

งานวิจัย

เรื่อง

การศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการควบคุมปั๊มลมแบบสตาร์ท-สตอป

Electrical Energy Saving Study in Start-Stop Control of Air Compressor

โดย

นายสมชาย

เทืองชด

นายอนันต์

เต็มเปี่ยม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

พ.ศ. 2549

งานห้องสมุดกลางเทวศร์
สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
วันที่..... 14 ส.ค. 2552
เลขทะเบียน..... 000143
เลขหมู่..... 23

ส 2๒๓ ก

๑ 3

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้พลังงานลมอัดถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากการได้เปรียบเชิงกลของอุปกรณ์ที่ใช้ลมอัดทำให้เกิดงานในแนวเส้นตรง เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานรูปแบบอื่น เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น และจากปัญหาภาวะขาดแคลนพลังงานในปัจจุบัน ทำให้มนุษย์มีการค้นคว้าเรื่องการใช้พลังงานอย่างประหยัดมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาเรื่องการประหยัดพลังงานในการควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบ สตาร์ท-สต็อป เพื่อศึกษาว่าควรตั้งค่าความดันเท่าใดในการควบคุมให้เครื่องอัดอากาศ ตัด-ต่อ การทำงาน ที่ทำให้เกิดการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการใช้เครื่องอัดอากาศให้มากที่สุด

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและทดลองจาก เครื่องอัดอากาศจำนวน 3 ขนาด และถึงเก็บลม 4 ขนาด โดยเครื่องอัดอากาศแต่ละขนาดจะใช้ถึงเก็บลมทั้ง 4 ขนาด รวมแล้วจะได้การทดลองทั้งหมด 12 กรณี เครื่องอัดอากาศที่ใช้จะถูกควบคุมการทำงานแบบ สตาร์ท-สต็อป การศึกษาเริ่มจากการใช้พลังงานลมอัดเริ่มตั้งแต่ร้อยละ 20, 40, 60 และ 80 ของความสามารถในการผลิตลมอัดของเครื่องอัดอากาศ โดยในแต่ละช่วงของการใช้ลมอัด จะทำการตั้งค่าความดัน สตาร์ท-สต็อป ไว้ที่ 6-7, 6-8, 6-9, 7-8, 7-9 และ 8-9 บาร์ ตามลำดับ

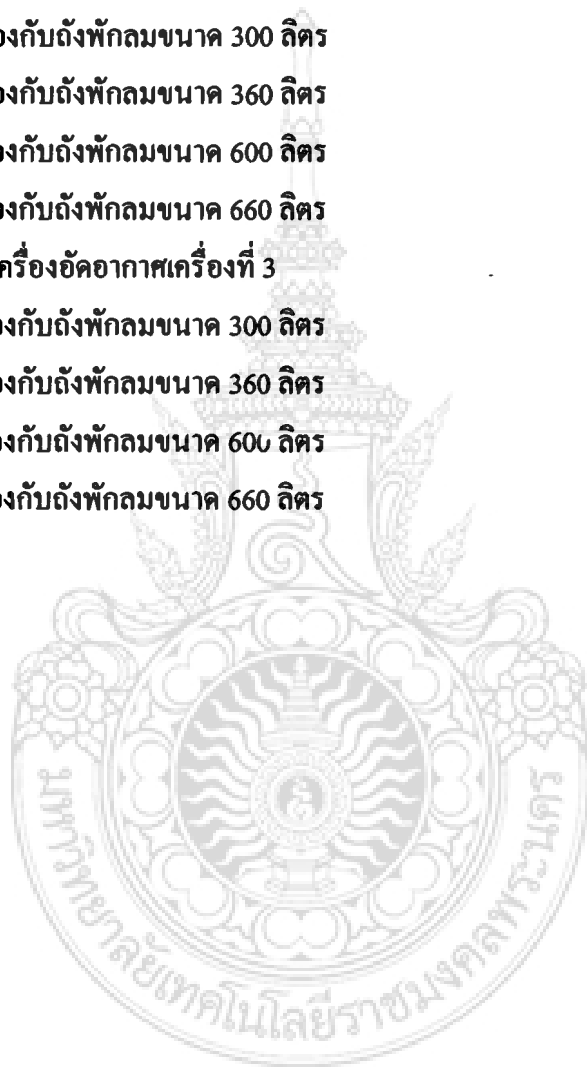
จากผลการทดลองหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส เป็นแหล่งต้นกำลังในการขับเครื่องอัดอากาศนั้น พบว่า เครื่องอัดอากาศทั้ง 3 เครื่อง เมื่อใช้ร่วมกับถังพักลมทั้ง 4 ขนาด ให้ผลการทดลองที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ การตั้งค่าความดัน สตาร์ท-สต็อป ที่ 6-7 บาร์ นั้นจะประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(11)
คำนำ	1
การตรวจเอกสาร	3
1. ระบบการผลิตอากาศอัด	3
1.1 อุปกรณ์ให้กำลัง	3
1.2 เครื่องอัดอากาศ	4
2. การควบคุมเครื่องอัดอากาศ	8
2.1 การควบคุมแบบ สตาร์ท-สต็อป	8
2.2 การควบคุมแบบ Unloading Regulation	8
3. ส่วนการจัดเก็บลมอัด	10
4. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	12
4.1 วงจรไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์	13
4.2 การควบคุมมอเตอร์	18
5. การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า	21
อุปกรณ์และวิธีการ	25
อุปกรณ์	25
วิธีการ	30
ลำดับขั้นการทดลอง	32
ผลการวิจัยและวิจารณ์	34
1. ผลการทดลองเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1	35
1.1 การทดลองกับถังพักลมขนาด 300 ลิตร	35
1.2 การทดลองกับถังพักลมขนาด 360 ลิตร	48
1.3 การทดลองกับถังพักลมขนาด 600 ลิตร	49

สารบัญ (ต่อ)

1.4 การทดลองกับถังพักลมขนาด 660 ลิตร	50
2. ผลการทดลองเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2	55
2.1 การทดลองกับถังพักลมขนาด 300 ลิตร	55
2.2 การทดลองกับถังพักลมขนาด 360 ลิตร	56
2.3 การทดลองกับถังพักลมขนาด 600 ลิตร	57
2.4 การทดลองกับถังพักลมขนาด 660 ลิตร	58
3. ผลการทดลองเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3	62
3.1 การทดลองกับถังพักลมขนาด 300 ลิตร	62
3.2 การทดลองกับถังพักลมขนาด 360 ลิตร	63
3.3 การทดลองกับถังพักลมขนาด 600 ลิตร	64
3.4 การทดลองกับถังพักลมขนาด 660 ลิตร	65
สรุปและข้อเสนอแนะ	69
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	71
ภาคผนวก	72
ภาคผนวก ก	73
ภาคผนวก ข	81



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงขนาดของถังพักลมกับเครื่องอัดอากาศ	34
3.2	แสดงการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดัน สตาร์ท-สตอป	34
3.3	ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร	47
3.4	ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 1 ถึงพักลมขนาด 360 ลิตร	48
3.5	ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 1 ถึงพักลมขนาด 600 ลิตร	49
3.6	ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 1 ถึงพักลมขนาด 660 ลิตร	50
3.7	แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าใน 1 ชั่วโมง ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 1 ที่ร้อยละของการใช้ลมอัดและถังลมขนาดต่างๆ	52
3.8	ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 2 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร	55
3.9	ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 2 ถึงพักลมขนาด 360 ลิตร	56
3.10	ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 2 ถึงพักลมขนาด 600 ลิตร	57
3.11	ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 2 ถึงพักลมขนาด 660 ลิตร	58
3.12	แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าใน 1 ชั่วโมง ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 2 ที่ร้อยละของการใช้ลมอัดและถังลมขนาดต่างๆ	59
3.13	ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 3 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร	62
3.14	ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 3 ถึงพักลมขนาด 360 ลิตร	63

สารบัญตาราง (ต่อ)

3.15	ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เปอร์เซ็นต์การใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 3 ถึงพิกัดขนาด 600 ลิตร	64
3.16	ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เปอร์เซ็นต์การใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 3 ถึงพิกัดขนาด 660 ลิตร	65
3.17	แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าใน 1 ชั่วโมง ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 3 ที่เปอร์เซ็นต์การใช้ลมอัดและถึงขนาดต่างๆ	66



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แสดงระบบการใช้อากาศอัด	3
1.2 แสดงอุปกรณ์ให้กำลังขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศ	4
1.3 แผนผังแสดงชนิดของเครื่องอัดอากาศ	4
1.4 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ	5
1.5 เครื่องอัดอากาศแบบไดอะแฟรม	5
1.6 เครื่องอัดอากาศแบบใบพัดเลื่อน	6
1.7 เครื่องอัดอากาศแบบใบพัดหมุน	6
1.8 เครื่องอัดอากาศแบบสกรู	7
1.9 เครื่องอัดอากาศแบบกังหัน	7
1.10 การควบคุมแบบ สตาร์ท-สต๊อป	8
1.11 การควบคุมแบบระบายลมอัด	9
1.12 การควบคุมแบบปิด	9
1.13 ดึงพิกลอม	10
1.14 กราฟแสดงการหาขนาดดึงพิกลอม	11
1.15 ชุดขดลวดและรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่สเตเตอร์	12
1.16 ลักษณะการต่อขดลวดสเตเตอร์	12
1.17 ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้ามอเตอร์	14
1.18 แสดงลักษณะของเซอร์กิตเบรกเกอร์	15
1.19 แสดงลักษณะของฟิวส์	15
1.20 แสดงหน้าที่ของรีเลย์และคอนแทคเตอร์ควบคุม	16
1.21 โอเวอร์โวลทจรีเลย์	17
1.22 การต่อโอเวอร์โวลทจรีเลย์ร่วมกับคอนแทคเตอร์	17
1.23 วงจรสตาร์ทมอเตอร์โดยตรง	18
1.24 วงจรกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส	19
1.25 วงจรกำลังของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Y- Δ	20
1.26 วงจรควบคุมของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Y- Δ	21

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
1.27 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้ากับเวลา	22
1.28 แสดงกราฟการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ทำงานแบบ สตาร์ท-สต๊อป	23
1.29 การประมาณค่าอินทิเกรตโดยใช้กฎสี่เหลี่ยมคางหมู	24
2.1 เครื่องอัดอากาศที่ใช้ในการทดลอง	25
2.2 แสดงลักษณะของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของลม	26
2.3 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ตรวจวัดกำลังไฟฟ้า	26
2.4 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม Data Smart View	27
2.5 แสดงลักษณะเซ็นเซอร์วัดความดันลมอัด	27
2.6 แสดงลักษณะอุปกรณ์เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า	28
2.7 แสดงลักษณะชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด	28
2.8 แสดงคอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล	29
2.9 แสดงวงจรระบบลมอัด	30
2.10 แสดงวงจรควบคุมเครื่องอัดอากาศและตำแหน่งการติดตั้งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า	31
3.1 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 20 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 6 และ 7 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร	35
3.2 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 40 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 6 และ 7 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร	36
3.3 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 60 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 6 และ 7 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร	36
3.4 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 80 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 6 และ 7 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร	37
3.5 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 20 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 6 และ 8 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร	37
3.5 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 40 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 6 และ 8 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศตัวที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร	38

ภาพผนวกที่

ก.1	รายละเอียดอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า	74
ก.2	รายละเอียดอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า (ต่อ)	75
ก.3	รายละเอียดอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า (ต่อ)	76
ก.4	รายละเอียดอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า (ต่อ)	77
ก.5	รายละเอียดอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า (ต่อ)	78
ก.6	รายละเอียดอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า (ต่อ)	79
ก.7	รายละเอียดทางเทคนิคของเซ็นเซอร์วัดความดันลมอัด	80



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CP	=	Comparator
CT	=	Current Transformer
D.C.V.	=	Directional Control Valve
E	=	Energy
F	=	Fuse
HP	=	Horse Power
hr	=	Hours
HRC	=	High Rupture Capacity Fuse
I	=	Current
kg/cm ²	=	Kilogram per square centimeter
kW	=	Kilowatt
kWh	=	Kilowatt Hour
L	=	Voltage Line
lps	=	Litre per Second
LPM	=	Litre per Minute
m ³ /min	=	Cubic Meter per Minute
N	=	Neutron Line
OL	=	Over Load
P	=	Power
PS	=	Pressure Sensor
t	=	Time
V	=	Voltage
Y	=	Star
Δ	=	Delta

การศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการควบคุมปั๊มลมแบบสตาร์ท-สตอป

Electrical Energy Saving Study in Start-Stop Control of Air Compressor

คำนำ

ในปัจจุบันนี้พลังงานลมอัดถูกนำมาใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากการได้เปรียบเชิงกลของอุปกรณ์ที่ใช้ลมอัดทำให้เกิดงานในแนวเส้นตรง เมื่อเทียบกับอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานรูปแบบอื่น เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น เครื่องจักรที่ใช้งานในอุตสาหกรรมในปัจจุบันนี้ ส่วนใหญ่ต้องประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ลมอัด เพราะฉะนั้นโรงงานอุตสาหกรรมทุกแห่ง ต้องมีเครื่องอัดอากาศเพื่อผลิตลมอัดให้กับเครื่องจักรที่ต้องใช้ลมอัดเหล่านั้น นอกจากโรงงานอุตสาหกรรมแล้ว ยังมีสถานที่อื่นๆ อีกมากมายที่ต้องใช้ลมอัด เช่น อู่ซ่อมรถ, โรงพยาบาล, สถานศึกษา หรือแม้แต่ห้างสรรพสินค้าก็ยังต้องใช้ลมอัด และเนื่องจากปัจจุบันนี้ยังไม่มีใครสามารถให้คำแนะนำได้ว่า การควบคุมเครื่องอัดอากาศแบบ Start-Stop นั้น ควรตั้งค่าความดันเท่าใดในการควบคุมให้เครื่องอัดอากาศ ตัด-ต่อ การทำงาน เพื่อให้ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าเนื่องจากการใช้เครื่องอัดอากาศให้มากที่สุด ทางคณะผู้วิจัยจึงได้คิดทำงานวิจัยนี้ขึ้น เพื่อให้เกิดประโยชน์กับผู้ที่ต้องใช้เครื่องอัดอากาศและช่วยชาติประหยัดพลังงานอีกทางหนึ่งด้วย

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อช่วยประหยัดค่ากระแสไฟฟ้าเนื่องจากการใช้เครื่องอัดอากาศ
2. ช่วยส่งเสริมให้ทุกคนมีความตระหนักในการประหยัดพลังงาน
3. ช่วยลดพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าของประเทศ
4. เป็นแนวทางในการวิจัยเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม

ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาและทดลองจากเครื่องอัดอากาศ 3 ขนาด และตั้งเก็บลม 4 ขนาด
2. ใช้มอเตอร์แบบ 3 เฟส ขับเครื่องอัดอากาศ
3. ศึกษาและทดลองจากการใช้พลังงานลมอัด เริ่มจากร้อยละ 20, 40, 60 และ 80 ของ

ความสามารถผลิตลมอัดของเครื่องอัดอากาศ

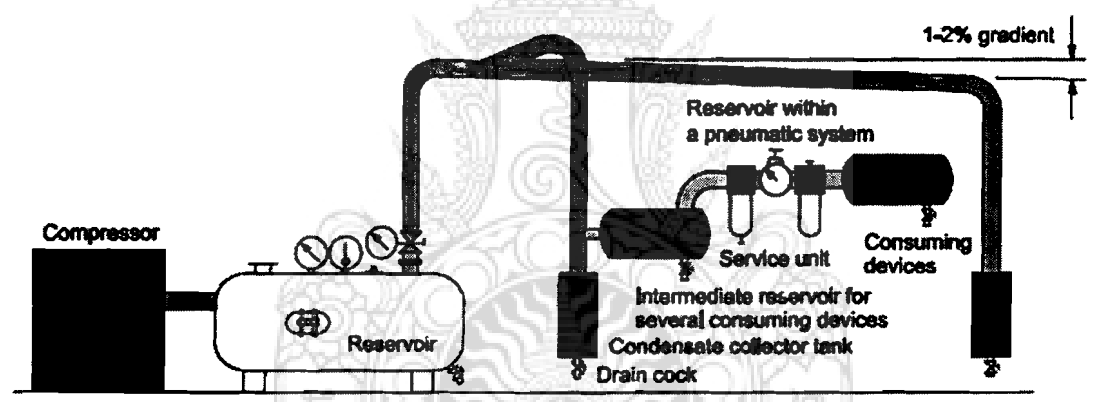
4. ศึกษาและทดลองการ ตัด-ต่อ การทำงานของเครื่องอัดอากาศ ในช่วงความดัน 6-7, 6-8, 6-9, 7-8, 7-9 และ 8-9 บาร์



การตรวจเอกสาร

อากาศอัดเป็นสารตัวกลางในการเปลี่ยนกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังงานกล เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องจักรให้ทำงานได้ตามที่ต้องการ ซึ่งในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท ได้นำอากาศอัดเข้ามามีบทบาทสำคัญ เช่น เครื่องจักรในงานประกอบชิ้นส่วนต่างๆ การบรรจุหีบห่อ และเครื่องจักรอัตโนมัติในกระบวนการผลิตต่างๆ เป็นต้น

ระบบอากาศอัดจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ หลายส่วนด้วยกัน คือ ระบบผลิตอากาศอัด ระบบการจัดเก็บ ระบบปรับปรุงสภาพอากาศอัด และระบบส่งจ่ายอากาศอัด เป็นต้น แต่ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะระบบการผลิตอากาศอัดและระบบการจัดเก็บเท่านั้น



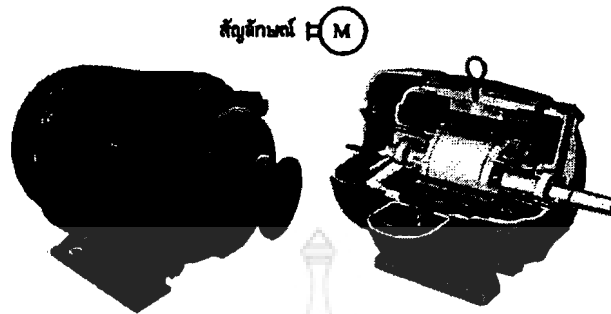
ภาพที่ 1.1 แสดงระบบการใช้อากาศอัด (Peter Croser, 2002)

1. ระบบการผลิตอากาศอัด

ส่วนการผลิตอากาศอัดนั้นถือว่าเป็นหัวใจของระบบนิวแมติกส์ มีหน้าที่อัดอากาศให้ได้ความดันตามที่ต้องการและปริมาณเพียงพอต่อการใช้งาน ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ทำงานร่วมกันอยู่ 3 ส่วนคือ

1.1 อุปกรณ์ให้กำลัง (Drive Equipment)

อุปกรณ์ที่ใช้ขับเคลื่อนอัดอากาศขึ้นอยู่กับความสะดวกของสถานที่ทำงานคือใช้เครื่องยนต์ในงานสนาม หรือใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในโรงงาน



ภาพที่ 1.2 แสดงอุปกรณ์ให้กำลังขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศ

1.2 เครื่องอัดอากาศ (Compressor)

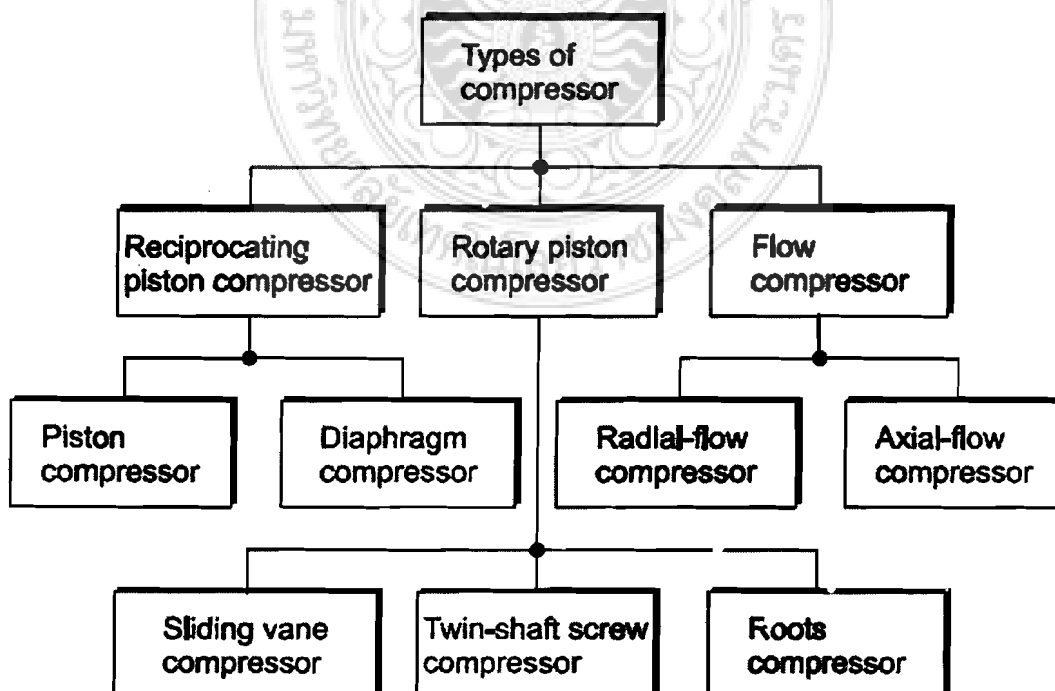
เครื่องอัดอากาศทำหน้าที่ผลิตลมอัดให้ได้ความดันตามที่ต้องการ โดยจะดูดอากาศที่มีความดันบรรยากาศแล้วอัดให้มีความดันเพิ่มสูงขึ้น ลมอัดที่ผลิตได้จะถูกเก็บไว้ในถังพักลมอัดก่อนที่จะจ่ายให้กับระบบ เครื่องอัดอากาศที่ใช้ทั่วไปมีอยู่หลายขนาด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปริมาณลมอัดและความดันที่ผลิตได้ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1.2.1 เครื่องอัดลมแบบลูกสูบ เช่น แบบลูกสูบและแบบไดอะแฟรม เป็นต้น

1.2.2 เครื่องอัดลมแบบลูกสูบหมุน เช่น แบบสกรู แบบใบพัดและแบบรุต เป็นต้น

1.2.3 เครื่องอัดลมแบบกังหัน เช่น แบบกระแสน้ำไหลในแนวรัศมี

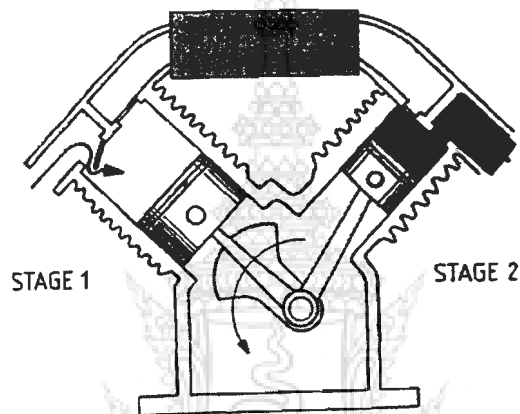
(Radial Flow) และแบบกระแสน้ำไหลในแนวแกน (Axial Flow) เป็นต้น



ภาพที่ 1.3 แผนผังแสดงชนิดของเครื่องอัดอากาศ (Peter Croser, 2002)

เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ (Piston Compressor)

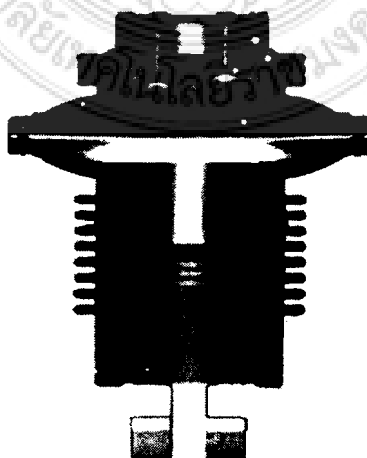
เป็นเครื่องอัดลมที่นิยมใช้กันมากที่สุด เพราะสามารถผลิตลมอัดได้ตั้งแต่ความดันต่ำจนถึงความดันสูง โดยขึ้นอยู่กับจำนวนขั้นของการอัด (Stage) การทำงานอาศัยการเคลื่อนที่ขึ้นลงของลูกสูบ ทำให้เกิดการดูดและการอัดขึ้นภายในกระบอกสูบ จึงทำให้มีความดันเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งปกติความดันลมอัดที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมประมาณ 6 บาร์



ภาพที่ 1.4 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ

เครื่องอัดอากาศแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Compressor)

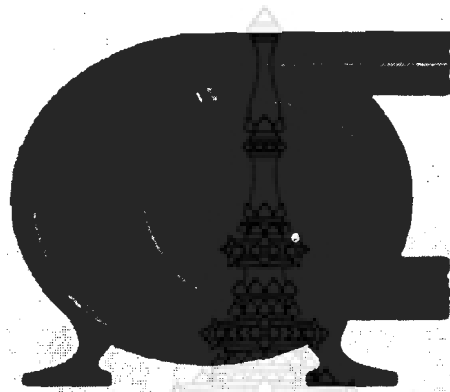
ในกรณีที่เราต้องการลมอัดที่ไม่มีสิ่งเจือปน เช่น น้ำมันหล่อลื่น เครื่องอัดอากาศชนิดนี้ส่วนใหญ่เหมาะสำหรับใช้ใน โรงงานผลิตอาหาร เคมีภัณฑ์และยารักษาโรค



ภาพที่ 1.5 เครื่องอัดอากาศแบบไดอะแฟรม

เครื่องอัดอากาศแบบใบพัดเลื่อน (Slide Vane Rotary Compressor)

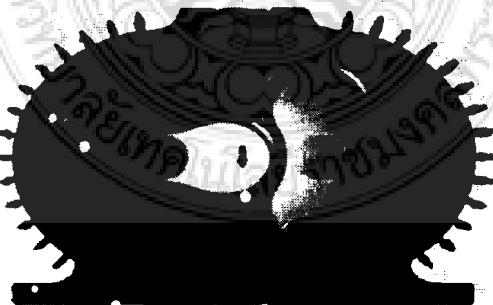
การทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบนี้มีเสียงไม่ดัง การผลิตส่งลมอัดคงที่ไม่มีเป็นห้วงๆ อัตราการจ่ายลมสามารถทำได้ตั้งแต่ 4-100 m³/min



ภาพที่ 1.6 เครื่องอัดอากาศแบบใบพัดเลื่อน

เครื่องอัดอากาศแบบใบพัดหมุน (Roots Compressor)

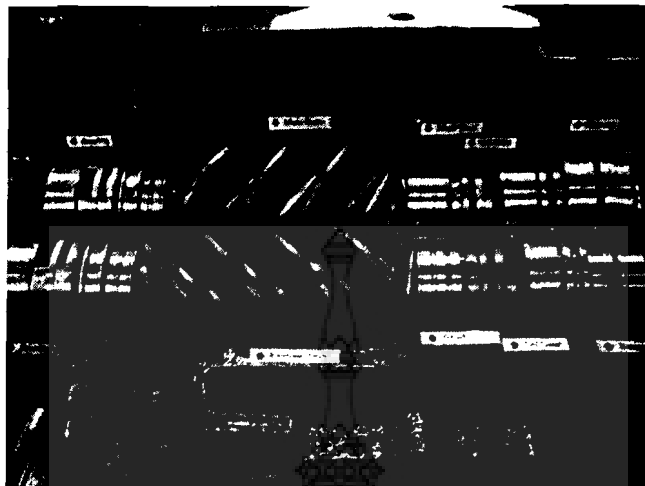
การทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบนี้มีเสียงไม่ดังอากาศจะถูกรีดจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง โดยที่ไม่ถูกเปลี่ยนแปลงปริมาณแต่อากาศจะถูกอัดตัวดันกับความดันทานที่เกิดขึ้นอีกด้านหนึ่งซึ่งหมายถึงอากาศที่ถูกอัดเก็บอยู่ภายในถึงเก็บนั่นเอง



ภาพที่ 1.7 เครื่องอัดอากาศแบบใบพัดหมุน

เครื่องอัดอากาศแบบสกรู (Screw Compressor)

เครื่องอัดอากาศแบบนี้มีเพลลาอยู่ 2 แกนเพลลาตัวหนึ่งมีฟันสกรู และเพลลาอีกอันหนึ่งมีฟันสกรูเว้าวางขบกันและมีทิศทางการหมุนเข้าหากันซึ่งดูดอัดลมจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง มีอัตราการจ่ายลมได้ถึง 170 m³/min และให้ความดันถึง 10 bar



ภาพที่ 1.8 เครื่องอัดอากาศแบบสกรู

เครื่องอัดอากาศแบบกังหัน (Flow Compressor)

เครื่องอัดอากาศแบบนี้ใช้หลักการของกังหันใบพัดซึ่งลมถูกดูดผ่านใบกังหันจะถูกเปลี่ยนจากพลังงานจลน์เป็นพลังงานกลให้อัตราการจ่ายลมตั้งแต่ 170 ถึง 20,000 m³/min และให้ความดันได้ไม่สูงนักประมาณ 4 - 10 bar



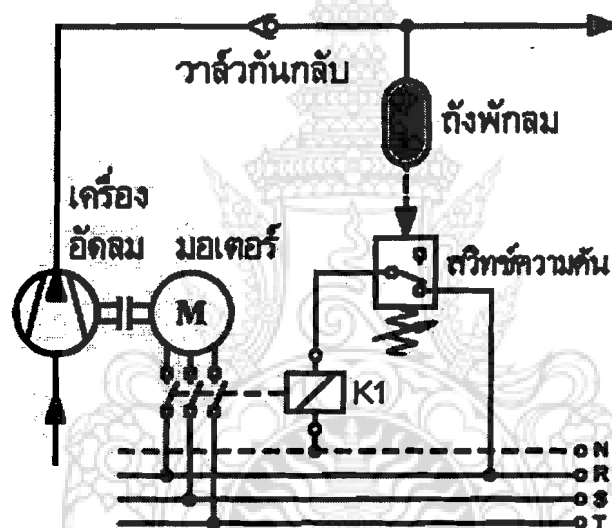
ภาพที่ 1.9 เครื่องอัดอากาศแบบกังหัน

2. การควบคุมเครื่องอัดอากาศ (ปานเพชร ชินินทร และคณะ, 2539)

เนื่องจากอากาศอัดมีความจำเป็นมากในการใช้งาน ระบบอากาศอัดจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมเครื่องอัดอากาศ ให้ผลิตลมอัด ให้มีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการ การควบคุมทำได้หลายแบบทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องอัดอากาศซึ่งมี 2 แบบ คือ

2.1 การควบคุมแบบ สตาร์ท-สต๊อป

การควบคุมวิธีนี้เหมาะกับเครื่องอัดอากาศขนาดเล็ก มอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศ จะถูกควบคุมการสตาร์ทและหยุด โดยผ่านสวิทช์ความดัน (Pressure Switch) ที่ต่ออยู่บนถังพักลม



ภาพที่ 1.10 การควบคุมแบบ สตาร์ท-สต๊อป

การทำงานของวงจรควบคุมเริ่มจากเมื่อความดันลมในถังพักลมต่ำลง สวิทช์ความดันจะต่อกระแสไฟฟ้าให้กับรีเลย์ K1 หน้าสัมผัสของรีเลย์ K1 ก็จะต่อกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศทำงาน เครื่องอัดอากาศทำงานอัดอากาศเข้าถังพักลมจนถึงค่าความดันที่กำหนด ความดันลมจากถังพักลมจะดันสวิทช์ความดันให้ตัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับรีเลย์ K1 ทำให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ K1 ตัดกระแสไฟฟ้าที่ให้กับมอเตอร์ของเครื่องอัดอากาศ สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษาการประหยัดพลังงานจากการควบคุมแบบนี้เท่านั้น

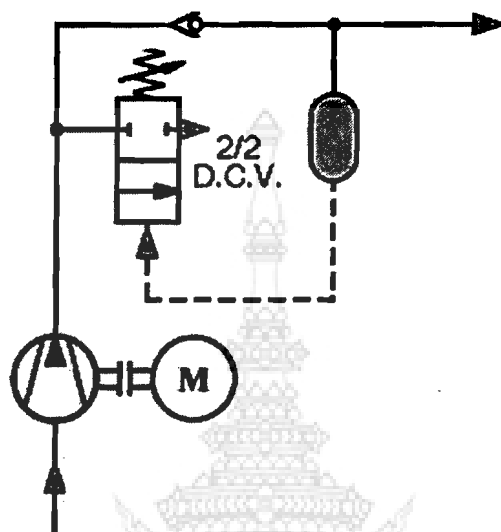
2.2 การควบคุมแบบ Unloading Regulation

การควบคุมแบบนี้แบ่งลักษณะการควบคุมได้เป็น 2 แบบด้วยกันคือ

- การควบคุมแบบระบายลมอัด

การควบคุมวิธีนี้เหมาะกับเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่ โดยอาศัยความดันลมจากถัง

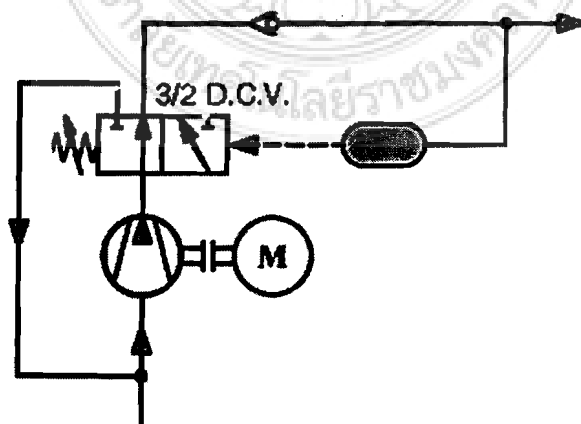
พิกัดที่สูงขึ้นจนถึงจุดที่กำหนดไว้ทำให้วาล์ว 2/2 D.C.V. เปิดระบายลมจากเครื่องอัดอากาศออกสู่บรรยากาศ แต่มอเตอร์จะทำงานอยู่ตลอดเวลา



ภาพที่ 1.11 การควบคุมแบบระบายลมอัด

การทำงานของวงจรควบคุม เริ่มจากเมื่อความดันลมในถังพิกัดต่ำลงแรงสปริงของวาล์ว 2/2 D.V.C. เอาชนะแรงดันลมดันลิ้นวาล์วให้ปิดเพื่อให้เครื่องอัดอากาศ อัดลมเข้าถังพิกัด จนถึงค่าความดันที่กำหนด แรงดันลมจากถังพิกัดเอาชนะแรงสปริงของวาล์ว 2/2 D.C.V. เลื่อนวาล์วให้เปิด ลมจากเครื่องอัดอากาศถูกอัดออกสู่บรรยากาศแทนที่จะอัดเข้าถังพิกัดช่วงจังหวะนี้โหลดของมอเตอร์จะลดลงทำให้มอเตอร์กินกระแสไฟฟ้าลดลงด้วย

- การควบคุมแบบปิด



ภาพที่ 1.12 การควบคุมแบบปิด

การทำงานของวงจรควบคุมเริ่มจากเมื่อความดันลมในถังพักลมต่ำ แรงจากสปริงของวาล์ว 3/2 D.C.V. เอาชนะแรงคืนลม เปลี่ยนทางลมให้อัดเข้าถังพักลม เครื่องอัดอากาศทำการอัดลมเข้าถังพักลมจนถึงค่าความดันที่กำหนดความดันจากถังพักลมเอาชนะแรงสปริงของวาล์ว 3/2 D.C.V. เปลี่ยนทางลมเข้าและออกของเครื่องอัดอากาศให้วนถึงกัน

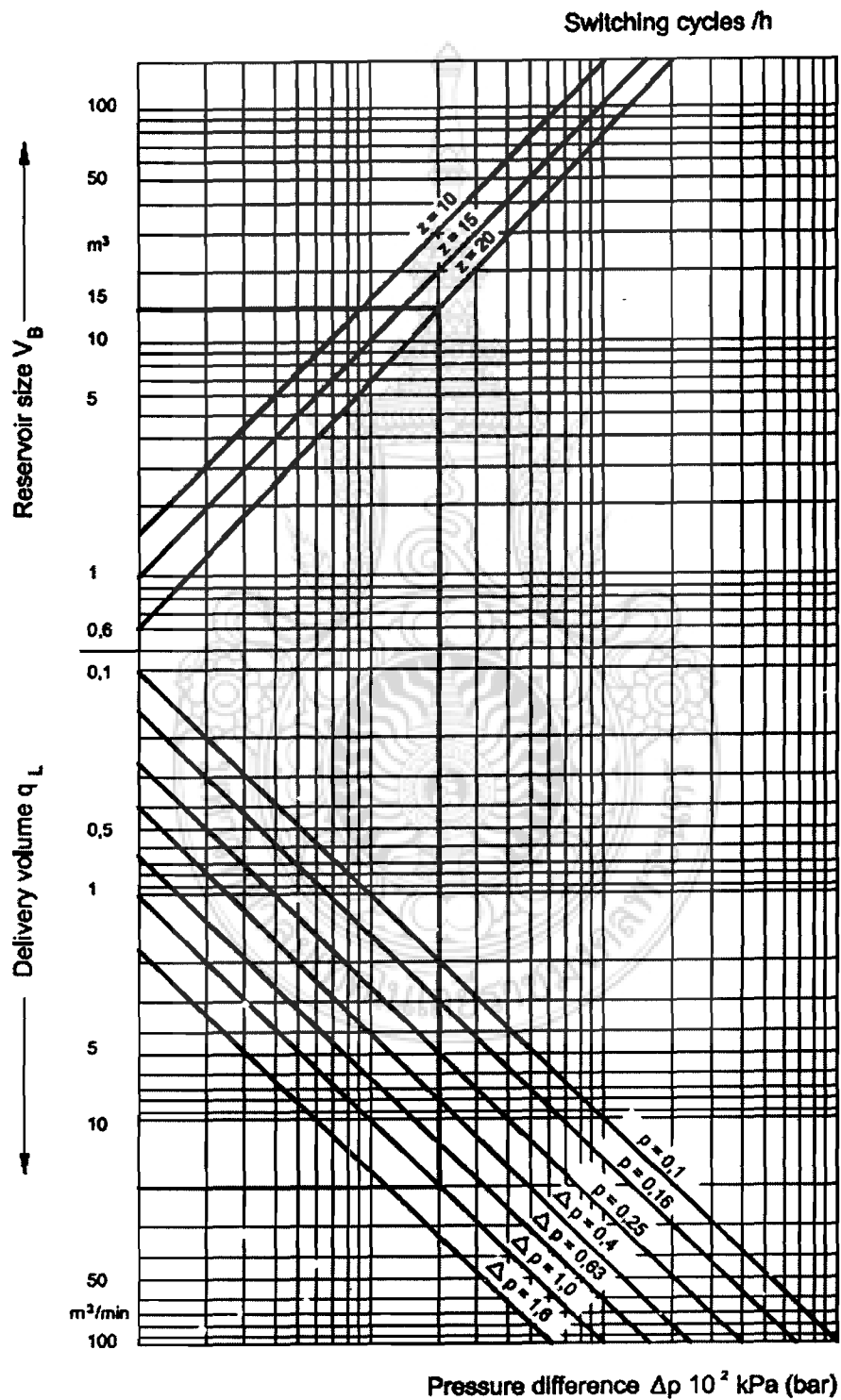
3. ส่วนการจัดเก็บลมอัด (ประวิตร ติมปะวัฒนะ, 2540)

ถังพักลมอัด มีหน้าที่เก็บปริมาณลมอัดที่ผลิตได้จากเครื่องอัดลม ให้มีปริมาณลมอัดที่เพียงพอกับการจ่ายให้กับระบบและยังช่วยรักษาระดับความดันให้คงที่ นอกจากนี้ยังช่วยในการระบายความร้อนของลมอัด ซึ่งจะทำให้ไอน้ำที่ผสมเข้ามากับลมอัดเกิดการควบแน่นเป็นน้ำอยู่ในถังพัก และสามารถระบายน้ำออกได้ที่วาล์วระบายด้านล่าง จึงทำให้ลมอัดมีความแห้งระดับหนึ่ง โดยทั่วไปขนาดของถังพักลมอัดจะขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องอัดลมและปริมาณลมที่ใช้ในระบบ ซึ่งถังพักลมอัดจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ เช่น เกจวัดความดัน วาล์วนิรภัย สวิตช์ความดัน เป็นต้น ลักษณะของถังพักลมอัดจะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ถังพักลมอัดแบบวางแนวตั้ง จะใช้กับเครื่องอัดลมขนาดใหญ่ที่ต้องการปริมาณลมอัดมากๆ ซึ่งจะติดตั้งแยกออกจากเครื่องอัดลม ส่วนถังพักลมอัดแบบวางแนวนอน จะใช้กับเครื่องอัดลมขนาดเล็ก โดยตัวเครื่องอัดลมและถังพักลมจะรวมอยู่เป็นชุดเดียวกัน



ภาพที่ 1.13 ถังพักลม

การหาขนาดถังพักลมขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของสามส่วน คือ ปริมาณลมอัดที่จ่ายออกไปใช้งาน, ค่าความแตกต่างของความดันในถังพักลม และ จำนวนครั้งในการตัดต่อของมอเตอร์ไฟฟ้าต่อชั่วโมง



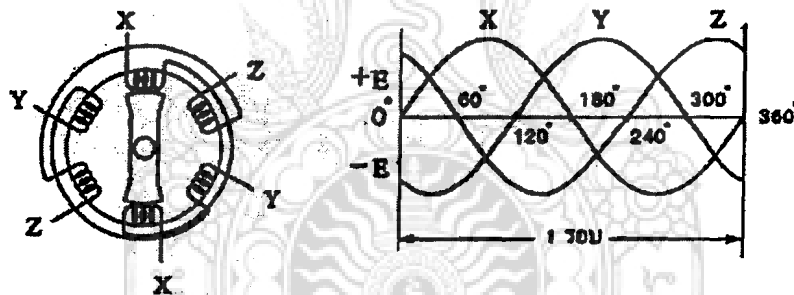
ภาพที่ 1.14 กราฟแสดงการหาขนาดถังพักลม (Peter Croser, 2002)

จากภาพที่ 1.14 หากต้องการหาขนาดถังพักลมนั้นต้องทราบข้อมูล 3 อย่างด้วยกัน ตัวอย่างเช่น เครื่องอัดอากาศผลิตลมอัดได้ $20 \text{ m}^3/\text{min}$, ความดันแตกต่างในถังพักลม 1 bar และ จำนวนครั้งในการตัดต่อของมอเตอร์ไฟฟ้า 20 ครั้งต่อชั่วโมง สามารถหาขนาดของถังพักลมได้ ขนาด 15 ลูกบาศก์เมตร เป็นต้น

4. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (พรจิต ประทุมสุวรรณ, 2540)

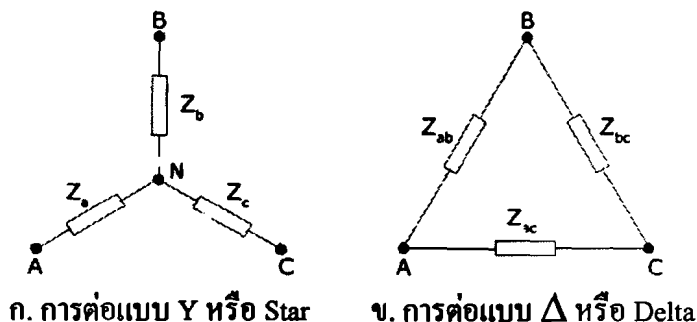
มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์สำหรับขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศ ในงานวิจัยนี้มอเตอร์ที่ใช้จะเป็น แบบกระแสสลับสามเฟส จึงขอกกล่าวถึงเฉพาะมอเตอร์แบบนี้เท่านั้น

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส ที่สเตเตอร์จะมีขดลวด 3 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะวางห่างกัน 120° องศา ทั้งทางกลและทางไฟฟ้า และเมื่อป้อนกระแสไฟฟ้าสลับสามเฟสเข้าไปจะทำให้เกิด สนามแม่เหล็กหมุนขึ้น



ภาพที่ 1.15 ชุดขดลวดและรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าที่สเตเตอร์

ในการต่อชุดขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์สามเฟสเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถกระทำได้ 2 วิธี คือการต่อแบบ Y หรือ Star กับการต่อแบบ Δ หรือ Delta ดังรูป



ก. การต่อแบบ Y หรือ Star

ข. การต่อแบบ Δ หรือ Delta

ภาพที่ 1.16 ลักษณะการต่อขดลวดสเตเตอร์

การต่อขดลวดทั้งสองวิธี จะเห็นได้ว่าไม่ว่าเป็นวิธีใดก็ตาม จะเหลือสายไฟเพียงสามเส้นเท่านั้นสำหรับการต่อกับแหล่งจ่ายไฟ และความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสไฟของการต่อในแต่ละแบบสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{การต่อแบบ } Y: \quad V_L = \sqrt{3} \cdot V_p \quad (1)$$

$$I_L = I_p \quad (2)$$

$$\text{การต่อแบบ } \Delta: \quad V_L = V_p \quad (3)$$

$$I_L = \sqrt{3} I_p \quad (4)$$

เมื่อ	V_L	=	แรงดันระหว่างสายคู่ใดคู่หนึ่ง
	I_L	=	กระแสระหว่างสายคู่ใดคู่หนึ่ง
	V_p	=	แรงดันระหว่างสายกับจุดร่วมของการต่อขดลวด
	I_p	=	กระแสระหว่างสายกับจุดร่วมของการต่อขดลวด

4.1 วงจรไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์

ระบบควบคุมไฟฟ้าของมอเตอร์ที่มีความสมบูรณ์ เป็นสิ่งที่จำเป็นและต้องการอย่างมาก โดยส่วนประกอบที่สำคัญสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1.17

4.1.1 สายไฟสำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ามอเตอร์

สายไฟที่ใช้สำหรับต่อเข้ากับมอเตอร์นั้น จะต้องมีขนาดทนกระแสไม่ต่ำกว่า 125% หรือ 1.25 เท่าของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์ แต่ทั้งนี้ต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 2.5 มม. พิกัดกระแสมอเตอร์ (Rated Motor Current) หมายถึง ปริมาณกระแสของมอเตอร์ในขณะที่ทำงานที่พิกัดโหลด แรงดันและความถี่ตามกำหนด ซึ่งค่าที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ในการหาขนาดของตัวนำหรือสายไฟ สวิตช์ อุปกรณ์ป้องกันการลัดวงจร พิกัดกระแสของมอเตอร์นี้สามารถคำนวณหาค่าได้ด้วยสมการ หรือสังเกตบนแผ่นป้ายที่ตัวมอเตอร์

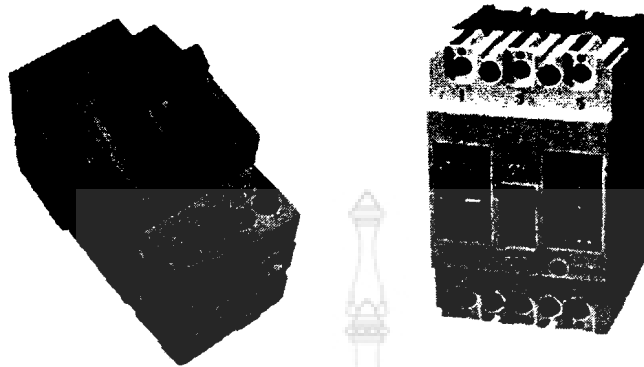


ภาพที่ 1.17 ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้ามอเตอร์

4.1.2 อุปกรณ์ปลดวงจร

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตัดต่อไฟจากแหล่งจ่ายภายนอก กับส่วนที่จะส่งไปยังมอเตอร์ ซึ่งโดยมากจะใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker)

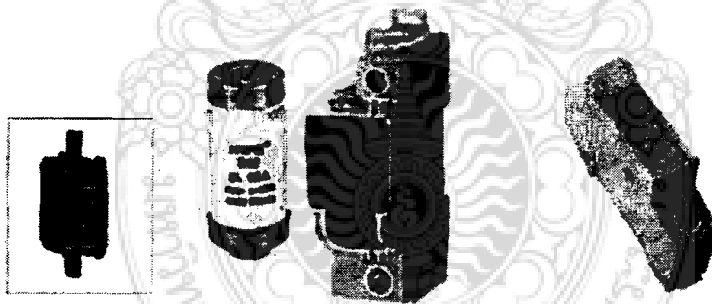
นอกจากนี้เซอร์กิตเบรกเกอร์ยังถือว่าเป็นอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าอีกชนิดหนึ่ง ที่คอยตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อเกิดการใช้กระแสไฟมากกว่าปกติ ซึ่งในกรณีที่นำมาใช้ในวงจรควบคุมมอเตอร์จะมีค่าไม่เกิน 115% หรือ 1.15 เท่า ของพิกัดกระแสโหลดเต็มที่ของมอเตอร์



ภาพที่ 1.18 แสดงลักษณะของเซอร์กิตเบรกเกอร์

4.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันการลัดวงจร

ฟิวส์ที่ใช้ในวงจรควบคุมและวงจรกำลัง จะเป็นฟิวส์แรงดันต่ำที่เรียกว่า ปลั๊กฟิวส์ ซึ่งมีขนาดและรูปร่างหลายแบบ ฟิวส์ดังกล่าวเป็นแบบ HRC ฟิวส์ (High Rupture Capacity Fuse) ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถตัดกระแสลัดวงจรจำนวนมากๆ ได้อย่างปลอดภัย

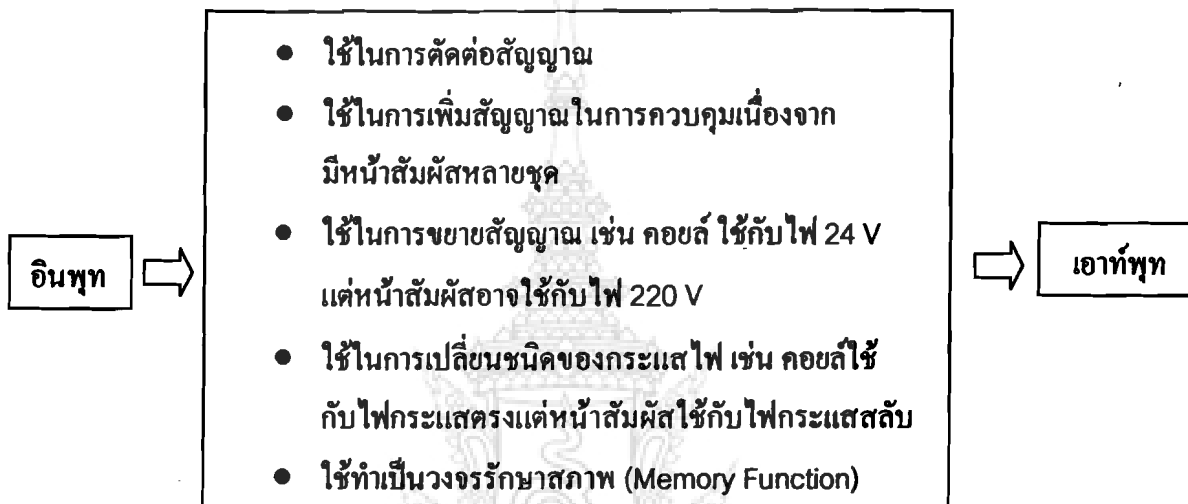


ภาพที่ 1.19 แสดงลักษณะของฟิวส์

ขนาดของฟิวส์จะต้องมีคุณสมบัติทนกระแสในช่วงสตาร์ทได้ โดยมีค่าอัตรากระแสสูงเป็น 3 เท่าของกระแสมอเตอร์ ขณะรับโหลดเต็มที่เมื่อมอเตอร์นั้นเป็นมอเตอร์กระแสสลับเฟสเดียว หรือสามเฟสที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก หรือเป็นซิงโครนัสมอเตอร์ และมีค่าอัตรากระแสสูง เป็น 1.5 เท่าของกระแสมอเตอร์ขณะรับโหลดเต็มที่เมื่อมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบขลวดหรือมอเตอร์กระแสตรง ปัจจุบันฟิวส์แบบนี้ไม่ค่อยนิยมมาใช้ในวงจรกำลังมากนัก โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์จะเข้ามาแทนที่เนื่องจากกรณีที่มีกระแสลัดวงจรได้ฟิวส์ของปลั๊กฟิวส์จะขาดต้องเปลี่ยนใหม่ แต่ในวงจรควบคุมที่กระแสไม่มากนักก็ยังคงนิยมใช้กันอยู่

4.1.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม

พื้นฐานของการควบคุมมอเตอร์แบบเปิด - ปิด (On - Off) นั้น โดยทั่วไปจะนำเอารีเลย์ และคอนแทคเตอร์มาใช้ในการควบคุมและสั่งงาน ซึ่งหน้าที่ที่สำคัญ ๆ พอสรุปได้ดังนี้



ภาพที่ 1.20 แสดงหน้าที่ของรีเลย์และคอนแทคเตอร์ควบคุม

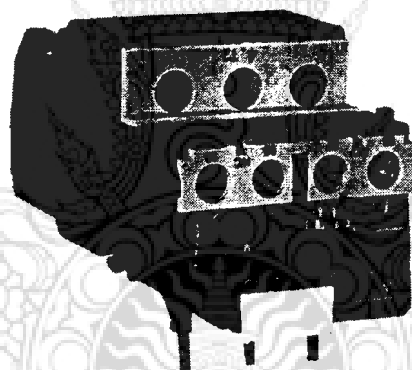
ข้อดีของการใช้รีเลย์และคอนแทคเตอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สวิตช์กำลังแบบอื่น พองจะจำแนกออกเป็นหัวข้อได้ดังนี้

- ให้ความปลอดภัยสำหรับผู้ควบคุม เนื่องจากการตัดต่อของวงจรกำลังที่จ่ายไฟให้กับมอเตอร์มีกระแสค่อนข้างสูง แต่ในที่นี้สามารถใช้กระแสหรือแรงดันต่ำ ๆ ไปควบคุมคอยล์ของคอนแทคเตอร์ ทำให้เกิดการตัดต่อในวงจรกำลังแทนการสับสวิตช์ด้วยมือโดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถย้ายจุดควบคุมไปอยู่ในที่ที่ปลอดภัยและห่างจากวงจรกำลังได้
- ให้ความสะดวกรวมทั้งสามารถเพิ่มเติมเงื่อนไข ในการควบคุมได้มากขึ้น เพราะสามารถต่อร่วมกับอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ เช่น สวิตช์ปุ่มกดแบบต่าง ๆ สวิตช์ความดัน สวิตช์อุณหภูมิ สวิตช์ ฯลฯ
- ประหยัด เมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมด้วยมือ ในกรณีที่มอเตอร์อยู่ห่างจากแหล่งจ่ายไฟและจุดควบคุม เนื่องจากสายไฟที่จ่ายให้ให้กับมอเตอร์มีขนาดใหญ่ และราคาสูงกว่าสายไฟที่ใช้ในวงจรควบคุม

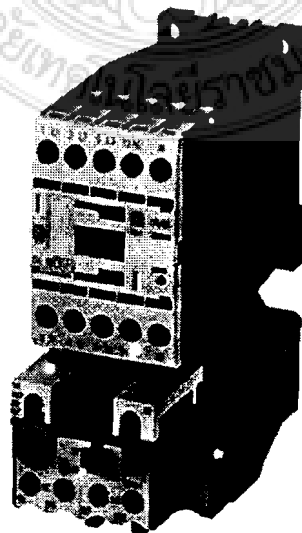
4.1.5 อุปกรณ์ป้องกันการใช้งานเกินกำลังของมอเตอร์

กรณีที่ต่อสายไฟจากคอนแทคเตอร์เข้าสู่มอเตอร์โดยตรง หากมอเตอร์มีการทำงานเกินกำลังหรือมอเตอร์ใช้กระแสไฟมากกว่าปกติ อาจทำให้มอเตอร์ไหม้ได้ จึงมีการนำเอาโอเวอร์โหลดรีเลย์มาต่อไว้ก่อนจ่ายไฟเข้ามอเตอร์ โดยทั่วๆ ไปแล้ว โอเวอร์โหลดรีเลย์นิยมทำเป็นแบบ ไบเมทอล (Thermal Overload Relay) ซึ่งใช้กระแสที่ไหลผ่านเป็นตัวควบคุมอีกทีหนึ่ง การตัดวงจรอาศัยการงอตัวของไบเมทอลขณะร้อนเนื่องจากกระแสไหลมาก และจะกลับมาต่อวงจรอีกครั้งเมื่อไบเมทอลเย็นตัวลง

โอเวอร์โหลดรีเลย์มีอยู่ 2 แบบ คือ เมื่อองศาแล้วจะกลับมาอยู่ในตำแหน่งเดิมเมื่อเย็นตัวลง กับแบบมีรีเซ็ตคือ เมื่อตัดวงจรไปแล้ว คอนแทคเตอร์จะถูกล็อกเอาไว้ ถ้าต้องการให้ทำงานอีกครั้งทำได้โดยกดปุ่มรีเซ็ตให้คอนแทคกลับมาต่อวงจรเหมือนเดิม



ภาพที่ 1.21 โอเวอร์โหลดรีเลย์



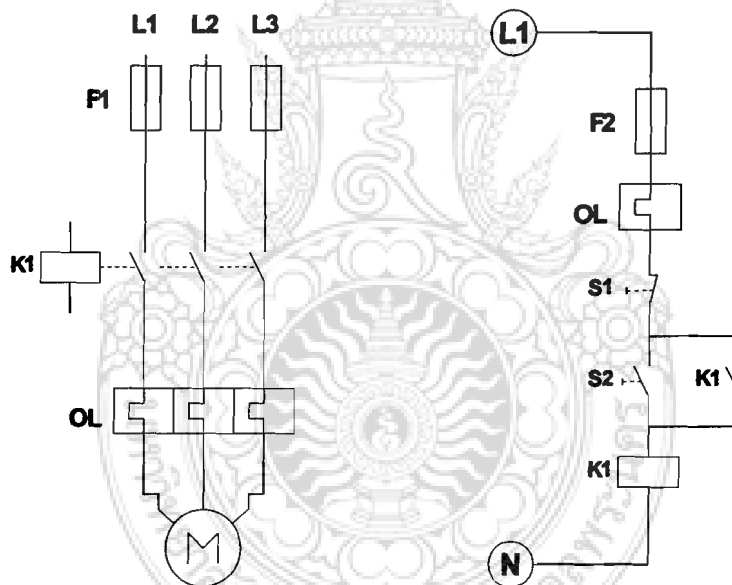
ภาพที่ 1.22 การต่อ โอเวอร์โหลดรีเลย์ร่วมกับคอนแทคเตอร์

4.2 การควบคุมมอเตอร์

การควบคุมมอเตอร์นั้นมีหลายวิธีด้วยกันทั้งนี้จะเลือกใช้แบบใดขึ้นอยู่กับความต้องการของลักษณะงาน และความเหมาะสม ในที่นี้จะขอกกล่าวถึงการควบคุมมอเตอร์เพียง 3 แบบเท่านั้น คือ การสตาร์ทมอเตอร์โดยตรง, การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส และ การสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์-เดลต้า (Y- Δ)

4.2.1 การสตาร์ทมอเตอร์โดยตรง

การควบคุมด้วยวิธีนี้จะใช้กับมอเตอร์ขนาดเล็กตั้งแต่ 0.5 HP ขึ้นไปแต่ไม่ควรเกิน 5 HP เนื่องจากมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่หรือมีแรงม้าสูงจะใช้กระแสสูง จึงต้องสตาร์ทด้วยวิธีอื่นแทน

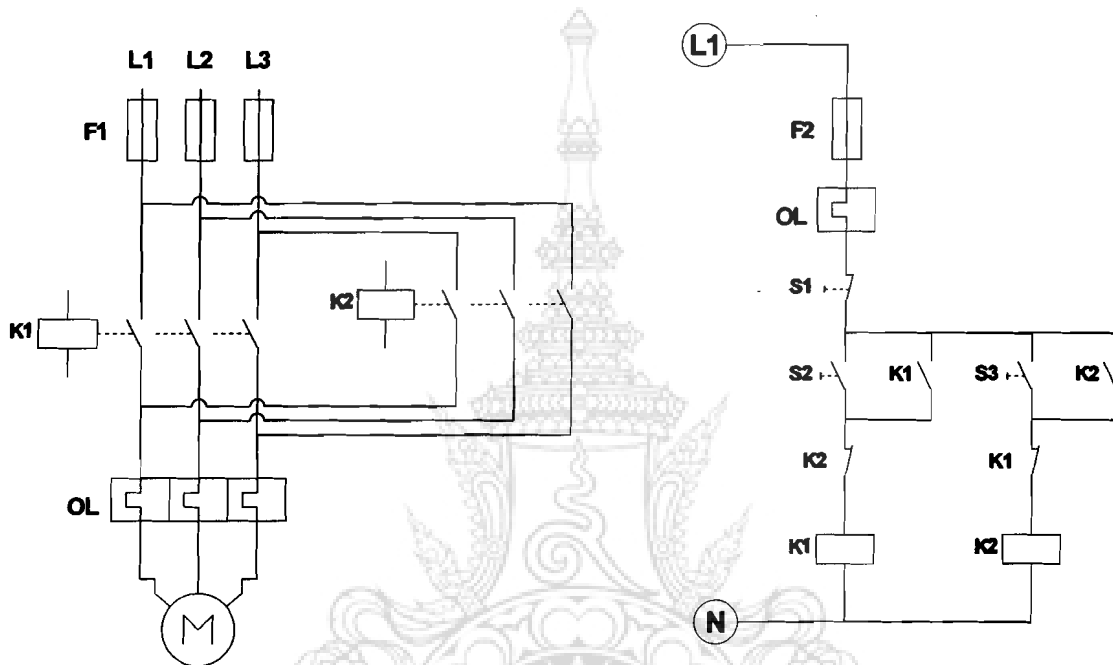


ภาพที่ 1.23 วงจรสตาร์ทมอเตอร์โดยตรง

จากภาพที่ 1.23 K1 ในวงจรกำลังและวงจรควบคุม ก็คือคอนแทคเตอร์ตัวเดียวกัน ดังนั้น หากกด S2 กระแสไฟจาก L1 จะไหลผ่านฟิวส์ F2 โอเวอร์โวลต์ (OL) สวิตช์หยุด S1 ผ่านคอยล์ของคอนแทคเตอร์ K1 ครบวงจรที่นิวตรอน (N) คอนแทคเตอร์ K1 ทำงาน เมื่อคอนแทคเตอร์ K1 ทำงานจะทำให้หน้าสัมผัสทั้งหมดที่เป็นของ K1 เปลี่ยนตำแหน่งจากปิดเป็นเปิด และเปิดเป็นปิด ในวงจรกำลังหน้าสัมผัสจึงต่อไฟผ่านโอเวอร์โวลต์เข้าไปยังมอเตอร์ทำให้มอเตอร์เริ่มทำงาน ส่วนในวงจรควบคุมหน้าสัมผัสของ K1 ในแถวที่ 2 จะต่อวงจร ดังนั้นหากปล่อยมือจากสวิตช์ S2 คอนแทคเตอร์ K1 ก็ยังคงทำงานอยู่ นอกจากจะกดสวิตช์ S1 เพื่อตัดกระแสไฟ

4.2.2 การกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส

มอเตอร์ 3 เฟสสามารถที่จะกลับทิศทางการหมุนได้โดยสลับสายเมนคู่ใดคู่หนึ่งที่ต่อเข้ากับมอเตอร์ส่วนอีกเส้นหนึ่งต่อไว้คงเดิม

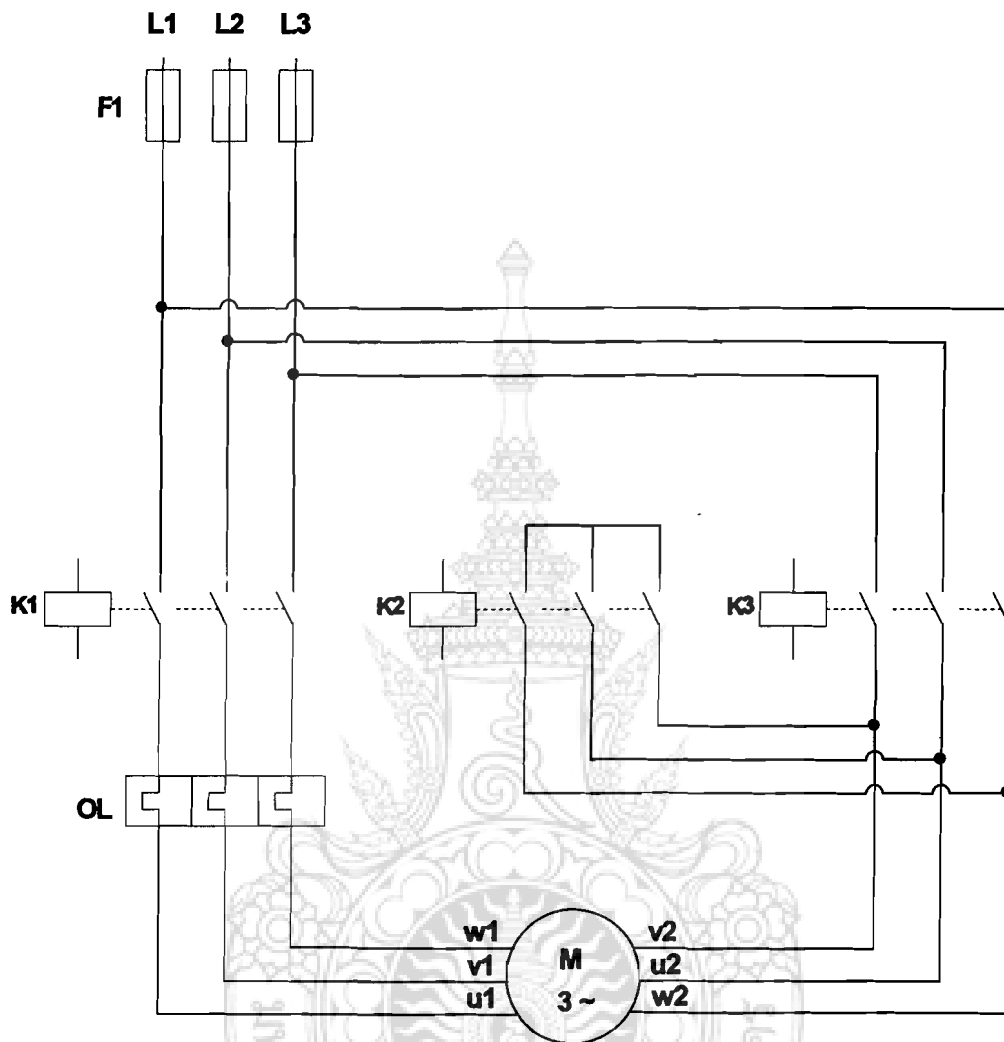


ภาพที่ 1.24 วงจรกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส

กำหนดให้ K1 ต่อให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา และ K2 ต่อให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา ในวงจรกำลัง ถ้าคอนแทคเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งทำงานอยู่ อีกตัวหนึ่งจะต้องไม่ทำงาน เพราะถ้าคอนแทคเตอร์ทั้งสองตัวทำงานพร้อมกันแล้ว จะเกิดการลัดวงจรระหว่างสายขึ้น วิธีป้องกันไว้ให้ K1 และ K2 ทำงานพร้อมกัน ทำได้โดยการต่อคอนแทคปกติปิดของแต่ละตัวสลับกัน ซึ่งเรียกว่า Interlocked Contact

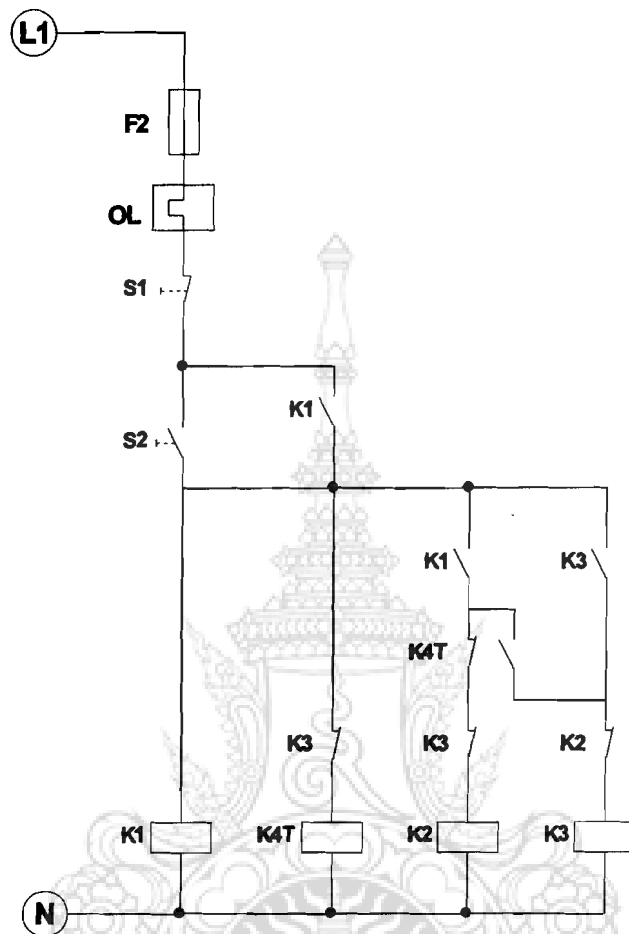
4.2.3 การสตาร์ทมอเตอร์แบบสตาร์ท – เดลต้า (Y- Δ)

เป็นวิธีการหนึ่งในการช่วยลดกระแสตอนเริ่มสตาร์ท เนื่องจากมอเตอร์ขณะเริ่มต้นหมุนจะต้องใช้กระแสไฟฟ้า 5-10 เท่าของกระแสขั้วโหลดเต็มที่ การสตาร์ทด้วยวิธีนี้นิยมใช้กับมอเตอร์ตั้งแต่ 5HP ขึ้นไป แต่อย่างไรก็ตามการต่อขดลวดแบบ Y จะมีแรงบิดเริ่มต้นหมุนต่ำกว่าแรงบิดที่หัด $1/3$ เท่า ทั้งนี้เพราะแรงบิดเริ่มต้นหมุนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแส



ภาพที่ 1.25 วงจรกำลังของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Y- Δ

การสตาร์ทมอเตอร์จะต้องเริ่มต้นหมุนโดยขดลวดที่สเตเตอร์จะต่อแบบ Y เมื่อความเร็วของมอเตอร์เป็น 75% ของความเร็วซิงโครนัสจึงเปลี่ยนมาต่อแบบ Δ และคอนแทคเตอร์ที่ทำหน้าที่ต่อขดลวดเป็นแบบ Y และ Δ นั้นจะต้องมี Interlock ซึ่งกันและกัน จากเงื่อนไขการทำงานดังกล่าวสามารถออกแบบวงจรควบคุมได้ดังนี้



ภาพที่ 1.26 วงจรควบคุมของการสตาร์ทมอเตอร์แบบ Y-Δ

5. การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า

ค่าพลังงานไฟฟ้า คือ ขนาดกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าคูณกับเวลาทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นในหน่วยชั่วโมง เรียกว่ายูนิต (Unit) หรือ kWh (1 unit = 1 kWh) ซึ่ง 1 ยูนิตมีค่าเท่ากับ อุปกรณ์ไฟฟ้าขนาด 1 kW ทำงานเป็นเวลาต่อเนื่องนาน 1 ชั่วโมง การคำนวณหาจำนวนหน่วยไฟฟ้านี้สามารถเขียนเป็นสมการได้ คือ

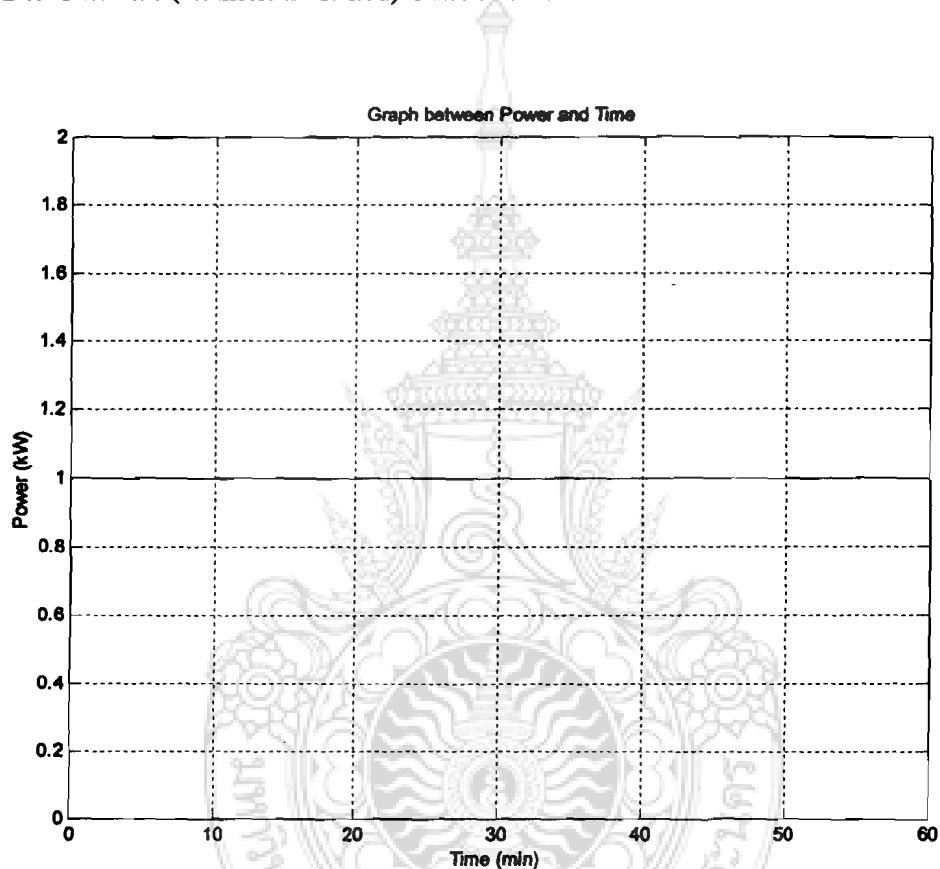
$$E = P \times t \quad (5)$$

โดยที่ E คือ พลังงานไฟฟ้า หน่วยเป็น ยูนิตหรือ kWh

P คือ กำลังไฟฟ้า หน่วยเป็นกิโลวัตต์ (kW)

t คือ เวลา หน่วยเป็นชั่วโมง (hr)

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดค่าพลังงานไฟฟ้าต่างๆ ไป มักใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า วัดชั่วโมงมิเตอร์ (Watt-hour Meter) ซึ่งเป็นมิเตอร์ที่ทางการไฟฟ้าใช้สำหรับวัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากผู้บริโภค สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าแล้วนำมาคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 1.27 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้ากับเวลา

จากสมการที่ 5 เมื่อเทียบกับกราฟในภาพที่ 1.27 แล้วจะเห็นว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการนั้นก็คือการหาพื้นที่ใต้เส้นกราฟนั่นเอง ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ดังนี้

จากสมการ

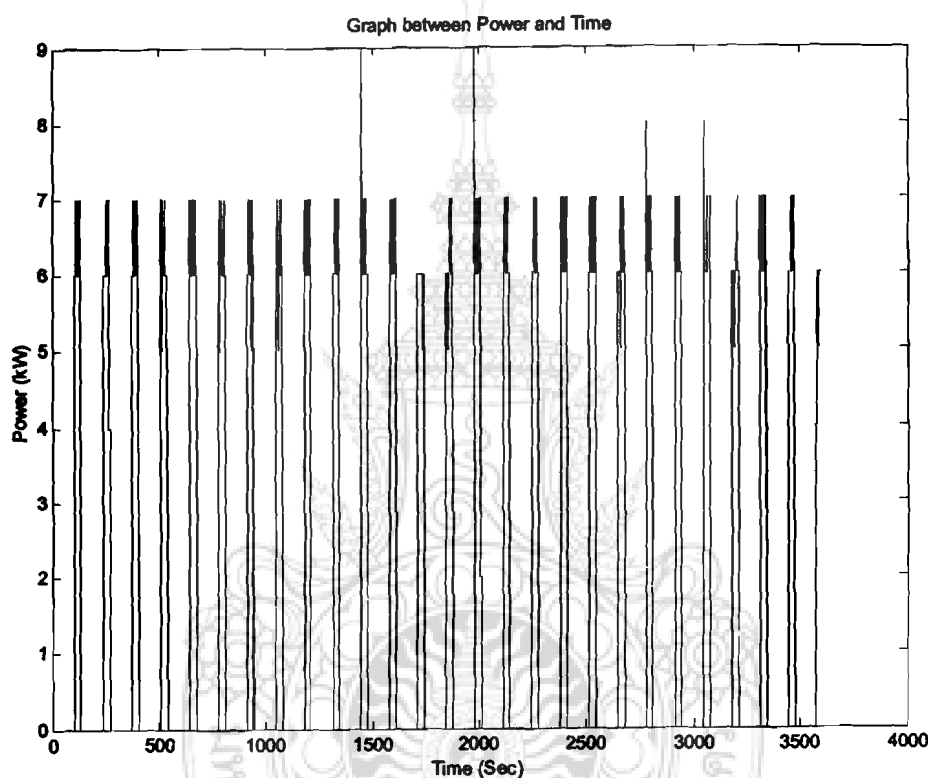
$$\text{พลังงานไฟฟ้า} \quad E = P \times t$$

และสมการ

$$\text{พื้นที่สี่เหลี่ยม} \quad \text{พื้นที่} = \text{สูง} \times \text{กว้าง} \quad (6)$$

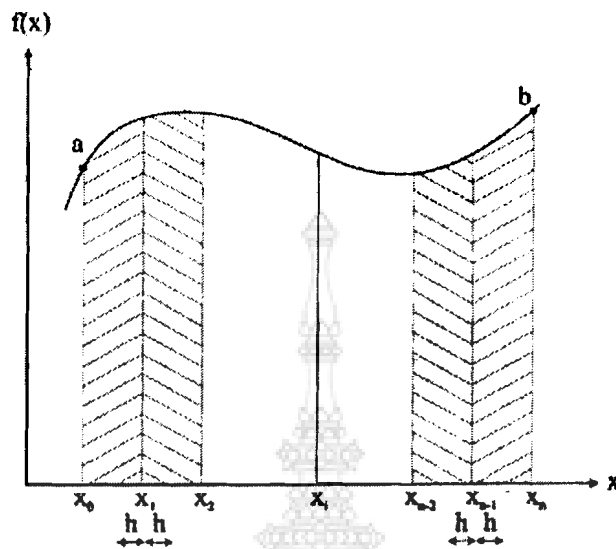
จากสมการที่ 5 และ 6 จะเห็นว่า P คือความสูงของสี่เหลี่ยมหรือเส้นกราฟ และ t คือความกว้างของสี่เหลี่ยมหรือเส้นกราฟในภาพที่ 1.27 นั่นเอง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีหาค่าพลังงานไฟฟ้าด้วยการหาพื้นที่ใต้เส้นกราฟของกำลังไฟฟ้า เพราะว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่โดยเฉพาะมอเตอร์ไฟฟ้านั้นกินกำลังไฟฟ้าไม่คงที่ดังภาพที่ 1.28 และเหตุผลอีกประการคืองานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าเป็นเครื่องมือสำหรับหาค่าพลังงานไฟฟ้า



ภาพที่ 1.28 แสดงกราฟการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ทำงานแบบ สตาร์ท-สต็อป

จากกราฟภาพที่ 1.28 จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไม่คงที่คือมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การหาพื้นที่ใต้กราฟด้วยวิธีพีชคณิตทั่วไปไม่สามารถทำได้หรือทำได้ยาก จึงจำเป็นต้องใช้การอินทิเกรตเชิงตัวเลขแทน ซึ่งการอินทิเกรตเชิงตัวเลขมีหลายวิธีด้วยกัน สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้กฎสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal rule) อย่างไรก็ตามการอินทิเกรตเชิงตัวเลขนี้เป็นเพียงการประมาณค่าเท่านั้น ค่าที่ได้จึงไม่ใช่ค่าที่เที่ยงตรงคือมีความผิดพลาด ทั้งนี้ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการแบ่งช่วงของการอินทิเกรต (รศ.ดร. มนัส สัจวรศิลป์ และคณะ, 2543)



ภาพที่ 1.29 การประมาณค่าอินทิเกรตโดยใช้กฎสี่เหลี่ยมคางหมู

จากภาพที่ 1.29 สามารถประมาณค่าอินทิเกรตด้วยพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูโดยการหาค่าผลรวมของพื้นที่สี่เหลี่ยมย่อยได้โดยประมาณจากช่วง a ถึง b ได้ดังนี้

$$Q = \frac{h}{2}(f(x_0) + f(x_1)) + \frac{h}{2}(f(x_1) + f(x_2)) + \dots + \frac{h}{2}(f(x_{n-1}) + f(x_n))$$

$$Q = \frac{h}{2}(f(x_0) + 2f(x_1) + 2f(x_2) + \dots + 2f(x_{n-1}) + f(x_n)) \quad (7)$$

$$Q = \frac{h}{2}(f(x_0) + f(x_n) + 2 \sum_{k=1}^{n-1} f(x_k)) \quad (8)$$

โดยที่

$$h = \frac{b - a}{n}$$

หมายเหตุ การแบ่งช่วงจาก a ถึง b ออกเป็นจำนวนช่วงที่มีความละเอียดมาก (n มาก) ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความเที่ยงตรงและเข้าสู่ค่าอินทิเกรตที่แท้จริงได้

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องอัดอากาศพร้อมมอเตอร์ 3 เฟส จำนวน 3 เครื่อง



ภาพที่ 2.1 เครื่องอัดอากาศที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องอัดอากาศตัวที่ 1 เป็นเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ใช้มอเตอร์ขนาด 7.5 kW
ผลิตลมอัดได้ 1151 LPM

เครื่องอัดอากาศตัวที่ 2 เป็นเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ใช้มอเตอร์ขนาด 4 kW
ผลิตลมอัดได้ 402 LPM

เครื่องอัดอากาศตัวที่ 3 เป็นเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ใช้มอเตอร์ขนาด 2.2 kW
ผลิตลมอัดได้ 246 LPM

2. ถังเก็บลมจำนวน 4 ใบ

ถังลมใบที่ 1 ขนาดความจุ 300 ลิตร ความดันใช้งาน 9 kg/cm^2

ถังลมใบที่ 2 ขนาดความจุ 360 ลิตร ความดันใช้งาน 9 kg/cm^2

ถังลมใบที่ 3 ขนาดความจุ 600 ลิตร ความดันใช้งาน 9 kg/cm^2

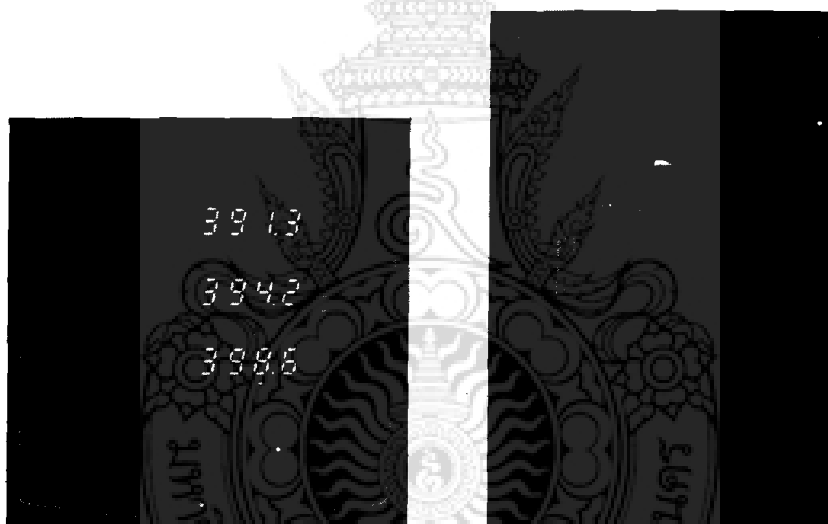
ถังลมใบที่ 4 ขนาดความจุ 660 ลิตร ความดันใช้งาน 9 kg/cm^2

3. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของลม (Flow meter) สำหรับวัดปริมาณการใช้ลม จำนวน 2 ตัว ซึ่งแต่ละตัวสามารถวัดอัตราการไหลได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10 ลิตรต่อวินาที



ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะของอุปกรณ์วัดอัตราการใช้ของลม

4. อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า (Power Meter) สามารถตรวจวัดค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, เพาเวอร์แฟกเตอร์, กำลังไฟฟ้า และความถี่ไฟฟ้าเป็นต้น (รายละเอียดดูในภาคผนวก ก.1)

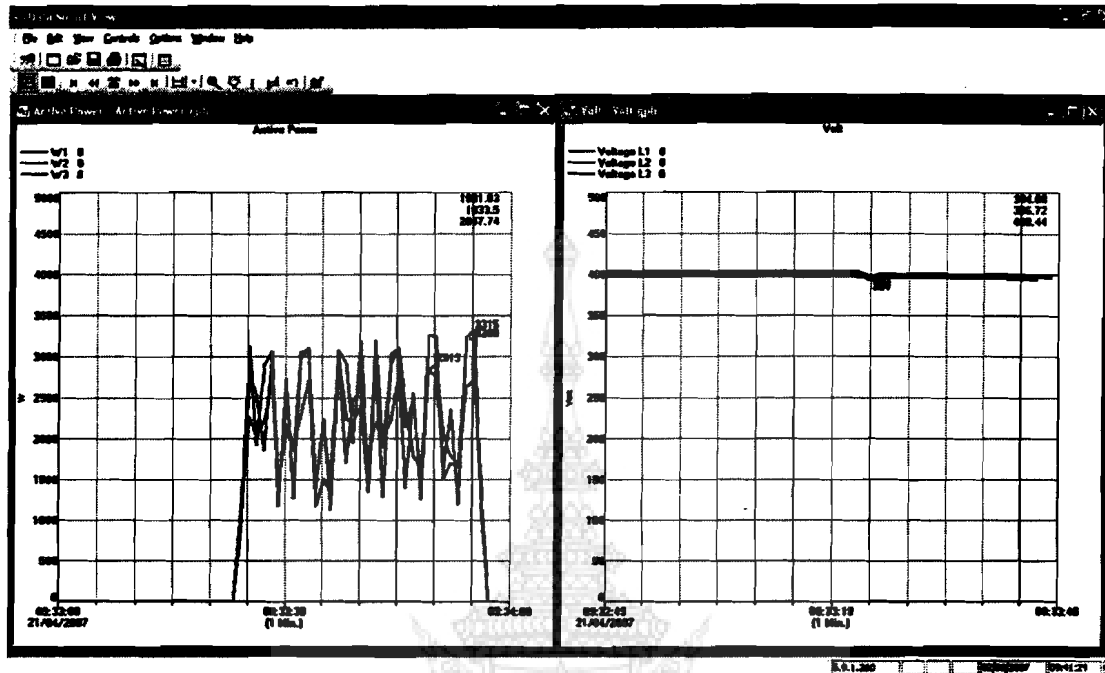


ก. Power meter

ข. ผู้ควบคุม Power meter

ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะของอุปกรณ์ตรวจวัดกำลังไฟฟ้า

5. ซอร์ฟแวร์ Data Smart View เป็นซอร์ฟแวร์สำหรับบันทึกค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าดังข้อ 4 และรวมถึงจำนวนหน่วยไฟฟ้าอีกด้วย (kWh) ทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ XP



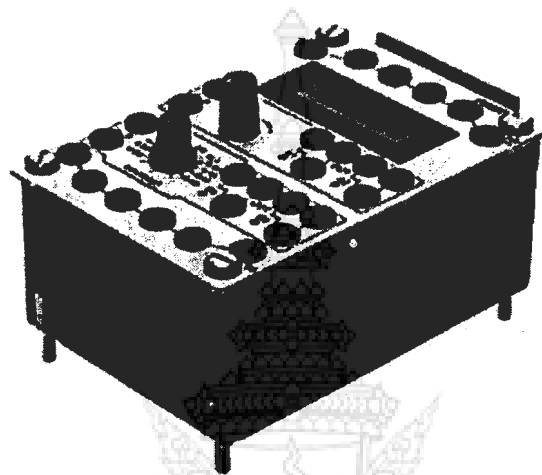
ภาพที่ 2.4 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม Data Smart View

6. เซ็นเซอร์วัดความดัน เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดความดันลมอัดในถังพักลมเพื่อใช้สำหรับกำหนดค่าความดันลมอัดในการตัด-ต่อ เครื่องอัดอากาศ สามารถวัดความดันลมอัดได้ตั้งแต่ 0-10 บาร์ โดยความดันที่วัดได้จะถูกแปลงเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 0-10 โวลต์ ซึ่งรายละเอียดทางเทคนิคของเซ็นเซอร์นี้ดูได้จากภาคผนวกที่ ก.2



ภาพที่ 2.5 แสดงลักษณะเซ็นเซอร์วัดความดันลมอัด

7. อุปกรณ์เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า (Comparator) เป็นรีเลย์ชนิดหนึ่งทำงานตามขนาดของแรงดันไฟฟ้า ทำหน้าที่รับแรงดันไฟฟ้าจากเซนเซอร์วัดความดันลมอัด ตามข้อ 6 แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ เมื่อรีเลย์ทำงานจะส่งสัญญาณไปควบคุม คอนแทกเตอร์สคาร์ทมอเตอร์ต่อไป



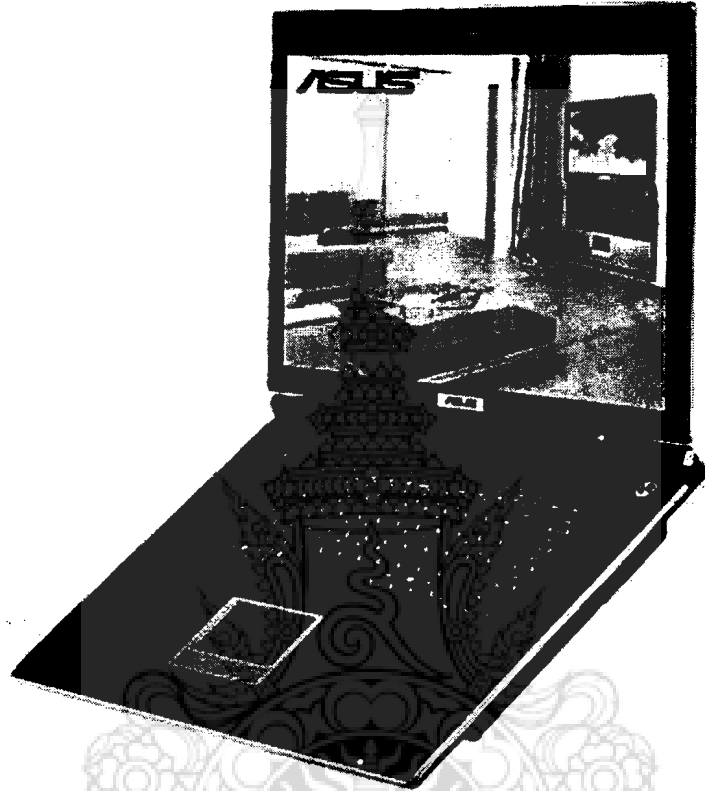
ภาพที่ 2.6 แสดงลักษณะอุปกรณ์เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า

8. ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด (Service unit) ใช้สำหรับตั้งค่าความดันใช้งานของลมอัดโดยปรับตั้งไว้ที่ 6 บาร์



ภาพที่ 2.7 แสดงลักษณะชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัด

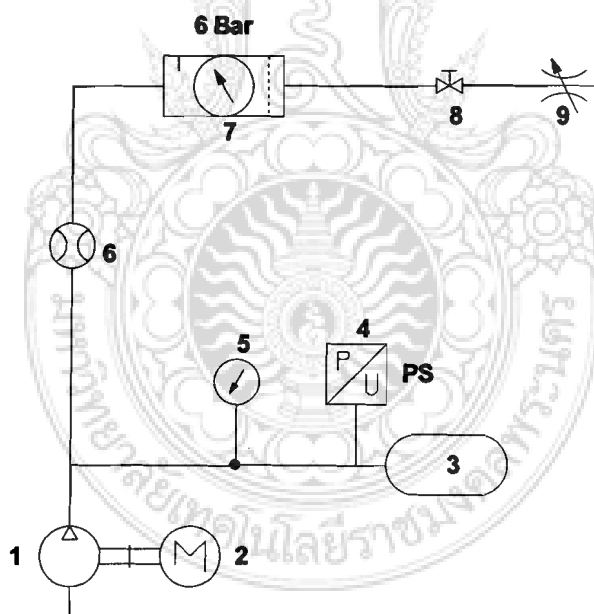
9. คอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล



ภาพที่ 2.8 แสดงคอมพิวเตอร์สำหรับบันทึกข้อมูล

วิธีการ

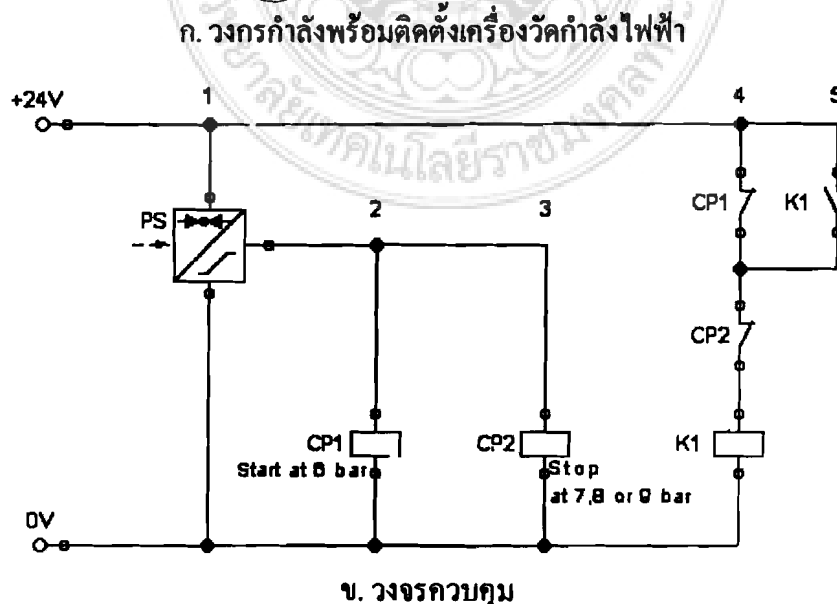
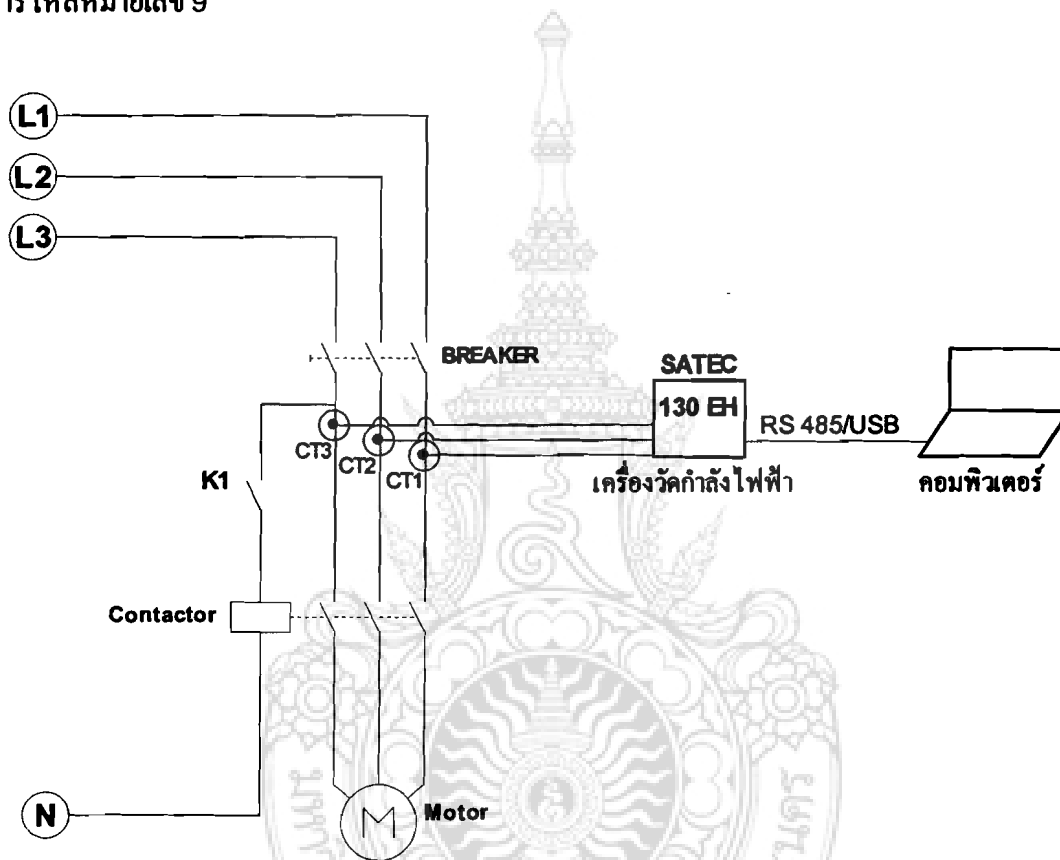
งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาและทดลองจาก เครื่องอัดอากาศจำนวน 3 ขนาด และตั้งเก็บลม 4 ขนาด โดยเครื่องอัดอากาศแต่ละขนาดจะใช้ถังเก็บลมทั้ง 4 ขนาด รวมแล้วจะได้การทดลองทั้งหมด 12 กรณี เครื่องอัดอากาศที่ใช้จะถูกควบคุมการทำงานแบบ สตาร์ท-สตอป การศึกษาเริ่มจากการใช้พลังงานลมอัดเริ่มตั้งแต่ร้อยละ 20, 40, 60 และ 80 ของความสามารถในการผลิตลมอัดของเครื่องอัดอากาศ โดยที่แต่ละเปอร์เซ็นต์ของการใช้ลมอัด จะทำการตั้งค่าความดันให้เครื่องอัดอากาศ ตัด-ต่อ การทำงานที่ความดันต่างกันเริ่มตั้งแต่ 6, 7, 8 และ 9 บาร์ ตามลำดับ แล้วทำการบันทึกค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ นำค่าที่บันทึกได้แสดงผลเป็นกราฟเชิงเส้น แล้ววิเคราะห์กราฟที่ได้เพื่อหาค่าของความดันที่เหมาะสมที่สุดในการควบคุมการ ตัด-ต่อ การทำงานของเครื่องอัดอากาศ เพื่อให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด



ภาพที่ 2.9 แสดงวงจรระบบลมอัด

จากรูปวงจรระบบลมอัดอุปกรณ์หมายเลข 1 คือ เครื่องอัดอากาศ ทำหน้าที่ผลิตลมอัดไปเก็บในถังพักลมหมายเลข 3 ซึ่งความดันในถังพักลมนี้จะถูกแสดงค่าความดันโดยเกจวัดความดันหมายเลข 5 อุปกรณ์หมายเลข 4 เป็นเซ็นเซอร์วัดค่าความดันแบบอนาล็อกใช้สำหรับส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของมอเตอร์ และลมอัดจะถูกจ่ายไปสู่ระบบโดยผ่านอุปกรณ์วัดปริมาณการใช้ลมอัดหมายเลข 6 ซึ่งเครื่องอัดอากาศนี้จะถูกขับให้ทำงานโดยมอเตอร์ไฟฟ้าหมายเลข 2 อุปกรณ์

หมายเลข 7 คือชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัดจะถูกตั้งความดันใช้งานไว้ที่ 6 บาร์ เนื่องจากระบบการใช้ลมอัดส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมจะใช้ความดันลมอัดขนาดนี้ในการทำงาน ลมอัดจะถูกส่งเข้าสู่ระบบการใช้งานโดยผ่านวาล์วเปิด-ปิด หมายเลข 8 และจะถูกปรับปริมาณการใช้โดยวาล์วควบคุมอัตราการไหลหมายเลข 9



ภาพที่ 2.10 แสดงวงจรควบคุมเครื่องอัดอากาศและตำแหน่งการติดตั้งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

การทำงานของวงจรเริ่มจากเซ็นเซอร์วัดความดัน (PS) ทำการวัดความดันในถังลมแล้วแปลงเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าส่งไปยังรีเลย์เปรียบเทียบแรงดัน CP1 และ CP2 โดยที่ CP1 จะถูกตั้งไว้ให้ทำงานที่แรงดัน 6 โวลต์ ($6\text{ V} = 6\text{ bar}$) ทำหน้าที่เป็นรีเลย์สั่งการให้รีเลย์ K1 ทำงาน และ CP2 ทำหน้าที่เป็นรีเลย์หยุดการทำงานของรีเลย์ K1 โดยจะตั้งให้ทำงานที่ 7, 8 หรือ 9 โวลต์ ตามความต้องการ ส่วนรีเลย์ K1 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศ การทำงานของรีเลย์ K1 เริ่มจาก คอนแทกปกติปิดของ CP1 ในแถวที่ 4 ปิด (กรณีที่ความดันลมในถังต่ำกว่า 6 บาร์) กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไปยังคอนแทกปิด CP2 และผ่านขดลวดของรีเลย์ K1 ลงกราวด์ ทำให้รีเลย์ K1 ทำงาน คอนแทกเปิด K1 ในแถวที่ 5 ปิดทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังขดลวดรีเลย์ K1 ได้ในขณะที่ความดันลมในถังลมเกิน 6 บาร์ เพราะคอนแทก CP1 จะเปิดออก เป็นผลให้รีเลย์ K1 สามารถทำงานต่อไปได้ (วงจรนี้เรียกว่า Self Holding) เมื่อความดันลมในถังลมเพิ่มขึ้นถึงค่าที่ตั้งไว้ (7, 8 หรือ 9 บาร์) คอนแทก CP2 จะเปิดออกทำให้กระแสไฟฟ้าที่เลี้ยงขดลวดรีเลย์ K1 ถูกตัด รีเลย์ K1 ก็จะหยุดทำงาน และเมื่อลมในถังถูกใช้งานไปเรื่อย ๆ ความดันลมในถังก็จะลดลงเป็นผลให้คอนแทก CP2 ปิดเหมือนเดิม และเมื่อความดันลมต่ำกว่า 6 บาร์ คอนแทก CP1 ก็จะปิดอีกครั้ง กระแสไฟฟ้าก็จะไหลไปยังขดลวดรีเลย์ K1 ลงกราวด์ ทำให้รีเลย์ K1 ทำงานอีกครั้ง เมื่อความดันลมในถังถึงค่าที่ทำให้ CP2 ทำงาน รีเลย์ K1 ก็จะหยุดทำงานอีก การทำงานจะเป็นแบบนี้ไปเรื่อย ๆ

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ CP1 และ CP2 ให้ทำงานที่ความดันลมต่างๆ โดยเริ่มจากครั้งที่ 1 CP1 6 บาร์ และ CP2 7 บาร์ ดังตารางข้างล่างนี้

ครั้งที่	1	2	3	4	5	6
CP1	6	6	6	7	7	8
CP2	7	8	9	8	9	9

2. เปิดเบรกเกอร์ (Beaker) จ่ายกระแสไฟฟ้าให้เครื่องอัดอากาศ
3. ตั้งค่าความดันลมใช้งานที่ ชุดปรับปรุงคุณภาพลมอัดหมายเลข 7 (ภาพที่ 2.9) ไว้ที่ 6 บาร์
4. เปิดวาล์วลมหมายเลข 8 (ภาพที่ 2.9)

5. ปรับอัตราการไหลของลมไว้ที่ร้อยละ 20 ที่วาล์วลมหมายเลข 9 โดยดูค่าที่อุปกรณ์วัดอัตราการไหล หมายเลข 6 (ภาพที่ 2.9)
6. บันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยโปรแกรม Data Smart View เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
7. ทำตามขั้นตอนที่ 5 และ 6 ใหม่โดยปรับอัตราการไหลของลมไว้ที่ร้อยละ 40, 60 และ 80 ตามลำดับ
8. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 1 ใหม่ โดยตั้งค่า CP1 และ CP2 ดังตารางที่กำหนด



ผลการวิจัยและวิจารณ์

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองกับเครื่องอัดอากาศจำนวน 3 เครื่องด้วยกัน แต่ละเครื่องมีการทดลองกับถังพักลมจำนวน 4 ขนาด รวมการทดลองทั้งหมด 12 กรณี ดังตารางที่ 1

เครื่องอัดอากาศ	ขนาดถังพักลม (ลิตร)			
เครื่องที่ 1	300	360	600	660
เครื่องที่ 2	300	360	600	660
เครื่องที่ 3	300	360	600	660

ตารางที่ 3.1 แสดงขนาดของถังพักลมกับเครื่องอัดอากาศ

แต่ละกรณีของการทดลองจากตารางที่ 3.1 ยังแบ่งย่อยการทดลองได้อีก 24 กรณีด้วยกันดังตารางที่ 3.2

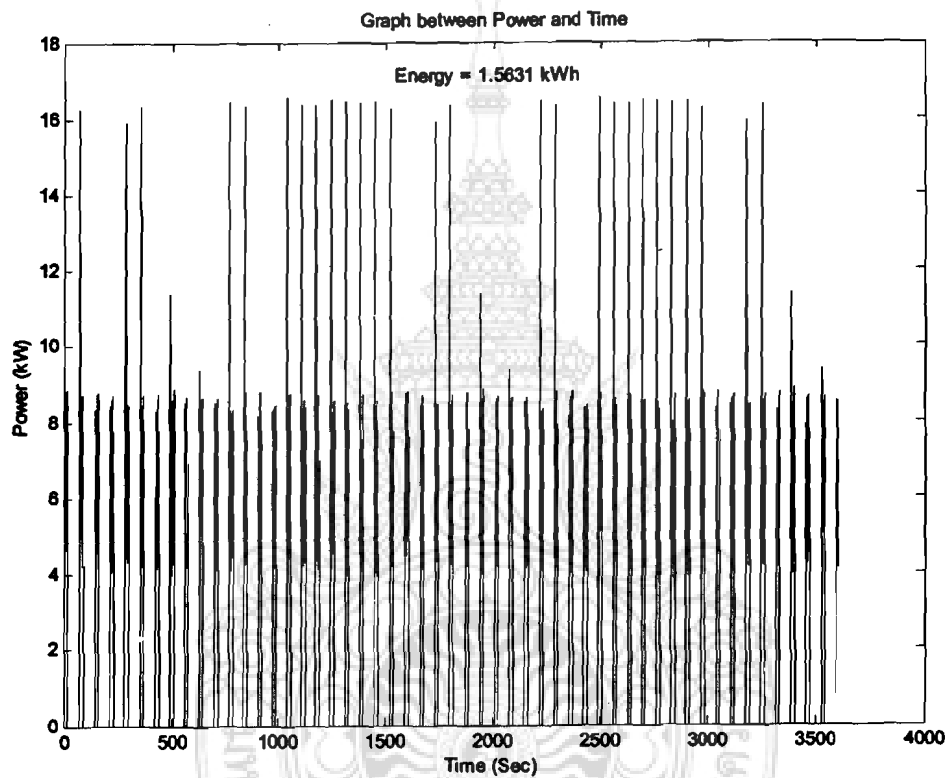
ร้อยละของการใช้	ความดัน สตาร์ท-สต๊อป					
	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9
20	/	/	/	/	/	/
40	/	/	/	/	/	/
60	/	/	/	/	/	/
80	/	/	/	/	/	/

ตารางที่ 3.2 แสดงการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดัน สตาร์ท-สต๊อป

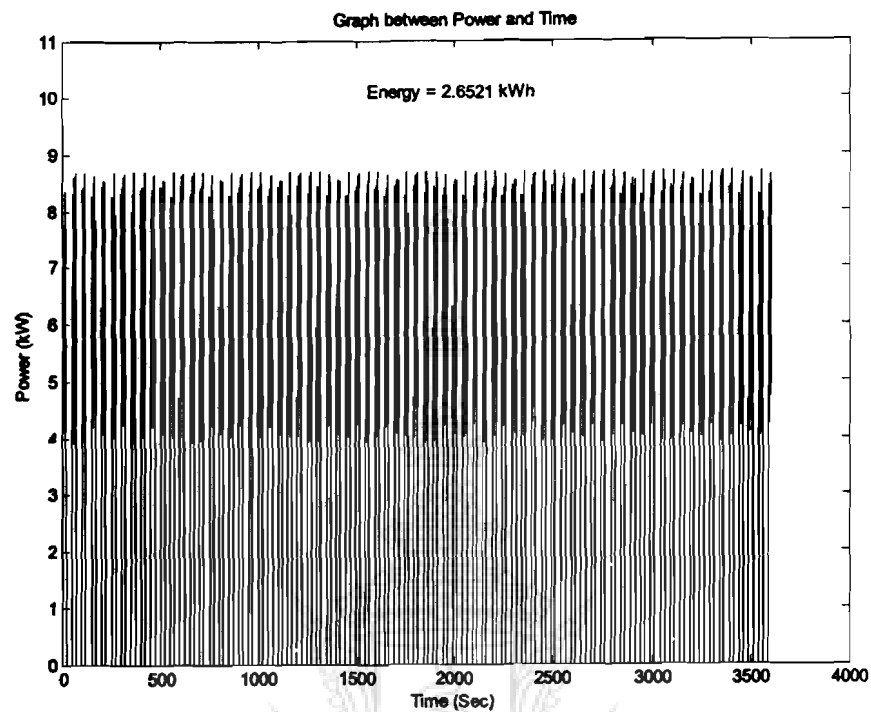
1. ผลการทดลองเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1

เป็นเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ใช้มอเตอร์ขนาด 7.5 kW ผลิตลมอัดได้ 1151 LPM

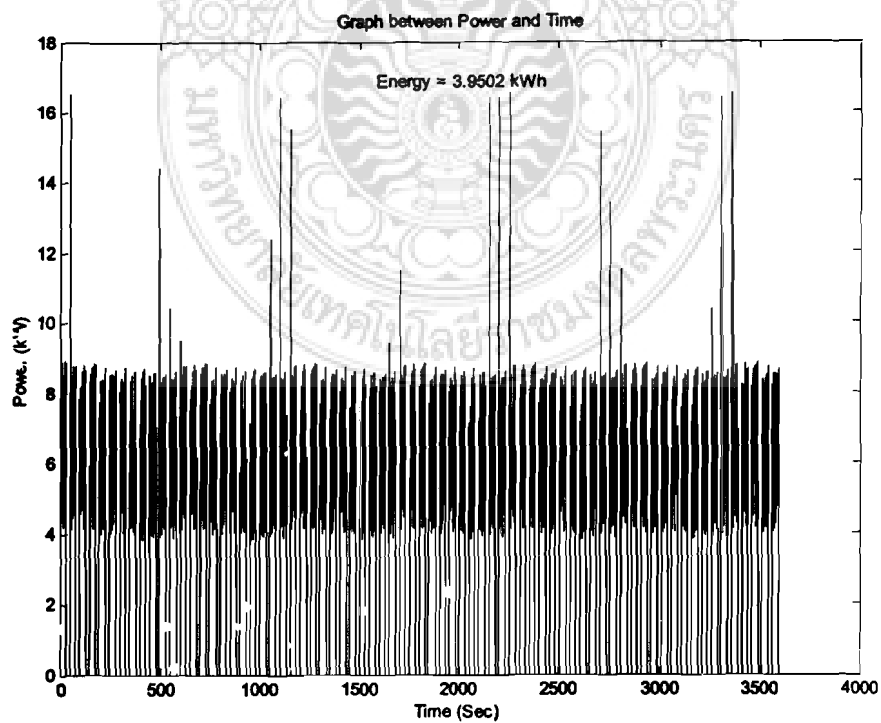
1.1 การทดลองกับถังพักลมขนาด 300 ลิตร



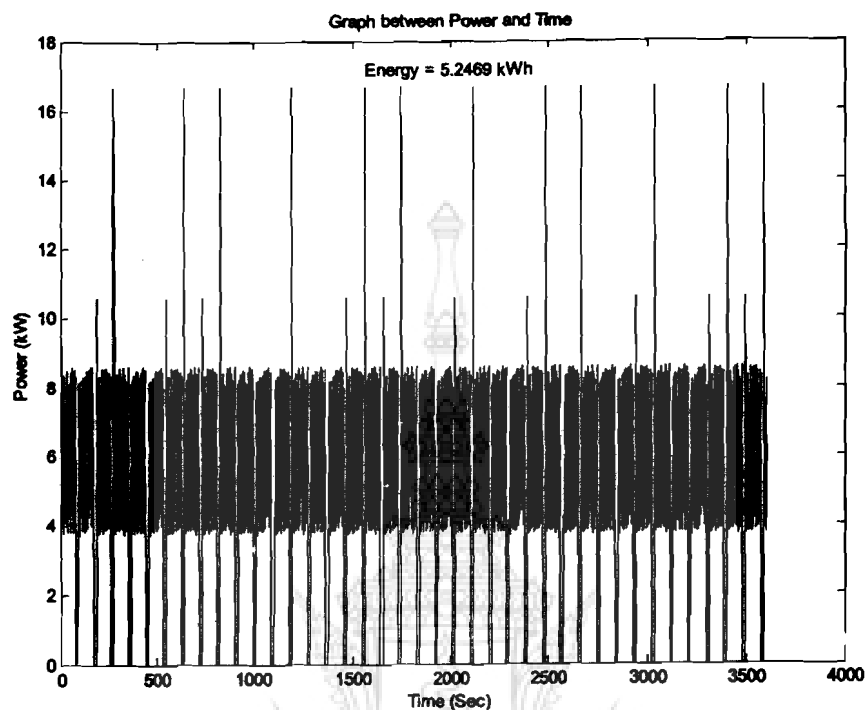
ภาพที่ 3.1 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 20 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 6 และ 7 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถังพักลมขนาด 300 ลิตร



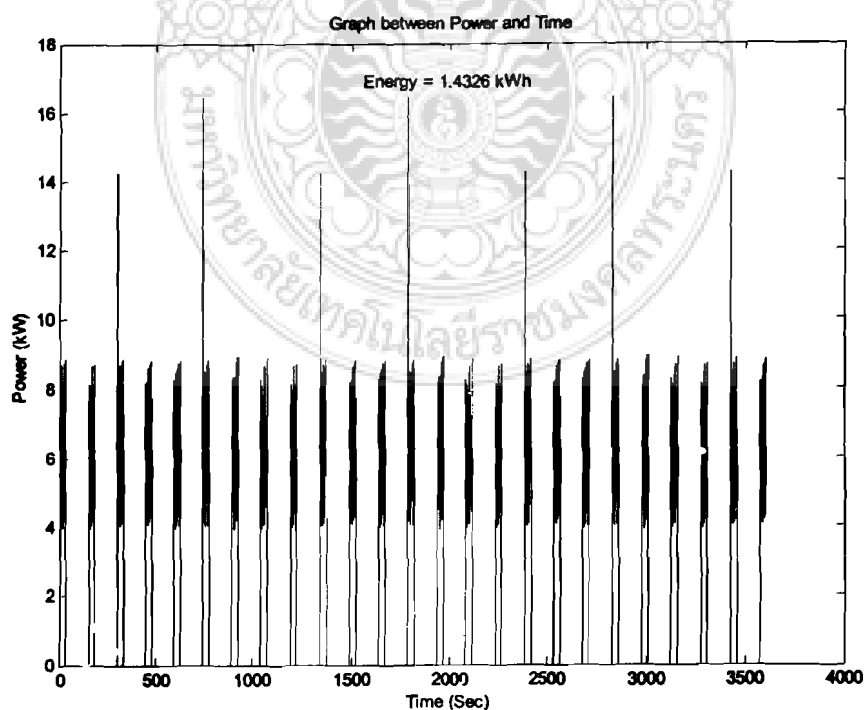
ภาพที่ 3.2 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 40 ความดัน สตาร์ท-สต็อป 6 และ 7 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



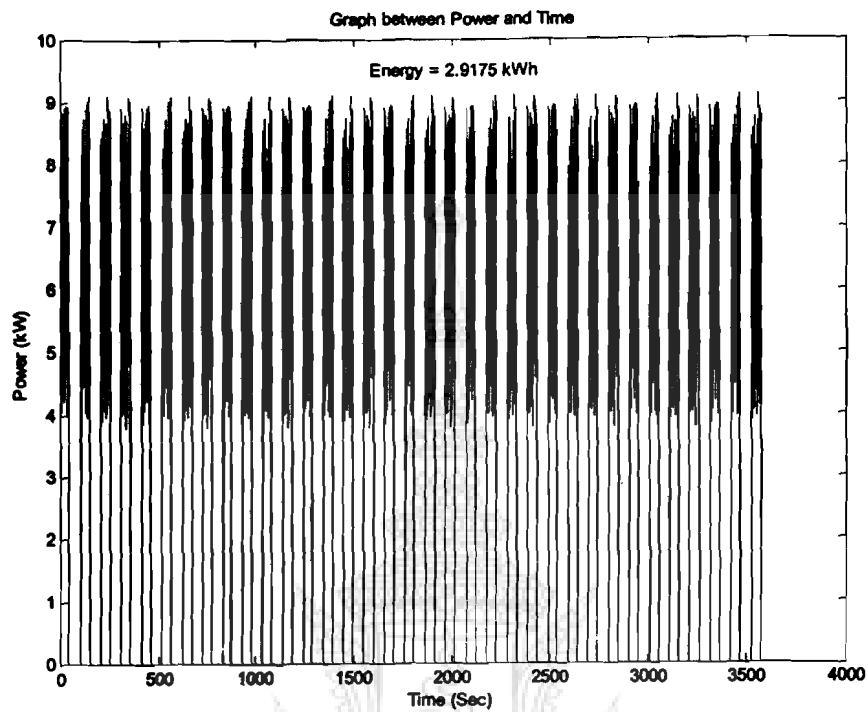
ภาพที่ 3.3 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 60 ความดัน สตาร์ท-สต็อป 6 และ 7 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



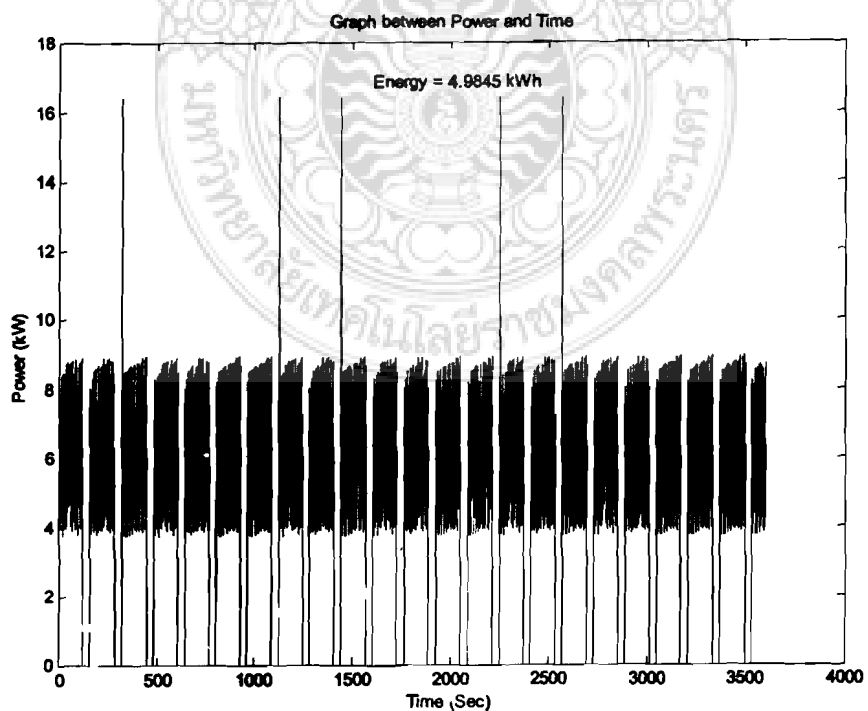
ภาพที่ 3.4 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 80 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 6 และ 7 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



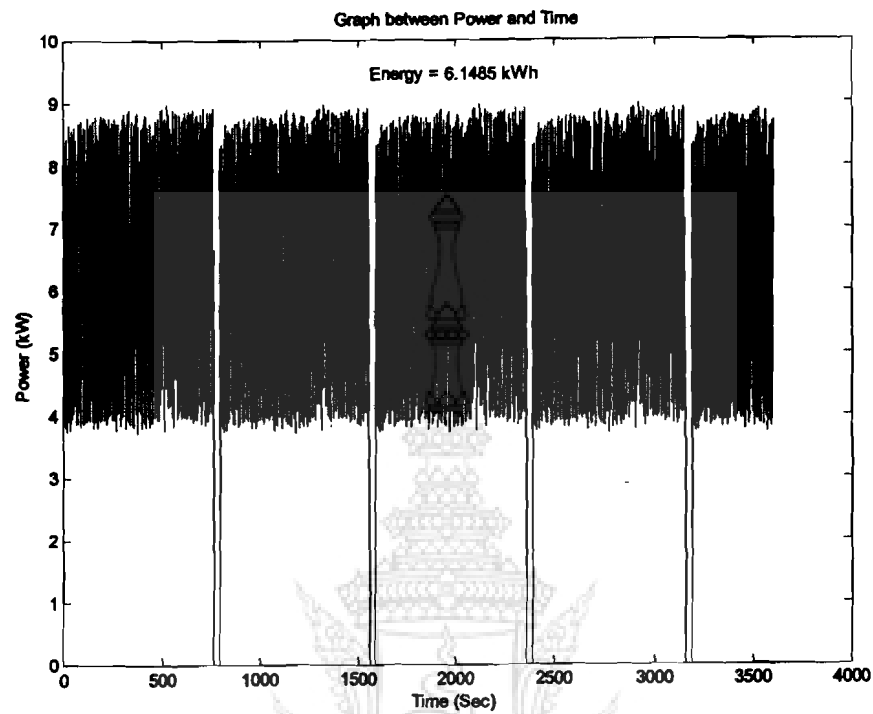
ภาพที่ 3.5 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 20 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 6 และ 8 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



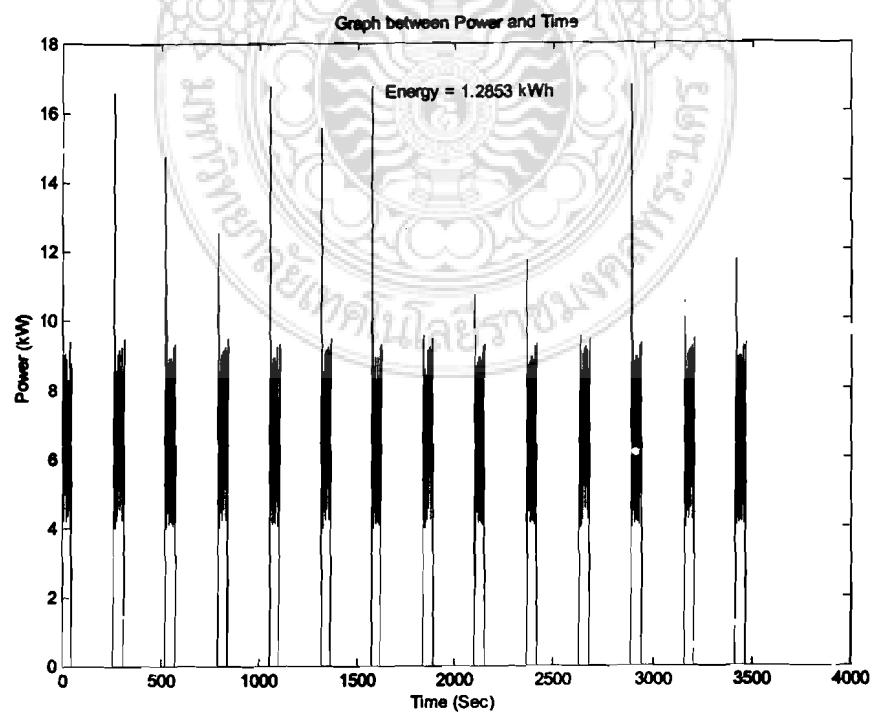
ภาพที่ 3.6 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 40 ความดัน สตาร์ท-สต็อป 6 และ 8 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



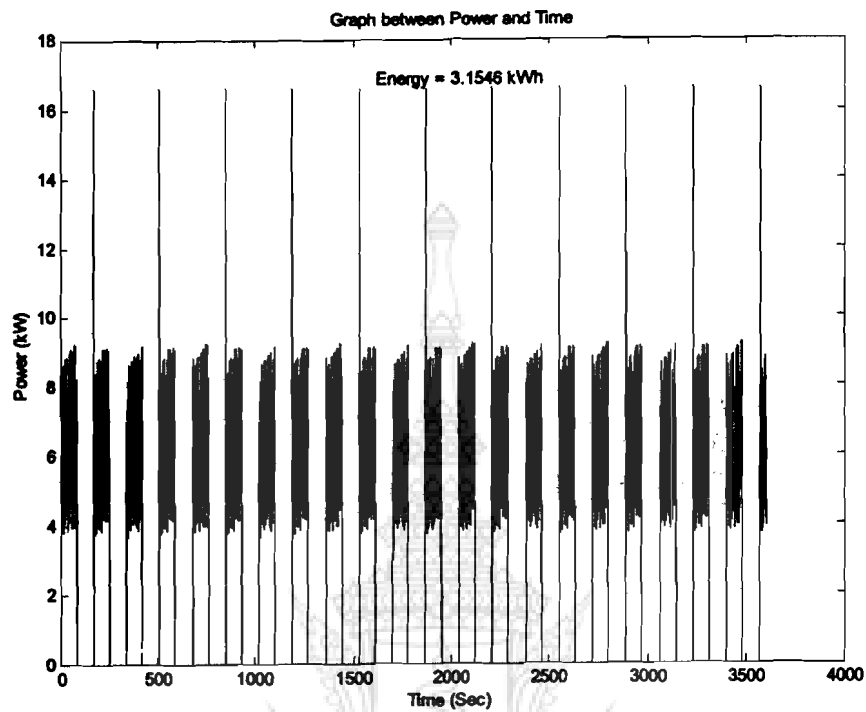
ภาพที่ 3.7 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 60 ความดัน สตาร์ท-สต็อป 6 และ 8 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



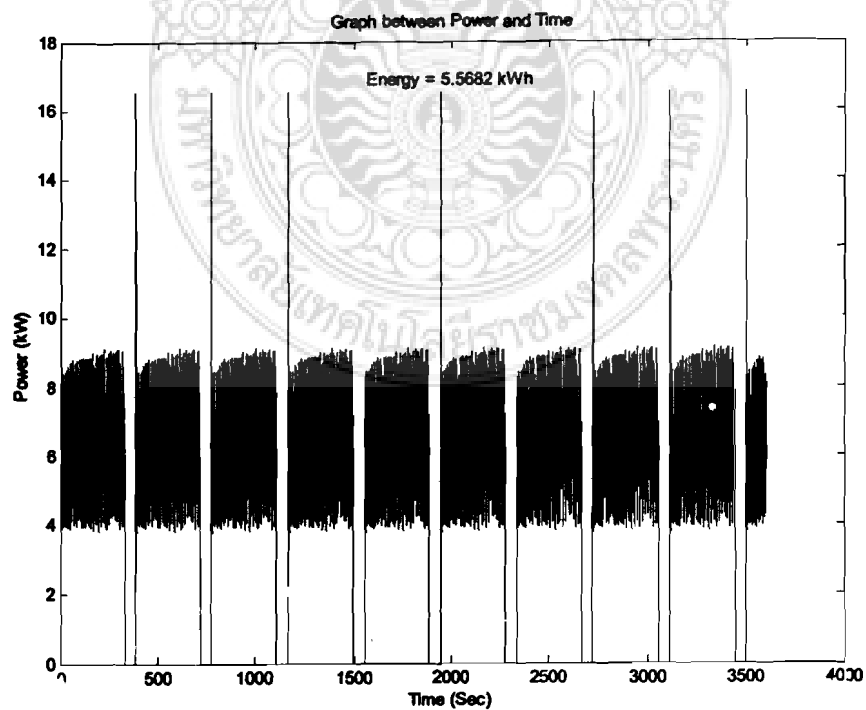
ภาพที่ 3.8 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 80 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 6 และ 8 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



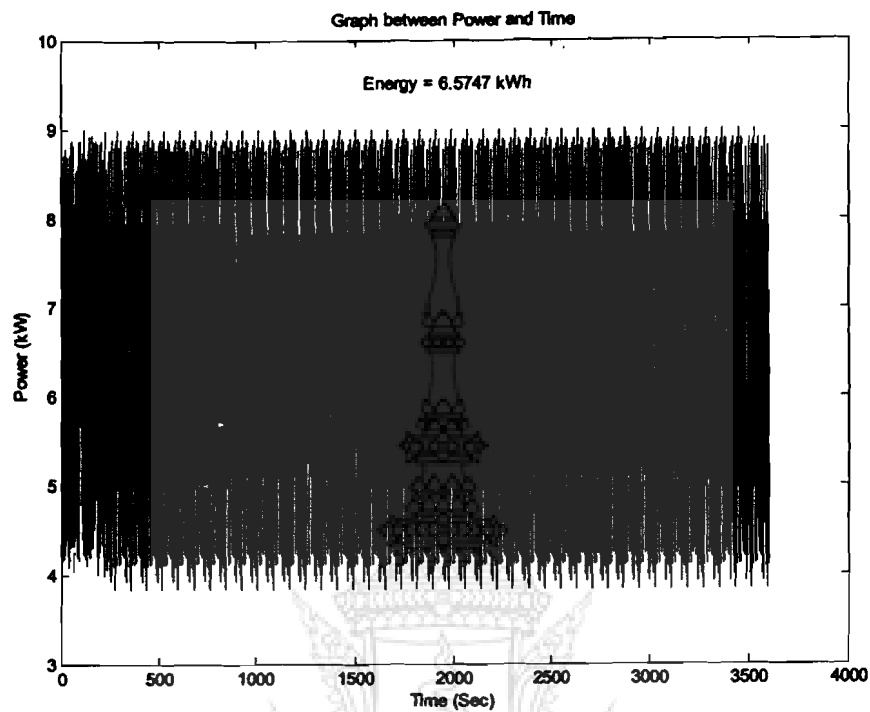
ภาพที่ 3.9 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 20 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 6 และ 9 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



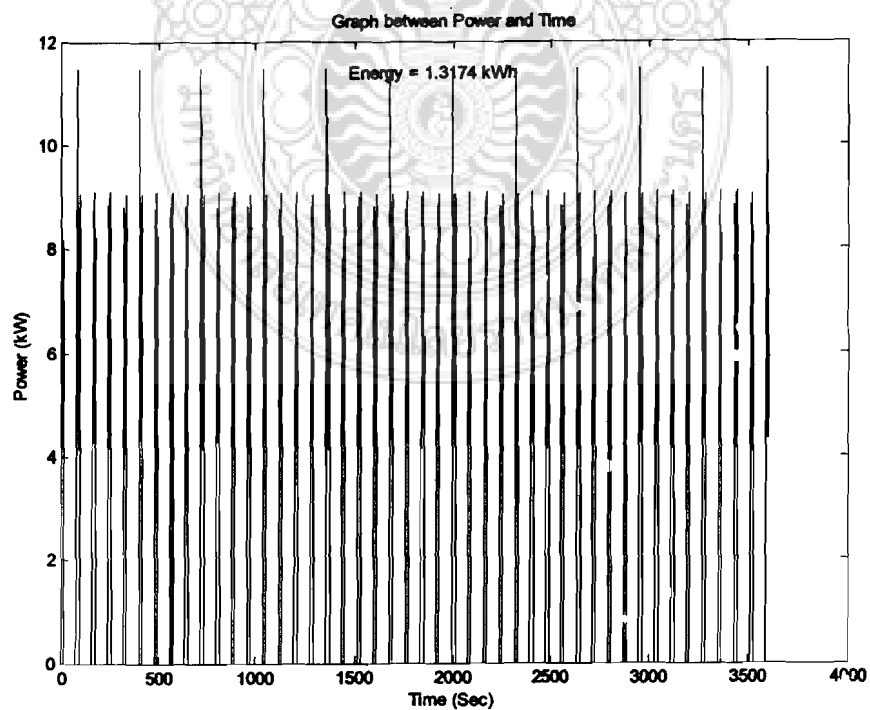
ภาพที่ 3.10 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 40 ความดัน สตาร์ท-สต็อป 6 และ 9 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



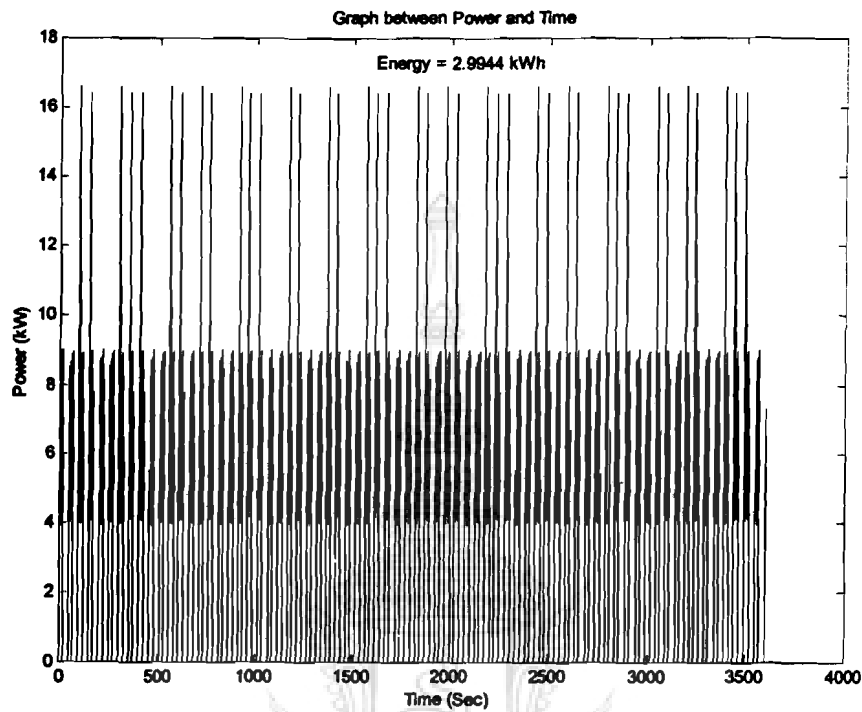
ภาพที่ 3.11 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 60 ความดัน สตาร์ท-สต็อป 6 และ 9 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



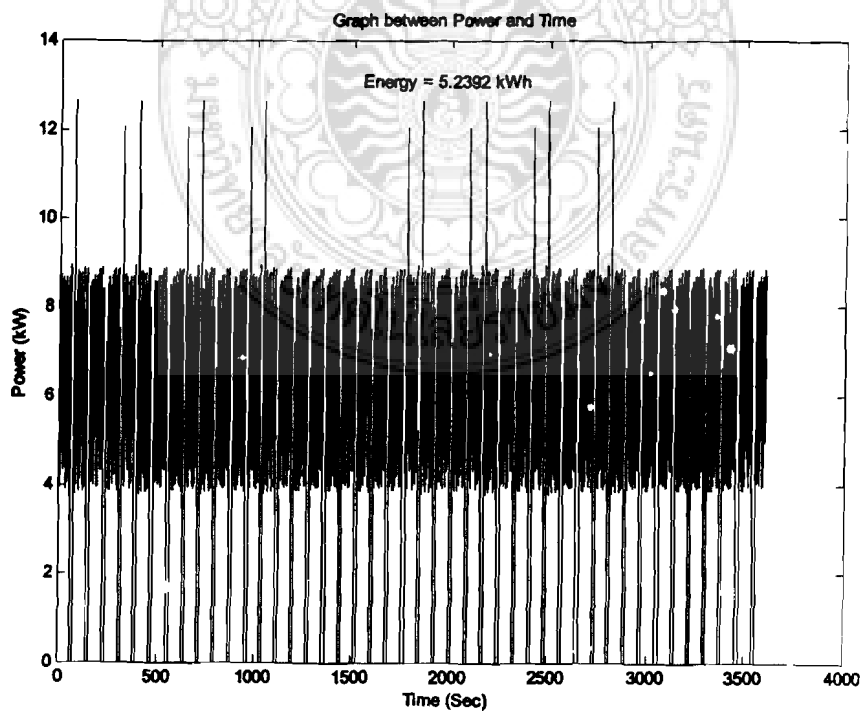
ภาพที่ 3.12 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 80 ความดัน สตาร์ท-สตอป 6 และ 9 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



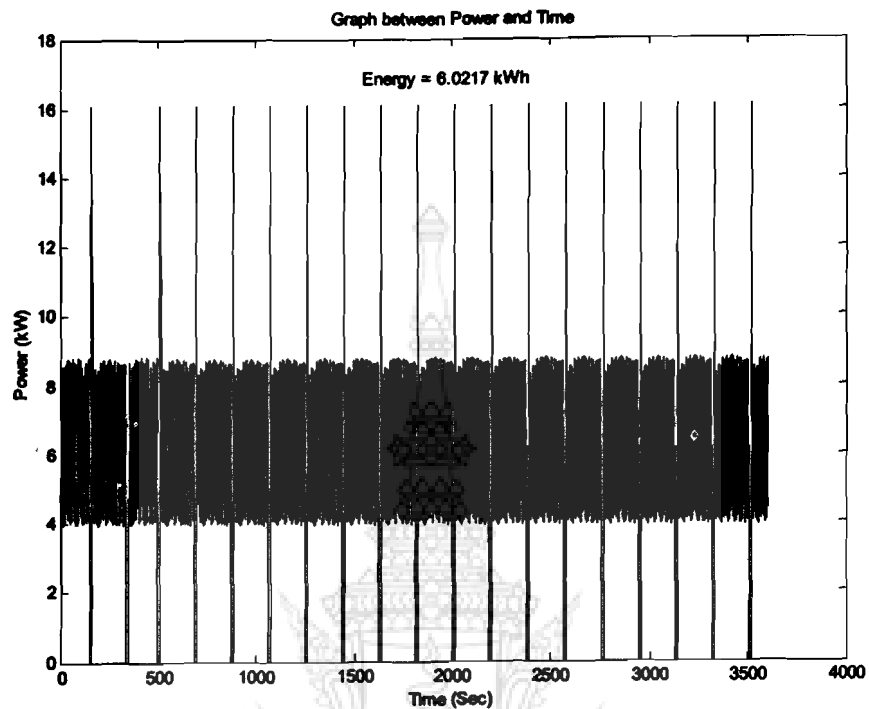
ภาพที่ 3.13 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 20 ความดัน สตาร์ท-สตอป 7 และ 8 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



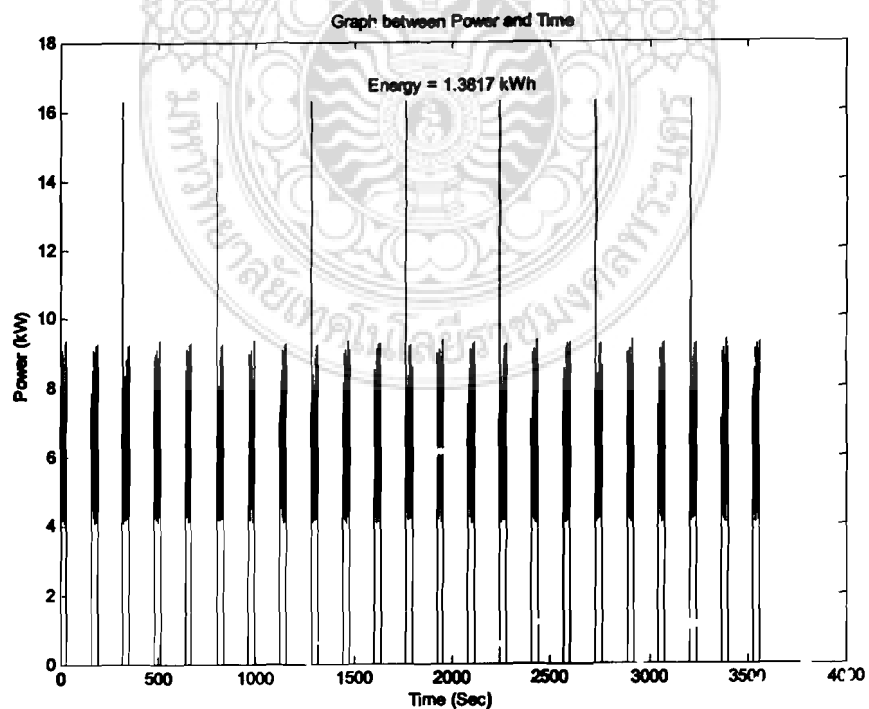
ภาพที่ 3.14 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 40 ความดัน สตาร์ท-สตอป 7 และ 8 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



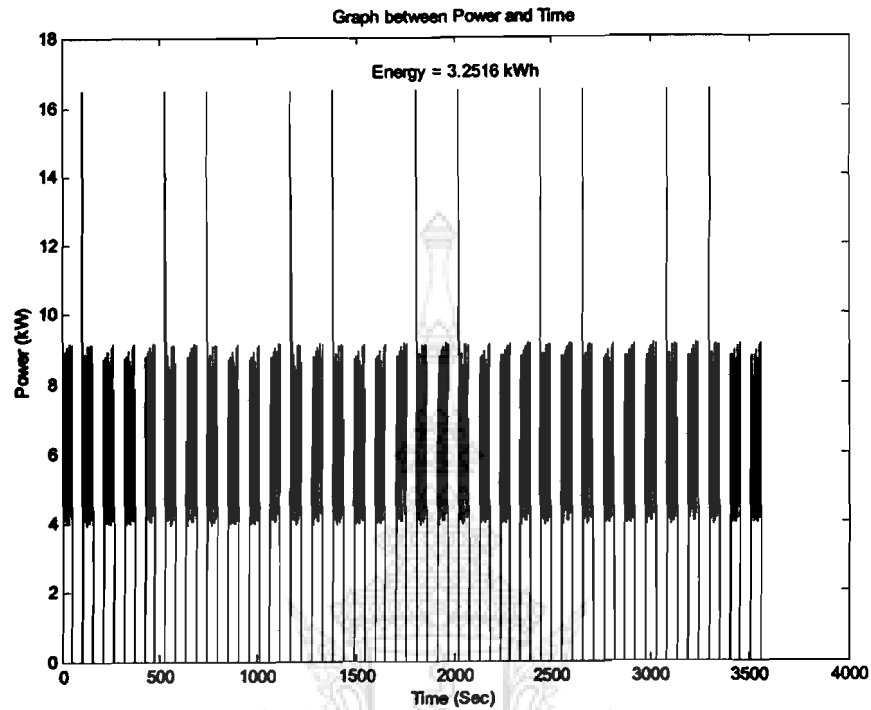
ภาพที่ 3.15 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 60 ความดัน สตาร์ท-สตอป 7 และ 8 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



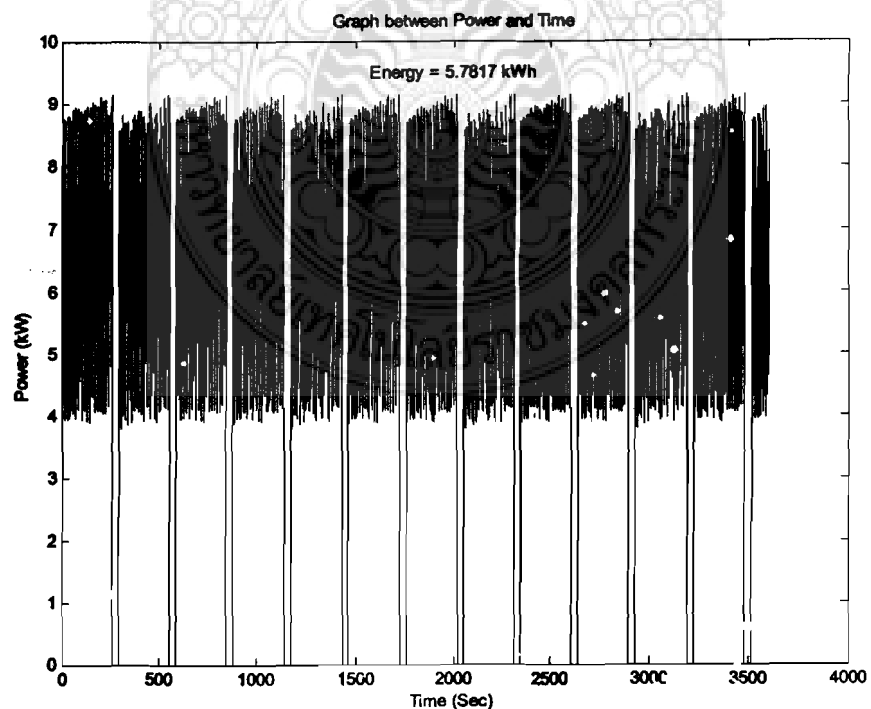
ภาพที่ 3.16 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 80 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 7 และ 8 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



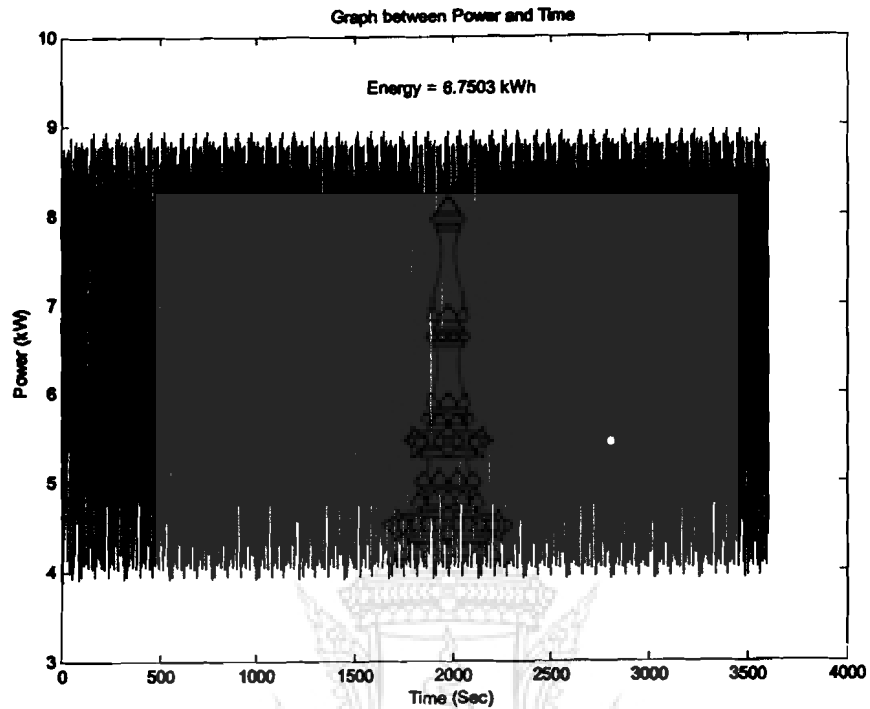
ภาพที่ 3.17 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 20 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 7 และ 9 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



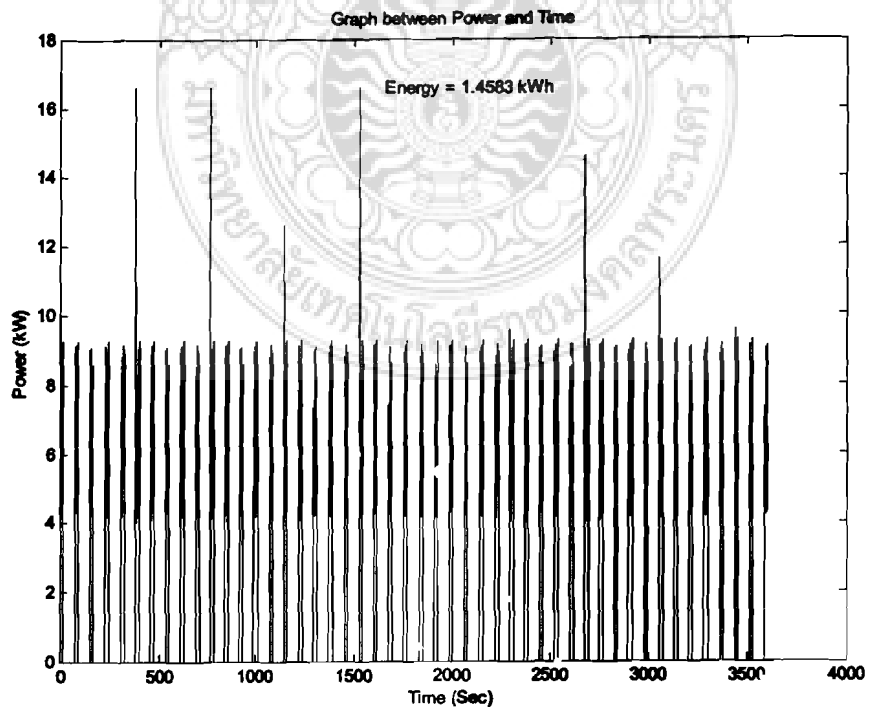
ภาพที่ 3.18 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 40 ความดัน สตาร์ท-สตอป 7 และ 9 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



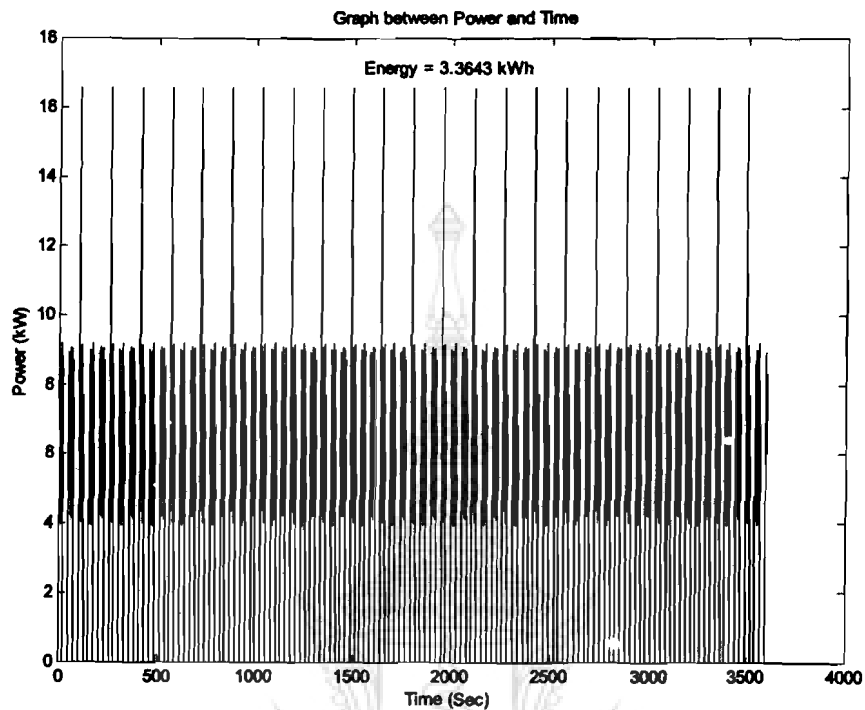
ภาพที่ 3.19 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 60 ความดัน สตาร์ท-สตอป 7 และ 9 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



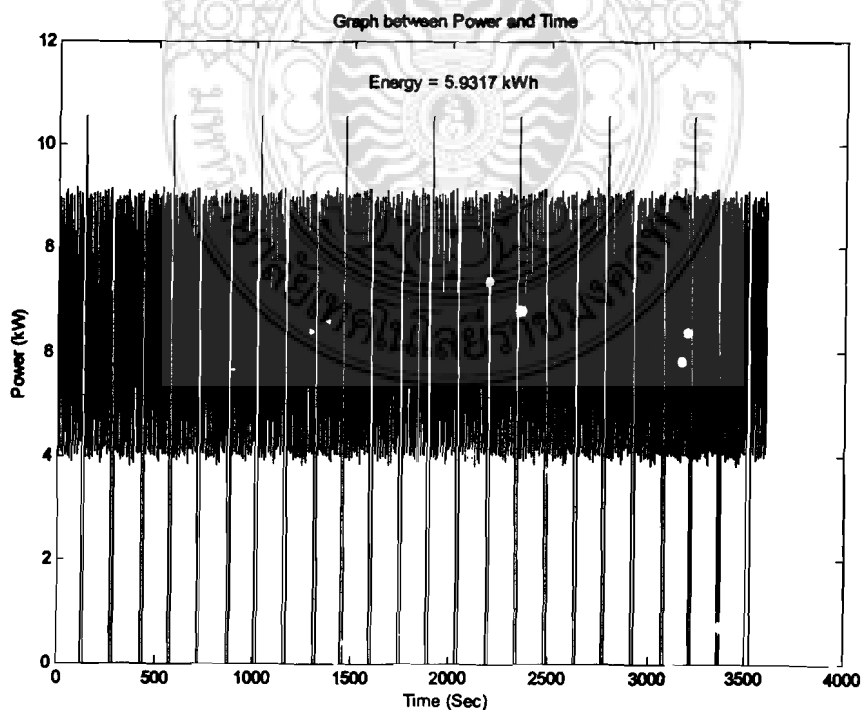
ภาพที่ 3.20 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 80 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 7 และ 9 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



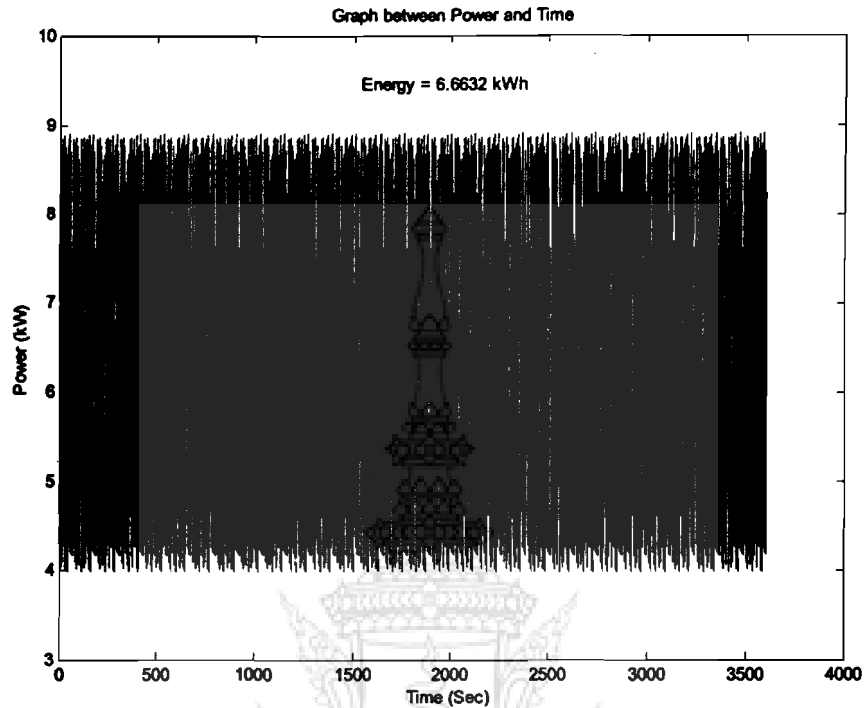
ภาพที่ 3.21 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 20 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 8 และ 9 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



ภาพที่ 3.22 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 40 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 8 และ 9 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



ภาพที่ 3.23 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 60 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 8 และ 9 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร

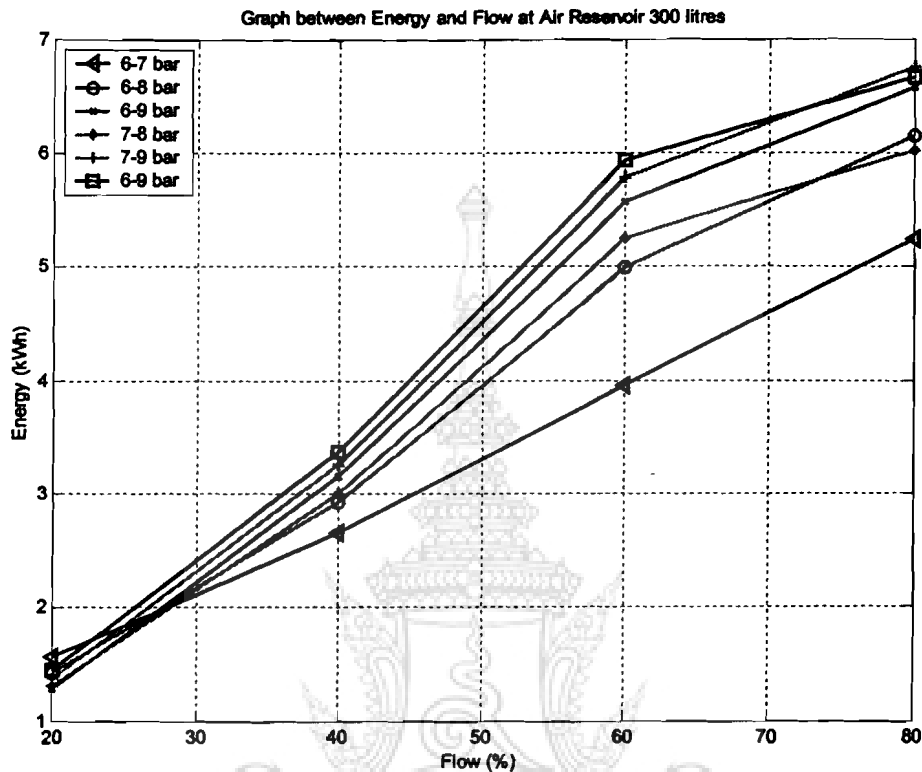


ภาพที่ 3.24 กราฟแสดงการใช้กำลังไฟฟ้าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 80 ความดัน สตาร์ท-สต๊อป 8 และ 9 บาร์ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร

จากภาพที่ 3.1 ถึง 3.24 เป็นผลการทดลองของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 กับถังพักลมขนาด 300 ลิตร ซึ่งแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (Power) กับเวลา (Time) แล้วคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขด้วยกฎสี่เหลี่ยมคางหมู ค่าพลังงานที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 และจากตารางที่ 3.3 นี้ ให้แสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy) กับร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัด (Flow) ที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ ดังภาพที่ 3.25

ปริมาณการใช้ลมอัด (%)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ (kWh)					
	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9
20	1.5631	1.4326	1.2853	1.3174	1.3817	1.4583
40	2.6521	2.9175	3.1546	2.9944	3.2516	3.3643
60	3.9502	4.9845	5.5682	5.2392	5.7817	5.9317
80	5.2469	6.1485	6.5747	6.0217	6.7503	6.6632

ตารางที่ 3.3 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร



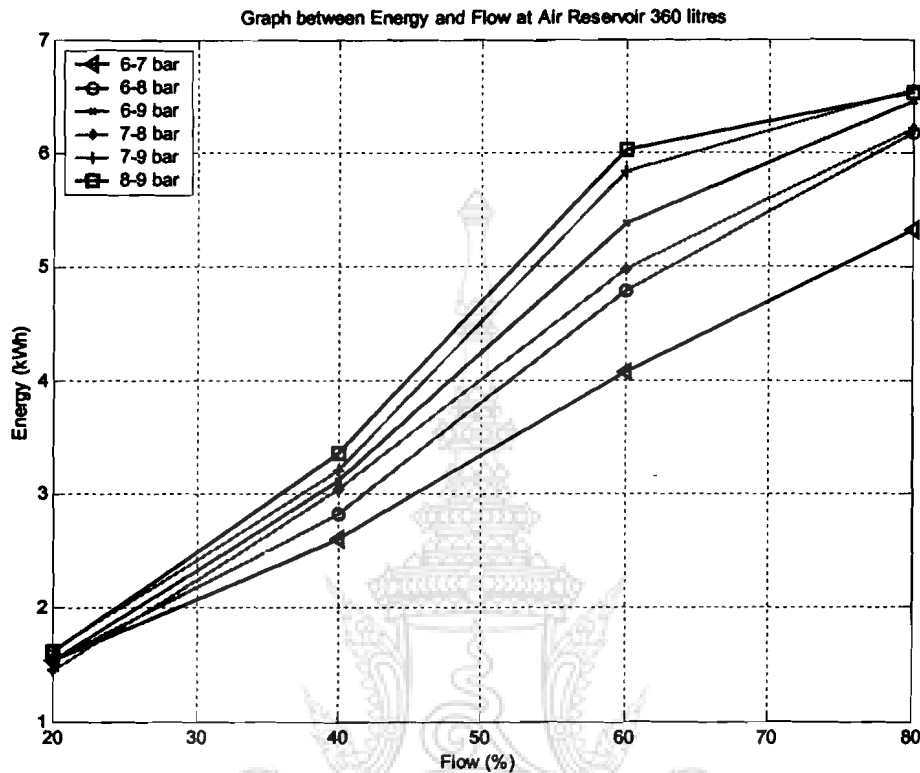
ภาพที่ 3.25 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณการใช้ลมอัด ที่ความดัน
สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 300 ลิตร

1.2 การทดลองกับถังพักลมขนาด 360 ลิตร

ผลการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 กับถังพักลม
ขนาด 360 ลิตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.4 และแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพลังงาน
ไฟฟ้ากับร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัด ดังภาพที่ 3.26

ปริมาณการใช้ลมอัด (%)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ (kWh)					
	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9
20	1.5413	1.5427	1.5366	1.4495	1.6281	1.6174
40	2.5992	2.8246	3.1155	3.0404	3.2003	3.3496
60	4.0688	4.7840	5.3759	4.9712	5.8352	6.0189
80	5.3262	6.1762	6.4593	6.2138	6.5542	6.5362

ตารางที่ 3.4 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดัน
ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 360 ลิตร



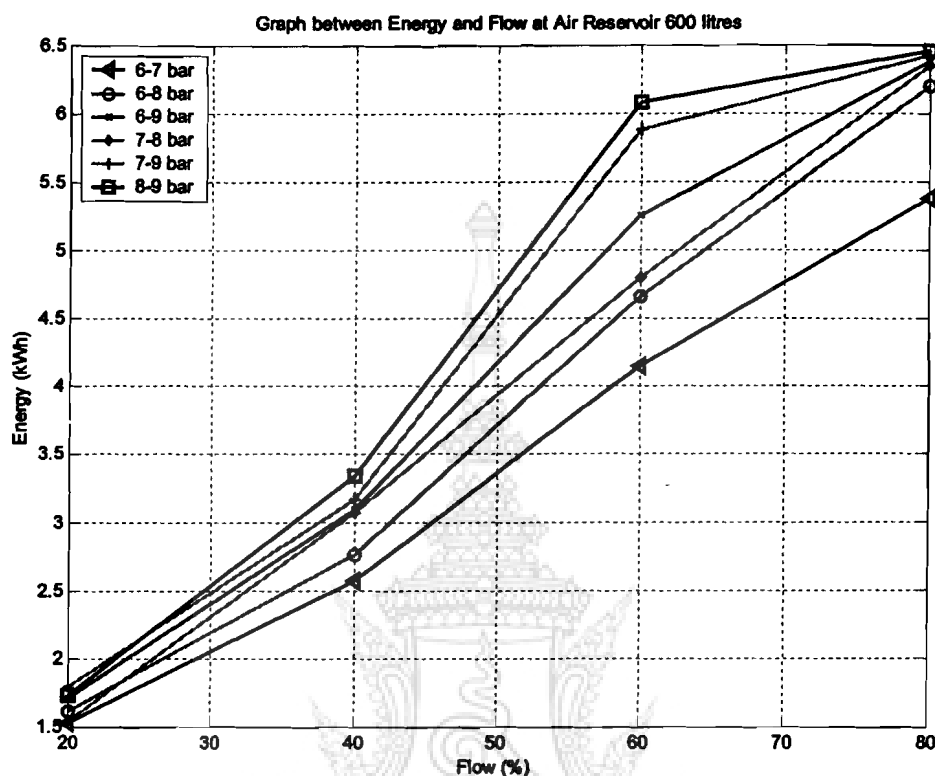
ภาพที่ 3.26 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณการใช้ลมอัด ที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถังพักลมขนาด 360 ลิตร

1.3 การทดลองกับถังพักลมขนาด 600 ลิตร

ผลการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 กับถังพักลมขนาด 600 ลิตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.5 และแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้ากับร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัด ดังภาพที่ 3.27

ปริมาณการใช้ลมอัด (%)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ (kWh)					
	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9
20	1.5268	1.6161	1.7042	1.5376	1.7924	1.7235
40	2.5640	2.7626	3.0894	3.0711	3.1661	3.3398
60	4.1479	4.6504	5.2477	4.7926	5.8725	6.0771
80	5.3791	6.1946	6.3823	6.3418	6.4234	6.4516

ตารางที่ 3.5 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถังพักลมขนาด 600 ลิตร



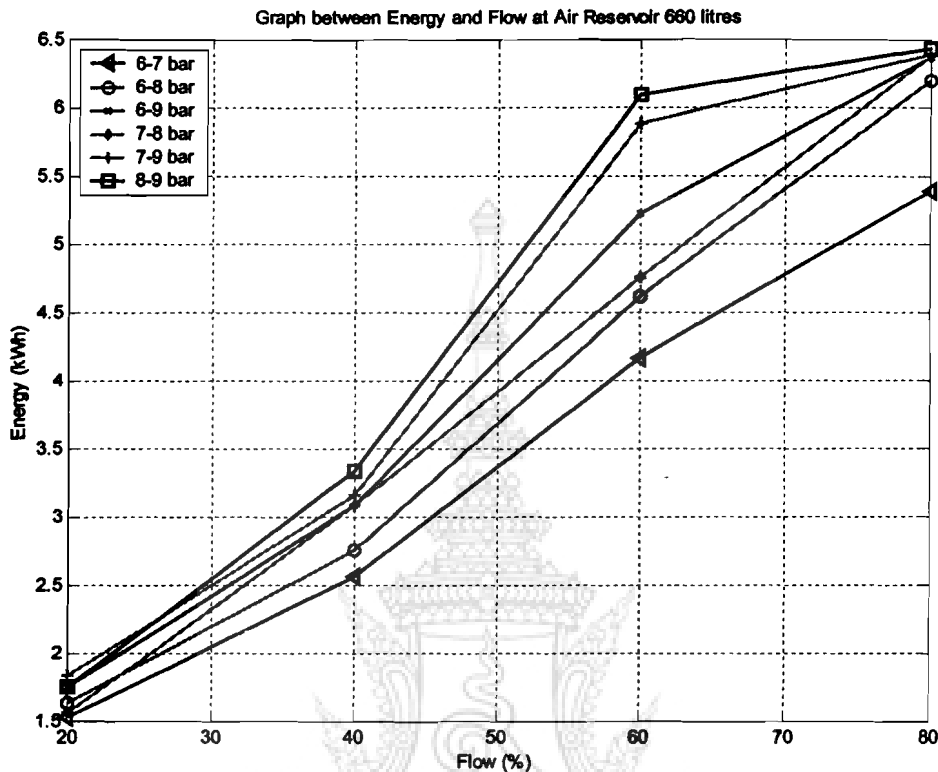
ภาพที่ 3.27 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณการใช้ลมอัด ที่ความดันสตาร์ท-สต็อป ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 600 ลิตร

1.4 การทดลองกับถังพักลมขนาด 660 ลิตร

ผลการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 กับถังพักลมขนาด 660 ลิตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.6 และแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้ากับร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัด ดังภาพที่ 3.28

ปริมาณการใช้ลมอัด (%)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ความดัน สตาร์ท-สต็อป ต่างๆ (kWh)					
	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9
20	1.5232	1.6345	1.7461	1.5596	1.8335	1.7500
40	2.5552	2.7471	3.0829	3.0788	3.1576	3.3374
60	4.1677	4.6170	5.2157	4.7479	5.8816	6.0916
80	5.3923	6.1992	6.3631	6.3738	6.3907	6.4304

ตารางที่ 3.6 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 660 ลิตร

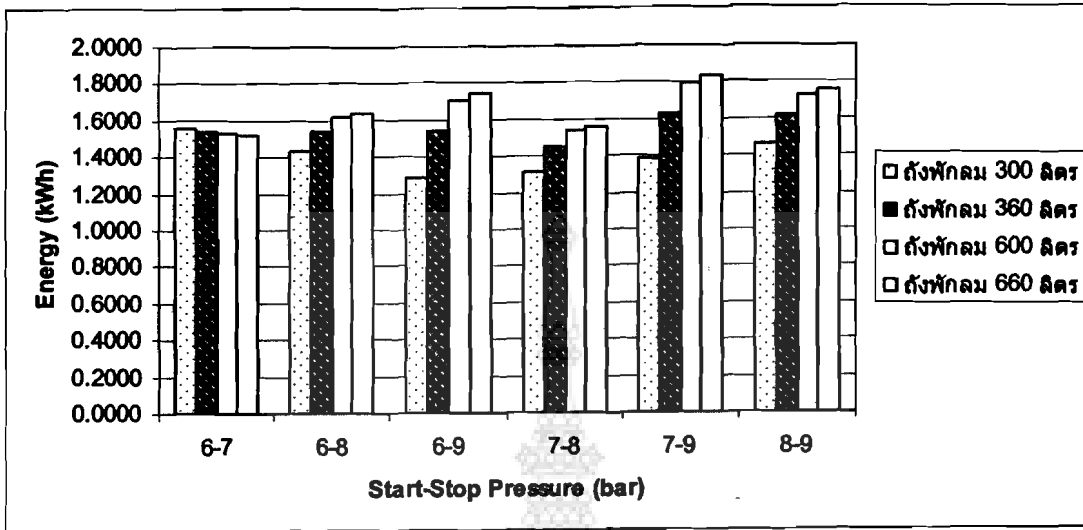


ภาพที่ 3.28 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณการใช้ลมอัด ที่ความดันสตาร์ท-สต็อป ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ถึงพักลมขนาด 660 ลิตร

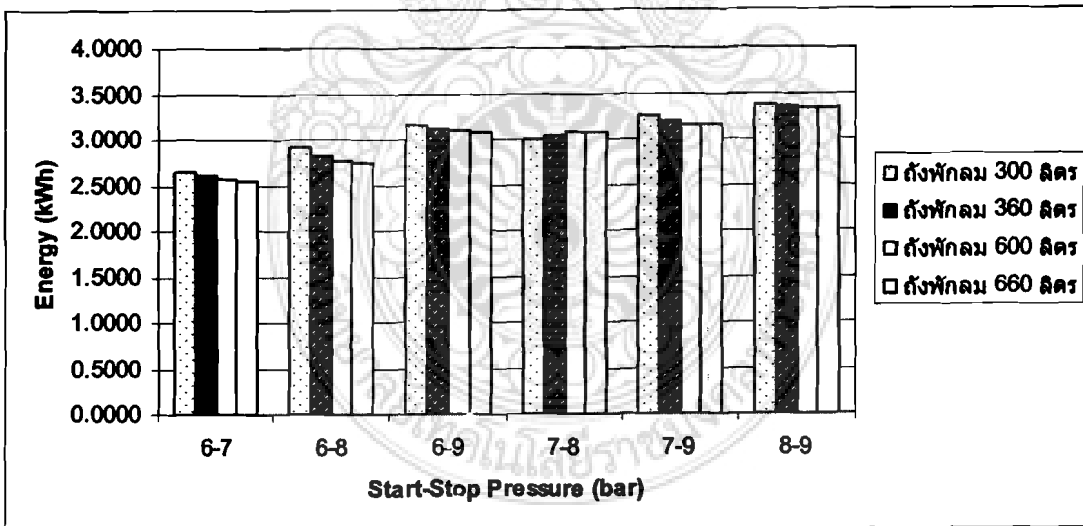
จากการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 กับถังพักลมทั้ง 4 ขนาด คือ 300, 360, 600 และ 660 ลิตร และร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัดต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.7 และจากตารางนี้ ได้แสดงเป็นกราฟแท่ง เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าระหว่างถังพักลมทั้งสี่ขนาด ดังภาพที่ 3.29 ถึง ภาพที่ 3.32

ความดัน	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้ลมต่าง ๆ และขนาดถังลมทั้ง 4 ขนาด (kWh)															
	20%				40%				60%				80%			
	300 ลิตร	360 ลิตร	600 ลิตร	660 ลิตร	300 ลิตร	360 ลิตร	600 ลิตร	660 ลิตร	300 ลิตร	360 ลิตร	600 ลิตร	660 ลิตร	300 ลิตร	360 ลิตร	600 ลิตร	660 ลิตร
6-7	1.5631	1.5413	1.5268	1.5232	2.6521	2.5992	2.5640	2.5552	3.9502	4.0688	4.1479	4.1677	5.2469	5.3262	5.3791	5.3923
6-8	1.4326	1.5427	1.6161	1.6345	2.9175	2.8246	2.7626	2.7471	4.9845	4.7 ^a 40	4.6504	4.6170	6.1485	6.1762	6.1946	6.1992
6-9	1.2853	1.5366	1.7042	1.7461	3.1546	3.1155	3.0894	3.0829	5.5682	5.3759	5.2477	5.2157	6.5747	6.4593	6.3823	6.3631
7-8	1.3174	1.4495	1.5376	1.5596	2.9944	3.0404	3.0711	3.0788	5.2392	4.9712	4.7926	4.7479	6.0217	6.2138	6.3418	6.3738
7-9	1.3817	1.6281	1.7924	1.8335	3.2516	3.2003	3.1661	3.1576	5.7817	5.8362	5.8725	5.8816	6.7503	6.5542	6.4234	6.3907
8-9	1.4583	1.6174	1.7235	1.7500	3.3643	3.3496	3.3398	3.3374	5.9317	6.0189	6.0771	6.0916	6.6632	6.5362	6.4516	6.4304

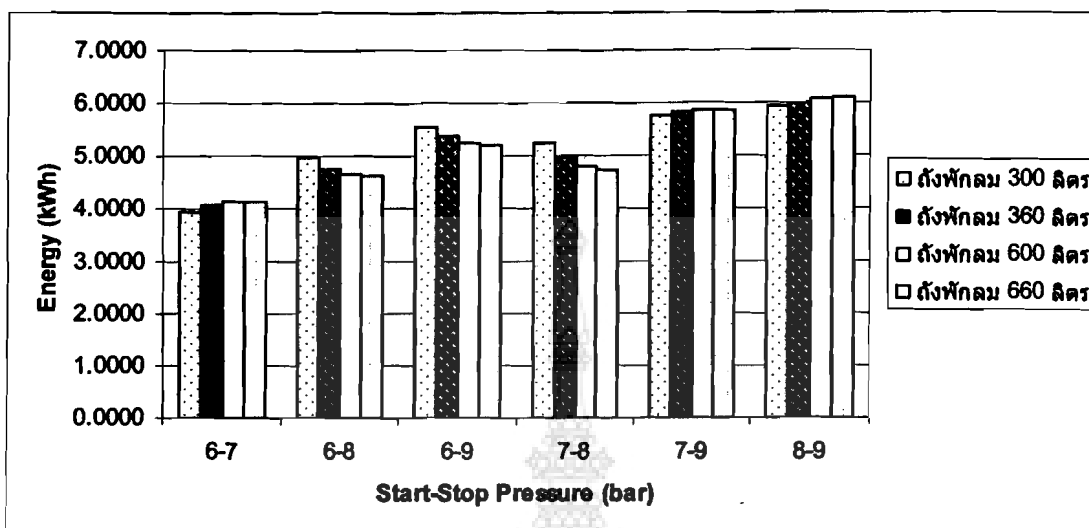
ตารางที่ 3.7 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าใน 1 ชั่วโมง ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ที่ร้อยละของการใช้ลมอัดและถังลมขนาดต่างๆ



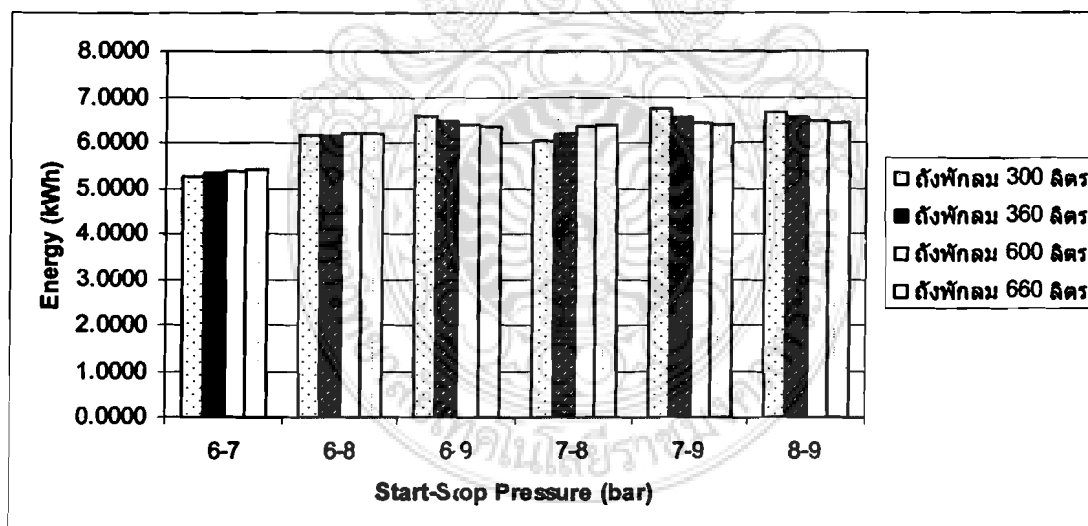
ภาพที่ 3.29 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ที่ถังพักลมขนาดต่างๆ ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 20



ภาพที่ 3.30 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ที่ถังพักลมขนาดต่างๆ ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 40



ภาพที่ 3.31 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ที่ถังพิกลนขนาดต่างๆ ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 60



ภาพที่ 3.32 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ที่ถังพิกลนขนาดต่างๆ ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 80

2. ผลการทดลองเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2

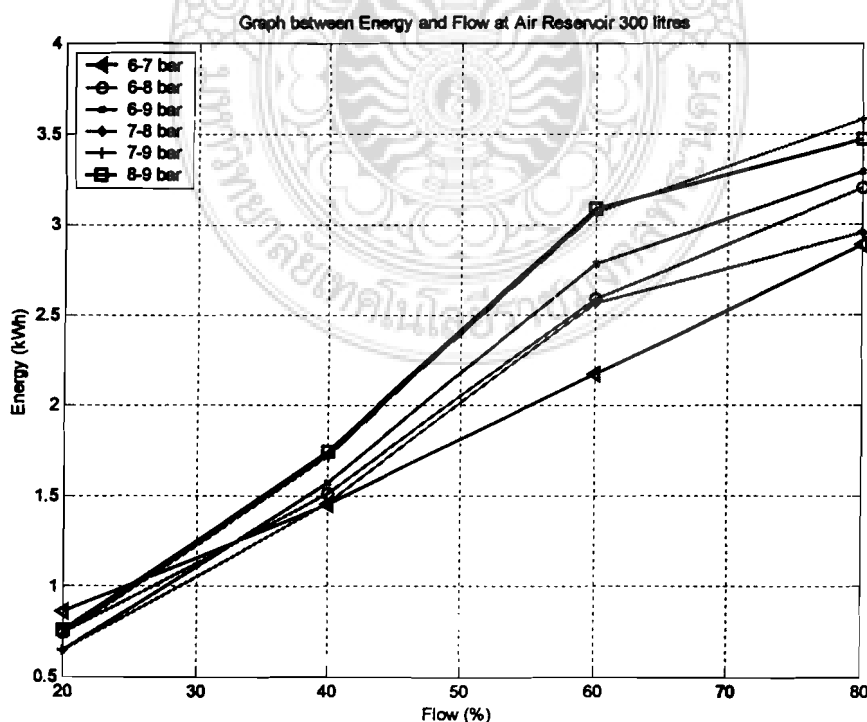
เป็นเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ไซม่อเตอร์ขนาด 4 kW ผลิตรวมอัดได้ 402 LPM

2.1 การทดลองกับถังพักลมขนาด 300 ลิตร

ผลการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 กับถังพักลมขนาด 300 ลิตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.8 และแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้ากับร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัด ดังภาพที่ 3.33

ปริมาณการใช้ลมอัด (%)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ (kWh)					
	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9
20	0.8597	0.745	0.6427	0.6455	0.7323	0.7583
40	1.4587	1.5171	1.5773	1.4673	1.7233	1.7494
60	2.1726	2.5919	2.7841	2.5672	3.0643	3.0845
80	2.8858	3.1972	3.2874	2.9506	3.5777	3.4649

ตารางที่ 3.8 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 ถังพักลมขนาด 300 ลิตร



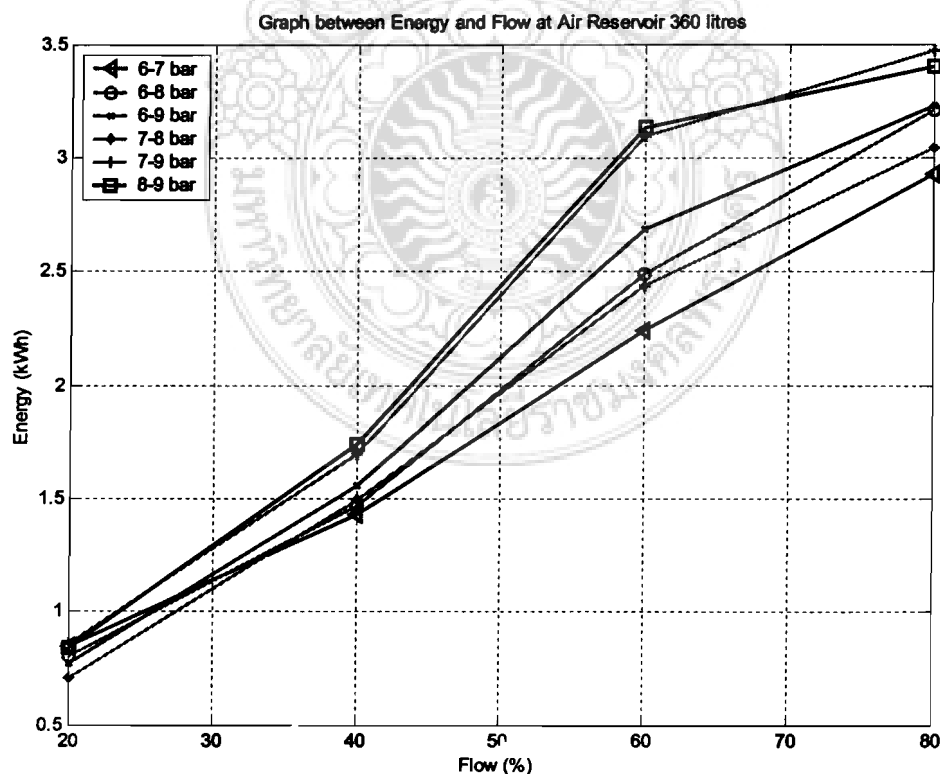
ภาพที่ 3.33 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณการใช้ลมอัด ที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 ถังพักลมขนาด 300 ลิตร

2.2 การทดลองกับถังพักลมขนาด 360 ลิตร

ผลการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 กับถังพักลมขนาด 360 ลิตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.9 และแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้ากับร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัด ดังภาพที่ 3.34

ปริมาณการใช้ลมอัด (%)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ (kWh)					
	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9
20	0.8477	0.8022	0.7683	0.7103	0.8629	0.8411
40	1.4296	1.4688	1.5577	1.4898	1.6962	1.7418
60	2.2379	2.4877	2.688	2.4359	3.0932	3.1298
80	2.9294	3.2116	3.2296	3.0447	3.4737	3.3988

ตารางที่ 3.9 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 ถังพักลมขนาด 360 ลิตร



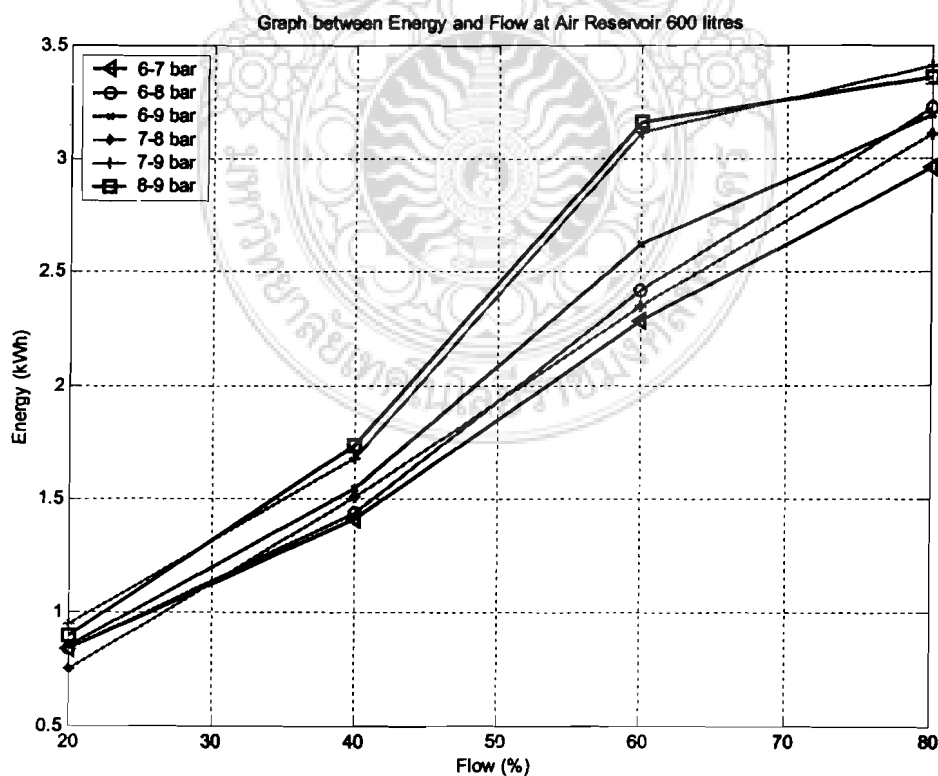
ภาพที่ 3.34 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณการใช้ลมอัด ที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 ถังพักลมขนาด 360 ลิตร

2.3 การทดลองกับถังพักลมขนาด 600 ลิตร

ผลการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 กับถังพักลมขนาด 600 ลิตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.10 และแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้ากับร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัด ดังภาพที่ 3.35

ปริมาณการใช้ลมอัด (%)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ (kWh)					
	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9
20	0.8397	0.8404	0.8521	0.7534	0.95	0.8962
40	1.4102	1.4366	1.5447	1.5048	1.678	1.7367
60	2.2813	2.4182	2.6239	2.3484	3.1124	3.1601
80	2.9585	3.2212	3.1912	3.1075	3.4044	3.3548

ตารางที่ 3.10 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 ถังพักลมขนาด 600 ลิตร



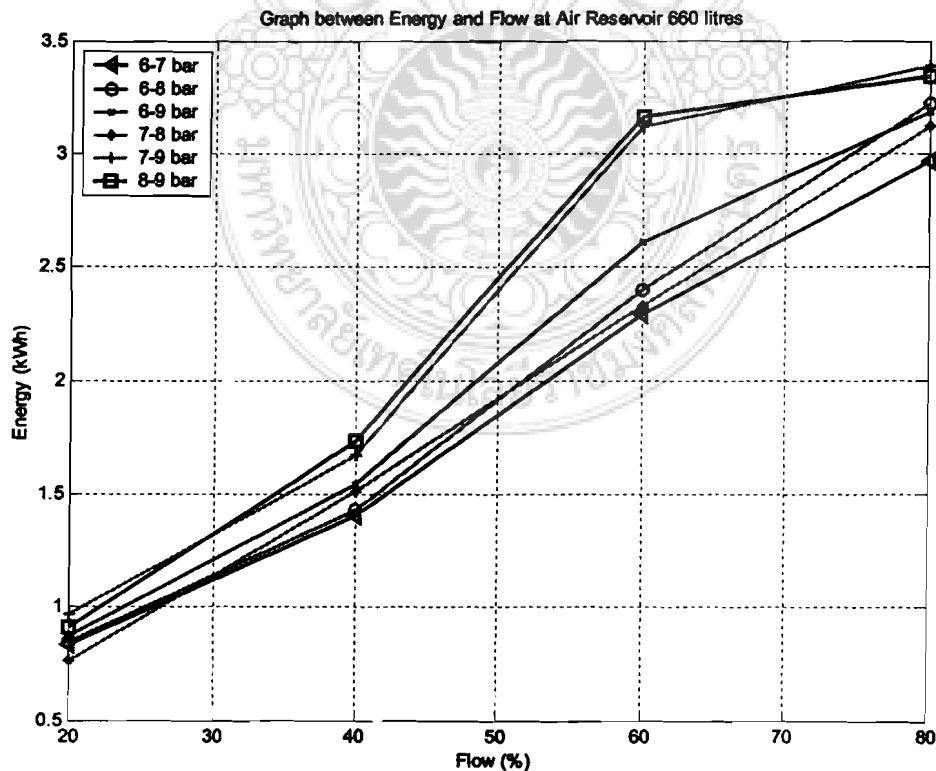
ภาพที่ 3.35 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณการใช้ลมอัด ที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 ถังพักลมขนาด 600 ลิตร

2.4 การทดลองกับถังพักลมขนาด 660 ลิตร

ผลการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 กับถังพักลมขนาด 660 ลิตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.11 และแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้ากับร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัด ดังภาพที่ 3.36

ปริมาณการใช้ลมอัด (%)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ (kWh)					
	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9
20	0.8377	0.8499	0.873	0.7642	0.9717	0.91
40	1.4054	1.4285	1.5414	1.5086	1.6735	1.7354
60	2.2922	2.4008	2.6078	2.3265	3.1172	3.1677
80	2.9658	3.2236	3.1815	3.1232	3.3871	3.3438

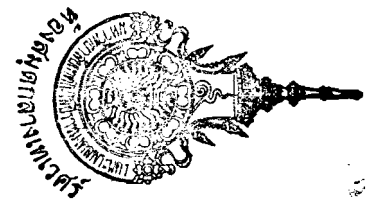
ตารางที่ 3.11 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 ถังพักลมขนาด 660 ลิตร



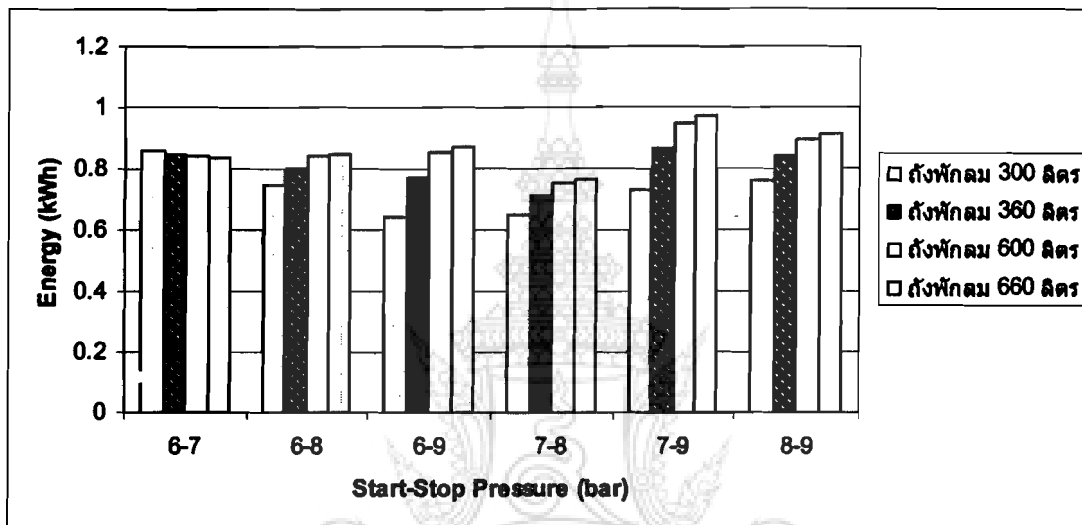
ภาพที่ 3.36 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณการใช้ลมอัด ที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 ถังพักลมขนาด 660 ลิตร

ความชื้น	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้ลมต่าง ๆ และขนาดถังลมทั้ง 4 ขนาด (kWh)															
	20%				40%				60%				80%			
	300 ลิตร	360 ลิตร	600 ลิตร	660 ลิตร	300 ลิตร	360 ลิตร	600 ลิตร	660 ลิตร	300 ลิตร	360 ลิตร	600 ลิตร	660 ลิตร	300 ลิตร	360 ลิตร	600 ลิตร	660 ลิตร
6-7	0.8597	0.8477	0.8397	0.8377	1.4587	1.4296	1.4102	1.4054	2.1726	2.2379	2.2813	2.2922	2.8858	2.9294	2.9585	2.9658
6-8	0.745	0.8022	0.8404	0.8499	1.5171	1.4688	1.4366	1.4285	2.5919	2.4877	2.4182	2.4008	3.1972	3.2116	3.2212	3.2236
6-9	0.6427	0.7683	0.8521	0.873	1.5773	1.5577	1.5447	1.5414	2.7841	2.688	2.6239	2.6078	3.2874	3.2296	3.1912	3.1815
7-8	0.6455	0.7103	0.7534	0.7642	1.4673	1.4898	1.5048	1.5086	2.5672	2.4359	2.3484	2.3265	2.9506	3.0447	3.1075	3.1232
7-9	0.7323	0.8629	0.95	0.9717	1.7233	1.6962	1.678	1.6735	3.0643	3.0932	3.1124	3.1172	3.5777	3.4737	3.4044	3.3871
8-9	0.7583	0.8411	0.8962	0.91	1.7494	1.7418	1.7367	1.7354	3.0845	3.1298	3.1601	3.1677	3.4649	3.3988	3.3548	3.3438

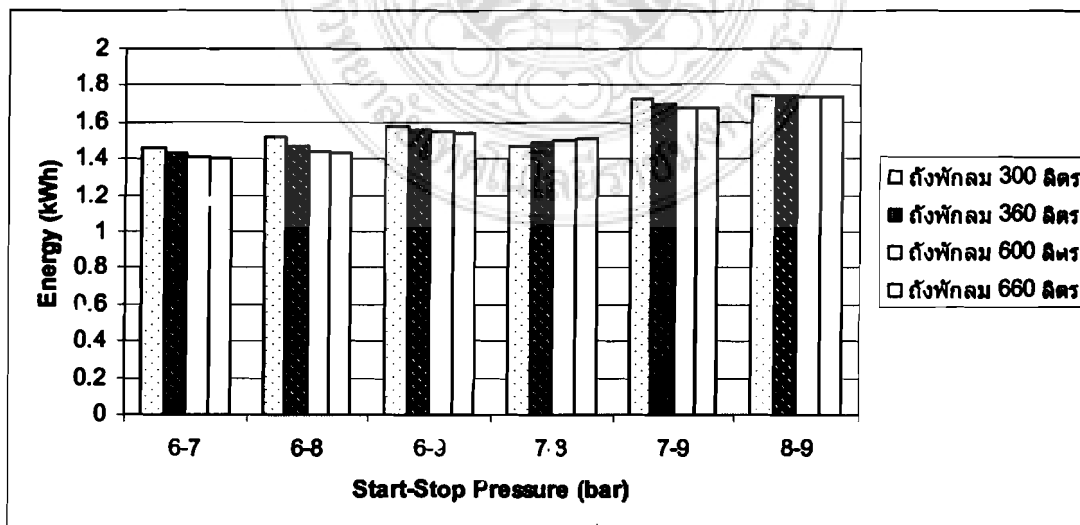
ตารางที่ 3.12 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าใน 1 ชั่วโมง ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 ที่ร้อยละของการใช้ลมอัดและถังลมขนาดต่างๆ



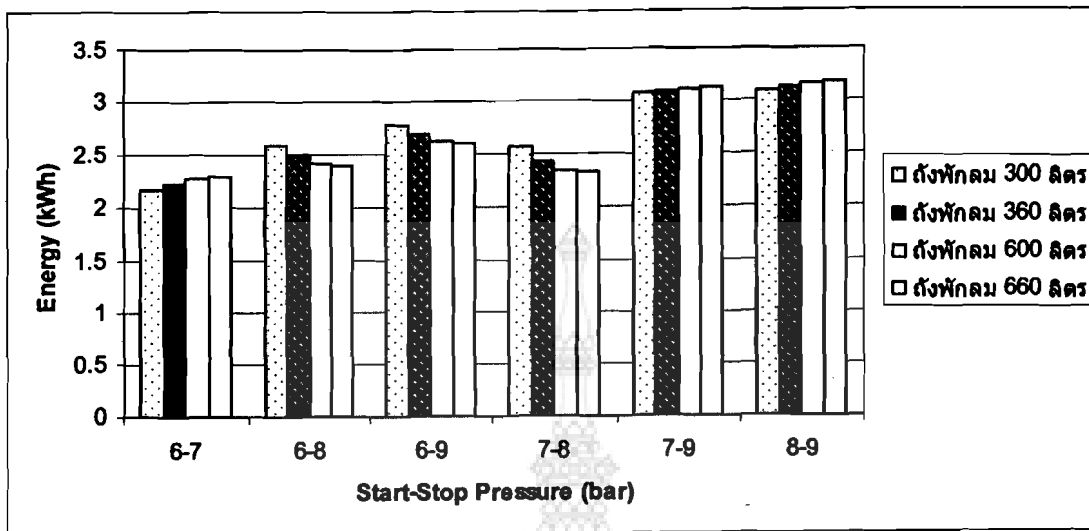
จากการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 กับถังพักลมทั้ง 4 ขนาด คือ 300, 360, 600 และ 660 ลิตร และร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัดต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.12 และจากตารางนี้ ได้แสดงเป็นกราฟแท่ง เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าระหว่างถังพักลมทั้งสี่ขนาด ดังภาพที่ 3.37 ถึง ภาพที่ 3.40



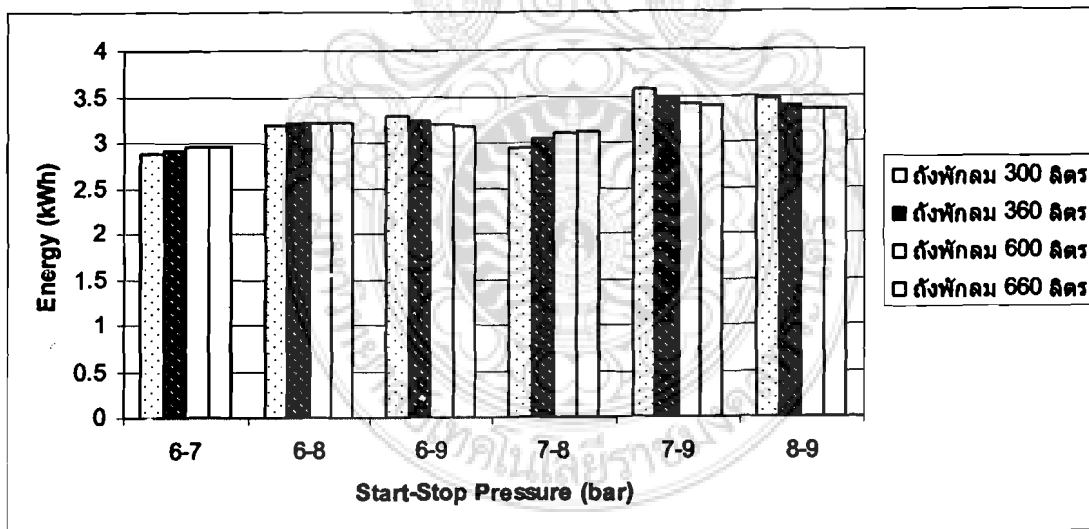
ภาพที่ 3.37 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 ที่ถังพักลมขนาดต่างๆ ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 20



ภาพที่ 3.38 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 ที่ถังพักลมขนาดต่างๆ ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 40



ภาพที่ 3.39 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 ที่ถังพักลมขนาดต่างๆ ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 60



ภาพที่ 3.40 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 ที่ถังพักลมขนาดต่างๆ ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 80

3. ผลการทดลองเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3

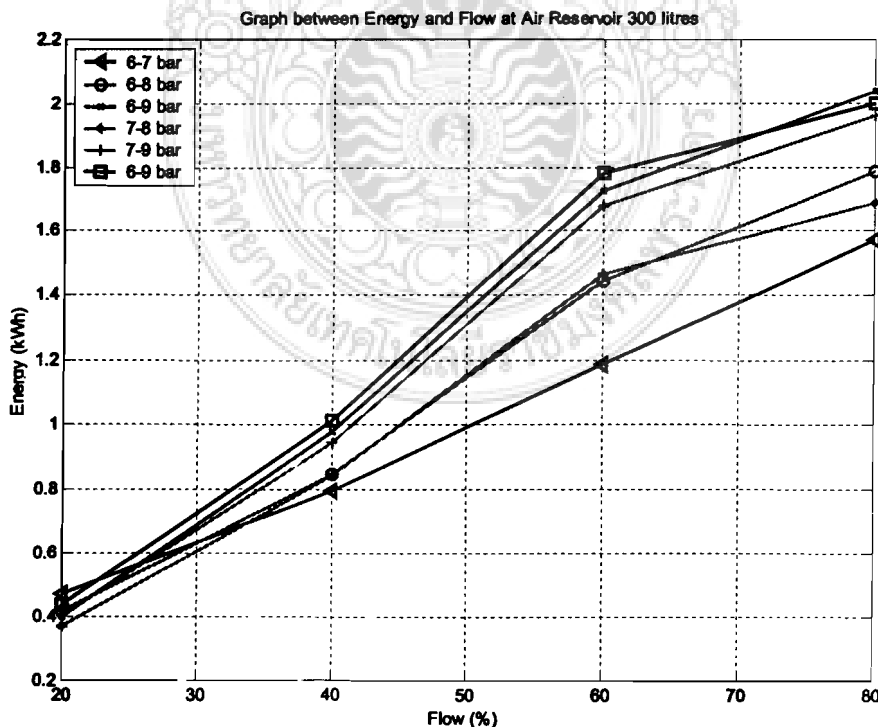
เป็นเครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ ไซมอเตอร์ขนาด 2.2 kW ผลิตรวมอัดได้ 246 LPM

3.1 การทดลองกับถังพักลมขนาด 300 ลิตร

ผลการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 กับถังพักลมขนาด 300 ลิตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.13 และแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้ากับร้อยละของการใช้ปริมาณอัด ดังภาพที่ 3.41

ปริมาณการใช้ลมอัด (%)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ (kWh)					
	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9
20	0.4689	0.4155	0.3984	0.3689	0.4007	0.4375
40	0.7956	0.8461	0.9779	0.8384	0.943	1.0093
60	1.1851	1.4455	1.7261	1.467	1.6767	1.7795
80	1.5741	1.7831	2.0382	1.6861	1.9576	1.999

ตารางที่ 3.13 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 ถังพักลมขนาด 300 ลิตร



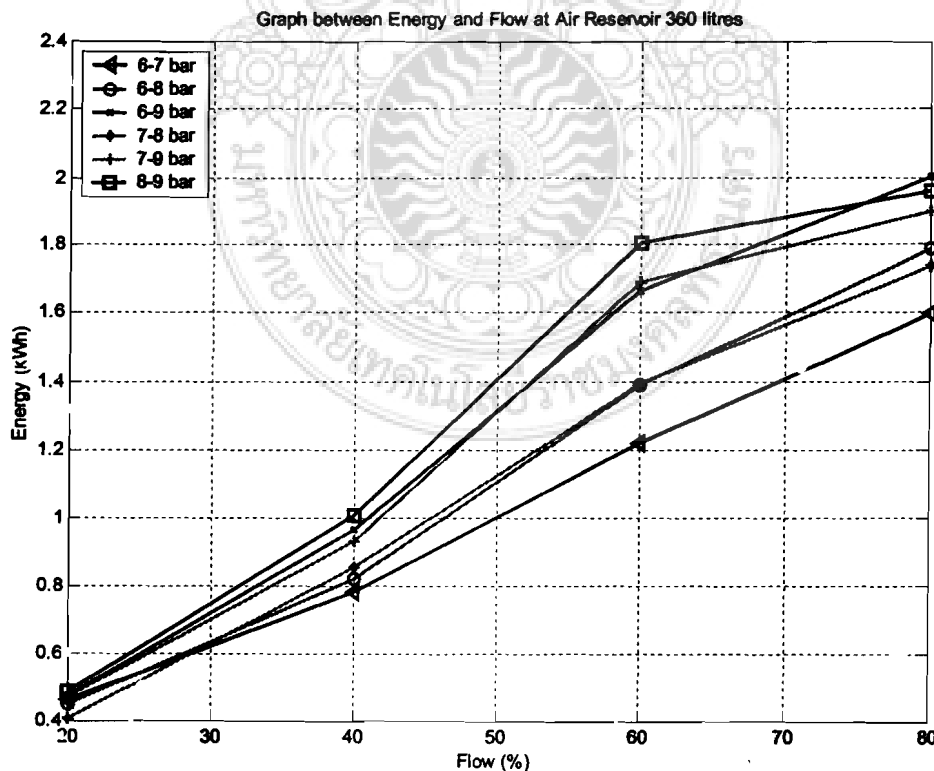
ภาพที่ 3.41 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณการใช้ลมอัด ที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 ถังพักลมขนาด 300 ลิตร

3.2 การทดลองกับถังพักลมขนาด 360 ลิตร

ผลการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 กับถังพักลมขนาด 360 ลิตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.14 และแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้ากับร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัด ดังภาพที่ 3.42

ปริมาณการใช้ลมอัด (%)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ (kWh)					
	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9
20	0.4624	0.4474	0.4764	0.4059	0.4722	0.4852
40	0.7798	0.8191	0.9658	0.8513	0.9281	1.0049
60	1.2206	1.3874	1.6665	1.3919	1.6925	1.8057
80	1.5979	1.7911	2.0024	1.7399	1.9007	1.9609

ตารางที่ 3.14 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 ถังพักลมขนาด 360 ลิตร



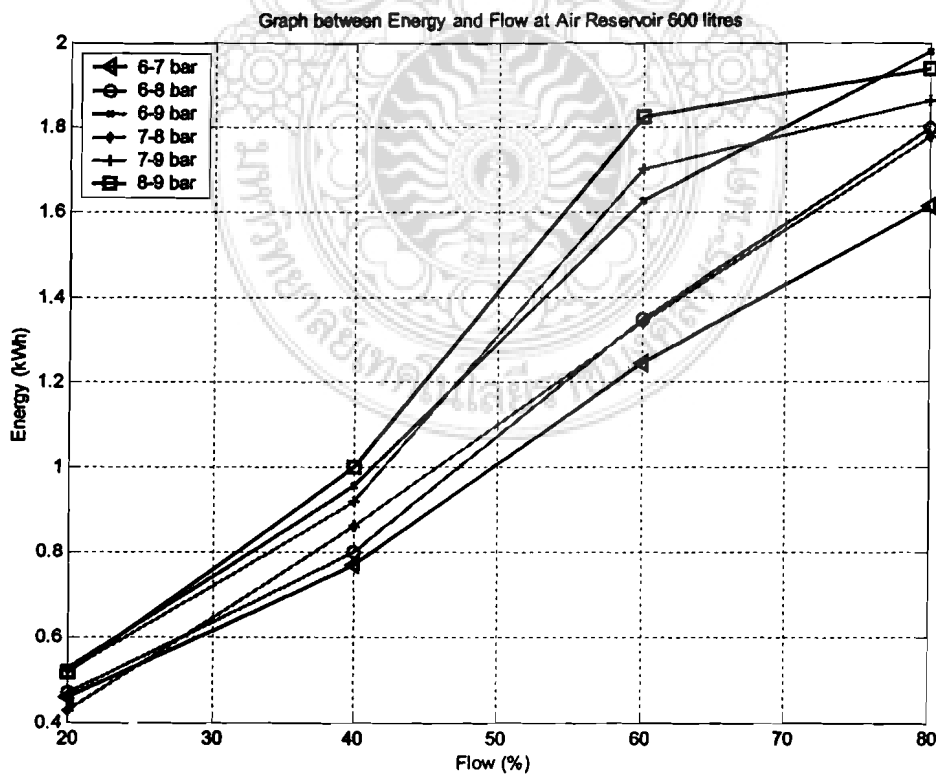
ภาพที่ 3.42 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณการใช้ลมอัด ที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 ถังพักลมขนาด 360 ลิตร

3.3 การทดลองกับถังพักลมขนาด 600 ลิตร

ผลการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 กับถังพักลมขนาด 600 ลิตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.15 และแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้ากับร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัด ดังภาพที่ 3.43

ปริมาณการใช้ลมอัด (%)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ (kWh)					
	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9
20	0.458	0.4687	0.5283	0.4305	0.5198	0.5171
40	0.7692	0.8012	0.9577	0.8599	0.9182	1.0019
60	1.2444	1.3486	1.6268	1.3419	1.703	1.8231
80	1.6137	1.7964	1.9785	1.7757	1.8628	1.9355

ตารางที่ 3.15 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 ถังพักลมขนาด 600 ลิตร



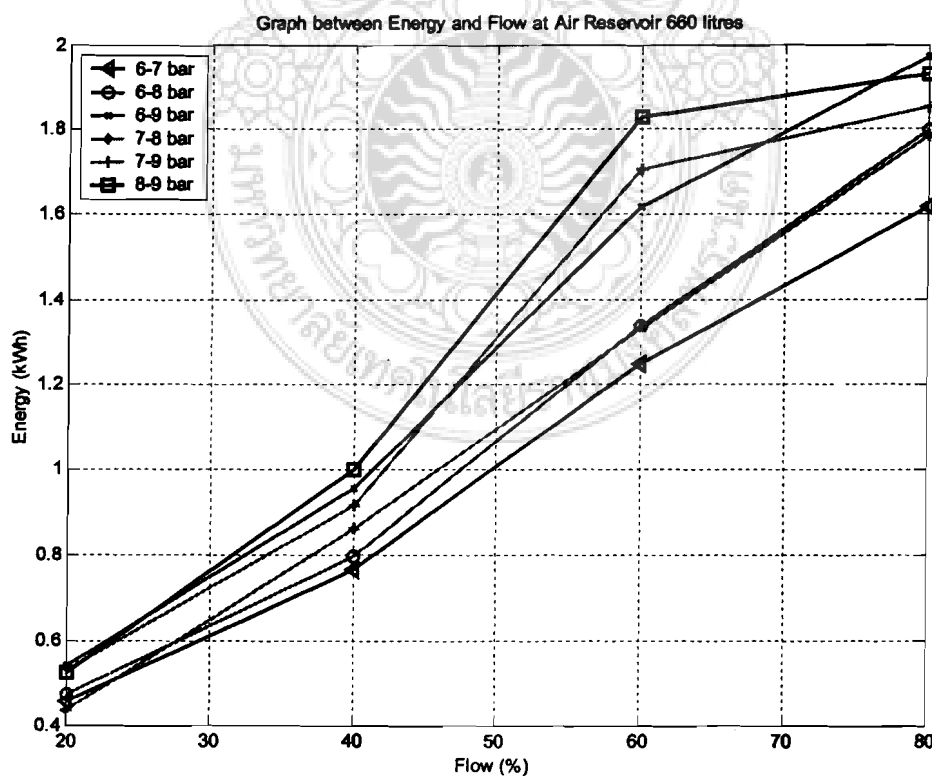
ภาพที่ 3.43 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณการใช้ลมอัด ที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 ถังพักลมขนาด 600 ลิตร

3.4 การทดลองกับถังพักลมขนาด 660 ลิตร

ผลการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 กับถังพักลมขนาด 660 ลิตร ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.16 และแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้ากับร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัด ดังภาพที่ 3.44

ปริมาณการใช้ลมอัด (%)	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ (kWh)					
	6-7	6-8	6-9	7-8	7-9	8-9
20	0.457	0.474	0.5413	0.4367	0.5317	0.525
40	0.7666	0.7967	0.9557	0.8621	0.9157	1.0012
60	1.2503	1.3389	1.6169	1.3294	1.7057	1.8275
80	1.6177	1.7978	1.9725	1.7847	1.8533	1.9291

ตารางที่ 3.16 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้งานลมอัดกับการตั้งค่าความดันต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 ถังพักลมขนาด 660 ลิตร

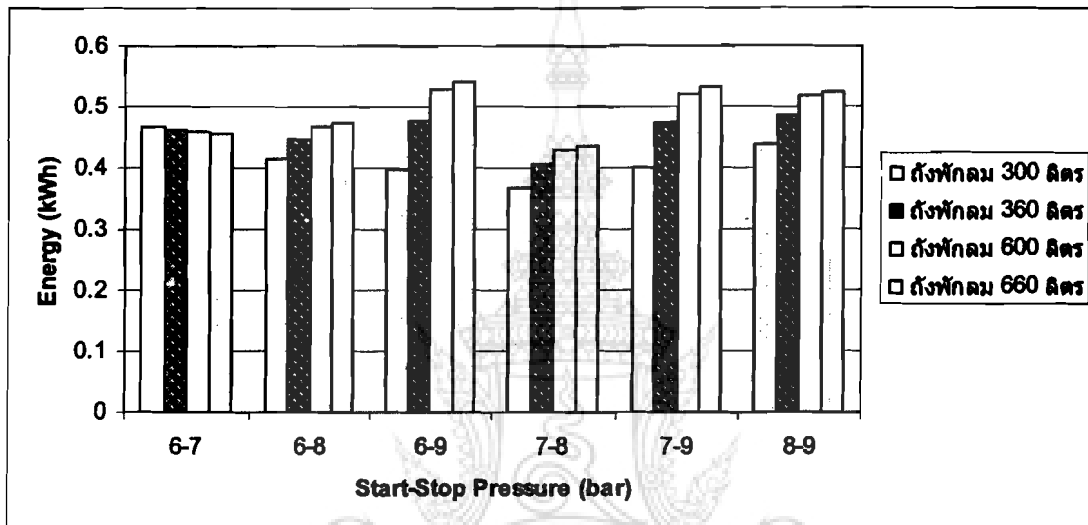


ภาพที่ 3.44 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณการใช้ลมอัด ที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 ถังพักลมขนาด 660 ลิตร

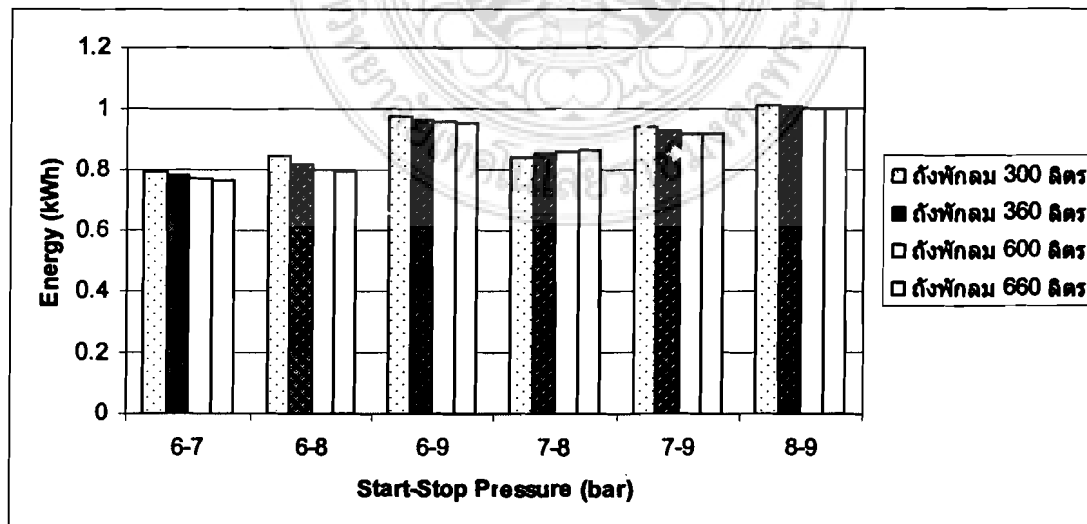
ความคืบ	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละของการใช้ลมต่าง ๆ และขนาดถังลมทั้ง 4 ขนาด (kWh)															
	20%				40%				60%				80%			
	300 ลิตร	360 ลิตร	600 ลิตร	660 ลิตร	300 ลิตร	360 ลิตร	600 ลิตร	660 ลิตร	300 ลิตร	360 ลิตร	600 ลิตร	660 ลิตร	300 ลิตร	360 ลิตร	600 ลิตร	660 ลิตร
6-7	0.4689	0.4624	0.458	0.457	0.7956	0.7798	0.7692	0.7666	1.1851	1.2206	1.2444	1.2503	1.5741	1.5979	1.6137	1.6177
6-8	0.4155	0.4474	0.4687	0.474	0.8461	0.8191	0.8012	0.7967	1.4455	1.3874	1.3486	1.3389	1.7831	1.7911	1.7964	1.7978
6-9	0.3984	0.4764	0.5283	0.5413	0.9779	0.9658	0.9577	0.9557	1.7261	1.6665	1.6268	1.6169	2.0382	2.0024	1.9785	1.9725
7-8	0.3689	0.4059	0.4305	0.4367	0.8384	0.8513	0.8599	0.8621	1.467	1.3919	1.3419	1.3294	1.6861	1.7399	1.7757	1.7847
7-9	0.4007	0.4722	0.5198	0.5317	0.943	0.9281	0.9182	0.9157	1.6767	1.6925	1.703	1.7057	1.9576	1.9007	1.8628	1.8533
8-9	0.4375	0.4852	0.5171	0.525	1.0093	1.0049	1.0019	1.0012	1.7795	1.8057	1.8231	1.8275	1.999	1.9609	1.9355	1.9291

ตารางที่ 3.17 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าใน 1 ชั่วโมง ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 ที่ร้อยละของการใช้ลมอัดและถังลมขนาดต่างๆ

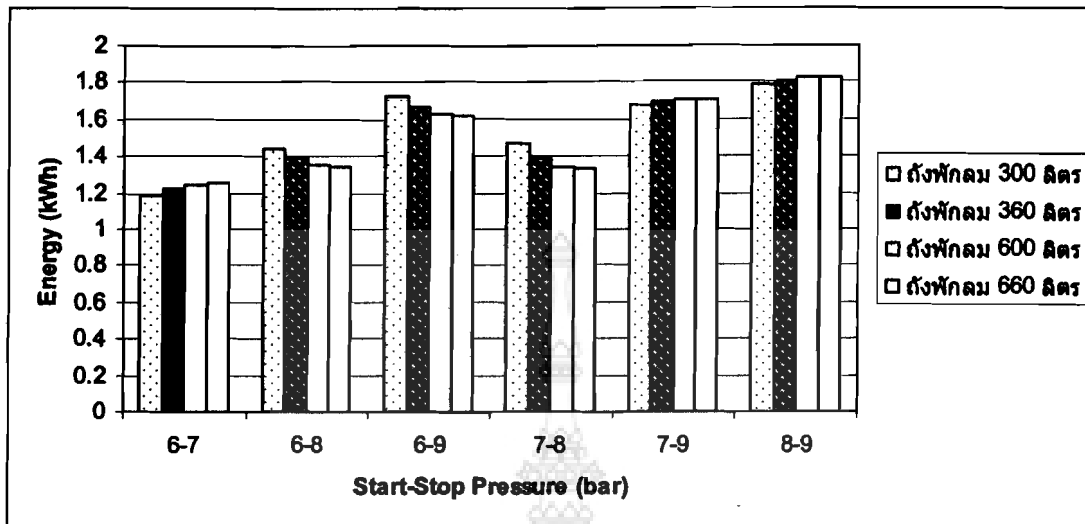
จากการทดลองหาค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 กับถังพักลมทั้ง 4 ขนาด คือ 300, 360, 600 และ 660 ลิตร และร้อยละของการใช้ปริมาณลมอัดต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.17 และจากตารางนี้ ได้แสดงเป็นกราฟแท่ง เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าระหว่างถังพักลมทั้งสี่ ขนาด ดังภาพที่ 3.45 ถึง ภาพที่ 3.48



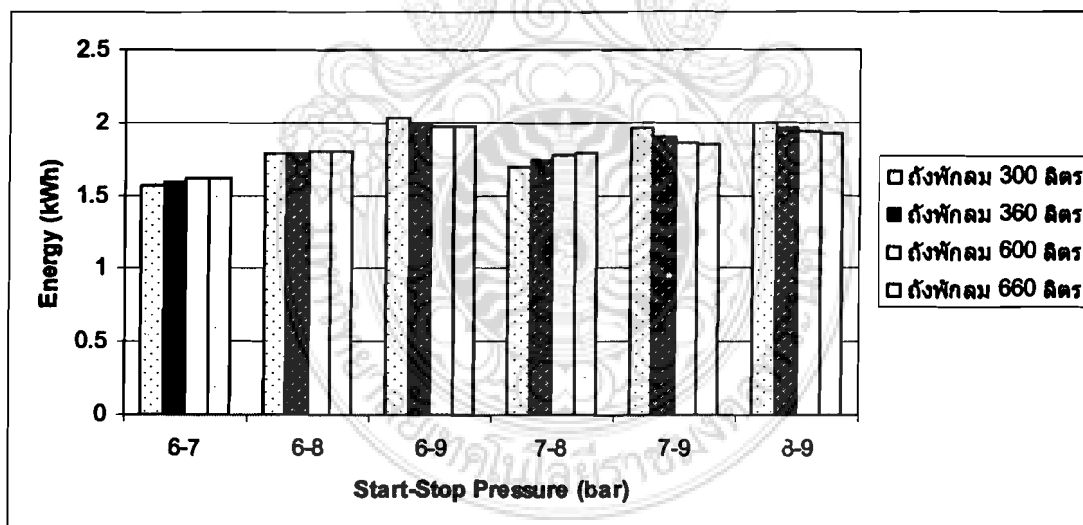
ภาพที่ 3.45 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 ที่ถังพักลมขนาดต่างๆ ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 20



ภาพที่ 3.46 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 ที่ถังพักลมขนาดต่างๆ ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 40



ภาพที่ 3.47 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 ที่ถังพักลมขนาดต่างๆ ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 60



ภาพที่ 3.48 กราฟเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 ที่ถังพักลมขนาดต่างๆ ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 80

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการทดลองหาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศ ที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าแบบ 3 เฟส เป็นแหล่งต้นกำลังในการขับเครื่องอัดอากาศนั้น พบว่า เครื่องอัดอากาศทั้ง 3 เครื่อง ให้ผลการทดลองที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ หากพิจารณาจากกราฟในภาพที่ 3.25, 3.26, 3.27 และ 3.28 ซึ่งเป็นผลการทดลองของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 จะพบว่าที่การตั้งค่าความดัน สตาร์ท-สต๊อป 6-7 บาร์ นั้นจะใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาภาพที่ 3.33, 3.34, 3.35 และ 3.36 ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 และภาพที่ 3.41, 3.42, 3.43 และ 3.44 ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 จะเห็นว่าให้ผลเหมือนกับเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 คือ ที่ความดัน สตาร์ท 6 บาร์ และ สต๊อป 7 บาร์ ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดเช่นกัน

พิจารณา ภาพที่ 3.29, 3.30, 3.31 และ 3.32 ซึ่งเป็นกราฟเปรียบเทียบขนาดของถังพักลมกับการใช้พลังงานไฟฟ้า ที่ความดัน สตาร์ท-สต๊อป ต่างๆ ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 1 ภาพที่ 3.37, 3.38, 3.39 และ 3.40 ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 2 และ ภาพที่ 3.45, 3.46, 3.47 และ 3.48 ของเครื่องอัดอากาศเครื่องที่ 3 พบว่า ที่ความดัน สตาร์ท 6 บาร์ และความดัน สต๊อป 7 บาร์ นั้นเมื่อเทียบกับการใช้ปริมาณลมอัดร้อยละ 20 และร้อยละ 40 ขนาดของถังพักลมที่ใหญ่ขึ้นจะช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากกว่าถังพักลมขนาดเล็กกว่า และเมื่อเทียบกับการใช้ปริมาณลมอัดที่ร้อยละ 60 และร้อยละ 80 กลับให้ผลตรงข้ามกันคือถังพักลมที่ใหญ่ขึ้นกลับใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าถังพักลมขนาดเล็ก สาเหตุเป็นเพราะว่าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 20 และร้อยละ 40 นั้นช่วงการทำงานของมอเตอร์จะสั้นกว่าที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 60 และร้อยละ 80 และหากพิจารณาที่ปริมาณการใช้ลมอัดร้อยละ 20 หากตั้งความดัน สต๊อป สูงกว่า 7 บาร์ ถังพักลมที่ใหญ่ขึ้นจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นเพราะว่าความดัน สต๊อป ที่สูงขึ้นทำให้ต้องใช้เวลาในการสะสมความดันในถังพักลมยาวนานขึ้นจึงเป็นสาเหตุให้มอเตอร์ทำงานนานขึ้นนั่นเอง

ในภาคอุตสาหกรรมนั้นส่วนใหญ่จะใช้ปริมาณลมอัดมากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไป และหากพิจารณาผลการทดลอง ที่การใช้ปริมาณลมอัดร้อยละ 60 และร้อยละ 80 พบว่า ที่ความดัน สต๊อป มากกว่า 8 บาร์ ถังพักลมขนาดใหญ่กว่าจะมีผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้า น้อยกว่า ทั้งนี้คงเป็นสาเหตุมาจากการทดลองนี้ได้ใช้เวลาทดลองแค่ 1 ชั่วโมง ต่อ 1 กรณี ทำให้ผลการทดลองที่ได้คือ มอเตอร์ทำงานตลอดเวลา ทั้ง 1 ชั่วโมง ซึ่งที่ถังพักลมขนาด 300 ลิตร ความดันสะสมในถังพักลมที่ทำได้อยู่ที่ประมาณ 8.7 บาร์ และที่ถังพักลมขนาด 660 ลิตร ความดันสะสมในถังพักลมจะอยู่ที่ประมาณ

8.2 บาร์ ความดันที่ต่างกันนี้มีผลให้การใช้กำลังของมอเตอร์ต่างกันด้วย กล่าวคือ ความดันยิ่งสูง มอเตอร์ก็จะใช้กำลังไฟฟ้ามากขึ้นเป็นสัดส่วนต่อกัน แต่หากทำการทดลองโดยใช้เวลามากกว่า 1 ชั่วโมง ถึงพักลมที่มีขนาดเล็กกว่าอาจจะส่งผลให้มอเตอร์ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าได้ เนื่องจากว่า ถึงพักลมขนาดเล็กมีโอกาสทำให้เกิดการ สติอป ของมอเตอร์มากกว่า ถึงพักลมขนาดใหญ่

ข้อเสนอแนะ

การทดลองของงานวิจัยนี้ มีข้อผิดพลาดอยู่บางประการ คือ การปรับตั้งอัตราการใช้ปริมาณลมอัด ที่ว่าแล้วควบคุมอัตราการไหล (อุปกรณ์หมายเลข 9 รูปที่ 2.9) เป็นการปรับด้วยมือของผู้ทำการทดลอง แล้วอ่านค่าอัตราการไหล ซึ่งอุปกรณ์วัดอัตราการไหลเองแสดงผลแบบสเกล (อุปกรณ์หมายเลข 6 รูปที่ 2.9) จึงทำให้การทดลองแต่ละกรณีของการทดลองมีการปรับค่าอัตราการไหลที่ไม่เท่ากันได้ และสาเหตุอีกประการหนึ่งก็คือ อัตราการไหลของลมอัดขึ้นอยู่กับความดันสะสมในถังพักลม เมื่อความดันสูงขึ้นอัตราการไหลก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย ทำให้ผู้ทำการทดลองต้องคอยปรับว่าแล้วควบคุมอัตราการไหลอยู่บ่อย ๆ ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น

ทางคณะผู้ทำการวิจัยจึงมีข้อเสนอแนะว่า หากมีผู้ใดจะทำการทดลองในเรื่องนี้ต่อ ควรเปลี่ยนว่าแล้วควบคุมอัตราการไหล (อุปกรณ์หมายเลข 9 รูปที่ 2.9) เป็นแบบ พร้อปอร์ชันนัลวาล์ว (Proportional Valve) และควรใช้เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลแบบอนาล็อก เพื่อทำการควบคุมแบบวงปิด (Close loop control) และใช้ตัวควบคุมแบบ PID (PID Controller) ควบคุม จะทำให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

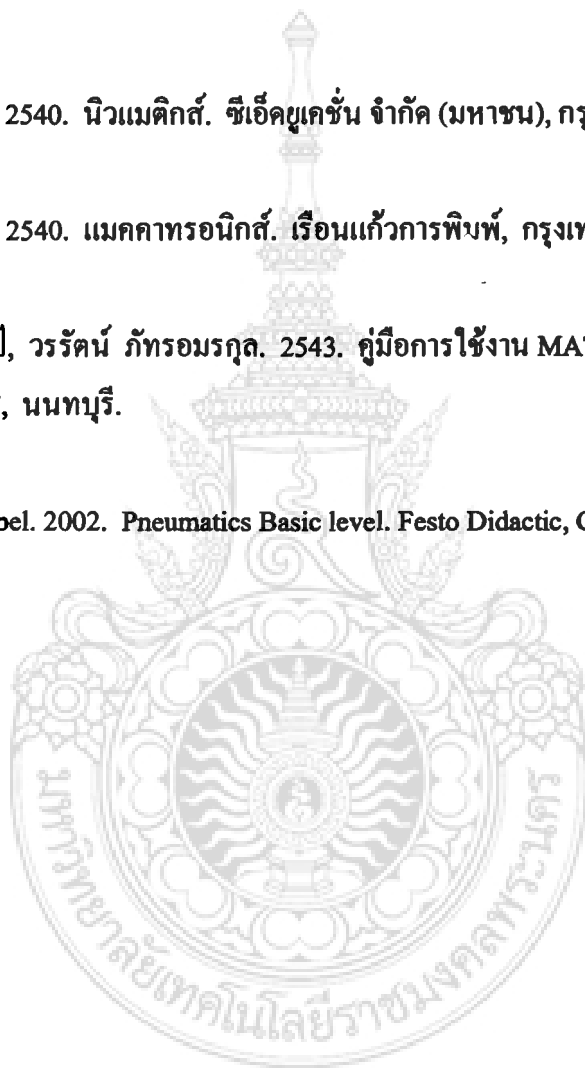
ปานเพชร ชินินทร, ขวัญชัย สินทร์พษ์สมบูรณ์. 2539. นิวแมติกอุตสาหกรรม. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

ประวิตร ติมประวัฒน์. 2540. นิวแมติกส์. ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

พรจิต ประทุมสุวรรณ. 2540. แมคคาทรอนิกส์. เรือนแก้วการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์, วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. 2543. คู่มือการใช้งาน MATHLAB ฉบับสมบูรณ์. สำนักพิมพ์ อินโฟเพรส, นนทบุรี.

Peter Croser, Frank Ebel. 2002. Pneumatics Basic level. Festo Didactic, Germany.





ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

รายละเอียดทางเทคนิคของอุปกรณ์การทดลอง

PM130 Series: TRUE METER™

**The Low Cost
Analog Replacement**

Model PM130-
Volts, Amps, Frequency

Model PM130P- Power

Model PM130E- Energy

Model PM130EH
Harmonic Distortion

SATEC Powerful Solutions



ภาพผนวกที่ ก.1 รายละเอียดอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า

CHOICE OF TRUEMETER™ MODELS

Model PM130
Basic Voltage, Current
and Frequency

Model PM130P
Adds Power

Model PM130E
Adds Energy

Percent-of-Load
Circular Bar Graph
(Mimics Analog Meter Needle)

3 Phase-At-Once
Bright LED Display

- Fully Visible in Bright Sunlight
- Also settable for Automatic Boreling



**Min/Max
Measurements**

- Max. Volts per phase
- Min. Volts per phase
- Max. Amps Demand per phase



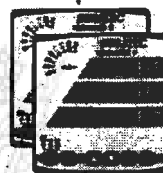
**Real Time
Measurements**

- Voltage L-L
- Voltage L-N per phase
- Current per phase
- Neutral Current
- Frequency
- Phase Rotation



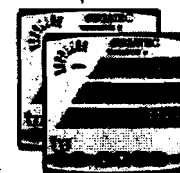
**Status
Information**

- Phase Rotation
- Relay Status
- Counters
- TXD, RXD Communication
- Alarm Trigger Code



**Real Time
Measurements**

- Voltage L-L
- Voltage L-N per phase
- Current per phase
- Neutral Current
- Frequency
- Power Factor
- Active Power
- Reactive Power
- Apparent Power
- Per Phase: kW, kvar, kVA, PF
- Voltage Unbalance
- Current Unbalance



**Min/Max
Measurements**

- Max. Volts per phase
- Max. Amps per phase
- Max. Neutral Amps
- Max. Hz
- Max. PF
- Max. kW
- Max. kvar
- Max. kVA
- Max. Volts Demand per phase
- Max. Amps Demand per phase
- Max. kW Demand (E)
- Max. kVA Demand (E)
- Min. Volts per phase
- Min. Amps per phase
- Min. Neutral Amps
- Min. Hz
- Min. PF
- Min. kW
- Min. kvar
- Min. kVA

Measurement

- True RMS measurement
- Fast, real-time, cycle by cycle measurement, at 32 samples per cycle. Average values are over 8, 16, 32 or 41 real-time values
- Choice of models ranging from basic voltage, current, and frequency, to up to over 80 electrical parameters locally and over 100 electrical parameters via RS-485
- Four-Quadrant readings (power, power factor)
- Min/Max values (instantaneous & demand)

Installation & Connections

- Single model accepts all wiring configurations
- Mounting standard to both 4-inch round motor and 96mm standard square DIN cutouts
- 500 Volt or PT input Unique "Pass Thru" Rear Current CT inputs for easy connection and low burden
- User settable PT and CT ratios

Relay Output

- Optional alarm relay with programmable setpoint triggers and communication command
- Energy pulsing output (Wh, varh, VAh) (PM130E)

Communications

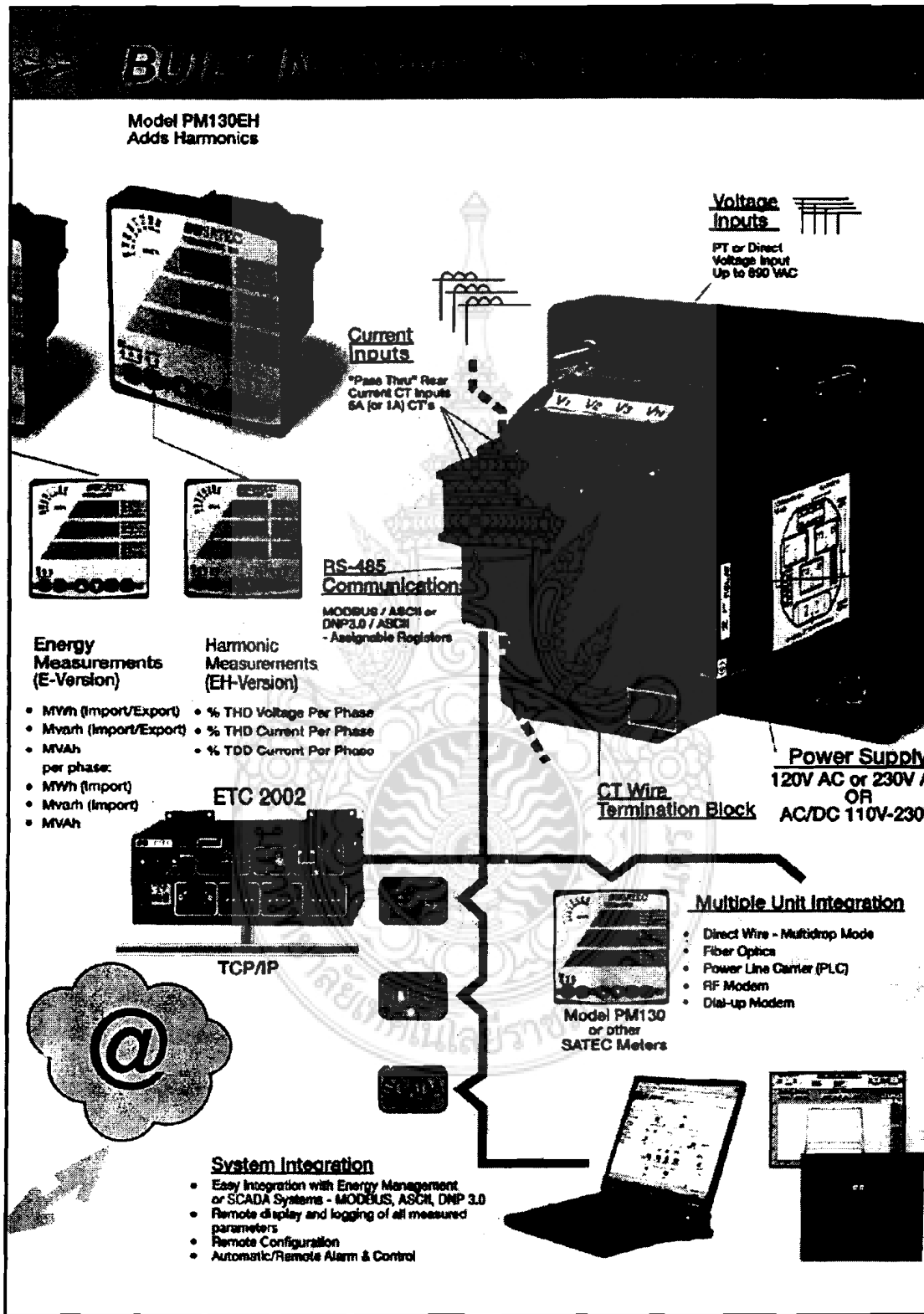
- RS-485 Communications standard
- MODBUS/ASCII/DNP3.0 protocols
- Assignable Registers allows the user via MODBUS or DNP3.0 protocols to determine what is transmitted via communication. This allows choice of measurements and reduces the need to program multiple registers per meter

Front Panel Display

- Simultaneous 2 parameter bright LED display, fully visible in bright sunlight
- Percent-of-Load LED bar graph, analog mimics meter needle
- Energy reading to 6 digits (for kwh and megaj)
- Menu driven configuration setup
- Password protection

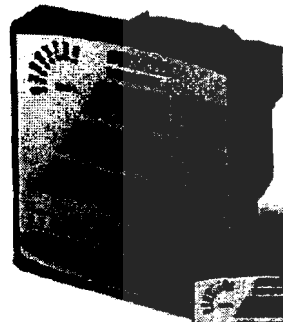
**expert
power™**

ExpertPower empowers you with increased energy management capability and improved reliability. Receive on-line, via the Internet, reports, graphs and billing generation. Identify and solve problems in real time.



ภาพผนวกที่ ก.3 รายละเอียดอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า (ต่อ)

LOCAL DISPLAY AND PROGRAMMING



Front Panel Multi-Parameter Local Display

- 3 Bright LED Displays for High Visibility- even in full sunlight
- 3-Phases-At-Once for Quick Phase Balance Assessment
- Adjustable Display Update Time- from a fast 0.1 sec. to 10.0.sec
- Push Button Multi-Parameter Display also Settable for Automatic Scrolling with Adjustable Scroll Time
- 5 Digit Energy Reading (E,EH version)
- Percent-Of-Load LED Bar Graph - Programmable - Mimics Analog Meter Needle

Relay Output

16 Programmable Alarm / Event Setpoints - More than just a Relay

- Independent Operate & Release Limits
- Independent Operate & Release Time Delays
- Multiple Choice of Actions:
 - Close / Open Relays
 - Increment / Clear Counters

Menu Driven Local Set Up

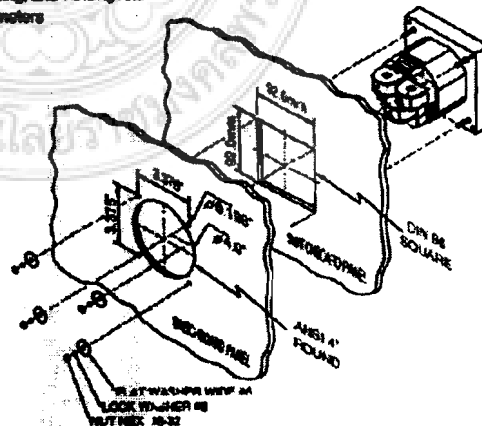
- Wiring Configuration
- PT & CT Settings
- Programmable Communications
- Local Max. Demands and Energy Reset
- Disable / Enable Local Reset
- Password Protection
- Alarm / Event Setpoints
- Display Update Time, Scroll Enable

PAS SOFTWARE - Remote Setup

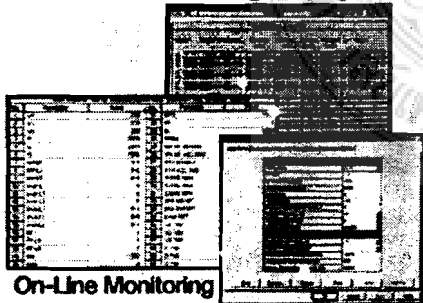
PM130 Powermeters are supplied with "PAS" Software for ease of use in setup, programming, and viewing real time parameters

Panel Mounting

4-Inch Round or 92 x 92mm DIN Square



Event/Alarm Set Points Programming



On-Line Monitoring

Basic Setup

POWERTREND SOFTWARE (Optional)

"POWERTREND" is data acquisition software for straightforward and efficient data collection from SATEC Pow. meters. "POWERTREND" provides measurements data collection from up to 32 remote Powermeters and stores them in files for later recall and use in a spreadsheet program such as Microsoft Access or Excel. Raw data is automatically processed and can be presented in tabular or graph form for analysis of trends in consumption

PM130 Series TRUeMETER™ The Low Cost Analog Replacement

The PM130 TrueMeter™ Powermeters are a cost effective means of replacing numerous single function analog meters such as voltage, current, frequency, etc., with an "all measurements in one" digital design, reducing meter, switch, wiring, termination, and signal conditioning costs.

PARAMETERS		PM130	PM130P	PM130PE	PM130PEEH
True RMS Voltage (Volts L-N and L-L) Direct Voltage Input: Up to 800 V L-L and 400V L-N PT ratio: 1.0-6,500.0 Range of Reading: 1-899,000 V Accuracy: ±0.3% FS (70% to 120% FS)	Average RMS per phase Real-time per phase Min/Max per phase Voltage Unbalance	• • • •	• • • •	• • • •	PM130.PE.EH PM130.PE.EH PM130.PE.EH PE.EH
True RMS Current (Amps) Secondary Current Input: 5A or 1A CT ratio: 1 to 50,000 Range of Reading: 0-60,000 A Accuracy: ±0.3% FS (2% to 150% FS)	Average RMS per phase Real-time per phase Min/Max per phase Current Unbalance	• • • •	• • • •	• • • •	PM130.PE.EH PM130.PE.EH PE.EH PE.EH
Neutral Current (Amps) Range of Reading: 0-60,000 A Accuracy: ±0.6% FS (2% to 150% FS)	Average RMS current Real-time	• •	• •	• •	PM130.PE.EH PM130.PE.EH
Frequency (Hz) Range of Reading: 45.00-65.00 Hz Accuracy: ±0.02% Reading	Average Real-time Min/Max	• • •	• • •	• • •	PM130.PE.EH PM130.PE.EH PE.EH
Power Factor (PF) Range of Reading: 0.0 to 1.000 Lag/Lead Accuracy: ±1% Reading, (PF ≥ 0.5)	Average total Average per phase Real-time total & per-phase Min/Max total	• • • •	• • • •	• • • •	PE.EH PE.EH PE.EH PE.EH
Phase Rotation Positive, Negative, Error	Pos, Neg, Err	•	•	•	PE.EH
Active Power (Watts) Range of Reading: -2,000,000 to 2,000,000 MW Accuracy: ±0.5% FS, (PF ≥ 0.5)	Average total Average per phase Real-time total & per-phase Min/Max total	• • • •	• • • •	• • • •	PE.EH PE.EH PE.EH PE.EH
Reactive Power (vars) Range of Reading: -2,000,000 to 2,000,000 Kvar Accuracy: ±0.6% FS, (PF ≤ 0.5)	Average total Average per phase Real-time & per-phase Min/Max total	• • • •	• • • •	• • • •	PE.EH PE.EH PE.EH PE.EH
Apparent Power (VA) Range of Reading: 0 to 2,000,000 MVA Accuracy: ±0.6% FS, (PF ≥ 0.5)	Average total Average per phase Real-time & per-phase Min/Max total	• • • •	• • • •	• • • •	PE.EH PE.EH PE.EH PE.EH
Active Energy (MWh) Range of Reading: 0 to 99,999 MWh Accuracy: As Power	Total (Import & Export) Import per phase	• •	• •	• •	E.EH E.EH
Reactive Energy (Mvarh) Range of Reading: 0 to 99,999 Mvarh Accuracy: As Power	Total (Import & Export) Import per phase Total net	• • •	• • •	• • •	E.EH E.EH E.EH
Apparent Energy (MVAh) Range of Reading: 0 to 99,999 MVAh Accuracy: As Power	Total Per phase	• •	• •	• •	E.EH E.EH
Voltage Demand (Volts) (same as voltage)	Demand per phase Max Demand per phase	• •	• •	• •	PE.EH PE.EH
Amps Demand (Amps) (same as current)	Demand per phase Max Demand per phase	• •	• •	• •	PM130.PE.EH PM130.PE.EH
Active Power Demand (Watts) (same as Active Power)	Demand Maximum Demand Accumulated Demand Sliding Demand Predicted Demand	• • • • •	• • • • •	• • • • •	E.EH E.EH E.EH E.EH E.EH
Apparent Power Demand (VA) (same as Apparent Power)	Demand Maximum Demand Accumulated Demand Sliding Demand Predicted Demand	• • • • •	• • • • •	• • • • •	E.EH E.EH E.EH E.EH E.EH
Total Voltage Harmonic Distortion THD (V)%	Average THD (V)% per phase	•	•	•	EH
Total Current Harmonic Distortion THD (I)%	Average THD (I)% per phase	•	•	•	EH
Total Current Demand Distortion TDD (I)%	Average Total and per phase	•	•	•	EH
Fundamental Power Factor (Displacement) PF(F1)	Average Total and per phase	•	•	•	EH
Fundamental Active Power (kW)	Average Total and per phase	•	•	•	EH

ภาพผนวกที่ ก.5 รายละเอียดอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า (ต่อ)

INPUT SPECIFICATIONS

Voltage:	
Direct Voltage Input:	Up to 690V L-L and 400V L-N
PT ratio:	1.0-8500
Range of Reading:	1-999,000V
Burden:	Directly < 0.5VA, Via PT < 0.15VA
Current:	
Secondary Current Input:	5A or 1A
Range of Reading:	0-99,000A
Burden:	2.5 to 4mm ² wire from CT
Overload:	5A CT = 15A RMS continuous, 40A for 1 sec. 1A CT = 3A RMS continuous, 60A for 1 sec.
Power Supply:	
Galvanically isolated, 90-144V AC or 185-264V AC (factory set), 50/60 Hz, 5 VA burden or AC/DC 85-265V AC/DC	

OUTPUT SPECIFICATIONS

Programmable Relay Output (option):
Relay can be assigned to trigger on programmable set-point actions or provide energy pulses (PM130E) proportional to measured kWh or kvarh, with a selectable rate per pulse. Relay rated at 3A, 250V AC / 3A, 30V DC / 0.25A, 120V DC (Resistive load - SPST Form A)

Communications:
Optically isolated RS-485 via removable service strip. Max. wire diameter 12 AWG (2.0mm)
Baud rate selectable to 19,200bps, 7 or 8 bit even parity or 8 bit no parity. Up to 100 address points in ASCII, 247 address points in MODBUS, and 256 address points in DNP allow multiple powermeters to be connected to one PC in multi-drop mode. Communication via modem is also available. MODBUS and ASCII or DNP3.0 and ASCII protocols are available.

MISCELLANEOUS

Voltage Input Terminals:
UL Recognized E122558. Max wire section 10 AWG (4 mm²)

Current Inputs:
Galvanically isolated CT core accepts pass through of wire sized to 0.3 inch (7.5 mm) total thickness diameter

Power Supply Terminals:
Terminal Block, Max wire section 14 AWG (1.5 mm²)

Relay Terminals (option):
Terminal Block, Max wire section 14 AWG (1.5 mm²)

Environmentals:
Operating temperature: -20° to +60°C (-4° to +140°F)
Storage temperature: -25° to +90°C (-13° to +176°F)
Humidity: 0-85% non-condensing

Dimensions: (mounted)
4.5x4.5x4.29 inch (114.3 x 114.3 x 109 mm)

Mounting:
Panel mounted 4-inch round cut out or 92x92mm square DIN

Case Enclosures:
Molded plastic case - flame resistant ABS & Polycarbonate Blend

Weight:
1.54 lb (0.70 kg)

Warranty:
3 Year limited warranty

Standards:
UL Recognized - E230995 (US & Canada UL3111-1) UL61010B-1
CE EMC: 89/336/EEC as amended by 92/31/EEC and 93/88/EEC
LVD: 73/23/EEC as amended by 93/68/EEC and 93/403/EEC
Harmonised Standards to which EN 53011:1991; EN 50062-1:1992
Conformity is Declared: EN 61010-1:1993; A2/1995

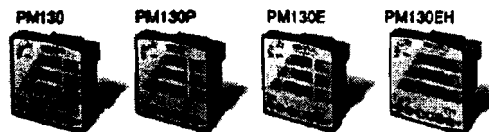
Immunity Standards
IEC 1000-4-2 Electrostatic Discharge
IEC 1000-4-3 Radio Frequency Interference (RFI)
IEC 1000-4-4 Electrical Fast Transient (EFT)

ANSI C37.90.1 Surge Withstand Capability (SWC)
Oscillatory 2.5kV/1 MHz
Fast Transient 4kV/160 ns

ANSI C62.41-1991 Stand-off Surge

ISO 9001

ORDERING INFORMATION



PM130 (Volt, Amp, Frequency)
Voltage, Current, Neutral Current, Frequency, Min/Max Volts, Max Amp Demand, Phase Rotation

PM130P (Power Version)
Adds to PM130 - Watts, Vars, VA, PF, Min/Max values (Volts Amps, Neutral, Hz, PF, MW, kVar, kVA), Max Amp Demand, Max Volt Demand, Voltage Unbalance, Current Unbalance

PM130E (Energy Version)
Adds to PM130P - MWh (Imp/Exp), Mvarh (Imp/Exp), MVAh, Por Phase Energy, Max kW Demand, Max kVA Demand

PM130EH (Harmonic Version)
Adds to PM130E - THD Voltage, THD Current

PM130 SERIES TRUEMETER™

PM130-
PM130P-
PM130E-
PM130EH-
OPTIONS

VOLTAGE INPUTS

0 690V AC Nominal
Voltage Input
U 120V AC Nominal
Voltage Input

CURRENT INPUTS

5 5 Amperes
1 1 Amperes

POWER SUPPLY

1AC 90-144V AC
2AC 185-264V AC
AC/DC 85-290V DC
85-265V AC

EXAMPLE:

PM130P-U-5-1AC or PM130P-0-5-AC/DC

SATEC, Ltd.

Har Hotzvim Science Based Industrial Park
P.O. Box 45022, Jerusalem, 91450 Israel
Tel: 972-2-541-1000 • Fax: 972-2-581-2371
E-mail: satec@satec.co.il
www.satec.co.il

SATEC, Inc.

One Springfield Ave., Summit, NJ 07901
Tel: (908) 608-0500 • Fax (908) 608-0535
E-mail: satec@oksatec.com
www.oksatec.com

SATEC Powerful Solutions

88078
RELAZ

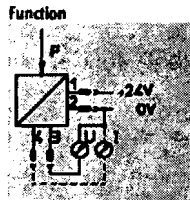
68130-0996A

ภาพผนวกที่ ก.6 รายละเอียดอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า (ต่อ)

Pressure sensors SDE

FESTO

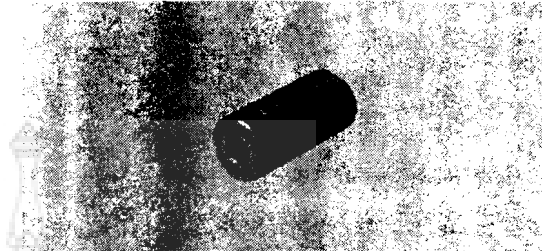
Technical data



⚡ Voltage
12 ... 30 V DC

⊖ Pressure
0 ... 16 bar

🌡 Temperature range
0 ... +85°C



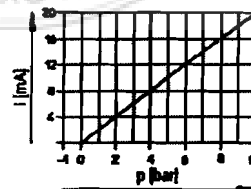
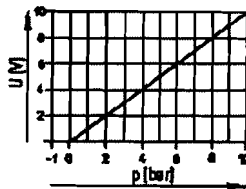
Type	SDE-2,5-10V/20mA	SDE-2,5-5V/20mA	SDE-10-10V/20mA	SDE-10-5V/20mA	SDE-16-10V/20mA
Operating pressure [bar]	0 ... 2,5		0 ... 10		0 ... 16
Mechanical					
Pneumatic connection	G1/4				
Method of measurement	Piezoresistive pressure sensor				
Measured variable	Relative pressure				
Accuracy	1%				
Hysteresis	Linearity and hysteresis to DIN 16 00 5				
Electrical connection	Plug M12x1, 4-pin				
Type of mounting	Threaded				
Mounting position	Any ¹⁾				
Weight [g]	120				
Electrical					
Operating voltage range [VDC]	12 ... 30				
Output voltage [VDC]	0 ... 10	1 ... 5	0 ... 10	1 ... 5	0 ... 10
Output current [mA]	0 ... 20	4 ... 20	0 ... 20	4 ... 20	0 ... 20
Protection against short circuit	Yes				
Protection class to EN 60 529	IP65				
CE symbol	B9/336/EEC (EMC)				

Type	SDE-2,5-10V/20mA	SDE-2,5-5V/20mA	SDE-10-10V/20mA	SDE-10-5V/20mA	SDE-16-10V/20mA
Operating medium	Filtered compressed air, lubricated or unlubricated				
Pressure measuring range [bar]	0 ... 2,5		0 ... 10		0 ... 16
Ambient temperature [°C]	0 ... 85				

Output voltage U as a function of operating pressure p

Output current I as a function of operating pressure p

SDE-10-10V/20mA



ภาพผนวกที่ ก.7 รายละเอียดทางเทคนิคของเซ็นเซอร์วัดความดันลมอัด



ภาคผนวก ข

ประวัติผู้วิจัยและผู้ร่วมวิจัย

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) นายสมชาย เหลืองสอด
(ภาษาอังกฤษ) MR. SOMCHAI LUANGSOD
2. ตำแหน่ง อาจารย์ 2 ระดับ 7 สังกัด สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทร. 02-9132424 ต่อ 138
4. ประวัติการศึกษา
พ.ศ. 2535 ประกาศนียบัตรบัณฑิต การประกันคุณภาพผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
เกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)
พ.ศ. 2533 คอ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี สถาบัน
เทคโนโลยีราชมงคล (เทเวศร์)
5. สาขาที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ
 - ไฮดรอลิกส์และนิวแมติกส์
 - การควบคุมระบบอัตโนมัติ
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้อง
 - สอนวิชาไฮดรอลิกส์และนิวแมติกส์ (2542-ปัจจุบัน)
 - สอนวิชาไฮดรอลิกส์และนิวแมติกส์ประยุกต์ (2544-ปัจจุบัน)
 - อบรมหลักสูตร Mechanical Engineering, Technical Teacher Skills
Strengthening, UNIVERSITY OF SOUTH AUSTRALIA ประเทศออสเตรเลีย
(2539)
 - อบรมหลักสูตร The Advance Mechatronics Training Course FESTO Co.Ltd.
ประเทศไทย (2543)



ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) นายอนันต์ เต็มเปี่ยม
(ภาษาอังกฤษ) MR. ANAN TEMPIAM
2. ตำแหน่ง อาจารย์ 2 ระดับ 6 สังกัด สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
3. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถ.พิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
โทร. 02-9132424 ต่อ 138
4. ประวัติการศึกษา
พ.ศ. 2547 วศ.ม. (วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (บางเขน)
พ.ศ. 2538 วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล (ศรม.) จ.
ปทุมธานี
5. สาขาที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ
 - ไฮดรอลิกส์และนิวแมติกส์
 - การควบคุมระบบอัตโนมัติ
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้อง
 - สอนวิชาไฮดรอลิกส์และนิวแมติกส์ (2542-ปัจจุบัน)
 - สอนวิชาไฮดรอลิกส์และนิวแมติกส์ประยุกต์ (2544-ปัจจุบัน)
 - งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาการออกแบบแวนดาว่ายน้ำโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วย (สกว. กันยายน 2547)
 - งานวิจัยเรื่อง การจำลองการทดสอบทางกลของแวนดาว่ายน้ำโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (2547)