



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและติดตั้งเครื่องทำลมแห้งแบบใช้เม็ดสารดูดความชื้นสำหรับ
เครื่องทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ
Design and installation of desiccant air dryer
for compressor test stand

นายโพธิพงษ์ ชูเหมือน
นายภาณุวัฒน์ อูระเพ็ญ

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและติดตั้งเครื่องทำลมแห้งแบบใช้เม็ดสารดูดความชื้นสำหรับ
เครื่องทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ
Design and installation of desiccant air dryer
for compressor test stand

นายโพธิพงศ์ ชูเหมือน
นายภาณุวัฒน์ อูระเพ็ญ

สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การออกแบบและติดตั้งเครื่องทำลมแห้งแบบใช้เม็ดสารดูดความชื้นสำหรับเครื่อง
ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ

ชื่อ - สกุล นักศึกษา นายโพธิพงศ์ ชูเหมือน
นายภาณุวัฒน์ อูระเพ็ญ

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อ - สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.มธุรส สุชาติวัฒน์

ชื่อ - สกุล ผู้นิเทศงาน นายชูเกียรติ โพธิ์กระจ่าง

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท ซีเมนส์ จำกัด

บทคัดย่อ

ความชื้นในอากาศนั้นถือเป็นเรื่องที่อันตรายต่อระบบลมอัด ซึ่งความชื้นเป็นตัวแปรที่ต้องให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้อุปกรณ์ในระบบทำงานผิดปกติและมีอายุการใช้งานที่สั้นลง หรือบางครั้งเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำอยู่ภายในถังเก็บลม โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทำการติดตั้งเครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้นเข้าไปในระบบลมของเครื่องทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศในระบบลมของรถไฟ รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องทำลมแห้งที่ทำขึ้น โดยทำการวัดอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้ง เทียบกับเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE ซึ่งเป็นเครื่องทำลมแห้งที่ถูกติดตั้งอยู่ในรถไฟ ค่าความชื้นที่ยอมรับได้หลังจากเครื่องทำลมแห้งนั้นควรจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่า 35% จากผลการวิจัยเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE ทดสอบที่ fully load สามารถลดความชื้นได้ลงต่ำกว่า 35% ภายในเวลา 2 นาที เทียบกับเครื่องทำลมแห้งที่ทำขึ้นทดสอบที่ fully load สามารถทำให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ลดลงไปเหลือประมาณ 22% ภายในเวลา 2 นาที จากนั้นทำการทดสอบโดยการจำลองการทำงานของเครื่องทำลมแห้งบริษัท KNORR-BREMSE ทำการหรีวาล์วหรือลดอัตราการไหลของอากาศลง เพื่อให้อากาศสัมผัสกับเม็ดสารดูดความชื้นได้นานมากขึ้น ซึ่งสามารถลดความชื้นในอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำกว่า 20%

คำสำคัญ : เครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้น, เครื่องอัดอากาศ, ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Co-operation Title : Design and installation of desiccant air dryer for compressor test stand.

Student Intern Name: Mr. Potipong Chumeun
Mr. Panuwat Urapen

Faculty : Engineering Department : Mechanical Engineering

Advisor name : Dr. Maturose Suchatawat

Mentor name : Mr. Chookiet Pokrajang

Company : Siemens Co.,Ltd.

Abstract

Moisture in the air is undesirable for the compressed air system. It has significant effect on the malfunction of the system and it also shortens the equipment's service life. Sometimes, moisture is condensed in the air tank. The objectives of this research are to study and to install a desiccant air dryer to the compressor test stand and to estimate the efficiency of the newly design air dryer. This can be done by measuring the temperature and relative humidity at the outlet of air dryer compared to those obtained from the KNORR-BREMSE, which is normally used the air dryer in train. The acceptable moisture content (relative humidity) at the outlet of air dryer should be below 35%. According to the full load test of KNORR-BREMSE air dryer, it is found that the humidity can be decreased to below 35% within 2 minutes. Comparing to the newly designed air dryer at full load test, the humidity is reduced to about 22% within 2 minutes. In order to simulate the operation of the KNORR-BREMSE air dryer, the valve is partially closed or the air flow rate is reduced in order to allow the air to be exposed to the desiccant for longer time. These can effectively reduce air humidity with relative humidity falling below 20%.

Keywords : desiccant air dryer, air compressor, humidity

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยอย่างดี ด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างดีจากบุคคลหลายฝ่ายที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ คำชี้แนะ และคอยให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการดำเนินงานในด้านต่างๆ ขอขอบคุณ ดร.มจรุส สุชาติวัฒณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทอย่างสูง และ ดร.จิตรภรณ์ วงศ์งาม ที่คอยให้คำปรึกษา และคำแนะนำเป็นอย่างดี จนทำให้ปริญญาโทสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณชูเกียรติ โพธิ์กระจ่าง และบริษัท ซีเมนต์ จำกัด ที่ให้ความกรุณาสับสนุน คำแนะนำ คำชี้แนะ ให้ความรู้และประสบการณ์ในการทำงาน และการทำปริญญาโทฉบับนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ติดต่อและประสานกับบริษัทตลอดการทำงานสหกิจ

โพธิพงศ์ ชูเหมือน
ภาณุวัฒน์ อูระเพ็ญ



สารบัญ

บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูปภาพ.....	VIII
รายการสัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ.....	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การควบคุมคุณภาพของอากาศในระบบลมอัด	4
2.2 ความชื้นในอากาศ	5
2.2.1 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity).....	5
2.2.2 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature)	5
2.3 ส่วนประกอบของระบบลมอัด	8
2.3.1 เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบแบบ 2 ขั้นตอน(2-stage reciprocating air compressor).....	8
2.3.2 เครื่องระบายความร้อน (Aftercoolers)	8

สารบัญ(ต่อ)

2.3.3 เครื่องแยกน้ำ (Moisture separators).....	9
2.3.4 เครื่องทำลมแห้ง (Air dryer).....	9
2.3.5 เม็ดสารดูดความชื้น (Desiccant).....	13
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของวัสดุ.....	18
2.5.1 ความเค้นตามแนวแกน (Axial Stress)	18
2.5.2 ความเค้นเฉือน (Shearing Stress).....	18
2.5.2 ความเครียด (Strain)	19
2.5.3 กราฟความเค้นและความเครียด (Stress-strain curve).....	20
2.5.4 ความแข็งแรง ณ จุดคราก (Yield strength ; S_y).....	20
2.5.5 ตัวประกอบความปลอดภัย (Safety factor ; n).....	21
2.5.6 ความเค้นในระนาบ 3 มิติ (Plane stress).....	21
2.8.7 ความเค้นระนาบบนถึงความดันผนังบาง (Stresses in thin-walled pressure vessels).....	22
2.9 ทฤษฎีความเสียหาย	23
2.10 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์.....	26
2.10.1 เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบแบบ 2 ชั้นตอน	26
2.10.2 เครื่องทำลมแห้งชนิด 2 ถัง (Dual-chamber air dryer unit).....	33
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	39
3.1 การออกแบบขนาดถัง.....	39
3.2 การคำนวณความหนาของถังของเครื่องทำลมแห้ง [2]	41
3.3 การประกอบเครื่องทำลมแห้ง.....	45
3.4 การทดสอบการทำงานของเครื่องทำลมแห้ง	58
3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดความชื้น	58

สารบัญ(ต่อ)

3.4.2 การวัดความชื้น.....	59
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัยและอภิปรายผล	60
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	64
5.1 สรุปผลการวิจัย	64
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
บรรณานุกรม.....	65



สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	ตารางแสดงการดำเนินงานอย่างย่อ	3
ตารางที่ 2.1	การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำลมแห้งชนิดสารทำความเย็นกับชนิดเม็ดสารดูดความชื้น	12
ตารางที่ 2.2	คุณสมบัติของสารดูดความชื้นชนิด molecular sieve และการนำไปใช้	14
ตารางที่ 2.3	ข้อมูลจำเพาะของเครื่องอัดอากาศ.....	28
ตารางที่ 2.4	ข้อมูลจำเพาะของชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนและเครื่องอัดอากาศ.....	29
ตารางที่ 4.1	อุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE .	60
ตารางที่ 4.2	อุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งที่ทำขึ้น	61
ตารางที่ 4.3	อุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งที่ทำขึ้น	62



สารบัญรูปร่างภาพ

รูปที่ 2.1	อากาศที่ถูกลดอุณหภูมิ ทำให้ความสามารถในการรับไอน้ำลดลง	5
รูปที่ 2.2	อากาศที่ถูกเพิ่มอุณหภูมิ ทำให้ความสามารถในการรับไอน้ำเพิ่มขึ้น.....	6
รูปที่ 2.3	การเปลี่ยนแปลงความดันในถังที่มีผลต่อความชื้นในอากาศ	6
รูปที่ 2.4	การทำงานของเครื่องอัดอากาศและ T-s diagram	7
รูปที่ 2.5	ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งและใช้งานในระบบลมอัด	8
รูปที่ 2.6	ขั้นตอนการทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบ 2 ขั้นตอน.....	8
รูปที่ 2.7	เครื่องแยกน้ำ (Water separators) ในเครื่องทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ.....	9
รูปที่ 2.8	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger).....	9
รูปที่ 2.9	อุปกรณ์และหลักการทำงานของเครื่องทำลมแห้งชนิดสารทำความเย็น	10
รูปที่ 2.10	อุปกรณ์และหลักการทำงานของเครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้น	11
รูปที่ 2.11	แสดงคุณสมบัติของ molecular sieve ที่ยอมให้สารที่มีโมเลกุลเล็กเคลื่อนที่ผ่านไป.....	14
รูปที่ 2.12	การติดตั้งตัวกรองอากาศและเครื่องทำลมแห้งเข้ากับระบบลมเพื่อใช้ในการพ่นสีรถยนต์	15
รูปที่ 2.13	การติดตั้งเครื่องทำลมแห้งเข้ากับเครื่องทดสอบโดย Blackwood, A.	16
รูปที่ 2.14	กราฟแสดงผลการทดลองประสิทธิภาพของเม็ดสารดูดความชื้นจากการปนเปื้อนของน้ำมัน	16
รูปที่ 2.15	วัสดุที่รับแรงดึงและแรงอัด	18
รูปที่ 2.16	วัสดุรับแรงเฉือน	18
รูปที่ 2.17	การรับแรงดึงจนวัสดุเกิดความเครียด	19
รูปที่ 2.18	กราฟความเค้นและความเครียดของวัสดุ	20
รูปที่ 2.19	การหาจุดครากบนกราฟความเค้นและความเครียด โดยใช้ค่า 0.2% offset.....	20
รูปที่ 2.20	ส่วนประกอบของความเค้น ณ จุดใดๆ บนวัสดุ	21
รูปที่ 2.21	ถึงผนังบางรูปทรงกระบอก	22
รูปที่ 2.22	ความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวแกน	23
รูปที่ 2.23	กราฟความเค้นระนาบของทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด	24
รูปที่ 2.24	การเปรียบเทียบกราฟความเค้นระหว่างทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดกับทฤษฎีพลังงาน.....	25
รูปที่ 2.25	แสดงส่วนประกอบของชุดเครื่องอัดอากาศ KNORR-BREMSE รุ่น VV120.....	26
รูปที่ 2.26	อุปกรณ์และส่วนประกอบของชุดเครื่องอัดอากาศ KNORR-BREMSE รุ่น VV120.....	27
รูปที่ 2.27	ภาพแสดงการทำงานอย่างง่ายของชุดเครื่องอัดอากาศ KNORR-BREMSE รุ่น VV120.....	28

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 2.28	ก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น	30
รูปที่ 2.29	ภาพ 2 มิติด้านข้างและด้านบนของชุดมอเตอร์และเครื่องอัดอากาศ	31
รูปที่ 2.30	ภาพ 2 มิติด้านหน้าและด้านหลังของชุดมอเตอร์และเครื่องอัดอากาศ	32
รูปที่ 2.31	กราฟแสดงปริมาณของไอน้ำในอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ	33
รูปที่ 2.32	เครื่องทำลมแห้ง KNORR-BREMSE รุ่น LTZ-015	34
รูปที่ 2.33	แผนผังการทำงานของชุดเครื่องทำลมแห้ง LTZ-015	35
รูปที่ 2.34	ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่องทำลมแห้งรุ่น LTZ-015	37
รูปที่ 2.35	ความสัมพันธ์ระหว่าง pressure dew point, อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์	38
รูปที่ 3.1	การออกแบบและภาพ isometric มุมด้านข้างและมุมบน ของเครื่องทำลมแห้ง	39
รูปที่ 3.2	ถัง air dryer ของ KNOOR-BREMSE	40
รูปที่ 3.3	รูป isometric ของเครื่องทำลมแห้งสมบูรณ์ ที่จะนำไปติดตั้งกับระบบ	45
รูปที่ 3.4	ภาพตัดขวางของเครื่องทำลมแห้งสมบูรณ์ ที่จะนำไปติดตั้งกับระบบ	45
รูปที่ 3.5	วัสดุที่ใช้ทำเครื่องทำลมแห้ง	46
รูปที่ 3.6	เจียรขอบของโลหะเพื่อลดรอยคม	46
รูปที่ 3.7	การแบ่งมุมสำหรับการเจาะรูที่ฝา	47
รูปที่ 3.8	เจาะรูโดยใช้เครื่อง Column drilling machine สำหรับการเจาะรู	47
รูปที่ 3.9	ยึดแผ่นฝาปิดทรงกระบอกด้วยน็อต	48
รูปที่ 3.10	กลึงฝาปิดเครื่องทำลมแห้ง	48
รูปที่ 3.11	การคว้านรูฝาปิด	49
รูปที่ 3.12	การเชื่อมฐานยึดน็อตเข้ากับแผ่นฝาปิดเครื่องทำลมแห้ง	49
รูปที่ 3.13	การเชื่อมรูไว้สำหรับใส่น็อตยึดฝาปิดเครื่องทำลมแห้ง	50
รูปที่ 3.14	การขยายรูเจาะ	50
รูปที่ 3.15	การเจาะรูแผ่นเหล็กเพื่อให้อากาศไหลผ่าน	51
รูปที่ 3.16	การเชื่อมแผ่นเหล็กเข้ากับถังทรงกระบอก(ด้านบน)	52
รูปที่ 3.17	การเชื่อมแผ่นยึดฝาปิดเครื่องทำลมแห้ง(ด้านล่าง)	52
รูปที่ 3.18	คว้านรูแผ่นเหล็ก	53
รูปที่ 3.19	เชื่อมแผ่นเหล็กกับถังเครื่องทำลมแห้ง	53
รูปที่ 3.20	ตัวกรองอากาศสำหรับทางเข้าและทางออกของเครื่องทำลมแห้ง	54
รูปที่ 3.21	ปะเก็นสำหรับป้องกันรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นเหล็ก	54

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 3.22 เม็ดสารดูดความชื้น molecular sieve	55
รูปที่ 3.23 การติดตั้งสปริงไว้ที่แผ่นปิดทางด้านทางออก.....	55
รูปที่ 3.24 ท่อทองแดงที่นำมาตัดเพื่อดักน้ำที่ทางเข้าของเครื่องทำลมแห้ง.....	56
รูปที่ 3.25 การติดตั้งวาล์วและท่อเข้ากับเครื่องทำลมแห้ง.....	56
รูปที่ 3.26 เครื่องทำลมแห้งที่ประกอบจนเสร็จสมบูรณ์.....	57
รูปที่ 3.27 การติดตั้งเครื่องทำลมแห้งเข้ากับเครื่องอัดอากาศ.....	57
รูปที่ 3.28 เครื่องวัดความชื้น KIMO HD100	58
รูปที่ 3.29 เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง.....	58
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE	61
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งที่จัดทำขึ้น.....	62
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งที่จัดทำขึ้นโดยจำลองการทำงานของเครื่องทำลมแห้งบริษัท KNORR-BREMSE	63

รายการสัญลักษณ์

T	คือ	อุณหภูมิ
P	คือ	ความดัน
A	คือ	อังสตรอม (ขนาดของรู 10^{-10} m)
$\%RH$	คือ	ค่าความชื้นสัมพัทธ์
e_w	คือ	ค่าความอึดตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก
e_d	คือ	ค่าความอึดตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง
D	คือ	สัมประสิทธิ์ค่าความชื้น
σ	คือ	ความเค้น
F	คือ	แรง
A_0	คือ	พื้นที่หน้าตัดที่รับแรง
τ	คือ	ความเค้นเฉือน
ϵ	คือ	ความเครียด
δ	คือ	ระยะยืดของวัสดุ
L	คือ	ความยาวของวัสดุ
S_y	คือ	Yield strength หรือ ความเค้น ณ จุดคราก
σ_U	คือ	Ultimate strength หรือ ความเค้นสูงสุด
σ_a	คือ	Allowed strength หรือ ความเค้นที่ยอมรับได้
n	คือ	Safety factor หรือ ตัวประกอบความปลอดภัย
$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	คือ	ความเค้นตามแนวแกน X, Y และ Z ตามลำดับ
$\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$	คือ	ความเค้นเฉือนตามระนาบ XY, YZ และ ZX ตามลำดับ
σ_h	คือ	hoop stress หรือ ความเค้นแนวเส้นรอบวง
σ_l	คือ	longitudinal stress หรือ ความเค้นในแนวแกน
r	คือ	รัศมี
t	คือ	ความหนา
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	คือ	ความเค้นหลัก
σ'	คือ	Mises stress

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันระบบลมแรงดันสูง หรือที่เรียกว่า pneumatic นั้นเป็นระบบที่ทำงานโดยใช้อากาศเป็นตัวส่งกำลังในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมายหลายอย่างในปัจจุบัน เช่น งานด้านอุตสาหกรรมอาหาร, อุตสาหกรรมก่อสร้าง, อุตสาหกรรมยานยนต์ ฯลฯ โดยการใช้งานทั่วไประบบลมแรงดันสูงนั้นจะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐานดังนี้ เครื่องอัดอากาศ (air compressor), ถังเก็บ (tank), วาล์วลม (valve), ระบบระบายความร้อน (intercooler)

โดยระบบลมแรงดันสูงนั้นจะมีช่วงความดันที่ใช้งานประมาณ 6 ถึง 10 บาร์ ซึ่งการที่จะทำให้อากาศในบรรยากาศรอบตัวเรามีความดันสูงถึง จะต้องผ่านเครื่องอัดอากาศ (air compressor) เพื่ออัดอากาศให้มีความดันสูงถึงค่าที่ต้องการใช้งาน ซึ่งปัญหาที่พบหลังจากการอัดลมในความดันที่สูง ปัญหาอันดับแรกคือความร้อนหรืออุณหภูมิของอากาศที่เพิ่มขึ้นหลังจากการอัดอากาศ ซึ่งแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการติดตั้งตัวระบายความร้อน (Intercooler) ปัญหาต่อมาคือ มีหยดน้ำควบแน่นภายในถังเก็บอากาศ เนื่องจากอากาศโดยรอบตัวเรามีความชื้นปะปนอยู่ เมื่อเครื่องอัดอากาศดูดอากาศที่มีความชื้นปนเข้าไป จากนั้นทำการอัดลมให้ถึงความดันที่ต้องการใช้งาน เมื่อความดันสูงขึ้นจะทำให้อัตราการควบแน่นของไอน้ำในอากาศที่อุณหภูมิเดียวกันเพิ่มขึ้น จึงทำให้มีความชื้นหรือหยดน้ำภายในระบบ ซึ่งความชื้นภายในระบบเป็นตัวแปรที่สำคัญ ที่ทำให้เหล็กและวัสดุอื่นๆ นั้นเกิดการสึกกร่อน วิธีแก้ไขปัญหาคือ การติดตั้งเครื่องทำลมแห้ง (Air dryer)

[1] อากาศที่มีความดันสูงจะมีอัตราการควบแน่นของไอน้ำที่มากกว่าอากาศที่มีความดันต่ำ ในสภาวะที่อุณหภูมิเดียวกัน การติดตั้งเครื่องทำลมแห้ง (Air dryer) เข้าไปในระบบจะช่วยลดปริมาณความชื้นหรือไอน้ำในระบบลงได้ ซึ่งจะช่วยให้อายุการทำงานและอุปกรณ์ภายในระบบให้ใช้งานได้ยาวนานยิ่งขึ้น สำหรับโครงการวิจัยนี้จะทำการติดตั้ง เครื่องทำลมแห้ง (Air dryer) เข้าไปในระบบลมแรงดันสูงของเครื่องทดสอบประสิทธิภาพของระบบลมในรถไฟ ซึ่งเครื่องทำลมแห้งที่ใช้จะเป็นชนิดเม็ดสารดูดความชื้น (Desiccant air dryer) โดยจะทำการ ออกแบบติดตั้งถึงดูดความชื้นเข้ากับระบบ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาออกแบบสร้างเครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้น และทำการติดตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ
2. เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากเครื่องทำลมแห้งที่ได้ทำการออกแบบ เทียบกับเครื่องทำลมแห้งของบริษัท KNORR-BREMSE

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบชนิด 2 ขั้นตอน (2-stage reciprocating air compressor)
2. เครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้น (Desiccant air dryer)

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. รวบรวมข้อมูล ศึกษาทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องทำลมแห้งชนิดสารทำความเย็นและเครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้น
2. ศึกษาการทำงานของเครื่องทดสอบประสิทธิภาพของระบบลมในรถไฟ
3. ทำการคำนวณและออกแบบ ตำแหน่งการติดตั้งของเครื่องทำลมแห้ง
4. ทำการทดสอบเครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้น ในการดูดความชื้นในอากาศที่ออกจากเครื่องอัดอากาศ
5. ทำการติดตั้งเครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้น เข้ากับเครื่องทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศที่ใช้ในระบบของรถไฟ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดความซับซ้อนและความถี่ในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์
2. สามารถยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ภายในระบบ
3. ลดต้นทุนในการจัดซื้อเครื่องทำลมแห้งมาติดตั้งเข้ากับระบบ

1.6 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 ตารางแสดงการดำเนินงานอย่างย่อ

ลำดับ	หัวข้องาน	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ปรึกษาหัวข้อโครงการวิจัยกับ วิศวกรผู้ดูแล																
2	เสนอหัวข้อกับอาจารย์ที่ปรึกษา																
3	ศึกษาและค้นหาข้อมูล ทฤษฎีและ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง																
4	ทำการคำนวณและออกแบบเครื่องทำ ลมแห้ง																
5	อาจารย์ที่ปรึกษา นิเทศน์นักศึกษาสหกิจที่บริษัท																
6	เสนองานแก่วิศวกรผู้ดูแลและจัดหา เครื่องมือสำหรับทำเครื่องทำลมแห้ง																
7	ประกอบและติดตั้งเครื่องทำลมแห้ง																
8	เก็บผลการทดลองจากเครื่องทดสอบ																
9	สรุปผลการศึกษา																
10	ทำรูปเล่มโครงการวิจัย																

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การควบคุมคุณภาพของอากาศในระบบลมอัด [1]

การควบคุมคุณภาพของอากาศในระบบลมอัดนั้นเป็นเรื่องที่สำคัญ เริ่มจากการเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความน่าเชื่อถือ ลมที่จะนำมาใช้ในการอัดต้องผ่านการกรองสิ่งเจือปนที่มากับอากาศ และสิ่งที่สำคัญที่สุดต่อระบบลมอัดคือความชื้น ซึ่งความชื้นเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น การเกิดสนิมและคราบน้ำภายในวาล์วหรือข้อต่อของระบบ ซึ่งส่งผลให้วาล์วและข้อต่อนั้นเกิดการอุดตันหรือฝูกร่อนได้ ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ต่างๆ ที่ชำรุด อุดตัน หรือเสียหาย ที่เกิดขึ้นจากความชื้นอยู่บ่อยครั้ง

ในโรงงานอุตสาหกรรมต้องการประสิทธิภาพในการใช้งานและความพร้อมในการใช้งานอยู่เสมอของเครื่องจักร การเลือกอุปกรณ์ในระบบลมอัดจึงจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ ในปัจจุบันอุปกรณ์ต่างๆ นั้นถูกพัฒนาให้ทำงานได้ดีขึ้น และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น แต่การควบคุมสภาวะของอากาศที่จะนำมาใช้ในระบบนั้นก็เป็นเรื่องที่สำคัญเช่นกัน เนื่องจากอากาศที่สะอาดและแห้ง จะช่วยยืดอายุการใช้งานของระบบและช่วยลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อระบบ โดยปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดความเสียหายนั้นคือฝุ่นละออง, น้ำมันและความชื้นในอากาศ ซึ่งฝุ่นละอองและน้ำมันสามารถกำจัดได้โดยใช้ตัวกรองอากาศ มีเพียงความชื้นในอากาศที่ไม่สามารถกรองออกได้ จึงจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องทำลมแห้ง เนื่องจากการทำงานของเครื่องดักน้ำไม่เพียงพอที่จะให้อากาศนั้นมีความชื้นลดลงเข้าใกล้ 0%

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบลมอัดเมื่อในระบบมีความชื้น มีดังนี้

1. เกิดสนิมในท่อ
2. สนิมทำให้เกิดการอุดตันในท่อขนาดเล็ก
3. เพิ่มภาระในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์
4. เกิดความไม่แน่นอนในการใช้งาน
5. ทำให้ระบบทำงานช้าลง มีแรงเสียดทานในระบบมากขึ้น
6. ระบบทำงานผิดปกติ
7. ในงานอุตสาหกรรมสีจะทำให้สีฟุ้งไต่ชิ้นงานนั้นเสียหาย
8. สีที่เคลือบอยู่ที่ผิวของวัสดุนั้นลอกออก ทำให้เกิดสนิมได้ง่ายมากขึ้น
9. ในบางระบบที่ต้องใช้งานที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 °C จะทำให้น้ำแข็งตัวและเกิดการอุดตัน

2.2 ความชื้นในอากาศ

โดยทั่วไปในอากาศรอบๆตัว นั้นมีไอน้ำหรือความชื้นปะปนอยู่เสมอ ซึ่งจะมีปริมาณมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ อุณหภูมิที่สูงจะสามารถจุความชื้นได้มากกว่าอุณหภูมิต่ำ

การบอกค่าความชื้นภายในอากาศนั้นมักจะบอกในรูปของเปอร์เซ็นต์ หรือค่าสัมพัทธ์ ซึ่งเรียกว่า “ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity)”

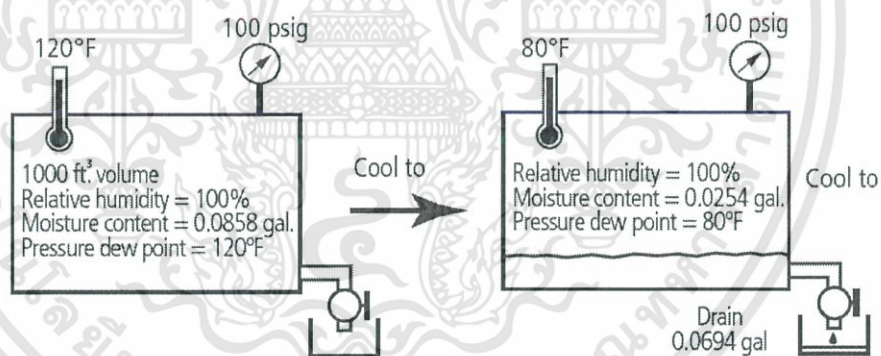
2.2.1 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) [7]

ความชื้นสัมพัทธ์หรืออัตราส่วนความชื้น เป็นอัตราส่วนระหว่างความชื้นในอากาศกับความชื้นที่อากาศสามารถรับได้สูงสุดที่อุณหภูมินั้นๆ โดยมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์

$$\% \text{ Relative humidity} = \frac{\text{actual water vapour}}{\text{saturated water vapour @temperature}} * 100 \quad (2.1)$$

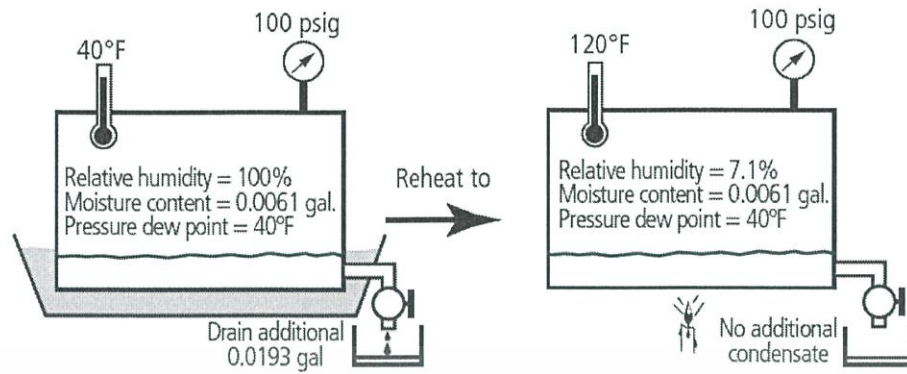
2.1.2 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature) [1]

เมื่ออากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% จะเกิดการควบแน่นของไอน้ำเป็นหยดน้ำซึ่งอุณหภูมิที่เริ่มเกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ความดันคงที่นี้เรียกว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature)



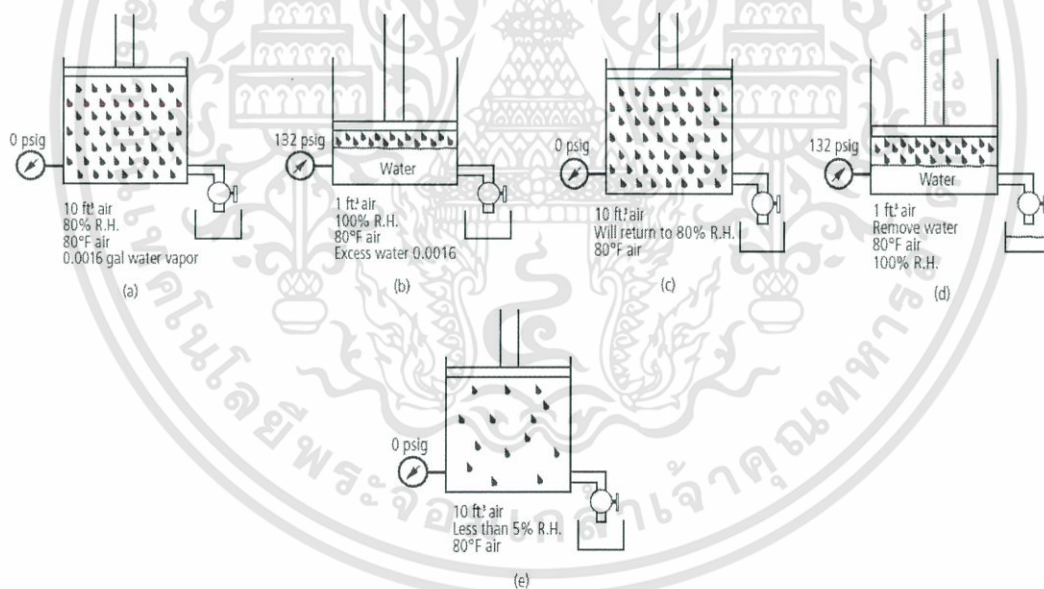
รูปที่ 2.1 อากาศที่ถูกลดอุณหภูมิ ทำให้ความสามารถในการรับไอน้ำลดลง [1]

อากาศที่แต่ละอุณหภูมิ นั้นมีความสามารถในการรับความชื้นได้ต่างกัน จากรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิเริ่มต้น 120 °F ความดัน 100 psig ถึงปริมาตร 1000 ลูกบาศก์ฟุต มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 100% หรือมีปริมาณความชื้นอยู่ในอากาศ 0.0858 แกลลอน จากนั้นถึงถูกลดอุณหภูมิลงเหลือ 80°F ความชื้นสัมพัทธ์ 100% หรือมีปริมาณความชื้นอยู่ในอากาศ 0.0254 แกลลอน ซึ่งมีไอน้ำควบแน่นจำนวน 0.0694 แกลลอน



รูปที่ 2.2 อากาศที่ถูกเพิ่มอุณหภูมิ ทำให้ความสามารถในการรับไอน้ำเพิ่มขึ้น [1]

จากรูปที่ 2.1-ข แสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิเริ่มต้น 40 °F ความดัน 100 psig ถึงปริมาตร 1000 ลูกบาศก์ฟุต มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 100% หรือมีปริมาณความชื้นอยู่ในอากาศ 0.0061 แกลลอน มีไอน้ำควบแน่นปริมาณ 0.0193 แกลลอน จากนั้น ถึงถูกเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 120°F ทำให้เหลือความชื้นสัมพัทธ์ 7.1% หรือมีปริมาณความชื้นอยู่ในอากาศ 0.0061 แกลลอน ซึ่งมีไอน้ำควบแน่นจำนวน 0.0694 แกลลอน



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงความดันในถังที่มีผลต่อความชื้นในอากาศ [1]

- a : อากาศที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 80 °F มีความชื้นสัมพัทธ์ 80%
- b : อากาศถูกอัดที่ความดัน 132 psig ทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์ 100% และมีไอน้ำบางส่วนที่ควบแน่นเป็นหยดน้ำ
- c : ลดความดันให้เท่ากับความดันบรรยากาศ
- d : อากาศถูกอัดอีกครั้ง และจากนั้นน้ำถูกปล่อยออกจากถัง
- e : เมื่อลดความดันเป็นความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ลดลงเหลือ 5%

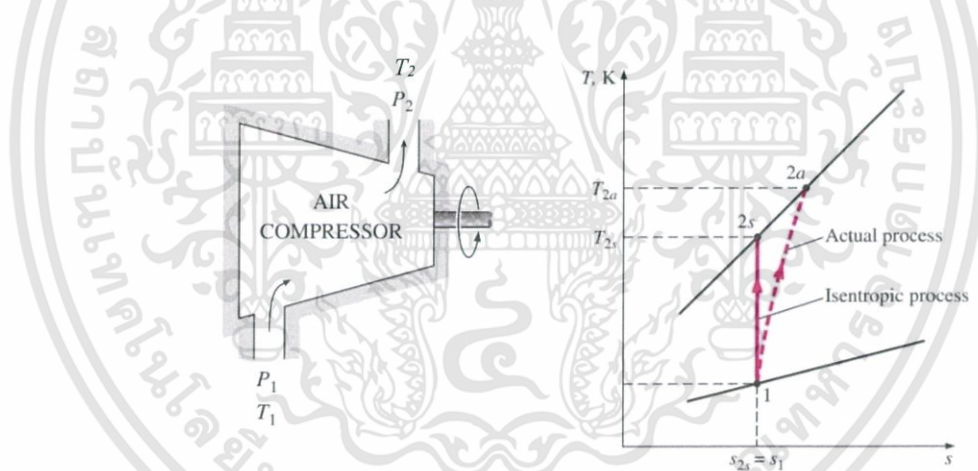
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการการเพิ่มความดันด้วยเครื่องอัดอากาศในอุดมคติ นั้นเรียกว่ากระบวนการ isentropic process[8] ซึ่งการเพิ่มความดันนั้นมีผลต่อการเพิ่มของอุณหภูมิของอากาศหลังจากเพิ่มความดัน ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.2 และจากรูปที่ 2.3 นั้นแสดงให้เห็นว่าถ้าหากอากาศนั้นถูกอัดหรือเพิ่มความดันให้มากขึ้นจะมีไอน้ำหรือความชื้นในอากาศควบแน่นเป็นหยดน้ำ

$$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_{2s}}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (2.2)$$

- โดยที่ T_1 คือ อุณหภูมิก่อนอัดอากาศ
- T_{2s} คือ อุณหภูมิหลังอัดอากาศผ่านกระบวนการ isentropic process
- P_1 คือ ความดันของอากาศก่อนอัด
- P_{2s} คือ ความดันของอากาศหลังอัด
- k คือ ค่าคงที่ของอากาศ เท่ากับ 1.35

กระบวนการ isentropic process เป็นกระบวนการในอุดมคติ ไม่มีการเกิดความร้อนในระบบ (entropy = 0)

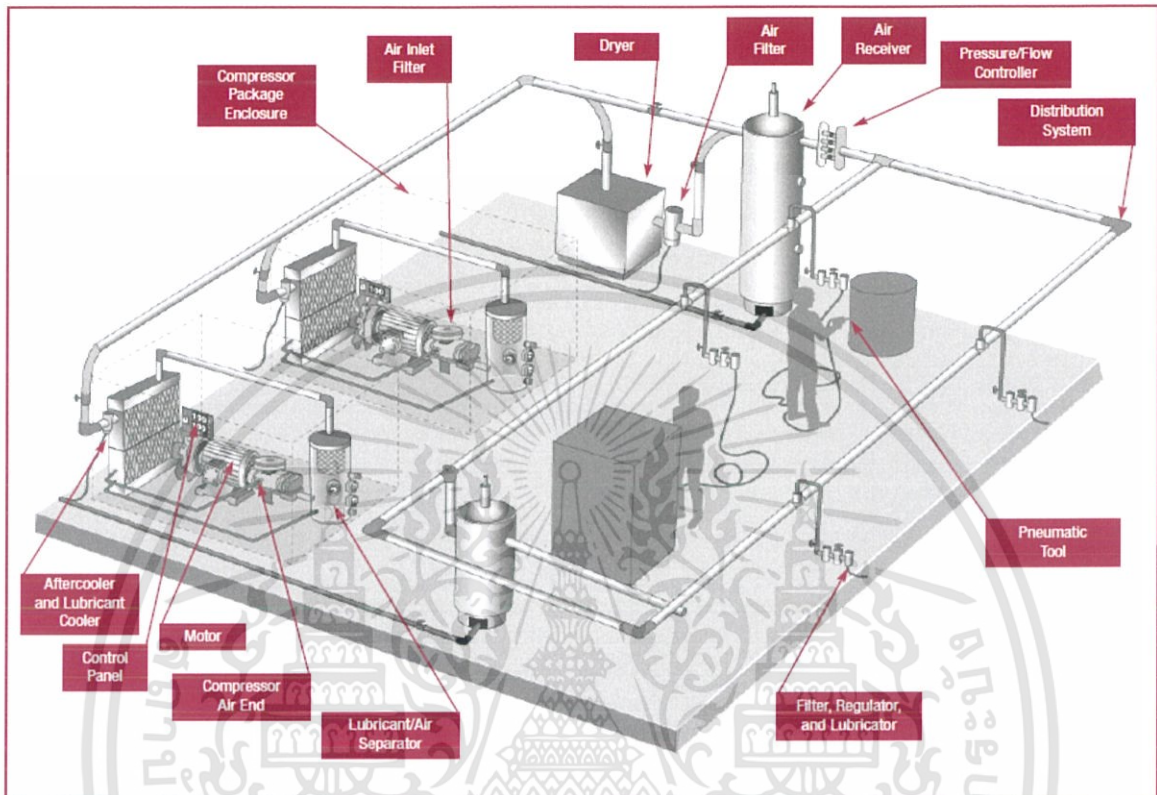


รูปที่ 2.4 การทำงานของเครื่องอัดอากาศและ T-s diagram [8]

ซึ่งการทำงานของเครื่องอัดอากาศนั้นมีความใกล้เคียงกับ isentropic process แต่จะมีความร้อนหรือ entropy เกิดขึ้นในระบบ ส่งผลให้ระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้อากาศหลังจากที่ถูกอัด มีอุณหภูมิมากกว่า T_{2s} หรือมีค่าเท่ากับ T_{2a}

2.3 ส่วนประกอบของระบบลมอัด [1]

ในระบบลมอัดนั้นมีจำนวนอุปกรณ์ที่ประกอบเข้าด้วยกันเป็นจำนวนมาก ซึ่งแต่ละอุปกรณ์ก็มีหน้าที่แตกต่างกันออกไป



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งและใช้งานในระบบลมอัด [10]

2.3.1 เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบแบบ 2 ขั้นตอน(2-stage reciprocating air compressor)

เครื่องอัดอากาศแบบ 2 ขั้นตอน จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงความดันต่ำ และช่วงความดันสูง ซึ่งทั้ง 2 ช่วงนั้นถูกคั่นด้วยเครื่องระบายความร้อน (Intercooler) เพื่อลดความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการอัดอากาศ



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องอัดอากาศแบบ 2 ขั้นตอน [8]

2.3.2 เครื่องระบายความร้อน (Aftercoolers)

อากาศหลังจากที่ถูกอัดจะมีอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบ ยกตัวอย่างเช่น การขยายตัวของอากาศร้อนในท่อขนาดเล็ก ซึ่งมีผลต่อรอยต่อของท่อ, ปะเก็น และอุปกรณ์อื่นๆ โดยเครื่องระบายความร้อนนั้นจะติดตั้งอยู่ที่หลังทางออกของเครื่องอัดอากาศ

2.3.3 เครื่องแยกน้ำ (Moisture separators)

เป็นเครื่องมือที่ถูกออกแบบมาเพื่อกำจัดไอน้ำที่เกิดการควบแน่นจากระบบลมอัด โดยทั่วไปจะติดตั้งหลังจากเครื่องระบายความร้อน (aftercooler) ซึ่งสามารถที่จะกำจัดหยดน้ำเล็ก ๆ ได้มากถึง 92% แต่ไม่สามารถกำจัดความชื้นในอากาศได้ อย่างไรก็ตามเครื่องแยกน้ำนั้นเป็นตัวแปรสำคัญในการลดประสิทธิภาพของอุณหภูมิจุดน้ำค้างอย่างมาก



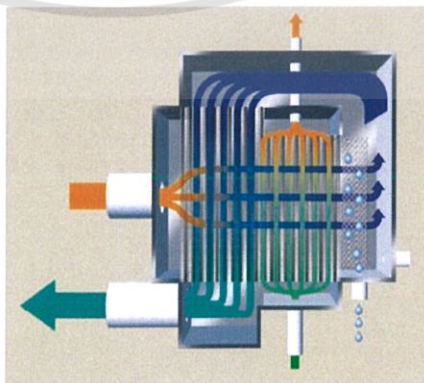
รูปที่ 2.7 เครื่องแยกน้ำ (Water separators) ในเครื่องทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศ

2.3.4 เครื่องทำลมแห้ง (Air dryer) [1]

เครื่องทำลมแห้งนั้นมีหลายชนิด หลายรูปแบบ ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งานและลักษณะของอากาศที่ต้องการ เช่น อุณหภูมิจุดน้ำค้าง, ความดันของระบบ, อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ฯลฯ สิ่งเหล่านี้ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการเลือกชนิดของเครื่องทำลมแห้ง โดยเครื่องทำลมแห้งที่นิยมใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรมมี 2 ประเภท ดังนี้

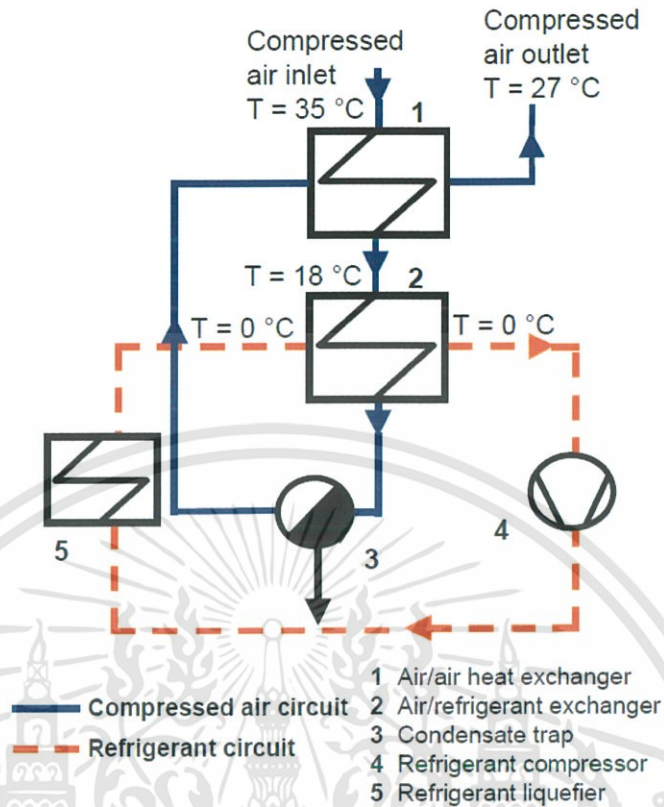
1. เครื่องทำลมแห้งชนิดสารทำความเย็น (Refrigerant air dryer)

ถูกใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เหมาะสำหรับงานที่มีช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 35 °F ไปจนถึง 50 °F เมื่ออากาศถูกลดอุณหภูมิลง ความชื้นในอากาศจะเกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ จากนั้นก็ดึงน้ำส่วนนั้นออกจากระบบ



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

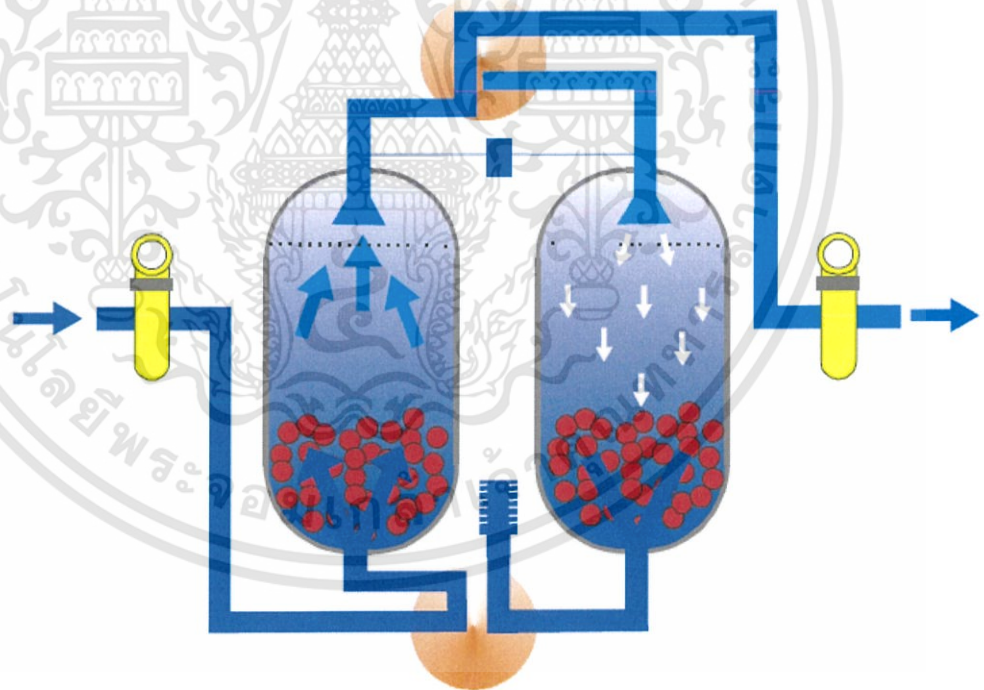


รูปที่ 2.9 อุปกรณ์และหลักการทำงานของเครื่องทำลมแห้งชนิดสารทำความเย็น [11]

จากรูปที่ 2.9 หลักการทำงานของเครื่องทำลมแห้งชนิดสารทำความเย็นนั้น ทำงานโดยแยกออกเป็น 2 วงจรหลัก คือ วงจรอากาศ กับ วงจรของสารทำความเย็น เริ่มจากอากาศที่ถูกอัดออกจากเครื่องอัดอากาศ ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger 1) เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศลง จากนั้นจะไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger 2) เพื่อลดอุณหภูมิลงอีกครั้ง ซึ่งช่วงนี้จะเกิดการควบแน่นของความชื้นในอากาศเป็นหยดน้ำ จากนั้นทำการดึงน้ำออกจากระบบโดยใช้ Separators อากาศที่ไหลออกจากระบบจะเป็นอากาศแห้งเนื่องจากถูกดึงความชื้นออกไปแล้ว ในขั้นตอนสุดท้าย จะทำการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศก่อนที่จะนำไปใช้ โดยเอาไปผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger 1) เพื่อให้อากาศขาเข้านั้นมีอุณหภูมิลดลง ส่วนอากาศขาออกนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น

2. เครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้น (Desiccant air dryer)

เครื่องทำลมแห้งชนิดนี้มีตัวเม็ดสารดูดความชื้น ที่ใช้ในการดูดความชื้นออกจากอากาศโดยโครงสร้างของตัวมันจะมีรูเล็กๆ (pore) จำนวนมากที่สามารถกักเก็บความชื้นไว้ได้ โดยทั่วไปเครื่องทำลมแห้งชนิดนี้นิยมทำเป็น 2 ถังเพื่อใช้ในการ regenerative (ดูดความชื้น + regenerative) เหมาะสำหรับงานที่มีช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ $-40\text{ }^{\circ}\text{F}$ ไปจนถึง $-100\text{ }^{\circ}\text{F}$ รูปที่ 2.10 แสดงหลักการทำงานของเครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้น จำนวน 2 ถัง เม็ดสารดูดความชื้นในถังแรกจะทำหน้าที่ดูดความชื้นออกจากอากาศที่ไหลมาจาก เครื่องอัดอากาศ เมื่อดูดความชื้นออกจนหมดแล้วอากาศจะถูกส่งผ่านท่อ ซึ่งท่อจะแยกออกเป็น 2 ท่อ คือส่วนที่ไหลไปเก็บในถังเก็บอากาศ และส่วนที่ไหลไปยังถังของสารดูดความชื้นถังที่ 2 ซึ่งมีประมาณ 10% ถึง 18% ของอากาศทั้งหมดที่ไหลผ่านเครื่องทำลมแห้ง โดยเม็ดสารดูดความชื้นในถังที่ 2 จะมีกระบวนการที่เรียกว่า Regenerative ซึ่งจะดึงอากาศแห้งที่ได้จากถังที่ 1 ให้ไหลผ่านตัวเม็ดสารดูดความชื้นที่อิ่มตัวจากการดูดความชื้นในวัฏจักรก่อนหน้านี้ แล้วทำให้ความดันในถังลดลงจนใกล้ความดันบรรยากาศ โดยเรียกกระบวนการในถังที่ 2 ว่า Regenerative



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์และหลักการทำงานของเครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้น [11]

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำลมแห้งชนิดสารทำความเย็นกับชนิด
เม็ดสารดูดความชื้น

หัวข้อ	เครื่องทำลมแห้งชนิด สารทำความเย็น	เครื่องทำลมแห้งชนิด เม็ดสารดูดความชื้น
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ	ราคาในการติดตั้งที่ถูกต้อง	ราคาในการติดตั้งแพง
อุณหภูมิของอากาศที่ออก จากเครื่องทำลมแห้ง	อุณหภูมิตั้งแต่ 38 °F ถึง 50 °F	อุณหภูมิตั้งแต่ -40 °F ถึง -100 °F
ผลของการปนเปื้อนของ น้ำมันในอากาศ	ไม่มีผลต่อเครื่องทำลม แห้ง	มีผลต่อเม็ดสารดูดความชื้น ทำให้ดูดความชื้นได้ลดลง
ตำแหน่งของการติดตั้ง	ติดตั้งภายในอาคาร เท่านั้น	สามารถติดตั้งได้ทุกที่และ ทุกสภาวะ
ความต้องการกระบวนการ regenerative	ไม่ต้องการ	ต้องการกระบวนการ regenerative
ความต้องการในการซ่อม บำรุง	ต้องคอยตรวจสอบระดับ ของสารทำความเย็น	เปลี่ยนเม็ดสารดูดความชื้น ทุกๆ 3-5 ปี

จากตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเครื่องทำลมแห้งทั้ง 2 ชนิด จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ เครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้นนั้นมีราคาที่สูงกว่าเนื่องมาจากอุณหภูมิของอากาศที่ทางออกหลังจากลดความชื้นนั้นต่ำ เหมาะกับงานอุตสาหกรรมที่ต้องการความชื้นในระบบค่อนข้างต่ำ หรือไม่มี ความชื้นในระบบ ทำให้อุปกรณ์แต่ละชิ้นส่วนนั้นมีราคาสูงกว่า อีกทั้งตำแหน่งของการติดตั้งเครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้นสามารถติดตั้งไว้บริเวณใดก็ได้ ต่างจากเครื่องทำลมแห้งชนิดสารทำความเย็นที่ต้องติดตั้งภายในอาคารเท่านั้น เนื่องจากแสงแดดและความร้อนมีผลต่อการทำงานของสารทำความเย็นในระบบ และอายุการใช้งานของเม็ดสารดูดความชื้นนั้น มีอายุการใช้งานที่นานมากกว่า เครื่องทำลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้นจึงเหมาะสมมากกว่า

2.3.5 เม็ดสารดูดความชื้น (Desiccant) [12]

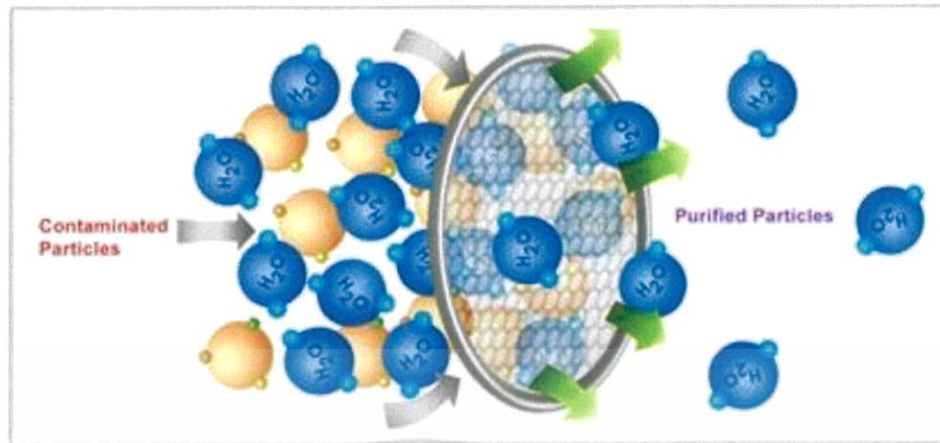
เม็ดสารดูดความชื้นที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีหลายประเภท ซึ่งแต่ละประเภทก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

1. สารดูดความชื้นชนิดซิลิกา เจล (Silica gel) เป็นสารสังเคราะห์ในรูปของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งมักจะมีรูปร่างเป็นเม็ดเล็กๆ นิยมใช้บรรจุในของขนาดเล็ก เพื่อดูดความชื้นในงานอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
2. สารดูดความชื้นชนิดผงแคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride desiccant) เป็นสารดูดความชื้นที่อยู่ในรูปผงแป้ง ซึ่งสามารถดูดความชื้นได้เป็นจำนวนมาก โดยตัวของสารดูดความชื้นจะเปลี่ยนรูปเป็นเจลเมื่อมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เกิน 90% เหมาะกับงานขนส่งสินค้าทางเรือ, รถไฟ, รถบรรทุก
3. สารดูดความชื้นชนิด molecular sieve เป็นสารดูดความชื้นที่โครงสร้างภายในเป็นรูพรุน ซึ่งสามารถกักเก็บไอน้ำไว้ได้ เหมาะกับงานดูดความชื้นทุกประเภทซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของรูพรุนภายในโครงสร้าง

สำหรับการเลือกเม็ดสารดูดความชื้นมาใช้ในการทำเครื่องทำลมแห้งนั้นต้องคำนึงถึงอุณหภูมิในการใช้งานของเครื่องทำลมแห้ง เนื่องจากอากาศที่ผ่านการอัดจากเครื่องอัดอากาศ จะมีอุณหภูมิสูง ซึ่งมีผลต่อการทำงานของเม็ดสารดูดความชื้นชนิดซิลิกาเจล เนื่องจากจะมีประสิทธิภาพการดูดความชื้นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อีกทั้งการใช้สารดูดความชื้นที่เป็นผงแป้งนั้นไม่เหมาะสม อาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของเม็ดสารดูดความชื้นกับอากาศ ดังนั้นสารดูดความชื้นชนิด Molecular sieve จึงเหมาะสมกับการใช้ในเครื่องทำลมแห้ง

สารดูดความชื้น molecular sieve [9]

สารดูดความชื้นประเภท molecular sieve เป็นสารสังเคราะห์ประเภท crystalline aluminosilicates หรือเรียกว่า zeolite โดยมีการจัดรูปของอะตอมที่ชัดเจนและเป็นระเบียบ โครงสร้างภายในโมเลกุลช่องว่างระหว่างอะตอมมีรูเล็กๆ ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน โดยมีหน่วยในการวัดขนาดของรูเป็นหน่วยอังสตรอม รูเหล่านี้สามารถรับและส่งผ่านสารที่มีโมเลกุลเล็กๆ โดยมีประสิทธิภาพในการดูดความชื้นประมาณ 22% ของน้ำหนัก



รูปที่ 2.11 แสดงคุณสมบัติของ molecular sieve ที่ยอมให้สารที่มีโมเลกุลเล็กเคลื่อนที่ผ่านไป[9]

สารดูดความชื้น molecular sieve นั้นมีอยู่ 4 ชนิด ดังนี้

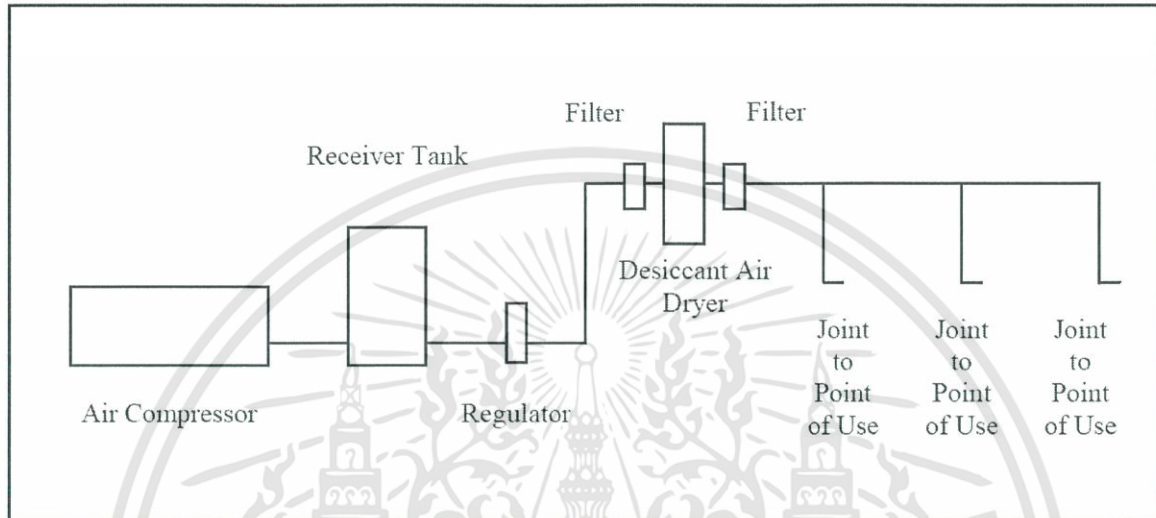
- 3A : มีขนาดของรูที่ 3 อังสตรอม ซึ่งใช้ในงานที่ต้องการดูดความชื้นออกจากสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวหรือเอทิลแอลกอฮอล์
- 4A : มีขนาดของรูที่ 4 อังสตรอม ซึ่งใช้ในงานที่ต้องการดูดความชื้นในระบบลม
- 5A : มีขนาดของรูที่ 5 อังสตรอม ซึ่งใช้ในงานที่ต้องการดูดความชื้นออกจากสารไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว (paraffin hydrocarbon)
- 13X : มีขนาดของรู ใกล้เคียง 10 อังสตรอม ใช้สำหรับงานทางการแพทย์

ตารางที่ 2. 2 คุณสมบัติของสารดูดความชื้นชนิด molecular sieve และการนำไปใช้[9]

	Applications	Product Examples	Used Types
1	Dehydration & Refinery for Petro-Chemical Plant	PE. PP. Butane. Others	3A, 4A or 13X
2	Dryer for Industrial Gas	Hydrogen. AIR. LPG. NH ₃	3A or 4A
3	Dehydration & Refinery for Chemical's solution	Li Battery Solution	3A or 4A
4	Dryer system for ethanol (PSA)	Ethanol	
5	Gas Generator (PSA)	Oxygen. Dry-air	4A or 3A
6	Dehydration for Industrial Materials & Chemicals	DMC EC EMC	3A or 3A
7	Dehydration for Paint and Sealant	Urethane. Rubber. Epoxy	3A, 4A or 5A
8	Adsorbent for Smell	VOC · Ethylene	5A, 13X or custom
9	Dryer for Refrigerant Liquid	HFC-134a. HFO-1234f	3A
10	Air Dryer for Brake System	AIR	4A

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

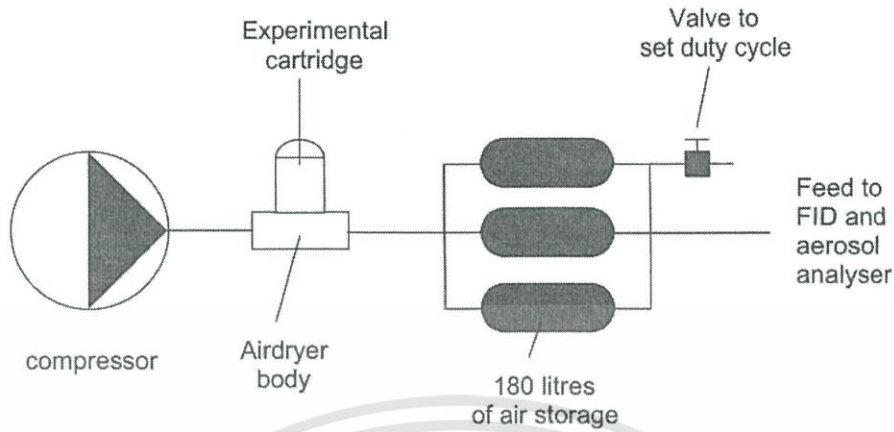
Pachon, L., Yuthachai, B., & Nantakrit, Y. [5] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบลมที่ใช้ในการพ่นสีรถยนต์ เนื่องจากการไม่ติดตั้งเครื่องทำลมแห้งนั้นทำให้สีที่พ่นออกมานั้นไม่มีคุณภาพทำให้สีไม่เกาะตัวกับผิว เนื่องมาจากการปนเปื้อนความชื้นและน้ำมัน ซึ่งทำการแก้ไขโดยติดตั้งเครื่องทำลมแห้งและเครื่องกรองอากาศเพื่อกรองคราบน้ำมันและสิ่งเปื้อนในอากาศออก



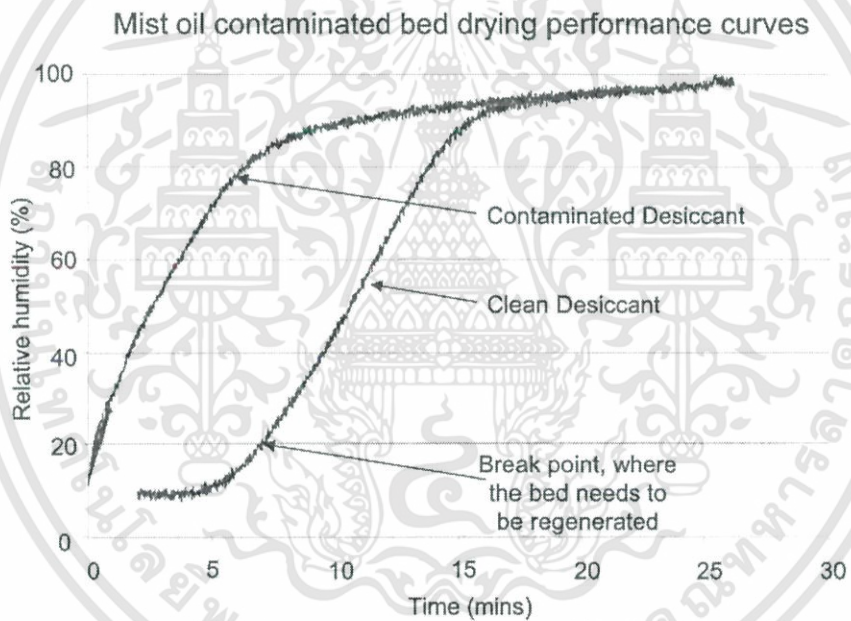
รูปที่ 2.12 การติดตั้งตัวกรองอากาศและเครื่องทำลมแห้งเข้ากับระบบลมเพื่อใช้ในการพ่นสีรถยนต์ [5]

หลังจากทำการติดตั้งตัวกรองอากาศและเครื่องทำลมแห้งดังรูปที่ 2.12 แล้วความชื้นในอากาศที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งนั้นมีค่าเท่ากับ 0 mg/m^3 มีไอน้ำมันเหลืออยู่เล็กน้อย ซึ่งอากาศมีค่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ $-40 \text{ }^\circ\text{C}$

Blackwood, A. [4] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของความชื้นและน้ำมันที่ปนเปื้อนในอากาศ ที่มีผลต่อระบบลมในระบบเบรครถยนต์ โดยตัวความชื้นนั้นมีผลอย่างมากเมื่ออุณหภูมิต่ำลงทำให้ควบแน่นเป็นหยดน้ำหรือบางครั้งแข็งตัวเป็นน้ำแข็งที่ไปอุดตันท่อของระบบลมอัดทำให้ระบบลมอัดทำงานผิดปกติ โดยทั่วไประบบลมอัดนั้นจะมีความดันที่ใช้ประมาณ 8 ถึง 13 บาร์ ขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งาน เครื่องทำลมอัดแบบลูกสูบ มักจะถูกนำมาใช้งานในการสร้างความดันให้กับระบบ ซึ่งตัวเครื่องทำลมอัดนั้นมีส่วนที่หล่อลื่นทำให้มีน้ำมันบางส่วนจากระบบหล่อลื่นนั้นระเหยขึ้นมาปนเปื้อนกับอากาศที่ถูกอัด ส่งผลให้การทำงานของเม็ดสารดูดความชื้นมีประสิทธิภาพลดลง อีกทั้งยังส่งผลต่อการทำงานของวาล์วลม ทำการทดสอบโดยการติดตั้งเครื่องทำลมแห้งแบบมาตรฐานเข้ากับชุดทดสอบที่มีเครื่องทำลมอัดทำงานที่ 1400 รอบต่อนาที และต่อเข้ากับถังเก็บอากาศขนาด 180 ลิตรที่สามารถปรับอัตราการไหลของอากาศได้



รูปที่ 2.13 การติดตั้งเครื่องทำลมแห้งเข้ากับเครื่องทดสอบโดย Blackwood, A. [4]



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงผลการทดลองประสิทธิภาพของเม็ดสารดูดความชื้นจากการปนเปื้อนของน้ำมัน [4]

จากกราฟผลการทดลองในรูปที่ 2.14 Blackwood, A. [4] อธิบายไว้ว่าการปนเปื้อนของน้ำมันในอากาศนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเม็ดสารดูดความชื้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องทำลมแห้งนั้นลดลงอย่างมาก โดยกราฟแสดงให้เห็นว่าในเวลาที่ไม่ถึง 1 นาทีเม็ดสารดูดความชื้นก็ไม่สามารถดูดความชื้นได้แล้ว โดยที่จุด Break point ในกราฟคือ Relative humidity มีค่าเท่ากับ 20% ซึ่งเป็นจุดที่ระบบควรจะเปลี่ยนรูปแบบจากดูดความชื้นเป็นการ regenerated.

Yongping ,H., Ke ,Z., Shufan ,Y., & Yushan ,J. [3] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการหาค่าอัตราส่วนความชื้นโดยใช้ค่าจากอุณหภูมิกะเปาะแห้งและกะเปาะเปียก โดยอธิบายไว้ว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Hr) เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการ wood drying process. โดยทั่วไปวิธีที่ใช้ในการวัดค่าความชื้นนั้นมีหลายวิธีทั้งแบบ อิเล็กทรอนิกส์ในรูปของเซนเซอร์ และอีกวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้คือการวัดค่าอุณหภูมิกะเปาะแห้งและกะเปาะเปียก จากนั้นนำค่ามาคำนวณโดยใช้สูตร

$$\%RH = \frac{e_w - D \cdot P \cdot \Delta T}{e_d} * 100 \quad (2.3)$$

เมื่อ %RH คือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%)

e_w คือ ค่าความอึมตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิกะเปาะเปียก หาได้จาก

$$e_w = 6.112 * e^{\frac{17.502 * T_w}{240.97 + T_w}} \quad (2.4)$$

e_d คือ ค่าความอึมตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิกะเปาะแห้ง หาได้จาก

$$e_d = 6.112 * e^{\frac{17.502 * T_d}{240.97 + T_d}} \quad (2.5)$$

D คือ สัมประสิทธิ์ค่าความชื้น หาได้จาก

$$D = 0.00066 * (1 + 0.00115 * T_w) \quad (2.6)$$

P คือ ค่าเฉลี่ยของความดันบรรยากาศ

ΔT คือ ความต่างของอุณหภูมิกะเปาะแห้งกับเปียก ($T_d - T_w$)

แทนค่า e_w , e_d และ A ลงในสมการ (2.3) จะทำให้ได้ว่า

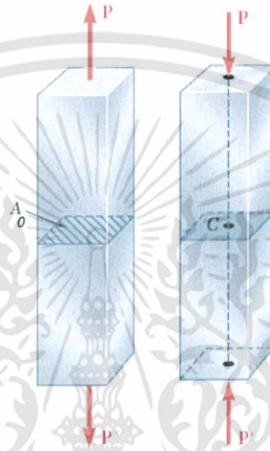
$$\%RH = \frac{611.2 * e^{\frac{17.502 * T_w}{240.97 + T_w}} - 66.8745 * (1 + 0.00115 * T_w) * (T_d - T_w)}{6.112 * e^{\frac{17.502 * T_d}{240.97 + T_d}}} \quad (2.7)$$

2.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกลศาสตร์ของวัสดุ [2]

2.5.1 ความเค้นตามแนวแกน (Axial Stress)

ความเค้นตามแนวแกน หมายถึงแรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุ เมื่อมีแรงจากภายนอกมากระทำ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนรูปร่างไปจากเดิม โดยที่แรงกระทำจะถูกกระจายอย่างสม่ำเสมอตลอดพื้นที่หน้าตัดของวัสดุ แบ่งตามลักษณะของแรงที่มากระทำกับวัสดุจะมีความเค้น 2 แบบดังนี้

1. ความเค้นดึง (tensile stress)
2. ความเค้นอัด (compressive stress)



รูปที่ 2.15 วัสดุที่รับแรงดึงและแรงอัด [2]

ค่าความเค้นตามแนวแกนที่เกิดภายในวัสดุหาได้จากสมการ

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.8)$$

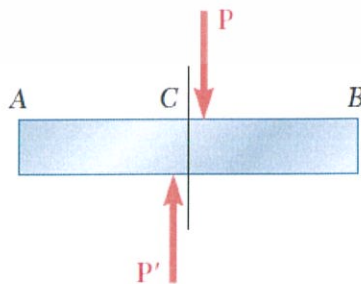
เมื่อ σ คือ ความเค้นที่เกิดขึ้นในวัสดุ

F คือ แรงที่กระทำตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด

A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดที่ถูกแรงกระทำ

2.5.2 ความเค้นเฉือน (Shearing Stress)

ความเค้นเฉือน หมายถึง แรงต้านภายในวัสดุ เมื่อมีแรงภายนอก 2 แรง กระทำต่อวัสดุในทิศทางที่ตรงกันข้าม



รูปที่ 2.16 วัสดุรับแรงเฉือน [2]

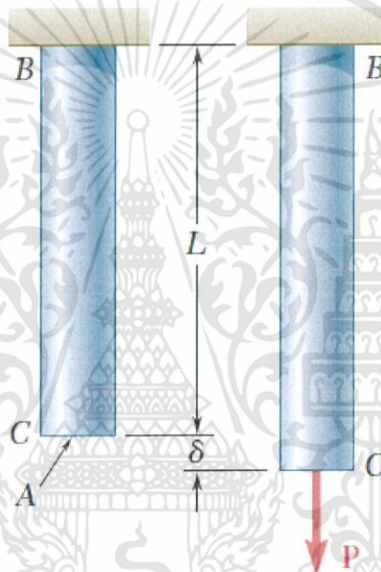
ในกรณีที่วัสดุรับแรงเฉือน ความเค้นที่เกิดขึ้นจะเป็นความเค้นเฉือน หาได้จากสมการ

$$\tau = \frac{F}{A_0} \quad (2.9)$$

- เมื่อ τ คือ ความเค้นเฉือน
 F คือ แรงที่กระทำขนานกับพื้นที่หน้าตัด
 A_0 คือ พื้นที่หน้าตัดที่ขนานกับแรง

2.5.2 ความเครียด (Strain)

ความเครียด หมายถึง การเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุเมื่อมีแรงกระทำ เช่น การยืดออกจากการรับแรงดึง การหดเข้าจากการรับแรงอัด



รูปที่ 2.17 การรับแรงดึงจนวัสดุเกิดความเครียด [2]

ค่าความเครียดตามแนวแกนที่เกิดขึ้นในวัสดุหาได้จากสมการ

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2.8)$$

- เมื่อ ϵ คือ ความเครียดที่เกิดขึ้นในวัสดุ
 δ คือ ระยะยืดของวัสดุ
 L คือ ความยาวของวัสดุ

2.5.5 ตัวประกอบความปลอดภัย (Safety factor ; n)

ตัวประกอบความปลอดภัย หมายถึง ค่าการเผื่อในการออกแบบชิ้นส่วนทางกล เพื่อใช้คำนวณ ความเค้นที่ยอมรับได้ (allowed strength ; σ_a) และนำค่าเหล่านั้น ไปเลือกขนาดและชนิดของวัสดุที่จะนำมาใช้อย่างเหมาะสม โดยจะต้องไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับระบบและไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน โดยคำนวณได้จาก

$$\sigma_a = \frac{\sigma_y}{n} \quad (2.9)$$

เมื่อ σ_a คือ ความเค้นที่ยอมรับได้ (allowed strength)

σ_y คือ ความเค้น ณ จุดคราก (yield strength)

n คือ ตัวประกอบความปลอดภัย

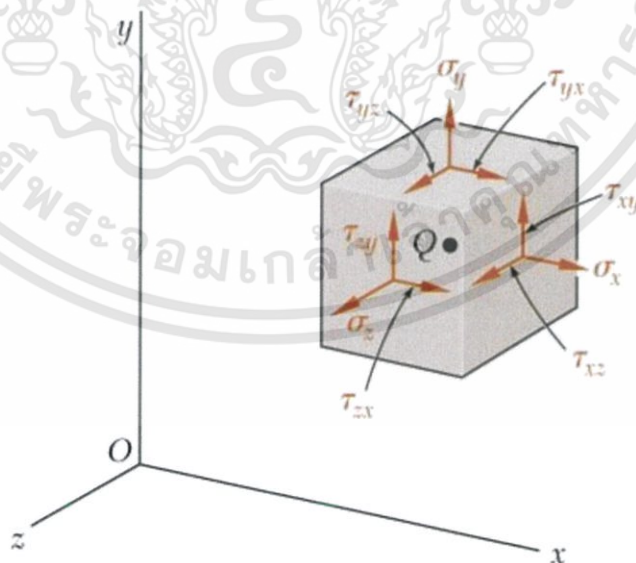
โดยค่าของตัวประกอบความปลอดภัยนั้นควรจะมีค่าที่มากกว่า 1 เสมอ ยิ่งมากยิ่งแข็งแรง และเป็นผลดีต่องานด้านการออกแบบ แต่ในทางปฏิบัติ ค่าตัวประกอบความปลอดภัยที่มากเกินไปนั้นไม่เหมาะสม เนื่องจากเป็นเพิ่มราคาค่าวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงาน

2.5.6 ความเค้นในระนาบ 3 มิติ (Plane stress)

ในสภาวะทั่วไปการพิจารณาความเค้น ณ จุดใดๆ ของวัสดุจะถูกแบ่งตามลักษณะทิศทางได้เป็น 6 องค์ประกอบ ดังนี้

ความเค้นตามแนวแกน (normal stresses) : $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$

ความเค้นเฉือนตามระนาบ (shearing stresses) : $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$

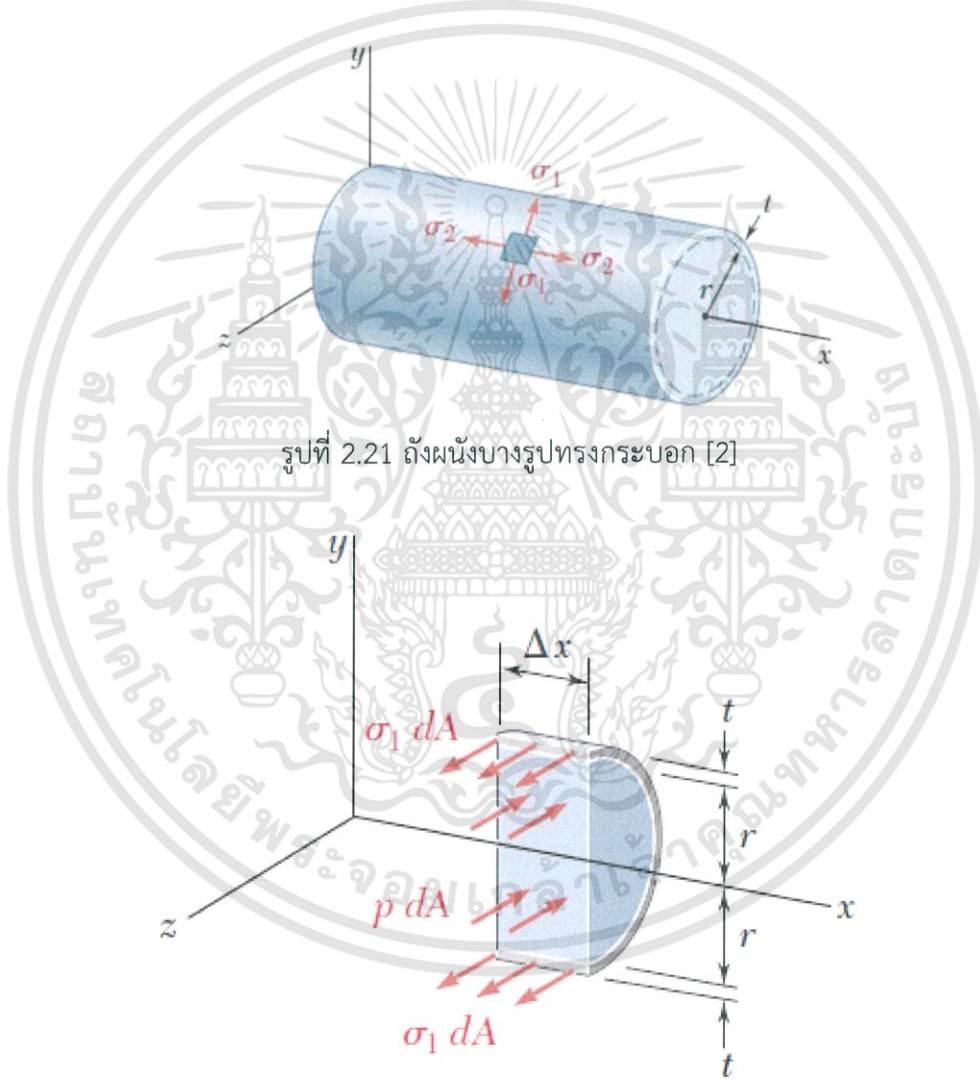


รูปที่ 2.20 ส่วนประกอบของความเค้น ณ จุดใดๆ บนวัสดุ [2]

2.8.7 ความเค้นระนาบจนถึงความด้นผนังบาง (Stresses in thin-walled pressure vessels)

สำหรับถึงความด้นที่ถูกใช้บรรจุแก๊ส ภายใต้ความด้นที่สูงกว่าบรรยากาศนั้น ความด้นของของไหลที่กระทำต่อผนังของถึงจะทำให้ผนังของถึงรับภาระดิ่ง โดยเฉพาะกับถึงที่มีความหนาน้อย โดยผลของความด้นที่กระทำต่อผนังจะทำให้ผนังของถึงเกิดความเค้นระนาบ ที่เป็นความเค้นดิ่ง ได้แก่ ความเค้นแนวเส้นรอบวง (hoop stress ; σ_h ; σ_1) และความเค้นในแนวแกน (longitudinal stress ; σ_l ; σ_2)

ถึงทรงกระบอก (cylinder vessels)



รูปที่ 2.21 ถึงผนังบางรูปทรงกระบอก [2]

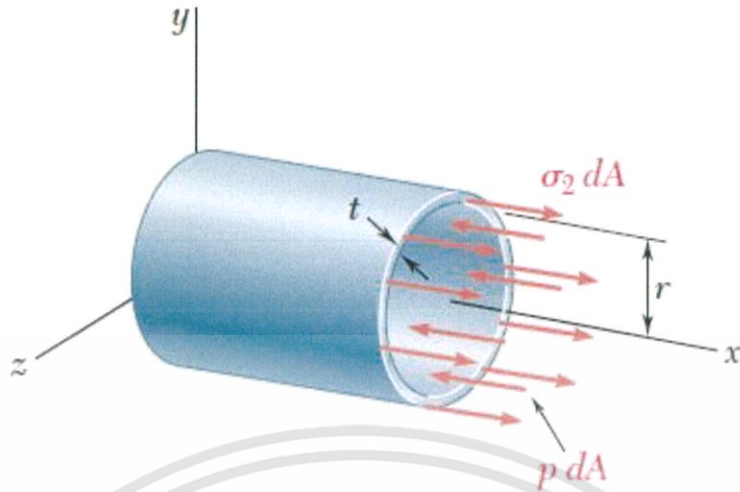
รูปที่ 2.0-1 ความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวเส้นรอบวง [2]

พิจารณาแรงในแนวแกน Z (พิจารณาในแนวแกน Y ให้ค่าที่เหมือนกัน)

$$\Sigma F_z = 0 = \sigma_1(2t\Delta x) - p(2r\Delta x)$$

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t} \tag{2.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ความเค้นที่เกิดขึ้นในแนวแกน [2]

พิจารณาแรงในแนวแกน X

$$\Sigma F_x = 0 = \sigma_2(2\pi r t) - p(\pi r^2)$$

$$\sigma_2 = \frac{pr}{2t}$$

(2.11)

- โดยที่ σ_1 คือ ความเค้นตามแนวรัศมี
 σ_2 คือ ความเค้นตามแนวยาว

p คือ ความดันของของไหลในถัง
 r คือ รัศมีภายในของถัง
 t คือ ความหนาของถัง

2.9 ทฤษฎีความเสียหาย [8]

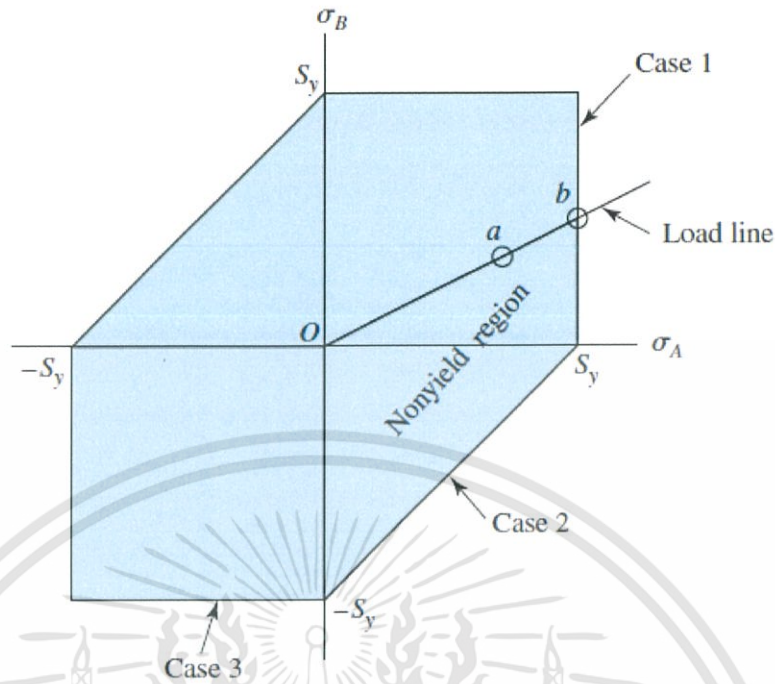
ความเสียหายของวัสดุนั้นเกิดจากความเค้นมากกว่าหนึ่งหรือที่เรียกว่าความเค้นผสม (Combined stress) แต่การออกแบบวัสดุหรือชิ้นงานจะมีการพิจารณาความเค้นดึง ความเค้นอัด หรือความเค้นเฉือนเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น จึงมีการตั้งทฤษฎีความเสียหายขึ้นมา โดยใช้หลักเกณฑ์ในการพิจารณาที่ต่างกันออกไป คือ เกณฑ์ความเค้นวิกฤต (critical stress), เกณฑ์ความเครียดวิกฤต (critical strain) และเกณฑ์พลังงานวิกฤต (critical energy) สำหรับวัสดุเหนียว หรือวัสดุที่ทนต่อแรงดึงได้ดี มีทฤษฎีความเสียหายที่สามารถอธิบายความเสียหายได้ 2 ทฤษฎี ดังนี้

1. Maximum shear stress theory for ductile materials

ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด เป็นการพิจารณาความเค้นระนาบในสามมิติ การทำนายการเริ่มเกิดความเสียหายที่จุดคราก เมื่อค่าสูงสุดของความเค้นเฉือนในชิ้นส่วนเล็กๆ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าความเค้นเฉือนสูงสุดในการทดสอบแรงดึงของชิ้นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 กราฟความเค้นระนาบของทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

สำหรับความเค้นหลัก ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) ที่เกิดขึ้นกับวัสดุสามารถนำมาแปลงเป็นความเค้นระนาบเพื่อนำไปใช้ในทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด สามารถแบ่งออกเป็น 3 กรณีดังนี้

กรณีที่ 1 : $\sigma_A \geq \sigma_B \geq 0$

ในกรณีนี้จะนิยามให้ $\sigma_1 = \sigma_A$ และ $\sigma_3 = 0$ โดยที่กราฟความเค้นเฉือนสูงสุดจะอยู่มุมบนขวาของกราฟ (Case 1)

กรณีที่ 2 : $\sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B$

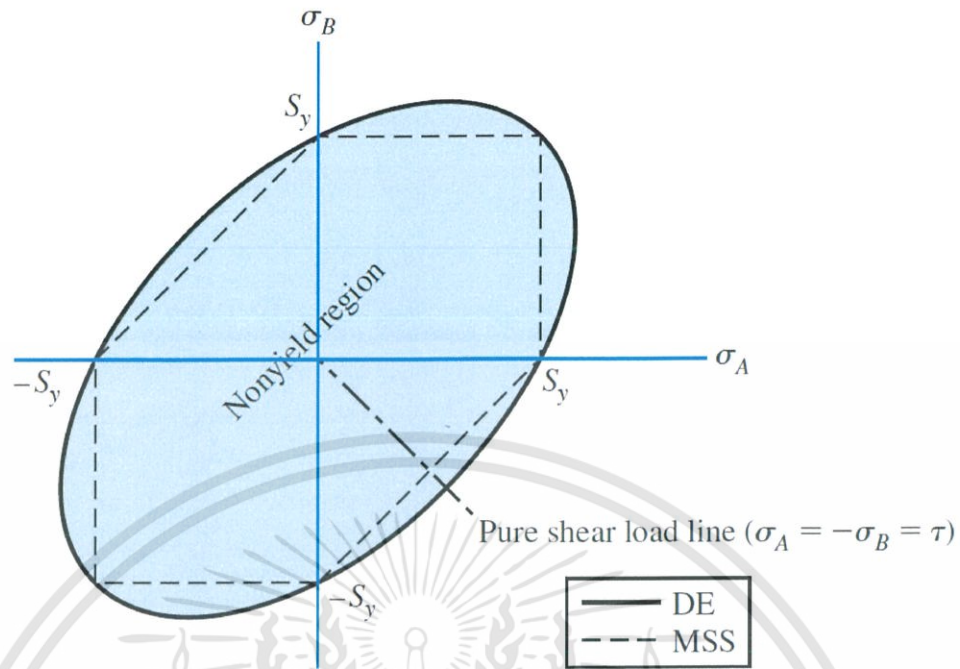
ในกรณีนี้จะนิยามให้ $\sigma_1 = \sigma_A$ และ $\sigma_3 = \sigma_B$ โดยที่กราฟความเค้นเฉือนสูงสุดจะอยู่มุมล่างขวาของกราฟ (Case 2)

กรณีที่ 3 : $0 \geq \sigma_A \geq \sigma_B$

ในกรณีนี้จะนิยามให้ $\sigma_1 = 0$ และ $\sigma_3 = \sigma_B$ โดยที่กราฟความเค้นเฉือนสูงสุดจะอยู่มุมล่างซ้ายของกราฟ (Case 3)

2. Distortion-energy theory for ductile materials

ทฤษฎีพลังงานบิด (distortion-energy) เป็นการพิจารณาพลังงานที่ทำให้เกิดความเสียหาย โดยจะเกิดขึ้นเมื่อค่าพลังงานในการเสียรูปมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับจุดครากของชิ้นส่วนที่ใช้ในการทดสอบการดึงหรือการอัด



รูปที่ 2.24 การเปรียบเทียบกราฟความเค้นระหว่างทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดกับทฤษฎีพลังงาน
 สำหรับความเค้นหลัก ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) ที่เกิดขึ้นกับวัสดุสามารถนำมาแปลงเป็นความเค้น
 ระนาบเพื่อนำไปใช้ในทฤษฎีพลังงาน สำหรับความเค้นที่จะนำมาพิจารณานั้นแทนด้วยสัญลักษณ์
 σ' (Mises stress)

$$\sigma' = \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \quad (2.12)$$

โดยที่ σ_1, σ_2 และ σ_3 คือ ความเค้นสูงสุดที่เกิดจากความเค้นหลักขององค์ประกอบ
 พื้นฐานทั้ง 3 ด้าน

สำหรับความเค้นหลัก σ_A, σ_B และ 0 สามารถใช้สมการที่ 2.13

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B + \sigma_B^2)^{1/2} \quad (2.13)$$

สำหรับความเค้นระนาบใดๆ

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2} \quad (2.14)$$

เมื่อ σ' คือ Mises stress

σ_x คือ ความเค้นระนาบ X

σ_y คือ ความเค้นระนาบ Y

τ_{xy} คือ ความเค้นเฉือนในระนาบ XY

สำหรับการออกแบบวัสดุใน distortion-energy สามารถหาตัวประกอบความปลอดภัยได้จากสูตร

$$\sigma' = \frac{S_y}{n} \quad (2.15)$$

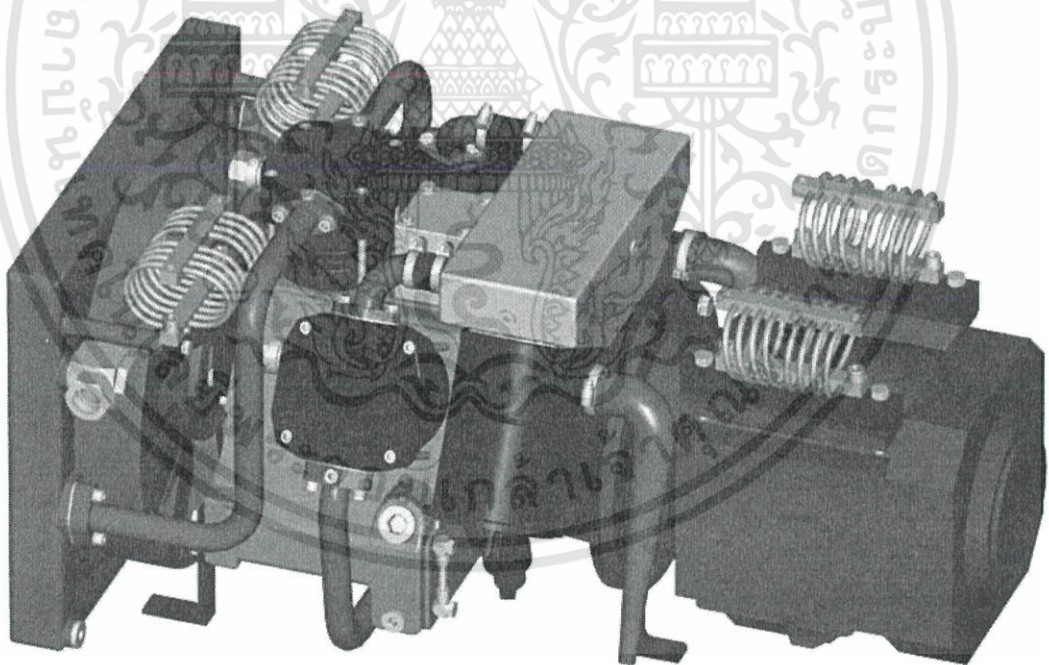
เมื่อ σ' คือ Mises stress
 S_y คือ ความแข็งแรง ณ จุดครากของวัสดุ
 n คือ ตัวประกอบความปลอดภัย

2.10 ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์

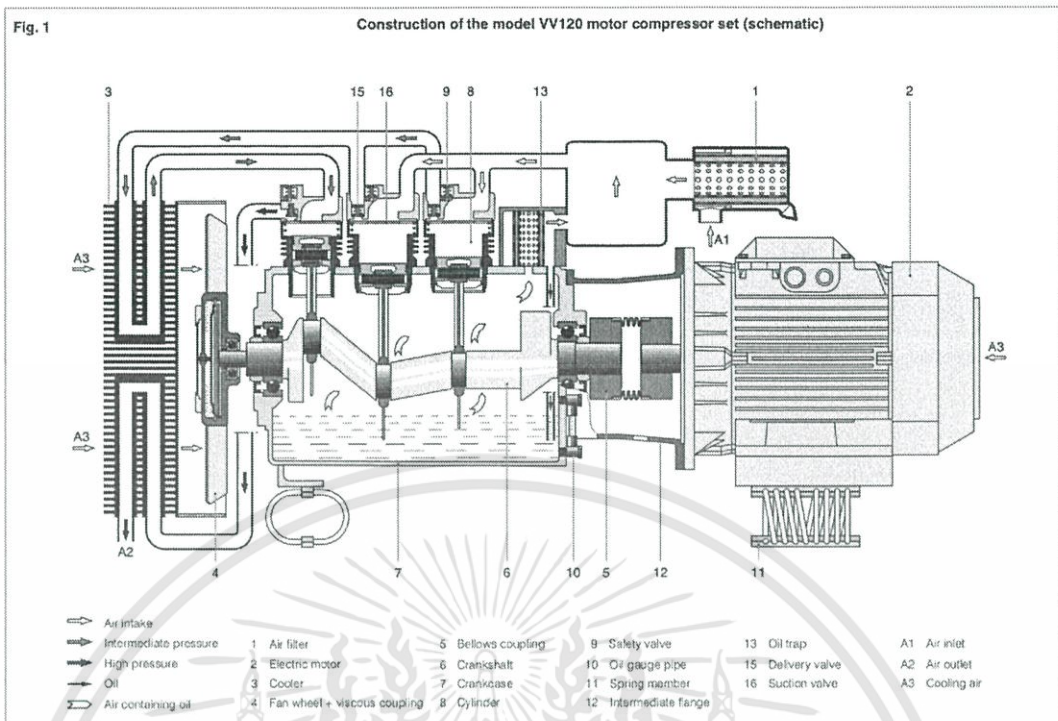
2.10.1 เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบแบบ 2 ชั้นตอน

ข้อมูลทั่วไป

เครื่องอัดอากาศแบบ 3 ลูกสูบ (2 ลูกสูบกำลังอัดต่ำ 1 ลูกสูบกำลังอัดสูง) ถูกวิจัยและพัฒนาโดยบริษัท KNORR-BREMSE ที่ใช้สำหรับในระบบรถไฟโดยเป็นชุดการทำงานของเครื่องอัดอากาศรุ่น VV120



รูปที่ 2.25 แสดงส่วนประกอบของชุดเครื่องอัดอากาศ KNORR-BREMSE รุ่น VV120



รูปที่ 2.26 อุปกรณ์และส่วนประกอบของชุดเครื่องอัดอากาศ KNORR-BREMSE รุ่น WV120

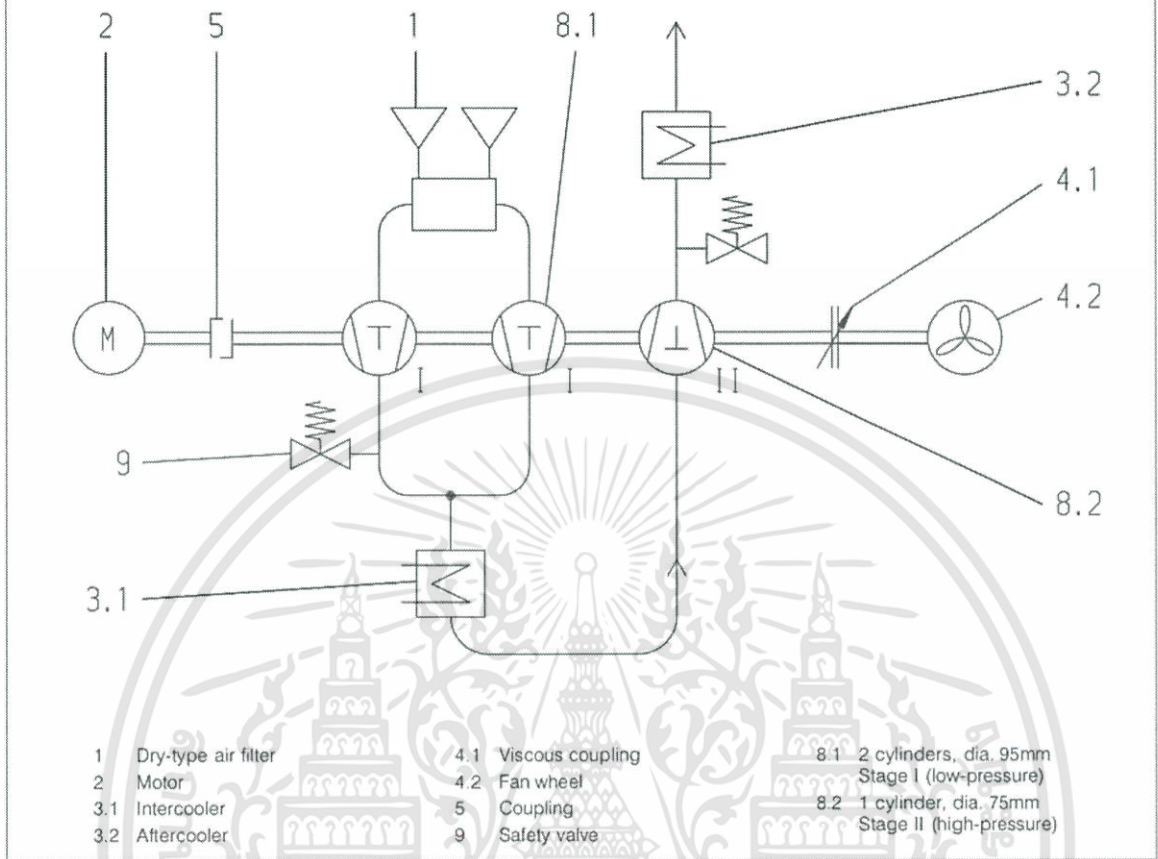
จากรูปที่ 2.25 หากมองจากด้านหน้าของตัวเครื่องตำแหน่งการจัดวางกระบอกสูบนั้นเป็นตัว W โดย 2 ข้างด้านซ้ายและขวาจะเป็นตำแหน่งของลูกสูบกำลังอัดต่ำ และตำแหน่งตรงกลางคือตำแหน่งของลูกสูบกำลังอัดสูง การวางตำแหน่งของวาล์วและส่วนที่อากาศไหลผ่าน ถูกออกแบบมาเพื่อให้มีขนาดที่เหมาะสม ทำให้สามารถลดเสียงรบกวนขณะทำงานได้ดี โดยตัวขนาดของตัวเครื่องมีขนาดเล็กและไม่มีระบบเฟืองทำให้เครื่องทำงานเงียบ และติดตั้งระบบกันสั่นสะเทือน เพื่อช่วยลดแรงกระแทกไปยังที่ตัวฐานรองรับ พัดลมของตัวระบายความร้อนถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่ และสามารถระบายความร้อนได้ดี โดยอากาศที่ออกจากตัวระบายความร้อน จะต้องไม่สูงมากเกินไปจนก่อให้เกิดอุณหภูมิห้อง โดยตัวเครื่องอัดอากาศสามารถขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง 3 เฟส หรือไฮดรอลิคมอเตอร์ ที่ได้รับการออกแบบจาก KNORR-BREMSE เพื่อใช้ในงานด้านที่เกี่ยวข้องกับรถไฟโดยเฉพาะ

การใช้งาน

เครื่องอัดอากาศถูกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนในการทำงาน คือ 2 กระบอกสูบกำลังอัดต่ำ และ 1 กระบอกสูบกำลังอัดสูง โดยที่อยู่ด้านบนของกระบอกสูบคือตำแหน่งของวาล์วทางออก และวาล์วส่ง เริ่มจากอากาศถูกดูดเข้ามาในกระบอกสูบแรงดันต่ำ โดยผ่านตัวกรองเพื่อลดสิ่งปนเปื้อนภายในอากาศ จากนั้นอากาศที่ถูกอัดจะถูกส่งไประบายความร้อน เมื่ออากาศเย็นลงจะถูกส่งไปที่กระบอกสูบแรงดันสูงเพื่อเพิ่มความดันให้ถึงความดันที่ใช้งาน จากนั้นก็นำไประบายความร้อน ก่อนที่จะถูกส่งไปเก็บในถังความดัน

Fig. 2

Air circulation system of motor compressor set VV120 (schematic)



C 15101/2

รูปที่ 2.27 ภาพแสดงการทำงานอย่างง่ายของชุดเครื่องอัดอากาศ KNORR-BREMSE รุ่น VV120

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศ	
รุ่น	VV120
โครงสร้าง	3 กระบอกสูบ ตำแหน่งการวางแบบ W
ลูกสูบกำลังอัดต่ำ	2 กระบอกสูบ เส้นผ่านศูนย์กลาง 95 มิลลิเมตร
ลูกสูบกำลังอัดสูง	1 กระบอกสูบ เส้นผ่านศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร
ระยะชัก	60 มิลลิเมตร
ระบบระบายความร้อน	ระบายความร้อนโดยใช้ intercooler
ระบบหล่อลื่น	ชนิดฉีดพ่น
อัตราการใช้น้ำมันหล่อลื่น	น้อยกว่า 1 มิลลิลิตรต่อ 1 ชั่วโมงในการใช้งาน
ปริมาณน้ำมันหล่อลื่น (มากที่สุด/น้อยสุด)	3.7 ลิตร / 1.5 ลิตร

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลจำเพาะของชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนและเครื่องอัดอากาศ

ชุดมอเตอร์และเครื่องอัดอากาศ	
ช่วงของความเร็รรอบ	1000 ถึง 1800 รอบต่อนาที
ความเร็รรอบที่ใช้งาน	1450 / 1750 รอบต่อนาที ²⁾
ความดันสูงสุดที่สามารถสร้างได้ในทางออก	10 บาร์
อัตราการไหลของอากาศทางเข้า	920 / 1120 ± 5% ลิตรต่อนาที ^{2) 3)}
พลังงานที่ใช้	6.5 / 8.3 ± 6% kW
อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการใช้งาน	-40°C ถึง +50 °C
ความถี่ในการเปิดเครื่องใช้งาน	สูงสุด 30 ครั้งต่อชั่วโมง
ความดังของเครื่องขณะใช้งาน	68 เดซิเบล ที่ 1450 รอบต่อนาที ⁴⁾ 78 เดซิเบล ที่ 1750 รอบต่อนาที ⁵⁾
น้ำหนัก ¹⁾	158 กิโลกรัม
ความยาว ¹⁾	937.5 มิลลิเมตร
ความกว้าง ¹⁾	520 มิลลิเมตร
ความสูง ¹⁾	462 มิลลิเมตร

1) ใช้มอเตอร์ 3 เฟส ขนาดมาตรฐาน KB/04 -132M

4) ที่ระยะ 4.6 เมตร

2) วาล์ว 2 ตัว ที่ 50/60 เฮิร์ต 3 เฟส

5) ที่ระยะ 1 เมตร

3) ที่ความดันกลับ 10 บาร์

การติดตั้ง

พื้นที่การติดตั้งชุดมอเตอร์และเครื่องอัดอากาศ ควรจะติดตั้งในพื้นที่ที่สามารถระบายอากาศได้ดี เพื่อใช้ในการระบายความร้อนของตัวเครื่อง โดยจะต้องเหลือพื้นที่เพียงพอสำหรับทั้ง 2 ด้านของเครื่องอัดอากาศเพื่อให้สามารถเปลี่ยนชุดตัวกรองอากาศและชิ้นส่วนอุปกรณ์อื่นๆ และจะต้องติดตั้งในพื้นที่ที่สามารถมองเห็น ตำแหน่งของน้ำมันหล่อลื่นได้อย่างชัดเจน

ขณะที่เครื่องอัดอากาศทำงานนั้นจะเกิดการสั่นสะเทือนเล็กน้อย เพื่อลดการสั่นสะเทือนควรทำตามขั้นตอนดังนี้

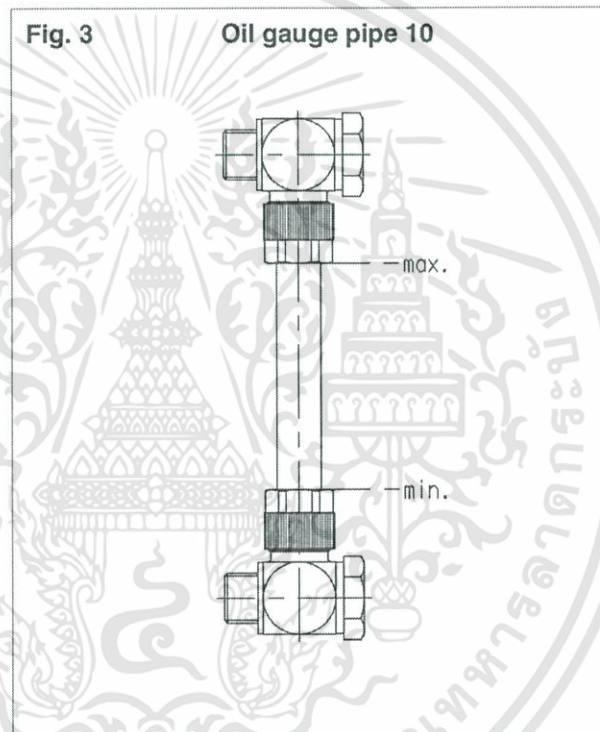
- อุปกรณ์ตัวยึดของฐานเครื่องควรทำจากวัสดุที่คงรูปได้ดี
- โครงสร้างของตัวเครื่องควรมีการตรวจสอบเพื่อหลีกเลี่ยงการสั่นพ้อง
- ท่อส่งอากาศต้องมีความยืดหยุ่นเพียงพอ เพื่อป้องกันการสั่นที่อาจเกิดขึ้น

การทดสอบระบบ

หลังจากที่ทำการติดตั้งชุดเครื่องอัดอากาศแล้ว ควรจะทำการตรวจสอบระดับน้ำมันหล่อลื่น

การเติมน้ำมันหล่อลื่น ทำตามขั้นตอนดังนี้

- ถอดสกรูสองตัวที่อยู่ทางด้านบนออก จากนั้นถอดสกรูถ่ายน้ำมันเครื่องด้านล่างออก โดยสกรูจะอยู่ทั้ง 2 ด้านของตัวเครื่อง
- ชันสกรูด้านล่างให้แน่น แล้วเติมน้ำมันหล่อลื่นเข้าไป ให้ถึงระดับสูงสุดของตัววัดระดับน้ำมันหล่อลื่น โดยจะต้องเติมทั้ง 2 ด้านของตัวเครื่อง

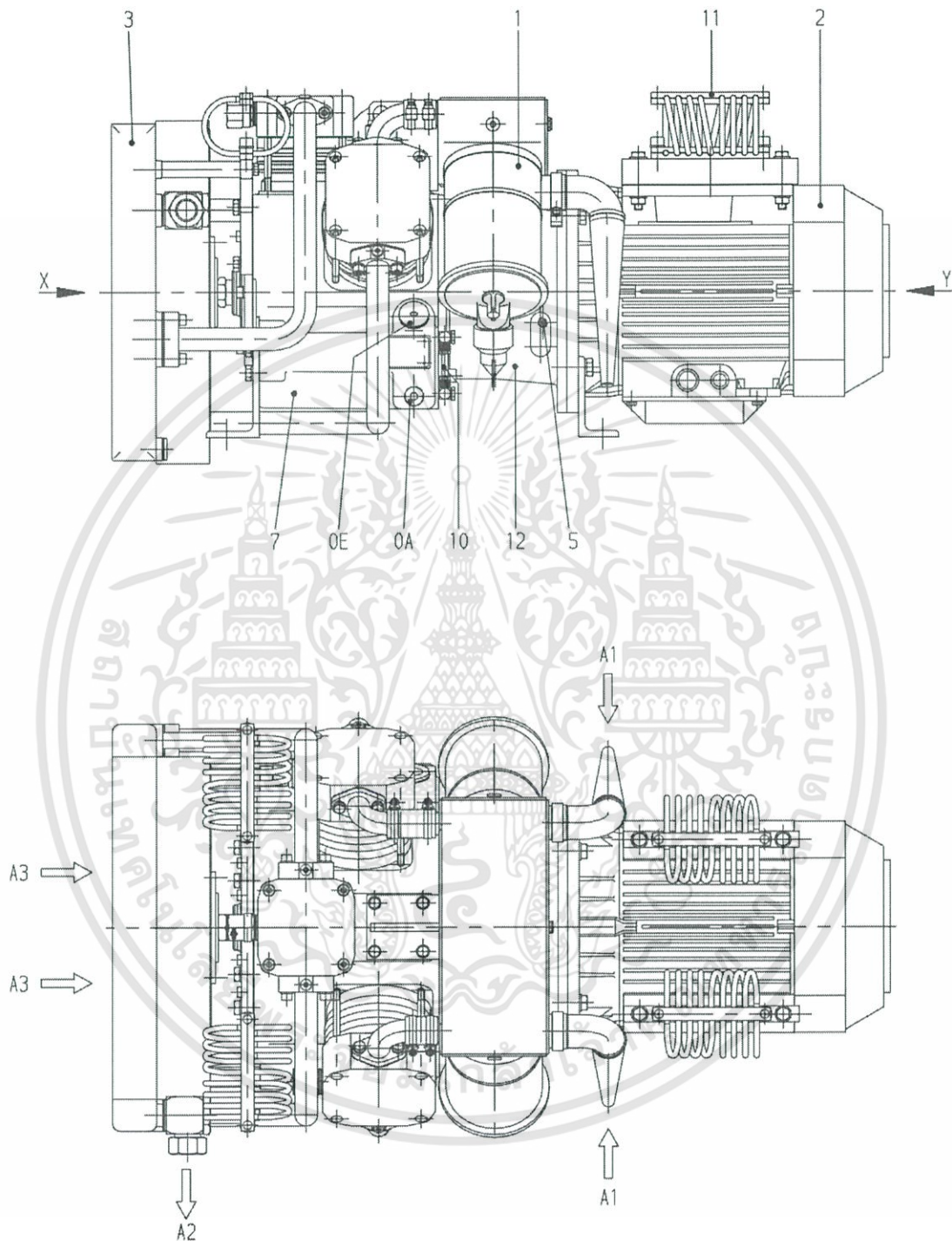


รูปที่ 2.28 ก้านวัดระดับน้ำมันหล่อลื่น

หลังจากทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นจะต้องทำการทดสอบการทำงาน เช่น การสตาร์ทเครื่อง, การหมุน ฯลฯ จากนั้นเช็คครวยรั่วตามประเก็น เพื่อป้องกันการรั่วซึมของอากาศ

Fig. 4

Motor compressor set VV120



- 1 Air filter and intake silencer
- 2 Electric motor
- 3 Cooler
- 5 Coupling

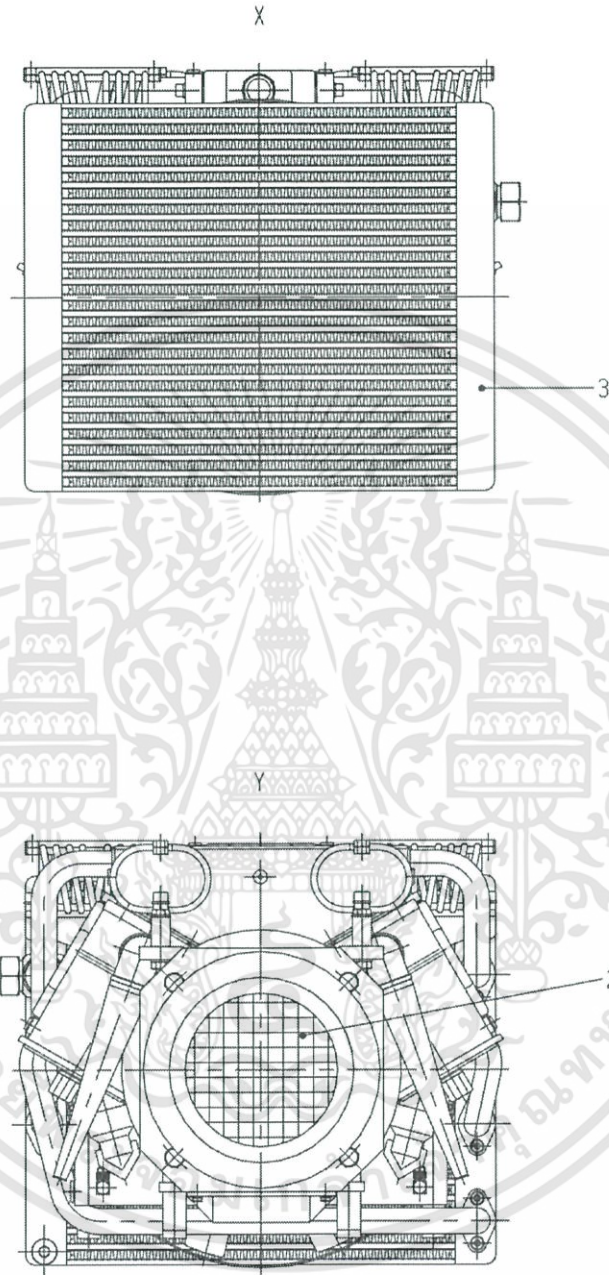
- 7 Crankcase
- 10 Oil gauge pipe
- 11 Spring member
- 12 Intermediate flange

- A1 Air inlet
- A2 Air outlet
- A3 Cooling air
- OA Oil drain plug
- OE Oil filler plug

รูปที่ 2.29 ภาพ 2 มิติด้านข้างและด้านบนของชุดมอเตอร์และเครื่องอัดอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 4 (continued)

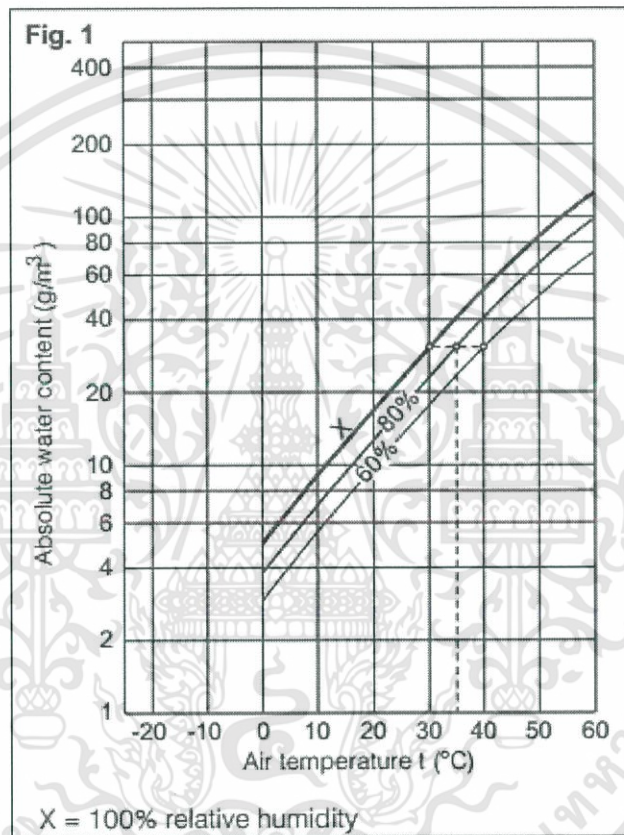


รูปที่ 2.30 ภาพ 2 มิติด้านหน้าและด้านหลังของชุดมอเตอร์และเครื่องอัดอากาศ

2.10.2 เครื่องทำลมแห้งชนิด 2 ถัง (Dual-chamber air dryer unit)

ความชื้นหรือไอน้ำในระบบอัดอากาศ บ่อยครั้งที่เป็เหตุทำให้อุปกรณ์ของระบบลมอัดเกิดการทํางานที่ผิดปกติ และมีอายุการใช้งานที่สั้นลง เป็นเหตุมาจากการกัดกร่อนและการแข็งตัวของไอน้ำในระบบอัดอากาศ

เครื่องทำลมแห้ง KNORR รุ่น LTZ015 ชนิด 2 ถัง สามารถลดระดับความชื้นหรือไอน้ำภายในระบบให้อยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ ซึ่งโดยทั่วไปอากาศโดยรอบตัวนั้นประกอบไปด้วยน้ำ ซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นหรือไอน้ำ



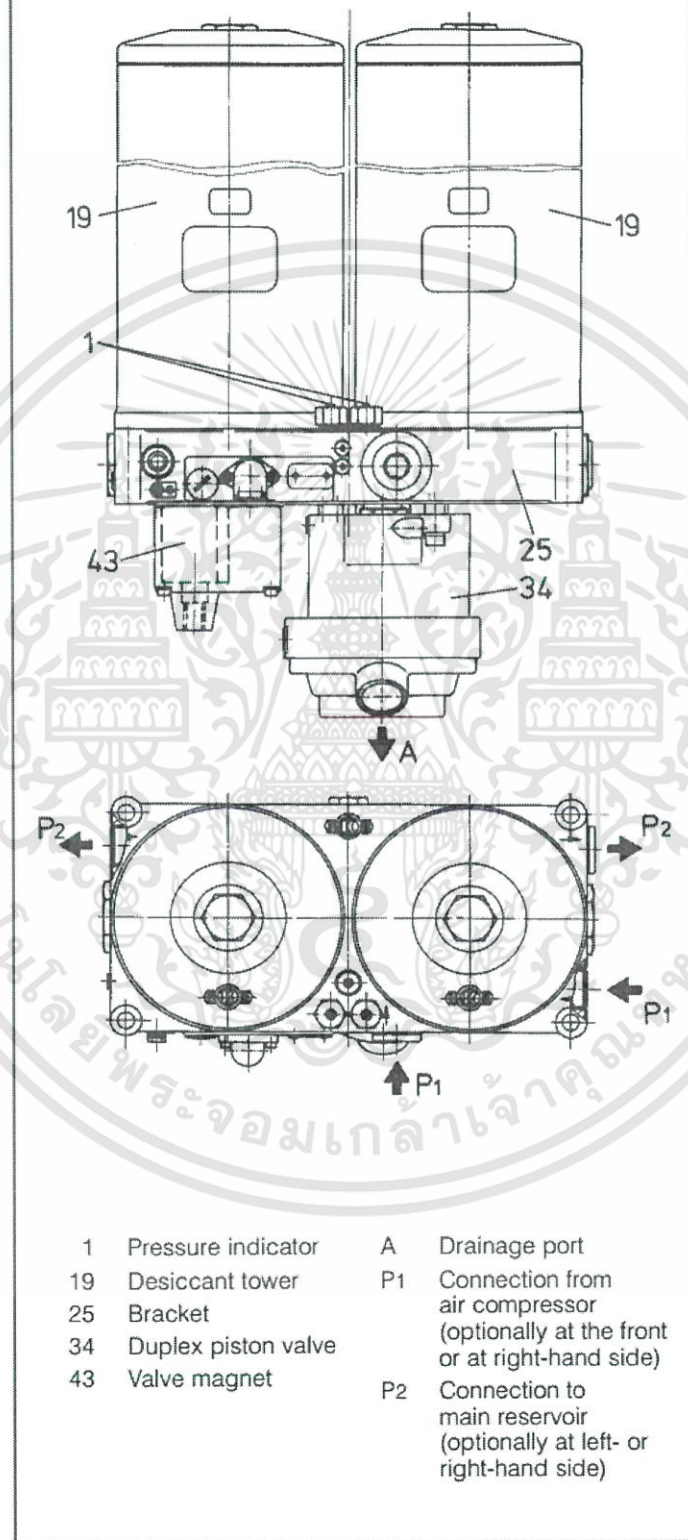
รูปที่ 2.31 กราฟแสดงปริมาณของไอน้ำในอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ

จากรูปที่ 2.30 กราฟแสดงถึงปริมาณไอน้ำในอากาศโดยที่เส้นอิ่มตัว (saturation line ; 100% relative humidity) ถ้าหากปริมาณไอน้ำในอากาศเพิ่มขึ้นหรืออุณหภูมิของอากาศต่ำลง จะทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำ อย่างไรก็ตามระบบอัดอากาศจะทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพจะต้องมีอากาศที่แห้งหรือมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 35%

เครื่องทำลมแห้ง ทำงานโดยไร้ตัวให้ความร้อนสำหรับกระบวนการฟื้นฟูเม็ดสารดูดความชื้น ซึ่งถูกใช้ในระบบลมอัดของรถไฟหรือระบบที่ต้องการความพร้อมในการใช้งานที่สูง โดยมีกระบวนการการดูดความชื้น ซึ่งให้อากาศที่ถูกอัดไหลผ่านเม็ดสารดูดความชื้น โดยเม็ดสารดูดความชื้นที่ใช้คือ crystalline metal aluminosilicates ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของ molecular structure ที่โครงสร้างภายในมีขนาดใหญ่ ที่สามารถให้โมเลกุลของน้ำหรือความชื้นไหลผ่านไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 2 Air dryer unit LTZ 015...

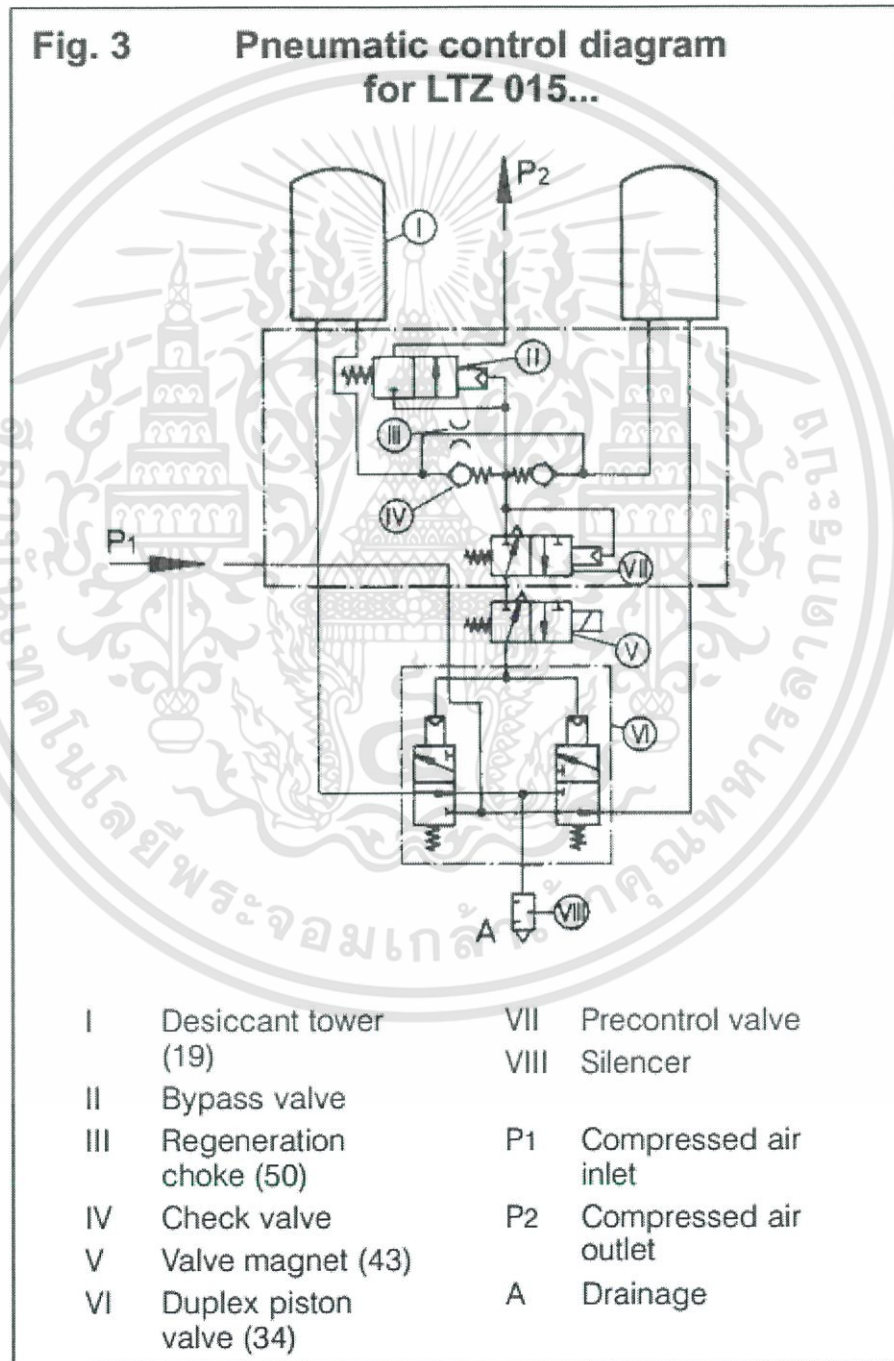


รูปที่ 2.32 เครื่องทำลมแห้ง KNORR-BREMSE รุ่น LTZ-015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของเครื่องทำลมแห้ง LTZ-015

- 2 ถังสำหรับใส่เม็ดสารดูดความชื้น(19) โดยที่แต่ละถังจะมีตัวดักน้ำมัน
- Bracket(25) ประกอบด้วย regeneration choke และวาล์วต่างๆ
- Duplex piston valve(34) ที่มีการติดตั้งตัวระบายอากาศออกจากระบบและตัวควบคุมอุณหภูมิ
- valve magnet(43) and an electrical board สำหรับการนับเวลาในแต่ละรอบการทำงาน



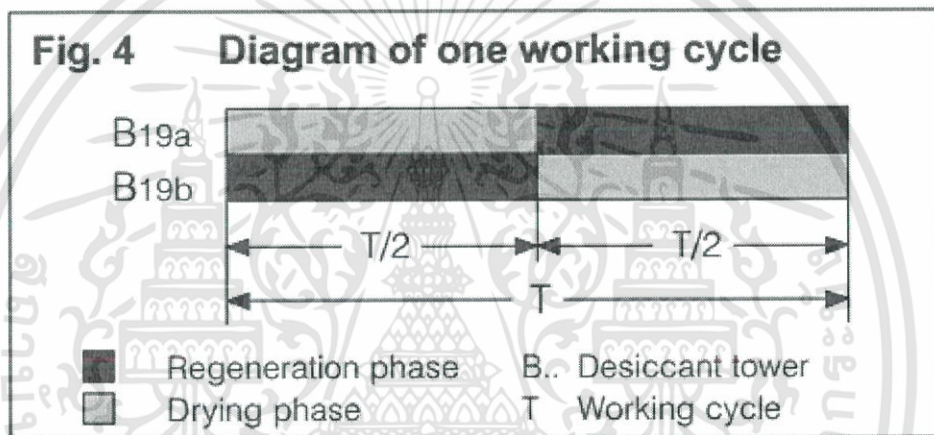
รูปที่ 2.33 แผนผังการทำงานของชุดเครื่องทำลมแห้ง LTZ-015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการทํางาน

เครื่องทําลมแห้งชนิดเม็ดสารดูดความชื้น 2 ถัง แบบกระบวนการการฟื้นฟูเม็ดสารดูดความชื้น โดยไม่ใช้ความร้อน ซึ่ง 2 กระบวนการทั้งดูดความชื้นและการฟื้นฟูเม็ดสารดูดความชื้นนั้นทํางานพร้อมกันคนละถัง

อากาศที่มีความชื้นถูกอัดจนความดันสูง ไหลผ่านเครื่องดักน้ำและน้ำมัน จากนั้นไหลผ่านถึงแรกที่เป็นกระบวนการดูดความชื้นออกจากอากาศ ซึ่งออกมาจะต้องมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 35% จากนั้นอากาศจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปเก็บในถังความดันสูงซึ่งมีปริมาณมาก และส่วนน้อยของอากาศจะถูกแยกไหลไปที่อีกถังที่เป็นกระบวนการการฟื้นฟูเม็ดสารดูดความชื้น



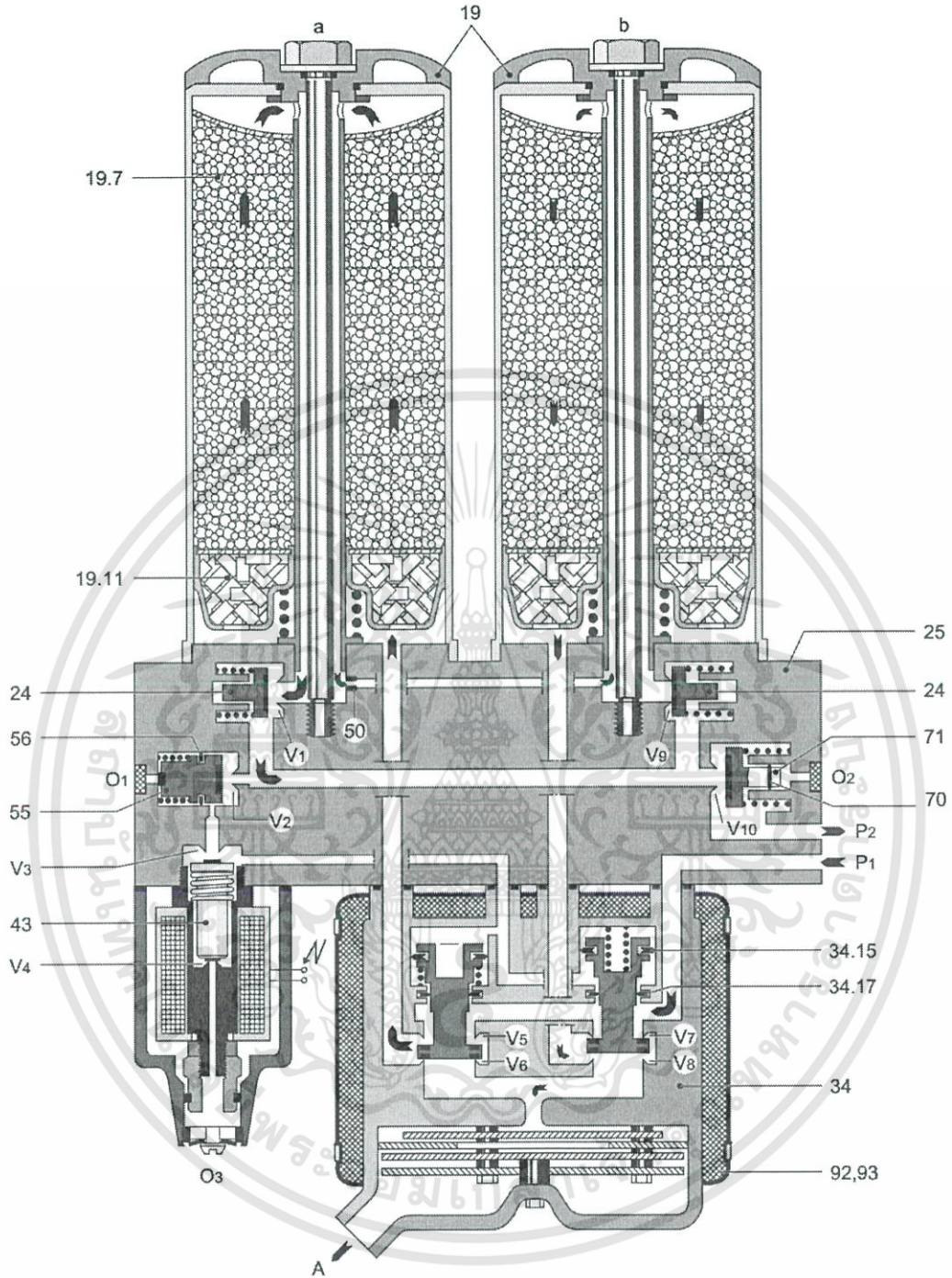
รูปที่ ข- 1 การทํางานของกระบวนการ Drying และ Regeneration

การทํางานในแต่ละรอบ

ใน 1 รอบของการทํางานจากรูปที่ เวลาในการเปิด-ปิดของวาล์วหมายเลข 43 จะถูกตั้งไว้ โดยมีระยะเวลาที่แน่นอน เมื่อเครื่องอัดอากาศหยุดทํางานชั่วคราว ตัวนับเวลาจะจำค่าเวลาเดิมที่นับได้ในการทํางานรอบก่อนหน้า จากนั้นถ้าเครื่องอัดอากาศ กลับมาทํางานอีกครั้ง ตัวนับเวลา จะทํากการนับเวลาต่อจากเดิม เพื่อป้องกันความชื้นเกินพิกัดที่สารดูดความชื้นจะรับได้

Fig. 5

Dual-chamber air dryer unit LTZ 015... (schematic)



- | | | | | | |
|-------|---------------------------------------|--------|-----------------------------|-----|-----------------------------------|
| 19 | Reservoir | 43 | Valve magnet | A | Drainage port |
| 19.7 | Desiccant | 50 | Regeneration choke | O.. | Exhaust port |
| 19.11 | Oil separator bowl with Raschig rings | 55 | Piston for precontrol valve | P1 | Air inlet port from compressor |
| 24 | Valve cone for check valve | 56 | KNORR K-ring | P2 | Air outlet port to main reservoir |
| 25 | Bracket | 70 | KNORR K-ring | V.. | Valve seat |
| 34 | Duplex piston valve | 71 | Valve head for bypass valve | | |
| 34.15 | KNORR K-ring | 92, 93 | Insulators (on LTZ 015..H) | | |
| 34.17 | KNORR K-ring | | | | |

รูปที่ 2.34 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่องทำลมแห้งรุ่น LTZ-015

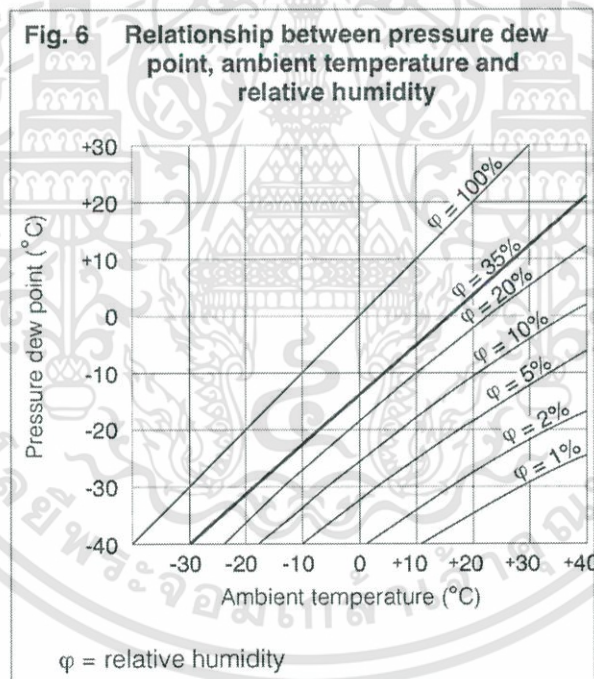
อัตราการทำงานของเครื่องดูดความชื้น

ถึงดูดความชื้นและถึงพื้นฟูสารทำความชื้น โดยอากาศแห้งจะต้องมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ต่ำกว่า 35% เสมอ ซึ่งประสิทธิภาพของการทำงานของเครื่องทำอากาศแห้งนั้นขึ้นอยู่กับ ปริมาณของเม็ดสารดูดความชื้น, ปริมาตรของอากาศที่ใช้ในการฟื้นฟูเม็ดสารดูดความชื้น ซึ่งมีปัจจัยดังนี้

- ปริมาณอากาศที่อัดผ่านเครื่องอัดอากาศ
- ความดันที่ออกจากเครื่องอัดอากาศ
- อุณหภูมิของอากาศขาเข้า
- Ambient temperature limit
- วัฏจักรของการทำงาน

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเม็ดสารดูดความชื้นกับปริมาณของอากาศที่ต้องใช้ในการฟื้นฟูเม็ดสารดูดความชื้นนั้นสามารถปรับให้มีความเหมาะสมได้ที่สภาวะต่างๆ

การติดตั้งเครื่องทำลมแห้งนั้นไม่ควรที่จะติดตั้งในที่ที่มีอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมต่ำเกินไป เนื่องจากเครื่องทำลมแห้งถูกออกแบบมาให้ทำงานในที่ที่มีอุณหภูมิเกิน 10 C



รูปที่ 2.35 ความสัมพันธ์ระหว่าง pressure dew point, อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์

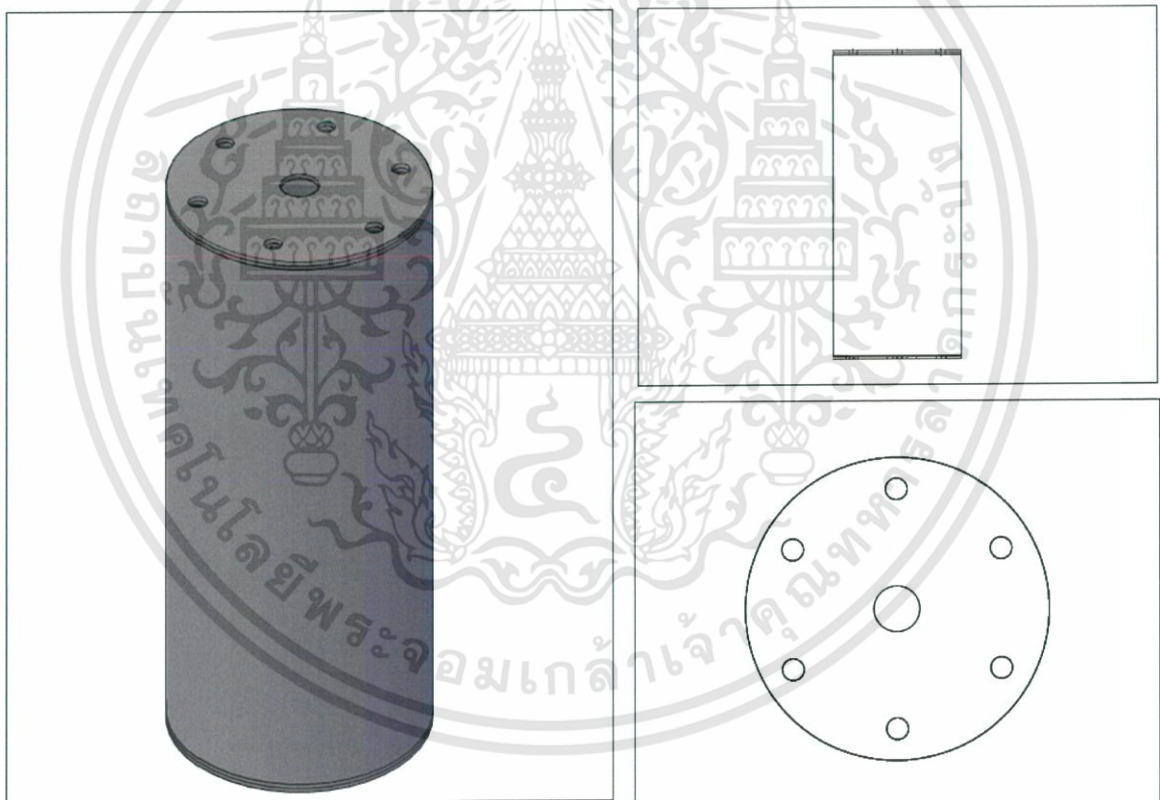
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

Desiccant air dryer เป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการกำจัดความชื้นภายในระบบลมอัด โดยติดตั้งเข้ากับระบบลมอัด ซึ่งสารดูดความชื้นที่ใช้ในระบบเป็นประเภท Molecular sieve

3.1 การออกแบบขนาดถัง

การออกแบบถังความดัน โดยทั่วไปจะออกแบบให้เป็นรูปทรงทรงกระบอก หรือทรงกลม เพื่อรองรับความดันของลมที่สูง เนื่องจากถังทรงกระบอก หรือทรงกลมจะกระจายแรงดันออกทางด้านข้างได้สม่ำเสมอกว่าถังรูปทรงอื่นๆ



รูปที่ 3.1 การออกแบบและภาพ isometric มุมด้านข้างและมุมบน ของเครื่องทำลมแห้ง

โดยการออกแบบขนาดของถัง air dryer นั้นอ้างอิงจากขนาดของถัง จากบริษัท KNORR-BREMSE ที่ถังมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เซนติเมตรมีความสูง 23 เซนติเมตร ซึ่งมีจำนวน 2 ถัง



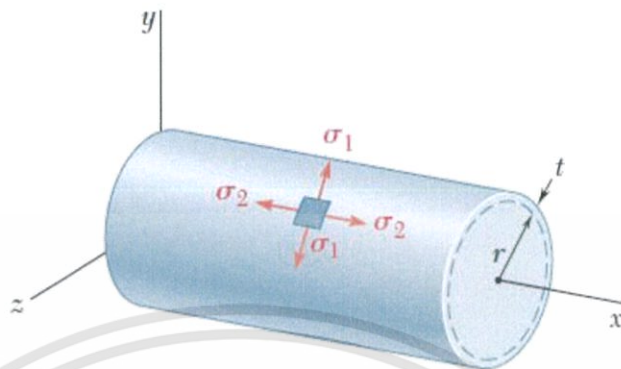
รูปที่ 3.2 ถัง air dryer ของ KNOOR-BREMSE

การออกแบบขนาดถังนั้นจะเริ่มต้นจากการเลือกของตัวถังที่จะนำมาใช้ โดยเลือกขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็ก ให้มีขนาดใกล้เคียงกับต้นแบบ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 18 เซนติเมตร

วัสดุที่จะนำมาใช้ทำถังเครื่องทำลมแห้งนั้น เป็นท่อเหล็กทรงกระบอก AISI 1045 S45C, G10450 เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15.5 เซนติเมตร ความสูง 45 เซนติเมตร หนา 4 มิลลิเมตร

3.2 การคำนวณความหนาของถังของเครื่องทำลมแห้ง [2]

คิดที่ความหนาของถัง 2 มิลลิเมตร



กำหนดให้ $\sigma_1 = \sigma_y = \text{hoop stress}$
 $\sigma_2 = \sigma_x = \text{longitudinal stress}$

จากสมการที่ (2.10) และ (2.11)

$$\sigma_y = \frac{pr}{t}$$

$$\sigma_x = \frac{pr}{2t}$$

คิดที่ความดัน 15 บาร์ ($p = 15 \text{ bar.}$) หรือ 1.5 เมกะปาสกาล(1.5 MPa)

โดยคิดที่ความหนาของถัง 2 มิลลิเมตร ($t = 2 \text{ mm.}$)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังมีค่าเท่ากับ 15.5 เซนติเมตร ($r = 7.75 \text{ cm.}$)

คำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นตามแนวแกน X

$$\sigma_x = \frac{pr}{2t} = \frac{(1.5 \cdot 10^6) \cdot (7.75 \cdot 10^{-2})}{2 \cdot (2 \cdot 10^{-3})}$$

$$\sigma_x = 29.1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

จากการคำนวณ longitudinal stress ที่เกิดขึ้นตามแนวแกน X มีความเค้นตาม

แนวแกนเท่ากับ 29.1 เมกะปาสกาล

คำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นตามแนวแกน Y

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t} = \frac{(1.5 \cdot 10^6) \cdot (7.75 \cdot 10^{-2})}{2 \cdot 10^{-3}}$$

$$\sigma_y = 58.1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

จากการคำนวณ hoop stress ที่เกิดขึ้นตามแนวแกน Y มีความเค้นตาม

แนวแกนเท่ากับ 58.1 เมกะปาสกาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณโดยใช้ทฤษฎีความเสียหายนั้น จะใช้ทฤษฎีพลังงานหรือ Distortion energy เนื่องจากในด้านการออกแบบวัสดุหรือเครื่องจักรนั้น ทฤษฎีพลังงานนั้นมีความครอบคลุมมากกว่า สามารถใช้กับงานออกแบบทั่วไปได้ดี

คำนวณด้วยทฤษฎีความเสียหาย Distortion-energy [8]

เนื่องจาก σ_x และ σ_y ต่างเป็นความเค้นหลักจึงใช้สมการที่ (2.13)

$$\sigma_A = \sigma_x = 29.1 * 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_B = \sigma_y = 58.1 * 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A\sigma_B + \sigma_B^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = ((29.1)^2 - (29.1 * 58.1) + (58.1)^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = 50.3 \text{ MPa}$$

จากการคำนวณด้วยทฤษฎีความเสียหาย Distortion-energy ทำให้ทราบค่าความเค้นผสมที่เกิดขึ้นบนผิวของถังความดันมีค่าเท่ากับ 50.3 เมกะปาสกาล

คำนวณหาตัวประกอบความปลอดภัยของการทำถังความดัน

ใช้ท่อเหล็กทรงกระบอก AISI 1045 S45C, G10450 ที่ผ่านกระบวนการผลิตแบบรีดร้อน มีความเค้น ณ จุดคราก เท่ากับ 310 MPa

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

$$50.3 = \frac{310}{n}$$

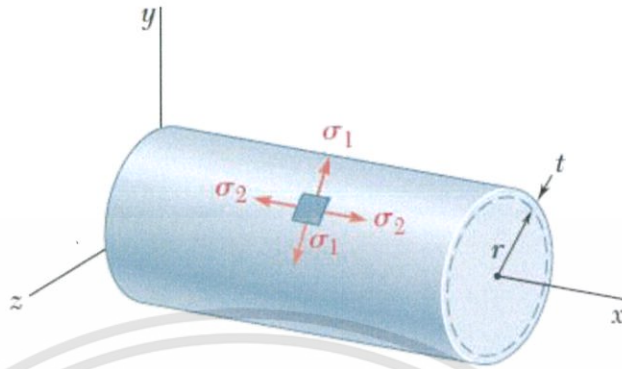
$$n = \frac{310}{50.3} = 6.16$$

ถังความดันขนาด 15 บาร์ ที่ความหนาขนาด 2 มิลลิเมตร มีค่าตัวประกอบความปลอดภัยเท่ากับ 6.16

ความหนาของตัวถังเครื่องทำลมแห้งที่ 2 มิลลิเมตร มีค่าที่เพียงพอ จากค่าของตัวประกอบความปลอดภัยมีค่าเกิน 1 แต่เนื่องจากการจัดหาวัสดุที่จะนำมาใช้ทำถังเครื่องทำลมแห้งนั้น ไม่มีท่อเหล็กทรงกระบอกที่ความหนา 2 มิลลิเมตร ต้องทำการสั่งซื้อ ซึ่งส่งผลให้มูลค่าของเหล็กนั้นสูง อีกทั้งยังใช้ในปริมาณที่น้อย ทางวิศวกรผู้ดูแล จึงเลือกที่จะใช้ท่อเหล็กทรงกระบอก AISI 1045 S45C, G10450 เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15.5 เซนติเมตร ความสูง 45 เซนติเมตร หนา 4 มิลลิเมตร

คิดที่ความหนาของถัง 4 มิลลิเมตร [2]

ความหนาของเหล็กที่นำมาใช้ทำตัวถังเครื่องทำลมแห้งมีค่าเท่ากับ 4 มิลลิเมตร



กำหนดให้ $\sigma_1 = \sigma_y = \text{hoop stress}$
 $\sigma_2 = \sigma_x = \text{longitudinal stress}$

จากสูตร $\sigma_y = \frac{pr}{t}$
 $\sigma_x = \frac{pr}{2t}$

คิดที่ความดัน 15 บาร์ (p = 15 bar.) หรือ 1.5 เมกะปาสคาล(1.5 MPa)

โดยคิดที่ความหนาของถัง 4 มิลลิเมตร (t = 4 mm.)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังมีค่าเท่ากับ 15.5 เซนติเมตร (r = 7.75 cm.)

คำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นตามแนวแกน X

$$\sigma_x = \frac{pr}{2t} = \frac{(1.5 \cdot 10^6) \cdot (7.75 \cdot 10^{-2})}{2 \cdot (4 \cdot 10^{-3})}$$

$$\sigma_x = 14.5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

จากการคำนวณ longitudinal stress ที่เกิดขึ้นตามแนวแกน X มีความเค้นตามแนวแกนเท่ากับ 14.5 เมกะปาสคาล

คำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นตามแนวแกน Y

$$\sigma_1 = \frac{pr}{t} = \frac{(1.5 \cdot 10^6) \cdot (7.75 \cdot 10^{-2})}{4 \cdot 10^{-3}}$$

$$\sigma_y = 29.1 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

จากการคำนวณ hoop stress ที่เกิดขึ้นตามแนวแกน Y มีความเค้นตามแนวแกนเท่ากับ 29.1 เมกะปาสคาล

คำนวณด้วยทฤษฎีความเสียหาย Distortion-energy [8]

เนื่องจาก σ_x และ σ_y ต่างเป็นความเค้นหลักจึงใช้สมการที่ (2.13)

$$\sigma_A = \sigma_x = 14.5 * 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_B = \sigma_y = 29.1 * 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A\sigma_B + \sigma_B^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = ((14.5)^2 - (14.5 * 29.1) + (29.1)^2)^{1/2}$$

$$\sigma' = 25.2 \text{ MPa}$$

จากการคำนวณด้วยทฤษฎีความเสียหาย *Distortion-energy* ทำให้ทราบค่าความเค้นผสมที่เกิดขึ้นบนผิวของถังความดันมีค่าเท่ากับ 25.2 เมกะปาสคาล

คำนวณหาตัวประกอบความปลอดภัยของการทำถังความดัน

ใช้ท่อเหล็กทรงกระบอก AISI 1045 S45C, G10450 ที่ผ่านกระบวนการผลิตแบบรีดร้อน มีความเค้น ณ จุดคราก เท่ากับ 310 MPa

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

$$25.2 = \frac{310}{n}$$

$$n = \frac{310}{25.2} = 12.2$$

ถังความดันขนาด 15 บาร์ ที่ความหนาขนาด 4 มิลลิเมตร มีค่าตัวประกอบความปลอดภัยเท่ากับ 12.2

3.3 การประกอบเครื่องทำลมแห้ง

ก่อนที่จะทำการสร้างเครื่องทำลมแห้ง จะมีการออกแบบขนาดของตัวเครื่อง ตำแหน่งการติดตั้ง และการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน โดยใช้โปรแกรม Autocad ในการออกแบบเครื่องทำลมแห้ง



รูปที่ 3.3 รูป isometric ของเครื่องทำลมแห้งสมบูรณ์ ที่จะนำไปติดตั้งกับระบบ



รูปที่ 3.4 ภาพตัดขวางของเครื่องทำลมแห้งสมบูรณ์ ที่จะนำไปติดตั้งกับระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ขนาด มิติ ของถังเครื่องทำลมแห้งแล้ว จากนั้นจัดหาซื้อวัสดุที่จะนำมาใช้ทำถังเครื่องทำลมแห้ง ดังนี้

- ถังทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในขนาด 15.5 เซนติเมตร ความสูง 45 เซนติเมตร หนา 4 มิลลิเมตร
- แผ่นเหล็กวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 16 เซนติเมตร หนา 3 มิลลิเมตร จำนวน 3 แผ่น
- แผ่นเหล็กวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 21 เซนติเมตร หนา 3 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น



รูปที่ 3.5 วัสดุที่ใช้ทำเครื่องทำลมแห้ง

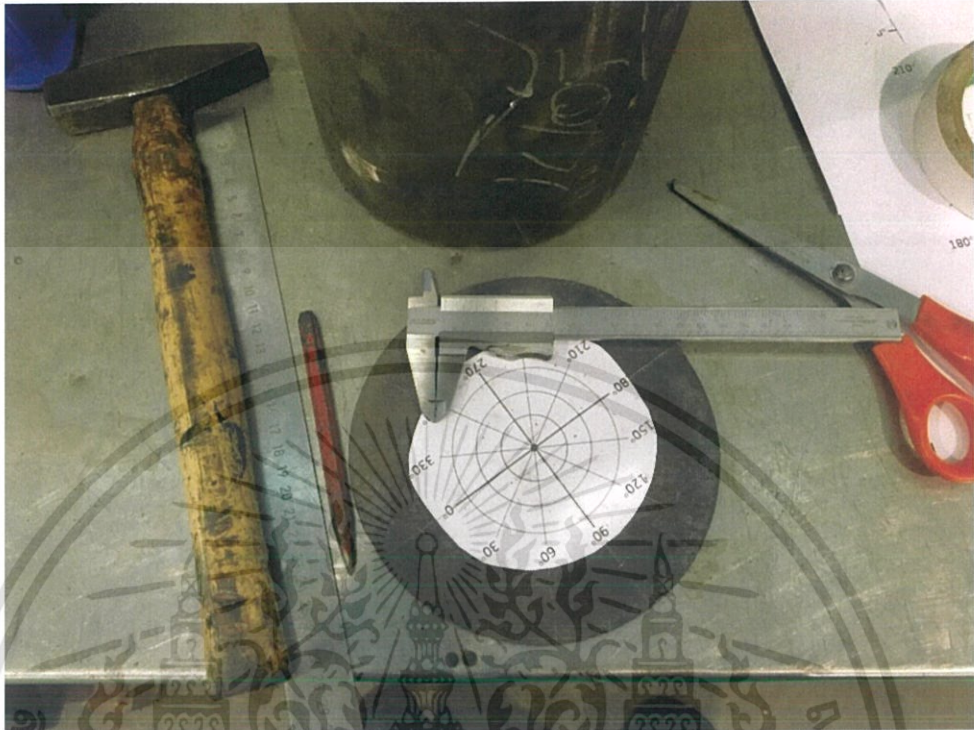
จากนั้นทำความสะอาดชิ้นส่วนหรือวัสดุที่จะใช้ทำเครื่องทำลมแห้ง และทำการเจียรขอบของโลหะ โดยเครื่องเจียรไฟฟ้า เพื่อลดรอยคมและทำให้ผิวของโลหะเรียบเสมอกันมากขึ้น



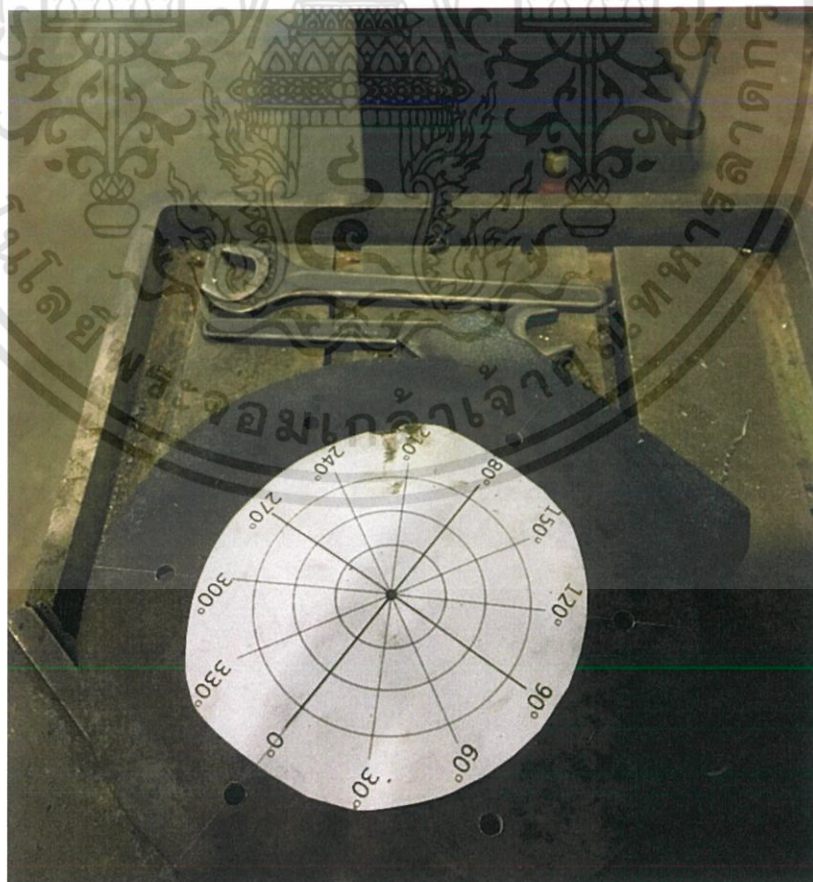
รูปที่ 3.6 เจียรขอบของโลหะเพื่อลดรอยคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำแผ่นเหล็กวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 16 เซนติเมตร จำนวน 2 แผ่น มาเจาะรู สำหรับใส่น็อตยึดแผ่นฝาปิดบนล่างของทรงกระบอก โดยทำการเจาะเป็นจำนวนทั้งหมด 6 รู

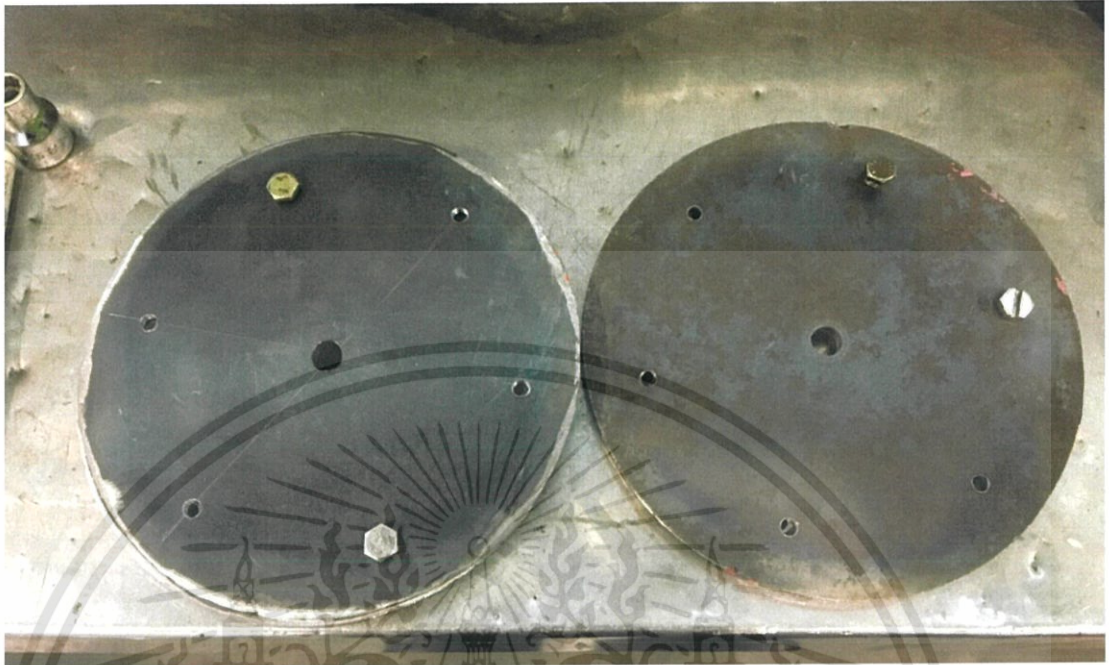


รูปที่ 3.7 การแบ่งมุมสำหรับการเจาะรูที่ฝา



รูปที่ 3.8 เจาะรูโดยใช้เครื่อง Column drilling machine สำหรับการเจาะรู เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการตีปเกลียวที่รูด้วยเกลียวขนาด M6 แล้วยึดแผ่นทั้ง 2 แผ่นเข้าด้วยกัน ก่อนที่จะนำไปกลึง



รูปที่ 3.9 ยึดแผ่นฝาปิดทรงกระบอกด้วยน็อต

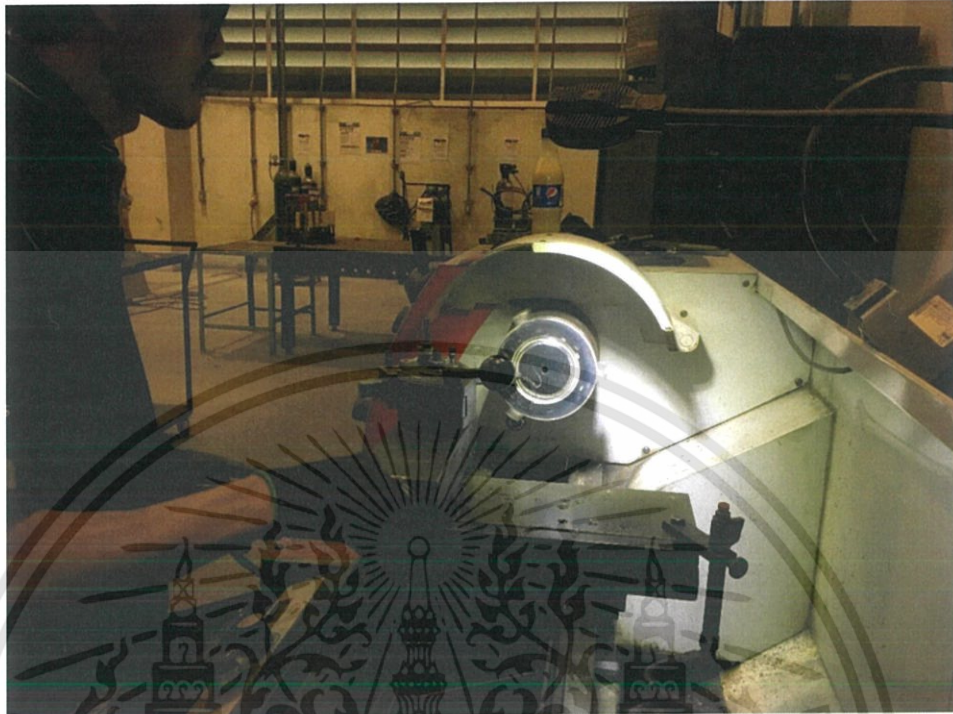
หลังจากที่ทำการยึดแผ่นโลหะเข้าด้วยกันแล้ว จากนั้นก็นำชิ้นงานที่ได้ไปทำการกลึงด้วยเครื่องกลึง โดยทำการกลึงเพื่อที่จะให้ฝาปิดเครื่องทำลมแห้งนั้นมีความกลมและให้ฝาทั้ง 2 แผ่นมีความกลมและผิวด้านข้างเรียบ ก่อนที่จะนำไปเชื่อมติดกับเหล็กทรงกระบอก



รูปที่ 3.10 กลึงฝาปิดเครื่องทำลมแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อฝาปิด ผ่านการกลึง ฝาปิดจะมีความกลมมากขึ้น และมีผิวที่เรียบขึ้น จากนั้น ทำการคว้านรูฝาปิด 1 แผ่น



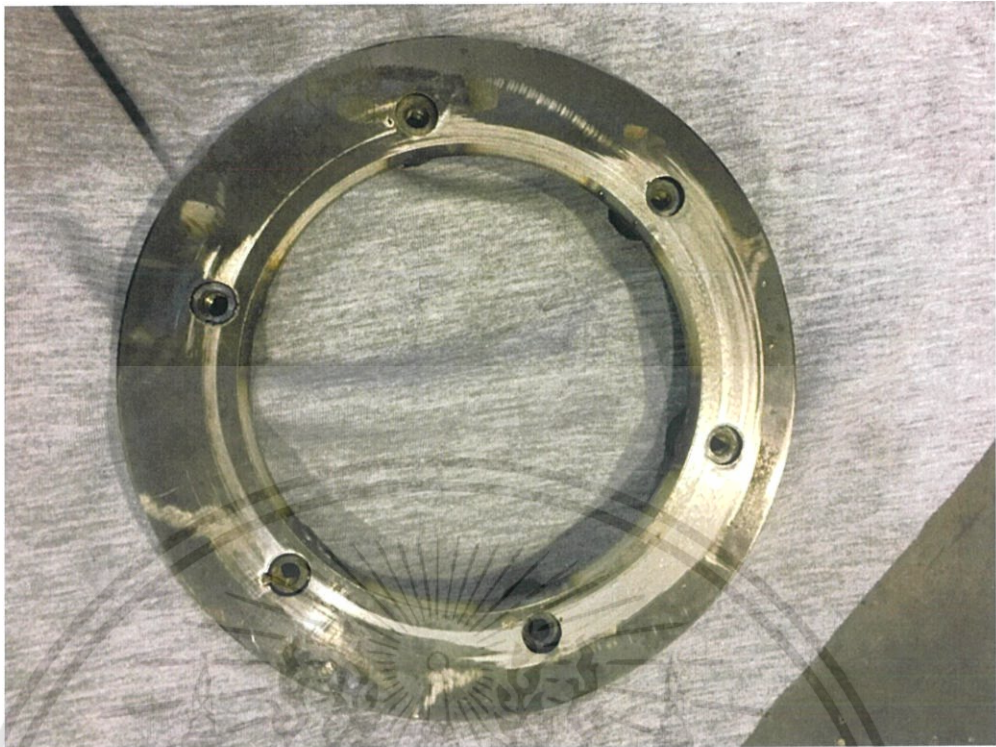
รูปที่ 3.11 การคว้านรูฝาปิด

หลังจากที่ทำการคว้านรูให้ใหญ่ขึ้นแล้ว จากนั้นก็นำฐานยึดน็อตมาทำการเชื่อมเข้ากับรูสำหรับใส่น็อตจำนวน 6 ตัว จากนั้นทำการทำเกลียวสำหรับใส่น็อต เพื่อไว้ใช้ในการยึดแผ่นฝาปิดเครื่องทำลมแห้งเข้าด้วยกัน



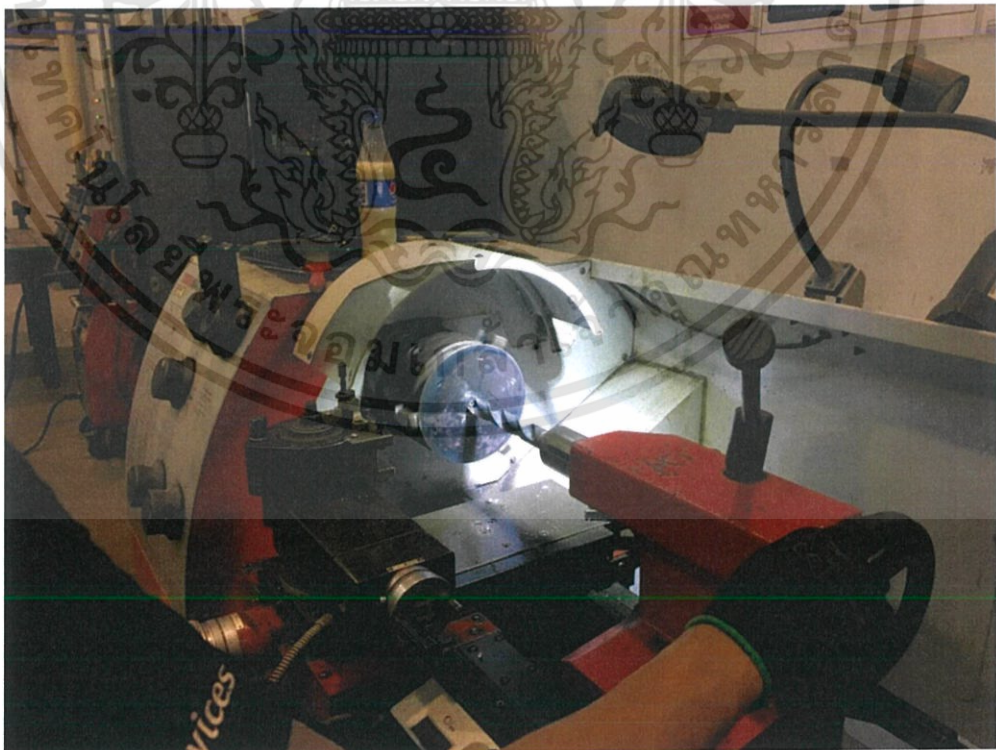
รูปที่ 3. 12 การเชื่อมฐานยึดน็อตเข้ากับแผ่นฝาปิดเครื่องทำลมแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การเชื่อมรูไว้สำหรับใส่น็อตยึดฝาปิดเครื่องทำลมแห้ง

นำแผ่นเหล็กวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 16 เซนติเมตร 2 แผ่น ทำการขยายรูเจาะ เพื่อที่จะนำไปติดตั้งเข้ากับท่อลมในระบบลมและทำการเจาะรูเพื่อให้อากาศไหลผ่าน



รูปที่ 3.14 การขยายรูเจาะ

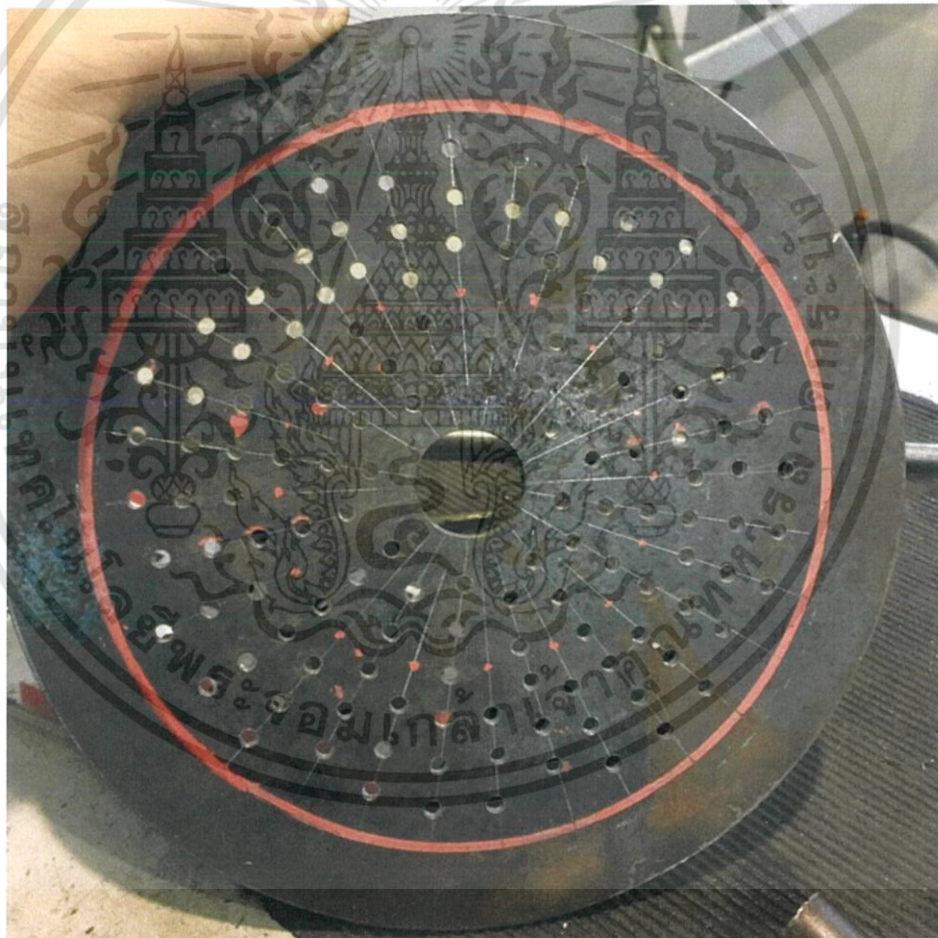
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเจาะรูสำหรับเป็นทางให้อากาศไหลผ่านนั้น จะทำการเจาะโดยใช้ดอกสว่านเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 มิลลิเมตรในการเจาะ

เริ่มจากการขีดเส้นเจาะ โดยทำการลากเส้นหลักที่จะใช้ในการเจาะจำนวน 16 เส้น จากนั้นใช้เหล็กมาร์ค ระบุตำแหน่งที่จะทำการเจาะ โดยเส้นหลักเจาะรูแรกห่างจากรูกกลาง 1 เซนติเมตร เจาะจำนวน 6 รู เจาะจนครบทั้ง 16 เส้นหลัก

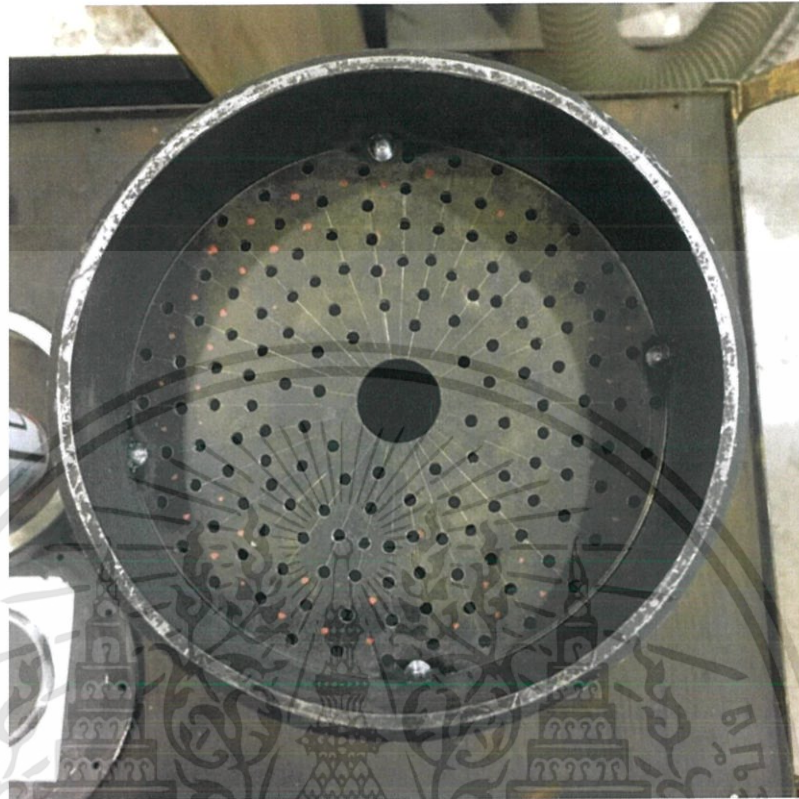
จากนั้นทำการลากเส้นรอง ที่อยู่ระหว่างเส้นหลักทั้ง 16 เส้น แล้วเริ่มเจาะที่รูแรกห่างจากรูกกลาง 1.5 เซนติเมตร และรูถัดไปห่างกันรูละ 1 เซนติเมตร เจาะจำนวน 3 รู

ข้อควรระวังในการเจาะรู การเจาะรูนั้นเป็นการลดปริมาณเนื้อเหล็กทำให้ความแข็งแรงของเหล็กที่นำมาใช้นั้นลดลง ไม่ควรเจาะรูมากเกินไป เพราะทำให้ต่อนนำเหล็กไปจับบนปากกาแล้วเจาะรูด้วยสว่านแทน เหล็กจะเกิดการบิดงอได้ง่าย



รูปที่ 3.15 การเจาะรูแผ่นเหล็กเพื่อให้อากาศไหลผ่าน

จากนั้นทำการตัดขอบของแผ่นเหล็ก เพื่อนำไปใส่ในถังและทำการเชื่อมแผ่นโลหะติดกับถังเครื่องทำลมแห้ง จากนั้นทำการเชื่อมแผ่นยึดฝาปิด



รูปที่ 3.16 การเชื่อมแผ่นเหล็กเข้ากับถังทรงกระบอก(ด้านบน)



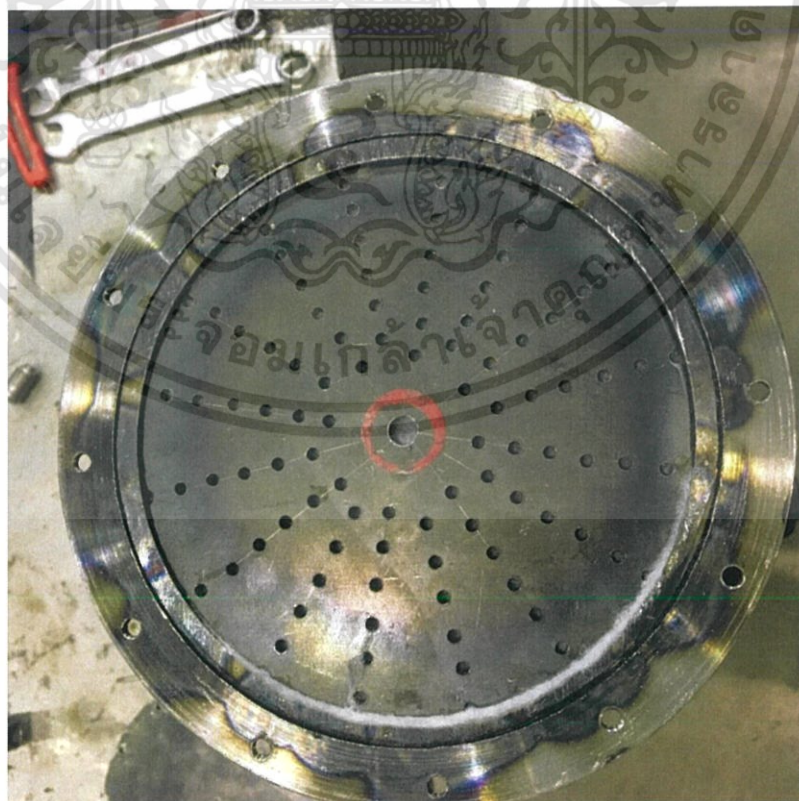
รูปที่ 3.17 การเชื่อมแผ่นยึดฝาปิดเครื่องทำลมแห้ง(ด้านล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำแผ่นเหล็กวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 21 เซนติเมตร จำนวน 1 แผ่น ทำการคว้านรูเพื่อนำไปเชื่อมติดกับถังเครื่องทำลมแห้ง



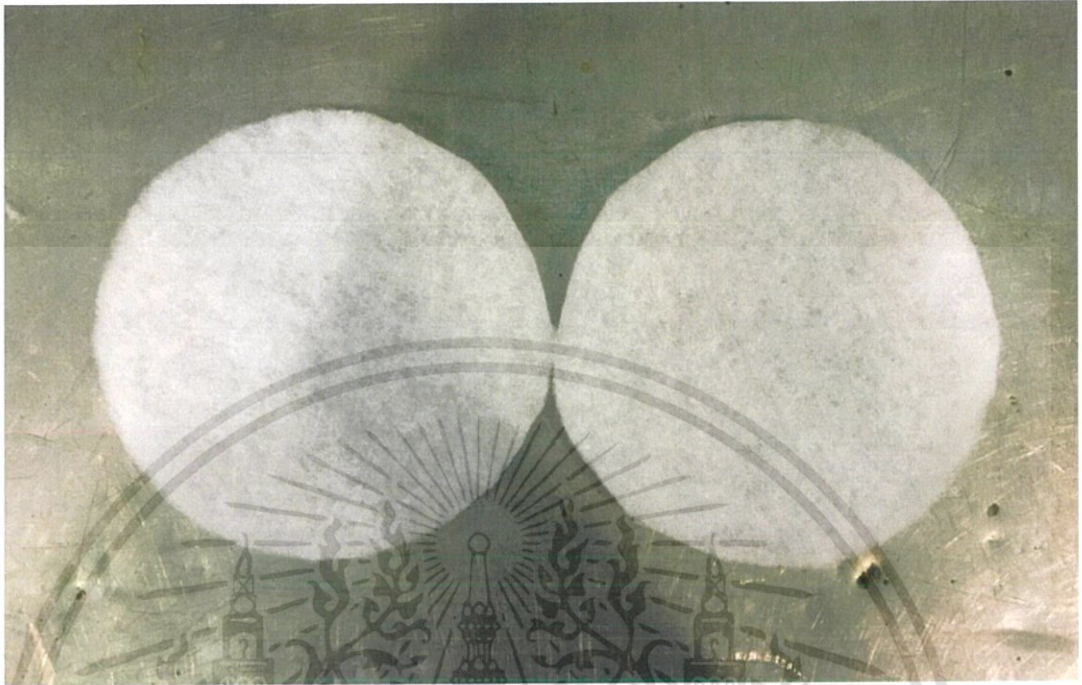
รูปที่ 3.18 คว้านรูแผ่นเหล็ก



รูปที่ 3.19 เชื่อมแผ่นเหล็กกับถังเครื่องทำลมแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการตัดตัวกรองอากาศเป็นแผ่นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 15.5 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการกรองอากาศสำหรับทางเข้าและทางออกของเครื่องทำลมแห้ง



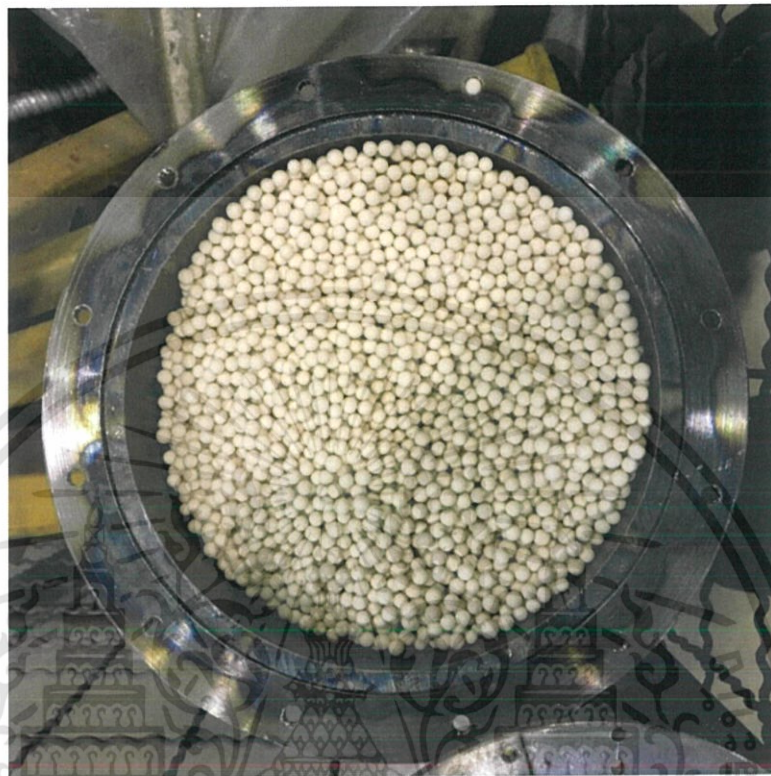
รูปที่ 3.20 ตัวกรองอากาศสำหรับทางเข้าและทางออกของเครื่องทำลมแห้ง
ทำการตัดปะเก็นเพื่อป้องกันรอยรั่วระหว่างแผ่นเหล็กที่ประกบกัน



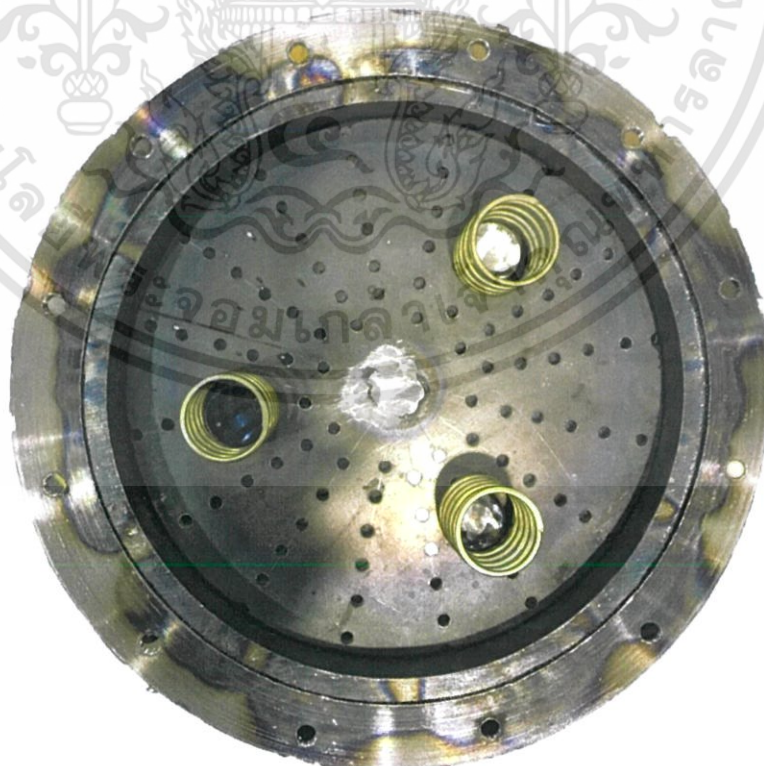
รูปที่ 3.21 ปะเก็นสำหรับป้องกันรอยรั่วระหว่างรอยต่อของแผ่นเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันแล้ว เทเม็ตสารดูดความชื้นลงไปในถังของเครื่องทำลมแห้ง จากนั้นปิดด้วยฝาแผ่นเหล็กและตัวกรองอากาศ โดยฝาปิดด้านทางออกนั้นจะติดสปริงไว้ เพื่อกดให้เม็ตสารดูดความชื้นนั้นแน่นอยู่ตลอดเวลา



รูปที่ 3.22 เม็ตสารดูดความชื้น molecular sieve



รูปที่ 3.23 การติดสปริงไว้ที่แผ่นปิดทางด้านทางออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการตัดแต่งทองแดง เป็นชิ้น ชิ้นละ 1 เซนติเมตร เพื่อนำไปใส่ในช่องทางเข้า(ด้านล่าง) ของถังเครื่องทำลมแห้ง เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวดักความชื้นและไอน้ำมันในอากาศในทางเข้า (Raschig rings)



รูปที่ 3.24 ท่อทองแดงที่นำมาตัดเพื่อดักน้ำที่ทางเข้าของเครื่องทำลมแห้ง ทำการปิดฝาเครื่องทำลมแห้ง โดยขันน็อตให้แน่น เพื่อป้องกันการรั่วไหล จากนั้นทำการติดตั้งวาล์วและท่อต่างๆ เข้ากับเครื่องทำลมแห้ง ก่อนที่จะนำไปติดตั้งกับระบบ



รูปที่ 3.25 การติดตั้งวาล์วและท่อเข้ากับเครื่องทำลมแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องทำลมแห้งที่ทำการติดตั้งตัวลดเสียงในด้านทางออก เพื่อจะนำไปใช้ในการทดสอบในการลดความชื้นของอากาศ ก่อนที่จะนำเข้าสู่ถังเก็บอากาศ



รูปที่ 3.26 เครื่องทำลมแห้งที่ประกอบจนเสร็จสมบูรณ์



รูปที่ 3.27 การติดตั้งเครื่องทำลมแห้งเข้ากับเครื่องอัดอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทดสอบการทำงานของเครื่องทำลมแห้ง

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดความชื้น

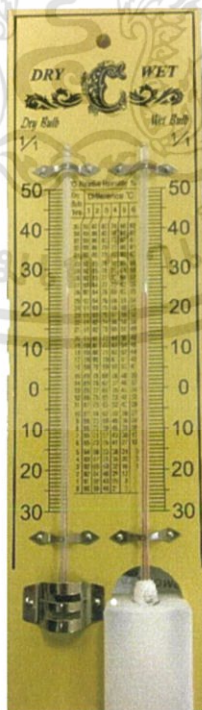
การติดตั้งเครื่องทำลมแห้งเข้ากับเครื่องอัดอากาศนั้น มีจุดประสงค์เพื่อที่จะลดความชื้นของอากาศที่เข้ามาในระบบ โดยความชื้นที่เข้ามาในระบบเมื่อมีการควบแน่นแล้วจะส่งผลเสียต่อชิ้นส่วนและอุปกรณ์ภายในระบบ เช่น วาล์ว ถังเก็บลม ท่อ ฯลฯ โดยในการทดสอบการทำงานของเครื่องทำลมแห้งจะใช้ตัววัดความชื้นในการเก็บค่าของข้อมูล โดยใช้เครื่องมือดังนี้

1. Psychrometer KIMO HD100



รูปที่ 3.28 เครื่องวัดความชื้น KIMO HD100

2. เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง



รูปที่ 3.29 เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การวัดความชื้น

ใช้เครื่องมือวัดวัดค่าความชื้นที่ทางออก เพื่อทดสอบการทำงานของเครื่องทำลมแห้งที่ทำขึ้น เทียบกับเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE โดยเก็บค่าของความชื้นที่วัดได้จาก Psychrometer และ เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแห้งและกระเปาะเปียก โดยแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 วัดอุณหภูมิและความชื้นที่ออกจากเครื่องอัดอากาศ

ขั้นตอนที่ 2 วัดอุณหภูมิและความชื้นที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE

ขั้นตอนที่ 3 วัดอุณหภูมิและความชื้นที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งที่ทำขึ้นซึ่งทางออก fully open

ขั้นตอนที่ 4 จำลองการทำงานของเครื่องทำลมแห้งบริษัท KNORR-BREMSE

ในขั้นตอนที่ 4 นั้นทำเสมือนให้เปรียบเทียบการทำงานของเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE ที่มี 2 ถังลม สลับการทำงานระหว่าง Drying phase และ Regeneration phase โดยเครื่องทำลมแห้งบริษัท KNORR-BREMSE จะทำการปิดวาล์วจนกระทั่งความดันในถังถึง 5 บาร์เพื่อให้อากาศสัมผัสกับกับเม็ดสารดูดความชื้นได้นานขึ้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานเครื่องทำลมแห้ง ซึ่งเครื่องทำลมแห้งที่สร้างขึ้นจะจำลองการทำงานของเครื่องทำลมแห้งบริษัท KNORR-BREMSE โดยทำการหรีวาล์วหรือลดอัตราการไหลของอากาศที่ทางออก

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัยและอภิปรายผล

จากการทดลองการทำงานของเครื่องลดความชื้นหรือเครื่องทำลมแห้งที่ทำขึ้น โดยทำการทดลองเทียบกับเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE ซึ่งใช้เครื่องมือวัดความชื้น 2 แบบ คือ Psychrometer และเทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง โดยเก็บค่าของอุณหภูมิและความชื้น แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 วัดอุณหภูมิและความชื้นที่ออกจากเครื่องอัดอากาศ

ขั้นตอนที่ 2 วัดอุณหภูมิและความชื้นที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE

ขั้นตอนที่ 3 วัดอุณหภูมิและความชื้นที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งที่ทำขึ้น

ขั้นตอนที่ 4 จำลองการทำงานเครื่องทำลมแห้งบริษัท KNORR-BREMSE

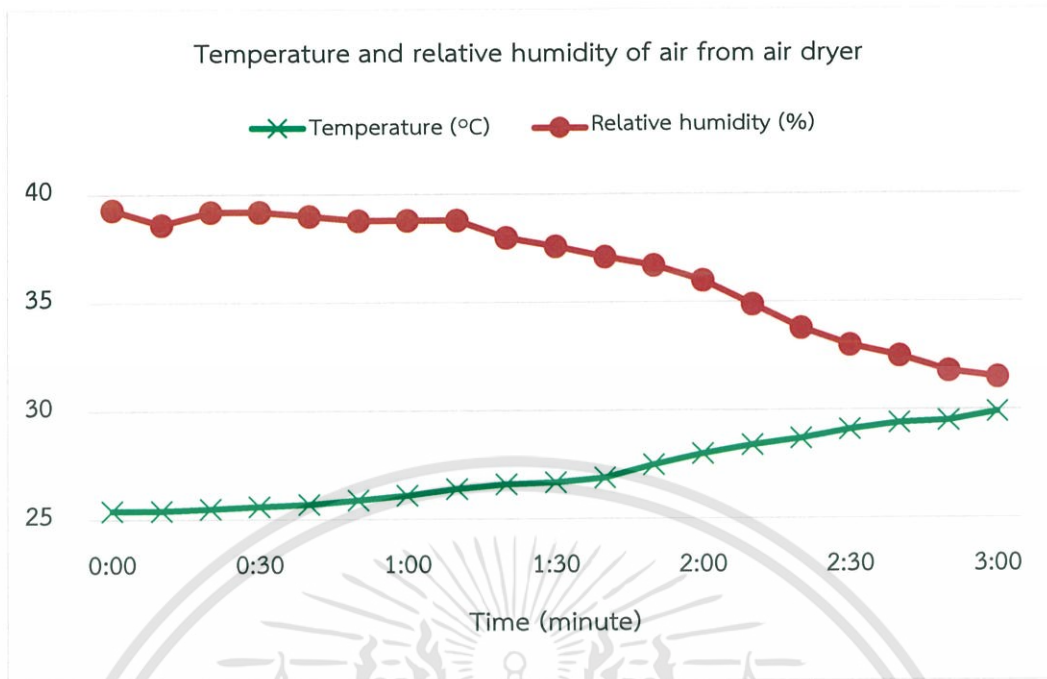
ขั้นตอนที่ 1 วัดอุณหภูมิและความชื้นภายในห้อง Overhaul ศูนย์ซ่อมบำรุงรถไฟใต้ดิน พระราม 9 เวลา 14.30 อุณหภูมิในห้องทดสอบ 24 °C ความชื้น 50% จากนั้นทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นที่ทางออกของเครื่องอัดอากาศ ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 23.7 °C และ 54.3% ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 2 ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE

Time(sec)	Temperature (°C)	%RH	Time(sec)	Temperature (°C)	%RH
0:00	25.4	39.3	1:40	26.9	37.1
0:10	25.4	38.6	1:50	27.5	36.7
0:20	25.5	39.2	2:00	28	36
0:30	25.6	39.2	2:10	28.4	34.9
0:40	25.7	39	2:20	28.7	33.8
0:50	25.9	38.8	2:30	29.1	33
1:00	26.1	38.8	2:40	29.4	32.5
1:10	26.4	38.8	2:50	29.5	31.8
1:20	26.6	38	3:00	29.9	31.5
1:30	26.7	37.6			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

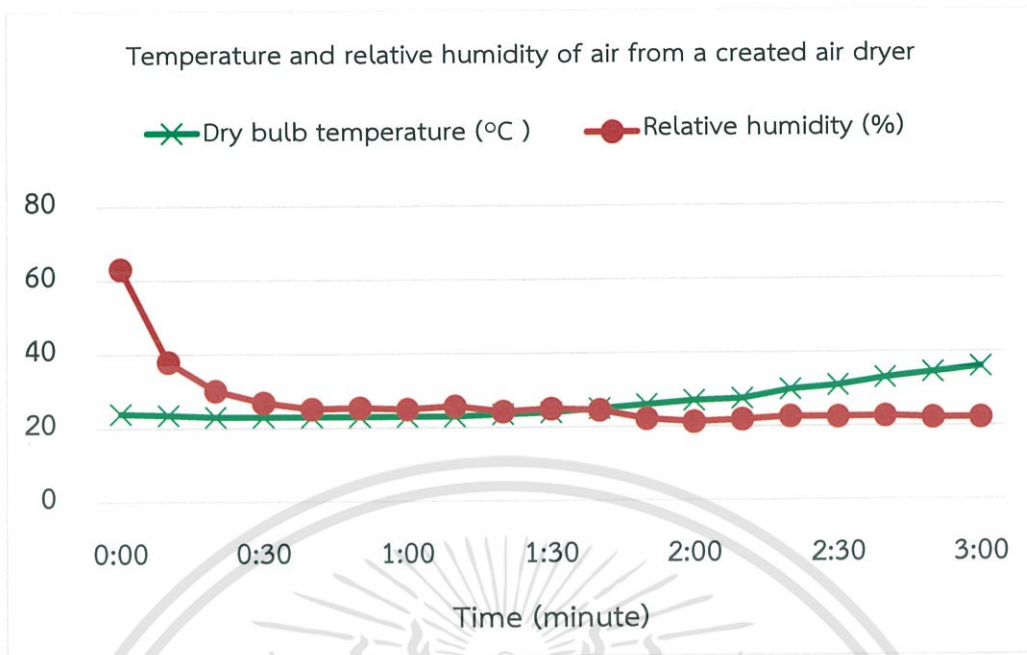


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE

ข้อมูลจากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าการทำงานของเครื่องทำลมแห้งนั้นจะลดความชื้นในระบบลดเมื่อเวลาผ่านไป 2 นาที ความชื้นสัมพัทธ์สามารถลดลงได้ต่ำกว่า 35%

ขั้นตอนที่ 3 ทำการวัดอุณหภูมิและความชื้นที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งที่ทำการขึ้นตารางที่ 4.2 อุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งที่ทำการขึ้น

Time (sec)	Dry bulb Temperature (°C)	%RH	Time (sec)	Dry bulb Temperature (°C)	%RH
0:00	24	63.2	1:40	25	24.6
0:10	23.5	38	1:50	26	22.1
0:20	23	30.1	2:00	27	21.3
0:30	23	26.9	2:10	27.5	21.9
0:40	23	25.2	2:20	30	22.7
0:50	23	25.4	2:30	31	22.5
1:00	23	25	2:40	33	22.7
1:10	23	25.8	2:50	34.5	22.2
1:20	23.5	24.3	3:00	36	22.2
1:30	24	25			

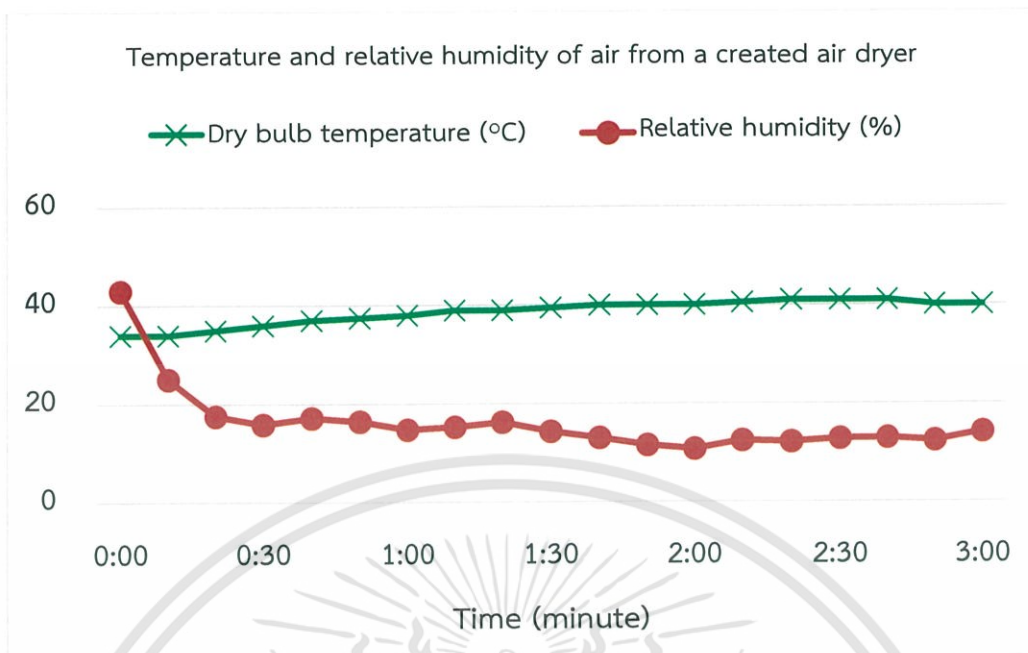


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งที่จัดทำขึ้น

ขั้นตอนที่ 4 นั้นทำเสมือนให้เปรียบเทียบการทำงานของเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE ที่มี 2 ถังลม โดยเครื่องทำลมแห้งบริษัท KNORR-BREMSE จะทำการปิดวาล์วจนกระทั่งความดันในถังถึง 5 บาร์เพื่อให้อากาศสัมผัสกับกับเม็ดสารดูดความชื้นได้นานขึ้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานของเครื่องทำลมแห้ง ซึ่งเครื่องทำลมแห้งที่สร้างขึ้นจะจำลองการทำงานของเครื่องทำลมแห้งบริษัท KNORR-BREMSE โดยทำการหรีวาล์วหรือลดอัตราการไหลของอากาศที่ทางออก

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งที่สร้างขึ้น

Time (sec)	Dry bulb Temperature (°C)	%RH	Time (sec)	Dry bulb Temperature (°C)	%RH
0:00	34	43	1:40	40	13.1
0:10	34	25.1	1:50	40	11.6
0:20	35	17.6	2:00	40	10.8
0:30	36	15.9	2:10	40.5	12.5
0:40	37	17.2	2:20	41	12.2
0:50	37.5	16.5	2:30	41	12.9
1:00	38	14.8	2:40	41	13
1:10	39	15.3	2:50	40	12.4
1:20	39	16.3	3:00	40	14.2
1:30	39.5	14.4			



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ทางออกของเครื่องทำลมแห้งที่จัดทำขึ้นโดยจำลองการทำงานของเครื่องทำลมแห้งบริษัท KNORR-BREMSE

ข้อมูลจากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อจำลองการทำงานของเครื่องทำลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE ที่ทำการปิดวาล์วจนกระทั่งความดันในถังถึง 5 บาร์เพื่อให้อากาศสัมผัสกับกับเม็ดสารดูดความชื้นได้นานขึ้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานของเครื่องทำลมแห้ง โดยการทดลองได้ทำการหรีวาล์วหรือลดอัตราการไหลของอากาศลง เพื่อให้อากาศสัมผัสกับเม็ดสารดูดความชื้นได้นานมากขึ้น ซึ่งสามารถลดความชื้นในอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำกว่า 20%

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทำและติดตั้งเครื่องทำลมแห้งเข้ากับเครื่องอัดอากาศ จากการทดลองในขั้นตอนที่ 4 ที่เป็นขั้นตอนการจำลองการทำงานของเครื่องลมแห้งจากบริษัท KNORR-BREMSE ทำการปิดวาล์วจนกระทั่งความดันในถังถึง 5 บาร์เพื่อให้อากาศสัมผัสกับกับเม็ดสารดูดความชื้นได้นานขึ้นเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานของเครื่องทำลมแห้ง สำหรับเครื่องทำลมแห้งที่สร้างขึ้นได้ทำการหรีวาล์วหรือลดอัตราการไหลของอากาศลง เพื่อให้อากาศสัมผัสกับเม็ดสารดูดความชื้นได้นานมากขึ้น ซึ่งสามารถลดความชื้นในอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำกว่า 20%

จากผลการวิจัยการติดตั้งเครื่องทำลมแห้งเข้ากับเครื่องอัดอากาศนั้น สามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้ต่ำกว่าค่าที่แนะนำจากคู่มือบริษัท KNORR-BREMSE คือ 35% ซึ่งสามารถลดอัตราการสึกกร่อนของวัสดุในระบบได้ และยืดอายุการใช้งานของระบบให้นานขึ้นได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 สำหรับเครื่องที่ทำขึ้นนั้นไม่มีกระบวนการการฟื้นฟูเม็ดสารดูดความชื้นในตัวเอง สามารถพัฒนาและต่อยอดให้มี 2 ถังดูดความชื้น และทำการติดตั้งวาล์วไฟฟ้า เพื่อควบคุมกระบวนการทำงานของเครื่องทำลมแห้ง

5.2.2 จากการทดลองพบว่า เครื่องมือทั้ง 2 ชนิด คือ Psychrometer และเทอร์โมมิเตอร์แบบกระดาษเปียก-แห้ง นั้นมีความสามารถในการวัดต่างกัน โดยเครื่องมือสำหรับวัดความชื้นหรือ Psychrometer นั้นมีความไวต่อการวัดค่าความชื้นมากกว่า แต่การอ่านค่าอุณหภูมินั้นช้ากว่าการวัดค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์แบบกระดาษแห้ง ส่วนเทอร์โมมิเตอร์แบบกระดาษเปียกนั้นมีการตอบสนองต่ออุณหภูมิของอากาศที่ทางออกนั้นช้า ทำให้ผลต่างของค่าอุณหภูมิกระดาษแห้งกับเปียกนั้นแทบจะคงที่ ส่งผลให้ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่อ่านได้จากตารางและจากการคำนวณนั้นไม่ต่างจากค่าก่อนหน้ามาก

5.2.3 การอ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์นั้นมีความละเอียดในการวัดและการอ่านค่อนข้างต่ำ

5.2.4 พัฒนาเครื่องมือพิเศษสำหรับการวางหรือติดตั้งเครื่องทำลมแห้งเข้ากับระบบ

5.2.5 สำหรับฝาปิดของเครื่องทำลมแห้งนั้นยังมีบริเวณที่รอยรั่วของลมอยู่เล็กน้อย ต้องทำการเจาะรูเพื่อให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อเพิ่มความแข็งแรง และป้องกันรอยรั่ว

5.2.6 ควรมีการตรวจสอบแรงดันตก ที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งเครื่องทำลมแห้ง

5.2.7 ความล้าของวัสดุที่เกิดขึ้น เนื่องจากการรับภาระในรูปแบบวัฏจักรของความดัน 0-10 บาร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 64 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] Compressed air & gas institute. (2017). *Compressed air and gas handbook. : Compressed air treatment (Dryer and filter)*. (7th e.d.), 1-39.
- [2] Ferdinand, B., E Russel, J., & David, M. *Mechanics of materials. : Transformation of stress and strain.*, (7th e.d.). New York : McGraw-Hill.
- [3] Yongping, H., Ke, Z., Shufun, Y., & Yushan, J. (2013). A Method to Measure Humidity Based on Dry-Bulb and Wet-Bulb Temperatures. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 6(16), 2984-2987.
- [4] Andrew, B. (2004). Development of a combined oil aerosol and moisture removing cartridge for commercial vehicle applications. *Journal of commercial vehicles*. 113(2), 256-260.
- [5] Pachon, L., Yuthachai, B., & Nantakrit, Y. (2004). The effects of desiccant air dryer on quality of automobile painting process : A case study of million colors Co., Ltd. (THAILAND). *The journal of KMITNB*. 14(4), 27-30.
- [6] Richard G,B., & J. Keith; N. *Mechanical engineering design. : Failure theories*. (10th e.d.). New York : McGraw-Hill.
- [7] Edward G,P. (2002). *Air conditioning principles and systems. : Psychrometrics*. (4th e.d.). Ohio : Prentice Hall.
- [8] Yunus A,C., & Micheal A,B. (2014). *Thermodynamics. : isentropic process*. (8th e.d.). New York : McGraw-Hill.
- [9] Siameast. (2010). *Molecular sieve*. Retrieved from http://www.siameast.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=238&Itemid=308
- [10] Gopalakrishnan, B., Creese, R. & Means, K. (2004). *Baselining a compressed air system – an expert system approach*. Doctoral dissertation, West Virginia University.
- [11] Druckluft effizient. (2003). *Compressed air treatment.*, (1-7)
- [12] Shenzhen Absorb King Desiccant CO., Ltd. (2007). *Desiccant products* . Retrieved from <http://superdesiccants.com/col.jsp?id=103>