

ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการทดสอบถังความดันในถังเก็บอากาศ  
ตามมาตรฐาน มอก. 1252-2537

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR PRESSURE TANK TESTING  
ACCORDING TO TIS 1252-2537

สุภคชัย ไชยวิเศษสกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการทดสอบถังความดันในถังเก็บอากาศ  
ตามมาตรฐาน มอก. 1252-2537

สุภคชัย ไชยวิเศษสกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการทดสอบถึงความดันในถังเก็บอากาศตาม  
มาตรฐาน มอก. 1252-2537

Automatic Control System for Pressure Tank Testing According to  
TIS 1252-2537

ชื่อ - นามสกุล

นายสุภักชัย ไชยวิเศษสกุล

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล


อาจารย์ที่ปรึกษา


ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ปราโมทย์, Ph.D.


ปีการศึกษา


2564

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนูศักดิ์ จานทอง, Dr.-Ing.)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ศิริชัย เทพา, วท.ด.)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มานพ แย้มแพง, ปร.ด.)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิพัฒน์ ปราโมทย์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)  
วันที่ 3 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2564

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการทดสอบถังความดันในถังเก็บอากาศตามมาตรฐาน มอก. 1252-2537
ชื่อ - นามสกุล	นายสุภักชัย ไชยวิเศษสกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2564

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับถังแรงดัน การทดสอบเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการทดสอบตาม มอก. 1252-2537 เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบขนาดเล็ก ระบบควบคุมได้ถูกคิดค้นขึ้นเพื่อลดจำนวนขั้นตอนการทดสอบแบบดั้งเดิม และเพิ่มความแม่นยำในการทดสอบ

ระบบควบคุมอัตโนมัติได้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อทดสอบแรงดันของถังแรงดันทรงแคบขนาด 64 ลิตร ได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยนี้ จากนั้นค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PI จะถูกตั้งค่าด้วยโปรแกรม LabVIEW ซึ่งได้แก่อัตราขยายสัดส่วน ( $K_p$ ) มีค่าเป็น 13 และอัตราขยายปริพันธ์ ( $K_i$ ) มีค่าเป็น 1.308 จากนั้นแรงดันสัญญาณเอาต์พุตได้ถูกขยายเพิ่มขึ้นสำหรับควบคุมโซลินอยด์วาล์ว โดยใช้การปรับความกว้างพัลส์ (PWM) จากนั้นได้ทำการทดสอบแบบไฮโดรสแตติก โดยผลการทดสอบถังแรงดันที่ใช้ตัวควบคุม PI จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบแบบควบคุมแรงดันด้วยมือ

ผลการทดลองพบว่า ระบบควบคุมอัตโนมัติมีความแม่นยำในการตอบสนองต่อแรงดันที่ 13 บาร์ได้ดีกว่า นอกจากนี้ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของระบบควบคุมอัตโนมัติจะอยู่ที่ 1.71% ในขณะที่ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของระบบเฉลี่ยของการทดสอบแบบควบคุมด้วยมือจะสูงกว่า 1.75%

**คำสำคัญ:** การทดสอบแบบไฮโดรสแตติก, การควบคุมแบบ PI, โปรแกรม LabVIEW

<b>Thesis Title</b>	Automatic Control System for Pressure Tank Testing According to TIS 1252-2537
<b>Name - Surname</b>	Mr. Supakchai Chaivisetsakul
<b>Program</b>	Mechanical Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Pipat Pramot, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2021

## ABSTRACT

his research aimed to develop an automatic control system for pressure tank testing in order to improve the efficiency of the test according to TIS 1252-2537 Small-Sized Reciprocating Air Compressors. The control system was invented to cut down the traditional testing procedures and increase the test accuracy.

The automatic control system of 64-liter capsule shaped pressure tank inspection was designed and studied. Then, the parameters of the PI controller including the proportional gain ( $K_c$ ) of 13 and the integral gain ( $K_i$ ) of 1.308 were set using the LabVIEW program. Moreover, the output signal voltage was increased to control a solenoid valve using Pulse Width Modulation (PWM). Later, the hydrostatic testing was carried out. The pressure tank testing result using the PI controller was compared to that of the manual pressure control testing.

The results showed that the automatic control system provided more precise responses for the pressure of 13 bar. In addition, the average test error of the automatic control system was at 1.71 percent while the average error of the manual control testing was greater than 1.75 percentage.

**Keywords:** hydrostatic testing, PI controller, LabVIEW program

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ ปราโมทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้ข้อเสนอแนะและให้แนวทางในการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำงานวิจัย รวมทั้งให้อุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับใช้ในการทำวิจัย และที่สำคัญคือให้ความดูแลและสอบถามถึงความก้าวหน้าของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดมา จนทำให้ผู้เขียนมีกำลังใจในการทำงานจนสำเร็จจุล่งไปได้ด้วยดี ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนุศักดิ์ จานทอง ดร.มานพ แยมแพง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ และอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย เทพา ที่ได้คำแนะนำเพิ่มเติมพร้อมทั้งข้อเสนอแนะ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาคีวิชาชีพวิศวกรรมเครื่องกลและบุคลากรที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย พร้อมทั้งยังอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้วิจัยให้สามารถทำวิจัยได้อย่างราบรื่น

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ครูบาอาจารย์ ญาติพี่น้องและผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่คอยสนับสนุนให้กำลังใจ และช่วยเหลือจนทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จจุล่งไปได้ด้วยดี

สุภักชัย ไชยวิเศษสกุล

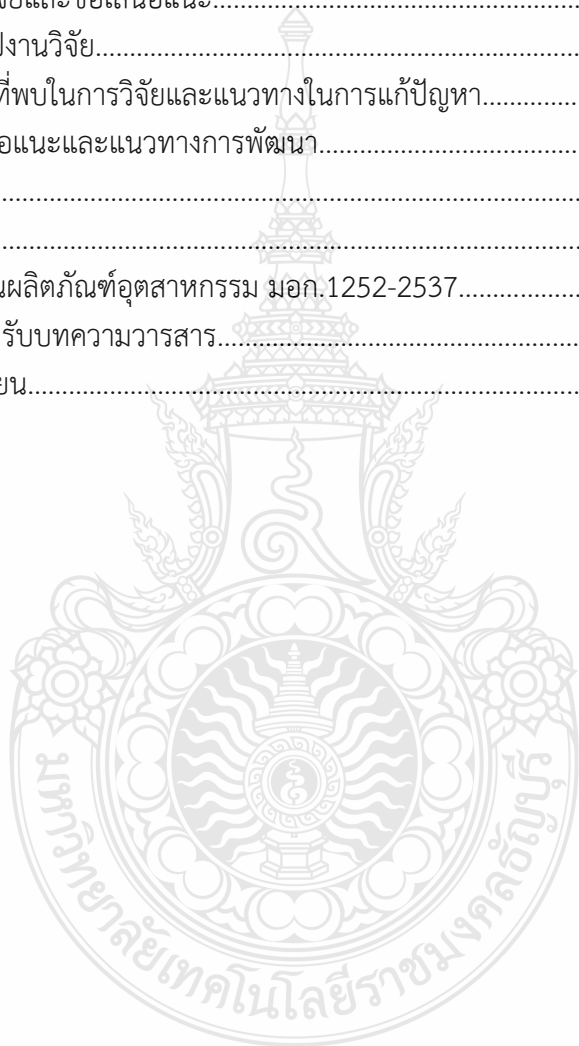


## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญภาพ.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	11
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	11
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	11
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	11
1.4 ขั้นตอนงานวิจัย.....	12
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	12
บทที่ 2 งานวิจัยหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	13
2.1 ทฤษฎีการควบคุมแบบ PI.....	13
2.2 การหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด.....	16
2.3 ความเค้นในถังแรงดัน.....	17
2.4 ทฤษฎีถังเก็บลม (Air Tank).....	18
2.5 ทฤษฎีความดัน (Pressure).....	19
2.6 มาตรฐานการทดสอบ.....	20
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย.....	23
3.1 ขั้นตอนการทำวิจัย.....	24
3.2 สถานที่ในการทดลองงานวิจัย.....	25
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	25
3.4 การออกแบบระบบควบคุมภายในถังลม.....	31
3.5 ขั้นตอนการเตรียมการทดสอบ.....	33
3.6 ขั้นตอนการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบ Hydrostatic Test.....	41
3.7 เครื่องมือวัดแรงดัน (Pressure Gauge).....	42
3.8 การตั้งค่าการควบคุมความดันภายในถังของโปรแกรม LabVIEW.....	42
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	44
4.1 ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการทดสอบถังความดัน.....	44
4.2 ผลทดสอบระบบควบคุมแบบ PI.....	45

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลทดสอบระบบควบคุมแบบ PI.....	45
4.3 ทดสอบ Hydrostatic Test.....	45
4.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบผล.....	47
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	50
5.1 บทสรุปงานวิจัย.....	50
5.2 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา.....	50
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	50
บรรณานุกรม.....	51
ภาคผนวก.....	52
ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1252-2537.....	53
ข แบบตอบรับบทความวารสาร.....	86
ประวัติผู้เขียน.....	98





## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ตารางหน่วยที่ใช้วัดความดัน.....	20
ตารางที่ 4.1	ตารางแสดงตัวแปรของระบบควบคุม PI.....	46
ตารางที่ 4.2	ตารางแสดงผลการทดลอง Hydrostatic Test สำหรับความดันอ้างอิง 13 bar..	47
ตารางที่ 4.3	ตารางแสดงผลการทดสอบ Safety valve สำหรับความดันอ้างอิง 8 bar.....	47
ตารางที่ 4.4	ตารางแสดงผลการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ.....	47
ตารางที่ 4.5	ตารางแสดงผลหาค่าเฉลี่ยของผลการวัด (Average) สำหรับความดันอ้างอิง 13 bar.....	48



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	ผังงานของการควบคุม PID..... 13
รูปที่ 2.2	แผนภูมิ PV ต่อเวลา $K_p$ กำหนดเป็น 3 ค่า ( $K_i$ และ $K_d$ คงที่)..... 14
รูปที่ 2.3	(แผนภูมิ PV ต่อเวลา $K_i$ กำหนดเป็น 3 ค่า ( $K_p$ และ $K_d$ คงที่)..... 16
รูปที่ 2.4	ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง..... 17
รูปที่ 2.5	ความเค้นตามแนวยาว..... 18
รูปที่ 2.6	ภาพแสดงลักษณะของถังลม แบบตั้งและแบบนอน..... 19
รูปที่ 2.7	เอกสารมาตรฐาน มอก.1252-2537..... 21
รูปที่ 3.1	อุปกรณ์ในการทดสอบถึงความดัน..... 23
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการทำวิจัย..... 24
รูปที่ 3.3	เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับสั่งการและบันทึกข้อมูลการทำงานของระบบ..... 25
รูปที่ 3.4	เซนเซอร์ตรวจวัดความดัน (Pressure Sensor)..... 26
รูปที่ 3.5	โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve)..... 26
รูปที่ 3.6	ถังเก็บอากาศขนาด 64 ลิตร..... 27
รูปที่ 3.7	เกจวัดความดัน Range 0 to 70 bar..... 27
รูปที่ 3.8	ชุดทดสอบถังเก็บอากาศแรงดัน..... 28
รูปที่ 3.9	USB-6008/USB-6009 Outputs Incorrect Voltage Readings..... 28
รูปที่ 3.10	NI USB-6008/USB-6009 Analog Pin Diagram and Table..... 29
รูปที่ 3.11	NI USB-6008/USB-6009 Digital Pin Diagram and Table..... 29
รูปที่ 3.12	NI USB-6008 OEM/USB 6009 OEM Pin Diagram..... 30
รูปที่ 3.13	Pololu Dual VNH5019 Motor Driver Shield..... 30
รูปที่ 3.14	แสดงโปรแกรมที่พัฒนาบนโปรแกรม LabVIEW ประกอบด้วย..... 31
รูปที่ 3.15	ชุดทดลองระบบควบคุมการทดสอบถังรับแรงดัน..... 32

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.16	เติมน้ำที่ถังพักน้ำ..... 33
รูปที่ 3.17	ต่อสายท่อคูดน้ำ..... 33
รูปที่ 3.18	ติดตั้งสายส่งน้ำกับปั้มน้ำ..... 34
รูปที่ 3.19	ติดตั้งสายส่งน้ำกับข้อต่อที่ถังเก็บอากาศ..... 34
รูปที่ 3.20	ต่อปลั๊กเซ็นเซอร์โซลีนอยด์วาล์วแบบปกติปิดตัวที่ 1..... 34
รูปที่ 3.21	ต่อปลั๊กเซ็นเซอร์โซลีนอยด์วาล์วแบบปกติปิดตัวที่ 2..... 35
รูปที่ 3.22	เซ็นเซอร์วัดแรงดัน..... 36
รูปที่ 3.23	Power Plug 220v..... 36
รูปที่ 3.24	เบรกเกอร์สวิทช์ที่อินเวอร์เตอร์..... 37
รูปที่ 3.25	โปรแกรม LabVIEW..... 37
รูปที่ 3.26	ปุ่ม PU/EXT..... 38
รูปที่ 3.27	ปุ่ม Volume..... 38
รูปที่ 3.28	ปุ่ม SET..... 39
รูปที่ 3.29	ปุ่ม RUN..... 39
รูปที่ 3.30	วาล์วระบายแรงดัน..... 40
รูปที่ 3.31	เกจวัดแรงดัน..... 40
รูปที่ 3.32	ระบายน้ำออก..... 41
รูปที่ 3.33	หน้าต่าง Front panel บนโปรแกรม LabVIEW..... 42
รูปที่ 3.34	หน้าต่าง Block diagram บนโปรแกรม LabVIEW..... 43
รูปที่ 4.1	การติดตั้งระบบควบคุมการทดสอบความดันในถังลม..... 44
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงผลตอบสนองของความดันภายในถังเก็บอากาศระบบควบคุม PI..... 45
รูปที่ 4.3	แสดงกราฟผลการทดสอบ..... 47
รูปที่ 4.4	การเปรียบเทียบผลการทดลอง..... 49

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ถังเก็บลม (Air Tank) ถังเก็บลมเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในระบบลมอัด เพื่อเป็นตัวพักลมอัดที่ส่งมาจากปั๊มลม ทำให้สามารถจ่ายลมอัดได้คงที่ลดการทำงานของปั๊มลม ลดอุณหภูมิ ของลมอัด ต่ำกว่าที่เกิดจากการกลั่นตัวของลมอัดทำให้ลดภาระของเครื่องทำลมแห้ง ถังเก็บลมส่วนใหญ่ทำมาจาก เหล็กและสแตนเลส ส่วนวัสดุที่เป็นสแตนเลสไม่ค่อยนิยมเพราะมีราคาสูง ส่วนใหญ่จะนิยม ถังเก็บลมที่เป็นเหล็กเพราะมีราคาถูกกว่า เหล็กที่นำมาทำถังเก็บลมจะเป็น SS400 ทำมาจากเหล็กแผ่นภายในทาสี กันสนิมผ่านการรับรองตามมาตรฐาน

จากมาตรฐานการใช้ถังเก็บอากาศจะต้องนำถังเก็บอากาศ ไปตรวจสอบความสามารถในการรับแรงดันของถัง ให้เป็นไปตามมาตรฐานและเป็นการเพิ่มความมั่นใจให้แก่ผู้ใช้งาน จึงเกิดการสร้างชุดการออกแบบและสร้างชุดทดสอบถังเก็บอากาศของเครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบของ ปรากฏ ประเวศชโยดม และคณะ (2561) มีการทดสอบด้วยวิธีใช้แรงดันน้ำ (Hydrostatic Pressure Test) เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ความสามารถในการรับแรงดันของถัง เก็บอากาศให้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 1252-2537 [7] โดยมีปัญหาในการทดสอบเรื่องความเที่ยงตรงของความดันในการทดสอบและขั้นตอนในการทดสอบ รวมถึงจำนวนคนในการทดสอบ โดยการทดสอบในการใช้คนทำให้มีอันตรายและความเสี่ยงค่อนข้างมาก

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการทดสอบแบบ Hydrostatic Test
- 1.2.2 เพื่อศึกษาหลักการหาค่าความไม่แน่นอนของการวัดสำหรับการทดสอบ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาวิธีการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.)
- 1.2.4 เพื่อวิจัยและพัฒนาชุดควบคุมแบบ PI เพื่อการควบคุมความดันในถังลม

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ถังเก็บความดันขนาด 64 ลิตร
- 1.3.2 ใช้โปรแกรม Lab VIEW เขียนระบบควบคุม
- 1.3.3 ใช้อุปกรณ์การ์ดอินเตอร์เฟซ (DAQ USB-6008) ในการควบคุม
- 1.3.4 ชุดโซลินอยด์วาล์ว (AC/DC 24V)
- 1.3.5 ใช้เซนเซอร์ตรวจวัดความดัน
- 1.3.6 ใช้อุปกรณ์วัดแรงดัน (Pressure) ย่านการวัด 20 psi

- 1.3.7 ใช้อุปกรณ์ motor driver vnh5019
- 1.3.8 ใช้ตัวควบคุมแบบ PI (PI Controller)

#### 1.4 ขั้นตอนการวิจัย

ลำดับขั้นตอนของการศึกษางานวิจัยนี้มีดังนี้

- 1.4.1 ศึกษาค้นคว้าและหาข้อมูลเกี่ยวกับหลักการของระบบอันดับหนึ่ง
- 1.4.2 ศึกษาค้นคว้าและหาข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบมาตรฐาน
- 1.4.3 ศึกษาค้นคว้าและหาข้อมูลเกี่ยวกับความเค้นในภาชนะผนังกลมแบบทรงกระบอก
- 1.4.4 ศึกษาและหาข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ และเซนเซอร์ต่าง ๆ ในชุดจำลองกระบวนการควบคุมความดันในถังลม
- 1.4.5 ศึกษาหลักการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID เพื่อต้องการนำไปควบคุมความดันในถังลม
- 1.4.6 ทดสอบการทำงานของระบบควบคุมความดันในถังลม
- 1.4.7 ทำการทดสอบผลตอบแทนของระบบ
- 1.4.8 เก็บผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการดำเนินการทดลองพร้อมนำเสนอผลงานทดลอง
- 1.4.9 สรุปผลการทดลองและผลการวิเคราะห์จากงานวิจัยนี้ทั้งหมด

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ความรู้ความเข้าใจในการทดสอบถังเก็บอากาศด้วยวิธีการทดสอบแบบ (Hydrostatic Pressure Test)
- 1.5.2 มีความรู้ความเข้าใจการทดสอบตามมาตรฐาน
- 1.5.3 ความรู้ความเข้าใจการหลักการออกแบบระบบควบคุม PID

## บทที่ 2

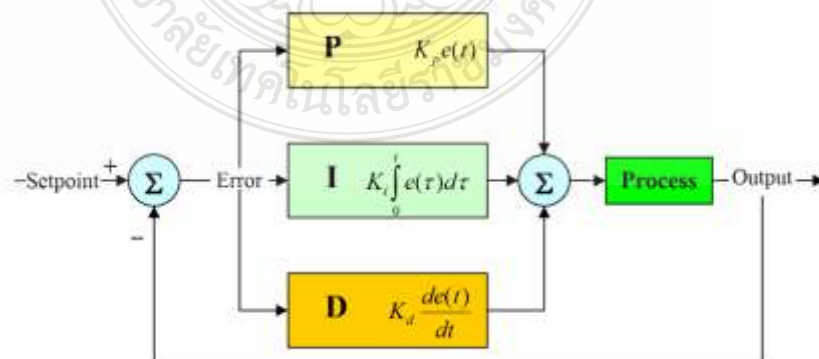
### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับชุดการทดสอบถึงเก็บอากาศ ด้วยการควบคุมแบบ PI เพื่อให้เป็นไปตามบรรลู่วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- 2.1 ทฤษฎีการควบคุมแบบ PI
- 2.2 การหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด
- 2.3 ความเค้นในถังแรงดัน
- 2.4 ทฤษฎีถังเก็บลม (Air Tank)
- 2.5 ทฤษฎีความดัน (Pressure)
- 2.6 มาตรฐานการทดสอบ
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ทฤษฎีการควบคุมแบบ PI

ตัวควบคุมแบบ PID Controller หรือ Proportional Integral and Derivative Controller ดังภาพที่ 2.1 เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้อย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่มาจากความแตกต่างของตัวแปรในระบบและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุด ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการในแต่ละส่วนของตัวควบคุม PID ในการปรับค่าพารามิเตอร์นั้น ถ้าในระบบเก่าก็ใช้วิธีปรับพารามิเตอร์ด้วยการเปลี่ยนค่าอุปกรณ์และอุปกรณ์ที่นิยมใช้ก็คือตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ในปัจจุบันวิวัฒนาการของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้พัฒนาขึ้นทำให้สามารถปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ได้ด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ คือด้วยการปรับค่ากระแสไบแอสของตัวอุปกรณ์ด้วยเทคนิคนี้จึงสามารถพัฒนาไปสู่การควบคุมอัตโนมัติโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม



ภาพที่ 2.1 ผังงานของการควบคุม PID [1]

วิธีคำนวณของ PID ขึ้นอยู่กับสามตัวแปรคือค่าสัดส่วน (Proportional: P) ปริพันธ์ (Integral: I) และอนุพันธ์ (Derivative: D) ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน ค่าปริพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่ผ่านพ้นไป และค่าอนุพันธ์กำหนดจากผลบนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้จะใช้ในการปรับกระบวนการโดยการปรับค่าคงที่ใน PID ตัวควบคุมสามารถปรับรูปแบบการควบคุม ให้เหมาะสมกับที่กระบวนการต้องการการตอบสนองของตัวควบคุมจะอยู่ในรูปของการไหวตัวของตัวควบคุมจนถึงค่าความผิดพลาดค่าโอเวอร์ชูต (Overshoots) และ ค่าแกว่งของระบบ (Oscillation) วิธี PID ไม่รับประกันได้ว่าจะเป็นระบบควบคุมที่เหมาะสมที่สุด หรือสามารถทำให้ขบวนการมีความเสถียรแน่นอน

การประยุกต์ใช้งานบางครั้งอาจใช้เพียงหนึ่งถึงสองรูปแบบ ขึ้นอยู่กับขบวนการเป็นสำคัญ PID บางครั้งจะถูกเรียกว่าการควบคุมแบบ PI, PD, P หรือ I ขึ้นอยู่กับว่าใช้รูปแบบใดบ้าง

การควบคุมแบบ PID ได้ชื่อตามการรวมกันของเทอมของตัวแปรทั้งสามตามสมการที่ (2.1) และสมการที่ (2.2)

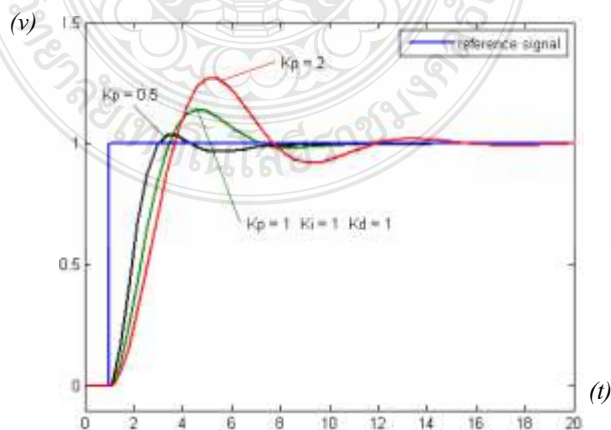
$$MV(t) = P_{out} + I_{out} + D_{out} \quad (2.1)$$

เมื่อ

$P_{out}$ ,  $I_{out}$  และ  $D_{out}$  เป็นผลของสัญญาณเอาต์พุตจากระบบควบคุม PID จากแต่ละเทอม ซึ่งนิยามตามรายละเอียดต่อไปนี้

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2.2)$$

### 2.1.1 ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional : P)



ภาพที่ 2.2 แผนภูมิ PV ต่อเวลา  $K_p$  กำหนดเป็น 3 ค่า ( $K_i$  และ  $K_d$  คงที่) [1]

เทอมของสัดส่วน (บางครั้งเรียกอัตราขยาย) จะเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนของค่าความผิดพลาดการตอบสนองของสัดส่วนสามารถทำได้โดยการคูณค่าความผิดพลาดด้วยค่าคงที่  $K_p$  หรือที่เรียกว่าอัตราขยายสัดส่วน ดังภาพที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของการกำหนดพารามิเตอร์แบบสัดส่วนที่แตกต่างกันที่  $K_p = 0.5, 1$  และ  $2$  เมื่อ  $K_i=1$  และ  $K_d=1$  เทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการที่ (2.3)

$$P_{oz} = K_p e(t) \quad (2.3)$$

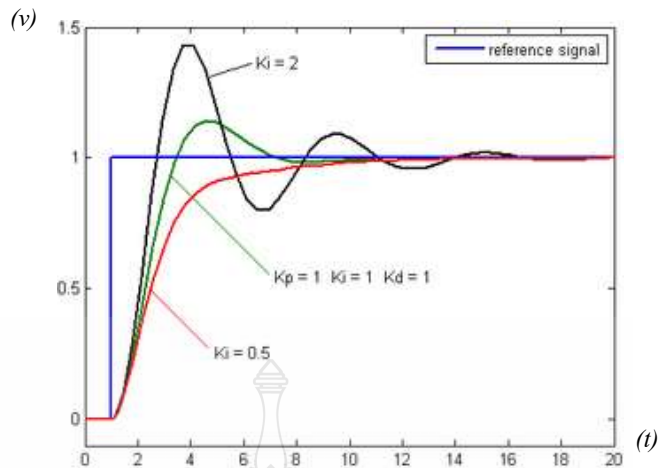
เมื่อ  $P_{oz}$  : สัญญาณขาออกของเทอมสัดส่วน  
 $K_p$ : อัตราขยายสัดส่วน, ตัวแปรปรับค่าได้  
 $e$ : ค่าความผิดพลาด = SP - PV  
 $t$ : เวลา  
 sp: Set Point ค่าที่กำหนดไว้หรือสัญญาณอ้างอิง  
 pv: Process Variable ค่าที่วัดได้หรือเอาต์พุตของระบบควบคุม

ผลอัตราขยายสัดส่วนที่สูงค่าความผิดพลาดก็จะเปลี่ยนแปลงมากเช่นกันแต่ถ้าสูงเกินไประบบจะไม่เสถียรได้ ในทางตรงกันข้าม ผลอัตราขยายสัดส่วนที่ต่ำ ระบบควบคุมจะมีผลตอบสนองต่อขบวนการน้อยตามไปด้วย

### 2.1.2 ตัวควบคุมปริพันธ์ (Integral: I)

คุณสมบัติของตัวควบคุมปริพันธ์ในการกำจัดความผิดพลาดเคลื่อนหรือ (Offset) เป็นข้อดีอย่างมากจึงเป็นที่นิยมใช้กับระบบควบคุมป้อนกลับ อย่างไรก็ตามตัวปริพันธ์ก็มีข้อเสียนั้น คือทำให้เกิดการล่าช้า (Capacity-like Lag) และทำให้ช่วงเวลาของการแกว่งยาวนานขึ้น โดยทั่วไประบบแบบสัดส่วนร่วมกับ ปริพันธ์จะมีช่วงเวลาของการแกว่งนานกว่าระบบเชิงสัดส่วนอย่างเดียว 50% หรือ  $TPI = 1:5TP$  สำหรับระบบที่มีค่าคงตัวเวลา (Time Constant) น้อย (เช่น ระบบควบคุมอัตราการไหล) ปัญหานี้จะไม่มีผลมากนัก แต่สำหรับระบบที่มีค่าคงตัวเวลามาก (เช่น ระบบควบคุมระดับ) ปัญหานี้อาจมีผลมากจนทำให้ระบบเข้าสู่จุดวิกฤติที่ไม่สามารถยอมรับได้ ดังภาพที่ 2.3 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนพารามิเตอร์  $K_i = 0.5, 1$  และ  $2$  เมื่อ  $K_p=1$  และ  $K_d=1$  เทียบกับอินพุตเป็นสัญญาณขั้นบันได





ภาพที่ 2.3 (แผนภูมิ PV ต่อเวลา  $K_i$  กำหนดเป็น 3 ค่า ( $K_p$  และ  $K_d$  คงที่) [1]

ผลจากเทอมปริพันธ์(บางครั้งเรียก reset) เป็นสัดส่วนของความผิดพลาด และระยะเวลาของความผิดพลาด ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา (ปริพันธ์ของความผิดพลาด) จะให้ออฟเซตสะสมที่ควรจะเป็นในก่อนหน้า ความผิดพลาดสะสมจะถูกคูณโดยอัตราขยายปริพันธ์ขนาดของผลของเทอมปริพันธ์จะกำหนดโดยอัตราขยายปริพันธ์  $K_i$  เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการที่ (2.4)

$$I_{out} = K_i \int_0^t e(t) d\tau \quad (2.4)$$

เมื่อ  $I_{out}$  : สัญญาณขาออกของเทอมปริพันธ์  
 $K_i$  : อัตราขยายปริพันธ์, ตัวแปรปรับค่าได้  
 $E$  : ความผิดพลาด = SP - PV  
 $t$  : เวลา  
 $T$  : ตัวแปรปริพันธ์

## 2.2 การหาค่าความไม่แน่นอนของการวัดจาก

2.2.1 Repeatability ( $U_a$ ): ค่าความไม่แน่นอนจากค่า Repeatability ของเครื่องมือ UUC จากสูตรคำนวณ

$$U_a = \delta_{n-1} / \sqrt{n} \quad (2.5)$$

เมื่อ  $\delta_{n-1}$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวัด  
 $N$  คือ จำนวนครั้งของการวัด

- หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวัด (Standard Deviation),  $\sigma_{n-1}$

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ยของผลการวัด  
 $X_i$  คือ ผลการวัดในแต่ละครั้ง  
 $N$  คือ จำนวนครั้งของการวัด

- หาค่าเฉลี่ยของผลการวัด (Average),  $\bar{X}$

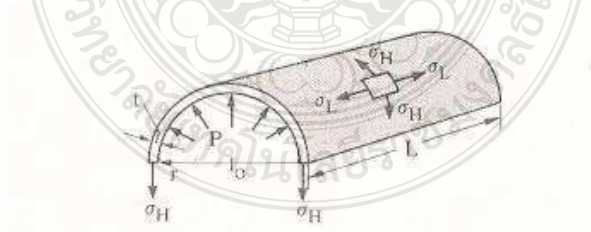
$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.7)$$

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N} \quad (2.8)$$

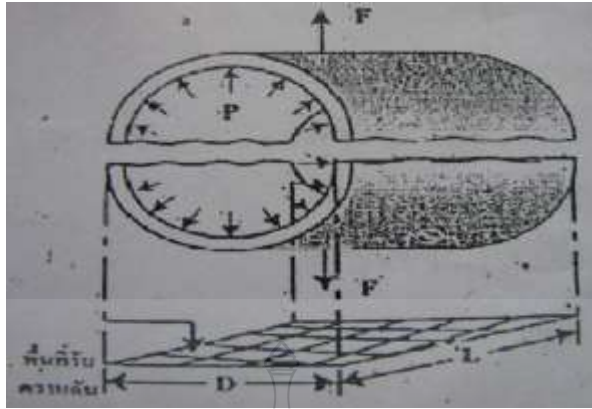
เมื่อ  $X_i$  คือ ผลการวัดในแต่ละครั้ง หือค่าที่วัดได้แต่ละครั้งซึ่งอ่านจาก UUC ( $l_{ix}$ )  
 $N$  คือ จำนวนครั้งของการวัด

### 2.3 ความเค้นในถังแรงดัน

ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง (Hoop or Circumferential stress)



ภาพที่ 2.4 ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง [3]



ภาพที่ 2.5 ความเค้นตามแนวยาว [3]

กำหนดให้

- $\sigma_H$  = ความเค้นตามแนวเส้นรอบวง
- $P$  = ความดันที่เกิดขึ้นในทรงกระบอก
- $r$  = รัศมีของทรงกระบอกกลาง
- $t$  = ความหนาของผนังทรงกระบอก
- $L$  = ความยาวของทรงกระบอก

แรงที่เกิดจากความดันภายใน = ความดัน  $\times$  พื้นที่รับความดัน

$$F = P \times 2rL \quad (2.9)$$

แรงที่จะทำให้เกิดความเค้นตามแนวเส้นรอบวง

$$F = \sigma_H \times 2Lt \quad (2.10)$$

หากภาชนะคงรูปอยู่ได้ แรงที่เกิดขึ้นต้องเท่ากัน

$$P \times 2rL = \sigma_H \times 2Lt \quad (2.11)$$

$$\therefore \sigma_H = P \times 2rL / 2Lt = Pr / t \quad (2.12)$$

ดังนั้น  $\sigma_H = Pr / t$  หรือ  $\sigma_H = PD / 2t$

## 2.4 ทฤษฎีถังเก็บลม (Air Tank)

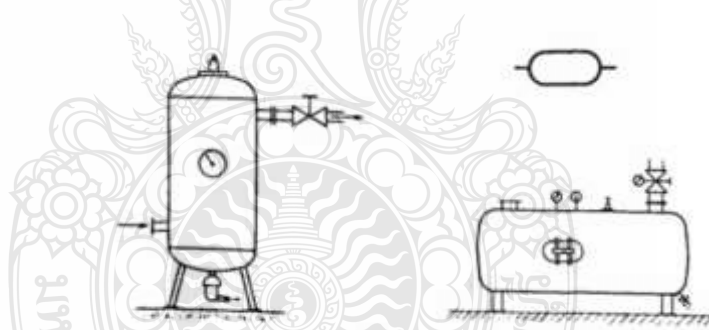
ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป การทำงานของอุปกรณ์นิวแมติกส์ ถ้าทำงานพร้อมกันหลายตัว มักจะเกิดปัญหา คือปริมาณลมที่เครื่องอัดลมผลิตนั้นไม่เพียงพอและถ้าอุปกรณ์ไม่ได้ทำงานลมที่เครื่องอัดลมผลิตออกมาก็ไม่มีที่เก็บ จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่สามารถจ่ายอัตราการลมได้อย่างต่อเนื่องและตลอดเวลา โดยที่มีความดันคงที่อุปกรณ์ที่สามารถตอบสนองความต้องการเหล่านี้ก็คือถังเก็บลม (Air Tanks) ถังเก็บลมใช้กักลมที่ถูกอัดตัวไว้และส่วนใหญ่มักจะติดตั้งที่ทางลมออกของเครื่องอัดลม อาจอยู่ร่วมกับเครื่องอัดลมหรือติดตั้งอีกตัวหนึ่งนอกเครื่องอัดลมก็ได้ ถังเก็บลมทหาหน้าที่ต่อไปนี้

2.4.1 ทำให้ความดันลมที่จ่ายออกจากเครื่องอัดลมมีค่าสม่ำเสมอ

2.4.2 ป้องกันการลดลงของความดันลมอัดอย่างรวดเร็ว เมื่อลมอัดถูกนำไปใช้ในปริมาณมาก ภายใน ช่วงระยะเวลาที่สั้น ๆ

2.4.3 ให้ความดันลมอัดได้ในช่วงเวลาหนึ่งในกรณีฉุกเฉิน เช่น การหยุดทำงานของเครื่องอัดลม เนื่องจากไฟฟ้าดับ

2.4.4 ทำให้การแยกน้ำจากลมที่ถูกอัดโดยการทำให้ลมอัดเย็นลงด้วยอากาศที่อยู่รอบ ๆ ถังเก็บลม เป็นที่น่าสังเกตว่าถังเก็บลมจะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เกจวัดความดัน (pressure gauge) วาล์วนิรภัย (safety valve) และสวิตช์ความดัน (pressure switch) ดังนั้น ถังเก็บลมจะต้องเป็นไปตาม กฎเกณฑ์ต่าง ๆ เหมือนกับภาชนะทนความดันอื่น ๆ



ภาพที่ 2.6 ภาพแสดงลักษณะของถังลม แบบตั้งและแบบนอน [4]

ลักษณะของถังเก็บลมมี 2 ประเภท คือ แบบตั้งและแบบนอน โดยถังเก็บลมแบบนอนจะใช้กับเครื่องอัดลมแบบเล็ก ส่วนถังเก็บลมแบบตั้งจะใช้กับเครื่องอัดลมขนาดใหญ่ โดยที่ตัวถังเก็บลม จะแยกต่างหากออกจากเครื่องอัดลม มักจะใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

## 2.5 ทฤษฎีความดัน (Pressure)

ความดัน หมายถึง แรงที่กระทำตั้งฉากซึ่งทำโดยของแข็งของเหลวหรือแก๊ส ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของสารใด ๆ (ของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส) ความดันเป็นปริมาณ สเกลาร์ ซึ่งเป็นปริมาณที่มีแต่ขนาด ไม่มีทิศทาง จากความหมายของความดันข้างต้นสามารถเขียนเป็นสูตรคณิตศาสตร์ (โดยทั่วไป) ได้ดังนี้

$$p = \frac{F}{A} \text{ หรือ } p = \frac{dFn}{dA} \quad (2.13)$$

กำหนดให้

- P คือ ความดัน (Pressure)  
 F คือ แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวนั้นๆ (Normal Force)  
 A คือ พื้นที่ (Area) หรืออาจใช้ S (Surface; พื้นผิว)

เนื่องจาก F มีหน่วยเป็น "นิวตัน" (N) และ A มีหน่วยเป็น "ตารางเมตร" (m<sup>2</sup>) ความดันจึงมีหน่วยเป็น "นิวตันต่อตารางเมตร" (N/m<sup>2</sup>; เขียนในรูปหน่วยฐานว่า kg·m<sup>-1</sup>·s<sup>-2</sup>) ในปี ค.ศ. 1971 (พ.ศ. 2514) มีการคิดค้นหน่วยของความดันขึ้นใหม่เรียกว่า ปาสคาล (pascal, Pa) และกำหนดให้หน่วยชนิดนี้เป็นหน่วยเอสไอสำหรับความดัน โดยให้ 1 ปาสคาล มีค่าเท่ากับ 1 นิวตัน ต่อตารางเมตร (หรือ แรง 1 นิวตัน กระทำตั้งฉากกับพื้นที่ขนาด 1 ตารางเมตร) เพื่อให้เห็นภาพ ความดัน 1 ปาสคาลจะมีค่าประมาณแรงกดของธนบัตรหนึ่งดอลลาร์ที่วางอยู่เฉย ๆ บนโต๊ะราบซึ่งนับว่าเป็นขนาดเล็กมาก ดังนั้นในชีวิตประจำวัน ความดันทั้งหลายมักมีค่าตั้งแต่ "กิโลปาสคาล" (kPa) ขึ้นไป โดยที่ 1 kPa = 1000 Pa หน่วยของความดันนอกจากปาสคาลแล้วยังมีหน่วยชนิดอื่น ๆ เช่น บาร์, บรรยากาศ (atm), ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) เป็นต้น ขึ้นอยู่กับการใช้ในแต่ละสถานการณ์ ค่าเปรียบเทียบของหน่วยแต่ละชนิด แสดงในตารางที่ 2.1

หน่วย	ปาสคาล (Pa)	บาร์ (bar)	บรรยากาศมาตรฐาน (atm)	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)
1 Pa	1	10 <sup>-5</sup>	9.8692 × 10 <sup>-6</sup>	1.450377 × 10 <sup>-4</sup>
1 bar	10 <sup>5</sup>	1	0.98692	14.50377
1 atm	1.01325 × 10 <sup>5</sup>	1.01325	1	14.69595
1 psi	6.8948 × 10 <sup>3</sup>	6.8948 × 10 <sup>-2</sup>	6.8046 × 10 <sup>-2</sup>	1

ตารางที่ 2.1 ตารางหน่วยที่ใช้วัดความดัน [5]

## 2.6 มาตรฐานการทดสอบ

2.7.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1252-2537 เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบ ลูกสูบ



ภาพที่ 2.7 เอกสารมาตรฐาน มอก.1252-2537 [7]

#### ถังเก็บอากาศ

- ถังเก็บอากาศที่มีความดันใช้งานสูงสุด (P) น้อยกว่า 421 กิโลพาสคัล (4.21 bar) ให้อัดความดันไฮดรอลิก 2 เท่าของความดันใช้งานสูงสุดเข้าไปในถังเก็บอากาศ ปลดปล่อยไว้เป็นเวลา 3 นาที

- ถังเก็บอากาศที่มีความดันใช้งานสูงสุด (P) เท่ากับหรือมากกว่า 421 กิโลพาสคัล ให้อัดความดันตันไฮดรอลิก  $(1.3 P + 294)$  กิโลพาสคัลเข้าไปในถังเก็บอากาศ ปลดปล่อยไว้เป็นเวลา 3 นาที แล้วตรวจพินิจ

#### ความดันที่ลดลง

- ให้เครื่องอัดอากาศทำงานจนกระทั่งสวิตช์ความดันหยุดการทำงานของตัวเครื่องอัดอากาศ หรืออุปกรณ์ตัดไหลอัตโนมัติตัดการจ่ายอากาศเข้าถังเก็บอากาศ ปลดปล่อยไว้เป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความดันในถังเก็บอากาศ

#### ลีนินริภัย

- อัดอากาศเข้าไปในถังเก็บอากาศจนกระทั่งลีนินริภัยทำงาน วัดความดันในถังเก็บอากาศขณะที่ลีนินริภัยเริ่มทำงาน

- ปลดปล่อยเครื่องอัดอากาศไว้อย่างนั้น บันทึกความดันในถังเก็บอากาศทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 10 นาที
- ให้ทดสอบซ้ำอีก 1 ครั้ง

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 สุระเชษฐ์ สว่างเนตร ได้ทำการศึกษาเรื่องการควบคุมความดัน ในระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ ด้วยตัวควบคุมแบบ ฟิชซี พีไอดีแบบปรับค่าได้ การวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอการออกแบบ และสร้างระบบควบคุมแบบฟิชซี พีไอดีแบบปรับค่าได้ ในการควบคุมระบบเซอร์โวไฮดรอลิกส์ โดยใช้ระบบควบคุมแบบ ฟิชซีลอจิกเป็นตัวปรับค่าเกณฑ์ของระบบควบคุมแบบ พีไอดี เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการควบคุมมากขึ้น และได้นำมาเปรียบเทียบกับระบบควบคุมแบบฟิชซีแบบพื้นฐานการควบคุมแบบพีไอดีเพื่อคุณสมบัติการตอบสนองที่ออกมาว่าการควบคุมแบบที่ทางผู้วิจัยเลือกกับการควบคุมแบบดั้งเดิม ว่าแบบไหนที่มีความสามารถในการควบคุมที่ดีกว่ากัน หรือมีประสิทธิภาพต่อการนำไปใช้งานมากกว่ากัน จากการทดลองปรากฏว่าการควบคุมแบบฟิชซี พีไอดีแบบปรับค่าได้นี้ สามารถควบคุมระบบได้ และมีผลการตอบสนองที่ไว และมีประสิทธิภาพสูงกว่า

2.8.2 ชัยพร ไทรเกตุ จากคณะวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ได้ออกแบบระบบควบคุมความดันในถังลมในระบบปิดจะใช้วิธีการของ Ziegler Nichols ตัวควบคุมแบบ PI ตั้งค่าพารามิเตอร์บนโปรแกรม LabVIEW ระบบควบคุมที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมความดันในถังลมได้ตั้งแต่ 2.0-4.0 บาร์ และพบว่าระบบควบคุมด้วยโปรแกรม สามารถควบคุมความดัน ในถังลมเข้าสู่เป้าหมายได้ ภายใน 12 วินาที

2.8.3 วิศวะ มะมา และ ธนา ราชภักดิ์ จากคณะวิศวกรรมอุตสาหการมหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ศึกษาการพัฒนาการควบคุมพีไอดีสำหรับอุปกรณ์ขับเคลื่อนแบบ เปิด/ปิด สำหรับการควบคุมอุณหภูมิ น้ำในระบบทางความร้อนแบบเปิดที่มีการไหลเวียนของน้ำตลอดเวลาโดยการออกแบบและทำการทดลองตัวควบคุม 3 แบบ คือตัวควบคุมแบบ Digital PID, ตัวควบคุมแบบ On/Off และตัวควบคุมแบบ PID จากผลการทดลองเปรียบเทียบ ผลการวัดพบว่า การทดลองตัวควบคุมแบบ Digital PID นั้นมีความเหมาะสมสำหรับการควบคุมอุณหภูมิ น้ำในระบบทางความร้อน

2.8.4 ไชโย จิบโคกหวาย สุทธิพงษ์ เอกพันธ์ และ ดร.ณัฐดนัย ตันตวิรุฬห์ จากคณะวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ออกแบบสร้างชุดควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ โดยอาศัยการควบคุมความเร็วรอบของปั๊มมอเตอร์ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโดยใช้วิธีการควบคุม 3 แบบ P, Pi, และ PID และมีการควบคุมการไหลจาก Transfer Function 3 แบบ คือ การเปิดวาล์วด้านล่าง การเปิดวาล์วด้านบน และการเปิดวาล์วด้านล่างและวาล์วด้านบน

2.8.5 เสกสรร ชะนะ, ธภัทร ชัยชูโชค และ ศรัณย์ ณรงค์กุล จากคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา การพัฒนาระบบควบคุมและตรวจสอบแรงดันน้ำยาเครื่องปรับอากาศด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ LabVIEW จากผลการทดลองวัดค่าในชุดทดลอง LabVIEW เพื่อประยุกต์ใช้งานในการควบคุมเครื่องปรับอากาศโดยการวัดค่าจากเซนเซอร์และรีโมทควบคุมส่งสัญญาณออกมาเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) โดยใช้อุปกรณ์ DAQ – 6008 รับสัญญาณในช่อง Analog Input จากนั้นส่งค่าที่วัดได้ไปยังโปรแกรม LabVIEW เพื่อเปลี่ยนสัญญาณค่าแรงดันไฟฟ้าให้เป็นค่าของอุณหภูมิ ค่าของเกจวัดความดัน และค่าของการควบคุมรีโมท จากนั้นบันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เกจวัดความดัน และการควบคุมรีโมทในแต่ละวัน ค่าที่วัดได้จะแตกต่างกันออกไปตามความต้องการของผู้ใช้งานและสภาพภูมิอากาศ



### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

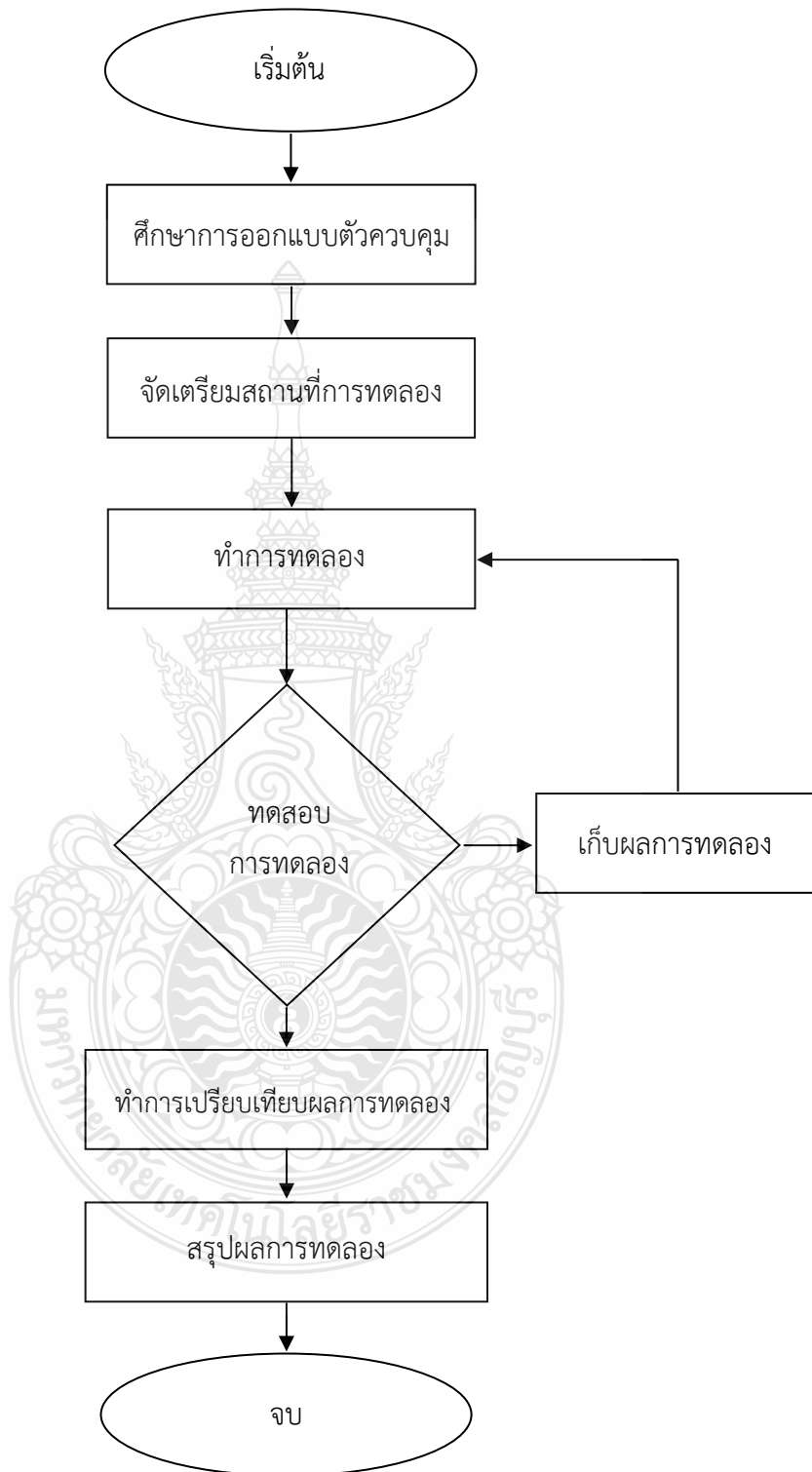
การศึกษาเรื่องการพัฒนากระบวนการควบคุมอัตโนมัติสำหรับชุดการทดสอบถังเก็บอากาศโดยใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ NI USB-6008 วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานของชุดทดสอบถังเก็บอากาศด้วยระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการทดสอบถังเก็บอากาศเพื่อให้ได้ตามมาตรฐานและดำเนินการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบเพื่อความสะดวกของผู้ทดสอบงานควบคุมความดันในถังลม เราจึงจำเป็นต้องออกแบบการใช้งานให้ง่ายต่อผู้ใช้งานโปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมการทำงานที่มีไอคอนรูปภาพแสดงถึงการทำงาน ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานชุดควบคุมความดันในถังลมได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังสามารถแสดงค่าที่ตอบสนองคืนจากชุดทดลองกระบวนการ (Process Control System) ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยแสดง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ในการทดสอบถังความดัน



### 3.1 ขั้นตอนการวิจัย



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำวิจัย

รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนทำการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบและดำเนินการระบบควบคุมความดันในถังลม โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงานดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาการออกแบบตัวควบคุมต่าง ๆ ดังนี้

- การออกแบบตัวควบคุมด้วยซอฟต์แวร์
- การออกแบบตัวควบคุมในถังลม

ขั้นตอนที่ 3 จัดเตรียมสถานที่และการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการทดลอง

ขั้นตอนที่ 4 ทำการทดลองโดยเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม LabVIEW

ขั้นตอนที่ 5 ทำการทดสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ขั้นตอนที่ 6 ทำการเปรียบเทียบผลการทดลอง

ขั้นตอนที่ 7 สรุปผลการทดลอง

### 3.2 สถานที่ในการทดลองและเก็บข้อมูล

ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการทดลองและทดสอบ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

### 3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองครั้งประกอบไปด้วยอุปกรณ์และเครื่องมือ ดังนี้

#### 3.3.1 ชุดเครื่องคอมพิวเตอร์ (Computer)

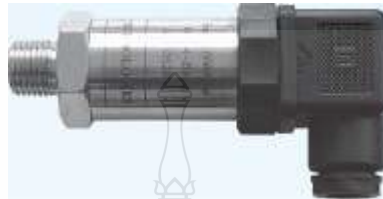
ทำหน้าที่ในการรับและส่งข้อมูลจากตาต้าโดยจะนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมให้แก่ระบบ



รูปที่ 3.3 เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับสั่งการและบันทึกข้อมูลการทำงานของระบบ

### 3.3.2 เซนเซอร์ตรวจวัดความดัน (Pressure Sensor)

สำหรับเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดความดัน สามารถวัดความดันได้ในช่วง 1-13 บาร์ ซึ่งเซนเซอร์จะส่งสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับความดัน



รูปที่ 3.4 เซนเซอร์ตรวจวัดความดัน (Pressure Sensor)

### 3.3.3 โซลินอยวาล์ว (Solenoid Valve)

เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ที่อาศัยหลักการทำงานของแม่เหล็กไฟฟ้าทำงานร่วมกับกลไก โดยใช้การป้อนไฟฟ้าเป็นตัวกำหนดการทำงานควบคุมให้ลื่นกลไกปิดหรือเปิดได้ สำหรับชุดโซลินอยวาล์วที่ใช้ เป็นยี่ห้อ NBCY รุ่น 2W160-15-06 DC 24V



รูปที่ 3.5 โซลินอยวาล์ว (Solenoid Valve)

### 3.3.4 ถังเก็บอากาศ (Air Tank)

เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยทำให้การจ่ายลมอัดคงที่สม่ำเสมอ เพียงพอต่อการจ่ายลมอัดให้กับสายงานหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ในโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3.6 ถังเก็บอากาศขนาด 64 ลิตร

### 3.3.5 pressure gauge

เป็นตัวอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่วัดความดันที่อยู่ภายในถังว่ามีขนาดความดันเพียงพอสำหรับการทดสอบ



รูปที่ 3.7 เกจวัดความดันในช่วงการวัด 0 ถึง 70 บาร์

### 3.3.6 ชุดทดสอบถังเก็บอากาศแรงดัน

จะอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง ใช้เครื่องพ่นยา 3 สูบ เป็นตัวสร้างกำลังงานและมีน้ำเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายกำลังงาน มอเตอร์ไฟฟ้าจะเป็นต้นกำลังไปขับเครื่องพ่นยา 3 สูบ เพื่ออัดน้ำเข้าถังเก็บอากาศให้ได้ความดันตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.8 ชุดทดสอบถึงเก็บอากาศแรงดัน

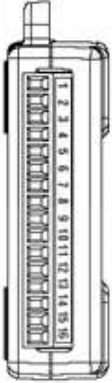
### 3.3.7 ใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ NI USB-6008

ในงานวิจัยนี้ จะใช้อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ NI DAQ รุ่น USB-6008 ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างกระบวนการกับคอมพิวเตอร์ มีจำนวนคอนเนคเตอร์ทั้งหมดจำนวน 32 ขา ซึ่งมีคุณสมบัติหลักดังนี้


- Analog Input (A/D) จำนวน 8 ช่องสัญญาณ
- Analog Output (D/A) จำนวน 2 ช่องสัญญาณ
- Digital input/output (DI/DO) จำนวน 12 ช่องสัญญาณ



รูปที่ 3.9 USB-6008 Outputs Incorrect Voltage Readings

Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

รูปที่ 3.10 NI USB-6008 Analog Pin Diagram and Table

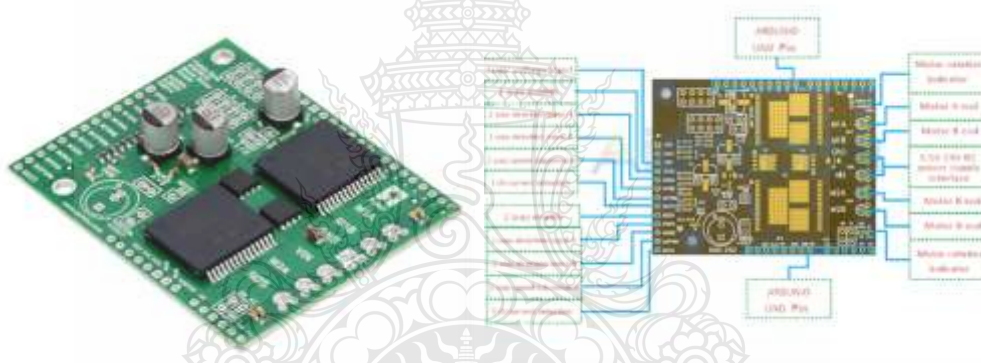
Module	Terminal	Signal
	17	PO.0
	18	PO.1
	19	PO.2
	20	PO.3
	21	PO.4
	22	PO.5
	23	PO.6
	24	PO.7
	25	PI.0
	26	PI.1
	27	PI.2
	28	PI.3
	29	PF1.0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

รูปที่ 3.11 NI USB-6008 Digital Pin Diagram and Table



-5V	34	33	PF1.0
D GND	32	31	PF1.3
P1.2	30	29	PF1.1
P1.0	28	27	PF0.7
P0.6	26	25	PF0.5
P0.4	24	23	PF0.3
P0.2	22	21	PF0.1
P0.0	20	19	D GND
LED	18	17	D+
V0L1S	16	15	D-
AI GND	14	13	AI GND
AI 4 (AI 0-)	12	11	AI 0 (AI 0+)
AI 5 (AI 1-)	10	9	AI 1 (AI 1+)
AI 6 (AI 2-)	8	7	AI 2 (AI 2+)
AI 7 (AI 3-)	6	5	AI 3 (AI 3+)
AI GND	4	3	AI GND
AO 1	2	1	AO 0

รูปที่ 3.12 NI USB-6008 OEM  
3.3.8 Motor Driver Shield



รูปที่ 3.13 Pololu Dual VN5019 Motor Driver Shield

คุณสมบัติ

1) ทำจากวัสดุที่มีคุณภาพสูงซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงการกัดกร่อนและการสึกหรอได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้ยาวนาน

2) แผงวงจร adopts พื้นผิวติดตั้งส่วนประกอบ SMD

3) สามารถควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางได้ง่าย

4) เป็นอุปกรณ์ที่มีตัวต้านทานดึงขึ้น, ตัวต้านทานป้องกันและFETย้อนกลับป้องกันแบตเตอรี่, ป้องกันIOอินเทอร์เฟซโดยค่าเริ่มต้นใช้งานง่าย

5) แรงดันไฟฟ้าขาเข้าสูงสุด 41V

วัสดุ: เอบีเอส

แรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานได้: 5.5V-24V

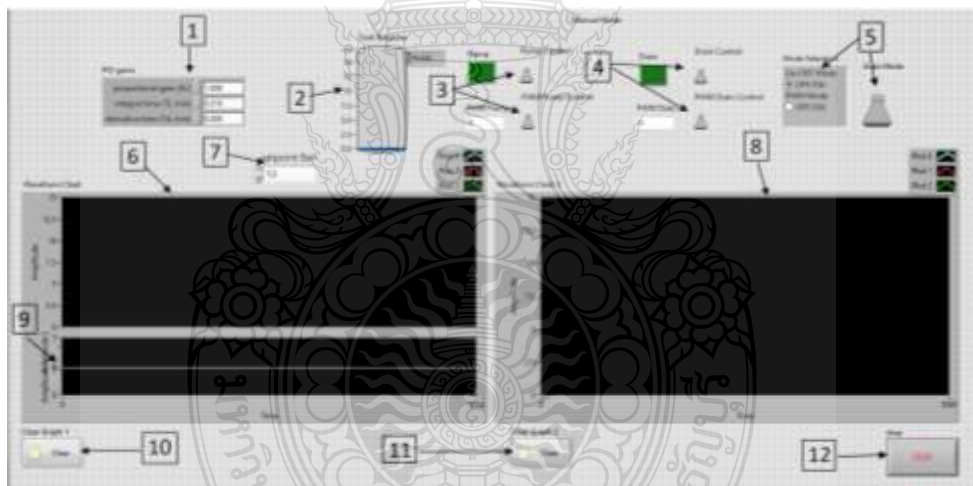
ไดรฟ์ชิป: VN5019

ช่องสัญญาณต่อเนื่องเดียว: 12A

ช่องทางเดียวสูงสุดในปัจจุบัน: 30A  
การตรวจสอบปัจจุบัน: 0.14V/ A  
ความถี่ในการปรับความกว้างพัลส์สูงสุด: 20kHz  
ขนาด: ประมาณ 6.5x5.2x1.5 ซม./2.6x2.0x0.6 นิ้ว  
น้ำหนัก: ประมาณ 28.9 กรัม

### 3.4 การออกแบบระบบควบคุมความดันในถังลม

โปรแกรม LabVIEW รับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า อนุาล็อกขาเข้า (Voltage Analog Input) จาก sensor ผ่านการ์ดอินเทอร์เฟซ (DAQ USB-6008) ซึ่งแปลงสัญญาณมาจาก pressure sensor เมื่อคอมพิวเตอร์รับสัญญาณจะทำงานประมวลผลแรงดันที่ตั้งไว้ กับแรงดันที่เกิดขึ้น ถ้าแรงดันยังไม่ถึงที่ค่ากำหนดระบบควบคุมแบบ PI ที่สร้างในคอมพิวเตอร์จะคำนวณค่าสัญญาณควบคุม แล้วส่งคำสั่งไปยังการ์ด (DAQ USB-6008) ผ่านช่องอนุาล็อกขาออก (Analog output) ไปยังชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ VNH5019 ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณ PWM ไปควบคุมโซลินอยด์วาล์วที่ติดตั้งไว้ที่ขาเข้าถังเก็บอากาศรับแรงดันและขาออกถังเก็บอากาศรับแรงดัน



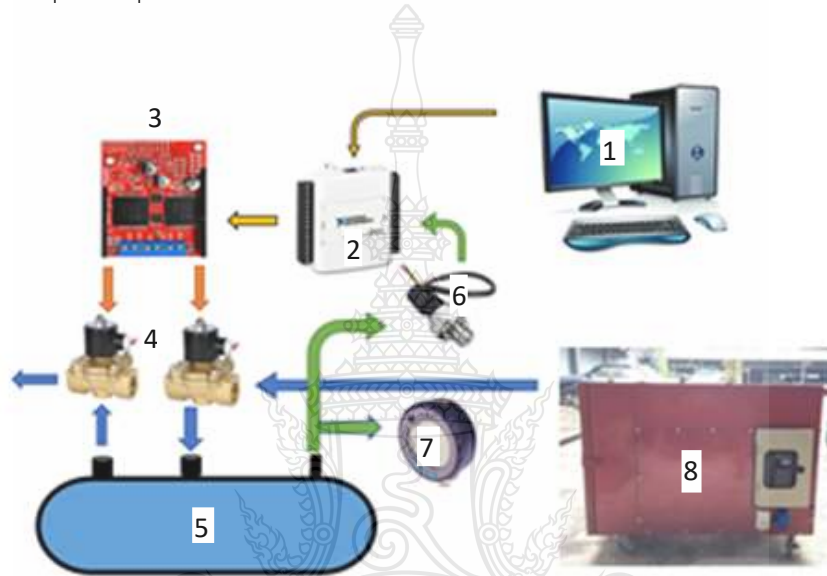
รูปที่ 3.14 แสดงโปรแกรมที่พัฒนาบนโปรแกรม LabVIEW

โปรแกรมควบคุมที่พัฒนาบนโปรแกรม LabVIEW ในรูปที่ 3.14 ประกอบด้วย

- 1) พารามิเตอร์ที่ควบคุมระบบ
- 2) แสดงความดันในการทดสอบ
- 3) สวิตช์เปิด-ปิดโซลินอยด์วาล์ว/สวิตช์เปิด-ปิดสัญญาณ PWM
- 4) สวิตช์เปิด-ปิดโซลินอยด์วาล์ว/สวิตช์เปิด-ปิดสัญญาณ PWM
- 5) สวิตช์เปิด-ปิด การควบคุมแบบ Manual/Auto



- 6) กราฟแสดงความดัน
- 7) กำหนดค่าแรงดันในการทดสอบ
- 8) กราฟแสดงความดัน
- 9) กราฟแสดงสัญญาณ PWM
- 10) ปุ่ม Reset การแสดงกราฟ
- 11) ปุ่ม Reset การแสดงกราฟ
- 12) ปุ่มกดยกเลิกการทำงาน



รูปที่ 3.15 ชุดทดลองระบบควบคุมการทดสอบถึงรับแรงดัน

อุปกรณ์ระบบควบคุมการทดสอบประกอบด้วย

- 1) คอมพิวเตอร์
- 2) การ์ดอินเตอร์เฟซ NI USB6008
- 3) ชุดขับมอเตอร์ Motor Driver รุ่น VNH5019
- 4) โซลินอยด์วาล์ว
- 5) ถังเก็บอากาศรับแรงดัน
- 6) pressure sensor
- 7) pressure gauge
- 8) ชุดทดสอบถึงเก็บอากาศแรงดัน

### 3.5 ขั้นตอนการเตรียมการทดสอบ

#### 3.5.1 ทำการเติมน้ำที่ถังพักน้ำ



รูปที่ 3.16 เติมน้ำที่ถังพักน้ำ

#### 3.5.2 ทำการต่อท่อดูดน้ำกับปั้มน้ำ

ต่อสายดูดน้ำจากถังพักน้ำมาที่ปั้มน้ำเพื่อส่งน้ำไปที่ถังเก็บอากาศ



รูปที่ 3.17 ต่อสายท่อดูดน้ำ

#### 3.5.3 ติดตั้งสายส่งน้ำที่ปั้มน้ำ

ติดตั้งสายส่งน้ำจากปั้มน้ำไปที่ข้อต่อที่ถังเก็บอากาศ



รูปที่ 3.18 ติดตั้งสายส่งน้ำกับปั้มน้ำ

3.5.4 ติดตั้งสายส่งน้ำกับข้อต่อที่ถังเก็บอากาศ  
ทำการต่อสายส่งน้ำกับข้อต่อที่ถังเก็บอากาศ



รูปที่ 3.19 ติดตั้งสายส่งน้ำกับข้อต่อที่ถังเก็บอากาศ

3.5.5 ต่อปลั๊กเซ็นเซอร์โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 1  
ทำการต่อปลั๊กเซ็นเซอร์โซลินอยด์วาล์วแบบปกติปิดตัวที่ 1 กับชุดควบคุมอัตโนมัติ



รูปที่ 3.20 ต่อปลั๊กเซ็นเซอร์โซลินอยด์วาล์วแบบปกติปิดตัวที่ 1

3.5.6 ต่อต่อปลั๊กเซ็นเซอร์โซลินอยด์วาล์วตัวที่ 2

ทำการต่อปลั๊กเซ็นเซอร์โซลินอยด์วาล์วแบบปกติปิดตัวที่ 2 กับชุดควบคุมอัตโนมัติอาคูโน



รูปที่ 3.21 ต่อปลั๊กเซ็นเซอร์โซลินอยด์วาล์วแบบปกติปิดตัวที่ 2

3.5.7 ทำการต่อเซ็นเซอร์วัดแรงดัน

ต่อเซ็นเซอร์วัดแรงดันที่จุดระบายแรงดันจากถัง





รูปที่ 3.22 เซ็นเซอร์วัดแรงดัน

- 3.5.8 ต่อกาวเวอร์ปลั๊ก 220v  
ต่อกาวเวอร์ปลั๊ก 220v กับชุดทดสอบ



รูปที่ 3.23 Power Plug 220v

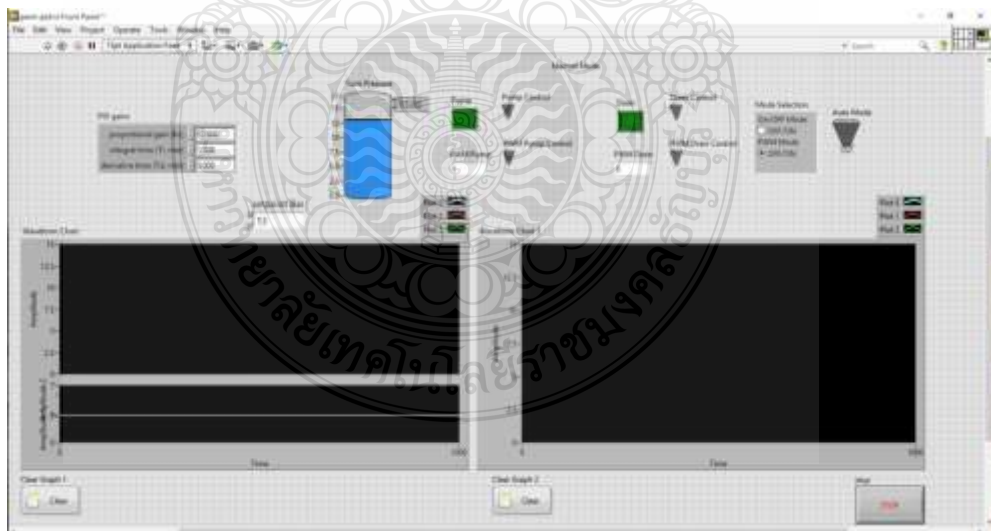
- 3.5.9 เปิดเบรกเกอร์ที่อินเวอร์เตอร์  
เปิดสวิตช์ที่เบรกเกอร์เพื่อให้อินเวอร์เตอร์ทำงาน



รูปที่ 3.24 เบรกเกอร์สวิตซ์ที่อินเวอร์เตอร์

### 3.5.10 ตั้งค่าโปรแกรม LabVIEW

ตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ความดันที่ต้องการใช้งานที่โปรแกรม LabVIEW เพื่อทำการทดสอบความดัน 13 bar



รูปที่ 3.25 โปรแกรม LabVIEW

### 3.5.11 กต PU/EXT

กดปุ่ม PU/EXT เพื่อปรับความถี่ที่ 7.6 Hz เป็นความถี่ที่ดีที่สุดในการทดสอบ



รูปที่ 3.26 ปุ่ม PU/EXT

3.5.12 ปรับ Volume

ปรับ Volume ที่ตัวอินเวอร์เตอร์ให้ได้ความถี่ที่ต้องการ ซึ่ง ณ ที่นี้คือ 7.6 Hz



รูปที่ 3.27 ปุ่ม Volume

3.5.13 กดปุ่ม SET

กดปุ่ม SET เมื่อได้ความถี่ที่ต้องการให้ที่จอขึ้นตัวอักษร F เป็นอันเสร็จสิ้นการตั้งค่า



รูปที่ 3.28 ปุ่ม SET

3.5.14 กดปุ่ม RUN

กดปุ่ม RUN เพื่อให้ชุดทดสอบทำงาน



รูปที่ 3.29 ปุ่ม RUN

3.5.15 เปิดวาล์วระบายแรงดัน



เปิดวาล์วที่ทางระบายเพื่อระบายความดันในถังเก็บอากาศจะสังเกตได้ที่น้ำระบายออกมา



รูปที่ 3.30 วาล์วระบายแรงดัน

#### 3.5.16 ปิดวาล์วระบายแรงดัน

ทิ้งไว้สักระยะแล้วปิดวาล์วระบายแรงดันแล้วสังเกตที่เกจวัดเพื่อดูแรงดันและตรวจสอบด้วยวิธีพินิจด้วยของถังด้วยสายตาแล้ว ให้ทิ้งไว้ 3 นาที ระหว่างที่รอ ให้เช็ค รอยรั่วซึมหรือบวม ของถังเก็บอากาศ และเช็คแรงดันภายในถังเก็บอากาศว่าคงที่หรือไม่



รูปที่ 3.31 เกจวัดแรงดัน

### 3.5.19 ระบายน้ำออก

เมื่อตรวจสอบด้วยวิธีพินิจของถังอัดอากาศเสร็จแล้ว ทำการระบายน้ำออก เพื่อเข้าสู่กระบวนการทดสอบด้วยวิธี Hydrostatic Test



รูปที่ 3.32 ระบายน้ำออก

## 3.6 ขั้นตอนการทดสอบด้วยวิธีการทดสอบ Hydrostatic Test

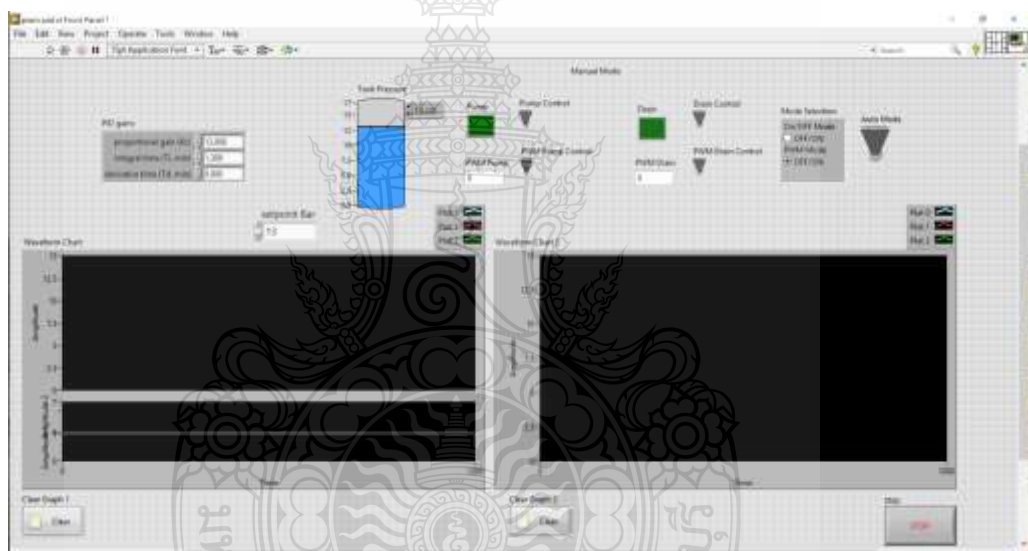
1. ปิดอุปกรณ์นิรภัยแบบระบายหรือ Safety relieve valve บริเวณด้านบนของถังภาชนะแรงดันด้วยหน้าแปลนชนิดปิดสนิท และทำการปิดวาล์วทั้งหมดก่อนอัดด้วยความดัน Hydrostatic Test
2. ตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ (Method for Visual examination) บริเวณภายนอกของถังภาชนะรับแรงดันที่ทำการทดสอบ เพื่อตรวจสอบสภาพอุปกรณ์ของถัง
3. ทำการเติมน้ำในถังภาชนะรับแรงดันจนเต็ม เพื่อเตรียมการทดสอบด้วยการอัดความดัน Hydrostatic Test โดยมีของไหลตัวกลาง ก็คือ “น้ำ” ที่แรงดัน  $1.3P + 249$  kPa โดยมีความหมายดังนี้
  - 1.3 คือ ค่าตัวคูณของความดันสูงสุด
  - P คือ ความดันใช้งานสูงสุด
  - 249 คือ ค่า Bias ในการทดสอบมีหน่วยเป็น กิโลพาสคัล
4. คงแรงดันที่ใช้ทดสอบไว้อย่างต่ำ เป็นระยะเวลา 3 นาที เพื่อให้เราตรวจสอบหาจุดรั่วซึม ปริบวม หรือสภาพความสมบูรณ์ของถังภาชนะรับแรงดัน ว่าสามารถทนแรงดันที่ใช้ทดสอบได้หรือไม่
5. เป็นอันเสร็จสิ้นในการทดสอบ Hydrostatic Test และให้ทดสอบเซฟตี้วาล์วตามค่าที่กำหนดไว้ เพื่อดูการทำงานของเซฟตี้วาล์ว ว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่

### 3.7 เครื่องมือวัดแรงดัน (Pressure Gauge)

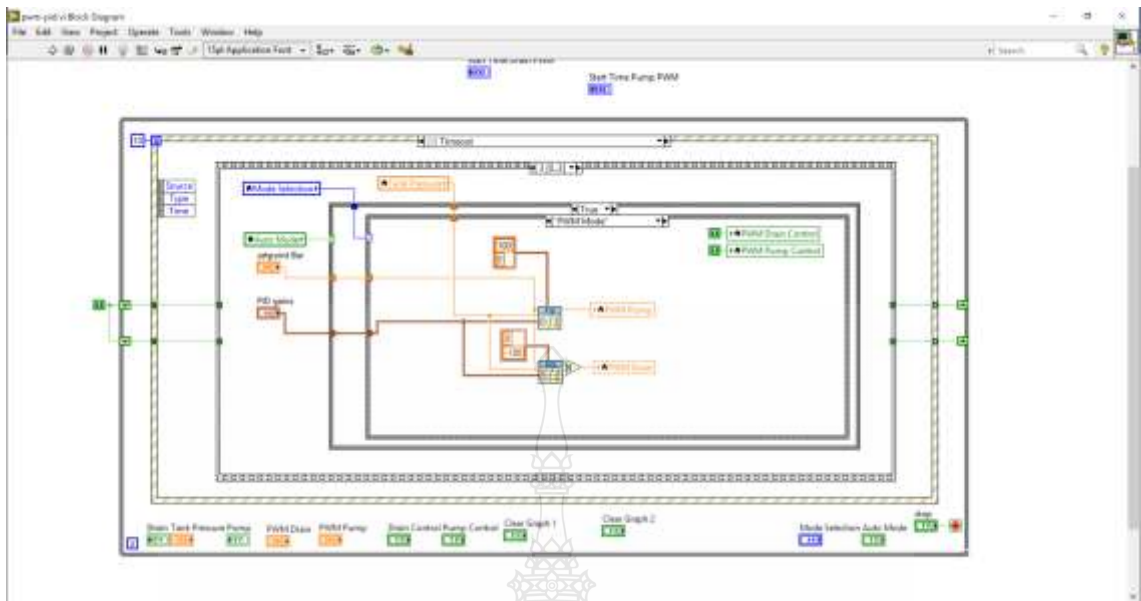
1. เครื่องมือวัดแรงดัน (Pressure Gauge) ควรมีความสามารถวัดสูงสุดไม่เกิน 4 เท่า ของความดันทดสอบแต่ไม่ต่ำกว่า 1.5 เท่า ของความดันการทดสอบ
2. เครื่องวัดแรงดันอ่านความดันที่ใช้ในการทดสอบ (Test Pressure)
3. เกจวัดความดันจะต้องชี้ที่ค่าความดันเดียวเสมอตลอดการทดสอบ
4. เมื่อจบการทดสอบเกจวัดความดันทุกตัวจะต้องชี้ที่ 0 psi เสมอ

### 3.8 การตั้งค่าการควบคุมความดันในถังของโปรแกรม LabVIEW

ทำการทดสอบผลการตอบสนองแบบ PI ตั้งค่า set point ที่ 13 bar ปรับเปลี่ยนค่าอัตรา Kp และ Ki เริ่มต้นจากที่สูง และค่อย ๆ ปรับเปลี่ยนค่า สังเกตผลตอบสนองที่เกิดขึ้นและทำการบันทึกค่า Kp และ Ki ที่ให้ผลการทดสอบค่าความดันที่ดีที่สุด



รูปที่ 3.33 หน้าต่าง Front panel บนโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 3.34 หน้าต่าง Block diagram บนโปรแกรม LabVIEW



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ผลการดำเนินงานทดสอบระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการทดสอบถึงความดันในถังเก็บอากาศตามมาตรฐานมอก. 1252-2537 โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ผู้วิจัยขอเสนอผลการดำเนินงานดังนี้

#### 4.1 ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการทดสอบถึงความดัน

4.1.1 คอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลจากเครื่องมือวัดและส่งข้อมูลไปยังตัวขับเคลื่อน โดยจะนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมให้แก่ระบบ

4.1.2 การ์ดอินเตอร์เฟส NI USB6008 ทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อระหว่างกระบวนการวัดกับคอมพิวเตอร์

4.1.3 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ Motor Driver รุ่น VNH5019 ทำหน้าที่ควบคุมโซลินอยด์วาล์วตามสัญญาณแบบ PWM ที่ต่างกัน ก็จะทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยของสัญญาณสวิตช์

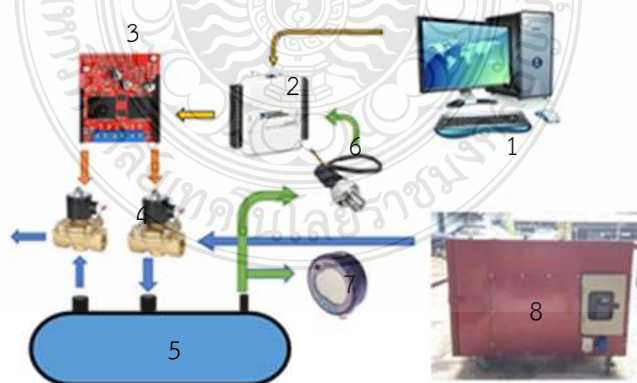
4.1.4 โซลินอยด์วาล์ว อุปกรณ์ควบคุมการไหลของของไหล

4.1.5 ถังเก็บอากาศรับแรงดัน มีหน้าที่ในการเก็บความดันลม เพื่อรักษาความดันลมของระบบให้คงที่อยู่ตลอดเวลา

4.1.6 pressure sensor เซ็นเซอร์จะส่งสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับความดันที่วัดได้

4.1.7 pressure gauge เป็นตัวอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่วัดความดันที่อยู่ภายในถังว่ามีขนาดความดันเพียงพอสำหรับการทดสอบ

4.1.8 ชุดทดสอบถังเก็บอากาศแรงดัน จะอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง ใช้เครื่องพญา 3 สูบเป็นตัวสร้างกำลังงาน และมีน้ำเป็นตัวกลางในการส่งถ่ายกำลังงาน มอเตอร์ไฟฟ้าจะเป็นต้นกำลังไปขับเครื่องพญา 3 สูบ เพื่ออัดน้ำเข้าถังเก็บอากาศให้ได้ความดันตามที่ต้องการ



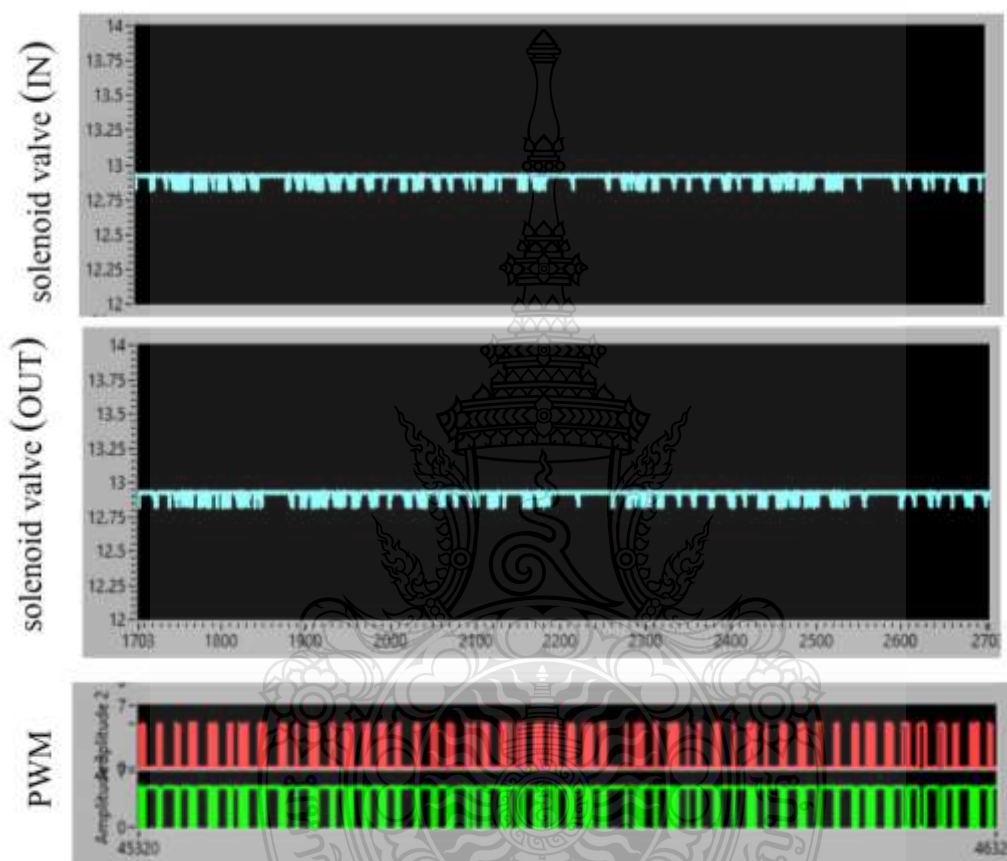
รูปที่ 4.1 การติดตั้งระบบควบคุมการทดสอบความดันในถังลม



## 4.2 ผลทดสอบระบบควบคุมแบบ PI

ทำการทดสอบผลการตอบสนองแบบ PI ตั้งค่า set point ที่ 13 bar ปรับเปลี่ยนค่าอัตรา Kp และ Ki เริ่มต้นจากที่ศูนย์ และค่อย ๆ ปรับเปลี่ยนค่า สังเกตผลตอบสนองที่เกิดขึ้นและทำการบันทึกค่า Kp และ Ki ที่ให้ผลการทดสอบค่าความดันที่ดีที่สุด

ผลทดสอบระบบควบคุมแบบ PI ในสถานะที่ความดันคงที่จะทำงานเปิดวาล์วทางเข้าถึงและปิดวาล์วทางออกพบว่า การทดสอบระบบควบคุมแบบ PI สามารถควบคุมแรงดันภายในถังเก็บอากาศให้คงที่ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลตอบสนองของความดันภายในถังเก็บอากาศระบบควบคุม PI

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงตัวแปรของระบบควบคุม PI

Pressure (bar)	Kp	Ki
13	13	1.308

## 4.3 การทดสอบ Hydrostatic Test

4.3.1 ปิดอุปกรณ์นิรภัยแบบระบายหรือ Safety relieve valve บริเวณด้านบนของถังภาชนะแรงดันด้วยหน้าแปลนชนิดปิดสนิท และทำการปิดวาล์วทั้งหมดก่อนอัดด้วยความดัน Hydrostatic Test

4.3.2 ตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ (Method for Visual examination) บริเวณภายนอกของถังภาชนะรับแรงดันที่ทำการทดสอบ เพื่อตรวจสอบหาสภาพผุกร่อนของถัง

4.3.3 ทำการเติมน้ำในถังภาชนะรับแรงดันจนเต็ม เพื่อเตรียมการทดสอบด้วยการอัดความดัน Hydrostatic Test โดยมีของไหลตัวกลาง ก็คือ “น้ำ” ที่แรงดัน  $1.3P + 249 \text{ kPa}$  โดยมีความหมายดังนี้

1.3 คือ ค่าตัวคูณของความดันสูงสุด

P คือ ความดันใช้งานสูงสุด

249 คือ ค่า Bias ในการทดสอบมีหน่วยเป็นกิโลพาสคัล

4.3.4 คงแรงดันที่ใช้ทดสอบไว้อย่างต่ำ เป็นระยะเวลา 3 นาที เพื่อให้เราตรวจสอบหาจุดรั่วซึม ปริมาตร หรือสภาพความสมบูรณ์ของถังภาชนะรับแรงดัน ว่าสามารถทนแรงดันที่ใช้ทดสอบได้หรือไม่

4.3.5 เป็นอันเสร็จสิ้นในการทดสอบ Hydrostatic Test และให้ทดสอบเซฟตี้วาล์วตามค่าที่กำหนดไว้ เพื่อดูการทำงานของเซฟตี้วาล์ว ว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการทดลอง Hydrostatic Test สำหรับความดันอ้างอิง 13 bar

ความดันในการทดสอบครั้งที่ (bar)				Average (bar)
1	2	3	4	
13.105	13.125	13.119	13.123	13.118

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการทดสอบ Safety valve สำหรับความดันอ้างอิง 8 bar

ความดันในการทดสอบครั้งที่ (bar)				Average (bar)
1	2	3	4	
8.105	8.129	8.120	8.117	8.118

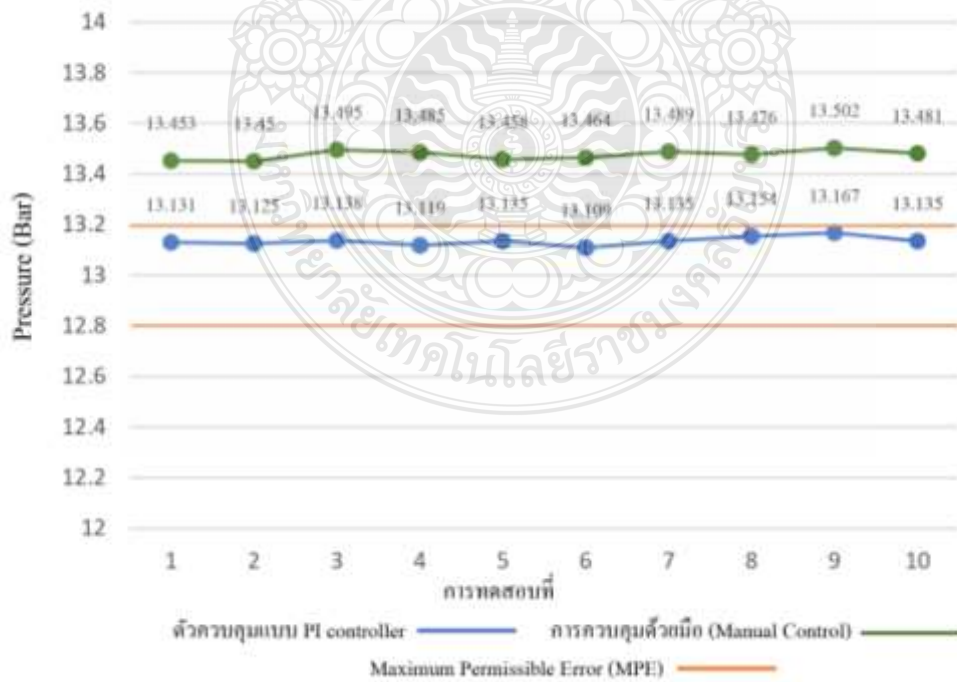
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ

ความบกพร่อง/ตำหนิ	คำอธิบาย
แนวเชื่อม	ตรวจสอบไม่พบรอยรั่วซึมตามแนวเชื่อม
บวม/โป่ง	ตรวจสอบไม่พบรอยบวม/โป่งของถัง
แตก/รอยร้าว	ตรวจสอบไม่พบรอยแตกรอยรอบบริเวณถัง

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลหาค่าเฉลี่ยของผลการวัด (Average) สำหรับความดันอ้างอิง 13 bar

การทดสอบครั้งที่	การควบคุมแรงดันในถังด้วยมือ	การควบคุมแบบ PI
1	13.453	13.131
2	13.45	13.125
3	13.495	13.138
4	13.485	13.119
5	13.458	13.135
6	13.464	13.109
7	13.489	13.135
8	13.476	13.154
9	13.502	13.167
10	13.481	13.135
Average	13.475	13.134
Max	13.502	13.167
Min	13.453	13.109

#### 4.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบผล



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการทดสอบ



เปรียบเทียบระหว่างวิธีการควบคุมแรงดันในถังด้วยมือ (Manual Control) กับการใช้ตัวควบคุมแบบ PI ในการควบคุมแรงดันในถังเก็บอากาศ

1) หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) วิธีการควบคุมแบบ PI

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{10-1} \left[ \begin{aligned} &(13.134 - 13.131)^2 + (13.134 - 13.125)^2 + (13.134 - 13.138)^2 \\ &+ (13.134 - 13.119)^2 + (13.134 - 13.135)^2 + (13.134 - 13.109)^2 \\ &+ (13.134 - 13.135)^2 + (13.134 - 13.154)^2 + (13.134 - 13.167)^2 \\ &+ (13.134 - 13.135)^2 \end{aligned} \right]}$$

$$= 0.00027$$

2) หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) วิธีการควบคุมแรงดันในถังด้วยมือ (Manual Control)

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{10-1} \left[ \begin{aligned} &(13.475 - 13.453)^2 + (13.475 - 13.450)^2 + (13.475 - 13.495)^2 \\ &+ (13.475 - 13.485)^2 + (13.475 - 13.458)^2 + (13.475 - 13.464)^2 \\ &+ (13.475 - 13.489)^2 + (13.475 - 13.476)^2 + (13.475 - 13.502)^2 \\ &+ (13.475 - 13.481)^2 \end{aligned} \right]}$$

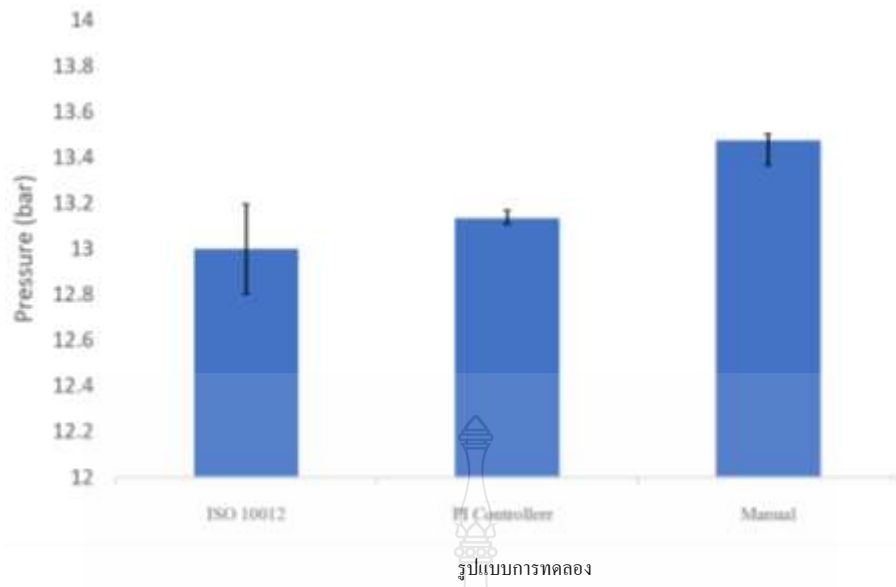
$$= 0.00301$$

4) ค่าความผิดพลาดสูงสุดที่ยอมรับได้” (Maximum permissible error , MPE) หมายความว่า ค่าสูงสุดของค่าผลผลิตที่ยอมรับได้ตามข้อกำหนดหรือข้อบังคับระหว่างค่าที่แสดงของความดันและค่าความดันจริง ที่แท้จริง มีอ้างอิงอยู่ใน ISO 10012

ความละเอียด = 0.05 %

ใช้ทดสอบที่ spec = 13 bar +/- 1.5 %

(1.5%×13) = ±0.195 bar



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลอง



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุปงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการทดสอบถึงความดันในถังเก็บอากาศตามมาตรฐานมอก. 1252-2537 ด้วยโปรแกรมแลปวิว โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ระบบควบคุมสามารถควบคุมความดันในถังลมได้ตั้งแต่ 1-13 บาร์ การทดลองโดยใช้โปรแกรมแลปวิวสามารถควบคุมความดันในถังทดสอบ โดยสามารถตรวจสอบแก้ไขการทำงานที่ผิดพลาดของระบบจากโปรแกรมได้ทำให้การทำงานที่ได้มีความแม่นยำและถูกต้อง

และอาจมีข้อผิดพลาดจากผู้ทดสอบ โดยที่ผู้ทดสอบจะต้องมีพื้นฐานในด้านการเขียนโปรแกรมแลปวิว และอุปกรณ์ต่างๆ ต้องคอยสังเกตปรับปรุงแก้ไขข้อมูลในกระบวนการทดลองเวลาการทดสอบ

โดยผลการทดลองพบว่า ชุดทดสอบที่ควบคุมแบบ PI controller มีผลการตอบสนองสถานะความดันที่ 13 bar โดยค่าผิดพลาดของแรงดันภายในถังเก็บอากาศ มีค่าเฉลี่ย 1.71 เปอร์เซ็นต์เทียบกับวิธีการควบคุมด้วยมือ ที่มีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสูงกว่า 1.75 เปอร์เซ็นต์

#### 5.2 ปัญหาที่พบในการทำวิจัย

5.2.1 Pressure sensor ทำงานเริ่มที่ 0.5-4.5V และใช้เวลานานในส่งสัญญาณสั่งการเปิด-ปิดวาล์ว แนวทางการแก้ไข ควรเลือกใช้อุปกรณ์ Pressure sensor ที่มีผลการตอบสนองต่อสัญญาณได้อย่างรวดเร็ว

5.2.2 โซลินอยด์วาล์ว ทำงานเปิด-ปิด แบบถี่ ๆ อย่างต่อเนื่อง เพราะจะทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย

#### 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.3.1 เนื่องจากชุดทดสอบมีกระแสไฟและน้ำ ควรระมัดระวังในการทดสอบ

5.3.2 ควรเพิ่มรูปแบบการทดสอบให้มากขึ้น เพื่อศึกษาความแตกต่างและความละเอียดของข้อมูล

## บรรณานุกรม

- [1] สารานุกรมเสรี. **ระบบควบคุมพีไอดี**. สืบค้นเมื่อ (19 มกราคม 2562), จากวิกิพีเดีย <https://en.wikipedia.org/wiki/ระบบควบคุมพีไอดี>.
- [2] นายสิทธิชัย หนูชัยแกว (15 มกราคม 2550). **หลักการหาค่าความแน่นอนของการวัดสำหรับการทดสอบความแข็ง**. [เว็บไซต์]. สืบค้นจาก <https://www.tisi.go.th>
- [3] ความเค้นภายในภาชนะอัดความดัน. เอกสารประเภทไฟล์ PowerPoint (PowerPoint Slides) สืบค้นจาก <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWVpbnxraHJ1Y2hheXBobHBoYXBob3RoXxneDo2OGU4ZjY1MDY2NzcwN2E0>
- [4] พงษ์พันธ์ เพชรศรี. (2557). **การออกแบบถังเก็บลม**. สืบค้นจาก [http://www.research-system.siam.edu/images/coop/DESIGN\\_AND\\_DRAWING\\_OF\\_AIR\\_TANK/7%E0%B9%80%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%AB%E0%B8%B2.pdf](http://www.research-system.siam.edu/images/coop/DESIGN_AND_DRAWING_OF_AIR_TANK/7%E0%B9%80%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%AB%E0%B8%B2.pdf)
- [5] สารานุกรมเสรี. **ความดัน**. สืบค้นเมื่อ (8 มกราคม 2562), จากวิกิพีเดีย <https://en.wikipedia.org/wiki/ความดัน>.
- [6] ปริมาตร (6 กันยายน พ.ศ. 2556) สืบค้นจาก [http://studymathematics0.blogspot.com/2013/09/blog-post\\_5.html](http://studymathematics0.blogspot.com/2013/09/blog-post_5.html)
- [7] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2537). **เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบ**. มอก. 1252-2537.
- [8] ชัยพร ไทรเกตุ, “การควบคุมความดันในถังลมแบบอนุกรม 2 ถังด้วยการควบคุมแบบ PI”, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน, (2559).
- [9] สกนธ์ เส็งสุวรรณ, พิพัฒน์ ปราโมทย์, “การปรับปรุงความแข็งแรงของถังเก็บอากาศขนาด 64 ลิตรด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์”, การประชุมวิชาการระดับชาติ มทร.สุวรรณภูมิ ครั้งที่ 4, (น. 118-126). 23-24 เมษายน 2563.

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1252-2537





มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 1252 – 2537

เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบ

SMALL-SIZED RECIPROCATING AIR COMPRESSORS



สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

UDC 621.512

ISBN 974-607-320-6



**มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม  
เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบ**

**มอก. 1252-2537**

**สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม  
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10300  
โทรศัพท์ 2461175**

**ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 111 ตอนที่ 41 ง  
วันที่ 30 กันยายน พุทธศักราช 2537**

45

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 770  
มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบ

ประธานกรรมการ  
นายพงษ์ธร จริญญากรณ์

ผู้แทนคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรรมการ  
นายศุภชัย เอกกมล

ผู้แทนกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน

นายชินวัตร เขียวพงษ์

ผู้แทนคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า

เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นายสิทธิพงษ์ โลวีรัตน์

ผู้แทนสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

นายวชิระ ฐิติเวทย์

ผู้แทนการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

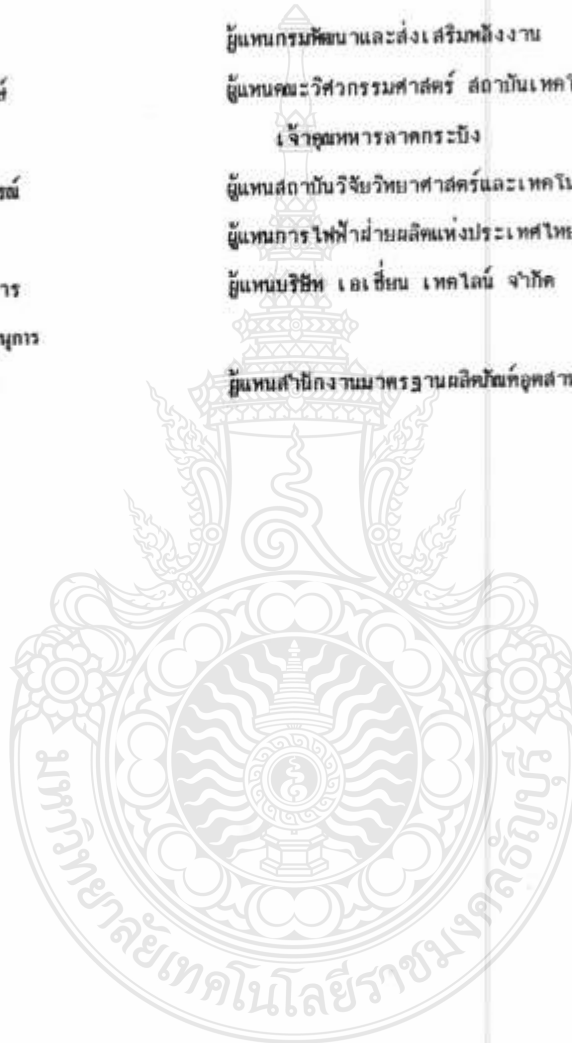
นายกฤษ อดิณคณะสาร

ผู้แทนบริษัท เอเชีย เทคโนโลยี จำกัด

กรรมการและเลขานุการ

นายภาสกร คุชชีวิชัย

ผู้แทนสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม



ปัจจุบันมีการทำเครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบขึ้นภายในประเทศ เพื่อเป็นการส่งเสริมและยกระดับ  
 ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมประเภทนี้ให้ได้มาตรฐานและมีคุณภาพเหมาะสมยิ่งขึ้น จึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบ ขึ้น  
 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยใช้เอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

JIS B 8342-1986	Small-size reciprocating air compressors
JIS B 0202-1982	Parallel pipe threads
JIS B 0203-1982	Taper pipe threads
JIS B 1183-1987	Domed cap nuts
JIS B 1521-1986	Deep groove ball bearings
JIS B 1522-1986	Angular contact ball bearings
JIS B 1523-1986	Self-aligning ball bearings
JIS B 1533-1986	Cylindrical roller bearings
JIS B 1534-1986	Tapered roller bearings
JIS B 1536-1983	Machined ring needle roller bearings
JIS B 8032-1993	General rules for piston rings
JIS B 8247-1992	Formed heads for pressure vessels
JIS G 3101-1987	Rolled steel for general structure
JIS G 3131-1990	Hot-rolled mild steel plates, sheets and strip
JIS G 3201-1988	Carbon steel forgings for general use
JIS G 3311-1988	Cold rolled special steel strip
JIS G 3452-1988	Carbon steel pipes for ordinary piping
JIS G 4051-1979	Carbon steels for machine structural use
JIS G 4102-1979	Nickel chromium steels
JIS G 4103-1979	Nickel chromium molybdenum steels
JIS G 4105-1979	Chromium molybdenum steels
JIS G 4303-1991	Stainless steel bars
JIS G 4305-1991	Cold rolled stainless steel plates, sheets and strip

(3)

JIS G 4314-1988	Stainless steel wires for springs
JIS H 3110-1992	Phosphor bronze and nickel silver sheets, plates and strips
JIS H 3250-1992	Copper and copper alloy rods and bars
JIS H 4140-1988	Aluminium and aluminium alloy forgings
JIS H 5111-1988	Bronze castings
JIS H 5115-1988	Leaded tin bronze castings
JIS H 5202-1992	Aluminium alloy castings
JIS H 5302-1990	Aluminium alloys die castings
JIS H 5401-1958	White metal
JIS K 6368-1977	Narrow V belts for power transmission
มอก.146-2536	สายพานตัววีส่งกำลัง
มอก.244 เล่ม 3-2520	การทดสอบเหล็กและเหล็กกล้า เล่ม 3 การทดสอบความแข็ง รอกเวลล์สำหรับเหล็กกล้าสเกล B และ C
มอก.291 เล่ม 1 ถึง 3-2530	สลักเกลียวหัวหกเหลี่ยม เล่ม 1 ผลิตภัณฑ์ A และ B เล่ม 2 ผลิตภัณฑ์ B (เส้นผ่านศูนย์กลางของก้าน $\approx$ เส้นผ่านศูนย์กลางพิคซ์)
มอก.338 เล่ม 1 ถึง 2-2530	เล่ม 3 ผลิตภัณฑ์ C หมุดเกลียวหัวหกเหลี่ยม เล่ม 1 ผลิตภัณฑ์ A และ B เล่ม 2 ผลิตภัณฑ์ C
มอก.376-2524	หมุดเกลียวหัวจมนกเหลี่ยม : ผลิตภัณฑ์ A
มอก.536-2527	เหล็กหล่อเทา
มอก.537-2527	เหล็กหล่อแกรไฟติกกลม
มอก.643-2529	เหล็กหล่ออบเหนียว
มอก.672-2530	แป้นเกลียวหกเหลี่ยม
มอก.787-2531	เครื่องยัดดีเซลขนาดเล็กระบายความร้อนด้วยน้ำ

มอก. 859-2532

ลวดเขียน

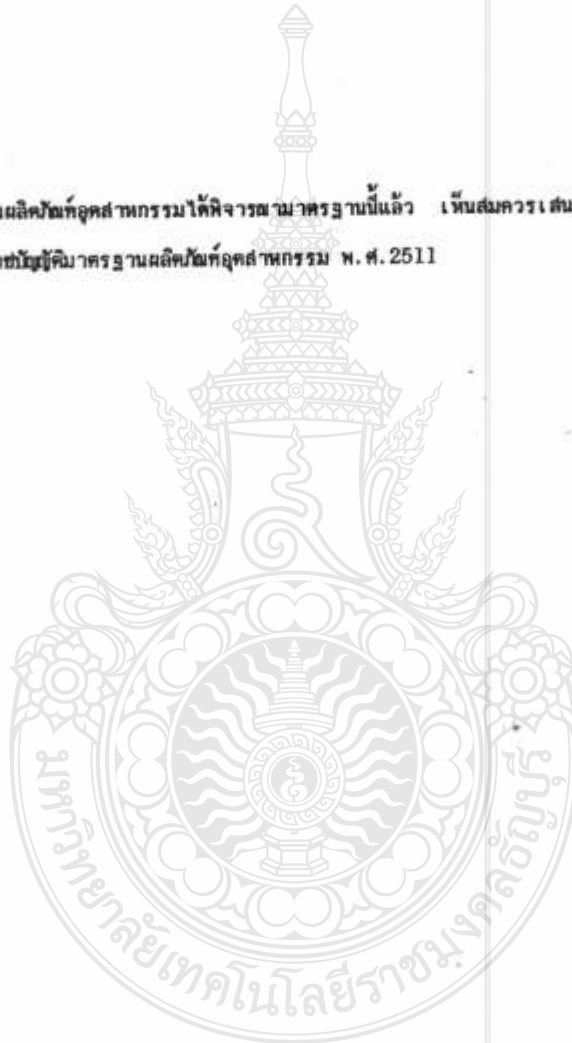
มอก. 866-2532

มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว

มอก. 867-2532

มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณาว่ามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตาม  
มาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511



(5)



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 1906 ( พ.ศ. 2537 )

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบ

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบ มาตรฐานเลขที่ มอก. 1252-2537 ไว้ หวังมีรายการละเอียดค่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 8 กันยายน พ.ศ. 2537

พลตรี ธานี ขจรประศาสน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม



# มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

## เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบ

### 1. ขอบข่าย

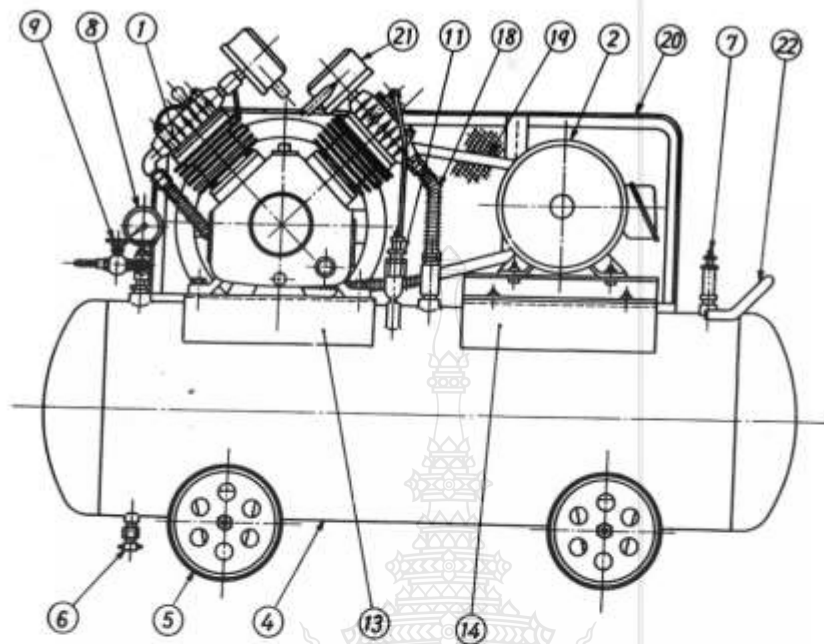
- 1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนด ประเภทและชนิด กำลังดันออกที่กำหนดหรือกำลังที่กำหนดต่อเนื่องของเครื่องต้นกำลังและความดันสูงสุด ส่วนประกอบ วัสดุและการทำ คุณลักษณะที่ต้องการ เครื่องหมายและฉลาก การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน และการทดสอบ เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบ
- 1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ครอบคลุมเฉพาะ เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบที่อัดคันเดียว (single-acting) ระบายความร้อนด้วยอากาศ ประเภทมีน้ำมันหล่อลื่น และประเภทไม่มีน้ำมันหล่อลื่น ชนิดอัดอากาศชั้นตอนเดียว (single-stage) ที่มีความดันสูงสุด 200 ถึง 1 000 กิโลพาสคัล และชนิดอัดอากาศสองชั้นตอน (two-stage) ที่มีความดันสูงสุด 700 ถึง 1 400 กิโลพาสคัล ซึ่งมีเครื่องต้นกำลังเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำที่มีกำลังดันออกที่กำหนดไม่เกิน 11 กิโลวัตต์ หรือเครื่องยนต์สันดาปภายในที่มีกำลังที่กำหนดต่อเนื่องไม่เกิน 11 กิโลวัตต์ อนุมัติโดยรอบของการทำงานอยู่ในช่วง -15 ถึง 40 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ

### 2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 เครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะ เรียกว่า "เครื่องอัดอากาศ" หมายถึง อุปกรณ์เพิ่มความดันอากาศและเก็บอากาศความดันสูงไว้ในภาชนะความดัน เพื่อให้สามารถนำอากาศความดันสูงไปใช้งานได้ มีกำลังดันออกที่กำหนดหรือกำลังที่กำหนดต่อเนื่องของเครื่องต้นกำลังไม่เกิน 11 กิโลวัตต์ มีส่วนประกอบโดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 1 รูปที่ 2 และรูปที่ 3 และมีส่วนประกอบโดยทั่วไปของตัวเครื่องอัดอากาศดังแสดงในรูปที่ 4 รูปที่ 5 รูปที่ 6 และรูปที่ 7
- 2.2 ความดันสูงสุด หมายถึง ความดันอากาศในถังเก็บอากาศที่ทำให้สวิตช์ความดัน (pressure switch) หรืออุปกรณ์ตัดโหลดอัตโนมัติ (automatic unloader) หยุดจ่ายอากาศเข้าถังเก็บอากาศ
- 2.3 ความดันต่ำสุด หมายถึง ความดันอากาศในถังเก็บอากาศที่ทำให้สวิตช์ความดันหรืออุปกรณ์ตัดโหลดอัตโนมัติเริ่มจ่ายอากาศเข้าถังเก็บอากาศ

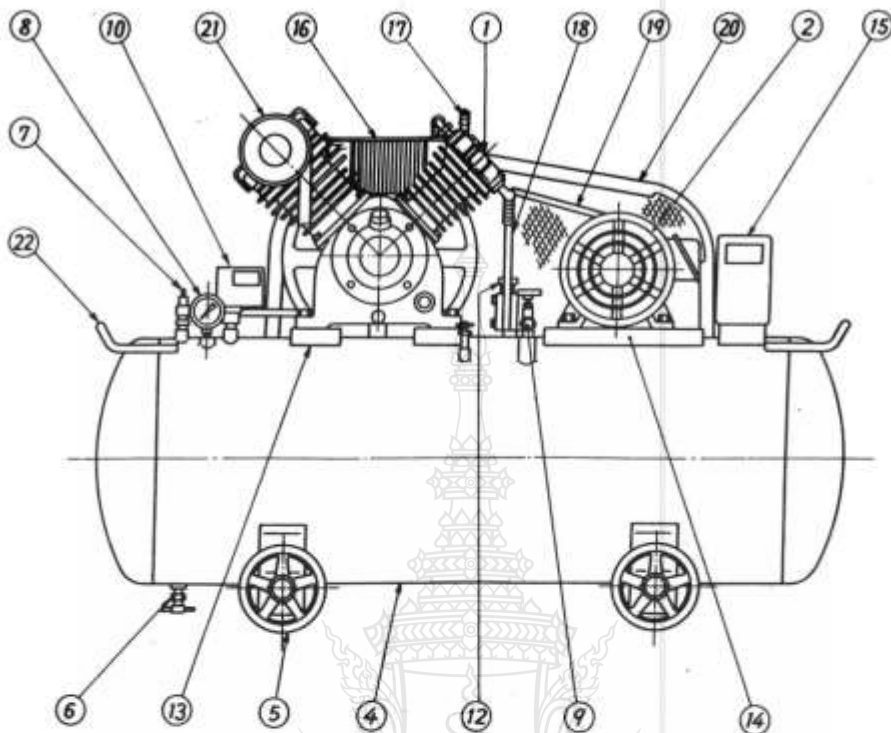




- |                                  |                             |
|----------------------------------|-----------------------------|
| ① หัวเครื่องอัดอากาศ             | ⑪ อุปกรณ์ตัด โหลดอัตโนมัติ  |
| ② มอเตอร์เหนี่ยวนำ               | ⑬ แหนรองหัว เครื่องอัดอากาศ |
| ④ ดั้งเก็บอากาศ                  | ⑭ แหนรองมอเตอร์เหนี่ยวนำ    |
| ⑤ ลูกต้อ                         | ⑱ ท่อส่งอากาศ               |
| ⑥ รูระบายน้ำ                     | ⑲ สายพานตัววี               |
| ⑦ ลิ้นบริกซ์ของถังเก็บอากาศ      | ⑳ ทิ้งสายพาน                |
| ⑧ มาตรฐานคัน                     | ㉑ หม้อกรองอากาศ             |
| ⑨ ลิ้นเปิดปิด (ที่ช่องจ่ายอากาศ) | ㉒ มือจับ                    |

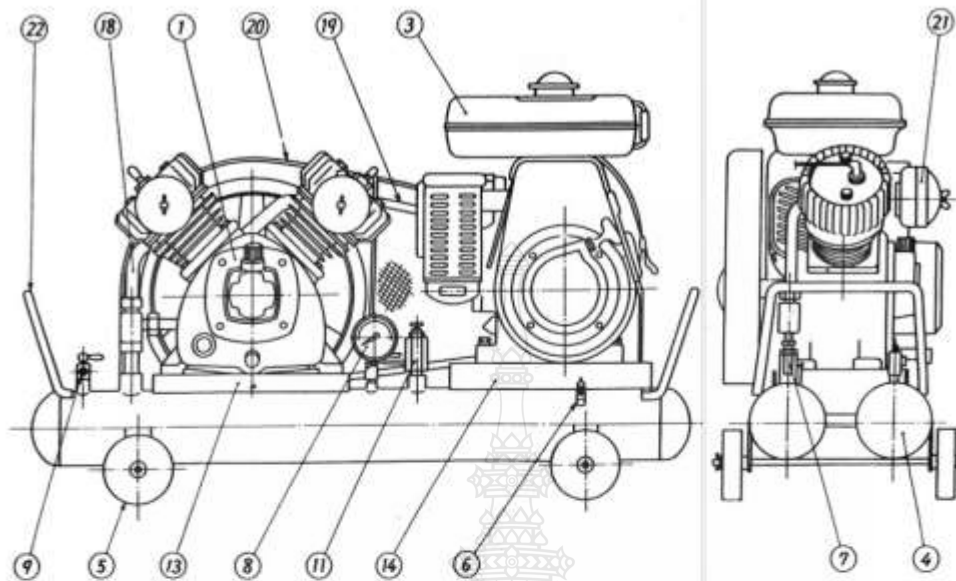
รูปที่ 1 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของเครื่องอัดอากาศ ประเภทน้ำมันหล่อลื่น ชนิดอัดอากาศชั้นคอนเตียว มีอุปกรณ์ตัดโหลดอัตโนมัติ และมีเครื่องต้นกำลังเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ

(ข้อ 2.1)



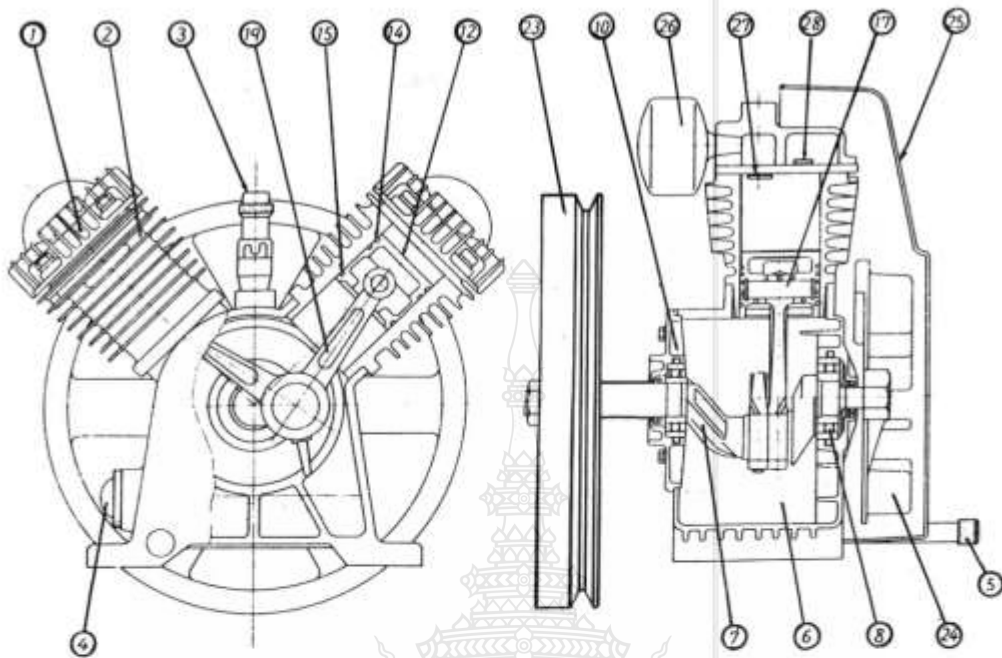
- |                                  |                                     |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| ① หัวเครื่องอีคอากาศ             | ⑬ แผ่นรองหัวเครื่องอีคอากาศ         |
| ② มอเตอร์เหนี่ยวนำ               | ⑭ แผ่นรองมอเตอร์เหนี่ยวนำ           |
| ④ ด้ง เท็มอากาศ                  | ⑮ สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า               |
| ⑤ ลูกกลิ้ง                       | ⑯ หัวระบายความร้อน                  |
| ⑥ รูระบายน้ำ                     | ⑰ ลิ้นนํ้าของกระบอกสูบชั้นตอนที่สอง |
| ⑦ ลิ้นนํ้าของด้ง เท็มอากาศ       | ⑱ หล่อส่งอากาศ                      |
| ⑧ มาตรฐานความดัน                 | ⑲ สายพานตัววี                       |
| ⑨ ลิ้นเปิดปิด (ที่ช่องจ่ายอากาศ) | ⑳ หัวังสำแหวน                       |
| ⑩ สวิตช์ความดัน                  | ㉑ หม้อกรองอากาศ                     |
| ⑫ ลิ้นกั้นกลับ                   | ㉒ มือจับ                            |

รูปที่ 2 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของเครื่องอีคอากาศ ประเภทมีน้ำมันหล่อลื่น ซีบิคอีคอากาศสองชั้นคอน มีสวิตช์ความดัน และมีเครื่องต้นกำลังเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ (ข้อ 2.1)



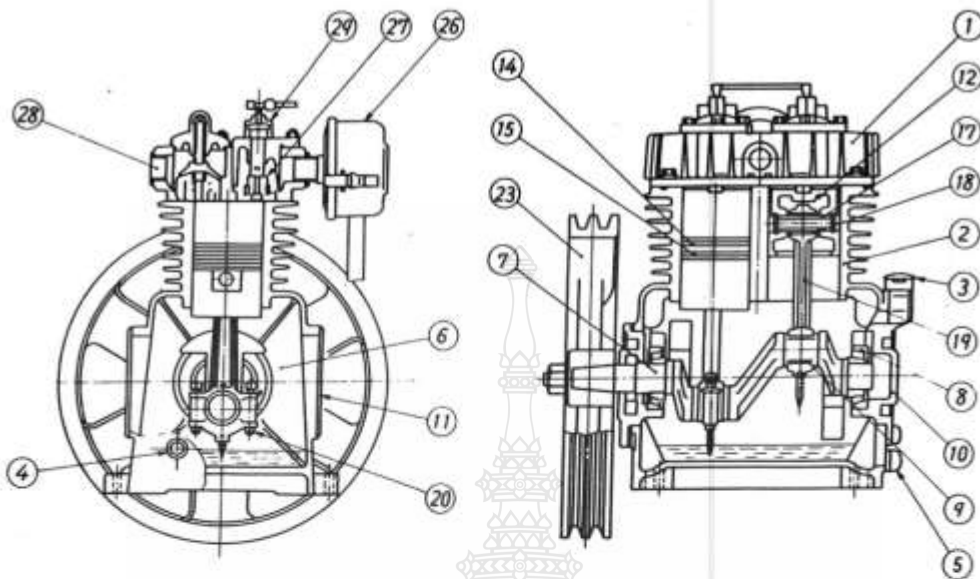
- |                                 |                                |
|---------------------------------|--------------------------------|
| ① หัวเครื่องอัดอากาศ            | ⑪ อุปกรณ์ตัด โพลลัดค โนมัท     |
| ② เครื่องยนต์สันดาปภายใน        | ⑬ แหนรองหัวเครื่องอัดอากาศ     |
| ④ ดึงเก็บอากาศ                  | ⑭ แหนรองเครื่องยนต์สันดาปภายใน |
| ⑤ ลูกล้อ                        | ⑯ ท่อส่งอากาศ                  |
| ⑥ รูระบายน้ำ                    | ⑰ สายพานตัววี                  |
| ⑦ สันนิรภัยของดึงเก็บอากาศ      | ⑱ หีบขาสายพาน                  |
| ⑧ มาตรฐานความดัน                | ⑲ หม้อกรองอากาศ                |
| ⑨ สันเปิดปิด (ที่ช่องจ่ายอากาศ) | ⑳ มือจับ                       |

รูปที่ 3 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของเครื่องอัดอากาศ ประเภทน้ำมันหล่อลื่น ชนิดอัดอากาศชั้นคอนเดียว มีอุปกรณ์ตัดโพลลัดค โนมัท และมีเครื่องต้นกำลังเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายใน (ข้อ 2.1)



- |                              |                               |
|------------------------------|-------------------------------|
| ① ฝาครอบกระบอกสูบ            | ⑭ แหวนลูกสูบ (แหวนความดัน)    |
| ② กระบอกสูบ                  | ⑮ แหวนลูกสูบ (แหวนกวาดน้ำมัน) |
| ③ ช่องเติมน้ำมันหล่อลื่น     | ⑯ สลักลูกสูบ                  |
| ④ ช่องดูระดับน้ำมันหล่อลื่น  | ⑰ ก้านสูบ                     |
| ⑤ จุกปรับระดับน้ำมันหล่อลื่น | ⑱ ชุดสายพาน                   |
| ⑥ ห้องข้อเหวี่ยง             | ⑳ พัดลม                       |
| ⑦ เพลาคือเหวี่ยง             | ㉑ ฝาครอบพัดลม                 |
| ⑧ รอยลื่นเพลาคือเหวี่ยง      | ㉒ หม้อกรองอากาศ               |
| ⑩ ห้องรองลื่น                | ㉓ ลูบชุดอากาศ                 |
| ⑫ ลูกสูบ                     | ㉔ ลินส์อากาศ                  |

รูปที่ 4 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของตัวเครื่องอีคอกาซ ประเภทใช้น้ำมันหล่อลื่น  
อีคอกาซขั้นตอนเดียว ที่ใช้สวิตช์ความดัน  
(ข้อ 2.1)

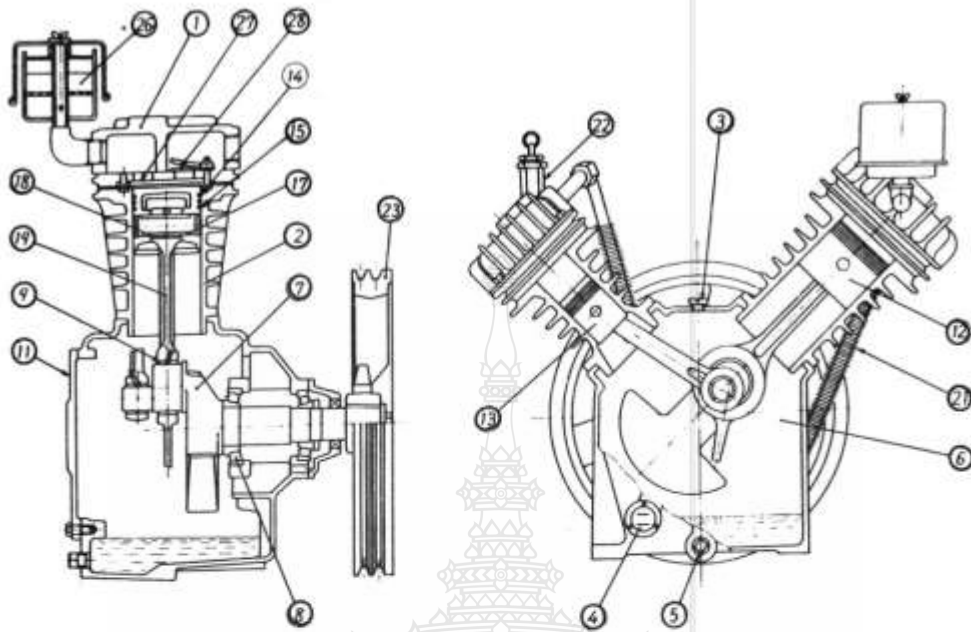


- |                              |                                |
|------------------------------|--------------------------------|
| ① ฉากรอบกระบอกสูบ            | ⑭ แหวนลูกสูบ (แหวนควาขดัน)     |
| ② กระบอกสูบ                  | ⑮ แหวนลูกสูบ (แหวนควาคัน้ำมัน) |
| ③ ช่องเติมน้ำมันหล่อลื่น     | ⑯ สลักลูกสูบ                   |
| ④ ช่องสูรระดับน้ำมันหล่อลื่น | ⑰ ร่องสันสลักลูกสูบ            |
| ⑤ จุกรูระบายน้ำมันหล่อลื่น   | ⑱ ก้านสูบ                      |
| ⑥ ห้องข้อเหวี่ยง             | ⑳ สลักเกลียวก้านสูบ            |
| ⑦ เพลาคือเหวี่ยง             | ㉓ ชุดเดี่ยสำหวน                |
| ⑧ ร่องสันเพลาคือเหวี่ยง      | ⑳ หม้อกรองอากาศ                |
| ⑨ ร่องสันสลักข้อเหวี่ยง      | ㉗ อุนชุกอากาศ                  |
| ⑩ ห้องรองสัน                 | ㉘ ลินส่งอากาศ                  |
| ⑪ ฉากรอบค้ำข้าง              | ㉙ อุปกรณ์คัต โหลด              |
| ⑫ ลูกสูบ                     |                                |

รูปที่ 5 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของหัวเครื่องฉีดอากาศ ประเภทใช้น้ำมันหล่อลื่น

ฉีดอากาศชนิดคอนเทียว ที่ใช้อุปกรณ์คัต โหลดยัก โนมิตี

(ข้อ 2.1)

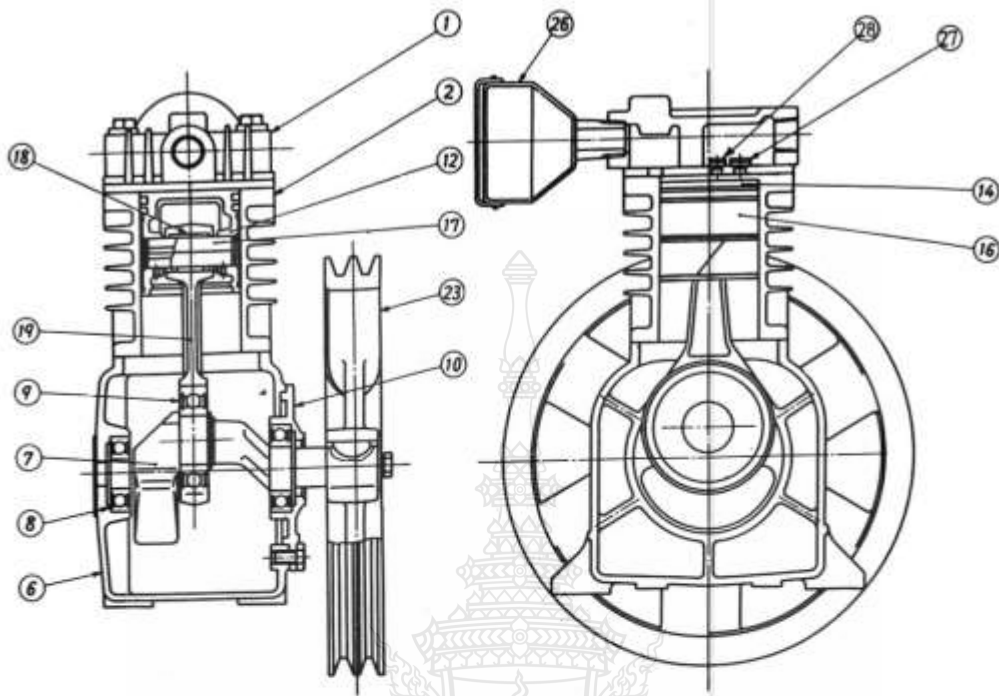


- |    |                                |    |                                     |
|----|--------------------------------|----|-------------------------------------|
| 1  | ฝาครอบกระบอกสูบ                | 14 | แหวนลูกสูบ (แหวนควมดัน)             |
| 2  | กระบอกสูบ                      | 15 | แหวนลูกสูบ (แหวนกวาดน้ำมัน)         |
| 3  | ช่องเติมน้ำมันหล่อลื่น         | 17 | สลักลูกสูบ                          |
| 4  | ช่องดูดน้ำมันหล่อลื่น          | 18 | ร่องลื่นสลักลูกสูบ                  |
| 5  | จุกกระบอกน้ำมันหล่อลื่น        | 19 | ก้านสูบ                             |
| 6  | ห้องข้อเหวี่ยง                 | 21 | ที่รับสายควมร้อน                    |
| 7  | เพลาล้อเหวี่ยง                 | 22 | ลิ้นบริกซ์ของกระบอกสูบชั้นตอนที่สอง |
| 8  | ร่องลื่นเพลาล้อเหวี่ยง         | 23 | ชุดเลย์สายพาน                       |
| 9  | ร่องลื่นสลักข้อเหวี่ยง         | 26 | หม้อกรองอากาศ                       |
| 11 | ฝาครอบค้ำข้าง                  | 27 | ลู่วาล์วอากาศ                       |
| 12 | ลูกสูบ (อีตอากาศชั้นตอนแรก)    | 28 | ลิ้นส่งอากาศ                        |
| 13 | ลูกสูบ (อีตอากาศชั้นตอนที่สอง) |    |                                     |

รูปที่ 6 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของหัวเครื่องอีตอากาศ ประเภทใช้น้ำมันหล่อลื่น

อีตอากาศสองชั้นตอน ฟ้าใช้สวิตซ์ควมดัน

(ข้อ 2.1)



- |    |                        |    |                      |
|----|------------------------|----|----------------------|
| 1  | ฝาครอบกระบอกสูบ        | 16 | แหวนน้ำ (rider ring) |
| 2  | กระบอกสูบ              | 17 | สลักลูกสูบ           |
| 6  | ห้องข้อเหวี่ยง         | 18 | ร่องลื่นสลักลูกสูบ   |
| 7  | เพลาคือเหวี่ยง         | 19 | ก้านสูบ              |
| 8  | ร่องลื่นเพลาคือเหวี่ยง | 23 | ชุดเลี้ยวเพลา        |
| 9  | ร่องลื่นสลักข้อเหวี่ยง | 26 | หม้อกรองอากาศ        |
| 10 | หลังร่องลื่น           | 27 | ลิ้นดูดอากาศ         |
| 12 | ลูกสูบ                 | 28 | ลิ้นส่งอากาศ         |
| 14 | แหวนลูกสูบ             |    |                      |

รูปที่ 7 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของหัวเครื่องอีตอากาศ ประเภทไม้น้ำมันหล่อลื่น

อีตอากาศชั้นพอนเดี่ยว ที่ใช้สวิตซ์ความดัน

(ข้อ 2.1)

## 8. ประเภทและชนิด

3.1 เครื่องปรับอากาศแบ่งตามระบบหล่อเย็นของหัวเครื่องปรับอากาศออกเป็น 2 ประเภท คือ

3.1.1 ประเภทใช้น้ำเย็นหล่อเย็น

3.1.2 ประเภทใช้น้ำมันหล่อเย็น

3.2 เครื่องปรับอากาศแบ่งตามขั้นตอนการปรับอากาศออกเป็น 2 ชนิด คือ

3.2.1 ชนิดปรับอากาศชั้นคอนเตียว

3.2.2 ชนิดปรับอากาศสองชั้นคอน

## 4. กำลังด้านออกที่กำหนดหรือกำลังที่กำหนดเนื่องของเครื่องต้นกำลังและความดันสูงสุด

4.1 กำลังด้านออกที่กำหนดหรือกำลังที่กำหนดเนื่องของเครื่องต้นกำลัง และความดันสูงสุดของเครื่องปรับอากาศให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กำลังด้านออกที่กำหนดหรือกำลังที่กำหนดเนื่องของเครื่องต้นกำลังและความดันสูงสุด

(ขย 4.1)

ประเภท	ชนิด	กำลังด้านออกที่กำหนดหรือกำลังที่กำหนดเนื่องของเครื่องต้นกำลัง กิโลวัตต์	ความดันสูงสุด			
			กิโลพาสคัล			
มินิ มัลติ และ ไมมินิ มัลติ	ปรับอากาศ ชั้นคอน เตียว	0.2	200	500	700	1 000
		0.4	200	500	700	1 000
		0.75		500	700	1 000
		1.5		500	700	1 000
		2.2		500	700	1 000
		3.7		500	700	1 000
		5.5		500	700	1 000
		7.5		500	700	1 000
	11.0		500	700	1 000	
	ปรับอากาศ สอง ชั้นคอน	0.4		700	1 000	1 400
		0.75		700	1 000	1 400
		1.5		700	1 000	1 400
		2.2		700	1 000	1 400
		3.7		700	1 000	1 400
5.5			700	1 000	1 400	
		7.5	700	1 000	1 400	
		11.0	700	1 000	1 400	



## 5. ส่วนประกอบ วัสดุและการทำ

### 5.1 ส่วนประกอบ

เครื่องอัดอากาศประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังต่อไปนี้

- 5.1.1 หัวเครื่องอัดอากาศ
- 5.1.2 เครื่องต้นกำลัง
- 5.1.3 ถังเก็บอากาศและอุปกรณ์ความปลอดภัย
- 5.1.4 ชุดถ่ายเทอากาศ เช่น พูลเลย์สายพาน สายพานตัววี
- 5.1.5 อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน เช่น สวิตช์ความดัน อุปกรณ์ตัดไหลอัตโนมัติ
- 5.1.6 แหนรอง

### 5.2 วัสดุ

- 5.2.1 วัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องอัดอากาศแนะนำให้เป็นไปตามตารางที่ 2 หรือวัสดุอื่นที่เทียบเท่า

ตารางที่ 2 วัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องอัดอากาศ

(ข้อ 5.2.1)

ชิ้นส่วน	วัสดุ
ฝาครอบกระบอกลูกสูบ	เหล็กหล่อเทา ชั้นคุณภาพ GCI 150 ตาม มอก.536 หรือ AC 2 A ตาม JIS H 5202 หรือ ADC 10 ตาม JIS H 5302
กระบอกลูกสูบหรือเส้ลูกสูบ	เหล็กหล่อเทา ชั้นคุณภาพ GCI 200 ตาม มอก.536 หรือ ADC 10 ตาม JIS H 5302 หรือ AC 2 A-T 6 ตาม JIS H 5202
ห้องข้อเหวี่ยง	เหล็กหล่อเทา ชั้นคุณภาพ GCI 150 ตาม มอก.536 หรือ AC 2 A ตาม JIS H 5202 หรือ ADC 10 ตาม JIS H 5302
เพลาค้อนเหวี่ยง	เหล็กหล่อเกรดไฟท์คอม ชั้นคุณภาพ SGI 400 ตาม มอก.537 หรือเหล็กหล่ออมเหนียวเพอร์ลิติก ชั้นคุณภาพ PMI 550 <sup>1)</sup> ตาม มอก.643 หรือ SF 45 ตาม JIS G 3201 หรือ S 30 C ตาม JIS G 4051
รองลื่นเพลาค้อนเหวี่ยง	BC 6 ตาม JIS H 5111 หรือ WJ 4 ตาม JIS H 5401 หรือ C 5101 P-1/2 H ตาม JIS H 3110 หรือ ADC 10 <sup>2)</sup> ตาม JIS H 5302 หรือ AC 2 A ตาม JIS H 5202 หรือ LBC 5 ตาม JIS H 5115
รองลื่นสลักข้อเหวี่ยง (crankpin)	BC 6 ตาม JIS H 5111 หรือ WJ 4 ตาม JIS H 5401 หรือ LBC 5 ตาม JIS H 5115 หรือ AC 2 A <sup>2)</sup> ตาม JIS H 5202 หรือ ADC 10 <sup>2)</sup> ตาม JIS H 5302 หรือ A 2017 FD-T 4 <sup>2)</sup> ตาม JIS H 4140
ลูกสูบ	เหล็กหล่อเทา ชั้นคุณภาพ GCI 200 ตาม มอก.536 หรือ AC 5 A ตาม JIS H 5202

ตารางที่ 2 วัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องอัดอากาศ (ต่อ)

ชิ้นส่วน	วัสดุ
สลักลูกสูบ	S 40 C <sup>2)</sup> S 15 CK <sup>1)</sup> ตาม JIS G 4051 หรือ SNC 415 <sup>3)</sup> ตาม JIS G 4102 หรือ SCM 415 ตาม JIS G 4105
ร่องสันสลักลูกสูบ	BC 6 ตาม JIS H 5111 หรือ C 5101 P- <sup>1/2</sup> H ตาม JIS H 3110 หรือ AC 2 A <sup>2)</sup> ตาม JIS H 5202 หรือ ADC 10 <sup>2)</sup> ตาม JIS H 5302 หรือ A 2017 FD-T <sup>2)</sup> ตาม JIS H 4140
ก้านสูบ	เหล็กหล่ออบเหนียวดำ ชั้นคุณภาพ BMI 350 ตาม มอก.643 หรือเหล็กหล่อแกรไฟต์กลม ชั้นคุณภาพ SGI 400 ตาม มอก.537 หรือ SF 45 ตาม JIS G 3201 หรือ S 30 C ตาม JIS G 4051 หรือ A 2017 FD-T 4 ตาม JIS H 4140 หรือ AC 2 A-T 6 ตาม JIS H 5202 หรือ ADC 10 ตาม JIS H 5302 (สำหรับลูกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 70 มิลลิเมตร หรือความดันสูงสุดไม่เกิน 490 กิโลพาสคัล อาจใช้เหล็กหล่อเทา ชั้นคุณภาพ GCI 250 ตาม มอก.536 หรือ BC 6 ตาม JIS H 5111)
แผ่นลิ้น (valve plate) ของลิ้นดูดอากาศและลิ้นส่งอากาศ	SNC 631 <sup>3)</sup> ตาม JIS G 4102 หรือ SNCM 625 <sup>3)</sup> ตาม JIS G 4103 หรือ SUS 403 <sup>3)</sup> ตาม JIS G 4305 หรือ SK 5 M <sup>2)</sup> ตาม JIS G 3311
สปริงลิ้นของลิ้นดูดอากาศและลิ้นส่งอากาศ	ลวดเบนิโน ชั้นคุณภาพ SWP-A หรือ SWP-B ตาม มอก.859 หรือ SK 5 M <sup>2)</sup> ตาม JIS G 3311 หรือ SUS 316-WPA ตาม JIS G 4314
ดิ่งเก็บอากาศ	SS 41 ตาม JIS G 3101 หรือ SGP <sup>4)</sup> ตาม JIS G 3452
แหวนรอง	เหล็กหล่อเทา ชั้นคุณภาพ GCI 150 ตาม มอก.536 หรือ SS 41 ตาม JIS G 3101 หรือ SPHC ตาม JIS G 3131
จานลิ้น (valve disc) และบูตลิ้น (valve seat) ของลิ้นนิริภัย	BC 2 ตาม JIS H 5111 หรือ SUS 420 J 1 ตาม JIS G 4303 หรือ C 3604 BDS ตาม JIS H 3250
สปริงลิ้นของลิ้นนิริภัย	ลวดเบนิโน ชั้นคุณภาพ SWP-A หรือ SWP-B ตาม มอก.859 หรือ SUS 304 ตาม JIS G 4314
บูตเลย์สายพาน	เหล็กหล่อเทา ชั้นคุณภาพ GCI 150 ตาม มอก.536 หรือ ADC 10 ตาม JIS H 5302

- หมายเหตุ 1) ใช้กับเครื่องอัดอากาศที่มีกำลังดันออกที่กำหนดหรือกำลังที่กำหนดต่อเบืองไม่เกิน 2.2 กิโลวัตต์  
 2) ใช้กับเครื่องอัดอากาศประเภทน้ำมันหล่อลื่นที่มีกำลังดันออกที่กำหนดหรือกำลังที่กำหนดต่อเบืองไม่เกิน 3.7 กิโลวัตต์ หรือชั้นทนความดันค่าของเครื่องอัดอากาศชนิดอัดอากาศสองชั้นตอน  
 3) ผ่านกรรมวิธีทางความร้อน  
 4) ใช้กับความดันไม่เกิน 980 กิโลพาสคัล

มอก. 1252-2537

- 5.2.2 แหวนลูกสูบของเครื่องอัดอากาศประเภทน้ำมันหล่อลื่น แนะนำให้เป็นไปตาม JIS B 8032 หรือแหวนลูกสูบอื่นที่มีคุณภาพเทียบเท่า
- 5.2.3 ร่องสันแบบลูกกลิ้ง แนะนำให้เป็นไปตาม JIS B 1521 หรือ JIS B 1522 หรือ JIS B 1523 หรือ JIS B 1533 หรือ JIS B 1534 หรือ JIS B 1536 หรือร่องสันแบบลูกกลิ้งอื่นที่มีคุณภาพเทียบเท่า
- 5.2.4 สลักเกลียว ต้องเป็นไปตาม มอก.291 เล่ม 1 ถึง 3 หรือ มอก.338 เล่ม 1 ถึง 2 หรือ มอก.376
- 5.2.5 แฉับเกลียว ต้องเป็นไปตาม มอก.672 หรือ JIS B 1183

### 5.3 การทำ

#### 5.3.1 หัวไป

- 5.3.1.1 เครื่องอัดอากาศในขณะทำงานต้องไม่มีสิ่งแปลกปลอมที่มองเห็นได้  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
- 5.3.1.2 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของเกลียวในของข้อต่อสำหรับลิ้นปรีชย์ ลิ้นเปิดปิดและท่อ ให้เป็นไปตาม JIS B 0202 หรือ JIS B 0203  
การทดสอบให้ทำโดยการวัด
- 5.3.1.3 เครื่องอัดอากาศที่มีเครื่องต้นกำลังเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ การต่อสายดินของมอเตอร์เหนี่ยวนำหรือชิ้นส่วนโลหะที่เชื่อมต่อกับสายดินของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ต้องทำได้โดยง่าย  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
- 5.3.1.4 มาตรการความดันจะมีความคลาดเคลื่อนได้ + ร้อยละ 1.5  
การทดสอบให้ทำโดยการวัดเปรียบเทียบกับมาตรการความดันมาตรฐาน หรือตรวจสอบจากใบรับรองเครื่องมือจากสถานที่เชื่อถือได้
- 5.3.1.5 สายพานตัววี ให้เป็นไปตาม มอก. 146 หรือ JIS K 6368

#### 5.3.2 หัวเครื่องอัดอากาศ

- 5.3.2.1 ชิ้นส่วนทุกชิ้นของหัวเครื่องอัดอากาศควรสามารถเปลี่ยนทดแทนกันได้ และชิ้นส่วนที่เปลี่ยนใหม่จะไม่เป็นเหตุให้สมรรถนะของเครื่องอัดอากาศเปลี่ยนแปลงไป
- 5.3.2.2 ช่องเติมน้ำมันหล่อลื่นสำหรับหัวเครื่องอัดอากาศที่ใช้น้ำมันหล่อลื่นต้องอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมสามารถเติมน้ำมันหล่อลื่นได้ง่าย มีช่องดูระดับน้ำมันหล่อลื่น และรูระบายน้ำมันหล่อลื่น  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

- 5.3.2.3 ตัวเครื่องอีศอากาศที่ใช้น้ำมันหล่อลื่น ห้องข้อเหวี่ยงต้องมีอ่างน้ำมันหล่อลื่นซึ่ง
- (1) สามารถป้องกันไม่ให้ น้ำมันหล่อลื่นรั่วออก และป้องกันไม่ให้ฝุ่นจากอากาศภายนอกเข้าไป  
ได้  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
  - (2) มีความจุน้ำมันหล่อลื่นเพียงพอที่จะเดิน เครื่องอีศอากาศติดต่อกันไม่น้อยกว่า 48 ชั่วโมง  
โดยไม่ต้องเติม น้ำมันหล่อลื่นเพิ่ม  
การทดสอบให้ทำโดยการทดลองเดินเครื่องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วตรวจพินิจ
- 5.3.2.4 ผิวของสลักข้อเหวี่ยงต้องคงแก่ด้วยการเจียรระโนหรือวิธีอื่นที่เทียบเท่า โดยความหยาบของผิว  
( $R_z$ ) ต้องไม่เกิน 3.2 ไมโครเมตร  
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.1
- 5.3.2.5 ร่องลื่นต้องเป็นร่องลื่นแบบเรียบ(plain bearing) หรือแบบลูกกลิ้ง สามารถทนแรงในแนว  
แกนได้  
เพลาคือข้อเหวี่ยงต้องไม่เคลื่อนตามแนวแกนมากเกินไป  
เส้นศูนย์กลางของร่องลื่นต้องขนานกับพื้นระนาบที่ติดตั้งตัวเครื่องอีศอากาศ  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
- 5.3.2.6 ลูกสูบต้องมีแหวนลูกสูบไม่น้อยกว่า 3 วง ระยะเว้าบกระหว่างร่องแหวนลูกสูบกับแหวนลูกสูบ  
ต้องไม่มากกว่า 5/100 มิลลิเมตร (ค่าระยะเว้าบวงนี้ไม่ใช้กับ เครื่องอีศอากาศประเภทไม่มี  
น้ำมันหล่อลื่น)  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจและการวัด
- 5.3.2.7 สลักลูกสูบ
- (1) ความแข็งที่ผิวต้องอยู่ในช่วง 52 ถึง 65 HRC ยกเว้นสลักลูกสูบที่ทำจากเหล็กหล่อ  
ความแข็งที่ผิวต้องไม่น้อยกว่า 58 HRC และต้องมีแหวนลัดหรือเครื่องป้องกันไม่ให้สลัก  
ลูกสูบสัมผัสกับผนังกระบอกสูบ  
การทดสอบให้ปฏิบัติตาม มอก. 244 เล่ม 3
  - (2) ผิวของสลักลูกสูบต้องคงแก่ด้วยการเจียรระโนหรือวิธีอื่นที่เทียบเท่า โดยความหยาบของ  
ผิว ( $R_z$ ) ต้องไม่เกิน 0.8 ไมโครเมตร  
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.1

- 5.3.2.8 ฉลิ่งค้ำในของกระบอกลูกต้องมีความหนาของผิว (Rz) ไม่เกิน 3.2 ไมโครเมตร  
การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.1  
สำหรับตัวเครื่องอัดอากาศที่ไม่ใช้น้ำมันหล่อลื่น กระบอกลูกต้องผ่านกรรมวิธีป้องกันสนิม
- 5.3.2.9 ความหนาของผนังกระบอกลูกต้องไม่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร  
การทดสอบให้ทำโดยการวัด
- 5.3.2.10 ประเด็นที่ใส่ระหว่างกระบอกลูกและฝาครอบกระบอกลูกควรมีความหนาสม่ำเสมอ และห้าด้วย  
วัสดุที่ทนความร้อน น้ำมันหล่อลื่น และความดัน
- 5.3.2.11 ตัวเครื่องอัดอากาศที่อัดอากาศสองชั้นคอน  
(1) ต้องมีที่ระบายความร้อนอยู่ระหว่างกระบอกลูกชั้นคอนแรกกับกระบอกลูกชั้นคอนที่สอง เพื่อ  
ลดอุณหภูมิของอากาศที่ถูกอัด  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ  
(2) ต้องมีลิ้นนิรภัยติดตั้งอยู่ก่อนหน้าช่องสูดอากาศของกระบอกลูกชั้นคอนที่สอง เพื่อป้องกันไม่  
ให้ความดันอากาศที่สูงผิดปกติจากกระบอกลูกชั้นคอนแรกทำ ความเสียหายแก่ตัวเครื่องอัด  
อากาศ  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
- 5.3.2.12 ชุดเลย์สายพานต้องสามารถใช้เป็นล้อศูนย์กลางของเพลาค้อเหวี่ยง และต้องช่วยระบายความ  
ร้อนจากผนังค้ำนอกของกระบอกลูกได้เมื่อชุดเลย์สายพานหมุน การระบายความร้อนอาจ  
กระทำโดยการติดตั้งหีคบนตัวเครื่องอัดอากาศก็ได้  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
- 5.3.2.13 ตัวเครื่องอัดอากาศต้องมีมือรองค้ำอากาศเพื่อกรลดอุณหภูมิให้เข้าไปในกระบอกลูก  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
- 5.3.2.14 ระยะระหว่างเส้นศูนย์กลางของร่องเส้นของปลายค้ำใหญ่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของร่องเส้นของ  
ปลายค้ำเล็กของก้านสูบ ต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่าของช่วงชัก  
การทดสอบให้ทำโดยการวัด  
สำหรับปลายค้ำใหญ่ของก้านสูบแบบแยกส่วน ต้องไม่เกิดความเค้นรวมตัวกันมากเกินไปในส่วน  
ที่เป็นเกลียวและบ่าของสลักเกลียวยึดปลายค้ำสูบ และสลักเกลียวและแป้นเกลียวต้องเป็น  
แบบล็อกตัวเองโดยสมบูรณ์  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

- 5.3.2.15 ลินดูอากาศและลิ่งอากาศต้องไม่เป็นสนิม ใช้งานได้อย่างสม่ำเสมอและกันไม่ให้อากาศไหลย้อนกลับได้  
การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
- 5.3.2.16 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของกระบอกสูบต้องเท่ากับ H7  
การทดสอบให้ทำโดยการวัด
- 5.3.2.17 ระยะเวลาสำหรับการประกอบส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ให้เป็นไปตามตารางที่ 3  
การทดสอบให้ทำโดยการวัด

## ตารางที่ 3 ระยะเวลาพอดี

(ข้อ 5.3.2.17)

การประกอบ	ระยะเวลาพอดี
สลักข้อเหวี่ยงกับรองลื่น	H7/f6
เพลาค้อนเหวี่ยงกับรองลื่น	H7/f6
สลักลูกสูบกับรองลื่น	H7/g6
สลักลูกสูบกับลูกสูบ*	H7/g6
พูลเลย์สายพานกับเพลาค้อนเหวี่ยง	H7/h6
ส่วนประกอบของลิ้นเปิดปิด (faucet)	H7/g6

- หมายเหตุ 1. \* หมายถึง ไม่ใช้กับเครื่องอัดอากาศประเภทไม่มีน้ำมันหล่อลื่น
2. ระยะเวลาดีต้องเป็นระบบรูเพลานูลฐาน (basic hole system) แต่อาจเป็นระบบเพลานูลฐาน (basic shaft system) ได้ หึ่งไม่มีต้นและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ต้องสอดคล้องกับระบบรูเพลานูลฐาน
3. การประกอบพูลเลย์สายพาน กับเพลาค้อนเหวี่ยงอาจเป็นแบบเรียว (tapered) ได้
4. ค่าที่กำหนดในตาราง ให้ใช้กับรองลื่นแบบเรียบเท่านั้น

## 5.3.3 เครื่องต้นกำลัง

เครื่องต้นกำลังต้องเป็นอย่างไรต่อไปนี้

- 5.3.3.1 มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวที่เป็นไปตาม มอก. 866
- 5.3.3.2 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสที่เป็นไปตาม มอก. 867 ที่มีกำลังค้ำออกที่กำหนดไม่เกิน 11 กิโลวัตต์
- 5.3.3.3 เครื่องยนต์ที่เซลขนาดเล็กระบายความร้อนด้วยน้ำที่เป็นไปตาม มอก. 787 ที่มีกำลังที่กำหนดต่อเนื้อไม่เกิน 11 กิโลวัตต์
- 5.3.3.4 เครื่องต้นกำลังที่ไม่เป็นไปตามข้อ 5.3.3.1 ข้อ 5.3.3.2 และข้อ 5.3.3.3 ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ทำ แต่ต้องมีกำลังค้ำออกที่กำหนดหรือกำลังที่กำหนดต่อเนื้อไม่เกิน 11 กิโลวัตต์
- 5.3.4 ดึงเก็บอากาศ
  - 5.3.4.1 ความดันใช้งานสูงสุดของดึงเก็บอากาศต้องมากกว่าความดันสูงสุดของเครื่องอัดอากาศ
  - 5.3.4.2 ส่วนหัวและส่วนท้ายของดึงเก็บอากาศควรเป็นไปตาม JIS B 8247
  - 5.3.4.3 ดึงเก็บอากาศเมื่อติดตั้งตัวเครื่องอัดอากาศและอุปกรณ์อื่น ๆ แล้ว ต้องรับน้ำหนักของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้โดยไม่เกิดการเสียรูปในระหว่างการใช้งาน การเก็บรักษา และการขนส่ง การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
- 5.3.5 อุปกรณ์ความปลอดภัย
  - 5.3.5.1 ควรมียูปรณ์ลดโหลดเมื่อเริ่มเดินเครื่อง (starting load reducing device) แบบใช้มือหรือแบบอัตโนมัติ เพื่อให้การเริ่มเดินเครื่องอัดอากาศทำได้โดยง่าย
  - 5.3.5.2 วัสดุแผ่นที่ติดกับจานสำหรับป้องกันไม่ให้อากาศรั่วไหลต้องทำด้วยโพลีเอไมด์ (polyamide) หรือ พียูเรthane ที่มีสมบัติทนทานต่อสภาพอากาศ และต้องไม่ติดแน่นกับวาล์วเมื่อลื่นอยู่ในตำแหน่งปิดเป็นเวลานาน
- 5.3.6 สวิตซ์ความดัน  
สวิตซ์ความดันต้องติดตั้งในตำแหน่งที่ความดันสถิตในดึงเก็บอากาศจะกระตุ้นให้สวิตซ์ความดันทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ หน้าสัมผัสของสวิตซ์ความดันต้องไม่เสียหายได้ง่าย
- 5.3.7 อุปกรณ์ตัดโหลดอัตโนมัติ  
อุปกรณ์ตัดโหลดอัตโนมัติต้องติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อให้ทำงาน โดยความดันสถิตในดึงเก็บอากาศ และมีการทำงานที่เชื่อถือได้เมื่อความดันสถิตในดึงเก็บอากาศถึงความดันสูงสุดของอุปกรณ์ตัดโหลดอัตโนมัติและต้องไม่ทำให้ความดันในดึงเก็บอากาศสูงขึ้นขณะพินเปิดปิดที่ช่องจ่ายอากาศปิด เมื่อความดันในดึงเก็บอากาศลดลงถึงความดันต่ำสุด อุปกรณ์ตัดโหลดอัตโนมัติจะต้อง เริ่มปล่อยอากาศเข้าไปในดึงเก็บอากาศอีกครั้ง

- 5.3.8 ลื่นกันกลับ  
ต้องติดตั้งลื่นกันกลับที่ปลายของท่อส่งอากาศที่เชื่อมระหว่างหัวเครื่องอัดอากาศกับถังเก็บอากาศเพื่อป้องกันอากาศความดันสูงในถังเก็บอากาศไหลย้อนกลับเมื่อเครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน
- 5.3.9 แหนร่อง  
แหนร่องต้องรับน้ำหนักของหัวเครื่องอัดอากาศและเครื่องค้นกำลังได้ และไม่เสียรูปในระหว่างการขนส่ง

## 6. คุณลักษณะที่ต้องการ

- 6.1 ลักษณะทั่วไป
- 6.1.1 ชิ้นส่วนทุกชิ้นของเครื่องอัดอากาศต้องไม่มีรอยแตก สนิม หรือข้อบกพร่องอื่น ๆ ที่เป็นผลเสียหายต่อการใช้งาน
- 6.1.2 ผิวภายนอกของเครื่องอัดอากาศห่างจากวัสดุที่เป็นสนิมได้ต้องชุบเคลือบผิวหรือพ่นสีให้เรียบร้อย
- 6.1.3 ซูลเลย์และสายพานหัววัดต้องมีที่บังเพื่อความปลอดภัย
- 6.1.4 ต้องทำเครื่องหมายบนชิ้นส่วนที่เห็นได้ง่าย แสดงทิศทางการหมุนของหัวเครื่องอัดอากาศ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ
- 6.2 ปริมาตรของถังเก็บอากาศ  
ให้เป็นไปตามตารางที่ 4  
การทดสอบให้ทำโดยการวัดด้วยเครื่องมือที่เหมาะสม

ตารางที่ 4 ปริมาตรของถังเก็บอากาศ

(ข้อ 6.2)

กำลังคำนวณออกที่กำหนด หรือกำลังที่กำหนดต่อเนื่อง ของเครื่องค้นกำลัง กิโลวัตต์	ปริมาตรของถังเก็บอากาศ ทำผู้ค ลูกบาศก์เดซิเมตร
0.2	10
0.4	15
0.75	20
1.5	40
2.2	60
3.7	100
5.5	120
7.5	150
11.0	200



มอก.1252-2537

6.3 สมรรถนะ

6.3.1 อัตราการไหลของอากาศ

เครื่องอัดอากาศต้องมีอัตราการไหลของอากาศที่สภาวะดูด (suction condition) ไม่น้อยกว่าค่าที่กำหนดในตารางที่ 5 และตารางที่ 6

6.3.2 ระยะเวลาอัดอากาศเต็มถัง (fill-up time)

เครื่องอัดอากาศต้องมีระยะเวลาอัดอากาศเต็มถังต่อปริมาตรของถังเก็บอากาศ 100 ลูกบาศก์เดซิเมตร ไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 7 และตารางที่ 8

การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 9.2

ตารางที่ 5 อัตราการไหลของอากาศสำหรับเครื่องอัดอากาศประเภทมีน้ำมันหล่อลื่น

(ข้อ 6.3.1)

ชนิด	กำลังขับออกที่กำหนดหรือกำลังที่กำหนดต่อเนื่องของเครื่องต้นกำลังกิโลวัตต์	ความดันสูงสุด กิโลพาสคัล				
		200	500	700	1 000	1 400
อัดอากาศ ขั้นตอน เดียว	0.2	40	20	15	-	-
	0.4	83	40	32	23	-
	0.75	-	85	67	50	-
	1.5	-	182	149	114	-
	2.2	-	270	230	175	-
	3.7	-	470	390	310	-
	5.5	-	700	600	490	-
	7.5	-	940	790	640	-
	11.0	-	1 390	1 160	935	-
อัดอากาศ สอง ขั้นตอน	0.4	-	-	41	36	29
	0.75	-	-	78	66	57
	1.5	-	-	160	140	118
	2.2	-	-	250	200	175
	3.7	-	-	430	340	296
	5.5	-	-	660	510	440
	7.5	-	-	870	690	600
11.0	-	-	1 230	1 010	880	

ตารางที่ 6 อัตราการไหลของอากาศสำหรับเครื่องอัดอากาศประเภทไม่มีน้ำมันหล่อลื่น  
(ข้อ 6.3.1)

ชนิด	กำลังขับออกที่กำหนด หรือกำลังที่กำหนดต่อเนื่อง ของเครื่องต้นกำลัง กิโลวัตต์	ความดันสูงสุด กิโลพาสคัล			
		200	500	700	1 000
		อัตราการไหลของอากาศที่สภาวะสุด ถูกนาศัก์เคซีเมตรต่อนาที			
อัดอากาศ ชั้นคอน เคียว	0.2	38	19	14	-
	0.4	79	38	30	21
	0.75	-	81	64	48
	1.5	-	173	142	109
	2.2	-	256	218	166
	3.7	-	446	370	294
	5.5	-	665	570	465
	7.5	-	890	750	610
	11.0	-	1 320	1 100	890



ตารางที่ 7 ระยะเวลาอัดอากาศเติมถังสำหรับเครื่องอัดอากาศประเภทมีน้ำมันหล่อลื่น  
(ข้อ 6.3.2)

ชนิด	กำลังขับออกที่กำหนด หรือกำลังที่กำหนดต่อเนื่อง ของเครื่องขับเคลื่อน กิโลวัตต์	ความดันสูงสุด กิโลพาสคัล				
		200	500	700	1 000	1 400
		ระยะเวลาอัดอากาศเติมถังต่อปริมาตร ของถังเก็บอากาศ 100 ลูกบาศก์เดซิเมตร นาที				
อัดอากาศ ชั้นตอน เดียว	0.2	4.54	22.6	42.3	-	-
	0.4	2.19	11.2	19.8	39.3	-
	0.75	-	5.34	9.49	18.2	-
	1.5	-	2.49	4.27	7.96	-
	2.2	-	1.68	2.76	5.19	-
	3.7	-	0.97	1.63	2.93	-
	5.5	-	0.65	1.06	1.85	-
	7.5	-	0.48	0.80	1.42	-
11.0	-	0.33	0.55	0.97	-	
อัดอากาศ สอง ชั้นตอน	0.4	-	-	15.5	25.2	43.8
	0.75	-	-	8.15	13.8	22.3
	1.5	-	-	3.97	6.49	10.8
	2.2	-	-	2.54	4.54	7.26
	3.7	-	-	1.48	2.67	4.31
	5.5	-	-	0.96	1.78	2.89
	7.5	-	-	0.73	1.32	2.12
	11.0	-	-	0.52	0.90	1.44

ตารางที่ 8 ระยะเวลาอัคคาทศเต็มถังสำหรับเครื่องอัคคาทศประเภทไม่มีน้ำมันหล่อลื่น  
(ข้อ 6.3.2)

ชนิด	กำลังค้ำออกที่กำหนด หรือกำลังที่กำหนดต่อเนื่อง ของเครื่องค้ำกำลัง กิโลวัตต์	ความดันสูงสุด กิโลพาสคัล			
		200	500	700	1 000
		ระยะเวลาอัคคาทศเต็มถังต่อปริมาตร ของถังเก็บอากาศ 100 ลูกบาศก์เดซิเมตร นาที			
อัคคาทศ ชั้นคอน กรีต	0.2	4.77	23.9	45.4	-
	0.4	2.30	11.9	21.2	43.2
	0.75	-	5.61	9.88	18.9
	1.5	-	2.74	4.46	8.30
	2.2	-	1.77	2.91	5.46
	3.7	-	1.01	1.71	3.08
	5.5	-	0.69	1.11	1.95
	7.5	-	0.51	0.85	1.49
	11.0	-	0.34	0.58	1.02

#### 6.4 ความทนความดันไฮดรอลิก

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.3 แล้ว หัวเครื่องอัคคาทศและถังเก็บอากาศต้องไม่รั่วหรือเสียรูป

#### 6.5 ความดันที่ลดลง

เมื่อทดสอบตามข้อ 9.4 แล้ว ความดันในถังเก็บอากาศจะลดลงได้ไม่เกินร้อยละ 10 ของความดันสูงสุดของเครื่องอัคคาทศสำหรับเครื่องอัคคาทศที่มีสวิตช์ความดัน และไม่เกินร้อยละ 15 ของความดันสูงสุดของเครื่องอัคคาทศสำหรับเครื่องอัคคาทศที่มีอุปกรณ์ตัดไหลอัตโนมัติ

#### 6.6 สวิตช์ความดันหรืออุปกรณ์ตัดไหลอัตโนมัติ

6.6.1 เมื่อทดสอบตามข้อ 9.5 และทดสอบซ้ำตามข้อ 9.5.1 แล้ว สวิตช์ความดันหรืออุปกรณ์ตัดไหลอัตโนมัติต้องทำงานที่ความดันในถังเก็บอากาศเท่ากับความดันสูงสุดของเครื่องอัคคาทศ โดยยอมให้คลาดเคลื่อนได้  $\pm$  ร้อยละ 1.5 ของความดันสูงสุด

6.6.2 เมื่อทดสอบตามข้อ 9.5 และทดสอบซ้ำจนถึงข้อ 9.5.2 แล้ว ความดันในถังเก็บอากาศต้องไม่เพิ่มขึ้น

6.7 ลิ้นปี่วิทย

- 6.7.1 เมื่อทดสอบตามข้อ 9.6 และทดสอบซ้ำตามข้อ 9.6.1 แล้ว ความดันในถังเก็บอากาศในขณะที่ลิ้นปี่วิทยเริ่มทำงานต้องไม่เกินร้อยละ 110 ของความดันใช้งานสูงสุดของถังเก็บอากาศ
- 6.7.2 เมื่อทดสอบตามข้อ 9.6 และทดสอบซ้ำจนถึงข้อ 9.6.2 แล้ว ความดันในถังเก็บอากาศต้องไม่เพิ่มขึ้น

7. เครื่องหมายและฉลาก

- 7.1 ที่เครื่องอัดอากาศทุกเครื่อง อย่างน้อยต้องมีเลข ชื่อยกร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน
  - (1) ชื่อผลิตภัณฑ์
  - (2) ประเภทและชนิด
  - (3) กำลังดันออกที่กำหนดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ หรือกำลังที่กำหนดต่อเนื่องของเครื่องเบนส์สันดาปภายใน เป็นกิโลวัตต์
  - (4) ความดันสูงสุด เป็นกิโลพาสคัล
  - (5) ความเร็วรอบ เป็นรอบต่อนาที
  - (6) อัตราการไหลของอากาศคำนวณจากความดันสูงสุด เป็นลูกบาศก์เดซิเมตรต่อนาที
  - (7) ปริมาตรของถังเก็บอากาศ เป็นลูกบาศก์เดซิเมตร
  - (8) ความดันใช้งานสูงสุดของถังเก็บอากาศ เป็นกิโลพาสคัล
  - (9) รหัสรุ่นที่ห้า หรือ เค็อน บีที่ห้า
  - (10) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ห้า หรือ เครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน
- 7.2 ผู้ทำผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่เป็นไปตามมาตรฐานนี้ จะแสดงเครื่องหมายมาตรฐานกับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนั้นได้ ต่อเมื่อได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแล้ว

8. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

- 8.1 รุ่น ในที่นี่ หมายถึง เครื่องอัดอากาศประเภทและชนิดเดียวกัน มีเครื่องต้นกำลังอย่างเดียวกัน กำลังดันออกที่กำหนดหรือกำลังที่กำหนดต่อเนื่องของเครื่องต้นกำลังและความดันสูงสุดเท่ากัน มีอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ อย่างเดียวกัน ทำโดยกรรมวิธีเดียวกัน ที่ห้าหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

8.2 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

8.2.1 การชักตัวอย่าง

ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากกลุ่มเดียวกัน จำนวน 1 เครื่อง

8.2.2 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่างเครื่องอัดอากาศต้องเป็นไปตามข้อ 5.3.1 ข้อ 5.3.2 ข้อ 5.3.3 ข้อ 5.3.4.3 ข้อ 6. และข้อ 7. ทุกรายการ จึงจะถือว่าเครื่องอัดอากาศรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

### 9. การทดสอบ

9.1 ความหมายของผิว (R<sub>z</sub>)

ใช้เครื่องวัดความหมายของผิววัดผิวของชิ้นส่วนตัวอย่าง ๗ ตำแหน่งต่าง ๆ กับ 2 แห่ง แห่งละ 2 ครั้ง แล้วรายงานผลแต่ละค่า

9.2 สมรรถนะ

9.2.1 วัตถุประสงค์และความดันของห้องทดสอบก่อนการทดสอบ

9.2.2 ปรับความดันในถังเก็บอากาศของเครื่องอัดอากาศให้เท่ากับความดันบรรยากาศ แล้ววัดอุณหภูมิในถังเก็บอากาศด้วยเทอร์โมมิเตอร์ที่ติดตั้งในตำแหน่งที่สามารถวัดอุณหภูมิเฉลี่ยในถังเก็บอากาศ

9.2.3 ให้เครื่องอัดอากาศทำงานจนกระทั่งวัดถึงความดันหยุดการทำงานของตัวเครื่องอัดอากาศ หรืออุปกรณ์หลักไหลกลับโดยที่คิดการจ่ายอากาศเข้าถังเก็บอากาศ วัดอุณหภูมิและความดันในถังเก็บอากาศและวัดเวลาที่ใช้ในการอัดอากาศให้ละเอียดถึง 0.2 วินาที

9.2.4 คำนวณอัตราการไหลของอากาศที่สภาวะหยุด จากสูตร

$$Q_{a,m} = \frac{V_r}{T_e} \frac{(273 + t_a)}{P_a} \left( \frac{P_{d2}}{273 + t_{d2}} - \frac{P_{d1}}{273 + t_{d1}} \right)$$

เมื่อ Q<sub>a,m</sub> คือ อัตราการไหลของอากาศที่สภาวะหยุด เป็นลูกบาศก์เดซิเมตรต่อวินาที

V<sub>r</sub> คือ ปริมาตรของถังเก็บอากาศ เป็นลูกบาศก์เดซิเมตร

T<sub>e</sub> คือ เวลาที่ใช้ในการอัดอากาศจากความดัน P<sub>d1</sub> ถึง P<sub>d2</sub> เป็นนาที

P<sub>a</sub> คือ ความดันสัมบูรณ์ของอากาศที่คำนวณ เป็นเมกะพาสคัล

P<sub>d1</sub> คือ ความดันสัมบูรณ์เริ่มต้นของอากาศในถังเก็บอากาศ เป็นเมกะพาสคัล

$P_{d2}$  คือ ความดันสัมบูรณ์สุดท้ายของอากาศในถังเก็บอากาศ เป็นเมกะพาสคัล

$t_a$  คือ อุณหภูมิของอากาศด้านดูด เป็นองศาเซลเซียส

$t_{d1}$  คือ อุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศในถังเก็บอากาศ เป็นองศาเซลเซียส

$t_{d2}$  คือ อุณหภูมิสุดท้ายของอากาศในถังเก็บอากาศ เป็นองศาเซลเซียส

9.2.5 คาบระยะเวลาอัดอากาศเต็มถังต่อปริมาตรของถังเก็บอากาศ 100 ลูกบาศก์เดซิเมตร จากสูตร

$$T = \frac{100 T_e}{V_r}$$

เมื่อ  $T$  คือ ระยะเวลาอัดอากาศเต็มถังต่อปริมาตรของถังเก็บอากาศ 100 ลูกบาศก์เดซิเมตร เป็นนาที

$T_e$  คือ เวลาที่ใช้ในการอัดอากาศจากความดัน  $P_{d1}$  ถึง  $P_{d2}$  เป็นนาที

$V_r$  คือ ปริมาตรของถังเก็บอากาศ เป็นลูกบาศก์เดซิเมตร

### 9.3 ความหนาแน่นไฮดรอลิก

#### 9.3.1 ตัวเครื่องอัดอากาศ

อัดความดันไฮดรอลิก 1.8 เท่าของความดันสูงสุดของเครื่องอัดอากาศ เข้าไปในตัวเครื่องอัดอากาศ ปล่อยให้เป็นเวลา 3 นาที แล้วตรวจหาน้ำ

#### 9.3.2 ถังเก็บอากาศ

9.3.2.1 ถังเก็บอากาศที่มีความดันใช้งานสูงสุด ( $P$ ) น้อยกว่า 421 กิโลพาสคัล ให้อัดความดันไฮดรอลิก 2 เท่าของความดันใช้งานสูงสุดเข้าไปในถังเก็บอากาศ ปล่อยให้เป็นเวลา 3 นาที แล้วตรวจหาน้ำ

9.3.2.2 ถังเก็บอากาศที่มีความดันใช้งานสูงสุด ( $P$ ) เท่ากับหรือมากกว่า 421 กิโลพาสคัล ให้อัดความดันไฮดรอลิก  $(1.3 P + 294)$  กิโลพาสคัลเข้าไปในถังเก็บอากาศ ปล่อยให้เป็นเวลา 3 นาที แล้วตรวจหาน้ำ

$$\frac{(1.3 \times 300) + (294)}{13.34} = 60.4$$

### 9.4 ความดันที่ลดลง

ให้เครื่องอัดอากาศทำงานจนกระทั่งสวิตช์ความดันหยุดการทำงานของตัวเครื่องอัดอากาศ หรืออุปกรณ์พักไหลอัตโนมัติทำการจ่ายอากาศเข้าถังเก็บอากาศ ปล่อยให้เป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความดันในถังเก็บอากาศ

### 9.5 สวิตช์ความดันหรืออุปกรณ์พักไหลอัตโนมัติ

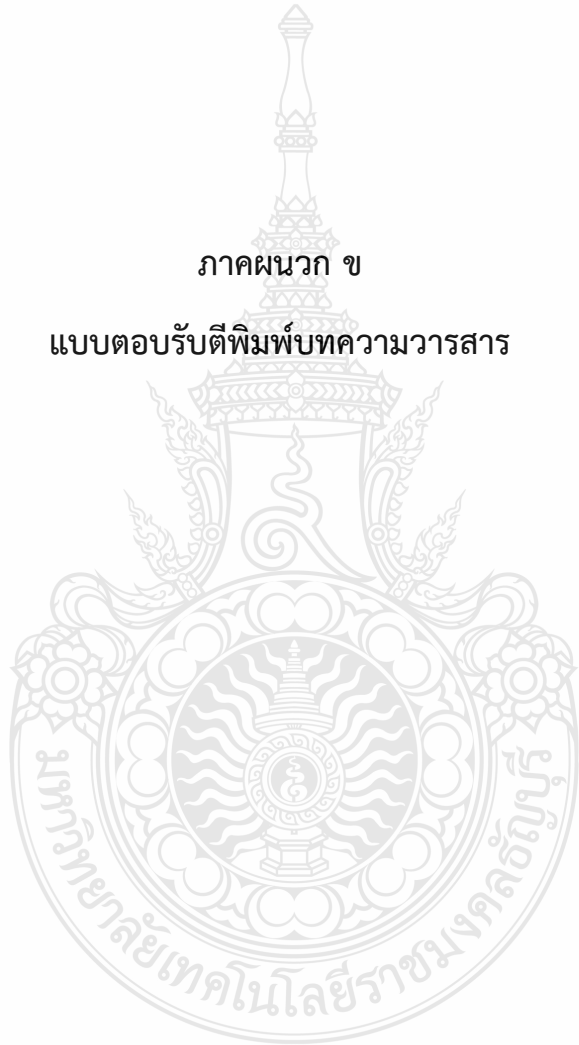
9.5.1 ให้เครื่องอัดอากาศทำงานจนกระทั่งสวิตช์ความดันหยุดการทำงานของตัวเครื่องอัดอากาศ หรืออุปกรณ์พักไหลอัตโนมัติทำการจ่ายอากาศเข้าถังเก็บอากาศ วัดความดันในถังเก็บอากาศ

- 9.5.2 ปลดยเครื่องซักอากาศไว้อย่างนั้น บันทึกความค้นในถังเก็บอากาศทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 10 นาที
- 9.5.3 เปิดลิ้นเปิดปิดที่ช่องจ่ายอากาศเพื่อให้อากาศไหลออกจากถังเก็บอากาศ เมื่อสวิตซ์ความดันเริ่มการทำงานของตัวเครื่องซักอากาศ หรืออุปกรณ์ซักโพลีเอทิลีนเริ่มการทำงานจ่ายอากาศเข้าถังเก็บอากาศ ให้เปิดลิ้นเปิดปิดที่ช่องจ่ายอากาศ แล้วทดสอบซ้ำตามข้อ 9.5.1 ถึงข้อ 9.5.2 อีก 1 ครั้ง
- 9.6 สิ้นปรีภย
- 9.6.1 ซักอากาศเข้าไปในถังเก็บอากาศจนกระทั่งสิ้นปรีภยทำงาน วัดความค้นในถังเก็บอากาศขณะที่สิ้นปรีภยเริ่มทำงาน
- 9.6.2 ปลดยเครื่องซักอากาศไว้อย่างนั้น บันทึกความค้นในถังเก็บอากาศทุกๆ 1 นาที เป็นเวลา 10 นาที
- 9.6.3 ให้ทดสอบซ้ำตามข้อ 9.6.1 ถึงข้อ 9.6.2 อีก 1 ครั้ง





ภาคผนวก ข  
แบบตอบรับตีพิมพ์บทความวารสาร





# วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี >>>>>

ที่ วร 063/2564

๕ กันยายน 2564

เรื่อง ตอบรับตีพิมพ์บทความลงในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี

เรียน นายสุภคชัย ไชยวิเศษสกุล

ตามที่ท่านได้ส่งบทความ เรื่อง “ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการทดสอบถึงความดันในถังเก็บอากาศตามมาตรฐานมอก. 1252-2537” เพื่อขอตีพิมพ์ลงในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี ทางกองบรรณาธิการได้พิจารณาแล้ว เห็นควรให้ตีพิมพ์ลงในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม 2564

ผู้เขียนร่วม : มนุศักดิ์ จานทอง มานพ แยมแพง ศิริชัย เทพา และพิพัฒน์ ปราโมทย์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ปรกช สิริสุวัฒน์)

หัวหน้ากองบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก (กม.13) อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

โทรศัพท์: 0 2549 3493 โทรสาร: 0 2549 3493 e-mail: enjournal@en.rmutt.ac.th

[www.engineer.rmutt.ac.th/journal](http://www.engineer.rmutt.ac.th/journal)

[244796]



# วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏนครราชสีมา

## Journal of Engineering, RMUTT

ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม 2564 [www.engineer.rmutt.ac.th/journal](http://www.engineer.rmutt.ac.th/journal)

Print : ISSN 2730-2148  
Online : ISSN 2697-4339

สำนักงานส่งเสริมการศึกษานอกระบบและการศึกษาตามอัธยาศัย

ปีที่ 19 ฉบับที่ 2 เดือน กรกฎาคม - ธันวาคม 2564

[www.engineer.rmutt.ac.th/journal](http://www.engineer.rmutt.ac.th/journal)

Print : ISSN 2730-2148  
Online : ISSN 2697-4339

การจำลองความเร็วและความดันในกระถางต้นไม้ฟอกอากาศ	1
Velocity and Pressure Simulation of Plant Air Purifier	
• นำพร ปัญญาใหญ่ จิระพล กลิ่นบุญ รัชชัญญ์ วงศ์ศิริอำนวย และ ทิพาพร คำแดง	
การศึกษาสมบัติการยึดเกาะของพอลิโพรพิลีนที่ผ่านกระบวนการฉีดขึ้นรูปแบบโอเวอร์โมลด์	13
An Investigation into Bond Strength of Injection Overmolded Polypropylene	
• จตุพงศ์ ครองธานีรักษ์ และ สมเจตน์ พิษพันธ์	
การสร้างโปรแกรมเกม 180 IQ	23
Programming For The Game 180 IQ	
• สุภาพร พงษ์จันทร์ และ วิษณุ สังก์โต	
กำลังดัดและความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของคานคอนกรีตเสริมเหล็กผสมเส้นใยเหล็ก	33
ภายหลังเผชิญสิ่งแวดล้อมคลอไรด์ แบบวัฏจักรเปียกสลับแห้ง	
Flexural Strength and Chloride Penetration Resistance of Reinforced Concrete Beam with Steel	
Fiber after Exposure to Chloride Environment with Cyclic Wetting and Drying	
• ทวีชัย สารญาภิรมย์ และ สันน้ำ ปรีกษ์	
ระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเติมเงินผ่านระบบเติมเงินออนไลน์และแจ้งเตือนผ่าน แอปพลิเคชันไลน์	43
Prepaid Electric Energy Consumption System via Online Top-Up System and a Notification Through	
LINE Application	
• สุรินทร์ แหมงงาม ณัฐฐ์ ตั้งปรีชาพานิชย์ ชีระพล เหมือนขาว สุทธิ กิ่งทองดี	
กัทธอนก คุ้มแก้ว และ ประวี ภู่อินทร์	
ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการทดสอบถึงความดันในถังเก็บอากาศตามมาตรฐานมอก. 1252-2537	53
Automatic Control System for Pressure Tank Testing According to Tis 1252-2537	
• สุภักชัย ไชยวิเศษสกุล มนุศศักดิ์ จานทอง มานพ ธีรมพงษ์ นพพร เปรมใจ ศิริชัย เทพา	
และ พัทธน์ ปราโมทย์	63
หุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนสำหรับวัดเส้นผ่านศูนย์กลางถังความดันด้วยเลเซอร์วัดระยะ	
Cartesian Robot for Measuring the Diameter of a Pressure Tank Using a Laser Distance Meter	
• ณัฐศยา อีรินทร์บุญญ์ มนุศศักดิ์ จานทอง มานพ ธีรมพงษ์ นพพร เปรมใจ ศิริชัย เทพา	
และ พัทธน์ ปราโมทย์	75
วิธีควบคุมกำลังไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์ที่ความเร็วรอบต่ำด้วยมุมกระตุ้นที่เหมาะสมโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	
Method to Control the Output Power of SRG at Low Speed with Appropriate Excitation Angles using	
Artificial Neural Network	
• ไพโรจน์ ทองประศรี และ พิริยะ สาราเอก	

## ระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการทดสอบถังความดันในถังเก็บอากาศ ตามมาตรฐานมอก. 1252-2537

สุภักชัย ไชยวิเศษสกุล<sup>1</sup> มนุศักดิ์ จานทอง<sup>1</sup> มานพ แฉิมแพ่ง<sup>1</sup> นพพร เปรมใจ<sup>1</sup> ศิริชัย เทพา<sup>2</sup> และ พิพัฒน์ บราวโมทย์<sup>1\*</sup>  
Supakchai\_c@mail.mutt.ac.th<sup>1</sup>, manusak.j@en.mutt.ac.th<sup>1</sup>, mamop.y@en.mutt.ac.th<sup>1</sup>  
noppom.p@en.mutt.ac.th<sup>1</sup>, sirichai.the@kmutt.ac.th<sup>2</sup>, pipat.p@en.mutt.ac.th<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

<sup>2</sup> สาขาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Received	20 Aug 2021
Revised	6 Sep 2021
Accepted	8 Sep 2021

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาชุดทดสอบถังเก็บอากาศแรงดันโดยการควบคุมด้วยมือเพื่อให้มีการใช้งานที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยลดขั้นตอนการปฏิบัติงานในการทดสอบแบบเดิมและมีความแม่นยำมากขึ้น ผู้วิจัยได้ศึกษาการออกแบบระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ สำหรับการทดสอบถังรับแรงดันทรงแคบขนาด 64 ลิตร โดยใช้ชุดทดสอบถังเก็บอากาศทดสอบแรงดันด้วยวิธีไฮโดรเจนไดคัลไซด์ควบคุมแบบ PI โดยตั้งค่าพารามิเตอร์รับโปรแกรม LabVIEW เป็นตัวสั่งการไปยังชุดทดสอบระบบควบคุม ปรับค่าตัวแปรอัตราขยายสัดส่วน  $K_p$  13, อัตราขยายปริพันธ์  $K_i$  1.308 แล้วเพิ่มแรงดันสัญญาณส่งออกไปยัง โซลินอยด์วาล์วที่สามารถควบคุมด้วยสัญญาณแบบ Pulse Width Modulation (PWM) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแรงดันด้วยมือควบคุมแรงดันได้เร็วกว่าการกำหนดค่าแรงด้วยชุดทดสอบที่ตัวควบคุมแบบ PI controller ผลการทดลองพบว่าชุดทดสอบที่ควบคุมแบบ PI controller มีผลการตอบสนองสถานะความดันที่ 13 bar โดยค่าผิดพลาดของแรงดันภายในถังเก็บแก๊สต่ำกว่า มีค่าเฉลี่ย 1.71 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับวิธีการควบคุมด้วยมือ ที่มีค่าผิดพลาดเฉลี่ยสูงกว่า 1.73 เปอร์เซ็นต์

**คำสำคัญ:** การทดสอบไฮโดรเจนไดคัลไซด์, การควบคุมแบบ PI, โปรแกรม LabVIEW

## Automatic Control System for Pressure Tank Testing According to TIS 1252-2537

Supakchai Chaivisetsakul<sup>1</sup>, Manusak Janthong<sup>1</sup>, Manop Yarnfang<sup>1</sup>, Nopporn Preamjai<sup>1</sup>,  
Sirichai Thepha<sup>2</sup> and Pipat Pramot<sup>1\*</sup>  
Supakchai\_c@mail.mutt.ac.th<sup>1</sup>, manusak.j@en.mutt.ac.th<sup>1</sup>, mamop.y@en.mutt.ac.th<sup>1</sup>,  
nopporn.p@en.mutt.ac.th<sup>1</sup>, sirichai.the@en.mutt.ac.th<sup>2</sup>, pipat.p@en.mutt.ac.th<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

<sup>2</sup> Energy Technology, Faculty of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi

Received	20 Aug 2021
Revised	6 Sep 2021
Accepted	8 Sep 2021

### Abstract

This research is to develop a test kit for air pressure tanks for regular manual control, to achieve higher efficiency by reducing work steps in the traditional experiment and more accurate. The researcher studied the design of the automatic control system for testing 64-liter capsule-shaped pressure tanks by using the test kit for air pressure storage to test the pressure by using the Hydrostatic Pressure method and using a PI controller and setting the parameters on the program LabVIEW to control the system. Adjust the proportional growth rate variable  $K_p$  and the expansion rate of integral  $K_i$  to 13 and 1.308, respectively. The signal output is then amplified to control the solenoid valve using PWM (Pulse Width Modulation). By comparing the traditional manual control methods to the PI controller, the results showed that the PI controller better responds to a set point of a constant pressure state at 13 bar. The average error is lower than 1.71 percent compared to the traditional manual control method, with an average error of about 1.75 percentage.

**Keywords:** hydrostatic testing, PI controller, LabVIEW program



## 1. บทนำ

ถังเก็บลม (Air Tank) ถังเก็บลมเป็นอุปกรณ์อีกชนิดที่มีความสำคัญในระบบลมอัด เพื่อเป็นตัวพักลมอัด ที่ส่งมาจากบีมลม ทำให้สามารถจ่ายลมอัดได้คงที่ ลดการทำงานของบีมลม ลดอุณหภูมิของลมอัด ดังนั้นที่เกิดจากการกลั่นตัวของลมอัดทำให้ลดภาระของเครื่องอัดลมแห้ง ถังเก็บลมส่วนใหญ่ทำมาจากเหล็กและสแตนเลส ส่วนวัสดุที่เป็นสแตนเลสไม่ค่อยนิยมเพราะมีราคาสูง ส่วนใหญ่ จะนิยมถังเก็บลมที่เป็นเหล็ก เพราะมีราคาถูกกว่า เหล็กที่นำมาทำถังเก็บลมจะเป็นเหล็กชนิด SS400 ทำมาจากเหล็กแผ่นอย่างทีภายใน ทาสีกันสนิมอย่างดีผ่านการรับรองจากวิศวกร

จากมาตรฐานการใช้ถังเก็บอากาศจะต้องนำถังเก็บอากาศ ไปตรวจสอบความสามารถในการรับแรงดันของถัง ให้เป็นไปตามมาตรฐานและเป็นการเพิ่มความปลอดภัยและสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้ใช้งาน จึงเกิดการส่งชุดทดสอบถังเก็บอากาศของเครื่องอัดอากาศขนาดเล็กแบบลูกสูบ ของ ประภากร ประเวศโยธิน และคณะ (2561) มีการทดสอบด้วยวิธีใช้แรงดันน้ำ (Hydrostatic Pressure Test) เพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ความสามารถในการรับแรงดันของถัง เก็บอากาศให้เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 1252-2537(7) เกณฑ์การทดสอบความหนาแน่นไฮดรอลิกที่ใช้ฐานสูงสุดกับการทดสอบค้ำน้ำหนักโดยมีข้อควรระวังในการทดสอบเรื่องความเที่ยงตรงของความดันในถังเก็บอากาศและขั้นตอนในการทดสอบ รวมถึงจำนวนคนที่ใช้ในการทดสอบ โดยการทดสอบมาตรฐานของถังเก็บอากาศใช้คนทำให้มีความเสี่ยงค่อนข้างมากและอาจเป็นอันตรายต่อคนทดสอบ

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ระบบควบคุมแบบพีอีดี ที่ใช้ในระบบควบคุมความดันในถังลมในระบบปิดโดยชัยพร ไทรเกตุ [4] จากคณะวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน จะใช้วิธีการของ Ziegler Nichols ตัวควบคุมแบบ PI ตั้งค่าพารามิเตอร์บนโปรแกรม LabVIEW ระบบควบคุมที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมความดันในถังลมได้ตั้งแต่ 2.0-4.0 บาร์ และในการทดสอบพบว่าระบบควบคุม ที่พัฒนาขึ้นบน PLC สามารถควบคุมความดันภายในถัง

ลมให้เข้าสู่ความดันเป้าหมายได้ ภายใน 12 วินาที โดยมีค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงที่ไม่เกิน 5%

วิเศษ เมฆมา และ ธนา ราชวรวิภัติ [5] จากคณะวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้ศึกษาการพัฒนาการควบคุมพีอีดีสำหรับอุปกรณ์ขับเคลื่อนแบบ เปิด/ปิด สำหรับการควบคุมอุณหภูมิในในระบบ ทวความร้อนแบบเปิดที่มีการไหลเวียนของน้ำตลอดเวลา โดยการออกแบบตัวควบคุม 3 แบบ คือตัวควบคุมแบบ Digital PID, ตัวควบคุมแบบ On/Off และตัวควบคุมแบบ PID จากผลการทดลอง พบว่า ตัวควบคุมแบบ Digital PID ค่าช่วงเวลาขาขึ้นที่ 956 วินาที นั้นมีความเหมาะสมสำหรับการควบคุมอุณหภูมิในในระบบทวความร้อนของน้ำที่ไหลเวียน

ไชโย จิบดีทพวย สุทธิพงษ์ แดกพันธ์ และ ตรีณัฐ ตันนัย ตันตวิรุฬห์ [4] จากคณะวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ออกแบบสร้างชุดควบคุมระดับน้ำอัตโนมัติ โดยอาศัยการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ปั้มน้ำมอเตอร์ ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบโดยใช้วิธีการควบคุม 3 แบบคือตัวควบคุมแบบ P, Pi, และ PID และมีการควบคุมการไหลจาก Transfer Function ใน 3 แบบ คือ การเปิดวาล์ว ด้านล่างอย่างเดียว การเปิดวาล์วด้านบนอย่างเดียว และการเปิดวาล์วด้านล่างและวาล์วด้านบน

ในงานวิจัยระบบควบคุมสำหรับการทดสอบความดันในถังเก็บอากาศตามมาตรฐาน นี้จึงเลือกใช้ตัวควบคุมแบบ PI (PI Controller) เป็นตัวควบคุมความดัน และได้ใช้โปรแกรม LabVIEW กับการ์ดอินเทอร์เฟส (DAQ USB-6008) เป็นตัวส่งกรร จากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์การทดสอบถังเก็บอากาศรับแรงดันทรงแคบปูล สามารถทำการทดสอบแรงดันได้ถึง 13 bar เมื่อเทียบกับงานวิจัยใช้ระบบควบคุมแบบพีอีดี ที่ใช้ในระบบควบคุมความดันในถังลมในระบบปิดโดยชัยพร ไทรเกตุ [4] ทดสอบแรงดันในถังลมที่ 2.0- 4.0 บาร์

## 2. ทฤษฎี

2.1 ความดัน (Pressure) ความดันเป็นปริมาณชนิดหนึ่งในทางฟิสิกส์ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างแรง ที่กระทำตั้งฉากซึ่งทำโดยของแข็ง

ของเหลว หรือแก๊ส ต่อพื้นที่ของสารใด ๆ (ของแข็ง ของเหลว หรือแก๊ส) ความดันเป็นปริมาณ สเกลาร์ ซึ่งเป็นปริมาณที่ขนาดคงที่ ณ จุดใดจุดหนึ่งไม่ขึ้นกับทิศทาง จากความหมายของความดันข้างต้นสามารถเขียนเป็นสูตรคณิตศาสตร์ (โดยทั่วไป) ได้ดังนี้

$$P = \frac{F}{A} \text{ หรือ } P = \frac{dF_n}{dA} \quad (1)$$

กำหนดให้

P คือ ความดัน (Pressure)

F คือ แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นผิวนั้น

(Normal Force)

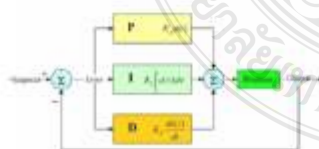
A คือ พื้นที่ (Area) หรืออาจใช้ S (Surface;

พื้นผิว)

### 2.2 การควบคุมแบบพีไอดี (PID) [6]

การควบคุมแบบพีไอดี เป็นการควบคุมแบบระบบวงปิด หรือระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (closed-loop control systems, feedback control systems) ค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาด (e) ที่หามาจากความแตกต่างระหว่าง ค่าที่ตั้งกับค่าเอาต์พุตที่วัดได้ ในปัจจุบัน แล้วใช้สมการที่ (3) คำนวณ เพื่อลดความผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุด การควบคุมแบบพีไอดี จะประกอบไปด้วยส่วนการควบคุมที่และ สำคัญ 3 ส่วน คือเทอม Proportional term  $K_p e(t)$  และ Integral term  $K_i \int e(t)dt$  และ Derivative term  $K_d \frac{de}{dt}$  ตามไดอะแกรมในรูปที่ 3

$$Y(s) = K_p e(s) + K_i \int_0^s e(t) dt + K_d \frac{de}{dt}$$



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมแบบพีไอดี [6]

### 2.3 การหาค่าความไม่แน่นอนของการวัด

จากทดสอบ

#### 2.3.1 Repeatability ( $U_r$ ):

ค่าความไม่แน่นอนจากค่า Repeatability ของเครื่องมือ UUC

จากสูตรคำนวณ

$$U_r = \delta_{n-1} \sqrt{n} \quad (3)$$

เมื่อ  $\delta_{n-1}$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวัด จำนวน n ครั้งและ n คือจำนวนครั้งของการวัด

- หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการวัด (Standard Deviation),  $\delta_{n-1}$

$$\delta_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (4)$$

เมื่อ

$\bar{X}$  คือ ค่าเฉลี่ยของผลการวัด

ทั้งหมด n ครั้ง

$X_i$  คือ ผลการวัดในแต่ละครั้ง

n คือ จำนวนครั้งของการวัด

หาค่าเฉลี่ยของผลการวัด (Average),  $\bar{X}$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (5)$$

$$\text{หรือ } \bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad (6)$$

เมื่อ

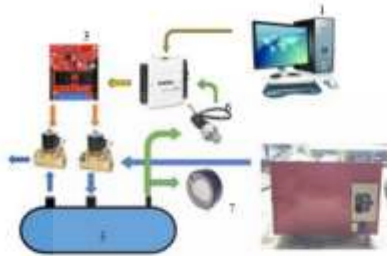
$X_i$  คือ ผลการวัดในแต่ละครั้ง หรือ

ค่าที่วัดได้แต่ละครั้งซึ่งอ่านจาก UUC ( $U_x$ )

n คือ จำนวนครั้งของการวัด

### 3. อุปกรณ์และวิธีการทดลองระบบ

#### 3.1 อุปกรณ์ระบบควบคุมการทดสอบ



รูปที่ 5 ชุดทดลองระบบควบคุมการทดสอบกังหันแรงดัน



รูปที่ 6 กังหันแรงดันที่ใช้ในการทดสอบ

1. คอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลจากเครื่องมือวัดและส่งข้อมูลไปยังตัวขับเคลื่อน โดยจะนำข้อมูลที่ได้ออกมาประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณควบคุมให้แก่ระบบ
2. การ์ดอินเทอร์เฟส NI USB6008 ทำหน้าที่ ในการเชื่อมต่อระหว่างกระบวนการวัดกับคอมพิวเตอร์
3. ชุดขับมอเตอร์ Motor Driver รุ่น VNH5019 ทำหน้าที่ควบคุมโซลินอยด์วาล์วตามสัญญาณแบบ PWM ที่ต่างกัน ก็จะทำให้ค่าแรงดันเฉลี่ยของสัญญาณสวิต
4. โซลินอยด์วาล์ว อุปกรณ์ควบคุมการไหลของของไหล

5. ถังเก็บอากาศรับแรงดัน มีหน้าที่ในการเก็บลม เพื่อรักษาความดันของระบบให้คงที่ตลอดเวลา

6. pressure sensor เซ็นเซอร์จะส่งสัญญาณทางไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับความดันที่วัดได้

7. pressure gauge เป็นตัวอุปกรณ์ ที่ทำหน้าที่วัดความดันที่อยู่ภายในถังวาล์วขนาดความดันเพียงพอสำหรับการทดสอบ

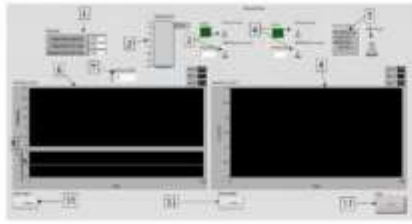
8. ชุดทดสอบถังเก็บอากาศแรงดัน จะอาศัยมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง ใช้เครื่องพ่นยา 3 สูบเป็นตัวสร้างกำลังงาน และมีน้ำเป็นตัวกลางโรการถ่ายกำลังงาน มอเตอร์ไฟฟ้าจะเป็นต้นกำลังไปขับเครื่องพ่นยา 3 สูบเพื่ออัดน้ำเข้าถังเก็บอากาศให้ได้ความดันตามที่ต้องการ

#### 3.1 เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ

##### ของระบบ

โปรแกรม LabVIEW รับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอนาล็อกขาเข้า (Voltage Analog Input) จาก sensor ผ่านการ์ดอินเทอร์เฟส (DAQ USB-6008) ซึ่งแปลงสัญญาณนามจาก pressure sensor เมื่อคอมพิวเตอร์รับสัญญาณจะทำงานประมวลผลแรงดันที่ตั้งไว้ กับแรงดันที่เกิดขึ้น ถ้าแรงดันยังไม่ถึงที่กำหนด ระบบควบคุมแบบ PI ที่สร้างในคอมพิวเตอร์จะคำนวณค่าสัญญาณควบคุม แล้วส่งคำสั่งไปยังการ์ด (DAQ USB-6008) ผ่านของอนาล็อกขาออก (Analog output) ไปยังชุดขับมอเตอร์ VNH5019 ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณ PWM ไปควบคุมโซลินอยด์วาล์วที่ติดตั้งไว้ที่ ขาเข้าถังเก็บอากาศรับแรงดันและขาออกถังเก็บอากาศรับแรงดัน





รูปที่ 7 แสดงโปรแกรมที่พัฒนาบนโปรแกรม LabVIEW ประกอบด้วย

1. ทวารมีเตอร์ที่ควบคุมระบบ
2. แสดงความดันในการทดสอบ
3. สวิตช์เปิด-ปิดโซลินอยด์วาล์ว/สวิตช์เปิด-ปิดสัญญาณ PWM
4. สวิตช์เปิด-ปิดโซลินอยด์วาล์ว/สวิตช์เปิด-ปิดสัญญาณ PWM
5. สวิตช์เปิด-ปิด การควบคุมแบบ Manual/Auto
6. กราฟแสดงความดัน
7. กำหนดค่าแรงดันในการทดสอบ
8. กราฟแสดงความดัน
9. กราฟแสดงสัญญาณ PWM
10. ปุ่มReset การแสดงกราฟ
11. ปุ่มReset การแสดงกราฟ
12. ปุ่มหยุดการทำงาน

### 3.2 วิธีการทดสอบ Hydrostatic Test

1. ปิดอุปกรณ์นิรภัยแบบระบายหรือ Safety relieve valve บริเวณด้านบนของถังภาชนะแรงดันด้วยหน้าแปลนชนิดปิดสนิท และทำการปิดวาล์วทั้งหมดก่อนอัดด้วยความดัน Hydrostatic Test
2. ตรวจสอบด้วยวิธีที่นิย (Method for Visual examination) บริเวณภายนอกของถังภาชนะรับแรงดันที่ทำการทดสอบ เพื่อตรวจสอบสภาพผู้ร่อนของถัง
3. ทำการเติมน้ำในถังภาชนะรับแรงดันจนเต็ม เพื่อเตรียมการทดสอบด้วยการอัดความดัน Hydrostatic Test โดยมีชื่อไหลตัวกลาง ก็คือ “น้ำ” ที่แรงดัน  $1.3P + 249 \text{ kPa}$ 
  - 1.3 คือ ความดันสูงสุด

P คือ ความดันใช้งานสูงสุด

249 คือ กิโลพาสคาล

4. คงแรงดันที่ใช้ทดสอบไว้อย่างต่ำ เป็นระยะเวลา 3 นาที เพื่อให้เราตรวจสอบหาจุดรั่วซึม ปริมาณ หรือสภาพความสมบูรณ์ของถังภาชนะรับแรงดันว่าสามารถทนแรงดันที่ใช้ทดสอบได้หรือไม่

5. เป็นอันเสร็จสิ้นในการทดสอบ Hydrostatic Test และให้ทดสอบเซฟตี้ว่าตัวความค่าที่กำหนดไว้ เพื่อดูการทำงานของเซฟตี้ว่าตัว ความสามารถใช้งานได้หรือไม่

### 3.3 เครื่องมือวัดแรงดัน (Pressure Gauge)

1. เครื่องมือวัดแรงดัน (Pressure Gauge) ควรมีความสามารถวัดสูงสุดไม่เกิน 4 เท่าของความดันทดสอบแต่ไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของความดันทดสอบ
2. เครื่องวัดแรงดันอ่านความดันที่ใช้ในการทดสอบ (Test Pressure)
3. เกจวัดความดันจะต้องชี้ที่ค่าระดับเดียวเสมอตลอดการทดสอบ
4. เมื่อจบการทดสอบเกจวัดความดันทุกตัวจะต้องชี้ที่ 0 psi เสมอ

### 3.4 การทดสอบการควบคุมความดันภายในถัง

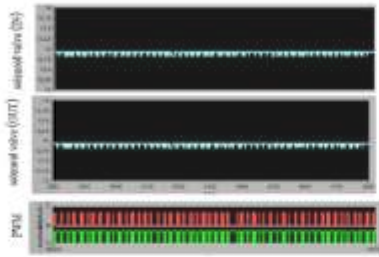
ทำการทดสอบโดยการตอบสนองแบบ PI ตั้งค่า set point ที่ 13 bar ปรับเปลี่ยนค่าอัตรา  $K_p$  และ  $K_i$  เริ่มต้นจากที่ศูนย์ และค่อยๆ ปรับเปลี่ยนค่า สังเกตผลตอบสนองที่เกิดขึ้นและทำการบันทึกค่า  $K_p$  และ  $K_i$  ที่ให้ผลการทดสอบค่าความดันที่ดีที่สุด



รูปที่ 8 จุดการทดสอบกระบวนการควบคุมการทดสอบถังรับแรงดัน

#### 4. ผลการทดลอง

**4.1 ผลทดสอบระบบควบคุมแบบ PI** ในสภาวะที่ความดันคงที่ จะทำงานเปิดวาล์วทางเข้าถึงและปิดวาล์วทางออก พบว่าการทดสอบระบบควบคุมแบบ PI สามารถควบคุมแรงดันภายในถังเก็บอากาศให้คงที่ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กราฟแสดงผลตอบสนองของควมดันภายในถังเก็บอากาศระบบควบคุม PI

ตารางที่ 1 ตารางแสดงตัวแปรของระบบควบคุม PI

(bar)	Kp	Ki
13	13	1.308

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลการทดลอง Hydrostatic

Test สำหรับความดันอ้างอิง 13 bar

ความดันในการทดสอบครั้งที่ (bar)				Average (bar)
1	2	3	4	
13.105	13.125	13.119	13.123	13.118

ตารางที่ 3 ตารางแสดงผลการทดสอบ Safety valve สำหรับความดันอ้างอิง 8 bar

ความดันในการทดสอบครั้งที่ (bar)				Average (bar)
1	2	3	4	
8.105	8.129	8.120	8.117	8.118

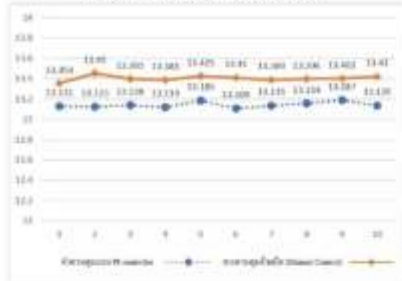
ตารางที่ 4 ตารางแสดงผลการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ การตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ (Method for Visual examination)

ความบกพร่อง/คำหณี	คำอธิบาย
แนวเชื่อม	ตรวจสอบไม่พบรอยร้าวตามแนวเชื่อม
บวม/โป่ง	ตรวจสอบไม่พบรอยบวม/โป่งของถัง
แตก/รอยร้าว	ตรวจสอบไม่พบรอยแตก/รอยร้าวบริเวณถัง

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลหาค่าเฉลี่ยของผลการวัด (Average) สำหรับความดันอ้างอิง 13 bar

การทดสอบครั้งที่	การควบคุมแรงดันในถังด้วยมือ	การควบคุมแบบ PI
1	13.453	13.131
2	13.45	13.125
3	13.495	13.138
4	13.485	13.119
5	13.458	13.135
6	13.464	13.109
7	13.489	13.135
8	13.476	13.154
9	13.502	13.167
10	13.481	13.135
ค่าเฉลี่ยของผลการวัด	13.475	13.134

### 4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบผล



รูปที่ 10 กราฟการเปรียบเทียบผลการทดลอง แสดงกราฟผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างวิธีการควบคุมแรงดันในถังด้วยมือ (Manual Control) กับการใช้ตัวควบคุมแบบ PI ในการควบคุมแรงดันในถังเก็บอากาศ

#### 4.3.1 หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

(standard deviation) วิธีการควบคุมแบบ PI

$$\delta_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{10-1} \left[ \frac{(13-13.131)^2 + (13-13.125)^2 + (13-13.138)^2 + (13-13.119)^2 + (13-13.135)^2 + (13-13.209)^2 + (13-13.135)^2 + (13-13.154)^2 + (13-13.167)^2}{(13-13.135)^2} \right]}$$

$$\leq 0.143$$

4.3.2 หาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) วิธีการควบคุมแรงดันในถังด้วยมือ (Manual Control)

$$\delta_n = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{10-1} \left[ \frac{(13-13.453)^2 + (13-13.450)^2 + (13-13.495)^2 + (13-13.485)^2 + (13-13.458)^2 + (13-13.464)^2 + (13-13.489)^2 + (13-13.476)^2 + (13-13.502)^2}{(13-13.481)^2} \right]}$$

$$= 0.5013$$

### 5. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้วิจัยนี้ได้ออกแบบระบบควบคุมแบบ PI เพื่อใช้ในการทดสอบความสามารถในการรับแรงดันของถังเก็บอากาศจากการทดสอบ พบว่า การออกแบบระบบควบคุมที่ใช้โปรแกรม LabVIEW และอุปกรณ์สั่งการสามารถควบคุมความดันในการทดสอบได้ถึง 13 บาร์ ในสถานะคงตัววงกลมไม่เกิน 1.71 เปอร์เซ็นต์ เทียบกับผลของการควบคุมด้วยมือมีค่าผิดพลาดเกิน 1.75 เปอร์เซ็นต์

### 6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้คำแนะนำและสนับสนุนแนวทาง จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ ปราโมทย์ อาจารย์ วิทยาลัยวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและอาจารย์ของภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ทุกท่าน ที่ให้ความรู้ในการใช้เครื่องมือในการทำงานต่าง ๆ ขอขอบคุณ ผู้อำนวยการเพื่ออุตสาหกรรมและปิโตรเคมี ให้สถานที่ให้การทดสอบและใช้เครื่องมือ จนทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วง ในนามของผู้จัดทำโครงการ จึงขอขอบคุณในความช่วยเหลือต่าง ๆ ที่ได้รับจากทุกท่าน ณ ที่นี้ด้วย

### 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wikipedia. Pressure. [19 May 2021]; <https://en.wikipedia.org/wiki/Pressure>
- [2] Wikipedia. PID controller. [19 May 2021]; [https://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller)
- [3] Sitthichai N. Uncertainty of Hardness Tester HRA. Thai Industrial Standards Institute (TISI). <https://www.tisi.go.th>. (in Thai)
- [4] Chaluyaporn S. Pressure Control in Series 2 Tank Using PLC. Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology. May 2016; 781-784

- [5] Wisawa M, Thana B. Development of APid Control Law for An On/Off Actuator. Journa of Farm Engineering and Automation Technology. January - June 2017;3(1):19-24
- [6] Chaiyo J, Suthipong E. Automaticwater level control system, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University; 2015.
- [7] THAI INDUSTRIAL STANDARD, TIS.1252-2537. Small- Sized Reciprocating Air Compressors Thai, Industrial Standards Institute (TISI), September; 1994



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสุภคชัย ไชยวิเศษสกุล
วัน เดือน ปีเกิด	20 สิงหาคม 2530
ที่อยู่	101/90 ม.7 ต.บางเตย อ.สามโคก จ.ปทุมธานี 12160
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยปทุมธานี
ประสบการณ์การทำงาน	1. Calibration (Rajamangala University of Technology Thanyaburi) 2. Manager Engineer (Bos mall Thailand)
เบอร์โทรศัพท์	085-5072462
อีเมล	supakchai_c@mail.rmutt.ac.th

