สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาและออกแบบเครื่องอัดงาแท่ง

STUDY AND DESIGN OF SESAME BAR MACHINE

โดย

นางสาวดุจฤดี ยุวนานนท์

นางสาวพัชรินทร์ พงศ์รัตนพิทักษ์

นายวรนิต ปั้นปรีชา

หมู่.....
เลขทะเบียน 62563
วัน,เดือน,ปี 19 ส.ค. 2549

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมอาหาร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาและออกแบบเครื่องอัดงาแท่ง

STUDY AND DESIGN OF SESAME BAR MACHINE

ผู้จัดทำ

นางสาวดุจฤดี ยุวนานนท์

นางสาวพัชรินทร์ พงศ์รัตนพิทักษ์

นายวรนิต ปั้นปรีชา

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์เจษฎา ชัยโฉม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาและออกแบบเครื่องอัดงาแท่ง

นางสาวดุจฤดี ยุวนานนท์

นางสาวพัชรินทร์ พงศ์รัตนพิทักษ์

นายวรนิต ปั้นปรีชา

อาจารย์เจษฎา ชัยโฉม อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

งาเป็นธัญพืชที่มีสารอาหารครบถ้วน ดังนั้นผู้บริโภคจึงหันมาบริโภค แต่เนื่องจากงามีลักษณะในการรับประทานยาก ดังนั้นในโครงงานนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษา การออกแบบและสร้างเครื่องอัดงา ให้ได้ขนาด 3 x10 x1 cm โดยการนำ PLC มาใช้ในการควบคุมการทำงานของระบบเครื่อง และใช้กระบอกลมนิวเมติกในการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งกำลังการผลิตของเครื่องอยู่ที่ 3 ชิ้นต่อนาที จากนั้นนำงาที่อัดเป็นแท่งมาทดสอบ โดยการฉายภาพฉายด้านบนและด้านข้างเพื่อหาเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดของพื้นที่ เปอร์เซ็นต์การผิดพลาดด้านบน 11.04 เปอร์เซ็นต์ และทางด้านข้าง 20.16 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากนั้นจึงศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งของงาอัดแท่งที่ได้ ได้แก่ ปริมาณเพกติน ปริมาณน้ำตาล และความดัน ที่ใช้ในการอัด หลังจากนั้นนำข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้มาหาความสัมพันธ์โดยวิธีถดถอยกำลังสองน้อยสุด โดยการสร้างแบบจำลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเพกติน ปริมาณน้ำตาล และความดัน พบว่าปริมาณเพกตินมีผลต่อค่าความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือ ปริมาณน้ำตาลและความดันตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY AND DESIGN OF SESAME BAR MACHINE

Miss Dutrudee Uvananont

Miss Patcharin Phongratanapituk

Mr. Woranit Phanprecha

Mr. Jedsada Chaishome Advisor

Abstract

Growing consumer awareness related to the health benefits has lead to the increase demand of sesame which enriched of high nutrients. As a matter of fact, the sesame seed is tiny and very difficult to consume, therefore, we have studied and design the machine to produce the sesame bar (sesame seeds compressed to a sesame bar die) similar to cereal bar. The sesame bar has the dimension of 3x10x1. Based on our design, we have applied PLC work control system and cylinder pneumatic to mold up the product (sesame bar) with the production capacity of 3 bars per minute. Once the sesame bar is formed, we have tested the product by taking pictures of the sesame bar with top view and side view to find out the size product error percentage. The top percentage error is at 11.04% and the side view percentage error is at 20.16%. With these data, we have studied the factors that affects to the hardness of the sesame bar such as amount of pectin, amount of sugar and pressure level of pneumatical cylinder that are used to compress and form the sesame bar. Based from the acquired numerical results with experimental results, we have adjusted by multiple regression mothod.

We can conclude that the amount of pectin has the most effects to the hardness of the sesame bar and followed by the amount of sugar and pressure level respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ เจษฎา ชัยโฉม ที่ให้ความช่วยเหลือในการแนะนำและให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาตลอดจนการนำเสนอรายงานและการตรวจสอบรายงาน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยเอาใจใส่ดูแลถ่ายทอดวิชาความรู้มาโดยตลอด รวมถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอาหารทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้สามารถก้าวมาถึงจุดนี้และทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ ให้ความช่วยเหลือและให้กำลัง ใจมาโดยตลอด รวมถึงทุก ๆ ท่านที่ไม่ได้กล่าว ณ ที่นี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากโครงงานฉบับนี้ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งนี้หากรายงานมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ โอกาสนี้

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญรูปภาพ	IV
สารบัญตาราง	VI
รายการสัญลักษณ์	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ตรวจเอกสารและแหล่งข้อมูล	2
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงา	2
2.1.1 ลักษณะงาทางพฤกษศาสตร์	2
2.1.2 ชนิดพันธุ์งา	3
2.2 เพกติน	4
2.2.1 เพกตินชนิดที่มีหมู่เมธ็อกซีสูง	5
2.2.2 เพกตินชนิดที่มีหมู่เมธ็อกซีต่ำ	6
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
3.1 ระบบนิวเมติก	7
3.1.1 การควบคุมระบบนิวเมติก	7
3.1.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบนิวเมติก	8
3.1.3 อุปกรณ์พื้นฐานในระบบนิวเมติก	9
3.2 พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์และสวิทซ์	20
3.3 PLC (Programmable Logic Controller)	22
3.3.1 ประวัติความเป็นมา	22
3.3.2 โครงสร้างพื้นฐานของ PLC	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.3 อุปกรณ์อินพุต (Input Devices) 24

3.3.4 อุปกรณ์เอาต์พุต (Output devices) 25

3.3.5 ชนิดของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) 25

3.3.6 ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมให้กับ PLC 27

3.3.7 อุปกรณ์สำหรับการโปรแกรม 28

3.3.8 ระบบสื่อสาร (Communications) 29

3.4 เฟือง 30

3.5 บูร์ดอง 33

3.6 รีเลย์ 34

3.7 ทฤษฎีการคำนวณ 35

3.7.1 การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ (Motor) 35

3.7.2 การหาแรงของกระบอกสูบ 36

3.7.3 ปริมาณลมที่ใช้ (อัตราการใช้ลม) 37

บทที่ 4 การคำนวณและออกแบบ 39

4.1 กระบอกสูบนิวเมติก 39

4.2 รายการชิ้นส่วน 40

4.3 หลักการทำงานของเครื่องอัดงาแท่ง 41

4.4 วงจรไฟฟ้า 42

4.5 วงจร PLC 43

บทที่ 5 วิธีการทดลอง 44

5.1 วัตถุประสงค์ 44

5.2 วัสดุและอุปกรณ์ทดลอง 44

5.3 วิธีการทดลอง 44

5.4 ตารางการทดลอง 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 ผลการทดลอง	47
6.1 ผลความแข็งจากเครื่อง Texture Analysis	47
6.2 ผลเปอร์เซ็นความผิดพลาดของพื้นที่ภาพ	48
6.3 ผลการวิเคราะห์โดยวิธีถดถอยแบบไม่เชิงเส้นหลายเชิง	50
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	58
7.1 สรุปผลการวิเคราะห์	58
7.2 ปัญหาที่พบในการสร้างเครื่อง	59
7.3 ข้อเสนอแนะในการสร้างเครื่อง	59
บรรณานุกรม	60
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	62
ภาคผนวก ข	65
ภาคผนวก ค	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
3.1	แสดงระบบนิวเมติก	9
3.2	แสดงการหาค่าของถังเก็บลมอัด	12
3.3	ชุดควบคุมคุณภาพลมอัด	13
3.4	โครงสร้างการทำงานของวาล์วแบบลูกบอล	15
3.5	โครงสร้างการทำงานของวาล์วแบบเลื่อน	15
3.6	ลูกสูบชนิดทำงานทางเดียว	17
3.7	ลูกสูบชนิดทำงานสองทาง	18
3.8	Limit Switch	20
3.9	แสดงตัวอย่างโครงสร้างภายใน PLC	23
3.10	แสดงอุปกรณ์อินพุต (Input Devices)	25
3.11	แสดงอุปกรณ์เอาต์พุต	25
3.12	แสดงชนิดของ PLC แบบ Block Type	26
3.13	แสดงชนิดของ PLC แบบ Modular	27
3.14	แสดงวิธีการต่อใช้งาน PC กับ PLC	28
3.15	แสดงการนำ PLC ไปต่อใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม	30
3.16	ล้อความฝืด	30
3.17	เฟืองตรง	31
3.18	เฟืองหนอน	31
3.19	เฟืองดอกจอก	32
3.20	ลักษณะรูปร่างของฟันเฟือง	32
3.21	เฟืองสะพาน	32
3.22	รีเลย์	35
3.23	กราฟการหาอัตราการใช้ลม	38
4.1	แสดงภาพรวมของเครื่องอัดงาแท่งตามรายการชิ้นส่วน	40
4.2	วงจรไฟฟ้า	42
4.3	Ladder Diagram	43
6.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกับเพกตินที่มีผลต่อความแข็งที่ความดัน 5 บาร์	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกับเพกตินที่มีผลต่อความแข็งที่ความดัน 6 บาร์ 53

6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกับเพกตินที่มีผลต่อความแข็งที่ความดัน 7 บาร์ 53

6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่เพกติน 4.5 กรัม 54

6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่เพกติน 4.6 กรัม 54

6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่เพกติน 4.7 กรัม 55

6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพกตินกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่น้ำตาล 0 กรัม 55

6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพกตินกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่น้ำตาล 2 กรัม 56

6.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพกตินกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่น้ำตาล 4 กรัม 56

6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพกตินกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่น้ำตาล 6 กรัม 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 ขนาดมาตราฐานของลูกสูบ และช่วงชักมาตราฐานจากต่ำสุดถึงสูงสุด 18

3.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์กับสวิตซ์แบบกลไก 21

3.3 แสดงข้อดีข้อเสีย ของ PLC แบบ Block type 26

3.4 แสดงข้อดีข้อเสียของ PLC แบบ Modular 27

3.5 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของบูร์ดอง 34

4.1 แสดงรายการชิ้นส่วน (Part of List) 40

5.1 ตารางส่วนผสมของงา 45

5.2 ตารางการเก็บตัวอย่าง 45

6.1 ความแข็งที่สภาวะต่าง ๆ 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์

P	แหล่งจ่ายลม
A	ช่องทางลมออก
q	ปริมาณความร้อน (J)
m	มวลของวัตถุ (kg)
c	ความร้อนจำเพาะของวัตถุ (J/kg °K)
Δt	การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (°K)
W	กำลังวัตต์ (Watts)
t	เวลาในการให้ความร้อน(s)
Wp	กำลังของมอเตอร์
T	แรงบิดของมอเตอร์
N	ความเร็วรอบของมอเตอร์
N_s	(120 x ความถี่ของกระแสไฟฟ้า) / จำนวนขั้ว
s	ค่า slip ของมอเตอร์อยู่ระหว่าง 5 – 10 เปอร์เซ็นต์
F_1	แรงของกระบอกสูบในจังหวะดัน (กิโลกรัมแรง)
F_2	แรงของกระบอกสูบในจังหวะดึง (กิโลกรัมแรง)
P	ความดันลมอัด (กิโลกรัมแรง/ซม.^{2})
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ (ซม.)
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ (ซม.)
μ_1	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในจังหวะดัน
μ_2	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในจังหวะดึง
V_a	ปริมาณลมที่ใช้ (ลิตรต่อนาที คิดเทียบที่ความดันบรรยากาศ)
L	ช่วงชักของกระบอกสูบ (ซม.)
A_1	พื้นที่ลูกสูบด้านลูกสูบ (ตร.ซม.)
A_2	พื้นที่ลูกสูบด้านก้านสูบ (ตร.ซม.)
N	จำนวนครั้งที่ลูกสูบเคลื่อนที่ไป-กลับต่อนาที
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ (ซม.)
d	เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ (ซม.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

งาเป็นพืชที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศ ที่ใช้บริโภคภายในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งมีแนวโน้มความต้องการที่สูงขึ้นทุกๆปี งาในประเทศสามารถผลิตได้ประมาณ 35,000 ตันต่อปี งาเป็นพืชที่มีศักยภาพในด้านการผลิตและการตลาดสูง อายุสั้น ลงทุนน้อย ทนต่อสภาพแห้งแล้งได้ดี

ในปัจจุบันผู้บริโภคส่วนใหญ่หันมาดูแลสุขภาพและรับประทานธัญพืชกันมากขึ้น โดยเฉพาะงา ซึ่งลักษณะทางกายภาพของงาทำให้ยากต่อการรับประทาน จึงมีแนวคิดที่จะทำผลิตภัณฑ์งาในลักษณะแท่ง เพื่อความสะดวกในการบริโภค ในปัจจุบันการทำงาแท่งจะทำโดยการใช้เพกตินคลุกเคล้ากับงาเพื่อให้เมล็ดงายึดติดกัน จากนั้นเทใส่ลงแม่พิมพ์และใช้แรงงาน คนในการอัดขึ้นรูป ซึ่งใช้แรงงาน และระยะเวลามาก จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องอัดงา เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตและสร้างผลิตภัณฑ์ให้มีขนาดที่เป็นมาตรฐานมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องอัดงา
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอัดงาแท่ง
3. เพื่อหาแบบจำลองความแข็งของงาอัดแท่งที่ได้จากเครื่องอัดงาแท่ง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. สร้างเครื่องอัดงาให้งาเป็นแท่งมีขนาด 3 cm x 10 cm x 1 cm
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่องาอัดแท่ง ซึ่งปัจจัยที่เลือกมาศึกษา ได้แก่ ปริมาณเพกติน ปริมาณน้ำตาลและความดัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ที่มีต้นทุนไม่สูงมาก
2. ผู้บริโภคสามารถรับประทานได้สะดวกขึ้น
3. ใช้เวลาในการผลิตน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ตรวจเอกสารและแหล่งข้อมูล

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงา

เมล็ดงามีน้ำมันสูงถึง 35-57% น้ำมันที่สกัดได้เป็นน้ำมันที่ดีเยี่ยมคือ มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง กรดนี้ช่วยควบคุมระดับโคเลสเตอรอล ไม่ให้มีมากเกินไป ป้องกันไม่ให้หลอดเลือดแข็ง ป้องกันโรคหัวใจและโรคเกี่ยวกับหลอดเลือดบางชนิด งาเป็นอาหารที่มีแร่ธาตุมาก ที่สำคัญคือ ธาตุเหล็ก, ไอโอดีน, สังกะสี, แคลเซียม, ฟอสฟอรัส งามีแคลเซียมมากกว่าพืชผักทั่วไปถึง 40 เท่า มีฟอสฟอรัสมากกว่าพืชผักทั่วไปถึง 20 เท่า ซึ่งธาตุ 2 ตัวนี้เป็นธาตุที่สำคัญในการเสริมสร้างกระดูก ฉะนั้นจึงควรให้เด็กๆ กินงา กระดูกจะได้แข็งแรง เจริญเติบโตสูงใหญ่ (นิรนาม2,2548)

งายังเป็นอาหารที่อุดมไปด้วยวิตามินบี คือนอกจากมีวิตามินบี1 วิตามินบี2 วิตามินบี3 อยู่มากแล้ว ยังมีวิตามินบี5 วิตามินบี6 วิตามินบี9 ไบโอติน โคลิน ไอโนสิตอล กรดพาราอะมิโนเบนโซอิค และเนื่องจากกลุ่มวิตามินบี ช่วยบำรุงประสาท ดังนั้น อาการต่าง ๆ ที่เกิดจากระบบประสาท เช่น นอนไม่หลับ อ่อนเปลี้ยเพลียแรง เป็นเหน็บชา ปวดเส้นตามตัวแขนขา เบื่ออาหาร ท้องผูก เมื่อยสายตา ควรหันมารับประทานงาเป็นประจำ

นอกจากสารอาหารดังกล่าวแล้ว ในงายังมีกรดไขมันลิโนเลอิคอยู่มาก ช่วยลดปริมาณโคเลสเตอรอลในเลือดและที่สำคัญ งายังเป็นอาหารต้านมะเร็งด้วย นักวิทยาศาสตร์หลายท่านกล่าวว่า สารเซซามอลที่มีอยู่ในงานั้นป้องกันมะเร็งได้ และยังทำให้ร่างกายแก่ช้าลงอีกด้วยจะเห็นได้ว่า งาเป็นอาหารที่มีคุณค่า (นิรนาม2,2548)

2.1.1 ลักษณะงาทางพฤกษศาสตร์

งา (Sesamum indicum Linn.) เป็นพืชล้มลุกในตระกูล Pedaliaceae การเจริญเติบโตเป็นแบบทอดยอด มีลำต้นตั้งตรงเป็นเหลี่ยม 5-6 เหลี่ยม มีร่องตามความยาวของลำต้น ไม่มีแกน ใบเป็นใบเดี่ยวมีลักษณะใบที่แตกต่างกันออกไป ไม่ว่าจะเป็นรูปหอก กลมรี หรือเป็นแฉก ซึ่งขึ้นอยู่กับอายุและพันธุ์งา ใบที่อยู่ส่วนล่างมีอายุน้อย การจัดเรียงตัวของใบแบบตรงกันข้าม ในขณะที่ใบส่วนบนจะมีการเรียงตัวแบบสลับ ดอกงาเป็นดอกสมบูรณ์เพศ เป็นดอกเดี่ยวหรือเป็นช่อกลีบดอกเชื่อมติดกันเป็นรูประฆัง มีสีขาว สีชมพูอ่อน สีม่วงอ่อน หรือสีเหลือง ส่วนฝักจะมีร่องผลขนานไปตามความยาวของฝักทำให้แบ่งเป็นพู จำนวนพูของฝักงาจะมีเท่ากับจำนวนแฉกของเกสรตัวเมีย ซึ่งภายในหนึ่งฝักจะมีประมาณ 4-8 พู แต่ละพูจะมีเมล็ดประมาณ 70-100 เมล็ด ซึ่งเมล็ดงาจะมีลักษณะกลมรีคล้ายหยดน้ำ เรียงซ้อนกันอยู่ในแต่ละพู เมล็ดงา 1,000 เมล็ด จะมีน้ำหนักตั้งแต่ 2-5 กรัม อายุในการเก็บเกี่ยวตั้งแต่ 70-200 วัน ขึ้นอยู่กับพันธุ์ (นิรนาม1,2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ชนิดพันธุ์งา งาในประเทศแบ่งตามสีของเมล็ดได้ 3 สี คือ

1. งาดำ ปัจจุบันที่ปลูกกันอยู่ทั่วไปมีอยู่ 4 พันธุ์ ได้แก่

1.1 งาดำบุรีรัมย์ เป็นพันธุ์พื้นเมืองที่มีลักษณะฝัก 4 กลีบ 8 พู เมล็ดขนาดใหญ่ สีค่อนข้างดำสนิท อายุการเก็บเกี่ยว 90-100 วัน

1.2 งาดำนครสวรรค์ การเจริญเติบโตเป็นแบบทอดยอด เมล็ดมีสีดำขนาดใหญ่และเต่ง ฝักเป็นแบบ 4 กลีบ 8 พู ฝักแตกง่ายเมื่อสุกแก่ ลำต้นค่อนข้างสูง แตกกิ่งก้านมาก ใบมีขนาดค่อนข้างกลม มี 1 ฝักต่อ 1 มุมใบ การเกิดฝักจะเวียนสลับ รอบลำต้น 1 ข้อ มี 1 ฝัก มีอายุเก็บเกี่ยว 95-100 วัน

1.3 งาดำ มก.18 เป็นพันธุ์ที่มีการปรับปรุงโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เป็นคู่ผสมระหว่าง col.34 กับงาดำนครสวรรค์ ลักษณะการเจริญเติบโตแบบทอดยอด ใบสีเขียวเข้ม ลำต้นไม่แตกกิ่งก้านและค่อนข้างสูง เมล็ดมีสีดำสนิท ลักษณะฝัก 2 พู ฝักเกิดตรงกันข้าม ดังนั้น 1 ข้อจะมี 2 ฝัก การเรียงตัวของฝักจะเป็นแบบเวียนสลับรอบลำต้น ความยาวปล้องสั้นทำให้จำนวนของฝักต่อต้นสูง น้ำหนักเมล็ด 3 กรัม ต่อ 1,000 เมล็ด ทนต่อโรคราแป้ง และทนต่อการหักล้ม อายุเก็บเกี่ยวปลายฤดูฝน 85 วัน ต้นฤดูฝน 90 วัน

1.4 งาดำ มข.2 เป็นพันธุ์ที่มหาวิทยาลัยขอนแก่นปรับปรุงและคัดเลือกพันธุ์มาจากงาดำพันธุ์ซีบี 80 ของจีน ลักษณะฝักเป็นแบบ 4 พู เมล็ดสีดำสนิท ไม่ไวต่อช่วงแสง แตกกิ่ง 3-4 กิ่งต่อต้น ต้นสูง 105-115 เซนติเมตร น้ำหนักเมล็ด 2.77 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด ปลูกได้ดีทั้งต้นฝนและปลายฤดูฝน มีอายุเก็บเกี่ยวสั้น 70-75 วัน ต้านทานต่อโรคเน่าดำและทนแล้งได้ดี

2. งาขาว ที่ปลูกกันอยู่ทั่วไปมี 6 พันธ์ ได้แก่

2.1 พันธุ์เมืองเลย มีขนาดเมล็ดเล็ก เรียกว่า งาไข่ปลา ลักษณะฝัก 2 กลีบ 4 พู แตกกิ่งก้านมาก ตอบสนองต่อช่วงแสง เพราะนำไปสกัดน้ำมันมีกลิ่นหอม อายุเก็บเกี่ยว 110-120 วัน

2.2 พันธุ์เชียงใหม่ มีลักษณะฝัก 2 กลีบ 4 พู มีขนาดเมล็ดเล็ก แต่ใหญ่กว่าพันธุ์เมืองเลยเล็กน้อย เมล็ดมีรูปร่างคล้ายหัวใจ ไวต่อช่วงแสง อายุเก็บเกี่ยว 110-120 วัน

2.3 พันธุ์ชัยบาดาลหรือสมอทอด มีลักษณะฝัก 2 กลีบ 4 พู เมล็ดมีขนาดปานกลาง อายุเก็บเกี่ยว 80-85 วัน แต่ปัจจุบันมีน้อยมาก

2.4 พันธุ์ร้อยเอ็ด 1 เป็นพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรปรับปรุงคัดเลือกพันธุ์ สีเมล็ดขาวสม่ำเสมอ ลำต้นตรงไม่แตกกิ่ง ลักษณะฝัก 4 กลีบ 8 พู เมล็ดมีขนาดปานกลาง อายุเก็บเกี่ยว 70-75 วัน ไม่ต้านทานต่อหนอนห่อใบงาและหนอนผีเสื้อหัวกะโหลก ฝักแตกง่าย จะต้องเก็บเกี่ยวทันทีที่ครบอายุการเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 พันธุ์มข.1 เป็นพันธุ์ที่มหาวิทยาลัยขอนแก่นปรับปรุงมาจากงาขาวซีดับบลิว 103 ของจีน ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 พู ไม่ไวต่อแสงช่วงแสง ไม่แตกกิ่งก้าน ฝักมีการเรียงตัว เป็นแบบตรงกันข้าม ฝักดก 3-7 ฝักต่อซอกใบ เมล็ดสีขาวค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักเมล็ด 2.79 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด อายุเก็บเกี่ยว 70-75 วัน ไม่ต้านทานหนอนห่อใบงาและหนอนผีเสื้อกะโหลก

2.6 พันธุ์มหาสารคาม 60 เป็นพันธุ์ที่กรมวิชาการเกษตรปรับปรุงพันธุ์จากพันธุ์ที-85 ของประเทศอินเดียลักษณะฝัก 2 กลีบ 4 พู ต้นโปร่ง ไม่แตกกิ่งฝักมีการเรียงตัวเป็นแบบตรงกันข้าม มี 1ฝักต่อ 1 ซอกใบ ขนาดเมล็ดโตสีขาว น้ำหนัก 2.90 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด อายุเก็บเกี่ยว 80-85 วัน ไม่ต้านทานโรคราแป้ง

3. งาดำ-แดง หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า งาเกษตร ที่ใช้ปลูกมี 3 พันธุ์ ได้แก่

3.1 พันธุ์พื้นเมืองพิษณุโลก และพันธุ์พื้นเมืองสุโขทัย ลักษณะฝักมี 2 กลีบ 4 พู แตกกิ่งก้านมาก ขนาดเมล็ดโต สีของเมล็ดมีทั้งสีดำและสีน้ำตาลแดงปนอยู่ด้วยกัน อายุเก็บเกี่ยว 80-85 วัน

3.2 งาแดงอุบลราชธานี 1 คัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์โดยกรมวิชาการเกษตร จากงาพันธุ์ นานนี 25/160/85-9 ของประเทศพม่า มีขีดเมล็ดโตสม่ำเสมอ น้ำหนักเมล็ด 3.16 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 พู ต้นแตกกิ่ง 3-5 กิ่ง อายุเก็บเกี่ยว 80-85 วัน ต้านทานโรคเหี่ยวหนอนห่อใบงา ไรขาว และมวนฝิ่น

3.3 งาแดงพันธุ์ มข.3 คัดเลือกและปรับปรุงพันธุ์โดยมหาวิทยาลัยขอนแก่น จากงาพันธุ์นานนี ของประเทศพม่า ลักษณะฝักเป็นแบบ 2 พู เมล็ดโตสีแดง น้ำหนักเมล็ด 3.12 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด แตกกิ่ง 4-6 กิ่งต่อต้น ต้นสูง 130-150 เซนติเมตร อายุเก็บเกี่ยว 80-85 วัน ปลูกได้ทั้งต้นฝนและปลายฤดูฝนเหมาะที่จะปลูกแบบหว่าน ค่อนข้างต้านทานโรคและแมลง (นิรนาม 4,2548)

2.2 เพกติน

เป็นโพลีแซกคาไรด์ที่พบตามผนังเซลล์ของพืชโดยทั่วไป แต่ที่ทำจำหน่ายอยู่สกัดจากเปลือกผลไม้ตระกูลส้ม เช่น ส้ม และมะนาว หรือสกัดจากกากแอปเปิลที่เหลือจากกระบวนการผลิตน้ำแอปเปิลหรือไซเดอร์ โดยการทรีตด้วยกรดความร้อน ซึ่งจะไฮโดรไลซ์โพรโตเพกติน ให้เป็นเพกตินกรองเอากากหรือส่วนที่ไม่ละลายออก ทำสารละลายที่ได้ให้เข้มข้นขึ้นโดยการระเหยน้ำออก ตกตะกอนด้วยแอลกฮอล์ ซึ่งสามารถทำให้เกิดเพกตินชนิดต่างกัน ดังนี้

1. จากสารละลายที่ได้ ตกตะกอนโดยตรง จะได้เพกตินที่หมู่เมธ็อกซีสูง (high methoxy pectin) ซึ่งจะเซตตัวได้เร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทิ้งสารละลายที่ได้ไว้ระยะหนึ่ง เพื่อกำจัดหมู่เมธ็อกซีออกไปบ้าง จากนั้นจึงตกตะกอน จะได้เพกตินที่มีหมู่เมธ็อกซีต่ำ (low methoxy pectin) หรือถ้าเติมแอมโมเนียลงไปก่อนตกตะกอน จะได้ amidated low methoxy pectin

3. อาจตกตะกอนเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำโดยใช้สารละลายที่มีอนุมูลอะลูมิเนียม ซึ่งต้องล้างตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ผสมกรด

ตะกอนที่ได้จะถูกล้างด้วยแอลกอฮอล์อีก เพื่อทำให้บริสุทธิ์ขึ้น เพกตินจะมีลักษณะเป็นเส้นใยหยุ่น นำไปบีบน้ำออก อบแห้งภายใต้สูญญากาศ บดและร่อนคัดขนาด โครงสร้างทางเคมีของเพกตินประกอบด้วยกรดกาแลกติวโรนิก ต่อกันด้วยพันธะ 1-4 มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 20,000 - 100,000 ซึ่งส่วนที่เป็นกรดจะถูกเมธิเลตได้ และจำนวนเมธิเลชันนี้จะเป็นตัวบอกสมบัติของเพกตินโดยดูจากค่า DM (degree of methylation) ซึ่งคือจำนวนหมู่เมธ็อกซีเฉลี่ยต่อกาแลกทูโรนิก 100 หน่วย

2.2.1 เพกตินชนิดที่มีหมู่เมธ็อกซีสูง

จะมีค่า DM มากกว่าร้อยละ 50 เหมาะสำหรับใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่มี pH ต่ำ เช่น เยลลี่ผลไม้ เพกตินชนิดนี้จะเซตตัวได้ค่อนข้างเร็ว ซึ่งจะแบ่งย่อยออกไปเป็นชนิดการเซตตัวเร็ว ค่า DM ร้อยละ 68-72 ชนิดเซตตัวปานกลาง ค่า DM ร้อยละ 59-64 แต่ในทางปฏิบัติแล้ว จะใช้แต่ชนิดเซตตัวช้า เนื่องจากผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่จะมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำอยู่ค่อนข้างสูง (เกินร้อยละ 55) เจลที่เซตตัวแล้วเมื่อหลอมอาจจะละลายได้ไม่หมด ดังนั้นการนำเศษเหลือกลับไปหลอมใช้อีกจะต้องระวังไม่ใช้เกินร้อยละ 5 โดยบดเศษที่จะใช้ให้ละเอียดก่อน เพกตินชนิดนี้ยังใช้ทำหน้าที่เป็นสารช่วยขับฟองอากาศได้อีกด้วย โดยใช้ปริมาณร้อยละ 0.5-2.5 การใช้นั้นมีข้อแนะนำให้ทำตามขั้นตอนดังนี้

1. ละลายเพกตินในน้ำกับกรด 1/3 ของปริมาณที่ต้องใช้ทั้งหมด โดยใช้เครื่องผสมความเร็วสูง หรือผสมเพกตินผงกับน้ำตาลหนัก 5 เท่า แล้วค่อยผสมให้เข้ากัน

2. ต้มสารละลาย เติมน้ำตาลส่วนที่เหลือและกลูโคสซีรัป ต้มต่อให้ละลายหมดจนได้ปริมาณของแข็งที่ละลาย เติมน้ำได้สุดท้ายตามที่ต้องการ เติมกรดส่วนที่เหลือ เติมสีและกลิ่น

3. นำไปหยอดลงบนแม่พิมพ์ ซึ่งสามารถใช้แม่พิมพ์ธรรมดาได้ ไม่ต้องใช้แป้งเนื่องจากเพกตินสามารถเซตตัวได้จากการที่มี pH ต่ำ และปริมาณของแข็งสูง จึงไม่จำเป็นต้องทำ stoving ปล่อยให้เย็นจนเซตตัว ข้อควรระวังคือ ควรควบคุม pH ของผลิตภัณฑ์ให้ดี เพราะถ้าเป็นเพกตินที่เซตตัวช้าที่ pH ต่ำกว่า 4.5 เพกตินจะเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็ว และทำให้ความแข็งของเจลลดลงอย่างมาก ในทางปฏิบัติจึงต้องใส่บัฟเฟอร์ลงไปด้วย เช่น ใช้กรดซิตริกร่วมกับโพแทสเซียมซิเทรต หรือเลือกซื้อเพกตินที่ผสมเกลือบัฟเฟอร์ที่มีจำหน่ายไปใช้แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เพกตินชนิดที่มีหมู่เมธ็อกซีต่ำ

จะมีค่า DM น้อยกว่าร้อยละ 50 (ปกติระหว่างร้อยละ 25-40) ซึ่งสามารถทำเป็น amidated pectin ได้ โดยกำหนดค่า degree of amidation เป็นจำนวนหมู่ amide ต่อกาแลกทูโรนิก 100 หน่วย และส่วนมากจะบังคับไม่ให้เกินร้อยละ 25 เพกตินชนิดที่มีหมู่เมธ็อกซีต่ำนี้สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างเป็นกลางได้ (เช่นเยลลี่กลิ่นวานิลลา เปปเปอร์มินต์) ซึ่งโดยปกติ pH ของผลิตภัณฑ์จะอยู่ที่ประมาณ 5 ดังนั้นเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์จึงมักจะอ่อนกว่าและยืดหยุ่นน้อยกว่าผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยเพกตินชนิดที่มีหมู่เมธ็อกซีสูง นอกจากนี้ การเซตตัวจะต้องมีอิออน ของแคลเซียมอยู่ด้วยไม่ว่าในระบบจะมีของแข็งละลายอยู่มากหรือน้อยก็ตาม โดยการจะเกิดเจลกับแคลเซียมที่ pH 2.8-8.5 และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำตั้งแต่ร้อยละ 10-80 ในการใช้งานจึงต้องระวังไม่ใช้น้ำกระด้างในกระบวนการผลิต เจลที่ได้จะหลอมได้หมดเมื่อได้รับความร้อน ส่วนการใช้จะมีการเตรียมการคล้ายเพกตินในข้อ 2.21 เพียงแต่ไม่ต้องใช้กรด สำหรับ amidated pectin มีสมบัติที่เด่นมากคือเซตตัวช้า เหมาะที่จะใช้ในกระบวนการที่มีช่วงเวลาก่อนหยอดนานเกิน 30 นาที (เช่นต้องรอแม่พิมพ์) หรืออุณหภูมิขณะหยอดต่ำกว่า 60 องศาเซลเซียล เช่น กรณีที่มีการเติมแอลกอฮอล์ผสมในเนื้อเยลลี่ เป็นต้น

ในการใช้เพกตินร่วมกับสารที่ทำให้เกิดเจลตัวอื่นนั้น พบว่าการใช้เพกตินร่วมกับเจลาติน จะทำให้เจลมีลักษณะดี คือมีความยืดหยุ่นมากขึ้น และในการผลิตก็ไม่เกิดความเสียหายมากเท่ากับเจลที่ทำจากเพกตินอย่างเดียว ซึ่งเจลจะมี short texture (ไพบูลย์,2532)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ระบบนิวเมติก

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมหลายแห่งใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ เพื่อควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งระบบนี้สามารถใช้ได้กับอุตสาหกรรมทุกประเภท ทำให้ได้ผลผลิตที่ถูกต้องเที่ยงตรงและรวดเร็ว และสามารถเก็บบันทึกข้อมูลการทำงานได้ตลอดเวลา ระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ควบคุมในโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะใช้Computer, PLC หรือ Microcontroller เป็นตัวควบคุมระบบอัตโนมัติ

ปัจจุบันระบบนิวเมติกถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งหลักการของระบบนิวเมติก เป็นการนำลมอัดมาใช้ เพื่อการทำงานอย่างอัตโนมัติและประหยัดแรงงาน

3.1.1 การควบคุมระบบนิวเมติก

ในการควบคุมวงจรนิวเมติกได้ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ทันกับเทคโนโลยีที่ทันสมัย จึงได้มีชุดควบคุมวงจรระบบนิวเมติกเพื่อให้การทำงานถูกต้องและรวดเร็วยิ่งขึ้น โดยแบ่งวงจรควบคุมออกเป็น 2 ชนิดคือ วงจรกำลัง (Circuit Power) และวงจรควบคุม (Circuit Control) โดยวงจรกำลังอาศัยจะอาศัยลมอัดเป็นตัวกลางในการส่งกำลัง เพื่อการควบคุมวงจรการทำงาน ส่วนวงจรควบคุมจะใช้ตัวควบคุมได้หลายอย่าง เช่น ระบบไฟฟ้า, PLC, และ Microcontroller เป็นต้น

การควบคุมระบบนิวเมติกสามารถแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

3.1.1.1 การควบคุมระบบนิวเมติกด้วยลม

ระบบนิวเมติกทุกระบบจะต้องใช้ลมอัดเป็นตัวกลางการส่งกำลัง การควบคุมระบบนิวเมติกด้วยลมระบบนี้ก็เช่นกัน การทำงานจะประกอบด้วยแหล่งจ่ายลม อุปกรณ์ให้สัญญาณ อุปกรณ์ควบคุมความเร็ว และอุปกรณ์ทำงาน แต่การทำงานในระบบนี้จะต้องใช้กระบอกสูบ 2 กระบอกสูบขึ้นไป การทำงานของวงจรอาจเกิดสัญญาณลมต้านจากการออกแบบระบบการทำงาน การควบคุมระบบนิวเมติกด้วยลมที่เกิดสัญญาณลมต้านสามารถแก้ปัญหาได้ดังนี้

- ใช้วาล์วลูกกลิ้งทางเดียว
- ใช้วาล์วให้สัญญาณลมผ่านชั่วขณะ
- ใช้วิธีแบ่งกลุ่มลมแบบแคสเคท
- ใช้วิธีแบ่งกลุ่มลมแบบซิฟรีจีสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.2 การควบคุมระบบนิวเมติกด้วยไฟฟ้า

การควบคุมระบบนิวเมติกด้วยไฟฟ้าจะแบ่งวงจรการควบคุมออกเป็น 2 ชนิดคือ

- วงจรกำลัง เป็นวงจรควบคุมการทำงานของระบบนิวเมติกประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายลม (Power Source) ชุดควบคุมคุณภาพลมอัด (Service Unit) โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) ลูกสูบ (Cylinder) เป็นต้น
- วงจรควบคุม เป็นวงจรควบคุมการทำงานของระบบนิวเมติกด้วยไฟฟ้า ประกอบด้วย สวิทช์ปุ่มกด (Pushbutton Switch), รีเลย์ (Relay), ตัวตั้งเวลา (Timer), ตัวนับเวลา (Counter), เซ็นเซอร์(Sensor) เป็นต้น

3.1.1.3 การควบคุมระบบนิวเมติกด้วย PLC

การใช้ PLC ควบคุมเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมจะมีความสะดวกมากในปัจจุบัน เพราะในตัวของ PLC นั้นจะมี Input/Output Ports ตลอดจนอุปกรณ์ควบคุมภายใน เช่น Relay, Timer และ Counter จะเป็นอุปกรณ์ซึ่งอยู่ในซอฟต์แวร์ ทำให้การเรียกใช้หรือแก้ไขสะดวกรวดเร็ว และลดค่าใช้จ่ายลงอีกด้วย ปัจจุบันภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม PLC สามารถแบ่งออกเป็น 3 ภาษา ดังนี้

- ภาษาบูลีน (STL : Instruction List Boolean Logic Element)
- ภาษาแลดเดอร์ (Ladder Diagram)
- ภาษาบล็อค (Function Chart)

3.1.1.4 การควบคุมระบบนิวเมติกด้วย Microcontroller

การใช้ Microcontroller ควบคุม ระบบในปัจจุบันยังไม่นิยมมากนัก (แต่นิยมใช้ควบคุมเครื่องจักร และระบบการผลิตในอุตสาหกรรม) เพราะต้องศึกษาหลายอย่าง และรู้เรื่องเกี่ยวกับขบวนการทำงานอย่างแท้จริง ซึ่ง Microcontroller จะมีอุปกรณ์ภายใน เช่น Timer และ Counter อยู่และสามารถขยาย Output ได้ ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรม Microcontroller มีอยู่หลายภาษาดังนี้

- ภาษาเบสิก
- ภาษาแอสแซมบลี
- ภาษาซี

3.1.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบนิวเมติก

ข้อดีของการใช้ลมอัดมีดังนี้

1) มีความปลอดภัยสูงถึงแม้ว่าจะใช้งานเกินกำลัง เพราะลมอัดไม่เป็นอันตรายต่อผู้ควบคุมเครื่องจักร

2) การบำรุงรักษาง่ายและสะดวก

3) โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบนิวเมติกไม่ยุ่งยากซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ไม่เกิดอันตรายหรือระเบิดเมื่อลมอัดรั่วออกจากท่อ

5) ลมอัดมีความเร็วในการทำงานสูง โดยลูกสูบสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วสูงถึง 2 เมตร/วินาที

6) สามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ของลูกสูบได้

7) ระบบลมอัดมีความสะอาด เพราะลมอัดได้ผ่านชุดควบคุมคุณภาพลมอัด มาแล้ว

8) สามารถใช้ร่วมกับระบบไฟฟ้าได้

ข้อเสียของการใช้ลมอัด มีดังนี้

1) มีขีดจำกัดในการทำงานที่มีโหลดมาก ๆ

2) ลมอัดจะมีเสียงดังก่อนระบายสู่อากาศ

3) ลมอัดสามารถอัดตัวได้ การทำงานในขณะที่โหลดอาจทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ไม่สม่ำเสมอ

4) ความชื้นสามารถปะปนไปได้กับลมอัดทำให้อุปกรณ์ในระบบนิวเมติกเกิดสนิม และชำรุดได้

5) ความดันลมอัดจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ทำให้การควบคุมของระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงได้

3.1.3 อุปกรณ์พื้นฐานในระบบนิวเมติก

รูปที่ 3.1 แสดงระบบนิวเมติก

อุปกรณ์ในระบบนิวเมติกแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ

3.1.3.1 ระบบลมอัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นกลุ่มที่มีความจำเป็นมากอันดับแรก เพราะต้องใช้ลมอัดไปควบคุมการทำงานในระบบ ซึ่งตัวผลิตลมอัดอากาศนี้ก็คือ เครื่องอัดอากาศ (Compressor) โดยเครื่องอัดอากาศจะเปลี่ยนพลังลมอัดให้เป็นพลังงานกล โดยอัดอากาศจากความดันปกติ แล้วนำอากาศที่อัดได้ไปเก็บที่ถังพักลม (Reservoir) ผ่านไปยังชุดควบคุมคุณภาพลมอัด (Service Unit) เพราะอากาศที่อัดได้มีความดันสูงต้องปรับความดันลมอัดให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ใช้งาน ตลอดจนอากาศที่อัดได้มีน้ำปนเปื้อนกับสิ่งสกปรกจึงต้องกรองก่อน หลังจากนั้นจะนำลมอัดที่ได้ไปใช้ควบคุมในระบบต่อไป ระบบจ่ายลมอัดในระบบนิวเมติกสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. เครื่องอัดอากาศ (Compressor)

เครื่องอัดอากาศจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นพลังงานกลที่ใช้ในระบบนิวเมติก จึงมีความสำคัญมากที่จะต้องเลือกใช้เครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน เพื่อให้ได้ปริมาณลมอัดที่เหมาะสมกับวงจรที่ออกแบบและมีราคาประหยัด เครื่องอัดอากาศสามารถแบ่งออกได้หลายชนิดดังนี้

1.1 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบหมุน (Piston Compressor)

เครื่องอัดชนิดนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง มีทั้งแบบลูกสูบหมุนและลูกสูบชัก โดยสามารถอัดอากาศได้ที่ความดันต่ำ ความดันปานกลางและความดันสูง ความดันที่ใช้ในการอัดอากาศเริ่มที่ 100 kPa (1 bar) จนถึงมากกว่า 1000 kPa (10 bar) เครื่องอัดอากาศชนิดนี้สามารถแบ่งได้หลายลักษณะของการอัดอากาศดังนี้

- การอัดอากาศแบบ 1 ชั้น (Single Stage) ให้ความดัน 4-10 bar
- การอัดอากาศแบบ 2 ชั้น (Double Stage) ให้ความดัน 15-30 bar
- การอัดอากาศแบบ 3 ชั้น (Treble Stage or Multistage ให้ความดัน 150-300 bar

1.2 เครื่องอัดอากาศแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Compressor)

เครื่องอัดอากาศชนิดนี้จะทำงานคล้ายเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบหมุน จะต่างกันตรงที่มีแผ่นไดอะแฟรมมากั้นที่ห้องอัดอากาศทำให้ลมในห้องอัดอากาศไม่สัมผัสกับลูกสูบโดยตรง ทำให้ลมอัดที่ได้มีความสะอาดปราศจากการปนเปื้อนน้ำมันจากลูกสูบด้วย โดยทั่วไปแล้วเครื่องอัดอากาศชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้กับงานประเภทอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยา เป็นต้น

1.3 เครื่องอัดอากาศแบบใบพัดเลื่อน (Sliding Vane Rotargy Compressor)

เครื่องอัดอากาศชนิดนี้จะมีใบพัดเลื่อนอยู่ติดกับชุดหมุน และวางเยื้องศูนย์กับตัวเรือนสูบ ใบพัดเลื่อนสามารถเลื่อนขึ้นลงได้ในร่อง Slots ขณะการทำงานใบพัดเลื่อนจะไม่ค่อยมีเสียงดังและหมุนได้ราบเรียบ เครื่องอัดอากาศชนิดนี้สามารถอัดอากาศที่ความดันตั้งแต่ 4-10 bar และอัตราการจ่ายลมทำได้ตั้งแต่ 4-100 m^3/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 เครื่องอัดอากาศแบบสกรู (Screw Compressor)

เครื่องอัดชนิดนี้มีเกลียว 2 ตัว ทำงานคล้ายกับเฟือง 2 ตัวขบกัน โดยมีทิศทางการหมุนเข้าหากัน โดยใช้น้ำมันเป็นตัวหล่อลื่น ขณะทำงานจะไม่ค่อยมีเสียงดัง เครื่องอัดอากาศชนิดนี้สามารถอัดอากาศที่ความดันได้ถึง 10 bar และอัตราการจ่ายลมทำได้ถึง 170 m^3/min

1.5 เครื่องอัดอากาศแบบใบพัดหมุน (Roots Compressor)

เครื่องอัดอากาศชนิดนี้จะมีลักษณะเหมือนใบพัด 2 ใบขบกันอยู่ในเรือนสูบ โดยมีทิศทางของลมเข้าและลมออกจากการดูดอากาศอยู่ที่เรือนสูบ การดูดอากาศจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ทำให้อากาศไม่ถูกอัดตัว แต่จะถูกอัดตัวที่ด้านลมออกไปสู่ถังเก็บลม ขณะทำงานจะไม่ค่อยมีเสียงดัง แต่ต้องมีการระบายความร้อนตลอดเวลา

1.6 เครื่องอัดอากาศแบบกังหัน (Turbo Compressor of Flow Compressor)

เครื่องอัดอากาศชนิดนี้จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกังหันใบพัดคือ การเคลื่อนที่ของลมจะถูกดูดผ่านใบพัดด้านหนึ่งไปถูกอัดลมกับใบพัดอีกด้านหนึ่ง โดยเหมาะสำหรับงานที่ต้องการอัตราการไหลของแรงลมสูง ๆ เครื่องอัดอากาศชนิดนี้สามารถอัดอากาศที่ความดันได้ตั้งแต่ 4-10 bar และอัตราการจ่ายลมทำได้ตั้งแต่ 170-2000 m^3/min

2. ถังเก็บลมอัด (Compressor Air Receiver)

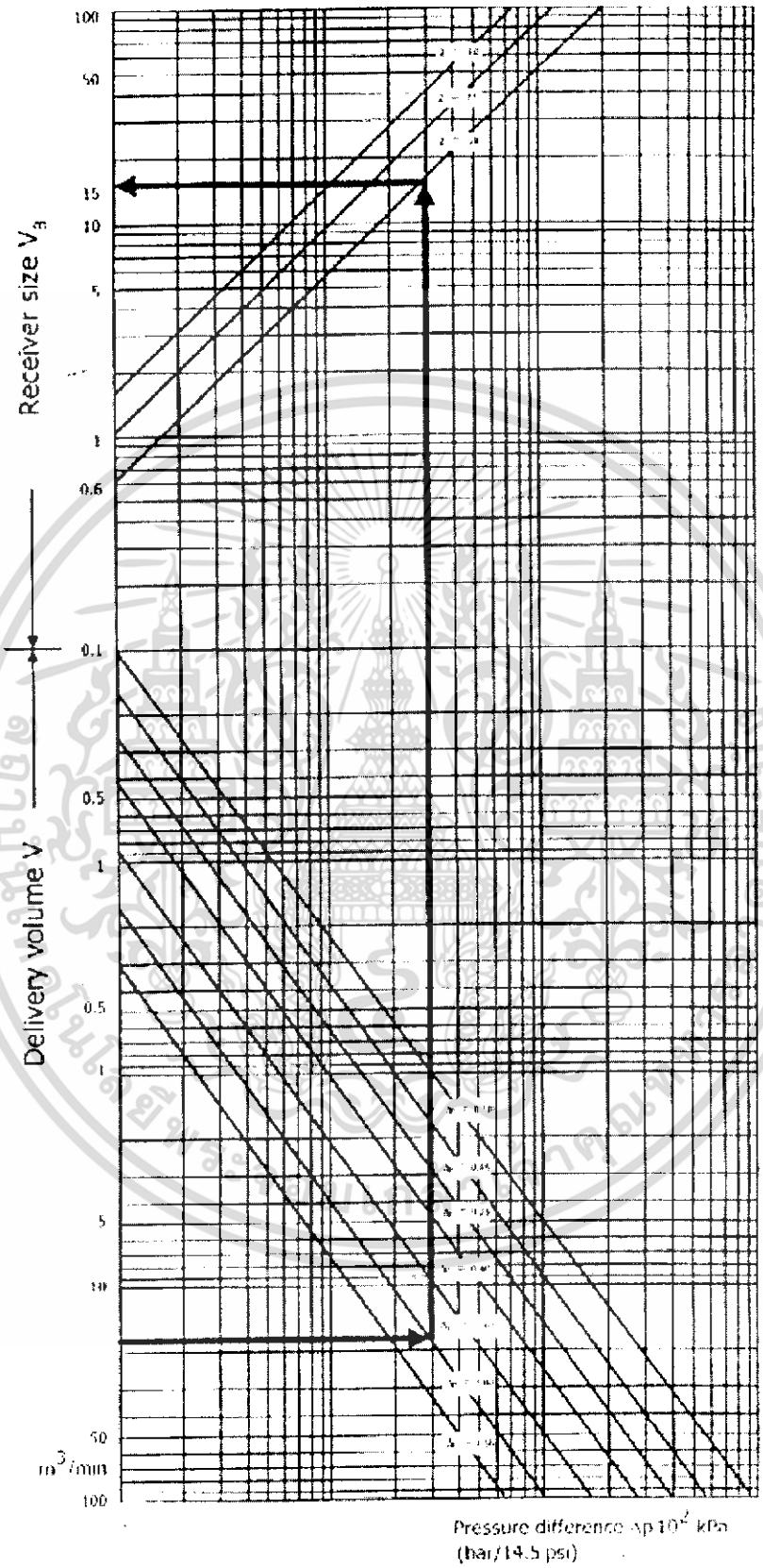
ถังเก็บลมอัดมีหน้าที่เก็บลมอัดให้เพียงพอกับปริมาณการใช้งาน และจ่ายลมอัดไปใช้งานด้วยความดันสม่ำเสมอ ตลอดจนแยกไอน้ำที่มากับลมอัดให้กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ โดยแยกออกจากลมอัดให้อยู่ด้านล่างของถังนี้ และข้อสำคัญเมื่อมีความดันสูงเกิดขึ้นภายในถังเก็บลมอัด จะต้องมีการระบายออกสู่บรรยากาศด้วยวาล์วจำกัดความดัน ที่ติดตั้งไว้บนถังเก็บลมอัด โดยทั่วไปขนาดของถังเก็บลมจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องอัดอากาศ และปริมาณลมที่ใช้ในระบบนิวเมติก

การหาขนาดของถังเก็บลมในระบบนิวเมติกมีความสำคัญมาก เพราะถ้าขนาดของถังเก็บลมอัดไม่เหมาะสมกับขนาดของเครื่องอัดอากาศก็จะเกิดปัญหาในระบบการผลิตได้ หรือขนาดของถังเก็บลมอัดเล็กเกินไป ปริมาณลมอัดที่จะนำไปใช้ในระบบก็ไม่เพียงพอ แต่ถ้าขนาดของถังเก็บลมอัดใหญ่เกินไปก็จะทำให้สิ้นเปลืองงบประมาณในการลงทุนได้

การหาขนาดของถังเก็บลมอัดจะขึ้นอยู่กับค่าต่าง ๆ ดังนี้

- ปริมาณการจ่ายลมอัดของเครื่องอัดอากาศ (V1)
- ปริมาณการจ่ายลมอัดในระบบ (V2)
- จำนวนครั้งการตัดต่อมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศต่อชั่วโมง (E)
- ชนิดของการควบคุม
- ค่าความแตกต่างของแรงดันในท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงการหาค่าของถังเก็บลมอัด (ณรงค์,2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

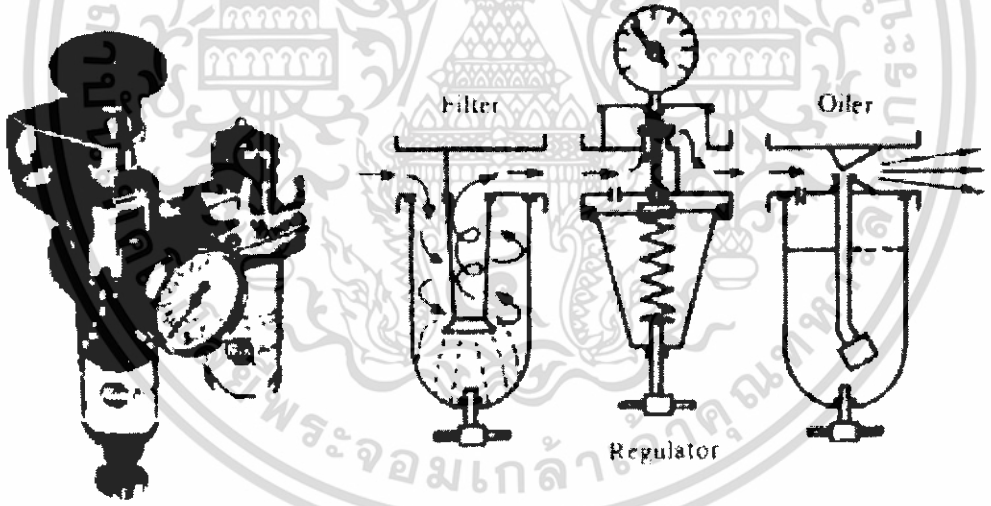
3. ชุดควบคุมคุณภาพลมอัด (Service Unit)

ชุดควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัดมีความสำคัญและจำเป็นอย่างมากในระบบนิวเมติก ช่วยลดความฝืดและยังทำให้อุปกรณ์เกิดการสึกหรอน้อยลง นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของอุปกรณ์นิวเมติก โดยทั่วไปแล้วชุดควบคุมและปรับปรุงคุณภาพลมอัดมักจะสร้างเป็นชุดเดียวกัน ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ส่วนด้วยกันดังนี้

1. หม้อกรองลมอัด (Compressed Air Filter) ทำหน้าที่เป็นตัวกักฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆ รวมทั้งละอองน้ำที่กลั่นตัวที่มากับลมอัด ไม่ให้สิ่งเหล่านี้เข้าสู่ระบบได้

2. ตัวควบคุมความดันลมอัด (Compressed Air Regulator) มีหน้าที่รักษาความดันใช้งาน (ด้านออก) ให้คงที่อยู่เสมอ โดยไม่ขึ้นกับความดันที่เปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ทางต้นทาง (ทางเข้า) ปริมาณการในด้านปลายทาง แต่มีข้อแม้อยู่ว่าความดันทางด้านต้นทาง (Primary) จะต้องสูงกว่าความดันทางด้านปลายทาง (Secondary) เสมอ

3. ตัวผสมละอองน้ำมันหล่อลื่น (Compressed Air Lubricator) ทำหน้าที่พ่นละอองน้ำมันหล่อลื่นให้ปนไปกับลมอัดเพื่อหล่อลื่นอุปกรณ์ทำงานของระบบนิวเมติก เพื่อลดการเสียดสีกันโดยตรงของอุปกรณ์ ทำให้อุปกรณ์มีอายุการใช้งานนานขึ้น



รูปที่ 3.3 ชุดควบคุมคุณภาพลมอัด

3.1.3.2 วาล์วควบคุม (Control group)

มีความสำคัญมากในการควบคุมลูกสูบให้เคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งการทำงานไปตามที่ต้องการ ระบบการทำงานของนิวเมติกประกอบด้วย อุปกรณ์ให้สัญญาณ อุปกรณ์ควบคุม และอุปกรณ์ทำงาน อุปกรณ์ให้สัญญาณและอุปกรณ์ควบคุม คือวาล์วชนิดต่างๆ นั่นเอง วาล์วเป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าทีหลายอย่างในระบบนิวเมติค เช่น การเริ่มและหยุดการทำงานวงจร การควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางการไหลของลม ควบคุมลูกสูบให้อยู่ในสภาวะค้างตำแหน่ง การควบคุมอัตราการไหลของลม และการควบคุมความดัน เป็นต้น ปัจจุบันวาล์วที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีหลายชนิด และมีหน้าที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. วาล์วควบคุมทิศทาง

วาล์วควบคุมทิศทาง ทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เคลื่อนที่ไปตามทิศทางการไหลของลม เช่นควบคุมลูกสูบให้ทำงาน หรือควบคุมสูบให้ค้างตำแหน่งการทำงาน โดยใช้หลักการควบคุมเข้าออก และใช้กับงานที่เกี่ยวกับลมอัดในระบบนิวเมติกและน้ำมันในระบบไฮดรอลิก

วาล์วควบคุมทิศทางจะติดตั้งในท่อลม จึงเป็นตัวต้านทานกระแสลมอัด แต่เนื่องจากวาล์วชนิดนี้ไม่ได้ออกแบบขึ้นเพื่อควบคุมอัตราการไหล ดังนั้นควรจะมีความต้านทานต่อการไหลผ่านของลมอัดน้อยสุดเท่าที่จะเป็นไปได้

1.1 อุปกรณ์ควบคุมการเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทาง

การเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทางให้ทำงาน หรือเปลี่ยนตำแหน่งการทำงานมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน และการออกแบบวงจร อุปกรณ์ควบคุมการเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทางแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

1. การเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทางโดยใช้กล้ามเนื้อ
2. การเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทางโดยใช้กลไก
3. การเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทางโดยใช้ลม
4. การเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทางโดยใช้ไฟฟ้า
5. การเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทางโดยใช้แบบผสม

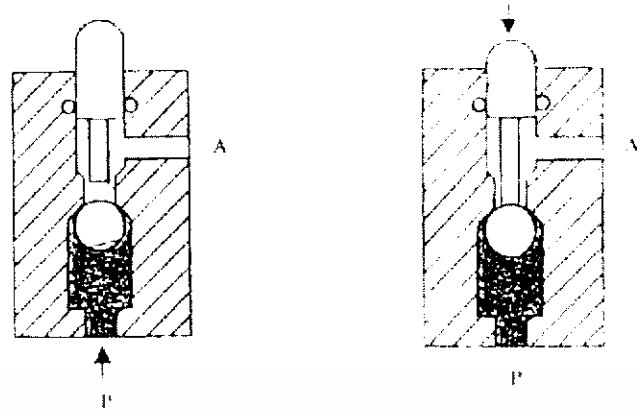
1.2 ประเภทของวาล์วควบคุมทิศทาง

การออกแบบวาล์วควบคุมทิศทางมีความสำคัญมาก เพราะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลาย ๆ อย่าง เช่น อายุการใช้งานของวาล์ว ขนาดของวาล์วที่ให้ลมไหลผ่านได้ตลอดจนถึงแรงที่ใช้กดวาล์วให้เคลื่อนที่ เป็นต้น โดยทั่วไปโครงสร้างของวาล์วควบคุมทิศทางสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1.2.1 วาล์วแบบนั่งบ่า (Poppet Valves)

โดยทั่วไปวาล์วชนิดนี้จะมีโครงสร้างวาล์วแบบลูกบอลหรือวาล์วแบบแผ่นกลม เพื่อทำหน้าที่ปิด-เปิดวาล์ว โดยหลักการทำงานจะต้องใช้แรงกดก้านกระทุ้งให้ชนะแรงต้านของสปริง เพื่อให้ลมอัดจากแหล่งจ่ายที่รออยู่ 1(P) ผ่านไปยังท่อลม 2(A) เมื่อปล่อยมือออกจากก้านกระทุ้งสปริงก็ดันลูกบอล หรือแผ่นกลมให้เคลื่อนที่กลับไปปิดลมที่บ่าวาล์วตำแหน่งปกติ ดังแสดงรูปที่ 3.4 การเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ ซีลบริเวณบ่าวาล์วจะสึกหรอน้อย และมีอายุการใช้งานที่นาน แต่ในขณะเดียวกันจังหวะการทำงานต้องใช้แรงกดก้านกระทุ้งมาก เพื่อเอาชนะแรงต้านของสปริงที่ดันลูกบอลอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1) ตำแหน่งปกติ 2) ตำแหน่งทำงาน

รูปที่ 3.4 โครงสร้างการทำงานของวาล์วแบบลูกบอล

1.2.2 วาล์วแบบเลื่อน (Slide Valves)

โครงสร้างของวาล์วแบบเลื่อนนี้ จะมีลักษณะแบบลูกสูบหลายตัวอยู่ในชุดเดียวกันเคลื่อนที่ไป-กลับ ภายในเรือนวาล์วสามารถแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ วาล์วแบบลูกสูบเลื่อน วาล์วแบบลูกสูบและแผ่นเลื่อน และวาล์วแบบแผ่นหมุน การเคลื่อนที่ลักษณะนี้จะใช้แรงในการดันก้านกระทุ้งน้อยกว่าแบบนั่งบ่า แต่จากโครงสร้างการเคลื่อนที่ตลอดเวลาจะทำให้ซีลที่ถูกเสียดสีตลอดเวลามีอายุการใช้งานน้อยตามไปด้วย

1) วาล์วแบบลูกสูบเลื่อน

2) วาล์วแบบลูกสูบและแผ่นเลื่อน **3) วาล์วแบบแผ่นหมุน**

รูปที่ 3.5 โครงสร้างการทำงานของวาล์วแบบเลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วาล์วควบคุมการไหลทิศทางเดียว

วาล์วควบคุมการไหลทางเดียว หมายถึง วาล์วที่ลมสามารถไหลไปได้ทางเดียวแต่ไม่สามารถย้อนกลับไปทางเดิม วาล์วควบคุมการไหล แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ดังนี้

1. วาล์วกันกลับ วาล์วชนิดนี้สามารถไหลไปได้ทิศทางเดียว แต่ไม่สามารถไหลย้อนกลับทางเดิมได้ หรือเรียกว่า Check Valves

2. วาล์วลมเดี่ยว วาล์วลมเดี่ยวจะมีสัญญาณลมเข้าด้านใดด้านหนึ่ง และมีลมออกไปใช้งานด้านเดียว หรือเรียกว่า OR gate (Shuttle Valves)

3. วาล์วลมคู่ วาล์วลมคู่จะทำงานได้ต้องมีสัญญาณเข้าทั้งสองด้านพร้อมกัน และจะมีลมออกด้านเดียว หรือเรียกว่า AND gate (Two Pressure Valves)

4. วาล์วระบายลมเร็ว มีหน้าที่ช่วยให้ระบายลมออกสู่บรรยากาศได้เร็วขึ้น ทำให้การเคลื่อนที่ของลูกสูบเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นกว่าปกติ เพราะเมื่อระบายลมออกสู่บรรยากาศเร็วจะทำให้ลดแรงต้านในการเคลื่อนที่ของลูกสูบ หรือเรียกว่า Quick Exhaust Valves

3. วาล์วควบคุมความดัน

วาล์วควบคุมความดันมีหน้าที่ในการควบคุมความดันลมที่ใช้ในระบบนิวเมติก ให้มีค่าคงที่ตามที่กำหนดไว้ โดยทั่วไปแล้ววาล์วชนิดนี้ใช้มากในวงจรไฮดรอลิก ส่วนในวงจรนิวเมติกวาล์วนี้จะมีความจำเป็นน้อย

4. วาล์วควบคุมการไหล

วาล์วควบคุมอัตราการจะเป็นวาล์วที่ควบคุมปริมาณการไหลของลมทางเดียว โดยสามารถปรับให้ลูกสูบเคลื่อนที่ไปหรือกลับ แบบเคลื่อนที่ช้าหรือเร็วได้ ภายในจะประกอบด้วยวาล์วปรับอัตราการไหลกับวาล์วกันกลับต่อขนานกัน โดยวาล์วปรับอัตราการไหลจะเป็นวาล์วควบคุมปริมาณลมที่เข้าสู่ระบบ ส่วนวาล์วกันกลับ ลมสามารถไหลผ่านได้อิสระโดยไม่มีการควบคุม แต่ไม่สามารถไหลย้อนกลับทางเดิมได้ วาล์วควบคุมอัตราการไหลที่ใช้ในการควบคุมลูกสูบสามารถแบ่งได้ 2 วิธี

- การควบคุมปริมาณลมเข้า (Inlet Air Controlled)
- การควบคุมปริมาณลมออก (Outlet Air Controlled)

5. วาล์วเปิด-ปิด และวาล์วผสม

5.1 วาล์วปิด-เปิด

วาล์วชนิดนี้ทำการปิด-เปิด การไหลของลมในท่อที่ใช้ในระบบนิวเมติก

5.2 วาล์วหน่วงเวลา

วาล์วหน่วงเวลาเป็นวาล์วแบบผสมชนิดหนึ่ง (วาล์วมากกว่า 2 ชนิดรวมกัน) ซึ่งจะประกอบไปด้วย วาล์วควบคุมอัตราการไหล ที่มีถังเก็บลมกับวาล์วควบคุมทิศทาง 3/2 เลื่อนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลม และกลับด้วยสปริง

วาล์วหน่วงเวลา สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1) วาล์วหน่วงเวลาปกติปิด

2) วาล์วหน่วงเวลาปกติเปิด (ณรงค์,2547)

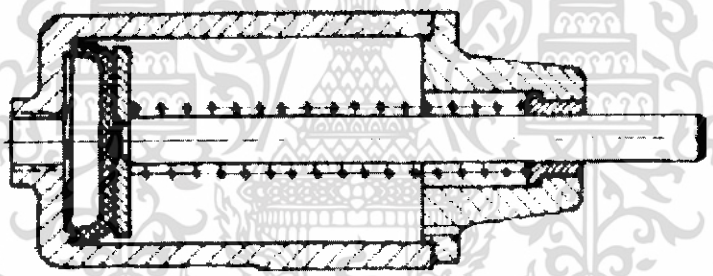
3.1.3.3 อุปกรณ์ทำงาน (Actuator groups)

อุปกรณ์ทำงานของระบบนิวเมติกในที่นี้หมายถึงอุปกรณ์ที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นพลังงานกล โดยตัวเปลี่ยนแปลงพลังงานนี้มีทั้งแบบเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรงซึ่งในที่นี้เรียกว่าลูกสูบลม (Air cylinder) และแบบเคลื่อนที่ในแนวหมุนซึ่งในที่นี้เรียกว่ามอเตอร์ลม (Air Motor)ทั้งลูกสูบลมและมอเตอร์ลมยังสามารถแบ่งออกเป็นหลายแบบดังนี้

1. อุปกรณ์ทำงานเชิงเส้นของระบบนิวเมติก (Linear-acting pneumatic elements)

โดยลูกสูบถูกทำให้เคลื่อนที่อยู่ในกระบอกสูบด้วยลมอัดส่งกำลังงานผ่านก้านสูบไปใช้งาน ลูกสูบที่นิยมใช้งานมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ

1.1 ลูกสูบลมชนิดทำงานทางเดียว (Single-acting cylinder)

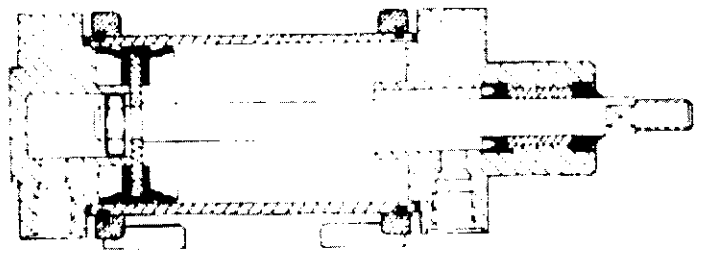


รูปที่ 3.6 ลูกสูบชนิดทำงานทางเดียว

ลูกสูบลมชนิดทำงานทางเดียวจะเคลื่อนที่ออกด้วยลมที่ดันก้านหัวลูกสูบ ส่วนในจังหวะเคลื่อนที่กลับสามารถวิ่งกลับได้โดยสปริงภายในกระบอกสูบ เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ออก หรือก้านสูบเลื่อนออกจากกระบอกสูบเรียกว่าการเคลื่อนที่ทิศทางบวก (Positive movement) ในทางตรงกันข้ามถ้าเลื่อนเข้าเรียกว่าการเคลื่อนที่ทิศทางลบ (Negative movement) การที่ลูกสูบทำงานทางเดียวมีสปริงดันกลับเข้าภายในจะมีผลทำให้เป็นตัวจำกัดความยาวช่วงชัก ด้วยเหตุนี้ความยาวของช่วงชักของลูกสูบชนิดนี้ โดยทั่วไปจะยาวไม่เกิน 100 mm เนื่องจากลูกสูบชนิดนี้ทำงานทางเดียว ดังนั้นในจังหวะเลื่อนกลับจึงไม่ควรรับภาระใดๆ ทั้งสิ้น ตัวอย่างการทำงานของลูกสูบนี้ เช่น งานจับยึดชิ้นงาน ตัวยันงาน งานป้อนทิศทางเดียว งานกดหรืออัด งานยกของ และอื่นๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62563

1.2 ลูกสูบชนิดทำงาน 2 ทาง (Double-acting cylinder)



รูปที่ 3.7 ลูกสูบชนิดทำงานสองทาง

ลูกสูบชนิดทำงานสองทาง ลมอัดจะดันทั้งในจังหวะเลื่อนออกและเลื่อนเข้า ทำให้มีแรงทำงานได้สองทิศทาง ลูกสูบชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้กับงานที่ต้องการช่วงชักยาวๆ หรือใช้กับลักษณะงานที่ต้องการใช้แรงทั้งในจังหวะเลื่อนเข้าและเลื่อนออก สิ่งที่เป็นตัวกำหนดขนาดของช่วงชักของลูกสูบชนิดนี้ คือ ปัญหาเกี่ยวกับการสิ้นเปลืองปริมาณของลมอัด ในกรณีที่ทำลูกสูบขนาดใหญ่ๆ และช่วงชักยาวมากเกินไป และปัญหาเกี่ยวกับการคดงอของก้านสูบ ดังนั้นขนาดลูกสูบที่เหมาะสมและประหยัดจึงมีมาตรฐานกำหนดไว้ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ขนาดมาตรฐานของลูกสูบและช่วงชักมาตรฐานจากต่ำสุดถึงสูงสุด(ณรงค์,2547)

Piston Diameter (mm)	Thrust at 6 bars air (kgf)	Standardized strokes (mm)	Minimum-Maximum stroke range (mm)
6	1 , 2	10, 25, 40, 80	10 - 80
12	6	10, 25, 40, 80, 140, 200	10 – 200
16	12	10, 25, 40, 80, 140, 200, 300	10 – 400
25	24	25, 40, 80, 140, 200, 300	10 – 500
35	52	70, 140, 200, 300	10 - 2000
40	72	40, 80, 140, 200, 300	10 - 2000
50	106	70, 140, 200, 300	10 - 2000
70	208	70, 140, 200, 300	10 - 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

Piston Diameter (mm)	Thrust at 6 bars air (kgf)	Standardized strokes (mm)	Minimum-Maximum stroke range (mm)
100	424	70, 140, 200, 300	10 - 2000
140	832	70, 140, 200, 300	10 - 2000
200	1700	70, 140, 200, 300	10 – 1100
250	2600	70, 140, 200, 300	10 - 1100

นอกจากนี้ลูกสูบทำงานสองทิศทางนี้ ยังสามารถแบ่งออกเป็นหลายชนิดดังนี้

ก. ลูกสูบชนิดที่มีเบาะลมกันกระแทก (Cylinder with end position cushion) โดยเบาะลมกันกระแทกนี้ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายของลูกสูบจากการกระแทกกับผนังหัวท้ายของกระบอกสูบ ใช้ในกรณีที่ก้านสูบต้องรับภาระในการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งและความเร็วสูง ตอนปลายช่วงชักของลูกสูบจึงต้องออกแบบให้มีเบาะลมคอยต้านการกระแทกก่อนจะสุดช่วงชัก เบาะลมนี้เกิดจากการปิดทางออกปกติของลมที่ใช้แล้ว (Exhaust) และบังคับให้ลมที่เหลือผ่านออกทางช่องแคบเล็กๆ ช้าๆ จึงทำให้เกิดความดันต้านกลับ (Back pressure) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเบาะลมที่ปลายช่วงชักกันกระแทกและลดความเร็วของลูกสูบลง ในทางตรงกันข้ามขณะที่ลูกสูบเริ่มเลื่อนออกจากปลายช่วงชัก ปริมาณลมที่เข้ามาดันให้ลูกสูบเลื่อนออกจะดันได้เต็มที่ ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงและความเร็วที่ต้องการ นอกจากนี้ความดันหรือแรงต้านการกระแทกของเบาะลมนี้ยังสามารถปรับให้มากน้อยได้ตามต้องการถ้าเป็นชนิดที่เป็นสกรูปรับช่องทางลมออก

ข. ลูกสูบชนิดที่มีก้านสูบสองข้าง (Cylinder with double-sided piston rid) ลูกสูบชนิดนี้มีข้อดีคือ แบริ่งที่รองรับก้านสูบจะดีกว่าแบบอื่นๆ เพราะมีจุดรองรับทั้งสองด้านดังนั้นจึงสามารถรองรับแรงทางด้านตั้งฉากกับก้านสูบได้บ้าง และประคองก้านสูบดีกว่าแบบอื่น แรงดันที่เกิดขึ้นทั้งสองด้านจะเท่ากันเนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของลูกสูบทั้งสองด้านมีขนาดเท่ากัน ในกรณีที่มีปัญหาเกี่ยวกับการวางอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของลูกสูบ ก็สามารถใช้ลูกสูบชนิดนี้ได้โดยวางอุปกรณ์ควบคุมไว้ด้านหลัง

ค. ลูกสูบช่วงชักหลายตำแหน่ง (Multiple-position cylinder) ประกอบด้วยลูกสูบแบบทำงานสองทาง 2 ตัวในกระบอกสูบเดียวกัน ทำให้เกิดช่วงชักหลายตำแหน่งขึ้นโดยการควบคุมช่องทางที่ป้อนเข้าทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อุปกรณ์ทำงานแบบหมุนของระบบนิวเมติก (Rotary-acting pneumatic elements)

อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นการหมุนทางด้านเครื่องกลก็คือ มอเตอร์ลม (Pneumatic motor) และลูกสูบหมุน (Rotary cylinder) ซึ่งมีช่วงการหมุนไปและกลับจำกัด อุปกรณ์ทั้งสองนี้จัดอยู่ในประเภทอุปกรณ์การทำงานแบบหมุน (Rotary working element)

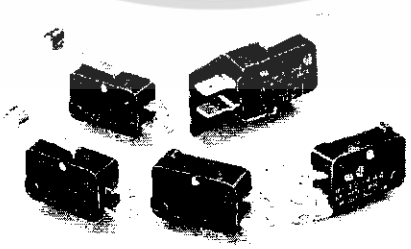
ก. ลูกสูบหมุน (Rotary cylinder or Oscillating motor) ลูกสูบนี้เป็นตัวเปลี่ยนการเคลื่อนที่ในแนวเส้นของลูกสูบเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุมโดยอาศัยเฟืองและเฟืองสะพาน จำนวนรอบที่เฟืองหมุนไปและหมุนกลับขึ้นอยู่กับความยาวช่วงชักของก้านสูบ โดยทั่วไปแล้วมุมที่หมุนไปและกลับมีค่ามาตรฐานดังนี้คือ 45°, 90°, 180°, 290° จนถึง 720° อย่างไรก็ตาม ค่ามุมที่หมุนหรือแกว่งนี้สามารถปรับได้โดยการตั้งระยะช่วงชักสกรูปรับ ค่าแรงบิดที่ได้ขึ้นอยู่กับแรงของลมอัด ขนาดลูกสูบ และอัตราทด ลักษณะงานที่ใช้กับลูกสูบชนิดนี้คือ การหมุนชิ้นงาน การดัดท่อ เป็นตัวควบคุมวาล์วหมุนและวาล์วเลื่อนแบบต่างๆ

ข. มอเตอร์ลม (Pneumatic motor) มอเตอร์ลมจะมีทิศทางการหมุนไม่จำกัดมุม คือจะหมุนได้เช่นเดียวกันกับมอเตอร์ไฟฟ้า ปัจจุบันนิยมใช้อย่างกว้างขวาง และจำแนกเป็นหลายประเภท เช่น ใช้ลูกสูบ ใช้ใบพัดหรือกังหัน เป็นต้น (เดชฤทธิ์,2548)

3.2 พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์และสวิตช์

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ คือ เซนเซอร์กลุ่มที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงานหรือวัตถุภายนอก ลักษณะของการทำงานอาจจะส่งหรือรับพลังงานรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง เช่น สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า แสง เสียง และสัญญาณลม ส่วนการนำเซนเซอร์ประเภทนี้ไปใช้งานนั้น ส่วนใหญ่จะใช้กับงานตรวจจับตำแหน่ง ระดับ และขนาดรูปร่าง รวมถึงการนำไปใช้ในงานด้านความปลอดภัยไม่ว่าจะเป็นตามโรงงานหรือที่พักอาศัย อย่างไรก็ตามเซนเซอร์ประเภทนี้จะใช้กับงานควบคุมเสียเป็นส่วนใหญ่

สวิตช์ เป็นสวิตช์ปุ่มกดที่ทำงานโดยอาศัยแรงกดจากภายนอกมาชน มีหลายรูปแบบแล้วแต่การนำไปใช้งาน หน้าสัมผัสของสวิตช์มีทั้งแบบ NC และ NO



รูปที่ 3.8 Limit Switch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์กับสวิตช์แบบกลไก

คุณสมบัติ	สวิตช์แบบกลไก	พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์
- การชำรุดเนื่องจากการสัมผัสหรือถูกกระแทก	- มีเพราะจะต้องสัมผัสหรือกระแทกให้สวิตช์ทำงาน	- ไม่มีเพราะทำงานโดยไม่ต้องสัมผัส
- ความทนทาน	- มีอายุการใช้งานจำกัดเนื่องจากเป็นกลไก หน้าสัมผัสมีการสึกหรอได้ในขณะทำงานหรืออาจเกิดการอาร์คได้เป็นเหตุให้เกิดการสึกหรอเร็วขึ้น	- ความทนทานสูงเนื่องจากภายในเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ และไม่เกิดการอาร์คในขณะที่ทำงาน
- ความเร็วในการทำงาน	- ต่ำเนื่องจากเป็นกลไก	- สูงเนื่องจากเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์
- ความเที่ยงตรง	- การเลื่อนของจุดทำงาน (สัญญาณ)มีค่าปานกลางและเมื่อใช้งานไประยะหนึ่งจะมีค่าทำให้ตำแหน่งในการทำงานมีความเที่ยงตรงไม่ดีนัก	- การเลื่อนของจุดทำงาน (สัญญาณ)มีค่าต่ำทำให้ตำแหน่งที่ตรวจจับมีความเที่ยงตรงสูง
- กระแสโหลด	- เป็นหน้าสัมผัสจึงออกแบบให้สามารถจ่ายกระแสโหลดสูงๆ ได้	- เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์จึงจ่ายกระแสโหลดต่ำได้
- การติดตั้ง	- จำเป็นต้องดัดแปลงหรือต่อเติมชิ้นส่วนกลไกให้มากดตัวสวิตช์ เช่น กระเดื่อง ลูกเบี้ยว เป็นต้น	- ทำได้ง่ายไม่จำเป็นต้องดัดแปลงหรือต่อเติมใดๆ เพียงแต่ติดตั้งเข้าไปตรงจุดที่ต้องการตรวจจับเท่านั้น
- ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม	- เนื่องจากมีกลไกที่จะต้องถ่ายทอดแรงไปกดหน้าสัมผัสจึงจำเป็นต้องมีซีลด์ยางที่แกนซึ่งมีโอกาสเสื่อมสภาพและเป็นเหตุให้ฝุ่นละอองหรือน้ำเข้าไปภายในได้	- ดีมากเพราะถูกซีลด์ด้วยตัวเรือนพลาสติก หรือโลหะไว้ทั้งหมดและวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในถูกห่อหุ้มไว้ด้วย epoxy resin จึงสามารถป้องกันฝุ่นละอองและน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 PLC (Programmable Logic Controller)

PLC (Programmable Logic Controller) หรือปัจจุบันใช้คำว่า PC (Programmable Controller)

3.3.1 ประวัติความเป็นมา

เมื่อปี พ.ศ. 2511 ในฝ่าย Hydromatic ของบริษัท General Motors ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้คิดค้นอุปกรณ์ควบคุมแบบใหม่เพื่อใช้ทดแทนวงจรไฟฟ้าแบบเดิมที่ใช้กันอยู่ในโรงงานอุตสาหกรรมของบริษัท และในปี พ.ศ. 2512 PLC ได้ถูกผลิตขึ้นจำหน่ายในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นแห่งแรก ส่วนในประเทศญี่ปุ่น PLC ได้ถูกพัฒนาขึ้นภายหลังจากที่บริษัท ออมรอม (OMRON Co.,Ltd) ประเทศญี่ปุ่นประสบความสำเร็จในการผลิตโซลิต-สเตทรีเลย (Solid State Relay) ในปี พ.ศ.2508 หลังจากนั้น 5 ปี PLC ก็ถูกนำออกจำหน่ายสู่ท้องตลาดจนเป็นที่แพร่หลายในเวลาต่อมา ซึ่งความแตกต่างของ PLC กับคอมพิวเตอร์ทั่วไป (เนื่องจาก PLC เป็นคอมพิวเตอร์เฉพาะจำพวกหนึ่ง) มีดังนี้ คือ

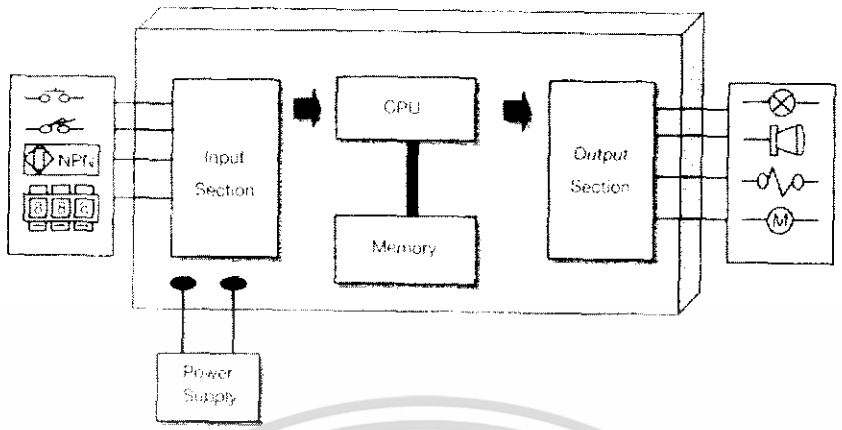
1. PLC ถูกออกแบบให้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมของโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ความร้อน ความหนาว ระบบไฟฟ้ารบกวน การสั่นสะเทือน การกระแทก
2. การใช้โปรแกรมของ PLC จะไม่ยุ่งยากเหมือนของคอมพิวเตอร์ทั่วไป PLC จะมีระบบตรวจสอบตัวเอง ทำให้ใช้งานได้ง่ายและบำรุงรักษาง่าย
3. PLC ทำงานตามโปรแกรมที่กำหนดไว้เพียงโปรแกรมเดียว ทำให้ไม่ยุ่งยาก ส่วนคอมพิวเตอร์จะทำงานที่โปรแกรมหลายๆ โปรแกรมพร้อมกัน จึงมีความยุ่งยากกว่า
4. PLC ใช้ควบคุมกระบวนการผลิตทุกชนิด ทั้งแบบอนาล็อก และแบบลอจิก

PLC เป็นอุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักร หรือ ระบบต่างๆแทนการวงจรรีเลย์แบบเก่า ซึ่งวงจรรีเลย์มีข้อเสียคือ การเดินสาย และการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขในการควบคุมมีความยุ่งยาก และเมื่อใช้งานไปนานๆหน้าสัมผัสของรีเลย์จะเสื่อม ดังนั้นปัจจุบัน PLC จึงมาทดแทนวงจรรีเลย์ เพราะ PLC ใช้งานได้ง่ายกว่า สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตได้โดยตรง หลังจากนั้นเพียงแต่เขียนโปรแกรมควบคุมก็สามารถใช้งานได้ทันที ถ้าต้องการจะเปลี่ยนเงื่อนไขใหม่ สามารถทำได้โดยเปลี่ยนแปลงโปรแกรมเท่านั้น

นอกจากนี้ PLC ยังสามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น เครื่องอ่านบาร์โค๊ด (Barcode Reader) เครื่องพิมพ์ (Printer) เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันนอกจาก PLC จะใช้งานแบบเดี่ยว (Stand alone) แล้วยังสามารถต่อ PLC หลายตัวเข้าด้วยกัน (Network) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นอีกด้วย จะเห็นได้ว่าการใช้งาน PLC มี ความยืดหยุ่นมากกว่าการใช้งานวงจรรีเลย์แบบเก่า ดังนั้น ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆจึงเปลี่ยนมาใช้ PLC มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 โครงสร้างพื้นฐานของ PLC



รูปที่ 3.9 แสดงตัวอย่างโครงสร้างภายใน PLC

โครงสร้างพื้นฐานของ PLC โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างคล้ายกับคอมพิวเตอร์ซึ่งประกอบด้วย 5 ส่วนหลักๆ ดังนี้

3.3.2.1 ภาคอินพุต (Input Section) ทำหน้าที่รับข้อมูลเข้ามา จากนั้นจะทำการส่งข้อมูลต่อไปยังตัวประมวลผล (CPU) เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป โดยข้อมูลที่ได้รับเข้ามาเป็นสัญญาณอินพุตมาจากเซนเซอร์ (Sensor) ลิมิตสวิตช์ (Limit Switches) และเอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) เป็นต้น

ซึ่งสัญญาณอินพุตที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติและหน้าที่ดังนี้

1. ทำให้สัญญาณเข้าได้ระดับที่เหมาะสมกับ PLC

2. การส่งสัญญาณระหว่างอินพุตกับ CPU จะติดต่อกันด้วยลำแสง ซึ่งอาศัยอุปกรณ์ประเภทโฟโต้ทรานซิสเตอร์ เพื่อต้องการแยกสัญญาณ (Isolate) ทางไฟฟ้าให้ออกจากกัน เป็นการป้องกันไม่ให้CPU เสียหายเมื่ออินพุตเกิดลัดวงจร

3. หน้าสัมผัสจะต้องไม่สั่นสะเทือน (Contact Chattering)

3.3.2.2 ตัวประมวลผล (CPU) ทำหน้าที่คำนวณและควบคุม ซึ่งเปรียบเสมือนสมองของ PLC ภายในประกอบด้วยวงจรลอจิกหลายชนิด มีไมโครโปรเซสเซอร์เบด (Micro Processor Based) ใช้แทนอุปกรณ์จำพวกรีเลย์ เคาน์เตอร์ (Counter)/ไทม์เมอร์ (Timer) และซีเควนเซอร์ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถออกแบบวงจรโดยใช้ Ladder Diagram ได้ CPU จะยอมรับข้อมูลจากอุปกรณ์อินพุตต่างๆ จากนั้นจะทำการประมวลผลและเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำ หลังจากนั้นจะส่งข้อมูลที่เหมาะสมและถูกต้องออกไปยังอุปกรณ์เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3 หน่วยความจำ (Memory) ทำหน้าที่เก็บรักษาโปรแกรมและข้อมูลที่ใช้ในการทำงาน โดยขนาดของหน่วยความจำจะถูกแบ่งออกเป็นบิตข้อมูล (Data Bit) ภายในหน่วยความจำ 1 บิต ก็จะมีค่าสภาวะทางลอจิก 0 หรือ 1 แตกต่างกันแล้วคำสั่งซึ่ง PLC ประกอบด้วยหน่วยความจำ 2 ชนิดคือ

RAM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมของผู้ใช้ และข้อมูลที่ใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC หน่วยความจำประเภทนี้จะมีแบตเตอรี่เล็กๆ ต่อไว้เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงข้อมูลเมื่อเกิดไฟดับการอ่านและการเขียนข้อมูลลงใน RAM ทำได้ง่ายมาก เพราะฉะนั้นจึงเหมาะกับงานในระยะทดลองเครื่องมือที่มีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขโปรแกรมอยู่บ่อยๆ

ROM ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมสำหรับใช้ในการปฏิบัติงานของ PLC ตามโปรแกรมของผู้ใช้ หน่วยความจำแบบ ROM ยังสามารถแบ่งได้เป็น EPROM ซึ่งต้องใช้อุปกรณ์พิเศษในการเขียนและลบโปรแกรม เหมาะกับงานที่ไม่ต้องการเปลี่ยนแปลงโปรแกรม นอกจากนี้ยังมีแบบ EEPROM หน่วยความจำประเภทนี้ไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการเขียนและลบโปรแกรมสามารถใช้งานได้เหมือนกับ RAM แต่ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่สำรอง แต่ราคาจะแพงกว่าเนื่องจากรวมคุณสมบัติของ ROM และ RAM ไว้ด้วยกัน

3.3.2.4 ภาคเอาต์พุต (Output Section) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากตัวประมวลผลแล้วส่งต่อข้อมูลไปควบคุมอุปกรณ์ภายนอก เช่น ควบคุมหลอดไฟ มอเตอร์ และโซลินอยล์วาล์ว เป็นต้น

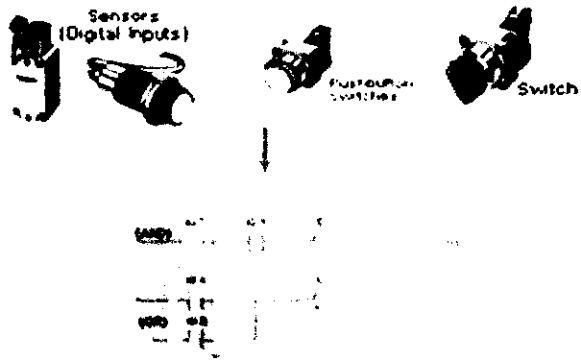
3.3.2.5 แหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) ทำหน้าที่จ่ายพลังงานและรักษาระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ CPU Unit หน่วยความจำและหน่วยอินพุต/เอาต์พุต

3.3.3 อุปกรณ์อินพุต (Input Devices)

สัญญาณอินพุตจะเป็นสัญญาณแบบรีเลย์ พัลส์ แรงดันไฟฟ้า (VDC) หรือกระแสไฟฟ้า (mA) สัญญาณเหล่านี้ จะถูกส่งมาจากอุปกรณ์อินพุต

เมื่อ PLC ได้รับสัญญาณอินพุตแล้ว หลังจากนั้นจะนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลต่อไป อุปกรณ์อินพุตที่ให้สัญญาณได้แก่ Encoder , Switch , Proximity Switch และ Photo Sensor เป็นต้น อุปกรณ์อินพุตดังกล่าวแสดงให้เห็นดังรูป ซึ่งอุปกรณ์อินพุตที่ส่งสัญญาณออกมาในลักษณะ ON-OFF หรือ 0-1จะสามารถใช้ได้กับ PLC ที่รับสัญญาณอินพุตเป็นแบบดิจิตอลเท่านั้น ส่วนสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณอะนาลอกมาตรฐานต่างๆเช่น 0-10 V, 4-20 mA, หรือ 1-5 V จะต้องต่อเข้ากับภาคอินพุตของ PLC ที่สามารถรับสัญญาณอะนาลอกเท่านั้น

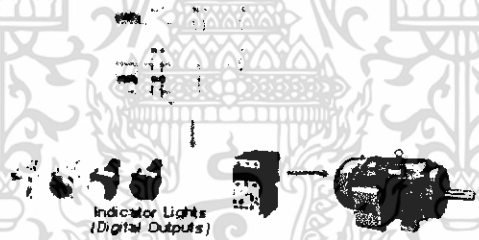
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 *แสดงอุปกรณ์อินพุต (Input Devices)*

3.3.4 อุปกรณ์เอาต์พุต (Output devices)

สัญญาณที่ออกมาจากภาคเอาต์พุตของ PLC ไม่ว่าจะเป็นเอาต์พุตแบบรีเลย์ หรือทรานซิสเตอร์ ก่อนที่สัญญาณจะถูกส่งผ่านไปยังอุปกรณ์เอาต์พุตได้ต้องผ่าน Buffer Relay หรือต้องต่อผ่านวงจรไดร์ฟก่อนจึงจะสามารถต่อเข้าโหลดได้ เช่น ถ้าต้องการสัญญาณเอาต์พุตไปควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน ต้องผ่านวงจรไดร์ฟก่อนเนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจาก PLC มีค่าน้อยเกินกว่าค่ากระแสที่มอเตอร์จะนำไปใช้ได้ เป็นต้น อุปกรณ์เอาต์พุตต่างๆแสดงให้เห็นดังรูป



รูปที่ 3.11 แสดงอุปกรณ์เอาต์พุต

จากเนื้อหาที่กล่าวถึง สามารถสรุปได้ว่า PLC มีส่วนประกอบต่างๆเหมือนกับคอมพิวเตอร์ โดยแบ่งเป็น 5 ส่วนคือมีภาคอินพุต/เอาต์พุต ตัวประมวลผล หน่วยความจำ แหล่งจ่ายไฟ ซึ่งอุปกรณ์อินพุตของคอมพิวเตอร์คือ คีย์บอร์ด ส่วนอุปกรณ์อินพุตของ PLC จะเป็นสวิตช์และเซนเซอร์แบบต่างๆ เป็นต้น อุปกรณ์เอาต์พุตของคอมพิวเตอร์คือหน้าจอ ส่วนอุปกรณ์เอาต์พุตของ PLC เป็นมอเตอร์ โซลินอยล์วาล์ว เป็นต้น ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นส่วนที่ PLC ทุกรุ่นต้องมีเหมือนกัน แต่ถ้าเรามองจากภายนอกจะเห็นว่า PLC แต่ละรุ่น แต่ละยี่ห้อจะมีโครงสร้างแตกต่างกัน เราสามารถจำแนกประเภทของ PLC ตามลักษณะภายนอกได้เป็น 2 ชนิด ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดดังนี้

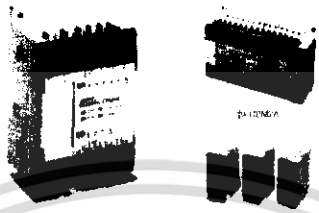
3.3.5 ชนิดของโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC)

ตามโครงสร้างภายนอกของ PLC เราสามารถจำแนก PLC ออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.1 PLC **ชนิดบล๊อก** (Block Type PLCs)

PLC ประเภทนี้จะรวมส่วนประกอบทั้งหมดของ PLC อยู่ในบล็อกเดียวกันทั้ง ตัวประมวลผล หน่วยความจำ ภาคอินพุต/เอาต์พุต และแหล่งจ่ายไฟ สามารถ แสดงตัวอย่าง PLC แบบ Block Type ให้เห็นดังรูป



รูปที่ 3.12 แสดงชนิดของ PLC แบบ Block Type

ในกรณีที่ต้องการเพิ่มจำนวนอินพุต/เอาต์พุต สามารถใช้หน่วยขยายอินพุต/เอาต์พุต (Expansion I/O Units) เพื่อเพิ่มจำนวนอินพุต/เอาต์พุตได้โดยการต่อเข้าที่ พอร์ตขยายอินพุต/เอาต์พุต (Expansion I/O Units Connector)

ตารางที่ 3.3 แสดงข้อดีข้อเสีย ของ PLC แบบ Block type

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ง่ายต่อการใช้งานเพราะส่วนประกอบต่างๆรวมอยู่ในบล๊อกเดียวกัน	1. เมื่ออินพุต/เอาต์พุตเสียจุดใดจุดหนึ่งต้องนำ PLC ออกไปทั้งชุดทำให้ระบบต้องหยุดการทำงานชั่วระยะเวลาหนึ่ง
2. มีขนาดเล็กสามารถติดตั้งได้ง่าย	2. มีฟังก์ชันให้เลือกใช้งานน้อยกว่า PLC แบบแร็ค (Rack)
3. เหมาะกับการควบคุมระบบเล็กๆ	3. การเพิ่มจำนวนอินพุต/เอาต์พุตสามารถเพิ่มได้น้อยกว่า PLC แบบแร็ค (Rack)

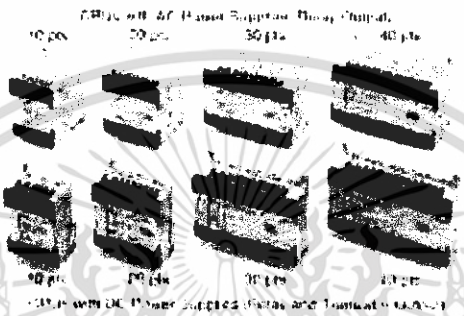
3.3.5.2 PLC **ชนิดโมดูล** (Modular Type PLCs) **หรือแร็ค** (Rack type PLCs)

PLC ชนิดนี้ ส่วนประกอบแต่ละส่วนสามารถแยกออกจากกันเป็นโมดูล (Modules) เช่น ภาคอินพุต/เอาต์พุต จะอยู่ในส่วนของโมดูลอินพุต/เอาต์พุต (Input/Output Units) ซึ่งสามารถเลือกใช้งานได้ว่าจะใช้โมดูลขนาดกี่อินพุต/เอาต์พุต ซึ่งมีให้เลือกใช้งานหลายรูปแบบ อาจจะใช้เป็นอินพุตอย่างเดียวขนาด 8/16 จุด หรือ เป็นเอาต์พุตอย่างเดียวขนาด 4/8/12/16 จุด ขึ้นอยู่กับรุ่นของ PLC ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของตัวประมวลผลและหน่วยความจำจะรวมอยู่ในซีพียูโมดูล (CPU Unit) เรา สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดของ CPU ให้เหมาะสมตามความต้องการใช้งาน

ส่วนประกอบของ PLC แบบ Module ที่กล่าวมานั้น เมื่อต้องการใช้งานจะถูกนำมาต่อร่วมกัน บางรุ่นใช้เป็นคอนเน็กเตอร์ในการเชื่อมต่อระหว่างยูนิต แต่บางรุ่นใช้ Backplane ในการรวมยูนิตต่างๆเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกันได้ สามารถยกตัวอย่าง PLC แบบ Modular ให้เห็นดังรูป



รูปที่ 3.13 แสดงชนิดของ PLC แบบ Modular

ตารางที่ 3.4 แสดงข้อดีข้อเสียของ PLC แบบ Modular

ข้อดี	ข้อเสีย
1. เพิ่มขยายระบบได้ง่ายเพียงแค่ติดตั้งโมดูลต่างๆที่ต้องการใช้งานลงบน Backplane	1. ราคาแพงเมื่อเทียบกับ PLC แบบ Block Type
2. สามารถขยายจำนวนอินพุต/เอาต์พุตได้มากกว่าแบบ Block Type	
3. อุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุตเสียจุดใดจุดหนึ่ง สามารถถอดเฉพาะโมดูลนั้นไปซ่อม ทำให้ระบบทำงานต่อได้	
4. มียูนิตและรูปแบบการติดต่อสื่อสารให้เลือกใช้งานมากกว่าแบบ Block Type	

3.3.6 ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมให้กับ PLC

PLC แต่ละยี่ห้อจะใช้ภาษาในการเขียนโปรแกรมเพื่อสั่งให้ PLC ทำงานตามความต้องการแตกต่างกัน ซึ่งตามมาตรฐาน IEC1131-3 ได้แบ่งภาษามาตรฐานออกเป็น 5 แบบ คือ

Ladder Diagram Language

Sequential Flow Chart Language

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Function Block Diagram Language

Instruction List Language (Statement List Language)

Structure Text Language

3.3.7 อุปกรณ์สำหรับการโปรแกรม

การสั่งให้ PLC ทำงานจะต้องป้อนโปรแกรมให้กับ PLC ก่อน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้อนโปรแกรมให้กับ PLC นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

3.3.7.1 ตัวป้อนโปรแกรมแบบมือถือ (Hand Held Programmer) แต่ละยี่ห้อจะมีชื่อเรียกแตกต่างกัน ซึ่งการเขียนโปรแกรมให้กับ PLC โดยการใช้ Hand Held Programmer ภาษาที่ใช้จะเป็นภาษา Statement List เช่นคำสั่ง LD,AND,OR ซึ่งเป็นคำสั่งพื้นฐานสามารถเรียกใช้งานโดยการกดปุ่มที่อยู่ที่ตัว Hand Held Programmer นั้น แต่เมื่อต้องการใช้งานฟังก์ชันอื่นๆที่มีอยู่ใน PLC สามารถเรียกใช้งานโดยการกดปุ่มเรียกใช้งานคำสั่งพิเศษ ซึ่งวิธีการใช้งาน Hand Held Programmer ต้องศึกษาจากคู่มือของยี่ห้อนั้นต่อไป

การใช้ Hand Held Programmer มีข้อดีตรงที่มีความสะดวกในการเคลื่อนย้ายสามารถพกพาได้สะดวก เนื่องจากมีขนาดเล็กแต่มีข้อเสียคือในการใช้งานผู้ใช้ต้องศึกษาวิธีการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านี้ว่ามีวิธีการกดอย่างไร ถึงจะสั่งงาน PLC ได้

3.3.7.2 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือนิยมเรียกว่าเครื่อง PC สามารถใช้ในการเขียนโปรแกรมให้กับ PLC ได้ โดยใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์ (Software) เฉพาะของ PLC ยี่ห้อนั้น วิธีการต่อใช้ PC กับ PLC สามารถแสดงให้เห็นดังนี้

รูปที่ 3.14 แสดงวิธีการต่อใช้งาน PC กับ PLC

ข้อดีของการใช้เครื่อง PC ในการป้อนโปรแกรมให้กับ PLC คือ ใช้งานง่าย จะเห็นว่าการเขียนโปรแกรมเป็นภาษา Ladder Diagram จะเป็นการนำสัญลักษณ์ต่างๆเข้ามาใช้แทนการเขียนคำสั่ง ทำให้เข้าใจง่ายเพียงแต่คลิก เลือกสัญลักษณ์ต่างๆจากส่วนที่เป็น Drawing Tool นอกจากนั้นยังมีเมนูต่างๆให้เลือกใช้งานซึ่งง่ายกว่าการใช้ Hand Held Programmer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

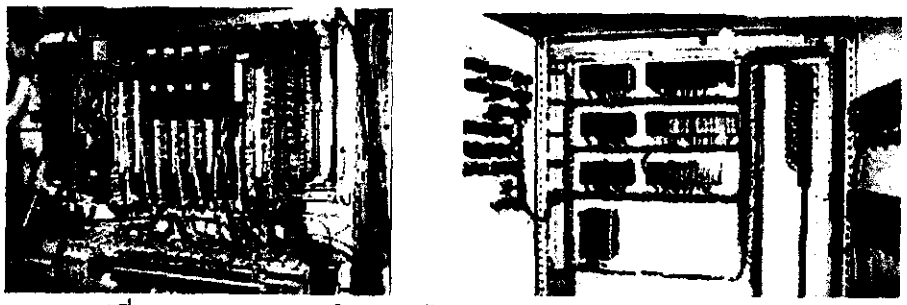
3.3.8 ระบบสื่อสาร (Communications)

ระบบสื่อสารของ PLC คือการนำ PLC ไปต่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆเพื่อให้อุปกรณ์อื่นควบคุมการทำงานของ PLC หรือ ให้ PLC ไปควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อื่น หรือเป็นระบบที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่าง PLC กับ PLC ก็ได้ ซึ่งปัจจุบัน PLC สามารถนำไปต่อร่วมกับอุปกรณ์ของยี่ห้อเดียวกัน หรืออุปกรณ์ภายนอกต่างยี่ห้อกัน เพื่อควบคุมการทำงานของระบบ ให้ใช้งานได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น สำหรับระบบสื่อสารของแต่ละยี่ห้อ มีชื่อเรียกไม่เหมือนกัน

นอกจากนี้ PLC แต่ละรุ่นยังมีระบบการติดต่อสื่อสาร บางรูปแบบแตกต่างกันด้วย เช่น PLC รุ่นเล็กจะมีความสามารถในการติดต่อสื่อสารได้น้อยกว่า PLC รุ่นใหญ่

ในการควบคุมกระบวนการ (Process) ที่ทำงานอย่างเป็นลำดับ (Sequence) คือ มีลำดับการทำงานของแต่ละ ขั้นตอนที่ชัดเจน ว่าขั้นตอนนี้ทำงานก่อน แล้วอีกขั้นตอนหนึ่งจะเริ่มทำงานตามหลัง จากนั้นอีกขั้นตอนหนึ่งก็จะเริ่มดำเนินการเป็นลำดับถัดไป การทำงานอย่างเป็นลำดับนี้อาจจะมีตัวรับรู้ (Sensor) ฉลาดๆ หรือหัววัด (Probe) ต่ออยู่ในระบบด้วยก็ได้ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติและถูกต้อง จึงมีการใช้อุปกรณ์ต่างๆเข้ามา ใช่ร่วมกันมากมาย ในช่วงราว 20 ปี มานี้ พัฒนาการด้านอิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำถูกพัฒนาไปไกลมาก จึงมีตัวควบคุมอัตโนมัติที่ฉลาด ขนาดเล็ก มีความน่าเชื่อถือสูงออกมาจำหน่าย หนึ่งในนั้นก็คือ PLC เป็นตัวควบคุมสำหรับใช้ควบคุมลำดับการทำงาน (Sequence Control) ของกระบวนการ โดยผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมกำหนดเงื่อนไข การควบคุมได้ตามความต้องการ และสามารถแก้ไขโปรแกรมได้โดยง่าย ซึ่งเป็นข้อที่เหนือกว่าวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่เมื่อสร้างขึ้นมาแล้วแก้ไขวงจรได้ยากและไม่สะดวก แต่ PLC สามารถแก้ไขการทำงานได้โดยแก้ที่โปรแกรม เท่านั้น นอกจากนี้ PLC ยังสามารถควบคุมแบบเปิดปิด (On-Off) ได้คราวละหลายวงจร เพราะมีช่องต่อสัญญาณ ขาเข้า (Input) และขาออก (Output) จำนวนมาก อีกทั้งหน่วยความจำ Relay และ Timer ภายในอีกมากมาย สำหรับผู้ใช้จะได้นำมาใช้เป็นเครื่องมือในการสร้างโปรแกรมควบคุมที่ซับซ้อนได้ นอกจากนี้ PLC ในยุคปัจจุบัน ยังสามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณได้ทั้งแบบ Analog และ Digital อีกด้วย ทำให้สามารถต่อร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆได้ มากมาย และสามารถพัฒนาโปรแกรมให้มีความฉลาดได้มากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อนำเอาเทคนิคการ ควบคุมต่างๆมาผนวกเข้าไว้ด้วยแล้ว ทำให้สามารถนำไปใช้ควบคุมกระบวนการที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี เช่น มีตัวควบคุมแบบฟัซซี่ หรือ มีตัวควบคุมแบบ PID เพิ่มเข้าไปใน PLC เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

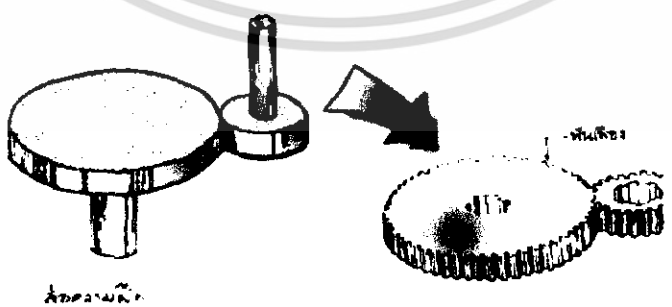


รูปที่ 3.15 แสดงการนำ PLC ไปต่อใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม

PLC ในยุคปัจจุบัน มีผู้ผลิตหลายรายในหลายทวีป เร่งพัฒนาให้มีความสามารถสูงๆ จนสามารถเดินสายสัญญาณสื่อสารระยะไกลๆได้ มีฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนมากขึ้น มีรูปแบบการเขียนโปรแกรมเป็นโครงสร้างมากขึ้น สามารถดูแลระบบผ่านระบบคอมพิวเตอร์ได้ด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูป กล่าวได้ว่ามีความน่าใช้ สะดวกกว่าในอดีตมากPLC จึงเป็นอุปกรณ์สำหรับการควบคุมอัตโนมัติที่มีการใช้งานอยู่ทั่วไปในภาคอุตสาหกรรมยุคปัจจุบัน (ธีรศิลป์,2547)

3.4 เฟือง

เฟืองเป็นตัวช่วยส่งกำลังหรือถ่ายทอดการหมุนจากต้นกำลังต่างๆ อันที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้ ซึ่งการถ่ายทอดการหมุนจากต้นกำลังนั้น ทำได้หลายวิธี เช่น ด้วยการใช้สายพานโซ่ ล้อความฝืด เป็นต้น ล้อความฝืดก็คือ ล้อสองล้อที่ถูกกดให้ติดกัน เมื่อล้อหนึ่งหมุน หรือเป็นล้อขับก็จะทำให้อีกล้อหนึ่งหมุนตาม เพราะผิวหน้าของล้อทั้งสองเกิดความฝืด เนื่องจากการสัมผัส แต่ถ้าหากมีภาระมากๆ เช่น มีการส่งกำลังสูงๆ จะทำให้เกิดการลื่นไถล การส่งกำลังจึงไม่แม่นยำ เพื่อที่จะแก้ไขข้อเสียเหล่านี้จึงได้มีการนำเอาฟันเฟืองมาติดไว้ที่ผิวของล้อโดยรอบล้อ จึงมีลักษณะเป็นล้อฟันเฟือง ซึ่งต่อๆมาเราจึงเรียกว่า "เฟือง" ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สามารถส่งกำลังหรือถ่ายทอดการหมุนได้แม่นยำเที่ยงตรง และไม่มีการลื่นไถล ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ล้อความฝืด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเฟืองแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

3.4.1 เฟืองตรง (Spur gear)

เป็นเฟืองที่มีลักษณะเป็นล้อทรงกระบอก มีฟันขนานกับแกนของตัวเฟือง มีหน้าตัดของฟันเฟืองขนานเท่ากัน และเหมือนกันตลอดทั้งเฟือง ดังรูปที่ 3.16

รูปที่ 3.17 เฟืองตรง

3.4.2 เฟืองหนอน (Worm gear)

เฟืองชุดนี้จะประกอบด้วยตัวเกลียวหนอนและเฟืองหนอน โดยเกลียวหนอนจะส่งกำลังหมุนไปขับให้เฟืองหนอนหมุนตาม เฟืองชนิดนี้นิยมใช้กับการทดรอบความเร็วสูงๆ ให้เป็นความเร็วต่ำมากๆเช่น ในกรณีของการทดรอบจากมอเตอร์ซึ่งมีความเร็วสูง เป็นต้น

รูปที่ 3.18 เฟืองหนอน

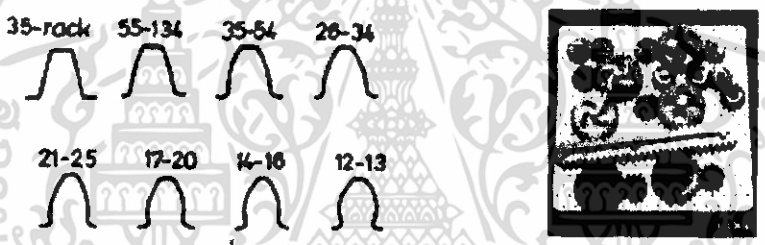
3.4.3 เฟืองดอกจอก (Bevel gear)

เฟืองชนิดนี้มีลักษณะรูปร่างเป็นรูปทรงกรวย(Cone) ฟันของเฟืองจะอยู่โดยรอบผิวของทรงกรวย และขนานกับแกนของเฟือง เฟืองดอกจอกจะใช้สำหรับเปลี่ยนทิศทางการส่งกำลังระหว่างเพลาของล้อที่ตั้งฉากกัน เช่น การส่งกำลังไปยังเพลาของล้อรถ เป็นต้น

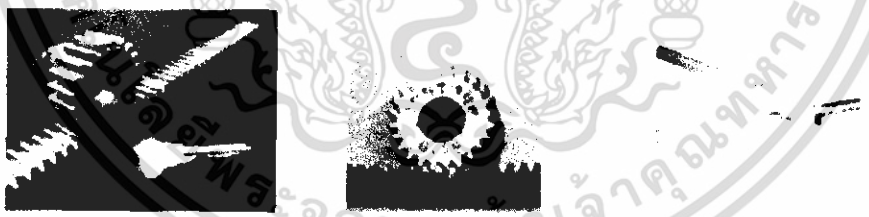
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.19 เฟืองดอกจอก

ลักษณะรูปร่างของฟันเฟือง และระบบของเฟืองนั้น ฟันเฟืองที่จะผลิตนั้นจะต้องมีลักษณะอย่างไร มีฟันกี่ฟันเฟือง เพราะลักษณะรูปร่างของฟันเฟืองนั้นมีหลายชนิดดังรูปที่ 3.19 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนของฟันเฟือง เช่น เฟืองที่มีจำนวน 12 -13 ฟัน ก็จะมีลักษณะเป็นฐานคอด และฐานฟันเฟืองจะตรงเมื่อจำนวนฟันมีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ จนมากที่สุด คือ เฟืองสะพาน(Rack gear) ซึ่งเป็นเฟืองที่มีฟันเรียงเป็นแนวเส้นตรง ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ลักษณะรูปร่างของฟันเฟือง



รูปที่ 3.21 เฟืองสะพาน

เฟืองที่จะสามารถขบกันได้ต้องมีขนาดของฟันเฟืองเท่ากันเท่านั้น ซึ่งขนาดของฟันนี้มีการวัดเป็น 2 ระบบ คือ ระบบเมตริกและระบบอังกฤษ ระบบเมตริกนั้นจะวัดขนาดเป็นมิลลิเมตร เราเรียกเฟืองระบบนี้ว่า เฟืองโมดูล(Module) ขนาดของโมดูลเฟือง จะมีค่าซึ่งกำหนดไว้เป็นมาตรฐาน ส่วนระบบอังกฤษจะวัดขนาดเป็นนิ้ว เรียกเฟืองระบบนี้ว่า เฟืองดีพี (DP=Diametral Pitch) ฉะนั้น การซื้อหาเฟือง หรือผลิตเฟืองนั้นต้องทราบลักษณะรูปร่างของเฟืองและระบบของเฟืองเสียก่อนว่าใช้ชนิดไหน และรูปร่างเป็นอย่างไร (นิรนาม5,2548)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 บูร์ดอง (Bourdon tube)

Eugene Boudon วิศวกรชาวฝรั่งเศสได้จดทะเบียนลิขสิทธ์อุปกรณ์วัดความดันที่เขาได้คิดค้นและปรับปรุงขึ้นในปี ค.ศ 1848 บูร์ดองเป็นอุปกรณ์วัดความดันที่นิยมใช้กันมากที่สุดในงานอุตสาหกรรมประมาณ 95 % ของเกจวัดความดันทั้งหมด ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากเป็นแบบที่มีโครงสร้างง่าย ราคาถูก วัดความดันได้ถึงย่านสูงๆ และสามารถใช้วัดสุญญากาศได้อีกด้วย นอกจากนั้นยังสามารถออกแบบให้ใช้งานร่วมกับทรานสดิวเซอร์อื่นๆหรือเครื่องบันทึกค่าได้

หลักการทำงานและโครงสร้างของบูร์ดอง บูร์ดองเป็นท่อโลหะที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงรีและงอขึ้นเป็นส่วนโค้งของวงกลมหรือเป็นขดโดยปลายข้างหนึ่งปิด เมื่อมีความดันต่อเข้าปลายอีกข้างหนึ่งที่เปิดและถูกยึดติดอยู่กับที่ ความดันที่ต่อเข้าตัวบูร์ดองจะทำให้เกิดความเครียด (strain) บูร์ดองจึงพยายามยืดตัวออกให้ตรงทำให้ปลายที่ปิดเคลื่อนที่ ซึ่งการเคลื่อนที่ของปลายท่อด้านนี้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดันที่อยู่ภายใน ทำให้เราสามารถที่จะทราบค่าของความดันที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่นี้ได้ บูร์ดองที่ใช้อยู่ทั่วๆไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทด้วยกันดังนี้

3.5.1 บูร์ดองแบบรูปตัว C

บูร์ดองประเภทนี้จะมีโครงสร้างที่เป็นส่วนโค้งของวงกลมประมาณ 270 องศา ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้จะคล้ายกับตัวอักษร C ในภาษาอังกฤษ จึงกลายมาเป็นที่มาของบูร์ดองแบบรูปตัว C หลักการทำงานของบูร์ดองชนิดนี้จะเหมือนกับที่กล่าวไว้ในข้างต้น โดยปกติการยืดตัวของท่อโลหะจะมีค่าประมาณ 2 ถึง 7 มิลลิเมตรเท่านั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการขยายระยะทางการเคลื่อนที่ทั้งนี้เพื่อนำไปชี้หรือแสดงผลที่สามารถสังเกตเห็นได้ง่ายนั่นเอง การขยายระยะทางการเคลื่อนที่ดังกล่าวนั้นสามารถทำได้โดยใช้ชุดเฟืองขยาย

3.5.2 บูร์ดองแบบก้นหอย (Spiral Bourdon tube)

บูร์ดองชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายกับบูร์ดองแบบรูปตัว C แต่จะถูกขดเป็นรูปก้นหอย เมื่อป้อนความดันให้กับบูร์ดองความดันที่กระทำอยู่ภายในก็จะพยายามทำให้ก้นหอยคลายตัวออก ทำให้ปลายที่ปิดมีการเคลื่อนที่เข็มหรือปากกา หรืออาจจะเป็นแกนของทรานสดิวเซอร์ชนิดที่ใช้ในการตรวจวัดขจัด (displacement) จะต่ออยู่กับปลายด้านนี้ ตามโครงสร้างเราจะเห็นว่าบูร์ดองประเภทนี้จะให้ค่าระยะการเคลื่อนที่มากกว่าแบบตัว C ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีชุดเฟืองขยาย ความเที่ยงตรงของบูร์ดองชนิดก้นหอยจะดีกว่ารูปตัว C

3.5.3 บูร์ดองแบบขดซ้อน (Helical Bourdon Tube)

บูร์ดองแบบนี้มีลักษณะคล้ายกับแบบก้นหอย แต่การขดจะมีรัศมีที่เท่ากันและขดซ้อนเป็นวงหลายๆวง บูร์ดองแบบขดซ้อนเป็นบูร์ดองที่ให้ระยะทางการเคลื่อนที่มากที่สุด เข็มหรือปากกาหรือทรานสดิวเซอร์ชนิดตรวจวัดการเคลื่อนที่จะติดอยู่กับปลายของชิ้นส่วนที่ต่อรวมอยู่กับปลายด้านที่ปิด บูร์ดองชนิดนี้สามารถทนต่อค่าความดันเกินพิกัดได้ดีกว่าทั้งสองแบบที่ผ่านมามีเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานที่ดี และทนต่อความดันที่เปลี่ยนแปลงค่าอย่างรวดเร็วได้ดี เหมาะสำหรับต่อใช้งานร่วมกับทรานสดิวเซอร์ได้ดีกว่าแบบอื่นๆ นอกจากนี้จุดที่น่าสังเกตอีกจุดหนึ่งคือจำนวนขดข้อนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความดัน นั่นหมายถึงว่า จำนวนขดน้อยที่ความดันต่ำและมากที่ความดันสูง (พรจิต,2537)

ตารางที่ 3.5 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของบูร์ดอง

ข้อดี	ข้อเสีย
- มีโรงสร้างง่ายและราคาถูก - มีขนาดทุกย่านของการใช้งานคือ มีตั้งแต่ 15-10^5 psig - สามารถออกแบบ ให้เข้ากับทรานสดิวเซอร์ชนิดต่างๆได้ทั้งนิวเมติกส์ ไฮดรอลิกส์และอิเล็กทรอนิกส์	- มีฮีสเตอรีซีส หรือค่าความผิดพลาดภายในตัวเองค่อนข้างสูง - สำหรับค่าความดันที่น้อยกว่า 1 bar หรือ 15 psig ไม่ค่อยนิยมใช้เนื่องจากแรงต้านที่เกิดขึ้นจากท่อโลหะเอง - จะมีปัญหากรณีใช้งานกับจุดที่มีกสั่นสะเทือนหรือช็อคสูงๆยกเว้นแบบที่ไม่ได้ใช้ชุดเฟืองขยาย

3.6 Relay

รีเลย์ได้นำมาใช้ในงานไฟฟ้าได้อย่างหลากหลาย รีเลย์มีความหมายว่า การส่งผ่านกระแสหรือแรงดันไฟฟ้าจากส่วนหนึ่งของวงจรไปสู่อีกส่วนหนึ่ง รีเลย์มีหลายขนาดและนำไปประยุกต์ใช้ได้ต่างๆกันถ้าไม่คำนึงถึงขนาดแล้วส่วนประกอบพื้นฐานจะเหมือนกัน และรีเลย์ยังเป็นส่วนแสดงผลด้วยการควบคุม เช่น ควบคุมการปิดเปิดมอเตอร์ไฟฟ้า การเปิดปิดของหลอดไฟฟ้าที่ใช้โวลต์สูง การปิดเปิดเครื่องจักร เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ด้วย

รีเลย์เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์มีหลักการทำงานคล้ายกับขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโซลินอยด์(solenoid)รีเลย์ใช้ในการควบคุมวงจรไฟฟ้า ได้อย่างหลากหลายรีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมที่ทำงานด้วยไฟฟ้าแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. รีเลย์กำลัง(Powerrelay)หรือมักเรียกกันว่าคอนแทกเตอร์ ใช้ในการควบคุมไฟฟ้ากำลัง มีขนาดใหญ่กว่ารีเลย์ธรรมดา

2. รีเลย์ควบคุม (ControlRelay) มีขนาดเล็กกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้ในวงจรควบคุมทั่วไปที่มีกำลังไฟฟ้าไม่มากนักหรือเพื่อการควบคุมรีเลย์หรือคอนแทกเตอร์ขนาดใหญ่รีเลย์ควบคุม บางทีเรียกกันง่าย ๆ ว่า "รีเลย์"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของคอนแทกเตอร์ คือ การใช้กำลังไฟฟ้าจำนวนน้อยเพื่อไปควบคุมการตัดต่อกำลังไฟฟ้าจำนวนมาก คอนแทกเตอร์ ทำให้เราสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าในตำแหน่งอื่นๆ ของระบบไฟฟ้าได้ สายไฟควบคุมให้รีเลย์กำลังหรือคอนแทกเตอร์ทำงานเป็นสายไฟฟ้าขนาดเล็กต่อเข้ากับสวิตช์ควบคุมและคอล์ยของ กระแสตรง หรือไฟฟ้ากระแสสลับก็ได้ขึ้นอยู่กับการออกแบบการใช้คอนแทกเตอร์ทำให้สามารถควบคุมวงจรจากระยะไกล(Remote)ได้ ซึ่งทำให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมกำลังไฟฟ้า (นิรนาม6,2548)

รูปที่ 3.22 Relay

3.7 ทฤษฎีการคำนวณ

3.7.1 การคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้าเราสามารถแบ่งออกตามแหล่งของการจ่ายไฟได้เป็น 2 ประเภท

1. มอเตอร์กระแสสลับ สามารถแบ่งอีกเป็น
   - ก. มอเตอร์เฟสเดียว
   - ข. มอเตอร์สองเฟส
   - ค. มอเตอร์สามเฟส
2. มอเตอร์กระแสตรง สามารถแบ่งอีกเป็น
   - ก. มอเตอร์ยูนิเวอร์เซล
   - ข. มอเตอร์ขนาน
   - ค. มอเตอร์อนุกรม
   - ง. มอเตอร์ผสม

หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้า ถ้าติดตั้งแม่เหล็กถาวรได้ที่จุดกึ่งกลางของแม่เหล็กแล้วหมุนแท่งเหล็กขณะที่ปล่อยกระแสไฟสลับ 50 รอบต่อนาที เข้าขดลวดของสเตเตอร์ แท่งแม่เหล็กถาวร หรือโรตารี่ก็ยังหมุนต่อไป เนื่องจากการดูดและการผลักดันกันระหว่างขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และขั้วแม่เหล็กถาวรของโรเตอร์ ในขณะเดียวกันก็จะถูกผลักโดยขั้วใต้ของสเตเตอร์เช่นกัน และในเวลาเดียวกันขั้วเหนือของโรเตอร์จะถูกดูดโดยขั้วใต้และถูกดูดโดยขั้วเหนือของสเตเตอร์ ดังนั้นจึงมีแรงผลักและแรงดึงกระทำบนโรเตอร์เนื่องจากขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์ก่อนที่โรเตอร์จะมาหยุดในแนวขั้วเหนือและขั้วใต้ของสเตเตอร์ กระแสไฟฟ้าสลับก็เปลี่ยนทิศทางการไหลตรงข้ามและขั้วแม่เหล็กไฟฟ้าของสเตเตอร์ก็เปลี่ยนสลับกัน แรงเฉื่อยจะทำให้โรเตอร์หมุนผ่านกึ่งกลางและขั้วด้านบนของสเตเตอร์ซึ่งขณะนี้กลายเป็นขั้วด้านใต้จะผลักขั้วใต้ของโรเตอร์และดูดขั้วเหนือของโรเตอร์ขณะเดียวกันขั้วเหนือทางด้านล่างของสเตเตอร์ก็ถูกผลักโดยขั้วเหนือของโรเตอร์และถูกดูดโดยขั้วใต้ของโรเตอร์ดังนั้นแรงผลักดันจึงเกิดขึ้นต่อเนื่องทำให้โรเตอร์ยังคงหมุนด้วยความเร็วของโรตารี่ เราเรียกความเร็วนี้ว่า ความเร็วซิงโคนัส (วริทธิ์,2536)

การหากำลังของมอเตอร์

$$Wp=\frac{2\pi NT}{60} \tag{3.1}$$

เมื่อ Wp = กำลังของมอเตอร์ T = แรงบิดของมอเตอร์

N = ความเร็วรอบของมอเตอร์

การหาความเร็วรอบของมอเตอร์

N_S = (120 x ความถี่ของกระแสไฟฟ้า) / จำนวนขั้ว

$$N=N_S[1-\frac{s}{100}] \tag{3.2}$$

เมื่อ s = ค่า slip ของมอเตอร์อยู่ระหว่าง 5 – 10 เปอร์เซนต์

3.7.2 การหาแรงของกระบอกสูบ

แรงของกระบอกสูบสามารถคำนวณได้จากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ และความดันลมอัด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F_1 = \frac{\pi}{4} D^2 \times P \times \mu_1 \quad (3.3)$$

$$F_2 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times P \times \mu_2 \quad (3.4)$$

เมื่อ F_1 = แรงของกระบอกสูบในจังหวะดัน (กิโลกรัมแรง)

F_2 = แรงของกระบอกสูบในจังหวะดึง (กิโลกรัมแรง)

P = ความดันลมอัด (กิโลกรัมแรง/ซม.^{2})

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ (ซม.)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ (ซม.)

μ_1 = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในจังหวะดัน

μ_2 = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในจังหวะดึง

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานจะแปรค่าตามเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ ความต้านทานการเคลื่อนที่ของซีล และความต้านทานการเคลื่อนที่ของก้านสูบ โดยปกติจะตั้งไว้ที่ 0.5-0.7

3.7.3 ปริมาณลมที่ใช้ (อัตราการใช้ลม)

ปริมาณลมที่ต้องใช้ทำให้กระบอกสูบทำงาน สามารถคำนวณได้จากปริมาตรของกระบอกสูบและปริมาตรท่อลม ปริมาตรของท่อจะแตกต่างกันตามวิธีการเดินท่อ ดั้งนั้นจึงสามารถคำนวณปริมาตรลมที่ใช้จากปริมาตรของกระบอกสูบดังต่อไปนี้

$$V_a = \frac{(A_1 + A_2) \times L \times (P + 1.033) \times N}{1000} \quad (3.5)$$

เมื่อ V_a = ปริมาณลมที่ใช้ (ลิตรต่อนาที คิดเทียบที่ความดันบรรยากาศ)

L = ช่วงชักของกระบอกสูบ (ซม.)

A_1 = พื้นที่ลูกสูบด้านลูกสูบ (ตร.ซม.)

A_2 = พื้นที่ลูกสูบด้านก้านสูบ (ตร.ซม.)

P = ความดันลม (กิโลกรัมแรง/ซม.^{2})

N = จำนวนครั้งที่ลูกสูบเคลื่อนที่ไป-กลับต่อนาที

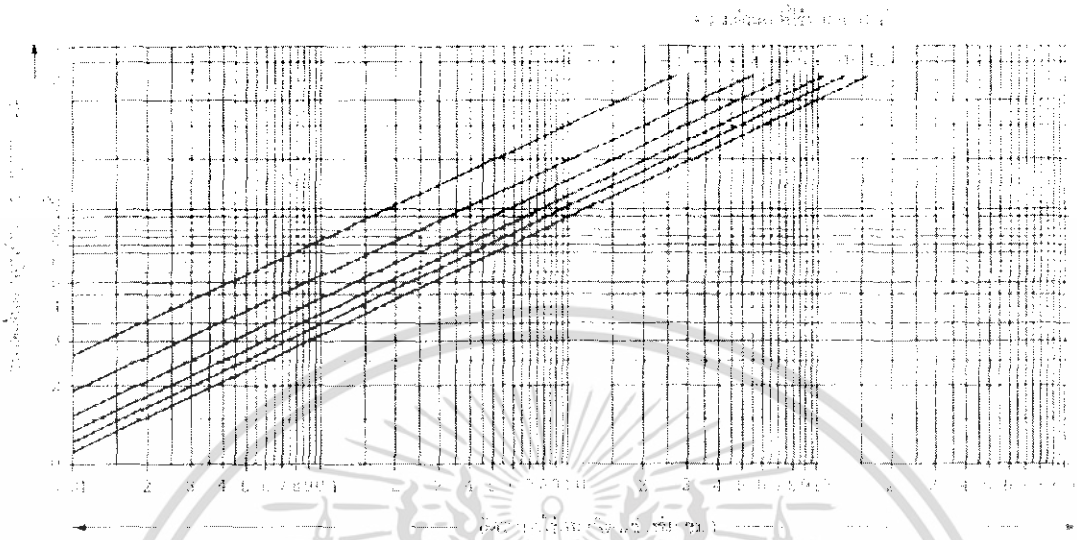
$$A_1 = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (3.6)$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ (ซม.)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ (ซม.)



รูปที่ 3.23 กราฟการหาอัตราการใช้ลม (ณรงค์,2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การคำนวณและออกแบบ

4.1 กระบอกสูบนิวเมติก

จากการทดลองพบว่าแรงที่สามารถทำให้งาผสมเพกตินขึ้นรูปเป็นงาแท่งขนาด 3×10×1 cm. ได้นั้นใช้แรงประมาณ 10 kgf หรือ 100 N จากแรงที่ได้เราสามารถคำนวณหาขนาดของกระบอกสูบนิวเมติกได้จากสมการ

$$F_1 = \frac{\pi}{4} D^2 \times P \times \mu_1 \quad (4.1)$$

$$F_2 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \times P \times \mu_2 \quad (4.2)$$

กำหนดให้

แรงของกระบอกสูบในจังหวะดัน (F_1)= 10 kgf

ความดันลมอัด (P) = 6 kgf/cm^2

สัมประสิทธิ์ความเสียดทานในจังหวะดัน (μ_1) = 0.1

เลือกใช้สมการ (4.1) เนื่องจากไม่ได้คิดแรงในด้านชักกลับ

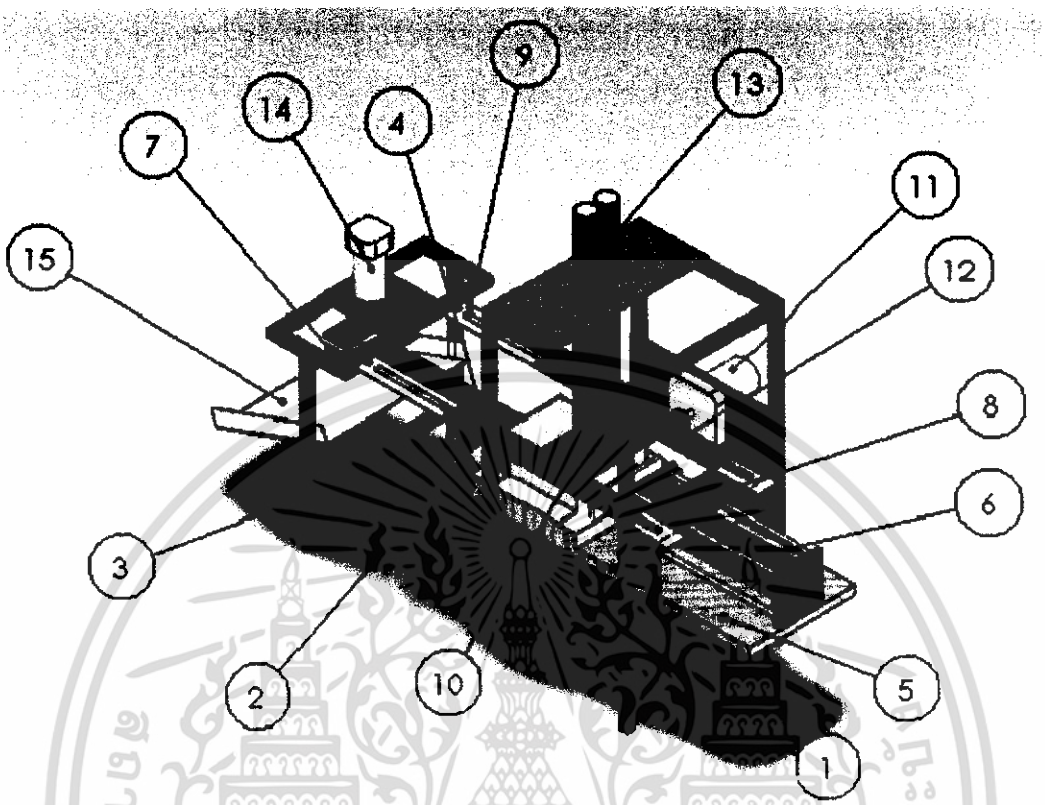
แทนค่า

$$D = \frac{10 \times 4}{\pi \times 6 \times 0.5} = 17.4 \text{ mm.}$$

แต่ขนาดกระบอกสูบ มาตรฐานที่คือ 20 mm. แต่ขนาดกระบอกสูบ 20 mm. ถ้าใช้แรงขนาด 10 kgf จะมีช่วงชักมากสุด 50mm. ซึ่งช่วงชักขนาดนี้มีค่าน้อยเกินไปไม่สามารถใช้กับเครื่องที่ออกแบบได้ จึงใช้กระบอกสูบขนาด 32 mm. ซึ่งสามารถให้แรง และความยาวช่วงชักเหมาะสมต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 รายการชิ้นส่วน (Part of List)



รูปที่ 4.1 แสดงภาพรวมของเครื่องอัดงาแท่งตามรายการชิ้นส่วน

ตารางที่ 4.1 แสดงรายการชิ้นส่วน (Part of List)

หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน	จำนวน(ชิ้น)	ขนาดที่ใช้ทั้งหมด	รายละเอียด
1	โครง	16	ขนาด 1" × 1"	1. ยาว 160mm. × 4 ชิ้น 2. ยาว 440mm. × 2 ชิ้น 3. ยาว 140mm. × 3 ชิ้น 4. ยาว 298mm. × 4 ชิ้น 5. ยาว 45mm × 2 ชิ้น
2,11	มอเตอร์	2		2 W
3	เพลาดัน	1	∅ 12mm	ยาว 117.50 mm
4	แขนหมุน	1	ขนาด 1" × 1"	1. ยาว 170mm × 1 ชิ้น
5	ฐาน	2	1. ขนาด 400 × 155 mm 2. ขนาด 150 × 155 mm	แผ่นไม้ หนา 12 mm หนา 18 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

หมายเลข	ชื่อชิ้นงาน	จำนวน(ชิ้น)	ขนาดที่ใช้ทั้งหมด	รายละเอียด
6,14	กระบอกสูบ	2	∅50 mm. ∅25 mm.	ก้านสูบ ∅16 mm. ก้านสูบ ∅10 mm.
7	แม่พิมพ์	2	1. ขนาด 190 × 30mm.	แผ่นเหล็ก
8	ฐานที่รองราง	1	ยาว 290 mm	แผ่นเหล็ก
9	ราง	2	1. ขนาด 450 × 30 mm	แผ่นเหล็ก
10	ฝาเปิด-ปิด	1	1. ขนาด 160×260 mm	แผ่นเหล็ก
12	สะพานเฟือง	1	ยาว 200 mm	
13	ชุดป้อน	2	ท่อขนาด 1" ยาว 200 mm	PVC
15	ถาด	1	1. ขนาด 225 × 170 mm	แผ่นสแตนเลส

4.3 หลักการทำงานของเครื่องอัดงาแท่ง

เครื่องอัดงาแท่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนหลัก คือ

4.3.1. การเตรียมวัตถุดิบ

เตรียมสารให้ความหนืดโดยการนำน้ำ 50 มิลลิลิตร ใส่ส่วนผสมได้แก่น้ำตาลและเพกตินปริมาณตามตารางการทดลองที่ 5.1 จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดตั้งบนเตาแก๊สด้วยไฟอ่อนๆ คนให้ส่วนผสมละลายและเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำงาที่คั่วแล้ว 50 กรัม ผสมคลุกเคล้ากับสารให้ความหนืดที่เตรียมไว้

4.3.2. ช่วงป้อนงา

นำวัตถุดิบที่ได้ไปใส่ในชุดป้อน จากนั้นเปิดเครื่อง ฝาปิดที่ปิดชุดป้อน อยู่จะเปิดออก จนงาตกลงมาแล้วปิด โดยการทำงานของสะพานเฟืองที่ต่ออยู่กับมอเตอร์สั่งให้เปิดปิดโดยการใช้รีเลย์ในการควบคุมและลิมิตสวิตช์ในการทำงาน งาจะหล่นลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ลงบนรางลำเลียงเพื่อเตรียมการอัดต่อไป

4.3.3. ช่วงการอัด

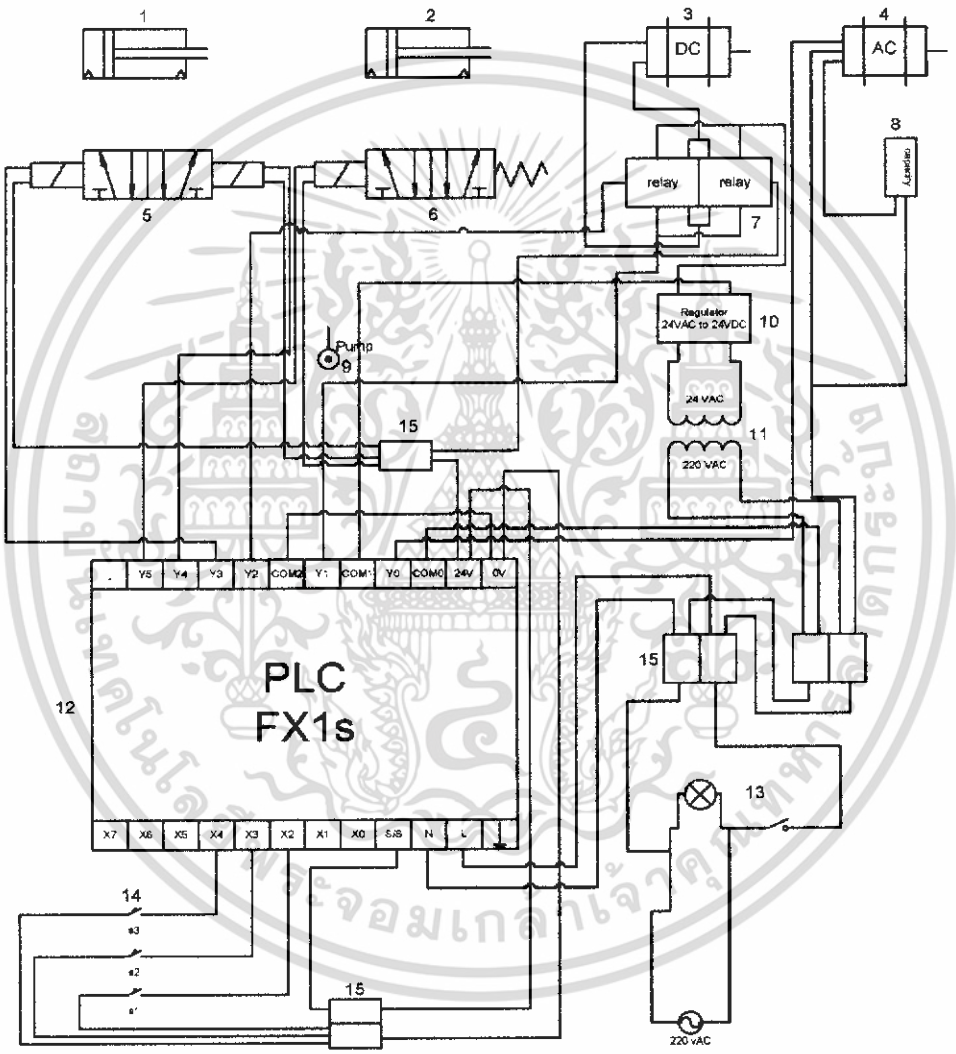
จากนั้นกระบอกสูบจะทำการขับเคลื่อนด้วยลมและควบคุมด้วยไฟฟ้าผ่านโซลินอยด์วาล์ว สั่งให้กระบอกสูบทำงานโดยกระบอกสูบจะอัดงา ทำให้งาเคลื่อนที่ไปยังแม่พิมพ์และถูกอัดอยู่ภายในแม่พิมพ์ แล้วมีการหน่วงเวลาเมื่อกระบอกสูบสัมผัสกับงา ให้งาถูกกดเป็นเวลา 5วินาที เมื่อกดงาตามเวลาที่ตั้งไว้แล้วกระบอกสูบจะดันกลับไปยังจุดเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4. ช่วงการนำงาอัดออกจากแม่พิมพ์

เมื่อกระบอกสูบถูกลมดันกลับแล้วมอเตอร์จะสั่งให้แขนหมุน หมุนแม่พิมพ์เป็นมุม 180 องศา เพื่อเอางาที่ถูกอัดไว้ออกด้วยกระบอกสูบ ขณะที่แขนหมุนเริ่มหมุนแม่พิมพ์ออก ฝาปิดที่ปิดชุดป้อน จะเปิดออกเพื่อให้งาชุดใหม่หล่นลงมาเตรียมพร้อมจะอัด เมื่อแม่พิมพ์หยุดตรงตามตำแหน่งในการอัด ฝาปิดชุดป้อน จะปิดเพื่อรอการอัดงาชิ้นต่อไป เป็นวัฏจักรเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

4.4 วงจรไฟฟ้า



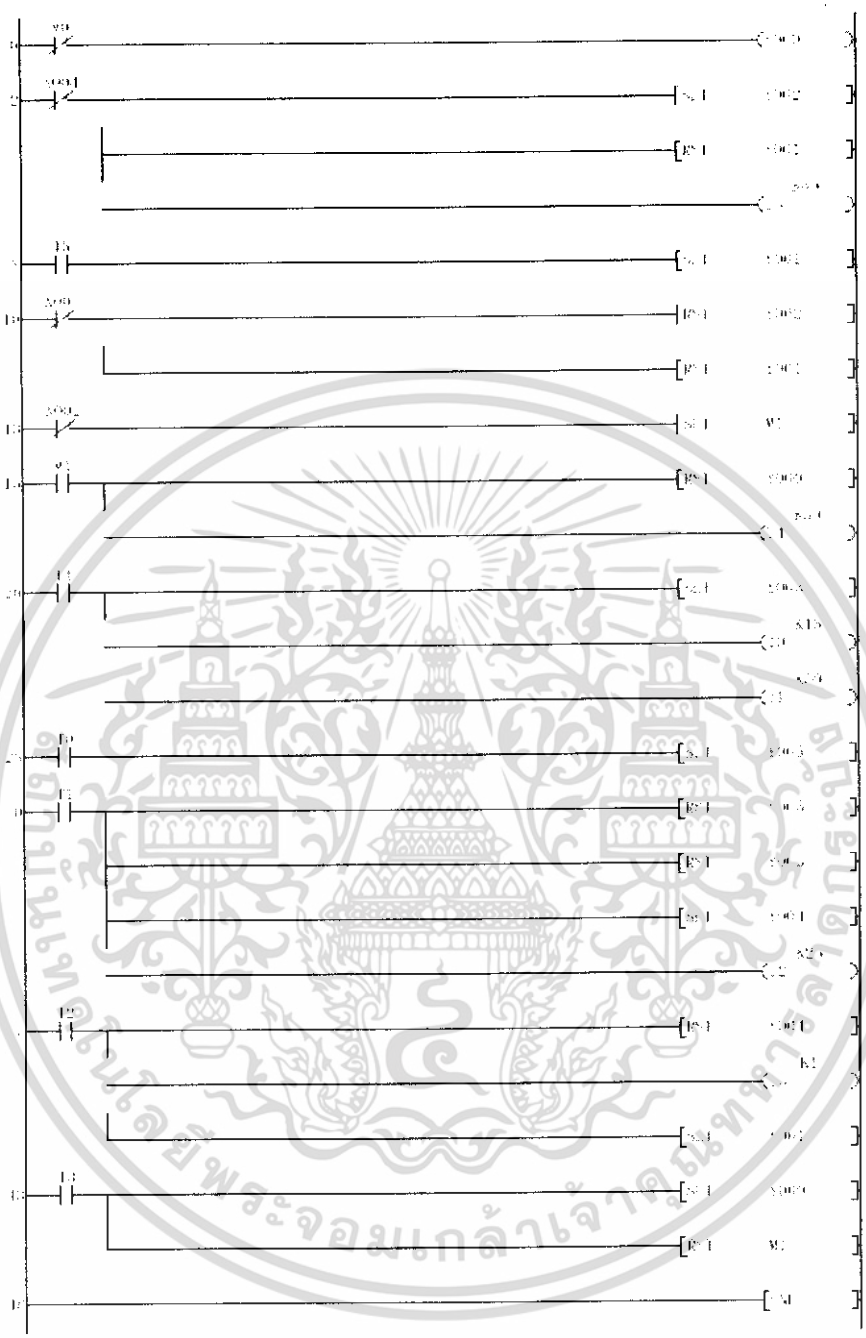
1 กระบอกสูบอัดงา
2 กระบอกสูบนำงาแห่งออก
3 มอเตอร์ DC
4 มอเตอร์ AC
5 โซลินอยด์วาล์ว 2 คอยล์
6 โซลินอยด์วาล์วคอยล์เดียวมีสปริงกลับ
7 รีเลย์
8 ตัวเก็บประจุ
9 ปั๊มลม
10 เร็กกูเลเตอร์
11 หม้อแปลง
12 PLC
13 สวิตช์
14 ลิมิตสวิตช์
15 connector

สายไฟ AC 220 V
สายไฟ DC 24 V
สายลม 5 bar

รูปที่ 4.2 วงจรไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วงจร PLC



รูปที่ 4.3 Ladder Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิธีการทดลองและผลการทดลอง

5.1 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาแบบจำลองความแข็งของงาอัดแท่งที่ได้จากเครื่องอัดงาแท่ง ที่สภาวะความดัน ปริมาณเพกตินและปริมาณน้ำตาลแตกต่างกัน

2. เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดด้านขนาดของงาอัดแท่งที่ได้จากเครื่องอัดงาแท่ง

5.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง

1. เครื่อง Texture Analysis รุ่น TX.AT plus 1 เครื่อง
2. คอมพิวเตอร์
3. PLC มิตซูบิชิ FX1s 1 เครื่อง
4. บูร์ดอง
5. เครื่องอัดลม
6. เครื่องอัดงาแท่ง
7. งา
8. เพกติน
9. น้ำตาล
10. เครื่องชั่งละเอียด
11. เครื่องฉายแผ่นใส

5.3 วิธีการทดลอง

1. นำเพกติน มาละลายน้ำ โดยใช้เพกติน 4.5 กรัม และน้ำตาล 4 กรัมมาละลายน้ำ 50 มิลลิลิตร โดยเปลี่ยนส่วนผสมของงาตามตารางผลการทดลองที่ 5.1

2. จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาคลุกเคล้ากับงา โดยใช้งา 50 กรัม

3. นำเมล็ดงาที่คลุกเคล้าเสร็จแล้วไปใส่ในชุดป้อนที่เครื่องอัดงาแท่ง เพื่อทำการอัดงา

4. ทำการปรับเปลี่ยนความดันลมเป็น 5,6,7 บาร์

5. ทำการเก็บตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง

6. นำตัวอย่างที่ได้หาขนาดพื้นที่ภาพฉายในด้านหนา×ยาว และด้านกว้าง×ยาว ด้วยเครื่องฉายแผ่นใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{สูตรหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด} = \frac{\text{พื้นที่ส่วนที่เกิน + พื้นที่ส่วนที่ขาด}}{\text{พื้นที่ภาพฉายที่ต้องการ}} \times 100\% \quad (5.1)$$

7. นำตัวอย่างที่ได้ไปทดสอบเนื้อสัมผัส โดยใช้เครื่อง Texture Analysis รุ่น TA XT plus
8. ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

5.4 ตารางการทดลอง

ตารางที่ 5.1 ตารางส่วนผสมงา (น้ำ 50 มล. , งา 50 กรัม)

สูตรที่	อัตราส่วนผสม (เพกติน:น้ำตาล)
1	4.5:0
2	4.5:2
3	4.5:4
4	4.5:6
5	4.6:0
6	4.6:2
7	4.6:4
8	4.6:6
9	4.7:0
10	4.7:2
11	4.7:4
12	4.7:6

ตารางที่ 5.2 ตารางการเก็บตัวอย่างที่สภาวะต่าง ๆ

สูตรที่	ตัวอย่าง	ความดัน(บาร์)	ความแข็ง(N/mm)
1	1	5	
	2	6	
	3	7	
2	4	5	
	5	6	
	6	7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 (ต่อ)

สูตรที่	ตัวอย่าง	ความดัน(บาร์)	ความแข็ง(N/mm)
3	7	5	
	8	6	
	9	7	
4	10	5	
	11	6	
	12	7	
5	13	5	
	14	6	
	15	7	
6	16	5	
	17	6	
	18	7	
7	19	5	
	20	6	
	21	7	
8	22	5	
	23	6	
	24	7	
9	25	5	
	26	6	
	27	7	
10	28	5	
	29	6	
	30	7	
11	31	5	
	32	6	
	33	7	
12	34	5	
	35	6	
	36	7	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

6.1 ผลความแข็งจากเครื่อง Texture Analysis

นำตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง ไปวิเคราะห์ความแข็งโดยใช้เครื่อง Texture Analysis รุ่น TX.AT plus ทดสอบ โดยตั้งค่าต่าง ๆ ที่ TA setting ดังนี้

Special test reture to start

Test Mode Compression

Pre-Test มีความเร็ว 0.1 mm/s

Test Speed มีความเร็ว 0.1 mm/s

Post-Test มีความเร็ว 0.1 mm/s

Trigger Force Auto (Force) เป็น นิวตัน

Distance 8 mm

หัวที่ใช้ในการกด คือ p/5s มีลักษณะเป็น sphere ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มม. ผลที่ได้จากการทดลองดังตารางที่ 6.1

ตารางที่6.1 ความแข็งที่สภาวะต่าง ๆ

ตัวอย่าง	ความแข็งชิ้นที่			ความแข็งเฉลี่ย (N/mm)
	1	2	3	
1	1.31	0.972	0.479	0.92
2	0.742	0.587	1.575	0.968
3	0	1.566	1.414	1.49
4	1.158	1.527	1.413	1.366
5	1.186	1.212	0.706	1.035
6	0	1.268	1.607	1.4375
7	1.02	0.673	0.602	0.765
8	0.742	0.854	1.076	0.891
9	1.039	1.061	1.141	1.08
10	2.065	1.836	1.653	1.851

ตัวอย่าง	ความแข็งชิ้นที่			ความแข็งเฉลี่ย (N/mm)
	1	2	3	
19	2.962	3.223	0	3.0925
20	3.473	2.52	1.92	2.638
21	3.093	0	3.376	3.2345
22	1.765	2.886	2.081	2.244
23	2.167	2.273	1.961	2.134
24	0	2.843	2.463	2.653
25	0	2.011	2.178	2.0945
26	2.333	0	2.274	2.3035
27	2.301	2.314	0	2.307
28	0	2.536	2.292	2.414

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่6.1 (ต่อ)

ตัวอย่าง	ความแข็งชิ้นที่			ความแข็ง
	1	2	3	เฉลี่ย (N/mm)
12	2.293	2.001	1.872	2.055
13	3.387	2.88	3.094	3.12
14	3.506	3.816	3.294	3.539
15	3.458	2.302	0	2.88
16	0	3.008	2.414	2.711
17	3.386	0	3.654	3.52
18	0	3.621	3.384	3.5025

ตัวอย่าง	ความแข็งชิ้นที่			ความแข็ง
	1	2	3	เฉลี่ย (N/mm)
30	2.676	2.445	3.091	2.737
31	2.464	2.283	0	2.3735
32	1.995	2.395	1.378	1.923
33	2.423	0	1.701	2.062
34	2.987	2.238	2.28	2.502
35	2.308	2.243	2.505	2.352
36	2.864	2.376	2.821	2.687

6.2 ผลเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของพื้นที่ภาพฉาย

นำงาอัดแท่งที่ได้จากการทดลอง ไปทำภาพฉายเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของพื้นที่ทั้งทางด้านกว้าง × ยาว และด้านหนา × ยาว ว่ามีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการอัดให้ได้ขนาด 3×10×1cm ผิดไปกี่เปอร์เซ็นต์จากขนาดที่เราต้องการ

6.2.1 ผลเปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาดทางด้านกว้าง × ยาว

สูตรที่	ตัวอย่าง	ความดัน (บาร์)	พื้นที่ (ตร.ซม.)				% error
			ครั้งที่1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	
1	1	5	19.84	14.40	27.05	20.74	9.39
	2	6	26.15	22.24	14.43	20.94	9.71
	3	7	19.16	25.47	13.40	19.49	9.04
2	4	5	18.99	18.84	13.03	16.95	7.86
	5	6	32.32	27.88	22.02	27.41	12.71
	6	7	23.50	23.50	16.45	21.15	9.81
3	7	5	24.00	16.30	19.87	20.06	9.30
	8	6	15.80	16.20	30.10	20.70	9.31
	9	7	17.30	27.00	12.00	18.77	8.70
4	10	5	22.65	20.10	24.30	22.35	10.36
	11	6	12.00	21.75	18.50	17.42	8.08
	12	7	19.60	9.60	17.80	15.67	7.27
5	13	5	11.90	15.57	13.79	13.75	6.37
	14	6	20.89	20.56	31.69	24.38	11.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่	ตัวอย่าง	ความดัน (บาร์)	พื้นที่ (ตร.ซม.)				% error
			ครั้งที่1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	
	15	7	33.55	27.60	16.52	25.89	12.00
6	16	5	29.30	14.95	22.50	22.25	10.32
	17	6	12.70	5.50	8.61	8.93	4.14
	18	7	36.63	20.16	17.56	24.78	11.49
7	19	5	15.56	36.18	36.37	29.37	13.62
	20	6	27.17	38.25	21.77	29.06	13.48
	21	7	38.41	29.63	25.17	31.07	14.40
8	22	5	47.55	31.98	32.46	37.32	17.30
	23	6	32.40	35.98	31.08	33.15	15.37
	24	7	31.33	43.70	37.73	37.58	17.43
9	25	5	28.70	37.88	8.25	24.94	11.56
	26	6	37.32	33.92	11.70	27.64	12.81
	27	7	25.01	29.98	33.59	28.52	13.22
10	28	5	37.84	34.76	42.25	38.28	17.75
	29	6	21.90	18.77	16.16	18.94	8.78
	30	7	22.41	20.00	24.82	22.41	10.39
11	31	5	32.78	12.61	15.43	20.27	9.40
	32	6	33.64	22.45	20.42	225.50	11.82
	33	7	20.11	14.93	32.66	22.56	10.46
12	34	5	30.32	25.27	30.98	29.86	13.84
	35	6	21.90	23.08	21.69	22.22	10.30
	36	7	18.99	15.28	19.56	17.94	8.32
					รวมเฉลี่ย% error		11.039

6.2.2 ผลเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดทางด้านหนา × ยาว

สูตรที่	ตัวอย่าง	ความดัน (บาร์)	พื้นที่ (ตร.ซม.)				% error
			ครั้งที่1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	
1	1	5	16.00	5.70	12.90	11.53	14.61
	2	6	15.40	19.48	9.66	14.85	18.82
	3	7	18.96	7.04	6.95	10.98	13.92
2	4	5	9.76	9.70	4.92	8.13	10.30
	5	6	17.50	12.25	14.02	14.59	18.49
	6	7	29.00	11.29	16.45	18.91	23.97
3	7	5	15.15	9.50	5.10	9.91	12.56
	8	6	15.00	15.50	16.50	15.67	19.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรที่	ตัวอย่าง	ความดัน (บาร์)	พื้นที่ (ตร.ซม.)				% error
			ครั้งที่1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่3	เฉลี่ย	
	9	7	14.55	21.30	15.00	16.95	21.48
4	10	5	8.24	8.10	18.05	11.46	14.52
	11	6	5.70	7.75	10.50	7.98	10.11
	12	7	12.90	13.19	12.60	12.90	16.35
5	13	5	18.55	22.85	18.47	19.84	25.17
	14	6	11.81	26.50	37.86	25.39	32.22
	15	7	12.07	16.94	29.23	19.41	24.63
6	16	5	7.28	11.17	13.63	10.69	13.57
	17	6	8.38	11.67	10.15	10.07	12.77
	18	7	18.64	28.27	25.45	24.12	30.61
7	19	5	11.98	12.44	24.99	16.47	20.89
	20	6	19.28	23.94	10.20	17.81	22.59
	21	7	15.34	17.24	10.92	14.50	18.39
8	22	5	22.06	29.61	25.95	25.87	32.83
	23	6	12.40	14.97	20.72	16.03	20.34
	24	7	28.59	6.97	19.52	18.36	23.30
9	25	5	9.85	18.01	13.49	13.78	17.46
	26	6	10.14	12.13	12.92	11.73	14.86
	27	7	15.00	17.04	10.95	14.33	18.16
10	28	5	26.10	24.28	12.39	20.92	26.51
	29	6	34.65	18.15	20.80	24.53	31.10
	30	7	13.82	11.44	11.14	12.13	15.37
11	31	5	20.72	19.93	10.79	17.16	21.74
	32	6	7.97	12.83	24.40	15.07	19.10
	33	7	12.98	14.15	8.78	11.97	15.08
12	34	5	22.79	16.86	21.96	20.54	26.03
	35	6	14.01	14.44	22.36	16.94	21.47
	36	7	30.59	14.10	18.38	21.02	26.64
					รวมเฉลี่ย % error		20.162

6.3 ผลการวิเคราะห์โดยวิธีถดถอยแบบไม่เชิงเส้นแบบหลายเชิง

Regression Summary for Dependent Variable: Hard

R= .88769725 R?= .78800641 Adjusted R?= .66273747

F(13,22)=6.2905 p<.00009 Std.Error of estimate: .45431

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Beta	Std.Err.	B	Std.Err.	t(22)	p-level
Intercept			-1574.36	227.6203	-6.91661	0.000001
su	2.6753	2.8190	0.92	0.9725	0.94902	0.352922
pe	53.9787	7.8328	509.94	73.9977	6.89135	0.000001
pr	1.0111	3.0058	0.96	2.8397	0.33637	0.739781
su^3	2.8349	1.5753	0.03	0.0140	1.79961	0.085653
su^2pe	-4.2895	3.3811	-0.05	0.0405	-1.26867	0.217818
supe^2	2.5141	7.9799	0.04	0.1298	0.31506	0.755685
pe^3	-50.7621	10.8042	-7.55	1.6075	-4.69839	0.000110
su^2pr	0.3437	2.5458	0.0031	0.0230	0.13501	0.893833
supepr	-7.8950	14.6062	-0.10	0.1779	-0.54052	0.594266
prpe^2	-20.2000	59.0317	-0.87	2.5479	-0.34219	0.735457
pr^2su	4.0913	7.8492	0.04	0.0674	0.52124	0.607407
pr^2pe	38.3037	114.3816	0.65	1.9507	0.33488	0.740891
pr^3	-19.5963	57.8034	-0.17	0.4987	-0.33902	0.737812

Summary Statistics; DV: Hardness

	Value
Multiple R	0.887697
Multiple R?	0.788006
Adjusted R?	0.662737
F(13,22)	6.290517
p	0.000089
Std.Err. of Estimate	0.454314

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการแบบจำลองความแข็งทั่วไปของงาอัดแท่ง

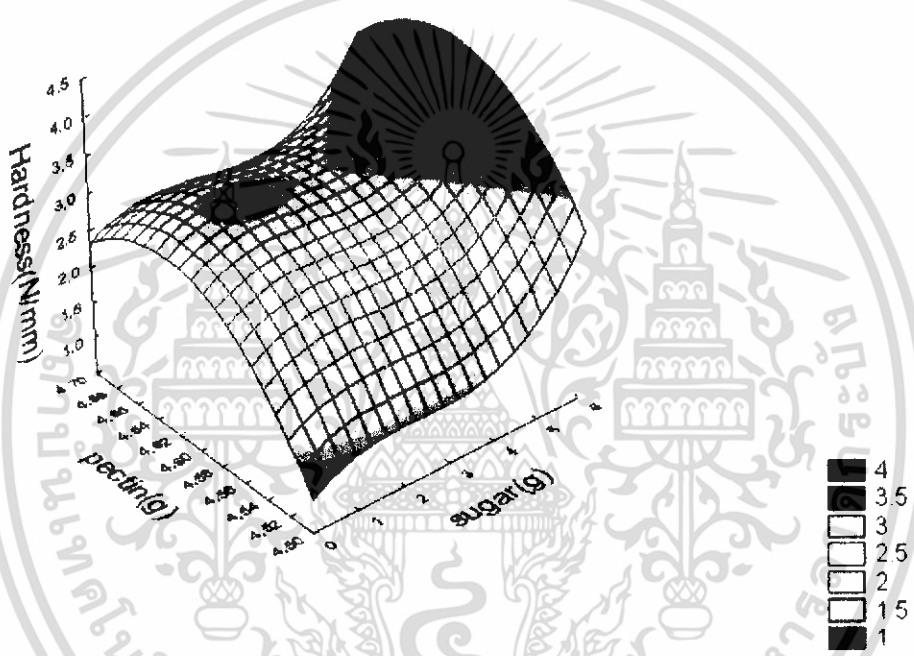
$$H = -1574.36 + 0.92x + 509.94y + 0.96z + 0.03x^3 - 0.05x^2y + 0.04xy^2 - 7.55y^3 + 0.0031x^2z - 0.1xyz - 0.87y^2z + 0.04z^2x + 0.65z^2y - 0.17z^3$$

H = ความแข็ง มีหน่วยเป็น N/mm

x = ปริมาณน้ำตาล มีหน่วยเป็น g ในช่วง [0,6]

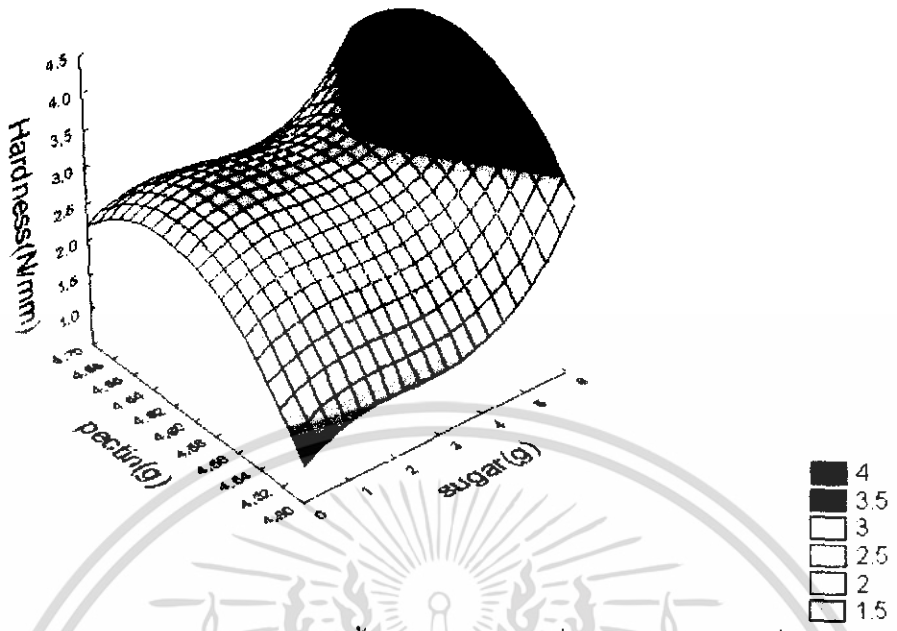
y = ปริมาณเพกติน มีหน่วยเป็น g ในช่วง [4.5,4.7]

z = ความดัน มีหน่วยเป็น bar ในช่วง [5,7]

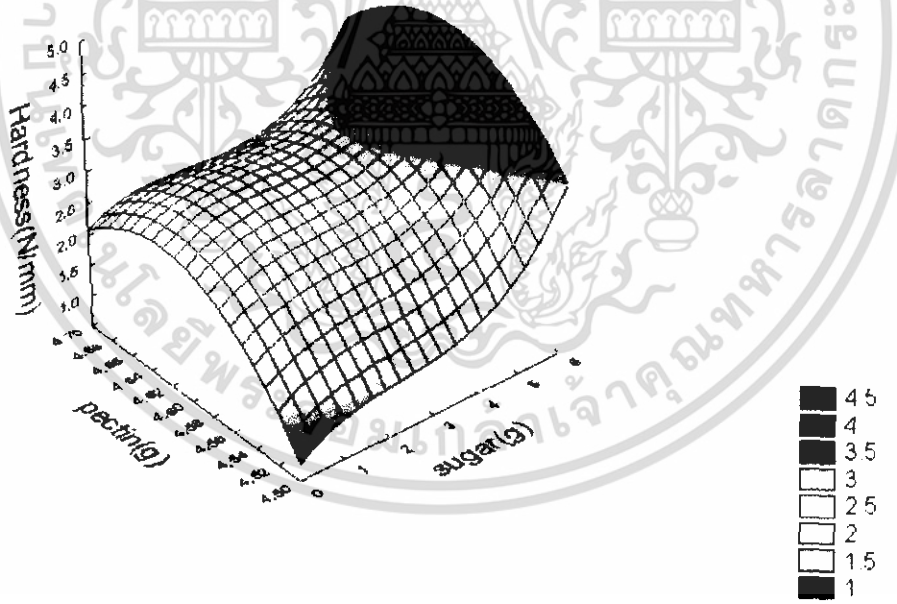


รูปที่ 6.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกับเพกตินที่มีผลต่อความแข็งที่ความดัน 5 บาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

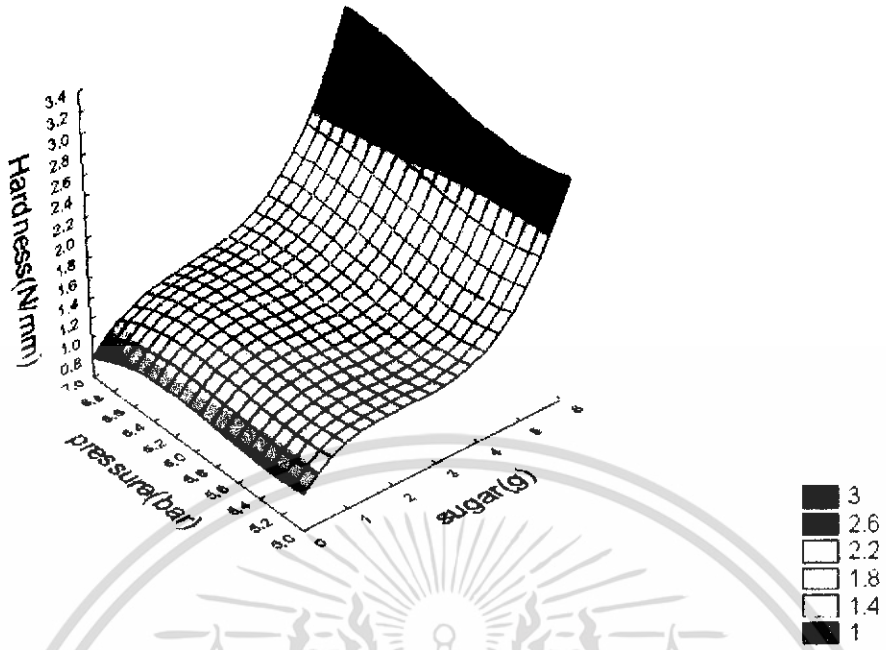


รูปที่ 6.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกับเพกตินที่มีผลต่อความแข็งที่ความดัน 6 บาร์

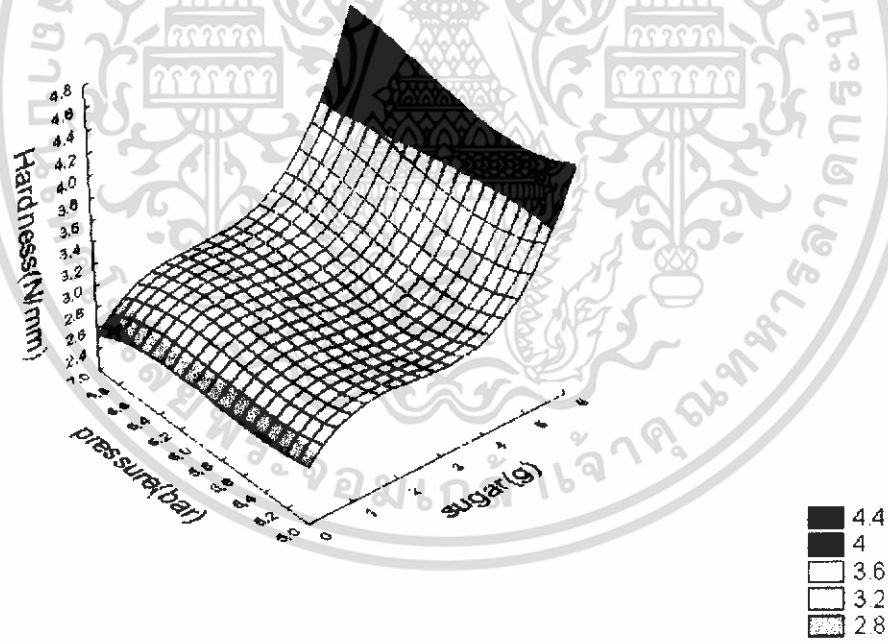


รูปที่ 6.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกับเพกตินที่มีผลต่อความแข็งที่ความดัน 7 บาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

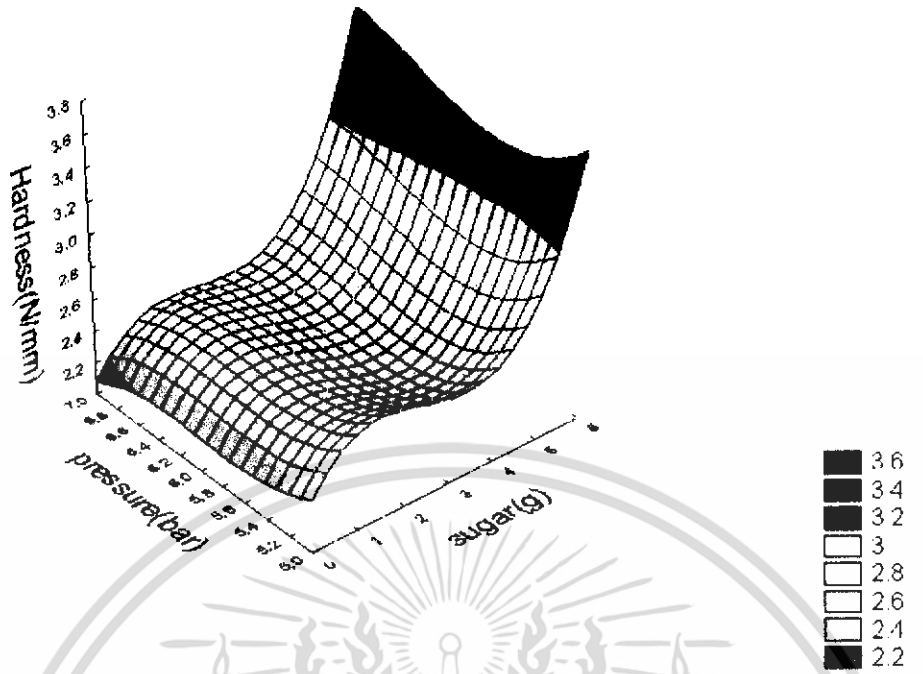


รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่เพกติน 4.5 กรัม

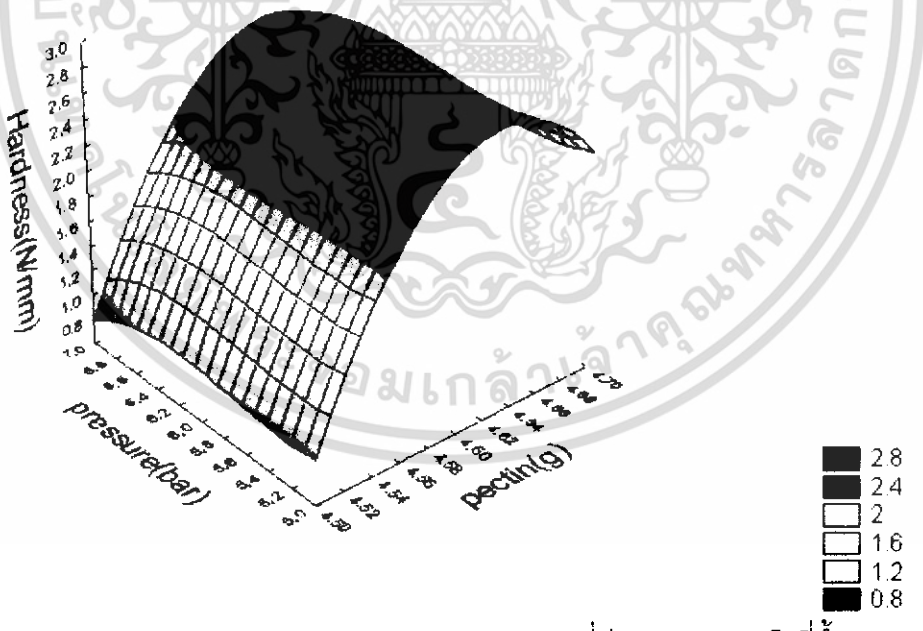


รูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่เพกติน 4.6 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

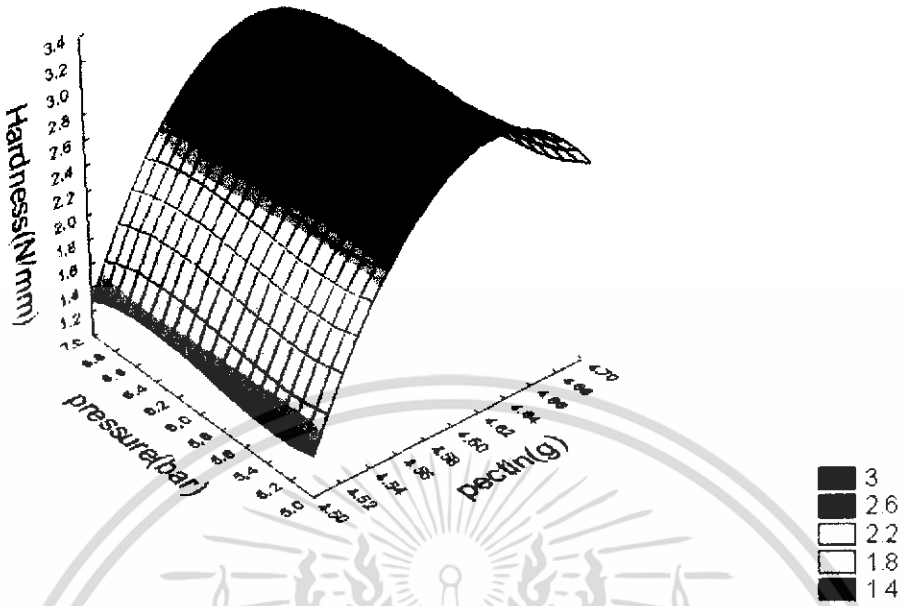


รูปที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่เพกติน 4.7 กรัม

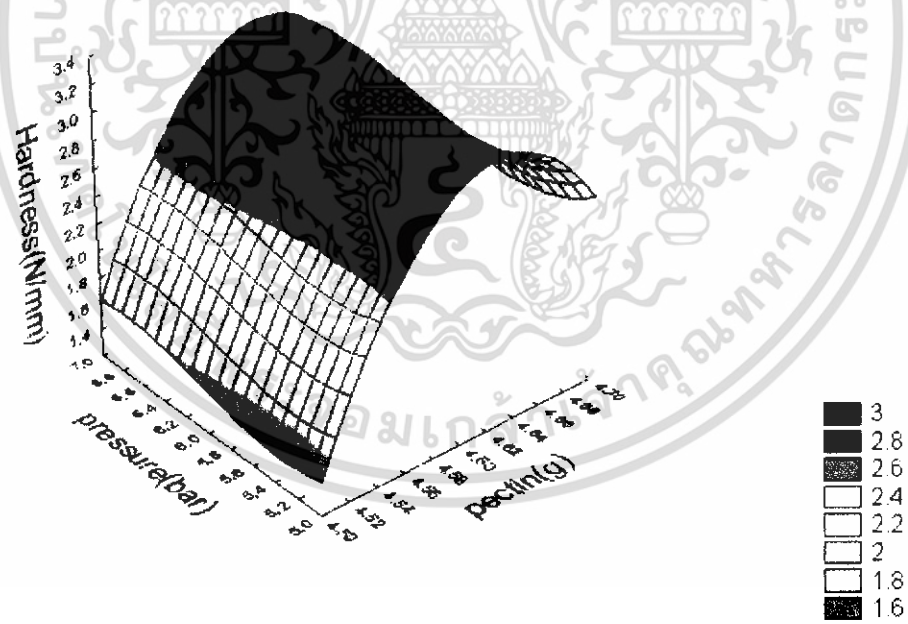


รูปที่ 6.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพกตินกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่น้ำตาล 0 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

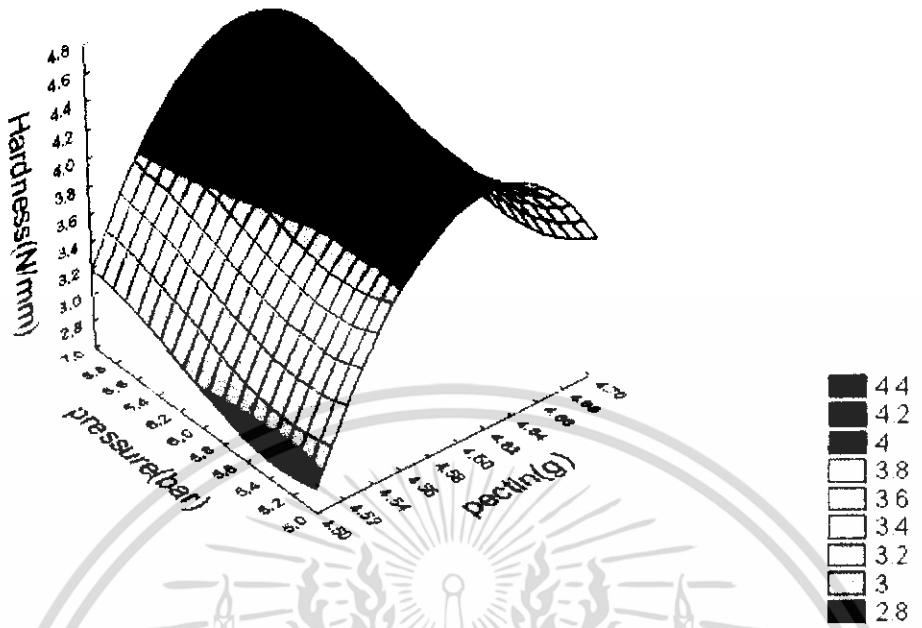


รูปที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพกตินกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่น้ำตาล 2 กรัม



รูปที่ 6.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพกตินกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่น้ำตาล 4 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเพกตินกับความดันที่มีผลต่อความแข็งที่น้ำตาล 6 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิเคราะห์

7.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์โดยใช้วิธีถดถอยแบบไม่เชิงเส้นแบบหลายเชิง

จากผลการทดลองหาความแข็งของงาอัดแท่งด้วยเครื่อง Texture Analysis นำผลการทดลองไปหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆคือ ปริมาณเพกติน ปริมาณน้ำตาลและปริมาณความดันที่มีผลต่อความแข็ง ด้วยโปรแกรม Statistica 6 ด้วยวิธี Multiple Regression ทำให้ได้สมการแสดงแบบจำลองความแข็งของงาอัดแท่งโดยผ่านเครื่องงาอัดแท่งดังนี้

$$H = -1574.36 + 0.92x + 509.94y + 0.96z + 0.03x^3 - 0.05x^2y + 0.04xy^2 - 7.55y^3 + 0.0031x^2z - 0.1xyz - 0.87y^2z + 0.04z^2x + 0.65z^2y - 0.17z^3$$

H = ความแข็ง y = ปริมาณเพกติน

x = ปริมาณน้ำตาล z = ความดัน

และมีค่า R^2 =0.788006 p = 0.000089 ภายใต้ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

สรุปว่า ปริมาณเพกตินมีผลต่อความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือปริมาณน้ำตาลและความดันตามลำดับ โดยพบว่าที่อัตราส่วนผสม 4.6:0 ทำให้ได้ค่าความแข็งมากที่สุด

ลักษณะเส้นกราฟที่ปริมาณน้ำตาลคงที่เป็นเส้นโค้งคว่ำ เมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นเป็น 0,2,4 และ 6 กรัมตามลำดับ เส้นกราฟจะขยับสูงขึ้นส่งผลทำให้ค่าความแข็งโดยรวมเพิ่มขึ้นด้วย

7.1.2 สรุปผลพื้นที่ภาพฉาย

พื้นที่ภาพฉายที่สภาวะเดียวกันเปอร์เซนต์ความผิดพลาดในเรื่องขนาดของงาอัดแท่งด้านความหนามีมากกว่าด้านกว้างและด้านยาวในทุกๆสภาวะดังนี้ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดด้านหนาเฉลี่ยคือ 20.161 เปอร์เซนต์ เปอร์เซนต์ความผิดพลาดด้านยาว x กว้างเฉลี่ยคือ 11.039 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ปัญหาที่พบในการสร้างเครื่อง

เมื่อทำการอัดงาแล้ว งามักจะติดหน้าแปลนที่อัด เนื่องจากส่วนผสมที่ใช้ไม่ว่าจะเป็นเพกติน หรือน้ำตาล จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเหนียวส่งผลให้งาติดหน้าแปลน และในการควบคุมปริมาณงาที่ตกลงมายังไม่มีความแม่นยำเท่าที่ควร ทำให้งาที่อัดได้มีปริมาณไม่คงที่นัก ถ้างาลงมามากพออัดแขนหมุนรับแรงจากการอัดไม่ไหว ทำให้แขนหมุนเกิดการชยับขึ้นผลที่ตามมาก็คือลิมิตสวิทช์ไม่ตัด ทำให้ไม่ไปสั่งให้ PLC ทำงานขั้นตอนต่อไปได้

7.3 ข้อเสนอแนะในการสร้างเครื่อง

ในการทำเครื่องอัดงาแท่งต้องใช้ความแม่นยำมากในการสร้างเครื่อง ไม่ว่าจะเป็นการทำแขนหมุนให้หมุนได้ 180 องศา จะต้องเจาะให้ได้ศูนย์กลางของแขนพอดี ถ้าเจาะไม่ตรงจะทำให้เวลาที่มอเตอร์หมุนแขนแล้วหยุดจะไม่ได้ตำแหน่งที่เราต้องการในการอัด และจะส่งผลต่อลิมิตสวิทช์ที่ใช้ในการตัดสัญญาณเพื่อให้ PLC ไปสั่งให้กระบอกสูบทำการอัดอีกด้วย ในการเลือกใช้วัสดุที่จะทำแขนหมุนควรมีการคำนวณด้วยว่าสามารถรับแรงจากการอัดได้เท่าไร เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการอัด และควรทำแขนให้ยาวเพื่อให้รัศมีของการหมุนน้อย จะได้ไม่ติดโครง เครื่องที่สร้างนี้มีกำลังการผลิตน้อยเกินไปสามารถผลิตได้ 3 ชิ้นต่อนาที ควรปรับปรุงให้สามารถผลิตได้มากขึ้น ในการสร้างเครื่องเราจะต้องรู้ก่อนว่าเราจะติดตั้งอะไรไว้ตรงไหน แล้ววัดขนาดให้แม่นยำเพื่อที่ทำโครงแล้วจะได้ไม่มีปัญหากับขนาดของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ณรงค์ ตันชีวะวงศ์. 2547. **นิวเมติกอุตสาหกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

เดชฤทธิ์ มณีธรรม. 2548. **คัมภีร์ นิวเมติกส์ (Pneumatics System).** กรุงเทพฯ: เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์.

ธีรศิลป์ ทุมวิภาต และสุภาพร จำปาทอง. 2547. **เรียนรู้ PLC กลางด้วยตัวเอง.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

นิรนาม1. 2548. **ลักษณะของงา.**

URL:http://www.school.net.th/library/ snet4/june22/sesame2.html

นิรนาม2. 2548. **ประโยชน์ของงา.**

URL:http://www.tei.or.th/PliBai/th_plibai58_namsaibaimaikhew.html

นิรนาม3. 2548. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงา.**

URL:http:// www.market.in.th/view.php?id=21461

นิรนาม4. 2548. **ชนิดพันธุ์งา.**

URL:http:// www.chonnabat.net/crops/ngaa.html

นิรนาม5. 2548. **เฟือง.**

URL:http://www.ipst.ac.th.

นิรนาม6. 2548. **รีเลย์.**

URL:http://www.st.kmutt.ac.th.

พรจิต ประทุมสุวรรณ. 2537. **อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน.** กรุงเทพฯ:เรือนแก้วการพิมพ์

ไพบูลย์ ธรรมรัตน์วาสิก. 2532. **กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร .** กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์.

วริทธิ์ อึ้งภากรณ์ และชาญ ถนัดงาน. 2536. **การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2.** กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.

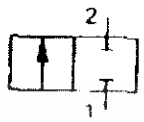
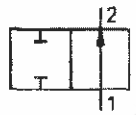
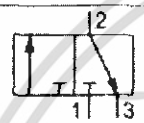
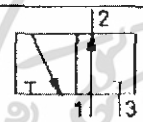
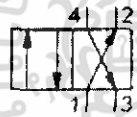
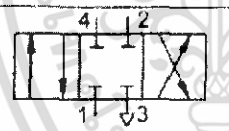
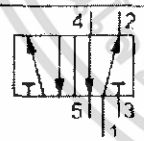
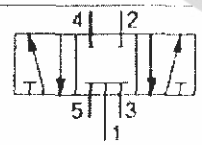
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

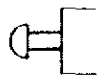
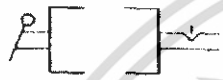
ภาคผนวก ก
สัญลักษณ์มาตราฐานแทนการทำงานของอุปกรณ์ในระบบนิวเมติกซ์

ตารางที่ ก.1 ลักษณะของวาล์วควบคุม

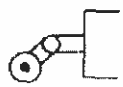
สัญลักษณ์	ความหมาย
	วาล์ว 2/2 ปกติปิด (2/2 Way, Valve, Normally Closed)
	วาล์ว 2/2 ปกติเปิด (2/2 Way Valve, Normally Open)
	วาล์ว 3/2 ปกติปิด (3/2 Way Valve, Normally Closed)
	วาล์ว 3/2 ปกติเปิด (3/2 Way Valve, Normally Open)
	วาล์ว 4/2 ปกติเปิด (4/2 Way Directional Control Valve)
	วาล์ว 4/3 (4/3 Way Valve, Mid Position Closed)
	วาล์ว 5/2 (5/2 Way Directional Control Valve)
	วาล์ว 5/3 (5/3 Way Valve, Mid Position Closed)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 การเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทางโดยใช้กล้ามเนื้อ

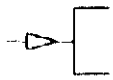
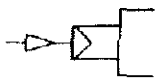
สัญลักษณ์	ความหมาย
(General)	โดยทั่วไปที่ใช้กล้ามเนื้อ
(Pushbutton) 	ใช้มือกด
(Lever Operated)	ใช้มือกดหรือโยก
(Detend Lever Operated) 	ใช้มือกดหรือโยก มีล็อกตำแหน่ง
(Foot Pedal)	ใช้เท้าเหยียบ

ตารางที่ ก.3 การเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทางโดยกลไก

สัญลักษณ์	ความหมาย
(Plunger)	ใช้กลไกมายนอกกด
(Roller Operated)	ใช้กลไกลูกกลิ้งกด โดยทำงาน 2 ทิศทาง
(Idle Return, Roller Trip) 	ใช้กลไกลูกกลิ้งกด โดยทำงานทิศทางเดียว
(Spring Return)	ใช้สปริงดันกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 การเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทางโดยใช้ลม

สัญลักษณ์	ความหมาย
(Direct Pneumatic Actuation) 	การใช้ลมดันเลื่อนวาล์วโดยตรง
(Indirect Pneumatic Actuation) 	การใช้ลมดันเลื่อนวาล์วโดยทางอ้อม

ตารางที่ ก.5 การเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทางโดยใช้ไฟฟ้า

สัญลักษณ์	ความหมาย
(Single Solenoid Operation)	การใช้ Solenoid Valve 1 ชุด เพื่อให้วาล์วเลื่อน
(Double Solenoid Operation)	การใช้ Solenoid Valve 2 ชุด เพื่อให้วาล์วเลื่อนไป-กลับ

ตารางที่ ก.6 การเลื่อนวาล์วควบคุมทิศทางโดยใช้แบบผสม

สัญลักษณ์	ความหมาย
(Single Solenoid and Pilot Operation)	การใช้ Solenoid Valve 1 ชุด ทำงานร่วมกับ Pilot Valve
(Double Solenoid and Pilot Operation with Manual Override)	การใช้ Solenoid Valve 2 ชุด ทำงานร่วมกับ Pilot Valve พร้อมทั้งใช้มือกดเลื่อนวาล์วด้วย Manual Override

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
กระบอกลูกสูบ

ตารางที่ ข.1 ตารางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ

(หน่วย : มิลลิเมตร)

8	10	12	16
20	25	32	*40
*50	*63	*80	*100
*120	*140	*160	*180
200	250	320	400

*เครื่องหมาย * แสดงค่าที่ถูกกำหนดโดย JIS B 8377*

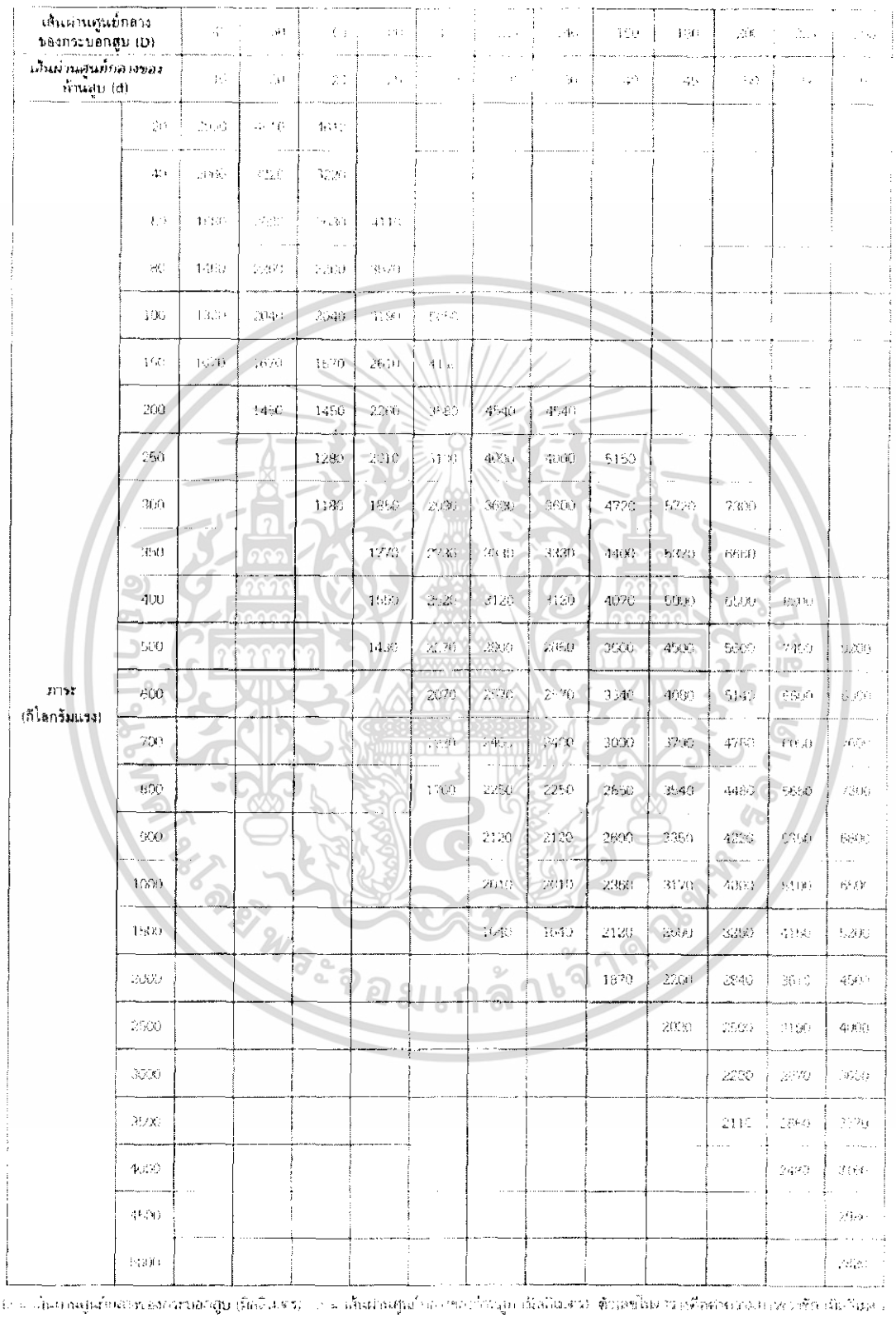
ตารางที่ ข.2 เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ เกลียวปลายก้านสูบ ช่วงชักยาวสุด

(หน่วย : มิลลิเมตร)

เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ	**เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ**	**เกลียวปลายก้านสูบ**	**ช่วงชักยาวสุด**
40	16	M14 x 1.5	500
50	20	M18 x 1.5	600
63	20	M18 x 1.5	600
80	25	M22 x 1.5	750
100	32	M26 x 1.5	750
125	36	M30 x 1.5	1000
140	36	M30 x 1.5	1000
160	40	M36 x 1.5	1200
180	45	M40 x 1.5	1200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

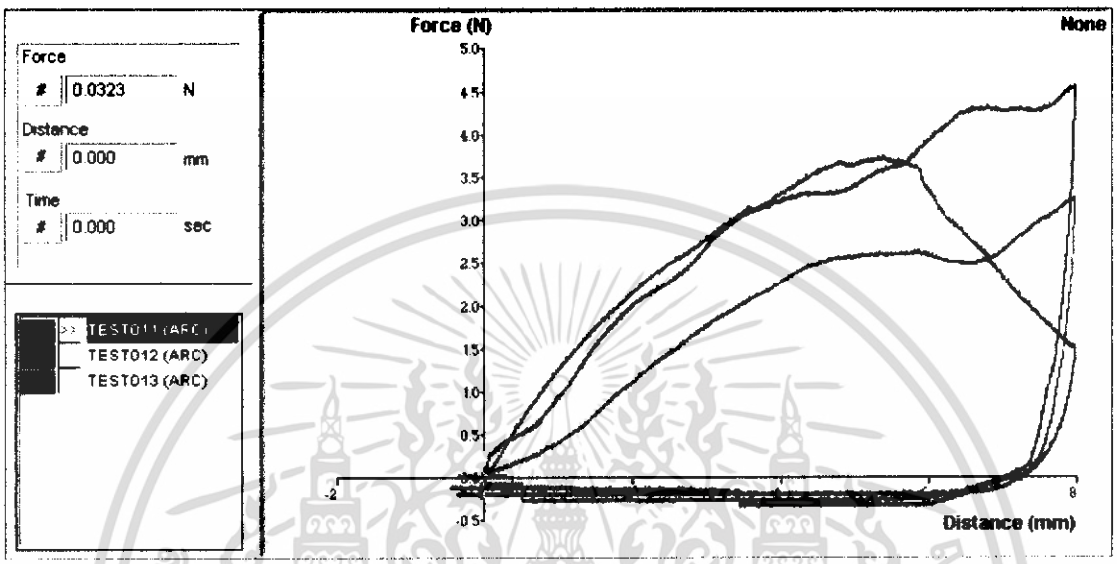
ตารางที่ ข.3 การหาความยาวช่วงชักของก้านสูบ (L) ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบและภาระ



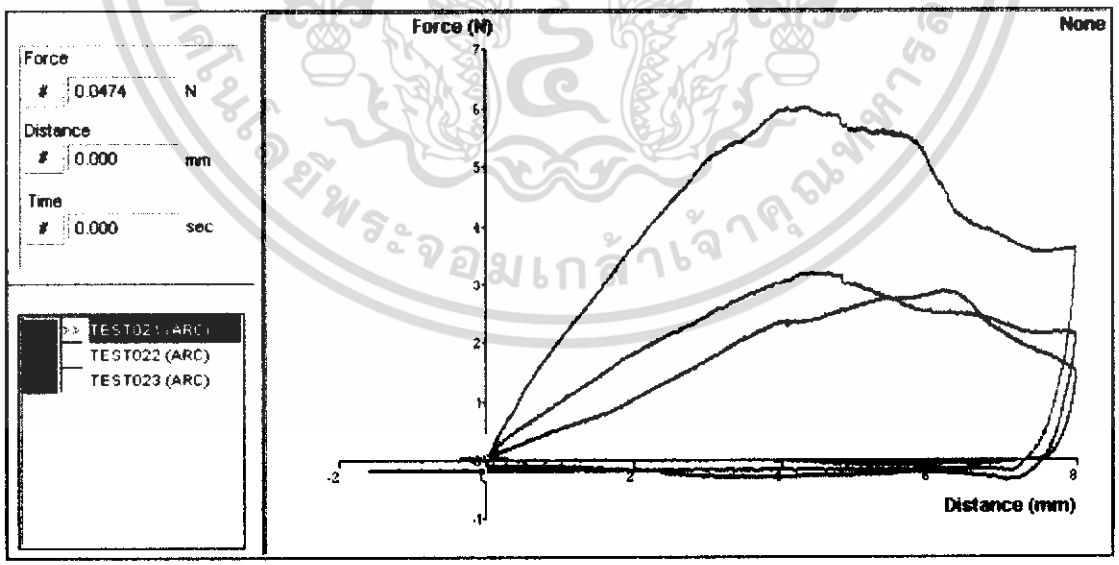
เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ (D)														
เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านสูบ (d)														
ภาระ (กิโลกรัมแรง)	20													
	40													
	60													
	80													
	100													
	150													
	200			1460	1450	2200	3420	4540	4540					
	250				1280	2010	3130	4030	4000	5150				
	300				1180	1850	2890	3680	3680	4720	5240	7300		
	350					1710	2730	3480	3430	4480	5040	6600		
	400					1580	2520	3120	3130	4070	5000	6500	8300	
	500					1430	2270	2890	2860	3900	4500	5800	7200	9200
	600						2070	2570	2590	3340	4000	5100	6500	8200
	700						1930	2460	2400	3000	3700	4700	6000	7600
	800						1790	2250	2250	2850	3540	4480	5650	7300
	900							2130	2120	2600	3350	4220	5300	6800
	1000							2010	2010	2980	3170	4000	5100	6500
	1500							1640	1640	2120	2680	3280	4150	5200
	2000									1670	2200	2840	3610	4500
	2500										2000	2500	3150	4000
	3000											2220	2870	3650
	3500											2110	2640	3370
	4000												2440	3150
	4500													2950
	5000													2820

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ผลการทดลอง

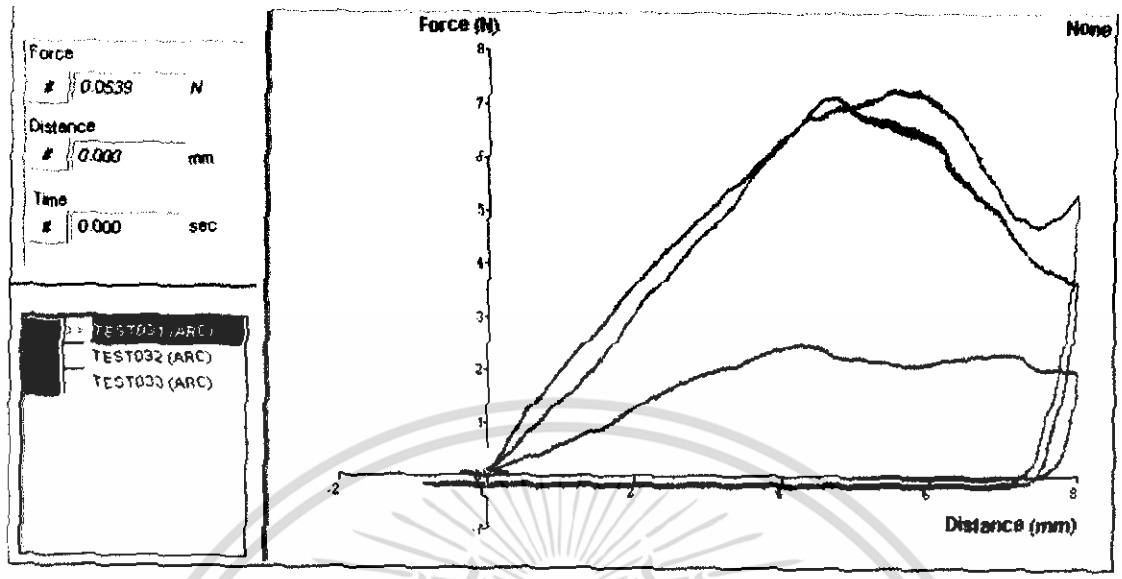


รูปที่ ค.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 1

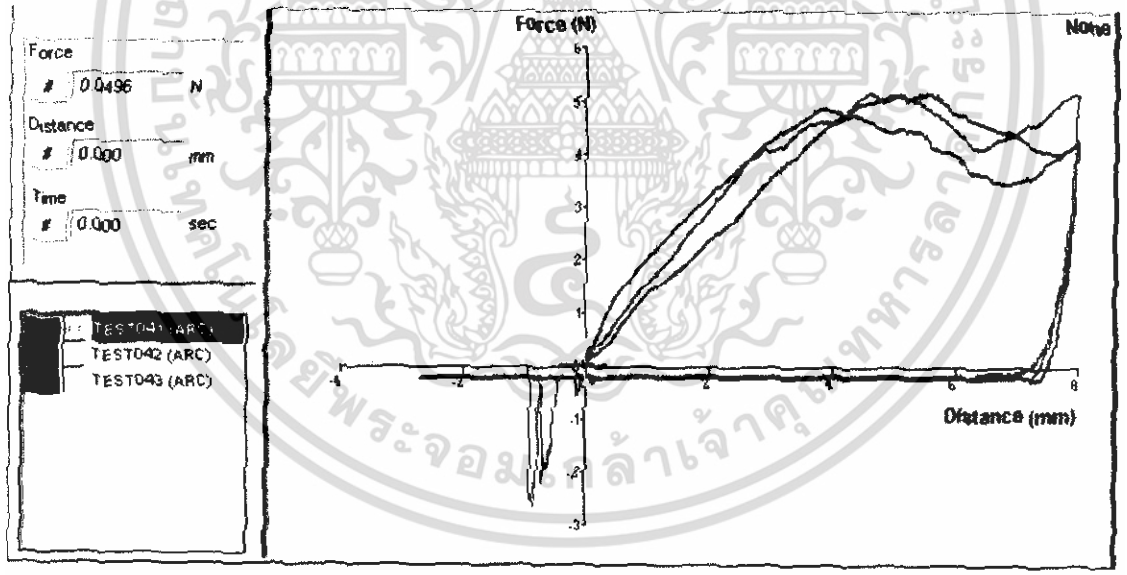


รูปที่ ค.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

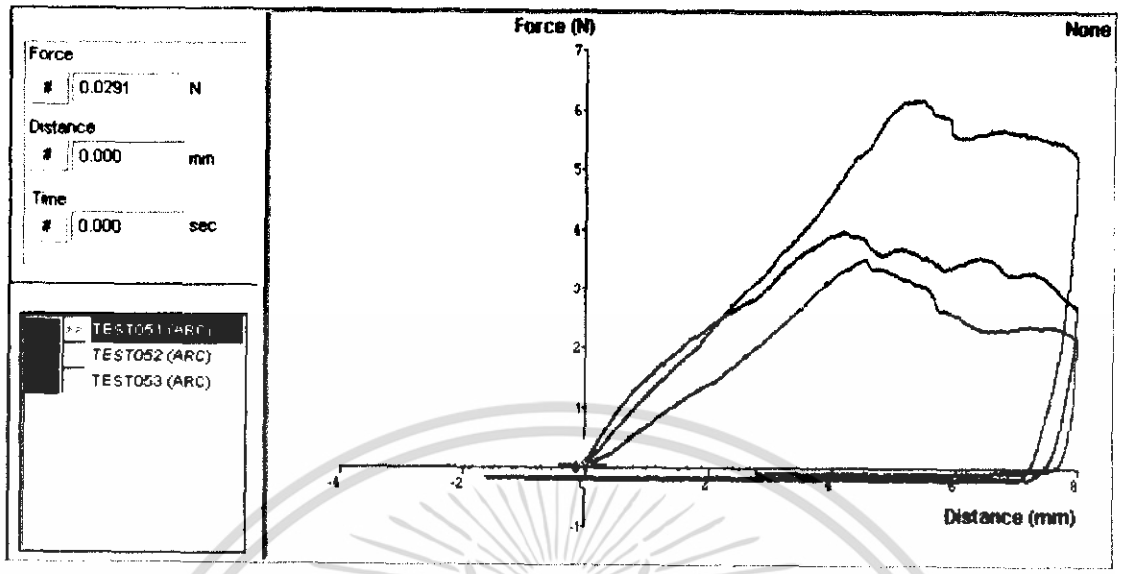


รูปที่ ค.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 3

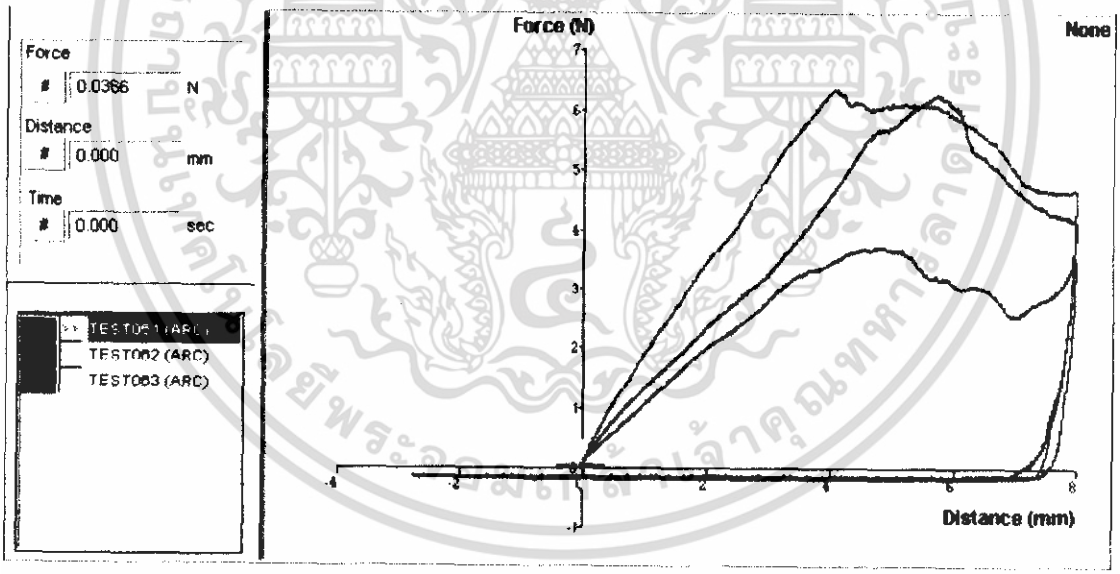


รูปที่ ค.4 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 4*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

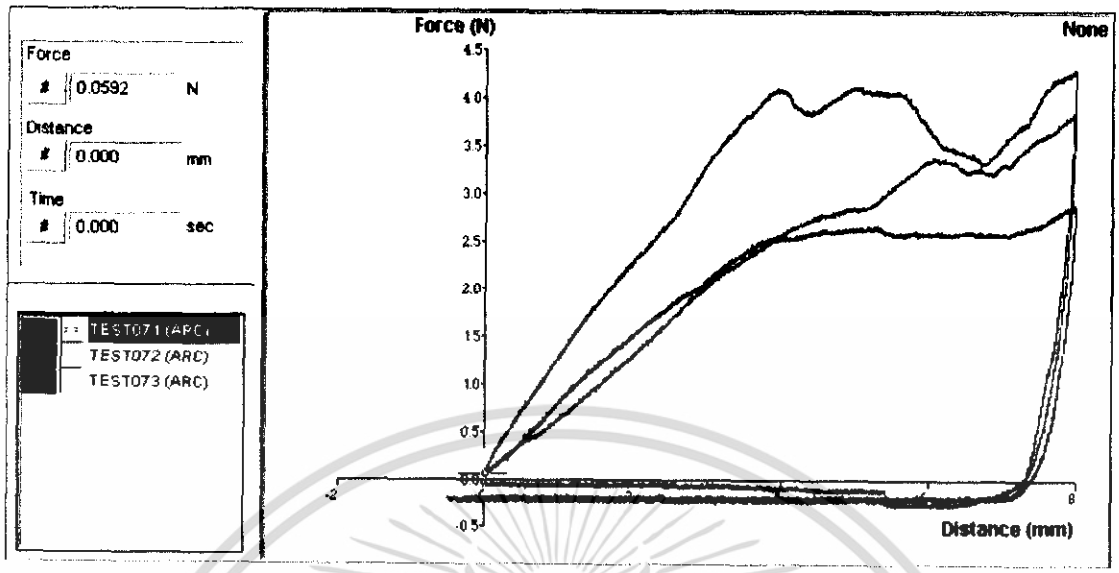


รูปที่ ค.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 5

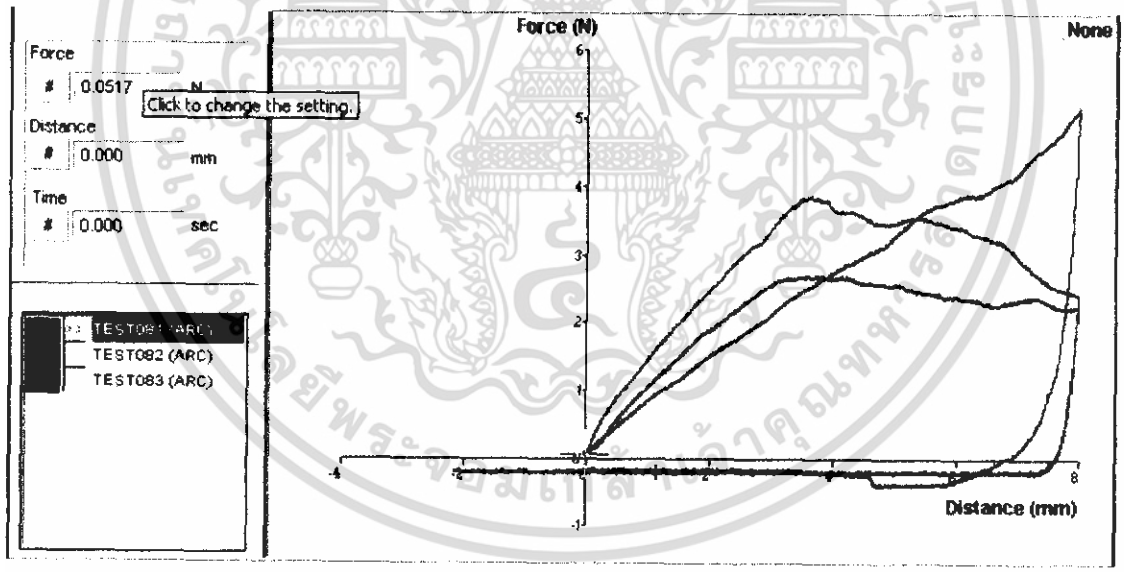


รูปที่ ค.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

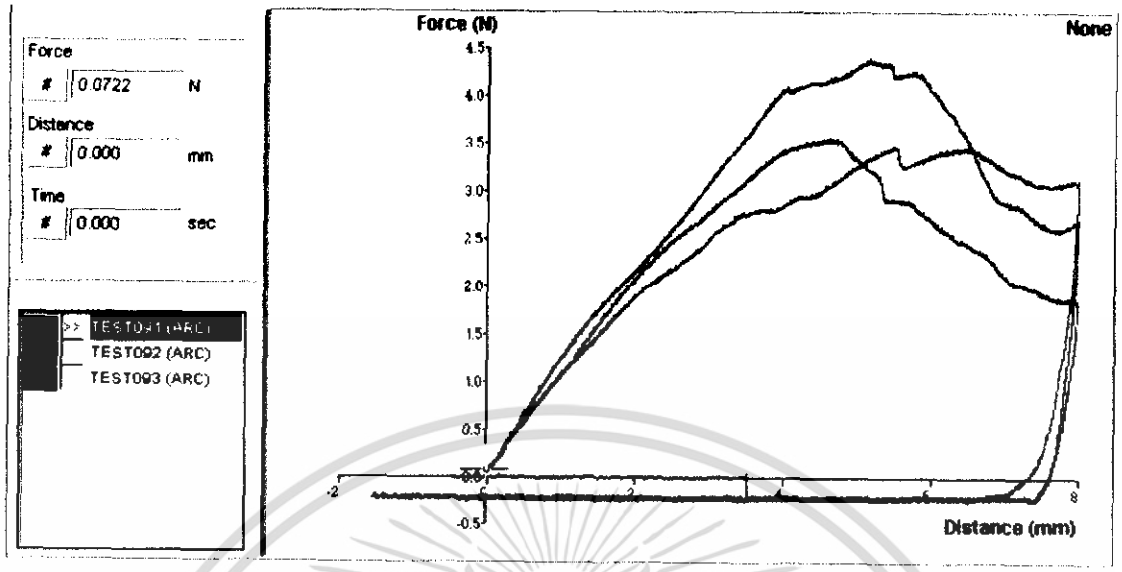


รูปที่ ค.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 7

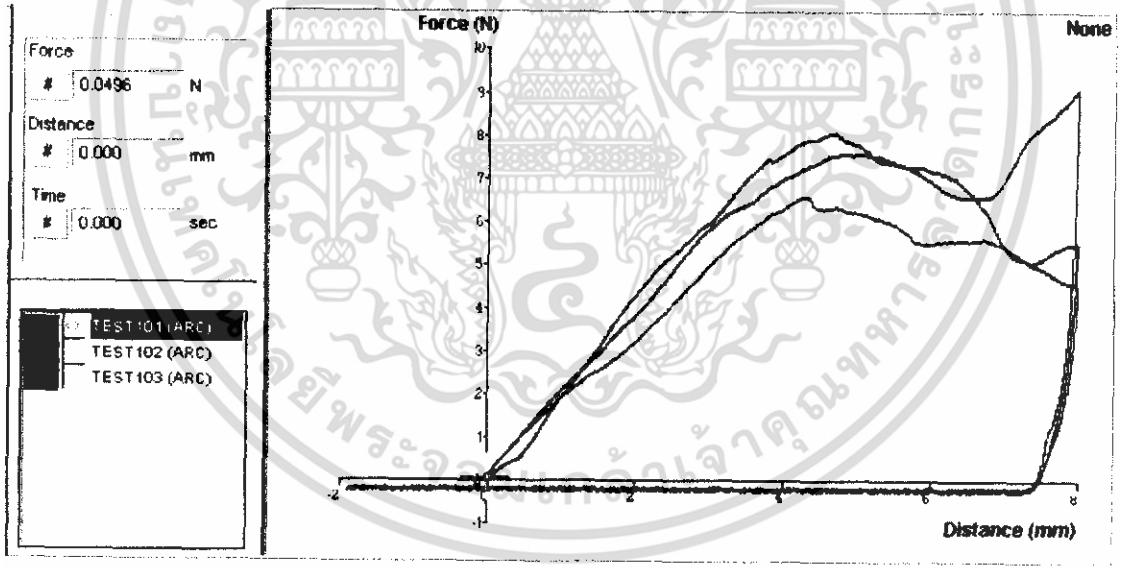


รูปที่ ค.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

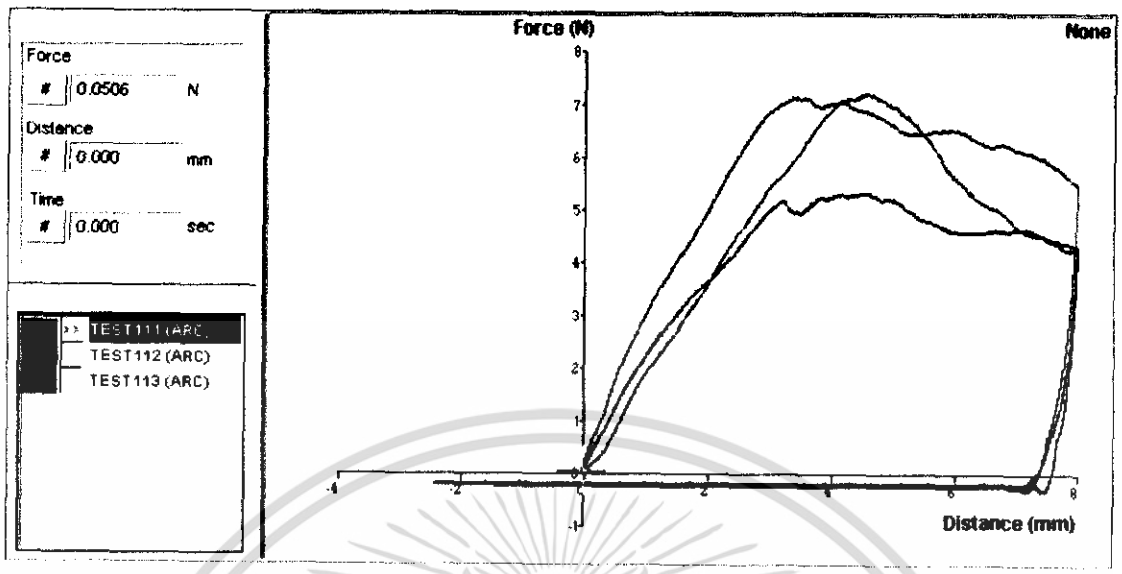


รูปที่ ค.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 9

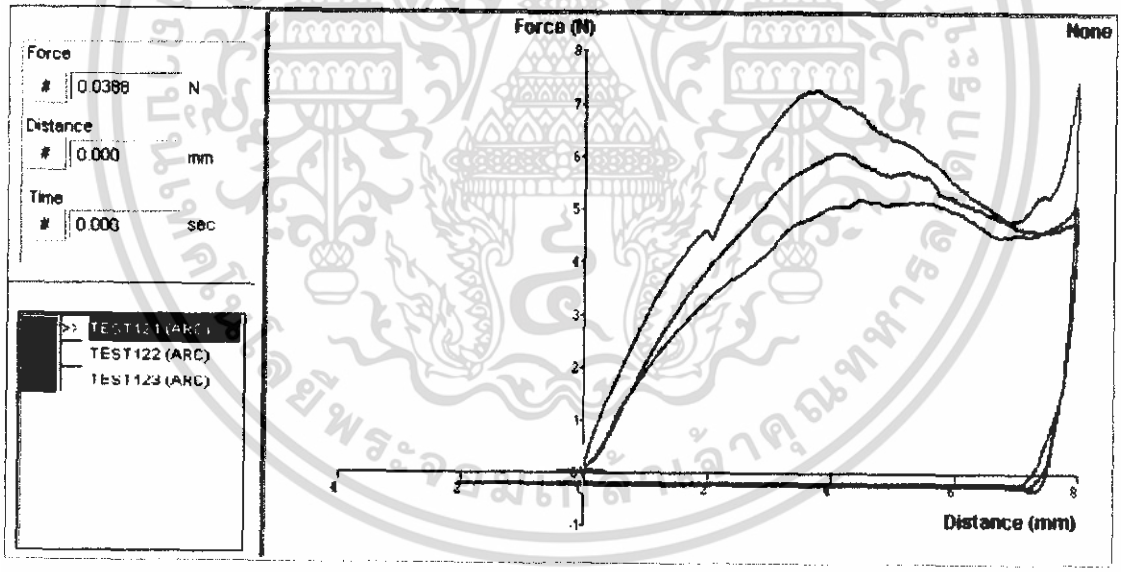


รูปที่ ค.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

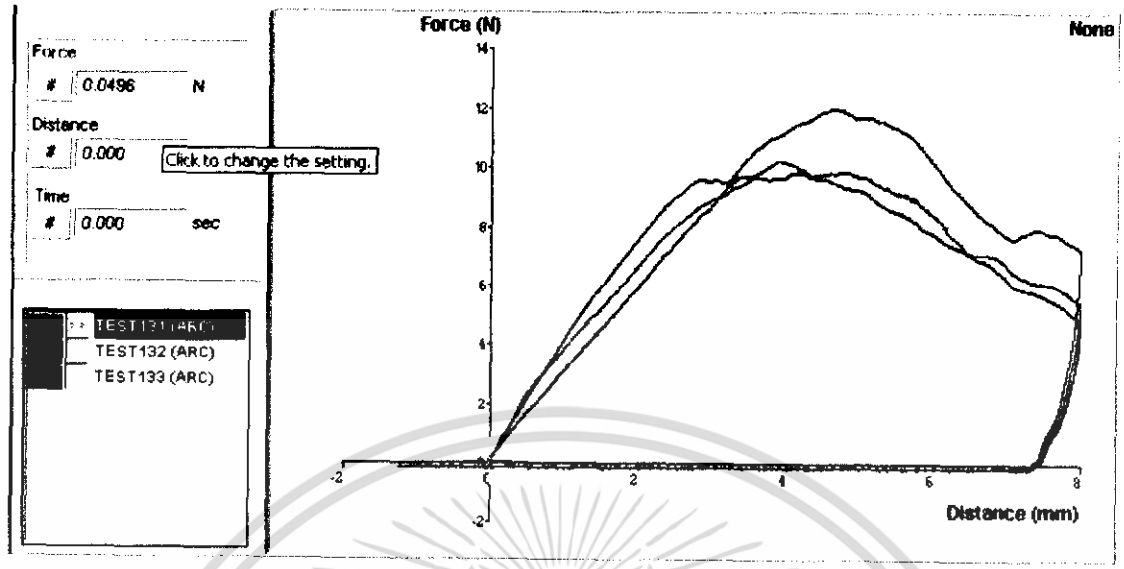


รูปที่ ค.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 11

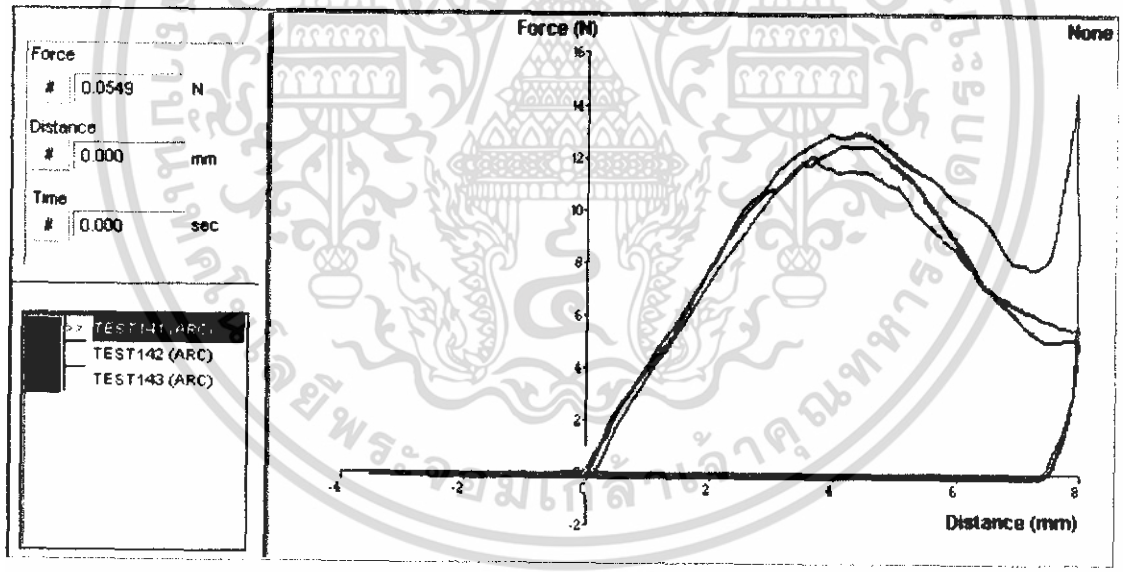


รูปที่ ค.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

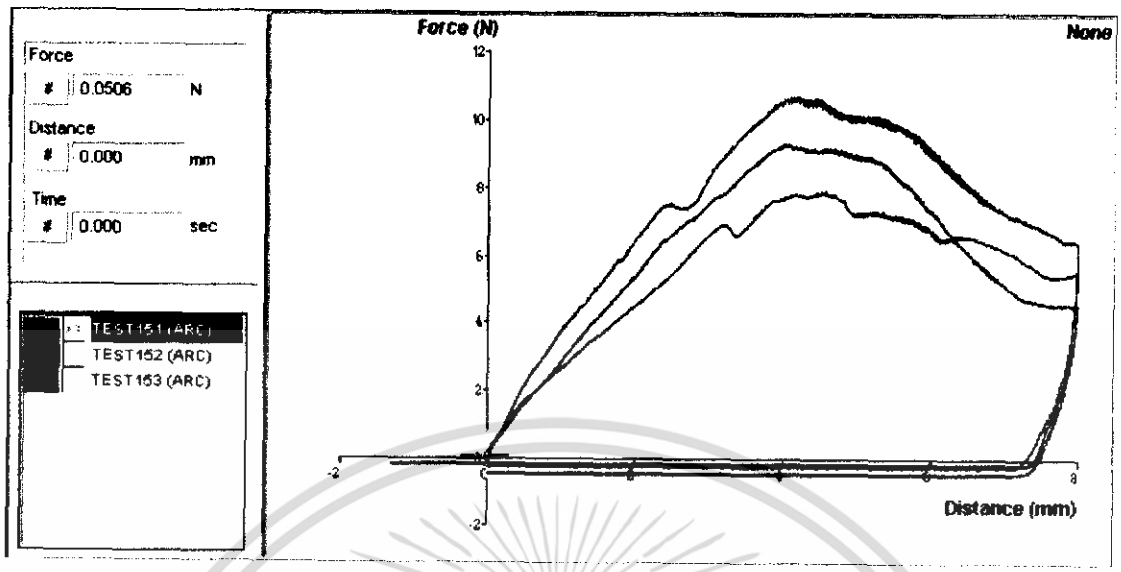


รูปที่ ค.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 13

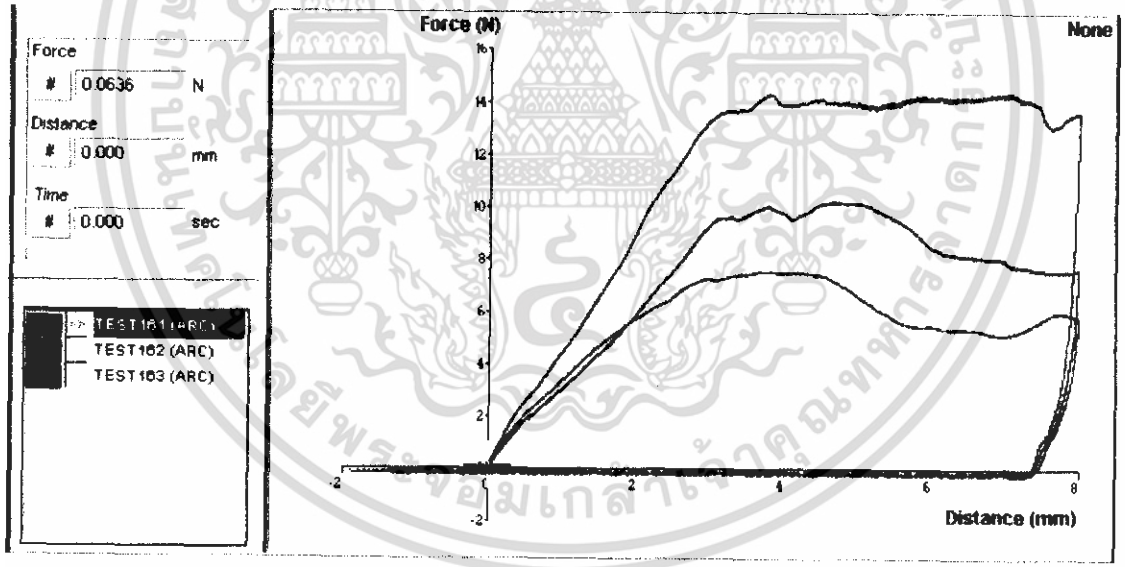


รูปที่ ค.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

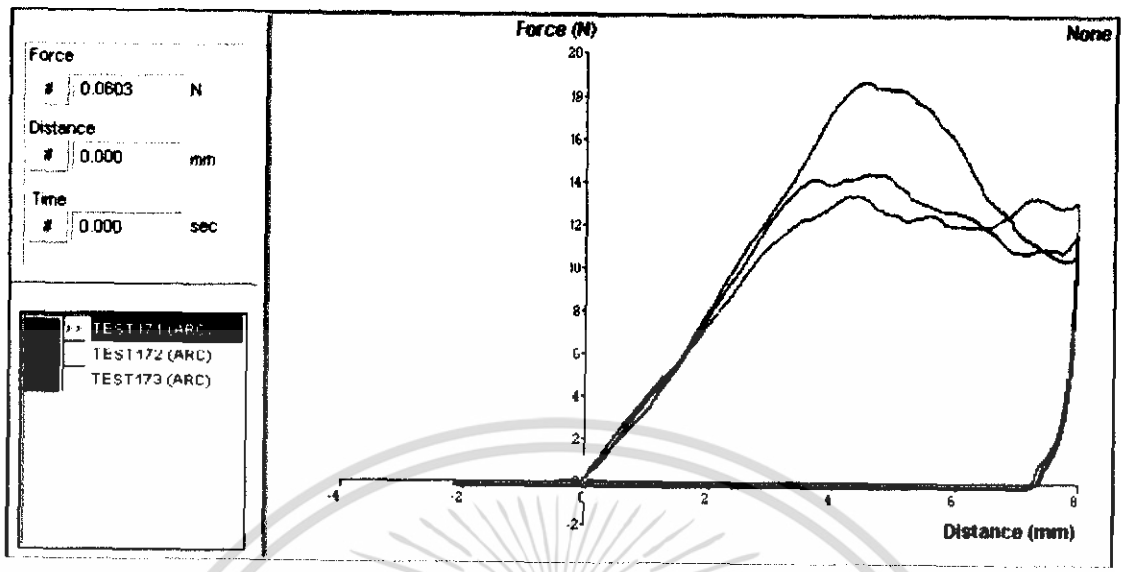


รูปที่ ค.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 15

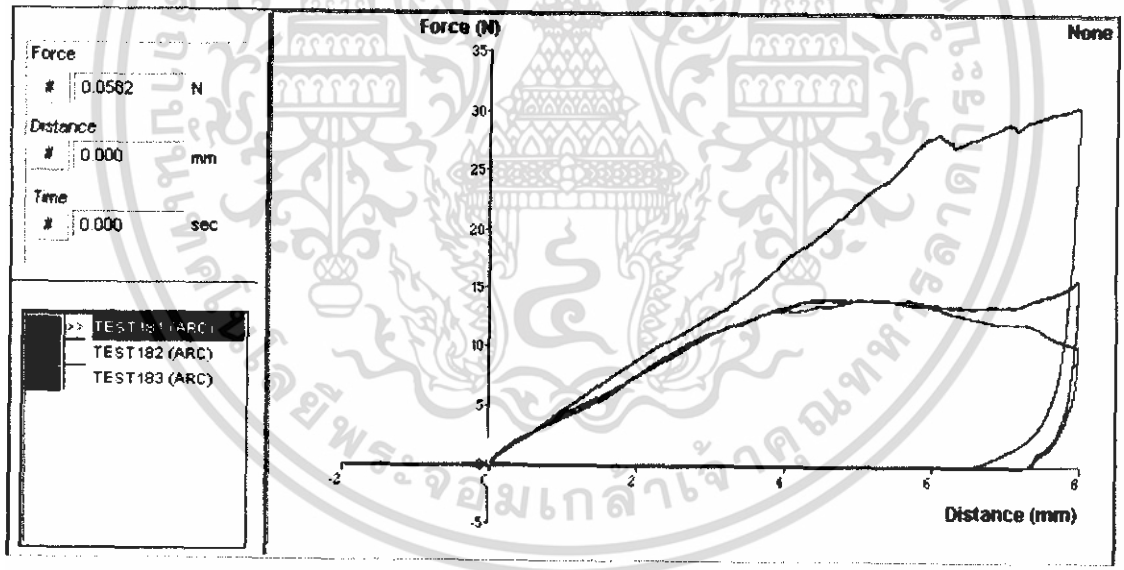


รูปที่ ค.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

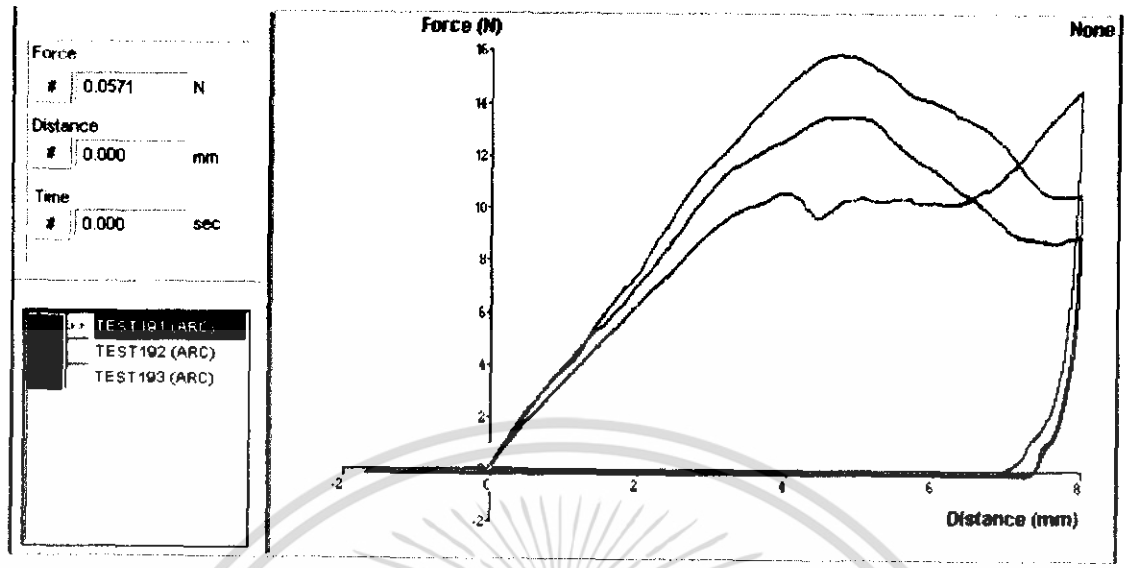


รูปที่ ค.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 17

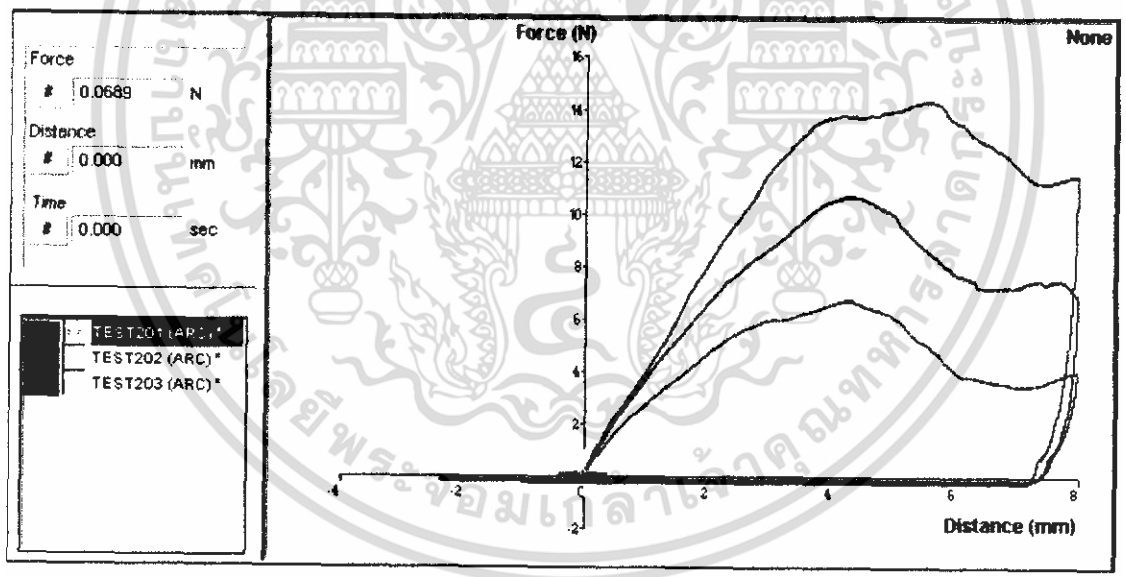


รูปที่ ค.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

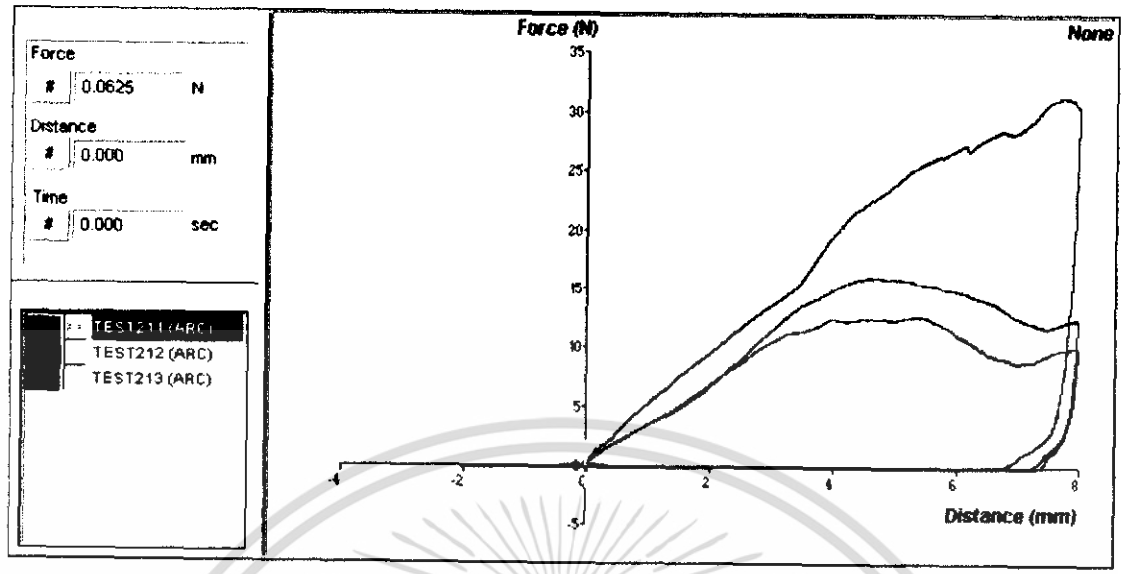


รูปที่ ค.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 19

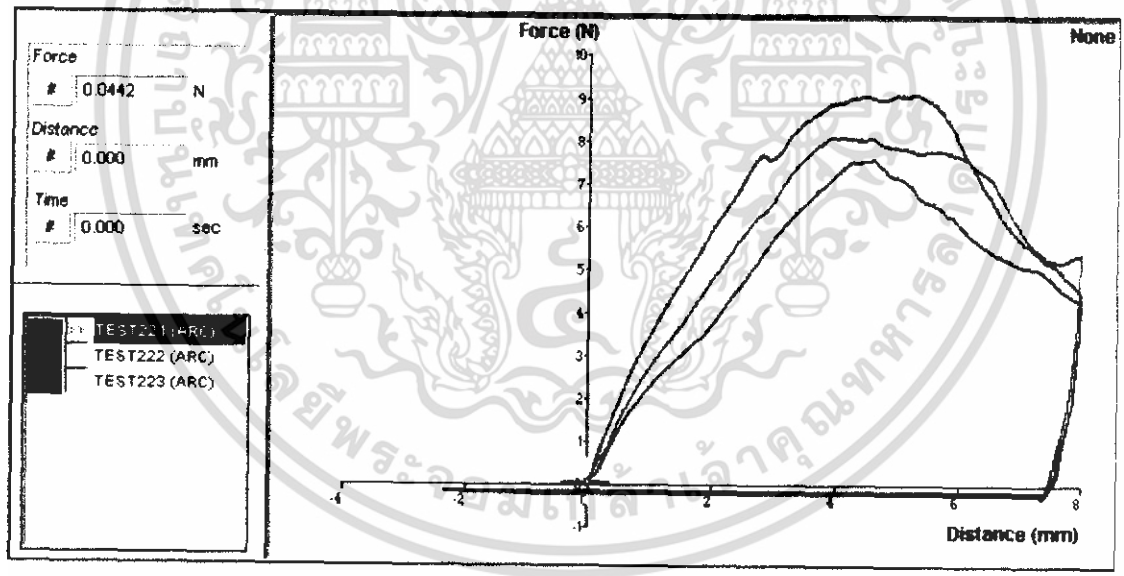


รูปที่ ค.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

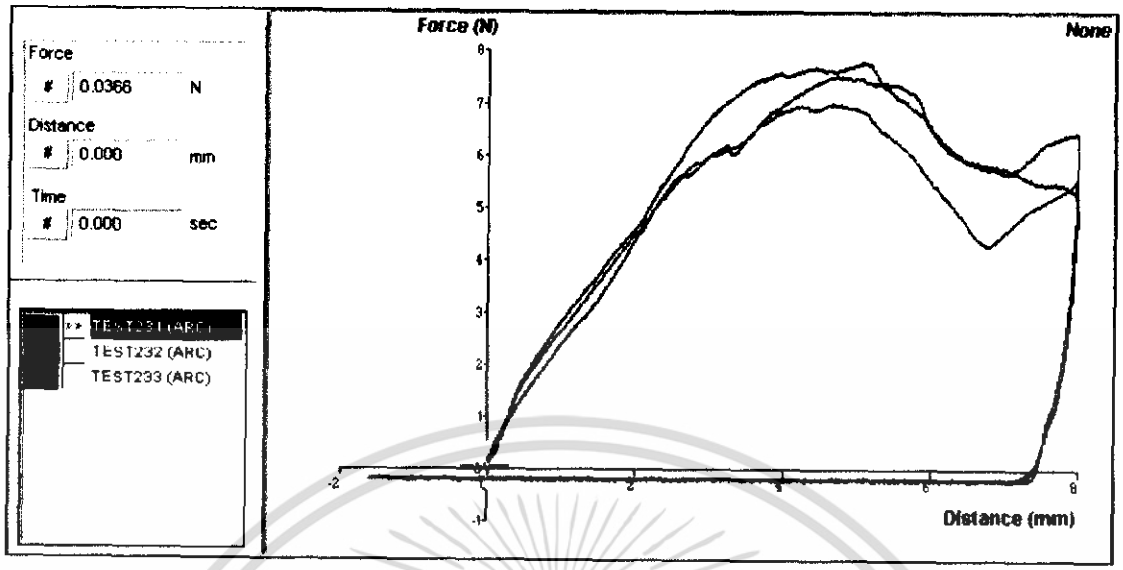


รูปที่ ค.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 21

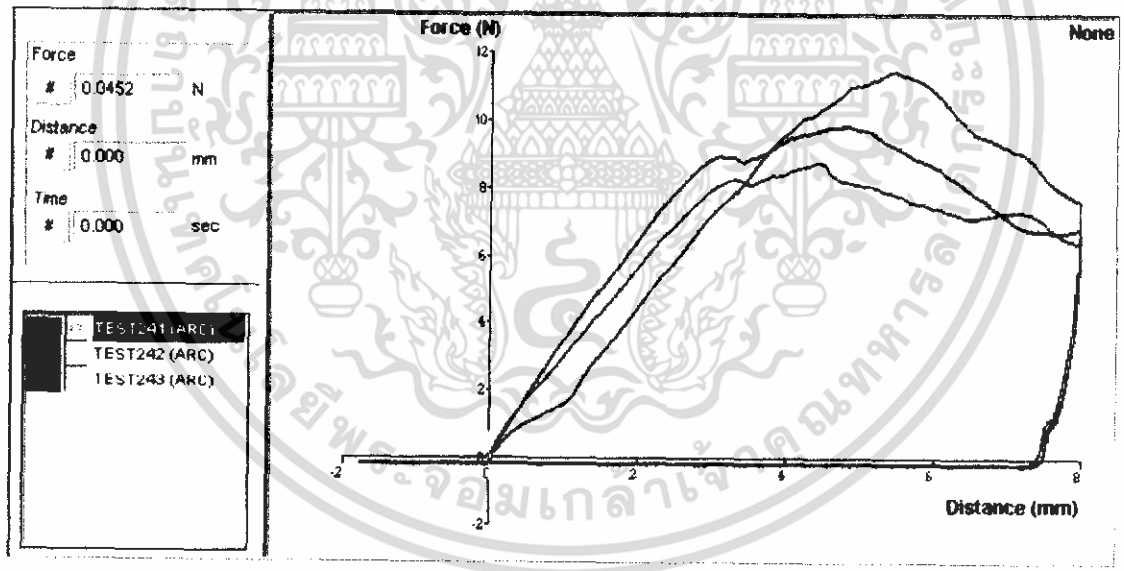


รูปที่ ค.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

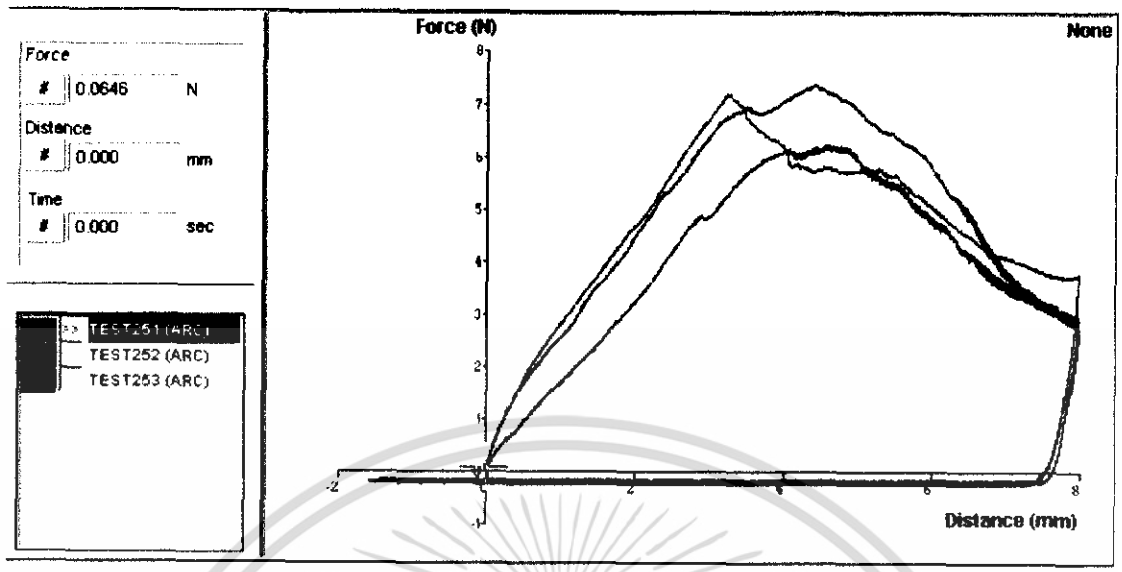


รูปที่ ค.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 23

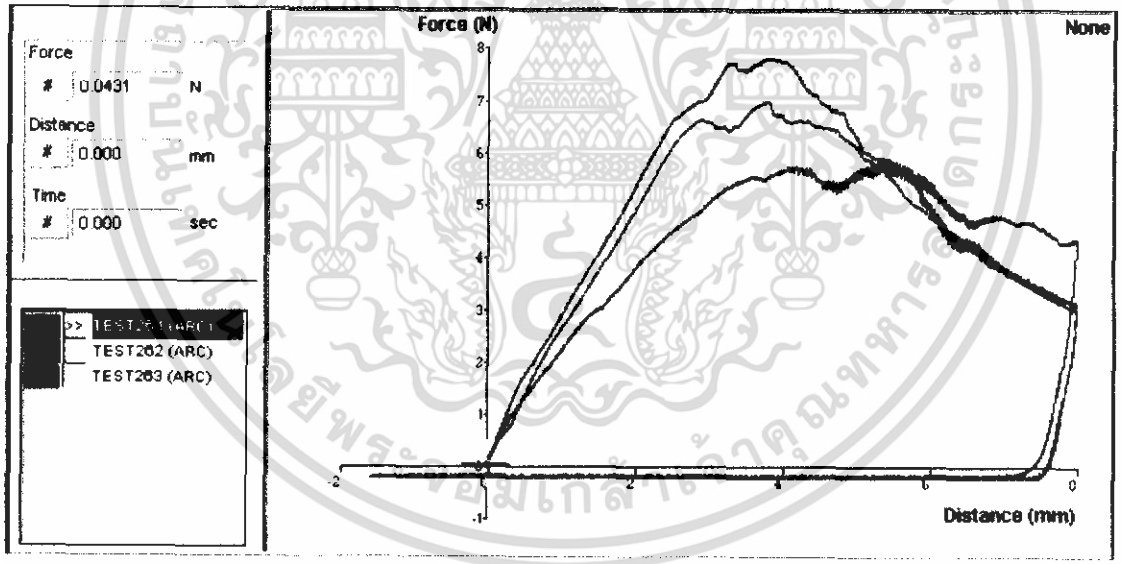


รูปที่ ค.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

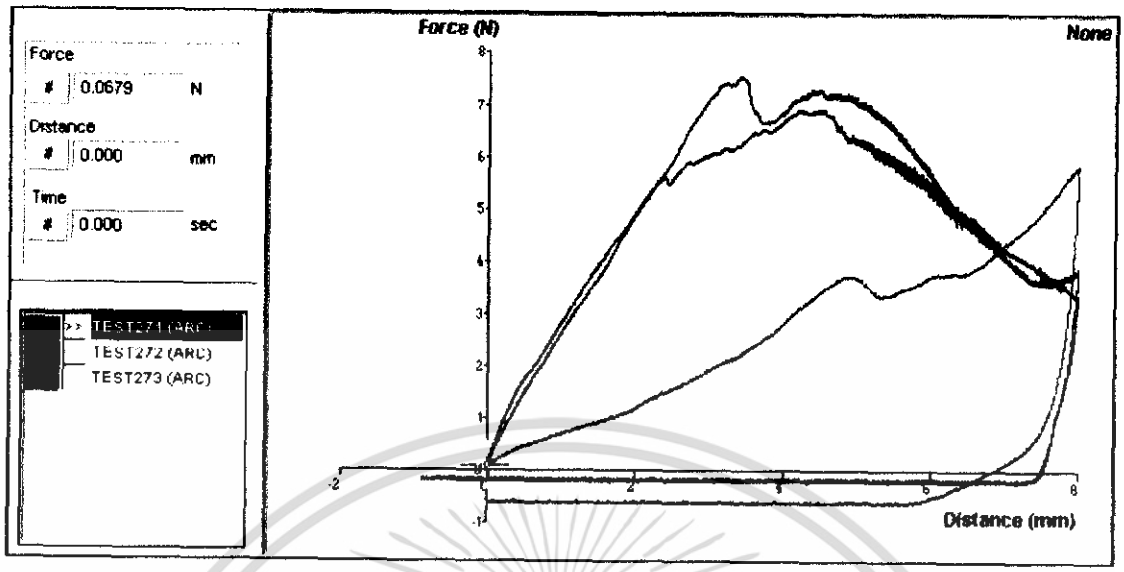


รูปที่ ค.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 25

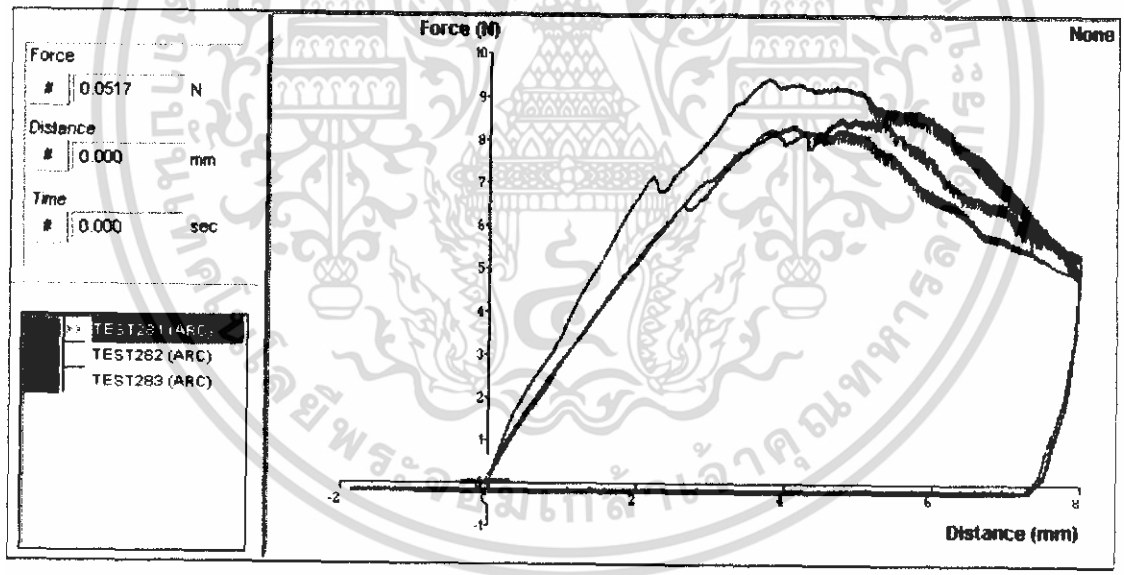


รูปที่ ค.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

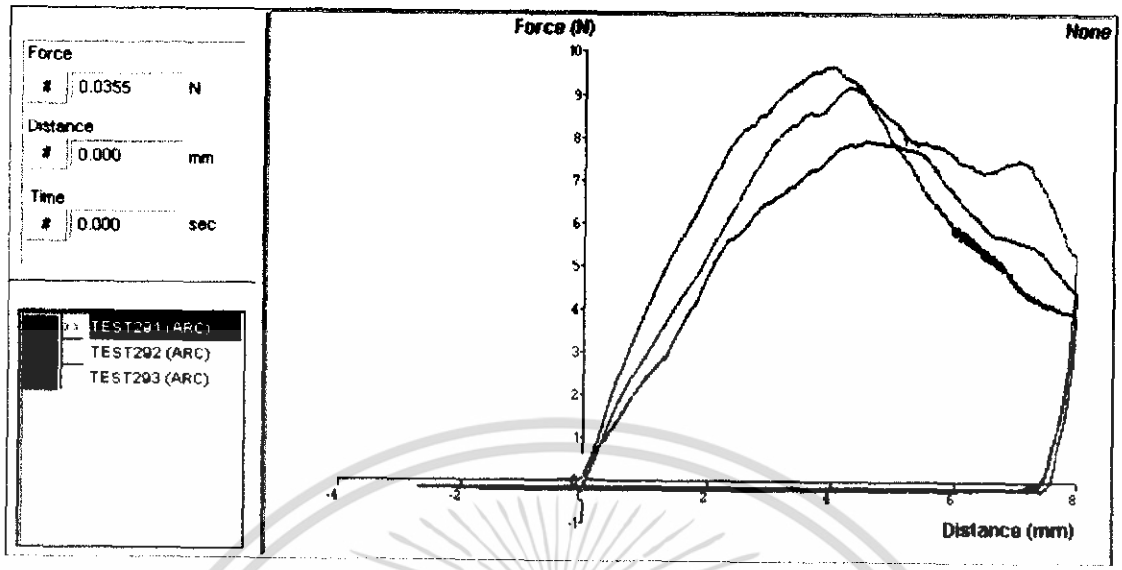


รูปที่ ค.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 27

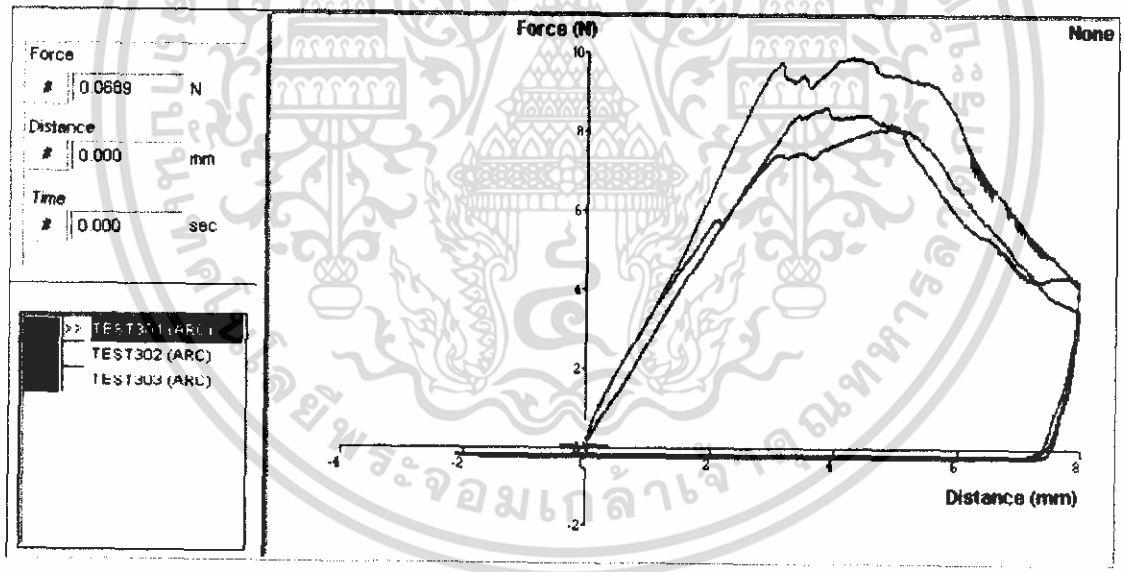


รูปที่ ค.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

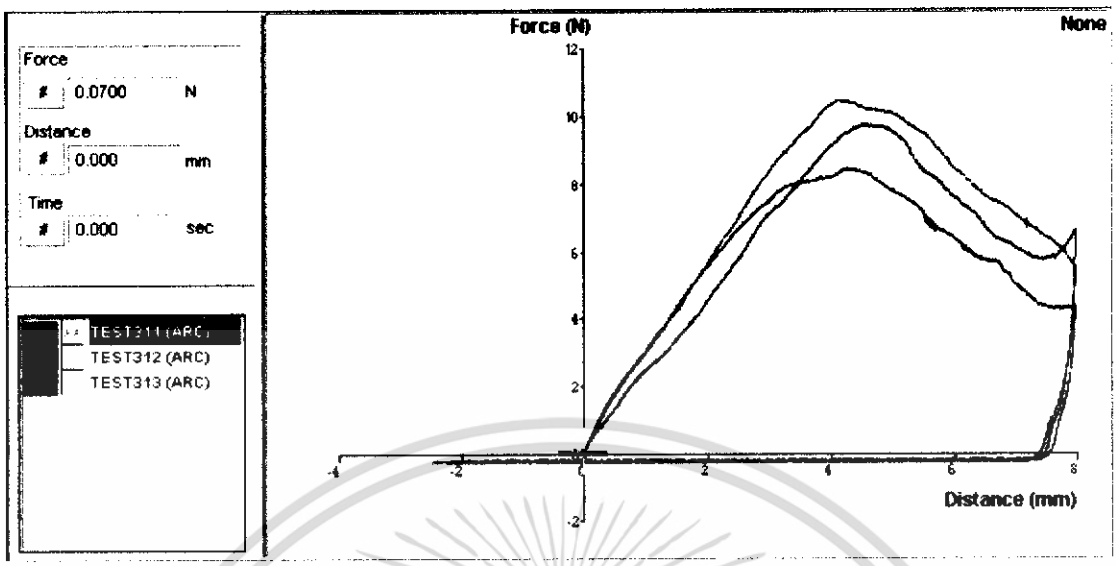


รูปที่ ค.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 29

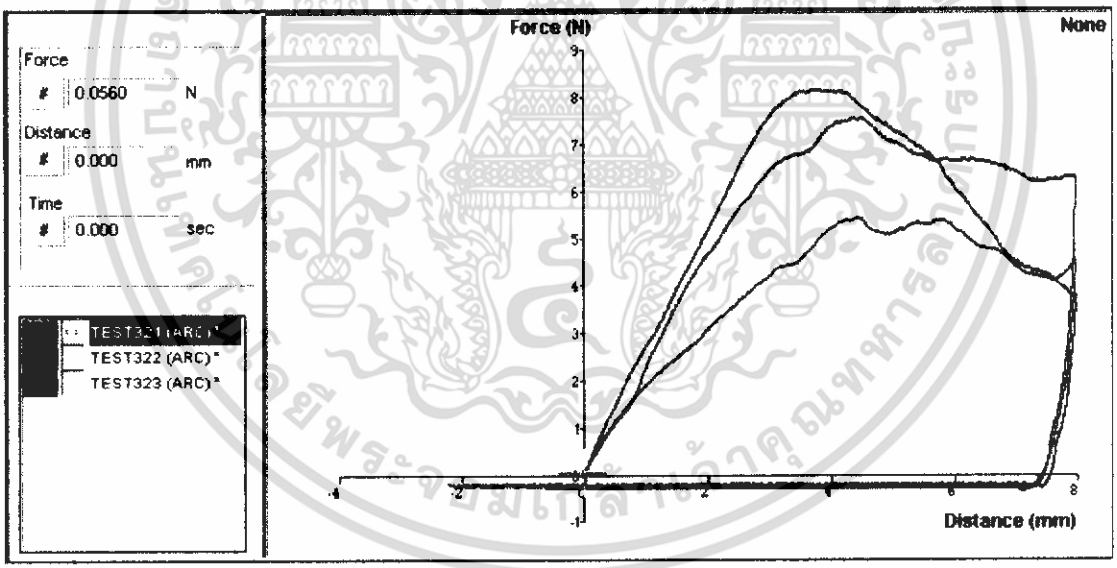


รูปที่ ค.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

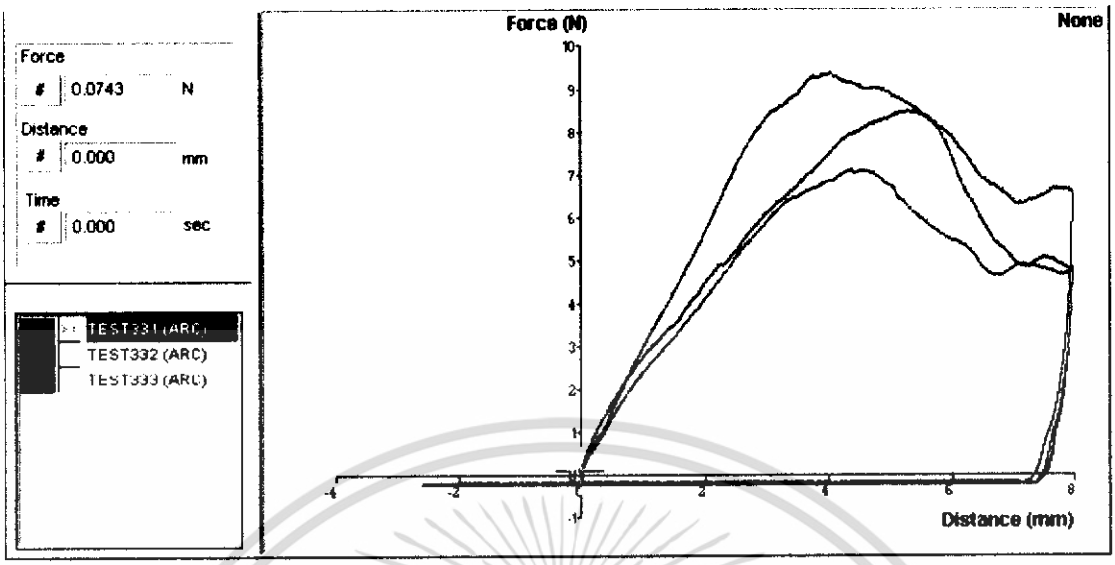


รูปที่ ค.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 31

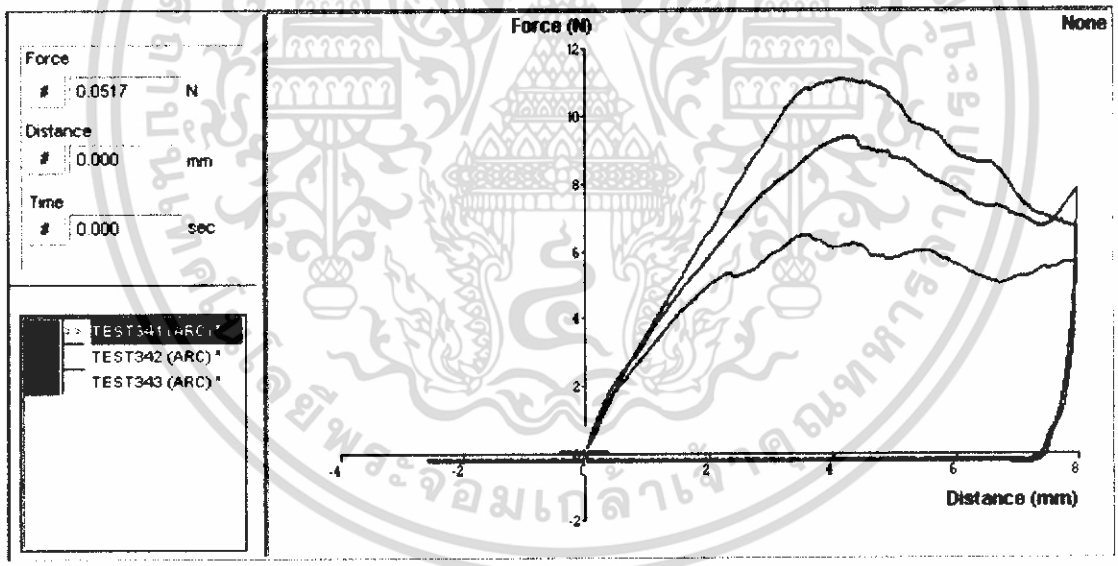


รูปที่ ค.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

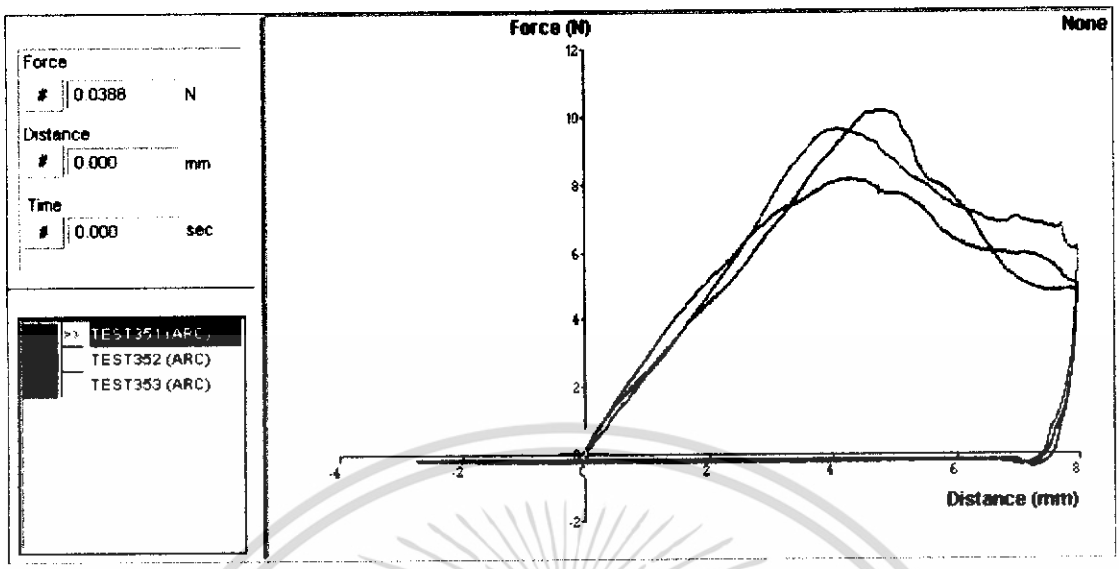


รูปที่ ค.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 33

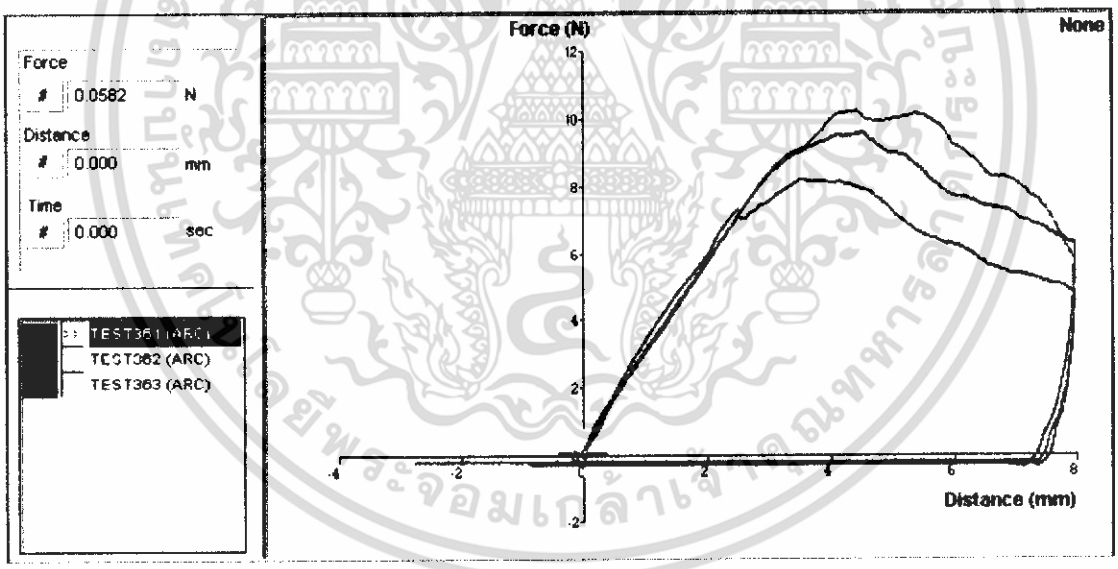


รูปที่ ค.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 35



รูปที่ ค.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับระยะทางของตัวอย่างที่ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 แสดงผลค่าความแข็งเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ความแข็งชิ้นที่			ความแข็งเฉลี่ย
	1	2	3	
1	1.31	0.972	0.479	**0.92**
2	0.742	0.587	1.575	**0.968**
3	0.64	1.566	1.414	**1.206**
4	1.158	1.527	1.413	**1.366**
5	1.186	1.212	0.706	**1.035**
6	0.941	1.268	1.607	**1.272**
7	1.02	0.673	0.602	**0.765**
8	0.742	0.854	1.076	**0.891**
9	1.039	1.061	1.141	**1.08**
10	2.065	1.836	1.653	**1.851**
11	2.546	2.205	1.696	**2.149**
12	2.293	2.001	1.872	**2.055**
13	3.387	2.88	3.094	**3.12**
14	3.506	3.816	3.294	**3.539**
15	3.458	2.302	2.142	**2.634**
16	4.486	3.008	2.414	**3.302**
17	3.386	3.81	3.654	**3.616**
18	4.158	3.621	3.384	**3.721**

ตัวอย่าง	ความแข็งชิ้นที่			ความแข็งเฉลี่ย
	1	2	3	
19	2.962	3.223	3.702	**3.295**
20	3.473	2.52	1.92	**2.638**
21	3.093	4.417	3.376	**3.628**
22	1.765	2.886	2.081	**2.244**
23	2.167	2.273	1.961	**2.134**
24	2.317	2.843	2.463	**2.541**
25	1.588	2.011	2.178	**1.926**
26	2.333	1.839	2.274	**2.149**
27	2.301	2.314		**2.307**
28	3.185	2.536	2.292	**2.671**
29	3.178	2.176	2.438	**2.598**
30	2.676	2.445	3.091	**2.737**
31	2.464	2.283	3.523	**2.757**
32	1.995	2.395	1.378	**1.923**
33	2.423	2.136	1.701	**2.087**
34	2.987	2.238	2.28	**2.502**
35	2.308	2.243	2.505	**2.352**
36	2.864	2.376	2.821	**2.687**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 แสดงผลปรับปรุงค่าความแข็งเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ความแข็งชิ้นที่			ความแข็งเฉลี่ย
	1	2	3	
1	1.31	0.972	0.479	**0.92**
2	0.742	0.587	1.575	**0.968**
3		1.566	1.414	**1.49**
4	1.158	1.527	1.413	**1.366**
5	1.186	1.212	0.706	**1.035**
6		1.268	1.607	**1.4375**
7	1.02	0.673	0.602	**0.765**
8	0.742	0.854	1.076	**0.891**
9	1.039	1.061	1.141	**1.08**
10	2.065	1.836	1.653	**1.851**
11	2.546	2.205		**2.3755**
12	2.293	2.001	1.872	**2.055**
13	3.387	2.88	3.094	**3.12**
14	3.506	3.816	3.294	**3.539**
15	3.458	2.302		**2.88**
16		3.008	2.414	**2.711**
17	3.386		3.654	**3.52**
18		3.621	3.384	**3.5025**

ตัวอย่าง	ความแข็งชิ้นที่			ความแข็งเฉลี่ย
	1	2	3	
19	2.962	3.223		**3.0925**
20	3.473	2.52	1.92	**2.638**
21	3.093		3.376	**3.2345**
22	1.765	2.886	2.081	**2.244**
23	2.167	2.273	1.961	**2.134**
24		2.843	2.463	**2.653**
25		2.011	2.178	**2.0945**
26	2.333		2.274	**2.3035**
27	2.301	2.314		**2.307**
28		2.536	2.292	**2.414**
29		2.176	2.438	**2.307**
30	2.676	2.445	3.091	**2.737**
31	2.464	2.283		**2.3735**
32	1.995	2.395	1.378	**1.923**
33	2.423		1.701	**2.062**
34	2.987	2.238	2.28	**2.502**
35	2.308	2.243	2.505	**2.352**
36	2.864	2.376	2.821	**2.687**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้