สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด

DESIGN OF SUPERCRITICAL FLUD EXTRACTION MACHINE

โดย

นาย วรฉัตร ดวงสุวรรณ

นาย วิฤทธิ์ คุปตสันติ

นาย อธิศ อิศรางกูร ณ อยุธยา

T119164

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สยาม สงวนรัมย์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 119164
วัน,เดือน,ปี 6 ส.ค. 2554

b 10366414
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด

DESIGN OF SUPERCRITICAL FLUD EXTRACTION MACHINE

ผู้จัดทำ

1. นาย วรฉัตร ดวงสุวรรณ รหัสประจำตัว 50011355
2. นาย วิฤทธิ์ คุปตสันติ รหัสประจำตัว 50011485
3. นาย อธิศ อิศรางกูร ณ อยุธยา รหัสประจำตัว 50011831

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.สยาม สงวนรัมย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด

นายวรฉัตร ดวงสุวรรณ 50011355
นายวิฤทธิ์ คุปตสันติ 50011485
นายอธิศ อิศรางกูร ณ อยุธยา 50011831
อ. สยาม สงวนรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

โครงงานนี้จะศึกษาการออกแบบรวมถึงการทำงานของเครื่องสกัดแรงดันสูงด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical fluid extraction) โดยนำของไหลที่ความดันสูงกว่าค่าความดันวิกฤต (ของไหลวิกฤตยิ่งยวด) มาสกัดน้ำมันหอมระเหย (Essential oil) ออกจากวัตถุอินทรีย์ ข้อดีของกระบวนการนี้คือการคงสภาพของวัตถุดิบทั้ง สี กลิ่น และคุณสมบัติต่าง ๆ ได้ดีเนื่องจากใช้อุณหภูมิในการสกัดต่ำ ไม่เป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม โดยจะออกแบบเครื่องสกัดเพื่อใช้ในกระบวนการสกัดแบบสถิต (Static extraction) เริ่มจากการออกแบบภาชนะบรรจุความดันเพื่อใช้สกัดวัตถุดิบในความดันสูง และออกแบบปั๊มด้วยแรงมนุษย์เพื่ออัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ขึ้นไปที่ความดันในการอัดและอุณหภูมิสูงกว่า 73.8 บาร์ และ 31.1 องศาเซลเซียส ให้อยู่ในสถานะของไหลวิกฤตยิ่งยวด และนำไปสกัดน้ำมันหอมระเหยจากวัตถุดิบทางธรรมชาติที่พบได้ง่ายในประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางในการลดการขาดดุลการค้า และสร้างรายได้ให้กับประเทศ โดยระบบที่ได้ออกแบบสามารถทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในสถานะเหนือจุดวิกฤตได้ ที่ความดัน 150 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และสามารถผลิตน้ำมันหอมระเหยบางชนิดได้

คำหลัก : 1.ของไหลวิกฤตยิ่งยวด 2.การสกัด 3.น้ำมันหอมระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF SUPERCRITICAL FLUD EXTRACTION MACHINE

Worachat Duangsuwan
Wirit Cuptasanti
Atis Isarangkura na Ayuttaya
Sayam Saguanrum Advisor

ABSTRACT

This project is a study of designing for supercritical fluid extraction machine, using fluid above critical point (Supercritical fluid) to extract essential oil from organic materials in static extraction mode. This process has advantages in maintaining the condition, color and properties of the material decently since low operating temperature; besides, this process does not harm the environment. The design requires carbon dioxide (CO_2) as the extracting solvent to be pumped to the supercritical phase region above 31.1° C and 73.8 bars. The supercritical carbon dioxide will be used for extracting essential oil from natural material which can be found in Thailand. This would rise to be a part in reducing the national trade imbalance and increasing the national income. The finished machine is expected to be compact with low-cost and efficient in essential oil extracting in static extraction mode. This designed system can increase the CO_2 pressure up to 150 bars at 50° C and capable for essential oil extraction in some natural material.

Keyword: 1.SFE 2.Supercritical fluid extraction 3.Essential oil 4.Supercritical fluid processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี ก็เพราะคำแนะนำ ความช่วยเหลือ ขัดเกลาพวกเราจาก อ.สยาม สงวนรัมย์ อาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงรศ.ดร.ณัฐวุฒิ เดไปวา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุก ๆ ท่าน ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณพี่ๆ ปริญญาโทภาควิศวกรรมเคมี ที่ให้พวกเราได้ศึกษาโปรเจคของรุ่นพี่ ขอบคุณคำแนะนำดี ๆ ของช่างเปี๊ยก จาก ห.จ.ก. บี เฮช แมชชีนเนอรี่ แอนด์ เซอร์วิส จำกัด พี่ตั๊ก จากบริษัท เอ็ม เจ บางกอกวาล์ว แอนด์ ฟิตติง จำกัด ที่ไม่ได้เห็นเราเป็นแค่ลูกค้า แต่ได้ให้ความช่วยเหลือ และคำปรึกษาและความรู้ต่าง ๆ มากมาย ขอขอบคุณ คุณพิพัฒน์ หวังพิชิต ประธาน รวมถึงกรรมการผู้จัดการทุก ๆ ท่าน คุณสมนึก จันทร์แจ่ม วิศวกรเจ้าหน้าที่แผนกตรวจสอบสภาพท่อ จากบริษัท ยูไนเต็ดอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์พวกเราเสมอมา ขอบคุณเพื่อนหน่องภาควิชาวิศวกรรมเกษตร เพื่อนเอก อาร์ม แป้ง อมร และ พี่ ๆ และเพื่อน ๆ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือคำปรึกษา ให้กำลังใจโดยไม่หวังผลตอบแทน ขอขอบคุณ ลี่และเพื่อน ๆ จากคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต สำหรับงานโปสเตอร์สวย ๆ ขอขอบคุณ แพตตี้ นุ่น ฝ้าย สำหรับกำลังใจ และความช่วยเหลือตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณสำหรับบุญคุณที่ไม่อาจหาสิ่งใดทดแทนได้หมดสิ้น จากบิดา มารดา คณาจารย์และบุพการีทุก ๆ ท่าน และพระบารมีของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ที่ทำให้พวกเรามีชีวิต มีความรู้ มีคุณธรรม และทำให้เรามาถึงจุดนี้ได้

สุดท้ายนี้ ขอกราบอาราธนาคุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายในสากลพิภพ รวมถึงผลบุญกุศลที่พวกเราได้บำเพ็ญตลอดมาจากอดีตถึงปัจจุบัน ดลบันดาลให้ทุก ๆ ท่านที่กล่าวมานี้พบเจอแต่ความสุข ความเจริญ มีสุขภาพแข็งแรงตลอดกาลนานเทอญฯ

นายวรฉัตร ดวงสุวรรณ
นายวิฤทธิ์ คุปตสันติ
นายอธิศ อิศรางกูร ณ อยุธยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1	1
บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	3
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	3
1.4 วิธีการดำเนินงาน	3
1.5 สมมติฐาน ในการศึกษา	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา	4
บทที่ 2	5
ทฤษฎี	5
2.1 ทฤษฎีของไหลวิกฤตยิ่งยวด	5
2.2 คุณสมบัติของของไหลวิกฤตยิ่งยวดที่ส่งผลให้การสกัดเกิดขึ้นได้ดีกว่าตัวทำละลายของเหลวทั่วไป	6
2.2.1 คุณสมบัติการถ่ายเท	6
2.2.2 คุณสมบัติในการละลายของตัวทำละลาย	6
2.2.3 คุณสมบัติในการเลือกสกัด	6
2.3 ทฤษฎีที่ใช้ออกแบบอุปกรณ์อัดแบบสกรูและถังความดัน	8
2.3.1 ทฤษฎีการคำนวณแรงและความเค้นที่ทำให้เกิดการ โก่งตัว	8
2.3.2 ทฤษฎีการคำนวณความเค้นในแนวต่าง ๆ ของผนังหนา	9
2.3.3 ทฤษฎีแรงบิดของสกรูส่งกำลัง	10
2.3.4 ทฤษฎีการคำนวณหาค่าความปลอดภัยจากเกลียว	11
2.4 การต่อวาล์ว, ท่อ และการตัดท่อ	11
บทที่ 3	12
ขั้นตอนการดำเนินงาน	12
3.1 การออกแบบ	12
3.1.1 ออกแบบรูปแบบของอุปกรณ์สกัดสารด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
1	ตารางเปรียบเทียบความหนาแน่น ความหนืดและความสามารถในการแพร่ของก๊าซ ของไหลวิกฤตยิ่งยวดและของเหลว [6]	5
2	ก๊าซโครมาโตแกรม (Gas Chromatogram) ของสารสกัดจากธรรมชาติ ซึ่งสามารถสกัดได้ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด ที่สถานะต่าง ๆ	7
3	กราฟแสดงสถานะของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดันและอุณหภูมิต่างๆ	7
4	แสดงการกำหนดความยาวยังผล L_e	8
5	แสดงความเค้นภายในถังรูปทรงกระบอก	9
6	แสดงลักษณะการรับแรงที่เกิดขึ้นกับสกรู	10
7	แสดงรูปแบบและอุปกรณ์การประกอบเข้าเป็นตัวเครื่อง	12
8	แสดงชิ้นส่วนต่าง ๆ ในอุปกรณ์การอัดแบบสกรู	13
9	อุปกรณ์การอัดที่มีสกรูส่งกำลังเป็นตัวช่วยทดแรง	13
10	แสดงภาพตัดของกระบอกสูบ	14
11	สกรูส่งกำลังเป็นเกลียวคางหมูแบบ 1-4 (1นิ้วมี4ชิ้น)	15
12	แสดงลักษณะซีลยูคัพ	16
13	แสดงขนาดการกลึงหัวลูกสูบ	17
14	แสดงถังความดันที่ได้ออกแบบ	17
15	แสดงภาพตัดและขนาดของถังความดัน	18
16	จุดรับแรงเฉือนของฝาปิดและตัวยึดกับตัวต่อท่อ	19
17	แสดงลักษณะซีลกันรั่วในถังความดัน	21
18	แผนผังอุปกรณ์ทดสอบถังความดันด้วยวิธีไฮโดรสตาติก	22
19	แสดงการทดสอบถังความดันด้วยวิธีไฮโดรสตาติก ที่บริษัท ยูไอจี	23
20	แสดงลักษณะตาไก่เหล็กกล้าไร้สนิม 316 หนึ่งชุด	23
21	ระบบจริงที่ได้ออกแบบ	24
22	แสดงหน้าปัดของเกจวัดความดันซึ่งแสดงความดันที่อัดได้	25
23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับแรงที่ใช้ในการบิด	26
24	น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มนาเวล, มะกรูด และมะนาวเหลือง	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบัน ผลิตภัณฑ์น้ำมันหอมระเหยได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างแพร่หลาย มีราคาสูง และเป็นที่ต้องการของตลาดทั่วโลก โดยประเทศฝรั่งเศสเป็นประเทศที่ถือได้ว่าเป็นประเทศอุตสาหกรรมน้ำหอมอันดับหนึ่งของโลกมักใช้พืชพันธุ์ของประเทศเขตเมืองร้อนเป็นหัวเชื้อในการปรุงแต่งกลิ่น ทั้ง ๆ ที่ในประเทศไทยเรามีพืชสมุนไพรและดอกไม้หอมเป็นจำนวนมาก แต่คนไทยกลับไม่ให้ความสำคัญกับสิ่งใกล้ตัวเหล่านี้เท่าที่ควร การสกัดน้ำมันหอมระเหยนั้นมักจะใช้การสกัดที่เรียกว่าการกลั่นลำดับส่วน เป็นการกลั่นที่เสียเชื้อเพลิงและวัตถุดิบในปริมาณมาก แต่ได้ผลิตภัณฑ์ออกมาในปริมาณน้อย จึงมีการศึกษาเทคนิคการสกัดสาร โดยใช้วิธีที่เรียกว่าการสกัดสารด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical fluid extraction) เทคนิคนี้มีมานานแล้วในต่างประเทศ เช่นประเทศในแถบยุโรป แต่ในประเทศไทยเทคนิคนี้ยังไม่เป็นที่รู้จักกันแพร่หลาย โดยผู้ริเริ่มเทคนิคการสกัดด้วยวิธีนี้มาใช้เป็นครั้งแรกคือ เลิฟล็อค (Lovelock) ในปี ค.ศ. 1958 [1] จนกระทั่งปัจจุบัน มีการนำเทคโนโลยีการสกัดสารด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวดมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อาหารและยา สิ่งทอ พอลิเมอร์ น้ำหอม และกระบวนการทางเคมีต่าง ๆ โดยเฉพาะการนำมาใช้เป็นตัวทำละลาย เนื่องจากสามารถละลายสารต่าง ๆ ได้หลายประเภท เพียงแต่ปรับอุณหภูมิและความดันที่ใช้ให้เหมาะสม เทคนิคนี้ไม่เป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่มีสารตกค้าง และสามารถกำจัดได้ง่าย โดยทำให้ของไหลระเหยออกไปด้วยการลดความดันในสภาพของก๊าซ มีการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แพร่หลายที่สุดในรูปของของไหลวิกฤตยิ่งยวด เนื่องจากมีอุณหภูมิ ณ จุดวิกฤตของสารค่อนข้างต่ำ คือประมาณ 31 องศาเซลเซียส ไม่ติดไฟและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง

วิธีการสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชในปัจจุบันสามารถทำได้ 6 วิธี คือ (1) การกลั่น (Distillation) เป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด เพราะทำง่าย ประหยัด ได้น้ำมันหอมระเหยปนมากับน้ำ แยกเป็น 2 ชั้น ซึ่งแยกออกได้ง่าย จะได้น้ำมันหอมระเหย (Essential oil) และน้ำปรุง (Aromatic water, Floral water หรือ Hydrosol) วิธีการกลั่นอาจแบ่งได้เป็นการกลั่นด้วยน้ำ (Water distillation) การกลั่นด้วยน้ำและไอน้ำ (Water and steam distillation หรือ Hydro diffusion) และการกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam distillation) (2) โดยการบีบ (Mechanical expression) ใช้สำหรับพืชที่มีถุงน้ำมันอยู่ใต้เปลือก ซึ่งมีองค์ประกอบที่สลายตัวโดยความร้อน (3) โดยวิธีการสกัดโดยใช้ไขมัน (Enfleurage) เป็นวิธีที่เก่าแก่ มักใช้กับกลีบดอกไม้ ซึ่งมีน้ำมันหอมระเหยปริมาณน้อย โดยการใช้ ไขมันชนิดที่ไม่มีกลิ่นมาแผ่เป็นฟิล์มบาง ๆ บนกระจก นำกลีบดอกไม้มาโปรยบนฟิล์มนี้ ตั้งทิ้งไว้หลาย ๆ ชั่วโมง จากนั้นเก็บกลีบดอกไม้ออก แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรยกลีบดอกไม้ชุดใหม่ลงไปแทน ไขมันจะดูดซับน้ำมันหอมระเหยไว้ จากนั้นนำมาสกัดด้วยแอลกอฮอล์ เพื่อแยกน้ำมันหอมระเหยออกมาจากไขมัน แล้วกลั่นเพื่อแยกแอลกอฮอล์ออกไป (4) โดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) เป็นการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสมซึ่งเป็น Volatile hydrocarbon เช่น hexane, benzene หรือ petroleum ether สกัดเอาสารหอมออกมา วิธีนี้จะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีกลิ่นคงเดิม เพราะไม่เกิดการสลายตัว เหมาะสำหรับพืชที่ทนความร้อนสูงไม่ได้ เช่น ดอกมะลิ ดอกซ่อนกลิ่น แต่วิธีนี้มีต้นทุนสูง (5) โดยการกลั่นทำลาย (Destructive distillation) นิยมใช้ในการกลั่นน้ำมันจากพืชวงศ์ไม้สนเขา (Pinaceae) และวงศ์ไม้สนแผง (Cupressaceae) โดยการนำพืชมาเผาในที่อากาศไม่เพียงพอ จะเกิดการสลายตัวได้สารระเหยออกมา ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมน้ำหอม และ (6) การสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่สถานะของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical carbon-dioxide extraction) วิธีนี้จะได้น้ำมันหอมระเหยที่มีกลิ่นหอมมาก เพราะมีประสิทธิภาพในการสกัดสูง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายใต้ความดันสูงกลายสภาพเป็นก๊าซความดันสูงเรียกว่าของไหลวิกฤตยิ่งยวด มีคุณสมบัติในการทำละลายสูง จึงสกัดสารหอมออกมาได้มาก ข้อดีคือการไม่ใช้ความร้อนสูง ดังนั้นสารหอมต่าง ๆ จะไม่สลายตัว จะคงสภาพเหมือนธรรมชาติ [2]

ของไหลวิกฤตยิ่งยวดเป็นสสารที่อยู่ในสถานะที่มีคุณสมบัติร่วมกันระหว่างของเหลวและก๊าซ มีความหนาแน่นคล้ายของเหลว จึงมีความสามารถในการละลายสารต่าง ๆ มีความหนืดต่ำและมีสมบัติการไหลคล้ายก๊าซ จึงทำให้สามารถซึมผ่านสารต่าง ๆ ได้ดี ของไหลวิกฤตยิ่งยวดเกิดจากการให้ความร้อนแก่ก๊าซที่อุณหภูมิเหนือจุดวิกฤต หรือเกิดจากการอัดของเหลวโดยใช้ความดันเหนือจุดวิกฤต อุณหภูมิจุดวิกฤตของสารคือ อุณหภูมิที่สารในสถานะของเหลวไม่สามารถคงอยู่ได้และ ความดันไอของสารที่อุณหภูมิจุดวิกฤตนี้เรียกว่า ความดัน ณ จุดวิกฤต สารที่อยู่ในสถานะอุณหภูมิและความดันเหนือจุดวิกฤต เรียกว่า ของไหลวิกฤตยิ่งยวด

เทคนิคการใช้ของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีข้อได้เปรียบกว่าการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ดังนี้

- สามารถควบคุมสมบัติในการเป็นตัวทำละลายได้โดยปรับความดันและอุณหภูมิ
- สามารถกำจัดออกได้ง่ายโดยอาศัยสมบัติในการระเหย
- เป็นตัวทำละลายที่ไม่เป็นพิษ
- สามารถนำมาสกัดสารประกอบที่มีจุดเดือดสูงภายใต้อุณหภูมิต่ำ
- สามารถนำมาสกัดสารที่ไม่ทนความร้อนภายใต้อุณหภูมิต่ำ

การใช้เทคโนโลยีของไหลวิกฤตยิ่งยวดขึ้นกับสมบัติของสารภายใต้สถานะความดันและอุณหภูมิเหนือจุดวิกฤตของสารนั้น โดยทั่วไป ของไหลวิกฤตยิ่งยวดจะมีความหนืดและความสามารถในการซึมผ่านใกล้เคียงกับก๊าซ แต่จะมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับของเหลว ของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีศักยภาพในการเป็นตัวทำละลายสูงและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยความสามารถในการละลายสารจะขึ้นกับความดันและอุณหภูมิที่ใช้ การเพิ่มความดันจะช่วยให้ของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ทำให้ของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีความสามารถในการละลายสารเพิ่มขึ้น ผลของอุณหภูมิพบว่า เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ของไหลวิกฤตยิ่งยวดจะมีความหนาแน่นลดลง แต่ความดันไอของสารที่เพิ่มขึ้นในสารแต่ละตัวจะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิที่ใช้ [3]

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีด้วยกันหลากหลายงานวิจัยด้วยกันอย่างเช่น งานวิจัยที่รวบรวมข้อมูลที่เป็นพื้นฐานในการออกแบบทางด้านวิศวกรรมของกระบวนการของของไหลวิกฤตยิ่งยวด การสกัด และทฤษฎีการสกัด เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนผลิต [4] ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นหนึ่งในงานวิจัยที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังมีงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบระบบปั๊มที่ใช้ในระบบของไหลวิกฤตยิ่งยวดให้ตรงกับความต้องการในการใช้งาน [5]

โดยที่โครงงานของเรานี้ได้ทำการศึกษาการออกแบบและการทำงานของเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้ของไหลวิกฤตยิ่งยวด โดยศึกษาการทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในสถานะของไหลวิกฤตยิ่งยวด แล้วจึงได้ออกแบบปั๊มลูกสูบ ถังความดัน และส่วนประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นภายในระบบของเครื่อง

1. 2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1) เพื่อออกแบบระบบสร้างความดันวิกฤตยิ่งยวดจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วยแรงมนุษย์สำหรับการสกัดน้ำมันหอมระเหย

2) เพื่อนำความรู้เชิงกลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์มาใช้ในโครงงาน

1. 3 ขอบเขตของโครงงาน

1) ศึกษาขั้นตอนการทำงานของเครื่องสกัดด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด โดยการทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในสถานะของไหลวิกฤตยิ่งยวด และส่วนประกอบที่จำเป็นในการทำการสกัด

2) ออกแบบแผนผังการทำงานของระบบให้มีต้นทุนต่ำ รวมทั้งประกอบเครื่องมือต่าง ๆ เข้าด้วยกันให้สามารถใช้งานได้จริง

1.4 วิธีการดำเนินงาน

โครงงานนี้เริ่มต้นโดยการศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ความดันวิกฤตยิ่งยวดเพื่อสกัดน้ำมันหอมระเหยนำมาวิเคราะห์หากระบวนการสำเร็จรูปในการทำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ขึ้นไปสู่สถานะของไหลวิกฤตยิ่งยวด จากนั้นทำการออกแบบปั๊มความดันสูงโดยใช้แรงมนุษย์ ออกแบบถังความดัน ออกแบบการต่อท่อและวาล์วและสร้างชุดทดลองที่ใช้ทดลองการสกัดน้ำมันหอมระเหย จากนั้นจึงนำถังความดันไปทดสอบแรงดัน และทำการทดสอบการทำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ขึ้นไปสู่สถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของไหลวิกฤตยิ่งยวด แล้วจึงทดลองสกัดน้ำมันหอมระเหยจากชุดทดลองที่สร้างขึ้น โดยนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับปริมาณก๊าซคาร์บอนที่ใช้ไป และทำการเปรียบเทียบคุณภาพกับการสกัดน้ำมันหอมระเหยโดยใช้หลักการอื่น ซึ่งจะแสดงไว้ในผลการทดสอบและสรุปผล

1.5 สมมติฐาน ในการศึกษา

1) ปั๊มที่ใช้แรงมนุษย์สามารถอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้มีความดันขึ้นไปที่ 100 บาร์ (100 เท่าของความดันบรรยากาศ) ได้

2) สามารถทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีสถานะเป็นของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical Fluid) ได้ แล้วจึงจะนำไปสกัดน้ำมันหอมละเหย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา

1) ได้เครื่องสกัดที่สามารถสกัดสารที่มีคุณภาพสูง ปลอดภัยไม่มีสารตกค้าง ในปริมาณที่เหมาะสม และใช้ต้นทุนในการสกัดน้อยกว่าเครื่องสกัดในรูปแบบอื่น

2) ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม โดยเครื่องสกัดแรงดันสูงแบบของไหลวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical Fluid Extraction) เป็นเครื่องที่ใช้ความร้อนที่น้อยกว่าเครื่องสกัดรูปแบบอื่น และสารที่ใช้ในการสกัดไม่เป็นสารที่ติดไฟ

3) สามารถนำไปพัฒนาต่อ เป็นสินค้าอุตสาหกรรมชุมชน และประยุกต์ใช้กับการสกัดสมุนไพรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีของไหลวิกฤตยิ่งยวด

ในอุณหภูมิและความดันค่าหนึ่ง สารบริสุทธิ์ใด ๆ สามารถเป็นทั้งของเหลวอิ่มตัว และไออิ่มตัว โดยเรียกสถานะนี้ว่าจุดวิกฤต (critical point) ถ้าเพิ่มอุณหภูมิและความดันให้สูงกว่าจุดวิกฤตนี้ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของของไหล และเรียกของไหลที่อยู่ในสถานะนี้ว่า ของไหลวิกฤตยิ่งยวด (supercritical fluid) ของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีองค์ประกอบที่ไม่ใช่ของเหลวหรือก๊าซ แต่เป็นของไหลกึ่งของเหลวและก๊าซ ทำให้ของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีคุณสมบัติต่าง ๆ คล้ายตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถแพร่ได้มากกว่า และมีความหนืดและแรงตึงผิวน้อยกว่า เมื่อนำมาใช้เป็นตัวทำละลาย โมเลกุลของสารหรืออนุภาคของแข็งที่ต้องการละลายจะถูกล้อมรอบด้วยโมเลกุลของของไหลวิกฤตยิ่งยวด และเกิดอันตรกิริยา (interaction) ทำให้พลังงานเอนทัลปี (enthalpy) ลดลงจนเกิดการละลาย และยังมีการแพร่แทรกเข้าไปใน โครงสร้างของของแข็ง/แมททริกซ์ (matrix) ดังแสดงในตารางที่ 1 เห็นได้ว่าของไหลวิกฤตยิ่งยวดเป็นสถานะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดวัตถุดิบ เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับของเหลว มีความสามารถในการแพร่ ที่ใกล้เคียงกับก๊าซ มีค่าความหนืด ที่เหมาะสม รวมทั้งมีอัตราการถ่ายเทมวล และมีความสามารถในการทำละลาย เป็นอย่างดี ส่วนชนิดของตัวทำลายนั้นที่มักจะใช้คาร์บอนไดออกไซด์นั้น เนื่องจากมีความสามารถในการสกัดสูง เป็นก๊าซเฉื่อย ง่ายต่อการแยกจากสารสกัด และราคาถูก [6, 7]

รูปที่ 1 ตารางเปรียบเทียบความหนาแน่น ความหนืดและความสามารถในการแพร่ของก๊าซ ของไหลวิกฤตยิ่งยวดและของเหลว [6]

คุณสมบัติ	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ความหนืด (cP)	ความสามารถในการแพร่ (mm^2/s)
ก๊าซ	1	0.01	1-10
ของไหลวิกฤตยิ่งยวด	100-800	0.05-0.1	0.01-0.1
ของเหลว	1000	0.5-1.0	0.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติของของไหลวิกฤตยิ่งยวดที่ส่งผลให้การสกัดเกิดขึ้นได้ดีกว่าตัวทำละลายของเหลวทั่วไป

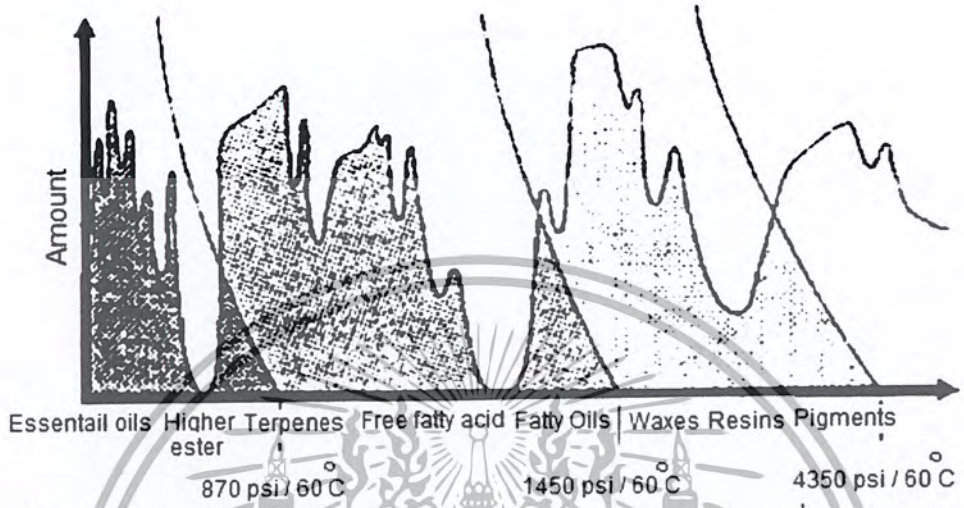
2.2.1 คุณสมบัติการถ่ายเท (Transportation property) ของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีค่าความหนืดต่ำและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สูง ทำให้สามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง สามารถแทรกซึม (Penetration) เข้าสู่โครงสร้างของของแข็งหรืออนุภาคที่มีตัวถูกละลายได้ดี ทำให้ตัวถูกละลายที่ละลายเข้าไปในของไหลวิกฤตยิ่งยวดกระจายออกจากบริเวณการสกัดไปบริเวณอื่นได้ง่าย และมีอัตราการถ่ายเทมวลสูง ค่าความหนืด และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของของไหลวิกฤตยิ่งยวดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ และ ความดัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับอุณหภูมิและสถานะให้เหมาะสม เพื่อให้สกัดสารที่ต้องการได้ดีที่สุด อัตราการถ่ายเทมวลนอกจากจะเป็นผลโดยตรง เนื่องจากความหนืด และสัมประสิทธิ์การแพร่แล้วยังขึ้นกับระยะของการแพร่ด้วย ดังตัวอย่างเช่น (1982) ได้มีการศึกษาผลของขนาดอนุภาคต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้ ของน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าเมื่อขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็กลง ปริมาณสารที่สกัดได้จะเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการลดขนาดของอนุภาคเป็นการลดระยะทางในการแพร่ทำให้การสกัดเกิดขึ้นได้ดี

2.2.2 คุณสมบัติในการละลายของตัวทำละลาย (Solvent power property) ความสามารถในการละลายของตัวทำละลายเป็นคุณสมบัติเด่นอีกอย่างหนึ่งในของไหลวิกฤตยิ่งยวดที่เหนือกว่าตัวทำละลายที่เป็นของเหลวทั่วไป เนื่องจากสามารถเลือก และปรับให้มีค่าตามต้องการได้ โดยการปรับอุณหภูมิ ในกรณีของตัวทำละลายที่เป็นของเหลว การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้มีการละลายของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้น สำหรับของไหลวิกฤตยิ่งยวด การเพิ่มอุณหภูมิก็จะเพิ่มการละลายของตัวถูกละลายเช่นกัน แต่ในขณะเดียวกันการเพิ่มอุณหภูมิก็จะมีผลให้ความหนาแน่นของของไหลวิกฤตยิ่งยวดลดลง ซึ่งจะส่งผลให้โมเลกุลของของไหลวิกฤตยิ่งยวดกับตัวถูกละลายอยู่ห่างกัน ทำให้ผลลัพธ์ของการละลายโดยรวมของตัวถูกละลายมีค่าลดลง ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ โดยการเพิ่มความดันให้กับของไหลวิกฤตยิ่งยวดเพื่อทำให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจนใกล้เคียงกับสถานะเริ่มต้น ก่อนที่จะมีการเพิ่มอุณหภูมิ

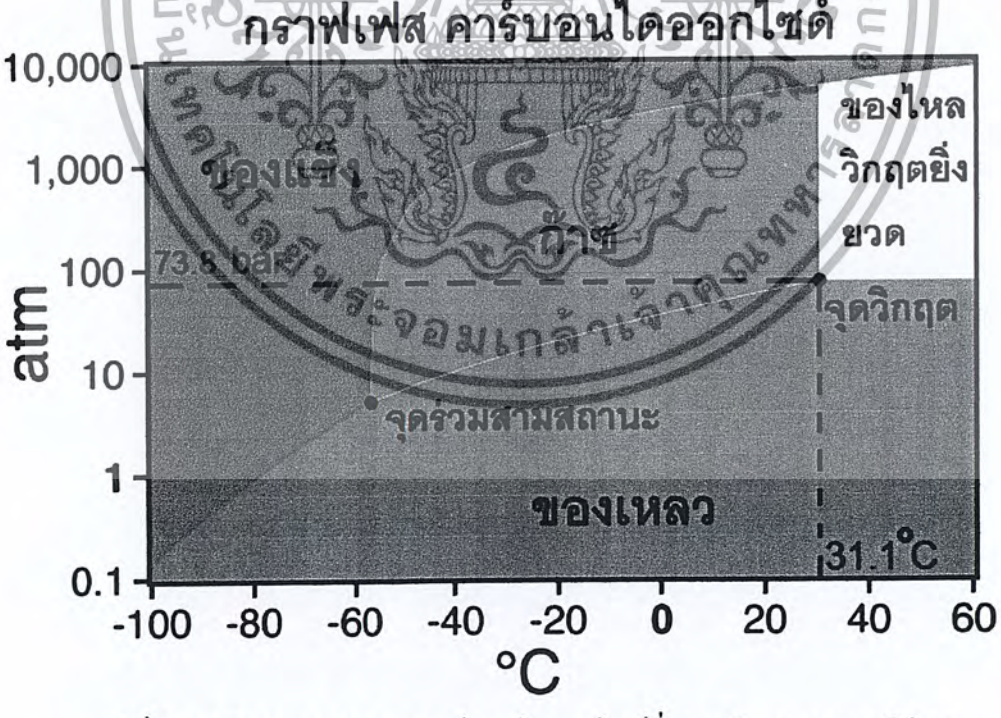
2.2.3 คุณสมบัติในการเลือกสกัด (Selectivity property) ความสามารถในการเลือกสกัดเป็นคุณสมบัติที่ดีอีกข้อหนึ่งของของไหลวิกฤตยิ่งยวด โดยการปรับอุณหภูมิและความดัน เพื่อให้มีความสามารถในการละลายที่เหมาะสม ในการสกัดเฉพาะสารที่ต้องการ โดยให้มีสารที่ไม่ต้องการปนเปื้อนออกมาน้อยที่สุด เช่น ในการสกัดสารผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ (Natural product) ถ้าใช้คาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวดในการสกัดแทนการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยในกรณีนี้หากต้องการเลือกสกัดเฉพาะน้ำมันหอมระเหย (Essential oil) จะต้องใช้ตัวทำละลายที่มีคุณสมบัติในการแพร่ช้า ดังนั้นจะทำโดยการปรับให้อยู่ในสถานะที่เป็นจุดวิกฤต แต่อยู่ในช่วงความดันที่ไม่สูงมากนัก เช่น ความดันเท่ากับ 870 psi และอุณหภูมิเท่ากับ 60° C (รูป 1) ที่สถานะเดียวกันนี้ นอกจากจะได้น้ำมันหอมระเหยแล้วยังสามารถสกัดสารที่มีกลิ่น (Higher ester) จากผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย แต่ถ้าต้องการสกัดสารพวกแว็กซ์จะต้องทำการสกัดที่อุณหภูมิ และความดันสูง ๆ เช่น ที่ความดันประมาณ 1,450 psi และอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 60 ° C จากตัวอย่างข้างต้นแสดงให้เห็นว่าของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีคุณสมบัติในการเลือกสกัดค่อนข้างดี จึงสามารถใช้ในการสกัดลำดับส่วนได้ โดยเริ่มทำการสกัดจากที่สถานะใกล้จุดวิกฤต แล้วค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิ และความดัน ทำให้สามารถสกัดแยกสารแต่ละชนิดออกจากกันได้



รูปที่ 2 ก๊าซโครมาโตแกรม (Gas Chromatogram) ของสารสกัดจากธรรมชาติ ซึ่งสามารถสกัดได้ด้วยคาร์บอนไดออกไซด์วิกฤตยิ่งยวด ที่สถานะต่าง ๆ [7]



รูปที่ 3 กราฟแสดงสถานะของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความดันและอุณหภูมิต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีที่ใช้ออกแบบอุปกรณ์อัดแบบสกรูและถังความดัน

2.3.1 ทฤษฎีการคำนวณแรงและความเค้นที่ทำให้เกิดการโก่งตัว ใช้คำนวณก้านลูกสูบ จากสูตร

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2} \quad (1)$$

และ

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(L_e/r)^2} \quad (2)$$

P_{cr} คือ แรงที่ทำให้เกิดการโก่งตัว (N)

σ_{cr} คือ ความเค้นที่ทำให้เกิดการโก่งตัว (N/m^2)

L คือ ความยาวก้านสูบ (m)

L_e คือ ความยาวยังผล (m)

E คือ Modulus of elasticity (GPa)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย ($kg \cdot m^2$)

r คือ รัศมีแห่งการหมุน (radius of gyration) มีค่าเท่ากับ $\sqrt{\frac{I}{A}}$ (m)

Buckling Load	$\frac{4\pi^2 EI}{L^2}$
Effective Length	0.5L

รูปที่ 4 แสดงการกำหนดความยาวยังผล L_e

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ทฤษฎีการคำนวณความเค้นในแนวต่าง ๆ ของผนังหนา ใช้คำนวณกระบอกสูบและถังความดัน จากสูตร

$$\sigma_t = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} \quad (3)$$

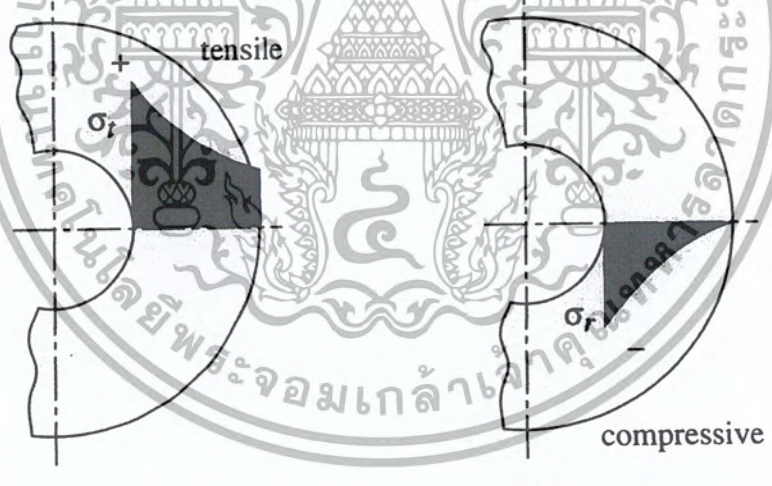
$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)} \quad (4)$$

$$\sigma_a = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} \quad (5)$$

σ_t คือ ความเค้นในแนวตั้งฉากกับรัศมี ซึ่งเป็นความเค้นเฉือนที่ผิวสัมผัส (N/m^2)

σ_r คือ ความเค้นในแนวรัศมี (N/m^2)

σ_a คือ ความเค้นในแนวแกน (N/m^2)



(a) Tangential stress (b) Radial stress

รูปที่ 5 แสดงความเค้นภายในถังรูปทรงกระบอก (a) ความเค้นที่ผิวสัมผัส (b) ความเค้นตามแนวรัศมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ทฤษฎีแรงบิดของสกรูส่งกำลัง ใช้คำนวณแรงบิดของอุปกรณ์อัดแบบสกรู จากสูตร

$$T_u = T_{su} + T_c = \frac{Fd_p}{2}\frac{(\mu\pi d_p + L\cos\alpha)}{(\pi d_p \cos\alpha - \mu L)} + \mu_c F\frac{d_c}{2} \qquad (6)$$

T_u คือ ทอร์กที่ใช้ในการดันกระบอกสูบ (N·m)

T_{su} คือ ทอร์กของสกรู (N·m)

T_c คือ ทอร์กที่ใช้ในการบิดผ่านสกรูจับยึด (N·m)

d_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ (m)

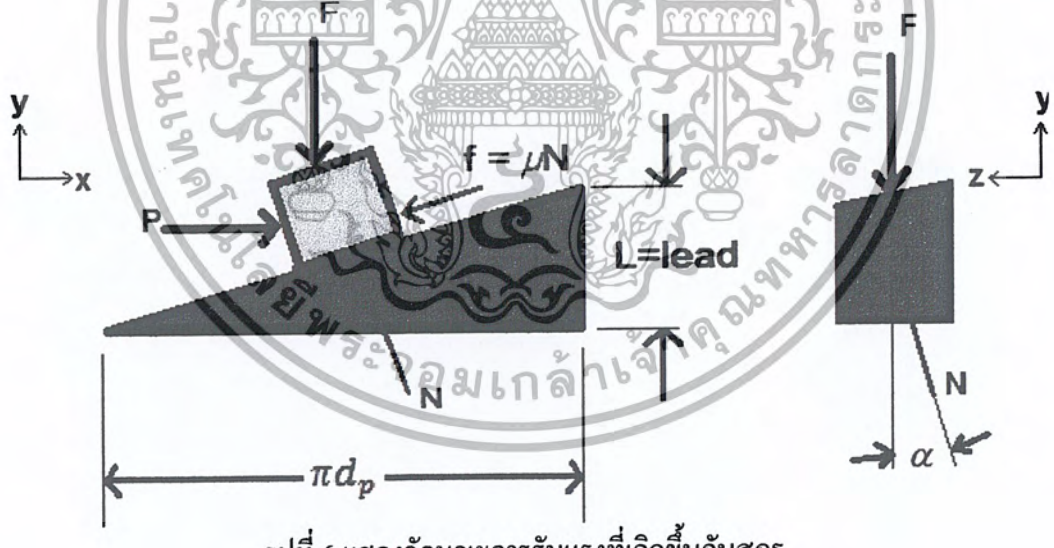
μ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างสกรูส่งกำลังและแหวนสกรูจับยึดจาก

α คือ มุมของซี่เกลียว (องศา)

d_c คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของแหวนจับยึด (m)

μ_c คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างสกรูส่งกำลังและแหวนสกรูจับยึด

L คือ ระยะนำ (ระยะที่สกรูเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงในการหมุนสกรูหนึ่งรอบ) (m)



รูปที่ 6 แสดงลักษณะการรับแรงที่เกิดขึ้นกับสกรู

การคำนวณค่าการล็อคตัวเอง (Self locking) ของสกรู คำนวณได้จากสูตร

$$\mu \geq \frac{L}{\pi d_p}\cos\alpha \qquad (7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ทฤษฎีการคำนวณหาค่าความปลอดภัยจากเกลียว ใช้คำนวณเกลียวที่ถังความดัน

(1) ความเค้นดึงเนื่องจากแรงดึง F เป็นดังนี้

$$\sigma_t = \frac{F}{A_t} \tag{8}$$

พื้นที่รับความเค้นดึงของก้านสกรู หาได้จากค่าเฉลี่ยของ เส้นผ่านศูนย์กลางไมเนอร์ และเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ จากสูตร

$$A_t = \frac{\pi}{4}\left(\frac{d_p + d_r}{2}\right)^2 \tag{9}$$

(2) ความเค้นเฉือนเนื่องจากแรงดึง F เป็นดังนี้

$$\sigma_s = \frac{F}{A} \tag{10}$$

2.4 การต่อวาล์ว, ท่อ และการตัดท่อ

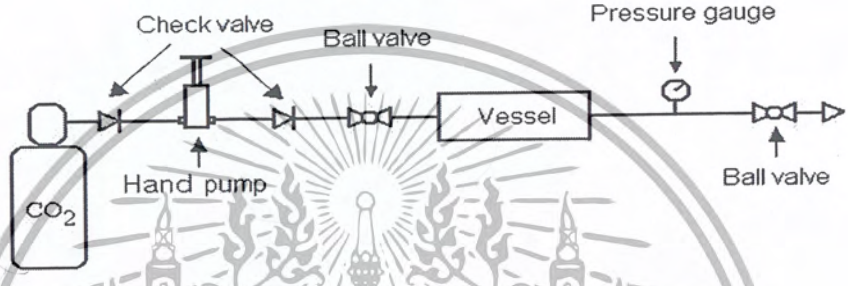
ดูที่ภาคผนวก ข. ซึ่งจะอธิบายถึง การตัดท่อโดยใช้อุปกรณ์สำหรับตัดท่อโดยเฉพาะ การต่อท่อเข้ากับฟิตติง หลักการในการหมุนเกลียวของฟิตติง การใช้อุปกรณ์ดัดท่อ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบ

3.1.1 ออกแบบรูปแบบของอุปกรณ์สกัดสารด้วยของไหลวิกฤตยิ่งยวด



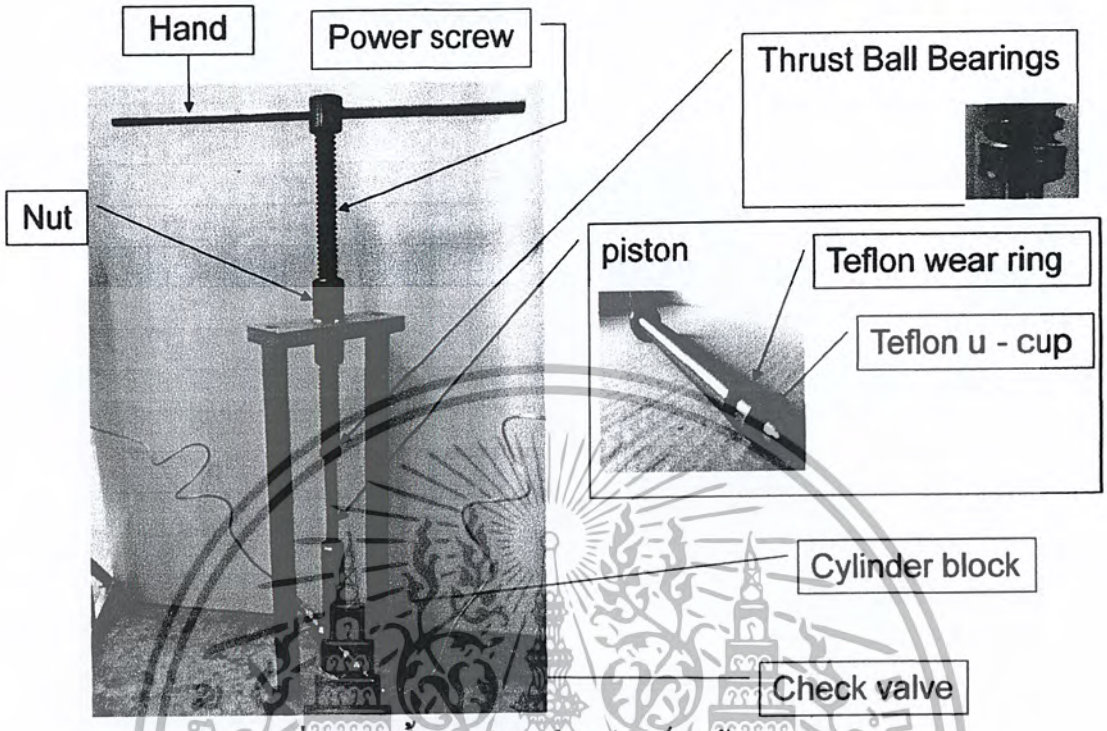
รูปที่ 7 แสดงรูปแบบและอุปกรณ์การประกอบเข้าเป็นตัวเครื่อง

อุปกรณ์ที่ใช้

1. ถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
2. เครื่องควบคุมความดัน (Pressure regulator)
3. วาล์วเปิด-ปิด (Ball valve)
4. เกจวัดความดัน (Pressure gauge)
5. อุปกรณ์อัดแบบสกรู (High pressure mechanical hand pump)
6. วาล์วทางเดียว (Check valve)
7. ถึงสกัดความดันสูง (High pressure vessel)
8. ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316

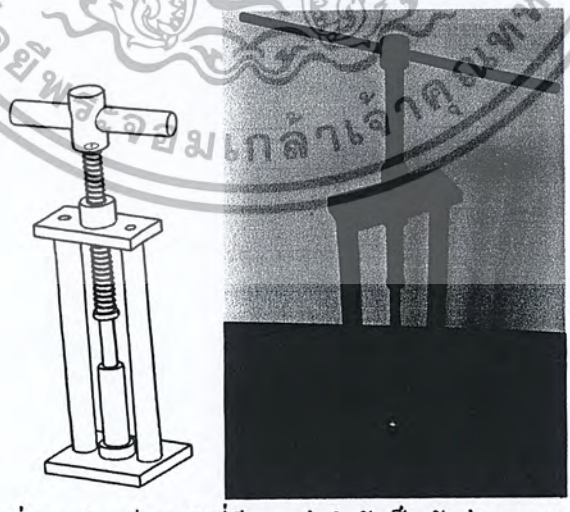
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ออกแบบอุปกรณ์อัดแบบสกรู



รูปที่ 8 แสดงชิ้นส่วนต่าง ๆ ในอุปกรณ์การอัดแบบสกรู

การออกแบบปั๊มแรงดันสูงต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของวัสดุ ได้ออกแบบรูปแบบปั๊มให้มีสกรูส่งกำลังเพื่อทดแรง ซึ่งมีลักษณะดัง รูปที่ ซึ่งมีลักษณะเป็นลูกสูบขนาดเล็กมีสกรูส่งกำลังช่วยทดแรง และมีการคำนวณมีดังนี้



รูปที่ 9 อุปกรณ์การอัดที่มีสกรูส่งกำลังเป็นตัวช่วยทดแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) คำนวณแรงและความเค้นที่ทำให้ก้านสูบเกิดการโก่งตัวจากสมการที่ (1) และ (2)

โดยที่

L คือ ความยาวก้านสูบ ยาวเท่ากับ 0.15 m

L_c คือ ความยาวยังผลในที่นี้ถือให้ก้านลูกสูบเป็นแบบ fixed-fixed มีค่าเท่ากับ 0.5L

E คือ Modulus of elasticity ในที่นี้เราใช้ stainless steel มีค่า 190GPa

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่หน้าตัดวงกลมมีค่า $\frac{1}{4}\pi r^4$ โดยที่รัศมีของหน้าตัดคือ 0.0075 m

<u>จะได้</u>

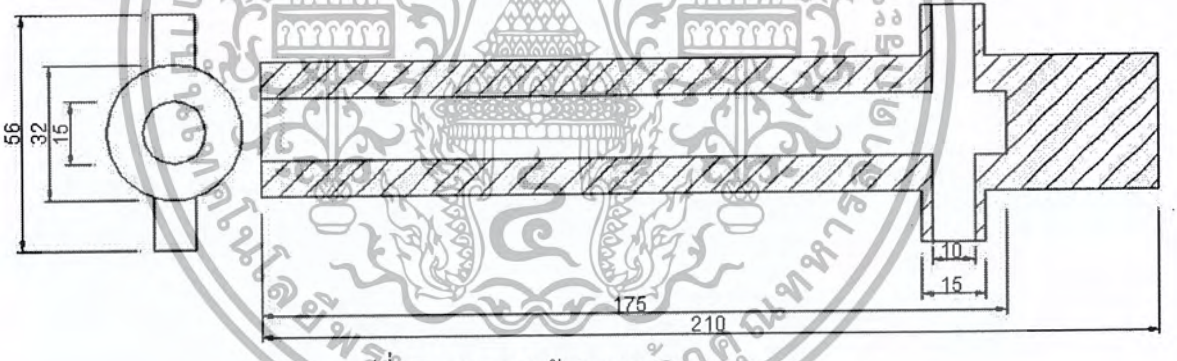
$P_{cr} = 828.45$ kN

$\sigma_{cr} = 1875.22$ MPa

ซึ่งค่า σ_y ของ เหล็กกล้าไร้สนิม SS304 มีค่า 215 MPa

แรงและความเค้นที่ทำให้ก้านสูบเกิดการโก่งตัวมีค่าสูงกว่าค่า σ_y จึงถือให้ไม่มีการโก่งตัวในช่วงการกด ของก้านลูกสูบ

(2) คำนวณความเค้นในแนวต่าง ๆ ของท่อลูกสูบ จากสมการที่ (3), (4) และ (5)



รูปที่ 10 แสดงภาพตัดของกระบอกสูบ

ให้ผนังท่อเป็นแบบผนังหนา โดย

ความดันภายในกระบอกสูบ	$P_i = 150$	bar
ความดันภายนอกกระบอกสูบ	$P_o = 1$	bar
รัศมีภายใน	$r_i = 0.0075$	m
รัศมีภายนอก	$r_o = 0.016$	m
ค่า	$r = r_o - r_i = 8.5 \times 10^{-3}$	m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>จะได้</u>

$\sigma_t = 4.222$ MPa

$\sigma_r = -3.969$ MPa

$\sigma_a = 4.096$ MPa

ซึ่งค่า σ_y ของ เหล็กกล้าไร้สนิม SS304 มีค่า 215 MPa

จะมีค่า safety factor ในแนวแกน t, r และ a คือ 50.9, 54.2, 52.5 ตามลำดับ

(3) คำนวณแรงที่ต้องใช้ในการอัดปั๊ม

จาก

$$F = PA \tag{11}$$

โดย

P คือความดันที่จะอัด 150 bar

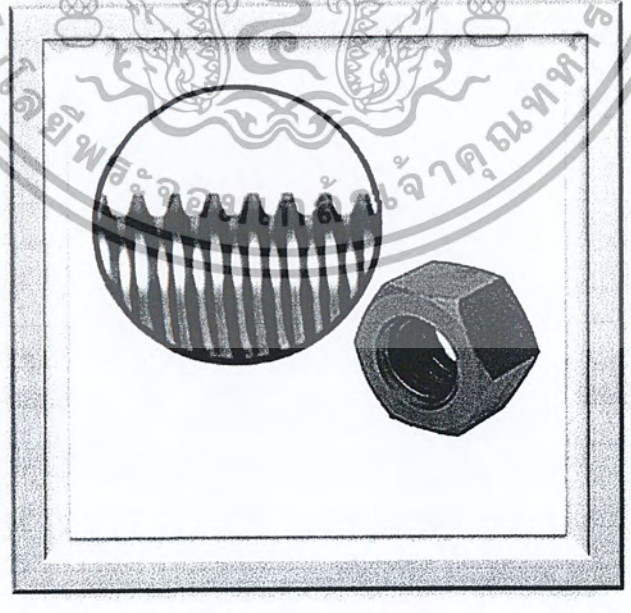
เส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบมีขนาด 0.015 m

<u>จะได้</u>

$F = 2.651$ kN

ซึ่งเป็นแรงกดที่มีค่าค่อนข้างสูงจึงต้องหาวิธีการเพื่อที่จะมาทดแรงนี้

(4) คำนวณแรงบิดเมื่อใช้สกรูส่งกำลังเป็นตัวทดแรง



รูปที่ 11 สกรูส่งกำลังเป็นเกลียดคางหมูแบบ 1-4 (1นิ้วมี4ซี่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบปั๊มแบบสกรูส่งกำลังจะใช้หลักการจากวิชาการออกแบบเครื่องจักรกล [12] ซึ่งจะเป็นการใช้หลักการของสกรูส่งกำลังแบบ ACME ที่ใช้ในการผลักลูกสูบ จากสมการที่ (6)

T_u คือ ทอร์กที่ใช้ในการดันกระบอกสูบ (N·m)

T_{su} คือ ทอร์กของสกรู (N·m)

T_c คือ ทอร์กที่ใช้ในการบิดผ่านสกรูจับยึด (N·m)

d_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ = 0.02286 m

μ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างสกรูส่งกำลังและแหวนสกรูจับยึดจาก = 0.15

α คือ มุมของซี่เกลียว = 14.5°

d_c คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของแหวนจับยึด = 0.02286 m

μ_c คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างสกรูส่งกำลังและแหวนสกรูจับยึด = 0.15

L คือ ระยะนำ (ระยะที่สกรูเคลื่อนที่ขึ้น/ลงในการหมุนสกรูหนึ่งรอบ) = 0.0063 m

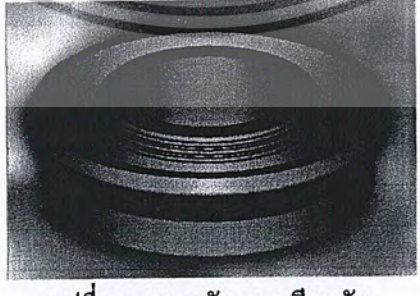
<u>ได้ค่า</u>

$T_u = 12$ N·m

เนื่องจากคานที่ใช้ในการหมุนสกรูส่งกำลังยาว 0.25 เมตร
ดังนั้นจึงต้องออกแรงเพื่อหมุนสกรู 48 นิวตัน

จากนั้นเราต้องมั่นใจว่าสกรูนี้มีการล็อคตัวเอง (Self-locking) ซึ่งจะทำให้สกรูไม่หมุนกลับเมื่อปล่อยด้ามจับ

ค่าการล็อคตัวเอง (Self locking) คำนวณได้จากสมการที่ (7)
จะได้ 0.15 ≥ 0.085 แสดงว่าสกรูส่งกำลังที่ออกแบบมานี้มีการล็อคตัวเอง

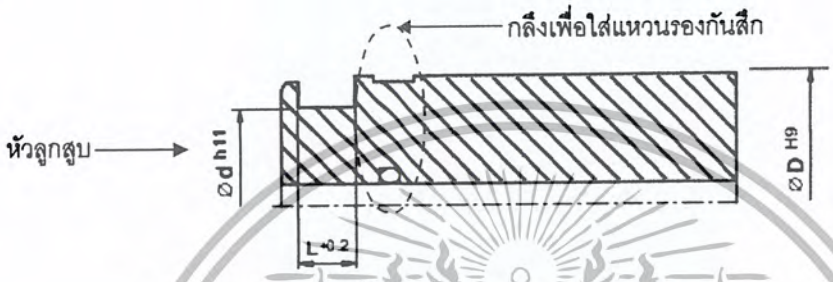


รูปที่ 12 แสดงลักษณะซีลยูคัพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

(5) เลือกซีลลูกสูบ ซีลลูกสูบที่ใช้เป็นซีลยูคัพ (U-cup seal) มีลักษณะเป็นยางวงแหวนมีร่องเว้าเป็นรูปตัว U ใช้เป็นอุปกรณ์กันรั่วซึมสำหรับลูกสูบ ชนิดของยางที่เลือกใช้คือ เทฟลอน (คุณสมบัติเทฟลอนดูจากภาคผนวก ค.) โดยสั่งทำซีลที่มีรูปแบบ DK1 และ ขนาด 6-15-8 (เป็นลักษณะการกำหนดขนาดของบริษัท สเป็คซีล จำกัด ตามภาคผนวก ง.) คือ Ød = 6 มิลลิเมตร, ØD = 15 มิลลิเมตร และ L = 8 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นข้อมูลในการกลึงหัวลูกสูบ และมีการใส่แหวนรองกันสึก (Wear ring) ทำมาจากเทฟลอนเช่นกัน เพื่อไม่ให้มีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างผิวลูกสูบ และผนังด้านในเสื้อสูบ แหวนรองกันสึกที่ดีควรมีขนาดความหนาที่ยื่นออกมาจากหัวลูกสูบครึ่งมิลลิเมตร ตามรูปที่ 11

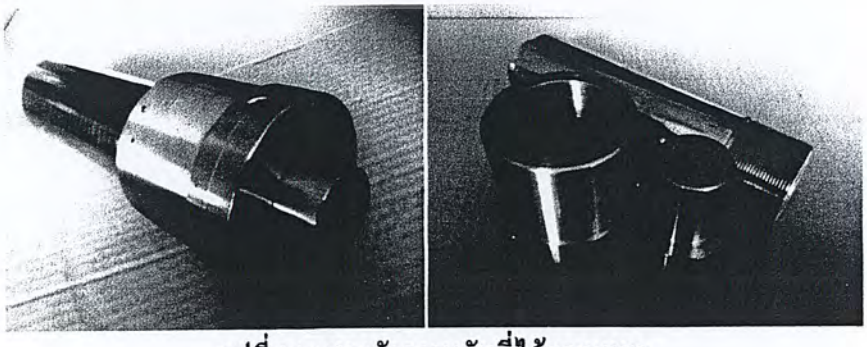


รูปที่ 13 แสดงขนาดการกลึงหัวลูกสูบ

การใส่ซีลยูคัพเข้าสู่ก้านลูกสูบนั้นทำได้ยากเนื่องจากเนื้อของเทฟลอนนั้นค่อนข้างแข็งมาก การใส่ควรหยอดน้ำมัน และใช้เชือกฟางสองเส้นสอดเข้าไปในรูของยูคัพ จากนั้นออกแรงกดยูคัพเข้าสู่ก้านลูกสูบพร้อมกับให้อีกคนใช้เชือกสองเส้นช่วยดึงให้ขยายและกดให้เข้าไปในก้านลูกสูบไปพร้อม ๆ กัน

3.1.3 ออกแบบถังความดัน

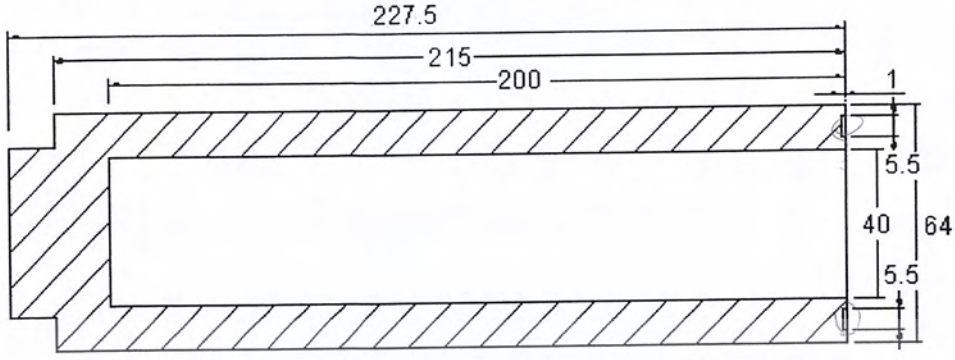
ออกแบบถังความดันให้สามารถรองรับความดันได้ 200 บาร์ วัสดุที่ใช้คือเหล็กกล้าไร้สนิม SS304 และได้ถังความดัน ที่มีลักษณะตามรูปที่ 12 การออกแบบต้องคำนึงถึงความปลอดภัย จึงได้คำนวณความดันที่จุดต่าง ๆ ของถังความดัน ดังนี้



รูปที่ 14 แสดงถังความดันที่ได้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
119164

(1) คำนวณความเค้นในแนวต่าง ๆ ของถังความดัน จากสมการที่ (3), (4) และ (5)



รูปที่ 15 แสดงภาพตัดและขนาดของถังความดัน

ให้ผนังท่อเป็นแบบผนังหนาคำนวณจาก

ความดันภายในกระบอกสูบ	$P_i = 150$	bar
ความดันภายนอกกระบอกสูบ	$P_o = 1$	bar
รัศมีภายใน	$r_i = 0.02$	m
รัศมีภายนอก	$r_o = 0.032$	m
ค่า	$r = r_o - r_i = 0.012$	m

<u>ได้ค่า</u>

$\sigma_t = 10.266$ MPa

$\sigma_r = 8.636$ MPa

$\sigma_a = 9.451$ MPa

ซึ่งค่า σ_y ของ เหล็กล้าไร้สนิม SS304 มีค่า 215 MPa

ได้ค่า safety factor ในแนวแกน t, r และ a คือ 20.9, 24.9 และ 22.7 ตามลำดับ

(2) คำนวณความเค้นเฉือนที่จุดที่รับแรงเฉือนของถังความดัน

จากสูตร $$\tau = \frac{P}{A} \qquad (12)$$

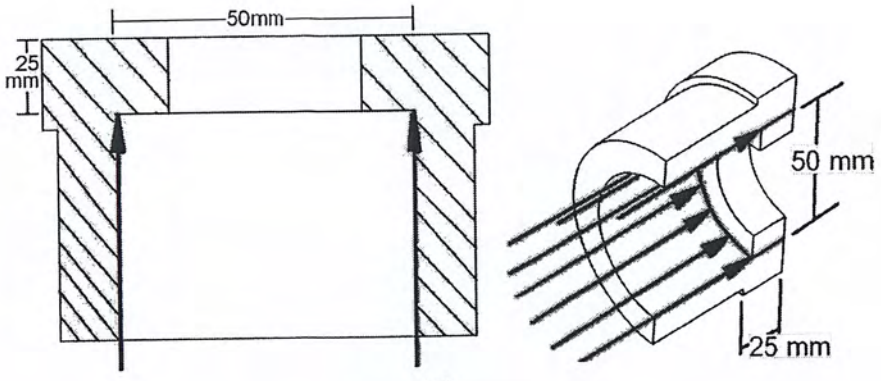
พื้นที่รับแรงเฉือนของฝาปิดคือ $A = 2\pi rl$

$= 3.927 \times 10^{-3}$ m^2

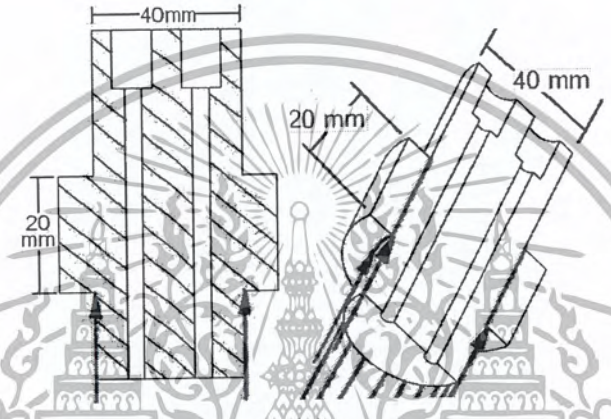
<u>จะได้</u>

$\tau = 675$ kPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 16 จุดรับแรงเฉือนของ (ก) ฝาปิด (ข) ตัวยึดกับตัวต่อท่อ

ซึ่งค่า τ_y ของ เหล็กกล้าไร้สนิม SS304 มีค่า 186 MPa

แรงที่ทำให้เกิดความเค้นเฉือนมีค่าต่ำกว่าค่า τ_y มาก จึงไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความเค้นเฉือน

พื้นที่รับแรงเฉือนของตัวยึดกับตัวต่อท่อคือ $A = 2\pi rl$

$= 2.513 \times 10^{-3}$ m^2

<u>จะได้</u>

$\tau = 1.055$ MPa

ซึ่งค่า τ_y ของ เหล็กกล้าไร้สนิม SS304 มีค่า 186 MPa

แรงที่ทำให้เกิดความเค้นเฉือนมีค่าต่ำกว่าค่า τ_y มาก จึงไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความเค้นเฉือน

(3) คำนวณหาค่าความปลอดภัยจากเกลียวที่ถังความดันเกลียวที่ใช้เป็นเกลียวละเอียดที่กลึงขึ้นเอง มีขนาด

มีเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์ = 61 mm

พิทช์ = 2 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

d = 62 mm

d_r = 60 mm

วัสดุที่ใช้เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม SS304

มีค่าความเค้นดึงสูงสุด 215 MPa

ความเค้นเฉือนสูงสุด 186 MPa

ที่ความดัน	150	bar
ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางภายในถังขนาด	0.0381	m
จะมีพื้นที่หน้าตัดมีขนาด	1.14×10^{-3}	m^2

ดังนั้น

ที่ฝาจะต้องรับแรงทั้งหมด 17,101 N

1) คำนวณหาความเค้นดึงเนื่องจากแรงดึงของเกลียว

จากสมการที่ (9) พื้นที่รับความเค้นดึงของก้านสกรู หาได้จากค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางไมเนอร์และเส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์

จะได้

$$A_t = 2.87\times10^{-3}\ m^2$$

แต่พื้นที่หน้าตัดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในถังขนาด 3.8 ซม. มีขนาด = 1.14×10^{-3} ตร.ม.

ดังนั้น พื้นที่รับความเค้นดึงของถังส่วนที่จะออกแบบคือพื้นที่รับความเค้นดึงส่วนที่เป็นเกลียวนอก

พื้นที่หน้าตัดที่เป็นเกลียวนอก = พื้นที่รับความเค้นสกรู-พื้นที่หน้าตัดภายในถัง

$= (2.87\times10^{-3})-(1.14\times10^{-3})$ $= 1.73\times10^{-3}\ m^3$

จะได้ความเค้นดึง $\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{17101}{1.73\times10-3}$

$= 9.9$ MPa

ได้ค่าความปลอดภัย $= \frac{210}{9.9} = 21$

พื้นที่รับความเค้นดึงของฝาเกลียวส่วนที่จะออกแบบคือพื้นที่รับความเค้นดึงส่วนที่เป็นเกลียวใน

พื้นที่รับความเค้นดึงของฝาเกลียว = (พื้นที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฝาเกลียว 84 mm)-พื้นที่รับความเค้นก้านสกรู

$= (5.54\times10^{-3}) - (2.87\times10^{-3})$ $= 2.67\times10^{-3}\ m^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ความเค้นดึง $\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{17101}{2.67x10-3}$

$= 6.4$ MPa

ได้ค่าความปลอดภัย $= \frac{210}{6.4} = 33$

2) คำนวณหาความเค้นเฉือนของซี่เกลียว

เนื่องจากเป็นวัสดุเดียวกัน พื้นที่หน้าตัดที่เส้นผ่านศูนย์กลางพิทช์จะเป็นตัวรับความเค้นเฉือนทั้งหมด จะได้พื้นที่รับแรงเฉือนต่อหนึ่งรอบเกลียว

<u>จะได้</u>

$A = 3.83x10^{-4}$ m^2

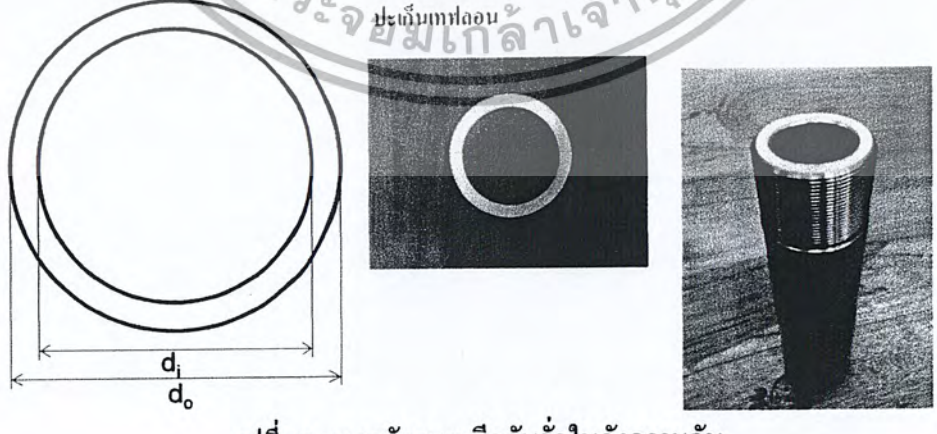
ความเค้นเฉือนที่มีต่อเกลียว1ซี่ที่ความดัน150บาร์คือ $\sigma_s = \frac{F}{A} = \frac{17101}{3.83x10-4}$

$= 44.65$ MPa

จะได้ค่าความปลอดภัย $= \frac{186}{44.65} = 4.2$

(4) เลือกซีลกันรั่วในถังความดัน ซีลกันรั่วที่ออกแบบเป็นปะเก็นติดที่ปากถัง ทำมาจากเทฟลอน (คุณสมบัติดัง ภาคผนวก ค.) มีความยืดหยุ่นและทนแรงกดได้สูง ซีลนี้จึงสามารถเป็นตัวขั้นระหว่างตัวถังและฝาถัง เมื่อบิดปิดฝาจนแนบสนิทกัน จะช่วยให้ตัวถังและฝาประกบกันอย่างแน่นหนา และป้องกันไม่ให้ก๊าซรั่วซึมได้เป็นอย่างดี

ปะเก็นเทฟลอนที่ใช้ต้องมีขนาดอยู่ระหว่างความหนาของถังความดัน และกลึงปากถังให้เป็นร่องลงไปมีขนาดเท่ากับปะเก็น และเผื่อให้ส่วนหนาของปะเก็นนูนขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 17 แสดงลักษณะซีลกันรั่วในถังความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) นำถังความดันไปทดสอบ [13]

เมื่อออกแบบถังความดันแล้ว นำไปทดสอบด้วยน้ำซึ่งเรียกว่า วิธีไฮโดรสตาติก เพื่อความปลอดภัยของถังความดัน โดยทดสอบที่ความดัน 350 บาร์ โดยใช้หลัก มอก.358-2551 ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

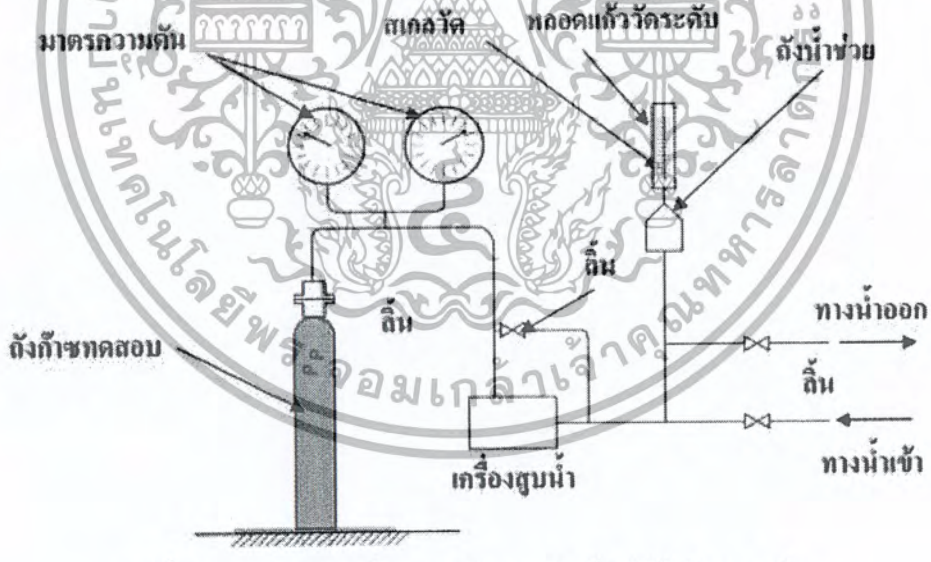
1. บรรจุน้ำลงในถังก๊าซทดสอบให้เต็ม ไล่อากาศในระบบทดสอบออกให้หมด
2. ปรับให้ได้ความดันทดสอบที่ 350 บาร์
3. รักษาความดันภายในถังก๊าซให้คงที่ไม้น้อยกว่า 30 วินาที แต่ไม่เกิน 1 นาที
4. ลดความดันสูภาวะปกติ อ่านปริมาตรการขยายตัวถาวรของถังก๊าซ สำหรับถังเหล็กกล้า หากขยายเกิน 10%ถือว่าไม่ผ่าน ซึ่งคำนวณโดยใช้สูตร ดังนี้

ปริมาตรการขยายตัวถาวร ร้อยละ $= \frac{V_1}{V_2} x100$

เมื่อ V_1 คือ ปริมาตรการขยายตัวอย่างถาวร เป็นลูกบาศก์เดซิเมตร

V_2 คือ ปริมาตรการขยายตัวทั้งหมดที่ความดันทดสอบเป็นลูกบาศก์เดซิเมตร

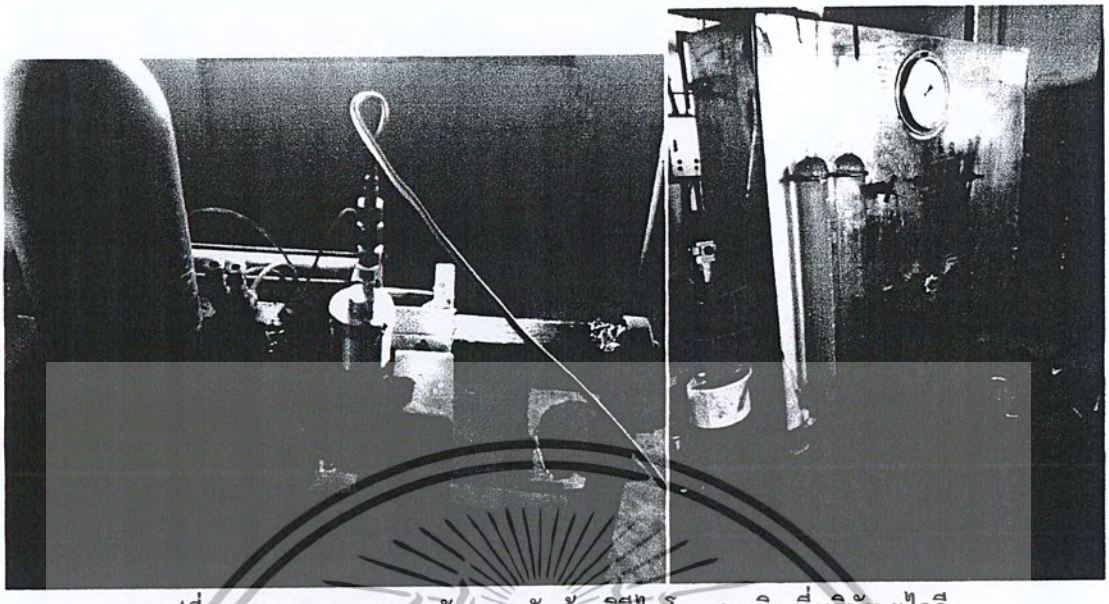
จากการทดสอบ ถังที่ออกแบบสามารถทนความดันสูงได้ โดยมีปริมาตรการขยายตัวถาวร 4% ที่ความดัน 350 บาร์



รูปที่ 18 แผนผังอุปกรณ์ทดสอบถังความดันด้วยวิธีไฮโดรสตาติก

ซึ่งการทดสอบถังความดันด้วยวิธีไฮโดรสตาติกนี้ ได้ไปทดสอบที่ บริษัท ยูไนเต็ดอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด (ยูไอจี) รายละเอียดของผลการทดสอบจะแสดงไว้ในภาค ผนวก จ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 19 แสดงการทดสอบถังความดันด้วยวิธีไฮโดรสตาติค ที่บริษัท ยูไอจี

3.2 การต่อท่อและฟิตติง

ข้อมูลสำคัญในการต่อท่อในระบบนี้คือ

1) การต่อเครื่องควบคุมความดันเข้ากับถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ต้องมีแหวนเทฟลอนกันรั่วอยู่ระหว่างรอยต่อของถังก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับเครื่องควบคุมความดัน

2) การต่อฟิตติงเข้ากับท่อ จะมีตาไก่เป็นตัวอัดท่อเข้ากับตัวฟิตติงเพื่อไม่ให้มีการรั่วออก ตาไก่เหล็กกล้าไร้สนิม 316 หนึ่งชุดประกอบด้วยชิ้นส่วน 2 ชิ้น สามารถใช้งานถอดแล้วประกอบใหม่ได้ประมาณ 20 ครั้ง ซึ่งการประกอบจะอธิบายไว้ในภาคผนวก ข.

รูปที่ 20 แสดงลักษณะตาไก่เหล็กกล้าไร้สนิม 316 หนึ่งชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) สาเหตุที่ต้องติดตั้งวาล์วเปิด-ปิดไว้หลังอุปกรณ์การอัดเพราะวาล์วทางเดียวที่ติดตั้งที่อุปกรณ์การอัดนั้น สามารถป้องกันไหลย้อนกลับของก๊าซไว้ได้ไม่หมด เพราะเกิดความดันลดเมื่อหมุนสกูของอุปกรณ์การอัดขึ้น

4) เกจวัดความดันที่ใช้บรรจุของเหลวไขมัน (กลีเซอรีน) เพื่อป้องกันการเสียหายของบูดอง (Bourdon) ภายในเกจเนื่องจากการดีดกลับของเข็มวัดเนื่องจากความดันลดกะทันหัน

3.3 ขั้นตอนการทำงานของตัวเครื่องที่ได้ออกแบบ

1) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะไหลผ่านวาล์วทางเดียวเข้าสู่อุปกรณ์การอัดที่ความดัน 50 บาร์

2) อุปกรณ์การอัดจะอัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้มีความดันเพิ่มขึ้น ผ่านวาล์วทางเดียวเข้าสู่ถังความดัน ซึ่งต้องใช้จำนวนรอบในการอัดหลายครั้งเพื่อเพิ่มความดันในถังความดันให้อยู่ที่ 140 บาร์

3) ภายในถังความดันจะเป็นส่วนของการสกัด ซึ่งภายในจะบรรจุวัตถุดิบที่จะนำมาสกัดจนเต็ม และใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะของไหลวิกฤตยิ่งยวดเป็นตัวทำละลาย ซึ่งจะใช้เวลาในการสกัดประมาณ 2-3 ชั่วโมง

4) จากนั้นค่อย ๆ ลดอุณหภูมิและปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากระบบ

รูปที่ 21 ระบบจริงที่ได้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

รูปที่ 22 แสดงหน้าปัดของเกจวัดความดันซึ่งแสดงความดันที่อัดได้

4.1 วิธีการสกัด

1. เตรียมวัตถุดิบที่จะนำมาสกัดมาซอยให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วห่อด้วยผ้าขาวบาง
2. นำห่อผ้าขาวบางใส่ลงในถังความดัน (ไม่ต้องกดลงให้สุดถัง โดยให้เหลือที่ด้านล่างให้น้ำมันกลั่นตัวลงมา) แล้วบิดปิดฝาถังความดันให้แน่นหนา
3. ต่อถังความดันเข้าในระบบ วางถังความดันไว้ในแนวตั้ง
4. ตรวจสอบตัวข้อต่อทั้งหมดในระบบ ว่าแน่นทุกจุดแล้ว
5. เปิดวาล์วทั้งทางเข้าและทางออกของถังความดัน แล้วจึงเปิดวาล์วที่ถังคาร์บอนไดออกไซด์ให้สุด และ เปิดวาล์วที่เรกูเลเตอร์ มาระดับหนึ่ง(ให้พอมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ไม่ต้องการความดันสูง) เพื่อไล่อากาศในถังความดันออกให้หมด เมื่อแน่ใจว่าไม่มีอากาศในถังความดันแล้ว จึงปิดวาล์วที่ทางออกจากถังความดัน
6. เปิดวาล์วเรกูเลเตอร์ให้ถึงความดันประมาณ 50 บาร์
7. ตรวจสอบเกจวัดความดันที่ถังความดัน ให้ได้เท่ากับที่เรกูเลเตอร์ (ไม่มีการรั่ว)
8. เริ่มทำการอัด โดยการหมุนก้านตัว T เพื่อกดลูกสูบลงไปให้สุด ในจังหวะการอัด
9. เมื่อลูกสูบอยู่ในตำแหน่งที่อัดจนสุดแล้ว ปิดวาล์วระหว่างทางออกอุปกรณ์อัดกับทางเข้าถังความดัน หมุนก้านตัว T กลับเพื่อดูดคาร์บอนไดออกไซด์จากถังก๊าซเข้าไปในกระบอกสูบ เมื่อดูดจนสุดก้านสูบ แล้วจึงปิดวาล์วทางเข้าถังความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ทำตามขั้นตอนที่ 8 และ 9 ไปเรื่อย ๆ จนความดันเพิ่มถึง 120 – 130 บาร์ (ช่วงความดัน 50 – 80 บาร์ จะต้องใช้การอัดหลายรอบกว่าช่วงความดันอื่น ๆ)

11. เมื่อได้ความดันที่ต้องการแล้วปิดวาล์วที่ทางเข้าถัง แล้วให้ความร้อนแก่ระบบ ให้ได้ระดับประมาณ 40 – 50 องศาเซลเซียส และที่สำคัญต้องรักษาระดับความดันให้ได้ประมาณ 150 บาร์ ไม่ให้เกิน 160 บาร์ (เนื่องจากบอลวาล์ว รับความดันได้เพียง 160 บาร์) แล้วรักษาระดับความดันและอุณหภูมินี้ไว้ประมาณ 3 ชั่วโมง

12. เมื่อได้เวลาที่กำหนดแล้ว ค่อย ๆ เปิดวาล์วที่ทางออกถังความดัน ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่อย ๆ ออกไป อย่าให้ความดันในถังลดลงเร็วจนเกินไป เพราะจะทำให้อุณหภูมิของระบบลดลงอย่างมากจนเป็นน้ำแข็ง รอจนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจนหมดถัง

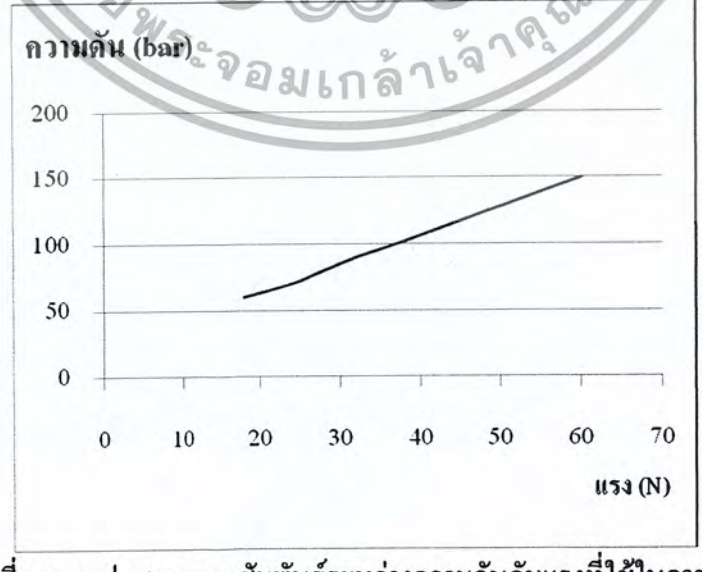
13. เปิดถังความดัน (ห้ามวางนอนเด็ดขาดเพราะจะทำให้น้ำมันไหลไปซึมที่ผ้าขาวบาง)

14. นำผ้าขาวบางออกมา แล้วตรวจสอบน้ำมันที่ก้นถังความดัน ใช้หลอดฉีดยา ดูดน้ำมันขึ้นมาจากก้นถังความดัน มาเก็บไว้

4.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์

ระบบสกัดนี้ สามารถเพิ่มความดันจาก 50 บาร์ ไปถึง 150 บาร์ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีคุณสมบัติอยู่ในสถานะของไหลวิกฤตยิ่งยวด และสามารถสกัดน้ำมันหอมระเหยจากพืชบางชนิดได้ตามจุดประสงค์

แรงที่ใช้ในกันหมุนอุปกรณ์การอัดขึ้นอยู่กับความดันภายในถังความดัน ซึ่งในการทดลองนี้ใช้แรงในการหมุนสูงสุดที่ความดัน 150 บาร์ คือ 60 นิวตัน



รูปที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับแรงที่ใช้ในการบิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถังความดันนี้สามารถรับความดันได้ 200 บาร์ ซึ่งมีความปลอดภัยในการใช้กับความดันสูง ซึ่งแสดงผลการทดลองในภาคผนวก จ.

4.3 ปริกมาณน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จากวัตถุดิบชนิดต่าง ๆ

ส้มนาเวล (Navel orange) 2 ผล ได้เปลือกส้ม 97 กรัม ใช้เวลาในการอัด 3 ชั่วโมง ที่ความดัน 150 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ได้น้ำมันหอมระเหยประมาณ 0.5 มิลลิลิตร

มะกรูด 3 ผล ได้เปลือกมะกรูด 70 กรัม ใช้เวลาในการอัด 3ชั่วโมง ที่ความดัน 150 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ได้น้ำมันหอมระเหยประมาณ 0.6 มิลลิลิตร

มะนาวเหลือง 2 ผล ได้เปลือก 90 กรัม ใช้เวลาในการอัด 3 ชั่วโมง ที่ความดัน 150 บาร์ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ได้น้ำมันหอมระเหยประมาณ 0.5 มิลลิลิตร

รูปที่ 24 น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกส้มนาเวล, มะกรูด และมะนาวเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ปัญหาในการปฏิบัติงาน

1) การเลือกใช้วัตถุดิบในการสกัด เป็นอุปสรรคหลักในการทดลองนี้ เนื่องจากวัตถุดิบแต่ละชนิดใช้ความดันและอุณหภูมิในการสกัดในรูปแบบนี้ต่างกัน และขาดความรู้ในการหาค่าอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสม เพราะอยู่นอกเหนือจากวัตถุประสงค์ของโครงงาน

2) การเลือกใช้ซีลลูกสูบ หากมีการรั่วของซีลลูกสูบที่ความดันสูงเพียงเล็กน้อย จะทำให้ความดันและอุณหภูมิตก โดยความดันที่จะตกลงอย่างรวดเร็วเพราะมีความดันต่างจากความดันบรรยากาศมาก จึงทำให้อุณหภูมิภายในระบบต่ำลงมากจนอาจเกิดน้ำแข็งเกาะอยู่ที่ก้านลูกสูบ ทำให้ซีลลูกสูบที่ไม่สามารถคงสภาพในขณะอุณหภูมิต่ำเสื่อมสภาพและเสียได้ ดังนั้นควรเลือกซีลลูกสูบคงสภาพได้ทั้งในขณะอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูงได้

3) ปะเก็นกันรั่วที่ถังความดัน เมื่อใช้ไปหลาย ๆ ครั้ง จะเสื่อมสภาพ เนื่องจากการกลึงร่องปะเก็นต้องใช้ความละเอียดสูง ถ้ากลึงร่องน้อยเกินไปและไม่พอดีกับปะเก็นจะทำให้ปะเก็นเสียรูปได้ง่าย จึงควรมีปะเก็นสำรองไว้

4) การปล่อยก๊าซออกจากถังความดันในการสกัดน้ำมันหอมระเหย ต้องเปิดวาล์วน้อย ๆ เพื่อไม่ให้น้ำมันหอมระเหย ระเหยออกมาพร้อมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จึงใช้เวลาในการปล่อยก๊าซนาน

5) การออกแบบท่อและถังความดันยังไม่เหมาะสมกับการทดลองชุดนี้เท่าที่ควร ควรใช้ขนาดท่อและเกลียวฟิตติงที่เหมาะสมกับการทดสอบมากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป และ ข้อเสนอแนะ

การออกแบบเครื่องสกัดน้ำมันหอมระเหย โดยการทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นไปอยู่ในสถานะของไหลวิกฤตยิ่งยวดด้วยแรงมนุษย์ แล้วใช้ก๊าซในสถานะนี้เป็นตัวทำละลายวัตถุดิบที่นำมาสกัด

5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

แรงบิดที่ใช้ในการบิดจริงที่ 150 บาร์ มีค่า 60 นิวตัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ คือ 48 นิวตัน จะเห็นได้ว่ามีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งแรงที่ได้จากการบิดจริงจะมีค่าสูงกว่าเนื่องจากแรงเสียดที่เกิดจากความขรุขระของพื้นผิว

ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากวัตถุดิบแต่ละชนิดจะต่างกัน เนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น ความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดของพืชแต่ละชนิดต่างกัน ความสดใหม่ของพืชแต่ละผล ขนาดชิ้นในการหั่น และปริมาณวัตถุดิบ

5.2 สรุป

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในสถานะของไหลวิกฤตยิ่งยวด เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการสกัด เนื่องจากสถานะของไหลวิกฤตยิ่งยวดมีคุณสมบัติในการละลายสูง สามารถสกัดสารหอมออกมาได้ ข้อดีคือ ไม่ใช้ความร้อนสูงนัก ดังนั้นสารหอมต่าง ๆ จะไม่สลายตัว และคงสภาพเหมือนในธรรมชาติ โดยที่ในระบบนี้สามารถสกัดน้ำมันหอมออกมาด้วยแรงมนุษย์ตามเป้าหมายที่ได้วางไว้ ทำให้ระบบนี้มีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้งานจริงได้ และเหมาะสมสำหรับเกษตรกร ที่สามารถนำวัตถุดิบทางธรรมชาติที่มีกลิ่นหอมแล้วไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ระบบที่ได้ออกแบบนี้จะเป็นต้นแบบที่สามารถนำไปพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

บรรณานุกรม

[1] Supercritical fluid – analytical methods , Linde Gas, [online] URL: http://hiq.lindegas.com/international/web.

[2] สุชาดา ไชยสวัสดิ์ สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, อโรมาเธอราปี, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://digital.lib.kmutt.ac.th/magazine/issue1/article/aroma.html

[3] อรัญญา มโนสร้อย ชลดา คำโน กาญจนา เรือนโต และ จีรเดช มโนสร้อย สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ;การเตรียมสารสกัดและน้ำมันจากสมุนไพรไทยโดยใช้ supercritical carbon dioxide และการกลั่น หน้า 302-371

[4] Fundamental of processing with supercritical fluid, S.S.H. Rizvi, Z.R. Yu, Bhaskar and C.B. Chidambararaj, Rizvi (1999), Supercritical Fluid Processing of Food and Biomaterials, Aspen Publisher, Inc., page 1 – 26

[5] Selecting a pump for supercritical fluid service, S.W. Vance S.S.H., Rizvi (1999), Supercritical Fluid Processing of Food and Biomaterials, Aspen Publisher, Inc., page 93 - 102

[6] นิตยา แซ่ลี้ สาขาวิชาเภสัชเคมีและเภสัชเวท คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (2005); เทคนิคการสกัดสารจากพืชสมุนไพรโดยอาศัยของไหลเหนือวิกฤต Srinakharinwirot Journal of Sciences, Vol.10 No.1 May 200, หน้า 83 – 93

[7] สมใจ ขจรชีพพันธุ์งาม และอาทิตย์ รังษีพันธุ์งาม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2003) ;การสกัดของไหลวิกฤตยิ่งยวด หน้า 37-42 URL: http://uac.kku.ac.th

[8] Robert L. Norton (2006), Machine Design An Integrated Approach third edition, Pearson Education, Inc., page 811-860

[9] Swagelok company, Installation instructions, [online] URL: http://www.swagelok.com

[10] บริษัท บี-เทค เอ็นจิเนียริ่ง จำกัดม, Polytetrafluoroethylene, Teflon (PTFE) , [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.btecengineering.com/PTFE_01.php

[11] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการใช้และการซ่อมบำรุงภาชนะบรรจุก๊าซทนความดันแบบไม่มีตะเข็บ (มอก.358-2552), [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2552/E/133/5.PDF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

แสดงวิธีทำของการคำนวณ

ออกแบบกระบอกสูบ

1) แรงที่ทำให้ก้านสูบเกิดการโก่ง

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$$

$$L_e = 0.5(0.15)$$

$$= 0.075$$

$$I = \frac{1}{4}(\pi)(0.0075^4)$$

$$= 2.48x10^{-9}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^4 (190x10^9)(2.48x10^{-9})}{0.075^2}$$

$$= 828.45\,kN$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 (190x10^9)}{\left(\frac{0.075}{0.0075}\right)^2}$$

$$= 1875.22\,MPa$$

$P_{cr} = 828.45$ kN

$\sigma_{cr} = 1875.22$ MPa

2) ทฤษฎีการคำนวณความเค้นในแนวต่าง ๆ ของผนังหนาในกระบอกสูบ

2.1 ความเค้นในแนวตั้งฉาก

$$\sigma_t = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)}$$

$$\sigma_t = \frac{(15\times10^6)(0.0075)^2 - (1\times10^5)(0.016)^2}{(0.016)^2 - (0.0075)^2} + \frac{(0.0075)^2 (0.016)^2 \left((15\times10^6)(1\times10^5)\right)}{(8.5x10^{-3})^2 \left((0.016)^2 - (0.0075)^2\right)}$$

$\sigma_t = 4.222$ MPa

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ความเค้นในแนวรัศมี

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)}$$

$$\sigma_r = \frac{(15\times10^6)(0.0075)^2 - (1\times10^5)(0.016)^2}{(0.016)^2 - (0.0075)^2} - \frac{(0.0075)^2 (0.016)^2 \left((15\times10^6)(1\times10^5)\right)}{(8.5\times10^{-3})^2 \left((0.016)^2 - (0.0075)^2\right)}$$

σ_r = -3.969 MPa

2.3 ความเค้นในแนวแกน

$$\sigma_a = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2}$$

$$\sigma_a = \frac{(15\times10^5)(0.0075)^2 - (1\times10^5)(0.016)^2}{(0.016)^2 - (0.0075)^2}$$

σ_a = 4.096 MPa

ออกแบบอุปกรณ์อัดแบบสกรู

1) ทฤษฎีแรงบิดของสกรูส่งกำลัง

1.1 การคำนวณหาแรงบิดของสกรู

$$T_u = T_{su} + T_c = \frac{Fd_p}{2}\frac{(\mu\pi d_p + L\cos\alpha)}{(\pi d_p \cos\alpha - \mu L)} + \mu_c F \frac{d_c}{2}$$

$$= \frac{2650.72(0.02286)}{2}\frac{\{0.15(\pi)(02286)\}+(0.0063\cos 14.5)}{(\pi(0.02286)\cos 14.5)-(0.15(0.0063))}$$

$$+0.15(2650.72)\left(\frac{0.02286}{2}\right)$$

T_u = 12 N·m

1.2 การคำนวณค่าการล็อคตัวเอง

$$\mu \geq \frac{L}{\pi d_p}\cos\alpha$$

$$15 \geq \frac{0.0063}{\pi(0.02286)}\cos 14.5^0$$

$$0.15 \geq 0.085$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบถังความดัน

1) ทฤษฎีการคำนวณความเค้นในแนวต่าง ๆ ของผนังหนาในถังความดัน

1.1 ความเค้นในแนวตั้งฉาก

$$\sigma_t = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} + \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)}$$

$$\sigma_t = \frac{(15\times10^6)(0.02)^2 - (1\times10^5)(0.032)^2}{(0.032)^2 - (0.02)^2} + \frac{(0.02)^2 (0.032)^2 \left((15\times10^6)(1\times10^5)\right)}{(0.012)^2 \left((0.032)^2 - (0.02)^2\right)}$$

$$\sigma_t = 10.266 \text{ MPa}$$

1.2 ความเค้นในแนวรัศมี

$$\sigma_r = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2} - \frac{r_i^2 r_o^2 (p_i - p_o)}{r^2 (r_o^2 - r_i^2)}$$

$$\sigma_r = \frac{(15\times10^6)(0.02)^2 - (1\times10^5)(0.032)^2}{(0.032)^2 - (0.02)^2} - \frac{(0.02)^2 (0.032)^2 \left((15\times10^6)(1\times10^5)\right)}{(0.012)^2 \left((0.032)^2 - (0.02)^2\right)}$$

$$\sigma_r = 8.636 \text{ MPa}$$

1.3 ความเค้นในแนวแกน

$$\sigma_a = \frac{p_i r_i^2 - p_o r_o^2}{r_o^2 - r_i^2}$$

$$\sigma_a = \frac{(15\times10^5)(0.02)^2 - (1\times10^5)(0.032)^2}{(0.032)^2 - (0.02)^2}$$

$$\sigma_a = 9.451 \text{ MPa}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) คำนวณความเค้นเฉือน

$$\tau = \frac{P}{A}$$

2.1 พื้นที่รับแรงเฉือนของฝาปิด

$A = 2\pi rl$

$= 2\pi(25x10^{-3})(25x10^{-3})$

$A = 3.927x10^{-3}\ m^2$

$$\tau = \frac{2650.72}{3.927x10^{-3}}$$

$\tau = 675\ kPa$

2.2 พื้นที่รับแรงเฉือนของตัวยึดกับตัวต่อท่อ

$A = 2\pi rl$

$= 2\pi(20x10^{-3})x(20x10^{-3})$

$A = 2.513x10^{-3}\ m^2$

$$\tau = \frac{2650.72}{2.513x10^{-3}}$$

$\tau = 675\ kPa$

3) ทฤษฎีการคำนวณหาค่าความปลอดภัยจากเกลียว

3.1 การคำนวณพื้นที่รับความเค้นดึงของก้านสกรู

$$A_t = \frac{\pi}{4}\left(\frac{d_p + d_r}{2}\right)^2$$

$$A_t = \frac{\pi}{4}\left(\frac{0.061 + 0.06}{2}\right)^2$$

$A_t = 2.87x10^{-3}\ m^2$

3.2 พื้นที่หน้าตัดที่เป็นเกลียวนอก = พื้นที่รับความเค้นสกรู-พื้นที่หน้าตัดภายในถัง

$A = (2.87x10^{-3})-(1.14x10^{-3})$

$A = 1.73x10^{-3}\ m^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ความเค้นดึงที่เกลียวนอก

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_t = \frac{17101}{1.73X10-3}$$

$\sigma_t = 9.9$ MPa

3.4 ได้ค่าความปลอดภัยจากความเค้นดึง

ค่าความเค้นดึงสูงสุด / ค่าความเค้นดึงที่เกลียวนอก = ค่าความปลอดภัยจากความเค้นดึง

$$\frac{210}{9.9} = 21$$

3.5 พื้นที่รับความเค้นดึงของฝาเกลียว = พื้นที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของฝาเกลียว84mm-พื้นที่รับความเค้นก้านสกรู

$$A = (5.54x10^{-3})-(2.87x10^{-3})$$

$A = 2.67x10^{-3}$ m^2

3.6 ความเค้นดึงของฝาเกลียว

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_t = \frac{17101}{2.67x10^{-3}}$$

$\sigma_t = 6.4$ MPa

3.7 ได้ค่าความปลอดภัยจากความเค้นดึง

ค่าความเค้นดึงสูงสุด / ค่าความเค้นดึงของฝาเกลียว = ค่าความปลอดภัยจากความเค้นดึง

$$\frac{210}{6.4} = 33$$

4) คำนวณหาความเค้นเฉือนของซี่เกลียว

4.1 พื้นที่รับแรงเฉือนต่อหนึ่งรอบเกลียว

$$A = \pi d_p \frac{p}{2}$$

$$A = \pi(0.0061)\frac{(0.002)}{2}$$

$A = 3.83x10^{-4}$ m^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความเค้นเฉือนที่มีต่อเกลียว 1 ซี่ที่ความดัน 150 บาร์

$$\sigma_s = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_s = \frac{17101}{3.83x10-4}$$

$\sigma_s = 44.65$ MPa

4.3 ค่าความปลอดภัย

ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด / ความเค้นเฉือนที่มีต่อเกลียว1ซี่ที่ความดัน 150 บาร์ = ค่าความปลอยภัยจากความเค้นเฉือน

$$\frac{186}{44.65} = 4.2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

คู่มือการต่อวาล์ว, ท่อ และการตัดท่อ

Gaugeable Tube Fittings and Adapter Fittings

Tools and Accessories

Wrenches

Tee Wrench

The tee wrench provides positive backup support when installing Swagelok union tees and crosses.

Features

- Allows user to hold fitting body firmly and precisely
- Is available in a variety of sizes
- Fits and carries easily in tool box, pouch, or belt
- Head and handle constructed of stainless steel
- Features a cushioned vinyl grip and generous gripping area for handle
- Holds tee in various orientations

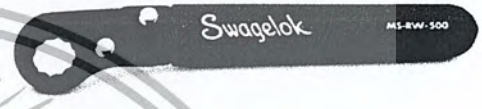
Ordering Information

For Swagelok Gaugeable Union Tees and Crosses			
Tube OD	Ordering Number	Tee	Cross
1/4 in. and 6 mm	MS-TW-4	✓	✓
5/16 and 3/8 in. and 8 mm	MS-TW-6	✓	✓
10 mm	MS-TW-10M	✓	①
1/2 in. and 12 mm	MS-TW-8	✓	✓

① Use **MS-TW-8** on 10 mm Swagelok crosses.

Ratchet Wrench

The ratchet wrench is designed for use on Swagelok nuts for fitting installation.



Features

- 11 fractional and metric sizes are available.
- 1/12 turn ratchet facilitates use in close quarters.
- Heavy-duty construction includes:
  heat-treated, black oxide-plated steel handle
  black-oxide plated steel jaws
  stainless steel spring and fasteners.

Ordering Information

Tube OD	Ordering Number	Wrench Length
Dimensions, in.		
1/8	MS-RW-200	5.38
3/16	MS-RW-300	
1/4	MS-RW-400	7.25
5/16	MS-RW-500	
3/8	MS-RW-600	
1/2	MS-RW-810	10.1
Dimensions, mm		
3	MS-RW-3M0	136
6	MS-RW-6M0	184
8	MS-RW-8M0	
10	MS-RW-10M0	
12	MS-RW-12M0	257

Ratchet Wrench Pouch

A heavy-duty pouch is available for holding up to six Swagelok ratchet wrenches.

Ordering Number: **MS-RWP**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

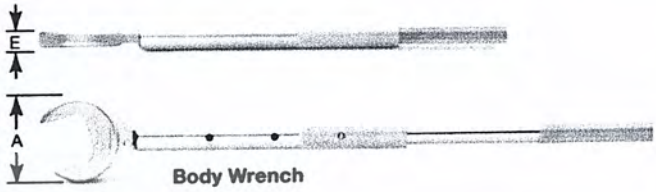
Tools and Accessories

Wrenches

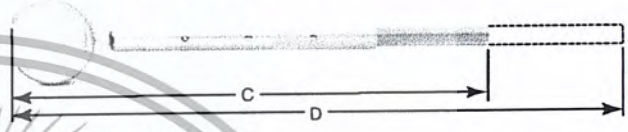
Open-End Wrenches

Features

- Swagelok open-end wrenches are available in body and nut styles.
- These wrenches are designed to install Swagelok tube fittings (1 1/4, 1 1/2, and 2 in.; 32, 38, and 50 mm sizes) after assembly using the Swagelok multihead hydraulic swaging unit (MHSU), page 55.
- The body wrench is box ended and can be used with shapes or hex bodies.
- The nut wrench has a multiple internal hex to allow easy fixturing of the nut when space is limited.
- The hole in the wrench head enables wrenches to be secured by a lanyard for installations in elevated areas.
- The telescoping feature of the knurled handle provides additional leverage when needed.



Body Wrench



Nut Wrench

Ordering Information and Dimensions

Dimensions are for reference only and are subject to change.

Nut Wrench

Tube OD	Ordering Number	Dimensions				Weight
		A	C	D	E	
Dimensions, in.						lb
1 1/4	MS-NW-20(1.88)	3.16	18.0	22.8	0.73	3
1 1/2	MS-NW-24(2.25)	3.88	26.1	33.2	0.99	6
2	MS-NW-32(3.00)	5.06	32.5	42.0	1.25	11
Dimensions, cm						kg
32	MS-NW-32M(50M)	8.53	46.2	58.4	1.85	1.4
38	MS-NW-38M(60M)	10.1	66.6	84.6	2.51	3.2
50	MS-NW-32(3.00)	12.9	82.6	107	3.18	5.0

Body Wrench

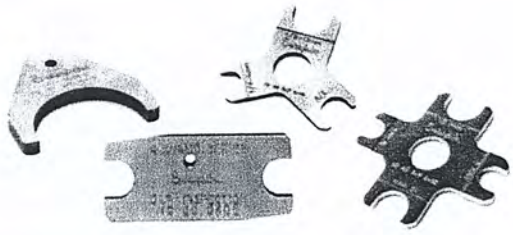
Tube OD	Flat Size	Ordering Number	Dimensions				Weight
			A	C	D	E	
Dimensions, in.							lb
1 1/4	1 11/16	MS-BW-20(1.69)	3.16	18.0	22.8	0.73	3
	1 3/4	MS-BW-20(1.75)					
1 1/2	2	MS-BW-24(2.00)	3.88	26.1	33.2	0.99	6
	2 1/8	MS-BW-24(2.13)					
2	2 3/4	MS-BW-32(2.75)	5.06	32.5	42.0	1.25	11
Dimensions, cm							kg
32	46	MS-BW-32M(46M)	8.53	46.2	58.4	1.85	1.4
	50	MS-BW-32M(50M)					
38	60	MS-BW-38M(55M)	10.1	66.6	84.6	2.51	3.2
50	2 3/4 in.	MS-BW-32(2.75)	12.9	82.6	107	3.18	5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tools and Accessories

Gap Inspection Gauges

Swagelok gap inspection gauges assure the installer or inspector that the fitting has been sufficiently pulled up on initial installation, whether using a Swagelok multihead hydraulic swaging unit (MHSU), page 55, or air-actuated hydraulic swaging unit (AHSU), page 56, or wrench tightening. All metal Swagelok tube fittings are gaugeable, with the exception of a few forged bodies in aluminum.



For Installation Using the AHSU

Fitting Size		Ordering Number
in.	mm	
Female Nut		
1/4, 3/8, 1/2	–	MS-AHSU-IG-468
–	6, 8, 10, 12	MS-AHSU-IG-612M

For Installation Using the MHSU

Fitting Size		Ordering Number
in.	mm	
Female Nut		
1/2①	12	MS-MHSU-IG-810
5/8②	14, 15, 16	MS-MHSU-IG-1010
5/8 (SAF 2507)	–	MS-MHSU-IG-2507-1010
3/4②	18	MS-MHSU-IG-1210
3/4 (SAF 2507)	–	MS-MHSU-IG-2507-1210
7/8	20, 22	MS-MHSU-IG-1410
1	25	MS-MHSU-IG-1610-1
–	28	MS-MHSU-IG-28M0-1
	30	MS-MHSU-IG-30M0-1
1 1/4	–	MS-MHSU-IG-2000-2
–	32	MS-MHSU-IG-32M0-1
–	38	MS-MHSU-IG-38M0-1
1 1/2	–	MS-MHSU-IG-2400-1
–	50	MS-MHSU-IG-50M0-1
2	–	MS-MHSU-IG-3200-1

① The MHSU cannot be used for SAF 2507 tubing 1/2 in. and under or for medium pressure tubing.

② For 5/8 and 3/4 in. SAF 2507 tubing, order the 1 in. (25 mm) and over unit and SAF 2507 tooling and gauge.

For Installation Using a Wrench

Fitting Size		Ordering Number
in.	mm	
Female Nut		
1/16	–	MS-IG-100
1/8	2, 3	MS-IG-200
3/16	4	MS-IG-300
1/4	6	MS-IG-400
1/4, 3/8, 1/2	6, 12	MS-IG-468
1/4, 1/2	6, 8, 10, 12	MS-IG-612M
5/16	8	MS-IG-500
3/8	–	MS-IG-600
–	10	MS-IG-10M0
1/2	12	MS-IG-810
5/8	14, 15, 16	MS-IG-1010
5/8 (SAF 2507)	–	MS-IG-2507-1010
3/4	18	MS-IG-1210
3/4 (SAF 2507)	–	MS-IG-2507-1210
7/8	20, 22	MS-IG-1410
1	25	MS-IG-1610
Male Nut		
1/16	–	MS-IG-1F0
1/8	2, 3	MS-IG-2F0
1/4, 3/8, 1/2 (medium-pressure)	–	MS-IG-FK0

Depth Marking Tools

Swagelok depth marking tools help ensure that tubing is bottomed on the shoulder inside the Swagelok tube fitting body.

Tube OD	Ordering Number
Dimensions, in.	
1/4	MS-DMT-400
3/8	MS-DMT-600
1/2	MS-DMT-810
5/8	MS-DMT-1010
3/4	MS-DMT-1210
7/8	MS-DMT-1410
1	MS-DMT-1610

Tube OD	Ordering Number
Dimensions, mm	
6	MS-DMT-6M0
8	MS-DMT-8M0
10	MS-DMT-10M0
12	MS-DMT-12M0
16	MS-DMT-16M0
18	MS-DMT-18M0

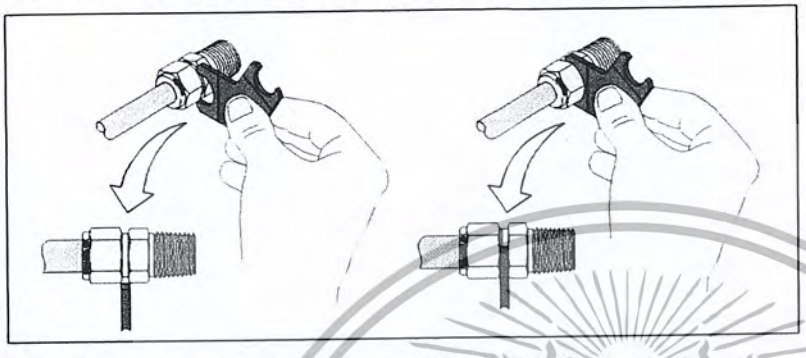
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gaugeable Tube Fittings and Adapter Fittings

Gaugeability

On initial installation, the Swagelok gap inspection gauge assures the installer or inspector that a fitting has been sufficiently tightened.

Position the Swagelok gap inspection gauge next to the gap between the nut and body.



If the gauge **will not** enter the gap, **the fitting is sufficiently tightened.**

If the gauge **will** enter the gap, **additional tightening is required.**

⚠ **Always depressurize a system before adjusting the tightness of a tube fitting connection.**

Installation Instructions

Swagelok tube fittings 1 in./25 mm and smaller can be installed quickly, easily, and reliably with simple hand tools.

Over 1 in./25 mm sizes require use of a hydraulic swaging unit to swage the ferrules onto the tubing.

Safety Precautions

- Do not bleed system by loosening fitting nut or fitting plug.
- Do not assemble or tighten fittings when system is pressurized.
- Make sure that the tubing rests firmly on the shoulder of the tube fitting body before tightening the nut.
- Use the correct Swagelok gap inspection gauge to ensure sufficient pull-up upon initial installation.
- Always use proper thread sealants on tapered pipe threads.
- Do not mix materials or fitting components from various manufacturers—tubing, ferrules, nuts, and fitting bodies.
- Never turn fitting body. Instead, hold fitting body and turn nut.
- Avoid unnecessary disassembly of unused fittings.
- Use only long reducers in female Swagelok end connections.

See the instructions starting on the next page for installation of Swagelok tube fittings, O-seal male connectors, caps and plugs, port connectors, tube adapters, positionable elbows and tees, weld fittings, depth marking tool, and preswaging tool.

Tubing Considerations

- Metal tubing material should be softer than fitting material. For example, stainless steel tubing should not be used with brass fittings.
- When tubing and fittings are made of the same material, tubing must be fully annealed.
- Always use an insert with extremely soft or pliable plastic tubing.
- Extremes of wall thickness should always be checked against the suggested minimum and maximum wall thickness limitations.
- Surface finish is very important to proper sealing. Tubing with any kind of depression, scratch, raised portion, or other surface defect will be difficult to seal, particularly in gas service.
- Tubing that is oval and will not easily fit through fitting nuts, ferrules, and bodies should never be forced into the fitting.

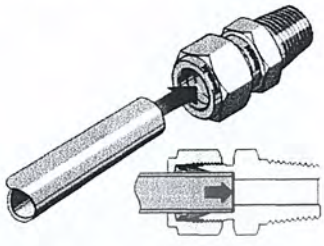
See Swagelok *Tubing Data*, MS-01-107, for more information about tubing selection.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Installation Instructions

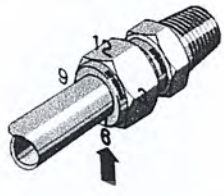
Swagelok Tube Fittings Up to 1 in./25 mm

These instructions apply both to traditional fittings and to fittings with the advanced back-ferrule geometry.

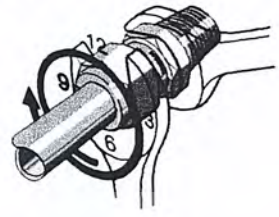


Fully insert the tube into the fitting and against the shoulder; rotate the nut finger-tight.

High-pressure applications and high safety-factor systems: *Further tighten the nut until the tube will not turn by hand or move axially in the fitting.*



Mark the nut at the 6 o'clock position.



While holding the fitting body steady, tighten the nut one and one-quarter turns to the 9 o'clock position.

For 1/16, 1/8, and 3/16 in.; 2, 3, and 4 mm tube fittings, tighten the nut only three-quarters turn to the 3 o'clock position.

Swagelok Tube Fittings Over 1 in./25 mm

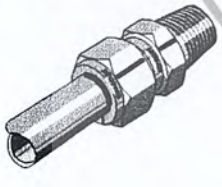
1. Preswage the ferrules onto the tube using a Swagelok multihead hydraulic swaging unit (MHSU).
2. Apply the lubricant packaged with the fitting lightly to the body threads and the rear surface of the back ferrule.
3. Insert the tube with preswaged ferrules into the fitting until the front ferrule seats against the fitting body; rotate the nut finger-tight.
4. Mark the nut at the 6 o'clock position.
5. While holding the fitting body steady, tighten the nut one-half turn to the 12 o'clock position.

Use the Swagelok MHSU gap inspection gauge to ensure that the fitting has been tightened sufficiently.

Reassembly—All Sizes

You may disassemble and reassemble Swagelok tube fittings many times.

⚠ **Always depressurize the system before disassembling a Swagelok tube fitting.**

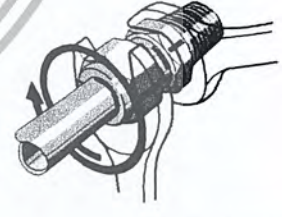


Prior to disassembly, mark the tube at the back of the nut; mark a line along the nut and fitting body flats.

Use these marks to ensure that you return the nut to the previously pulled-up position.

Insert the tube with preswaged ferrules into the fitting until the front ferrule seats against the fitting body.

Over 1 in./25 mm sizes: *If needed, reapply lubricant lightly to the body threads and the rear surface of the back ferrule.*



While holding the fitting body steady, rotate the nut with a wrench to the previously pulled-up position, as indicated by the marks on the tube and flats. At this point, you will feel a significant increase in resistance. Tighten the nut slightly.

⚠ **Do not use the Swagelok gap inspection gauge with reassembled fittings.**

O-Seal Male Connectors

1. Turn the O-seal connector into the female end until it is finger-tight.
2. Tighten the O-seal connector until it makes metal-to-metal contact with the face of the female end.
3. Tighten slightly with a wrench.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Gaugeable Tube Fittings and Adapter Fittings

Installation Instructions

Caps and Plugs

Caps

See Swagelok tube fitting installation and reassembly, page 63.

Plugs

While holding fitting body steady, tighten the plug one-quarter turn from the finger-tight position.

For 1/16, 1/8, and 3/16 in.; 2, 3, and 4 mm tube fittings, tighten the plug one-eighth turn.

For over 1 in./25 mm tube fittings, tighten the plug one-quarter turn.

Reassembly

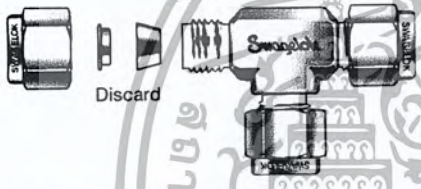
You may disassemble and reassemble Swagelok plugs many times. Make subsequent connections by slightly tightening with a wrench after snugging the nut by hand.

Port Connectors

Connect the machined ferrule end **before** connecting the tube adapter end.

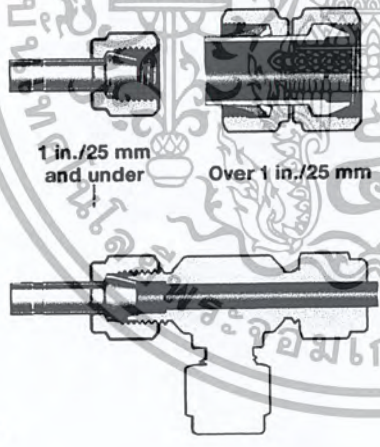
Machined Ferrule End

1. Remove the nut and ferrules from the Swagelok end connection. Discard the ferrules.



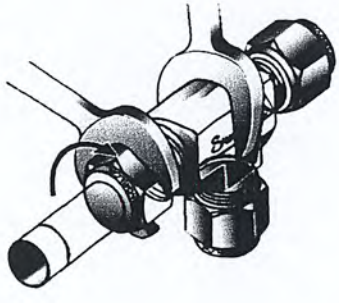
2. Slip the nut over the machined ferrule end of the port connector.

   Over 1 in./25 mm sizes: *The nut is preassembled on the port connector.*



3. Insert the port connector into the end connection and finger-tighten the nut.
4. While holding fitting body steady, tighten the nut one-quarter turn.

   For 1/16, 1/8, and 3/16 in.; 2, 3, and 4 mm tube fittings, tighten the nut one-eighth turn.



⚠ **Do not use the Swagelok gap inspection gauge with machined ferrule ends.**

Reassembly

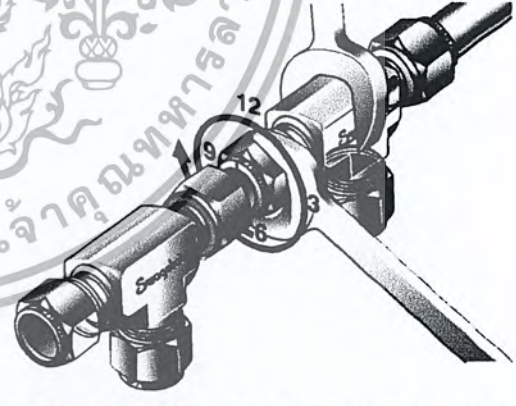
You may disassemble and reassemble Swagelok port connectors many times. Make subsequent connections by slightly tightening with a wrench after snugging the nut by hand.

Tube Adapter End

5. Insert the tube adapter until it rests firmly on the shoulder of the Swagelok tube fitting body. Finger-tighten the nut.

Over 1 in./25 mm sizes: *Remove and discard the nut and ferrules from the end connection, then insert the tube adapter.*

6. Mark the nut at the 6 o'clock position. While holding fitting body steady, tighten the nut one and one-quarter turns to the 9 o'clock position.



For 1/16, 1/8, and 3/16 in.; 2, 3, and 4 mm tube fittings, tighten the nut three-quarters turn to the 3 o'clock position.

For preswaged over 1 in./25 mm and over tube fittings, tighten the nut one-half turn to the 12 o'clock position.

⚠ **Do not use the Swagelok gap inspection gauge with preswaged tube adapter connections over 1 in./25 mm.**

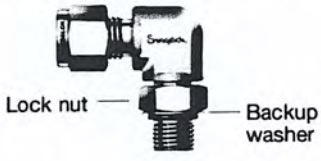
Reassembly

See Swagelok tube fitting reassembly, page 63.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Installation Instructions

Positionable Elbows and Tees



1. Turn the positionable end into the female fitting until the metal backup washer contacts the face of the fitting.
2. Turn the positionable end out of the female fitting (not more than one turn) until the Swagelok tube fitting end is positioned properly.
3. While holding fitting body steady, tighten the lock nut until the metal backup washer contacts the face of the fitting.

Tube Adapters

Fig. 1

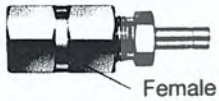
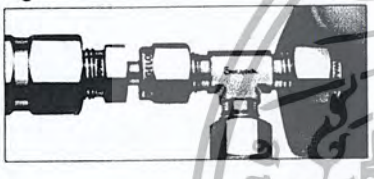


Fig. 2



Up to 1 in./25 mm

1. Install the end opposite the tube adapter end (Fig. 1).
2. Insert the tube adapter into the Swagelok tube fitting. Make sure that the tube adapter rests firmly on the shoulder of the tube fitting body and that the nut is finger-tight (Fig. 2).
3. Mark the nut at the 6 o'clock position.
4. While holding fitting body steady, tighten the nut one and one-quarter turns to the 9 o'clock position.

   For 1/16, 1/8, and 3/16 in.; 2, 3, and 4 mm tube fittings, tighten the nut only three-quarters turn to the 3 o'clock position.

Over 1 in./25 mm

Swagelok tube adapters over 1 in./25 mm are furnished with nuts and preswaged ferrules.

To assemble, follow steps 2 through 5 of the Swagelok tube fittings over 1 in./25 mm assembly instructions, page 63.

⚠ **Do not use the Swagelok gap inspection gauge with preswaged tube adapter connections over 1 in./25 mm.**

Reassembly

See Swagelok tube fitting reassembly, page 63.

Weld Fittings

Welding Precautions for Swagelok Tube Fittings with Weld End Connections

1. Remove the nut and ferrules.
2. Turn a Swagelok tube fitting plug or another nut onto the fitting so that it is finger-tight. This protects the threads and sealing components.
3. Provide a suitable heat sink to dissipate the heat.
4. Tack weld at four positions 90° apart to hold the fitting in place and to ensure alignment and concentricity of the components.
5. Complete the weld.
6. Remove the plug or nut and replace the nut and ferrules.

⚠ **Caution: When welding carbon steel fittings, the heat often removes the protective oil from the threads. It is important to apply another lubricant, such as Goop® thread lubricant.**

Depth Marking Tool

Fig. 1

Fig. 2

1. Insert cleanly cut, fully deburred tube into the depth marking tool (DMT) until the tube is against the shoulder of the tool. Using a pen or pencil, mark the tube at the top of the DMT (Fig. 1).
2. Remove the tube from the DMT and insert it into the Swagelok fitting until it is against the shoulder of the fitting body (Fig. 2). Rotate the nut finger-tight. If any portion of the mark on the tube can be seen above the fitting nut, the tube is not fully inserted into the fitting.
3. While holding the fitting body steady, follow Swagelok tube fitting installation instructions, page 63.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Installation Instructions

Preswaging Tool

Fig. 1

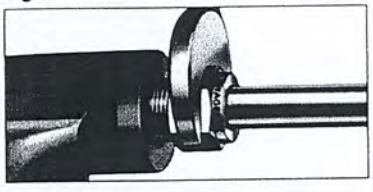


Fig. 2

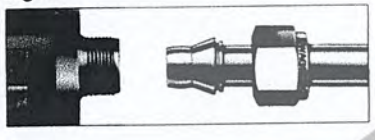
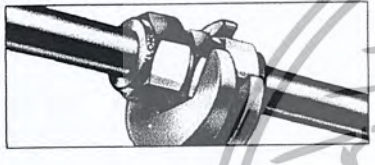


Fig. 3



1. Install the Swagelok nut and ferrules onto the preswaging tool.
2. Insert the tube into the preswaging tool.
3. Make sure that the tube rests firmly on the shoulder of the preswaging tool body and that the nut is finger-tight.
4. Mark the nut at the 6 o'clock position.
5. While holding the preswaging tool steady, tighten the nut one and one-quarter turns to the 9 o'clock position.

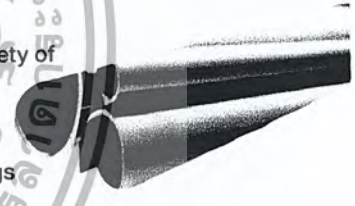
   For 1/16, 1/8, and 3/16 in.; 2, 3, and 4 mm tube fittings, tighten the nut only three-quarters turn to the 3 o'clock position (Fig. 1).
6. Loosen the nut.
7. Remove the tube with preswaged ferrules from the preswaging tool. If the tube sticks in the preswaging tool, remove the tube by gently rocking it back and forth. Do not turn the tube (Fig. 2).
8. Insert the tube with preswaged ferrules into the fitting until the front ferrule seats against the fitting body.
9. While holding the fitting body steady, rotate the nut with a wrench to the previously pulled-up position; at this point, you will feel a significant increase in resistance.
10. Tighten the nut slightly (Fig. 3).

⚠ **Do not use the Swagelok gap inspection gauge with fittings that were assembled using the preswaging tool.**

Tubing Tools and Accessories

For tube benders, tube preparation tools, and tube support systems, see the Swagelok *Tubing Tools and Accessories* catalog, MS-01-179.

Tubing Products



Swagelok offers a wide variety of tubing products.

Contact your authorized Swagelok representative or see these Swagelok catalogs for more information:

- *Stainless Steel Seamless Tubing, Fractional Sizes,* MS-01-153-SCS
- *Stainless Steel Welded Tubing,* MS-01-161-SCS
- *Stainless Steel Tubing, Metric Sizes,* MS-01-157-SCS
- *Stainless Steel Tubing, Imperial Sizes,* MS-01-159-SCS

Leak Detectors, Lubricants, and Sealants

For liquid leak detectors, lubricants, and sealants, see the Swagelok *Leak Detectors, Lubricants, and Sealants* catalog, MS-01-91.

Safe Product Selection
When selecting a product, the total system design must be considered to ensure safe, trouble-free performance. Function, material compatibility, adequate ratings, proper installation, operation, and maintenance are the responsibilities of the system designer and user.

Caution: Do not mix or interchange parts with those of other manufacturers.

Warranty Information

Swagelok products are backed by The Swagelok Limited Lifetime Warranty. For a copy, visit swagelok.com or contact your authorized Swagelok representative.

Swagelok, VCR, VCO, Snoop, Goop, SWAK, Ferrule-Pak—TM Swagelok Company
Krytox—TM DuPont
SAF 2507—TM Sandvik AB
© 2006-2010 Swagelok Company
Printed in U.S.A., AGS
March 2010, R12
MS-01-140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.
คุณสมบัติของเทฟลอน

เทฟลอน (TEFLON)

เทฟลอน คือ พลาสติกเทคนิคประเภทเทฟลอน ซึ่งเป็นชื่อที่เรียกกันทั่วไปของ PTFE (Polytetrafluoroethylene) มีน้ำหนักโมเลกุล 9,000,000 กรัม/ลบ.ซม.[3] จากการวัดโดยวิธี Radio Actively Labelled Initiators และพันธะทางเคมีระหว่างคาร์บอนกับฟลูออรีน ซึ่งพลังงานที่จะทำให้แยกตัวได้ต้องใช้แรงแยกสลาย (Dissociation Energy) ถึง 460 kj/mol. ซึ่งเป็นพันธะทางเคมีที่สูงที่สุดของอินทรีย์เคมีที่รู้จักกันในปัจจุบัน สายโซ่คาร์บอน (Carbon Chain) เกือบจะถูกอะตอมของฟลูออรีนป้องกันเกือบทั้งหมด จึงมีสภาพเป็นเกาะเคลือบของสายโซ่คาร์บอนต่อผลกระทบภายนอก จากปรากฏการณ์ทางเคมีดังกล่าวนี้ ทำให้โพลีเมอร์ตัวนี้มีความทนทานต่อสารเคมีสูง

เทฟลอน เหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องทนทานต่ออุณหภูมิสูง ๆ อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้การทำงานได้อย่างต่อเนื่อง คือ 260°C และใช้สูงกว่านี้ได้ หากรับแรงในระยะสั้น ส่วนอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ใช้ได้คือ -290°C

เทฟลอน นำไปใช้งานที่ต้องทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปได้ เช่น หน้าแปลน ซีลบอลวาล์ว ซีลไฮดรอลิกที่รับแรงดันสูง หรือมีความร้อน เช่น ไฮดรอลิกรถแทร็กเตอร์ รถยก เครื่องฉีดพลาสติก บูชที่ต้องการความลื่นตัว และทนต่อความร้อนสูง ชิ้นส่วนของเครื่องกรอง หัวฉีดพ่นสี ฯลฯ

คุณสมบัติของสารเทฟลอน

1. ทนความร้อน ทนต่อการใช้งานระดับอุณหภูมิ 260-280 'C
2. ทนต่อการกัดกร่อนทางเคมี เทฟลอนจะแปลงค่าเป็นด่างเมื่อมีปฏิกิริยากับสารเคมีและสารละลายหลายชนิด
3. ทนต่อการเสียดสี มีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของบรรดาของแข็งต่ำที่สุด
4. ทนต่อสภาพอากาศ มีสภาพคงทนต่อแดด ลม ฝน โดยไม่แปรสภาพ
5. ไม่ติดชิ้นงาน มีคุณสมบัติทำให้ไม่ติดชิ้นงาน ชิ้นงานสามารถล่อนออกจากพิมพ์ได้ง่าย
6. หากต้องการคุณสมบัติอื่น ๆ สามารถทำได้โดยเติมสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง.
สถานที่ติดต่อ ทดสอบ สั่งทำ และจัดซื้ออุปกรณ์เครื่องมือ

1. บริษัท ยูไนเต็ดอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด (UIG) เป็นบริษัทที่เป็นผู้นำธุรกิจก๊าซอุตสาหกรรมต่าง ๆ หลายชนิด รวมทั้งเป็นผู้นำเข้าท่อสำหรับบรรจุก๊าซ รายใหญ่ของประเทศ โดยที่เราติดต่อไปเพื่อขอความอนุเคราะห์ในการทดสอบถังความดันด้วยวิธีไฮโดรสตาติก

UNITED INDUSTRIAL GASES CO.,LTD.
29/3 Moo 5, Bangna-Trad Road,Tambol Bangsaothong, Amphur Bangsaothong,
Samutprakarn 10540
Tel ; 0-2338-1460-1, 0-2708-4148-9 Fax ; 0-2338-1548 E-mail ; uiggases@truemail.co.th

2. หจก. B.H. แมชชีนเนอรี่ แอนด์ เซอร์วิส จำกัด เป็นบริษัทที่เราติดต่อไปเพื่อให้กลึงถังความดันเหล็กกล้าไร้สนิมตามที่ออกแบบ

หจก. B.H. แมชชีนเนอรี่ แอนด์ เซอร์วิส จำกัด
176/11 ม. 4 ถนนเจ้าคุณทหาร แขวงคลองสามประเวศ เขตลาดกระบัง กทม. 10520
Tel ; 0-2737-5525-1, 08-1551-0259 Fax ; 0-2737-5526

3. บริษัท M.J. บางกอกวาล์ว แอนด์ ฟิตติ้ง จำกัด เป็นบริษัทที่เป็นตัวแทนจำหน่ายวาล์วและฟิตติงของยี่ห้อ Swagelok เราติดต่อไปเพื่อซื้อวาล์วท่อและข้อต่อต่างๆ

M. J. Bangkok Valve & Fitting Co., Ltd.
Tel ; 0-2254-7624 Fax ; 0-2254-7626E- mail ; Swagelok@mjbangkok.com

4. บริษัท สเป็คซีล จำกัด เป็นบริษัทที่รับออกแบบและผลิตซีล ที่มีขนาดเฉพาะเจาะจง เราติดต่อเพื่อสั่งทำซีลลูกสูบเทฟลอน

SPECSEAL CO., LTD.
268, 270, 272 Krungthonmueangkaew, Sirinthorn Rd., Bangplat, Bangphlad Bangkok 10700
Tel ; 0-2881-0555 Fax ; 0-2881-0550 Email ; info@specseal.co.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. บริษัท Well Balanced จำกัด เป็นบริษัทที่เป็นตัวแทนจำหน่ายเรกูเลเตอร์ และอุปกรณ์ความดันสูง

Well Balanced Co., Ltd. 39/386 Prayasurain 40 Samwatawantok Klongsamwa Bangkok 10510

Tel ; 0-2519-7564 Fax ; 0-2519-7563 E- mail ; sales@wellbalanced.co.th

6. ชัยถาวรรุ่งเรือง ติดต่อไปเพื่อซื้ออุปกรณ์เบ็ดเตล็ดต่างๆ และถังคาร์บอนไดออกไซด์

ร้าน ชัยถาวรรุ่งเรือง

330/35 หมู่ 10 เจ้าคุณทหาร แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กทม 10520

Tel ; 0-2738-6197

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.
ผลการทดสอบถังความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัท ยูไนเต็ดอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด

29/3 หมู่ 5 ถนนบางนา-ตราด ตำบลบางเสาธง อำเภอบางเสาธง จังหวัดสมุทรปราการ 10540

โทร. 0-2338-1460-1 , 0-2708-4148-9 แฟ็กซ์ 0-2338-1548 E-mail : uiggases@truemail.co.th , uiggases@gmail.com

วันที่ทดสอบ : 26/01/2011

ข้อมูลท่อบรรจุก๊าซ					น้ำหนัก (Kg.)					การขยายตัว (C.C)				ผลการทดสอบ / สภาพท่อภายนอก / ภายใน							
ลำดับ	ชื่อเจ้าของท่อ	เบอร์ท่อ	ชนิดก๊าซ	ทดสอบครั้งสุดท้าย	น้ำหนักเดิม	น้ำหนักปัจจุบัน	% น้ำหนักที่หาย	ความหนา (มิตร)	ความดันทดสอบ (PSIG)	ส่วนขยายตัวรวม	ส่วนขยายตัวถาวร	อัตราส่วนการขยายตัว (%)	เวลาในการทดสอบท่อ(วินาที)	คุกร่อน / สนิม	รอยบุบ / บวม	รอยบุบ / ปุ่ม	รอยเชื่อม	รอยไฟไหม้	สภาพท่อภายใน (ส่อง ไฟ)	สรุปผลการทดสอบท่อ	หมายเหตุ
1	พระจอมเกล้าลาดกระบัง		CO_2	-	13.55	13.55	-	0.200	3000	40	0	0	30								
2	"		CO_2	-	13.55	13.53	-	0.200	4500	40	1	4.8	30								
3																					
4																					
5																					
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					

ผู้จัดทำ_____ ผู้ทดสอบ_____ วิศวกรผู้ควบคุม_____ ผู้อนุมัติ_____

(น.ส.วรรณนารี แพงมา) (นายสมนึก จันทร์แจ่ม) (นายเผ่าศักดิ์ สุวรรณรัศมี) (นายวิเชษฐ์ เหล่าชูวงศ์)

ผู้จัดทำรายงาน เจ้าหน้าที่แผนกตรวจสอบสภาพท่อ ผู้รับรองผลการตรวจสอบ ผู้จัดการ

หมายเหตุ

1. ใบรับรองผลการทดสอบท่อนี้ออกไว้เพื่อเป็นการรับรองสำหรับท่อก๊าซที่มีหมายเลขระบุไว้ในใบรับรองเท่านั้น
2. ผลการทดสอบไม่ได้รวมถึงอุปกรณ์ที่ติดกับท่อก๊าซ เช่น หัววาล์วท่อก๊าซ
3. ผู้ใช้งานท่อก๊าซควรเป็นผู้มีความรู้เกี่ยวกับก๊าซที่ผ่านการฝึกอบรมมาแล้ว
4. การใช้งานท่อก๊าซควรใช้ความระมัดระวัง โดยปฏิบัติตามข้อแนะนำอย่างเคร่งครัด
5. ห้ามนำท่อก๊าซไปใช้บรรจุก๊าซเกินกว่า working pressure (WP) ที่กำหนดไว้บนท่อก๊าซ
6. ห้ามใช้น้ำมัน จารบี กับท่อบรรจุก๊าซออกซิเจน หรือ ก๊าซอื่นๆ ที่มีส่วนประกอบของก๊าซออกซิเจนโดยเด็ดขาด
7. กำหนดระยะเวลาการทดสอบท่อ จะต้องทดสอบท่อทุกๆ 5 ปี

เครื่องหมาย / หมายถึง "ผ่าน" , **เครื่องหมาย** X หมายถึง " ไม่ผ่าน" , **เกณฑ์ดังต่อไปนี้ถือว่าไม่ผ่าน** : น้ำหนักท่อหาย > 5% **หรือ** อัตราส่วนการขยายตัวถาวรท่อเหล็ก > 10% , ท่ออลูมิเนียม > 5%

ภาคผนวก ฉ.

มาตรฐานถังความดันตามหลัก มอก. 358-2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๓๙๙๗ (พ.ศ. ๒๕๕๒)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. ๒๕๑๑

เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

การใช้และการซ่อมบำรุงภาชนะบรรจุก๊าซทนความดัน

และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

การใช้และการซ่อมบำรุงภาชนะบรรจุก๊าซทนความดันแบบไม่มีตะเข็บ

ความจุไม่เกิน 150 ลูกบาศก์เดซิเมตร

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การใช้และการซ่อมบำรุงภาชนะบรรจุก๊าซทนความดัน มาตรฐานเลขที่ มอก. 358 - 2531

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๕ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๑๑ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ ๑๓๓๐ (พ.ศ. ๒๕๓๑) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. ๒๕๑๑ เรื่อง ยกเลิกและกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การใช้และการซ่อมบำรุงภาชนะบรรจุก๊าซทนความดัน ลงวันที่ ๒๘ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๓๑ และออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การใช้และการซ่อมบำรุงภาชนะบรรจุก๊าซทนความดันแบบไม่มีตะเข็บ ความจุไม่เกิน 150 ลูกบาศก์เดซิเมตร มาตรฐานเลขที่ มอก. 358 - 2551 ขึ้นใหม่ ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๑๓ พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๕๒

ชาญชัย ชัยรุ่งเรือง

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
การใช้และการซ่อมบำรุง
ภาชนะบรรจุก๊าซทนความดันแบบไม่มีตะเข็บ
ความจุไม่เกิน 150 ลูกบาศก์เดซิเมตร

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดรายละเอียดเกี่ยวกับการใช้และการซ่อมบำรุงสำหรับภาชนะบรรจุก๊าซทนความดันแบบไม่มีตะเข็บที่มีความจุไม่เกิน 150 ลูกบาศก์เดซิเมตร

1.2 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหรกรมนี้ไม่ครอบคลุมการใช้และการซ่อมบำรุงสำหรับภาชนะบรรจุก๊าซอะเซทิลีนที่ละลายในอะซีโทน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว และก๊าซธรรมชาติอัด (compressed natural gas, CNG)

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีดังต่อไปนี้

2.1 ภาชนะบรรจุก๊าซทนความดันแบบไม่มีตะเข็บ ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "ถังก๊าซ" หมายถึง ถังเหล็กกล้ารูปทรงกระบอกแบบไม่มีตะเข็บเพื่อใช้บรรจุและขนส่งก๊าซ

2.2 ก๊าซถาวร (permanent gas) หมายถึง ก๊าซที่มีอุณหภูมิวิกฤติ (critical temperature) ไม่สูงกว่า 0 องศาเซลเซียส ก๊าซไม่สามารถแปรสภาพเป็นของเหลวด้วยความดัน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

2.3 ก๊าซเหลว (liquefied gas) หมายถึง ของเหลวที่มีอุณหภูมิวิกฤติสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดไม่สูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 101.325 กิโลพาสคัล ก๊าซสามารถแปรสภาพเป็นของเหลวด้วยความดันที่อุณหภูมิเท่ากับหรือสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส

2.4 ก๊าซพิษ (toxic gas) หมายถึง ก๊าซที่เป็นพิษ หรือ กัดกร่อน เป็นอันตรายต่อร่างกายสุขภาพของสิ่งมีชีวิตมีค่า LC50 เท่ากับหรือน้อยกว่า 5 000 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร (LC50 ยิ่งน้อยยิ่งอันตราย)

2.5 ก๊าซไวไฟ (flammable gas) หมายถึง ก๊าซที่เมื่อผสมกับอากาศแล้ว จะได้ก๊าซผสมซึ่งสามารถลุกไหม้ได้เมื่อมีประกายไฟ

2.6 ก๊าซแตกตัวให้ออกซิเจน (oxidizing gas) หมายถึง ก๊าซที่ทำปฏิกิริยาแล้วให้ออกซิเจนหรือสารประกอบของออกซิเจน

2.7 ก๊าซเฉื่อย (inert gas) หมายถึง ก๊าซไม่ไวไฟ ไม่เป็นพิษ ไม่แตกตัวให้ออกซิเจน และไม่ไวต่อปฏิกิริยาทางเคมีภายใต้ภาวะปกติ

2.8 ก๊าซพิเศษ (special gas) หมายถึง ก๊าซที่ผลิตจากกระบวนการผลิตพิเศษ หรือก๊าซที่ทำให้มีความบริสุทธิ์สูง หรือก๊าซที่มีส่วนผสมของก๊าซตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ *LC50 (lethal concentration fifty) คือ ความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศซึ่งคาดว่าจะทำให้สัตว์ทดลองที่สูดดมในระยะเวลาที่ระบุไว้ตายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่ง (ร้อยละ 50) ของจำนวนเริ่มต้น LC50 เป็นค่าที่คำนวณได้จากผลการศึกษา การทดลอง ทำโดยแบ่งสัตว์ทดลองออกเป็นกลุ่ม จำนวนสัตว์ในแต่ละกลุ่มเท่า ๆ กัน กลุ่มละ 10 ตัวหรือมากกว่า*

การรายงานค่า LC50 จึงต้องระบุระยะเวลาของการทดลองด้วย เช่น LC50 (4 ชั่วโมง) ของเบนซินในหนูเท่ากับ 44.66 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

ค่า LC50		ระดับความเป็นพิษ
ก๊าซ	ฝุ่นละออง	
LC50 ≤ 1 000 mg/dm³	LC50 ≤ 0.5 mg/dm³	ร้ายแรงมาก (extremely toxic)
1 000 < LC50 ≤ 3 000 mg/dm³	0.5 < LC50 ≤ 2 mg/dm³	ร้ายแรง (highly toxic)
3 000 < LC50 ≤ 5 000 mg/dm³	2 < LC50 ≤ 10 mg/dm³	ปานกลาง (moderate toxic)
5 000 < LC50 ≤ 10 000 mg/dm³	10 < LC50 ≤ 200 mg/dm³	เล็กน้อย (slightly toxic)
LC50 > 10 000 mg/dm³	LC50 > 200 mg/dm³	ในทางปฏิบัติถือว่าสารนี้ไม่มีพิษ (practical non-toxic)

2.8 ความจุ (capacity, V) หมายถึง ปริมาตรภายในของถังก๊าซคิดเป็นความจุของน้ำเต็มถังก๊าซ

2.9 ความดันสูงสุดบรรจุ (maximum filling pressure) หมายถึง ความดันสูงสุดที่ใช้บรรจุก๊าซถาวรที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส

2.10 ความดันทดสอบ (test pressure) หมายถึง ความดันที่ใช้ทดสอบถังก๊าซ

2.11 อัตราส่วนการบรรจุ (filling ratio) หมายถึง อัตราส่วนเป็นร้อยละของมวลของก๊าซเหลวที่อนุญาตให้บรรจุในถังก๊าซต่อมวลของน้ำที่บรรจุเต็มถังก๊าซที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส (ตามตารางที่ ก.1)

2.12 ท่อร่วมปล่อยความดัน (blowdown manifold) หมายถึง ระบบท่อและอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพื่อใช้ในการลดความดันของก๊าซภายในถังก๊าซสู่บรรยากาศอย่างปลอดภัย

2.13 มวลถังก๊าซเปล่าที่ใช้บรรจุก๊าซเหลว หมายถึง มวลรวมทั้งหมดของถังก๊าซ ซึ่งรวมไปถึงอุปกรณ์ป้องกันลิ้น ลิ้น และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ เช่น ท่อจุ่ม (dip tube)

2.14 วงแหวนสวมบนคอถังก๊าซ หมายถึง วงแหวนพลาสติกหรือโลหะที่สวมระหว่างลิ้นกับบ่าถังก๊าซ เพื่อแสดงมวลทั้งหมดของถังก๊าซและมวลบรรจุหรือข้อมูลอื่น ๆของถังก๊าซ

3. หน่วยตรวจสอบ

หน่วยตรวจสอบต้องมีคุณสมบัติดังนี้

3.1 การบริหารและบุคลากร

3.1.1 ต้องมีมาตรการในการตรวจสอบ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่ละเอียดถูกต้อง มีอุปกรณ์และเจ้าหน้าที่เพียงพอ มีสถานที่และวิธีการที่จะดำเนินการให้ผลการตรวจสอบถูกต้องเป็นที่เชื่อถือได้ รวมทั้งสามารถรักษาความเชื่อถือไว้ได้ตลอดไป

3.1.2 ต้องมีผู้รับรองผลการตรวจสอบ ซึ่งต้องมีความสามารถและหน้าที่รับผิดชอบต่อการควบคุมหน่วยตรวจสอบ มีความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับหลักเกณฑ์การตรวจสอบ มาตรฐาน และกฎข้อบังคับที่เกี่ยวข้องรวมทั้งอุปกรณ์การตรวจสอบเป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ต้องมีผู้ควบคุมการตรวจสอบ ซึ่งมีอายุไม่น้อยกว่า 21 ปี บริบูรณ์ มีประสบการณ์ในการตรวจสอบถังก๊าซมาแล้วไม่น้อยกว่า 2 ปี มีความเข้าใจในรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีตรวจสอบ มาตรฐานและกฎข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง มีความชำนาญในการใช้อุปกรณ์การตรวจสอบต่าง ๆ มีหน้าที่กำกับดูแลและควบคุมการตรวจสอบดูแลรักษาอุปกรณ์ และเก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ

3.1.4 ต้องมีผู้ตรวจสอบ ซึ่งต้องมีคุณสมบัติเหมาะสมกับงานด้านนี้ โดยผ่านการฝึกอบรมเกี่ยวกับความปลอดภัยในการตรวจสอบถังก๊าซ มีความเข้าใจในวิธีตรวจสอบและสามารถระบุได้ว่าถังก๊าซนั้น ๆ จะนำไปใช้งานต่อไปได้หรือไม่จากผลการตรวจสอบดังกล่าว มีหน้าที่ตรวจสอบและพิจารณาว่าถังก๊าซจะสามารถนำไปใช้งานต่อไปได้หรือไม่

3.1.5 ผู้ตรวจสอบต้องสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลที่เหมาะสม เช่น แว่นตานิรภัย รองเท้านิรภัย

3.1.6 การตรวจสอบถังก๊าซจะต้องได้รับอนุญาตจากเจ้าของถังก๊าซนั้น ๆ หน่วยตรวจสอบจะต้องทราบถึงความดันที่จะทดสอบก๊าซที่ใช้บรรจุ ทั้งนี้ต้องรวมไปถึงข้อมูลเฉพาะอื่น ๆที่จำเป็น

3.1.7 หากเป็นการบรรจุก๊าซเหลว หน่วยตรวจสอบต้องทราบถึงข้อมูลตามข้อ 3.1.6 และความจุของถังก๊าซ อัตราส่วนการบรรจุ น้ำหนักบรรจุ เพื่อให้สามารถทำเครื่องหมายและฉลากได้อย่างถูกต้อง

3.2 สถานที่

3.2.1 ต้องมีพื้นที่ทำงานเพียงพอ สะอาดและแห้ง และต้องไม่มีการปฏิบัติงานอื่น ๆ ที่อาจทำให้ไม่สะดวกในการตรวจสอบถังก๊าซ

3.2.2 ต้องมีแสงสว่างเพียงพอที่จะสามารถตรวจสอบสภาพภายนอกของถังก๊าซได้

3.2.3 ต้องมีระบบระบายอากาศที่เหมาะสมสำหรับก๊าซแต่ละชนิด

3.2.4 ต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดที่ไม่เกิดประกายไฟสำหรับการตรวจสอบถังก๊าซที่บรรจุก๊าซไวไฟ

3.2.5 ต้องมีสถานที่จัดเก็บถังก๊าซที่แบ่งแยกชัดเจน เพื่อป้องกันการปะปนกันของถังก๊าซที่ไม่ผ่านการตรวจสอบหรือรอทำลาย กับถังก๊าซที่บรรจุก๊าซแล้ว หรือถังก๊าซรอตรวจสอบ

3.3 อุปกรณ์

3.3.1 ต้องมีอุปกรณ์และเครื่องมือดังต่อไปนี้

3.3.1.1 มาตรฐาน กฎข้อบังคับ และวิธีปฏิบัติเกี่ยวกับการตรวจสอบถังก๊าซ รวมทั้งข้อแก้ไขเพิ่มเติมทั้งหมด

3.3.1.2 หลอดไฟตรวจพินิจแบบแรงดันไฟฟ้าต่ำ (ไม่เกิน 24 โวลต์) สำหรับตรวจสอบสภาพภายในถังก๊าซ กรณีถังก๊าซที่บรรจุก๊าซไวไฟ ต้องใช้หลอดไฟชนิดพิเศษที่ป้องกันการติดไฟ หรือแบบใยแก้วนำแสง (fiber optic) และอาจมีอุปกรณ์อื่นที่อาจจำเป็นต่อการตรวจสอบผิวภายในและภายนอกของถังก๊าซ เช่น กระจก และหลอดไฟตรวจสอบภายในถังก๊าซ (inspection lamp)

3.3.1.3 อุปกรณ์สำหรับใช้จับหรือยกถังก๊าซ เพื่อความสะดวกในการถอดหรือใส่ลิ้น และ/หรือ ตรวจสอบบริเวณก้นถังก๊าซ

3.3.1.4 อุปกรณ์ถอดลิ้นที่อุดตันหรือเสียหาย

3.3.1.5 อุปกรณ์ตรวจสอบและทำความสะอาดเกลียวคอถังก๊าซ เช่น แปรงสำหรับการทำความสะอาดเกลียวคอถังก๊าซ

3.3.1.6 อุปกรณ์สำหรับทำเครื่องหมายและฉลาก

3.3.1.7 อุปกรณ์ทำความสะอาดภายในถังก๊าซ

3.3.1.8 อุปกรณ์เป่าแห้งภายในถังก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.9 เครื่องทดสอบด้วยความดันไฮดรอลิกแบบมีถังน้ำ (water jacket) หรือแบบไม่มีถังน้ำ (non-water jacket) ซึ่งสามารถวัดปริมาตรการขยายตัวถาวรของถังก๊าซได้ละเอียดถึง 1/20 000 ของปริมาตรถังก๊าซ และมีมาตรความดันไม่น้อยกว่า 2 เครื่อง เส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าปัดไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 1

3.3.1.10 เครื่องทดสอบด้วยความดันไฮดรอลิกแบบทดสอบพิสูจน์ (hydraulic proof test)

3.3.1.11 อุปกรณ์สำหรับถ่ายหรือระบายน้ำออกจากถังก๊าซ

3.3.1.12 อุปกรณ์สำหรับวัดมิติที่เหมาะสม

3.3.1.13 เครื่องชั่งที่มีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 1

3.3.1.14 อาจใช้เครื่องมือตรวจสอบอื่น ๆที่ควรจะมีไว้ นอกจากที่ระบุไว้แล้วก็ได้ ดังนี้

(1) เครื่องอัลทราโซนิก (ultrasonic device) เพื่อตรวจหารอยชำรุดในเนื้อโลหะ และวัดความหนาผนังถังก๊าซ

(2) อุปกรณ์หรือประแจทอร์กแบบปรับตั้งได้ (adjustable torque wrench) เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบโมเมนต์บิดของอุปกรณ์ถอด/ใส่ลิ้นหรือข้อต่อ

(3) อุปกรณ์ตรวจสอบเกลียวลิ้นและข้อต่อ

(4) ท่อร่วมปล่อยความดันของก๊าซไวไฟในกรณีที่ต้องทดสอบถังก๊าซบรรจุก๊าซไวไฟ หรือก๊าซผสมไวไฟ เช่น ไฮโดรเจน

3.3.1.15 ลิ้นนิรภัยของอุปกรณ์ทดสอบถังก๊าซต้องมีการตรวจสอบสภาพการใช้งาน ไม่เกิน 12 เดือน

3.3.2 การสอบเทียบ

ให้สอบเทียบมาตรต่าง ๆที่ใช้งาน ตามวาระดังนี้

3.3.2.1 มาตรความดันไม่เกิน 12 เดือน

3.3.2. อุปกรณ์สอบเทียบมาตรความดันไม่เกิน 24 เดือน

3.3.2.3 เครื่องชั่งทุกวัน

3.3.2.4 ชุดน้ำหนักทดสอบมาตรฐาน สำหรับสอบเทียบเครื่องชั่งไม่เกิน 24 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การบรรจุก๊าซและการใช้ถังก๊าซ

4.1 การบรรจุก๊าซ

4.1.1 อัตราส่วนการบรรจุก๊าซแต่ละชนิด ให้เป็นไปตามภาคผนวก ก. ข้อ ก.1

4.1.2 ความดันใช้งาน และความดันทดสอบสำหรับก๊าซแต่ละชนิดให้เป็นไปตามที่ระบุ ไว้ในแบบแสดงมิติถังก๊าซ (design drawing) หรือที่ระบุบนตัวถังก๊าซ

4.1.3 ห้ามนำถังบรรจุก๊าซพิษไปบรรจุก๊าซอื่น ๆ หรือบรรจุก๊าซอื่น ๆ ในถังบรรจุก๊าซพิษ

4.1.4 ภายหลังบรรจุก๊าซแล้ว ให้ตรวจสอบถังก๊าซทุกถังว่ามีก๊าซรั่วหรือไม่ ห้ามส่งถังก๊าซรั่วออกจำหน่ายจ่ายแจก

4.1.5 ลิ้นและกลอุปกรณ์นิรภัยแบบระบาย

ให้ใช้ลิ้นที่เป็นไปตามมาตรฐานอันเป็นที่ยอมรับกันว่าปลอดภัยเพียงพอ ส่วนกลอุปกรณ์นิรภัยแบบระบายให้เป็นไปตาม มอก.255

4.2 การใช้ถังก๊าซ

ห้ามใช้ถังก๊าซที่ไม่ทราบประวัติการใช้งานจนกว่าจะได้ผ่านการตรวจสอบตามข้อ 5. ส่วนถังก๊าซที่ทราบประวัติการใช้งาน แล้วให้ตรวจสอบทุก 5 ปี

4.3 ถังก๊าซทุกถัง หากตรวจสอบตามข้อ 5.1 แล้วมีลักษณะหรือข้อบกพร่องรายการใดรายการหนึ่งต่อไปนี้ ห้ามนำมาบรรจุก๊าซ

4.3.1 มวลถังก๊าซเปล่าน้อยกว่าร้อยละ 95 ของมวลถังก๊าซเปล่าเดิม

4.3.2 การตรวจพินิจภายนอกถังก๊าซพบข้อบกพร่อง/ตำหนิและการกัดกร่อนที่ผนังภายนอกถังก๊าซตามตารางที่ ค.1

4.3.3 การตรวจพินิจภายในถังก๊าซพบความบกพร่องในสภาวะที่ 4 ตามตารางที่ ค.2

4.3.4 เกิดการรั่วซึมของก๊าซ ซึ่งหากสงสัยว่าถังก๊าซเกิดรั่วซึมให้นำถังก๊าซที่สงสัยนั้นมาอัดก๊าซจนมีความดันแล้วจุ่มลงในน้ำหรือใช้น้ำสบู่ทา

4.3.5 ปริมาตรส่วนที่ขยายตัวถาวรเกินร้อยละ 10 ของปริมาตรการขยายตัวทั้งหมดที่ความดันทดสอบในกรณีเลือกใช้วิธีตรวจสอบโดยการวัดค่าการขยายตัวถาวรของถังก๊าซ ข้อ 5.1.5.3 แบบมีถังน้ำ หรือแบบไม่มีถังน้ำ

4.3.6 เกิดการรั่วซึมของน้ำที่ผิวถังก๊าซ หรือ พบการบวมของถังก๊าซ หรือ มาตรความดันแสดงค่าที่ลดลงโดยไม่สามารถหาจุดรั่วในระบบได้ ในกรณีเลือกใช้วิธีตรวจสอบข้อ 5.1.5.3 แบบทดสอบพิสูจน์

5. การตรวจสอบและการทำลาย

5.1 การตรวจสอบ

5.1.1 ให้ตรวจสอบถังก๊าซทุกถังก๊าซตามรายการต่อไปนี้ ตามลำดับ

5.1.1.1 ชั่ง

5.1.1.2 ตรวจพินิจภายนอก

5.1.1.3 ตรวจพินิจภายใน

5.1.1.4 ทดสอบด้วยความดันไฮดรอลิก

5.1.1.5 ทดสอบด้วยเครื่องอัลทราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1.6 วิธีปฏิบัติอื่น ๆภายหลังการทดสอบด้วยความดันไฮดรอลิกหรือด้วยเครื่องอัลทราโซนิก

หมายเหตุ การตรวจสอบถังก๊าซให้เลือกใช้ ข้อ 5.1.1.4 หรือ ข้อ 5.1.1.5 ข้อใดข้อหนึ่งหรือทั้งสองข้อ

5.1.2 การเตรียมถังก๊าซ

5.1.2.1 ก่อนนำถังก๊าซส่งหน่วยตรวจสอบให้ทำความสะอาดถังก๊าซจนสามารถมองเห็นเครื่องหมายและฉลากตามที่กำหนดไว้ใน มอก.359 ก่อน หลังจากนั้นให้ปล่อยก๊าซออกจากถังก๊าซให้หมด แล้วทำเครื่องหมายหรือฉลากแสดงว่าเป็น "ถังก๊าซเปล่า" ในการปล่อยหรือถ่ายก๊าซออกจากถังก๊าซควรคำนึงถึงความปลอดภัยเนื่องจากอาจเกิดอันตรายจากก๊าซแต่ละชนิดที่บรรจุอยู่ได้ ในกรณีที่เป็นถังก๊าซบรรจุก๊าซพิษหรือที่อาจเป็นพิษให้ปล่อยหรือถ่ายก๊าซโดยเจ้าหน้าที่ผู้มีความชำนาญ และมีเครื่องมือเพียงพอสำหรับก๊าซนั้น ๆ และให้ทำเครื่องหมายหรือฉลากระบุว่าเป็นถังก๊าซที่บรรจุ "ก๊าซพิษ" (ตามตารางที่ ก.1)

5.1.2.2 ในกรณีถังบรรจุก๊าซพิษ หากสงสัยว่าลิ้นอุดตัน (blocked valve) ให้ถ่ายก๊าซเข้าสู่อุปกรณ์เก็บก๊าซที่มีความปลอดภัยเพียงพอและในระหว่างการถอดลิ้น ก๊าซที่ออกจากถังก๊าซต้องไม่เป็นอันตรายกับผู้ปฏิบัติงาน

5.1.2.3 ก่อนจะดำเนินการตรวจสอบใด ๆ หน่วยตรวจสอบต้องดำเนินการ ดังนี้

(1) ตรวจสอบว่าเป็นถังก๊าซเปล่าหรือไม่ และลิ้นอุดตันหรือไม่โดยการเปิดลิ้น ถ้าไม่มีก๊าซระบายออกและไม่พบสิ่งอุดตันที่ทางออกของลิ้น ให้บรรจุก๊าซไนโตรเจนหรือก๊าซเฉื่อยที่มีความดันต่ำไม่เกิน 103.42 กิโลพาสคัล เข้าที่ทางออกของลิ้น เมื่อปลดสายอัดออกแล้ว ถ้ามีก๊าซระบายออกแสดงว่าเป็นถังก๊าซเปล่า หากไม่มีแสดงว่าลิ้นถังก๊าซนั้นอุดตัน

(2) ในกรณีที่ลิ้นอุดตันให้ส่งกลับไปถ่ายก๊าซใหม่ตามข้อ 5.1.2.4

5.1.2.4 การปล่อยก๊าซออกจากถังก๊าซที่ลิ้นอุดตันให้หมดต้องได้รับการดูแลและการปฏิบัติจากผู้ที่มีความชำนาญและผ่านการฝึกอบรมโดยหน่วยงานที่มีความรู้เพียงพอ รวมถึงมีเครื่องมือเพียงพอสำหรับปฏิบัติงานกับก๊าซนั้น ๆ ยกเว้นก๊าซพิษ ถ้ากรณีที่เป็นก๊าซพิษให้ปฏิบัติตามข้อ 5.1.2.1 และข้อ 5.1.2.2 ขั้นตอนการปฏิบัติทั่วไปสำหรับลิ้นอุดตัน มีขั้นตอนการปฏิบัติสำหรับการลดความดัน (depressurize) 3 วิธี ให้เลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่ง ดังต่อไปนี้

(1) วิธีการใช้เลื่อยตัดโลหะ

(1.1) กรณีที่ถังก๊าซมีอุปกรณ์ป้องกันลิ้น (valve guard) ให้ถอดอุปกรณ์ที่ป้องกันลิ้นออก

(1.2) กำจัดจาระบีออกไปจากเครื่องมือและอุปกรณ์ทั้งหมด รวมทั้งลิ้นและบริเวณก้านลิ้น โดยใช้ตัวทำละลายที่ได้รับการรับรอง เช่น ไตรคลอโรเอธิลีน (TCE) แอซีโทน (Acetone)

(1.3) วางถังก๊าซไว้ในบริเวณที่ได้รับอนุมัติและต้องมั่นใจว่า:

- ใช้ตัวจับยึด (clamp) ที่ถูกต้องกับขนาดและวัสดุของถังก๊าซ
- หันชุดลิ้น (valve gland) และแกนลิ้นออกจากผู้ปฏิบัติงาน

(1.4) ฉีดน้ำไปยังตำแหน่งปลายของเลื่อยตัดโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1.5) เลื่อยส่วนที่บางที่สุดของตัวลิ้น (ปกติจะเป็นด้านหลังลิ้น โดยอ้างอิงจากแบบโครงสร้างของลิ้นชนิดนั้น ๆ)

หมายเหตุ เลื่อยให้ลึกพอที่จะลงไปถึงช่องทางผ่านของก๊าซภายใต้บ่าลิ้นถังก๊าซ (valve seat)

(1.6) ปิดน้ำที่ทำการฉีด

(1.7) ปล่อยก๊าซออกจากถังก๊าซให้หมด

(1.8) ถอดลิ้นอุดตันออกจากถังก๊าซได้

(2) วิธีการใช้สว่านมือ

(2.1) กรณีที่ถังก๊าซมีอุปกรณ์ป้องกันลิ้นให้ถอดอุปกรณ์ที่ป้องกันลิ้นออก

(2.2) กำจัดจาระบีออกจากเครื่องมือและอุปกรณ์ทั้งหมด รวมทั้งลิ้นและบริเวณก้านลิ้น โดยใช้ตัวทำละลายที่ได้รับการรับรอง เช่น ไตรคลอโรเอธิลีน แอซีโทน

(2.3) วางถังก๊าซไว้ในบริเวณที่ได้รับอนุมัติและต้องมั่นใจว่า:

- ใช้ตัวจับยึดที่ถูกต้องกับขนาดและวัสดุของถังก๊าซ
- หันชุดลิ้นและแกนลิ้นออกจากผู้ปฏิบัติงาน

(2.4) ฉีดน้ำไปยังตำแหน่งปลายของสว่านเจาะ

(2.5) เริ่มเจาะรูลึกในตำแหน่งที่บางที่สุดของตัวลิ้น(ปกติจะเป็นด้านหลังลิ้น โดยอ้างอิงจากแบบโครงสร้างของลิ้นชนิดนั้น ๆ) ตั้งแต่ 1.5 มิลลิเมตรแล้วค่อย ๆ เจาะลึกลงอีกจนกระทั่งมีก๊าซรั่วซึมออกมา

หมายเหตุ (1) รูที่เจาะต้องให้ลึกพอที่จะลงไปถึงช่องทางผ่านของก๊าซบ่าลิ้นถังก๊าซ

(2) ข้อควรระวังการเจาะต้องหยุดทันทีเมื่อมีสัญญาณเตือนให้รู้ว่ามีก๊าซไหลออกมา

(2.6) ปิดน้ำที่ทำการฉีด

(2.7) ปล่อยก๊าซออกจากถังก๊าซให้หมด

(2.8) ถอดลิ้นอุดตันออกจากถังก๊าซได้

(3) วิธีการถอดแผ่นปะทุ (bursting disc)

(3.1) กรณีที่ถังก๊าซมีอุปกรณ์ป้องกันลิ้นให้ถอดอุปกรณ์ที่ป้องกันลิ้นออก

(3.2) กำจัดจาระบีออกจากไปเครื่องมือและอุปกรณ์ทั้งหมด รวมทั้งลิ้น/บริเวณก้านลิ้น โดยใช้ ตัวทำละลายที่ได้รับการรับรอง เช่น ไตรคลอโรเอธิลีน แอซีโทน

(3.3) วางถังก๊าซไว้ในบริเวณที่ได้รับอนุมัติและต้องมั่นใจว่า:

- ใช้ตัวจับยึดที่ถูกต้องกับขนาดและวัสดุของถังก๊าซ
- หันชุดลิ้น และแกนลิ้นออกจากผู้ปฏิบัติงาน

(3.4) ค่อย ๆคลายแผ่นปะทุอย่างระมัดระวัง จนกระทั่งได้ยินเสียงก๊าซไหลออก

(3.5) รอจนกระทั่งความดันในถังก๊าซเริ่มลดลง ให้คลายแผ่นปะทุออกอีกเล็กน้อยเพื่อให้ก๊าซไหลออกอย่างต่อเนื่อง

(3.6) เมื่อก๊าซไหลออกหมด ให้ถอดแผ่นปะทุออก

(3.7) ถอดลิ้นอุดตันออกจากถังก๊าซได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 การตรวจพินิจภายนอก

ก่อนตรวจสอบให้กำจัดสี ผิวชุบเคลือบ รวมทั้งสิ่งแปลกปลอมอื่น ๆที่ติดอยู่ที่ผิวส่วนที่จำเป็นต้องตรวจสอบออกเพื่อสามารถตรวจสอบผิวถังก๊าซได้ แล้วใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การวัดและตรวจสอบที่มีความละเอียดไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ ตรวจรอยสนิม ข้อบกพร่องของถังก๊าซทุกถัง ตำแหน่งที่ควรเน้นการตรวจ คือ ก้นถังก๊าซ และรอยต่อระหว่างตัวถังก๊าซกับฐานถัง

ถ้าตรวจพินิจภายนอกแล้วพบว่า ถังก๊าซมีข้อบกพร่องตามตารางที่ ค.1 ให้ทำการทำลาย

5.1.4 การตรวจพินิจภายใน

5.1.4.1 ให้ใช้หลอดไฟตรวจพินิจแบบแรงดันไฟฟ้าต่ำ ซึ่งมีความเข้มเพียงพอที่จะสามารถเห็นผนังถังก๊าซภายในได้อย่างชัดเจน ตรวจสอบผิวภายในถังก๊าซรวมทั้งอาจใช้อุปกรณ์ประกอบอื่น ๆช่วยในการตรวจพินิจ เพื่อให้ครอบคลุมพื้นผิวภายในถังก๊าซได้ทั้งหมด

5.1.4.2 หากภายในถังก๊าซเปื้อนน้ำมัน หรือของเหลวอื่นที่คล้ายคลึงกัน ก่อนตรวจพินิจให้ทำความสะอาดด้วยไอน้ำหรือตัวทำละลายอื่นที่เหมาะสม

5.1.4.3 หากมีสนิมภายในถังก๊าซ ให้หมุนถังก๊าซโดยใส่ลูกเหล็กกลิ้ง (rumbling) หรือพ่นด้วยพ่นทราย หรือวัสดุอื่นที่เหมาะสม (blasting) แล้วทำความสะอาดด้วยไอน้ำหรือตัวทำละลายอื่นที่เหมาะสมหลังจากทำความสะอาดด้วยไอน้ำหรือตัวทำละลายและล้างออกแล้ว ให้เป่าภายในถังก๊าซให้เร็วที่สุดเพื่อป้องกันการเกิดสนิมภายในถังก๊าซ

หมายเหตุ ถังก๊าซที่ใช้ทางการแพทย์ที่มีการตรวจพินิจภายในตามข้อ 5.1.4.2 และ 5.1.4.3 ให้ใช้ไอน้ำในการทำความสะอาดภายในถังก๊าซเท่านั้น

ถ้าตรวจพินิจภายในแล้วพบว่า ถังก๊าซมีข้อบกพร่องตามตารางที่ ค.2 (สภาวะที่ 4) ให้ทำการทำลาย

5.1.5 การทดสอบด้วยความดันไฮดรอลิก

5.1.5.1 ถังก๊าซที่จะทดสอบความดันไฮดรอลิกต้องเป็นถังก๊าซที่ผ่านการตรวจพินิจภายนอกและภายในมาแล้ว

5.1.5.2 การเตรียมถังก๊าซ

ให้ถอดลิ้นและข้อต่อออก ตรวจสอบคอถังก๊าซและเกลียวลิ้นว่าไม่บิดงอ โก่ง เกลียวเสียหรือล้ม และยังอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ อาจทำความสะอาดเกลียวลิ้นได้ ถ้าจำเป็น

5.1.5.3 วิธีทดสอบ

น้ำที่ใช้ทดสอบ ต้องเป็นน้ำสะอาด ปราศจากน้ำมัน หรือสิ่งเจือปน

ทดสอบโดยวิธีวัดค่าการขยายตัวถาวร (permanent expansion test)

(1) แบบมีถังน้ำ

(1.1) เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่วัดและตรวจสอบได้ละเอียดไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ และเป็นไปตามรูปที่ 1 และข้อกำหนดต่อไปนี้

(1.1.1) หลอดแก้ววัดระดับ (graduate tube) ต้องแสดงการเปลี่ยนแปลงถาวรของปริมาตรได้ละเอียดถึง 1 ใน 20 000 ของปริมาตรของถังก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1.2.4) ลดความดันสู่ภาวะปกติ อ่านปริมาตรการขยายตัวถาวรของถังก๊าซเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดในข้อ 4.3.5 ซึ่งคำนวณได้โดยใช้สูตร ดังนี้

$$\text{ปริมาตรการขยายตัวถาวร ร้อยละ} = \frac{V_1}{V_2} \times 100$$

เมื่อ V_1 คือ ปริมาตรการขยายตัวอย่างถาวร เป็นลูกบาศก์เดซิเมตร

V_2 คือ ปริมาตรการขยายตัวทั้งหมดที่ความดันทดสอบเป็นลูกบาศก์เดซิเมตร

(1.2.5) หากถังก๊าซทดสอบมีความดันทดสอบเกินกว่าที่กำหนดไว้มากกว่าร้อยละ 3 ของความดันทดสอบ หรือ 1 เมกะพาสคัล (ให้ใช้ค่าที่น้อยกว่า) ต้องทำลายถังก๊าซทดสอบ เนื่องจากถังก๊าซถูกทดสอบด้วยความดันเกินกว่าค่าที่ออกแบบไว้

(2) แบบไม่มีถังน้ำ

(2.1) เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่วัดและตรวจสอบได้ละเอียดไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ และเป็นไปตามรูปที่ 2 และข้อกำหนดต่อไปนี้

(2.1.1) หลอดแก้ววัดระดับต้องสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงถาวรของปริมาตรได้ละเอียดถึง 1 ใน 20 000 ของปริมาตรของถังก๊าซ

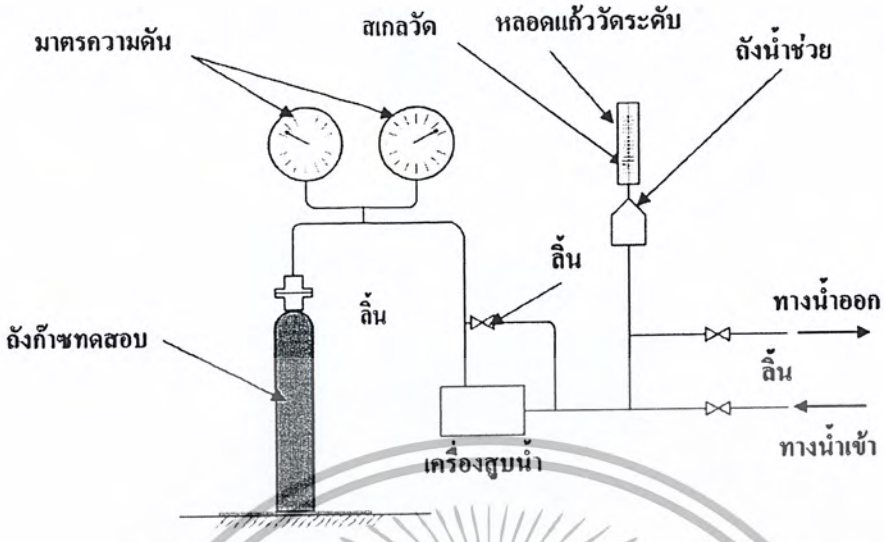
(2.1.2) มาตรความดัน 2 เครื่อง เส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าปัดไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร และต้องมีสเกลอ่านค่าได้ละเอียดอย่างน้อยร้อยละ 1 ของความดันทดสอบ หรือใช้มาตรความดันแบบอีเล็กทรอนิกที่ได้มาตรฐานเทียบเท่ากัน

(2.1.3) ถังน้ำช่วย (auxiliary reservoir) ซึ่งต่อเข้ากับหลอดแก้ววัดระดับต้องจ่ายน้ำเข้าถังก๊าซได้เพียงพอในระหว่างการทดสอบ ซึ่งจะมีปริมาตรร้อยละ 1 ของปริมาตรของถังก๊าซ

(2.1.4) เครื่องสูบน้ำที่การทำงานไม่ส่งผลต่อการอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรภายในถังก๊าซ สำหรับเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบในการอ่านค่าทุกครั้งลูกสูบต้องอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันและเครื่องสูบน้ำต้องไม่รั่วซึม

(2.1.5) ระบบท่อและข้อต่อที่ใช้ต้องสามารถรับความดันได้ไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของความดันทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบด้วยความดันไฮดรอลิกแบบไม่มีถังน้ำ (ข้อ 5.1.5.3 (2.1))

(2.2) วิธีทดสอบ

เช่นเดียวกับข้อ 5.1.5.3 (1.2) โดยคำนวณปริมาตรการขยายตัวอถาวรตามวิธีในภาคผนวก ช.

(3) แบบทดสอบพิสูจน์

(3.1) เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่วัดและตรวจสอบได้ละเอียดไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ และเป็นไปตามรูปที่ 3 และข้อกำหนดต่อไปนี้

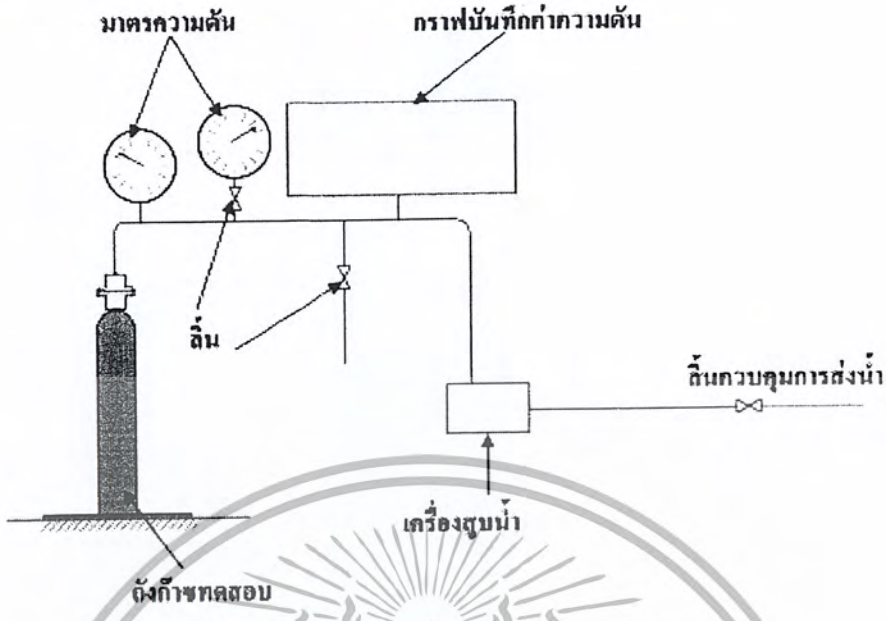
(3.1.1) มาตรความดัน 2 เครื่อง เส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าปัดไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร และต้องมีสเกลอ่านค่าได้ละเอียดอย่างน้อยร้อยละ 1 ของความดันทดสอบ หรือใช้มาตรความดันแบบอีเล็กทรอนกคที่ได้มาตรฐานเทียบเท่ากัน

(3.1.2) ถังน้ำช่วยซึ่งต่อเข้ากับหลอดแก้ววัดระดับต้องจ่ายน้ำเข้าท่อได้เพียงพอในระหว่างการทดสอบ ซึ่งจะมีปริมาตรร้อยละ 1 ของปริมาตรของถังก๊าซ

(3.1.3) เครื่องสูบน้ำที่การทำงานไม่ส่งผลต่อการอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรภายในถังก๊าซ สำหรับเครื่องสูบน้ำแบบลูกสูบในการอ่านค่าทุกครั้งลูกสูบต้องอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันและเครื่องสูบน้ำต้องไม่รั่วซึม

(3.1.4) ระบบท่อและข้อต่อที่ใช้ต้องสามารถรับความดันได้ไม่น้อยกว่า 1.5 เท่าของความดันทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบด้วยความดันไฮดรอลิกแบบทดสอบพิสูจน์
(ข้อ 5.1.5.3 (3.1))

(3.2) วิธีทดสอบ

(3.2.1) ถังก๊าซที่นำมาทดสอบต้องใช้ความดันทดสอบเท่ากัน และไม่เกิน 6 ถัง ในแต่ละรอบการทดสอบ และปริมาตรรวมไม่เกิน 500 ลูกบาศก์เดซิเมตร

(3.2.2) บรรจุน้ำลงในถังก๊าซให้เต็ม ไล่อากาศในระบบทดสอบออกให้หมด

(3.2.3) ทำความสะอาดผิวถังก๊าซที่นำมาทดสอบให้แห้ง

(3.2.4) สูบน้ำเข้าถังก๊าซให้ได้ความดันเท่ากับความดันถังก๊าซที่ออกแบบไว้

(3.2.5) ตัดการทำงานเครื่องสูบน้ำออกจากระบบทดสอบ

(3.2.6) รักษาความดันภายในถังก๊าซให้คงที่ไม่น้อยกว่า 30 วินาที แต่ไม่เกิน 1 นาที

(3.2.7) ตรวจสอบหารอยรั่วของระบบ และความดันของระบบที่มาตรความดันต้องไม่ลดต่ำลง

(3.2.8) สูบน้ำเข้าถังก๊าซเพื่อเพิ่มความดันให้ได้เท่ากับความดันทดสอบตามที่ระบุไว้ในแบบแสดงมิติถังก๊าซ หรือที่ระบุบนตัวถังก๊าซ

(3.2.9) หากถังก๊าซถูกทดสอบด้วยความดันทดสอบเกินกว่าที่กำหนดไว้มากกว่าร้อยละ 3 ของความดันที่ออกแบบไว้ หรือ 1 เมกะพาสคัล (ให้ใช้ค่าที่น้อยกว่า) ต้องทำลายถังก๊าซทดสอบ เนื่องจากความดันที่เกินกว่าค่าที่ถูกออกแบบไว้

(3.2.10) ตรวจสอบหารอยรั่วของระบบ การบวม สภาพผิดปกติอื่น ๆของถังก๊าซ และความดันของระบบที่มาตรความดันต้องไม่ลดต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3.2.11) หากความดันลดต่ำลง และหาจุดรั่วของระบบได้ หลังจากซ่อมจุดรั่วแล้ว ให้ทำการทดสอบซ้ำ

(3.2.12) หากความดันลดต่ำลงและหาจุดรั่วของระบบไม่ได้ ต้องนำถังก๊าซในราวทดสอบมาทดสอบใหม่ทีละถัง โดยวิธีวัดค่าการขยายตัวถาวร

(3.2.13) บันทึกผลการตรวจสอบตามข้อ (3.2.10) ข้อ (3.2.11) และข้อ (3.2.12) รวมถึงสภาพทั่วไปที่พบ

(3.2.14) ลดความดันสู่สภาวะปกติ

5.1.6 การทดสอบด้วยเครื่องอัลทราโซนิก ให้ปฏิบัติตาม ISO 6406

5.1.7 วิธีปฏิบัติอื่น ๆภายหลังการทดสอบด้วยความดันไฮดรอลิกหรือการทดสอบด้วยเครื่องอัลทราโซนิก

5.1.7.1 การทำให้ภายในถังก๊าซแห้งโดยเร็วที่สุดเพื่อป้องกันสนิมที่จะเกิดขึ้นภายในถังก๊าซ ผนังภายในถังก๊าซต้องทำให้แห้งทั้งหมด โดยวิธีเป่าอากาศแห้งหรือไนโตรเจนหรือลมร้อนที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส สำหรับถังก๊าซออกซิเจนหรือไนตรัสออกไซด์ต้องใช้อากาศแห้งหรือไนโตรเจนหรือลมร้อนที่ปราศจากน้ำมันหรือจาระบีที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส หลังจากทำให้ภายในถังก๊าซแห้งแล้วต้องตรวจพินิจภายในถังก๊าซอีกครั้ง เพื่อให้มั่นใจว่าแห้งทั้งหมด

5.1.7.2 การทาสี

หลังจากที่ทาสีแล้ว เครื่องหมายและฉลาก บนผนังถังก๊าซต้องอ่านหรือมองเห็นได้อย่างชัดเจน

สีและสัญลักษณ์สำหรับถังก๊าซที่ใช้ในทางการแพทย์ให้เป็นไปตาม มอก.87

สีและสัญลักษณ์สำหรับถังก๊าซที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมให้เป็นไปตาม มอก.88

สีและสัญลักษณ์สำหรับถังก๊าซพิเศษหรือก๊าซที่ไม่ได้ระบุสีไว้ใน มอก.87 และมอก.88 ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

5.1.7.3 มาตรฐานของเกลียวลิ้นที่จะประกอบเข้ากับท่อจะต้องเป็นไปตาม มอก.255 หรือ ให้เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย

5.1.7.4 ประกอบลิ้น โดยใช้วัสดุกันรั่วที่เหมาะสมกับก๊าซแต่ละชนิด

5.1.7.5 การประกอบลิ้นเข้าถังก๊าซ

การประกอบลิ้นเข้าถังก๊าซต้องใช้ทอร์กและแบบของเกลียวลิ้น ตามตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ทอร์กและแบบของเกลียวลิ้น
(ข้อ 5.1.7.5)

แบบของเกลียวลิ้น	ทอร์ก Nm ต่ำสุด	ทอร์ก Nm สูงสุด
ถังก๊าซเหล็ก แบบเกลียวเรียว ความจุมากกว่า 15 dm^3	245	270
ถังก๊าซเหล็ก แบบเกลียวเรียว ความจุไม่เกิน 15 dm^3	135	160
ถังก๊าซเหล็ก แบบเกลียวขนาน	100	130

5.1.7.6 การตรวจสอบมวลถังก๊าซเปล่าของถังก๊าซที่ใช้บรรจุก๊าซเหลว ถ้ามวลถังก๊าซเปล่าที่ชั่งได้ต่างจากระบุไว้ในเครื่องหมายและฉลากให้ระบุใหม่

5.2 การทำลาย
ถังก๊าซที่มีข้อบกพร่องตามตารางที่ ค.1 และตารางที่ ค.2 (สภาวะที่ 4) ให้ทำลายถังก๊าซโดยตัดถังก๊าซออกเป็นอย่างน้อย 2 ส่วน และทำลายเกลียวคอถังก๊าซ

6. การทำเครื่องหมายและฉลากใหม่

6.1 เลข อักษร หรือเครื่องหมายเดิมที่ระบุอยู่บนถังก๊าซ ต้องอยู่ในสภาพที่อ่านได้ชัดเจน ห้ามเปลี่ยนแปลงรายละเอียดที่ระบุไว้เดิม

6.2 หากตรวจสอบครบทุกรายการแล้ว ปรากฏว่าถังก๊าซยังใช้งานต่อไปได้ให้หน่วยตรวจสอบระบุชื่อ หรือเครื่องหมายของหน่วยตรวจสอบนั้น พร้อมเดือน ปี ที่ตรวจสอบด้วยความดันไฮดรอลิกที่ถังก๊าซนั้นอย่างชัดเจนและถาวร

6.3 การทำเครื่องหมายและฉลากใหม่ ต้องทำหลังจากที่ถังก๊าซได้รับการตรวจสอบและผ่านตามที่กำหนดไว้ในข้อ 5.1 เท่านั้น

6.4 การทำเครื่องหมายและฉลากใหม่มวลถังก๊าซเปล่าของถังก๊าซที่ใช้บรรจุก๊าซเหลว ต้องระบุบนวงแหวนที่สวมบนคอถังเท่านั้น

7. การบันทึกและการรายงานผล

7.1 การบันทึก
หน่วยตรวจสอบต้องเก็บรักษาผลการตรวจสอบเป็นเวลาอย่างน้อย 5 ปี โดยผู้มีหน้าที่รับผิดชอบรับรองผลการตรวจสอบหรือผู้รักษาการแทนเป็นผู้รับรองผลการตรวจสอบนั้น
หน่วยตรวจสอบต้องมีวิธีที่จะสามารถบันทึก และแสดงผลการตรวจสอบ พร้อมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในใบบันทึกผลการตรวจสอบขั้นสุดท้ายได้ และผลการตรวจสอบต้องระบุให้ชัดเจนว่าถังก๊าซนั้นจะใช้งานต่อไปได้หรือไม่
เจ้าของถังก๊าซต้องเก็บใบรับรองการตรวจสอบถังก๊าซไว้จนกระทั่งเลิกใช้งานหรือเลิกเป็นเจ้าของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 การรายงานผล

ให้รายงานผล และแนบสิ่งต่อไปนี้

7.2.1 เลขลำดับของรายงานและวันที่

7.2.2 หมายเลขลำดับของถังก๊าซ

7.2.3 ผลการตรวจพินิจภายนอก (ผ่านหรือไม่ผ่าน และถ้าไม่ผ่านให้บอกเหตุผล)

7.2.4 ผลการตรวจพินิจภายใน (ผ่านหรือไม่ผ่าน และถ้าไม่ผ่านให้บอกเหตุผล)

7.2.5 ผลการทดสอบด้วยความดันไฮดรอลิก (ผ่านหรือไม่ผ่าน และถ้าไม่ผ่านให้บอกเหตุผล)

7.2.6 ผลการทดสอบด้วยเครื่องอัลทราโซนิก (ผ่านหรือไม่ผ่าน และถ้าไม่ผ่านให้บอกเหตุผล)

7.2.7 วัน เดือน ปี ของการทดสอบด้วยความดันไฮดรอลิก หรือเครื่องอัลทราโซนิก

7.2.8 ผลการทดสอบอื่น ๆ (เช่น การชั่งถังก๊าซเปล่า)

7.2.9 สำเนาการทำเครื่องหมายและฉลากที่ระบุใหม่บนตัวถังก๊าซ

7.2.10 ลายมือชื่อผู้รับรองผลการตรวจสอบหรือผู้รักษาการแทน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

สมบัติของก๊าซ

(ข้อ 4.1.1 ข้อ 5.1.2.1 และข้อ 5.1.5.3)

ก.1 อัตราส่วนการบรรจุสำหรับก๊าซแต่ละชนิด ให้เป็นไปตามตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 อัตราส่วนการบรรจุ

(ข้อ ก. 1)

ลำดับที่	ชื่อก๊าซ	สัญลักษณ์	สมบัติ	ชนิด	เลขหมายสารทำความเย็น	อัตราส่วนการบรรจุสูงสุด
	ก๊าซฉาวร					
1	อากาศ	-	ไนโตรเจนร้อยละ 77 ถึง 79.5 ออกซิเจนร้อยละ 19.3 ถึง 22	D	-	
2	อาร์กอน	Ar	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95.0	D	-	
3	โบรอนไทรฟลูออไรด์	BF_3	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	A	-	
4	คาร์บอนมอนอกไซด์	CO	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	A B	-	
5	ก๊าซถ่านหิน	-	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	A B	-	
6	ดิวเทอเรียม	D_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	B	-	
7	ฟลูออรีน	F_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	A C	-	
8	ฮีเลียม	He	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	D	-	
9	ไฮโดรเจน	H_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	B	-	
10	คริปทอน	Kr	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	D	-	
11	มีเทน	CH_4	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95.0	B	-	
12	นีออน	Ne	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	D	-	
13	ไนทริกออกไซด์	NO	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	A	-	
14	ไนโตรเจน	N_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	D	-	
15	ออกซิเจน	O_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	C	-	
16	เททระฟลูออโรมีเทน	CF_4	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	D	14	
17	ไฮโดรเจน/คาร์บอนมอนอกไซด์	H_2/CO	ก๊าซผสมของไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์	A B	-	
	ก๊าซที่ใช้ในการแพทย์					
18	คาร์บอนไดออกไซด์	CO_2	ชั้นคุณภาพสำหรับใช้ในการแพทย์	D	-	0.667
19	คาร์บอนไดออกไซด์/ออกซิเจน	CO_2/O_2	ชั้นคุณภาพสำหรับใช้ในการแพทย์ (คาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าร้อยละ 7)	D	-	-
20	ไซโคลโพรเพน	C_3H_6	ชั้นคุณภาพสำหรับใช้ในการแพทย์	B	-	0.48
21	เอทิลีน	$CH_2:CH_2$	ชั้นคุณภาพสำหรับใช้ในการแพทย์	B	-	0.27
22	ฮีเลียม	He	ชั้นคุณภาพสำหรับใช้ในการแพทย์	D	-	-
23	ฮีเลียม/ออกซิเจน	He/O_2	ชั้นคุณภาพสำหรับใช้ในการแพทย์ (ออกซิเจนมากกว่าร้อยละ 20)	C	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	ชื่อก๊าซ	สัญลักษณ์	สมบัติ	ชนิด	เลขหมายสารทำความเย็น	อัตราส่วนการบรรจุสูงสุด
24	อากาศ (ใช้ในการแพทย์)	AIR	ชั้นคุณภาพสำหรับใช้ในการแพทย์	D	-	-
25	ไนโตรเจน	N_2	ชั้นคุณภาพสำหรับใช้ในการแพทย์	D	-	-
26	ไนทรัสออกไซด์	N_2O	ชั้นคุณภาพสำหรับใช้ในการแพทย์	C	-	0.667 0.625
27	ออกซิเจน	O_2	ชั้นคุณภาพสำหรับใช้ในการแพทย์	-	-	-
28	ออกซิเจน/ คาร์บอนไดออกไซด์	O_2/CO_2	ชั้นคุณภาพสำหรับใช้ในการแพทย์ (คาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 7)	C	-	-
29	ออกซิเจน/ฮีเลียม	O_2/He	ชั้นคุณภาพสำหรับใช้ในการแพทย์ (ฮีเลียมน้อยกว่าร้อยละ 80)	C	-	-
30	ออกซิเจน/ ไนทรัสออกไซด์	O_2/N_2O	ชั้นคุณภาพสำหรับใช้ในการแพทย์ (ออกซิเจนร้อยละ50/ไนตรัสออกไซด์ร้อยละ	C	-	-
	ก๊าซเหลวความดันสูง ที่ใช้ในอุตสาหกรรม					
31	คาร์บอนไดออกไซด์	CO_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	D	744	0.667
32	ไดบอเรน	B_2H_6	ชนส่งในลักษณะเจือจางแล้ว (diluent gas)	A B	-	ไม่กำหนด
33	อีเทน	CH_3:CH_3	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95.0	B	170	0.36 0.32
34	เอทิลีน	CH_2:CH_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	B	1150	0.27
35	ไฮโดรเจนคลอไรด์	HCl	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	A	-	0.65
36	คลอโรไทรฟลูออโรมีเทน	$CClF_3$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	D	13	0.96
37	ไนทรัสออกไซด์	N_2O	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	C	7442	0.667 0.625
38	ไซเลน	SiH_4	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.99	B	-	0.32
39	ซิลิคอนเททระฟลูออไรด์	SiF_4	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	A	-	0.5
40	ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์	SF_6	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	D	-	1.34
41	เททระฟลูออโรเอทิลีน	CF_2:CF_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0 ผสมตัวหน่วงปฏิกิริยาร้อยละ 1	B	-	0.9
42	ไทรฟลูออโรมีเทน	CHF_3	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	D	23	0.6
43	ไวนิลฟลูออไรด์	CH_2:CHF	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5 ผสมตัวหน่วงปฏิกิริยามอร์ฟีนบีร้อยละ 0.2	B	-	0.53
44	ซีนอน	Xe	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	D	-	1.24
	ก๊าซเหลวความดันต่ำ ที่ใช้ในอุตสาหกรรม					
45	แอมโมเนีย (แอนไฮดรัส)	NH_3	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.8	A B	717	0.53
46	โบรโมคลอโรไดฟลูออโรมีเทน	$CBrClF_2$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.5	D	12B1	1.62
47	โบรโมไทรฟลูออโรมีเทน	$CBrF_3$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	D	13B1	1.15
48	บิวทาไดอีน	C_4H_6	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	B	-	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	ชื่อก๊าซ	สัญลักษณ์	สมบัติ	ชนิด	เลขหมายสารทำความเย็น	อัตราส่วนการบรรจุสูงสุด
49	บิวเทน (ที่ใช้ในทางการค้า) (ดูก๊าซปิโตรเลียมเหลว)		ความดันก๊าซที่ 37.8 องศาเซลเซียส ไม่เกิน 0.483 เมกะพาสคัล	B	-	0.49
50	คลอรีน	Cl_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	A	-	1.25
51	คลอโรไดฟลูออโรอีเทน	CH_3CClF_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	B	142b	0.86
52	คลอโรไดฟลูออโรมีเทน	$CRClF_2$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	D	22	1.03
53	คลอโรไดฟลูออโรมีเทน/ คลอโรเพนตะฟลูออโรมีเทน	-	ไม่สามารถทำให้บริสุทธิ์ได้โดยจะอยู่ในลักษณะสารผสม	-	502	1.04
54	คลอโรเททระฟลูออโรอีเทน	$CRClFCF_3$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	D	124	1.15
55	คลอโรไทรฟลูออโรเอทิลีน	$CClCF_3$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	A B	1113	1.18
56	คลอโรเพนตะฟลูออโรอีเทน	$CClF2CF_3$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	D	115	1.04
57	ไซยาโนเจน	C_2N_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	A B	-	1
58	ไซยาโนเจนคลอไรด์	ClCN	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	A	-	1.03
59	ไดโบรโมไดฟลูออโรมีเทน	CBr_2F_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	D	12B2	2
60	ไดคลอโรไดฟลูออโรมีเทน	CCl_2F_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	D	12	1.15
61	ไดคลอโรไดฟลูออโรมีเทน/ ไดคลอโรฟลูออโรอีเทน		ไม่สามารถทำให้บริสุทธิ์ได้โดยจะอยู่ในลักษณะสารผสม	D	500	1
62	ไดคลอโรฟลูออโรมีเทน	$CHCl_2F$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	B	21	1.15
63	ไดคลอโรเททระฟลูออโรอีเทน	$CClF_2CClF_2$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95.0	D	114	1.31
64	ไดฟลูออโรอีเทน	CH_3CHF_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	B	152a	0.68
65	ไดเมทิลแอมีน	C_2H_7N	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	B	-	0.44
66	ไดเมทิลอีเทอร์	C_2H_6O	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	B	-	0.56
67	เอทิลแอมีน	$C_2H_5NH_2$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	B	-	0.6
68	เอทิลคลอไรด์	CH_3CH_2Cl	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	B	160	0.79
69	เอทิลเมทิลอีเทอร์	C_3H_8O	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	B	-	0.61
70	เอทิลีนออกไซด์	C_2H_4O	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	A B	-	0.76
71	ไฮโดรเจนโบรไมด์ (แอนไฮดรัส)	HBr	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.8	A	-	1.35
72	ไฮโดรเจนไซยาไนด์	HCN	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	A B	-	0.59
73	ไฮโดรเจนฟลูออไรด์	HF	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.8	A	-	0.8
74	ไฮโดรเจนซัลไฟด์	H_2S	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.5	A B	-	0.63
75	ไอโซบิวเทน	$CH(CH_3)_3$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	B	-	0.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	ชื่อก๊าซ	สัญลักษณ์	สมบัติ	ชนิด	เลขหมายสารทำความเย็น	อัตราส่วนการบรรจุสูงสุด
76	ไอโซบิวทิลีน (ไอโซบิวทีน)	C_4H_8	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	B	-	0.53
77	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว	LPG	-	B	-	0.85
78	เมทิลแอมีน	CH_3NH_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 98.0	B	630	0.54
79	เมทิลโบรไมด์	CH_3Br	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	A	-	1.39
80	เมทิลคลอไรด์	CH_3Cl	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	A	40	0.82
81	เมทิลเมอร์แคปแทน	CH_3SH	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	A B	-	0.77
82	เอ็น-บิวเทน	$CH_3CH2CH2CH3$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	B	600	0.51
83	ไนโตรเจนไดออกไซด์ (ไนโตรเจนเทอร์ออกไซด์)	$NO_2(N_2O_4)$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	A C	-	1.2
84	ไนโตรซับคลอไรด์	NOCl	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 97.0	A	-	1.14
85	ออกตะฟลูออโรไซโคลบิ	C_4F_8	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	D	318	1.29
86	ฟอสจีน	$COCl_2$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 97.0	A	-	1.19
87	โพรเพน (ที่ใช้ในทางการค้า) (ดูก๊าซปิโตรเลียมเหลว)	-	ความดันก๊าซที่ 37.8 องศาเซลเซียส ไม่เกิน 1.45 เมกะพาสคัล	B	-	0.42
88	โพรพิลีน (บริสุทธิ์) (ดูก๊าซปิโตรเลียมเหลว)	$CH, CH:CH_2$	ความดันก๊าซที่ 37.8 องศาเซลเซียส ไม่เกิน 1.45 เมกะพาสคัล	B	1270	0.44
89	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	SO_2	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.8	A	764	1.23
90	ไตรคลอโรฟลูคอโรมีเทน	CCl_3F	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	D	11	1.35
91	ไตรเมทิลแอมีน	C_3H_9N	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.0	B	-	0.34
92	ไตรฟลูออโรอีเทน	CH_3CF_3	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	B	143a	0.75
93	ไวนิลโบรไมด์	CH_2CHBr	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	A	-	1.05
94	ไวนิลคลอไรด์	$CH_2:CHCl$	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.8	B	1140	0.78
95	ไวนิลเมทิลอีเทอร์ ก๊าซเหลวผสม ที่ใช้ในอุตสาหกรรม	C_3H_6O	ความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99.5	B	-	0.6
96	เอทิลีนออกไซด์/ไดคลอโรไดฟลูออโรมีเทน	C_2H_4O/CCl_2F_2	ก๊าซผสมอัตราส่วน 12:88 โดยมวลมีความบริสุทธิ์	A	-	0.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ 1. *ความหมายของสัญลักษณ์แสดงชนิด*

A หมายถึง ก๊าซพิษ

B หมายถึง ก๊าซไวไฟ

C หมายถึง ก๊าซแตกตัวให้ออกซิเจน

D หมายถึง ก๊าซเฉื่อย

2. *บรรจุด้วยความดัน*

3. *การบรรจุสูงสุดที่ความหนาแน่นต่าง ๆสำหรับก๊าซปิโตรเลียมเหลว ให้เป็นไปตาม มอก.151*

4. *ความดันทดสอบและความดันใช้งานสูงสุดของก๊าซให้ดูจากแบบแสดงมิติถังก๊าซ หรือที่ระบุบนตัวถังก๊าซ*

5. *ตารางข้างบนนี้มีไว้เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิงของอัตราส่วนการบรรจุของก๊าซเหลว ส่วนก๊าซ อื่น ๆ เป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้นเท่านั้น*

6. * *หมายถึง ก๊าซพิษและ/หรือก๊าซพิเศษอื่น ๆจะต้องได้รับการคำนวณอัตราส่วนการบรรจุและการอนุมัติวิธีการบรรจุ โดยผู้ที่ชำนาญการเท่านั้น*

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

วิธีคำนวณหาปริมาตรส่วนที่ขยายตัวถาวรของถังก๊าซ เมื่อทดสอบด้วยความดันไฮดรอลิกแบบไม่มีถังน้ำ

(ข้อ 5.1.5.3 (2.2))

ข.1 การทดสอบนี้เพื่อหาปริมาตรของน้ำ (เป็นลูกบาศก์เดซิเมตร) ที่อัดเข้าถังก๊าซด้วยความดันทดสอบที่กำหนดไว้ของแต่ละถัง และปริมาตรของน้ำที่ผลักดันออกจากถังก๊าซหลังจากลดความดันแล้ว เมื่อทราบมวลและอุณหภูมิของน้ำในถังก๊าซ สามารถที่จะหาความเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของน้ำ เนื่องจากการยุบตัวของน้ำเมื่อถูกอัด (compressibility of water) ซึ่งจะนำมาคำนวณหาปริมาตรส่วนที่ขยายตัวถาวรได้

ข.2 การยุบตัวของน้ำเมื่อถูกอัด คำนวณได้จากสูตรดังนี้

$$V = \frac{mP}{100}\left(K - \frac{0.68\ P}{10^4}\right)$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรของน้ำที่อัดเข้าถังก๊าซเนื่องจากการยุบตัวของน้ำเมื่อถูกอัด เป็นลูกบาศก์เดซิเมตร

m คือ มวลของน้ำภายในถังก๊าซขณะที่ทดสอบ เป็นกิโลกรัม (น้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร มีมวล 1 กิโลกรัม)

P คือ ความดันที่ใช้ทดสอบ เป็นเมกะพาสคัล

K คือ ตัวประกอบเนื่องจากการยุบตัวของน้ำเมื่อถูกอัด สำหรับอุณหภูมิและความดันที่แตกต่างกันตามตารางที่ ข.1

ตัวอย่าง

ความดันที่ใช้ทดสอบ (P)	= 23.2	เมกะพาสคัล
มวลของน้ำที่ใช้บรรจุถังก๊าซเมื่อไม่มีความดัน	= 113.8	กิโลกรัม
อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ทดสอบ	= 30	องศาเซลเซียส
มวลของน้ำที่ใช้อัดเข้าถังก๊าซ ซึ่งทำให้ความดันสูงขึ้นถึง 23.2 เมกะพาสคัล	= 1.745	กิโลกรัม
มวลของน้ำภายในถังก๊าซทั้งหมด (m) ที่ทำให้ความดันสูงขึ้นถึง 23.2 เมกะพาสคัล	= 113.8 + 1.745	
	= 115.545	กิโลกรัม
น้ำที่ผลักดันออกจากถังก๊าซเพื่อลดความดันลง	= 1.698	ลูกบาศก์เดซิเมตร
ปริมาตรส่วนที่ขยายตัวถาวรของถังก๊าซ	= 1.745 - 1.698	
	= 0.047	ลูกบาศก์เดซิเมตร

จากตารางที่ ข.1 เมื่อความดัน 23.2 เมกะพาสคัลและอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะได้ค่าตัวประกอบเนื่องจากการยุบตัวของน้ำเมื่อถูกอัด (K) = 0.042 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรของน้ำที่อัดเข้าถังก๊าซ เนื่องจากการยุบตัวของน้ำเมื่อถูกอัด (V) ที่ความดันที่ 2.32 เมกะพาสคัล และ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

จากสูตร $V = \frac{mP}{100}\left(K - \frac{0.68\ P}{10^4} \right)$

เมื่อ m = 115.545 กิโลกรัม (115.545 ลูกบาศก์เดซิเมตร)

P = 23.2 เมกะพาสคัล

K = 0.042 2

แทนค่า $V = \frac{115.545 \times 23.2}{100} \times \left(0.042\ 2 - \frac{0.68 \times 23.2}{10^4} \right)$

V = 1.089 ลูกบาศก์เดซิเมตร

ปริมาตรส่วนที่ขยายตัวทั้งหมด = 1.745 - 1.089

= 0.656 ลูกบาศก์เดซิเมตร

ปริมาตรส่วนที่ขยายตัวถาวร $= \frac{\text{ปริมาตรส่วนที่ขยายตัวถาวร}}{\text{ปริมาตรส่วนที่ขยายตัวทั้งหมด}} \times 100$

$= \frac{0.047}{0.656} \times 100$

= 7.16

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ตัวประกอบเนื่องจากการยุบตัวของน้ำเมื่อถูกอัด (K)

(ข้อ ข.2)

อุณหภูมิของน้ำ °C	ความดันของน้ำ MPa				
	0 ถึง 10	10 ถึง 20	20 ถึง 30	10*	20*
	ตัวประกอบเนื่องจากการยุบตัวของน้ำเมื่อถูกอัด				
0	0.051 1	0.049 2	0.048 0	0.050 2	0.048 6
1	0.050 6	0.048 8	0.047 7	0.049 7	0.048 3
2	0.050 2	0.048 4	0.047 4	0.049 3	0.047 9
3	0.049 9	0.048 1	0.047 1	0.049 0	0.047 6
4	0.049 6	0.047 7	0.046 8	0.048 7	0.047 3
5	0.049 3	0.047 4	0.046 5	0.048 4	0.047 0
6	0.049 1	0.047 2	0.046 3	0.048 2	0.046 8
7	0.048 9	0.046 9	0.046 0	0.047 9	0.046 5
8	0.048 7	0.046 6	0.045 9	0.047 7	0.046 2
9	0.048 5	0.046 4	0.045 6	0.047 5	0.046 0
10	0.048 3	0.046 2	0.045 3	0.047 3	0.045 8
11	0.048 1	0.045 9	0.045 1	0.047 0	0.045 5
12	0.047 9	0.045 7	0.044 9	0.046 8	0.045 3
13	0.04 7	0.045 5	0.044 7	0.046 6	0.045 1
14	0.047 6	0.045 3	0.044 5	0.046 5	0.044 9
15	0.047 4	0.045 1	0.044 3	0.046 3	0.044 7
16	0.047 3	0.044 9	0.044 1	0.046 1	0.044 5
17	0.047 2	0.044 7	0.043 9	0.046 0	0.044 3
18	0.047 0	0.044 6	0.043 7	0.045 8	0.044 2
19	0.046 9	0044 4	0.043 5	0.045 7	0.044 0
20	0.046 8	0.044 2	0.043 4	0.045 5	0.043 8
21	0.046 7	0.044 1	0.043 2	0.045 4	0.043 7
22	0.046 6	0.044 0	0.043 1	0.045 3	0.043 6
23	0.046 5	0043 9	0.042 9	0.045 2	0.043 4
24	0.046 4	0.043 8	0.042 8	0.045 1	0.043 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ตัวประกอบเนื่องจากการยุบตัวของน้ำเมื่อถูกอัด (K) (ต่อ)

(ข้อ ข.2)

อุณหภูมิของน้ำ °C	ความดันของน้ำ MPa				
	0 ถึง 10	10 ถึง 20	20 ถึง 30	10*	20*
	ตัวประกอบเนื่องจากการยุบตัวของน้ำเมื่อถูกอัด				
25	0.046 3	0.043 7	0.042 7	0.045 0	0.043 2
26	0.046 2	0.043 7	0042 6	0045 0	0.043 2
27	0.046 1	0.043 6	0.042 5	0.044 9	0.043 1
28	0.046 0	0.043 6	0.042 4	0.044 8	0.043 0
29	0.045 9	0.043 5	0.042 3	0.044 7	0.042 9
30	0.045 8	0.043 5	0.042 2	0.044 7	0.042 9
31	0.045 7	0.043 4	0.042 1	0.044 6	0.042 8
32	0.045 6	0.043 4	0.042 0	0.044 5	0.042 7
33	0.045 6	0.043 3	0.041 9	0.044 5	0.042 6
34	0.045 5	0.043 3	0.041 8	0.044 4	0.042 6
35	0.045 4	0.043 2	0.041 7	0.044 3	0.042 5
36	0.045 3	0.043 2	0.041 6	0.044 3	0.042 4
37	0045 2	0043 1	0.041 6	0.044 2	0.042 4
38	0.045 1	0.043 1	0.041 5	0.044 1	0.042 3
39	0.045 0	0.043 0	0.041 5	0.044 0	0.042 3
40	0.044 9	0.042 9	0.041 4	0.043 9	0.042 2

หมายเหตุ ** ในกรณีที่ใช้ความดันของน้ำทดสอบที่ 10 และ 20 เมกะพาสคัล*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1 การตรวจพินิจภายนอกถังก๊าซพบความบกพร่องให้เป็นไปตามตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 ข้อบกพร่อง/ตำหนิและการกัดกร่อนที่ผนังภายนอกถังก๊าซ

(ข้อ 4.3.2 และข้อ 5.2)

ข้อ	ความบกพร่อง/ตำหนิ	คำอธิบาย	เกณฑ์ตัดสินสำหรับการทำลาย
1	บวม/โป่ง (bulge)	มองเห็นเป็นรอยบวม/โป่งตัวที่ผนังถังก๊าซ	ถังก๊าซบวมหรือโป่งตัวที่ผนัง
2	เว้า/บุบ (dent)	เป็นเว้า/บุบที่ผนังถังก๊าซ เกิดจากวัตถุมีคม กระแทกเนื้อโลหะ ถ้ามีความลึกเกินร้อยละ 1 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	- เมื่อรอยเว้า/บุบลึกเกินร้อยละ 3 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกถังก๊าซ หรือ - เมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรอยเว้า/บุบน้อยกว่า 15 เท่าของความลึก
3*	บาด หรือขูดขีด (cut or gouge)	เกิดจากของมีคม ทำให้เกิดการเสียดสีที่เนื้อโลหะ ถ้าความลึกเกินร้อยละ 5 ของความหนาผนังถังก๊าซ	- เมื่อความลึกเกินร้อยละ 10 ของความหนาผนังถังก๊าซ หรือ - เมื่อความยาวเกินร้อยละ 25 ของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกถังก๊าซ หรือ - ความหนาของผนังถังก๊าซน้อยกว่าค่าความหนาต่ำสุดที่ยอมรับได้
4	แตก/รอยร้าว (crack)	วัสดุเกิดการแยก	ถังก๊าซแตกหรือมีรอยร้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ข้อบกพร่อง/ตำหนิและการกัดกร่อนที่ผนังภายนอกถังก๊าซ (ต่อ)

ข้อ	ความบกพร่อง/ตำหนิ	คำอธิบาย	เกณฑ์ตัดสินสำหรับการทำลาย
5	ตำหนิจากไฟ (fire damage)	จุดสังเกตบริเวณที่ถูกไฟไหม้ เกินกว่าระดับทั่วไป แสดงดังนี้ ก) บางส่วนของถังก๊าซเกิดการหลอมละลาย ข) เกิดการผิดรูปร่างที่ถังก๊าซ ค) ถูกเผาไหม้เกรียมหรือสีที่เคลือบถังก๊าซไหม้ ง) เกิดการชำรุดเสียหายที่ลิ้น การ์ดพลาสติก เกิดการหลอมละลาย หรือวงแหวน	ถังก๊าซทั้งหมดที่แสดงลักษณะตามข้อ ก) และ ข) ถังก๊าซทั้งหมดที่แสดงลักษณะตามข้อ ค) และ ง)
6	รอยตอก (stamping)	การตอกเครื่องหมายและฉลากโดยใช้เหล็กตอกลงเนื้อโลหะ	ถังก๊าซทุกถังที่ระบุเครื่องหมายและฉลากที่ผิดหรือดัดแปลงจากข้อกำหนด
7	รอยไหม้จากการเชื่อมโลหะ (arc or torch burns)	เกิดรอยไหม้บางส่วนที่เนื้อโลหะของถังก๊าซ การเชื่อมโลหะ หรือการฉลอก หรือเป็นหลุมที่เนื้อโลหะ	ถังก๊าซมีรอยไหม้จากการเชื่อม
8	เครื่องหมายต้องสงสัย (suspicious marks)	เครื่องหมายและฉลากจากกระบวนการผลิตถังก๊าซหรือจากการซ่อมแซมถังก๊าซโดยไม่ได้รับการอนุมัติ	ถังก๊าซมีเครื่องหมายและฉลากโดยไม่ได้รับการอนุมัติ
9	การทรงตัวของถังก๊าซ (vertical stability)	ถังก๊าซเกิดการเอียงจากแนวตรง ซึ่งอาจแสดงถึงความเสี่ยงในระหว่างการอัดก๊าซได้ (โดยเฉพาะที่ฐานถัง)	ถังก๊าซเอียง
10*	รอยกัดกร่อนทั่วไป (general corrosion)	รอยกัดกร่อนที่ทำให้ความหนาผนังถังก๊าซบางลงมากกว่าร้อยละ 20 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด	- กรณีรอยพื้นผิวเหล็กเดิมเกิดรอยกัดกร่อน หรือ - กรณีที่ความลึกของรอยแหลมคมเกินร้อยละ 10 ของความหนาผนังถังก๊าซเดิม หรือ - กรณีที่ผนังถังก๊าซหนาน้อยกว่าความหนาของผนังถังก๊าซต่ำสุดที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ข้อบกพร่อง/ตำหนิและการกัดกร่อนที่ผนังภายนอกถังก๊าซ (ต่อ)

ข้อ	ความบกพร่อง/ตำหนิ	คำอธิบาย	เกณฑ์ตัดสินสำหรับการทำลาย
11*	รอยกัดกร่อน เฉพาะแห่ง (local corrosion)	รอยกัดกร่อนที่ทำให้ความหนาผนังถังก๊าซบางลงมากกว่าร้อยละ 20 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด ยกเว้นรอยกัดกร่อนเฉพาะแห่งอื่น ๆ ตามที่อธิบายด้านล่าง	- กรณีที่ความลึกของรอยแหลมคมเกินร้อยละ 20 ของความหนาผนังถังก๊าซเดิม หรือ - กรณีที่ความหนาของผนังถังก๊าซน้อยกว่าความหนาผนังถังก๊าซต่ำสุดที่ยอมรับได้
12*	รอยกัดกร่อนเป็นทางยาวหรือร่องหรือหลุมยาวติดต่อกัน (chain pitting or line corrosion)	รอยกัดกร่อน ร่อง หรือหลุมยาวติดต่อกัน เป็นแถบหรือเส้น	- กรณีที่ความยาวทั้งหมดของรอยกัดกร่อนในทุก ๆทิศทางเกินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังก๊าซและมีรอยลึกเกินร้อยละ 10 ของความหนาผนังถังก๊าซเดิม หรือ - กรณีที่ความหนาของผนังถังก๊าซน้อยกว่าความหนาผนังถังก๊าซต่ำสุดที่ยอมรับได้
13*	ร่องหรือหลุมแยกกัน (isolated pits)	ร่องหรือหลุมแยกกันและไม่ได้เป็นแนวตรง	- กรณีที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของร่องหรือหลุมแยกกันเกินกว่า 5 มิลลิเมตรโดยอ้างอิงจากรอยกัดกร่อนเฉพาะที่ - กรณีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของร่องหรือหลุมแยกกันน้อยกว่า 5 มิลลิเมตร ประเมินได้ว่าถังก๊าซนั้นควรระมัดระวังและควรตรวจเช็คความหนาของผนังถังก๊าซ
14	เกลียวภายในที่คอถังก๊าซชำรุดเสียหายหรือไม่ได้ตามพิกัด	เกลียวที่คอถังก๊าซเกิดการชำรุดเสียหายโดยมีรอยเว้า/บุน ขาด ร่องหรือหลุม หรือไม่ได้พิกัด	- เกลียวล้ม เกิดความเสียหายหรือชำรุด

หมายเหตุ * *ความหนาผนังถังก๊าซต่ำสุดที่ยอมรับได้ หากหาไม่ได้ ให้ใช้ความหนาสูงสุดของถังก๊าซส่วนรูปทรงกระบอกที่ไม่ถูกกัดกร่อน ซึ่งวัดได้จากการสุ่มเป็นจำนวน 5 แห่งอย่างทั่วถึง โดยถังก๊าซที่ถูกใช้อ้างอิงต้องออกแบบด้วยมาตรฐานเดียวกัน*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.2 การตรวจพินิจภายในถังก๊าซพบความบกพร่องให้เป็นไปตามตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2 การตรวจพินิจภายในถังก๊าซพบความบกพร่อง

(ข้อ 4.3.3 ข้อ 5.1.4 ข้อ 5.2 และข้อ ค.2)

สภาวะที่ 1 สภาพผิวภายในถังก๊าซ สะอาด ไม่มีรอยสนิมเสมือนเป็นถังใหม่	
บริเวณส่วนบนคอถังก๊าซ	
บริเวณส่วนกลางถังก๊าซ	
บริเวณก้นถังก๊าซ	

หมายเหตุ *ผู้ตรวจสอบต้องมีความรู้อย่างดีในการตรวจพินิจภายในถังก๊าซ และต้องได้รับการอบรมเพื่อสร้างความเข้าใจและการใช้เป็นมาตรฐานการตรวจสอบเดียวกัน*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 การตรวจพินิจภายในถังก๊าซพบความบกพร่อง (ต่อ)

สภาวะที่ 2 สภาพผิวภายในมีร่องรอยสนิมเพียงเล็กน้อย
บริเวณส่วนบนคอถังก๊าซ   บริเวณส่วนกลางถังก๊าซ   บริเวณก้นถังก๊าซ

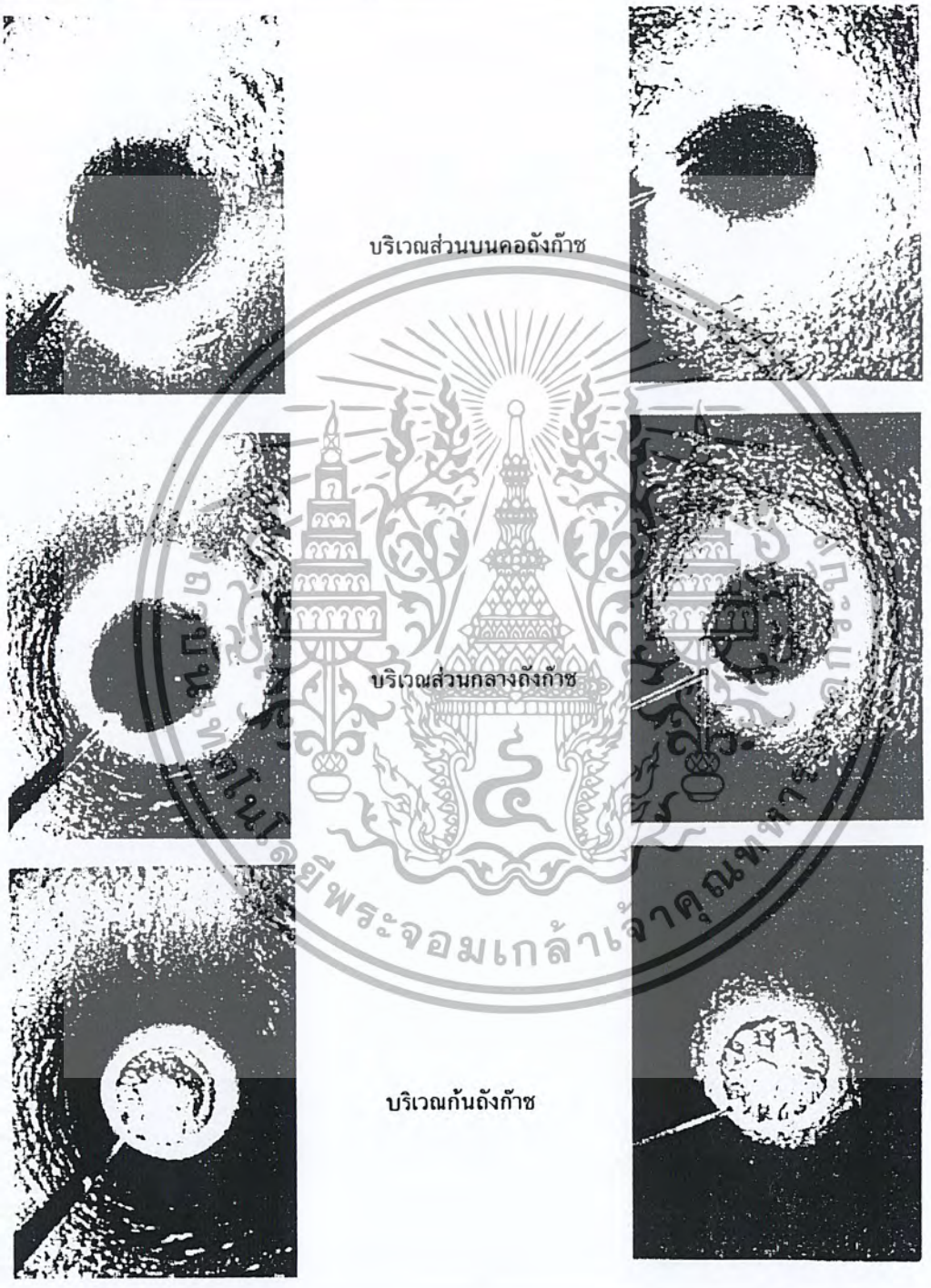
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 การตรวจพินิจภายในถังก๊าซพบความบกพร่อง (ต่อ)

สภาวะที่ 3 ใช้งานไม่ได้ ถ้าไม่ได้ซ่อมบำรุง
บริเวณส่วนบนคอถังก๊าซ
บริเวณส่วนกลางถังก๊าซ
บริเวณก้นถังก๊าซ
สภาพผิวภายในมีสนิม จำเป็นต้องทำความสะอาด เช่น การพ่นขัดผิว**ด้วยเม็ดเหล็ก** (shot blasting) **หลังจากทำความสะอาดจะต้องนำไปทดสอบด้วยความดันไฮดรอลิก** (hydraulic test) **ถ้าผ่านการทดสอบถือว่าสภาพใช้งานได้**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 การตรวจพินิจภายในถังก๊าซพบความบกพร่อง (ต่อ)

สภาวะที่ 4 ต้องทำลาย

สภาพผิวเกิดสนิม/กัดกร่อนอย่างมาก **ต้องนำไปทำลาย**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้