สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบสุญญากาศ

VACUUM FORMING WITH THERMOPLASTICS

T033910

นายเกรียงศักดิ์ แซ่วัน
นายธนภัทร์ อภิชาตเสถียร
นายธานี ศิริโสม

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....33910
วัน, เดือน, ปี.....20 ก.ย. 2542

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบสุญญากาศ
VACUUM FORMING WITH THERMOPLASTICS

ชื่อนักศึกษา

นายเกรียงศักดิ์	แซ่วัน	**รหัสประจำตัว** 38014033
นายธนภัทร์	อภิชาตเสถียร	**รหัสประจำตัว** 38014185
นายธานี	ศิริโสม	**รหัสประจำตัว** 38014202

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. จำลอง ปราบแก้ว)

(อ.สกนต์ คล่องบุญจิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบสุญญากาศ
นักศึกษา	นายเกรียงศักดิ์ แซ่วัน
	นายธนภัทร์ อภิชาตเสถียร
	นายธานี ศิริโสม
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ. จำลอง ปราบแก้ว
	อ. สกนธ์ คล่องบุญจิต
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.	2541

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์เรื่อง "การสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบสุญญากาศ" ได้มุ่งเน้นเพื่อการศึกษา,ออกแบบ และจัดสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบสุญญากาศ หลักการทำงานของเครื่อง เริ่มด้วยการจับยึดแผ่นพลาสติกด้วยเฟรม และอบแผ่นพลาสติกให้ร้อนและอ่อนตัวด้วยเตาอบ ที่มีการออกแบบอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของพลาสติก หลังจากนั้นก็ทำการขึ้นรูปพลาสติก โดยการดูดแผ่นพลาสติกที่อ่อนตัวให้แนบกับแบบด้วยระบบสุญญากาศและเป่าแผ่นพลาสติกให้เย็นและแข็งตัวด้วยโบลเวอร์ ทดลองการใช้งานเครื่องที่สร้างขึ้นภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกันแล้วนำชิ้นงานไปทดสอบโดยการกดอัดเพื่อหาค่าความสามารถในการรับแรงอัดของชิ้นงานที่ได้เพื่อความเหมาะสมต่อการใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Vacuum Forming with Thermoplastics
Student	Mr. Greangsak Sae-wan
	Mr. Tanapat Apichatsatian
	Mr. Thanee Sirisom
Thesis Advisor	Asst.Prof. Chamlong Prabkaew
Level of study	Mr. Sakol Klongboonjit
Department	Mechanical Engineering Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Year	1998

Abstract

This " Vacuum forming with thermoplastics " project has focused on studying , design and construct vacuum forming machine. The process of this machine begin with clamping plastic sheet with frame and heat for making it soften by oven which has appropriated temperature control for plastic qualities. Then use vacuum system to form the heated plastic sheet and make it cool and harden by blower. Finally , test stress , tensile and strength of products at variable temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ก็เนื่องมาจากความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์ไม่ว่าจะเป็นทางด้านอุปกรณ์การทำงานหรือคำปรึกษาดังรายนามต่อไปนี้

อาจารย์ จำลอง ปราบแก้ว และอาจารย์ สกนธ์ คล่องบุญจิต ซึ่งเป็นผู้ให้คำปรึกษาและงบสนับสนุน อาจารย์ จารุวัตร ที่เอื้อเฟื้อเครื่อง scanner พี่มณฑา เทียมเมือง ผู้ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือทางด้าน Mechanic พี่เทียนชัย ที่เปิด SHOP ให้ทำทุกวัน

ขอขอบคุณ บริษัท โกลเด้นท็อป อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ที่ให้อนุญาติเข้าชมโรงงาน

ขอขอบคุณเครื่อง Pentium 200 MMx ที่อยู่ช่วยงานจนถึงเช้า

ขอขอบคุณพี่ปริญญาโท พี่ปัญ พี่นิด พี่ปุ้ย ที่คอยให้คำปรึกษา และเพื่อนๆน้องๆที่ให้กำลังใจ

ทางคณะผู้จัดทำจึงใคร่ขอขอบพระคุณบุคคลดังที่ได้กล่าวมาที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาในการทำ Project มา ณ. ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
บทที่
1. บทนำ..... 1
2. ทฤษฎีและการออกแบบ..... 6
2.1 อุปกรณ์ให้ความร้อน..... 6
2.2 วงจรควบคุมความร้อน..... 20
2.3 การออกแบบสุญญากาศ..... 22
3. ขั้นตอนการสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกโดยระบบสุญญากาศ..... ...30
3.1 โครงสร้าง..... 30
3.2 เฟรมจับยึดแผ่นพลาสติก..... 31
3.3 Forming platform..... 32
3.4 กลไกเท้าเหยียบ..... 33
3.5 Oven..... 33
3.6 Vacuum system..... 34
4. สรุปผลและวิจารณ์..... 36
บรรณานุกรม..... 37
ภาคผนวก..... 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ (Introduction)

ในปัจจุบันพบว่าผลิตภัณฑ์ต่าง ๆที่ใช้ในชีวิตประจำวันเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆล้วนทำด้วยพลาสติกหรือมีพลาสติกเป็นส่วนประกอบ ดังนั้นอุตสาหกรรมขึ้นรูปพลาสติกจึงมีความจำเป็นอย่างมาก การขึ้นรูปพลาสติกนั้นสามารถกระทำได้หลายวิธีหนึ่งในวิธีนั้นคือ การขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบสุญญากาศ สำหรับข้อดีของการขึ้นรูปพลาสติกด้วยวิธีนี้คือ มีการใช้สุญญากาศที่ไม่สูงมากนัก ประมาณ 1 mbar, มีขั้นตอนการทำงานไม่ซับซ้อน,ได้ชิ้นงานที่ประหยัด สัดส่วนถูกต้องแม่นยำและสามารถใช้กับชิ้นงานบาง ๆ ได้ซึ่งส่วนใหญ่แล้วเครื่องจะนำเข้าจากต่างประเทศที่มีราคาค่อนข้างแพง

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปพลาสติกด้วยวิธีนี้ เช่น บรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ ได้แก่ ของเล่น น้ำยาล้างหัวเทป ฯลฯ เรือ และยังใช้ในงานด้านสถาปัตยกรรม เป็นต้น

สำหรับพลาสติกที่ใช้นั้นสามารถใช้ได้หลายชนิด เช่น polyethylene , acrylic,styrene cellulose acetate และ vinyl นอกจากนั้นยังสามารถเลือกใช้ ความหนา , สี และความใส ได้อย่างหลากหลาย

พลาสติกแข็ง (Thermosetting Plastic)

พลาสติกชนิดนี้จะผลิตด้วยกรรมวิธีสังเคราะห์ทางเคมี เมื่อพลาสติกหลอมเหลวจะเหนียวหนืดอยู่ในสถานะครากตัวแล้วนำมาขึ้นรูปด้วยการอัดขึ้นรูปตามที่ต้องการได้เพียงครั้งเดียว เมื่อมันแข็งตัวแล้วจะไม่สามารถนำมาหลอมขึ้นรูปได้อีก ทั้งนี้เมื่อมันแข็งตัวแล้วครั้งแรกจะไม่สามารถทำให้กระบวนการทางเคมีกลับมาอยู่ในสภาพเดิมได้ ในการสัมผัสความร้อนแต่ละครั้งจะใช้ตัวเร่งให้พลาสติกชนิดนี้แข็งขึ้น พลาสติกแข็งจะไม่ติดไฟ ไม่สามารถเชื่อมต่อกันหรือทำให้อ่อนตัวได้ มีความยืดหยุ่นน้อย แต่ใช้ทำการปาดผิวได้

พลาสติกชนิดยืดหยุ่น(Elastomer)

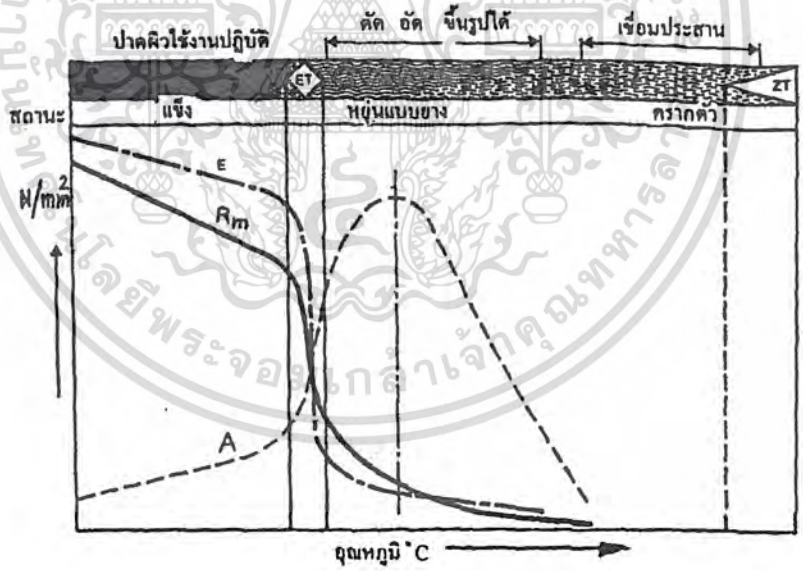
โมเลกุลลูกโซ่ในพลาสติกชนิดนี้จะมีการเคลื่อนตัว(slip)ระหว่างจุดที่ยึดเหนี่ยวที่อยู่ด้วยกันในขณะรับแรงหลังจากลดแรงกระทำออกจนหมด โมเลกุลจะเคลื่อนตัวกลับที่เดิม วัสดุชนิดนี้จึงเป็นประเภทไฮโพลีเมอร์ (High Polymer) ที่อุณหภูมิมันจะถูกทำลายโดยวิธีทางเคมี แต่ที่อุณหภูมิต่ำมันจะเปราะ การยึดเหนี่ยวเกาะกันของโมเลกุลรูปตาข่ายจะเกิดขึ้นจากการผสมเข้ากำมะถันเข้าไปในยางเทียมและยางธรรมชาติด้วยกรรมวิธีวัลเคไนเซชั่น (Vulcanization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลาสติกอ่อน (Thermoplastic)

ปฏิกิริยาพลาสติกอ่อนในขณะที่เปลี่ยนอุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญยิ่งซึ่งมีลักษณะคล้ายโลหะ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความร้อนความยืดหยุ่นจะลดน้อยลงพลาสติกอ่อนจะเปลี่ยนรูปได้ต่างกัน โดยจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของมัน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเริ่มอ่อนหรือที่เรียกว่าช่วงอุณหภูมิเย็น ตามรูปที่ 1.1 ถึงช่วงนี้ความเค้นพลาสติกอ่อนจะเริ่มต่ำลงทันที มันจะเริ่มเปลี่ยนรูปได้ง่ายขึ้นคล้ายยางในสถานะยืดหยุ่น (ราว 80-140 °C) จะสามารถทำการเปลี่ยนรูปได้โดยการดัดและกดเป็นรอยลึกได้ ซึ่งจะสามารถทำให้เป็นรูปตามที่ต้องการได้ จากนั้นทำให้มันเย็นตัวจนถึงอุณหภูมิห้องนั่นหมายถึงว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่าช่วงอุณหภูมิเย็น มันจะมีรูปร่างที่แข็งแรงมั่นคง (Stability) ช่วงอุณหภูมิไหล (ราว 150 °C) พลาสติกอ่อนจะมีสถานะเหนียวหนืด แต่ไม่สามารถนำมาหล่อได้ในช่วงนี้ (สถานะครากตัว) โมเลกุลลูกโซ่ของมันจะยังไม่แยกขาดออกจากกันจึงสามารถนำมาผลิตเป็นแท่งแผ่นหรือท่อได้

เมื่อพลาสติกอ่อนมีอุณหภูมิเลยช่วงสถานะครากตัว เข้าไปยังช่วงอุณหภูมิธาตุแยกสลายแล้วจะไม่สามารถนำมาอัดรีดขึ้นรูปได้เลย นั่นแสดงว่าตราบใดที่นำพลาสติกอ่อนที่ใช้แล้วมาหลอมใหม่ คือ ยังไม่ถึงอุณหภูมิธาตุแยกสลายแล้ว ก็จะสามารถนำมาขึ้นรูปต่างๆ นำมาใช้งานได้อีก



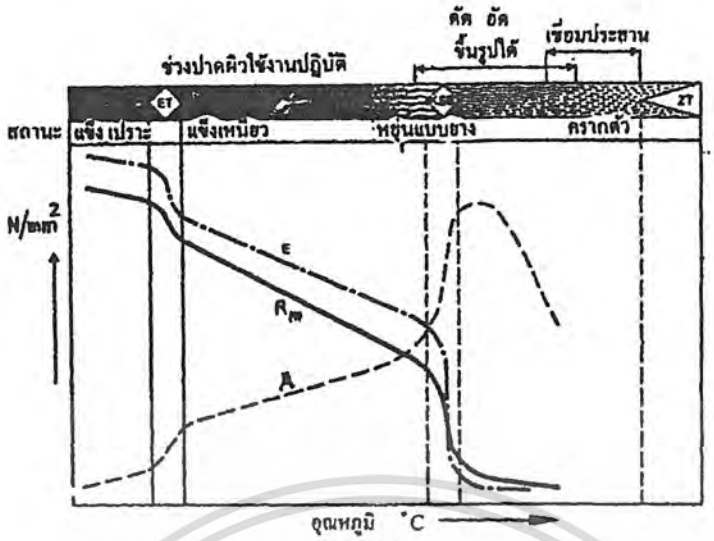
รูปที่ 1.1 แผนภาพของพลาสติกอ่อนโครงสร้างอสัญรูป (Amorphous)

← ET = ช่วงอุณหภูมิเย็น

→ ET = ช่วงอุณหภูมิอ่อนตัว

ZT = ช่วงอุณหภูมิธาตุแตกสลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แผนภาพของพลาสติกอ่อนโครงสร้างสัญรูป

← ET = ช่วงอุณหภูมิเย็น → ET = ช่วงอุณหภูมิอ่อนตัว

KSB = ช่วงผลึกหลอมละลาย ZT = ช่วงอุณหภูมิธาตุแตกสลาย

ประเภทของพลาสติกอ่อน

พลาสติกอ่อนมีอยู่หลายประเภท ดังนี้

1. โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinychloride)

อักษรย่อ PVC ความหนาแน่นราว 1.35 kg/dm^3 ไม่มีสีโปร่งใสย้อมสีได้ PVC ชนิดแข็ง มีคุณสมบัติแข็งเหนียวแตกหักยาก PVC ชนิดอ่อน มีคุณสมบัติอ่อนเหมือนยางจนถึงเหนียวเหมือนหนังที่สำคัญ PVC เมื่อผ่านกรรมวิธีที่เหมาะสมโดยการเติมสารผสมลงไปจะได้ PVC ที่เป็นฉนวนที่ดีทนต่อสารเคมีและจะไม่ไหม้ไฟ

2. อะคริลิกกลาส (Acrylic Glass)

อักษรย่อ PMMA ชื่อเรียกทางการค้าเรียกว่า เพลกซิกลาส (Plexiglass) ไม่มีสีใสเหมือนแก้วมีผิวเป็นมันย้อมสีได้แข็งและเหนียวไม่แตกกระจายเป็นโพลีเมอร์ชนิดหนึ่งที่ได้มาจากอะเซทิลีนและกรดไฮโดรไซยานิก (Hydrocyanic Acid)

3. โพลีเอทิลีน (Polyethylene)

อักษรย่อ PE ความหนาแน่น 0.96 kg/dm^{3}ไม่มีสี แสงผ่านได้หรือมีสีขาวเหมือนนมย้อมสีได้ PE ชนิดอ่อนมีคุณสมบัติอ่อนและยืดหยุ่น ส่วน PE ชนิดแข็งมีคุณสมบัติแข็งแต่ยืดหยุ่นโพลีเอทิลีนผลิตโดยก๊าซเอทิลีน (Ethylene) ภายใต้ความกดดันมากกว่า 1,000 บรรยากาศ ด้วยวิธีโพลีเมอไรเซชั่น พลาสติกชนิดนี้จะทนต่อสารกรด,ด่าง,น้ำมัน,จาระบี มีคุณสมบัติเป็นฉนวนที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

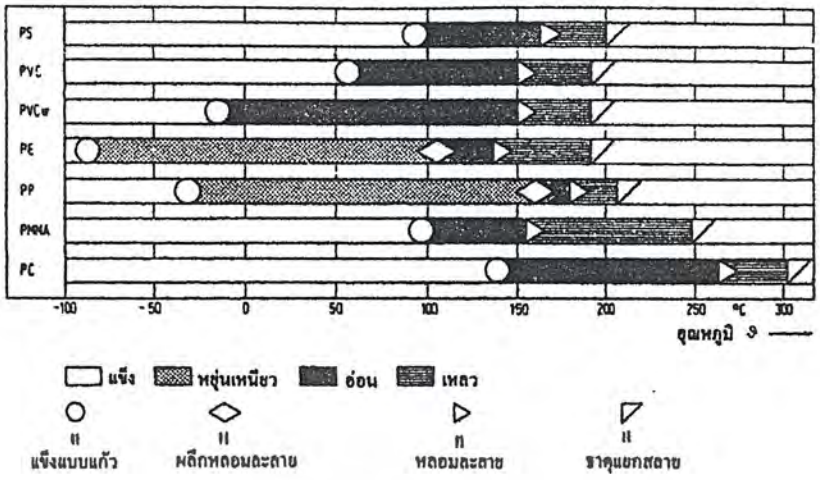
4. โพลีสไตรีน (Polystyrene)

อักษรย่อ PS ความหนาแน่น 1.00 kg/dm^3 ไม่มีสี ใสเหมือนแก้ว มีผิวเป็นมัน ย้อมสีได้ แข็งและเปราะทนต่อแรงกระแทกหรือตีไม่ได้ ทำจากเอทิลีนและเบนโซล (Benzole) รวมกันกลายเป็นไวนิลเบนซิน (Vinylbenzene) หรือสไตรีน (Styrene) ที่มีการรวมตัวทางเคมีที่เรียกว่าไฮโดรคาร์บอน เมื่อผ่านกรรมวิธีโพลีเมอไรเซชั่นในสุญญากาศจะกลายเป็นพลาสติกที่เบามากทนต่อน้ำเป็นฉนวน

ตารางที่ 1.1 แสดงข้อแตกต่างของพลาสติกอ่อนแต่ละชนิด

ประเภทโพลีเมอร์	ความต้านแรงดึง (N/mm^2)	อุณหภูมิใช้งาน ($^\circ$ C)	ทนต่อ	ไม่ทนต่อ	คุณสมบัติอย่างอื่น
โพลีเอทิลีน(PE) ชนิดแข็ง	17-18	-50 ถึง+100	ด่าง,กรดอย่างอ่อน, สารซักฟอก,น้ำมันที่ใช้บริโภค	น้ำมัน และจาระบีที่ใช้ทางช่าง	ของเหลวและก๊าซซึมผ่านได้, เป็นฉนวนไฟฟ้า
โพลีเอทิลีน(PE) ชนิดอ่อน	9-10	-50 ถึง+80			
โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC)ชนิดแข็ง	45-60	-30 ถึง+80	กรด,ด่าง, น้ำมัน,สารซักฟอก	เบนโซล,อะซีโตน และสารละลายอื่นๆ	เชื่อมให้ติดกันได้,ขึ้นรูปเมื่อร้อนได้
โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC)ชนิดอ่อน	เป็นลักษณะยาง	+30	กรด,สบู่, สารซักฟอก	แอลกอฮอล์, อะซีโตน, เบนซิน	เชื่อมให้ติดกันได้
โพลีสไตรีน(PS) หลายๆชนิด	45-60	-35 ถึง +70	ด่าง,น้ำมัน, กรดอย่างอ่อน	อีเทอร์, เบนซิน,เบนโซล	ฉนวนไฟฟ้า, ฉนวนกั้นความร้อนและเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 แสดงช่วงสถานะของพลาสติกอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

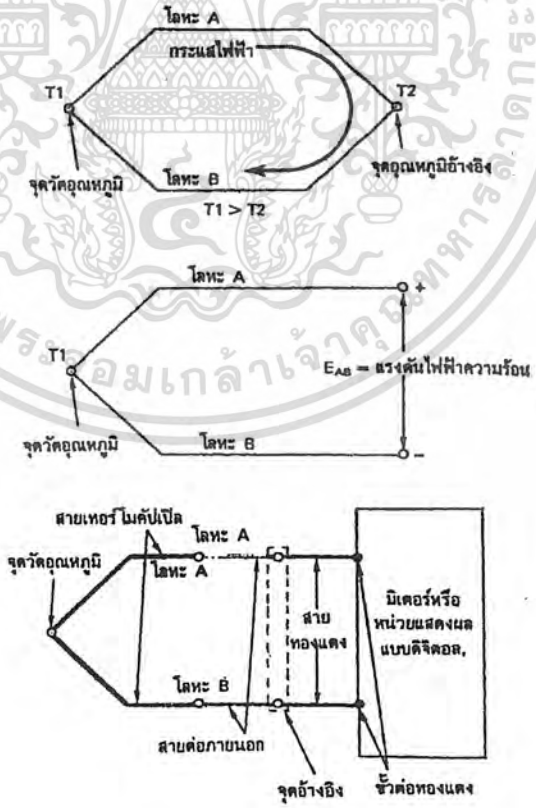
บทที่ 2
ทฤษฎีและการออกแบบ

2.1 อุปกรณ์ให้ความร้อน (Oven)

เป็นส่วนที่มีความสำคัญส่วนหนึ่งของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกทั้งนี้เนื่องมาจากว่าแผ่นพลาสติกจำเป็นจะต้องมีการอุ่นทุกครั้งก่อนที่จะมีการขึ้นรูป ซึ่งจะต้องมีชุดควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยจะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้

2.1.1 เทอร์โมคัปเปิล

หลักการของเทอร์โมคัปเปิล การทำงานของเทอร์โมคัปเปิลจะอาศัยหลักการเมื่อนำโลหะต่างชนิดกัน 2 เส้น มาเชื่อมต่อปลายทั้งสองโดยให้ปลายข้างหนึ่งได้รับความร้อน (ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองปลาย) จะมีกระแสไหลในวงจรนั้นซึ่งปริมาณของกระแสไฟนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิทั้ง 2 ข้าง ผลจากเหตุการณ์นี้เองทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในวงจร



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของ เทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E = \sum_{n=1}^{n=k} \left(1/n\right) \alpha_n . t^n \qquad (2.1)$$

เมื่อ E = แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

α = ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำ thermocouple

t = อุณหภูมิที่ปลายข้างร้อน

n = จำนวนชุดของ thermocouple ที่มีอุณหภูมิที่จุดต่อต่างกัน

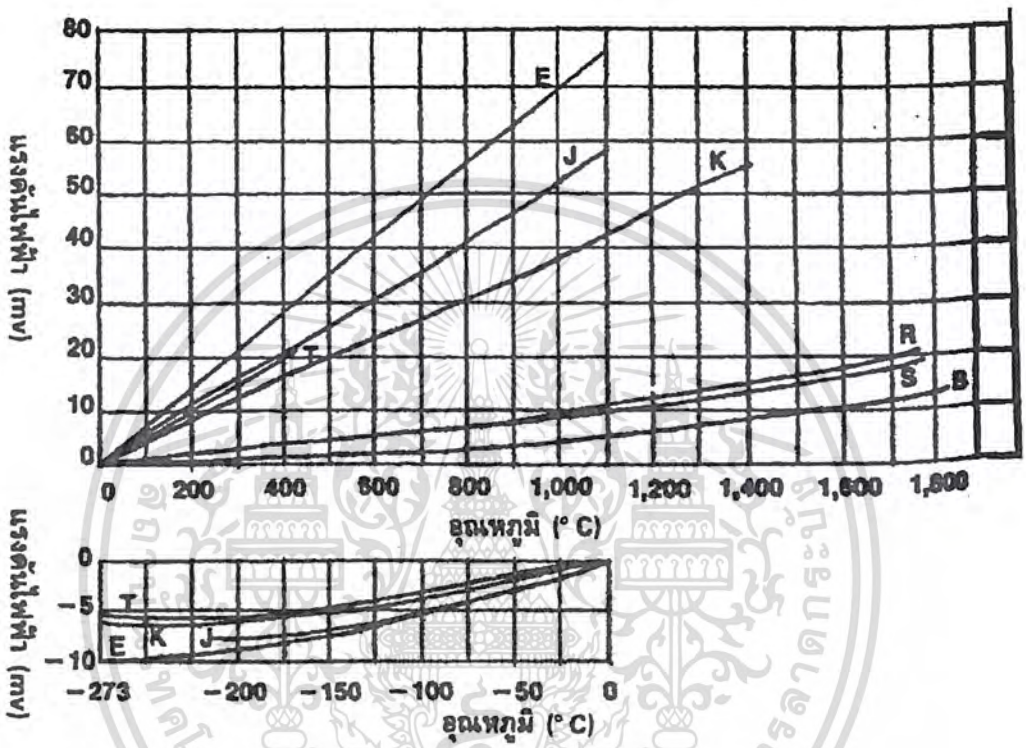
ชนิดของเทอร์โมคัปเปิล

1. ชนิด B (Platinum – Rhodium) ประกอบด้วย (70.4 Pt + 29.6 Rh – 93.9 Pt + 6.1 Rh) เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้จะมีความแข็งแรงทนทานและสามารถใช้งานที่มีอุหภูมิสูงสุดได้ถึง 170°C (ในสภาวะที่เป็น Oxiding หรือ Inert) แต่เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานที่มีไอของโลหะและอโลหะ (ในสภาวะ Reducing หรือ Vacuum)
2. ชนิด E (Chromal – Constant) ประกอบด้วย (90 Ni + 10 Cr – 45 Ni + 55 Cu) เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้สามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิ -100 °C ถึง 1000 °C และเหมาะสำหรับงานที่เป็น Oxidizing
3. ชนิด J (Iron – Constantan) ประกอบด้วย (99.5 Fe + C , Mn , S –45 Ni +55 Cu) เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้สามารถใช้งานที่มีอุณหภูมิระหว่าง –200 °C ถึง 750 °C และเหมาะสำหรับงานที่เป็น Vacuum , Oxidizing หรือ Inert
4. ชนิด K (Chromel – Alumel) ประกอบด้วย (90 Ni +10 Cr – 94 Ni + 2 Mn + 1 Si + 3 Al) เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้สามารถใช้ในงานที่มีอุณหภูมิระหว่าง –200 °C ถึง 1100 °C เหมาะสำหรับงานที่เป็น Oxidizing หรือ Inert นอกจากนี้หากนำไปใช้งานในสภาพที่เป็น Vacuum หรือที่มีไอซัลเฟอร์ (ซัลเฟอร์จะทำลายโลหะทั้งคู่ของเทอร์โมคัปเปิล) จะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ
5. ชนิด R (Platinum – Platinum Rhodium) ประกอบด้วย (87 Pt + 13 Rh –100 Pt) เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้สามารถใช้ในงานที่มีอุณหภูมิระหว่าง 0 °C ถึง 1450 °C และอาจใช้งานได้สูงสุดถึง 1700 °C เหมาะสำหรับงานที่มีสภาพเป็น Oxidizing และ Inert แต่ไม่เหมาะกับงานที่มีไอของโลหะหรืออโลหะ
6. ชนิด S (Platinum – Platinum Rhodium) ประกอบด้วย (90 Pt +10 Rh – 100 Pt) เทอร์โมคัปเปิลแบบนี้สามารถใช้ในงานที่มีอุณหภูมิระหว่าง 0 °C ถึง 1450 °C และอาจใช้งานได้สูงสุด 1700 °C เหมาะสำหรับงานเช่นเดียวกับชนิด R
7. ชนิด T (Cupper - Constantan) ประกอบด้วย (100 Cu –45 Ni + 55 Cu) เป็นเทอร์โมคัปเปิลที่สามารถวัดอุณหภูมิได้ในระหว่าง –250 °C ถึง 350°C และอาจวัดอุณหภูมิได้สูงสุดถึง 600 °C อย่างไรก็ตามเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้ถ้าใช้งานในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 370 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วจะเกิดออกไซด์ของโลหะเทอร์โมคัปเปิลมากขึ้น สำหรับชนิด T นี้เหมาะที่จะใช้งานในสภาวะที่เป็น Vacuum Oxidizing หรือ Inert ได้ดี

นอกจากที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังมี เทอร์โมคัปเปิล ชนิดอื่น ๆ อีกหลายชนิดที่สามารถใช้ในงานที่มีอุณหภูมิสูง ๆ ได้ เช่น Chromel – Stainless Steel Platium – Molybdenum Molybdenum Platium , Tungsten – Tungsten Iridium Copper – Gold Cobalt เป็นต้น

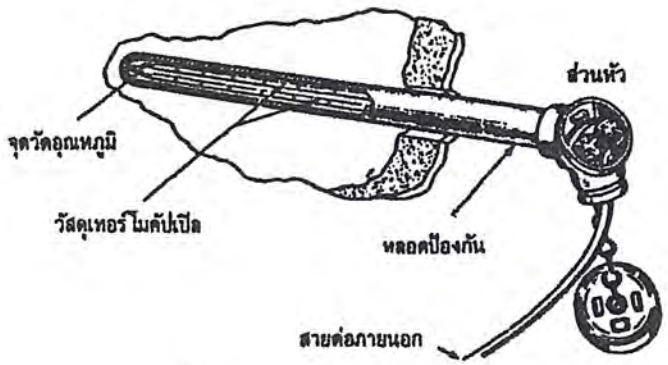


รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลชนิด ต่าง ๆ

แนวทางในการเลือกใช้งาน

เนื่องจากเทอร์โมคัปเปิลมีมากมายหลายแบบซึ่งแต่ละแบบก็มีพิสัยในการวัดอุณหภูมิไม่เท่ากัน อีกทั้งปัญหาเกี่ยวกับความไวในการรับรู้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความเป็นเชิงเส้นของการรับรู้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นไม่เป็นเชิงเส้น ฯลฯ ก็ล้วนแต่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดอุณหภูมิแทบทั้งสิ้น ดังนั้นก่อนที่จะเลือกเทอร์โมคัปเปิลชนิดใดไปใช้งานจึงควรที่จะพิจารณาโครงสร้างของตัวเทอร์โมคัปเปิลให้ดีก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

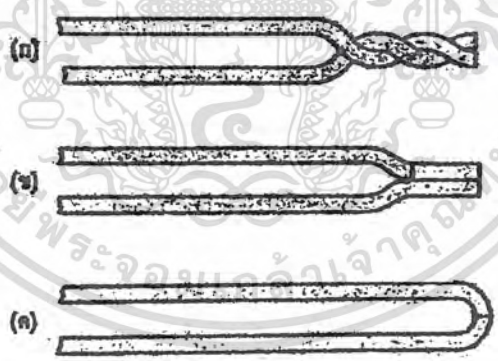


รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของเทอร์โมคัปเปิล

สำหรับส่วนประกอบที่สำคัญของเทอร์โมคัปเปิล ที่ควรทราบมีดังนี้

1. สายเทอร์โมคัปเปิล

การต่อแบบรูป ก. โดยพันควั่นสายเข้าด้วยกันแล้วเชื่อมด้วยแก๊สไฟฟ้าหรือบัดกรีให้แน่นไม่หลวมหลุดหรือมีผิวสัมผัสไม่ดีระหว่างการใช้งานวิธีนี้เหมาะสำหรับสาย เทอร์โมคัปเปิล ทั่ว ๆ ไปที่ขนาดสายไม่ใหญ่นัก การต่อแบบ ข .ใช้สำหรับกรณีที่สายมีขนาดใหญ่ ไม่สะดวกต่อการพันเข้าหากันเพียงแต่เชื่อมให้ติดกันไว้เท่านั้นส่วนการต่อแบบ ค. ใช้สำหรับเชื่อมต่อสายโลหะ



รูปที่ 2.4 แสดงวิธีการต่อขั้วเข้ากับเทอร์โมคัปเปิล

2. ฉนวนของเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple Insulators)

เนื่องจากสภาพของเทอร์โมคัปเปิลจะประกอบอยู่ในครอบโลหะป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีฉนวนสำหรับกั้นตัวเทอร์โมคัปเปิลและครอบโลหะนั้นซึ่งวัสดุที่ใช้ทำเป็นฉนวนในปัจจุบันจะใช้วิธีการใส่ผงอลูมิเนียมออกไซด์ลงไปในครอบโลหะแล้วอัดอะลูมิเนียมออกไซด์นั้นให้แน่น (บีบครอบโลหะให้มีขนาดเล็กลง) หลังจากนั้นจะถูกนำไปอบความร้อนเพื่อไล่ความชื้นที่มีภายใน สำหรับฉนวนอีกแบบหนึ่งที่นิยมใช้ได้ก่ เซรามิก ที่ประกอบด้วย 99 % AL_2O_3 และออกไซด์ของสารต่าง ๆ เช่น SiO_2 , MgO , Na_2 , Fe_2O_3 , CaO เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีฉนวนชนิดอื่น ๆ อีกหลายชนิด เช่น ฝ้ายไนลอน เทฟลอน ฯลฯ

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของฉนวน

ประเภท	อุณหภูมิสูงสุด ° C ใช้งานอย่างต่อเนื่อง	อุณหภูมิสูงสุด° C ระยะสั้นครั้งเดียว	ทนความชื้น	ทนการสึกกร่อน
Cotton	90	90	เลว	พอใช้
Polyvinyi	100	100	ดีมาก	ดีมาก
Enamel and cotton	90	90	พอใช้	พอใช้
Nylon	125	125	ดี	ดี
Teflon	200	300	ดีมาก	ดีมาก
Polymide	300	400	ดีมาก	ดี
Teflon and Fibreglass	300	540	ดีมากถึง200 ° C	ดี
Fibreglass – vanish or Siligon impregnaftion	480	540	พอใช้ถึง 200 °C	พอใช้ถึง 200 ° C
Fibreglass , non impregnation	540	650	เลว	พอใช้
Asbestos and fibreglass	480	650	ดีถึง 200 ° C	พอใช้ถึง 200 ° C
Felted asbestos	540	650	เลว	เลว
Asbestos over Asbestos	540	650	เลว	เลว

3. หลอดป้องกัน (Protection tube)

เป็นส่วนประกอบภายนอกของตัว เทอร์โมคัปเปิล หลอดป้องกันนี้จะช่วยป้องกันการชำรุดเสียหายของตัวเทอร์โมคัปเปิลขณะใช้งาน อีกทั้งยังช่วยให้ตัว เทอร์โมคัปเปิล แข็งแรงทนทาน อีกด้วยหลอดป้องกันจะมี 2 แบบคือ แบบโลหะและแบบอโลหะ แต่ส่วนใหญ่ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมจะเป็นแบบโลหะที่เรียกว่า เทอร์โมเวลล์ (Thermowell) เป็นท่อปลายปิดสำหรับติดตั้งโดยปลายด้านปิดเสียบเข้าไปในท่อหรือ process vessel วิธีการติดตั้งมีทั้งแบบเกลียวหรือแบบหน้าแปลนวัสดุของท่อป้องกันนี้ส่วนใหญ่มักเป็นท่อโหะในกรณีที่เป็นเหล็กธรรมดาจะสามารถใช้งานได้ถึง 700 ° C ในสภาพแวดล้อม Oxidising สำหรับเหล็กสเตนเลสพวก Austenitic (Series 300) ใช้ได้ถึงอุณหภูมิ 870 °C และพวก Ferritic (Series 400) ใช้ได้ถึง 1000 °C ในสภาพแวดล้อม Oxidising และ Reducingที่อุณหภูมิสูงกว่านี้มักใช้ เทอร์โมคัปเปิล เซรามิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สายต่อภายนอก (Extension Wires)

เนื่องจากในการติดตั้งใช้งานระยะทางระหว่างจุดที่จะวัดและเครื่องมือวัดอาจอยู่ไกลกันมากดังนั้นจึงต้องหาสายที่มีคุณสมบัติ เหมือนกับสายของ เทอร์โมคัปเปิล มาต่อสำหรับสายต่อภายนอกที่ใช้ตามมาตรฐานแสดงดังตาราง

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ทำสายต่อภายนอก

ชนิดของ เทอร์โมคัปเปิล	ชนิดของสายต่อ	สีของฉนวน			ความคลาดเคลื่อน	
		ภายนอก	ขั้วบวก	ขั้วลบ	มาตรฐาน	อุณหภูมิ °F
Iron-constant (J)	Iron-constant (JX)	ดำ	ขาว	แดง	± 4	0 ถึง 400
Copper-constantan(T)	Copper-constantan(TX)	น้ำเงิน	น้ำเงิน	แดง	±1.5	-7.5 ถึง200
Chromel-alumel(K)	Chromel-alumel(KX)	เหลือง	เหลือง	แดง	±6	0 ถึง 400
	Copper-constantan (VX)	แดง	น้ำตาล	แดง	±6	75 ถึง 200
	Iron-alloy(WX)	ขาว	เขียว	แดง	±6	75 ถึง 400
Platinum – Platinum - Rhodium (R or S)	Copper -alloy(SX)	เขียว	ดำ	แดง	±12	75 ถึง 400

การคำนวณหาขนาดของเทอร์โมคัปเปิล

โดยทั่วไปแล้วพลังงานจะถูกส่งถ่ายโดยการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวของโลหะสู่สิ่งแวดล้อมอุณหภูมิที่ทุก ๆ จุดในโลหะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงสภาวะคงตัว

The Lumped Capacitance Method

Lumped Capacitance Method คือการสมมุติว่าอุณหภูมิในของแข็งที่ทุก ๆ จุดมีค่าเท่ากัน (Uniform) ตลอดกระบวนการถ่ายเท่ความร้อน(และลดลงตามเวลาพร้อม ๆ กัน) นั่นคือเป็นการสมมุติว่าการแตกต่างของอุณหภูมิภายในของแข็งมีค่าน้อยมาก(negligible)การที่เราไม่คิดการแตกต่างอุณหภูมิภายในของแข็งทำให้เราไม่สามารถนำสมการความร้อน heat equation มาใช้เพราะสมการจะลดลงกลายเป็นว่าอุณหภูมิ ไม่เปลี่ยนตามเวลาด้วย ในกรณีนี้เราจะใช้การสมดุลย์พลังงานภายในของแข็งเพื่อใช้ในการหาอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปตามเวลา ดั้งนั้นเราจะต้องนำการสูญเสียความร้อนที่พื้นผิวของแข็งมาสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในของแข็งจะได้สมการดังนี้

$$-E^{\bullet}_{out} = E^{\bullet}_{st} \qquad (2.2)$$

หรือ

$$-hA_S(T - T_\infty) = \rho Vc\frac{dT}{dt} \qquad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้นิยามต่างอุณหภูมิ $\theta = T - T_\infty$ (2.4)

และเนื่องจาก $\left(\frac{d\theta}{dt}\right) = \left(\frac{dT}{dt}\right)$ ดังนั้น

$$\frac{\rho Vc \cdot d\theta}{hA_S \cdot dt} = -\theta \quad (2.5)$$

แยกตัวแปรและอินทิเกรตจาก $t = 0$ (ซึ่ง $T = T_i$) ถึง $t = t$ จะได้

$$\frac{\rho Vc}{hA_S}\int_{\theta_i}^{\theta} \frac{d\theta}{\theta} = -\int_0^t dt \quad (2.6)$$

โดยที่ $\theta = T_i - T_\infty$ (2.7)

หาค่าการอินทิเกรตได้เป็น $\frac{\rho Vc}{hA_S}\ln\frac{\theta_i}{\theta} = t$ (2.8)

หรือ $\frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \exp\left[-\left(\frac{hA_S}{\rho Vc}\right)t\right]$ (2.9)

จากสมการข้างต้นเราสามารถหาเวลาที่ของแข็งมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปถึงค่าอุณหภูมิและสามารถหาอุณหภูมิ ที่เวลา t ใด ๆ (Thermal time Constant)

$$\tau_t = \left[\frac{1}{hA_S}\right](\rho Vc) = R_t C_t \quad (2.10)$$

โดยที่ $R_t = \left(\frac{1}{hA_S}\right)$ คือค่าความต้านทานการพาความร้อนและ $C_t = (\rho Vc)$ เรียกว่า " Lumped thermal capacitance " ของการเพิ่มค่า R_t หรือ C_t จะทำให้สภาพในของแข็งใช้เวลามากขึ้นในการทำให้เกิดการสมดุลย์ทางความร้อน $(\theta = 0)$

นอกจากนั้นแล้วเราจะต้องพิจารณาปัญหาการนำความร้อนแบบไม่คงตัวคือการคำนวณค่า " Biot number "

$$Bi = \frac{hLc}{k} < 0.1 \quad (2.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ " Lumped Capacitance Method " จะให้ข้อผิดพลาดไม่เกิน 5 % ค่า $L_c = {}^{V}/_{A_S}$ ซึ่งได้แก่สัดส่วนระหว่างปริมาตรและพื้นที่ผิวของของแข็งเรียกว่า " Chracteristic Length "

$L = {}^{t}/_{2}$ สำหรับผนังหนา t

$L_c = {}^{r_o}/_{2}$ สำหรับทรงกระบอก

$L_c = {}^{r_o}/_{3}$ สำหรับทรงกลม (r_o คือเส้นผ่านศูนกลางด้านนอก)

การคำนวณ กำหนด เทอร์โมคัปเปิล เป็นทรงกลม มีค่า $k = 20\ {}^{W}/_{m.K}$

$c = 400\ {}^{J}/_{kg.K}$, $\rho = 8500\ {}^{kg}/_{m^3}$, $T_i = 25\ ^{\circ}C$

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอุปกรณ์นี้และก๊าซมีค่า $400\ {}^{W}/_{m^2.K}$

Time Constant เท่ากับ 1 วินาที

เทอร์โมคัปเปิลมีอุณหภูมิ $T_i = 25\ ^{\circ}C$

ก๊าซมี อุณหภูมิ $T_\infty = 200\ ^{\circ}C$ เวลาที่ใช้ทำให้ เทอร์โมคัปเปิลเป็น $199\ ^{\circ}C$

เนื่องจากเราไม่รู้เส้นผ่าศูนย์กลางของเทอร์โมคัปเปิลจึงไม่สามารถที่จะเริ่มโดยการตรวจสอบก่อนว่าสามารถใช้วิธี " Lumped Capacitance " ได้หรือไม่ อย่างไรก็ดีเราสามารถใช้วิธีนี้เพื่อหาเส้นผ่าศูนย์กลางก่อน หลังจากนั้นจึงหาว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของวิธีนี้หรือไม่

สำหรับทรงกลม $A_s = \pi D^2$ และ $V = \pi D^3$

ดังนั้น $$\tau_t = \frac{1}{h\pi D^3} \times \frac{\rho \pi D^3}{6} c$$

จัดรูปใหม่

$$D = \frac{6h\tau_t}{\rho c}$$

$$= \frac{(6)\left(400\ {}^{W}/_{m^2.K}\right)(1s)}{\left(8500\ {}^{Kg}/_{m^3}\right)\left(400\ {}^{J}/_{kg.K}\right)}$$

$$= 7.06 \times 10^{-4} m$$

สำหรับทรงกลม $L_c = {}^{r_o}/_{3} = {}^{D}/_{6}$

$Bi = {}^{hL_c}/_{k}$, $Bi = {}^{hD}/_{6k}$ $= \dfrac{\left(400\ {}^{W}/_{m^2}\right)\left(7.06 \times 10^{-4} m\right)}{(6)\left(20\ {}^{W}/_{m.K}\right)} = 2.35 \times 10^{-4}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก $Bi < 0.1$ จึงสามารถใช้วิธี " Lumped capacitance "

เวลาที่ใช้เพื่อให้ อุณหภูมิ ของ เทอร์โมคัปเปิล สูงขึ้น เป็น 199 $^{\circ}C$ สามารถหาได้ดังนี้

$$t = \frac{\rho\left(\pi D^3/6\right)c}{h\left(\pi D^2\right)} \ln\frac{T_i - T_\infty}{T - T_\infty} = \frac{\rho D c}{6h} \ln\frac{T_i - T_\infty}{T - T_\infty}$$

$$= \frac{\left(8500\,{}^{kg}/_{m^3}\right)\left(7.06\times10^{-4}m\right)\left(400\,{}^{J}/_{kg.K}\right)}{(6)\left(400\,{}^{W}/_{m^2.K}\right)} \ln\frac{25-200}{199-200}$$

$$t = 5.2s \approx 5\tau_t$$

จากการออกแบบเราจะได้ 1. ขนาดของ เทอร์โมคัปเปิล เท่ากับ $7.06\times10^{-4}m$

2. เวลาที่ทำให้ เทอร์โมคัปเปิล มี อุณหภูมิ เป็น 199 $^{\circ}C$ เท่ากับ $t = 5.2s \approx 5\tau_t$

2.1.2 รีเลย์และคอนแทคเตอร์

การเลือกใช้รีเลย์และคอนแทคเตอร์ คอนแทคเตอร์ที่ใช้กับไฟกระสลับแบ่งออกเป็น 4 ชนิดตามลักษณะของโหลด และการใช้งาน คือ AC 1 , AC 2 , AC3 และ AC 4

AC1 : เป็นคอนแทคเตอร์ที่เหมาะสำหรับโหลดที่เป็นความต้านทานหรือในวงจรที่มีค่าอินดัคทีฟน้อย ๆ

AC2 : เป็นคอนแทคเตอร์ที่เหมาะสำหรับใช้กับโหลดที่เป็นสลิปริงมอเตอร์

AC3 : เป็นคอนแทคเตอร์ที่เหมาะสำหรับใช้สตาร์ทและหยุดโหลดที่เป็นมอเตอร์กรงกระรอก

AC4 : เป็นคอนแทคเตอร์ที่เหมาะสำหรับการสตาร์ท-หยุดมอเตอร์ วงจร jogging และกลับทางหมุนของมอเตอร์แบบโรเตอร์กรงกระรอก

ขนาดของ คอนแทคเตอร์ นิยมเรียกเป็น size 0 , size 1 , size 2 ,... เป็นต้น size ซึ่งตามด้วยตัวเลขที่มีค่ามากกว่าจะแสดงถึงขนาดของ คอนแทคเตอร์ ที่ใหญ่กว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างขนาด size ของ AC contactor ของบริษัท SIEMENS รุ่น 3TA

Illustration	Rated operating current I_e (values in brackets apply to 500 V only) A	Motor ratings, three-phase motors, classes AC2 and AC3[1]) at 50 Hz and 220 V kW	380 V kW	500 V kW	Design (Degree of protection)	Auxiliary contacts NO	NC
3TA20	**Size 0**						
	9(5)	2.2	4	3	open-type (IP 00)	1	—
						—	1
						1	1
3TA21	**Size 1**						
	16	4	7.5	9	open-type (IP 00)	2	—
						1	1
						2	2
					moulded-plastic clad (IP 54)	2	—
						1	1
					moulded-plastic clad (IP 43) with two built-in actuator pushbuttons	2	—
						1	1
3TA22					metal-clad (IP 55), housing size 1[2])	2	—
						1	1
						2	2
	Size 2						
	32(24)	8.5	15	15	open-type (IP 00)	2	2
					steel cover (IP 20)	2	2
					metal-clad (IP 55), housing size 2[2])	2	2

รูปที่ 2.5 แสดงขนาด sizeของ AC contactor ของบริษัท SIEMENS รุ่น 3 TA

สำหรับการพิจารณาเลือกขนาดของคอนแทคเตอร์ ให้เหมาะสมกับมอเตอร์ จะพิจารณาที่ rated current และแรงดันของมอเตอร์กับ rated operating current และแรงดันของ คอนแทคเตอร์ (rated current) ของมอเตอร์จะต้องต่ำกว่าของ rated operating ของ current ของคอนแทคเตอร์ที่แรงดันเท่ากันซึ่ง คอนแทคเตอร์ ขนาดหนึ่งอาจใช้ได้กับมอเตอร์ที่มี KW ต่างกันได้ เช่น คอนแทคเตอร์ size 0 คอนแทคเตอร์ ที่ rate current 9 A ที่ 380 V หรือน้อยกว่า และ 5 A ที่ 500 V จะสามารถใช้ได้กับมอเตอร์ที่มีขนาดถึง 2.2 KW 220V ซึ่งมี rated current ประมาณ 8.7 A หรือใช้กับมอเตอร์ที่มีขนาดถึง 4 KW 380 V ซึ่งมี rate current ประมาณ 8.5 A และใช้กับมอเตอร์ 3 KW 500 V ซึ่งมี rate current ประมาณ 5 A

การคำนวณหากระแสและแรงดันที่นำมาเลือกคอนแทคเตอร์

สำหรับ Heater ที่มีการต่อแบบอนุกรม กระแสไฟฟ้า $I = \sqrt{\frac{P}{2R}}$ **(2.12)**

แรงดันไฟฟ้า $V = I(2R)$ **(2.13)**

สำหรับ Heater ที่มีการต่อแบบขนาน การแสไฟฟ้า $I = \sqrt{\frac{2P}{R}}$ **(2.14)**

แรงดันไฟฟ้า $V = I(R/2)$ **(2.15)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการพิจารณาเลือก คอนแทคเตอร์ นอกจากลักษณะและขนาดของโหลดที่ใช้แล้วยังจะต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นอีกเช่น ถ้าความบ่อยครั้งของการทำงานต่ำมากเพียงหรั้งหรือ 2 ครั้งในหนึ่งวัน เราอาจเลือกใช้แล้วยังจะต้องพิจรณาองค์ประกอบอื่นอีก เช่น ถ้าความบ่อยครั้งของการทำงานาต่ำมากเพียงครั้งหรือ 2 ครั้งในหนึ่งวัน เราอาจเลือกใช้คอนแทคเตอร์แบบ AC 3 แทน AC4 ได้

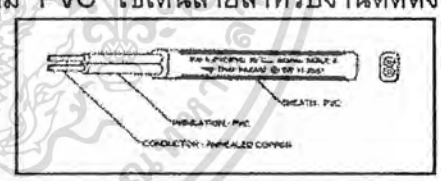
การเลือกคอนแทคเตอร์ที่เหมาะสมกับการใช้งานจะต้องดู technical data ของ คอนแทคเตอร์ จากบริษัทผู้ผลิตให้เหมาะกับงานซึ่งมีข้อที่ต้องพิจารณา คือ

- ลักษณะของโหลดและ การใช้งาน
- แรงดันและความถี่
- สถานที่ใช้งาน
- ความบ่อยครั้งในการใช้งาน
- การป้องกันจากการสัมผัส
- ความคงทนทางกลและทางไฟฟ้า

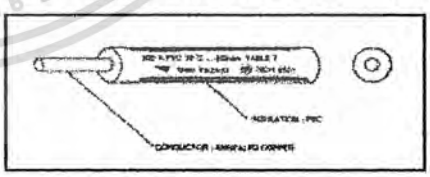
2.1.3 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวน

รายละเอียดของสายไฟหุ้มฉนวนชนิดใช้ติดตั้งในบ้านพักอาศัย ในโรงงานอุตสาหกรรมที่จะต้องทราบมีดังนี้

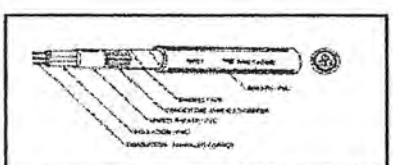
1. ชนิด VIF เส้นลวดตัวนำทำด้วยทองแดง ฉนวนหุ้ม PVC ใช้เดินสายสำหรับงานติดตั้งไฟฟ้าทั่วไปในอาคารทนอุณหภูมิ 70 °C ใช้กับแรงดัน 300 โวลต์ลักษณะของ VIF ดังรูป



2. ชนิด IV เส้นลวดตัวนำทำด้วยทองแดง ฉนวนหุ้ม PVC ใช้เดินสายสำหรับงานติดตั้งไฟฟ้าทั่วไปในอาคาร ทนอุณหภูมิ 70 ° C ใช้กับแรงดัน 300 โวลต์ ลักษณะของ IV ดังรูป



3. ชนิด NYCY เส้นลวดตัวนำทำด้วยทองแดง ฉนวนหุ้ม PVC มีเปลือก PVC หุ้มข้างนอกอีก 1 ชั้นมีสายดินอยู่รอบนอกใต้เปลือกใช้สายนิวตรอลใช้เดินฝักในดินโดยไม่ต้องใส่ท่อเหล็กทนอุณหภูมิ 70 °C ใช้กับแรงดันใช้แรงดันไม่เกิน 750 โวลต์ ดังรูป



4. ชนิด VSF เส้นลวดตัวนำทำด้วยทองแดง ฉนวนหุ้ม PVC ใช้เดินสายเครื่องอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปทนอุณหภูมิ 70 °C ใช้กับแรงดันไม่เกิน 300 โวลต์ ลักษณะของ VSF ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกขนาดของสายไฟให้เหมาะสม

เมื่อจะติดตั้งไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยหรือในโรงงานถ้าเป็นระยะทางไกลต้องคำนึงถึงการเสียกำลังงานไฟฟ้าในรูปของแรงดันตก แต่ถ้าเป็นระยะทางใกล้อาจไม่จำเป็นต้องคำนึงถึง เพราะระยะทางใกล้ ๆ ค่าแรงดันในสายจะตกน้อยเมื่อเราทราบแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในวงจรแล้วการ เลือกสายต้องให้เหมาะสมกับประเภทงานที่จะใช้ สายต้องใหญ่พอที่จะทำให้ อุณหภูมิสูงเกินขีดอันตราย เพราะสายที่เล็กเกินไปจะเกิดการสูญเสียกำลังงานไฟในรูปของแรงดันตกมาก ถ้าแรงดันตกน้อยหมายถึงการสูญเสียกำลังงานไฟฟ้าน้อยตามไปด้วย เช่น ถ้าแรงดันตกร้อยละ 10 ก็หมายความว่า 10 % ของกำลังงานแสงสว่างจะตกลงประมาณ 32 %

มาตรฐานสากลได้แนะนำว่าสายไฟฟ้าที่ให้งานให้แรงดันตกไม่เกิน 3 %ในวงจรย่อยและไม่เกิน 5 %เมื่อคิดตั้งแต่จุดเริ่มต้นของสายป้อนผ่านวงจรย่อยถึง Load ที่เป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า แรงดันตกในสายป้อนและวงจรย่อยไม่ควรเกินร้อยละ 1 หรือ 1 %เพราะฉะนั้น การเลือกใช้ชนิดของสายไฟและขนาดของสายไฟจึงจำเป็นมาก วิธีหาแรงดันในสายได้จากสูตรดังนี้

สำหรับไฟตรงและระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส

$$V_d = \frac{2IDRT}{1000} \qquad (2.16)$$

สำหรับไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งเป็นค่าแรงดันลดระหว่างเฟส

$$V_d = \frac{1.732IDRT}{1000} \qquad (2.17)$$

สำหรับไฟฟ้าระบบ 3 เฟสซึ่งเป็นค่าแรงดันลดระหว่างสายเฟสกับสายกลาง

$$V_d = \frac{IDRT}{1000} \qquad (2.18)$$

V_d = แรงดันไฟฟ้าลด

I = กระแสไฟฟ้า

D = ความยาวสายไฟ –ระยะทาง ฟุต (คิดทางเดียว)

R = ความต้านทาน

T = อุณหภูมิที่แก้ไขดูในตาราง Temperature Correction Factor (ตารางภาคผนวกที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเลือกใช้สายไฟ

1. ต้องการติดตั้ง Heater 4000 W 220 โวลต์
2. ห่างจากมิเตอร์เป็นระยะทาง 600 ฟุต
3. เลือกใช้สายไฟฟ้าชนิด VIF

กระแสที่ใช้ใน Heater $= \frac{4000}{220}$

$= 18.18$ แอมแปร์

$$V_d = \frac{2IDRT}{1000}$$

พิจารณาเลือกสายขนาด 2.5 มม.^{2}

ระยะทางเป็นเมตร $= 600 \times 0.3048 = 182.88$ เมตร

อุณหภูมิ จากตาราง 40 $^\circ$C ค่าที่แก้ $= 1.0786$ (จากตาราง ภาคผนวก ที่ 2)

ความต้านทาน $= 7.28$ โอห์ม/กม. (จากตาราง ภาคผนวกที่ 1)

$$V_d = \frac{2 \times 18.18 \times 182.88 \times 7.28 \times 1.0786}{1000}$$

$= 52.22$ โวลต์

ถ้าเลือกสายขนาด 2.5 มม.^{2} แรงดันที่สายมากคือ 52.22 โวลต์

พิจารณาเพิ่มสายโตขึ้นเป็นขนาด 4 ตร.มม.

ความต้านทานของสายจะเป็น 4.5 โอห์ม/กม.

แรงดันลดในสาย $V_d = \frac{2 \times 18.18 \times 182.88 \times 4.5 \times 1.0786}{1000}$

$= 32.27$ โวลต์

$\therefore$ ควรเลือกสายไฟขนาด 4 ตร.มม.

2.14 ฉนวนกันความร้อน

ประเภทของวัสดุฉนวน

วัสดุที่ใช้ในการทำฉนวนมีได้หลายกลุ่มด้วยกัน กล่าวคือ

- Granular มีลักษณะเป็นผง เช่น 85 % Magnesia Diatomaceous , Silica , Silica Aerogel
- Fibrous เช่น Glass Wood , Rock Wood , Asbestos
- Cellular เช่นไม้คอร์กสักหลาด Sysrene Form ใช้เป็นฉนวนความร้อนสำหรับอุณหภูมิต่ำ ๆ
- Reflective เช่น Aluinum Foil ซึ่งสามารถสะท้อนแสงได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับฉนวนประเภทอื่น เช่น Ceramic Fibres กลุ่มนี้มักจะใช้ในเตาเผา ส่วนประกอบคือ 52 % Alumina (Al_2O_3) และ Silica (SiO_2) สามารถทนความร้อนได้ถึง 2,300 $^\circ$F (1,200 $^\circ$C)

ซึ่งทำให้ลดความหนาของผนังเตาลงไปได้ถึง 50 เปอร์เซนต์ทำให้ประหยัดพื้นที่ที่วางเตาหรือเพิ่มความจุของเตาได้

การหาความหนาของฉนวนที่ใช้งาน

ในการหาความหนาของฉนวนนั้นสมการที่ใช้คือสมการเกี่ยวกับการส่งผ่านความร้อน กล่าวคือ

ความร้อนที่ส่งผ่าน = อุณหภูมิที่แตกต่าง / ความต้านทานของการไหลของความร้อน

หรือจะเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$Q = \frac{\Delta t}{R_I + R_S} \qquad (2.19)$$

Q = ความร้อนที่ส่งผ่าน (Btu / hr ft^2)

Δt = อุณหภูมิที่แตกต่าง ($^\circ$ F)

R_I = tk/k = ความต้านทานความร้อนของฉนวน (hr ft^2 $^\circ$ F / Btu)

tk = ความหนาของฉนวน (in)

k = ค่าความนำความร้อนของฉนวน ปกติจะหาตรงที่อุณหภูมิเฉลี่ย (Btu – in / hr ft^2 $^\circ$ F)

R_S = $1/f$ = ความต้านทานที่พื้นที่ผิว (hr ft^2 $^\circ$ F / Btu)

f = สัมประสิทธิ์ฟิล์มอากาศที่พื้นผิว (Btu / hr ft^2 $^\circ$ F)

สมดุลความร้อน

ที่สภาวะคงที่ความร้อนที่ส่งผ่านฉนวนจะมีค่าเท่ากับความร้อนที่ส่งผ่านส่วนอื่น ๆ ของระบบด้วย หรืออาจกล่าวได้ว่า ความร้อนที่ผ่านออกมาจากฉนวนจะมีค่าเท่ากับความร้อนจากพื้นผิววัตถุออกไปยังอากาศ

$$Q = \frac{t_h - t_a}{R_I + R_S} = \frac{t_h - t_a}{R_I} = \frac{t_h - t_a}{R_S} \qquad (2.20)$$

t_a = อุณหภูมิอากาศ ($^\circ$ F)

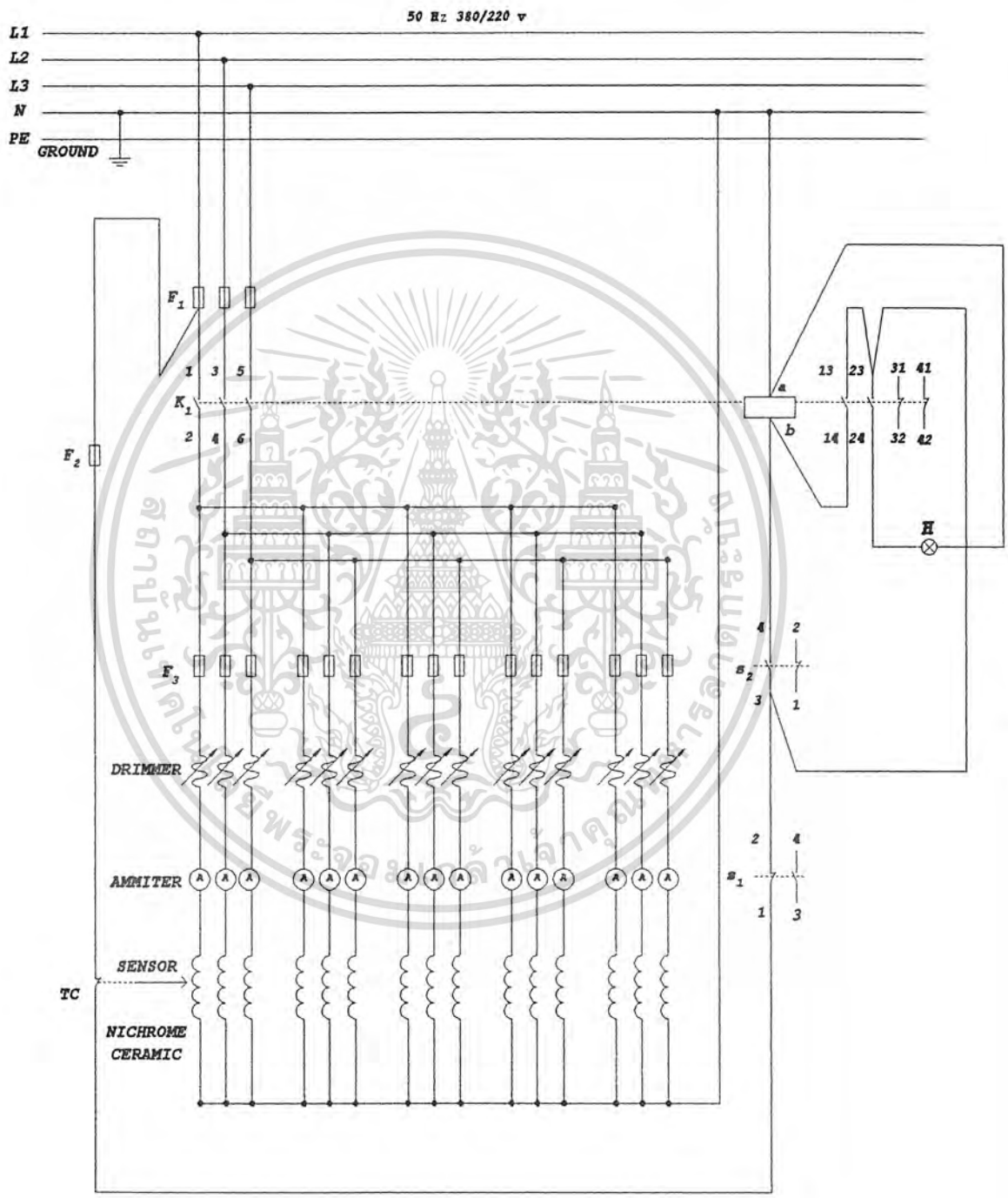
t_s = อุณหภูมิพื้นผิวของฉนวน ($^\circ$ F)

t_h = $(t_s + t_s)/2$ อุณหภูมิเฉลี่ย ($^\circ$ F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การออกแบบวงจรควบคุมอุณหภูมิ

เป็นส่วนควบคุมการทำงานของ Oven เพื่อให้กระแสที่ผ่านเข้า Coil อยู่ในระดับที่เหมาะสม กับค่าที่ตั้งไว้ใน Temperature Control



รูปที่ 2.6 work diagram ของวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

F1 = Main Fuse

F2 = Control Fuse

F3 = Coil Fuse

K1 = Contactor

H = Singnal Lamp

TC = Temperature Control

S1 = Push Button " OFF "

S2 = Push Button " ON "

การทำงานของอุปกรณ์

1. เมื่อกด S2 ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลใน Contactor ส่งผลให้ Start Contactor ทำงาน (1,2), (3,4) , (5,6) , (13,14) , (23,24) ปิดวงจร หลอดไฟติด
2. เมื่อ S2 เปิดวงจร ยังคงมีกระแสไฟฟ้าไหลใน Contactor ที่ส่วนควบคุมเหมือนเดิม
3. กระแสไฟฟ้าจาก Main Line จะผ่าน F1 เข้าไปที่ Contactor และ แบ่งกระแสไฟฟ้าออกเป็น 15 เส้น โดยแต่ละเส้นจะผ่าน Fuse , Drimmer , Ammiter , Nichrome Ceramic (Coil) ทำให้ชุดอุปกรณ์เกิดความร้อนขึ้น
4. TC จะ Sensor อุณหภูมิที่ Nichrome Ceramic (Coil) เมื่อถึงค่าที่ได้ตั้งไว้ในแผ่งหน้าปัด TC จะส่งผลให้ Switch Tc เปิดวงจรทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลใน Contactor ในวงจรควบคุม (1,2) , (3,4) , (5,6) , (13,14) , (23,24) เปิดวงจร หลอดไฟดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การออกแบบระบบสุญญากาศ(vacuum system)

ในส่วนการออกแบบระบบสุญญากาศจะต้องพิจารณาเกี่ยวกับการคำนวณหาขนาดและอัตราการไหลของปั๊ม,เวลาที่ใช้ในการสร้างสุญญากาศ,อัตราการไหลของปั๊มที่ใช้งานจริง, ขนาดและความหนาของถัง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การคำนวณหาอัตราการไหลและการเลือกปั๊ม สิ่งที่สำคัญที่สุดในการเลือกปั๊มคือต้องคำนึงถึงภาระของก๊าซที่ปั๊มจะทำงานสิ่งที่มีอิทธิพลนี้ได้แก่

1. ปริมาตรของระบบ , ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับปริมาตรของถังการออกแบบขึ้นอยู่กับความต้องการและราคา
2. ลักษณะของพื้นผิวและวัสดุที่ใช้ทำถังขึ้นอยู่กับความต้องการและราคา
3. การรั่วซึมระหว่างรอยต่อ
4. ความสามารถในการดูดซับและการกระจายของก๊าซในถัง
5. ความสามารถในการนำก๊าซออกจากถัง
6. การไหลย้อนกลับของอากาศเข้าปั๊มสุญญากาศ

ปั๊มที่เราที่เลือกใช้ เป็นปั๊มแบบลูกสูบ อัตราการไหล 50 $Lmin^{-1}$

เวลาที่ใช้ในการสร้างสุญญากาศ สมการพื้นฐานในการกำหนดเวลาที่ใช้ในการสร้างสุญญากาศสำหรับปริมาตรและความดันที่ต้องการ คือ

$$T = 2.3\left(\frac{V}{S}\right)\log_{10}\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \qquad (2.21)$$

$$P_{abs} = P_{atm} + P_g \qquad (2.22)$$

$$P_2 = P_{atm} + P_{vacuum} \qquad (2.23)$$

P_{atm} = Atmosphere pressure = 1013.25 mbar

แทนค่า P_{vacuum} = -70 cmHg = -933.254 mbar (ใช้ตารางแปลงหน่วยในภาคผนวก)

$$P_2 = 79.996 mbar$$

S = Pumping speed = 50 $Lmin^{-1}$

V = Volume of vacuum tank = 50 L

P_1 = Atmosphere pressure = 1013.25 mbar

P_2 = Absolute pressure = 79.996 mbar

T = Pump-down time

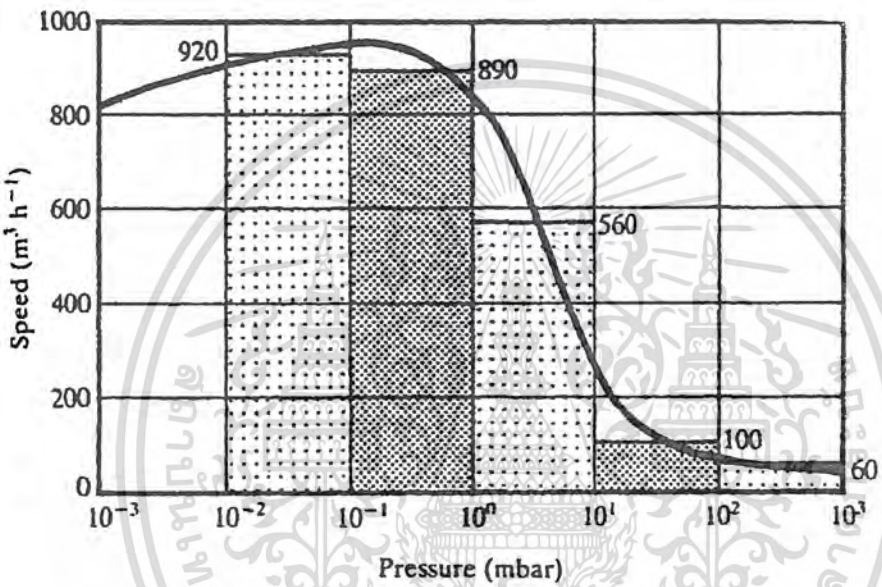
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่า $$T = 2.3\left(\frac{50}{50}\right)\log_{10}\left(\frac{1013.25}{79.996}\right)$$

จะได้ $$T = 2.5\,\text{min}$$

สมการที่ใช้ในการคำนวณไม่คำนึงถึงผลของการนำอากาศออกและการรั่วซึมใช้สำหรับภาชนะที่สะอาด

ในกรณีที่ความเร็วของปั๊มไม่คงที่จะทำการคำนวณโดยการแบ่งช่วงของความดันและใช้ค่าเฉลี่ยของความเร็วปั๊มในแต่ละช่วง ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการแบ่งความเร็วของปั๊มออกเป็นช่วง ๆ

ในสมการที่ 2.20 แสดงถึงการคำนวณเวลารวมที่ใช้ในการสร้างสุญญากาศจาก curve ความเร็วของปั๊ม ซึ่งจะสามารถประมาณการคำนวณทีละขั้นตอน จะได้สมการเป็น

$$T_{tot} = 2.3V\left(\frac{1}{S_1}+\frac{1}{S_2}+\frac{1}{S_3}+\frac{1}{S_4}+\frac{1}{S_5}\right) \qquad \textbf{(2.24)}$$

T_{tot} = Total pump-down time (min)

S_1 = เป็นความเร็วเฉลี่ยของปั๊มระหว่าง 1000 ถึง 100 mbar

S_2 = เป็นความเร็วเฉลี่ยของปั๊มระหว่าง 100 ถึง 10 mbar

S_3 = เป็นความเร็วเฉลี่ยของปั๊มระหว่าง 10 ถึง 1 mbar

S_4 = เป็นความเร็วเฉลี่ยของปั๊มระหว่าง 1 ถึง 10^{-1} mbar

S_5 = เป็นความเร็วเฉลี่ยของปั๊มระหว่าง 10^{-1} ถึง 10^{-2} mbar

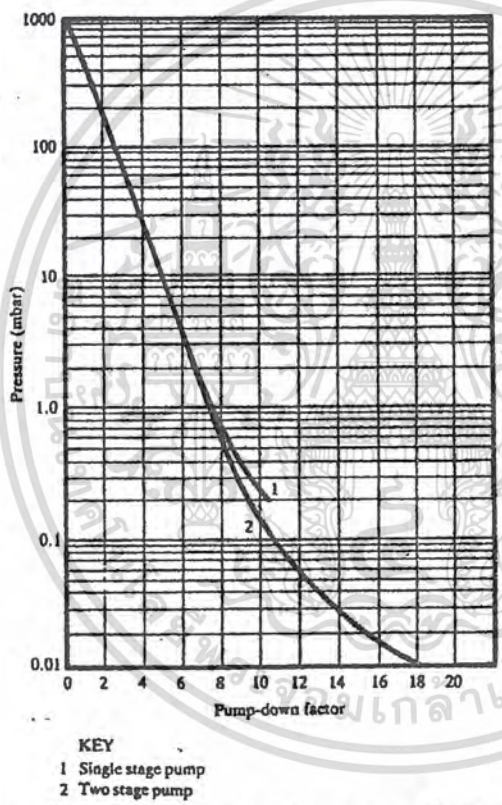
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบและการเลือกขนาดปั๊มวิธีนี้เป็นวิธีที่ค่อนข้างให้ความแม่นยำสูง โดยการแบ่งช่วงความดันให้เล็กลง การออกแบบและการคำนวณจะซับซ้อนขึ้น เมื่อคำนึงถึงผลของท่อและอุปกรณ์ที่ต่อรวม

การหาเวลาที่ใช้ในการสร้างสุญญากาศโดยใช้กราฟ

$$T = \frac{V}{S} F \qquad (2.25)$$

ในรูปที่ 2.8 แสดงถึงวิธีทาง graphic ดังแสดงในสมการ



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงค่าตัวประกอบที่ใช้ในการหาความเร็วปั๊ม

เมื่อ F คือ Pump-down factor ซึ่งหาได้จากรูปที่ 2.8

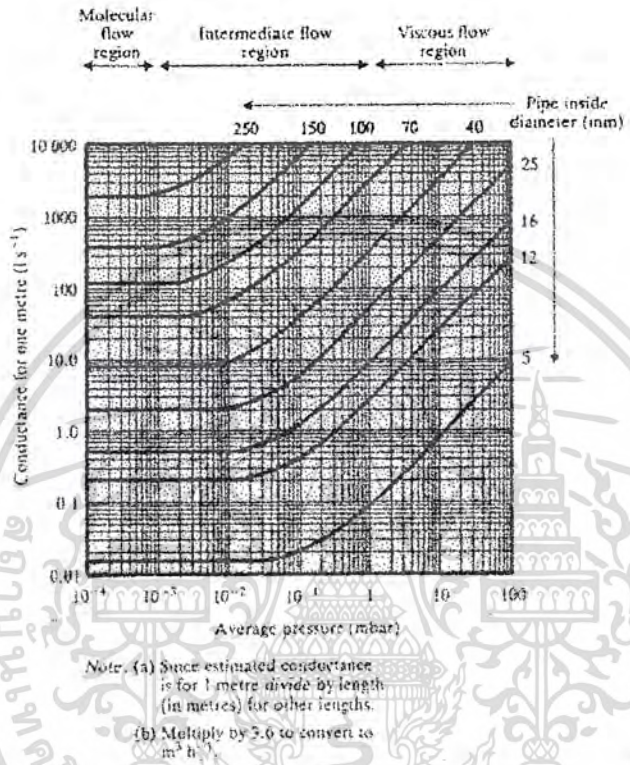
2.3.2.การหาขนาดอัตราการไหลของปั๊มขณะใช้งานจริง

ค่าความนำของท่อ (C)ค่าความนำของท่อและช่องเปิดต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ ได้แก่

1. ย่านความดันที่ใช้งาน
2. ภาคตัดขวางของท่อ เช่น วงกลม ,สี่เหลี่ยม
3. ขึ้นอยู่กับว่าลักษณะของท่อว่าเป็นท่อตรงหรือ ท่อโค้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รวมถึงไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุณหภูมิของอากาศ
5. ความยาวของท่อ
6. ลักษณะของพื้นผิวท่อ
7. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ



รูปที่ 2.9 แสดงถึงค่าความนำของท่อตรงเรียบสำหรับอากาศที่ 20 °C

ในรูปที่ 2.9 จะแสดงถึงค่าความนำของท่อตรงเรียบซึ่งครอบคลุมย่านความดันทั้ง 3 ช่วง แต่ลักษณะการใช้งานสุญญากาศของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกจะเป็นแบบ viscous

viscous conductance $$C_V = \frac{136.5D^4P_{av}}{L} \quad \textbf{(2.26)}$$

C_V = Viscous conductance (Ls^{-1})

D = Pipe bore (cm) = 0.953

P_{av}= Average pressure in the pipe (mbar) = $\frac{P_1+P_2}{2}$ =79.996 mbar

P_1 = Pressure at inlet or initial (mbar)

P_2 = Pressure at outlet or ultimate (mbar)

L = Pipe length (cm) = 110 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าจะได้ $$C_V = \frac{136.5(0.953)^4(80)}{110}$$

$$C_V = 81.71 \text{ L s}^{-1} = 4902.6 \text{ Lmin}^{-1}$$

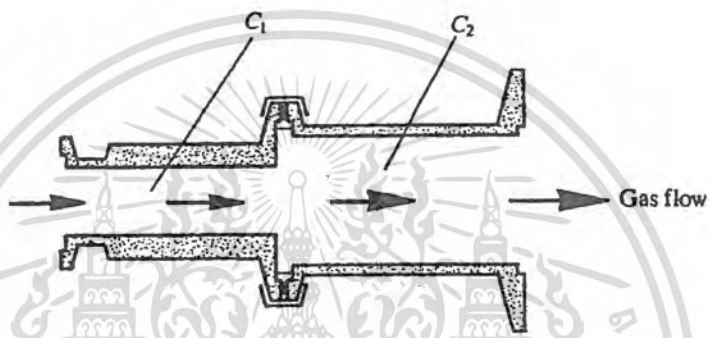
การต่อท่อแบบอนุกรม

ค่าความนำความของท่อ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\frac{1}{C}(overall) = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + ... + \frac{1}{C_N} \qquad \textbf{(2.27)}$$

$C_1, C_2, ..., C_N$ Conductance of equipment (Ls^{-1})

ลักษณะการต่อท่อแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



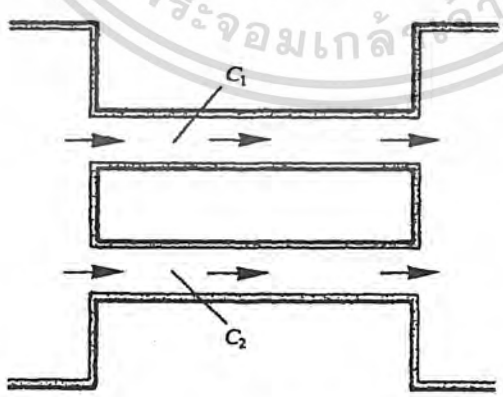
รูปที่ 2.10 แสดงการต่อท่อแบบอนุกรม

การต่อท่อแบบขนาน

ค่าความนำรวมของท่อจะเป็นผลรวมของความนำท่อแต่ละตัว ดังสมการ

$$C(overall) = C_1 + C_2 + ... + C_N \qquad \textbf{(2.28)}$$

$C_1, C_2, ..., C_N$ = Conductance of equipment (Ls^{-1})



รูปที่ 2.11 แสดงการต่อท่อแบบขนาน

ถ้าปั๊มแบบโรตารีความเร็ว S_P ต่อกับระบบโดยใช้ท่อที่มีความนำ C ผลของความเร็วใช้งานจริง S_e จะเกี่ยวข้องกันโดยความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{1}{S_e} = \frac{1}{C} + \frac{1}{S_p} \qquad (2.29)$$

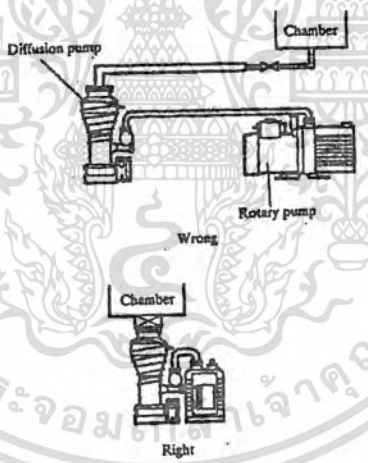
หรือ
$$S_e = \frac{S_p x C}{S_p + C} \qquad (2.30)$$

แทนค่า S_p = 50 $Lmin^{-1}$

$$C = C_V = 81.71 Ls^{-1} = 4902.6 L\,\text{min}^{-1}$$

จะได้ $S_e = \frac{50x4902.6}{50+4902.6}$ = 49.495 $Lmin^{-1}$

การกำหนดความเร็วใช้งานของปั๊มที่ต่อเข้ากับถังโดยใช้ท่อเดี่ยว ความดันเฉลี่ยและค่าความดันของท่อขณะใช้งานจริงเป็นสิ่งที่เราต้องกำหนดค่าความนำจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของการไหล ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาเมื่อคำนวณค่าความนำ



รูปที่ 2.12 แสดงวิธีการต่อท่อถูกต้องและไม่ถูกต้อง

หลักการต่อท่อเข้ากับอุปกรณ์ จะต้องต่อท่อให้มีความยาวสั้นที่สุดและมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่

2.3.3 การหาขนาดของถัง

1. ปริมาตรของถัง ปริมาตรของถังที่ใช้ = 50 L

2. หลักทั่วไปในการออกแบบถัง

1. ต้องคำนึงถึงความดันไอของอากาศที่ใช้ ต้องน้อยกว่าความดันสูงสุดที่อุณหภูมิใช้งาน
2. พื้นผิวของวัสดุที่ใช้จะต้องให้อัตราการนำอากาศออกน้อยที่สุด หลังจากที่ทำความสะอาดพื้นผิวแล้ว ถ้ามีการขัดมันจะทำให้พื้นผิวดีขึ้น
3. การเพิ่มอุณหภูมิของก๊าซ ทำให้อัตราการนำอากาศออกจากถังสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามมิให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากเจ้าของเอกสาร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การออกแบบถังสุญญากาศต้องคำนึงถังความเร็วปั๊มสูงสุดขณะใช้งานดังสมการ

3. การหาความหนาของถัง

การคำนวณโดยคิดจากความดันภายใน (สูตรคิดจากมิติภายนอกถัง)

P = Design pressure or max. allowable working pressure,psi

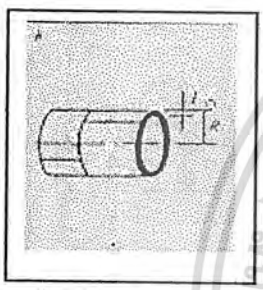
S = Stress value of material,psi

E = Joint efficiency

R = Outside radius, inches

D = Outside diameter,inches

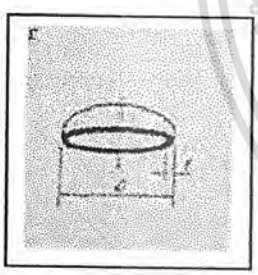
L = Wall thickness,inches



$$t = \frac{PR}{SE + 0.4P} \quad \textbf{(2.31)}$$

$$P = \frac{SEt}{R - 0.4t} \quad \textbf{(2.32)}$$

รูปที่ 2.13 CYLINDRICAL SHELL (LONG SEAM)



$$t = \frac{PD}{2SE + 1.8P} \quad \textbf{(2.33)}$$

$$P = \frac{2SEt}{D - 1.8t} \quad \textbf{(2.34)}$$

รูปที่ 2.14 2:1 ELLIPSOIDAL HEAD

ตารางที่ 2.3 แสดงตารางหาค่า FACTOR M

L/r	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
M	1.00	1.06	1.10	1.15	1.18	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36	1.39
L/r	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	16.3	
M	1.41	1.46	1.50	1.54	1.58	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75	1.77	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความดันใช้งานในถังสุญญากาศ

$$P_{ult} = \frac{Q}{S_e} \qquad \textbf{(2.35)}$$

P_{ult} = Ultimate pressure (mbar)

S_e = Effective pumping speed ($Lmin^{-1}$) = 49.495

Q = Throughput = volume folw rate at any point(mbar $Lmin^{-1}$)

= (79.996mbar)(50$Lmin^{-1}$) = 3999.8 $mbarLmin^{-1}$

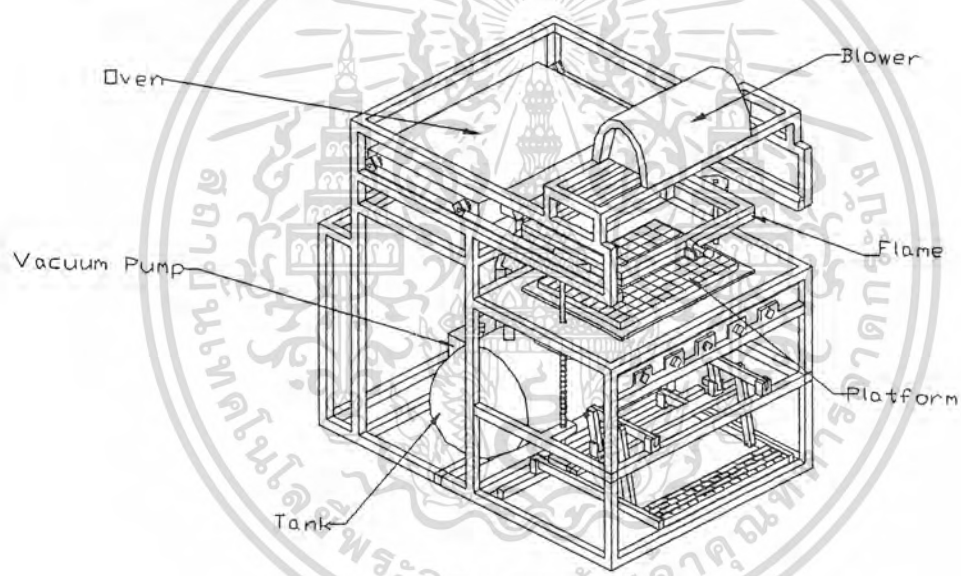
แทนค่า $$P_{ult} = \frac{3999.8}{49.495} = 80.81 mbar$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการสร้างเครื่องขึ้นรูปพลาสติกระบบสุญญากาศ

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องขึ้นรูปพลาสติกระบบสุญญากาศ

1. โครงสร้าง
2. เฟรมจับยึดพลาสติก
3. Forming Platform
4. กลไกเท้าเหยียบ
5. Oven
6. Vacuum System



รูปที่ 3.1 แสดงภาพประกอบของเครื่องขึ้นรูปพลาสติก

3.1 โครงสร้าง

3.1.1 เลือกใช้เหล็กกล่องขนาด 1 นิ้วx1 นิ้ว จำนวน 8 เส้น (1 เส้นความยาวเท่ากับ 6 เมตร)

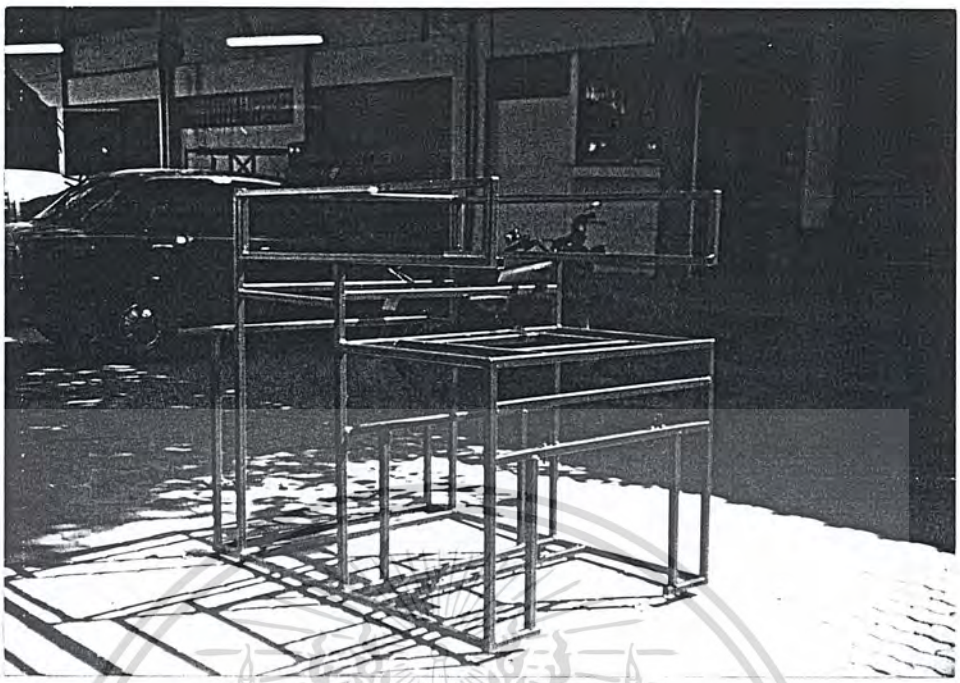
3.1.2 ทำการเชื่อมโครงตามที่ได้ออกแบบไว้โดยจะเชื่อมเป็นจุดไว้ก่อน เมื่อได้เป็นโครงสร้างแล้ว จึงเชื่อมแข็งอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้เกิดความแข็งแรง

3.1.3 การเชื่อมโครงจำเป็นต้องวัดขนาดให้ได้ตามที่กำหนด โดยจะเริ่มเชื่อมจากฐานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าก่อนซึ่งการเชื่อมฐานสี่เหลี่ยมผืนผ้านั้น การวัดขนาดจำเป็นต้องวัดความยาวของเส้นทแยงมุมทั้งสอง จะต้องมีความยาวเท่ากัน จึงจะถือว่าใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 เมื่อเชื่อมโครงเสร็จแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือขัดและทาสีกันสนิม ประเภท Red Oxide

3.1.5 หลังจากรองพื้นด้วย Red Oxide แล้ว จึงทาสีจริงทับ



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้าง

3.2 เฟรมจับยึดแผ่นพลาสติก

ทำจากอลูมิเนียมกล่องขนาด 1 นิ้ว แล้วนำมาประกบกัน ในลักษณะปิด-เปิดได้ โดยมีตัวล็อคเพื่อจับยึดแผ่นพลาสติกให้แน่น สำหรับขนาดของเฟรมจับยึดนี้ ถูกออกแบบให้มีขนาดใหญ่กว่าForming platform ซึ่งในการสร้างกำหนดให้มีขนาด 60x40 เซนติเมตร เพื่อให้เฟรมสามารถสวมทับplatform และแผ่นพลาสติกที่ถูกเฟรมจับยึดอยู่ก็จะแนบกับแบบที่วางอยู่บน platform พอดี

3.2.1 เลือกใช้อะลูมิเนียมกล่องขนาด 1 นิ้ว X 1นิ้ว จำนวน 1 เส้น

3.2.2 วัดความยาวของอะลูมิเนียม 200 เซนติเมตร หลังจากนั้นตัดตามที่ร่างไว้

3.2.3 ทำการตัดเฉียง 45° ที่ปลายของอะลูมิเนียม แล้ววัดความยาวจากปลายยอดที่ตัด 60 เซนติเมตร ทำการบากเป็นมุม 90°

3.2.4 เมื่อบากเป็นมุม 90°แล้ว ทำการงออะลูมิเนียมทั้งสองข้างเข้าหากัน ซึ่งจะประกบกันเป็นมุม 90°

3.2.5 ทำตามขั้นตอน 3.2.3-3.2.4 แต่เปลี่ยนความยาวเป็น 40,60,40 เซนติเมตร ตามลำดับ ทำเฟรมในลักษณะเดียวกันนี้อีก 1 เฟรม

3.2.6 หลังจากที่ทำเฟรมเสร็จ 2 เฟรมแล้ว จะทำการยึดเฟรมทั้งสองเข้าด้วยกันโดยการยิง Rivet และติดที่ล็อคเฟรมเพื่อให้เฟรมทั้งสองสามารถแนบกันได้สนิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 Forming platform

ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนตัวplatform และส่วนแผ่นประกบส่วนตัวplatform

3.3.1 ส่วนตัวplatform ทำโดยใช้อลูมิเนียมตัน ขนาด 58 x 38 เซนติเมตร หนา 3 หุน

3.3.2 นำแผ่นอะลูมิเนียมไปกัดโดยใช้เครื่อง milling machine ให้เป็นรูปตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 2 x 2 เซนติเมตร^2 ลึกประมาณ 4 มิลลิเมตร

3.3.3 การกัดแผ่นอะลูมิเนียมจะเริ่มกัดเป็นเส้นในแนวตั้งก่อนจนหมด แล้วจึงเริ่มกัดเป็นเส้นในแนวนอน โดยกัด 2 รอบ รอบละ 2 มิลลิเมตร

3.3.4 หลังจากกัดแผ่นอะลูมิเนียมเสร็จตามแบบแล้ว จะทำความสะอาดบริเวณร่องที่กัดเพื่อช่วยให้อากาศไหลผ่านได้สะดวกขณะขึ้นรูป

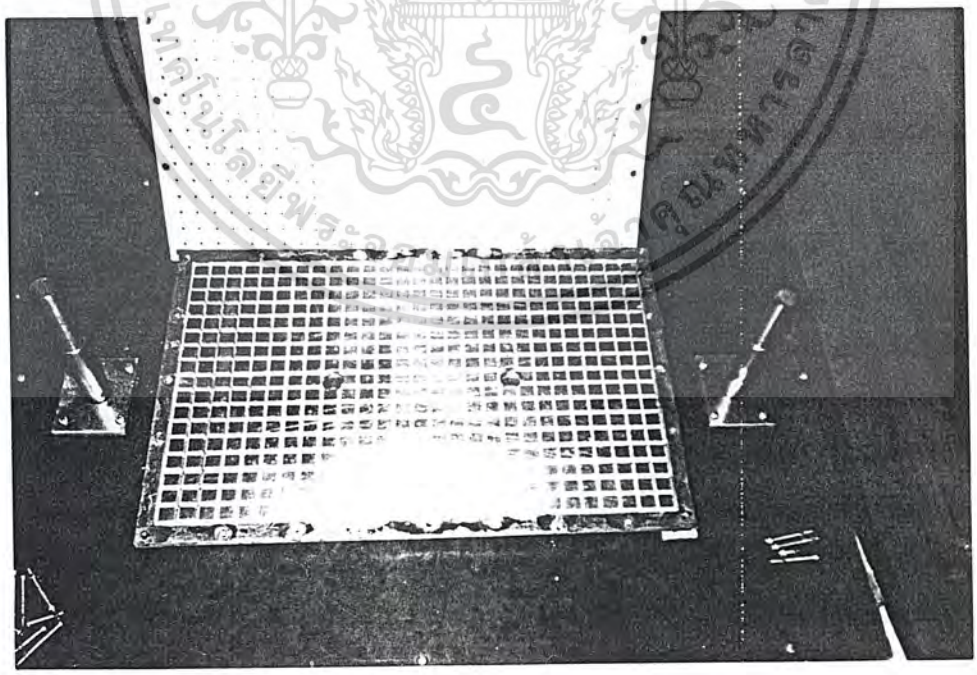
3.3.5 ทำการเจาะรูตรงกลางขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้ว 2 รู เพื่อทำการต่อท่อ ส่วนแผ่นประกบด้านบน

ขั้นตอนการสร้าง

จะนำแผ่นเหล็กชิงค์มาตัดให้มีขนาดเท่ากับส่วนตัวplatform แล้วนำมาตีตารางขนาด 2 x 2 เซนติเมตร^2 เหมือนกับส่วนตัว platform หลังจากนั้นก็เจาะรูตามรอยตัด แล้วนำไปประกบกับส่วนตัว platform และยึดติดกันด้วยน็อต

หลักการทำงาน

ลมจะถูกดูดผ่านทางรูของแผ่นประกบ และวิ่งไปตามร่องของตัวplatform แยกผ่านรูใหญ่ 2 รูตรงกลาง และลงไปสู่ท่อ เพื่อเก็บไว้ในถังสุญญากาศต่อไป



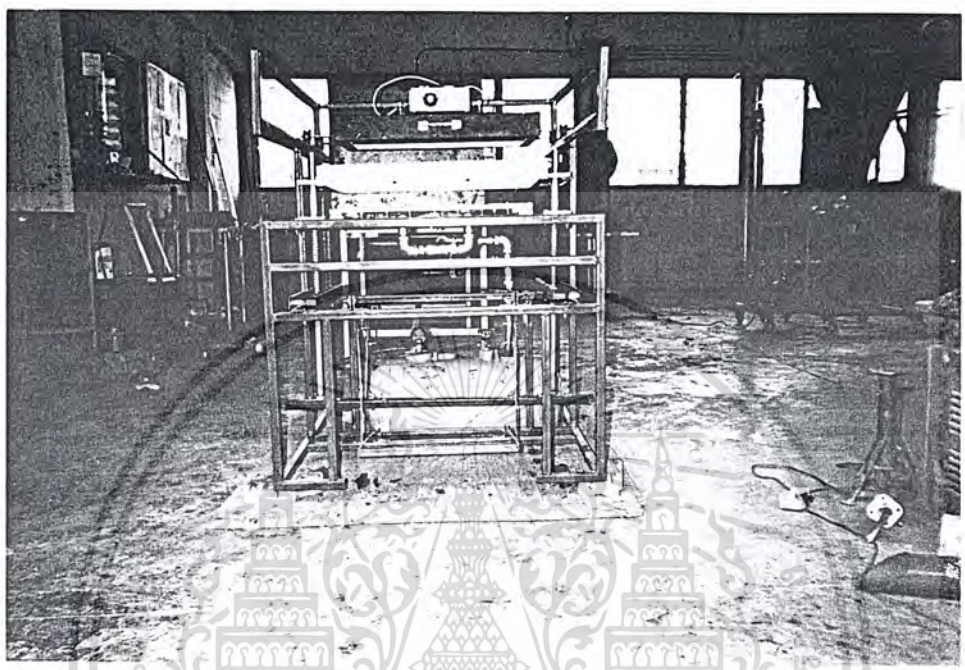
รูปที่ 3.3 แสดง Platform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 กลไกเท้าเหยียบ

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ทำได้แก่ เหล็กแบนขนาดกว้าง 1 นิ้วหนา 2 หุน,แท่งสแตนเลส 2 แท่ง ยาวแท่งละ 50 cm,สปริงแข็งยาว 80 cm 2 เส้น

3.4.2 ประกอบตามแบบที่กำหนดขึ้น หลังจากนั้นทาสีเพื่อกำหนดความแตกต่างกับส่วน frame



รูปที่ 3.4 แสดงกลไกเท้าเหยียบ

3.5 Oven

ในส่วนของ Oven แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนของกล่องครอบ Oven และในส่วนที่ให้ความร้อน

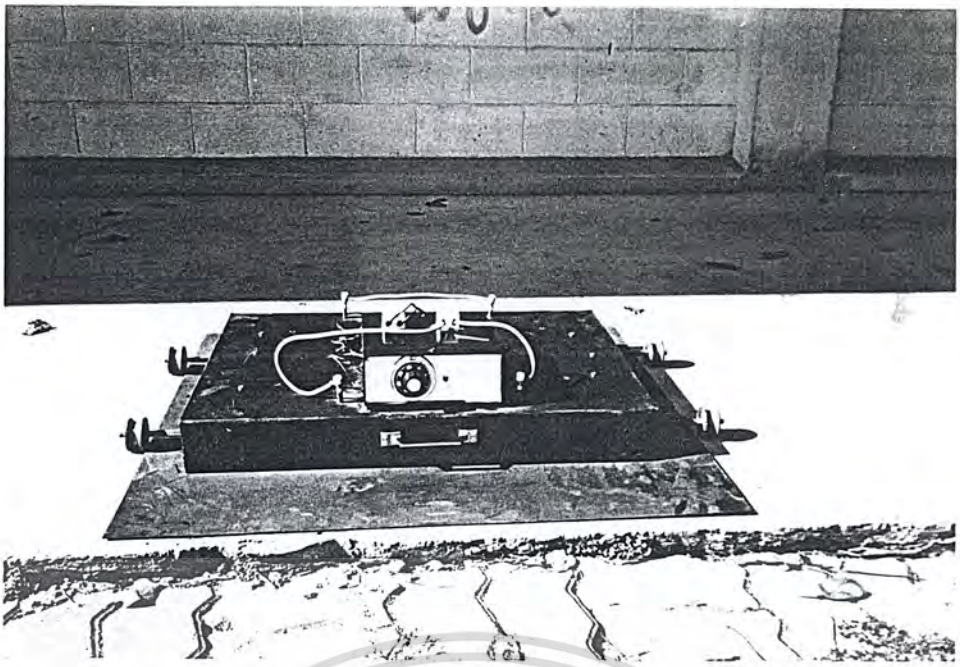
3.5.1 ตัดเหล็กแผ่นขนาด 74 x 94 เซนติเมตร

3.5.2 พับเหล็กโดยเริ่มพับจากส่วนนอกสุดเข้ามาหาส่วนในสุด

3.5.3 หลังจากพับเหล็กได้ตามแบบที่กำหนดแล้ว ทำการเชื่อมแก๊สตรงบริเวณส่วนที่เป็นรอยต่อ จะได้กล่องซึ่งทำหน้าที่เป็นที่วางของส่วน Oven

3.5.4 หลังจากนั้นจะทำการบุฉนวน asbestos (ฉนวนใยหิน) เพื่อป้องกันความร้อนที่แผ่ออกมา สำหรับแผ่นฉนวนด้านข้างทำได้โดยตัด asbestos ออกเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 70 x 8 เซนติเมตรและขนาด 5 x 8 เซนติเมตรอย่างละ 2 แผ่น ประกบติดกับกล่องสำหรับด้านบนจะใช้ asbestos ขนาด 50 x 70 เซนติเมตรตัดเป็นสี่ส่วน แล้วใช้น็อตยึดติดกับกล่องเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

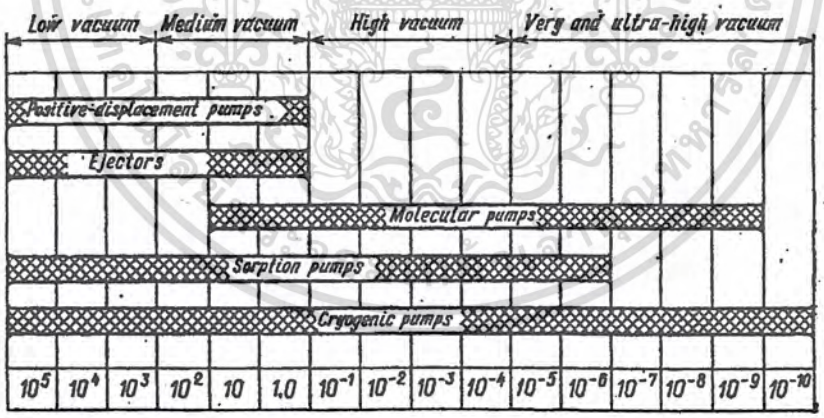


รูปที่ 3.5 แสดง Oven

3.6 Vacuum system

ประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ ปั๊มสุญญากาศ,ถังเก็บสุญญากาศ,vacuum gauge,ท่อและข้อต่อต่างๆ

3.6.1 เลือกปั๊มสุญญากาศตามขนาดและspecification ที่เราคำนวณได้ ซึ่งลักษณะการเลือกใช้ปั๊มจะขึ้นอยู่กับความเร็วของปั๊มและความดันขณะใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 ระดับสุญญากาศและการใช้งานของปั๊มชนิดต่างๆ

3.6.2 จัดหาถังซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเก็บสุญญากาศ

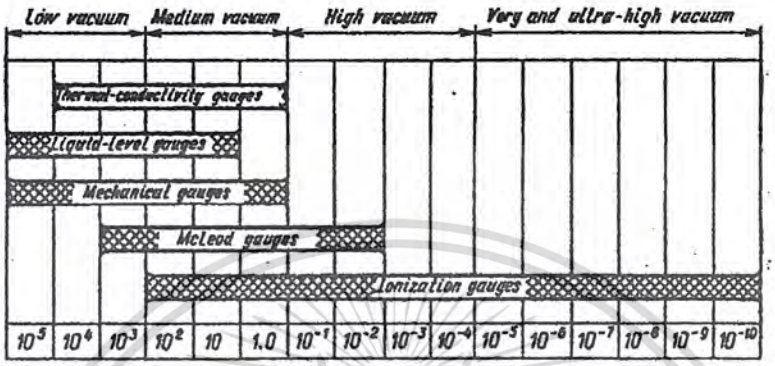
3.6.3 ทำการต่อท่อจากถังสุญญากาศเพื่อไปยึดติดกับส่วนของplatform โดยใช้หน้าแปลน

3.6.4 ท่อที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ซึ่งต้องต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ คือ ข้องอ 90° ขนาด 1 นิ้ว จำนวน 3 ตัว, ข้อต่อตรงขนาด 1 นิ้ว,ข้อต่อ 3 ทาง และบอลวาล์วขนาด 1นิ้ว อย่างละ 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.5 หลังจากนั้นทำการต่อท่อจากถังสุญญากาศเข้ากับปั๊มโดยใช้ท่อทองแดงขนาด 2,3 หุน เชื่อมต่อกัน ยึดติดกับถังและปั๊มโดยใช้ข้อต่อทองเหลือง

3.6.6 ติดตั้ง vacuum gauge เพื่อใช้วัดความดันที่ถังสุญญากาศ ซึ่งการเลือกใช้เกจแต่ละชนิดต้องคำนึงถึงความดันที่ใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.7



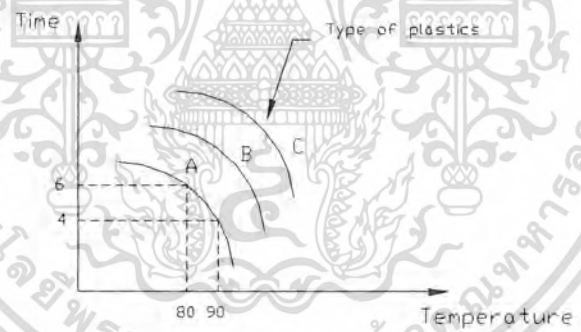
รูปที่ 3.7 แสดงช่วงการใช้งานของ vacuum gauges

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
สรุปผลและวิจารณ์

หลังจากติดตั้งอุปกรณ์ตามขั้นตอนดังที่กล่าวข้างต้นเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เริ่มโดยการเปิดปั๊มสุญญากาศและoven จนถึงความดันและอุณหภูมิที่ต้องการ หลังจากนั้นนำ mold วางบน forming platform และนำแผ่นพลาสติกชนิด thermoplastic มาอุ่นโดยยึดให้แน่นด้วยเฟรม ทิ้งไว้สักครู่จนกระทั่งแผ่นพลาสติกอ่อนตัวลงแล้วเหยียบกลไกเท้าเหยียบเพื่อให้แผ่นพลาสติกแนบกับ mold หลังจากนั้นเปิด vacuum valve เพื่อให้สุญญากาศดูดแผ่นพลาสติกให้มีรูปร่างตามmold ซึ่งจะได้ชิ้นงานที่ต้องการ

สำหรับเวลาที่ใช้ในการอุ่นแผ่นพลาสติกแต่ละชนิด โดยที่ใช้แผ่นพลาสติกที่มีความหนาคงที่สม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่นมาอุ่นที่อุณหภูมิเดียวกัน จับเวลาที่แผ่นพลาสติกแต่ละชนิดใช้ในการอุ่นจนสามารถขึ้นรูปได้โดยการใช้มือกดดูการอ่อนตัวของแผ่นพลาสติกที่บริเวณขอบหลังจากนั้นทำการทดลองเหมือนเดิม แต่เปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้โดยเพิ่มขึ้นเป็นขั้นๆ นำผลการทดลองที่ได้มา plot graph โดยลักษณะของกราฟจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิ



กราฟนี้จะเป็นตัวแสดงคุณลักษณะการทำงานของเครื่อง เช่นสมมติว่าใช้แผ่นพลาสติกชนิด A เมื่อใช้อุณหภูมิ 80 °C ต้องใช้เวลาในการอุ่น 6 นาทีหรือถ้าใช้อุณหภูมิ 90 °C ใช้เวลาในการอุ่น 4 นาที

เนื่องจากอุปกรณ์บางชิ้น เช่นปั๊มสุญญากาศมีขนาดเล็กเกินไป และมีรอยรั่วในส่วนของท่อทาง จึงทำให้การสร้างสุญญากาศยังไม่ประสบผลสำเร็จ ดังนั้นผลการทดลองข้างต้นจึงยังไม่สามารถสรุปผลได้ สำหรับแนวทางในการพัฒนาเครื่องต่อไป เช่น ในส่วนของกลไกเท้าเหยียบควรเปลี่ยนมาใช้ระบบนิวแมติก และขนาดของ forming platform ควรจะใหญ่กว่าเดิมเพื่อรองรับ mold ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น รวมทั้งการเปลี่ยนปั๊มสุญญากาศ ให้มีขนาดใหญ่กว่าเดิมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. การควบคุมมอเตอร์, วิทยา ประยงค์พันธุ์ , อำนาจ ทองผาสุข
2. ข้อมูลอ้างอิงจาก บริษัท โกลเด้นท็อป อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
3. คู่มือการเลือกใช้งานวาล์วสำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น,นาวาโท ตระการ ก้าวกสิกรรม ,พันโท พิศักดิ์ เจริญรัศมี
4. คู่มือวิศวกรเครื่องกล,สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดยูเคชั่น, บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด
5. FUNDAMENTALS OF VACUUM TECHNIQUES, MIR Publishers , Moscow , translated from the Russian by Boris kuznetsov
6. INDUSTRIAL PLASTIC;THEORY &APPLICATION, second edition, Terry I. Richordson
7. MODERN VACUUM PRACTICE, LONDON : McGraw-Hill ,c1989 ,Nigel S. Harris

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงสายไฟหุ้มฉนวน

Nominal area Of conductor	Max . resistance per km at 20 ° C			
	Conductor for fix writing		Flexible conductor	
	Sing-core	Multi-core	Sing-core	Multi-core
Mm^2	Ohms	Ohms	Ohms	Ohms
0.5 (solid)	35.7	36.4	-	-
0.5 (28 W)	-	-	37.7	39.6
0.5 (16 W)	-	-	37.1	39.0
0.75 (42 W)	-	-	25.1	26.4
0.75 (24 W)	-	-	24.7	26.0
1	17.7	18.1	18.5	19.5
1.5	11.9	12.1	12.7	13.3
2.5	7.14	7.28	7.60	7.98
4	4.47	4.56	4.71	4.95
6 (solid)	2.97	3.03	-	-
6 (strand)	3.02	3.08	-	-
6	-	-	3.14	3.30
10 (solid)	1.77	1.81	-	-
10 (strand)	1.79	1.83	1.82	1.91
16	1.13	1.15	-	-
25	0.712	0.727	1.16	1.21
35 (7 W)	0.514	0.524	0.743	0.78
35 (19 W)	0.514	0.524	-	-
35	-	-	0.527	0.554
50	0.379	0.387	0.368	0.386
70	0.262	0.268	0.259	0.272
95	0.189	0.193	0.196	0.206
120	0.150	0.153	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 แสดง Temperature Correction Factor

Temperature °C	Temperature correction factor	
	Copper	Aluminum
25	1.0197	1.0202
30	1.0393	1.0403
35	1.0590	1.0605
40	1.0786	1.0806
45	1.0983	1.1008
50	1.1179	1.1209
55	1.1376	1.1411
60	1.1572	1.1612
65	1.1769	1.1814
70	1.1965	1.2015
75	1.2162	1.2217

ตารางที่ 3 แสดงค่า FACTOR ที่ใช้ในการแปลงหน่วยความดัน

Atm (nomal)	Bar	Cm Hg (0 °C)	In Hg (32°F)	Torr MmHg(0°C)	Pa (N/m^2)
1	1.013250 E + 00	7.600007 E + 01	2.992129 E + 01	7.600007 E + 02	1.013250 E + 05
9.869233 E - 01	1	7.500624 E + 01	2.953001 E + 01	7.500624 E + 02	1.000000 E + 05
1.315788 E - 02	1.333222 E - 02	1	3.937008 E - 01	1.000000 E + 01	1.333222 E + 03
3.342102 E - 02	3.386385 E - 02	2.540000 E + 00	1	2.540000 E + 01	3.386385 E + 03
1.315788 E - 03	1.333222 E - 03	1.000000 E - 01	3.937008 E - 02	1	1.333222 E - 02
9.869233 E - 06	1.000000 E - 05	7.500624 E - 04	2.953001 E - 04	7.500624 E - 03	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางสำหรับหาขนาดท่อสำหรับสุญญากาศ

Air flow cfm (L/s)	Nominal pipe sizes, in.								
	3/4	1	1-1/4	1-1/2	2	2-1/2	3	4	
	Pressure drop per 100 ft. (100 m) of pipe, in. Hg (kPa)								
1 (0.5)		.15 (0.5)							
2 (0.9)		.39 (1.3)	.10 (0.3)						
3 (1.4)		.77 (2.6)	.19 (0.6)						
4 (1.9)		1.24 (4.2)	.31 (1.1)	.10 (0.3)					
5 (2.4)		1.78 (6.0)	.44 (1.5)	.14 (0.5)					
6 (2.8)		2.40 (8.1)	.60 (2.0)	.19 (0.6)					
7 (3.3)			.77 (2.6)	.24 (0.8)	.12 (0.4)				
8 (3.8)			.95 (3.2)	.31 (1.1)	.15 (0.5)				
9 (4.3)			1.17 (4.0)	.39 (1.3)	.18 (0.6)				
10 (4.7)			1.38 (4.7)	4.6 (1.5)	.22 (0.7)				
15 (7.1)			2.80 (9.5)	.98 (3.0)	.44 (1.5)	.12 (0.4)			
20 (9.4)				1.48 (4.9)	.72 (2.4)	.19 (0.6)			
25 (11.8)				2.20 (7.4)	1.09 (3.7)	.28 (1.0)	.10 (0.3)		
30 (14.2)					1.52 (5.1)	.41 (1.4)	.14 (0.5)		
35 (16.5)					2.00 (6.8)	.54 (1.8)	.18 (0.6)		
40 (18.9)					2.50 (8.4)	.67 (2.3)	.22 (0.7)	.10 (0.3)	
45 (21.2)						.81 (2.7)	.27 (0.9)	.12 (0.4)	
50 (23.6)						.98(3.3)	.33 (1.1)	.14 (0.5)	
60 (28.3)						1.34 (4.5)	.45 (1.5)	.19 (0.6)	
70 (33.0)						1.79 (6.1)	.60 (2.0)	.26 (0.9)	.07 (0.2)
80 (37.8)						2.30 (7.8)	.77 (2.6)	.32 (1.1)	.09 (0.3)
90 (42.5)							.96 (3.2)	.41 (1.4)	.11 (0.4)
100 (47.2)							1.17 (4.0)	.50 (1.7)	.14 (0.5)
125 (59.0)							1.71 (5.8)	.74 (2.5)	.20 (0.7)
150 (70.8)							2.30 (7.8)	.99 (3.3)	.27 (0.9)
175 (82.6)								1.28 (4.3)	.35 (1.2)
200 (94.4)								1.61 (5.4)	.44 (1.5)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ตารางที่ 5 แสดงประสิทธิภาพ(E) ของรอยเชื่อม

TYPES CODE UW-12		JOINT EFFICIENCY, E a. When the Joint is:		
		a Fully Radiographed	b Spot Examined	c Not Examined
(1)	Butt joints as attained by double welding or by other means which will obtain the same quality of deposited weld metal on the inside and outside weld surface. Backing strip if used shall be removed after completion of weld.	1.00	0.85	0.70
(2)	Single welded butt joint with backing strip which remains in place after welding	0.90	0.80	0.65
(3)	Single welded butt joint without use of backing strip	—	—	0.60
(4)	Double full fillet lap joint	—	—	0.55
(5)	Single full fillet lap joint with plug welds	—	—	0.50
(6)	Single full fillet lap joint without plug welds	—	—	0.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้