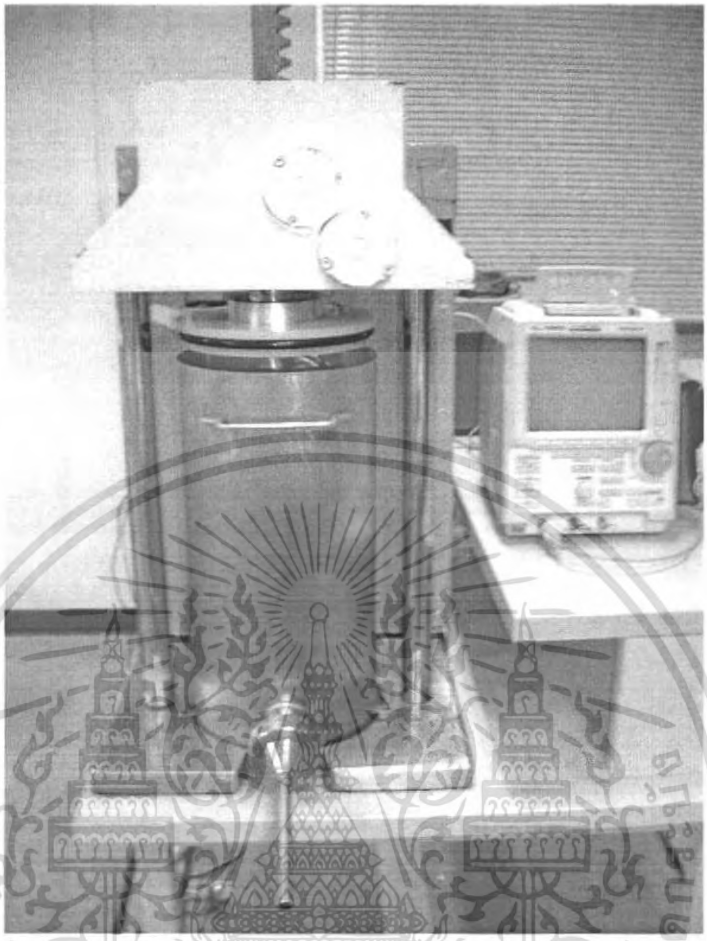
ชุดวงจรควบคุมประกอบด้วยชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสั่งงานและวงจรแปลงสัญญาณแรงดันดิจิตอลเป็นอนาล็อก(D to A Converter) ดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ชุดวงจรควบคุมและวงจรแปลงสัญญาณแรงดันดิจิตอลเป็นอนาล็อก

รูปที่ 4.3 เอ็นโค้ดเดอร์และมอเตอร์ขับเพลาส่งกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 รูปเครื่องอัดไส้กรอกที่เสร็จสมบูรณ์ พร้อมนำไปใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การทดลองที่ 1

4.1.1 การทดลองความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความเร็วรอบของมอเตอร์

จุดประสงค์

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความเร็วรอบของมอเตอร์

วัสดุและอุปกรณ์

1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
2. เพาเวอร์ซัพพลาย
3. ดิจิตอลทาโคมิเตอร์

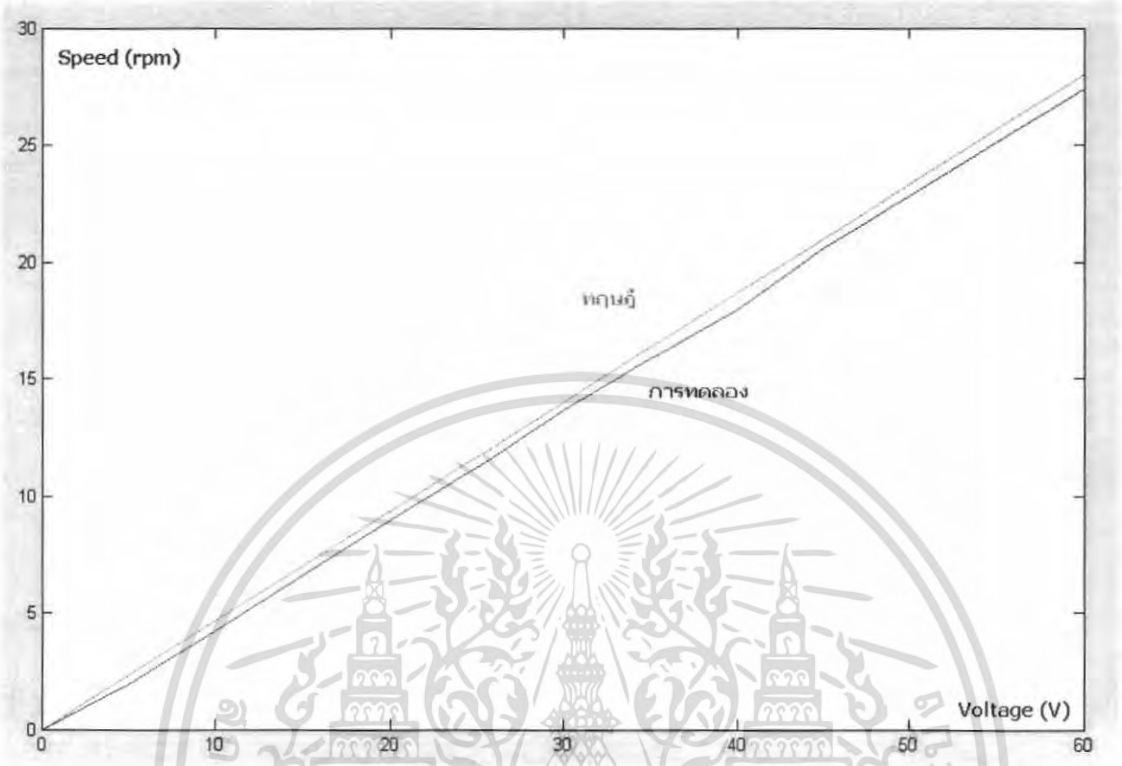
วิธีการทดลอง

1. ต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับมอเตอร์
2. ค่อยๆป้อนแรงดันระดับต่างๆให้กับมอเตอร์ อ่านค่าแรงดันและวัดความเร็วรอบ
3. บันทึกค่าที่อ่านได้จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันและความเร็วรอบของมอเตอร์

แรงดันที่ป้อนมอเตอร์ (Volt)	ความเร็วรอบจากคำนวณ (rpm)	ความเร็วรอบการทดลอง (rpm)	แรงดันที่ป้อนมอเตอร์ (volt)	ทฤษฎีความเร็วรอบ (rpm)	การทดลองความเร็วรอบ (rpm)
0	0	0	35	16.33	15.84
5	2.33	1.90	40	18.67	17.95
10	4.67	4.23	45	21.0	20.59
15	7.0	6.64	50	23.33	22.84
20	9.33	8.96	55	25.67	25.13
25	11.67	11.22	60	28.0	27.41
30	14.0	13.68	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและความเร็วรอบของมอเตอร์

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มแรงดันให้มอเตอร์จะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้น(Linear) ตามทฤษฎีระหว่างแรงดันกับความเร็วรอบของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองที่ 2

4.2.1 การทดลองวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ขณะไม่บรรจุไส้กรอก(No Load)

จุดประสงค์

เพื่อทดสอบว่าการไหลของกระแสเกินพิกัดของมอเตอร์หรือไม่

วัสดุและอุปกรณ์

1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
2. เพาเวอร์ซัพพลาย
3. ชุดมอเตอร์กระแสตรง

วิธีการทดลอง

1. ต่อเพาเวอร์ซัพพลายเข้ากับชุดมอเตอร์ ด้วยแรงดันค่าต่างๆ
2. นำดิจิตอลมัลติมิเตอร์ไปต่ออนุกรมกับมอเตอร์
3. อ่านค่ากระแสจากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ บันทึกและสรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์

แรงดันที่ป้อน(V)	กระแสขณะไม่มีโหลดขาลง(A)	กระแสขณะไม่มีโหลดขาขึ้น(A)
0	0	0
10	0.5	0.5
20	0.5	0.5
30	0.5	0.5
40	0.5	0.5
50	0.7	0.6
60	0.7	0.6

สรุปผลการทดลอง

กระแสที่ใช้ในการทดลองมีค่าไม่เกินพิกัดที่มอเตอร์สามารถทนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองที่ 3

4.3.1 การทดลองวัดค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ขณะมีไส้กรอก(มี Load)

จุดประสงค์

เพื่อทดสอบและหาค่ากระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ขณะมีโหลด

วัสดุและอุปกรณ์

1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
2. สายไฟ
3. ไส้กรอก

วิธีการทดลอง

1. ต่อสายวงจรกับดิจิตอลมัลติมิเตอร์อนุกรมกับมอเตอร์
2. จ่ายไฟให้กับชุดวงจร
3. บันทึกค่ากระแสที่อ่านค่าได้จากดิจิตอลมัลติมิเตอร์ และสรุปผลการทดลอง

ตารางที่ 4.3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของการทำงานแบบอัตโนมัติ

แรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์(V)	ลักษณะการทำงาน	กระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์(A)
75.4	ฝาอัดเคลื่อนที่ลง	0.58
38.5	ฝาอัดสัมผัสเนื้อไส้กรอก	4.1
73.2	ฝาอัดเคลื่อนที่ขึ้น	0.63

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเมื่อฝาอัดเคลื่อนที่มาสัมผัสโหลดหรือไส้กรอก ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมอเตอร์ที่ได้รับแรงต้านจากโหลดจะมีค่าทอร์กเพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าทอร์กมีค่าแปรผันตรงกับกระแส นั่นคือ ถ้ากระแสมีค่าเพิ่มขึ้นค่าทอร์กจะเพิ่มขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองที่ 4

4.4.1 การทดลองหาค่ากำลังไฟฟ้า

จุดประสงค์

เพื่อทดสอบว่าเครื่องบรรจุไส้กรอกใช้กำลังไฟฟ้าเท่าไร ในการบรรจุแต่ละครั้ง

วัสดุและอุปกรณ์

1. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
2. สายไฟ
3. ไส้กรอก

วิธีการทดลอง

1. ต่อดิจิตอลมัลติมิเตอร์อนุกรมเพื่อวัดกระแสไฟฟ้า และต่อขนานเพื่อวัดค่าแรงดันกับ แหล่งจ่ายเพื่อวัดหาค่ากำลังไฟฟ้าอินพุท
2. ต่อดิจิตอลมัลติมิเตอร์อนุกรมเพื่อวัดกระแสไฟฟ้า และต่อขนานเพื่อวัดค่าแรงดันกับมอเตอร์เพื่อวัดหาค่ากำลังไฟฟ้าเอาท์พุท
3. จ่ายไฟให้กับชุดวงจร
4. บันทึกผลที่ได้ในตาราง 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าอินพุท

แรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์(V)	ลักษณะการทำงาน	กระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์(A)
79.7	ฝาอัดเคลื่อนที่ลง	0.61
45.3	ฝาอัดสัมผัสเนื้อไส้กรอก	4.0
78.5	ฝาอัดเคลื่อนที่ขึ้น	0.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าเอาท์พุท

แรงดันที่ป้อนให้มอเตอร์(V)	ลักษณะการทำงาน	กระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์(A)
75.4	ฝาอัดเคลื่อนที่ลง	0.58
38.5	ฝาอัดสัมผัสเนื้อไส้กรอก	4.1
73.2	ฝาอัดเคลื่อนที่ขึ้น	0.63

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า $P = IV$

ประสิทธิภาพ(Efficiency) $= \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100$

เมื่อ

P คือ ค่ากำลังไฟฟ้า(วัตต์)

V คือ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ป้อน(โวลต์)

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง(แอมแปร์)

กำลังไฟฟ้าอินพุท $P_{input} = 45.3 \times 4.0$ วัตต์

$= 181.2$ วัตต์

กำลังไฟฟ้าเอาท์พุท $P_{output} = 38.5 \times 4.1$ วัตต์

$= 146.78$ วัตต์

ประสิทธิภาพ(Efficiency) $= \frac{146.78}{181.2} \times 100$ %

$= 81.0$ %

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติมีกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 146.78 วัตต์ และมีประสิทธิภาพ(Efficiency) เท่ากับ 81 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองที่ 5

4.5.1 การทดลองวัดสัญญาณของระบบควบคุมการทำงานของเครื่องบรรจุไส้กรอก

วัตถุประสงค์

เพื่อวัดสัญญาณเอาท์พุทโดยรวมของการทำงานของเครื่องอัดไส้กรอกอัตโนมัติว่าเป็นไปตามรูปแบบการทำงานที่ออกแบบไว้หรือไม่

วัสดุและอุปกรณ์

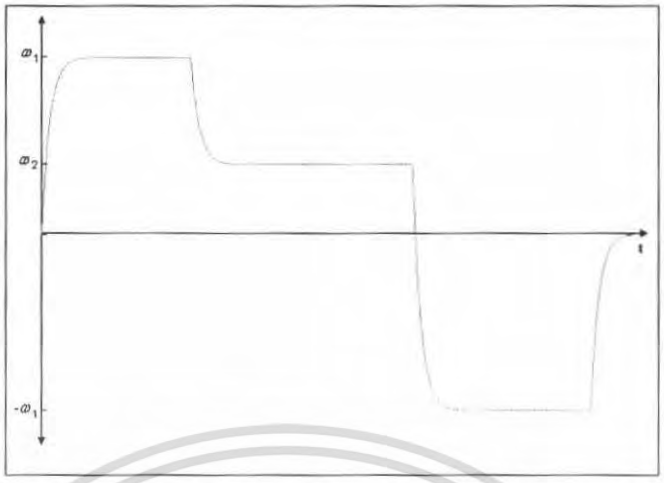
1. ออสซิลโลสโคป
2. เพาเวอร์ซัพพลาย
3. ชุดวงจร

วิธีการทดลอง

1. จ่ายไฟให้กับวงจร
2. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาท์พุทตั้งแต่การทำงานเริ่มต้น จนเสร็จสิ้นการทำงาน
3. บันทึกสัญญาณที่ได้

รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากการทำงานโดยรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การออกแบบรูปแบบ(Profile)ควบคุมการทำงาน

สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากการทดลอง

รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบการทำงานของการรูปแบบการควบคุมและสัญญาณเอาท์พุทจากการทดลอง

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง จะเห็นได้ว่าสัญญาณเอาท์พุทที่ได้นั้นเป็นไปตาม Profile ที่ได้ออกแบบไว้ของการควบคุมการทำงานของเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การทดลองที่ 6

4.5.1 การทดสอบสมรรถนะของเครื่องบรรจุไส้กรอก

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทดสอบอัตราในการบรรจุไส้กรอก
2. หาประสิทธิภาพในการบรรจุไส้กรอกในแต่ละครั้ง

วัสดุอุปกรณ์

2.	เครื่องบรรจุไส้กรอก	1	เครื่อง
3.	วัสดุอาหารสำหรับทำไส้กรอกกรมควัน	6	กิโลกรัม
4.	นาฬิกาจับเวลา	1	เรือน
5.	ไส้เทียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร	1	ม้วน

6. เครื่องชั่งน้ำหนัก ขนาดชั่งสูงสุด 60 กิโลกรัม ความละเอียด 0.01 กิโลกรัม

วิธีการทดลอง

1. เตรียมเครื่องบรรจุไส้กรอกให้พร้อมทำงาน
2. ชั่งน้ำหนักถังบรรจุเปล่า
3. เตรียมวัสดุสำหรับใช้ทำไส้กรอกกรมควัน
4. นำวัสดุสำหรับทำไส้กรอกกรมควัน 2 กิโลกรัม มาบรรจุลงในถัง แล้วชั่งน้ำหนักรวมกับน้ำหนักของถัง
5. สวมไส้เทียมที่กรวยป้อน
6. เดินเครื่องพร้อมจับเวลา โดยเริ่มจับเวลาที่ส่วนผสมออกจากปากกรวยป้อน และหยุดจับเวลาเมื่อฝาอัดไส้กรอกอัดลงไปสุดก้นถัง
7. นำวัสดุที่ใช้ทำไส้กรอกที่เหลือในก้นถังมาชั่งน้ำหนัก
8. บันทึกเวลาที่ได้ และน้ำหนักของวัสดุอาหารที่ค้างอยู่ในถังบรรจุ ในตารางบันทึกผล
9. คำนวณหาอัตราในการบรรจุไส้กรอก และประสิทธิภาพในการบรรจุไส้กรอก ตามสูตรดังต่อไปนี้
10. ตรวจสอบผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่ามีคุณภาพเรียบร้อย สวยงามอย่างไร แล้วบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราในการบรรจุ(kg/min) = น.น.ของไส้กรอกที่บรรจุ(kg)
เวลาที่ใช้ในการบรรจุ(min)

ประสิทธิภาพในการบรรจุ = น.น.ไส้กรอกก่อนบรรจุ(kg) – น.น.ไส้กรอกที่เหลือค้างในถัง(kg) x100
น.น.ไส้กรอกก่อนบรรจุ(kg)

11. บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 บันทึกผลการทดลอง

นน.ถังเปล่า(kg)	นน.ไส้กรอกรวมถัง (kg)	นน.ไส้กรอก (kg)	เวลาที่ใช้ในการบรรจุ (s)	นน.ไส้กรอกที่ติดอยู่ในถังรวม นน.ของถังบรรจุ (kg)	นน.ไส้กรอกที่เหลือค้างอยู่ในถัง (kg)	นน.ไส้กรอกที่เหลือค้างอยู่ในถังเฉลี่ย (kg)	การตรวจสอบผลิตภัณฑ์
5.90	7.95	2.05	90.38	6.15	0.25	0.30	ใช้ได้ มีฟองอากาศเล็กน้อย ไส้กรอกไม่เละ ไม่แน่นมาก
	7.91	2.07	84.54	6.21	0.31		
	7.92	2.02	87.87	6.24	0.34		

น้ำหนักไส้กรอกเฉลี่ย = $\frac{(2.05+2.07+2.02)}{3}$ กิโลกรัม

= 2.05 กิโลกรัม

เวลาที่ใช้ในการบรรจุเฉลี่ย = $\frac{(90.38+84.54+87.87)}{3}$ วินาที

= 87.60 วินาที

อัตราในการบรรจุ(kg/min) = $\frac{2.05}{87.6}\times 60$ กิโลกรัม ต่อ นาที

= 1.40 กิโลกรัม ต่อ นาที

ประสิทธิภาพในการบรรจุ (%) = $\frac{2.05-0.30}{2.05}\times 100$ %

2.05

= 85.37 %

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ สามารถบรรจุไส้กรอกได้ 1.40 กิโลกรัม ต่อ นาที ไส้กรอกที่บรรจุออกมาได้คุณภาพดี มีฟองอากาศน้อย และไม่แน่นมากนัก เครื่องบรรจุไส้กรอกมีประสิทธิภาพเท่ากับ 85.37%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติ(Automatic Sausage Table Top Stuffer) สรุปได้ว่าเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัติสามารถทำงานได้ดี โดยเครื่องบรรจุไส้กรอกจะใช้มอเตอร์ไฟกระแสตรงแรงดันสูงสุด 90 V ต่อกับชุดเฟืองทด มีความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที ที่อัตราทดเท่ากับ 1 : 60 ซึ่งทดความเร็วลดลงเหลือประมาณ 42 รอบต่อนาที จากการทดลองบรรจุไส้กรอกจริงพบว่ามอเตอร์จะใช้กำลังไฟฟ้าในการทำงานเพียง 146.78 วัตต์ และมีประสิทธิภาพในการบรรจุเท่ากับ 85.37 เปอร์เซ็นต์

จากการออกแบบ การสร้างและการทดลองเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัตินี้ พบว่าผลที่ได้จากโครงงานนี้สามารถสร้างเครื่องบรรจุไส้กรอกแบบโดยอัตโนมัติ ที่สามารถใช้งานได้จริงตามที่ได้ออกแบบไว้ มีประสิทธิภาพดีเหมาะสำหรับใช้ในครัวเรือนและอุตสาหกรรมขนาดย่อม หรือผู้ประกอบการรายย่อย อีกทั้งยังสามรถพัฒนาต่อไปจนถึงระดับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้ด้วย ถึงแม้ว่าเครื่องบรรจุไส้กรอกอัตโนมัตินี้จะมีประสิทธิภาพมากเพียงใด แต่ก็ยังมีอยู่หลายจุดที่ควรจะต้องมีการปรับปรุงและแก้ไขต่อไป

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะแนวทางการแก้ไข

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการลงมือทำโครงงานนี้มีหลายส่วน ได้แก่

1. เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำเป็นฐานและเคส(case) ของชุดเฟืองส่งกำลัง มีโครงสร้างเป็นเหล็ก ทำให้มีน้ำหนักมาก เคลื่อนย้ายลำบาก ยิ่งไปกว่านั้นเคส(case) ของชุดเฟืองส่งกำลังเป็นเหล็กที่ไม่ได้เคลือบสแตนเลสทำให้เกิดสนิมได้ง่าย

แนวทางการแก้ไข

ใช้วัสดุที่เป็นสแตนเลส เนื่องจากมีน้ำหนักเบา แข็งแรงทนทาน และไม่เกิดสนิม

2. จากการทดลองนำฝาอัดมาเคลื่อนที่ขึ้นและลงในถังบรรจุ พบว่าเคลื่อนที่ได้ยากซึ่งเกิดจาก แรงเสียดทานระหว่างถังบรรจุ กับโอริง(O-ring) มีมาก เนื่องจากโอริง(O-ring) มีความหนามาก เกินไป

แนวทางการแก้ไข

เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโอริง(O-ring) ให้เล็กลง หรือ เซาะร่องฝาอัดให้ลึกขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชุดเฟืองส่งกำลังทำจากวัสดุที่เป็นเหล็ก ทำให้เกิดสึกได้ถ้าไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานาน

แนวทางการแก้ไข

ดูแลไม่ให้จาระบีแห้ง

4. ค่าจากการทดสอบแรงกดคือ 0 ถึง 40 กิโลกรัมต่อนาที เป็นค่าที่ยังไม่ได้เผื่อ เพื่อรองรับต่อไส้กรอกอีสานซึ่งมีเนื้อที่หยาบกว่าไส้กรอกชนิดอื่น ทำให้เกิดแรงเสียดทานมากกว่า และต้องใช้แรงกดมากขึ้น

แนวทางการแก้ไข

ในการออกแบบจึงใช้ค่าแรงกด คือ 0 ถึง 100 กิโลกรัมต่อนาที

5. เนื่องจากการทดลองจริง ในขณะทำการทดลองอยู่เมื่อมอเตอร์เริ่มทำงานแล้ว ฝาอัดจะเคลื่อนที่ลง เนื่องจากเครื่องบรรจุไส้กรอกเป็นแบบอัตโนมัติที่ทำงานอย่างต่อเนื่อง หากเกิดความผิดพลาดในการทดลองที่ต้องการให้ฝาอัดเคลื่อนที่ขึ้น หรืออุบัติเหตุที่ต้องการหยุดเครื่องกะทันหันอาจจะไม่สามารถทำได้

แนวทางการแก้ไข

ผู้จัดทำจึงทำการใส่สวิตช์สั่งงานให้ฝาอัดหยุด(Stop) และสวิตช์กดให้ฝาอัดเคลื่อนที่ขึ้น(Up) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน ,**การออกแบบเครื่องจักรกล(Machine design) เล่ม1 ,** ครั้งที่ 10.กรุงเทพฯ : บริษัท เอช เอ็น กรุ๊ป จำกัด.2537

[2] นคร ภักดีชาติ ,ธีรบูลย์ หล่อวิเชียรรุ่ง และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล,**ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยโปรแกรมภาษาซี** :บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด.2521

[3] ดอน สันดาป ,**ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน 2** :สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.(สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น).2537

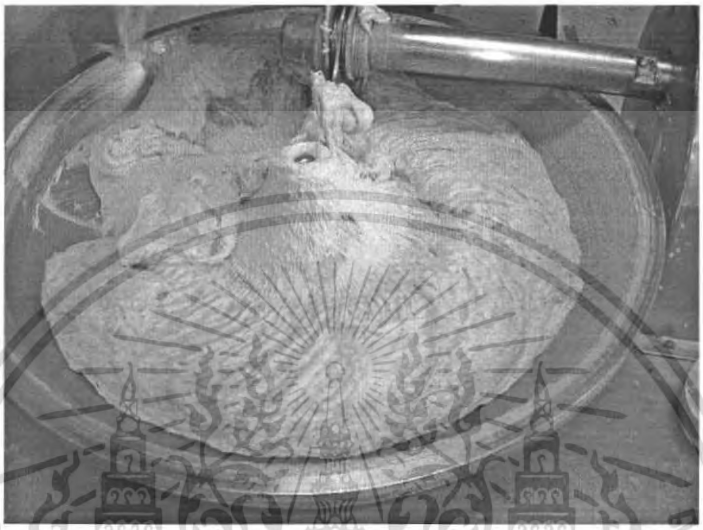
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

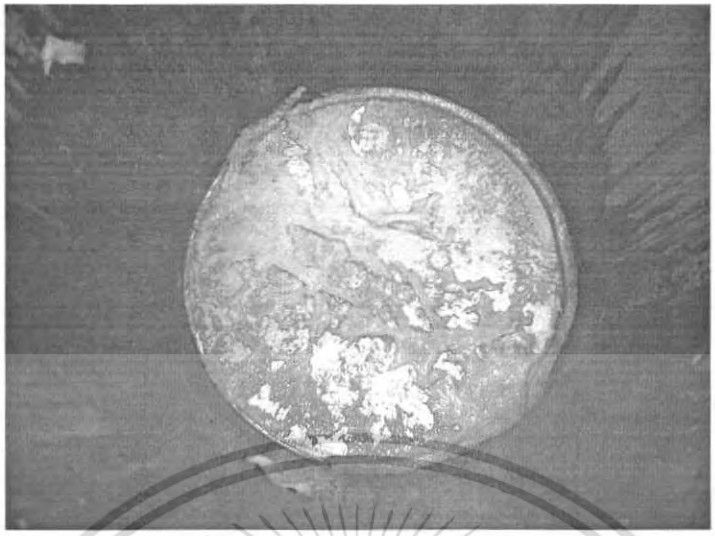
ภาพประมวลการทดลองและโปรแกรมควบคุมการทำงาน



รูปที่ 1 วัสดุอาหารที่นำไปบรรจุไส้กรอกรมควัน

รูปที่ 2 แสดงรูปขณะบรรจุไส้กรอก

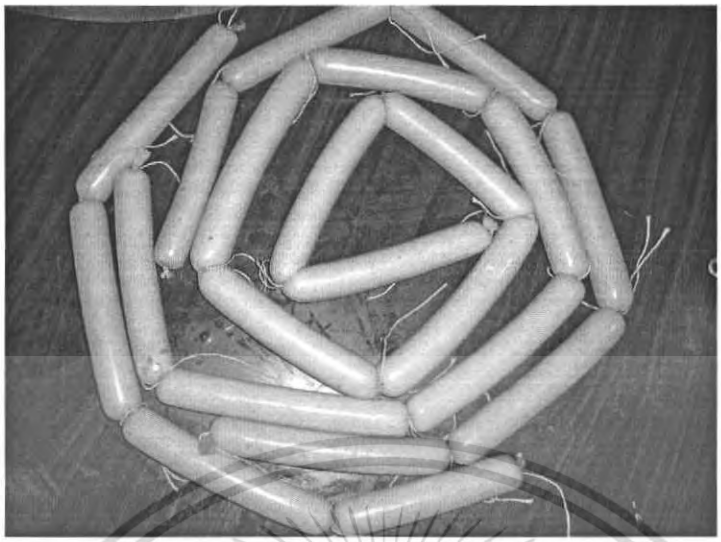
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ไส้กรองที่เหลือภายในถังหลังจากการบรรจุ

รูปที่ 4 ฝาอัดหลังจากการบรรจุไส้กรองเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกรมควันเมื่อเสร็จเรียบร้อย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมการทำงาน

```
#include<reg51rx.h>

sbit input = P2^0;
sbit start = P2^4;
sbit home = P2^5;
sbit stop = P2^6;
sbit up = P2^7;

unsigned int state;
unsigned int out_put;
unsigned int pulse = 0;
unsigned int m_sec = 0;
unsigned int count = 0;


void sevice_timer1(void)interrupt 3
{
   TF1 = 0;
   TH1 = 0xFD;
   TL1 = 0x1D;
  m_sec++;
}

void main(void)
{
   out_put = 191;
   P1 = out_put;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
TMOD = 0x10;
EA = 1;
ET1 = 1;
pulse =0;
m_sec = 0;
while(start){
        while(~up){ P1 = 152; }
        while(~home){
                TR1 = 1;
                P1 = 80;
                while(m_sec<=5000);
                m_sec = 0;
                while(m_sec<1000){
                        TF1 = 0;
                        TH1 = 0xFD;
                        TL1 = 0x1D;
                        m_sec  = 0;
                        while(input && m_sec<1000);
                        while(~input && m_sec<1000);
                }
        m_sec = 0;
        P1 = 191;
        while(m_sec<=200);
        P1 = 152;
        out_put = 152;
        while(pulse<=15800){
                        while(~input);
                        while(input);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                        pulse++;
                                        if(pulse==1000){out_put = 130;}
                                        if(pulse==14000){out_put = 152;}
                                        P1 = out_put;
                                      }

                              }
                P1 = 191;
                state = 1;
                 TR1 = 0;
               }

while(1){
               while(~stop);
               while(start && state<1);
               pulse = 0;
              state = 1;
             TR1 =1;
             out_put = 120;
             P1 = out_put;
             while(m_sec<8000){
                                  while(input);
                                  while(~input);
                                  pulse++;
                                  }
            m_sec = 0;
            count = 0;
            while( pulse<15600 && state<=2 ){
                                              P1 = out_put;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    TF1 = 0;
                    TH1 = 0xFD;
                    TL1 = 0x1D;
                    m_sec = 0;
                    while(input);
                    while(~input);
                    pulse++;
                    if(m_sec>=6){ count++; }
                    if(m_sec<6){count = 0;}
                    if(count==20){
                                out_put = 80;
                                state = 2;
                                 }
                    while(~stop && state<=2){
                                          P1 =191;
                                        while(~home){ state = 3;}
                                        }
                    m_sec = 0;
                  }
 P1 = 191;
 while(m_sec<=1000);
out_put = 130;
TR1 = 0;
while(pulse>0){
                    P1 = out_put;
                    while(~input);
                    while(input);
                    if(pulse==1000){ out_put = 165; }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    if(pulse==500){ out_put = 157; }
                    pulse--;
                    while(~start);
                    }
        P1 = 191;
        state = 0;
      }
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้